



# วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



# Research Journal

Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Volume 20 Issue 1 January-June 2021

ISSN Print: 1686-8420  
Online: 2651-2289

ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2564)

**RJ-RMUTT**  
Science and Technology

# วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2564

## วัตถุประสงค์

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (RJ-RMUTT) เป็นวารสารที่เผยแพร่องค์ความรู้ และประสบการณ์ทางด้านวิชาการและวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีจุดหมายและวัตถุประสงค์ของวารสารวิจัยดังนี้

1. เพื่อเผยแพร่แนวความคิด งานวิจัย การพัฒนาและประเด็นสำคัญในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อกระตุ้นให้เกิดการอภิปรายทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกสาขาวิชา ซึ่งเป็นทั้งงานวิจัยพื้นฐานและงานวิจัยประยุกต์

ทั้งนี้วารสารวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีอยู่ในฐานข้อมูลดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai Journal Citation Index Centre, TCI Centre) โดยผ่านการรับรองคุณภาพจาก TCI และจะมุ่งเน้นพัฒนาคุณภาพเพื่อเข้าสู่ฐานข้อมูลสากลต่อไป

## ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมหมาย	ผิวสะอาด	อธิการบดี
รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์	ภูมิภิตติพิชญ์	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงศ์พิชญ์	ถ้วนภูษา	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิริแชน	พงษ์สวัสดิ์	ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน
Prof. Sean	Danaher	Northumbria University (UK)
Prof. Hee Young	Lee	Yeungnam University (Korea)
Prof. Seiichi	Kawahara	Nagaoka University of Technology (Japan)

## บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วารุณี	อริยวิริยะนันท์	ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
--------------------------	-----------------	--------------------------------

## กองบรรณาธิการภายนอก

ศาสตราจารย์ผดุงศักดิ์	รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศาสตราจารย์ตรีทศ	เหล่าศิริหงส์ทอง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศาสตราจารย์พิเชษฐ	ลิ้มสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์คมสัน	มาลีสี	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ศาสตราจารย์สนอง	เอกสิทธิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์เสัชกรหญิงพรอนงค์	อร่ามวิทย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ชูกิจ	ลิมปิจำนงค์	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
รองศาสตราจารย์วสกร	บัลลังก์โพธิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### กองบรรณาธิการภายใน

รองศาสตราจารย์บุญยัง	ปลั่งกลาง	คณะวิศวกรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์จตุรงค์	ลิ่งกาพินธุ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรี	ศรีนนท์ฉัตร	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรพงษ์	ภวสุปรีย์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์อมร	ไชยสัตย์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นริศร์	บาลทิพย์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

### จัดทำโดย

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
เลขที่ 39 หมู่ที่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110  
โทรศัพท์ 0 2549 4681 โทรสาร 0 2577 5038 และ 0 2549 4680  
Website: <http://www.ird.rmutt.ac.th>

### คณะผู้จัดทำ

นางสาวกชกร	ดาราดามิษฐ์	สถาบันวิจัยและพัฒนา
นางสาวสรัญญา	สุวินัย	สถาบันวิจัยและพัฒนา
นางสาวฉัตรวดี	สายใยทอง	สถาบันวิจัยและพัฒนา
นางสาวณัฐวรรณ	ธรรมวัชรากร	สถาบันวิจัยและพัฒนา
นางสาวมนต์ทิชา	รัตนพันธ์	สถาบันวิจัยและพัฒนา

### ออกแบบปก

นางสาวสรัญญา	สุวินัย	สถาบันวิจัยและพัฒนา
นางสาวมนต์ทิชา	รัตนพันธ์	สถาบันวิจัยและพัฒนา

### จัดทำรูปเล่ม

นางสาวสรัญญา	สุวินัย	สถาบันวิจัยและพัฒนา
--------------	---------	---------------------

## คำนำ

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (RJ-RMUTT) เป็นวารสารที่ส่งเสริมงานด้านวิจัยและดำเนินงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีซึ่งอยู่ในฐานข้อมูลของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai Journal Citation Index, TCI Centre) รับผิดชอบบทความวิจัย บทความวิชาการ เปิดรับบทความทั้งเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยครอบคลุมในสาขาวิชาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเผยแพร่และถ่ายทอดผลงานวิจัยและวิชาการ รวมถึงแนวคิดในการพัฒนางานวิจัย เพื่อกระตุ้นให้เกิดเป็นแนวทางการอภิปรายทุกสาขาซึ่งเป็นทั้งงานวิจัยพื้นฐาน และวิจัยประยุกต์ ทั้งภายใน และภายนอกมหาวิทยาลัย

สำหรับวารสารวิจัยปีที่ 20 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน 2564) ได้รวบรวมผลงานทางวิชาการจากผลการวิจัยทั้งสิ้น จำนวน 15 บทความ ประกอบด้วยบทความจากผลงานวิจัยจากหลากหลายสาขา ซึ่งได้ผ่านการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ (peer review) ทั้งภายนอกและภายในมหาวิทยาลัย กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าทุกบทความจะเป็นประโยชน์และสามารถช่วยพัฒนางานวิจัยแก่ผู้ที่สนใจให้ก้าวหน้าต่อไปได้

กองบรรณาธิการ

## สารบัญ

<b>การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักร่วมระหว่างหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเสื่อมโทรมและมูลสุกร</b>	1
Feasibility Study the Methane Production with Co-digestion between Napier Grass in Degrade Land and Swine Manure วันสพรรัตน์ สวัสดิ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์	
<b>การวิเคราะห์แนวโน้มงานตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืนในประเทศไทย</b>	9
Trend of Gunshot Residue Examination in Thailand เชษฐสุสุดา จิตต์การุณย์ และ วรวัช วิชชวาณิชย์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ	
<b>การพัฒนาารูปแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง</b>	21
Development of Smart Farms in Greenhouses through the Embedded System ปวันนพัสตร์ ศรีทรงเมือง, ชาญณรงค์ ศรีทรงเมือง, สุมนา บุชบก และ ชุตติกานต์ หอมทรัพย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์พระนครศรีอยุธยาหันตรา	
<b>การพัฒนาผลิตภัณฑ์บราวนี่เพื่อสุขภาพจากถั่วสามสี</b>	30
Development of Healthy Brownie from Three Colored Beans สุวภาณี บุญเสน, ณัฐสิมา บุญใบ, สุมนา พูลย์ม, อัญฉิธร สิริทรัพย์เจริญ, พีรพงศ์ งามนิคม, และ ศิริลักษณ์ สุรินทร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม	
<b>ศึกษาอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียงแผ่นกรองแสงปรับอุณหภูมิสีของแสงโคมไฟสำหรับการจัดแสงภาพเคลื่อนไหว</b>	40
Study of Compared Color Temperature of Color Correction Filter from Luminaries for Motion Pictures จิรศักดิ์ ปรีชาวีรกุล และ อนุสรณ์ สารคดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	
<b>เปรียบเทียบลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของบัวหลวง 4 สายพันธุ์เพื่อการใช้ประโยชน์</b>	53
Comparison of Botanical Characteristics of 4 Cultivars of <i>Nelumbo nucifera</i> Gaertn. for Utilization เยวามาลย์ น้อยใหม่, รุจิรา เดชสูงเนิน และ กฤษณะ กลัดแดง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	
<b>Development of Stakeholder Data Management System</b>	68
Suban Lertnawapan and Suchai Thanawastien Shinawatra University	

## สารบัญ (ต่อ)

การศึกษาบริเวณที่มีความหนาแน่นของการเกิดอาชญากรรมคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์เชิงพื้นที่ในเขตชายแดนไทย – กัมพูชา จังหวัดสระแก้ว ในรูปแบบภูมิสารสนเทศ	79
Crime Mapping and Spatial Analysis of Motorcycle Thefts in the Thai-Cambodian Border in Sa Kaeo Province using the Geographic Information System	
อัฉราพรพรณ มากฤทธิ และ วรชัย วิชชวานิชย์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ	
ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพของเกสรบัวหลวงอบแห้ง	91
Effect of Packaging Types on Quality of Dried Lotus Stamens	
อินทิรา ลิจันทรพร และ ภูรินทร์ อัครกุลธร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	
A Cost-Effective and Environmentally Friendly Approach in Using Green Tea Extracts for The Determination of Iron Ion with PiCOEXPLORER	103
Yaowalak Khanhuathon and Napaporn Wannaprom Chiang Rai Rajabhat University	
ลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังถั่วเหลืองและขนมปังดอกดาวเรือง ( <i>Tagetes erecta</i> L.)	114
Sensory Characteristics of Soybean Breads and Marigold ( <i>Tagetes erecta</i> L.) Breads	
ณัฐกิตติ แพรศรีธนรักษ์, นารียา ธนากรวิเศษ, นริศรา เหลืองประภา, กมลเนตร บุญวิเทียน และ ณัฐธญาณ ศรีสุวอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	
<i>In Vitro</i> Self and Cross Pollinated Seed Culture of <i>Nymphaea rubra</i> ‘Maeploi’, A Night – Blooming Tropical Waterlily Hybrid (Nymphaeaceae) from Thailand	123
Itsaraphong Khaenthong, Ngarmnij Chuenboonngarm and Atchara Muengkrut Rajamangala University of Technology Thanyaburi	
ผลของผงวุ้นลูกสำรองต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของกุนเชียงปลาตุก	134
Effect of Malva Nut Gum Powder on Physical, Chemical and Sensorial Properties of Catfish Chinese Sausage	
อัญชลินทร์ สิงห์คำ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	
การจัดการกระบวนการฉีดพลาสติก กรณีศึกษา โรงงานผลิตชิ้นส่วนไฟฟ้าประเภทโคมไฟ	145
Management of Plastic Injection Processes: A Case Study of Electric Lamp Manufacturing	
กนกพร พุ่มแย้ม, วรณลักษณ์ เหล่าทวีทรัพย์ และ สุพิชชา ชิวพฤกษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	

## สารบัญ (ต่อ)

การพัฒนาระบบแสดงผลภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก 2.5 ไมโครเมตร (PM2.5) ในเขต  
พื้นที่กรุงเทพมหานคร 157

Development of Data Visualization for Particulate Matter 2.5 micrometers Analysis in Bangkok

วันมงคล พิกุลแท้, ปราณี มณีรัตน์ และ นิเวศ จิระวิจิตรชัย

มหาวิทยาลัยศรีปทุม



## การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักร่วมระหว่างหญ้าเนเปียร์ ที่ปลูกในดินเสื่อมโทรมและมูลสุกร

### Feasibility Study the Methane Production with Co-digestion between Napier Grass in Degrade Land and Swine Manure

วนัสพรรัตน์ สวัสดิ์\*

Vanatpornratt Sawasdee\*

สาขาวิชานวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์  
ในพระบรมราชูปถัมภ์ จ.ปทุมธานี 13180

Program in Innovation of Environmental Management, College of Innovative Management, Valaya  
Alongkorn Rajabhat University Under the Royal Patronage, Pathumthani 13180, THAILAND

\*Corresponding author e-mail: vanatpornratt@vru.ac.th, s.vanatpornratt@gmail.com

#### ARTICLE INFO

#### ABSTRACT

Article history:

Received: 21 May, 2020

Revised: 16 June, 2020

Accepted: 5 August, 2020

Available online: 3 February, 2021

DOI: 10.14456/rj-rmutt.2021.1

*Keywords:* feasibility study,  
methane production, co-  
digestion, Napier grass,  
degrade land

This research was feasibility study the methane production with co-digestion between Napier grass in degrade land and swine manure. The feasibility consideration was divided into 2 parts: methane production and economic feasibility. The degrade land is saline, acid, and compact soil. The ratio of co-digestion between Napier grass and swine manure was 1:2 and the conditions were controlled for methane production with completely mixed. This research found that the methane production from acid soil was effective with cumulative methane 9 liters, methane production potential 9,280 ml, and maximum methane production rate 872.20 ml h<sup>-1</sup>, in term of Napier grass in saline, and compact soil were 2,936.57 and 1,967.75, respectively. The maximum methane production rate from Napier grass in saline, and compact soil were 767.45, and 910.56 ml h<sup>-1</sup>, respectively. The consideration of feasibility study for the project was studied benefit / cost ratio (B/C ratio), net present value (NPV), internal rate return (IRR), and payback period (PBP). The research found that B/C ratio was more



than 1, B/C ratio is the first of factor that can be considered economic feasibility. Payback period was less than 1 year. NPV and Internal rate return (IRR) of Napier grass in acid soil were 95,991.95 bath and 117%, respectively. These factors showed that this project is worth to investment for methane production in household.

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักร่วมระหว่างหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเสื่อมโทรมและมูลสุกร การพิจารณาความเป็นไปได้นั้นแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ผลผลิตก๊าซมีเทน และความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ พื้นที่ดินเสื่อมโทรมในงานวิจัยนี้ สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ ดินเค็ม ดินเปรี้ยว และดินดาน อัตราส่วนหญ้าเนเปียร์ต่อมูลสุกร คือ 1:2 และควบคุมสภาวะให้เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซมีเทนโดยใช้ระบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed) จากการวิจัยพบว่าการผลิตก๊าซมีเทนจากหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเปรี้ยวมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยปริมาณมีเทนสะสมมากถึง 9 ลิตร ที่อัตราการผลิตมีเทนสูงสุด 9,280.80 มิลลิลิตร และอัตราเร็วสูงสุดในการผลิต คือ 872.20 มิลลิลิตร/ชั่วโมง ในส่วนหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเค็ม และดินดาน มีอัตราการผลิตสูงสุดคือ 2,936.57 และ 1,967.75 มิลลิลิตร อัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทนจากหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเค็ม และดินดาน คือ 767.45 และ 910.56 มิลลิลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับโครงการจะศึกษาอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C ratio) มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสม (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (PBP) จากงานวิจัยพบว่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนมีค่ามากกว่า 1 ซึ่ง B/C ratio เป็นปัจจัยแรกที่ต้องพิจารณา ระยะเวลาคืนทุนไม่ถึง 1 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสมของหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเปรี้ยวมีค่ามากที่สุด คือ 95,991.95 ค่าอัตราผลตอบแทนภายในมีค่าร้อยละ 117 แสดงให้เห็นว่าโครงการมีความ

คุ้มค่าและเหมาะสมสำหรับการนำมาปรับใช้ในการผลิตก๊าซมีเทนสำหรับครัวเรือนต่อไป

**คำสำคัญ:** การศึกษาความเป็นไปได้ การผลิตก๊าซมีเทน การหมักร่วม หญ้าเนเปียร์ ดินเสื่อมโทรม

## บทนำ

พลังงานทางเลือกสำหรับประเทศไทยในปัจจุบันถือเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก นอกจากจะหาพลังงานทางเลือกเพื่อทดแทนพลังงานฟอสซิลนั้นยังสามารถลดมลพิษสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี โดยพลังงานทางเลือกมีหลายประเภท ดังนี้ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำขนาดเล็ก เชื้อเพลิงชีวมวล และก๊าซชีวภาพ ซึ่งสำหรับประเทศไทยพลังงานที่น่าสนใจ คือ ก๊าซชีวภาพ โดยกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลายชนิด เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ของเหลือทิ้งทางการเกษตร พืชพลังงาน รวมถึงพืชทางเลือกสำหรับการผลิตพลังงานทดแทนอีกด้วย ซึ่งวัตถุดิบที่น่าสนใจในปัจจุบัน คือ หญ้าเนเปียร์ซึ่งมีองค์ประกอบเซลลูโลส ซึ่งเป็นแหล่งของสารอินทรีย์ที่มีความอุดมสมบูรณ์ (1) หญ้าเนเปียร์สามารถปลูกได้ในพื้นที่เสื่อมโทรม และยังสามารถนำไปใช้เป็นอาหารวัวได้อีกด้วย ดังนั้นจึงถือได้ว่าเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซมีเทน เพื่อใช้ในชุมชนห่างไกล (2) และลดความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงพลังงาน ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นโดยอาศัยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) โดยสารอินทรีย์ในระบบจะถูกย่อยสลายโดยกลุ่มจุลินทรีย์ ซึ่งมีทั้งแบคทีเรีย และอาร์เคีย (3)

ก๊าซที่ได้จะเป็นก๊าซผสมที่มีสัดส่วนต่างกันประกอบด้วย ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) 65% โดยปริมาตร ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) 30% โดยปริมาตร ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) 2% โดยปริมาตร และก๊าซอื่นๆ 3% โดยปริมาตร ซึ่งกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้น 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ปฏิกริยาอะซิโดจีนซิส (Acidogenesis) ปฏิกริยาสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis) และ ปฏิกริยาสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis) (4) ซึ่งในปฏิกริยาการสร้างกรดสามารถเกิดขึ้นโดยกลุ่มแบคทีเรียผลิตกรด และในปฏิกริยาการสร้างก๊าซมีเทนสามารถเกิดขึ้นโดยกลุ่มอาร์เคีย ซึ่งการผลิตก๊าซมีเทนนั้นสามารถใช้วิธีการหมักร่วม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนให้ดียิ่งขึ้น จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้วัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นชีวมวล เช่น ผักตบชวาสามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้ ซึ่งทีมนักวิจัย Njogu P. และคณะ (5) ได้ทำการศึกษาวิจัยการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวา ผลจากการวิจัยพบว่าสามารถผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ที่เป็นองค์ประกอบหลัก 49-53% และมีองค์ประกอบของก๊าซอื่นๆ ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้วัตถุดิบ คือ หนุ่เนเปียร์โดยเก็บเกี่ยวจากพื้นที่ดินเสื่อมโทรม ซึ่งมีข้อจำกัดคือมีองค์ประกอบชีวมวล คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในปริมาณน้อย ทำให้เป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะผลิตก๊าซชีวภาพให้มีคุณภาพดี จึงมีการหมักร่วมกับมูลสุกร โดยใช้อัตราส่วน 1:2 (6) อีกทั้งยังควบคุมสภาวะให้มีความเหมาะสมในการผลิตก๊าซมีเทน และในงานวิจัยนี้ยังมีการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตก๊าซมีเทนของโครงการวิจัยเพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจอีกด้วย

### วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักร่วมระหว่างหนุ่เนเปียร์ที่ปลูกในดินเสื่อมโทรมและมูลสุกร สามารถแบ่งได้

เป็น 2 ส่วน คือ 1) การผลิตก๊าซมีเทน และ 2) การคำนวณความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ

#### 1. การผลิตก๊าซมีเทน

การผลิตก๊าซมีเทนนั้นเริ่มจากการจัดเตรียมวัตถุดิบ คือหนุ่เนเปียร์ที่ปลูกในดินเสื่อมโทรม นำมาผ่านการปรับสภาพทางกายภาพให้มีขนาดเล็กกลง โดยการปรับสภาพทางกายภาพให้มีขนาดเล็กลงใช้วิธีการบดเพื่อลดขนาด ให้มีขนาดไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร เพื่อให้กลุ่มจุลินทรีย์ในระบบสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยก่อนการนำหนุ่เนเปียร์เข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพนั้น มีการวิเคราะห์องค์ประกอบชีวมวลคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยวิธีการสกัดด้วยสารละลาย Neutral detergent Acid Detergent และ Permanganate Lignin (7) และมูลสุกรที่ใช้ในงานวิจัยนำมาจากโรงฆ่าสัตว์ปทุมธานี โดยนำมาผ่านตะแกรงร่อน (Mesh) เพื่อกำจัดเศษสิ่งสกปรกที่เจือปนมา ก่อนนำเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ (Reactor) ขนาด 10 ลิตรสำหรับผลิตก๊าซมีเทนแบบกวนผสม (Completely Mixed) โดยเป็นระบบแบบแบช (Batch) ในระบบมีการควบคุมสภาวะ ดังนี้ ค่าพีเอช 6.5-7 อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid: TS) ของหนุ่เนเปียร์ 2% อัตราส่วนระหว่างหนุ่เนเปียร์และมูลสุกรคือ 1:2 ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ และอัตราการกวนผสม 100 รอบต่อนาที

เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการผลิตก๊าซมีเทนจากหนุ่เนเปียร์ในพื้นที่ดินเสื่อมโทรมแล้ว จึงนำเข้าสู่ขั้นตอนการเริ่มเดินระบบ โดยการเติมมูลสุกรและหนุ่เนเปียร์ ควบคุมสภาวะในระบบผลิตก๊าซมีเทน ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ในถังปฏิกรณ์เดียวกัน เพื่อลดความคาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์ ติดตามพารามิเตอร์ต่างๆ โดยเก็บตัวอย่างของเหลวและก๊าซมาวิเคราะห์ (8, 9) พารามิเตอร์แสดงดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ของเหลวและก๊าซ ที่มีผลต่อระบบผลิตก๊าซมีเทน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	pH Meter
กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid)	Gas chromatography
องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (%)	Gas chromatography
ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)	Gas counter

โดยพารามิเตอร์ทำการวิเคราะห์ทุก ๆ 3 วัน เมื่อได้ข้อมูลการผลิตก๊าซมีเทน จึงนำมาคำนวณค่าทางจลนศาสตร์การผลิตก๊าซมีเทน เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบ โดยใช้สมการ Modify Gompertz (10) ดังสมการที่ 1

$$H = H_{max} \times \exp \left\{ -\exp \left[ \frac{R_{max} e}{H_{max}} (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \quad (1)$$

โดยที่ H คือ ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม (ml) T คือ ระยะเวลาในการหมัก (hr)  $R_{max}$  คือ อัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (ml hr<sup>-1</sup>)  $H_{max}$  คือ ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด (ml)  $\lambda$  คือ ระยะเวลาแล็กเฟส (hr) และ e คือ ค่าคงที่ 2.7182818

**2. การคำนวณความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ (Economic Feasibility)**

ในการคำนวณความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการนั้น มีการคำนวณต้นทุนจาก 2 ส่วน คือ ต้นทุนที่เป็น Fixed cost และต้นทุนที่เป็น Variable cost โดย Fixed cost คือ อุปกรณ์ที่นำมาใช้งานสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ จะคำนวณจากถังพลาสติก และอุปกรณ์อื่นที่เกี่ยวข้อง 1 ชุด ราคา 3,500 บาท และ Variable cost คือค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเพื่อให้หญ้า เนเปียร์เจริญเติบโต 2,400 บาทต่อปี โดยการคำนวณจะแบ่งเป็น 4 ตัวชี้วัด ดังนี้

2.1 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost ratio หรือ B/C ratio) ในการคำนวณค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน ดังสมการที่ 2 มีเงื่อนไขดังนี้ (11)

ถ้า B/C ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่ากับที่ลงทุนไป

ถ้า B/C ratio มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่คุ้มกับเงินลงทุนที่เสียไป

$$B / C \text{ Ratio} = \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย}} \quad (2)$$

2.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ในการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิสามารถคำนวณได้ (11) ดังสมการที่ 3

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad (3)$$

2.3 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) ในการคำนวณอัตราผลตอบแทนจากโครงการ จะมีการคำนวณตั้งแต่ปีที่ 1-10 ตามอายุของอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ (11) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$IRR = i_L + (i_U + i_L) \times \frac{NPV_L}{NPV_L - NPV_U} \quad (4)$$

2.4 ระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PBP) ในการคิดค่าระยะเวลาคืนทุนนั้น คิดได้จากค่า NPV สะสม และ NPV ที่เปลี่ยนเป็นบวก (11) ดังสมการที่ 5

$$\text{Payback period} = \text{ปีที่ NPV เปลี่ยนเป็นบวก} + \frac{NPV \text{ สะสม}}{NPV \text{ ที่เปลี่ยนเป็นบวก}} \quad (5)$$

การคำนวณความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการนั้น ควรพิจารณาในส่วนอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนก่อนเป็นอันดับแรก เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับโครงการว่าควรมีการพิจารณาในการดำเนินการต่อหรือไม่ เมื่อมีการคำนวณอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน และได้ค่ามากกว่า 1 นั้น จึงเป็นข้อมูลยืนยันเบื้องต้นว่า โครงการนี้มีความเหมาะสมต่อการดำเนินการต่อไป

## ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักร่วมระหว่าง มูลสุกร และหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเสื่อมโทรม ทำการ ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ในถังปฏิกรณ์เดียวกัน เพื่อลดความ คาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์ ดินเสื่อมโทรมแบ่ง ได้เป็น 3 ประเภท คือ ดินเค็ม ดินเปรี้ยว และดินดาน ซึ่ง ดินเหล่านี้เป็นดินที่มีธาตุอาหารต่ำ ไม่เหมาะกับการปลูก พืช โดยผลการวิจัยแสดงดังนี้

1) ค่าพีเอช (pH) และกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid: VFA)

ในการผลิตก๊าซมีเทนจากหญ้าเนเปียร์ในพื้นที่ ดินเค็ม ดินเปรี้ยว และดินดานนั้น ระบบจะถูกควบคุม ค่าพีเอชให้เริ่มต้นที่พีเอช 7 เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพ มากที่สุด เมื่อเริ่มเดินระบบจนถึงสิ้นสุดพบว่าค่าพีเอช ของหญ้าเนเปียร์ในพื้นที่ดินเค็ม อยู่ในช่วง 6.12-6.79 ดินเปรี้ยว อยู่ในช่วง 6.6-7.9 และดินดาน อยู่ในช่วง 6.1- 7.1 ตามลำดับ ค่าพีเอชในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 6.5-7.8 หากค่าพีเอช ลดลงถึง 6.2 จะทำให้ประสิทธิภาพ ในระบบลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าพีเอชใน แต่ละชุดพบว่าค่าพีเอชของระบบผลิตก๊าซมีเทนจาก หญ้าเนเปียร์ในพื้นที่ดินเค็ม และดินดานลดลงต่ำกว่า 6.2 เนื่องจากมีการสะสมของกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งอาจ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนลดลง แต่ในส่วน ดินเปรี้ยว นั้นค่าพีเอชตั้งแต่เริ่มต้นกระทั่งจบการวิจัยนั้น ลดลงไม่ต่ำกว่า 6.5 จึงไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพ การผลิตก๊าซมีเทน

นอกจากนี้มีการพิจารณาร่วมกับปริมาณกรด ไขมันระเหยง่ายภายในระบบพบว่ากรดไขมันระเหยง่าย ของระบบผลิตก๊าซมีเทนจากหญ้าเนเปียร์ในดินเค็มและ ดินดานนั้นมีปริมาณน้อยมาก จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพ การผลิตก๊าซมีเทน เมื่อเทียบกับหญ้าเนเปียร์จากดิน เปรี้ยว มีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายอยู่ในช่วงที่กำหนด

คือ ในระบบควรมีค่าประมาณ 20-200 มิลลิกรัม กรด อะซิติกต่อลิตร (4) นอกจากนี้กลุ่มอาร์เคียต้องใช้กรด ไชมันระเหยง่าย เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก เป็นหลัก ในการสร้างก๊าซมีเทน เมื่อในระบบมีปริมาณกรดไขมัน ระเหยง่ายน้อยเกินไป จึงไม่เพียงพอต่อความต้องการของ กลุ่มอาร์เคีย แต่อย่างไรก็ตามระบบไม่ได้มีสถานะเป็น กรดจัด ดังนั้นจึงยังสามารถรักษาสมดุลไว้ได้ ไม่ส่งผลเสีย รุนแรงต่อแบคทีเรียและอาร์เคียในระบบ

2) การเปรียบเทียบการผลิตก๊าซมีเทนจากหญ้า เนเปียร์ที่ ปลูกในดินเปรี้ยว ดินเค็ม และดินดาน

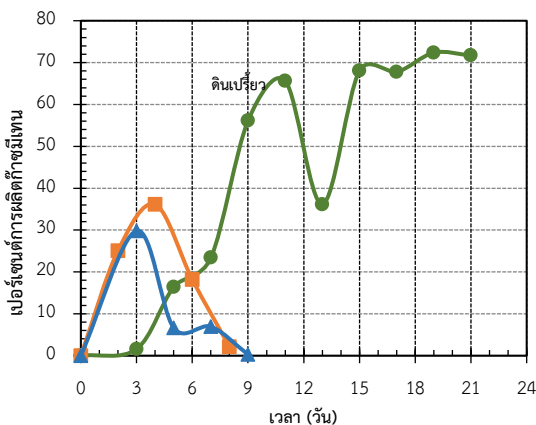
จากการทดสอบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซ ชีวภาพที่ปลูกในดินต่างชนิดกัน ซึ่งเป็นดินเสื่อมโทรม ทั้งสิ้น พบว่าสามารถนำหญ้าเนเปียร์มาผลิตก๊าซชีวภาพ ได้จากการปลูกในดินทั้งสามชนิด แต่ในการปลูกจากดิน แต่ละชนิดจะให้ผลการทดสอบการผลิตก๊าซชีวภาพที่ แตกต่างกัน เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีองค์ประกอบหลักเป็น ก๊าซมีเทน ดังนั้นจึงใช้ก๊าซมีเทนเป็นตัวหลักสำคัญในการ เปรียบเทียบ ดังตารางที่ 2 ซึ่งจากการพิจารณา ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ที่ปลูก ในดินทั้ง 3 ชนิด คือ ดินเปรี้ยว ดินเค็ม และดินดานนั้น พบว่า หญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเปรี้ยวมีประสิทธิภาพดี ที่สุด และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นอย่าง ชัดเจนว่าหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเปรี้ยวสามารถผลิต ก๊าซมีเทนได้ดีที่สุด เนื่องจากหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในพื้นที่ ดินเปรี้ยวมีปริมาณเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส มากที่สุด คือ เซลลูโลส 14.48% และ เฮมิเซลลูโลส 6.87% ตามลำดับ ซึ่งทั้งเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสนั้นเป็น สารอินทรีย์ให้สำหรับกลุ่มจุลินทรีย์ภายในระบบผลิตก๊าซ มีเทน ซึ่งเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสนั้นสามารถถูกย่อย สลายให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในขั้นตอน ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะ ซิดิก กรดไขมันสายสั้น แอลกอฮอล์ และ  $\text{CO}_2 + \text{H}_2$  (12) ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนโดยกลุ่ม แบคทีเรียผลิตมีเทน (Methanogen) ซึ่งจัดอยู่ใน

แบคทีเรียกลุ่มอาร์เคีย ดังนั้นประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซมีเทนนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่เติมเข้าไปในระบบ รวมถึงอัตราส่วนในการหมักร่วม ถือเป็นปัจจัยสนับสนุน

ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน นอกเหนือจากสภาวะภายในระบบการผลิตก๊าซมีเทน

**ตารางที่ 2** การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากหญ้าเนเปียร์จากดินเค็ม ดินเปรี้ยว และดินดาน

พารามิเตอร์	หญ้าเนเปียร์ที่ปลูก		
	ในดินเปรี้ยว	ดินเค็ม	ในดินดาน
เปอร์เซ็นต์การเกิดก๊าซมีเทน (%CH <sub>4</sub> )	71%	36.11%	29.8%
ปริมาณก๊าซรวมสะสม (liter)	20	13	11.1
ปริมาณมีเทนสะสม (Cumulative methane: liter)	9	2.89	1.99
อัตราการผลิตมีเทนสูงสุด (H <sub>max</sub> : ml)	9,280.80	2,936.57	1,967.75
อัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน (R <sub>max</sub> : ml hr <sup>-1</sup> )	872.20	767.45	910.56



**รูปที่ 1** การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนจากการหมักร่วมของหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเค็ม ดินเปรี้ยว และดินดาน

นอกจากนี้ อัตราการผลิตก๊าซมีเทนยังขึ้นอยู่กับกิจกรรมของกลุ่มจุลินทรีย์ในระบบ เนื่องจากกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนเป็นแบบกะ (Batch) ดังนั้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ในระบบจึงสามารถพิจารณาตามระยะของการเจริญ (Phases of Growth) โดยจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ lag phase เป็นระยะที่ยังไม่มีการเพิ่มจำนวนเซลล์ นั่นคือไม่มีการเจริญเติบโต แต่เป็นช่วงระยะเวลาการปรับตัว เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการเข้าสู่ logarithmic phase ซึ่งเป็นระยะที่มีการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว โดยในระยะนี้เป็นระยะที่ต้องการ

สารอินทรีย์ในการเจริญเติบโตมากที่สุด อีกทั้งจุลินทรีย์จะมีกิจกรรมทางเมตาบอลิซึมมากที่สุด ดังนั้นถือว่าเป็นช่วงที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม และสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้มากที่สุดอีกด้วย เมื่อจุลินทรีย์ในระบบเข้าสู่สภาวะ stationary phase จะส่งผลให้เกิดก๊าซมีเทนเข้าสู่สภาวะคงที่ เนื่องจากสารอินทรีย์ในระบบถูกใช้ไปจนมีปริมาณลดลง นอกจากนี้อัตราการเกิดและอัตราการตายของจุลินทรีย์ยังมีอัตราเท่ากัน และในระยะสุดท้าย death phase เป็นระยะที่อัตราการตายมากกว่าอัตราการเกิด ส่งผลให้ก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ลดลง ดังนั้นการเดินระบบแบบกะ (Batch) ทำให้ได้ข้อมูลระยะเวลาที่จะนำไปสู่การเดินระบบแบบต่อเนื่อง มีระยะเวลาที่เหมาะสมในการเติมสารอินทรีย์เพื่อให้เกิดก๊าซมีเทนอย่างต่อเนื่อง (13)

### 3) การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ (Economic Feasibility)

ในการผลิตก๊าซมีเทนจากหญ้าเนเปียร์จากพื้นที่ดินเสื่อมโทรมทั้ง 3 ชนิด คือ ดินเปรี้ยว ดินเค็ม และดินดานนั้น สามารถนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาทดแทนก๊าซหุงต้ม และนำไปใช้ในครัวเรือนได้ นำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายในการซื้อก๊าซหุงต้ม อีกทั้งยังเป็นแนวทางสำหรับการนำไปสู่การนำก๊าซมีเทนที่ได้จากหญ้าเนเปียร์

ไปสู่การผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับพื้นที่ที่มีศักยภาพในการปลูกหญ้า เนเปียร์ได้อีกด้วย ซึ่งในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการนั้น จะคิดในกรณีทดแทนก๊าซหุงต้ม โดยก๊าซมีเทน 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถทดแทนก๊าซหุงต้มได้ 0.46 กิโลกรัม และจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยการ

วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนของโครงการนั้นสามารถวิเคราะห์ได้โดยมีพารามิเตอร์ ดังนี้ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ระยะเวลาคืนทุน (PBP) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

พารามิเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์	หญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเปรี้ยว	หญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเค็ม	หญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินดาน
อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio)	9.03	5.87	5.01
NPV สะสม	95,991.95	57,821.99	47,417.56
ระยะเวลาคืนทุน (PBP)	0.24 ปี	0.43 ปี	0.50 ปี
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	ร้อยละ 117	ร้อยละ 105	ร้อยละ 94

จากตารางพบว่าการผลิตก๊าซมีเทนจากหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเปรี้ยว มีความคุ้มค่าเศรษฐศาสตร์มากที่สุด เมื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์แรก คือ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน มีค่าสูงถึง 9.03 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ 2 แหล่ง พบว่ามีค่าน้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนยังมีค่ามากกว่า 1 เมื่อนำมาพิจารณาถึงถือว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุนพิจารณาในส่วนระยะเวลาคืนทุนจากการผลิตก๊าซมีเทนจากทั้ง 3 พื้นที่ พบว่าระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 1 ปี ถือเป็นระยะเวลาสั้น คืนทุนเร็ว ดังนั้นจากข้อมูลประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าการผลิตก๊าซมีเทนจากหญ้า เนเปียร์ที่ปลูกในดินเสื่อมโทรมนั้นมีความคุ้มค่าและเหมาะสมกับการลงทุนเพื่อทดแทนก๊าซหุงต้มในชุมชน

จากงานวิจัยในการผลิตก๊าซมีเทนจากหญ้าเนเปียร์จากพื้นที่ดินเสื่อมโทรมทั้ง 3 ชนิด คือ ดินเปรี้ยว ดินเค็ม และดินดานนั้น มีศักยภาพที่แตกต่างกันไป ซึ่งการผลิตก๊าซมีเทนนั้นจะมีศักยภาพแตกต่างกันไปเช่นเดียวกัน เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ ปริมาณ

สารอาหาร ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ทั้งยังรวมถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ภายในระบบอีกด้วย (14) จึงทำให้การหมักร่วมระหว่างหญ้าเนเปียร์ และมูลสุกรสำหรับการวิจัยนี้มีการกำหนดอัตราส่วน 1:2 อ้างอิงจากงานวิจัยก่อนหน้า (6) เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยจากผลการวิจัยพบว่า การนำหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเปรี้ยวมาผลิตก๊าซมีเทน ถือได้ว่ามีศักยภาพและเหมาะสมที่สุด เนื่องจากเมื่อพิจารณาถึงค่าเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ของหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเปรี้ยวพบว่ามีค่ามากที่สุด ดังนั้นจึงควรมีนโยบายการสนับสนุนส่งเสริมการปลูกหญ้าเนเปียร์ ในพื้นที่ชุมชนห่างไกล หรือต่างจังหวัด เนื่องจากเป็นหญ้าที่สามารถเป็นอาหารวัวปลูกและดูแลรักษาง่าย อีกทั้งยังมีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน เพื่อใช้ในการทดแทนก๊าซหุงต้ม และผลิตกระแสไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่สนับสนุนทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2562 และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการเฉพาะทางสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่อำนวยความสะดวกทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

### เอกสารอ้างอิง

- Chen H. Biotechnology of lignocellulose: Theory and Practice. 1st ed. Netherlands: Springer Netherlands; 2014.
- วันสพรศรี สวัสดิ์, นิพนธ์ พิสุทธิไพศาล. การทดสอบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ที่ปลูกในดินเค็ม ดินเปรี้ยว และดินดาน. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.); 2562. วช.04\_2562.
- กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา. จุลชีววิทยาสำหรับนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2561.
- สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์. ระบบบำบัดน้ำเสีย Wastewater Treatment System. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด; 2557.
- Njogu P, Kinyua R, Muthoni P, Nemoto Y. Biogas production using water hyacinth (*Eichhornia Crassipes*) for electricity generation in Kenya. EPE Journal. 2015;7:209-16.
- พาริตา พรหมมา, ดุชนิ ธนะบริพัทธ์, ปราโมทย์ ศิริโรจน์. การผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ 3 สายพันธุ์. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง. 2557;23(2):30-50.
- Mansor AM, Lim JS, Ani FN, Hashim H, Ho WS. Characteristics of Cellulose, Hemicellulose and Lignin of MD2 Pineapple Biomass. CET Journal. 2019;72:79-84.
- Sawasdee V, Pisutpaisal N. Economic Feasible Evaluation of Biogas Production from Napier Grass. Res J Biotech. 2015;10(3):94-8.
- Sawasdee V, Haosagul S, Pisutpaisal N. Co-digestion of waste glycerol and glucose to enhance biogas production. Int J Hydrog Energy. 2019;44(56):29575-82.
- Tjørve KMC, Tjørve E. The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards family. PLOS one. 2017;12(6):1-17.
- เยาวเรศ ทับพันธุ์. การประเมินโครงการตามแนวทางเศรษฐศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2551.
- อลิศรา เรืองแสง. เชื้อเพลิงชีวภาพและชีวเคมีภัณฑ์ โดยจุลินทรีย์. พิมพ์ครั้งที่ 1. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2562.
- สาวิตรี วัญญูไพศาล. จุลชีววิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2552.
- Nuansawan N, Sawasdee V. Biochemical Methane Potential from Leachate, Case study Sainoi, Nonthaburi Province. J Ind Tech. 2018;14(3):82-92.



## การวิเคราะห์แนวโน้มงานตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืนในประเทศไทย

### Trend of Gunshot Residue Examination in Thailand

เชษฐสุดา จิตต์การุณย์ และ วรวัช วิชชวานิชย์\*

Chetsuda Jithkaroon and Woratouch Vichuwanich\*

คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ อ.สามพราน จ.นครปฐม 73110

Faculty of Forensic Science, Royal Police Cadet Academy, Samphran, Nakhonpathom 73100, THAILAND

\*Corresponding author e-mail: chetsuda.jithkaroon@gmail.com

#### ARTICLE INFO

#### ABSTRACT

Article history:

Received: 5 June, 2020

Revised: 24 June, 2020

Accepted: 11 August, 2020

Available online: 8 February, 2021

DOI: 10.14456/rj-rmutt.2021.2

*Keywords:* gunshot residue, analysis, research trend

The objective of this research is trend analysis of gunshot residue examination in Thailand by referring to the comparison between the result of expert interview and both Thai and American research in the recent five years (2015 – 2019), All research is public for all access. All experts belong to police officers of Firearms and Ammunition Sub – Division of Central Police Forensic Science Division, Central. The questionnaire result showed that all 8 experts are graduated with bachelor's and higher bachelor degree. They have more than 5 years in Ballistic forensics experience. The interview is included activity details of gunshot residue analysis such as Type of gun, testing method and the material sample. The problem in their work, Applied the research in working and also the interesting study topic. The result of trends analysis of gunshot residue examination was shown in 3 categories 1. Trends of gunshot residue examination for practice 1.1. Strengthen the relationship between the related organization 1.2. Continually sourcing innovation of weapon information which could contribute to the characteristic of gunshot residue 1.3. organize document 2. Trends of gunshot residue examination for organization 2.1 Support officer in terms of training 2.2 Scholarship or observation study abroad 2.3. Increasing budget for



scientific equipment for the provincial part 3. Trend of gunshot residue examination for the researchers shows by the interest topics, 1.) Interested topic and relate to recent research. 2.) Interested topic and new research. 3.) Interesting topic and could reference by American research, which could direct the future study and the result of this research would be an advantage to the near future.

## บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา เพื่อศึกษา การตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืนในประเทศไทย รวมถึงความคิดเห็นผู้ตรวจวิเคราะห์ เพื่อทราบแนวโน้มการตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืนของประเทศไทยในอนาคต โดยอาศัยผลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานตำรวจแห่งชาติ และวิเคราะห์ความสอดคล้องกับงานวิจัยย้อนหลัง 5 ปี เพื่อทราบถึง (พ.ศ. 2558 -2562) เพื่อทราบแนวโน้มการตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืน ผลของการวิเคราะห์แนวโน้ม แบ่งออกเป็น 3 หัวข้อได้แก่ 1. แนวโน้มการวิเคราะห์เขม่าดินปืนสำหรับผู้ปฏิบัติงาน 1.1 เพิ่มความสัมพันธ์ระหว่างผู้ปฏิบัติงานและเจ้าหน้าที่หน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง 1.2 ส่งเสริมการสืบค้นข้อมูลนวัตกรรมของอาวุธปืนที่อาจส่งผลกระทบต่อลักษณะเขม่าดินปืน 1.3 จัดทำทะเบียนเอกสาร เพื่อรวบรวมเอกสาร 2. แนวโน้มการวิเคราะห์เขม่าดินปืนสำหรับองค์กร 2.1 สนับสนุนให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับการฝึกอบรม อย่างเท่าเทียมและต่อเนื่อง จัดการอบรม 2.2 สนับสนุนทุนการศึกษา และการศึกษาดูงานต่างประเทศ 2.3 เพิ่มงบประมาณด้านเครื่องมือวิทยาศาสตร์ 3. แนวโน้มการวิเคราะห์เขม่าดินปืนสำหรับผู้วิจัยซึ่งแจกแจงตามหัวข้อวิจัยดังนี้ 1.) หัวข้อที่ตอบสนองต่อหัวข้อที่ผู้เชี่ยวชาญสนใจและสอดคล้องกับงานวิจัยของไทยและจำเป็นต้องพัฒนาต่อไป 2.) หัวข้อที่ตอบสนองต่อหัวข้อที่ผู้เชี่ยวชาญสนใจแต่ยังไม่พบในงานวิจัยไทย 3.) หัวข้อที่พบในงานวิจัยสหรัฐอเมริกาและยังไม่พบในงานวิจัยไทย ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจทำวิจัยด้านงานตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืนในอนาคต

**คำสำคัญ:** เขม่าปืน วิเคราะห์ แนวโน้ม

## บทนำ

ปัจจุบันปัญหาเกี่ยวกับอาวุธปืนมีจำนวนมากขึ้น อ้างอิงจากการประเมินของ GunPolicy.org เว็บไซต์ที่ดำเนินการโดยคณะสาธารณสุขของมหาวิทยาลัยซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย ซึ่งประเมิน ณ ปี 2558 จำนวนปืนที่ถูกกฎหมายและผิดกฎหมายที่พลเรือนไทยครอบครองมีประมาณ 10 ล้านกระบอก นำมาสู่การก่อคดีที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืนในจำนวนที่มากขึ้นในทุก ๆ ปี เช่นกัน โดยอ้างอิงข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติเกี่ยวกับคดีรับแจ้งอาชญากรรมที่วราชาอาณาจักรพบว่าเป็นปี พ.ศ.2550 ถึง พ.ศ. 2559 มีคดีที่เกี่ยวข้องกับชีวิตร่างกายและเพศมีจำนวนมากกว่า สองหมื่นคดีในแต่ละปี หมายรวมคดีฆ่าผู้อื่นโดยเจตนา ปล้นทรัพย์ ชิงทรัพย์ ลักพาเรียกค่าไถ่ (1) ซึ่งปืนคือหนึ่งในอาวุธสำคัญที่ใช้ก่อคดี อย่างไรก็ตามคดีเหล่านี้สามารถตรวจพยานหลักฐานที่เกิดขึ้นหลังก่อเหตุได้ทั้งเพื่อพิสูจน์ความผิดและยืนยันความบริสุทธิ์ในหลายคดี ซึ่งล้วนแล้วแต่ต้องใช้พยานหลักฐานที่พบในที่เกิดเหตุ เช่น ปลอกกระสุน ลักษณะบาดแผล และ เขม่าดินปืนซึ่งนับเป็นอีกหนึ่งหลักฐานที่ประกอบในหลาย ๆ คดี ตัวอย่างคดีเช่น คดีที่คนร้ายยิง นายสุวัฒน์ ผลอุดม สมาชิกองค์การบริหารส่วนจังหวัดราชบุรี (ส.อบจ.) เขต 5 เสียชีวิตที่ร้านจำหน่ายของฝาก จ.เพชรบุรี และจับกุมนายสวรัช ชะนิ่ม สมาชิกสภาเทศบาลตำบลบ้านสิงห์ อ.โพธาราม จ.ราชบุรี ได้ในระหว่างช่วงเกิดเหตุ เนื่องจากใช้รถคล้ายคลึงกับผู้ก่อเหตุและมีพฤติกรรมต้องสงสัย หลบหนีการตรวจสอบ

ของเจ้าหน้าที่ด่านสกัด สภ.บ้านลาด ในช่วงระยะเวลาใกล้เคียงเกิดเหตุ แต่เมื่อนำตัวมาตรวจสอบรอยเขม่าดินปืนบนร่างกายไม่พบรอยเขม่าดินปืน ประกอบกับหลักฐานอื่นจึงเชื่อได้ว่านายาสหรัชเป็นผู้บริสุทธิ์ (2)

จะเห็นได้ว่าเขม่าดินปืนเป็นอีกหนึ่งพยานวัตถุที่มีความสำคัญต่อการสืบสวนสอบสวนและใช้เป็นหนึ่งในเครื่องมือพิสูจน์ความผิดในคดีความบนชั้นศาลได้ อย่างไรก็ตามขั้นตอนการตรวจสอบเขม่าดินปืนโดยตรวจหาส่วนประกอบหลักเพียงอย่างเดียวอาจทำให้ผลมีความคลาดเคลื่อนได้ จึงนำมาสู่ขั้นตอนที่เป็นมาตรฐานและเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบที่จำเป็นต้องมีความแม่นยำ รวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่าย และเชื่อถือได้ เพื่อเพิ่มน้ำหนักให้แก่พยานหลักฐานบนชั้นศาลที่น่าเชื่อมั่นมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถลดโอกาสการเกิดผลผิดพลาดได้อีกด้วย

ถึงแม้ว่าปัจจุบันปัญหาที่เกิดขึ้นจากเขม่าดินปืนมีไม่มาก แต่ในอนาคตอันใกล้แนวโน้มปัญหานี้มีให้พบเห็นมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากเทคโนโลยีมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วทำให้อาวุธและกระสุนปืนมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และแนวโน้มการพัฒนาวัตถุกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืนและเครื่องกระสุนอาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืนในอนาคต ดังนั้น การศึกษาแนวโน้มการตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืนจึงมีความสำคัญ เพื่อให้เกิดการปรับปรุงแนวทางการตรวจวิเคราะห์ให้ทันสมัยและทันทั่วทั้ง อีกทั้งส่งผลต่อความสงบสุขเรียบร้อยของประชาชนในภายภาคหน้าโดยปัจจุบันหลักการวิเคราะห์เขม่าดินปืนทางกองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ใช้การวิเคราะห์ด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) และ เครื่อง Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS) (3)

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่กลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุนกองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานตำรวจแห่งชาติโดยสัมภาษณ์ และวิเคราะห์ความสอดคล้องกับงานวิจัยย้อนที่มีในห้วงเวลา 5 ปี ย้อนหลัง (พ.ศ.2558 - 2562) พร้อม

ทั้งเสนอแนวโน้มการตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืนที่ควรมีการพัฒนาต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มพูนศักยภาพและยกระดับความสามารถอย่างมีประสิทธิภาพ

### วัตถุประสงค์ในการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาการตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืนในประเทศไทย

2.2 เพื่อศึกษาความคิดเห็นผู้ตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืนในประเทศไทย

2.3 เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มการตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืนในอนาคตของประเทศ

### คำถามในงานวิจัย

การตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืนในประเทศไทยควรจะมีแนวโน้มเป็นอย่างไร

### วิธีดำเนินการวิจัย

- รวบรวมงานวิจัยและบทความทางการศึกษาในประเทศไทยและสหรัฐอเมริกา

- ออกแบบบทสัมภาษณ์และแบบสอบถาม

- สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ

- วิเคราะห์บทสัมภาษณ์เป็นเชิงสถิติและจัดทำแผนภาพเปรียบเทียบ

### กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัย/ กลุ่มเป้าหมายในการวิจัย

- ผู้เชี่ยวชาญด้านอาวุธปืนและงานตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานตำรวจแห่งชาติ

### การเก็บรวบรวมข้อมูล/ ข้อมูลในการทดลอง

- รวบรวมงานวิจัย บทความทางการศึกษา ระดับมหาวิทยาลัยในประเทศไทย จัดหมวดหมู่และวิเคราะห์เนื้อหา

- รวบรวมข้อมูลและความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย/ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

สร้างบทสัมภาษณ์ (ภาคผนวก) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยดำเนินการ ดังนี้

- ศึกษาเอกสาร ทฤษฎี หลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- ศึกษาวิธีสร้างบทสัมภาษณ์เชิงโครงสร้างให้ครอบคลุมเนื้อหา โดยผู้วิจัยได้อำนาจการทำบทสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้างแบ่งเป็นทั้งหมด 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลด้านสถานภาพส่วนบุคคล

ตอนที่ 2 ข้อมูลการปฏิบัติงานเกี่ยวกับเขม่าดินปืนของกลุ่มงานตรวจพิสูจน์

ตอนที่ 3 ความเห็นต่องานตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืนและงานวิจัยเกี่ยวกับเขม่าดินปืน

- นำบทสัมภาษณ์เสนออาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญเพื่อตรวจสอบความครบถ้วนของเนื้อหาและภาษาที่ใช้ ผู้วิจัยนำมาปรับปรุง

#### การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์บทสัมภาษณ์ในแต่ละตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 วิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้สถิติร้อยละ

ตอนที่ 2 และ 3 วิเคราะห์บทสัมภาษณ์ โดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis)

### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 ข้อมูลด้านสถานภาพส่วนบุคคล

ผู้เชี่ยวชาญด้านอาวุธปืนและงานตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง จำนวนทั้งสิ้น 8 ท่าน คิดเป็น เพศชาย 2 ท่าน (ร้อยละ 25) และ เพศหญิง 6 ท่าน (ร้อยละ 75) ระดับการศึกษาในระดับปริญญาตรี คิดเป็น ร้อยละ 50 และ สูงกว่าปริญญาตรีคิดเป็นร้อยละ 50 โดยทั้งหมดมีช่วงอายุอยู่ระหว่าง 30-55 ปี และเป็นผู้เชี่ยวชาญกลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง และมีประสบการณ์มากกว่า 5 ปีทั้งสิ้น

ตอนที่ 2 ข้อมูลด้านการตรวจวิเคราะห์ของกลุ่มงาน

ผู้ปฏิบัติงานในกลุ่มงานตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง โดยตลอด

ระยะเวลาที่ปฏิบัติหน้าที่ในหน่วยงานมีสถิติการตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืนในหัวข้อต่าง ๆ โดยผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลและสรุปข้อมูล เป็นหัวข้อ ดังนี้

#### 2.1 อาวุธปืน

ประเภทปืนสั้นและปืนประกอบเองถูกส่งตรวจมากที่สุด รองลงมาคือปืนยาวที่มีการพบอยู่ และปืนกลพบน้อยสุดหรือไม่พบเลย ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า อาวุธปืนที่เกี่ยวข้องในคดีนั้น ส่วนมากเป็นปืนสั้น ซึ่งประชาชนสามารถถือครองได้ อีกทั้งเป็นเครื่องมือที่สะดวกต่อการพกพา ซึ่งสอดคล้องกับปัญหาเกี่ยวกับอาวุธปืนที่มีจำนวนมากขึ้น จากการประเมินของ GunPolicy.org เว็บไซต์ที่ดำเนินการโดยคณะสาธารณสุขของมหาวิทยาลัยซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย ซึ่งประเมิน ณ ปี 2558 จำนวนปืนที่ถูกกฎหมายและผิดกฎหมายที่พลเรือนไทยครอบครอง มีประมาณ 10 ล้านกระบอก (4)

#### 2.2 วิเคราะห์

Inductively Coupled Plasma (ICP/MS) และ Color Test มีการพบอยู่ในระดับพบมากที่สุด เนื่องจากปัจจุบัน กลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานตำรวจแห่งชาติ มีการใช้เครื่องมือวิเคราะห์เขม่าดินปืน 2 วิธีโดยแบ่งตามวัตถุประสงค์ที่ส่งตรวจ หากเป็นวัตถุพยานที่เก็บมาจากฝ่ามือ จะดำเนินการตรวจด้วยวิธีวิเคราะห์ ICP/MS เพื่อหาธาตุองค์ประกอบหลัก คือ Ba Pb และ Sb แต่หากเป็นวัสดุอื่น ๆ จะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Color Test เพื่อหาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่ปรากฏ และสำหรับส่วนภูมิภาคจะใช้วิธีวิเคราะห์ด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) แทนวิธีวิเคราะห์ ICP/MS

การที่ปัจจุบันกลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ยังคงใช้วิธีวิเคราะห์ ICP/MS เพื่อหาธาตุองค์ประกอบหลัก คือ Ba Pb และ Sb จากการวิเคราะห์เพียงครั้งเดียว โดยข้อดีของวิธีวิเคราะห์ ICP/MS คือ สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีความซับซ้อนทางเคมี ให้ผลเชิงคุณภาพและปริมาณของธาตุโลหะและอโลหะ โดยใช้

ตัวอย่างน้อยมากระดับไมโครกรัมต่อลิตร ได้อย่างรวดเร็ว และมีความไวสูง สอดคล้องกับงานวิจัยที่ระบุว่าใช้เทคนิค ICP-MS สามารถที่วิเคราะห์ให้ผลรวดเร็วและวิเคราะห์ได้หลายธาตุในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ ICP-MS สามารถควบคุมสิ่งรบกวนอื่น

จากการค้นคว้าพบว่าในประเทศสหรัฐอเมริกา มีการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ Scanning Electron Microscopy/ Energy Dispersive X-Ray Spectrometry (5) โดยวิเคราะห์นี้เป็นการวิเคราะห์หาเขม่าดินปืนทั้งเชิงปริมาณ เชิงคุณภาพ และสามารถดูการกระจายตัวได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบกลับได้ นอกจากนี้วิธีดังกล่าวยังถูกกำหนดในมาตรฐานการวิเคราะห์ชื่อว่า ASTM E1588-10: Standard Guide for Gunshot Residue Analysis by Scanning Electron Microscopy/ Energy Dispersive X-Ray Spectrometry อีกด้วย (6) แต่หากเป็นวัสดุอื่น ๆ จะใช้วิเคราะห์ด้วยวิธี Color test เพื่อหาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ เนื่องจากสามารถระบุได้อย่างรวดเร็ว วิธีตรวจสอบการพบสารประกอบประเภทไนไตรท์ ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของดินปืน ไม่ว่าจะชนิดใดก็ตามหรืออาจเป็นหนึ่งในส่วนประกอบของกระสุนปืน โดยหากผลเป็นบวกจะเปลี่ยนสีเป็นสีชมพูเข้ม (7) อย่างไรก็ตามผลวิเคราะห์มีโอกาสที่อาจเป็นผลบวกหลงได้ แต่ด้วยกระบวนการพิสูจน์หาปริมาณไนเตรทไนไตรท์นั้น เป็นเพียงการนำผลเบื้องต้นนี้ประกอบการเขียนรายงานเท่านั้น

ซึ่งจากงานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในเขม่าดินปืนที่ติดบนมือและปลอกกระสุนปืน โดยเทคนิค ไอออนโครมาโทกราฟีในการตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืนเพื่อหาปริมาณไนไตรท์ ( $\text{NO}^{2-}$ ) และไนเตรท ( $\text{NO}^{3-}$ ) (8) และ การวิเคราะห์ปริมาณปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนด้วย วิธีการสเปกโตรโฟโตเมตรี (9) อย่างไรก็ตามวิธีวิเคราะห์เหล่านี้ก็เป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่สามารถตรวจวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ และไนเตรท ในเขม่าได้

### 2.3 วัสดุเป้าหมายที่ใช้ตรวจสอบ

วัสดุที่รับตรวจมากที่สุดมีผู้ยิง (หลังมือ- ฝ่ามือ) และอาวุธปืนถูกใช้เป็นประจำคือ เครื่องแต่งกาย ยานพาหนะและปลอกกระสุนซึ่งรับตรวจปานกลาง จะเห็นว่ามีความสอดคล้องกับผลในหัวข้อวิธีวิเคราะห์

2.4 ระยะเวลาของวัตถุพยานที่สามารถใช้ในการตรวจพิสูจน์

คำตอบของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 ท่านเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยสอดคล้องตามข้อปฏิบัติต่อวัตถุพยานที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืน ดังต่อไปนี้

1. มือผู้ต้องสงสัย ต้องเก็บตัวอย่างเขม่า ภายใน 6 ชั่วโมง นับแต่มีการยิงปืน

2. มือศพ ต้องเก็บตัวอย่างเขม่า ภายใน 24 ชั่วโมง นับแต่มีการยิงปืน โดยให้ใช้ถุงพลาสติกสวมมือศพไว้จนกว่าจะเก็บเขม่าปืน

3. เครื่องแต่งกาย ยานพาหนะ และอาวุธปืนไม่จำกัดเวลา โดยเป็นผลการสัมภาษณ์ของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 ท่าน ที่สอดคล้องตามข้อปฏิบัติต่อวัตถุพยานที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืน โดยเฉพาะประเด็นระยะเวลาที่ตรวจมือผู้มีชีวิต ต้องเก็บตัวอย่างเขม่า ภายใน 6 ชั่วโมง นับแต่มีการยิงปืนและพบว่ามี ความสอดคล้องกับ ผลงานวิจัยเรื่อง การศึกษาระยะเวลาการคงอยู่ของปริมาณเขม่าปืนภายหลังการยิงปืน 9 มม. บนหลังมือและฝ่ามือจำแนกตามช่วงเวลาหลังยิงปืนและ ลูกกระสุนปืน (10) โดยเก็บเขม่าปืนบนหลังมือขวา ฝ่ามือขวา หลังมือซ้ายและฝ่ามือซ้ายของกลุ่ม ตัวอย่างหลังจากยิงปืนที่ช่วงเวลาต่างกัน คือ หลังยิงปืน 6 8 และ 10 ชั่วโมง หลังยิงปืน เมื่อเวลาเก็บเขม่าปืนที่มือภายหลังการยิงปืนนานกว่า 6 ชั่วโมง ไม่สามารถยืนยันได้ว่ากลุ่มตัวอย่างเกี่ยวข้องกับการยิงปืนซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าการปฏิบัติหน้าที่ของตำรวจกองพิสูจน์หลักฐานในการตรวจเขม่าปืนที่ยึดถือปฏิบัติมาว่าไม่สามารถ ตรวจหรือยืนยันการยิงปืนได้เมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 6 ชั่วโมง ได้ โดยมีเกณฑ์การแปรผลการวิเคราะห์ ปริมาณธาตุแอนติโมนีตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์มาตรฐานของกองพิษจันท์หลักฐานตำรวจ (10)

วิเคราะห์ปริมาณธาตุแอนติโมนี		
หลังมือ	ฝ่ามือ	การแปรผล
ตั้งแต่ 20 ppb ขึ้นไป	ไม่ต้องพิจารณา	ตรวจพบธาตุ Antimony และ Barium ที่มีมือของ...ในปริมาณที่เชื่อได้ว่า...เกี่ยวข้องกับการยิงปืน
ตั้งแต่ 20 ppb ขึ้นไป	ไม่ต้องพิจารณา	ตรวจพบธาตุ Antimony ที่มีมือของ...ในปริมาณที่สันนิษฐานได้ว่า...เกี่ยวข้องกับการยิงปืน (Barium น้อยกว่า 200 ppb)
ตั้งแต่ 10 – น้อยกว่า 20 ppb	ไม่ต้องพิจารณา	ตรวจพบธาตุ Antimony ที่มีมือของ...ในปริมาณที่ไม่อาจยืนยันได้ว่า...เกี่ยวข้องกับการยิงปืนหรือไม่
น้อยกว่า 10 ppb	ตั้งแต่ 20 ppb ขึ้นไป	
น้อยกว่า 10 ppb	น้อยกว่า 20 ppb	ตรวจไม่พบธาตุสำคัญที่มาจากกรยิงปืนที่มีมือของ...

\*เกณฑ์มาตรฐาน Sb ตั้งแต่ 20 ppb, Ba ตั้งแต่ 200 ppb, Pb ตั้งแต่ 300 ppb

ทั้งนี้งานวิจัยเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขม่าปืนในโพรงจมูกผู้ยิงปืนก็ระยะเวลาภายหลังการยิงที่วิเคราะห์ โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) (11) ยืนยันผลการตรวจเขม่าปืนที่ฝ่ามือ พบว่า เขม่าปืนจะลดลงอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมงหลังการยิงปืนและจะมีอัตราลดลงที่ ภายหลังการยิงปืน 5-8 ชั่วโมง ซึ่ง สามารถตรวจพบธาตุครบทั้ง 3 ชนิดได้ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมงหลังการยิงทั้งนี้การเก็บคราบเขม่าปืนที่ฝ่ามืออาจมีค่าที่แตกต่างขึ้นกับกิจกรรมของผู้ยิงแต่ละบุคคล (11)

2.5 ข้อปฏิบัติด้านระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจพิษจันท์

1. ICP/MS ระยะเวลาดำเนินการประมาณ 1 - 2 วัน หากรวมระยะเวลาจนถึงออกรายงานจะใช้ระยะเวลาประมาณ 7 วันทำการ ยกเว้นกรณีเร่งด่วน ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 3 วันทำการ

2. Scanning Electron Microscope/ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDS) ระยะเวลาดำเนินการประมาณ 2 ชั่วโมง

3. Color test 1 วัน

2.6 ข้อจำกัดอื่น ๆ ตามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

การดำเนินการเก็บตัวอย่างส่งตรวจนิติวิธี ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อน ซึ่งผู้เชี่ยวชาญมีการเน้นย้ำเรื่องนี้ ก่อนทำการเก็บเขม่าปืนที่มีมือ ห้ามพิมพ์ลายนิ้วมือ ทำความสะอาด หรือล้างมือของผู้ที่จะถูกเก็บเขม่าปืนที่มีมือ กรณีศพให้ใช้ถุงพลาสติกสวมมือศพไว้จนกว่าจะเก็บเขม่าปืน เป็นต้น ดังคำกล่าวของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1 ที่ว่า “... วัตถุประสงค์ที่จัดส่งมา หากมีการปนเปื้อนของเลือด จะส่งผลต่อการวิเคราะห์ color test ได้...”

ดังคำกล่าวของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 8 ที่ว่า “...1. กรณีที่มีมือ ทำการเก็บเขม่าที่มีมือนิติวิธี 2. เก็บมาจากอาวุธปืนที่ไม่สามารถตรวจด้วย ICP หรือ AAS ได้ 3. กรณีที่

วัตถุ เช่น รถท่านการล้างทำความสะอาดมาแล้วอาจทำให้ตรวจไม่พบ...”

ตอนที่ 3 ความเห็นต่องานตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืนและงานวิจัยเกี่ยวกับเขม่าดินปืน

3.1 อุปสรรคและข้อจำกัดของงานตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืนมีในการปฏิบัติการ

1. วิธีวิเคราะห์วัตถุพยาน เป็นแบบ single method กล่าวคือ Scanning Electron Microscope/ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDS) ใช้ยืนยันการพบธาตุด้วย ซึ่งยังไม่ครอบคลุม Morphology ในขณะที่ ICP/MS ยืนยันการพบธาตุ เนื่องจากยังไม่มี procedure มารองรับ

2. การปนเปื้อนของวัตถุพยาน/การเก็บรักษาวัตถุพยานผิดวิธี

3. การตรวจวิเคราะห์ด้วย ICP/MS เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ไม่สามารถตรวจซ้ำได้ คือ เมื่อวิเคราะห์แล้ว ตัวอย่างจะมีการเปลี่ยนแปลงและสูญเสียไปแล้วในการวิเคราะห์ครั้งแรก

4. กระสุนบางรุ่นไม่ผสม Sb เข้าไป ทำให้บางครั้งการตรวจก็ไม่สามารถแปรผลได้ว่าพบเขม่าดินปืนและยังไม่มีการวิจัยรองรับ

5. แหล่งไนเตรทและไนไตรท์ ซึ่งเป็นสารที่ไม่ได้พบแคในเขม่าดินปืนเท่านั้น ทำให้ผู้ตรวจมีความไม่มั่นใจว่าที่เจอนั้น หมายถึงเขม่าหรือไม่ รวมถึงธาตุ Sb Pb และ Ba ก็เช่นกัน ซึ่งเป็นสารที่ไม่ได้พบแคในเขม่าดินปืนเท่านั้น

ดังกล่าวของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 6 ที่กล่าวไว้ว่า “...การตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืน ปัจจุบันยังวิเคราะห์ด้วย Color test ซึ่งใช้ในการตรวจหา ไนเตรทและไนไตรท์ ซึ่งเป็นสารที่ไม่ได้พบแคในเขม่าดินปืนเท่านั้น ทำให้ผู้ตรวจมีความไม่มั่นใจว่าไนไตรท์ที่ตรวจเจอนั้น หมายถึงเขม่าหรือไม่...”

สอดคล้องกับการปนเปื้อนธาตุแบเรียม (Ba) ในตัวอย่างควบคุมของสำลีกันไม้ สำลีกันพลาสติกขนาด

ใหญ่และเล็ก จากงานวิจัย “การทดสอบประสิทธิภาพของสำลีกันในการเก็บตัวอย่างเขม่าดินปืนชนิดอนินทรีย์ (12) ซึ่งผลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงผลบวกของที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ในกระบวนการเก็บวัตถุพยานมาตรวจวิเคราะห์

3.2 ความเห็นต่อองค์ความรู้เกี่ยวกับงานตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืน

ระดับขององค์ความรู้ภายในองค์กร อยู่ในระดับเพียงพอมาก โดยมีการเรียนรู้หลักการและวิธีวิเคราะห์ที่เพียงพอต่อการตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืนเบื้องต้นแล้ว

อย่างไรก็ตาม ดังคำกล่าวของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 3 และ 4 ที่กล่าวสอดคล้องกัน กล่าวคือ คำกล่าวของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 3 ที่กล่าวว่า “...พื้นฐานเจ้าหน้าที่ในกลุ่มงานมีทั้งจบโดยตรงในสายเคมี ซึ่งตนรู้สึกเข้าไม่ถึงแก่นของศาสตร์ในเชิงหลักการหรือเครื่องมือวิเคราะห์ที่อาศัยปฏิบัติการเคมีได้ยากถ่วงแท้มากนัก จึงอยากให้มีการเพิ่มเติมความรู้ตรงนี้ให้มากขึ้น เช่น การเชิญวิทยากรเข้ามาบรรยาย เป็นต้น...”

ความเห็นดังกล่าวค่อนข้างน่าสนใจและสะท้อนให้เห็นถึงพื้นฐานความรู้ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการที่แตกต่างกัน ระหว่างผู้ที่มีความรู้ความสามารถทางเคมีและฟิสิกส์ที่จะมีโอกาสพัฒนาองค์ความรู้ที่แตกต่างกันออกไป

นอกจากนี้มีการระบุถึงปัญหาขององค์ความรู้ภายในองค์กรดังกล่าวของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 8 “...เอกสารที่ใช้อ้างอิงขั้นตอนปฏิบัติงานไม่ครบถ้วน ทำให้ปฏิบัติงานโดยขาดความรู้ความเข้าใจในที่มาของขั้นตอนปฏิบัติงานต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น เอกสารมีการสูญหายไป ในระหว่างที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งของผู้ปฏิบัติงาน ไม่มีการจัดระบบเอกสารให้สืบค้นเท่าใดนัก มีแต่การอบรมในครั้งแรกๆที่มาร่วมปฏิบัติงานแล้วส่งสมความรู้ตามจำนวนวัตถุและคดีที่ชอบ เป็นต้น...”

3.3 การประยุกต์องค์ความรู้จากงานวิจัยด้านการตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืน มาใช้ในการปฏิบัติงาน

ระดับการใช้งานวิจัยมาประยุกต์กับการปฏิบัติงานอยู่ในระดับน้อยมาก มักอ้างอิงจากวิธีปฏิบัติมาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับเครื่องมืออื่น ๆ อีกทั้งงานวิจัย

ในประเทศไทยไม่ค่อยมีน้ำหนักในการอ้างอิงเพื่อใช้ในการปฏิบัติงาน นอกจากงานวิจัยที่เกิดประโยชน์ต่อการปฏิบัติงานจริง เช่น การตรวจหาปริมาณ Sb Pb และ Ba ที่มีในบุคคลที่ประกอบอาชีพต่าง ๆ (13)

3.4 ความเห็นต่อรูปแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์การตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืนของประเทศไทยเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศสหรัฐอเมริกาสามารถสรุปความเห็นได้ ตามตารางที่ 2

ด้านความสอดคล้อง ทั้งประเทศไทยและสหรัฐอเมริกามีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาจุดต้องสงสัยและ

ปฏิบัติสอดคล้องกัน รวมถึง รูปแบบในการเตรียมตัวอย่างที่สอดคล้องกัน

ด้านความแตกต่าง ประเทศไทยกำหนดระยะเวลาเขม่าดินปืนที่เก็บบนฝ่ามือที่ ไม่เกิน 6 ชม.หลังการยิง ในขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดระยะเวลาเขม่าดินปืนที่เก็บบนฝ่ามือที่ ไม่เกิน 4 ชม.หลังการยิง และประเทศไทยรับตรวจพยานหลัก-ฐานทุกชนิด ไม่มีการกำหนดเงื่อนไข ในขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกาคำหนดเงื่อนไขของวัตถุพยาน ละเอียดลงไป เช่น ตรวจเฉพาะเสื้อที่มีรูเท่านั้น หรือตรวจเฉพาะเสื้อแขนยาวถึงข้อมือเท่านั้น

ตารางที่ 2 แสดงข้อสรุปความเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อรูปแบบที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืนของประเทศไทยเปรียบเทียบกับประเทศสหรัฐอเมริกา

ความสอดคล้อง (ไทย- สหรัฐอเมริกา)	ความแตกต่าง	
	ไทย	สหรัฐอเมริกา
- หลักเกณฑ์ในการพิจารณาจุดต้องสงสัยปฏิบัติเหมือนกัน	- กำหนดระยะเวลาเขม่าดินปืนที่เก็บบนฝ่ามือที่ ไม่เกิน 6 ชม. หลังการยิง	- กำหนดระยะเวลาเขม่าดินปืนที่เก็บบนฝ่ามือที่ ไม่เกิน 4 ชม.หลังการยิง
- รูปแบบในการเตรียมตัวอย่างเหมือนกัน	- เสื้อ รับตรวจทั้งหมด ไม่มีการกำหนดเงื่อนไข	- กำหนดเงื่อนไขของวัตถุพยาน ละเอียดลงไป เช่น ตรวจเฉพาะเสื้อที่มีรูเท่านั้น หรือตรวจเฉพาะเสื้อแขนยาวถึงข้อมือเท่านั้น

3.5. ความเห็นผู้เชี่ยวชาญในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับการตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืนในประเทศไทยที่อาจเกิดประโยชน์ในอนาคต

1. ศึกษาเงื่อนไขของต่างชาติเปรียบเทียบกับปฏิบัติจริงในประเทศไทยเพื่อหาจุดวิกฤติที่เหมาะสมที่ใช้ตัดสิน และนำวิธีที่มีอยู่มาทดลองใช้กับวัตถุพยานที่ไม่ได้ทดลองในปัจจุบันเพื่อใช้ยืนยันผล

2. งานวิจัยค่า Likelihood Ratio เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องกันระหว่างสถานที่ใดที่หนึ่งและวัตถุพยานหรือบุคคลใดบุคคลหนึ่ง เพื่อประกอบข้อสันนิษฐานในคดีความ

3. วิจัยเกี่ยวกับกรณี False Positive ในวิธีวิเคราะห์ แบบ Color Test และ ICP/MS

4. หาวิธีวิเคราะห์ที่สามารถตรวจซ้ำได้ และตรวจสอบย้อนกลับได้”

5. ศึกษาองค์ประกอบของเขม่าอื่น เช่น องค์ประกอบเชิงซ้อนอื่น เพื่อนำมาประกอบการเขียนรายงานนอกจาก Sb Pb และ Ba

6. วิจัยเกี่ยวกับกระสุนแบบใหม่ ๆ ที่มีองค์ประกอบต่างจากเดิม หากวันหนึ่งมีกรณีเกิดขึ้นจริงก็จะมีงานวิจัยรองรับ

7. งานวิจัยที่ก้าวข้ามข้อจำกัดเดิมของวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบัน อาจเป็นวิธีวิเคราะห์ แบบใหม่ เช่น HPLC เป็นต้น หรือศึกษาพัฒนาวิธีใหม่ ๆ ขึ้นมา

8. งานวิจัยเกี่ยวกับอาชีพที่ไม่เกี่ยวข้องกับการยิงปืน แต่สามารถตรวจพบธาตุสำคัญได้ เช่นเดียวกับเขม่าดินปืน

ดั่งที่ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1 กล่าวไว้ว่า “...กรณีตรวจวิเคราะห์ที่มีมือ ด้วยความที่สภาพอากาศต่างประเทศกับประเทศไทยต่างกัน จึงอยากให้ศึกษาเงื่อนไขของต่างชาติเปรียบเทียบกับปฏิบัติจริงในประเทศไทยเพื่อหาจุดวิกฤติที่เหมาะสมที่ใช้ตัดสิน และนำวิธีที่มีอยู่มาทดลองใช้กับวัตถุพยานที่ไม่ได้ทดลองในปัจจุบันเพื่อใช้ยืนยันผล ยกตัวอย่างเช่นวิธีวิเคราะห์ ICP เราใช้สำหรับวิเคราะห์เขม่าจากมือ สามารถนำตัวอย่างเขม่าจากวัตถุมาตรวจได้หรือไม่ และ เกณฑ์ตัดสินที่ระดับใด...”

สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์อนุภาคเขม่าป็นและปริมาณของแบเรียม ตะกั่วและพลวง ภายหลังการยิงปืนบนเสื้อผ้าด้วยอาวุธปืนประเภท M16 A1 ด้วยเครื่อง SEM/EDS (10) โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏค่าสถิติ F เท่ากับ 102.872 และค่า sig เท่ากับ 0.000 ซึ่งยืนยันได้ว่าการใช้เครื่องมือ SEM/EDS เป็นอีกหนึ่งวิธีวิเคราะห์อนุภาคเขม่าป็นและตรวจสอบปริมาณแบเรียม ตะกั่ว และพลวงได้อีกทั้งยังเป็นงานวิจัยของไทยที่ตรงกับหัวข้อเรื่องที่นำเสนอของผู้เชี่ยวชาญ

ดั่งที่ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 2 กล่าวไว้ว่า “...งานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจหาค่า Likelihood Ratio เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องกันระหว่างสถานที่ใดที่หนึ่ง และวัตถุพยานหรือบุคคลใดบุคคลหนึ่ง เพื่อประกอบข้อสันนิษฐานในคดีความ...” ซึ่งไม่พบงานวิจัยของประเทศไทยที่วิจัยด้านนี้ อย่างไรก็ตามในช่วงปีที่ผู้วิจัยศึกษาพบงานวิจัยในหัวข้อ “From binary presumptive assays to probabilistic assessments: Differentiation of shooters from non-shooters using IMS, OGSR, neural networks and likelihood ratios.” (14) ซึ่งศึกษาในหัวข้อ Likelihood Ratio เพื่อใช้ประกอบการจำแนกมือป็นออกจากกลุ่มที่ปะปนกันทั้งผู้ที่ยิงและไม่ยิง ซึ่งสามารถนำไปประกอบการประเมินได้ดีเป็นอย่างยิ่ง

ดั่งที่ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 7 กล่าวไว้ว่า “...งานวิจัยที่ข้ามข้อจำกัดเดิมของวิธีวิเคราะห์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน อาจเป็นวิธีวิเคราะห์แบบใหม่ เช่น SEM HPLC เป็นต้น หรือศึกษาพัฒนาวิธีใหม่ๆขึ้นมาเพื่อทดแทน

เทคนิคเดิม ๆ ได้เลย เนื่องจาก HPLC สามารถใช้วิเคราะห์ห้องค์ประกอบสารที่เติมไปในกระสุนป็น...”

นับว่า งานวิจัยเรื่องรูปแบบการกระจายตัวของเขม่าป็นชนิดอินทรีย์บนมือภายหลังการยิงปืน” (15) เป็นหนึ่งตัวอย่างงานวิจัยที่น่าสนใจสำหรับผู้เชี่ยวชาญ โดยวิจัยการกระจายตัวของเขม่าหลังจากการยิงในแต่ละบริเวณของมือ แล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) และสามารถตรวจพบเขม่าป็นอินทรีย์กระจายที่บริเวณหลังมือ มีส่วนน้อยที่พบที่ฝ่ามือ ซึ่งสามารถระบุรูปแบบการกระจายตัวของเขม่าป็นชนิดอินทรีย์เบื้องต้นได้

## สรุปผล

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเพื่อนำร่องการวิเคราะห์แนวโน้มงานตรวจพิสูจน์หลักฐานด้านเขม่าดินป็นของประเทศไทย โดยดำเนินการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานตำรวจแห่งชาติ จำนวน 8 ท่าน และเปรียบเทียบงานวิจัย โดยกำหนดกรอบช่วงปีงานวิจัยในการตีพิมพ์ ระหว่าง พ.ศ. 2558 – 2462 และเป็นผลงานวิจัยด้านการตรวจพิสูจน์เขม่าดินป็นในประเทศไทยและสหรัฐอเมริกา ซึ่งสามารถเชื่อมโยงกับนวัตกรรมใหม่ ๆ ที่มีการศึกษาในช่วง 5 ปี (ระหว่าง พ.ศ.2558 – 2462) ซึ่งจากการวิเคราะห์สามารถสรุปแนวโน้มสำหรับงานตรวจพิสูจน์เขม่าดินป็นในอนาคตได้ เป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

### 1. แนวโน้มการวิเคราะห์เขม่าดินป็นสำหรับผู้ปฏิบัติงาน

1.1 เพิ่มความสัมพันธ์ระหว่างผู้ปฏิบัติงานและเจ้าหน้าที่หน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อสะดวกต่อการประสานงาน รวมถึงการเน้นย้ำลำดับขั้นตอนที่เก็บวัตถุพยาน รวมถึงขั้นตอนการปฏิบัติต่อวัตถุพยาน เพื่อลดการสูญเสีย และการปนเปื้อนของวัตถุพยาน รวมถึงการส่งต่อวัตถุพยานระหว่างองค์กร

1.2 สืบค้นข้อมูลนวัตกรรมของอาวุธปืนที่อาจส่งผลกระทบต่อลักษณะเขม่าดินป็น รวมทั้งนวัตกรรมในเชิงวิธี



วิเคราะห์ เพื่อเท่าทันเทคโนโลยีและเผยแพร่แก่ผู้ปฏิบัติงาน ภายในองค์กรเพื่อเป็นการพัฒนาองค์ความรู้ภายในองค์กร

1.3 จัดทำทะเบียนเอกสาร เพื่อรวบรวมเอกสาร องค์ความรู้ภายในองค์กรให้เป็นหมวดหมู่มากขึ้น เพื่อสะดวกต่อการสืบค้น

2. แนวโน้มการวิเคราะห์เขม่าดินปืนสำหรับองค์กร

2.1 จัดการอบรม เน้นย้ำถึงความสำคัญของ พยานหลักฐาน คำนึงถึงคุณค่าของพยานหลักฐาน เพื่อ ก่อให้เกิดความตระหนักรู้ในกระบวนการตรวจพิสูจน์ รวมถึงห่วงโซ่ครอบครองวัตถุพยาน

2.2 ให้ความสำคัญกับการป้องกันและรักษา สถานที่เกิดเหตุ และการเก็บตัวอย่างจากที่เกิดเหตุด้วย กระบวนการ วิธี ภาชนะ/หีบห่อวัตถุพยานที่เหมาะสมเพื่อ ป้องกันการสูญเสียวัตถุพยานระหว่างการส่งมอบ รวมถึง การตรวจวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นหลักฐานพิสูจน์ความจริงใน คดีและใช้เป็นหลักฐานในชั้นศาลได้

2.3 สนับสนุนให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับการฝึกอบรม อย่างเท่าเทียมและต่อเนื่อง เพื่อทราบถึงนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการตรวจเขม่าดินปืน รวมถึงแขนงต่าง ๆ ตามกรอบการ ปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงาน

2.4 สนับสนุนทุนการศึกษา หรือทุนใน การศึกษา/อบรมในหน่วยงานต่างประเทศที่มีหน้าที่ รับผิดชอบคล้ายกัน เพื่อจะได้นำความรู้กลับมาพัฒนาทั้ง ตนเองและองค์กรต่อไป

2.5 เพิ่มงบประมาณด้านเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ให้สำนักงานตำรวจแห่งชาติ เพื่อจัดสรรเครื่องมือตรวจ พิสูจน์หลักฐานให้สามารถวิเคราะห์เพื่อยืนยันผลการ วิเคราะห์ ยกตัวอย่างเช่น เครื่องวิเคราะห์เพื่อยืนยันหา ปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ เพื่อลดการเกิดผลบวกจาก การตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี Color Test รวมถึงยกระดับ มาตรฐานการวิเคราะห์ให้เป็นสากลมากขึ้น เช่น ปรับวิธี วิเคราะห์ ธาตุหลักจากวิธีวิเคราะห์ Inductively Coupled Plasma (ICP) เป็นการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นต้น

3. แนวโน้มการวิเคราะห์เขม่าดินปืนสำหรับผู้วิจัยใน อนาคตแบ่งเป็นกลุ่มงานวิจัยเป็น 3 กลุ่ม คือ

3.1 หัวข้อที่ตอบสนองต่อหัวข้อที่ผู้เชี่ยวชาญ สนใจและสอดคล้องกับงานวิจัยของไทยและจำเป็นต้อง พัฒนาต่อไป

1. “ศึกษาองค์ประกอบของเขม่าดินปืน เช่น องค์ประกอบเชิงซ้อนอื่น เพื่อนำมาประกอบการเขียน รายงานนอกจาก Sb Pb และ Ba”

2. ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดผลบวกวงได้ เช่น ด้านอาชีพ เป็นต้น ถึงแม้ปัจจุบันมีการวิจัยเกี่ยวกับ อาชีพแล้ว ยกตัวอย่างเช่นงานวิจัยที่มีการเลือกกลุ่ม ตัวอย่างโดยแบ่งตามกลุ่มอาชีพ ได้แก่ อาจารย์ นักยิงปืน เกษตรกรและช่างซ่อมรถ โดยไม่พบผลที่แน่ชัดด้านอาชีพ (13) อย่างไรก็ตามกรอบอาชีพที่ทดลองนั้นก็ยังไม่ ครอบคลุมอาชีพที่เกี่ยวข้องกับแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ หลักของเขม่า จึงควรศึกษากลุ่มอาชีพที่หลากหลายมากขึ้น รวมถึงปัจจัยต่าง ๆ มากขึ้น เช่นกัน

3. งานวิจัยที่ก้าวข้ามข้อจำกัดเดิมของ วิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบัน อาจเป็นวิธีวิเคราะห์แบบใหม่ เช่น HPLC เป็นต้น ถึงแม้มีงานวิจัยไทยที่ใช้วิธีวิเคราะห์ HPLC โดยดำเนินการตรวจสอบเขม่าชนิดอินทรีย์ (15) อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังระบุถึงประเด็นความไวในการ วิเคราะห์เขม่าดินปืน ที่ยังต้องพัฒนาในลำดับต่อไป

3.2 หัวข้อตอบสนองต่อหัวข้อที่ผู้เชี่ยวชาญสนใจ แต่ยังไม่พบในงานวิจัยไทย

1. ศึกษาเงื่อนไขของต่างชาติ เปรียบเทียบกับการปฏิบัติจริงในประเทศไทยเพื่อหาจุด วิกฤตที่เหมาะสมที่ใช้ตัดสิน และนำวิธีที่มีอยู่มาทดลองใช้ กับวัตถุพยานที่ไม่ได้ทดลองในปัจจุบันเพื่อยืนยันผล

2. งานวิจัยที่ศึกษาพัฒนาวิธีใหม่ ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Raman Spectroscopy, Surface Enhanced Raman Spectroscopy (SERS) รวมถึงวิธี วิเคราะห์อื่น ๆ ได้แก่ CMV-GC-MS, DART-MS, ICP, Ion Mass Spectroscopy (IMS), Ion Chromatography, LC- MS, และ Laser Induced Breakdown, Spectroscopy

(LIBS) ทั้งนี้ ต้องคำนึงถึงวัสดุที่ต้องการตรวจสอบ และความพร้อมของอุปกรณ์ที่มีในประเทศไทยอีกด้วย

3. หาวิธีวิเคราะห์ที่สามารถตรวจซ้ำได้ และตรวจสอบย้อนกลับได้”

4. งานวิจัยเกี่ยวกับกระสุนแบบใหม่ที่มีองค์ประกอบต่างจากเดิม

5. การศึกษาค่า Likelihood Ratio เพื่อนำมาประกอบการประเมินวัตถุพยาน

3.3 หัวข้อที่พบในงานวิจัยสหรัฐอเมริกาและยังไม่พบในงานวิจัยไทย

การทดลองศึกษาการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบพอลิเมอร์และเขม่าดินปืนจากอาวุธปืนจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (16) การตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืนซึ่งเป็นศาสตร์อีกหนึ่งแขนงที่มีความสำคัญต่อการสืบสวนสอบสวนและใช้เป็นหนึ่งเครื่องพิสูจน์ความผิดในคดีความบนชั้นศาลได้ ซึ่งขั้นตอนการตรวจสอบเขม่าดินปืนโดยตรวจหาส่วนประกอบหลักเพียงอย่างเดียวอาจทำให้ผลมีความคลาดเคลื่อนได้ จึงนำมาสู่ขั้นตอนที่เป็นมาตรฐานและเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบที่จำเป็นต้องมีความแม่นยำ รวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่าย และเชื่อถือได้เพื่อเพิ่มน้ำหนักให้แก่พยานหลักฐานบนชั้นศาลที่น่าเชื่อมั่นมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถลดโอกาสการเกิดผลผิดพลาดได้

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

รวบรวมงานวิจัยของแหล่งอื่น เช่น ประเทศในแถบยุโรปและแถบเอเชีย เพื่อใช้เปรียบเทียบกับงานวิจัยประเทศไทย

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ ที่ให้ความร่วมมือในงานวิจัย และขอขอบคุณคณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

1. กองแผนงานอาชญากรรม สำนักงานยุทธศาสตร์ตำรวจ (ผอ.สยศ.ตร.). สถิติฐานความผิด คดีอาญารายปี [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [สืบค้นเมื่อวันที่ 14 ก.พ. 2563]. จาก: <http://pitc.police.go.th/dirlist/dirlist.php?dir=/crimes>
2. สำนักข่าวไทยรัฐ. ถล่ม5นัดดับ ส.จ.เมืองโอ่ง [อินเทอร์เน็ต]. 2558 [สืบค้นเมื่อวันที่ 14 ก.พ. 2563]. จาก: <https://www.thairath.co.th/news/local/485424>
3. ยุทธพงศ์ เศรษฐ์สมบัติ, ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง. การหาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในเขม่าปืนที่ติดบนผิวรถยนต์โดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี. วารสาร Veridian E Journal ฯ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2557;1(2):64-75.
4. Carter L. Gunning for firearms [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [สืบค้นเมื่อวันที่ 14 ก.พ. 2563]. จาก: <https://www.bangkokpost.com/thailand/special-reports/1691936/gunning-for-firearms>
5. Terry M, Fookes B, Bridge CM. Determining the effect of cartridge case coatings on GSR using post-fire priming cup residue. Forensic Sci Int. 2017;276:51-63.
6. Do SEM 24 hr. วิเคราะห์เขม่าดินปืน ด้วยเทคนิค SEM, EDS/EDX [อินเทอร์เน็ต]. 2557 [สืบค้นเมื่อวันที่ 15 พ.ค. 2563]. จาก: <http://www.dosem24hr.com/index.php?lay=show&ac=article&id=539649730&Ntype=8>
7. เบญจ ภูฒินิล, ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี. การวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในเขม่าดินปืนด้วยไอออนโครมาโตกราฟี. วารสาร Veridian E Journal ฯ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2555;5(2):730-41.

8. กุลยา วันจันทร์. การวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในเขม่าดินปืนที่ติดบนมือและปลอกกระสุนปืนโดยเทคนิค ไอออนโครมาโทกราฟี [วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต]. นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2560.
9. พัชรี เปรมกระโทก, วรณฤดี ทองจุลกลาง, อารีรัตน์ ริมใหม่, ธนากร เปลื้องกลาง. การวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนด้วย วิถีสเปกโตรโฟโตเมตรี. วารสารวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. 2560;2(2):17-30.
10. พุทธิชาติ มิ่งชะนิด, ณรงค์ กุลนิเทศ. การศึกษาระยะเวลาการคงอยู่ของปริมาณเขม่าดินปืนภายหลังการยิงปืน 9 มม. บนหลังมือและ ฝ่ามือ จำแนกตามช่วงเวลาหลังยิงปืนตามขนาดอาวุธปืนและลูกกระสุนปืน. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา). 2560;17(3):8-18.
11. สุรีย์พร ตันติศักดิ์. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขม่าปืนในโพรงจมูกผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังการยิงที่วิเคราะห์ โดยเทคนิค Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) [วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2559.
12. คุณิตา อ่อนละออ, จิรวีร์ ธนุรัตน์. การทดสอบประสิทธิภาพของสําลีก้านในการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนชนิดอนินทรีย์. ใน: Full Papers NIGRC 2016. The national and international graduate research conference 2016; 15 ม.ค. 2559; อาคารพจน์ สารสิน มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น: 2559. น. 166-74.
13. พุทธิชาติ มิ่งชะนิด, ณรงค์ กุลนิเทศ. การศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณเขม่าปืนภายหลังการยิงปืนบนหลังมือและฝ่ามือ จำแนกตามอาชีพ ช่วงเวลาหลังยิงตามขนาดอาวุธปืนและลูกกระสุนปืน. ใน: บูรณาการงานวิจัยสู่การพัฒนาท้องถิ่นที่ยั่งยืน. สัมมนาวิชาการ เครือข่ายบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 17; 21 ก.ค. 2560; ศูนย์วัฒนธรรมภาคเหนือตอนล่าง วังจันทร์วิเวกรวิ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก; 2560. น. 2579-92.
14. Bell S, Seitzinger L. From binary presumptive assays to probabilistic assessments: Differentiation of shooters from non-shooters using IMS, OGSR, neural networks and likelihood ratios. Forensic Sci Int. 2016; 263:176-85.
15. พลอยไพลิน แก้วบุญเรือง. รูปแบบการกระจายตัวของเขม่าปืนแบบอินทรีย์บนมือภายหลังการยิงปืน. ใน: Full Papers NIGRC 2016. The national and international graduate research conference 2016; 15 ม.ค. 2559; อาคารพจน์ สารสิน มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น: 2559. น. 175-82.
16. Black O, Cody R, Edwards D, Cizdziel JV. Identification of polymers and organic gunshot residue in evidence from 3D-printed firearms using DART-mass spectrometry. Forensic Chem. 2017;(5):26-32.



## การพัฒนารูปแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง

### Development of Smart Farms in Greenhouses through the Embedded System

ปวันนพัสตร์ ศรีทรงเมือง\* ชาณูณรงค์ ศรีทรงเมือง สุนนา บุซบก และ ชุติกานต์ หอมทรัพย์

Pavannaphat Srisongmuang\*, Channarong Srisongmuang, Sumana Budsabok and Chutikan Homsup

สาขาระบบสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์พระนครศรีอยุธยาหัตถา จ.พระนครศรีอยุธยา 13000

Computing and Information Technology, Business Administration and Information Technology, Rajamangala University of Technology, Suvarnabhumi Phra Nakhon Si Ayutthaya Hantra Center, Phra Nakhon Si Ayutthaya Province 13000, THAILAND

\*Corresponding author e-mail: yupavan2509@gmail.com

#### ARTICLE INFO

#### ABSTRACT

Article history:

Received: 8 June, 2020

Revised: 14 July, 2020

Accepted: 31 August, 2020

Available online: 15 February, 2021

DOI: 10.14456/rj-rmutt.2021.3

*Keywords:* smart farm, embedded system, internet of things

The purposes of this study were to develop smart farm management system in the greenhouses model through the embedded system, to assess quality of smart farms management system in the greenhouses and evaluate the satisfaction of the samples in a system. The research was conducted by developing, implementing, and evaluating the smart farms management system model through the embedded system, 40 samples were lecturer, student, staff and farmers who stayed at faculty of Agricultural Technology and Agro-industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Hantra campus. They were selected by a purposive sampling method. Data were collected and statistically analyzed by using mean and standard deviation statistics. The results revealed that the developed system was evaluated by the experts at an acceptable high level. After refining the system according to the expert's opinion and was used to evaluate the system, the quality of the system was considered at a high level ( $\bar{X} = 4.64$ , S.D.

= 0.18) and satisfaction level of sample towards for the system was considered at a high level ( $\bar{X} = 4.60$ , S.D. = 0.04). It can be concluded that the smart farm management system in the greenhouses model through the embedded system improves convenience and ease the burden for farmers. Which farmers can control turning on-off watering in greenhouses via smartphone from anywhere at anytime.

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง หากคุณภาพระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืช และศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะกระบวนการวิจัยได้ดำเนินการโดยพัฒนารูปแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝังที่ผ่านการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและด้านเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร จากนั้นนำไปพัฒนาระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง เสร็จแล้วนำระบบไปประเมินกับกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นอาจารย์ นักศึกษา เจ้าหน้าที่ และเกษตรกร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรม การเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์หันตรา จำนวน 40 คน ได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ด้วยสถิติค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัย พบว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินรูปแบบที่พัฒนาขึ้นอยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด และเมื่อประเมินคุณภาพของระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝังที่พัฒนาตามรูปแบบ พบว่า คุณภาพของระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝังจากการทดสอบของผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.64$ , S.D. = 0.18) และกลุ่มตัวอย่าง ได้แสดงความพึงพอใจที่มีต่อการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.60$ , S.D. = 0.04) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า รูปแบบ

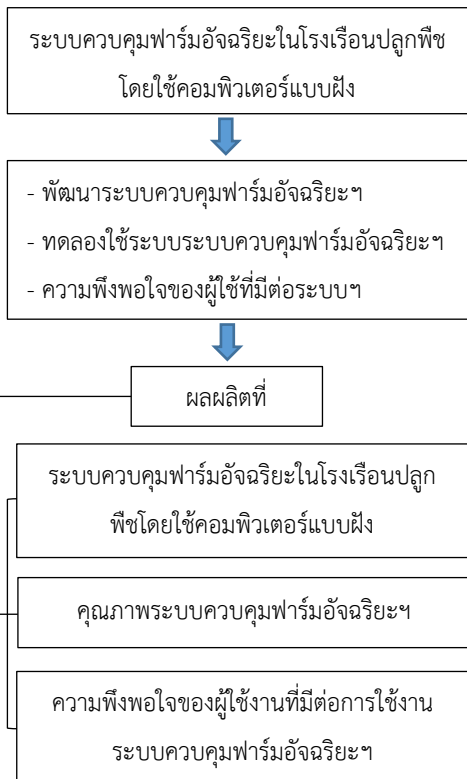
ระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝังที่พัฒนาขึ้น ช่วยในการอำนวยความสะดวกและแบ่งเบาภาระของเกษตรกรในการควบคุมสั่งการเปิด-ปิดการให้น้ำในโรงเรือนปลูกพืชผ่านทางสมาร์ตโฟนจากทุกที่ทุกเวลา

**คำสำคัญ:** ฟาร์มอัจฉริยะ คอมพิวเตอร์แบบฝัง อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

## บทนำ

เทคโนโลยียุค 4.0 มีส่วนสำคัญในการดำเนินชีวิตประจำวัน และการทำงานในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างมากด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things) หรือ IoT ซึ่งหมายถึงการที่สิ่งของอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ต่าง ๆ รอบตัวเราทั้งที่เป็นสิ่งของเครื่องใช้ในชีวิตประจำวันเช่น นาฬิกา โทรศัพท์มือถือ รถยนต์ หลอดไฟ ตู้เย็น ทีวี หม้อหุงข้าว ปั่นน้ำ พัดลม เครื่องปรับอากาศ เครื่องมือ เครื่องจักรกลในโรงงานอุตสาหกรรม ถูกเชื่อมโยงเข้าด้วยกันบนโลกของอินเทอร์เน็ต ทำให้สามารถควบคุมหรือสั่งการอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ ไม่ว่าจะเป็นการเปิด-ปิดไฟเครื่องปรับอากาศ โทรทัศน์ ปั่นน้ำ ฯลฯ ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยสมาร์ตโฟน คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์พกพาอื่น ๆ นอกจากสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเราแล้วเทคโนโลยี IoT ยังถูกนำไปใช้กับงานด้านการแพทย์ การเกษตร อุตสาหกรรม และอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านฟาร์มอัจฉริยะ เป็นการนำเทคโนโลยี IoT มาใช้กับงานด้านการเกษตร เช่น การนำอุปกรณ์เซ็นเซอร์ มาตรวจวัดความชื้นในดิน ปริมาณแสงแดด อุณหภูมิใน

อากาศ และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์และสั่งการไปยังอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ เพื่อสร้างสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งการนำเอาเทคโนโลยี IoT มาประยุกต์ใช้ นอกจากจะช่วยให้เกษตรกรประหยัดทรัพยากรที่ใช้ยังช่วยให้สามารถคาดการณ์ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว และปริมาณของผลผลิตได้แม่นยำอีกด้วย (1) รัชช และวรภกา (2) ได้พัฒนาระบบไอโอทีสำหรับการตรวจสอบความชื้นและอุณหภูมิเพื่อส่งเสริมการเพาะเลี้ยงเห็ดในโรงเรือนให้มีผลผลิตที่สมบูรณ์ ซึ่งระบบสามารถควบคุมสั่งเปิด-ปิดการพ่นละอองน้ำในโรงเรือนได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด และ ศุภวุฒิ และ คณะ (3) ได้พัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดในโรงเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง พบว่าระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเป็นไปตามที่ต้องการ และในส่วนของปริมาณน้ำในแต่ละครั้งที่ใช้ในโรงเพาะเห็ดลดลงกว่าการให้น้ำในโรงเพาะเห็ดโดยวิธีเดิมประมาณ 70 ลิตร (4)



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

ผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ร่วมกับผู้ควบคุมดูแลโรงเรือนปลูกพืชคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรม การเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์หันตรา พบว่า โรงเรือนปลูกพืชยังคงใช้วิธีการดูแลแปลงปลูกพืชแบบดั้งเดิมโดยใช้คนรดน้ำ ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และเสียเวลาในการให้น้ำแก่พืชผักในโรงเรือน อีกทั้งยังไม่สามารถควบคุมปริมาณการใช้น้ำได้จากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง เพื่อช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายและเพิ่มความสะดวกสบายในการให้น้ำแก่พืชผักในโรงเรือนปลูกพืช โดยใช้บอร์ดคอมพิวเตอร์แบบฝัง (NodeMCU ESP8266) ผู้ใช้งานสามารถควบคุมสั่งการเปิด-ปิดการให้น้ำในโรงเรือนปลูกผ่านทางสมาร์ตโฟนจากทุกที่ตลอดเวลาผู้วิจัยได้ออกแบบกรอบแนวคิดในการพัฒนาระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง ดังรูปที่ 1

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยมีการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

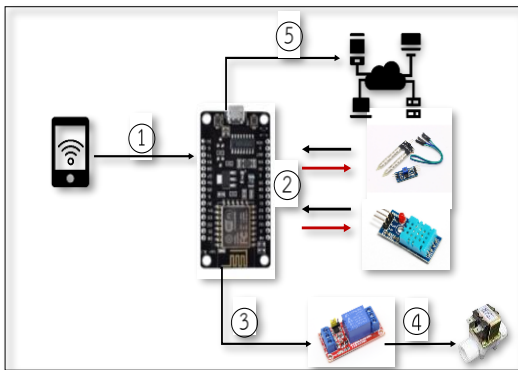
#### ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความสำคัญของการใช้ประโยชน์จากระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะใน โรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง และกระบวนการวิธีเพื่อนำระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง ที่สามารถสั่งการควบคุมการเปิด-ปิดน้ำในโรงเรือนปลูกพืชของคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรม การเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์หันตรา จากการลงพื้นที่สอบถามพูดคุยกับคณาจารย์ที่รับผิดชอบดูแลแปลงสวนผัก พบว่ายังขาดความสามารถฟาร์มและยังคงใช้แรงงานในการดูแลรด

น้ำแปลงพืชทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายอีกทั้งไม่สามารถติดตามดูแลแบบเรียลไทม์ ผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนได้ ปัจจุบันได้มีเทคโนโลยี IoT ที่มีการนำสรรพสิ่งต่าง ๆ เชื่อมด้วยอินเทอร์เน็ต ซึ่งมีความสำคัญในการดำเนินชีวิตประจำวัน และการทำงานในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านการเกษตร จึงได้นำข้อมูลที่ผู้วิจัยต้องการทราบถึงสถานะของข้อมูลการรดน้ำและการดูแลแปลงพืชผักมาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และออกแบบและพัฒนาระบบต่อไป

**ออกแบบและจัดทำระบบ**

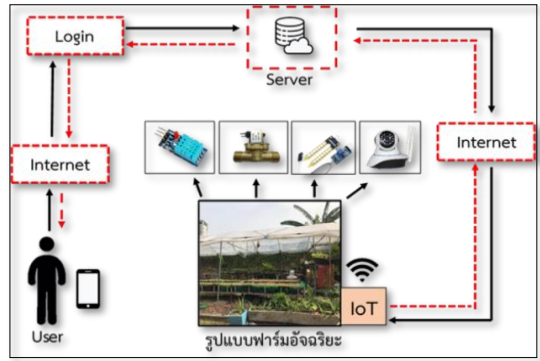
ผู้วิจัยได้ออกแบบและจัดทำโครงสร้างการทำงานของระบบดังรูปที่ 2



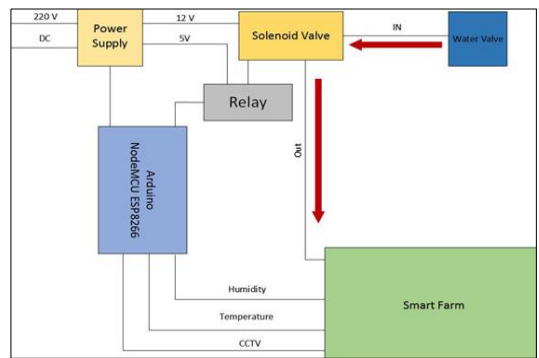
**รูปที่ 2** โครงสร้างการทำงาน

**การออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะ**

การออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง เป็นการทำงานของระบบที่แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งาน (User) เมื่อเข้าสู่ระบบ (Login) ผ่านสมาร์ตโฟน ระบบสามารถแสดงค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้นในดิน สั่งการเปิด-ปิดการรดน้ำ การทำงานของระบบผ่านกล้องวงจรปิดได้แบบเรียลไทม์ ดังแสดงตามรูปที่ 3



**รูปที่ 3** การออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบควบคุม



**รูปที่ 4** การเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบ

**การพัฒนาระบบ**

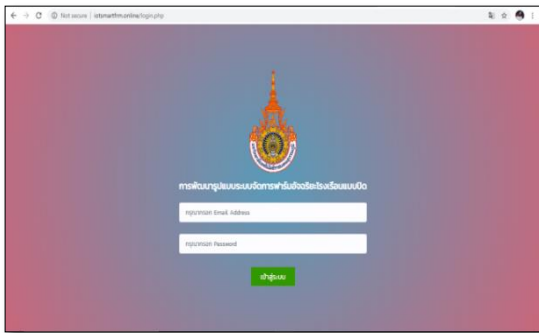
จากการศึกษาและออกแบบระบบขั้นตอนวิธีการพัฒนาระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง เพื่อดูการทำงานของระบบผ่านกล้องวงจรปิดได้แบบเรียลไทม์ ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

**1. การเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบ**

- ต่อขาเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ วัดความชื้นอากาศด้วย DHT11 เซ็นเซอร์วัดความชื้นความแห้งในดินเข้ากับบอร์ด Arduino NodeMCU ESP8266 และเชื่อมต่อกับกล้องวงจรปิดดูการทำงานของระบบแบบเรียลไทม์
- ต่อพาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supply) ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าจาก 220 โวลต์เป็น 5-12 โวลต์เพื่อให้กระแสไฟกับรีเลย์ และ โซลินอยด์วาล์ว

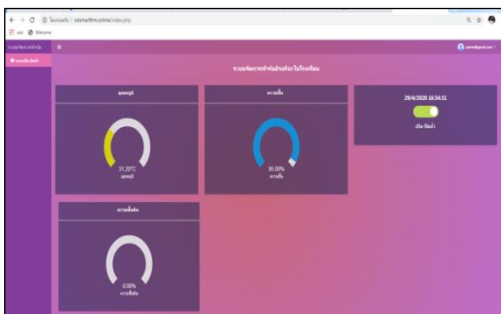
- ต่อวาล์วน้ำเข้าที่โซลินอยด์วาล์ว และต่อสายยางเพื่อให้น้ำออกจากโซลินอยด์วาล์ว ไปยังฟาร์มอัจฉริยะของระบบ ดังแสดงตามรูปที่ 4

2. การออกแบบส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Graphical User Interface (GUI) การเข้าสู่ระบบ ดังแสดงตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงหน้าจอเข้าสู่ระบบ

3. พัฒนาระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง ผู้วิจัยใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนโค้ดเพื่อควบคุมอุปกรณ์ของระบบตามที่ออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง เมื่อต้องการสั่งการระบบให้เปิด-ปิดน้ำ กดปุ่มเปิด-ปิด ถ้าปุ่มเปิดจะแสดงเป็นสีเขียว และวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นในดิน ถ้าปิดจะแสดงเป็นสีดำ ดังแสดงตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงหน้าจอประมวลผลการทำงานของระบบ

**สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล**

ผู้วิจัยได้นำระบบให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสมของรูปแบบระบบที่พัฒนาขึ้น โดยอาศัยค่าทางสถิติการวัดระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อระบบที่พัฒนาขึ้น คือ การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลที่ไม่ได้แจกแจงความถี่สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$$

โดยที่  $\bar{x}$  คือ ค่าเฉลี่ยในการประเมิน

$\sum_{i=1}^n x_i$  คือ ผลรวมของคะแนนที่ได้จากการประเมิน

$n$  คือ จำนวนผู้ใช้งานทั้งหมดที่ใช้ในการประเมิน

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน กลุ่มตัวอย่าง (ค่า SD ของกลุ่มตัวอย่าง) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)}}$$

โดยที่  $S.D.$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$x_i$  คือ คะแนนที่ได้จากการประเมิน

$\bar{x}$  คือ ค่าเฉลี่ยของการประเมิน

$n$  คือ จำนวนผู้ใช้งานทั้งหมดที่ใช้ในการประเมิน

**ขั้นตอนการทดลองใช้โปรแกรมและการประเมินผล**

ผู้วิจัยมีกระบวนการในการทดลองประเมินผล การพัฒนาระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง

1. ประเมินรูปแบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ 1 ครั้ง เพื่อปรับปรุงแก้ไข
2. ประเมินคุณภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและด้านเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร จำนวน 3 ท่าน



3. ประเมินความพึงพอใจ อาจารย์/นักศึกษา/เจ้าหน้าที่คนงาน/นักศึกษา/เกษตรกร/นักธุรกิจ/ผู้สนใจทั่วไป จำนวน 40 คน



รูปที่ 7 โรงเรือนปลูกพืชในการทดลองระบบฯ



รูปที่ 8 ผู้เชี่ยวชาญประเมินรูปแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืช



รูปที่ 9 จัดสถานที่ในการทดลองใช้งานระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืช



รูปที่ 10 นักศึกษาศึกษาดูงานในโรงเรือนปลูกพืช

### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินหาความเหมาะสมของรูปแบบระบบที่พัฒนาขึ้นและคุณภาพของระบบ อีกทั้งได้นำไปให้ผู้ใช้งานและผู้ใช้ที่สนใจทั่วไปประเมินความพึงพอใจที่มีต่อการใช้ระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ผลการประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบรูปแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง
2. ผลการประเมินแบบคุณภาพระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง
3. ผลการประเมินความพึงพอใจการใช้ระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง



รูปที่ 11 ผลผลิตที่ได้จากการทดลองของระบบ

**ตารางที่ 1** ผลการประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบรูปแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรียนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	การแปลผล
1. แนวคิดและหลักการมีความสอดคล้องสัมพันธ์กันกับวัตถุประสงค์	5.00	0.00	มากที่สุด
2. ครอบคลุมตามองค์ประกอบหลักของรูปแบบการพัฒนาระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรียนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง	4.67	0.47	มากที่สุด
3. ความเหมาะสมกับการพัฒนาระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรียนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝังในแปลงพืชที่ทดลอง	5.00	0.00	มากที่สุด
4. องค์ประกอบของรูปแบบ	5.00	0.00	มากที่สุด
<b>ค่าเฉลี่ยรวมทุกด้าน</b>	<b>4.91</b>	<b>0.23</b>	<b>มากที่สุด</b>

*การประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบรูปแบบ*

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบของรูปแบบระบบการพัฒนาระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรียนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง ขององค์ประกอบของรูปแบบโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่า ค่าเฉลี่ยรวมความเหมาะสมขององค์ประกอบของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นอยู่ในระดับความเหมาะสมมากที่สุด ( $\bar{x} = 4.91$ , S.D. = 0.23) และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ผู้เชี่ยวชาญให้ระดับความ

เหมาะสมเกี่ยวกับแนวคิดและหลักการมีความสอดคล้องสัมพันธ์กันกับวัตถุประสงค์ ความเหมาะสมกับการพัฒนาระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรียนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝังในแปลงพืชที่ทดลอง และองค์ประกอบของรูปแบบ ที่ระดับความเหมาะสมเท่ากันที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.00 และด้านครอบคลุมตามองค์ประกอบหลักของรูปแบบการพัฒนาระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรียนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.47 ตามลำดับ

**ตารางที่ 2** ประเมินคุณภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อการใช้งานระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรียนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	การแปลผล
<b>คุณภาพของการพัฒนาระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะฯ</b>			
1. ด้านความสามารถของระบบ	4.56	0.32	มากที่สุด
2. ด้านการออกแบบส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (GUI)	4.54	0.00	มากที่สุด
3. ด้านประโยชน์และการใช้งาน	4.83	0.00	มากที่สุด
<b>ค่าเฉลี่ยรวมทุกด้าน</b>	<b>4.64</b>	<b>0.18</b>	<b>มากที่สุด</b>
<b>ความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อการใช้งานระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะฯ</b>			
1. ด้านความสำคัญของเทคโนโลยี IOT	4.55	0.04	มากที่สุด
2. ด้านความสามารถของระบบ	4.61	0.09	มากที่สุด
3. ด้านประโยชน์และการใช้งาน	4.64	0.01	มากที่สุด
<b>ค่าเฉลี่ยรวมทุกด้าน</b>	<b>4.60</b>	<b>0.04</b>	<b>มากที่สุด</b>

คุณภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อการใช้งานระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะฯ

จากตารางที่ 2 ประเมินคุณภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อการใช้งานระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง พบว่า คุณภาพของการพัฒนารูปแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์ที่พัฒนาตามรูปแบบ ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นเกี่ยวกับคุณภาพของระบบโดยรวมในระดับมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยรวมทุกด้านเท่ากับ 4.64 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.18 ( $\bar{X} = 4.64$ , S.D. = 0.18) และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินด้านประโยชน์และการใช้งานมากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.83 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00 รองลงมา ด้านความสามารถของระบบค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.32 และด้านการออกแบบส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (GUI) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.54 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.00 ตามลำดับ

ความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง โดยรวมมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.04 ( $\bar{X} = 4.60$ , S.D. = 0.04) หากพิจารณาเป็นรายด้านพบว่าด้านประโยชน์และการใช้งานมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.64 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.01 รองลงมา ด้านความสามารถของระบบมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.61 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.01 ด้านความสำคัญของเทคโนโลยี มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.04 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กาญจนานพร และ นฤมล (4) เรื่องการพัฒนาระบบควบคุมเกษตรอัจฉริยะโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง พบว่าระบบควบคุมเกษตรอัจฉริยะโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝังที่พัฒนาขึ้น อยู่ในเกณฑ์รูปแบบที่พัฒนาในระดับความ

เหมาะสมมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.16 ความพึงพอใจของเกษตรกรชาวไร่อ้อยที่มีต่อระบบควบคุม เกษตรอัจฉริยะโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.74

## สรุปผล

การพัฒนาระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง มีคุณภาพของระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง ตามรูปแบบที่พัฒนาขึ้นในระดับที่มากที่สุด และผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะอยู่ในระดับที่มากที่สุด ดังนั้น รูปแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนปลูกพืชโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝังที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนั้น ช่วยให้มีความสะดวกสบายและแบ่งเบาภาระของเกษตรกรหรือผู้ที่สนใจทั่วไป ในการควบคุมสั่งการเปิด-ปิดการให้น้ำในโรงเรือนปลูกพืชผ่านทางสมาร์ตโฟนจากทุกที่และทุกเวลาในแปลงพืชผักทดลองสาขาพืชคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์หันตรา ได้จริง

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ให้การสนับสนุนทุนในการวิจัย และท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาญณรงค์ ศรีทรงเมื่อง ผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตพืชการป้องกันกำจัดศัตรูพืชในโรงเรือน ผศ.ดร.อาณัติ รัตนธิรกุล ที่ให้ความอนุเคราะห์แปลงผักทดลองสำหรับทดสอบระบบการจัดการฟาร์มครั้งนี้ อีกทั้งให้คำปรึกษาด้านข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องด้วยดีเสมอมาจนงานวิจัยได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

1. กอบเกียรติ สระอุบล. พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino ด้วย NodeMCU. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: อินเทอร์เน็ตมีเดีย; 2561.
2. ธรัช อารีราษฎร์, วรภา อารีราษฎร์. ระบบไอโอทีสำหรับการตรวจสอบความชื้นและอุณหภูมิเพื่อส่งเสริมการเพาะเลี้ยงเห็ดในโรงเรือนให้มีผลผลิตที่สมบูรณ์. วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ. 2563;6(1):7-17.
3. ศุภวุฒิ ผากา, สันติ วงศ์ใหญ่, อติสร ถมยา. การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดในโรงเพาะบ้านทุ่งป่อแป้น ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง. 2557; 7(1):58-69.
4. กาญจนพร เตียวเจริญกิจ, นฤมล อ่อนเมืองดง. การพัฒนาระบบควบคุมเกษตรอัจฉริยะโดยใช้คอมพิวเตอร์แบบฝัง [ปริญญาานิพนธ์]. พระนครศรีอยุธยา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ; 2562.



## การพัฒนาผลิตภัณฑ์บราวนี่เพื่อสุขภาพจากถั่วสามสี

### Development of Healthy Brownie from Three Colored Beans

สุภาณี บุญเสน<sup>1</sup> ณัฐสิมา บุญใบ<sup>1</sup> สุมนา พูลย์มี<sup>1</sup> อัญชิศร สิริทรัพย์เจริญ<sup>1</sup> พีรพงศ์ งามนิคม<sup>2</sup> และ ศิริลักข์ สุนทร<sup>3\*</sup>  
Suwaphanee Boonsean<sup>1</sup>, Nutsima Boonbai<sup>1</sup>, Sumana Poonyim<sup>1</sup>, Auntisorn Sirisubjareon<sup>1</sup>,  
Peerapong Ngamnikom<sup>2</sup> and Siriluck Surin<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

<sup>2</sup>สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (ศูนย์รังสิต) อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130

<sup>3</sup>สาขาวิทยาศาสตร์และการจัดการเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12110

<sup>1</sup>Division of Food and Nutrition, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University, Chatuchak, Bangkok 10900, THAILAND

<sup>2</sup>Division of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (Rangsit Campus), Thanyaburi, Pathumthani 12130, THAILAND

<sup>3</sup>Division of Food Science and Technology Management, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Khlong Luang, Pathumthani, 12110

\*Corresponding author e-mail: siriluck\_s@rmutt.ac.th

#### ARTICLE INFO

#### ABSTRACT

Article history:

Received: 23 June, 2020

Revised: 6 August, 2020

Accepted: 31 August, 2020

Available online: 15 February, 2021

DOI: 10.14456/rj-rmutt.2021.4

**Keywords:** brownie, beans, sensory evaluation, nutrition, physical properties

Brownie is a bakery product with the main composition of wheat flour. Therefore, this research was to develop brownie made from three colors of bean (black-, white-, and red kidney beans) to replace wheat flour and to add nutritional value to the brownie. Based on the results of the selection of basic brownie recipes, consumers rated the most preference recipe from The Health and Cuisine magazine (S3). The score was in the range of 7.2-7.9 (moderate preference) due to its higher chocolate and cocoa composition than the basic S1 and S2 recipes. Therefore, the S3 recipe was a prototype in the development of three-colored bean brownie, which was a 100%

substitute for wheat flour. In the study of bean ratio (black: white: red), the ratio was 50:25:25 (M1), 25:50:25 (M2) and 25:25:50 (M3). From sensory evaluation, it was found that consumers rated the highest preference recipe for M2 in taste and overall liking, significantly ( $p < 0.05$ ). The score was in the range of 6.8-7.5 (slight to moderate preference). For the physical properties of M2, its color showed  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  as 6.75, 2.24 and 1.18, respectively. Its water activity ( $a_w$ ) was 0.75. The nutritional value of 3 recipes of three-colored bean brownie products in comparison with S3 (50 grams of weight per serving was used in the calculation) showed that all three-colored bean brownies contained protein and fiber with the increased average volume by 14.31 and 67.72%, respectively. According to customer acceptance testing (100 persons), it was found that 88% of consumers accepted and were willing to purchase brownie M2.

### บทคัดย่อ

บราวนี่ เป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่มีองค์ประกอบของแป้งสาลีเป็นหลัก อาจไม่เหมาะกับผู้ที่แพ้กลูเตนในแป้งสาลี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์พัฒนาบราวนี่จากถั่วสามสี ได้แก่ ถั่วดำ ถั่วขาว และถั่วแดง เพื่อทดแทนแป้งสาลีในการผลิตบราวนี่ และเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์บราวนี่ จากผลการคัดเลือกสูตรพื้นฐานในการผลิตบราวนี่ พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบบราวนี่สูตรพื้นฐานจากนิตยสารแฮลแอนคลูซัน (S3) สูงสุด คะแนนอยู่ในช่วง 7.2-7.9 (ชอบปานกลาง) เนื่องจากมีส่วนประกอบของซีอิ๊วโกแลตและโกโก้สูงกว่าสูตรพื้นฐาน S1 และ S2 ดังนั้นจึงได้นำบราวนี่สูตร S3 ไปเป็นต้นแบบในการพัฒนา บราวนี่จากถั่วสามสี ซึ่งทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 100 สำหรับการศึกษากายภาพแปรอัตราส่วน เลือกใช้เป็น ถั่วดำ:ถั่วขาว:ถั่วแดง ร้อยละ 50:25:25 (M1) 25:50:25 (M2) และ 25:25:50 (M3) ของปริมาณแป้งสาลี จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบบราวนี่อัตราส่วนสูตร M2 สูงสุด ในคุณลักษณะรสชาติและความชอบโดยรวม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) มีค่าคะแนน

ความชอบอยู่ในช่วง 6.8 - 7.5 (ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง) สำหรับบราวนี่ถั่วสามสีอัตราส่วนสูตร M2 นั้น มีค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  เท่ากับ 6.75 2.24 และ 1.18 ตามลำดับ และปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ 0.75 เมื่อคำนวณคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์บราวนี่จากถั่วสามสี ทั้ง 3 สูตร เปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน (S3) กำหนดน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยบริโภคเท่ากับ 50 กรัม พบว่า บราวนี่จากถั่วสามสีมีปริมาณโปรตีน และใยอาหารเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 14.31 และ 67.72 ตามลำดับ และเมื่อทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์บราวนี่จากถั่วสามสี อัตราส่วนสูตร M2 กับ ผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่า ผู้บริโภคทั่วไปให้การยอมรับและตัดสินใจซื้อร้อยละ 88

**คำสำคัญ:** บราวนี่ ถั่ว การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ คุณภาพทางกายภาพ

### บทนำ

ในปัจจุบันสังคมไทยมีวิถีการดำเนินชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสังคมเมืองที่ผู้คนมีความเร่งรีบมากขึ้น ผู้บริโภคต่างให้ความสำคัญกับการ

ทำอาหารเองน้อยลง ดังนั้นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่จึงเป็นส่วนหนึ่งที่ผู้บริโภคสามารถเลือกรับประทานเป็นอาหารว่าง รวมไปถึงอาหารมื้อหลักได้ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ส่วนใหญ่ทำมาจากแป้งสาลี มีองค์ประกอบของกลูเตนที่ส่งผลให้ผู้บริโภคบางกลุ่มที่แพ้กลูเตนไม่สามารถรับประทานได้ โดยผู้บริโภคกลุ่มนี้ คิดเป็นร้อยละ 1 ของประชากรทั่วโลก ดังนั้นในหลายประเทศจึงหันมาให้ความสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ปลอดจากกลูเตน (Gluten-free Foods) วางจำหน่ายมากขึ้น โดยเฉพาะในอเมริกา ออสเตรเลีย และประเทศในฝั่งยุโรป (1)

บรวนนี่เป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่อย่างหนึ่งที่รู้จักกันทั่วไปและรับประทานง่าย โดยมีลักษณะคล้ายเค้ก ช็อกโกแลตเข้มข้น แต่เนื้อแน่นกว่าเค้ก เพราะมีปริมาณผงฟูน้อย บรวนนี่นิยมอบในถาดแบนรูปสี่เหลี่ยมสูง 1 นิ้ว แล้วตัดแบ่งเป็นชิ้นลักษณะสี่เหลี่ยม ทั้งนี้มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาการทดแทนการใช้แป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ บรวนนี่ เพื่อเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่รักสุขภาพและผู้บริโภคที่แพ้กลูเตน ตัวอย่างเช่น การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งกล้วยน้ำว้าที่ปริมาณร้อยละ 50 และการใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในปริมาณร้อยละ 100 ทดแทนการใช้แป้งสาลีในการผลิตบรวนนี่ ผลิตภัณฑ์บรวนนี่ที่พัฒนาได้ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์นั้น มีใยอาหารที่เพิ่มขึ้น และยังได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากกว่าร้อยละ 80 (2, 3) นอกจากนี้ มีงานวิจัยศึกษาการใช้มันเทศสีส้ม (orange sweet potato) ทดแทนแป้งสาลีในการผลิตบรวนนี่เพื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหาร ซึ่งสามารถทดแทนแป้งสาลีได้สูงถึงร้อยละ 50-75 โดยไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะปรากฏและการประเมินทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค (4)

ถั่วเป็นวัตถุดิบอย่างหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเฉพาะตัวบางอย่าง เช่น ถั่วขาวมีคุณสมบัติการช่วยควบคุมน้ำหนัก เนื่องจากมีสารฟาซิโอลามิน (phaseolamin) ซึ่งยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟาอะไมเลส ( $\alpha$ -amylase) ทำให้ไม่สามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ ร่างกายจึงได้รับพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตลดลง (5) ถั่วดำช่วยบำรุงหัวใจ บำรุง

สายตา บำรุงไต ลดไขมันอุดตันในหลอดเลือด ขับเหงื่อ กระตุ้นการขับถ่าย และเพิ่มประสิทธิภาพระบบภูมิคุ้มกัน เนื่องจากมีสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) โพลีฟีนอล แมกนีเซียม วิตามินบี6 วิตามินบี1 และวิตามินบี2 ในปริมาณสูง (6) ส่วนถั่วแดงช่วยต้านอนุมูลอิสระ ชะลอการเกิดโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือด ลดโรคหลอดเลือดหัวใจ แข็งตัว และบำรุงเลือด เนื่องจากอุดมไปด้วยสารแอนโทไซยานิน และธาตุเหล็กสูง (7) โดยถั่วทั้งสามชนิดนี้ สามารถใช้ทดแทนแป้งสาลีในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงพัฒนาผลิตภัณฑ์บรวนนี่โดยใช้ถั่วสามสี ได้แก่ ถั่วขาว ถั่วดำ และถั่วแดง มาทดแทนการใช้แป้งสาลี เพื่อเพิ่มทางเลือกผลิตภัณฑ์ให้กับผู้บริโภคที่แพ้กลูเตน และกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพ อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังเป็นการส่งเสริมการใช้วัตถุดิบทางการเกษตรของประเทศ ลดการนำเข้าแป้งสาลีจากต่างประเทศ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนถั่วสามสีที่เหมาะสมในการผลิตบรวนนี่ โดยศึกษาการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส คุณสมบัติทางกายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ และศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ บรวนนี่จากถั่วสามสีที่พัฒนาได้

## วิธีดำเนินการวิจัย

### วัตถุดิบและอุปกรณ์

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตบรวนนี่ ได้แก่ ถั่วสามสี แบบแห้ง คือ ถั่วดำ ถั่วขาว และถั่วแดง (ตราไร่ทิพย์) ช็อกโกแลตและผงโกโก้ (ตราทิวลิป) แป้งอเนกประสงค์ (ตราว่าว) แป้งเค้ก (ตราพัดโบก) น้ำตาลทรายขาว (ตราลิน) น้ำตาลทรายแดง (ตรามิตรผล) ไข่ไก่ (ตราซีพี) เนยจืด (ตราอลาวรี่) เกลือ (ตราปรุงทิพย์) เบกกิ้งโซดา (ตราแม็กกาแรต) และกลิ่นวานิลลา (ตราวินเนอร์) สำหรับอุปกรณ์ในการผลิตบรวนนี่ ใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตขนมอบ

### การคัดเลือกบรวนนี่สูตรพื้นฐาน

คัดเลือกสูตรบรวนนี่พื้นฐาน 3 สูตร จากแหล่งที่มา ดังต่อไปนี้ หนึ่งคือถั่วและธัญพืชเมล็ดพันธุ์เพื่อสุขภาพ (S1)

(8) หนังสือ Chocolate Lover (S2) (9) และ นิตยสารแอนด์ แอนคลูซีน (S3) (10) ส่วนผสมของแต่ละสูตรดังตารางที่ 1 นำบรวานี้สูตรพื้นฐานทั้ง 3 สูตร ไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ซึ่งประเมินด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale (คะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบชิมบุคคลทั่วไป จำนวน 50 คน

ตารางที่ 1 สูตรของบรวานี้พื้นฐานทั้ง 3 สูตร

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	สูตรที่ S1*	สูตรที่ S2**	สูตรที่ S3***
ช็อกโกแลต	19.6	20.1	28.2
ผงโกโก้	-	2.2	6.1
เนยจืด	11.8	19.0	14.1
แป้งอเนกประสงค์	18.3	-	13.4
แป้งเค้ก	-	12.8	-
ไข่ไก่	16.4	16.7	18.8
น้ำตาลทราย	32.7	20.1	16.9
น้ำตาลทรายแดง	-	7.8	-
เบกกิ้งโซดา	-	-	0.4
เกลือป่น	0.3	0.2	0.4
กลิ่นวานิลลา	0.8	1.1	1.9

ขั้นตอนการทำบรวานี้สูตรพื้นฐาน

สำหรับวิธีการทำบรวานี้เริ่มจากการละลายเนยจืด ช็อกโกแลต และผงโกโก้ด้วยไอน้ำแล้วพักไว้ จากนั้นตีไข่ไก่ น้ำตาล เกลือ เบกกิ้งโซดา และกลิ่นวานิลลาให้เข้ากัน ผสมแป้งสาลีและช็อกโกแลตที่ละลายไว้คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำส่วนผสมที่ได้เทใส่ถาดและอบด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-35 นาที จากนั้นพักไว้ในเตาอบ นาน 15 นาที นำตัวอย่าง บรวานี้ ออกจากเตาอบ เพื่อนำไปศึกษาคุณสมบัติในขั้นตอนต่อไป

อัตราส่วนถั่วสามชนิดที่เหมาะสมในการผลิตบรวานี้

เลือกสูตรบรวานี้พื้นฐานที่ได้คะแนนทางด้านประสาทสัมผัสมากที่สุดมาศึกษาอัตราส่วนของถั่วสามชนิด

ได้แก่ ถั่วดำ ถั่วขาว และถั่วแดง โดยใช้ทดแทนแป้งสาลี ร้อยละ 100 ในสูตรบรวานี้พื้นฐาน และกำหนดอัตราส่วนของถั่วทั้ง 3 ชนิด ดังตารางที่ 2 นำตัวอย่างไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยผู้ทดสอบจำนวน 50 คน

ตารางที่ 2 อัตราส่วนถั่วดำ ถั่วขาว และถั่วแดงในการผลิตบรวานี้

ชนิดของถั่ว	อัตราส่วน (ร้อยละ)		
	สูตรที่ M1	สูตรที่ M2	สูตรที่ M3
ถั่วดำ	50	25	25
ถั่วขาว	25	50	25
ถั่วแดง	25	25	50

ขั้นตอนการเตรียมถั่วสามสีในการผลิตบรวานี้จากถั่วสามสี

สำหรับขั้นตอนการเตรียมถั่ว นำถั่วแต่ละชนิด ต้มที่อุณหภูมิน้ำเดือดจนถั่วสุก จากนั้นนำถั่วมาพักไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เมื่อถั่วมีอุณหภูมิเย็นลงประมาณ 50 องศาเซลเซียส จึงนำถั่วทั้ง 3 ชนิด มาบดด้วยเครื่องบดอาหาร (HR1399, Philips) จนละเอียด แล้วนำมาผัดผ่านตะแกรงร่อนแป้ง ความถี่ 60 เมช นำถั่วที่ได้มาชั่งตามอัตราส่วนที่กำหนดในตารางที่ 2 และนำไปทำบรวานี้ด้วยขั้นตอนการผลิตแบบเดียวกับบรวานี้สูตรพื้นฐาน

การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของบรวานี้

นำผลิตภัณฑ์บรวานี้ มาทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม แบบ 9-Point Hedonic Scale โดยผู้ทำการทดสอบเป็นบุคคลทั่วไป จำนวน 50 คน ทำการทดสอบในโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม สำหรับวิธีการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ตัวอย่างบรวานี้ถูกตัดให้มีขนาด 3x3 เซนติเมตร และบรรจุในถ้วยพลาสติกที่มีฝาปิด แต่ละตัวอย่างจะติดรหัส ลุ่ม 3 ตัว ตัวอย่างจะถูกเสิร์ฟทีละตัวอย่างแบบสุ่ม โดยระหว่างการทดสอบชิมผู้ทดสอบชิมจะต้องดื่มน้ำคั้นระหว่างตัวอย่าง



ตารางที่ 3 คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบในการผลิตบรวนี่จากถั่วสามสี

วัตถุดิบ	พลังงาน (กิโลแคลอรี)	โปรตีน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	ใยอาหาร (กรัม)	แคลเซียม (มิลลิกรัม)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	เหล็ก (มิลลิกรัม)	วิตามินเอ (ไมโครกรัม)
เนยจืด	725	0.5	1.4	81.6	-	15	16	1.1	3300
ซ็อกโกแลต	331	-	53.4	28.1	2.2	92	455	2.7	60
โกโก้	281	-	51.7	21.2	-	90	558	7.4	30
ถั่วดำ	357	-	70	1.4	6.7	59	347	6.5	10
ถั่วขาว	359	22.3	61.1	2.8	3.1	-	-	6.8	-
ถั่วแดง	352	-	64.5	3.1	7.3	397	285	4	55
น้ำตาล	387	-	96.8	-	-	-	-	-	-
ไข่ไก่	169	12.7	1.7	11.9	-	76	186	3.5	1140
เกลือ	-	-	-	-	-	253	-	0.1	-

ที่มา: หนังสือตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย

ตารางที่ 4 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของบรวนี่สูตรพื้นฐาน

สูตรพื้นฐาน	คุณลักษณะ				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
สูตรที่ S1	6.6 <sup>b</sup> ±1.3	6.8 <sup>b</sup> ±1.2	7.1 <sup>a</sup> ±1.3	7.0 <sup>a</sup> ±1.6	7.5 <sup>a</sup> ±1.2
สูตรที่ S2	7.6 <sup>ab</sup> ±1.2	7.1 <sup>a</sup> ±1.2	7.6 <sup>a</sup> ±1.1	7.3 <sup>a</sup> ±1.6	7.8 <sup>a</sup> ±1.1
สูตรที่ S3	7.8 <sup>a</sup> ±1.2	7.5 <sup>a</sup> ±1.2	7.5 <sup>a</sup> ±1.2	7.2 <sup>a</sup> ±1.3	7.9 <sup>a</sup> ±1.3

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ตัวอักษรที่ไม่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

ตารางที่ 5 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของบรวนี่จากถั่วสามสี

ถั่วดำ : ถั่วขาว : ถั่วแดง (สูตรที่)	คุณลักษณะ				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
50 : 25 : 25 (สูตรที่ M1)	6.6 <sup>a</sup> ±1.3	6.6 <sup>a</sup> ±1.2	6.2 <sup>b</sup> ±1.2	6.8 <sup>a</sup> ±1.7	6.2 <sup>b</sup> ±1.3
25 : 50 : 25 (สูตรที่ M2)	6.8 <sup>a</sup> ±1.4	6.8 <sup>a</sup> ±1.2	7.2 <sup>a</sup> ±1.5	6.9 <sup>a</sup> ±1.6	7.5 <sup>a</sup> ±1.0
25 : 25 : 50 (สูตรที่ M3)	6.3 <sup>a</sup> ±1.8	6.6 <sup>a</sup> ±1.2	5.8 <sup>b</sup> ±1.5	6.7 <sup>a</sup> ±1.7	6.2 <sup>b</sup> ±1.5

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ตัวอักษรที่ไม่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของบรวนี่จากถั่วสามสี

นำตัวอย่างบรวนี่จากถั่วสามสี วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพภายใน 24 ชั่วโมง โดยคุณภาพทางกายภาพที่วิเคราะห์ ได้แก่ ค่าสีในระบบ CIELAB ( $L^*$   $a^*$   $b^*$ ) ด้วยเครื่องวัดค่าสี (ColorFlex EZ, HunterLab,

USA) และ ปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) ด้วยเครื่อง Novasina (AW Sprint TH-500, Switzerland)

คุณค่าทางโภชนาการของบรวนี่จากถั่วสามสี

คุณค่าทางโภชนาการของบรวนี่ถั่วสามสี ใช้วิธีการคำนวณโดยเทียบบัญญัติไตรยางค์กับข้อมูลจากหนังสือตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย

(11) โดยคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบ 100 กรัม ที่ใช้ในการคำนวณ แสดงดังตารางที่ 3

*การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์บราวนี่จากถั่วสามสีที่พัฒนาได้*

นำผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่พัฒนาได้ มาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผู้ทดสอบจำนวน 100 คน โดยเตรียมตัวอย่างบราวนี่ขนาด 3x3 เซนติเมตร และถูกบรรจุในถ้วยพลาสติกที่มีฝาปิดให้ซีม พร้อมทั้งนำเสนอผลิตภัณฑ์บราวนี่จากถั่วสามสีที่พัฒนาได้ โดยการบรรจุในกล่องพร้อมจำหน่ายเชิงพาณิชย์ จำนวน 1 ชั้น น้ำหนัก 50 กรัม และกำหนดราคาขาย 35 บาทต่อกล่อง

*การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ*

งานวิจัยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำข้อมูลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสและสมบัติทางกายภาพ ถูกนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (PAWS Statistics 18.0, IBM) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สำหรับคุณค่าทางโภชนาการและการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค นำไปคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) หรือร้อยละ (Percentage) ด้วยโปรแกรม MS Office (Microsoft)

## ผลการศึกษาและอภิปรายผล

*ผลการคัดเลือกบราวนี่สูตรมาตรฐาน*

นำบราวนี่สูตรพื้นฐานทั้ง 3 สูตร ไปประเมินทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม แบบ 9-Point Hedonic Scale กับผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน ในโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนสูตรพื้นฐาน S3 จาก

นิตยสารแฮลแอนคลูซิ่งสูงที่สุด ดังตารางที่ 4 โดยคะแนนคุณลักษณะในด้านสีและกลิ่นอยู่ในช่วง 7.5-7.8 (ขอบปานกลาง) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จากสูตรที่ S1 เนื่องจากสูตรบราวนี่พื้นฐาน S3 นั้นมีส่วนผสมของช็อกโกแลตและผงโกโก้ในปริมาณที่มากกว่าสูตรพื้นฐานสูตร S1 ทำให้บราวนี่สูตร S3 มีกลิ่นหอมของช็อกโกแลตมากกว่า จึงส่งผลให้คะแนนความชอบทางด้านกลิ่นได้คะแนนสูงกว่าสูตรพื้นฐาน S1 ส่วนทางด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมทั้ง 3 สูตร ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \geq 0.05$ ) ซึ่งอยู่ในช่วง 7.0-7.8 (ขอบปานกลาง) ดังนั้นผลิตภัณฑ์บราวนี่พื้นฐานสูตรที่ S3 จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์บราวนี่จากถั่วสามสีต่อไป

*ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของบราวนี่ถั่วสามสี*

จากสูตรการทำบราวนี่พื้นฐาน สูตรบราวนี่ S3 ได้คะแนนสูงสุด จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาการทดแทนแป้งสาลีในสูตรพื้นฐานร้อยละ 100 ด้วยถั่วสามสี ได้แก่ ถั่วดำ ถั่วขาว และถั่วแดง โดยสัดส่วนของถั่วแต่ละชนิด ดังตารางที่ 5 บราวนี่ที่ถูกทดแทนแป้งสาลีด้วยถั่วสามสี มีลักษณะสีดำ กลิ่นหอมช็อกโกแลต และรสหวาน ไม่แตกต่างจากสูตรบราวนี่พื้นฐานสูตร S3 แต่คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสมีความแตกต่าง โดยบราวนี่จากถั่วสามสีจะมีลักษณะเนื้อแน่นและหนึบ ซึ่งต่างจากบราวนี่สูตรพื้นฐานที่มีส่วนผสมของแป้งสาลีที่จะนุ่มฟู เนื่องจากในแป้งสาลีสามารถเกิดโครงสร้างของกลูเตนที่ช่วยกักเก็บแก๊สที่เกิดจากการขึ้นฟู ทำให้โครงสร้างของบราวนี่หลังจากการอบไม่ยุบตัว (12)

สำหรับการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม แบบ 9-Point Hedonic Scale กับผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน พบว่า บราวนี่ถั่วสามสีทั้ง 3 สูตร ให้คุณลักษณะในด้านสี กลิ่น และเนื้อสัมผัส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) โดยมีคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 6.3 - 6.9 (ขอบเล็กน้อย) ดังตารางที่

5 ส่วนรสชาติและความชอบโดยรวมของสูตรที่ M2 มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดังนั้นสูตร M2 จึงมีความเหมาะสมในการผลิตบราวนี่จากถั่วสามสี

#### ผลการทดสอบทางด้านกายภาพของบราวนี่ถั่วสามสี

สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพของบราวนี่สูตรที่ใช้ถั่วสามสีที่นำมาทดแทนแป้งสาลี (สูตรที่ M1 M2 และ M3) นั้น พบว่า เมื่อใช้ถั่วสามสีแทนแป้งสาลีในการผลิตบราวนี่ทั้ง 3 สูตร ค่า  $L^*$  แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยสูตรบราวนี่ถั่วสามสี M2 จะมีค่า  $L^*$  สูงกว่าอัตราส่วนของถั่วสามสีสูตร M1 และ M3 ดังตารางที่ 6 เนื่องจากมีการใช้ถั่วขาวในอัตราส่วนร้อยละ 50 ซึ่งส่งผลให้สีของ บราวนี่เป็นสีค่าที่สว่างกว่าสูตร M1 และ M3 นอกจากนี้ บราวนี่อัตราส่วนของถั่วสูตร M2 ยังส่งผลค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ค่อนข้างสูงด้วยเช่นกัน สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ พบว่า ผลลัพท์ บราวนี่จากถั่วทั้ง 3 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) โดยค่า  $a_w$  อยู่ในช่วง 0.75 - 0.79

ตารางที่ 6 คุณสมบัติทางกายภาพของบราวนี่สูตรที่ใช้ถั่วสามสี (M1 M2 และ M3)

สูตรบราวนี่	คุณลักษณะ			ปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ )
	ค่าความสว่าง ( $L^*$ )	ค่าสีแดง ( $a^*$ )	ค่าสีเหลือง ( $b^*$ )	
50 : 25 : 25 (สูตรที่ M1)	4.89 <sup>b</sup> ± 1.51	0.92 <sup>c</sup> ± 0.01	0.57 <sup>b</sup> ± 0.17	0.78 <sup>a</sup> ± 0.03
25 : 50 : 25 (สูตรที่ M2)	6.75 <sup>a</sup> ± 1.52	2.24 <sup>a</sup> ± 0.45	1.18 <sup>a</sup> ± 0.35	0.75 <sup>a</sup> ± 0.02
25 : 25 : 50 (สูตรที่ M3)	3.39 <sup>c</sup> ± 0.16	1.21 <sup>b</sup> ± 0.67	0.67 <sup>b</sup> ± 0.03	0.79 <sup>a</sup> ± 0.03

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ตัวอักษรที่ไม่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

ตารางที่ 7 คุณค่าทางโภชนาการที่ได้จากผลลัพท์บราวนี่สูตรพื้นฐาน S3 และบราวนี่จากถั่วสามสี (1 หน่วย, 50 กรัม)

คุณค่าทางโภชนาการ	สูตรบราวนี่			
	พื้นฐาน (สูตรที่ S3)	50 : 25 : 25 (สูตรที่ M1)	25 : 50 : 25 (สูตรที่ M2)	25 : 25 : 50 (สูตรที่ M3)
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	181.16	182.44	182.03	181.81
โปรตีน (กรัม)	4.53	5.35	5.29	5.22
ไขมัน (กรัม)	11.77	11.87	11.88	11.87
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	23.21	22.49	22.42	22.46
ใยอาหาร (กรัม)	0.34	0.96	0.92	1.28
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	31.09	35.38	33.54	35.50
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	109.84	117.07	113.93	121.03
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.92	1.37	1.28	1.17
วิตามินเอ (ไมโครกรัม)	59.46	59.49	59.47	59.47

คุณค่าทางโภชนาการของผลลัพท์บราวนี่จากถั่วสามสี

คุณค่าทางโภชนาการของผลลัพท์บราวนี่ โดยใช้ข้อมูลคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทยในการ

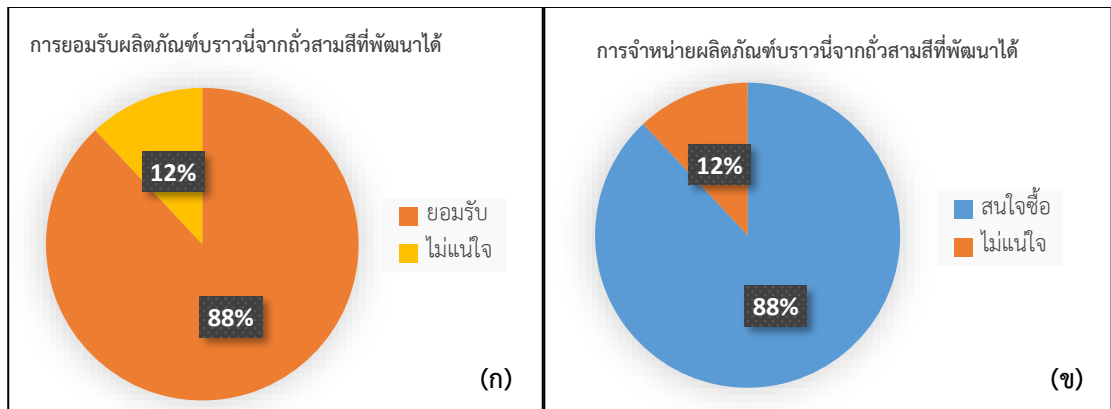
คำนวณโดยการเทียบบัญญัติไตรยางค์ แสดงดังตารางที่ 7 จากการเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของบราวนี่สูตรพื้นฐาน S3 และบราวนี่จากถั่วสามสีทั้ง 3 สูตร (M1 M2

และ M3) โดยการคำนวณอ้างอิงจากหนังสือคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทยและตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยในสวนที่กินได้ 100 กรัม (11) พบว่า ผลิตภัณฑ์บราวน์ทั้ง 4 สูตร ที่มีหน่วยการบริโภคเท่ากับ 50 กรัม มีปริมาณพลังงาน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และวิตามินเอ ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์บราวน์จากถั่วสามสีทั้ง 3 สูตร พบว่า ปริมาณโปรตีน และเส้นใยมีปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 14.31 และ 67.72 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับบราวน์สูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลี เนื่องจากถั่วเป็นธัญพืชที่เป็นแหล่งของโปรตีน ซึ่งมีสูงถึงร้อยละ 20-30 นอกจากนี้ในถั่วยังอุดมไปด้วยใยอาหาร และสตาร์ชที่ทนต่อการย่อย (Resistance Starch) ดังนั้นการใช้ถั่วดำ ถั่วขาว และถั่วแดงทดแทนแป้งข้าวสาลีนี้ สามารถกล่าวอ้างว่าผลิตภัณฑ์บราวน์จากถั่วสามสี เป็นแหล่งของโปรตีน เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนมากกว่าร้อยละ 10 ของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน (Thai Recommended Daily Intakes) และยังสามารถกล่าวอ้างว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีใยอาหารสูง โดยมีมากกว่าร้อยละ 20 ของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน (12) นอกจากนี้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในถั่ว โดยเฉพาะถั่วดำและถั่วแดง ยังสามารถพบสารประกอบฟีนอลิกประเภทสารแอนโทไซยานิน ที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความดันโลหิต รวมทั้งป้องกัน

โรคเมเร็ง โรคหัวใจ และโรคเบาหวาน (13, 14) การพัฒนาผลิตภัณฑ์บราวน์จากถั่วสามสีจึงเป็นทางเลือกหนึ่งให้กับผู้บริโภคที่แพ้กูเตนในแป้งสาลีและกลุ่มผู้บริโภครักสุขภาพ เพราะมีปริมาณโปรตีนและใยอาหารมากกว่าบราวน์ทั่วไปตามท้องตลาด

*การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์บราวน์จากถั่วสามสีที่พัฒนาได้*

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์บราวน์จากถั่วสามสีที่พัฒนาได้ จำนวน 100 คน ในโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ส่วนใหญ่ผู้ประเมินเป็นเพศหญิง ร้อยละ 73 และเพศชาย ร้อยละ 27 และมีอายุในช่วง 18-25 ปี ร้อยละ 75 โดยนำเสนอผลิตภัณฑ์บราวน์จากถั่วสามสีที่พัฒนาได้ต่อผู้บริโภค โดยนำบราวน์จากถั่วสามสีที่พัฒนาได้บรรจุในกล่อง จำนวน 1 ชั้น น้ำหนัก 50 กรัม ราคา 35 บาท พบว่าผู้บริโภคทั่วไปให้การยอมรับ ร้อยละ 88 และไม่แน่ใจ ร้อยละ 12 นอกจากนี้ยังมีการสอบถามความคิดเห็นด้านการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์บราวน์ถั่วสามสีที่พัฒนาได้ พบว่าผู้บริโภคมีความสนใจที่จะซื้อสูงร้อยละ 88 และไม่แน่ใจที่จะซื้อ ร้อยละ 12 ดังรูปที่ 1 สรุปได้ว่า ถ้าหากผลิตภัณฑ์บราวน์จากถั่วสามสีที่พัฒนาได้ออกมาจำหน่าย ผู้บริโภคมีความสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์



รูปที่ 1 (ก) ผลการทดสอบด้านการยอมรับผลิตภัณฑ์บราวน์จากถั่วสามสีที่พัฒนาได้ และ (ข) ผลการทดสอบด้านการจำหน่ายผลิตภัณฑ์บราวน์จากถั่วสามสีที่พัฒนาได้

## สรุปผล

จากการศึกษาบรารวนี้สูตรพื้นฐาน 3 สูตร พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบสูตรพื้นฐานที่ได้มาจาก นิตยสารแอสแอนคลูซัน (S3) สูงสุดในคุณลักษณะสีและ กลิ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่า คะแนนอยู่ในช่วง 7.2 - 7.9 (ชอบปานกลาง) จึงเหมาะ สำหรับนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บรารวนี้จากถั่วสามสีที่ใช้ ไซท์ทดแทนแป้งสาลีในสูตรพื้นฐาน ร้อยละ 100 ซึ่งถั่วที่ใช้ ในการศึกษา ได้แก่ ถั่วดำ ถั่วขาว และถั่วแดง และผั นแปรอัตราส่วน ถั่วดำ:ถั่วขาว:ถั่วแดง เป็นร้อยละ 50:25:25 (M1) 25:50:25 (M2) และ 25:25:50 (M3) จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า ผู้บริโภค ให้คะแนนความชอบบรารวนี้จากถั่วสามสีในอัตราส่วนสูตร M2 สูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 6.8 - 7.5 (ชอบ เล็กน้อยถึงชอบปานกลาง) สำหรับบรารวนี้ถั่วสามสี อัตราส่วนสูตรM2 นั้น มีค่าสี  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  เท่ากับ 6.75 2.24 และ 1.18 ตามลำดับ และปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ 0.75 เมื่อทดสอบคุณค่าทางโภชนาการผลิตภัณฑ์บรารวนี้ จากถั่วสามสี ทั้ง 3 สูตร กำหนดน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วย บริโภคเท่ากับ 50 กรัม พบว่า ปริมาณโปรตีนและใย อาหารมีปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับบรารวนี้ สูตรพื้นฐาน เฉลี่ยร้อยละ 14.31 และ 67.72 ตามลำดับ และเมื่อทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์บรารวนี้จากถั่วสาม สี สูตรอัตราส่วน M2 นั้นกับผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่า ผู้บริโภคทั่วไปให้การยอมรับและตัดสินใจซื้อ ร้อยละ 88

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ สาขาวิชา อาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์ และสาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเกษตรและ ชีวภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม และคณะ เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

ธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ ต่าง ๆ และห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์คุณภาพ ทางด้านอาหาร

## เอกสารอ้างอิง

1. จิระนาถ รุ่งเรือง, นภัทรพี เหลืองสกุล. การพัฒนา ผลิตภัณฑ์คุกกี้จากแป้งปราศจากกลูเตนบางชนิด. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2561;13(2):34-45.
2. พรรรัตน์ สิ้นชัยพานิช, กุลรภัส บุตรพงษ์, ศศพิณท์ ดิษนิล, เรณู ทวีชชาติวิทยากุล. ผลของแป้งข้าวใน ไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีในบรารวนี้. วารสาร วิจัย มสธ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2551;10(2):69-79.
3. ณนันท์ แต่งสังวาลย์, นื่องนุช ศิริวงศ์, ศิริพร เรียบร้อย. การใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งสาลี ในบรารวนี้. เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49: สาขาส่งเสริม การเกษตรและคหกรรมศาสตร์. การประชุมทาง วิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49; 1-4 ก.พ. 2554; กรุงเทพฯ. กรุงเทพฯ: สำนัก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2554.
4. Selvakumaran L, Shukri R, Ramli NS, Pak Dek MS, Wan Ibadullah WZ. Orange sweet potato (Ipomoea batatas) puree improved physicochemical properties and sensory acceptance of brownies. J Saudi Soc. 2019;18(3):332-6.
5. บุศรินทร์ จงเจริญยานนท์. คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของ ถั่วขาวและการประยุกต์แป้งถั่วขาวในผลิตภัณฑ์ ขนมอบ. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัย สยาม. 2559;11(1):1-12.

6. มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์, อำนาจ คูตะคุ, ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์, กรุณา วงษ์กระจ่าง, ชมดาว สิกขะมณฑล. การผลิตอาหารเพื่อสุขภาพจากถั่ว 5 สีสำหรับผู้สูงอายุด้วยกรรมวิธีเอ็กซ์ทรูชัน. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6; มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรญาณบุรี. ปทุมธานี: 2556.
7. ทรรษา เวียงวะลัย, กานติมา ภูวงษ์. ผลของแป้งถั่วแดงที่ทดแทนแป้งสาลีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในหมั่นโถว. Thai Journal of Science and Technology. 2561;7(5 ฉบับเสริม):534-43.
8. ทัทยา อนุสร. ถั่วและธัญพืชเมล็ดพันธุ์แห่งสุขภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: มติชน; 2555.
9. วราภา ปวงเงิน. Chocolatelover. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: อมรินทร์; 2552.
10. Martha Stewart. นิตยสารแฮลแอนคลูซัน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: อมรินทร์; 2552.
11. กลุ่มงานวิเคราะห์อาหารและโภชนาการ กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: องค์การอาหารผ่านศึก; 2544.
12. กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ. 2541 เรื่อง ฉลากโภชนาการ [อินเทอร์เน็ต]. 2541 [สืบค้นเมื่อ 15 ก.พ. 2563].  
จ า ก : <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2541/D/047/23.PDF>
13. ไชยสิทธิ์ พันธุ์พูนจินดา, เลอลักษณ์ เสถียรรัตน์, อรวรรณ อูปถัมภานนท์. การพัฒนาผลิตภัณฑ์บราวนี่โดยใช้แป้งข้าวเหนียวดำทดแทนแป้งสาลี. วารสาร มทร. อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2560;10(1):106-19.
14. กุลยา ลีรุ่งเรืองรัตน์, อโนชา สุขสมบุญ, อภัสรา แสงนาค. การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเพื่อสุขภาพเสริมแป้งถั่ว. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา; 2560. 173196.



## ศึกษาอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียงแผ่นกรองแสงปรับอุณหภูมิสีของแสงคอมไฟสำหรับการ จัดแสงภาพเคลื่อนไหว

### Study of Compared Color Temperature of Color Correction Filter from Luminaries for Motion Pictures

จิรศักดิ์ ปรีชาวีรกุล\* และ อนุสรณ์ สาครดี

Jirasak Prechaveerakul\* and Anusorn Sakorndee

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพและเสียง คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี  
จ.ปทุมธานี 12110

Department of Visual and audio Technology, Faculty of Mass Communication Technology,  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND

\*Corresponding author e-mail: jirasak\_p@rmutt.ac.th

#### ARTICLE INFO

#### ABSTRACT

Article history:

Received: 5 June, 2020

Revised: 22 July, 2020

Accepted: 31 August, 2020

Available online: 21 February, 2021

DOI: 10.14456/rj-rmutt.2021.5

**Keywords:** correlated color  
temperature, color  
correction filter, luminaries  
for motion pictures

The research is to study a light filter adjusting the color temperature of comparative light which is blue light frequency or (Color Temperature Blue: CTB) of number 201 Full CTB, 202 Half CTB, and 203 Quarter CTB by using with Fresnel Lens Lamp from 1000 W Tungsten-Halogen (T-H). Then, the measured value was compared with the calculated value from McCamy formula. The result found that, in the case of non-filter, the CT of T-H Light was 3060K of the measured value and 3067K of the calculated value. To change the CT, in the case of altering the number 201 filter which could change the CT from 3200K to 5700K, it could be measured the CT of the light from 3060K to 5258K with 7.754 % of the deviation, and the calculated value of the CT of the light changed from 3067K to 5259K. In the case of altering the number 202 filter to change the CT from 3200K to 4300K, the measured value changed from 3060K to 3910K with 9.069 % of the deviation, based on the calculation of 3067K to 3916K. In the case of 203 CT-change filter, the value was measured from 3060K to 3430K and its deviation was 4.722 % from the

calculation of 3067K to 3439K. The causes of CT value of the deviation light in this research were in the measuring step, and the calculation. For the measuring step, the filters from various production companies contained different properties to change the CT, and the measuring instrument were not held steadily while studying. For the calculation, the CIE-1931 was needed for the basis of the measuring steps from moving the measuring instrument while measuring the value resulted in the deviation in the calculation step. Consequently, the research selected the properties of the Color Correction Filter of Blue Light Frequency or CT Blue: CTB which could bring the result to use an option of other light filters for measuring CT value of the color light frequency.

### บทคัดย่อ

การปรับอุณหภูมิสีด้วยแผ่นกรองแสงเป็นการสร้างอารมณ์และกำหนดโทนสีของภาพถือว่ามีค่าสำคัญสำหรับงานด้านโทรทัศน์และภาพยนตร์ วัตถุประสงค์ของวิจัยศึกษาแผ่นกรองแสง (Filter color Temperature) 3 แบบ คือ เต็ม (Full) ครึ่ง (Half) และ สี่ส่วน (Quarter) ที่ปรับอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียง กรณีคลื่นแสงสีฟ้า (Color Temperature Blue: CTB) ร่วมกับโคมเพรสเนลเลนส์หลอดไฟทั้งสแตนด์-ฮาโรเจน 1000W และ กรณีคลื่นแสงสีส้ม (Color Temperature Orange: CTO) ร่วมกับโคมเพรสเนลเลนส์หลอดไฟเอช เอ็ม ไอ 1200W โดยเปรียบเทียบค่าจากการวัด และการคำนวณตามสูตร McCamy และการคำนวณความเหมาะสมค่าคงที่เปลี่ยนอุณหภูมิองศา (Mired Shift) ผลการศึกษาพบว่า กรณีคลื่นแสงสีฟ้า (CTB) 3 แบบร่วมกับโคมเพรสเนลเลนส์หลอดไฟทั้งสแตนด์-ฮาโรเจน 1000W เปรียบเทียบระหว่างการคำนวณคุณสมบัติฟิลเตอร์อุณหภูมิสีของแสงกับการวัดมีความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 4.375% - 9.069% สำหรับกรณีคลื่นแสงสีฟ้า (CTO) 3 แบบ ร่วมกับโคมเพรสเนลเลนส์หลอดไฟ เอช เอ็ม ไอ 1200W พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 2.760% - 11.92% สาเหตุความคลาดเคลื่อนมาจากความไม่เสถียรของผู้ที่ทำการวัด ในขณะที่ถือเครื่องวัดแสง ดังนั้นควรยึดจับด้วยแทนจับยึด

แทนการถือจากผู้ทำการวัด และผลการศึกษาค่าคงที่เปลี่ยนอุณหภูมิองศา สามารถนำค่าการคำนวณไปใช้เลือกแผ่นกรองแสงเปลี่ยนอุณหภูมิสีได้ จะช่วยช่างภาพ (Director of Photography) และผู้จัดแสง (Graffer) ตัดสินใจเลือกแผ่นกรองแสงปรับอุณหภูมิสีหาค่าอุณหภูมิสีของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงได้ เพื่อช่วยการถ่ายทำได้เร็วขึ้นและเกิดความแม่นยำสำหรับควบคุมคุณภาพของแสงที่เสมือนจริงมากที่สุด

**คำสำคัญ:** อุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียง แผ่นกรองแสงปรับอุณหภูมิสีของแสง โคมไฟสำหรับการจัดแสงภาพเคลื่อนไหว

### บทนำ

ปัจจุบันงานทางด้านสื่อสารมวลชน ได้แก่ การผลิตรายการทางโทรทัศน์ และ ทางภาพยนตร์ จัดเป็นภาคธุรกิจบันเทิงที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่ใกล้เคียงกับภาคธุรกิจการค้าและอุตสาหกรรม คือ ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามากในระดับปานกลางแต่มีการใช้อย่างต่อเนื่อง และพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการผลิตรายการในส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าด้านแสงสว่าง ซึ่งมีความต้องการเพิ่มความสว่าง และการกำหนดสีสั่น หรือเรียกว่าโทนสีที่ปรากฏให้กับฉาก และ



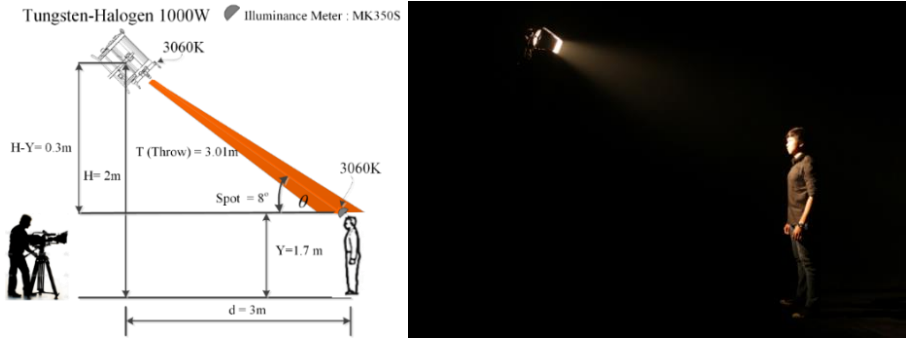
เวที รวมไปถึงนักแสดงที่ต้องเข้ามาฉาก ดังนั้น แหล่งกำเนิดแสง หรือหลอดไฟ ที่ใช้มีหลายประเภท มีขนาดกำลังวัตต์ที่แตกต่างกัน และสิ่งที่จะนำมาพิจารณาในการเลือกใช้คือ โทนสีของแสงที่เปล่งออกมาจากหลอดไฟ หรืออุณหภูมิสีของแสงแตกต่างกัน เช่น โคมไฟประเภทที่ใช้หลอดไฟทังสเตน-ฮาโลเจน (Tungsten-Halogen Lamp) ที่มีขนาดกำลังวัตต์ ตั้งแต่ 500 วัตต์ ถึง 2,000 วัตต์ ให้อุณหภูมิของแสงประมาณ 3,200 องศาเคลวิน เพื่อทดแทนแสงจากธรรมชาติในช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้นหรือตกและเป็นอุณหภูมิของแสงที่ให้ความสมจริงมากที่สุดเกิดความผิดเพี้ยนน้อยมาก นิยมสำหรับการจัดแสงภายในสตูดิโอ และ โคมไฟประเภทที่ใช้หลอดไฟคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์ และ ประเภทหลอดไฟอาร์ก (Hydrargyrum Medium-arc iodide; HMI) มีขนาดตั้งแต่ 75 วัตต์ ถึง 10,000 วัตต์ จัดอยู่ในกลุ่มอุณหภูมิสีประมาณ 5,600 องศาเคลวิน นิยมจัดแสงภายนอกสตูดิโอ เพื่อทดแทนแสงธรรมชาติในช่วงเวลากลางวัน (1) ดังนั้นขนาดกำลังไฟฟ้าที่ใช้จำเป็นต้องมีขนาดกำลังไฟฟ้าจำนวนปริมาณที่สูง แสดงดังรูปที่ 1 ดังนั้นขั้นตอนที่สำคัญในการบันทึกภาพหรือการถ่ายทำคือการจัดแสงเป็นการเปลี่ยนอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์จากหลอดไฟเพื่อให้เป็นไปตามสภาพของกาลเวลา สามารถทำได้โดยการใช้แหล่งกำเนิดแสงให้ถูกต้อง เช่น หากต้องการแสงพระอาทิตย์ 2300K แทนด้วยแหล่งกำเนิดแสงหลอดไฟ ทังสเตน ฮาโลเจน หรือ หากต้องการแสงตอนกลางวัน (Day Light) 5600K แทนด้วยแหล่งกำเนิดแสงประเภท เอช เอ็ม ไอ แต่หากถูกจำกัดด้วยการใช้แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์เพียงแหล่งกำเนิดแสงเดียวสามารถเปลี่ยนอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดแสง โดยใช้ อุปกรณ์หรือวัสดุที่เรียกว่าฟิลเตอร์ (Filter) หรือแผ่นกระจก (Dichroic Filter) (2) มี 2 ชนิด คือ เปลี่ยนอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดแสงจากโทนร้อนประมาณ 3200K เป็นอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดแสงจากโทนเย็นประมาณ 5600K และ เปลี่ยนอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดแสงจากโทนเย็นประมาณ 5600K เป็น อุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดแสงจากโทนร้อนประมาณ 3200K งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติ

ทางแสงของอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียง (Correlated Color Temperature; CCT) ที่เกิดจากแผ่นกรองแสงหรือฟิลเตอร์สำหรับปรับอุณหภูมิสีของแสง ได้แก่ ฟิลเตอร์ปรับแสงเป็นคลื่นแสงสีฟ้า (Color Temperature Blue: CTB) และ ฟิลเตอร์ปรับแสงเป็นคลื่นแสงสีส้ม (Color Temperature Orange: CTO) ที่เปลี่ยนอุณหภูมิสีของแสงหลอดไฟทังสเตน-ฮาโลเจน และหลอด เอช เอ็ม ไอ (3) สำหรับนำไปใช้ในการจัดแสงภายในสตูดิโอด้านโทรทัศน์และภาพยนตร์ เพื่อให้ได้ค่าความเหมาะสม และความถูกต้องใกล้เคียงไม่เกิดความผิดเพี้ยน อุณหภูมิสีของแสงที่ตกกระทบบนตัวแบบ วัตถุ และฉาก ซึ่งจะช่วยช่างภาพ (Director of Photography) และผู้จัดแสง (Gaffer) ตัดสินใจเลือกแผ่นกรองแสงปรับอุณหภูมิสีหาค่าอุณหภูมิสีของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงได้ เพื่อช่วยการถ่ายทำได้เร็วขึ้นและเกิดความแม่นยำสำหรับการควบคุมคุณภาพของแสงที่เสมือนจริงมากที่สุด

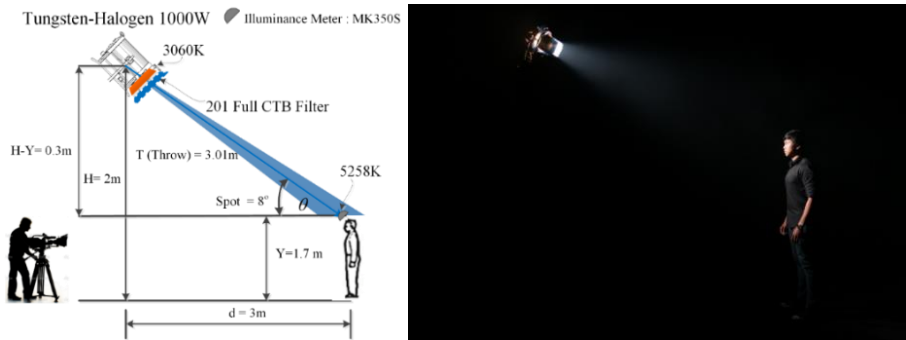
## วิธีดำเนินการวิจัย

*การเตรียมระบบการจัดแสงวัดค่าอุณหภูมิสีของแสงจากโคมไฟที่สวมฟิลเตอร์และไม่สวมฟิลเตอร์*

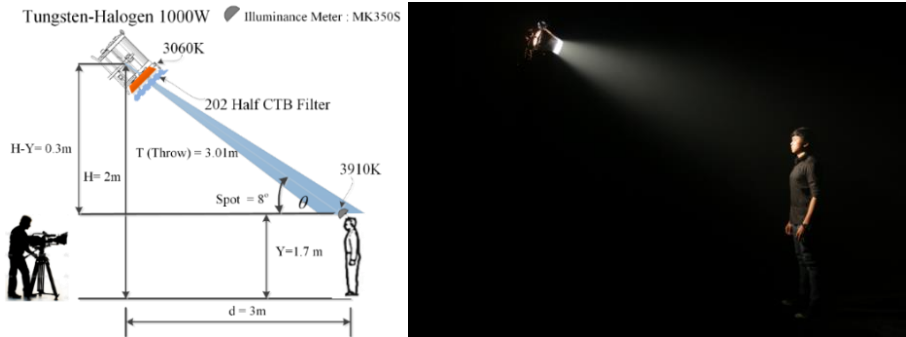
กรณีโคมหลอดไฟทังสเตน ฮาโลเจน 1000W มีอุณหภูมิสีของแสงใกล้เคียง 3200K ร่วมกับฟิลเตอร์ปรับแสงเป็นคลื่นแสงสีฟ้า 201 Full CTB 202 Half CTB และ 203 Quarter CTB ภายใต้สภาวะการจัดแสงหมวดควบคุมการกระจายแสงเป็นจุด (Spot) 8 องศา ส่งผลให้เกิดการกระจายแสงแคบเป็นเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 เมตร และ โคมหลอดไฟ เอช เอ็ม ไอ 1200W มีอุณหภูมิสีของแสงใกล้เคียง 5600K ร่วมกับฟิลเตอร์ปรับแสงเป็นคลื่นแสงสีส้ม 204 Full CTO 205 Half CTO และ 206 Quarter CTO ตำแหน่ง Spot 5 องศา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแสงกระจายแคบ 0.3 เมตร ควบคุมทิศทางแสงจากโคมไฟไปยังตัวแบบบุคคล วัดค่าด้วยเครื่องวัดค่าความรับรังสีรวมของแหล่งกำเนิดแสง (MK350S) แสดงดังรูปที่ 1-8



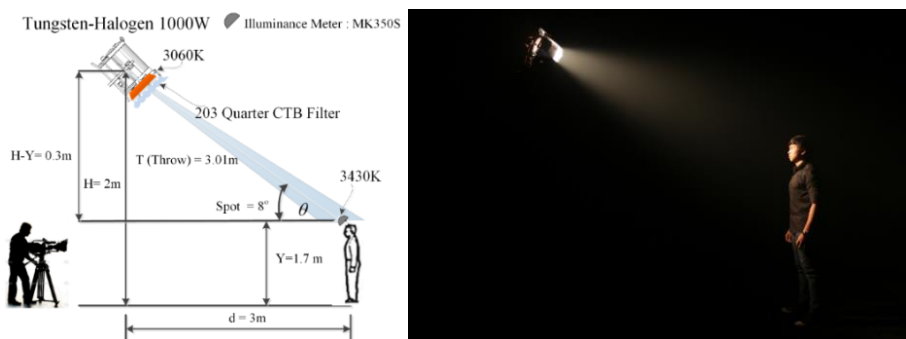
รูปที่ 1 ติดตั้งโคมหลอดไฟทั้งสแตน-ฮาโรเจน 1000W ที่ไม่สวมฟิลเตอร์



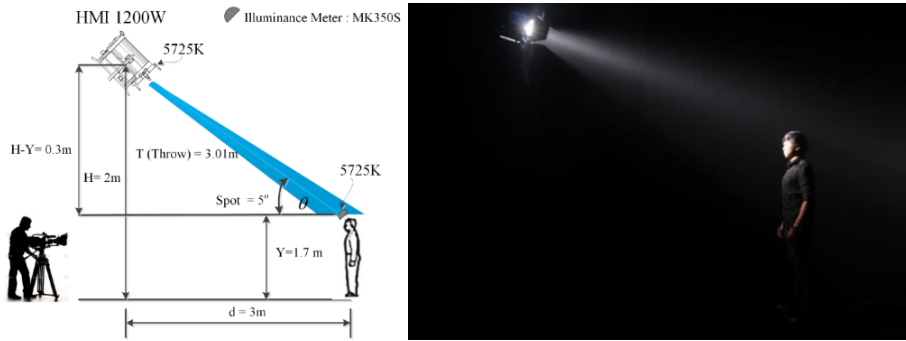
รูปที่ 2 ติดตั้งโคมหลอดไฟทั้งสแตน-ฮาโรเจน 1000W สวมฟิลเตอร์ 201 Full CTB



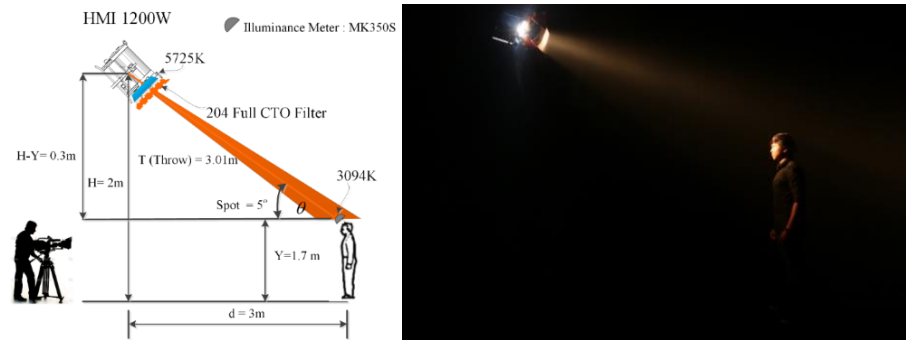
รูปที่ 3 ติดตั้งโคมหลอดไฟทั้งสแตน-ฮาโรเจน 1000W สวมฟิลเตอร์ 202 Half CTB



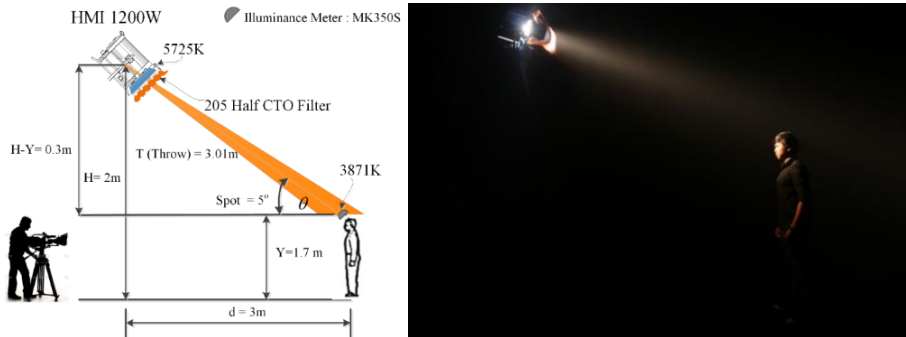
รูปที่ 4 ติดตั้งโคมหลอดไฟทั้งสแตน-ฮาโรเจน 1000W สวมฟิลเตอร์ 203 Quarter CTB



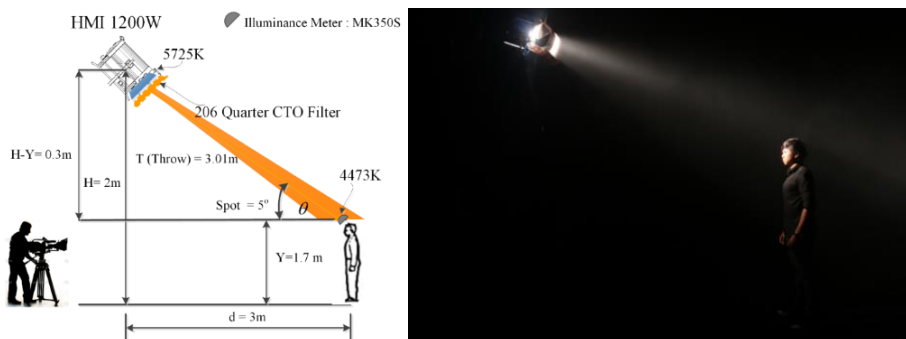
รูปที่ 5 ติดตั้งโคมหลอดไฟ เอช เอ็ม ไอ 1200W ที่ไม่สวมฟิลเตอร์



รูปที่ 6 ติดตั้งโคมหลอดไฟ เอช เอ็ม ไอ 1200W สวมฟิลเตอร์ 204 Full CTO



รูปที่ 7 ติดตั้งโคมหลอดไฟเอช เอ็ม ไอ 1200W สวมฟิลเตอร์ 205 Half CTO



รูปที่ 8 ติดตั้งโคมหลอดไฟเอช เอ็ม ไอ 1200W สวมฟิลเตอร์ 206 Quarter CTO

การคำนวณค่าอุณหภูมิสีของแสงจากโคมไฟที่ไม่สวมฟิลเตอร์และสวมฟิลเตอร์

การคำนวณปรับค่าอุณหภูมิสีของแสงตามหลักการ ค่าคงที่เปลี่ยนอุณหภูมิ องศา (Micro Reciprocal Degree; MIRED) สมการที่ 1 (4) ของโคมหลอดไฟทั้งสแตน-ฮาโรเจน 1000W และ โคมหลอดไฟเอช เอ็ม ไอ 1200W กรณีไม่ใส่และใส่ฟิลเตอร์ และคำนวณค่าอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียง ตามสูตร McCamy สมการที่ 2 และ สมการที่ 3 (5)

$$\text{The Mired} = \frac{1}{K} \times \frac{1}{10^{-6}} = \frac{10^6}{K} \quad (1)$$

เมื่อ  $K$  = ค่าอุณหภูมิสีของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง

$$n = \frac{(x - 0.3320)}{(0.1858 - y)} \quad (2)$$

เมื่อ  $n$  = ค่าคงที่ ตามสูตรของ McCamy

$x$  = ค่าระบุความเป็นสีแกน  $x$  ตามระบบ CIE 1931 Chromaticity Coordinate

$y$  = ค่าระบุความเป็นสีแกน  $y$  ตามระบบ CIE 1931 Chromaticity Coordinate

$$CCT = 449n^3 + 3525n^2 + 6823.3n + 5520.33 \quad (3)$$

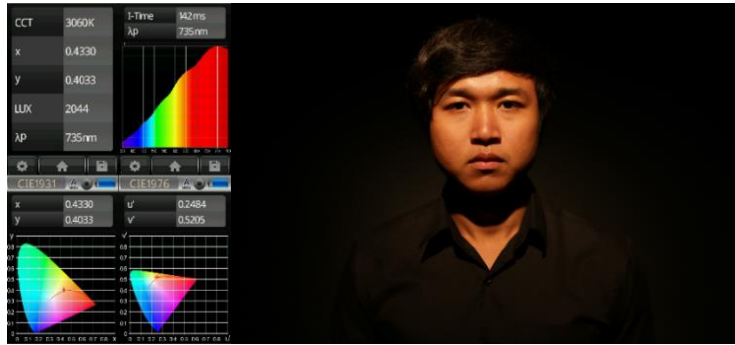
เมื่อ  $CCT$  = อุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียง (K)

### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

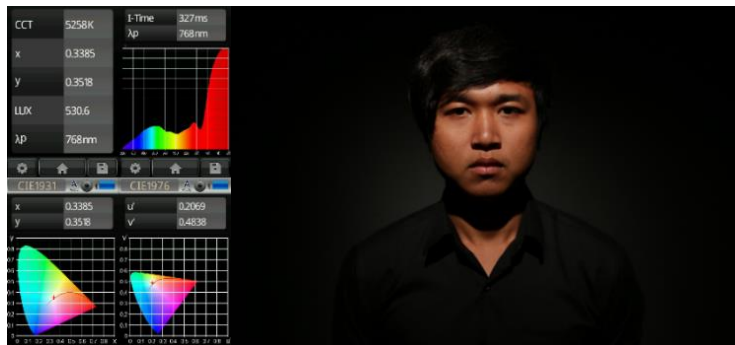
การวัดค่าอุณหภูมิสีของแสงจากโคมไฟที่สวมฟิลเตอร์และไม่สวมฟิลเตอร์

1. กรณีโคมหลอดไฟทั้งสแตน-ฮาโรเจน 1000W เครื่องวัดความรับรังสีรวมของแหล่งกำเนิดแสง (6) วัดค่าอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียง (CCT) โคมไฟที่ไม่สวมฟิลเตอร์พบว่า มีค่า 3060K และ ค่า  $(x, y)$  มีค่า (0.4430, 0.4033) เมื่อพล็อตกราฟจุดต่ออยู่บริเวณพื้นที่โซนสีส้มบนเส้นโค้งค่าสีของวัตถุดำ (BlackBody Locus) และเมื่อนำค่า  $(x, y)$  คำนวณหาอุณหภูมิสีของแสง

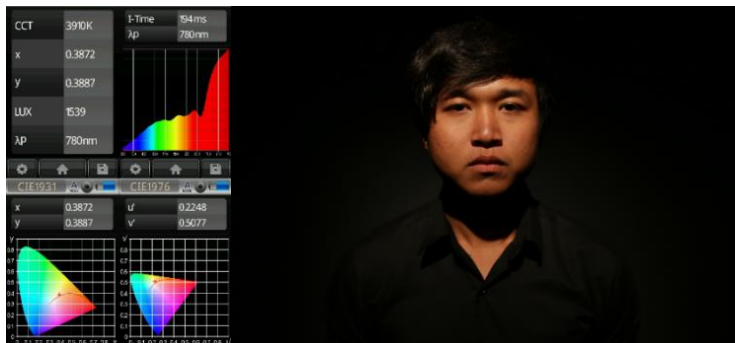
เทียบเคียง มีค่า 3067K กรณีสวมฟิลเตอร์เปลี่ยนอุณหภูมิสีเบอร์ 201 Full CTB มีคุณสมบัติเปลี่ยนอุณหภูมิสี 3200K เป็น 5700K สำหรับการวัดด้วยเครื่องวัดความรับรังสีรวมของแหล่งกำเนิดแสงได้ค่าอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียง (CCT) มีค่า 5258K และ ค่า  $(x, y)$  มีค่า (0.3385, 0.3518) และเมื่อพล็อตกราฟจุดต่ออยู่บริเวณพื้นที่โซนสีส้มโดยเน้นไปทางโซนสีน้ำเงินบนเส้นโค้งค่าสีของวัตถุดำ และเมื่อนำค่า  $(x, y)$  คำนวณหาอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียง มีค่า 5259K สรุปว่าฟิลเตอร์ 201 Full CTB อุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียงเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน 100 % กรณีฟิลเตอร์เปลี่ยนอุณหภูมิสีเบอร์ 202 Half CTB มีคุณสมบัติเปลี่ยนอุณหภูมิสีจาก 3200K เป็น 4300K เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดความรับรังสีรวมของแหล่งกำเนิดแสง ค่าอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียง (CCT) มีค่า 3910K และ ค่า  $(x, y)$  มีค่า (0.3872, 0.3887) และเมื่อนำพล็อตกราฟจุดต่ออยู่บริเวณพื้นที่โซนสีส้มโดยเข้าใกล้บนเส้นโค้งค่าสีน้ำเงินค่าสีของวัตถุดำ และเมื่อนำค่า  $(x, y)$  คำนวณหาอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียงได้ค่า 3916K หมายความว่า ฟิลเตอร์นี้อุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียงเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน 50 % กรณีสวมฟิลเตอร์เปลี่ยนอุณหภูมิสีเบอร์ 203 Quarter CTB มีคุณสมบัติเปลี่ยนอุณหภูมิสี 3200K เป็น 3600K เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดความรับรังสีรวมของแหล่งกำเนิดแสงได้ค่าอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียง (CCT) มีค่า 3430K และ ค่า  $(x, y)$  มีค่า (0.4096, 0.3934) และเมื่อพล็อตกราฟจุดต่ออยู่บริเวณพื้นที่โซนสีส้ม โดยมีค่าสีส้มมากขึ้นบนเส้นโค้งค่าสีของวัตถุดำ และเมื่อนำค่า  $(x, y)$  ไปคำนวณหาอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียงได้ค่า 3916K หมายความว่า ฟิลเตอร์นี้อุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียงแทบไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน แสดงดังรูปที่ 9- 12 และตารางที่ 1



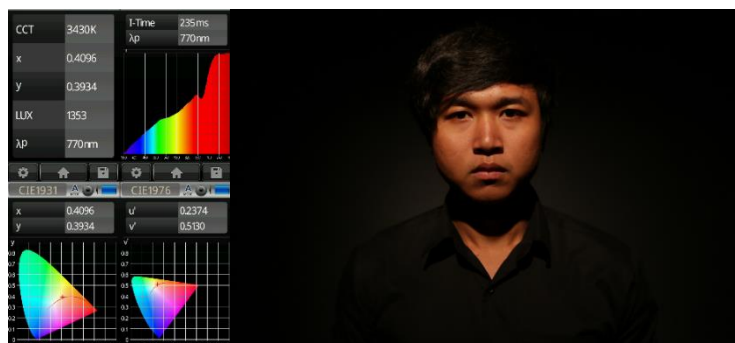
รูปที่ 9 อุณหภูมิสีของแสงคอมทลอดไฟทั้งสแตน-ฮาโรเจน 1000W ที่ไม่สวมฟิลเตอร์



รูปที่ 10 อุณหภูมิสีของแสงคอมทลอดไฟทั้งสแตน-ฮาโรเจน 1000W สวมฟิลเตอร์ 201 Full CTB



รูปที่ 11 อุณหภูมิสีของแสงคอมทลอดไฟทั้งสแตน-ฮาโรเจน 1000W สวมฟิลเตอร์ 202 Half CTB



รูปที่ 12 อุณหภูมิสีของแสงคอมทลอดไฟทั้งสแตน-ฮาโรเจน 1000W สวมฟิลเตอร์ 203 Quarter CTB

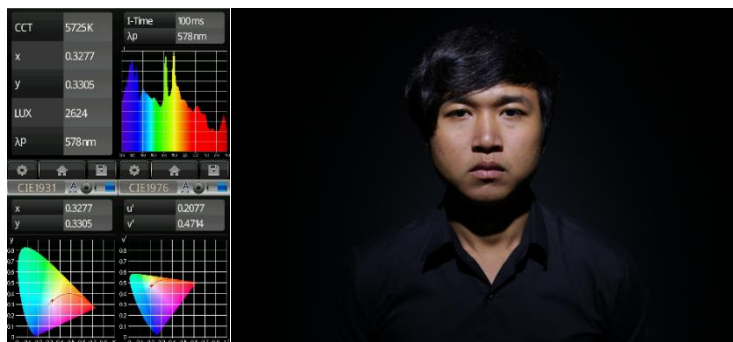
## 2. กรณีโคมหลอดไฟเอช เอ็ม ไอ 1200W

เครื่องวัดความสว่างสีรวมของแหล่งกำเนิดแสง (6) วัดค่าอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียง (CCT) โคมไฟที่ไม่สวมฟิลเตอร์ มีค่า 5725K และ ค่า  $(x, y)$  มีค่า (0.3277, 0.3305) เมื่อนำพล็อตกราฟจุดตัดอยู่บริเวณพื้นที่โซนสีน้ำเงินบนเส้นโค้งค่าสีของวัตถุดำ (BlackBody Locus) และ นำค่า  $(x, y)$  คำนวณอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียง มีค่า 5726K กรณีสวมฟิลเตอร์เปลี่ยนอุณหภูมิสีเบอร์ 204 Full CTO มีคุณสมบัติเปลี่ยนอุณหภูมิสีจาก 6500K เป็น 3200K โดยเริ่มจากการวัดด้วยเครื่องวัดความสว่างสีรวมของแหล่งกำเนิดแสงได้ค่าอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียง (CCT) มีค่า 3094K และ  $(x, y)$  มีค่า (0.4348, 0.4112) และเมื่อนำพล็อตกราฟจุดตัดอยู่บริเวณพื้นที่โซนสีน้ำเงิน โดยเน้นไปทางโซนสีส้มบนเส้นโค้งค่าสีของวัตถุดำ และ เมื่อนำค่า  $(x, y)$  คำนวณหาอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียง ได้ค่า 3099K แสดงว่าฟิลเตอร์ 204 Full CTO อุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียงเปลี่ยนเป็นสีส้ม 100 % กรณีฟิลเตอร์เปลี่ยนอุณหภูมิสีเบอร์ 205 Half CTO มีคุณสมบัติเปลี่ยนอุณหภูมิสี 6500K เป็น 3800K เมื่อนำวัดด้วยเครื่องวัดความสว่างสีรวมของแหล่งกำเนิดแสงได้ค่าอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียง (CCT) มีค่า 3871K และ ค่า  $(x, y)$  มีค่า (0.3869, 0.3824) และเมื่อนำพล็อตกราฟจุดตัดอยู่บริเวณพื้นที่โซนสีน้ำเงินโดยเข้าใกล้บนเส้นโค้งค่าสีส้มค่าสีของวัตถุดำ และเมื่อนำค่า  $(x, y)$  คำนวณอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียงได้ 3880K แสดงว่า

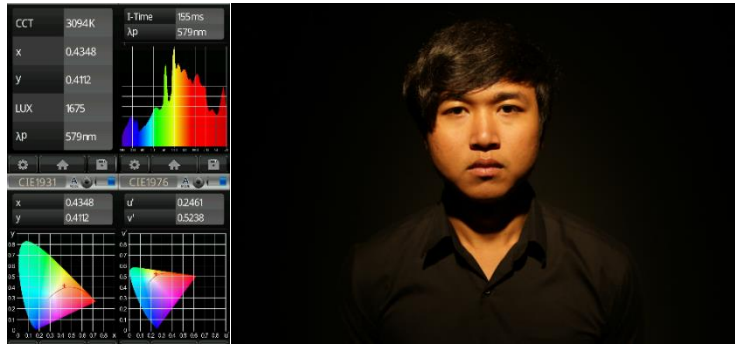
ฟิลเตอร์นี้อุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียงเปลี่ยนเป็นสีส้ม 50 % กรณีสวมฟิลเตอร์เปลี่ยนอุณหภูมิสีเบอร์ 206 Quarter CTO มีคุณสมบัติเปลี่ยนอุณหภูมิสี 6500K เป็น 4600K เมื่อนำวัดด้วยเครื่องวัดความสว่างสีรวมของแหล่งกำเนิดแสงได้ค่าอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียง (CCT) มีค่า 4473K และ ค่า  $(x, y)$  มีค่า (0.3613, 0.3620) เมื่อนำพล็อตกราฟจุดตัดอยู่บริเวณพื้นที่โซนสีน้ำเงิน มีค่าสีน้ำเงินมากขึ้นบนเส้นโค้งค่าสีของวัตถุดำ และเมื่อนำค่า  $(x, y)$  คำนวณอุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียงได้ 4478K แสดงว่า ฟิลเตอร์อุณหภูมิสีของแสงเทียบเคียงไม่เปลี่ยนเป็นสีส้ม แสดงดังรูปที่ 13- 16 และ ตารางที่ 1

*การวัดคำนวณค่าอุณหภูมิสีของแสงจากโคมไฟที่สวมฟิลเตอร์และไม่สวมฟิลเตอร์*

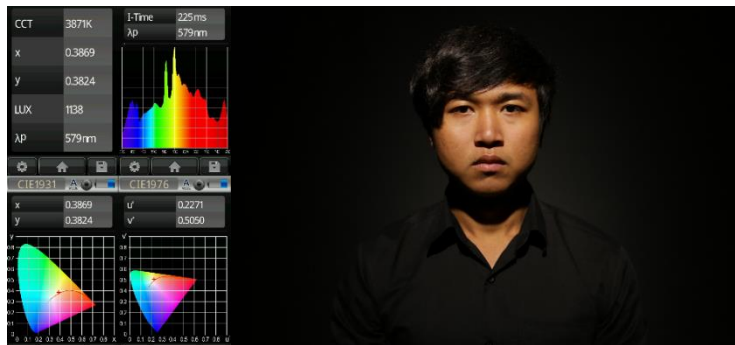
ผลการศึกษาคำนวณอุณหภูมิสีของแสงตามสูตร MaCamy ภายใต้การจัดแสงโคมหลอดไฟทั้งสเตน-ฮาโรเจน 1000W และโคมหลอดไฟ เอชเอ็มไอ 1200W หมวดควบคุมการกระจายแสงเป็นจุด (Spot) 8 องศา และ 5 องศา ส่งผลให้เกิดการกระจายแสงแคบเป็นเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 เมตร และ 0.3 เมตรระยะห่างโคมไฟถึงตัวแบบมีค่า 3.0 เมตร และ 3.0 เมตร ตามลำดับของโคมไฟ 2 ประเภท โดยคำนวณค่าอุณหภูมิสีเทียบเคียงสูตร MaCamy จากค่า  $(x, y)$  ที่ได้จากการวัดของโคมไฟ 2 ประเภท แสดงดังตารางที่ 1



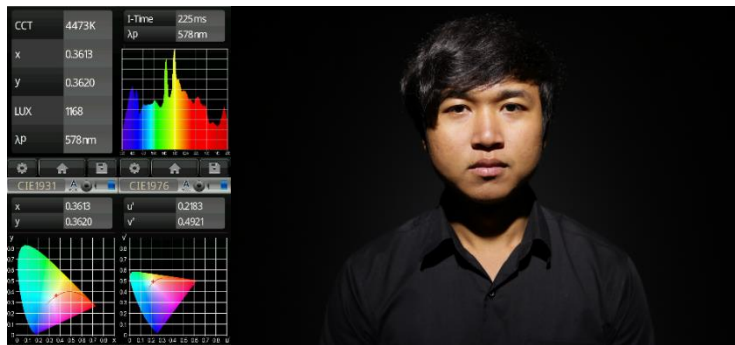
รูปที่ 13 อุณหภูมิสีของแสงโคมหลอดไฟเอช เอ็ม ไอ 1200W ที่ไม่สวมฟิลเตอร์



รูปที่ 14 อุณหภูมิสีของแสงคอมหลอดไฟเอช เอ็ม ไอ 1200W สวมฟิลเตอร์ 204 Full CTO



รูปที่ 15 อุณหภูมิสีของแสงคอมหลอดไฟเอช เอ็ม ไอ 1200W สวมฟิลเตอร์ 205 Half CTO



รูปที่ 16 อุณหภูมิสีของแสงคอมหลอดไฟเอช เอ็ม ไอ 1200W สวมฟิลเตอร์ 206 Quarter CTO

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าการวัดและการคำนวณอุณหภูมิสีของแสงจากคอมไฟที่สวมฟิลเตอร์และไม่สวมฟิลเตอร์

Type of Luminaires	Color Correction Filter		The CIE-1931 (x,y)		Correlated Color Temperature (CCT)		Relative Error (%)
			Measurement MK350S		Temperature (CCT) (K)		
	Type (LEE)	Converts	x	y	Measurement MK350S	Calculation	
Tungsten-Halogen 1000W	No Color Correction Filter	-	0.4330	0.4033	3060	3067	0.220
Beam Spot (8 °)	201 Full CTB	3200K to 5700K	0.3385	0.3518	5258	5259	0.019

Type of Luminaires	Color Correction Filter		The CIE-1931 (x,y)		Correlated Color Temperature (CCT) (K)		Relative Error (%)
	Type (LEE)	Converts	Measurement MK350S		Measurement MK350S	Calculation	
			x	y			
Throw 3 m	202 Half CTB	3200K to 4300K	0.3872	0.3887	3910	3916	0.153
Beam Diameter 0.4 m	203 Quarter CTB	3200K to 3600K	0.4096	0.3934	3430	3439	0.261
HMI 1200W	No Color Correction Filter	-	0.3277	0.3305	5725	5726	0.017
Beam Spot (5 °)	204 Full CTO	6500K to 3200K	0.4348	0.4112	3094	3099	0.161
Throw 3 m	205 Half CTO	6500K to 3800K	0.3869	0.3824	3871	3880	0.231
Beam Diameter 0.3 m	206 Quarter CTO	6500K to 4600K	0.3613	0.3620	4473	4478	0.111

จากตารางที่ 1 โคมหลอดไฟทั้งสแตน-ฮาโรเจน 1000W ไม่สวมฟิลเตอร์ กรณีการวัดมีค่าอุณหภูมิสีของแสง 3060K ( $x = 0.4330, y = 0.4033$ ) คำนวนค่าอุณหภูมิสีของแสงมีค่า 3067K ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณและการวัด 0.220 และเมื่อสวมฟิลเตอร์ 201 Full CTB กรณีการวัดมีค่าอุณหภูมิสีของแสง 5258K ( $x = 0.3385, y = 0.3518$ ) คำนวนค่าอุณหภูมิสีของแสงมีค่า 5259K ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณและการวัด 0.019 และเมื่อสวมฟิลเตอร์ 202 Half CTB กรณีการวัดมีค่าอุณหภูมิสีของแสง 3910K ( $x = 0.3872, y = 0.3887$ ) คำนวนค่าอุณหภูมิสีของแสงมีค่า 3916K ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณและการวัด 0.153 และเมื่อสวมฟิลเตอร์ 203 Quarter CTB กรณีการวัดมีค่าอุณหภูมิสีของแสง 3430K ( $x = 0.4096, y = 0.3934$ ) คำนวนค่าอุณหภูมิสีของแสงมีค่า 3439K ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณและการวัด มากที่สุด 0.261 สำหรับโคมหลอดไฟ เอชเอ็มไอ 1200W ไม่สวมฟิลเตอร์ กรณีการวัดมีค่าอุณหภูมิสีของแสง 5725K ( $x = 0.3277, y = 0.3305$ ) ความคลาดเคลื่อน จากการคำนวณและการวัดมีค่าน้อย

ที่สุด 0.017 และเมื่อสวมฟิลเตอร์ 204 Full CTO กรณีการวัดมีค่าอุณหภูมิสีของแสง 3094K ( $x = 0.4348, y = 0.4112$ ) กรณีคำนวณค่าอุณหภูมิสีของแสงมีค่า 3099K ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณและการวัด 0.161 และเมื่อสวมฟิลเตอร์ 205 Half CTO กรณีการวัดมีค่าอุณหภูมิสีของแสง 3871K ( $x = 0.3869, y = 0.3824$ ) กรณีคำนวณค่าอุณหภูมิสีของแสงมีค่า 3880K ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณและการวัด 0.231 และเมื่อสวมฟิลเตอร์ 206 Quarter CTO กรณีการวัดมีค่าอุณหภูมิสีของแสง 4473K ( $x = 0.3613, y = 0.3620$ ) ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณและการวัด 0.111

ดังนั้นสาเหตุสำคัญของความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่สูง เนื่องมาจากค่าจากการวัด ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าการคำนวณ หมายความว่าต้องนำค่าที่ได้จากการวัดใช้เป็นค่าเริ่มต้นสำหรับการคำนวณ นอกจากนี้ขณะทำการวัดต้องมีการทิ้งช่วงระยะเวลาให้นานขึ้นเพื่อให้ตัวเซนเซอร์ได้ปรับแสง เกิดการรีเซ็ตค่าต่าง ๆ ให้เป็นศูนย์ เสมอ แต่สำหรับความคลาดเคลื่อนจากผู้ทำการวัด



ที่มีความไม่เสถียรขณะทำการวัดเนื่องจากเครื่องวัดความสว่างสีรวมของแหล่งกำเนิดแสงมีข้อจำกัดสำหรับการวัด โดยอาศัยการจับภาพความชัดของดวงแสงไฟจากคอมไฟให้มีความชัดเพื่อการกดบันทึกการอ่านค่าเสมอ ดังนั้นจึงไม่สามารถติดตั้งเครื่องวัดบนแท่นจับยึดแทนผู้วัดค่าได้

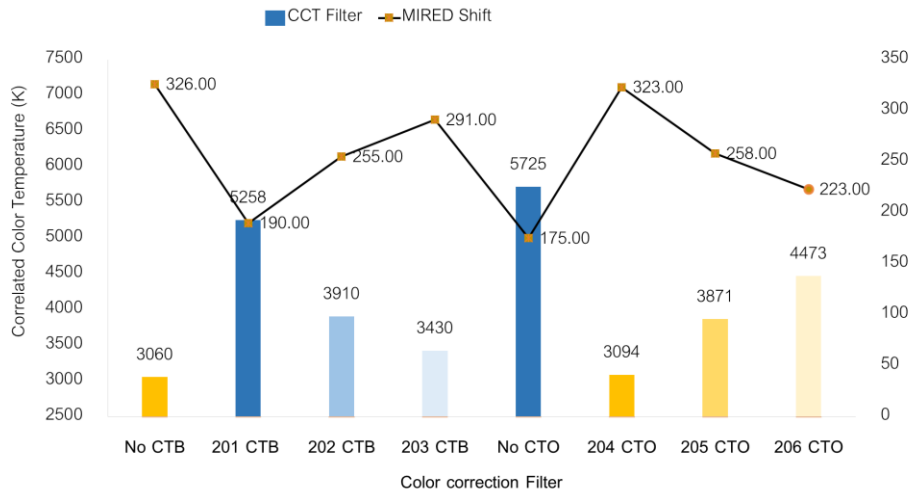
กรณีศึกษาค่าคงที่เปลี่ยนอุณหภูมิองศา (Micro Reciprocal Degree ; MIRED) ของแสงจากคอมไฟที่ไม่สวมฟิลเตอร์และสวมฟิลเตอร์

ผลการศึกษา พบว่าค่าคงที่เปลี่ยนอุณหภูมิองศาของแสง คอมหลอดไฟทั้งสแตน-ฮาโรเจน 1000W กรณีไม่สวมฟิลเตอร์ มีค่าอุณหภูมิสีของแสงจากการวัด 3060K สามารถคำนวณค่าคงที่เปลี่ยนอุณหภูมิองศาตามสมการที่ 1 มีค่า 326 และเมื่อสวมฟิลเตอร์เปลี่ยนอุณหภูมิสีเบอร์ 201 Full CTB มีค่าอุณหภูมิสีของแสงจากการวัด 5258K สามารถคำนวณค่าคงที่เปลี่ยนอุณหภูมิองศาได้ 190 และเมื่อสวมฟิลเตอร์เปลี่ยนอุณหภูมิสีเบอร์ 202 Full CTB มีค่าอุณหภูมิสีของแสงจากการวัด 3910K สามารถคำนวณค่าคงที่เปลี่ยนอุณหภูมิองศาได้ 255 และเมื่อสวมฟิลเตอร์เปลี่ยนอุณหภูมิสีเบอร์ 203

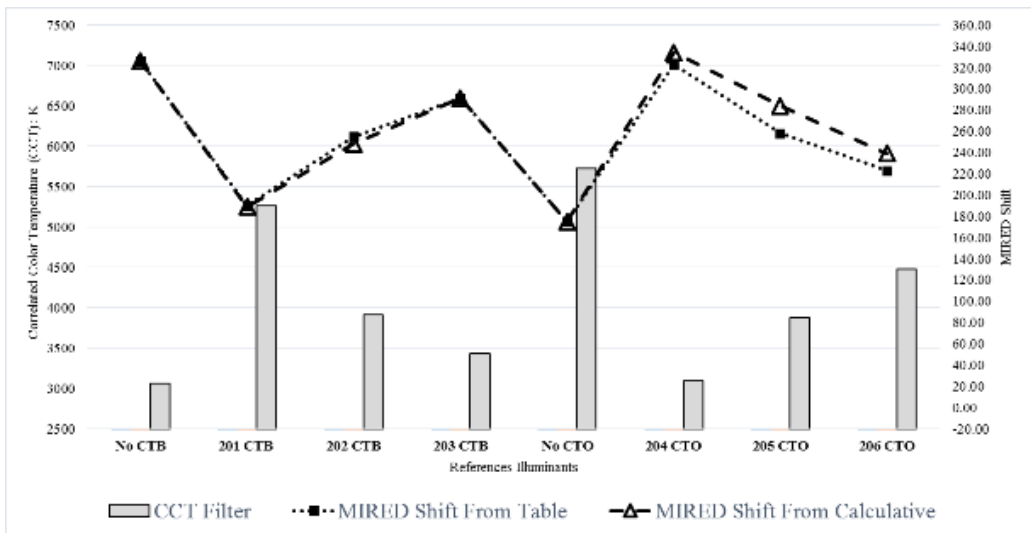
Quarter CTB มีค่าอุณหภูมิสีของแสงจากการวัด 3430K สามารถคำนวณค่าคงที่เปลี่ยนอุณหภูมิองศาได้ 291 กรณีคอมหลอดไฟเอชเอ็มไอ 1200W ไม่สวมฟิลเตอร์ มีค่าอุณหภูมิสีของแสงจากการวัด 5725K ค่าคงที่เปลี่ยนอุณหภูมิองศาจากการคำนวณได้ 175 และเมื่อสวมฟิลเตอร์เปลี่ยนอุณหภูมิสีเบอร์ 204 Full CTO ค่าอุณหภูมิสีของแสงจากการวัด 3094K สามารถคำนวณค่าคงที่เปลี่ยนอุณหภูมิองศาจากการคำนวณได้ 323 และเมื่อสวมฟิลเตอร์เปลี่ยนอุณหภูมิสีเบอร์ 205 Half CTO มีค่าอุณหภูมิสีของแสงจากการวัด 3871K สามารถคำนวณค่าคงที่เปลี่ยนอุณหภูมิองศาได้ 258 และเมื่อสวมฟิลเตอร์เปลี่ยนอุณหภูมิสีเบอร์ 206 Quarter CTO มีค่าอุณหภูมิสีของแสงจากการวัด 4473K สามารถคำนวณค่าคงที่เปลี่ยนอุณหภูมิองศาได้ 223 ดังนั้นสามารถนำค่าคงที่เปลี่ยนอุณหภูมิองศาที่ได้จากการคำนวณตามสูตร Micro Reciprocal Degree ; MIRED ดังสมการที่ 1 ไปใช้สำหรับการตัดสินใจเลือกแผ่นกรองแสงเปลี่ยนอุณหภูมิสีที่ได้ให้ใกล้เคียงที่สุดแทนการคำนวณตามสูตร McCamy ดังสมการที่ 2 และสมการที่ 3 ได้เช่นกัน แสดงดังตารางที่ 2 และ รูปที่ 17-18

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่เปลี่ยนอุณหภูมิองศา กับค่าฟิลเตอร์เปลี่ยนอุณหภูมิสีของแสงประเภทต่าง ๆ

Type of Luminaires	Color Correction Filter		Result	
	Type (LEE)	Converts	Correlated Color Temperature (CCT) (K)	MIRED Shift
Tungsten-Halogen 1000W	No Color	-	3060	326
Beam Spot (8°)	Correction Filter			
Throw 3 m	201 Full CTB	3200K to 5700K	5258	190
Beam Diameter 0.4 m	202 Half CTB	3200K to 4300K	3910	255
	203 Quarter CTB	3200K to 3600K	3430	291
HMI 1200W	No Color	-	5725	175
	Correction Filter			
Beam Spot (5°)	204 Full CTO	6500K to 3200K	3094	323
Throw 3 m	205 Half CTO	6500K to 3800K	3871	258
Beam Diameter 0.3 m	206 Quarter CTO	6500K to 4600K	4473	223



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ที่เปลี่ยนอุณหภูมิองศากับค่าฟิลเตอร์เปลี่ยนอุณหภูมิสีของแสงประเภทต่าง ๆ



รูปที่ 18 เปรียบเทียบค่าคงที่ที่เปลี่ยนอุณหภูมิองศาจากตารางอ้างอิง (3) และการคำนวณ

### สรุปผล

ผลการศึกษาค่าอุณหภูมิสีของแสงของโคมไฟจากแหล่งกำเนิดแสงร่วมกับแผ่นกรองแสง จากการวัดพบว่ามีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการความไม่เสถียรจากการวัดในขณะที่ถือเครื่องวัดความสว่างสีรวมของแหล่งกำเนิดแสงเนื่องจากต้องหาความชัดของดวงแสงไฟ ซึ่งหากการวิจัยสามารถเปลี่ยนการถือเครื่องวัดด้วยคน เป็นการตั้งเครื่องวัดด้วยขาตั้งจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนลดลง และวิธีการคำนวณค่าคงที่ที่เปลี่ยน

อุณหภูมิองศา (Micro Reciprocal Degree; MIRED) ของแสงจากชุดโคมไฟแหล่งกำเนิดแสงแต่ละประเภท จะช่วยช่างภาพ (Director of Photography) และผู้จัดแสง (Graffer) และผู้ตัดต่อ (Edit) และ ผู้ย้อมสี (Colorist) นำไปใช้ในการตัดสินใจเลือกแผ่นกรองแสงเปลี่ยนอุณหภูมิสีที่ต้องการให้ใกล้เคียงที่สุดและยังสามารถหาค่าอุณหภูมิสีของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง และ ค่าแผ่นกรองแสงจากโปรแกรมการตัดต่อ เพื่อช่วยขั้นตอนการถ่ายทำได้เร็วขึ้น

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณ  
งบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2560 งบเงินอุดหนุน  
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี  
ราชมงคลธัญบุรี

## เอกสารอ้างอิง

1. Prechaveerakul J, Chompoo-Inwai C. Optical and electrical performance comparisons between high power LED and HMI studio lighting including the engineering economics analysis. J Chin Inst Eng. 2017;40(4):318-28.
2. Bermingham A. Location Lighting for Television. Great Britain: Focal Press; 2003.
3. Box HC. The Gaffer's Handbook: film lighting practices, equipment and electrical distribution. 2nd ed. Great Britain: Focal Press; 1997.
4. Jackman J. Lighting for Digital Video and Television. USA: Focal Press; 2010.
5. Klein GA. Industrial Color Physics. USA: Springer; 2010.
6. Brown B. Motion Picture and Video Lighting. USA: Focal Press; 1992.



## เปรียบเทียบลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของบัวหลวง 4 สายพันธุ์เพื่อการใช้ประโยชน์

### Comparison of Botanical Characteristics of 4 Cultivars of *Nelumbo nucifera* Gaertn. for Utilization

เยาวมาลย์ น้อยใหม่\* รุจิรา เดชสูงเนิน และ กฤษณะ กลัดแดง

Yaowamal Noimai\*, Rujira Dechsungnoen and Kritsanah Kladdang

กองอาคารสถานที่ ส่วนงานพิพิธภัณฑ์บัว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110  
Building and Site Administration Division Department of the Lotus and Waterlily Museum, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND

\*Corresponding author e-mail: yaowamal\_n@rmutt.ac.th

#### ARTICLE INFO

#### ABSTRACT

Article history:

Received: 14 April, 2020

Revised: 10 July, 2020

Accepted: 31 August, 2020

Available online: 21 February, 2021

DOI: 10.14456/rj-rmutt.2021.6

*Keywords: Nelumbo nucifera*

Gaertn, cultivar, botanical

characteristics, utilization

This study was aimed to compare the botanical characteristics of four Lotus cultivars. The experiment was conducted by completely randomized design (CRD). Lotus were planted 10 replications in 50 x 50 cm pot size and repeated 3 bio-replication. This study was done from June to November 2018 at the Lotus and Waterlily Museum of Rajamangala University of Technology Thanyaburi. The qualitative of the botanical characters for utilization; No. of leaf, petiole, peduncle, flower, petal, stamen, pistil, torus, seed and rhizome were study and compared between the differences four lotus cultivars. *N. nucifera* 'Pathum' cultivars showed the fastest growing and the best flower production (16 flowers per plant) that suitable for cut flowers utilization. *N. nucifera* 'Nakhonsawan' showed the highest seeds production (84.11%), following by *N. nucifera* 'Pattama ubon' (75.29%) and the *N. nucifera* 'Rachinee' (67.96%) respectively. *N. nucifera* 'Rachinee' showed the highest root (rhizome) production (885.17 grams per plant), following by *N. nucifera* 'Pattama ubon' (585 grams per plant) and *N. nucifera* 'Nakhonsawan' (430.67 grams per plant) respectively. The average in each parameter was statistically significant differences

( $p \leq 0.05$ ) when compared by the Duncan's New Multiple Range Test (DMRT). The results revealed that the capacity to select the suitable lotus cultivar for utilization lotus improvement in the future.

## บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบลักษณะทางพฤกษศาสตร์บัวหลวง 4 สายพันธุ์ มีแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ปลุกต้นพันธุ์บัวหลวงในอ่างทดลองขนาดความกว้าง 50 เซนติเมตร ความสูง 50 เซนติเมตร สายพันธุ์ละ 10 ต้น จำนวน 3 ซ้ำ ปลุกศึกษาใน 1 ฤดูกาลปลูก ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึงพฤศจิกายน 2561 ในพื้นที่ทดลองพิพิธภัณฑน์บัว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อต้นพันธุ์มีอายุ 3 เดือนหลังปลูกบันทึกลักษณะทางคุณภาพ ได้แก่ ลักษณะใบ ก้านใบ ก้านดอก ดอก กลีบดอก เกสร ฝัก และเมล็ด ลักษณะทางปริมาณ คือ ระยะการให้ดอก จำนวนและขนาดใบ จำนวนและขนาดดอก ขนาดก้านดอกและก้านใบ จำนวนเกสรต่อดอก ขนาดฝัก จำนวนรังไข่ การติดเมล็ด ขนาดเมล็ด และขนาดเหง้า เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างพันธุ์สำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ ด้านบัวดอก บัวหลวงพทุม เป็นสายพันธุ์ที่ให้ดอกเร็วหลังปลูก มีจำนวนดอกเฉลี่ยต่อต้นสูงสุด 16 ดอก ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการตัดดอก สำหรับบัวเมล็ด บัวหลวงนครสวรรค์ เป็นสายพันธุ์ที่มีการติดเมล็ดได้สูงสุดร้อยละ 84.11 รองลงมาคือบัวหลวงปัทมาอุบล และบัวหลวงราชินี ร้อยละ 75.29 และ 67.96 ตามลำดับ และบัวราก บัวหลวงราชินี เป็นสายพันธุ์ที่มีขนาดและน้ำหนักราก (เหง้า) สูงสุด 885.17 กรัมต่อต้น รองลงมาคือบัวหลวงปัทมาอุบล และบัวหลวงนครสวรรค์ 585.0 และ 430.67 กรัม ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปรที่ศึกษามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) จากผลการศึกษาช่วยให้สามารถคัดเลือกสายพันธุ์บัวหลวงที่ต้องการใช้

ประโยชน์ได้สำหรับการปรับปรุงพันธุ์ตามการใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมในอนาคต

**คำสำคัญ:** บัวหลวง สายพันธุ์ ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ การใช้ประโยชน์

## บทนำ

สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงดำเนินโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ อันมีกิจกรรมต่าง ๆ ได้แก่ กิจกรรมสำรวจเก็บรวบรวมพันธุกรรมพืช กิจกรรมปลูกรักษาพันธุกรรมพืช กิจกรรมอนุรักษ์และการใช้ประโยชน์จากพันธุกรรมพืช กิจกรรมศูนย์ข้อมูลพันธุกรรมพืช กิจกรรมวางแผนพัฒนาพันธุ์พืช กิจกรรมสร้างจิตสำนึกในการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช และกิจกรรมพิเศษสนับสนุนการอนุรักษ์ พิพิธภัณฑน์บัวมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดำเนินงานภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ กิจกรรมอนุรักษ์และการใช้ประโยชน์พันธุกรรมพืชเป็นหนึ่งในกิจกรรมของโครงการ

“บัว” เป็นพืชไม้น้ำที่มีการนำมาใช้ประโยชน์เป็นไม้ตัดดอกหรือบริโภคเมล็ดสดและแห้ง บัวจัดอยู่ในวงศ์ Nymphaeaceae แบ่งเป็น 3 สกุล คือ สกุล Nelumbo ใบชูเหนือน้ำ ได้แก่ บัวหลวง หรือพทุมชาติ (Lotus) สกุล Nymphaea ใบลอยและผิวน้ำ ไม่มีหนาม เป็นพวกอุบลชาติ (Water Lily) ได้แก่ บัวผัน บัวเผื่อน บัวฝรั่ง บัวสาย จงกลนี และสกุล Victoria ใบลอยและผิวน้ำ มีขนาดใหญ่ ขอบใบตั้งขึ้นเป็นขอบคล้ายกระดิ่ง และมีหนาม เรียกบัวกระดิ่ง หรือบัววิกตอเรีย (1) ประเทศไทยมีพื้นที่การผลิตบัวหลวงประมาณ 1,500 ไร่ กระจายอยู่ทั่ว

ทุกภาคของประเทศ ผลผลิตส่วนใหญ่ถูกใช้งานในประเทศที่เหลือจึงส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ เช่น แลบุญยุโรป อเมริกา และญี่ปุ่น คิดเป็นมูลค่ากว่า 0.34 ล้านเหรียญสหรัฐ โดยแนวโน้มการส่งออกรวมทุกชิ้นส่วนของบัว มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปี 2542-2547 ซึ่งคาดการณ์ว่าตัวเลขการส่งออกจริงจะสูงกว่าที่มีรายงาน (2) ประเทศที่มีการบริโภคอย่างกว้างขวางได้แก่ จีน และญี่ปุ่น โดยประเทศญี่ปุ่นมีการนำเข้ารากบัวในรูปแบบต่าง ๆ มากถึง 18,000 ตันต่อปี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น รากบัวส่วนใหญ่นำเข้าจากจีนถึง 15,000 ตัน (3) บัวหลวงพันธุ์พื้นเมืองของไทย และพันธุ์ลูกผสมที่เกิดจากพันธุ์ไทยเป็นพันธุ์ไม่ไวแสง (4) กลุ่มบัวหลวงพุ่มพบได้แทบทุกภาคของประเทศ จึงทำให้มีความหลากหลายของสายพันธุ์ตามท้องที่การผลิตและตามลักษณะการใช้ประโยชน์ โดยจังหวัดนนทบุรี นครปฐม ชลบุรี สุพรรณบุรี และอุบลราชธานี ปลูกบัวหลวงเพื่อตัดดอก (5) พิจิตร พิษณุโลก ออยุธยา อ่างทอง และนครสวรรค์ มีการผลิตเพื่อเก็บเมล็ด ตัดดอก และเกสรตากแห้ง ขณะที่ปราจีนบุรี ปลูกเพื่อเก็บเกี่ยวไหล (2) ทุกส่วนของบัว ตั้งแต่เมล็ด ตีบัว เกสร ดอก ฝัก ใบ ก้าน ใบ ก้านดอก ไหล และเหง้า สามารถใช้ประโยชน์ได้ ทั้งอาหาร เครื่องนุ่งห่ม และยารักษาโรค ซึ่งมีสรรพคุณแตกต่างกันไป (6) เช่น รากบัว ใช้เป็นยาบำรุงกำลัง แก้ก้อนใน ลดไข้ แก้กะหายน้ำ เกสรบัวเป็นตัวยาหนึ่งในเกสรทั้งห้า มีสรรพคุณบำรุงหัวใจ บำรุงประสาท แก้กลม ทำให้จิตใจชุ่มชื้น เมล็ดบัวเป็นอาหารเพื่อบำรุงกำลังคนที่เพ็งหายป่วย หรือเป็นอาหารบำรุงครรภ์ ใบบัวบำรุงกายให้ชุ่มชื้น แก้ไขเปื่อยเน่า รักษาโรคหัวใจ และโรคเบาหวาน (7) ฝัก สมานแผล แก้มดลูกพิการ แก้ท้องเดิน ท้องเสีย ตีบัวใช้ขยายหลอดเลือดในหัวใจ แก้้อาเจียนเป็นเลือด นอกจากนี้ตีบัวยังมีสารเนเฟอร์ิน (Neferine) ซึ่งมีฤทธิ์ด้านการเต้นของหัวใจที่ผิดปกติสามารถขยายหลอดเลือดและช่วยให้นอนหลับง่าย มีรายงานการพัฒนากระดาษใบบัวอัดแห้งสำหรับใช้ในงานประดิษฐ์ ก้านบัวนำมาตากแห้ง สามารถใช้แทนยากันยุง หรือใช้ทำเชื้อเพลิงในการปิ้งย่าง ทำให้มีกลิ่นหอม มากไป

กว่านั้นสามารถนำไปทำเยื่อกระดาษได้เช่นเดียวกับกระดาษสา (8) ก้านบัวที่เหลือจากการผลิตเพื่อตัดดอกมาทำเป็นเส้นใยบัว สามารถผลิตเป็นสิ่งทอเพื่องานอุตสาหกรรมครบวงจร เช่นชาวอินทา (Intha) ประเทศพม่า นิยมนำเอาเส้นใยจากก้านบัว มาแปรรูปทอเป็นผ้าใยบัว เพื่อถวายเป็นจีวรสำหรับพระสงฆ์ ปัจจุบันมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากใยบัว ภายใต้แบรนด์ “Laro Piana” ทำให้ส่วนก้านของดอกบัวมีมูลค่าเพิ่มขึ้น ผ้าที่ตัดเย็บด้วยผ้าใยบัวมีมูลค่าสูงถึง 6,000 เหรียญสหรัฐ (2) สำหรับประเทศไทยมีการศึกษาวิจัยร่วมกันระหว่างกรมวิชาการเกษตรและสมาคมสิ่งทอแห่งประเทศไทย ได้ทดลองใช้ประโยชน์จากส่วนเหลือใช้ของก้านบัวหลวงและบัวสาย สามารถผลิตเส้นใยและนำเข้าสู่กระบวนการผลิตสิ่งทอได้ (9) ซึ่งผ้าทอจากใยบัวมีความแข็งแรงและความทนทานต่อแรงเสียดทาน สะท้อนน้ำได้ดีกว่าผ้าฝ้าย มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่ดี เหมาะสมที่จะนำมาทำเส้นด้ายมากที่สุด (10) สำหรับประโยชน์ด้านการประมง มีรายงานของ (11) พบสาร Kaempferol ในสารสกัดเกสรบัว ซึ่งเป็นสารฟลาโวนอยด์ที่สามารถกำจัดอนุมลอิสระได้ดีกว่าสารสกัดชาเขียวถึง 2 เท่า และมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ช่วยทำให้ผิวขาวขึ้นได้ดีกับสารสกัดหม่อน (Mulberry Extract)

นอกจากนี้มีการศึกษาสารสำคัญในส่วนต่าง ๆ ของบัวหลวง พบว่าเมล็ดมีสารกลุ่มอัลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ สารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านสเตียรอยด์ สารต้านมะเร็ง และต้านไวรัส (12) และสารซาโปนินส์ ฟีนอลิก และคาร์โบไฮเดรต (13) ดอกพบสารต้านอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ยับยั้งในหลอดเลือด (14) ใบพบสารฟีนอลิก ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และป้องกันแผลในกระเพาะอาหาร (15) ซึ่งสารฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ที่สกัดจากใบบัวหลวงสามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระในอุตสาหกรรมอาหารได้ (16) ตันอ่อนจากเมล็ดพบ Hyperoside Liensinine และ Neferine ฐานรองดอกพบ Quercetin (17) พบสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดจากกลีบดอก ก้านดอก และฝักตามลำดับ (18) เกสร

พบสารหอมระเหยถึง 16 ชนิด และสารสกัดที่ได้จากเกสร บัวหลวง มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (19) มีรายงานการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากส่วนต่าง ๆ บัวหลวง พบว่ากลีบบัวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุด รองลงมาคือก้านดอกและรังไข่ (20) การตรวจสอบทางพิษวิทยาเคมีจากใบบัวหลวง พบกลุ่มสารสำคัญ ได้แก่ อัลคาลอยด์ และ สเตียรอยด์ ซึ่งสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* และ *Staphylococcus aureus* ได้ดีที่สุด (21)

บัวหลวงปทุมที่ศึกษาทั้ง 4 สายพันธุ์เป็นบัวที่มีลักษณะดี และสามารถนำไปใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่

1. บัวหลวงราชินี (ปทุมจากเพชรบุรี) เป็นบัวที่มีลักษณะเด่น คือ ลำต้นสูงใหญ่เป็นพิเศษแม้จะปลูกในภาชนะจำกัด ก้านใบและก้านดอกยาวประมาณ 2 เมตร ใบมีขนาดใหญ่ประมาณ 60 เซนติเมตร ดอกมีสีชมพูขนาดใหญ่ ดอกทรงแหลมกลีบดอกไม่ซ้อน มีกลิ่นหอมอ่อน บานวันแรกสีเข้มแล้วจางเป็นสีชมพูอ่อนในวันสุดท้าย ดอกบานเต็มที่เส้นผ่าศูนย์กลาง 25-30 เซนติเมตร ให้ดอกดก ต้องการแสงแดดอย่างน้อย 5-6 ชั่วโมง ฝักใหญ่ มีรังไข่มาก รังไข่ในฝัก 25-30 รัง (เมล็ด) และมีเกสรเพศผู้จำนวนมาก บัวหลวงราชินีเจริญเติบโตได้ดีในน้ำสะอาด และน้ำไหลผ่าน ทั้งน้ำลึกและตื้น หากน้ำลึกมากก็จะมีลำต้นค่อนข้างใหญ่ โดยเฉพาะฤดูฝน (22)

2. บัวหลวงปทุม (ปทุมจากปทุมธานี) ดอกสีชมพู มีลักษณะดอก เมล็ดและฝักใหญ่ นิยมปลูกเพื่อเก็บเมล็ดให้ผลผลิตสูง (23) ปลูกได้ทั้งน้ำตื้นและน้ำลึก 2-3 เมตร

3. บัวหลวงปัทมาอุบล (ปทุมจากอุบลราชธานี) แหล่งพันธุ์มาจากหนองบัวธรรมชาติ จ.อุบลราชธานี เมื่อปี 2546 โดยคุณสมพล จันทร์จุลเจิม และมีการปลูกเลี้ยงที่ปางอุบล จ.นนทบุรี ดอกมีสีแดงกว่าบัวหลวงปทุมในเขตภาคกลาง ลักษณะดอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร ติดเมล็ดดีมาก ออกดอกระหว่างเดือนกันยายน ถึงเดือนกุมภาพันธ์เป็นส่วนใหญ่ (24)

4. บัวหลวงนครสวรรค์ (ปทุมจากนครสวรรค์) ถิ่นกำเนิด ประเทศไทยเฉพาะบึงบอระเพ็ด เป็นบัวพื้นเมืองของทวีปเอเชีย ลักษณะทั่วไป ต้นสูง ดอกใหญ่ ทรงดอกรูปมือพนม กลีบดอกไม่ซ้อน สีกลีบดอกสีชมพู อับเกสรเรณูสีขาว ก้านอับเรณูสีเหลือง เกสรเพศเมียสีเหลือง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20-25 เซนติเมตร มีกลิ่นหอมอ่อน บานในช่วงกลางวัน เวลา 04.00-14.00 น. สูงประมาณ 140-160 เซนติเมตร (25)

แม้ว่าประเทศไทยจะมีการใช้บัวหลวงเป็นต้นไม้ตัดดอกมาอย่างช้านาน แต่กลับพบว่ายังขาดการพัฒนาพันธุ์เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีลักษณะตรงตามความต้องการของผู้บริโภค การพัฒนาสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตได้ตลอดปีจะเป็นข้อได้เปรียบเหนือการผลิตบัวของต่างประเทศที่ผลิตได้เฉพาะตามฤดูกาล ปัจจัยที่จะช่วยทำให้การพัฒนาบัวเพื่อใช้เป็นพืชเศรษฐกิจใหม่ของไทยประสบความสำเร็จได้ จำเป็นต้องพัฒนาแนวทางการใช้ประโยชน์จากบัวหลวงที่หลากหลาย การศึกษาลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของบัวหลวงเพื่อใช้ประโยชน์ เป็นการพัฒนาและเพิ่มมูลค่าการใช้ประโยชน์จากบัวหลวงแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งพบว่ายังไม่มี การพัฒนาพันธุ์บัวหลวงเพื่อใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น ดอก เมล็ด ราก เป็นต้น หรือสรรพคุณทางด้านสมุนไพร เพื่อให้มีคุณภาพผลผลิตตามการใช้ประโยชน์ของผู้บริโภค จึงควรศึกษาลักษณะคุณภาพและลักษณะปริมาณ (26) ของบัวหลวง เพื่อประกอบการตัดสินใจในการคัดเลือกพันธุ์ และตั้งเป้าหมายในการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

## วิธีดำเนินการวิจัย

ปลูกและศึกษาลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของบัวหลวง 4 สายพันธุ์ ได้แก่ บัวหลวงราชินี บัวหลวงปทุม บัวหลวงปัทมาอุบล และบัวหลวงนครสวรรค์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทดลองปลูกต้นพันธุ์บัวหลวงโดยไหล สายพันธุ์ละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น เป็นเวลา

6 เดือน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึงพฤศจิกายน 2561 ณ พิพิธภัณฑ์บัว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

#### ระยะอนุบาลต้นพันธุ์

เตรียมต้นพันธุ์โดยทำการคัดเลือกไหลบัวที่มีขนาดเท่า ๆ กัน มีใบอ่อน 1-2 ใบ และยอดของไหลไม่หักปลุกในกระถางพลาสติกต้นสี่ดำขนาด 12 นิ้ว ที่มีการรองก้นด้วยปุ๋ย (สูตร 15-15-15) และใส่ดินเหนียวลงไป 1 ส่วน 3 ของกระถาง ปลุกไหลโดยการทำร่องลึกประมาณ 1 นิ้ว ตามแนวยาวของไหลในกระถางปลุก แล้ววางไหลในแนวร่อง กลบให้ยอดเจริญโผล่พ้นดิน จากนั้นเติมน้ำลงไปจนระดับน้ำต่ำกว่าขอบกระถาง 10 เซนติเมตร เมื่อต้นพันธุ์มีอายุ 1 เดือน จึงนำมาปลุกกลางแจ้ง

#### ระยะปลุกต้นพันธุ์

นำต้นพันธุ์ที่มีอายุครบ 1 เดือน มาปลุกกลางแจ้งทดลองตามผังการทดลอง โดยใส่ปุ๋ย (สูตร 15-15-15) รองก้นอ่าง และใส่ดินเหนียว 1 ส่วน 3 ของอ่าง เติมน้ำลงไปในระดับครึ่งกระถาง เมื่อบัวเริ่มตั้งตัวได้และแตกใบใหม่ จะเริ่มให้ปุ๋ย (สูตร 15-15-15) โดยให้ปุ๋ยเดือนละครั้ง ทำการตัดแต่งใบเสียทิ้ง และฉีดยาป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชทุก 15 วัน

#### ระยะการบันทึกข้อมูล

เมื่อต้นพันธุ์อายุ 3 เดือน บันทึกลักษณะด้านคุณภาพและปริมาณของบัวหลวง 4 สายพันธุ์ ดังนี้

1. การศึกษาลักษณะด้านคุณภาพ (Qualitative Characters) ประกอบด้วย ใบ ก้านใบ ก้านดอก ดอก กลีบดอก เกสรเพศผู้ เกสรเพศเมีย ฝัก และเมล็ด (ตามรายละเอียดในการตรวจสอบลักษณะของพันธุ์พืชที่ขอจดทะเบียนเป็นพันธุ์พืชใหม่ตามชนิดพืชที่ได้ประกาศให้เป็นพันธุ์พืชใหม่ที่จะได้รับการคุ้มครองตามมาตรา 14 แห่งพระราชบัญญัติคุ้มครองพันธุ์ พ.ศ. 2542 บัว (ปทุมชาติ) Nelumbo)

2. การศึกษาลักษณะด้านปริมาณ (Quantitative Characters) ประกอบด้วย

เมื่อต้นพันธุ์อายุ 3 เดือน บันทึกระยะเวลาการให้ดอก จำนวนและขนาดของดอก ใบ ก้านดอก และก้านใบ จำนวนและน้ำหนักเกสร ขนาดฝัก จำนวนรังไข่ การติดเมล็ด ขนาดและน้ำหนักของเมล็ด และเหง้า เก็บเกี่ยวเหง้า เมื่อต้นพันธุ์อายุครบ 6 เดือน วัดขนาดและชั่งน้ำหนักเหง้าต่อต้น (กระถาง)

ประเมินความแตกต่างลักษณะพฤกษศาสตร์ด้านปริมาณ (quantitative traits) ระหว่างพันธุ์ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นำข้อมูลวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลอง Completely Randomized Design และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาลักษณะทางคุณภาพของบัวหลวง 4 สายพันธุ์

#### 1.1 บัวหลวงราชินี

- ใบ ใบอ่อนระยะลอยผิวน้ำมีสีเขียว รูปร่างใบกลมมีสองพู ระยะชูเหนือน้ำ (ใบที่คลี่แผ่บนผิวน้ำ) สีของใบด้านบนและด้านล่างมีสีเขียว ใบแก่ ใบด้านบนมีสีเขียว ด้านล่างมีสีเขียวอ่อน เส้นใบนูน จำนวนเส้นใบ 16-22 เส้น รูปร่างใบแก่งกลมและมีสองพู ใบแก่มีขนาด กว้าง 36 เซนติเมตร ยาว 46 เซนติเมตร ขอบใบเรียบ

- ก้านใบ ก้านดอก ก้านใบตอนล่างมีสีน้ำตาล ก้านใบตอนบนมีสีเขียว มีหนามน้อย ความยาวของก้านใบ 125 เซนติเมตร ความยาวของก้านดอก 130 เซนติเมตร ช่องอากาศใหญ่ภายในก้านดอกมีจำนวน 9 ช่อง

- ดอก รูปทรงของดอกตูมมีรูปไข่ กว้าง 5.4 เซนติเมตร ยาว 10.7 เซนติเมตร รูปทรงดอกบานคล้ายจาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดอกบาน 21 เซนติเมตร มีการเปลี่ยนสีของดอก สีกลิบลี้นอกสีขาว กลีบเลี้ยงด้านในเขียวชมพู จำนวนกลีบเลี้ยง



6 กลีบ รูปร่างของกลีบดอกรูปไข่ ปลายกลีบดอกแหลม สีกลีบดอกสีผสม สีกลีบดอกบริเวณโคนกลีบ กลางกลีบ ปลายกลีบ และขอบกลีบมีสีชมพูอ่อน จำนวนกลีบดอก 16-18 กลีบ

- เกสร จำนวนเกสรเพศผู้ 342 อัน ก้านเกสรเพศผู้และดิ่งยอดอับเรณูมีสีขาว อับเกสรเพศผู้และยอดเกสรเพศเมียเมื่อดอกเริ่มบานสีเหลือง จำนวนเกสรเพศเมีย 20 อัน

- ฝัก ฝักก่อนวันแรกที่ดอกบานมีสีเหลือง รูปทรงฝักก่อนวันแรกที่กลีบดอกร่วงหมดมีรูปกรวย ฝักแกมีลักษณะเป็นรูปแผ่นครึ่งวงกลม ฝักแกมีสีเขียว ผิวหนานูน ฝักเมื่อแก่เต็มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร ความหนา 6.5 เซนติเมตร

- เมล็ด ตำแหน่งการฝังตัวของเมล็ดเมื่อฝักแก่เต็มที่ (เมล็ดแก่ ขั้วเมล็ดสีเทา) โผล่บางส่วนผิวหน้าของฝัก เมล็ดมีรูปรี ด้านในของเปลือกเมล็ดแก่เป็นสีชมพู ขนาดเมล็ด กว้าง 0.95 เซนติเมตร และยาว 1.41 เซนติเมตร

### 1.2 บัวหลวงพทุม

- ใบ ใบอ่อนระยะลอยผิวน้ำมีสีเขียว รูปร่างใบกลม ระยะชูเหนือน้ำ ใบด้านบนมีสีเขียวอมฟ้า ด้านล่างมีสีเขียว รูปร่างใบกลมสองพู ใบแก่ ด้านบนมีสีเขียว ด้านล่างมีสีเขียวอ่อน เส้นใบนูน จำนวนเส้นใบ 20-21 เส้น รูปร่างใบแกมีลักษณะกลมสองพู ขนาดใบแก กว้าง 29 เซนติเมตร ยาว 37 เซนติเมตร ขอบใบเรียบ

- ก้านใบ ก้านดอก สีของก้านใบตอนล่างมีสีน้ำตาล ตอนบนมีสีเขียว มีหนามน้อย ความยาวของก้านใบ 99 เซนติเมตร ความยาวของก้านดอก 111 เซนติเมตร ช่องอากาศใหญ่ภายในก้านดอกมีจำนวน 8-9 ช่อง

- ดอก รูปทรงของดอกตูมเป็นรูปไข่ สัดส่วนขนาดดอกตูม กว้าง 3.6 เซนติเมตร ยาว 7.8 เซนติเมตร รูปทรงดอกบานคล้ายชาม ขนาดดอกบานมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร ไม่มีการเปลี่ยนสีของดอก กลีบเลี้ยงด้านนอกมีสีเขียว สีกลีบเลี้ยงด้านในมีสี

เขียวแดง จำนวนกลีบเลี้ยง 2 กลีบ รูปร่างของกลีบดอกเป็นรูปไข่ ปลายกลีบดอกแหลม สีกลีบดอกสีเดียว สีกลีบดอกบริเวณโคนกลีบ กลางกลีบ ปลายกลีบ และขอบกลีบมีสีชมพูอ่อน จำนวนกลีบดอก 16 กลีบ

- เกสร จำนวนเกสรเพศผู้ 197 อัน ก้านเกสรเพศผู้และดิ่งยอดอับเรณูมีสีขาว อับเกสรเพศผู้และยอดเกสรเพศเมียเมื่อดอกเริ่มบานสีเหลือง จำนวนเกสรเพศเมีย 13 อัน

- ฝัก ฝักก่อนวันแรกที่ดอกบานมีสีเหลือง รูปทรงฝักก่อนวันแรกที่กลีบดอกร่วงหมดและรูปทรงฝักแก่เป็นรูปกรวย ฝักแกมีสีเขียว ผิวหน้าตัด ขนาดฝักเมื่อแก่เต็มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.7 เซนติเมตร ความหนา 4.7 เซนติเมตร

- เมล็ด ตำแหน่งการฝังตัวของเมล็ดเมื่อฝักแก่เต็มที่ โผล่บางส่วนผิวหน้าของฝัก รูปร่างของเมล็ดเป็นรูปรี ด้านในของเปลือกเมล็ดแกมีสีขาว สัดส่วนของเมล็ด กว้าง 0.93 เซนติเมตร ยาว 1.36 เซนติเมตร

### 1.3 บัวหลวงปีทมาอุบล

- ใบ ใบอ่อนระยะลอยผิวน้ำมีสีเขียว รูปร่างใบมีลักษณะกลมสองพู ระยะชูเหนือน้ำ สีของใบแก่ด้านบนและด้านล่างมีสีเขียว สีของใบแก่ด้านบนมีสีเขียวด้านล่างมีสีเขียวอ่อน เส้นใบนูน จำนวนเส้นใบ 20-21 เส้น รูปร่างใบแกกลมสองพู ขนาดใบแกชูเหนือน้ำ กว้าง 39 เซนติเมตร ยาว 48 เซนติเมตร ขอบใบเรียบ

- ก้านใบ ก้านดอก ก้านใบตอนล่างมีสีน้ำตาล ก้านใบตอนบนมีสีเขียว มีหนามน้อย ความยาวของก้านใบ 126 เซนติเมตร ความยาวของก้านดอก 130 เซนติเมตร ช่องอากาศใหญ่ภายในก้านดอกมีจำนวน 8 ช่อง

- ดอก รูปทรงของดอกตูมเป็นรูปไข่ ขนาดดอกตูม กว้าง 3.9 เซนติเมตร ยาว 8.3 เซนติเมตร รูปทรงดอกบานคล้ายชาม ขนาดดอกของดอกบานมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 เซนติเมตร มีการเปลี่ยนสีของดอก สีกลีบเลี้ยงด้านนอกและด้านในมีสีเขียว จำนวนกลีบเลี้ยง

2 กลีบ รูปร่างของกลีบดอกเป็นรูปไข่ ปลายกลีบดอกแหลม สีกลีบดอกเป็นสีผสม สีกลีบดอกบริเวณโคนกลีบชมพูอ่อน กลางกลีบและปลายกลีบเป็นสีชมพูเข้ม ขอบกลีบมีสีชมพูอ่อน จำนวนกลีบดอก 18 กลีบ

- เกสร จำนวนเกสรเพศผู้ 270 อัน ก้านเกสรเพศผู้และดิ่งยอดอับเรณูมีสีขาว อับเกสรเพศผู้และยอดเกสรเพศเมียเมื่อดอกเริ่มบานสีเหลือง จำนวนเกสรเพศเมีย 18 อัน

- ฝัก ฝักอ่อนวันแรกที่ดอกบานมีสีเหลือง รูปทรงฝักอ่อนวันแรกที่กลีบดอกร่วงหมดเป็นรูปกรวย รูปทรงฝักแก่เป็นรูปแปดเหลี่ยมวงกลม ฝักแก่มีสีเขียว ผิวหนานูน ขนาดฝักเมื่อแก่เต็มที่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ความหนา 5.6 เซนติเมตร

- เมล็ด ตำแหน่งการฝังตัวของเมล็ดเมื่อฝักแก่เต็มที่ โผล่บางส่วนผิวหน้าของฝัก รูปร่างของเมล็ด รูปรี ด้านในของเปลือกเมล็ดแก่สีชมพู สัดส่วนของเมล็ด กว้าง 0.96 เซนติเมตร ยาว 1.43 เซนติเมตร

1.4 บัวหลวงนครสวรรค์

- ใบ ใบอ่อนระยะลอยผิวน้ำมีสีเขียว รูปร่างใบกลม ระยะชูเหนือน้ำ สีของใบด้านบนมีสีเขียวอ่อน ด้านล่างมีสีเขียว รูปร่างใบมีลักษณะกลมสองพู ใบแก่ด้านบนมีสีเขียว ด้านล่างมีสีเขียวอ่อน เส้นใบนูน จำนวนเส้นใบ 21-22 เส้น รูปร่างใบแก่มีลักษณะกลมสองพู ขนาดใบแก่ชูเหนือน้ำ กว้าง 34 เซนติเมตร ยาว 43 เซนติเมตร ขอบใบเรียบ

- ก้านใบ ก้านดอก ก้านใบตอนล่างมีสีน้ำตาล ก้านใบตอนบนมีสีเขียว มีหนามน้อย ความยาวของ

ก้านใบ 122 เซนติเมตร ความยาวของก้านดอก 133 เซนติเมตร ช่องอากาศใหญ่ภายในก้านดอกมีจำนวน 10 ช่อง

- ดอก รูปทรงของดอกตูมรูปไข่ ขนาดดอกตูมกว้าง 3.7 เซนติเมตร ยาว 7.1 เซนติเมตร รูปทรงดอกบานคล้ายจาน ดอกบานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ไม่มีการเปลี่ยนสีของดอก สีกลีบเลี้ยงด้านนอกและด้านในสีเขียว จำนวนกลีบเลี้ยง 2 กลีบ รูปร่างของกลีบดอกเป็นรูปไข่ ปลายกลีบดอกแหลม สีกลีบดอกสีผสม บริเวณโคนกลีบมีสีขาว แต่กลางกลีบ ปลายกลีบ และขอบกลีบมีสีชมพูอ่อน จำนวนกลีบดอก 12 กลีบ



- เกสร จำนวนเกสรเพศผู้ 233 อัน ก้านเกสรเพศผู้และดิ่งยอดอับเรณูมีสีขาว มีเกสรเพศผู้คล้ายกลีบดอก อับเกสรเพศผู้และยอดเกสรเพศเมียเมื่อดอกเริ่มบานมีสีเหลือง จำนวนเกสรเพศเมีย 16 อัน

































- ฝัก ฝักอ่อนวันแรกที่ดอกบานมีสีเหลือง รูปทรงฝักอ่อนวันแรกที่กลีบดอกร่วงหมดเป็นรูปกรวย ฝักแก่มีลักษณะรูปถ้วย ฝักแก่มีสีเขียว ผิวหน้าตัด ขนาดฝักเมื่อแก่เต็มที่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ความหนา 6.3 เซนติเมตร





- เมล็ด ตำแหน่งการฝังตัวของเมล็ดเมื่อฝักแก่เต็มที่ จมอยู่พอดีผิวหน้าของฝัก รูปร่างของเมล็ดรูปรี ด้านในของเปลือกเมล็ดแก่มีสีขาว สัดส่วนของเมล็ด กว้าง 1.18 เซนติเมตร ยาว 1.62 เซนติเมตร

รายละเอียดในการตรวจสอบลักษณะของพันธุ์พืชตามหลักเกณฑ์ การตรวจสอบลักษณะพันธุ์บัวปทุมชาติแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะทางคุณภาพของบัวหลวง 4 สายพันธุ์

ลักษณะ	พันธุ์			
	บัวหลวงราชินี	บัวหลวงปทุม	บัวหลวงปัทมาอุบล	บัวหลวงนครสวรรค์
ประเภทการใช้ประโยชน์	บัวเมล็ดบัวราก	บัวดอกบัวประดับ	บัวเมล็ดบัวราก	บัวเมล็ดบัวราก
รูปร่างใบ ระยะลอยผิวน้ำ				

ลักษณะ	พันธุ์			
	บัวหลวงราชินี	บัวหลวงปทุม	บัวหลวงปัทมาอุบล	บัวหลวงนครสวรรค์
ประเภทการใช้ประโยชน์	บัวเมล็ดบัวราก	บัวดอกบัวประดับ	บัวเมล็ดบัวราก	บัวเมล็ดบัวราก
	กลมสองพู	รูปกลม	กลมสองพู	รูปกลม
รูปร่างใบแก่				
	กลมสองพู	กลมสองพู	กลมสองพู	กลมสองพู
รูปร่างของดอกตูม				
	รูปไข่	รูปไข่	รูปไข่	รูปไข่
สีกลีบดอกบริเวณกลางกลีบและปลายกลีบ				
	ชมพูอ่อน	ชมพู	ชมพูเข้ม	ชมพู
รูปร่างดอกบาน				
	คล้ายจาน	คล้ายชาม	คล้ายชาม	คล้ายจาน
สีอับเกสรเพศผู้ และยอดเกสรเพศเมีย				
	เหลือง	เหลือง	เหลือง	เหลือง
รูปร่างฝักอ่อน				
	รูปกรวย	รูปกรวย	รูปกรวย	รูปกรวย
รูปร่างฝักแก่				
	รูปแผ่นครึ่งวงกลม	รูปกรวย	รูปแผ่นค่อนวงกลม	รูปถ้วย
ผิวหน้าของฝักแก่				
	หน้านูน	หน้าตัด	หน้านูน	หน้าตัด

ลักษณะ	พันธุ์			
	บัวหลวงราชินี	บัวหลวงปทุม	บัวหลวงปัทมาอุบล	บัวหลวงนครสวรรค์
ประเภทการใช้ประโยชน์	บัวเมล็ดบัวราก	บัวดอกบัวประดับ	บัวเมล็ดบัวราก	บัวเมล็ดบัวราก
รูปร่างของเมล็ด				
	รูปรี	รูปรี	รูปรี	รูปรี

2. การศึกษาลักษณะด้านปริมาณ

การประเมินความแตกต่างลักษณะพฤกษศาสตร์ทางปริมาณทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นำข้อมูลวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลอง Randomized Completely Design และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) พบว่า

2.1 ระยะการให้ดอก และจำนวนดอก

พิจารณาการให้ดอกของบัวหลวง 4 สายพันธุ์ จะเห็นว่าบัวหลวงปทุม เป็นสายพันธุ์ที่ให้ดอกเร็วที่สุดคือสามารถให้ดอกเฉลี่ยภายใน 35 วันหลังปลูก สำหรับบัวหลวงปัทมาอุบลและบัวหลวงนครสวรรค์ ให้ดอกในระยะเวลาเฉลี่ย 42.87 และ 45.77 วัน ตามลำดับ ส่วนบัวหลวงราชินีเป็นสายพันธุ์ที่ให้ดอกช้าที่สุดคือ 54.33 วัน ซึ่งระยะเวลาการให้ดอกสัมพันธ์กับความยาวก้านดอก และมีผลต่อจำนวนดอก เนื่องจากว่าบัวหลวงราชินีเป็นสายพันธุ์ที่มีก้านดอกเฉลี่ยยาวที่สุด 129.43 เซนติเมตร มีระยะเวลาดอกพ่นน้ำถึงดอกบานนาน 13.47 วัน ขณะที่บัวหลวงปทุมมีความยาวก้านดอก 111.17 เซนติเมตร มีระยะเวลาดอกพ่นน้ำถึงดอกบานเพียง 7.20 วัน จึงทำให้บัวหลวงปทุมสามารถให้ดอกได้เร็วกว่า และมีจำนวนดอกเฉลี่ยสูงสุด 16.23 ดอกต่อต้น ขณะที่บัวหลวงราชินีมีจำนวนดอกเฉลี่ยเพียง 4.04 ดอกต่อต้น ซึ่งค่าเฉลี่ย ขนาดดอก จำนวนเกสร และน้ำหนักเกสร แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 2 และ 4

2.2 จำนวนใบ ขนาดใบ และความยาวก้านใบ

พิจารณาจำนวนใบ และขนาดใบ (ใบตั้งเหนือน้ำเฉลี่ยต่อต้น) พบว่าบัวหลวงปทุมมีจำนวนใบสูงสุด 6.87 ใบ มีขนาดใบเล็กที่สุดและมีความยาวก้านใบสั้นที่สุด ในขณะที่บัวหลวงปัทมาอุบล และบัวหลวงนครสวรรค์ มีจำนวนใบรองลงมาเท่ากับ 5.40 และ 5.17 ใบ ตามลำดับ ส่วนบัวหลวงราชินีมีจำนวนใบน้อยที่สุดคือ 3.13 ใบ สำหรับขนาดใบและความยาวก้านใบ บัวหลวงปัทมาอุบลมีขนาดใบใหญ่ที่สุด คือมีขนาดกว้าง 38.60 เซนติเมตร ยาว 47.70 เซนติเมตร และมีความยาวก้านใบสูงสุด 126.07 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่บัวหลวงราชินี และบัวหลวงนครสวรรค์ ซึ่งจำนวนใบมีความสัมพันธ์แปรผกผันกับขนาดใบและความยาวก้านใบ กล่าวคือสายพันธุ์ที่มีขนาดใบเล็กและความยาวก้านใบสั้นจะให้จำนวนใบได้มากกว่าสายพันธุ์ที่มีขนาดใบใหญ่และก้านใบยาว ซึ่งค่าเฉลี่ยจำนวนใบ ขนาดใบ และความยาวก้านใบ แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 3

2.3 ขนาดดอก จำนวนเกสร และน้ำหนักเกสร

พิจารณาขนาดดอก จะเห็นว่าบัวหลวงราชินีเป็นสายพันธุ์ที่มีขนาดดอกใหญ่ที่สุดตั้งแต่ดอกตูมถึงดอกบาน คือดอกตูมมีขนาดกว้าง 5.54 เซนติเมตร ยาว 10.69 เซนติเมตร ดอกบานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 21.87 เซนติเมตร ซึ่งขนาดดอกมีความสัมพันธ์กับจำนวนเกสร และน้ำหนักเกสร คือบัวหลวงราชินีมีขนาดดอกใหญ่ที่สุด และมีจำนวนเกสรและน้ำหนักเฉลี่ยต่อดอกสูงสุด เท่ากับ 341.70 อัน น้ำหนักสดเฉลี่ย

3.3 กรัม ทั้งนี้ บัวหลวงปัทมาอุบลและบัวหลวงนครสวรรค์ มีขนาดดอก จำนวนเกสร และน้ำหนักเกสร รongลงมา ขณะที่บัวหลวงปทุมมีขนาดดอก จำนวนเกสร และน้ำหนักเกสรน้อยที่สุด ซึ่งค่าเฉลี่ย ขนาดดอก จำนวนเกสร และน้ำหนักเกสร แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 4 และ 5

2.4 ขนาดฝัก จำนวนรังไข่และร้อยละการติดเมล็ด

พิจารณาขนาดฝักแก่ จำนวนรังไข่ และการติดเมล็ดของบัวหลวง 4 สายพันธุ์ จะเห็นว่าบัวหลวงราชินี มีขนาดฝักใหญ่ที่สุด และมีจำนวนรังไข่มากที่สุด คือมีขนาดฝักกว้าง 11 เซนติเมตร ยาว 12 เซนติเมตร และมีจำนวนรังไข่เฉลี่ย 20.23 รัง (เมล็ด) รongลงมาได้แก่บัวหลวงปัทมาอุบล และบัวหลวงนครสวรรค์ ซึ่งขนาดฝักมีความสัมพันธ์กับจำนวนรังไข่ แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับร้อยละการติดเมล็ด กล่าวคือ บัวหลวงราชินี มีขนาดฝักใหญ่ที่สุดและมีจำนวนรังไข่มากที่สุด แต่มีการติดเมล็ดร้อยละ 63.26 น้อยกว่าบัวหลวงปัทมาอุบล ซึ่งมีร้อยละการติดเมล็ด 68.55 ขณะที่บัวหลวงนครสวรรค์มีร้อยละการติดเมล็ด 60.75 แต่มีร้อยละเมล็ดดีสูงสุดร้อยละ 84.11 ทั้งนี้รูปทรงฝักมีผลต่อร้อยละการติดเมล็ดดีด้วย จะเห็นว่าบัวหลวงราชินีและบัวหลวงปัทมาอุบลมีรูปทรงฝักหน้าบาน ลักษณะการชูและองศาของฝักแก่ทำให้เมล็ดร่วงง่าย (6) ในขณะที่บัวหลวงนครสวรรค์มีรูปทรงฝักหน้าตัด ลักษณะการชูและองศาของฝักแก่ เมล็ดไม่หลุดร่วงง่าย มีผลให้ร้อยละการติดเมล็ดดีสูงสุด นอกจากนี้ยังมีขนาดและน้ำหนักเมล็ดสูงอีกด้วย ซึ่งค่าเฉลี่ยขนาดฝัก และการติดเมล็ดร้อยละแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 5 และ 6

2.5 ความกว้าง ความยาวและน้ำหนักของเมล็ด

ขนาดและน้ำหนักเมล็ด พบว่าบัวหลวงนครสวรรค์มีขนาดและน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยสูงสุดคือ กว้าง 1.16 เซนติเมตร ยาว 1.58 เซนติเมตร หน้า 1.38

กรัม รongลงมาได้แก่ บัวหลวงปัทมาอุบล มีขนาดเมล็ด กว้าง 0.96 เซนติเมตร ยาว 1.44 เซนติเมตร หน้า 1.36 กรัม และบัวหลวงราชินี ขนาดเมล็ด กว้าง 0.95 เซนติเมตร ยาว 1.42 เซนติเมตร หน้า 1.21 กรัม ส่วนบัวหลวงปทุมมีขนาดและน้ำหนักเมล็ดน้อยที่สุดคือ กว้าง 0.96 เซนติเมตร ยาว 1.37 เซนติเมตร และหน้า 1.19 กรัม ทั้งนี้บัวหลวงนครสวรรค์เป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง คือมีขนาดและน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยสูงสุดในด้านคุณภาพ พิจารณาจากน้ำหนักต่อเมล็ด บัวทั้ง 4 สายพันธุ์มีน้ำหนักเมล็ดมากกว่า 1.05 กรัม จัดว่าเป็นบัวเมล็ดที่มีคุณภาพสูง (7) ค่าเฉลี่ยขนาดเมล็ดแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 6

2.6 เหง้าบัว (รากบัว)

สำหรับขนาดและน้ำหนักเหง้าของบัวหลวง 4 สายพันธุ์ พบว่าบัวหลวงราชินีมีขนาดและน้ำหนักเหง้าสูงสุด คือมีขนาดเส้นรอบวงเฉลี่ย 10.95 เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น 885.17 กรัม รongลงมาได้แก่ บัวหลวงปัทมาอุบล มีขนาด และน้ำหนักเหง้าเท่ากับ 8.52 เซนติเมตร 585.00 กรัม และบัวหลวงนครสวรรค์ มีขนาดและน้ำหนักเหง้าเท่ากับ 9.02 เซนติเมตร 430.67 กรัม ส่วนบัวหลวงปทุมมีขนาดเส้นรอบวง และน้ำหนักเหง้า น้อยที่สุด คือ 7.25 เซนติเมตร 209.00 กรัม จะเห็นได้ว่าบัวหลวงราชินีเป็นสายพันธุ์ที่เหง้ามีคุณภาพดีและให้ผลผลิตสูง คือมีขนาดรอบวงและน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นสูงสุด ซึ่งจำนวนและน้ำหนักเหง้าต่อพื้นที่เก็บเกี่ยวเป็นดัชนีชี้วัดด้านผลผลิตของบัวราก ส่วนด้านคุณภาพพิจารณาจากรูปลักษณ์ภายนอก โดยปล้องต้องมีความสม่ำเสมอ อวบ อ้วน เปลือกขาว และทนต่อการเก็บรักษา (7) ซึ่งค่าเฉลี่ยขนาด และน้ำหนักเหง้าแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 2 แสดงระยะเวลาการเริ่มให้ดอกถึงฝักแก่ของบัวหลวง 4 สายพันธุ์

สายพันธุ์	ระยะเวลา (วัน)				
	หลังปลูก	ดอกตูม	ดอกบาน	ดอกโรยถึงฝักแก่	ดอกพ่นน้ำถึงฝักแก่
บัวหลวงราชินี	54.33 <sup>a</sup>	13.97 <sup>a</sup>	2.40 <sup>c</sup>	23.77 <sup>a</sup>	40.17 <sup>a</sup>
บัวหลวงปทุม	35.20 <sup>c</sup>	7.20 <sup>c</sup>	2.80 <sup>a</sup>	10.53 <sup>c</sup>	20.40 <sup>c</sup>
บัวหลวงปัทมาอุบล	42.87 <sup>b</sup>	12.00 <sup>b</sup>	2.47 <sup>b</sup>	22.53 <sup>a</sup>	37.30 <sup>b</sup>
บัวหลวงนครสวรรค์	45.77 <sup>b</sup>	13.47 <sup>a</sup>	2.30 <sup>c</sup>	20.83 <sup>b</sup>	36.57 <sup>b</sup>
F-test	*	*	*	*	*
CV%	27.59	27.36	22.68	28.92	24.56

\* = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

1/ = ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ตารางที่ 3 แสดงจำนวนใบ ขนาดใบ และขนาดก้านใบของบัวหลวง 4 สายพันธุ์

สายพันธุ์	จำนวนใบ ขนาดใบ และขนาดก้านใบ (เซนติเมตร)				
	จำนวนใบ	ขนาดใบ (กว้าง)	ขนาดใบ (ยาว)	ขนาดก้านใบ	ความยาวก้านใบ
บัวหลวงราชินี	3.13 <sup>c</sup>	36.40 <sup>b</sup>	46.40 <sup>a</sup>	1.01 <sup>a</sup>	123.60 <sup>a</sup>
บัวหลวงปทุม	6.87 <sup>a</sup>	28.73 <sup>d</sup>	37.33 <sup>c</sup>	0.80 <sup>b</sup>	99.03 <sup>b</sup>
บัวหลวงปัทมาอุบล	5.40 <sup>b</sup>	38.60 <sup>a</sup>	47.70 <sup>a</sup>	1.03 <sup>a</sup>	126.07 <sup>a</sup>
บัวหลวงนครสวรรค์	5.17 <sup>b</sup>	34.27 <sup>c</sup>	42.60 <sup>b</sup>	1.05 <sup>a</sup>	121.93 <sup>a</sup>
F-test	*	*	*	*	*
CV%	43.63	12.19	11.09	39.09	14.91

\* = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

1/ = ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ตารางที่ 4 แสดงขนาดก้านดอกและก้านใบของบัวหลวง 4 สายพันธุ์

สายพันธุ์	จำนวนดอก ขนาดดอก และขนาดก้านดอก (เซนติเมตร)			
	จำนวนดอก	ขนาดดอกบาน	ขนาดก้านดอก	ความยาวก้านดอก
บัวหลวงราชินี	4.04 <sup>c</sup>	21.87 <sup>a</sup>	0.95	129.43 <sup>a</sup>
บัวหลวงปทุม	16.23 <sup>a</sup>	14.13 <sup>d</sup>	0.76	111.17 <sup>b</sup>
บัวหลวงปัทมาอุบล	10.57 <sup>b</sup>	18.60 <sup>c</sup>	0.94	127.90 <sup>a</sup>
บัวหลวงนครสวรรค์	8.43 <sup>b</sup>	20.03 <sup>b</sup>	1.04	127.83 <sup>a</sup>
F-test	*	*	ns	*
CV%	57.92	17.94	42.52	14.95

ns = ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ), \* = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

1/ = ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ตารางที่ 5 แสดงจำนวน น้ำหนักเกสร และขนาดฝักของบัวหลวง 4 สายพันธุ์

สายพันธุ์	เกสรต้อดอก		ขนาดฝักแก่ (เซนติเมตร)		
	จำนวน	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	สูง
บัวหลวงราชินี	341.70 <sup>a</sup>	3.33 <sup>a</sup>	11.10 <sup>a</sup>	12.25 <sup>a</sup>	6.51 <sup>a</sup>
บัวหลวงปทุม	196.73 <sup>d</sup>	1.66 <sup>c</sup>	8.67 <sup>c</sup>	9.38 <sup>c</sup>	4.75 <sup>c</sup>
บัวหลวงปัทมาอุบล	270.07 <sup>c</sup>	2.58 <sup>b</sup>	10.17 <sup>b</sup>	11.32 <sup>b</sup>	5.58 <sup>b</sup>
บัวหลวงนครสวรรค์	232.77 <sup>b</sup>	2.98 <sup>a<sup>b</sup></sup>	9.12 <sup>c</sup>	9.98 <sup>c</sup>	6.28 <sup>a</sup>
F-test	*	*	*	*	*
CV%	26.40	36.91	16.66	16.41	14.24

\* = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

1/ = ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ตารางที่ 6 แสดงจำนวนรังไข่ การติดเมล็ด ขนาด และน้ำหนักเมล็ดของบัวหลวง 4 สายพันธุ์

สายพันธุ์	การติดเมล็ดร้อยละ			ขนาดเมล็ด (เซนติเมตร)		น้ำหนัก (กรัม) เฉลี่ย 100 เมล็ด
	จำนวนรังไข่	การติดเมล็ด	เมล็ดดี	กว้าง	ยาว	
บัวหลวงราชินี	20.23	63.26 <sup>a</sup>	67.96 <sup>c</sup>	0.95 <sup>b</sup>	1.42 <sup>b</sup>	1.21
บัวหลวงปทุม	19.50	30.99 <sup>b</sup>	20.25 <sup>d</sup>	0.96 <sup>b</sup>	1.37 <sup>c</sup>	1.19
บัวหลวงปัทมาอุบล	19.50	68.55 <sup>a</sup>	75.29 <sup>b</sup>	0.96 <sup>b</sup>	1.44 <sup>b</sup>	1.36
บัวหลวงนครสวรรค์	19.63	60.75 <sup>a</sup>	84.11 <sup>a</sup>	1.16 <sup>a</sup>	1.58 <sup>a</sup>	1.38
F-test	ns	*	*	*	*	-
CV%	7.53	37.25	42.72	11.67	8.29	-

\* = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

1/ = ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ตารางที่ 7 แสดงขนาดและน้ำหนักเหง้าของบัวหลวง 4 สายพันธุ์

สายพันธุ์	ขนาดและน้ำหนักเหง้า	
	ขนาดรอบวง (เซนติเมตร)	น้ำหนัก (กรัม)
บัวหลวงราชินี	10.95 <sup>a</sup>	885.17 <sup>a</sup>
บัวหลวงปทุม	7.25 <sup>c</sup>	209.00 <sup>d</sup>
บัวหลวงปัทมาอุบล	8.52 <sup>b</sup>	585.00 <sup>b</sup>
บัวหลวงนครสวรรค์	9.02 <sup>b</sup>	430.67 <sup>c</sup>
F-test	*	*
CV%	18.51	52.38

\* = แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

1/ = ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

## สรุปผล

จากการศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะทางคุณภาพและปริมาณของบัวหลวงพทุม 4 สายพันธุ์เพื่อการใช้ประโยชน์ ด้านบัวดอก บัวหลวงพทุม เหมาะสำหรับการปลูกเป็นบัวตัดดอกและบัวประดับ เนื่องจากมีระยะเวลาการให้ดอกหลังปลูกเร็ว และให้ดอกดก สำหรับบัวเมล็ด บัวหลวงนครสวรรค์ บัวหลวงปัทมาอุบล และบัวหลวงราชินี เป็นสายพันธุ์ที่มีการติดเมล็ดและมีร้อยละเมล็ดดีสูง ขนาดเมล็ดใหญ่และมีน้ำหนักสม่ำเสมอ ส่วนบัวราก บัวหลวงราชินี บัวหลวงปัทมาอุบล และบัวหลวงนครสวรรค์ เป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตราก (เหง้า) สูง โดยเฉพาะบัวราชินี ให้เหง้าที่มีคุณภาพดีทั้งขนาดและน้ำหนัก โดยค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปรที่ศึกษามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ยกเว้น ขนาดก้านดอก และจำนวนรังไข่ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

### ข้อเสนอแนะ

1. ด้านบัวดอก ปลูกบัวกระถาง บัวหลวงพทุม เป็นสายพันธุ์ที่มีลักษณะที่ดี เหมาะแก่การใช้ประโยชน์ด้านบัวประดับ เพราะมีขนาดต้นไม่สูงมาก สามารถปลูกในกระถาง อ่างบัวที่ไม่ใหญ่มาก เคลื่อนย้ายง่าย สะดวก ให้ดอกเร็วหลังปลูก และมีดอกดก การปรับปรุงพันธุ์ดอกเน้นในเรื่องสีดอก รูปทรงดอก ความหนาแน่นของดอก รูปทรงต้น การต้านทานโรค และความทนทานต่อสภาพแวดล้อม จะทำให้มีคุณค่าสูงขึ้น (7)

2. ด้านเกสร บัวหลวงราชินี บัวหลวงปัทมาอุบล และบัวหลวงนครสวรรค์ เป็นบัวที่ให้จำนวนเกสรมาก โดยเฉพาะบัวหลวงราชินีหากสามารถพัฒนาหรือปรับปรุงพันธุ์ให้มีดอกดก ก็จะสามารถใช้ประโยชน์ในด้านการปลูกเพื่อเก็บเกสรได้

3. ด้านบัวเมล็ด เมล็ดบัวตัดฝักหรือเมล็ดบัวตากแห้ง บัวหลวงราชินีและบัวหลวงปัทมาอุบล เป็นบัวมีขนาดดอกและขนาดฝักใหญ่ แต่ลักษณะการชูและองศาของฝักแก่รูปแผ่นรีวงกลม ทำให้เมล็ดร่วงง่าย การคัดเลือกและ

การปรับปรุงพันธุ์บัวให้ติดเมล็ดเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงและคุณภาพดี เป็นสิ่งที่ควรนำมาพิจารณาในการศึกษาวิจัยด้านการปรับปรุงพันธุ์บัวเมล็ด

4. ด้านเส้นใย บัวหลวงราชินี บัวหลวงปัทมาอุบล และบัวหลวงนครสวรรค์ เป็นสายพันธุ์ที่มีก้านยาวและมีขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีที่ควรนำมาพิจารณาในการปรับปรุงสายพันธุ์เพื่อการใช้ประโยชน์ด้านเส้นใย เพื่อผลิตเป็นสิ่งทอ ซึ่งมีความแข็งแรงทนต่อแรงดึง หรือใช้ประโยชน์อื่น ๆ เป็นการพัฒนาการเพิ่มมูลค่าแก่เส้นใยบัว

5. ด้านผลิตรากบัว หรือเหง้า บัวหลวงราชินีเป็นสายพันธุ์ที่มีลักษณะที่ดีที่สุดที่ควรนำมาพิจารณาในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อการใช้ประโยชน์ด้านผลิตรากบัวหรือเหง้า และควรมีการส่งเสริมให้ปลูกอย่างกว้างขวาง เนื่องจากให้เหง้าที่มีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักมาก และมีคุณภาพที่ดี

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ กองทุนส่งเสริมงานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณรายจ่ายปี 2561 ในโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.) เป็นทุนอุดหนุนโครงการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

1. นพมาศ สุนทรเจริญนนท์. พัฒนาบัวให้เป็นพืชเศรษฐกิจของชาติ คุณค่าทางยาของบัว. ใน: เอกสารประกอบการอภิปรายในการสัมมนา เรื่องพัฒนาบัวให้เป็นพืชเศรษฐกิจของชาติ. สำนักพิพิธภัณฑสถานและวัฒนธรรมการเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. กรุงเทพฯ; 2546. น. 1-5.
2. ภาณุพล หงษ์ภักดี. บัวหลวง: ศักยภาพไม้ดอกไทยสู่ตลาดอาเซียน. แก่นเกษตร. 2556;41:213-20.



3. สุรไกร สังข์สุบรรณ, สมเจตน์ ประทุมมิตร, นลินี จาริกภากร, กิ่งกาญจน์ พิษคุณ, ปัญญา ธยามานนท์, พิษิต สบโชค, และคณะ. โครงการอนุรักษ์และปรับปรุงพันธุ์บัวหลวง. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร; 2556. น. 1-55.
4. ชูลีพร เตชะศีลพิทักษ์. บัวหลวงพื้นเมืองในประเทศไทย. สกลนคร: สวนบัวหลวงเฉลิมพระเกียรติฯ พิพิธภัณฑสถานเกษตรเฉลิมพระเกียรติฯ; 2550.
5. ฐริพันธ์ สุวรรณเมฆ. การศึกษาการผลิตบัวหลวงตัดดอกใน จ.นนทบุรี. ใน: The Proceeding of IWGS Annual Symposium 2007. การพัฒนาบัวให้เป็นพืชเศรษฐกิจ ครั้งที่ 5; 16-22 ก.ค. 2550; มูลนิธิสวนหลวง ร.9 สวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์. 2550. น. 25-8.
6. เสริมลาภ วสุวัต. ลักษณะต้นสังเกตของบัวหลวงเพื่อการปรับปรุงพันธุ์บัวเมล็ด. ใน: ราชพฤกษ์ 2554. การสัมมนาวิชาการ การพัฒนาบัวให้เป็นพืชเศรษฐกิจ ครั้งที่ 9 งานมหกรรมพืชสวนโลกเฉลิมพระเกียรติฯ ราชพฤกษ์; 21-23 ธ.ค. 2554; โรงแรมเกษียรติฯ ราชพฤกษ์; 21-23 ธ.ค. 2554; โรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน จ.เชียงใหม่. 2554. น. 10-27.
7. สุภาวดี ตั้งธีระวัฒน์. แหล่งกำเนิดบัวและงานปรับปรุงพันธุ์บัวของจีน. ใน: เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ “เรื่องพัฒนาบัวให้เป็นพืชเศรษฐกิจ ครั้งที่ 4”. งานมหกรรมพืชสวนโลกเฉลิมพระเกียรติฯ ราชพฤกษ์; 17-18 พ.ย. 2549; โรงแรมโลดส์ปางสวนแก้ว จังหวัดเชียงใหม่. 2549. น. 119-28.
8. สุภา จุฬคุปต์. การพัฒนากระดาดใบบัวอัดแห้งสำหรับใช้ในงานประดิษฐ์. ใน: ปทุมธานี: เมืองบัว. การประชุมวิชาการการพัฒนาบัวให้เป็นพืชเศรษฐกิจ ครั้งที่ 12; 29-30 ต.ค. 2558; พิพิธภัณฑบัวมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี. 2558. น. 65-71.
9. ปริมลภ ชูเกียรติมัน. "บัวกับวัฒนธรรมไทย" ใน: เอกสารประกอบการบรรยาย "บัวกับวัฒนธรรมไทย". กรุงเทพฯ: สำนักงานบริหารและพัฒนาองค์ความรู้; 2556. น. 1-19.
10. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. สนุกกับการเรียนรู้เรื่องบัว มหัศจรรย์แห่งราชินีไม้น้ำ. ปทุมธานี: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ; 2555. น. 84-5.
11. สมบัติ วนาอุปลัมภกุล. นวัตกรรมเครื่องสำอาง BSC Pure Care-Age Expert Series “นาโนเทคโนโลยีและสารสกัดเกสรบัวหลวง (Lotus Spirit)”. บริษัทอินเตอร์เนชั่นแนล แลบบอราทอรีส์ จำกัด; 2547.
12. Sridhar KR, Bhat R. Lotus - A potential nutraceutical source. Journal of Agricultural Technology. 2007;3(1):143-55.
13. Rai S, Wahile A, Mukherjee K, Pada Saha B, Mukherjee PK. Antioxidant activity of Nelumbo nucifera (sacred lotus) seeds. J Ethnopharmacol. 2006;104:322-7.
14. Krishnamoorthy G, Chellappan DR, Joseph J, Ravindhran D, Shabi MM, Uthrapathy S, et al. Antioxidant activity of Nelumbo nucifera (Gaertn) flowers in isolated perfused rat kidney. Revista Brasileira de FarmacognosiaBrazilian Journal of Pharmacognosy. 2009;19(1B):224-9.
15. Lee DB, Kim DH, Je JY. Antioxidant and Cytoprotective Effects of Lotus (Nelumbo nucifera) Leaves Phenolic Fraction. Preventive Nutrition and Food Science. 2015;20(1):22-8.

16. Choe JH, Jang A, Choi JH, Choi YS, Han DJ, Kim HY, et al. Antioxidant Activities of Lotus Leaves (*Nelumbo nucifera*) and Barley Leaves (*Hordeum vulgare*) Extracts. *Food Sci Biotechnol.* 2010;19(3):831-6.
17. ไฉน น้อยแสง, ภัทรานุช เอกวโรภาส, กฤษณดินันท์ นวพงษ์ปวีณ, อุษา ไสตามุข. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของเซลล์ต้นกำเนิดจากบัวหลวง. *วิทยาลัยการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.* 2555.
18. Steinrut L, Wongklang S, Itharat A. Antioxident activity of *Nelumbo nucifera* and herbal tea development. In: Peerapattana J, Yenjai C, Nualkaew N, Thapphasaraphong S, Puthongking P, editor. *The 6th International Conference on Natural Products for Health and Beauty (NATPR06); 2016 January 21-23; Khon Kaen University. Khon Kaen: 2016. 270-3.*
19. สมอรุรา ทองรุ่งโรจน์. องค์ประกอบทางเคมีของสารหอมระเหยเอสรบัวหลวง [วิทยานิพนธ์สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร; 2550.
20. สุรัตน์วดี วงศ์คลัง, เลอลักษณ์ เสถียรรัตน์, อรุณพร อธิรัตน์. การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของบัวหลวง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร* 2557;45(2): 673-6.
21. ปิยะวดี เจริญวัฒนา, สุมนา ปานสมุทร, ดำรง คงสวัสดิ์, อำนวย เพชรประไพ. การศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากบัวหลวง. *ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2552.*
22. นันทน์ภัส สุวรรณสินธุ์. การสำรวจบัวหลวงราชินีที่มีในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรีเพื่อการอนุรักษ์. การประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏเพชรบุรีวิจัยเพื่อแผ่นดินไทยที่ยั่งยืน ครั้งที่ 6; 9 ก.ค. 2559; มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. *เพชรบุรี: สถาบันวิจัยและส่งเสริมวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี; 2559. น. 1-8.*
23. จิรวัดน์ เพชรรัตน์. การศึกษาเชิงวิเคราะห์: บัวกับความสัมพันธ์ด้านวิถีชีวิตคนไทยและแนวทางสู่พืชเศรษฐกิจของประเทศ. *ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2557.*
24. ปริมลภา วสุวัต, คมกฤษ ชูเกียรติมัน, เสริมลภา วสุวัต. “บัว ราชินีแห่งไม้น้ำและดอกไม้ประจำศาสนาพุทธ” สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 13. กรุงเทพฯ: ด่านสุทธการพิมพ์; 2554.
25. น้ำฝน เสาวลักษณ์. การศึกษาการให้ดอกของบัวหลวง 4 สายพันธุ์ [ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต]. *ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2555.*
26. รัตนากร กฤษณชาญดี, รัตติกาล เสนน้อย. การคัดเลือกพันธุ์บัวสายเขตร้อนและบัวสายเขตหนาวเพื่อการตัดดอกในเชิงพาณิชย์. *ชลบุรี: สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก; 2559.*



## Development of Stakeholder Data Management System

Suban Lertnawapan\* and Suchai Thanawastien

School of Science and Technology, Shinawatra University, Pathumthani 12110, THAILAND

\*Corresponding author e-mail: [savailable@yahoo.com](mailto:savailable@yahoo.com)

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

Article history:

Received: 8 June, 2020

Revised: 21 August, 2020

Accepted: 31 August, 2020

Available online: 21 February, 2021

DOI: [10.14456/rj-rmutt.2021.7](https://doi.org/10.14456/rj-rmutt.2021.7)

*Keywords:* stakeholder, management, process, data, information

Stakeholder management is gained more significant in both government and organization management because stakeholder has an impact on organizational accomplishment. As the existing of information technology, stakeholder management will be more effective when it applying with an information system application. However, there are hardly find the right one to deploy in the organization. This paper focused on developing both stakeholder data processing and application, which had been collected from the stakeholder management process. This development employed the stakeholder management process applying American Productivity and Quality Center (APOC) best practices to offer stakeholder data management in each stakeholder process which includes policy planning, stakeholder identifying, analyzing and recommending strategy, and engaging stakeholder. Additionally, the stakeholder data architecture was divided into policy, profile, classification, characteristic, recommendation, and activity. With the pre-defined stakeholder data processing design, the stakeholder management information system was developed accordingly. The expert opinion was conducted. 17 experts who have experience in managing policy from different industries were purposive sampling. The 5-level Likert scale questionnaires (5=strongly agree, 4=agree, 3=neutral, 2=disagree, 1=strongly disagree) were provided with research description. The stakeholder data management system was provided for evaluation as well. From our survey, the expert

---

opinion concluded the developed system was satisfied in terms of it covers key stakeholder management process, it will be improved operation efficiency, it will be convenient to use, and it will be practical to deploy in real life. With the stakeholder data management system, both policy creator and the project owner will improve their stakeholder analysis and stakeholder engagement. Furthermore, it will lead to organizational productivity, competency, and success.

---

## INTRODUCTION

Stakeholder management has been studied for more than 30 years. Many pieces of researches have focused on stakeholder definition and stakeholder management. For example, Freeman (1) defined stakeholders are groups or individuals that may affect or be affected by achieving the organizational objective. Stakeholder management processes were studied in several groups (2-7). Schmeer (8) studied the stakeholder analysis to help policy makers and manager systematically analyzing health reform stakeholder data. The guideline suggested ensuring the obtained data. Pandi-Perumal (9) applied stakeholder management in a clinical research environment with Project Management Body of Knowledge (PMBOK) stakeholder management process model (7). Four project stakeholder management processes were studied which were Identify stakeholders, Plan stakeholder management, Manage stakeholder engagement, and control stakeholder engagement. The outputs were stakeholder register, stakeholder management plan, Issue log, Change requests, and Work performance information. The Yilmaz and Gunel

(10) described the importance of stakeholder management in the tourism industry by studying the expectation and impact of stakeholder, collecting data from interview stakeholder based on their interest.

As Information System and Technology era, most of the business process has been developed on the computer system. However, it hardly found the stakeholder management process and software stakeholder management system. To implement a stakeholder management system, additionally, it required well-defined stakeholder process and data such as profile, classification, characteristic from various sources.

This paper focused on developing both stakeholder data processing and computer application which had been collected from the stakeholder management process applying APQC (11) and the process defined by Lertnawapan and Tanawastein (12). The expert survey on satisfaction of our development system was performed, and the result from users was positive.

## MATERIALS AND METHODS

### Methodology

We conducted the expert opinion for their satisfaction to our proposed system development by using questionnaires with 5-level Likert scale—Strongly agree (5), Agree (4), Neutral (3), Disagree (2) and Strongly Disagree (1). The seventeen experts were purposive sampling and from at least 6 different industries. The samples were at the management level with direct experience in managing stakeholder, and they were at least 40 years old. As Dalkey

experiment (13), when the number of experts is 17 or more, the decreasing rate of average group error is minimal. Moreover, when group size is more than 13, the reliability is satisfied with a correlation coefficient is greater than 0.8. The median was chosen to measure the middle value of the dataset.

### Process

In this paper, we gathered stakeholder data and processed according to the stakeholder process concept as below Figure 1.

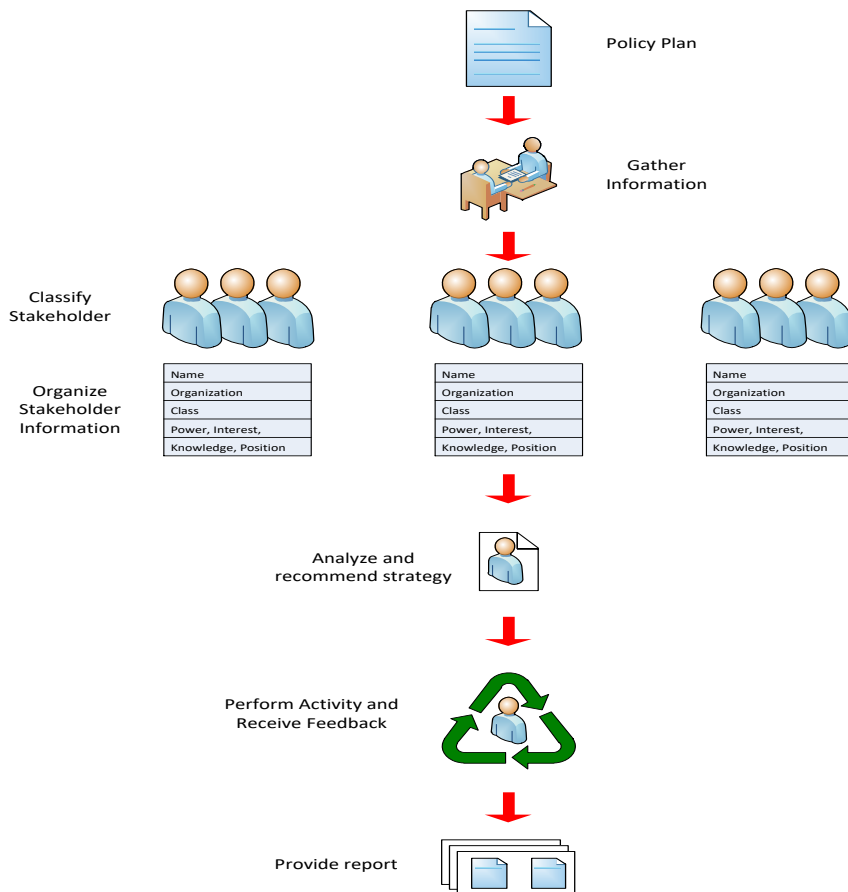
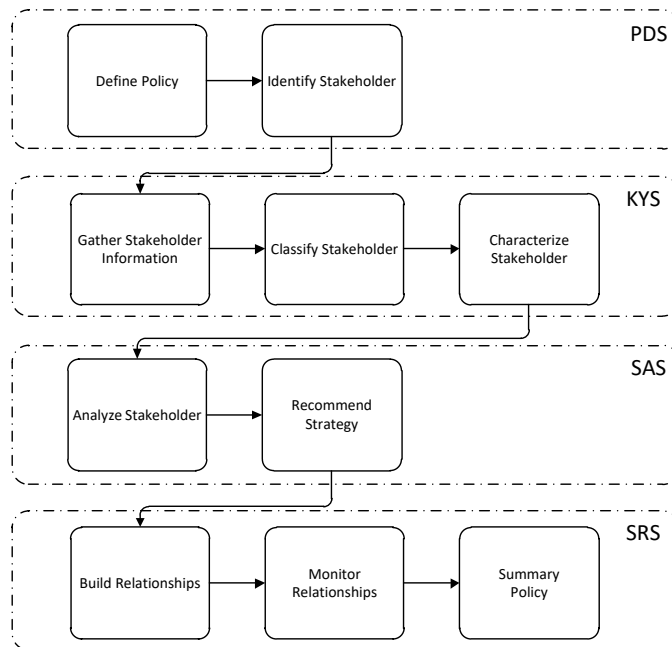


Figure 1 Stakeholder management concept

The process began when policy owner created a policy plan including policy title, description, effective period, responsible person, impact group, etc. Once it was ready, the stakeholder information would be gathered. The information was stakeholder Name, Title, Characteristic, Position for the policy, for example. As per the process, the stakeholder will be classified based upon the APQC process classification framework. The stakeholder power, interest, knowledge and position were identified

as well. When stakeholder data were ready, stakeholder analysis and strategic recommendation were developed to assist policy owner to manage target stakeholder. The strategic activity was performed to the stakeholder and lastly, all activities and responses were recorded and summarized. This was input to the policy owner and assisted him/her in managing stakeholder better. Stakeholder management process was shown in Figure 2.



**Figure 2** Stakeholder management process

There were 4 main components.

1. Plan Development System (PDS): The policy data will be defined and collected.

2. Know Your Stakeholders System (KYS): The stakeholder data such as profile, classification, and characteristic, were defined and gathered from both direct and indirect source.

3. Stakeholder Analysis and Strategy-formulation System (SAS): The stakeholder data

was analyzed and the system provided strategic recommendation for each stakeholder.

4. Stakeholder Relationships System (SRS): Stakeholder engagement data relevant to suggested strategy was collected in the system for future plan.

From the stakeholder process, we derived the required stakeholder data as shown in Figure 3.

<i>Data Group</i>	<i>Detail Data</i>					
Policy	Policy Name	Description	Effective Date	Responsible Person	Target Stakeholder	
Profile	Stakeholder Name	Title	Organization	Address	ID	Contact No.
Classification	Investor	Government and Industry	Board of Directors	Legal	Public Relation	Target stakeholder
Characteristic	Power	Interest	Knowledge	Position		
Recommendation	Maintain	Convert	Ignore	Weaken		
Activity	Activity	Activity Date	Response	Response Date	Summary	

**Figure 3** Stakeholder data architecture

There were 6 stakeholder data groups and each data group was provided dataset as follow:

1 . Policy Data  $\in$  {Policy Name, Description, Effective Date, Responsible person, Stakeholder}

2 . Profile Data  $\in$  {Name, Title, Organization, Address, ID, Contact No.}

3 . Classification Data  $\in$  {Investor, Government and Industry, Board of Directors, Legal, Public Relation, Target}

4. Characteristic Data  $\in$  {Power, Interest, Knowledge, Position}

5. Recommendation Data  $\in$  {Maintain, Interest, Ignore, Weaken}

Activity Data  $\in$  {Activity, Activity Date, Response, Response Date, Summary}

#### *Policy*

The policy data were directly collected from a policy owner and recorded in the system on the pre-defined field. The data included Policy name, Description about objective and what policy was about, Effective date or period for the policy, Responsible person who managed the policy, and the target stakeholder who policy will be affected either positively or negatively.

#### *Profile*

The stakeholder profile included Stakeholder name (First name, Last name), Title, Organization he/she was working, Address, Identification number (Citizen ID was preferable, other would be passport number), Contact number which could be telephone number and/or email address. The stakeholder profile

was gathered with questionnaires and recorded in the system. Data was recorded field by field. In case stakeholder worked with many organization or title, we primarily requested the main title and organization or the one in which stakeholder spent most of the time.

### Classification

With applying APQC, we proposed stakeholder classification as 6 classifications— Investor, Government and Industry, Board of Directors, Legal, Public relation, and Target stakeholder. The Government and Industry class was assigned to support stakeholder who was in, for example, Government, State enterprise, Chambers of commerce, Trade Organization, NGO, Vendor, and Supplier. The target stakeholder was stakeholder who was directly impacted by the policy.

We proposed a process called Stakeholder Classification Process (SCP) to examine each stakeholder and classify each one into the appropriate category.

Let  $N$  be the total number of active stakeholders

Let  $S(i)$  be a stakeholder  $i$

Let  $SC(i)$  be a class of a stakeholder  $i$

For stakeholder  $S(i)$  where  $i = 1$

If stakeholder  $S(i)$  class  $SC(i) = \text{"investor"}$

Stakeholder class  $SC(i)$  is investor.

If stakeholder  $S(i)$  class  $SC(i) = \text{"government and industry"}$

Stakeholder class  $SC(i)$  is investor.

If stakeholder  $S(i)$  class  $SC(i) = \text{"board of directors"}$

Stakeholder class  $SC(i)$  is board of directors.

If stakeholder  $S(i)$  class  $SC(i) = \text{"legal"}$

Stakeholder class  $SC(i)$  is legal.

If stakeholder  $S(i)$  class  $SC(i) = \text{"public relations"}$

Stakeholder class  $SC(i)$  is public relations

Default Stakeholder class  $SC(i)$  is target;

Go to next stakeholder  $S(i)$  where  $i = i+1$

Repeat Until  $i = N$

### Recommendation

For the analysis and strategic recommendation purpose, we consolidated stakeholder characteristic data from 5 levels into 2 or 3 levels as following:

For Power:

If Stakeholder's Power is more than "Fair" then its Power is "High" else its Power is "Low".

$SW(i)$  equals High when  $SW(i) \in \{\text{Excellent, Good}\}$   
or Low when  $SW(i) \in \{\text{Fair, Poor, None}\}$

For Interest:

If Stakeholder's Interest is at least "Interest" then its Interest is "Much" else its Interest is "Little".

$SI(i)$  equals Much when  $SI(i) \in \{\text{Very Interest, Interest}\}$  or Little when  $SI(i) \in \{\text{Moderately Interest, Slightly Interest, Not Interest}\}$

For Knowledge:

If Stakeholder's Knowledge is more than "Fair" then its Knowledge is "Much" else its Knowledge is "Little".

$SK(i)$  equals Much when  $SK(i) \in \{\text{Excellent, Good}\}$   
or Little when  $SK(i) \in \{\text{Fair, Poor, None}\}$



For Position:

Each stakeholder position will be classified into 3 groups—Support (Strongly Support and Support), Neutral, and Opposition (Opposition and Strongly Opposition).

SS(i) equals Support when  $SS(i) \in \{\text{Strongly Support, Support}\}$  or Neutral when  $SS(i) \in \{\text{Neutral}\}$  or Opposition when  $SS(i) \in \{\text{Opposition, Strongly Opposition}\}$

The strategic recommendation was processed as below.

Let N be the total number of active stakeholders

Let S(i) be a stakeholder i

Let SS(i) be a characteristic of a stakeholder i

For stakeholder S(i) where  $i = 1$

If stakeholder S(i) characteristic  $SS(i) =$  “opposition” AND  $SW(i) =$  “high”

Do “Weaken the opposition” by incubating interest, knowledge or decreasing power.

If stakeholder S(i) characteristic  $SS(i) =$  “opposition” AND  $SW(i) =$  “low” AND  $SI(i) =$  “little” AND  $SK(i) =$  “little”

Do “Ignore” (do nothing).

If stakeholder S(i) characteristic  $SS(i) =$  “opposition” AND  $SW(i) =$  “low” AND  $SI(i) =$  “little” AND  $SK(i) =$  “much”

Do “Convert to supporter” by increasing interest, knowledge or lobbying.

If stakeholder S(i) characteristic  $SS(i) =$  “opposition” AND  $SW(i) =$  “low” AND  $SI(i) =$  “much”

Do “Convert to supporter” by increasing knowledge or lobbying.

If stakeholder S(i) characteristic  $SS(i) =$  “neutral”

Do “Convert to supporter” by increasing interest, knowledge or lobbying.

If stakeholder S(i) characteristic  $SS(i) =$  “support”

Do “Maintain the support” by increasing interest, knowledge or keeping relation.

Go to next stakeholder S(i) where  $i = i+1$

Repeat Until  $i = N$

### Activity

The activity data included Activity—the task performing to stakeholder, Activity Date, Response—the feedback from stakeholder regarding the activity, Response Date, Summary—the conclusion of stakeholder activity. The activity summary would be among Reinforcement, Countermeasure, and Ignore.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

From all data requirement and design, we had implement stakeholder management system. The stakeholder profile, characteristic, activity, and report were shown in Figure 4, 5, 6, and 7 respectively. The system was systematically supported to collect, analyze and recommend all stakeholder data according to the defined processes.

We applied APQC PCF 12.0 Manage External Relationship to the process because of its reputation for the world's foremost authority in benchmarking, best practices, and performance improvement. The APQC process solved a policy owner issue in grouping stakeholders because of various definitions. Moreover, APQC primarily assisted policy owner to engage with stakeholders depending on their

classification. However APQC did not mention any of stakeholder characteristic and analysis, therefore we applied stakeholder analysis (8) to handle the stakeholder information.

<b>Policy Development</b>	<b>Stakeholder Information</b>
<b>Know Your Stakeholder</b>	Stakeholder Number : <input type="text" value="S0000001"/>
<b>Stakeholder Analysis</b>	First Name : <input type="text"/>
	Last Name : <input type="text"/>
<b>Stakeholder Relationships</b>	Title : <input type="text"/>
	Organization : <input type="text"/>
<b>Report</b>	Address : <input type="text"/>
	ID : <input type="text"/>
	E-mail : <input type="text"/>
	Telephone : <input type="text"/>
	Classification :
	<input type="checkbox"/> Investor <input type="checkbox"/> Government <input type="checkbox"/> Industry <input type="checkbox"/> Board/Council
	<input type="checkbox"/> Legal <input type="checkbox"/> Public Relations <input type="checkbox"/> Target
	Created Date : <input type="text" value="18-06-2019"/>
	<input type="button" value="Submit"/>

Figure 4 Stakeholder profile

<b>Policy Development</b>	<b>Stakeholder Characteristics</b>
<b>Know Your Stakeholder</b>	Stakeholder Number : <input type="text" value="S0000001"/>
<b>Stakeholder Analysis</b>	Policy Number : <input type="text" value="P0000001"/>
	First Name : <input type="text"/>
<b>Stakeholder Relationships</b>	Last Name : <input type="text"/>
	Title : <input type="text"/>
<b>Report</b>	Organization : <input type="text"/>
	Characteristics :
	Power : <input type="checkbox"/> Excellent <input type="checkbox"/> Good <input type="checkbox"/> Fair <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> None
	Interest : <input type="checkbox"/> Very Interest <input type="checkbox"/> Interest <input type="checkbox"/> Moderate <input type="checkbox"/> Slightly Interest <input type="checkbox"/> Not Interest
	Knowledge : <input type="checkbox"/> Excellent <input type="checkbox"/> Good <input type="checkbox"/> Fair <input type="checkbox"/> Poor <input type="checkbox"/> None
	Position : <input type="checkbox"/> Support <input type="checkbox"/> Neutral <input type="checkbox"/> Opposition
	Created Date : <input type="text" value="18-06-2019"/>
	<input type="button" value="Submit"/>

Figure 5 Stakeholder characteristic

The form is titled "Stakeholder Activity" and features a sidebar menu on the left with the following items: "Policy Development", "Know Your Stakeholder", "Stakeholder Analysis", "Stakeholder Relationships", and "Report". The main content area includes the following fields:

- Stakeholder Activity**
  - Stakeholder Number :
  - Policy Number :
  - Activity :
  - Activity Date :
  - Response :
  - Response Date :
  - Action Summary :
    - Reinforcement/Incubation  Countermeasure  Ignore
  - Comment :
  - Summary Date :

A "Submit" button is located at the bottom right of the form.

Figure 6 Stakeholder activity

The form is titled "Operation Report" and features a sidebar menu on the left with the following items: "Policy Development", "Know Your Stakeholder", "Stakeholder Analysis", "Stakeholder Relationships", and "Report". The main content area includes the following fields:

- Operation Report**
  - Policy Number :
  - Stakeholder Number :
  -

Below the form fields is a table with the following columns: First Name, Last Name, Class, Power, Interest, Knowledge, Position, Strategy, Activity, Response, and Summary. The table contains 10 rows of empty data cells.

An "Export" button is located at the bottom right of the form.

Figure 7 Report

**Table 1** Survey result from expert opinion

Stakeholder Data Management System	Median
The system meets the objectives.	4
The system is fully comprehensive.	4
The system will improve operation efficiency.	5
The system is convenient to use.	4
The system is practical in real operation.	4
You are willing to recommend this system to others.	4

The computer system was implemented and the result of the survey was in Table 1. The expert panel mostly agreed on our stakeholder data management system, giving Median at least 4 (Agree). All information system would be well organized and kept permanently. It automatically enhanced management. This would strongly assist organizational operational efficiency.

**CONCLUSION**

In this paper, we developed best practice stakeholder data processing guide and application system by applying the APQC process classification framework best practice. The stakeholder data included policy, stakeholder profile, stakeholder classification, stakeholder characteristic, analysis and strategic recommendation, and stakeholder engagement activity. All the process was comprehensively applied in developing stakeholder management system. When deploying the system, the policy owner would be a benefit to understand and manage all pre-defined policy and stakeholder better.

**REFERENCES**

1. Freeman RE. Strategic management: a stakeholder approach. Boston, Pitman; 1984.
2. Bunn MD, Savage GT, Holloway BB. Stakeholder analysis for multi-sector innovations. Journal of Business and Industrial Marketing. 2002;17(2/3):181-203.
3. Cleland DI. Leadership and the project management body of knowledge. Int J Proj Manag. 1995;13(2):83-8.
4. Preble JF. Toward a comprehensive model of stakeholder management. Business and society review. 2005;110(4):407-31.
5. Karlsen JT. Project Stakeholder Management. EMJ-Eng Manag J. 2002;14(4):19-24.
6. Sinclair ML. Developing a Model for Effective Stakeholder Engagement Management. Perth: Asian Pacific Public Relations Journal; 2011.
7. Project Management Institute (PMI). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide). Newtown

- Square, PA, USA: Project management institute; 2013.
8. Schmeer K. Guidelines for Conducting a Stakeholder Analysis. Bethesda, MD: Partnerships for Health Reform; 1999.
  9. Pandi-Perumal SR, Akhter S, Zizi F, Jean-Louis G, Ramasubramanian C, Freeman RE, et al. Project stakeholder management in the clinical research environment: how to do it right. *Frontiers in Psychiatry*. 2015;6:71.
  10. Yilmaz BS, Gunel OD. The Importance of strategic stakeholder management in tourism sector: research on probable applications. *Tourismo: An International Multidisciplinary Journal of Tourism*. 2008; 4(1):97-108.
  11. American Productivity & Quality Center, APQC. APQC Process Classification Framework version 7.2.1 category 12.0 Manage External Relationship [Internet]. May 27, 2018. Available from <http://www.apqc.org/>.
  12. Lertnawapan S, Tanawastein S. Process-based stakeholder management system [dissertation]. Phathum Thani: Shinawatra University; 2020.
  13. Dalkey NC. The Delphi method: an experimental study of group opinion. Santa Monica, CA., RAND corporation; 1969.



การศึกษาบริเวณที่มีความหนาแน่นของการเกิดอาชญากรรมคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์  
เชิงพื้นที่ในเขตชายแดนไทย – กัมพูชา จังหวัดสระแก้ว ในรูปแบบภูมิสารสนเทศ

Crime Mapping and Spatial Analysis of Motorcycle Thefts in the Thai-Cambodian  
Border in Sa Kaeo Province using the Geographic Information System

อัจฉราพรรณ มากฤทธิ์ และ วรวัช วิชชวาณิชย์\*

Atcharaphan Makrit and Woratouch Vichuwanich\*

คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ อ.สามพราน จ.นครปฐม 73110

Faculty of Forensic Science, Royal Police Cadet Academy, Samphran, Nakhonpathom 73100, THAILAND

\*Corresponding author e-mail: woratouch\_w@yahoo.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received: 5 June, 2020

Revised: 13 July, 2020

Accepted: 10 August, 2020

Available online: 21 February, 2021

DOI: 10.14456/rj-rmutt.2021.8

Keywords: GIS, crime, density,  
motorcycle theft

This study aims to conduct a spatial analysis of crimes related to motorcycle thefts, the time that crimes happened, and crime prediction for motorcycle thefts in the next five years. Criminal data were collected in the Thai-Cambodian border in three subdistricts in Aranyaprathet District, Sa Kaeo Province, including Aranyaprathet, Pa Rai, and Ta Kham. A total of 81 motorcycle theft cases between 2017 and 2018 were examined. Research results demonstrated that there was a high density of motorcycle theft cases in the area with high population density, which was Aranyaprathet Subdistrict. Therefore, it was predicted that motorcycle thefts would tend to happen in the city areas where a lot of people live, such as schools, government facilities, fresh markets, shops, and restaurants. Particularly, a permanent Thai-Cambodian border crossing checkpoint, Klong Luk Boundary Post, is located in Aranyaprathet Subdistrict, which has been considered the most important gateway for international trade between Thailand and Cambodia. As people are allowed to cross the border via the checkpoint, it is more likely that crimes will happen in the area. A high level of migration at the checkpoint could result in dilapidated housing,

poverty, and population diversity that may cause conflicts in society. All of these problems could be obstacles to social organization and eventually lead to crime. Especially, motorcycle thefts are usually committed by juvenile delinquents who have more tendency to steal things. Research findings can be utilized for crime risk assessment and surveillance for crime prevention in the studied area in the future.

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดเหตุโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในช่วงเวลาที่กระทำผิด และทำนายหรือพยากรณ์แนวโน้มการเกิดเหตุโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในอีก 5 ปีข้างหน้า โดยศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลอาชญากรรมประเภทดังกล่าวในเขตชายแดนไทย – กัมพูชา ได้แก่ ตำบลอรุณประเทศ ตำบลป่าไร่ และตำบลท่าข้าม ในอำเภออรุณประเทศ จังหวัดสระแก้ว ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2560 - 2561 รวมจำนวน 81 คดี ผลการวิจัยพบว่า การเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ มีความหนาแน่นสูง ในบริเวณที่มีความหนาแน่นของประชากรสูง ซึ่งได้แก่ ตำบลอรุณประเทศ จึงสามารถสรุปได้ว่า พื้นที่เมืองมีความเสี่ยงต่อการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในอนาคตสูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ เนื่องจากมีผู้คนอาศัยอยู่หนาแน่น เช่น โรงเรียน หน่วยงานราชการ ตลาดสด ร้านค้า หรือร้านอาหาร นอกจากนี้ พื้นที่ตำบลอรุณประเทศยังมีจุดผ่านแดนถาวรคลองลึก ซึ่งถือเป็นประตูการค้าที่เชื่อมโยงกับกัมพูชาที่ใหญ่ที่สุดของไทย และเป็นแหล่งรวมการเข้าออกประเทศของประชากรที่มีอยู่อย่างต่อเนื่อง ทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดเหตุอาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สินประเภทโจรกรรมรถจักรยานยนต์ ซึ่งอัตราการเคลื่อนย้ายถิ่นฐานของประชากรที่มีสูงในพื้นที่ดังกล่าวนี้ ก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมทางกายภาพของบ้านเรือน ความยากจน และความแปลกแยกแตกต่างของประชากรที่มีการผสมผสานทางวัฒนธรรมที่หลากหลาย อันนำไปสู่ปัญหาในการจัดระเบียบทางสังคมและส่งผลกระทบต่อปัญหาอาชญากรรมในที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกระทำผิดของเด็กและ

เยาวชน ซึ่งมีแนวโน้มสูงในการก่ออาชญากรรมประเภทโจรกรรมรถจักรยานยนต์ ซึ่งผลของการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ เพื่อประกอบการพิจารณาในการประเมินความเสี่ยงและการเฝ้าระวังเพื่อป้องกันอาชญากรรมในพื้นที่เสี่ยงได้

**คำสำคัญ:** แผนที่ทางภูมิเทศ GIS อาชญากรรม ความหนาแน่น การโจรกรรมรถจักรยานยนต์

## บทนำ

ปัจจุบันเสถียรภาพเศรษฐกิจของประเทศไทยอยู่ในช่วงฟื้นตัวไปอย่างช้า ๆ และเปราะบาง คริวเรือนและธุรกิจใช้จ่ายอย่างระมัดระวัง ขณะที่การส่งออกสินค้าค่อนข้างซบเซาตามการค้า ในภูมิภาคอาเซียนที่ได้รับผลกระทบชัดเจนขึ้น อัตราการว่างงานหลังปรับฤดูกาลมากขึ้น โดยการจ้างงานปรับลดลงในภาคเกษตรกรรม และคาดว่ามีความแรงงานบางส่วนย้ายไปอยู่นอกเขตกำลังแรงงาน ขณะที่การจ้างงานนอกภาคเกษตรกรรมยังคงค่อนข้างทรงตัว โดยการจ้างงานในภาคการผลิตปรับลดลง ขณะที่การจ้างงานในภาคการค้าปรับเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ ผู้ว่างงานกลุ่มที่ไม่เคยมีงานทำมาก่อนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะกลุ่มปริญญาตรีขึ้นไป ที่ใช้เวลาในการหางานนานขึ้น (1) ผลจากการมีอัตราการว่างงานที่สูงขึ้นทำให้เกิดการอพยพของประชากร ก่อให้เกิดความเหลื่อมล้ำทางสังคมด้วยสภาพทางการเงินของแต่ละครัวเรือนและเหตุปัจจัยเสริม เช่น ภาวะความเครียดที่เกิดจากการว่างงาน รายรับรายจ่ายของครอบครัว สิ่งอับอายมุข ความต้องการการยอมรับในสังคม และสภาพจิตผิดปกติของบุคคลซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็น

สาเหตุของการก่ออาชญากรรมในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การทำร้ายร่างกาย ช่มชืดกระทำชำเรา ลักทรัพย์ปล้นทรัพย์ วิ่งราวทรัพย์ เป็นต้น (2) จากสถิติคดีอาญาของสำนักงานตำรวจแห่งชาติปี พ.ศ.2560 พบว่า เกิดคดีอาชญากรรมประทุษร้ายต่อชีวิตร่างกายและเพศ จำนวน 19,830 คดี คดีอาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สิน จำนวน 63,387 คดี เมื่อพิจารณาคดีอาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สิน จำแนกประเภทความผิด 5 ลำดับแรก พบว่า เกิดคดีลักทรัพย์มากที่สุด 29,355 คดี รองลงมาคือ คดีฉ้อโกง 9,362 คดี คดียักยอกทรัพย์ 8,358 คดี คดีทำให้เสียทรัพย์ 3,414 คดี และคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ 2,160 คดี (3)

การโจรกรรมรถจักรยานยนต์ถือว่าเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งในปัจจุบัน เนื่องจากรถจักรยานยนต์ถือเป็นยานพาหนะที่ใช้ในการเดินทางไปยังสถานที่ต่าง ๆ และต้องมีการจดทะเบียนไว้ยังสถานที่ต่าง ๆ ซึ่งค่อนข้างมีความแตกต่างกับทรัพย์สินอื่นที่เจ้าของทรัพย์สินสามารถเก็บรักษาไว้ใกล้ตัว ดังนั้น เมื่อรถจักรยานยนต์เป็นทรัพย์สินที่เคลื่อนที่ได้และมีราคาสูง จึงมีความเสี่ยงสูงที่จะถูกโจรกรรม แม้ว่าผู้เป็นเจ้าของทรัพย์สินจะใช้ความระมัดระวัง และป้องกันทรัพย์สินของตน มิให้ถูกโจรกรรมด้วยการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือที่ทันสมัยเพียงใดก็ตามแต่ก็ยังไม่พ้นที่จะถูกมิฉฉาชีพประทุษร้ายเอาทรัพย์สินไปจากความครอบครองของเจ้าของทรัพย์สินโดยใช้วิธีการต่าง ๆ ตามความถนัดและเทคนิค วิธีการของมิฉฉาชีพแต่ละคน ซึ่งวิธีต่าง ๆ เหล่านี้จะเป็นสิ่งที่มีฉฉาชีพได้เรียนรู้จากกลุ่มมิฉฉาชีพด้วยกันเอง และมีการพัฒนาตามความรู้ของตนจนกลายเป็นความชำนาญของแต่ละคน โดยผ่านการสั่งสมประสบการณ์ ซึ่งในการโจรกรรมรถจักรยานยนต์แต่ละคันนั้น จะใช้เวลาในการโจรกรรมเพียงไม่กี่นาที ก็สามารถที่จะโจรกรรมเอารถจักรยานยนต์ไปจากความครอบครองของเจ้าของทรัพย์สินได้แล้ว ดังนั้น ปัญหาการโจรกรรมรถจักรยานยนต์ จึงกลายเป็นปัญหาอาชญากรรมที่มีควบบู่กับสังคมมาจนทุกวันนี้ (4)

จังหวัดสระแก้ว เป็นหนึ่งใน 7 จังหวัดที่มีอาณาเขตติดต่อกับประเทศกัมพูชา ในเขตจังหวัดบันเตียเมียน

เจย ด้วยอาณาเขตที่ติดต่อกันเป็นแนวยาวถึง 165 กิโลเมตร จึงทำให้ประชาชนตามแนวชายแดน มีกิจกรรมค้าขายสินค้ากันมาโดยตลอดนับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และจากสถิติรายได้จากการค้าขายแดนยืนยันว่า ชายแดนบ้านคลองลึกของจังหวัดสระแก้ว นำรายได้เข้าประเทศเป็นอันดับต้น ๆ ของประเทศ ซึ่งปัจจุบันมีจุดผ่านแดนถาวรถึง 2 แห่ง คือ จุดผ่านแดนถาวรบ้านคลองลึก และจุดผ่านแดนถาวรบ้านเขาหิน (5) ส่งผลให้จำนวนประชากรในเขตพื้นที่อำเภออรัญประเทศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เกิดการขยายตัวของชุมชนใหม่ ๆ ซึ่งถือเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่สำคัญและมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดอาชญากรรม เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรอย่างรวดเร็ว โดยที่ยังไม่ได้มีการวางแผนเพื่อรองรับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ไม่ว่าจะเป็นด้านที่อยู่อาศัย ด้านการจ้างงาน ว่าง ความสมดุลกันหรือไม่ ระหว่างอัตราการจ้างกับแรงงาน เป็นต้น และเนื่องจากคนต้องการที่จะอยู่รอด จึงมีการดิ้นรนหาวิธีการต่าง ๆ เพื่อจะทำให้ตนสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในสังคม ประกอบกับรายได้ไม่เพียงพอกับรายจ่ายที่ต้องหมดไปในแต่ละวัน ทั้งในเรื่องส่วนตัวและครอบครัว หรือบางคนไม่ได้ประกอบอาชีพ ตกงาน ก็จะหาทางออกของการหาเงินโดยการก่ออาชญากรรมเพื่อให้ได้มาซึ่งทรัพย์สิน หรือสิ่งอื่นใดที่จะสามารถประทังชีวิตไปได้ในแต่ละวัน และหนึ่งในอาชญากรรมที่เป็นปัญหา ในปัจจุบัน ปัญหาหนึ่ง ก็คือ อาชญากรรมด้านการประทุษร้ายต่อทรัพย์สิน โดยเฉพาะการโจรกรรมรถจักรยานยนต์ ดังนั้น จากสภาพปัญหาและความสำคัญดังกล่าว จึงทำให้ผู้วิจัยสนใจจะศึกษาบริเวณที่มีความหนาแน่นของการเกิดอาชญากรรมเชิงพื้นที่ในเขตชายแดนไทย – กัมพูชา จังหวัดสระแก้ว ในรูปแบบภูมิสารสนเทศ (Geographic Information System: GIS) เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีความเสี่ยง ต่อการเกิดการโจรกรรมรถจักรยานยนต์ ศึกษาสภาพแวดล้อม และห้วงเวลาที่เกิดการโจรกรรมรถจักรยานยนต์ และทำนาย หรือพยากรณ์แนวโน้มการเกิดการโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในอีก 5 ปี ข้างหน้า โดย



นำเสนอออกมาในรูปแบบแผนที่ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ตำรวจได้ต่อไป

*วัตถุประสงค์ในการวิจัย*

1. เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ ศักยภาพแวดล้อม และช่วงเวลาที่เกิดการโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในเขตชายแดนไทย – กัมพูชา อำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว
2. เพื่อทำนาย หรือพยากรณ์แนวโน้มการเกิดการโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในอีก 5 ปี ข้างหน้าในเขตชายแดนไทย – กัมพูชา อำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาเฉพาะคดีอาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สิน ประเภทโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในเขตชายแดนไทย – กัมพูชาอำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้วที่เกิดขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2561 จำนวน 81 คดี ผู้วิจัยได้คัดเลือกพื้นที่ที่มีคดีอาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สินประเภทการเกิดโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูงสุดของอำเภออรัญประเทศ คือ ตำบลอรัญประเทศ ตำบลป่าไร่ และตำบลท่าข้าม จังหวัดสระแก้ว มีลักษณะเป็นพื้นที่เศรษฐกิจพิเศษทางการค้าและการลงทุน ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของสถานีตำรวจภูธรคลองลึก อำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว โดยทำหนังสือขอความร่วมมือไปยังสถานีตำรวจภูธรคลองลึก เพื่อขอข้อมูลคดีอาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สิน ประเภทโจรกรรมรถจักรยานยนต์ที่เกิดขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2561 โดยออกหนังสือจากคณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปทดสอบความถูกต้อง และนำข้อมูลการเกิดอาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สิน ประเภทโจรกรรมรถจักรยานยนต์ จะถูกนำมาจัดการข้อมูลใหม่และหาจุดเกิดเหตุหรือพิกัดโดยใช้ Google Map เข้ามาช่วย แล้วนำข้อมูลเข้าโปรแกรม QGIS โดยพิกัดที่ได้จาก Google Map นั้นเป็นพิกัดแบบละติจูดและลองจิจูด ดังนั้น ต้องแปลงค่าพิกัดให้เป็นแบบ UTM ก่อนถึงจะนำไปใช้ร่วมกับโปรแกรมได้โดยการ Add

data >> Add XY Data คือการนำเข้าข้อมูลจุดแล้วสร้าง Shapefile จัดเก็บข้อมูล แบบจำลองที่ได้สร้างขึ้น เทคนิคที่ใช้เป็นหลักในการวิเคราะห์คือการซ้อนทับ (Overlay) ข้อมูลโดยใช้พิกัดเป็นตัวอ้างอิง โดยแบบจำลองนั้น แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. แผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยอาชญากรรม เกิดจากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของประชากร และลักษณะการใช้ที่ดิน โดยใช้แนวทางและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการใช้ที่ดินและความหนาแน่นของประชากรเป็นตัวกำหนด เพื่อหาพื้นที่เสี่ยงภัยของการก่ออาชญากรรม
2. ความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่เกิดอาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สิน ประเภทโจรกรรมรถจักรยานยนต์ และช่วงเวลาตรวจของเจ้าหน้าที่ที่เหมาะสม ได้แก่
  - 1) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนาโวหาร (Descriptive Statistics) โดยใช้สถิติขั้นพื้นฐาน ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย เพื่อวิเคราะห์ พื้นที่เสี่ยง การโจรกรรม สภาพแวดล้อม ห้วงเวลา การเกิดอาชญากรรม
  - 2) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุมานโวหาร (Inferential Statistics) โดยการทดสอบสมมุติฐานการวิจัย สถิติที่ใช้ คือ One-way ANOVA เพื่อทดสอบความแปรปรวนทางเดียว ของตำบล สภาพแวดล้อม และห้วงเวลาที่มีผลต่อความหนาแน่นการเกิดอาชญากรรม และ Forecasting เพื่อทำนายการเกิดอาชญากรรมล่วงหน้า 5 ปี

3. วิเคราะห์อาชญากรรมในแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่าง และความเหมือนกันอย่างไร และมีปัจจัยด้านภูมิศาสตร์ที่มีผลกระทบต่อประเทศอาชญากรรมที่เกิด

### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลการเกิดอาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สิน ประเภทโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในชายแดนไทย – กัมพูชา อำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว พื้นที่รับผิดชอบของสถานีตำรวจภูธรคลองลึก โดยการหา Hot Spot หรือจุดเสี่ยงที่มีการเกิด หรือโอกาสที่จะเกิดการอาชญากรรมขึ้นอีก โดยใช้

เทคนิคในการประมาณค่าความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบ Kernel Density ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ ดังต่อไปนี้

1. วิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดการโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในเขตชายแดนไทย – กัมพูชา อำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว

การวิจัยครั้งนี้ ได้รวบรวมคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ ของสถานีตำรวจภูธรคลองลึก จังหวัดสระแก้ว ซึ่งมีพื้นที่รับผิดชอบ 214 ตร.กม. ครอบคลุม 3 ตำบล ได้แก่ 1) ตำบลอรัญประเทศ มีขนาดพื้นที่ 5.00 ตร.กม. มีความหนาแน่นของประชากรเท่ากับ 3,224 คน/ตร.กม. 2) ตำบลป่าไร่ มีขนาดพื้นที่ 159 ตร.กม. มีความหนาแน่นของประชากรเท่ากับ 43 คน/ตร.กม. และ 3) ตำบลท่าข้าม มีขนาดพื้นที่ 50 ตร.กม. มีความหนาแน่นของประชากรเท่ากับ 95 คน/ตร.กม. ดังตารางที่ 1 ในช่วงปี พ.ศ. 2560 – 2561 มีคดีอาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สินประเภทโจรกรรมรถจักรยานยนต์เกิดขึ้น ทั้งหมด 81 คดี ดังตารางที่ 2 พื้นที่ที่มีคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์เกิดขึ้นมากที่สุด คือ ตำบลอรัญประเทศ จำนวน 40 คดี คิดเป็นร้อยละ 49.38 ตำบลป่าไร่ จำนวน 36 คดี คิดเป็นร้อยละ 44.44 และตำบลท่าข้าม จำนวน 5 คดี คิดเป็นร้อยละ 6.17 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ ซึ่งแสดงผลออกมาในรูปแบบของแผนที่ ดังรูปที่ 1-3 โดยแสดงระดับความหนาแน่นด้วยระดับของสี พื้นที่ที่มีความเสี่ยงมากจะเป็นสีแดง ส่วนพื้นที่ที่มีความเสี่ยงปานกลางถึงเสี่ยงน้อยจะเป็นสีส้ม สีเหลือง จนกระทั่งถึงสีเขียว ตามลำดับ พบว่าความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูงมีอยู่ 2 จุดใหญ่ อยู่ในเขตการปกครองของตำบลอรัญประเทศ อย่างไรก็ตามคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ยังมีเกิดขึ้นในตำบลป่าไร่ และตำบลท่าข้ามได้ แต่อาจจะเกิดขึ้นไม่สูงเท่าของตำบลอรัญประเทศ เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์เป็นรายปี พบว่าปี พ.ศ. 2560 เกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ ทุกตำบล

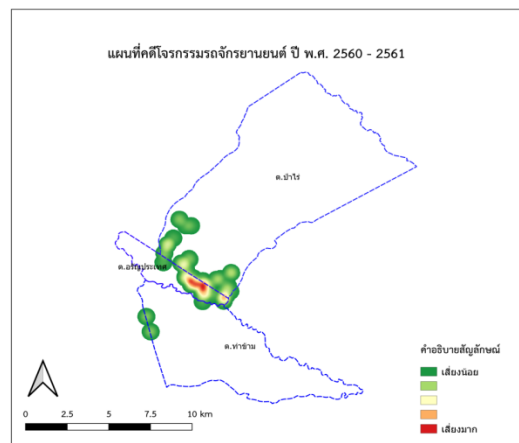
ส่วนปี พ.ศ. 2561 เกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในตำบลอรัญประเทศ และตำบลป่าไร่

ตารางที่ 1 ขนาดพื้นที่ จำนวนประชากร และความหนาแน่นของประชากรจำแนกรายตำบล

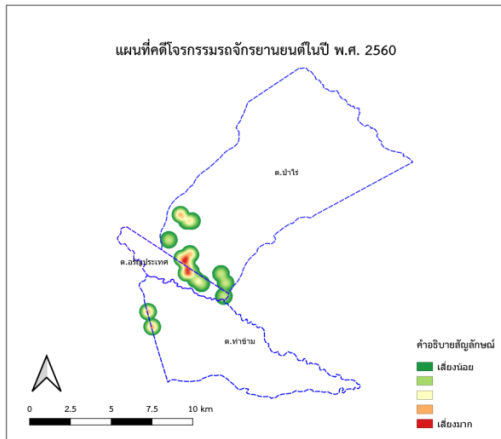
ตำบล	พื้นที่ (ตร.กม.)	ประชากร (คน)	ความหนาแน่น (คน ต่อ ตร.กม.)
อรัญประเทศ	5	16,122	3,224
ป่าไร่	159	6,766	43
ท่าข้าม	50	4,750	95
<b>รวม</b>	<b>214</b>	<b>27,638</b>	<b>130</b>

ตารางที่ 2 จำนวนคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในเขตพื้นที่รับผิดชอบของสถานีตำรวจภูธรคลองลึก

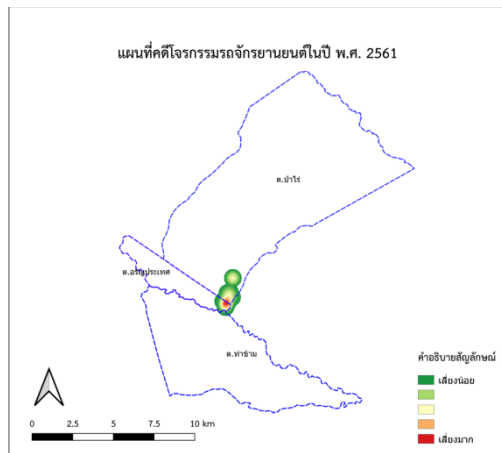
ตำบล	จำนวนคดี	ร้อยละ
อรัญประเทศ	40	49.38
ป่าไร่	5	6.17
ท่าข้าม	36	44.44
<b>รวม</b>	<b>81</b>	<b>100.00</b>



รูปที่ 1 แผนที่ความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์



รูปที่ 2 แผนที่ความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในปี พ.ศ. 2560



รูปที่ 3 แผนที่ความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในปี พ.ศ. 2561

เมื่อศึกษาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์และความหนาแน่นของประชากร พบว่า ความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูง เกิดขึ้นในบริเวณที่มีความหนาแน่นของประชากรสูง ได้แก่ ตำบลอรุณประเทศสรุปได้ว่า ความเสี่ยงที่อาจจะเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในอนาคต เป็นพื้นที่ที่เมือง ผู้คนอาศัยอยู่หนาแน่น

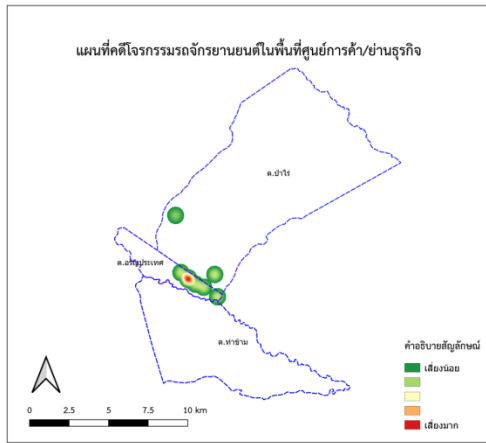
2. วิเคราะห์สภาพแวดล้อมที่ลงมือกระทำความผิด การวิจัยครั้งนี้แบ่งสภาพแวดล้อมตามพื้นที่จริง 5 ระดับ ประกอบด้วย 1) ศูนย์การค้า/ย่านธุรกิจ 2) แหล่ง

ที่อยู่อาศัย/ชุมชน 3) พื้นที่สาธารณะ/สวนสาธารณะ 4) แหล่งห้างไกลชุมชน/สถานที่เปลี่ยว และ 5) ย่านโรงงาน/แหล่งอุตสาหกรรม

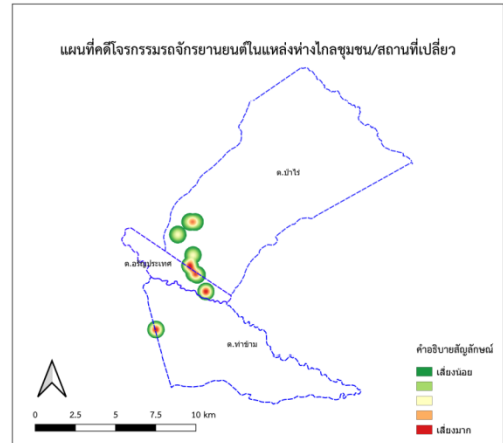
ในช่วงปี พ.ศ. 2560 – 2561 มีคดีอาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สินประเภทโจรกรรมรถจักรยานยนต์เกิดขึ้นทั้งหมด 81 คดี สภาพแวดล้อมที่ลงมือกระทำความผิดมากที่สุด คือ 1) แหล่งที่อยู่อาศัย/ชุมชน จำนวน 50 คดี คิดเป็นร้อยละ 61.73 2) ศูนย์การค้า/ย่านธุรกิจ จำนวน 14 คดี คิดเป็นร้อยละ 17.28 3) แหล่งห้างไกลชุมชน/สถานที่เปลี่ยว จำนวน 12 คดี คิดเป็นร้อยละ 14.81 4) ย่านโรงงาน/แหล่งอุตสาหกรรม จำนวน 5 คดี คิดเป็นร้อยละ 6.17 และ 5) พื้นที่สาธารณะ/สวนสาธารณะ ไม่มีการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพแวดล้อมที่ลงมือกระทำความผิด และความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในแต่ละตำบล ดังรูปที่ 4-7 พบว่า แหล่งที่อยู่อาศัย/ชุมชนมีความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูงในตำบลอรุณประเทศ ศูนย์การค้า/ย่านธุรกิจ และแหล่งที่อยู่อาศัย มีความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูง ในตำบลอรุณประเทศ แหล่งห้างไกลชุมชน/สถานที่เปลี่ยวมีความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูงในทุกตำบล และย่านโรงงาน/แหล่งอุตสาหกรรม มีความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูงในตำบลอรุณประเทศ และตำบลป่าไร่

ตารางที่ 3 จำนวนคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ตามสภาพแวดล้อมตามพื้นที่จริง ในเขตพื้นที่รับผิดชอบของสถานีตำรวจภูธรคลองลึก

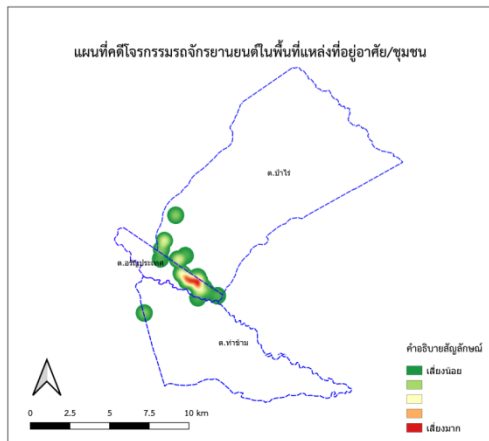
สภาพแวดล้อมตามพื้นที่จริง	จำนวนคดี	ร้อยละ
ศูนย์การค้า/ย่านธุรกิจ/	14	17.28
แหล่งที่อยู่อาศัยชุมชน/	50	61.73
แหล่งห้างไกลชุมชนสถานที่เปลี่ยว/	12	14.81
ย่านโรงงานแหล่งอุตสาหกรรม/	5	6.17
<b>รวม</b>	<b>81</b>	<b>100.00</b>



รูปที่ 4 แผนที่ความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ของศูนย์การค้า/ย่านธุรกิจ



รูปที่ 6 แผนที่ความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ของแหล่งห้างไกลชุมชน/สถานที่เปลี่ยว



รูปที่ 5 แผนที่ความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ของแหล่งที่อยู่อาศัย/ชุมชน



รูปที่ 7 แผนที่ความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ของย่านโรงงาน/แหล่งอุตสาหกรรม

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์รายปี จำแนกตามสภาพแวดล้อมตามพื้นที่จริง

สภาพแวดล้อมตามพื้นที่จริง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1) ศูนย์การค้า/ย่านธุรกิจ	14	1.36	-	0.18	-	-0.14	-0.24
(2) แหล่งที่อยู่อาศัย/ชุมชน	50	1.18	-0.18	-	-	-0.32*	-0.42*
(3) พื้นที่สาธารณะ/สวนสาธารณะ	0	0	-	-	-	-	-
(4) แหล่งห้างไกลชุมชน/สถานที่เปลี่ยว	12	1.50	0.14	0.32*	-	-	-0.10
(5) ย่านโรงงาน/แหล่งอุตสาหกรรม	5	1.60	0.24	0.42*	-	0.10	-

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

**ตารางที่ 5** ความแปรปรวนคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์รายปี จำแนกตามสภาพแวดล้อมตามพื้นที่จริง

ความแปรปรวน	df	SS	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม	3	1.675	0.558	2.906	0.04
ภายในกลุ่ม	77	14.794	0.192		
<b>รวม</b>	<b>80</b>	<b>16.469</b>			

การเปรียบเทียบคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์รายปี 2560 ถึง 2561 จำแนกตามสภาพแวดล้อมตามพื้นที่จริง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จำนวน 2 คู่ ได้แก่ 1) แหล่งที่อยู่อาศัย/ชุมชน กับแหล่งห้างไกลชุมชน/สถานที่เปลี่ยว และ 2) แหล่งที่อยู่อาศัย/ชุมชน กับ ย่านโรงงาน/แหล่งอุตสาหกรรม ดังตารางที่ 4-5

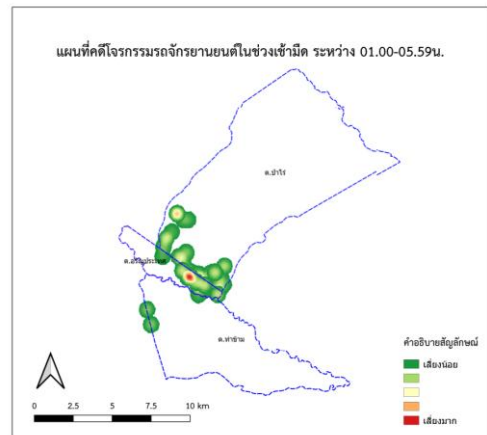
3. วิเคราะห์ช่วงเวลาที่เกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์

การวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 5 ช่วงเวลา ได้แก่ 1) ช่วง เช้ามีด ระหว่าง 01.00 - 05.59น. 2) ช่วงเช้า ระหว่าง 06.00 - 11.59น. 3) ช่วงกลางวัน ระหว่าง 12.00 - 16.59น. 4) ช่วงเย็น ระหว่าง 17.00 - 18.59น. และ 5) ช่วงกลางคืน ระหว่าง 19.00 - 24.59 น. ในช่วงปี พ.ศ. 2560 – 2561 มีคดีอาชญากรรมประทุช ร้ายต่อทรัพย์สินประเภทโจรกรรมรถจักรยานยนต์เกิดขึ้น ทั้งหมด 81 คดี ห้วงเวลาที่เกิดการโจรกรรมรถจักรยานยนต์มากที่สุด คือ 1) ช่วงเช้ามีด จำนวน 61 คดี คิดเป็นร้อยละ 75.31 2) ช่วงกลางคืน จำนวน 10 คดี คิดเป็นร้อยละ 12.35 3) ช่วงเช้า จำนวน 4 คดี คิดเป็นร้อยละ 4.94 4) ช่วงกลางวัน และ 5) ช่วงเย็น จำนวน 3 คดี คิดเป็นร้อยละ 3.70 ตามลำดับ ดังตารางที่ 6 เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างห้วงเวลาที่เกิดการโจรกรรมรถจักรยานยนต์ และความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในแต่ละตำบล ดังรูปที่ 8-12 พบว่า ช่วงเช้ามีด มีความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูง ในตำบลรัฐประเทศ และตำบลป่าไร่ ช่วงเช้า มีความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูง ใน

ตำบลรัฐประเทศ และตำบลป่าไร่ ช่วงกลางวันมีความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูง ในตำบลรัฐประเทศ และตำบลป่าไร่ ช่วงเย็น มีความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูง ในตำบลป่าไร่ และช่วงกลางคืน มีความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูง ในตำบลรัฐประเทศ

**ตารางที่ 6** จำนวนคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ตามห้วงเวลาที่เกิดการโจรกรรมรถจักรยานยนต์

ห้วงเวลาตามพื้นที่จริง	จำนวนคดี	ร้อยละ
ช่วงเช้ามีด ระหว่าง .น 05.59 - 01.00	61	75.31
ช่วงเช้า ระหว่าง .น 11.59 - 06.00	4	4.94
ช่วงกลางวัน ระหว่าง .น 16.59 - 12.00	3	3.70
ช่วงเย็น ระหว่าง .น 18.59 - 17.00	3	3.70
ช่วงกลางคืน ระหว่าง .น 24.59 - 19.00	10	12.35
<b>รวม</b>	<b>81</b>	<b>100.00</b>



**รูปที่ 8** แผนที่ความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในช่วงเช้ามีด



รูปที่ 9 แผนที่ความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในช่วงเช้า



รูปที่ 11 แผนที่ความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในช่วงเย็น



รูปที่ 10 แผนที่ความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในช่วงกลางวัน



รูปที่ 12 แผนที่ความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในช่วงกลางคืน

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์รายปี จำแนกตามห้วงเวลาที่เกิดการโจรกรรมรถจักรยานยนต์

ห้วงเวลา	จำนวนคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์รายปี	ค่าเฉลี่ย	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1) ช่วงเช้ามืด	61	1.26	-	-0.24	-0.07	-0.07	-0.04
(2) ช่วงเช้า	4	1.50	0.24	-	0.17	0.17	0.20
(3) ช่วงกลางวัน	3	1.33	0.07	-0.17	-	-	0.03
(4) ช่วงเย็น	3	1.33	0.07	-0.17	-	-	0.03
(5) ช่วงกลางคืน	10	1.30	0.04	-0.20	-0.03	-0.03	-

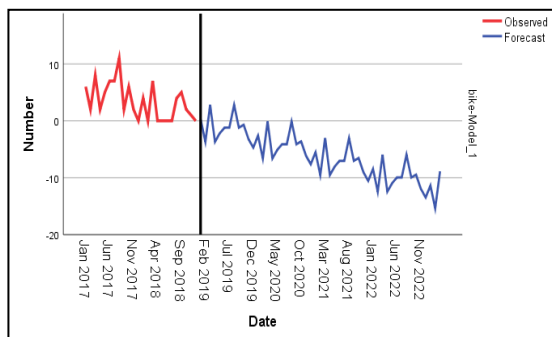
**ตารางที่ 8** ความแปรปรวนคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์รายปี จำแนกตามช่วงเวลาที่เกิดการโจรกรรมรถจักรยานยนต์

ความแปรปรวน	df	SS	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม	4	0.233	0.058	0.272	0.895
ภายในกลุ่ม	76	16.237	0.214		
<b>รวม</b>	<b>80</b>	<b>16.469</b>			

การเปรียบเทียบคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์รายปี 2560 – 2561 จำแนกตามช่วงเวลาที่เกิดการโจรกรรมรถจักรยานยนต์ไม่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 7-8

4. วิเคราะห์แนวโน้มการเกิดการโจรกรรมรถจักรยานยนต์ ในอีก 5 ปีข้างหน้า

การวิเคราะห์แนวโน้มการเกิดโจรกรรมรถจักรยานยนต์ ในอีก 5 ปีข้างหน้า โดยใช้ข้อมูลคดีอาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สินประเภทโจรกรรมรถจักรยานยนต์ ของสถานีตำรวจภูธรคลองลึก ตั้งแต่เดือนมกราคม 2560 ถึง ธันวาคม 2561 รวมเป็นเวลา 2 ปี หรือ 24 เดือน เมื่อนำเข้าข้อมูลคดีอาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สินประเภทโจรกรรมรถจักรยานยนต์ พบว่าสมการแนวโน้มแบบเส้นตรงเป็นรูปแบบสมการที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยค่า R-square มีค่าเท่ากับ 0.757 สามารถอธิบายช่วงเวลาที่ทำการศึกษา และจำนวนคดีอาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สินประเภทโจรกรรมรถจักรยานยนต์ได้ดี



**รูปที่ 13** จำนวนคดีอาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สินประเภทโจรกรรมรถจักรยานยนต์ และค่าพยากรณ์ แนวโน้ม การเกิดโจรกรรมรถจักรยานยนต์

จากรูปที่ 13 เห็นได้ว่าค่าแนวโน้มมีทิศทางลดลง เนื่องจากพื้นที่ของตำบลรัฐประเทศ และตำบลป่าไร่ มีจุดผ่านแดนถาวรคลองลึก ซึ่งถือเป็นประตูการค้าใหญ่ที่สุดของไทย ที่เชื่อมโยงกับกัมพูชา เป็นแหล่งรวมประชากรโดยมีการเข้าออกพื้นที่อย่างต่อเนื่อง ทำให้ต้องเข้มงวดมาตรการการป้องกัน และรักษาความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน

## สรุปผล

การศึกษาบริเวณที่มีความหนาแน่นของการเกิดอาชญากรรมเชิงพื้นที่ในเขตชายแดนไทย – กัมพูชา จังหวัดสระแก้ว ชี้ให้เห็นความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูงเกิดขึ้น ในบริเวณที่มีความหนาแน่นของประชากรสูง ได้แก่ ตำบลรัฐประเทศ สรุปได้ว่า ความเสี่ยงที่อาจจะเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในอนาคต เป็นพื้นที่เมืองมีผู้คนอาศัยอยู่หนาแน่น อีกทั้งอยู่ใกล้สถานที่สำคัญ เช่น โรงเรียน ตลาดสด หน่วยงานราชการต่าง ๆ ร้านค้า ร้านอาหาร เป็นต้น

สภาพแวดล้อมที่ลงมือกระทำความผิดตามสภาพพื้นที่จริง แบ่งเป็น 5 ระดับ 1) แหล่งที่อยู่อาศัย/ชุมชน มีความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูงในตำบลรัฐประเทศ 2) ศูนย์การค้า/ย่านธุรกิจ และแหล่งที่อยู่อาศัย มีความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูงในตำบลรัฐประเทศ 3) แหล่งท่าไกลชุมชน/สถานที่เปลี่ยวมีความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูงในทุกตำบล และ 4) ย่านโรงงาน/แหล่งอุตสาหกรรม มีความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูง ในตำบลรัฐประเทศ และตำบลป่าไร่ และ 5) พื้นที่สาธารณะ/สวนสาธารณะ ไม่มีการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์

ช่วงเวลาที่เกิดการโจรกรรมรถจักรยานยนต์ และความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์ในแต่ละตำบล พบว่า 1) ช่วงเช้ามีมีความหนาแน่นของการเกิดคดีโจรกรรมรถจักรยานยนต์สูงในตำบลรัฐประเทศ และตำบลป่าไร่ 2) ช่วงเช้า มีความหนาแน่นของการเกิดคดี

โครงการรถจักรยานยนต์สูงในตำบลรัฐประเท และ ตำบลป่าไร่ 3) ช่วงกลางวันมีความหนาแน่นของการเกิดคดีโครงการรถจักรยานยนต์สูงในตำบล อรัฐประเท และ ตำบลป่าไร่ 4) ช่วงเย็น มีความหนาแน่นของการเกิดคดีโครงการรถจักรยานยนต์สูงในตำบลป่าไร่ และ 5) ช่วง กลางคืน ความหนาแน่นของการเกิดคดีโครงการรถจักรยานยนต์สูงในตำบลรัฐประเท

แนวโน้มการเกิดโครงการรถจักรยานยนต์ ในอีก 5 ปีข้างหน้า โดยใช้ข้อมูลคดีอาชญากรรมประทุษร้ายต่อ ทรัพย์สินประเภทโครงการรถจักรยานยนต์ ของสถานี ตำรวจภูธรคลองลึก ตั้งแต่เดือน มกราคม 2560 ถึง ธันวาคม 2561 รวมเป็นเวลา 2 ปี หรือ 24 เดือน เมื่อนำเข้าข้อมูลคดีอาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สินประเภทโครงการรถจักรยานยนต์ พบว่าสมการแนวโน้มแบบ เส้นตรงเป็นรูปแบบสมการที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยค่า R-square มีค่าเท่ากับ 0.757 สามารถอธิบาย ช่วงเวลาที่ ทำการศึกษา และจำนวนคดีอาชญากรรมประทุษร้ายต่อ ทรัพย์สินประเภทโครงการรถจักรยานยนต์ได้ดี พบว่าแนวโน้ม มีทิศทางลดลง

ทั้งนี้เนื่องจาก พื้นที่ตำบลรัฐประเท มีจุดผ่าน แคนถาวรคลองลึกซึ่งถือเป็นประตูการค้าใหญ่ที่สุดของไทย ที่เชื่อมโยงกับกัมพูชา เป็นแหล่งรวมประชากรโดยมีการเข้า ออกพื้นที่อย่างต่อเนื่อง ทำให้เสี่ยงต่อการเกิดเหตุ อาชญากรรมประทุษร้ายต่อทรัพย์สินประเภทโครงการรถจักรยานยนต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ (6) ได้ ทำการศึกษาการคาดประมาณความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบ เคอร์เนล (Kernel Density Estimation) เป็นวิธีการหนึ่ง ของการวัดการกระจายตัวของจุด (Point Pattern Analysis) ซึ่งอยู่ในหลักของการปริมาณวิเคราะห์ทาง ภูมิศาสตร์ (7) การนำลักษณะข้อมูลจุดมาวิเคราะห์เชิง พื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ผลลัพธ์ที่ได้จาก การวิเคราะห์ด้วยวิธีการนี้จะแสดงผลในลักษณะของ ตารางกริด (Raster) หลักการของวิธีการนี้ คือ การคำนวณ รัศมี (Radius) ของแต่ละจุดข้อมูลก่อนจะเชื่อมต่อกับจุด อื่นด้วยระยะห่างของช่วงความถี่ (Bandwidth) ตามที่

กำหนดเพื่อหาความหนาแน่นซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพใน การคาดประมาณความหนาแน่นและจำแนกกลุ่มพื้นที่เสี่ยง (8) ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นของคดีโครงการรถในพื้นที่ จังหวัดนครปฐม พบว่าบริเวณที่มีการโครงการรถมากที่สุด นั้น ได้แก่ ตำบลพระปฐมเจดีย์และตำบลสนามจันทร์ ตามลำดับซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของ ประชากรสูงอีกทั้งยังมีสถานที่ต่าง ๆ ที่เป็นแหล่งชุมนุม ของประชากรโดยช่วงเวลาที่เกิดเหตุอาชญากรรมมากที่สุด ได้แก่ ช่วงเวลาตั้งแต่ 18.01- 22.00 น. รองลงมาคือ 22.01- 02.00 น. และ 14.01-18.00 น. ซึ่งจากผลที่ได้สามารถช่วย ให้เจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบนำไปวางแผนป้องกันจัดวางกำลัง พลสร้างจุดตรวจเพื่อเข้าพื้นที่ในพื้นที่และช่วงเวลาดังกล่าว เพื่อลดการก่อเหตุอาชญากรรมที่จะเกิดขึ้น

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนาย ร้อยตำรวจที่สนับสนุนสถานที่ในการวิจัย และขอขอบคุณ สถานีตำรวจภูธรคลองลึก ที่สละเวลาเพื่อร่วมให้ข้อมูลคดี อาชญากรรม

## เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานสถิติแห่งชาติ. การสำรวจภาวะการทำงาน ของประชากร [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [สืบค้นเมื่อ 16 เม.ย. 2562] จาก: <http://www.nso.go.th/sites/2014/Pages/%E0%B8%A0%E07%B8.aspx>.
2. ชีร์ไนย ศรีธรรมรงค์. การประเมินพื้นที่เสี่ยงการเกิด อาชญากรรมด้วยการวิเคราะห์สถิติเชิงพื้นที่ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต]. นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2559.
3. สำนักงานสถิติแห่งชาติ. ข้อมูลสถิติรายสาขา [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [สืบค้นเมื่อ 16 เม.ย. 2562] จาก: <http://statbbi.nso.go.th/Staticreport/Page/th/index.aspx>.



4. อิทธิรัฐ นิยมทรัพย์. รูปแบบการจราจรกรรมรถจักรยานยนต์ในพื้นที่ของสถานีตำรวจภูธรเมืองนครปฐม [สารนิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2558.
5. อนพัทธ์ หนองคู. ยุทธศาสตร์การค้าชายแดนไทย-กัมพูชา: กรณีศึกษา จังหวัดสระแก้ว. ใน: การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยศรีปทุม ประจำปีการศึกษา 2550 เรื่องผลงานวิจัยและนวัตกรรมสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน; 6 ส.ค. 2550; อาคาร ดร. สุขพุกยาภรณ์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีปทุม; 2550. น. 281-7.
6. ทับทิม วิเศษสุน. การวิเคราะห์รูปแบบด้านเวลาและสถานที่ของอุบัติเหตุทางถนนในสถานีตำรวจนครบาลประชาชื่น. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2556.
7. Maurizio G, Paul L, Phill A. Kernel density estimation and percent volume contours in general practice catchment area analysis in urban areas. In: Proceedings of the Geographical Information Science Research UK 15<sup>th</sup> Annual Conference 2007. The Geographical Information Science Research UK 15<sup>th</sup> Annual Conference 2007 (GISRUK 2007); 2007 Apr. 11-13; Maynooth, Ireland. 2007.
8. นิติภัทร วงษ์ปัญญา. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นของคดีจราจรมรณในพื้นที่ จังหวัดนครปฐม [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต]. นครปฐม: โรงเรียนนายร้อยตำรวจ; 2559.



## ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพของเกสรบัวหลวงอบแห้ง

### Effect of Packaging Types on Quality of Dried Lotus Stamens

อินทิรา ลิจันทรพร\* และ ภูรินทร์ อัครกุลธร

Intira Lichanporn\* and Purin Akkarakultron

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

Division of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND

\*Corresponding author e-mail: intira\_l@rmutt.ac.th

#### ARTICLE INFO

#### ABSTRACT

Article history:

Received: 5 August, 2020

Revised: 21 September, 2020

Accepted: 6 November, 2020

Available online: 21 February, 2021

DOI: 10.14456/rj-rmutt.2021.9

**Keywords:** lotus stamen, packaging, dried, color

Dried lotus stamen was placed in different types of plastic bag including polypropylene (PP bag), PP bag with a moisture absorber (PP bag+MA), vacuum bag and aluminum foil zipper bag (AF bag) to maintain quality of dried lotus stamen. All samples were moved to store at 30°C for 6 months. The color, moisture, antioxidant activities, carotenoid and odor of dried lotus stamen were determined. The results showed that the visual quality for the lotus stamen inside the four types of bags decreased continuously throughout of the storage period. The lotus stamen packaged in both vacuum bag and AF bag significantly had a better color of L\* (37.57 and 41.57), a\* (18.69 and 17.92) and b\* (33.96 and 29.33), moisture content (4.55% and 4.05%), antioxidant (37.61 and 33.14%) and carotenoid content (40.51 and 40.00 mg/L) than PP bag and PP bag+MA. It was found that on the six month of storage, the lotus stamen inside the vacuum and AF bags had normal odor. On the other hand, the acceptable of odor for the produced packaged in the PP bag and PP bag+MA were not different and were unacceptable after storage for five months because of lotus stamen were odorless. At the end of six month storage period, the lotus

stamen packed in PP bag significantly had the lowest L\*, antioxidant and carotenoid content. However, qualities of sample in vacuum bag and aluminum foil significantly had showed antioxidant and carotenoid content more than plastic bag PP. The lotus stamens are rich in antioxidant and carotenoid content which makes them healthy, nourishing and also important ingredient in the food industry.

## บทคัดย่อ

เกสรบัวหลวงอบแห้งบรรจุในถุงพลาสติกใส (โพลีโพรไพรีน; PP) ถุงพลาสติกพร้อมกับสารดูดซับความชื้น ถูสุญญากาศ และอะลูมิเนียมฟอยล์เพื่อรักษาคุณภาพของเกสรบัวหลวงอบแห้ง ตัวอย่างทั้งหมดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน วิเคราะห์ค่าสี ความชื้น สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) แคลโรทีนอยด์ และกลีโคไซด์ของเกสรบัวหลวงอบแห้งพบว่าคุณภาพของเกสรบัวหลวงในภาชนะบรรจุทั้ง 4 ชนิดลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดอายุการเก็บรักษา เกสรบัวหลวงทั้งในถุงสุญญากาศ และอะลูมิเนียมฟอยล์มีสีค่าความสว่าง (37.57 และ 41.57) ค่าสีแดง (18.69 และ 17.92) และค่าสีเหลือง (33.96 และ 29.33) ความชื้น (ร้อยละ 4.55 และ 4.05) สารต้านอนุมูลอิสระ (ร้อยละ 37.61 และ 33.14) และแคลโรทีนอยด์ (40.51 และ 40.00 มิลลิกรัม/ลิตร) ดีกว่าถุงพลาสติกใส และถุงพลาสติกพร้อมกับสารดูดซับความชื้น การเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือนเกสรบัวหลวงในถุงสุญญากาศและอะลูมิเนียมฟอยล์มีกลิ่นปกติ ในทางตรงข้ามการยอมรับด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ในถุงพลาสติกใสและถุงพลาสติกพร้อมกับสารดูดซับไม่มีความแตกต่างกันและไม่ได้มีการยอมรับหลังเก็บไว้ 5 เดือน เนื่องจากไม่มีกลิ่นของเกสรบัวหลวง ในเดือนที่ 6 เกสรบัวหลวงในถุงพลาสติกใสมีค่าความสว่าง สารต้านอนุมูลอิสระและแคลโรทีนอยด์ต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามคุณภาพของตัวอย่างในถุงสุญญากาศ และอะลูมิเนียมฟอยล์แสดงสารต้านอนุมูลอิสระ และแคลโรทีนอยด์มากกว่าถุงพลาสติกใสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เกสรบัวหลวงที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ และแคลโรทีนอยด์นี้จะช่วย

ให้สุขภาพดี บำรุงร่างกายและยังเป็นส่วนผสมที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร

**คำสำคัญ:** เกสรบัวหลวง บรรจุภัณฑ์ การอบแห้ง สี

## บทนำ

บัวหลวง (Sacred Lotus) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Nelumbo nucifera* Gaertn. เป็นพืชน้ำมีเหง้าอยู่ใต้ดิน ใบเดี่ยวค่อนข้างกลม แผ่นใบชูเหนือน้ำ ก้านใบแข็ง ออกดอกเดี่ยวชูขึ้นเหนือน้ำ ดอกสีชมพูถึงชมพูเข้มและสีขาว เกสรเพศผู้สีเหลืองจำนวนมากติดอยู่รอบฝักบัวรูปกรวย ผลรูปกลมรีจำนวนมากอยู่ในฝัก (1) หลาย ๆ ส่วนของบัวหลวงมีการนำมาบริโภค เช่น เมล็ดบัวรสชาติหวานมัน นำมาทวนหรือโรยบนหน้าขนมหม้อแกง รากบัวเชื่อมหรือต้มน้ำตาล ทำน้ำรากบัวแก้ร้อนใน ยาแก้ขับหรือยา เกสรบัวหลวง เป็นต้น นอกจากนี้บัวหลวงยังนำมาใช้เป็นสมุนไพรซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกส่วนทั้งเกสร กลีบดอก เมล็ด ดีบัว ใบ ราก และเหง้า คนไทยสมัยโบราณใช้เกสรบัวหลวงเข้าเครื่องยาไทยในพิภักต์เกสรทั้งห้า เกสรทั้งเจ็ด และเกสรทั้งเก้า และนิยมใช้กันจนมาถึงปัจจุบัน (2) เกสรบัวหลวงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (3) และฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรส (Acetylcholinesterase; AChE) ซึ่งอาจส่งผลในการป้องกันการเกิดโรคอัลไซเมอร์ได้ (3) ส่วนกลีบดอกบัวหลวงมีฤทธิ์ลดระดับไขมันและน้ำตาล ในเลือดที่เปลี่ยนแปลงไปตามอายุที่มากขึ้น และสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (4) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของส่วนอื่น ๆ ของบัว

หลวง เช่น เหง้ามีฤทธิ์ลดไข้ แก้วร้อนใน แก้วอักเสบ (5) และใบมีฤทธิ์ในการลดความอ้วน (6) เป็นต้น แต่ส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยในหลอดทดลองและสัตว์ทดลองเท่านั้น สำหรับเกษตรบัวหลวงซึ่งมีการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านเครื่องยามากที่สุด มีการทดสอบความเป็นพิษพบว่าไม่ก่อให้เกิดความผิดปกติใด ๆ (7) ซึ่งขนาดที่ใช้เข้าเครื่องยาตามตำรับยาไทยต่าง ๆ ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ เกสรบัวหลวงมีสารประกอบทางเคมีตามธรรมชาติที่เรียกว่า อัลคาลอยด์ มีฤทธิ์ด้านการก่อกลายพันธุ์ของดีเอ็นเอ ส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ ทำลายสารพิษ มีฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือดและบำรุงหัวใจ ซึ่งอัลคาลอยด์เป็นสารธรรมชาติที่พบได้ในสิ่งมีชีวิตหลายชนิด รวมถึงแบคทีเรีย รา (เห็ด) พืช (เช่น มะเขือเทศ และมันฝรั่ง) และสัตว์ (สัตว์มีเปลือกจำพวกปู กุ้ง หอย) อัลคาลอยด์หลายชนิด สามารถนำมาทำให้บริสุทธิ์ ด้วยการสกัดโดยใช้กรดซัลฟูริกและไฮดรอกลอลริก อัลคาลอยด์มีคุณสมบัติเป็นพฤษเคมีที่ใช้เป็นยารักษาโรคและยาระงับความรู้สึกลเฉพาะที่

ปัจจุบันเกษตรบัวหลวงถูกพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชา โดยการนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลาประมาณ 2-4 ชั่วโมง จากนั้นอาจบดละเอียดหรือบรรจุใส่ถุงพลาสติกเพื่อจำหน่ายทั้งแบบส่งและปลีก ซึ่งสามารถเก็บไว้ได้นานหลายเดือน โดยการเก็บรักษาในถุงพลาสติกส่งผลต่อคุณภาพของเกษตรบัวหลวงเนื่องจากมีสีที่เปลี่ยนไปจากวันแรกที่เก็บรักษา คุณภาพที่สำคัญของชา ได้แก่ สี กลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (8) การเสื่อมเสียคุณภาพของชา มีสาเหตุที่สำคัญจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว วิตามินซี วิตามินอี สารประกอบแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) และสารประกอบฟลาโวนอยด์ ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติ (Off - flavor) ที่ไม่พึงประสงค์ในชาและส่งผลกระทบต่อคุณค่าทางโภชนาการที่ลดลงในชาอบแห้งและรวมถึงการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) ของสารประกอบพอลิฟีนอล การเสื่อมเสียคุณภาพเหล่านี้

ของชาอบแห้งมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ แสง ความชื้นในอาหาร ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิระหว่างการขนส่งและวางจำหน่าย ก๊าซออกซิเจน เวลาและการดูดซับกลิ่นของชา นอกจากนี้ชาอบแห้งที่ผ่านกระบวนการผลิตแล้วยังคงมีสารประกอบแคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ วิตามินซีและกรดไขมันอิสระเหลืออยู่รวมถึงสารประกอบพอลิฟีนอลและเอนไซม์ต่างได้แก่ เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสและพอลิฟีนอลออกซิเดสทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีเนื่องจากเอนไซม์เหล่านี้และปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน (Autooxidation) เกิดกลิ่นรส และสีของชาที่ผิดปกติ (9)

จากปัญหาการเสื่อมคุณภาพของชาอบแห้งที่กล่าวมา การกำจัดก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์และการชะลอการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนเข้ามายังภายในบรรจุภัณฑ์ จึงเป็นแนวทางในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อบแห้งได้ โดยบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารแห้งควรทำจากวัสดุที่ป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและออกซิเจนได้ดี (10) ถุงพลาสติกใส โพลีเอทิลีน และถุงอลูมิเนียมฟอยล์ มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาทำภาชนะบรรจุอาหารแห้ง เนื่องจากถุงโพลีเอทิลีนเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่มีความใสและป้องกันความชื้นได้บางส่วน แต่การป้องกันอากาศซึมผ่านไม่ดีนัก การใช้งานของถุงโพลีเอทิลีนกับผลิตภัณฑ์อาหารมักใช้บรรจุอาหารร้อน บรรจุผักและผลไม้ และใช้ทำซองบรรจุอาหารแห้ง เช่น บะหมี่สำเร็จรูป และอาหารที่มีไขมัน เช่น คุกกี้ หรือถั่วทอด เป็นต้น (11) ส่วนอลูมิเนียมฟอยล์สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ และก๊าซได้ดี มีความมันวาว และมีน้ำหนักเบา (12) นอกจากนี้ยังมีบรรจุภัณฑ์แอคทีฟที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ การใช้ตัวดูดซับ (Absorber) ซึ่งสารหรือก๊าซที่ต้องการกำจัดหรือลดปริมาณลงจะถูกดูดซับเข้าไปในเนื้อของวัตถุที่ใช้ดูดซับและการกำจัดสารหรือก๊าซออกซิเจนด้วยปฏิกิริยาทางเคมี (13) Knack และ Christensen (14) รายงานว่าชาดำ (Black Elder Flower) ที่บรรจุในถุงกระดาษ เก็บรักษาเป็นเวลา 21 เดือน มีกลิ่นผิดปกติเนื่องจากสารประกอบแอลดีไฮด์

มากกว่าชาที่บรรจุในถุงพลาสติก และถุงอะลูมิเนียมพอยล์ ดังนั้นการนำถุงชาเยื่อกระดาษ มาบรรจุในถุงอะลูมิเนียมพอยล์และบรรจุในกล่องกระดาษจึงสามารถช่วยลดการซึมผ่านของแสง ก๊าซ ออกซิเจนและความชื้นสู่ชาได้ ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของเกสรบัวหลวง

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. การเตรียมเกสรบัวหลวง

นำดอกบัวหลวงสีขาวที่กำลังบาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-15 เซนติเมตร จากสวนบัวในจังหวัดนครสวรรค์มาแยกกลีบดอก เลือกส่วนที่เป็นเกสรบัว มาทำความสะอาดด้วยการร่อนแผ่นตะแกรงให้เศษละอองของเกสรบัวหลวงหลุดออก เกลี่ยใส่ถาดนำเข้าอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลาประมาณ 2-4 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งความชื้นไม่เกินร้อยละ 6 นำไปใช้ในการทดลอง (15)

### 2. ศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพของเกสรบัวหลวง

นำเกสรบัวหลวงที่ผ่านการอบแห้งบรรจุในบรรจุภัณฑ์แบ่งออกเป็น 4 สิ่งทดลอง (Treatment) จำนวน 3 ซ้ำ/สิ่งทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ดังนี้ สิ่งทดลอง 1 บรรจุในถุงพลาสติกใส (โพลีเอทิลีน; PP) ตามที่ใช้ทั่วไป (ชุดควบคุม) สิ่งทดลอง 2 บรรจุในถุงพลาสติกใส + สารดูดซับความชื้น (ซิลิกาเจล) สิ่งทดลอง 3 บรรจุในถุงสุญญากาศ สิ่งทดลอง 4 บรรจุในถุงอะลูมิเนียมพอยล์มีซิปปิด-เปิด หลังจากบรรจุเกสรบัวหลวงในบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ (รูปที่ 1) แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 6 เดือน โดยสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ผลทุกเดือนดังนี้ การวัดค่าสี Minolta Color Reader CR-10 ความชื้น สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

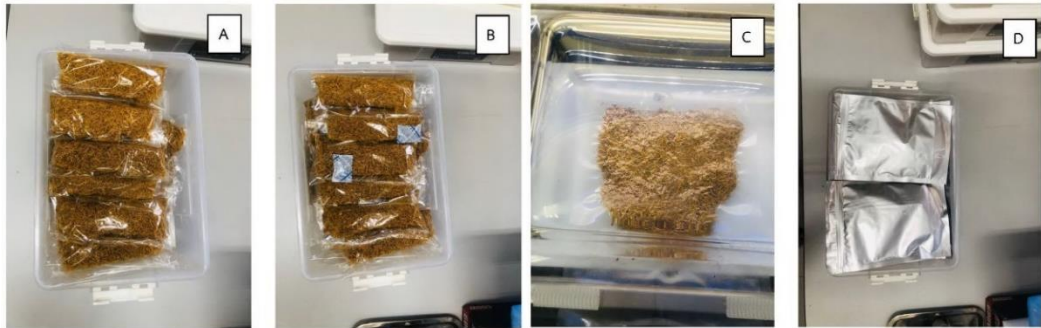
(16) แคโรทีนอยด์ (17) และกลิ่นของเกสรบัวให้เป็นคะแนนตั้งแต่ 1-5 โดย คะแนน 5 หมายถึง กลิ่นเกสรบัวมากที่สุด คะแนน 4 หมายถึง กลิ่นเกสรบัวมาก คะแนน 3 หมายถึง กลิ่นเกสรบัวปานกลาง คะแนน 2 หมายถึง กลิ่นเกสรบัวเล็กน้อย คะแนน 1 หมายถึง ไม่มีกลิ่นเกสรบัว จากผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝน จำนวน 5 คน

## ผลการศึกษาและอภิปรายผล

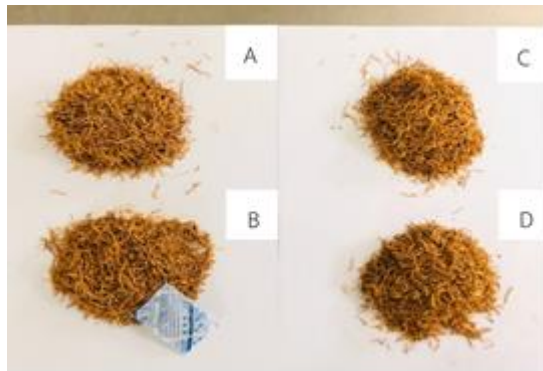
จากการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของเกสรบัวหลวงอบแห้งพบว่าค่าความสว่างในเดือนที่ 0 มีค่าอยู่ในช่วง 39.39-40.38 เมื่อเก็บรักษาผ่านไป 3 เดือน ค่าความสว่างมีค่าเพิ่มขึ้นสูงในทุกชุดการทดลองทั้งนี้อาจเนื่องจากความชื้นที่เพิ่มขึ้นดังตารางที่ 4 ส่งผลให้เกสรบัวหลวงมีความสว่างมากขึ้นในช่วงแรกโดยการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีจะช่วยลดการดูดซับความชื้นจากอากาศที่จะทำให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเพิ่มขึ้น (10) หลังจากนั้นค่าลดลงต่ำในเดือนที่ 6 ซึ่งแสดงถึงสีที่เข้มมากขึ้นโดยในเดือนที่ 2 และ 3 เกสรบัวที่บรรจุในถุงแบบต่าง ๆ ไม่มีผลต่อค่าสี และเมื่อเก็บรักษาผ่านไปจนถึงเดือนที่ 6 พบว่าค่าความสว่างของเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมพอยล์มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงสุญญากาศ เกสรบัวที่บรรจุในถุงพลาสติกใส + สารดูดซับความชื้น และเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงพลาสติกใส โดยมีค่าเท่ากับ 41.57 37.57 33.94 และ 32.28 (ตารางที่ 1) (รูปที่ 2) การเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นในเกสรบัวหลวงอาจเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) ของสารประกอบพอลิฟีนอลซึ่งอาจมีหลายปัจจัยร่วมด้วย ได้แก่ แสง ความชื้นในอาหาร ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิระหว่างการขนส่งและวางจำหน่าย ก๊าซออกซิเจน เวลาและการดูดซับกลิ่น นอกจากนี้เกสรบัวหลวงอบแห้งที่ผ่านกระบวนการผลิตแล้วยังคงมีสารประกอบแคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ วิตามินซีและกรดไขมันอิสระเหลืออยู่รวมถึงสารประกอบพอลิฟีนอลและเอนไซม์ต่าง ๆ ได้แก่ เอนไซม์เปอร์

ออกซิเดสและพอลิฟีนอลออกซิเดสทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีเนื่องจากเอนไซม์เหล่านี้และปฏิกิริยาอโตออกซิ

เดชั่น (Autooxidation) เกิดกลิ่นรสและสีของผลิตภัณฑ์ที่ผิดปกติ (9)



รูปที่ 1 การบรรจุเกสรบัวหลวงในภาชนะบรรจุชนิดต่าง ๆ การบรรจุในถุงพลาสติกใส (A) การบรรจุในถุงพลาสติกใส + สารดูดซับความชื้น (B) การบรรจุในถุงสุญญากาศ (C) และการบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ (D)



รูปที่ 2 ลักษณะของเกสรบัวหลวงในภาชนะบรรจุชนิดต่าง ๆ ในถุงพลาสติกใส (A) การบรรจุในถุงพลาสติกใส + สารดูดซับความชื้น (B) การบรรจุในถุงสุญญากาศ (C) และการบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ (D)

ตารางที่ 1 ค่าสีความสว่าง (L\*) ของเกสรบัวจากการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ค่าสี L*						
	ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)						
	0	1	2 <sup>ns</sup>	3 <sup>ns</sup>	4	5	6
PP bag <sup>A-E</sup>	40.38 <sup>aC</sup> ±0.50	41.44 <sup>abC</sup> ±0.53	43.31 <sup>B</sup> ±0.20	46.80 <sup>A</sup> ±1.73	41.62 <sup>CC</sup> ±0.59	40.95 <sup>CC</sup> ±0.04	32.28 <sup>DD</sup> ±0.31
PP bag +MA	39.39 <sup>BD</sup> ±0.36	41.85 <sup>abBC</sup> ±0.04	43.27 <sup>B</sup> ±0.55	45.63 <sup>A</sup> ±2.02	41.97 <sup>bcBC</sup> ±0.10	40.58 <sup>CD</sup> ±0.17	33.94 <sup>EE</sup> ±0.03
Vacuum bag	40.38 <sup>aD</sup> ±0.20	42.42 <sup>aC</sup> ±0.67	44.06 <sup>B</sup> ±0.48	46.13 <sup>A</sup> ±0.72	42.26 <sup>bc</sup> ±0.03	42.67 <sup>bc</sup> ±1.08	37.57 <sup>bE</sup> ±0.03
AF bag	40.18 <sup>aE</sup> ±0.15	40.93 <sup>CD</sup> ±0.67	43.39 <sup>C</sup> ±0.20	45.76 <sup>A</sup> ±0.40	44.77 <sup>aB</sup> ±0.13	43.88 <sup>aC</sup> ±0.11	41.57 <sup>aD</sup> ±0.63
F-test	*	*	ns	ns	*	*	*
CV (%)	0.307	0.543	0.227	1.641	1.751	2.156	14.027

หมายเหตุ: PP = Polypropylene, MA = Moisture absorber, AF= Aluminum foil, <sup>ns</sup> แสดงถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, <sup>a-d</sup> แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของแต่ละในแนวตั้ง (P < 0.05)

<sup>A-E</sup> แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอน (P < 0.05)

ตารางที่ 2 ค่าสีแดง (a\*) ของเกสรบัวจากการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ค่าสี a*						
	ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)						
	0	1 <sup>ns</sup>	2	3	4	5	6
PP bag <sup>A-E</sup>	11.25 <sup>abc</sup> ±0.38	10.75 <sup>c</sup> ±0.53	10.37 <sup>bc</sup> ±0.59	19.16 <sup>aA</sup> ±0.87	7.23 <sup>bd</sup> ±0.05	11.08 <sup>aC</sup> ±1.04	16.14 <sup>bb</sup> ±0.25
PP bag +MA	10.42 <sup>bb</sup> ±0.35	11.32 <sup>b</sup> ±0.19	11.41 <sup>bb</sup> ±0.15	19.40 <sup>aA</sup> ±0.52	7.16 <sup>bc</sup> ±2.25	10.61 <sup>abb</sup> ±0.14	18.41 <sup>aA</sup> ±0.43
Vacuum bag	11.17 <sup>abc</sup> ±0.03	10.70 <sup>cd</sup> ±0.15	11.68 <sup>ac</sup> ±0.15	17.50 <sup>bb</sup> ±1.11	11.14 <sup>aC</sup> ±0.05	9.78 <sup>abd</sup> ±0.03	18.69 <sup>ab</sup> ±0.85
AF bag	15.42 <sup>ab</sup> ±4.61	11.11 <sup>c</sup> ±0.79	11.38 <sup>ac</sup> ±0.26	18.80 <sup>abA</sup> ±0.55	8.26 <sup>bc</sup> ±0.12	9.34 <sup>bc</sup> ±0.39	17.92 <sup>abB</sup> ±0.10
F-test	*	ns	*	*	*	*	*
CV (%)	8.127	0.250	0.356	1.059	3.768	0.926	1.250

หมายเหตุ: PP = Polypropylene, MA = Moisture absorber, AF= Aluminum foil, <sup>ns</sup> แสดงถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, <sup>a-d</sup> แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (P < 0.05)

<sup>A-E</sup> แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอน (P < 0.05)

ตารางที่ 3 ค่าสีน้ำเงิน (b\*) ของเกสรบัวจากการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ค่าสี b*						
	ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)						
	0 <sup>ns</sup>	1	2	3 <sup>ns</sup>	4	5	6 <sup>ns</sup>
PP bag <sup>A-E</sup>	42.37 <sup>A</sup> ±0.40	41.74 <sup>abA</sup> ±3.05	41.92 <sup>bA</sup> ±2.92	27.93 <sup>C</sup> ±0.65	26.14 <sup>aC</sup> ±0.03	40.92 <sup>bA</sup> ±3.24	33.96 <sup>B</sup> ±3.06
PP bag +MA	42.43 <sup>BC</sup> ±1.16	44.80 <sup>aA</sup> ±1.67	44.36 <sup>abAB</sup> ±0.66	29.36 <sup>D</sup> ±2.00	26.18 <sup>aE</sup> ±0.29	41.11 <sup>bC</sup> ±1.46	26.14 <sup>E</sup> ±0.58
Vacuum bag	41.11 <sup>B</sup> ±0.35	44.30 <sup>abAB</sup> ±0.29	47.24 <sup>aA</sup> ±1.02	27.43 <sup>D</sup> ±2.13	24.31 <sup>bd</sup> ±0.42	48.33 <sup>aA</sup> ±5.74	33.96 <sup>C</sup> ±0.26
AF bag	42.37 <sup>A</sup> ±0.78	40.78 <sup>bA</sup> ±1.79	44.71 <sup>abA</sup> ±0.33	27.16 <sup>B</sup> ±1.74	23.28 <sup>ab</sup> ±0.39	40.50 <sup>bA</sup> ±2.13	29.33 <sup>B</sup> ±8.19
F-test	ns	*	*	ns	*	*	ns
CV (%)	0.742	5.926	5.731	2.978	1.743	20.658	25.952

หมายเหตุ: PP = Polypropylene, MA = Moisture absorber, AF= Aluminum foil, <sup>ns</sup> แสดงถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, <sup>a-d</sup> แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (P ≤ 0.05)

<sup>A-E</sup> แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอน (P ≤ 0.05)

ตารางที่ 4 ความชื้นของเกสรบัวจากการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)						
	ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)						
	0 <sup>ns</sup>	1	2	3 <sup>ns</sup>	4	5	6 <sup>ns</sup>
PP bag <sup>A-E</sup>	1.83 <sup>F</sup> ±0.01	2.09 <sup>aE</sup> ±0.03	2.10 <sup>aE</sup> ±0.02	2.37 <sup>D</sup> ±0.06	2.59 <sup>aC</sup> ±0.00	3.10 <sup>ab</sup> ±0.01	4.58 <sup>A</sup> ±0.04
PP bag +MA	1.82 <sup>D</sup> ±0.01	1.96 <sup>bcD</sup> ±0.01	2.04 <sup>abCD</sup> ±0.06	2.18 <sup>C</sup> ±0.15	2.57 <sup>bb</sup> ±0.00	2.83 <sup>bb</sup> ±0.05	4.45 <sup>A</sup> ±0.40
Vacuum bag	1.74 <sup>C</sup> ±0.18	1.96 <sup>bc</sup> ±0.02	1.96 <sup>cc</sup> ±0.02	2.36 <sup>B</sup> ±0.20	2.56 <sup>bcB</sup> ±0.14	2.57 <sup>cb</sup> ±0.06	4.55 <sup>A</sup> ±0.46
AF bag	1.85 <sup>F</sup> ±0.02	1.95 <sup>bE</sup> ±0.02	1.97 <sup>bcE</sup> ±0.01	2.22 <sup>D</sup> ±0.11	2.55 <sup>cb</sup> ±0.01	2.43 <sup>dc</sup> ±0.06	4.05 <sup>A</sup> ±0.04
F-test	ns	*	*	ns	*	*	ns
CV (%)	0.008	0.004	0.004	0.022	0.000	0.074	0.117

หมายเหตุ: PP = Polypropylene, MA = Moisture absorber, AF= Aluminum foil, <sup>ns</sup> แสดงถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, <sup>a-d</sup> แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (P ≤ 0.05)

<sup>A-E</sup> แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอน (P ≤ 0.05)

ค่า  $a^*$  หรือค่าสีแดง พบว่าในเดือนที่ 0 มีสีแดงของเกสรบัวหลวงในถุงอลูมิเนียมพอยด์มีค่าสูงสุด เท่ากับ 15.42 ไม่แตกต่างจากเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงพลาสติกใส และถุงสุญญากาศซึ่งมีค่าสีแดงเท่ากับ 11.25 และ 11.17 ตามลำดับ ส่วนค่าสีแดงของเกสรบัวหลวงบรรจุในถุงพลาสติกใส + สารดูดซับความชื้นมีค่าเท่ากับ 10.42 ในเดือนที่ 1-3 พบว่าเกสรบัวหลวงที่บรรจุในภาชนะทั้ง 4 ชนิดมีค่าสีแดงไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยในเดือนที่ 3 ค่าสีแดงมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 17.50-19.40 ในเดือนที่ 4 ค่าสีแดงมีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนที่ 6 โดยค่าสีแดงของเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงสุญญากาศ เกสรบัวที่บรรจุในถุงพลาสติกใส + สารดูดซับความชื้น และเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมพอยด์มีค่าสูงกว่าเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงพลาสติกใสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 18.69 18.41 17.92 และ 16.14 (ตารางที่ 2) ทั้งนี้เป็นไปได้ที่ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเกสรบัวหลวงมีปริมาณลดลงจากการผ่านเข้าออกของออกซิเจนจึงส่งผลต่อค่าสีแดงของเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงพลาสติกใสมีค่าน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันออกซิเจนได้ดี โดยเฉพาะอลูมิเนียมพอยด์ (18)

ค่า  $b^*$  หรือค่าสีเหลืองพบว่า มีแนวโน้มลดลงต่ำสุดในเดือนที่ 4 หลังจากนั้น มีค่าเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 5 และลดลงในเดือนที่ 6 โดยในเดือนที่ 0 ค่าสีเหลืองของเกสรบัวหลวงในทุกบรรจุภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างกัน โดยอยู่ในช่วง 41.41-42.43 ในเดือนที่ 1 และ 2 เกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมพอยด์ เกสรบัวหลวงบรรจุในถุงพลาสติกใส + สารดูดซับความชื้น และถุงสุญญากาศซึ่งมีค่าสีเหลืองสูงกว่าเกสรบัวหลวงบรรจุในถุงพลาสติกใสตามลำดับ ในเดือนที่ 5 ค่าสีเหลืองของเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงสุญญากาศมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือเกสรบัวที่บรรจุในถุงพลาสติกใส + สารดูดซับความชื้น เกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงพลาสติกใส และเกสรบัวหลวงที่บรรจุในพอยด์ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 48.33 41.11 40.92 และ 40.50 (ตารางที่ 3)

เกสรบัวหลวงหลังการบรรจุในถุงทั้ง 4 ชนิดมีความชื้นเพิ่มขึ้นเริ่มต้นจากร้อยละ 1.74 เป็น 4.58 ในเดือนสุดท้าย โดยในเดือนที่ 0 ความชื้นของเกสรบัวหลวงในทุกบรรจุภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างกัน โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 1.74-1.85 ในเดือนที่ 1 และ 2 พบว่าความชื้นของเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงพลาสติกใสมีค่าสูงกว่าเกสรบัวหลวงบรรจุในถุงพลาสติกใส + สารดูดซับความชื้น และถุงสุญญากาศ และถุงอลูมิเนียมพอยด์อย่างมีนัยสำคัญและเมื่อผ่านไปในเดือนที่ 4 และ 5 พบว่าความชื้นของเกสรบัวหลวงบรรจุในถุงพลาสติกใสยังคงมีความชื้นสูงกว่าเกสรบัวที่บรรจุในถุงอีก 3 ชนิด โดยเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมพอยด์มีความชื้นต่ำสุด และในเดือนสุดท้ายพบว่าเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมพอยด์มีความชื้นต่ำสุด รองลงมาคือเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงพลาสติกใส + สารดูดซับความชื้น เกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงสุญญากาศ ในขณะที่เกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงพลาสติกใสมีความชื้นมากที่สุด อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของความชื้นในภาชนะบรรจุทั้ง 4 ชนิดในเดือนสุดท้ายนี้ (ตารางที่ 4) บรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยากาศ (Modified Atmosphere Packaging; MAP) โดยก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาของการบรรจุ เนื่องจากคุณสมบัติด้านการซึมผ่านของก๊าซของบรรจุภัณฑ์ที่เลือกใช้ (19) โดยเฉพาะการบรรจุเกสรบัวในถุงพลาสติกใส และการบรรจุในถุงพลาสติกใสร่วมกับสารดูดซับความชื้นคุณสมบัติของถุงพลาสติกจะยอมให้มีการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจน ไอน้ำ จึงทำให้เกสรบัวหลวงมีความชื้นสูงกว่าการบรรจุในถุงสุญญากาศและถุงอลูมิเนียมพอยด์ที่ความชื้นผ่านเข้าออกได้ยากกว่าพลาสติกแต่ละชนิดมีความแตกต่างของคุณสมบัติในการยอมให้มีการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพลาสติกแต่ละชนิด (20) โดยคุณสมบัติดังกล่าวจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์มพลาสติกที่เลือกใช้



ตารางที่ 5 สารต้านอนุมูลอิสระของเกสรบัวจากการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	สารต้านอนุมูลอิสระ (%)						
	ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)						
	0 <sup>ns</sup>	1 <sup>ns</sup>	2	3	4	5	6
PP bag <sup>A-E</sup>	64.73 <sup>A</sup> ±0.64	59.53 <sup>B</sup> ±1.17	55.58 <sup>aC</sup> ±0.59	39.48 <sup>bD</sup> ±2.06	28.09 <sup>cE</sup> ±1.67	33.69 <sup>cE</sup> ±0.41	28.09 <sup>cE</sup> ±1.67
PP bag +MA	64.18 <sup>A</sup> ±0.32	59.76 <sup>B</sup> ±2.88	55.70 <sup>aC</sup> ±1.72	39.68 <sup>bD</sup> ±1.05	31.52 <sup>bF</sup> ±2.28	34.81 <sup>cE</sup> ±0.63	32.69 <sup>bEF</sup> ±0.71
Vacuum bag	64.56 <sup>A</sup> ±0.48	59.73 <sup>B</sup> ±0.49	53.73 <sup>bC</sup> ±1.23	40.46 <sup>abD</sup> ±0.76	37.61 <sup>aE</sup> ±1.07	41.05 <sup>aD</sup> ±0.41	37.61 <sup>aE</sup> ±1.07
AF bag	64.41 <sup>A</sup> ±0.56	61.52 <sup>B</sup> ±0.35	50.87 <sup>cC</sup> ±0.59	42.77 <sup>aD</sup> ±0.56	32.69 <sup>bF</sup> ±0.71	37.27 <sup>bE</sup> ±2.22	33.14 <sup>bF</sup> ±1.22
F-test	ns	ns	*	*	*	*	*
CV (%)	0.239	2.517	5.094	2.999	14.478	9.728	13.497

หมายเหตุ: PP = Polypropylene, MA = Moisture absorber, AF= Aluminum foil, <sup>ns</sup> แสดงถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, <sup>a-d</sup> แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (P ≤ 0.05)

<sup>A-E</sup> แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอน (P ≤ 0.05)

ตารางที่ 6 แครโทีนอยด์ของเกสรบัวจากการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)						
	ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)						
	0	1	2	3	4 <sup>ns</sup>	5	6
PP bag <sup>A-E</sup>	65.39 <sup>dA</sup> ±4.98	65.39 <sup>dA</sup> ±0.01	62.55 <sup>bA</sup> ±1.12	57.94 <sup>bb</sup> ±2.41	47.00 <sup>c</sup> ±3.37	37.29 <sup>cd</sup> ±0.46	37.68 <sup>bd</sup> ±0.95
PP bag +MA	65.40 <sup>ba</sup> ±0.01	65.39 <sup>ba</sup> ±7.67	65.40 <sup>aA</sup> ±3.67	59.84 <sup>abB</sup> ±4.70	49.89 <sup>c</sup> ±4.44	41.23 <sup>bd</sup> ±0.92	35.58 <sup>cE</sup> ±0.39
Vacuum bag	65.39 <sup>ca</sup> ±0.01	65.93 <sup>ca</sup> ±8.03	65.39 <sup>aA</sup> ±9.00	62.75 <sup>baA</sup> ±1.27	54.08 <sup>B</sup> ±8.97	43.78 <sup>aC</sup> ±0.50	40.51 <sup>aC</sup> ±1.29
AF bag	65.48 <sup>aA</sup> ±0.01	65.48 <sup>aA</sup> ±0.01	60.68 <sup>cC</sup> ±0.57	63.85 <sup>aB</sup> ±0.66	52.78 <sup>b</sup> ±0.75	40.76 <sup>bE</sup> ±1.12	40.00 <sup>aE</sup> ±1.21
F-test	*	*	*	*	ns	*	*
CV (%)	0.001	0.001	4.670	11.415	28.567	6.301	4.989

หมายเหตุ: PP = Polypropylene, MA = Moisture absorber, AF= Aluminum foil, <sup>ns</sup> แสดงถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* แสดงถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, <sup>a-d</sup> แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (P ≤ 0.05)

<sup>A-E</sup> แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอน (P ≤ 0.05)

ตารางที่ 7 กลิ่นของเกสรบัวจากการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	กลิ่น (คะแนน)						
	ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)						
	0	1	2	3	4	5	6
PP bag <sup>A-E</sup>	5	5	5	3	3	2	1
PP bag +MA	5	5	5	3	3	2	1
Vacuum bag	5	5	5	5	3	3	3
AF bag	5	5	5	5	3	3	3

หมายเหตุ: PP = Polypropylene, MA = Moisture absorber, AF= Aluminum foil

คะแนน 5 หมายถึง กลิ่นเกสรบัวมากที่สุด คะแนน 4 หมายถึง กลิ่นเกสรบัวมาก

คะแนน 3 หมายถึง กลิ่นเกสรบัวปานกลาง คะแนน 2 หมายถึง กลิ่นเกสรบัวเล็กน้อย

คะแนน 1 หมายถึง ไม่มีกลิ่นเกสรบัว

เกสรบัวหลวงหลังการบรรจุในถุงทั้ง 4 ชนิดมีสารต้านอนุมูลอิสระลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเดือนที่ 0 และ 1 ภาชนะบรรจุไม่มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ แต่มีผลหลังจากเดือนที่ 2 เป็นต้นไป โดยการบรรจุเกสรบัวหลวงในถุงสุญญากาศช่วยชะลอการลดลงของสารต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ และบรรจุในถุงพลาสติกใส + สารดูดซับความชื้นเมื่อเปรียบเทียบกับถุงพลาสติกใส ในเดือนสุดท้ายของการเก็บรักษา โดยมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 37.61 33.14 32.69 และ 28.09 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) สารต้านอนุมูลอิสระ เป็นสารที่สามารถชะลอหรือป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายเช่น โปรตีน เอนไซม์ และดีเอ็นเอ ดังนั้นการใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH จะช่วยยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระไม่ให้ทำลายองค์ประกอบของเซลล์ ในหลายงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ และเบาหวาน (21) เกสรบัวหลวงมีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น ฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ (3, 22) ซึ่งจากงานวิจัยของ Limwachiranon และคณะ (23) พบว่าการศึกษาส่วนต่าง ๆ ของบัวหลวงทั้งใบ เมล็ด และดอกมีสารประกอบฟีนอลิก จำนวน 12 ชนิด และฟลาโวนอยด์ จำนวน 90 ชนิด ซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ การใช้ถุงสุญญากาศและถุงอลูมิเนียมฟอยด์ช่วยชะลอการสูญเสียสารต้านอนุมูลอิสระได้เนื่องจากถุงทั้งสองชนิดป้องกันก๊าซออกซิเจนที่ทำให้เกิดการเสื่อมสลายของสารต้านอนุมูลอิสระได้

เกสรบัวหลวงหลังการบรรจุในถุงทั้ง 4 ชนิดมีปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในสองเดือนแรกยังมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงอยู่ในช่วง 60.68-65.48 จากนั้นในเดือนที่ 3 พบว่าเกสรบัวหลวงในถุงอลูมิเนียมฟอยด์มีแคโรทีนอยด์สูงไม่แตกต่างจากเกสรบัวหลวงบรรจุในถุงพลาสติกใส + สารดูดซับความชื้น ถุงสุญญากาศ ในขณะที่เกสรบัวหลวง

บรรจุในถุงพลาสติกใสมีแคโรทีนอยด์ต่ำสุด ในเดือนที่ 4 ภาชนะบรรจุไม่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ แต่ในเดือนที่ 5 และ 6 เกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงสุญญากาศและถุงอลูมิเนียมฟอยด์มีปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างกัน และมีสูงกว่าเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงพลาสติกใส + สารดูดซับความชื้น และเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงพลาสติกใส โดยมีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 40.51 40.00 37.68 และ 35.58 มิลลิกรัม/ลิตร (ตารางที่ 6) แม้แคโรทีนอยด์ส่วนใหญ่จะอยู่ในผักผลไม้สีเหลือง ส้ม แต่ก็ยังสามารถพบทั้งแคโรทีนอยด์ในผักผลไม้สีเขียวด้วย (24) แคโรทีนอยด์เป็นทั้งสารต้านอนุมูลอิสระ (25) และยังช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งหลายชนิด แคโรทีนอยด์เป็นสารที่ละลายในไขมัน และเป็นรงควัตถุที่พบในคลอโรพลาสต์และโครโมพลาสต์ของผลไม้ ดอกไม้ และใบของพืช นอกจากนั้นยังพบได้ในสาหร่ายและจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงได้ (26) แคโรทีนเป็นสารโมเลกุลใหญ่มีสูตรทางเคมี  $C_{40}H_{56}$  และมีคุณสมบัติเป็นโปรวิตามินเอ และเมื่อแคโรทีนแตกตัวจะได้วิตามินเอ ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นภายในตับ แคโรทีนบริสุทธิ์จะมีผลึกเป็นสีแดงทึบที่ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ จากผลการทดลองเกสรบัวหลวงมีสีเหลืองจึงมีแคโรทีนอยด์ค่อนข้างสูงในเดือนที่ 0 หลังจากนั้นปริมาณลดลงเนื่องจากแคโรทีนถูกออกซิไดส์ได้ง่ายโดยออกซิเจนในอากาศ (18) ซึ่งจะเห็นว่าการบรรจุเกสรบัวหลวงในถุงสุญญากาศ และถุงอลูมิเนียมฟอยด์ช่วยรักษาปริมาณแคโรทีนอยด์ได้ จากการที่ภาชนะบรรจุชนิดนี้ป้องกันก๊าซออกซิเจนผ่านเข้าออกได้

กลิ่นเกสรบัวหลวงหลังการบรรจุในถุงทั้ง 4 ชนิดมีกลิ่นลดลงจนกระทั่งไม่มีกลิ่นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเดือนที่ 0-2 ยังคงมีกลิ่นของเกสรบัวแต่เมื่อเก็บรักษาผ่านไปในเดือนที่ 3- 6 เกสรบัวหลวงบรรจุในถุงพลาสติกใส และถุงพลาสติกใส + สารดูดซับความชื้นมีกลิ่นอยู่ในระดับปานกลาง และลดลงจนกระทั่งไม่มีกลิ่นในเดือนสุดท้าย ในขณะที่เกสรบัวหลวงบรรจุในถุงสุญญากาศและถุงอลูมิเนียมฟอยด์มีกลิ่นในระดับ

ปานกลางในเดือนสุดท้ายโดยไม่พบกลิ่นผิดปกติในเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงหึ่ง 4 ชนิด (ตารางที่ 7) จากงานวิจัยของบุษราคัมและคณะ (27) ได้สกัดน้ำมันหอมระเหยจากเกสรบัวหลวงราชินีพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดด้วยตัวทำละลายและไซเย็น ได้แก่ สาร 2,3- dihydro-3,5-dihydroxy-6-methylpyran-4-one และ Lidocain ในปริมาณที่แตกต่างกัน ส่วนน้ำมันหอมระเหยที่สกัดด้วยตัวทำละลายและไซร้อนพบเฉพาะสาร Ethyl Palmitate องค์ประกอบทางเคมีของเกสรบัวหลวงมีแนวโน้มถูกทำลายได้ง่ายจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative Reaction) เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศและองค์ประกอบทางเคมีเหล่านั้น ตัวอย่างเช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟลาโวนอยด์และวิตามินซี ผลของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนำไปสู่การเสื่อมเสียคุณภาพด้านกลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการระหว่างการเก็บรักษา การขนส่งและการวางจำหน่าย ดังนั้นกลิ่นที่หายไปของเกสรบัวหลวงหลังเก็บรักษาผ่านไป 6 เดือนเมื่อบรรจุในถุงพลาสติกใสอาจเนื่องจากคุณสมบัติพลาสติกที่ยอมให้ก๊าซออกซิเจนผ่านได้ และการบรรจุเกสรบัวหลวงในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ของเหลว ความชื้น รวมทั้งป้องกันกลิ่นได้

### สรุปผล

จากการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพของเกสรบัวหลวงเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสระยะเวลา 6 เดือนพบว่าเกสรบัวหลวงที่บรรจุในถุงสุญญากาศเมื่อเก็บรักษานาน 6 เดือนยังคงมีสีเหลืองสารต้านอนุมูลอิสระ และแคโรทีนอยด์สูงกว่าการบรรจุเกสรบัวหลวงในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ และถุงพลาสติกใสร่วมกับสารดูดซับความชื้น ตามลำดับ ส่วนการบรรจุเกสรบัวหลวงในถุงพลาสติกใสมีสีคล้ำ สารต้านอนุมูลอิสระ และแคโรทีนอยด์ต่ำสุดรวมทั้งไม่มีกลิ่นของเกสรบัวหลวง

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยี การเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ได้สนับสนุนเงินทุนงบรายได้ ประจำปี 2563 ในการงานวิจัยนี้

### เอกสารอ้างอิง

1. นันทวัน บุญยะประภัสสร. สมุนไพรไม้พุ่มบ้าน (2). กรุงเทพฯ: บริษัท ประชาชน จำกัด. 2541.
2. ธิดารัตน์ จันทร์ดอน. บัวหลวง...สัญลักษณ์แห่งพระพุทธศาสนา [อินเทอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 27 เม.ย. 2562]. จาก: <https://bit.ly/39NH8iS>
3. Jung HA, Kim JE, Chung HY, Choi JS. Antioxidant Principles of *Nelumbo nucifera* Stamens. *Pharm Res.* 2003;26(4):279-85.
4. Bhuvana S, Mahesh R, Begum VH. Effect of *Nelumbo nucifera* flowers on plasma lipids and glucose in young, middle-aged and aged rats. *Pharmacology online.* 2008;2:863-74.
5. Mukherjee PK, Saha K, Das J, Pal M, Saha BP. Studies on the anti-inflammatory activity of rhizomes of *Nelumbo nucifera*. *Planta Med.* 1997;63:367-9.
6. Ono Y, Hattori E, Fukaya Y, Imai S, Ohizumi Y. Anti-obesity effect of *Nelumbo nucifera* leaves extract in mice and rats. *J Ethnopharmacology.* 2006;106:238-44.
7. Kuananusorn P, Panthong A, Pittayanurak, P, Wanauppathamkul S, Nathasaend N, Reutrakul V. Acute and subchronic oral toxicity studies of *Nelumbo nucifera* stamens

- extract in rats. *J Ethnopharmacology*. 2011;134:789–95.
8. สุชาติดา เลหาศิลป์สมจิตร. การบรรจุภัณฑ์แอคทีฟสำหรับชาอบแห้ง. วารสารการเกษตรราชภัฏ. 2561;17(1):34-41.
  9. Lee J. Green tea: flavor characteristics of a wide range of teas including brewing, processing, and storage variations and consumer acceptance of teas in three countries [Doctor's thesis]. Kansas: Kansas State University; 2009.
  10. รุ่งนภา วิสิษฐุตรกร. การประเมินอายุการเก็บรักษาของอาหาร [เอกสารคำสอนวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2540.
  11. ปูน คงเจริญเกียรติ, สมพร คงเจริญเกียรติ. บรรจุภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพฯ: หิโยเฮง; 2541.
  12. มยุรี ภาคลำเจียก. फिल्मพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุหีบห่ออาหารว่าง. วารสารพลาสติก. 2536;10(3): 72-5.
  13. งามทิพย์ ภู่วโรดม. การบรรจุอาหาร (Food packaging). กรุงเทพฯ: เอส.พี.เอ็ม.; 2550.
  14. Knack K, Christensen LP. Effect of packing materials and storage time on volatile compounds in tea processed from flowers of black elder (*Sambucus nigra* L.). *Eur Food Res Technol*. 2008;227:1259-73.
  15. สุรัตน์วดี วงศ์คลัง, เลอลักษณ์ เสถียรรัตน์, อรุณพร อธิรัตน์. การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของบัวหลวง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 2557;45(2 พิเศษ):673-76.
  16. บังอร วงศ์รัก, ศิริลักษณ์ ปิยสุวรรณ. ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้าน [โครงการพิเศษปริญญาโท สาขา ส ๓ ๕ ๖ ๗ ๘ ๙ ๑๐ ๑๑ ๑๒ ๑๓ ๑๔ ๑๕ ๑๖ ๑๗ ๑๘ ๑๙ ๒๐ ๒๑ ๒๒ ๒๓ ๒๔ ๒๕ ๒๖ ๒๗ ๒๘ ๒๙ ๓๐ ๓๑ ๓๒ ๓๓ ๓๔ ๓๕ ๓๖ ๓๗ ๓๘ ๓๙ ๔๐ ๔๑ ๔๒ ๔๓ ๔๔ ๔๕ ๔๖ ๔๗ ๔๘ ๔๙ ๕๐]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล; 2549.
  17. Kundu P, Anitha K, Ramani N. Feeding impact of the vegetable mite, *Tetranychus neocaledonicus* André (*Acari: Tetranychidae*) on *Mentha Rotundifolia* L. *Int J Recent Sci Res*. 2016;7(4):10406-9.
  18. Dumbravă DG, Moldovan C, Raba D, Popa MV. Vitamin C, chlorophylls, carotenoids and xanthophylls content in some basil (*Ocimum basilicum* L.) and rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) leaves extracts. *J Agroalimnt Processes Technol*. 2012;18(3):253–58.
  19. Techavuthiporn C, Nakano K, Maezawa S. Prediction of ascorbic acid content in broccoli using a model equation of respiration. *Postharvest Biol Technol*. 2008;47:373-81.
  20. Villanueva MJ, Tenorio MD, Sagardoy M, Redondo A, Saco MD. Physical, chemical, histological and microbiological changes in fresh green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) stored in modified atmosphere packaging. *Food Chem*. 2005;91:609-19.
  21. Chew YL, Lim YY, Omal M, Khoo KS. Antioxidant activity of three edible seaweeds from two areas in South East Asia. *J Food Sci Technol*. 2008;41(6):1067-72.

22. Wu MJ, Wang L, Weng CY, Yen JH. Antioxidant activity of methanol extract of the lotus leaf (*Nelumbo nucifera* Gaertn.). *Am J Chin Med.* 2003;31:687-98.
23. Limwachiranon J, Huang H, Shi Z, Li Li Luo Z. Lotus flavonoids and phenolic acids: Health promotion and safe consumption dosages. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2018;17:457-71.
24. More RS, Chaubal SS. Determination of stress and comparison by estimation of chlorophyll-a, b and carotenoid contents among plants growing along Mithi River, Mumbai. *International Journal of Scientific & Engineering Research.* 2017;8(1):1-8.
25. Klomsakul P, Pumjumba D, Khunpratun S, Chalopagorn P. Determination of antioxidant property from some medicinal plant extracts from Thailand. *Afr J Biotechnol.* 2012;11(45):10322-7.
26. Dhir R, Harkess RL, Bi G. Physiological responses of Ivy Geranium “Beach” and “Butterfly” to heat stress. *J Am Soc Hortic Sci.* 2013;138(5):344-9.
27. บุษราคัม สิงห์ชัย, นิสิตา ตระกูลภักดี, สาวิตรี ทองลิ้ม. น้ำมันหอมระเหยจากเกสรบัวหลวงราชินี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.* 2560;25(1):27-34.



## A Cost-Effective and Environmentally Friendly Approach in Using Green Tea Extracts for The Determination of Iron Ion with PiCOEXPLORER

Yaowalak Khanhuathon and Napaporn Wannaprom\*

Chemistry Program, Faculty of Education, Chiang Rai Rajabhat University, Mueang, Chiang Rai 57100, THAILAND

\*Corresponding author e-mail: [napaporn1107@gmail.com](mailto:napaporn1107@gmail.com)

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

Article history:

Received: 24 July, 2020

Revised: 1 September, 2020

Accepted: 6 November, 2020

Available online: 13 April, 2021

DOI: [10.14456/rj-rmutt.2021.10](https://doi.org/10.14456/rj-rmutt.2021.10)

**Keywords:** green analytical method, green reagent, green tea extracts, PiCOEXPLORER device, pharmaceutical products

This research has been developed by using green tea extracts as a green reagent for the determination of iron ion in pharmaceutical products with PiCOEXPLORER as a detector. PiCOEXPLORER is a modern instrument based on the colorimetric system. It is a compact system and a portable device of a new generation. It is a small size colorimeter based on the RGB analysis system which allows displaying RGB intensity and absorbance for each Red (R), Green (G), and Blue (B) mode. The device is controlled by a program using an application on a smartphone with either iOS or Android operating systems. This portable device is convenient for on-site micro-scale analysis. Green tea extracts can be used as an alternative low cost and easily available reagent for the quantification of iron without purifying extraction before use. Parameters affecting the determination of iron content were optimized. Under the optimum conditions developed herein, the results showed good linearity over a Fe(III) concentration range from 2.5 to 30.0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  gave correlation coefficients of 0.9985 ( $y = 0.0093x - 0.002$ ) with a detection limit (LOD) of 0.5  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  and quantification limit (LOQ) of 1.3  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . The repeatability of the proposed method was less than 4 %RSD ( $n = 7$ ). The proposed method was successfully applied to pharmaceutical products. The results matched well with those obtained from the standard method as compared at a 95% confidence level with the paired *t*-test. The proposed method is

---

common, cost-effective, reduces the sample and reagent consumption, and is an environmentally friendly method. In addition, this device could be used as an alternative tool for spectroscopy study in terms of quantitative analysis instead of using a conventional spectrophotometer.

---

## INTRODUCTION

Iron (Fe) is one of the important minerals that help in the formation of red blood cells which is the source of oxygen to feed various parts of the body, development of the brain and regulation of body temperature (1). If the iron content is not enough in the body, it can cause disease as iron-deficiency anemia (2). Thus, iron is produced in the form of iron pills to provide enough iron content where is instead of eating. Therefore, quality control of antianemic preparations and quantification of iron content containing good accuracy and precision, simple, fast, and low-cost systems is interested.

Several methods have been used to quantify iron ion in pharmaceutical samples consist of UV-Visible spectroscopy (3), flame atomic absorption spectroscopy (4, 5), inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy (6), electrochemical (7, 8), and high-performance liquid chromatography technique (9, 10). These methods can present a high sensitivity, good accuracy and precision. However, they require skillful analysts, large instruments, high prices and tedious methods. Moreover, these methods use large quantities of a hazardous substance that lead to environmental contamination and health effects. PICOEXPLORER device is a new instrument based on the colorimetric system. This device is a

small instrument that requires a 30  $\mu\text{L}$  of minimum standard/sample volume per time. The analysis of samples was measured in a PCR tube. It can be easily controlled by a mobile phone or tablet and the signal of RGB light absorbance was recorded. Moreover, a calibration graph was constructed and saved in an application on a mobile phone or tablet and also all data will be uploaded to a computer.

Previous studies have reported on the use of green reagents for quantitative analysis of metals ion. For example, the determination of aluminium in pharmaceutical preparations with heartwood extracts (11) and the use of tea leaf extract for copper quantification in tap water samples (12). Both as mentioned above research was used sequential injection system based on spectrophotometric as a detector. The spectrophotometric flow injection system using green reagent extracted from morinda citrifolia root for the determination of aluminium in tea (13).

In this context, we are interested in using green tea extracts as a green reagent for the determination of iron ion due to in the north of Thailand especially in Chaing Rai province have a lot of green tea. Green tea contains the importance of polyphenolic compounds which are catechins, (-)-epigallo-catechin gallate (EGCG), and (-)-epicatechin gallate (ECG). These

compounds can be chelated with iron ion to obtain iron-polyphenolic complexes (14–17). For the determination of iron ion by using green reagent extracts such as the quantification of iron in pharmaceutical samples using flow injection system with green reagent extracts from guava leaf (18) and green tea (19).

The aim of this research is the use of green tea extracts as an alternative green reagent for the determination of iron ion in pharmaceutical products using the PiCO-EXPLORER device as a detector. The proposed method shows several advantages including common, fast analysis, small instrument, cost-effective, environmentally friendly, and reduces the sample and reagent consumption.

## MATERIALS AND METHODS

### *Reagents and chemicals*

A stock solution of  $1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  Fe(III) was prepared by dissolving 2.1585 g of ammonium iron(III) sulfate dodecahydrate ( $\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , Univar) in deionized (DI) water containing 1 %v/v concentrated sulfuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ , RCI Labscan Limited) and then adjusted with DI water to a volume of 250 mL. For the preparation of acetate buffer solution of pH 5.0 (1.0 M, 1000 mL) was prepared by dissolving 87.83 g of  $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  in DI water containing 20.30 mL of  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

The study of interferences that affect the analysis of iron content in a real sample was done by adding seven cations into Fe(III) solutions including  $\text{Mg}^{2+}$  ( $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , QRëC),

$\text{Ca}^{2+}$  ( $\text{CaCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , RCI Labscan Limited),  $\text{Ni}^{2+}$  ( $\text{NiCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , QRëC),  $\text{Mn}^{2+}$  ( $\text{MnSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$ , QRëC),  $\text{Cu}^{2+}$  ( $\text{CuCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , QRëC),  $\text{Cr}^{2+}$  ( $\text{CrCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , QRëC), and  $\text{Co}^{2+}$  ( $\text{CoCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , QRëC). Green tea was purchased in local stores that are produced in the area of Pasang, Maechan, Chiang Rai, Thailand. Green tea extracts were prepared with 5.00 g of dried green tea in 70.00 mL DI water at  $60^\circ\text{C}$ . The suspension was shaken for 15 min. Then, the suspension was filtered through a piece of No.1 filter paper (Whatman) and finally adjusted with DI water to a volume of 100.00 mL. The extract was prepared daily.

### *Apparatus*

The device used as a detector in this study was the PiCOEXPLORER™ Model PAS-110 photo absorbance sensor from USHIO Inc., Japan as shown in Figure 1. A standard method based on spectrophotometry using 1,10-phenanthroline as reagent was used to compare with the results obtained from the proposed method. A Thermo Scientific Genesys 840-208100 UV/Vis spectrophotometer with quartz cells was used for the detection of the absorbance of the iron-1,10-phenanthroline complex at 510 nm.

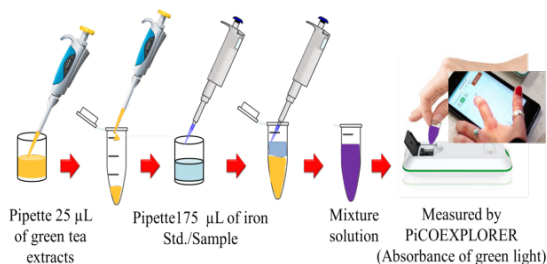
### *Sample solutions preparation*

Fifteen tablets were ground to obtain a powder portion. A powder portion which is containing about 40 mg Fe was precisely weighed and mixed with 25.00 mL of DI water and 1.00 mL of concentrated hydrochloric acid (HCL, RCI Labscan Limited). The mixture was



boiled on a hot plate for 30 min, then let it cool down at room temperature, and diluted with DI water to a volume of 500.00 mL. The mixture was filtered through filter paper (Whatman No.1). The filtrate sample solution was diluted (10 times) with DI water and then a 5.00 mL of diluted sample solution was transferred to a 25.00 mL. Standard Fe(III) solution was added to each flask to obtain the final added concentration of 5.0, 7.5, and 10.0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . A 0.25 mL of hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ , Merck) was added to make sure the complete oxidization from Fe(II) to Fe(III) before making the final volume to 25.00 mL with DI water.

*Determination of iron ion by using PiCOEXPLORER device as a detector*



**Figure 1** The set-up for determination of iron ion using green tea as a green reagent and recorded the absorbance of green light by PiCOEXPLORER device.

A simple determination of iron ion by PiCOEXPLORER device was set-up as shown in Figure 1. Firstly, 25  $\mu\text{L}$  of green tea extracts and 175  $\mu\text{L}$  of standard or sample solution was added in PCR tube. Then the mixture was reacted for 5 min before the absorbance of green light was detected by PiCOEXPLORER device.

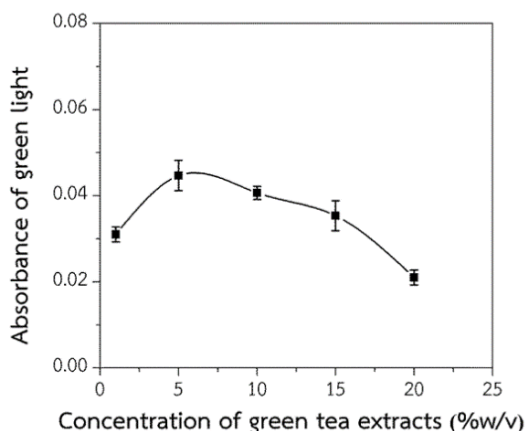
## RESULTS AND DISCUSSION

### *Optimization*

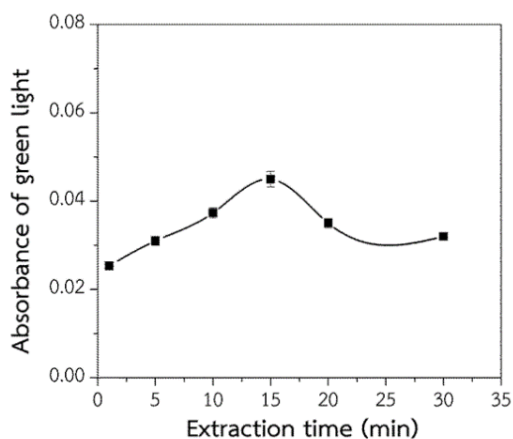
Parameters affecting the analysis of iron contents including the concentration of green tea extracts, extraction time, extraction temperature, buffer solution (pH), reaction time, and volume of green tea extracts were investigated. All results will be discussed below.

### *Effect of the concentration of green tea extracts*

Figure 2 shows the effects of the concentration of green tea extracts (1, 5, 10, 15, and 20 %w/v) that interacted with 10  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  Fe(III). Green tea contains various polyphenolic compounds. The major polyphenolic compounds are catechins, EGCG and ECG. The polyphenolic compound is their capability to reduce and chelate with iron ion and to form Fe-polyphenol complexes. Previous studies have been proposed mechanism about the complex formations that consist of two steps, firstly Fe(III) go through an ion-transferring process when forming the complex with low molecular weight catechin and EGCG, and then Fe(III) is reduced to Fe(II) and the catechin is oxidized to quinone (14, 16). This study showed that the absorbance of green light enhances to 5 %w/v of green tea extracts concentration after that the absorbance decreases due to the concentration of green tea extracts more than 5 %w/v may contain much caffeine. Caffeine cannot interact with Fe(III) making the detection of absorbance of green light decrease. Therefore, the concentration of green tea extracts at 5 %w/v was chosen as the optimum concentration for further studies.



**Figure 2** Absorbance of green light recorded by PiCOEXPLORER device for the study of green tea concentration effect in the range of 1 to 20 %w/v.



**Figure 3** Absorbance of green light recorded by PiCOEXPLORER device for the study of extraction time effect in the range of 1 to 30 min.

#### *Effect of extraction time*

The effect of extraction time was also evaluated since a longer extraction time should allow the more polyphenolic compound to be extracted but will also lead to a longer total analysis time. Extraction time varied from 1 to 30 min (1, 5, 10, 15, 20, and 30 min). The results showed that the absorbance of green light of

extraction time slightly increasing for the first 15 min and then decreased. Extraction time over 15 min making the absorbance of green light decreased due to longer extraction time may cause the amount of caffeine more than polyphenolic compounds which are the major compound in green tea (20). An extraction time of 15 min was chosen because it gave the highest absorbance as shown in Figure 3.

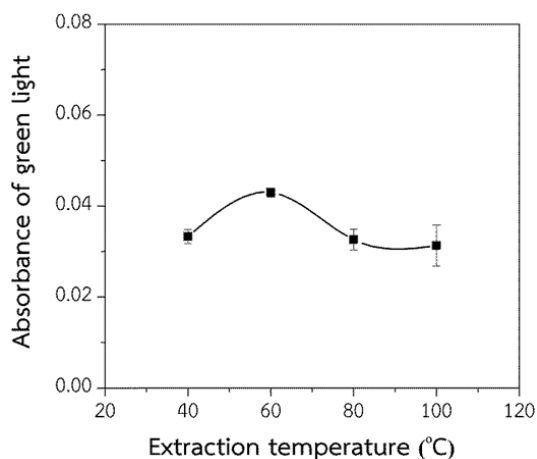
#### *Effect of extraction temperature*

Figure 4 exhibits the effect of the temperature of the solvent for green tea extraction. In this study, an extraction temperature varied from 40 to 100 °C (40, 60, 80, and 100 °C). The result indicating that 60 °C shows the highest absorbance of green light. Therefore extraction temperature at 60 °C was selected.

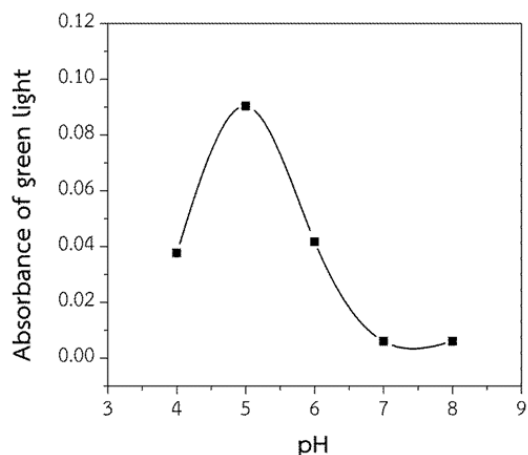
#### *Effect of buffer solution*

This research has been studying the effect of acetate buffer solution (pH 4–6) and a phosphate buffer solution (pH 7–8) on the formation complex of Fe(III) with green tea extracts. The buffer solution was optimized from weak acidic to weak alkaline buffer solution (pH 4, 5, 6, 7, and 8). Figure 5 displays that acidic buffer solution (pH 5) was a suitable condition for the formation of the complex of Fe(III) with green tea extracts because it gave the highest absorbance of green light. At weak acidic, neutral, and weak alkaline buffer solution (pH 6–8) the absorbance is decreased due to this buffer solution making the structure of polyphenolic

compounds change. Therefore an acidic buffer solution (pH 5) was selected.



**Figure 4** Absorbance of green light recorded by PiCOEXPLORER device for the study of extraction temperature effect in the range of 40 to 100 °C.

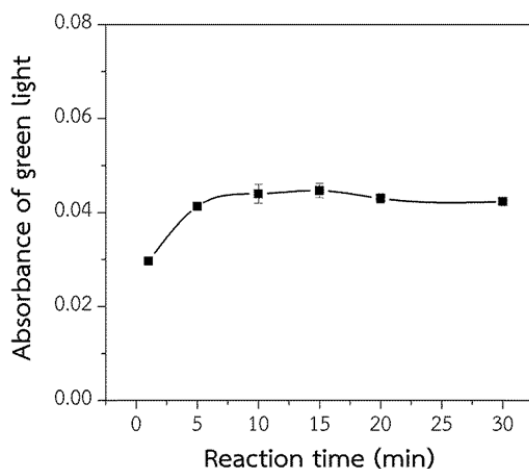


**Figure 5** Absorbance of green light recorded by PiCOEXPLORER device for the study of buffer solution effect in the range of 4 to 8.

#### *Effect of reaction time*

Various reaction times (1, 5, 10, 15, 20, 25, and 30 min) were studied. The variation of reaction time indicated that the absorbance of

green light is proportional to increasing reaction time and constant at long reaction time. As shown in Figure 6 the signal between a reaction time of 5 and 10 min is not different. Thus to save the analysis time the reaction time of 5 min was chosen.

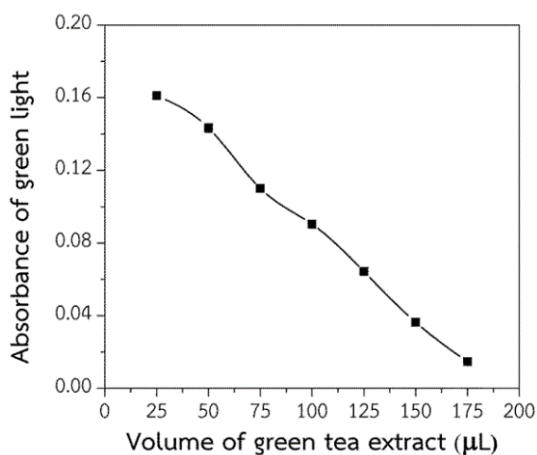


**Figure 6** Absorbance of green light recorded by PiCOEXPLORER device for the study of reaction time effect in the range of 1 to 30 min.

#### *Effect of the ratio between green tea extracts volume and standard/sample solution volume*

Owing to the limitation of PCR tube capacity (PCR tube, polypropylene, 200  $\mu$ L). This research uses the ratio between the natural reagent and standard/sample solution in 200  $\mu$ L as total volume. Figure 7 displays the plot of the volume of green tea extracts (25–175  $\mu$ L) and green light intensity. The results indicated that the volume of green tea extracts to standard/sample solution increase but green light intensity decrease. Therefore, the suitable condition of this study is 25:175  $\mu$ L of the ratio

of green tea extracts and standard/sample solution.



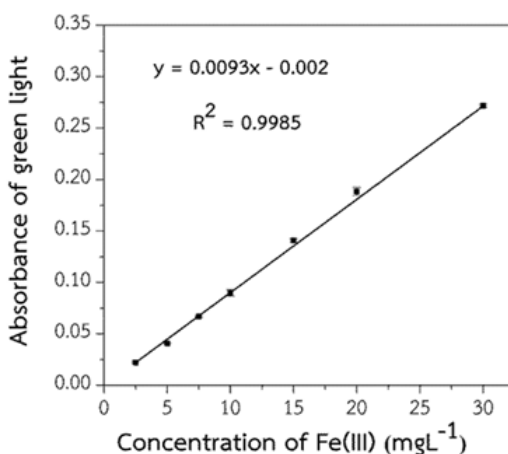
**Figure 7** Absorbance of green light recorded by PiCOEXPLORER device for the study of the ratio of the volume of green tea extracts and standard/sample solution effect in the range of 25 to 175 µL.

From all the above results we can summarize the variable ranges and optimum condition for the determination of iron ion using green tea extracts as a green reagent recorded by the PiCOEXPLORER device which is a newly developed method as shown in Table 1.

#### Study of interference

Interference studies were observed by adding seven cation including  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  into  $\text{Fe(III)}$   $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  solutions to obtain the last concentration of 1, 5 and  $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  which concentration ratios of  $\text{Fe(III)}$ :interference ion is 10:1, 2:1 and 1:1, respectively. The absorbance of green light obtained from these solutions was compared with the standard  $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{Fe(III)}$ . It was found that absorbance of green light of all

concentration ratio is slightly different with standard  $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{Fe(III)}$  by showing %RSD less than 3%. In this work, we did not study higher ratios of interference:  $\text{Fe(III)}$  concentration because pharmaceutical products usually do not contain these studied interfering ions at a higher quantity.



**Figure 8** The linearity range of  $\text{Fe(III)}$  standard using green tea extracts as a natural reagent recorded by PiCOEXPLORER device

Various parameters were optimized and optimal conditions as shown in Table 2 were applied for the studies of analytical characteristics including linearity range, the limit of detection (LOD), the limit of quantitation (LOQ) and determination of iron in pharmaceutical products. As indicated in Table 2, it was found that the linearity range of standard of  $\text{Fe(III)}$  is  $2.5$  to  $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Figure 8),  $0.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  of LOD and  $1.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  of LOQ, respectively. To provide the reproducibility of the developed method, we studied the interaction between green tea extracts with various concentrations of 5, 10, and  $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  of

Fe(III) and detected the absorbance of green light by PICOEXPLORER device ( $n = 7$ ). Precision, calculated as the percentage of relative standard deviation (%RSD) of all concentrations are 3.4–4.3, which is an acceptable range.

**Table1** Variable ranges and optimum conditions for the determination of iron using green tea extracts as a natural reagent recorded by PICOEXPLORER device.

Parameter studied	Range studied	Optimum level
Concentration of green tea extracts	1–20 %w/v	5 %w/v
Extraction time	1–30 min	15 min
Extraction temperature	40–100 °C	60 °C
pH	4–8	5
Reaction time	1–30 min	5 min
Volume of green tea extracts	25–175 $\mu$ L	25 $\mu$ L

**Table 2** Study of analytical characteristics obtained from Fe(III) standard solution

Parameter studied	Fe(III) standard solution
Linear regression equation	$y = 0.0093x - 0.002$ ( $R^2 = 0.9985$ )
Linear range (mg/L)	2.5–30
%RSD ( $n = 3$ ) over the linear range	0.0–3.6
LOD ( $3\sigma$ of blank) (mg/L)	0.5
LOQ ( $10\sigma$ of blank) (mg/L)	1.3
Precision (5.0, 10.0 and 20.0mg/L) ( $n = 7$ )	4.3, 3.5, 3.4 %RSD

**Table 3** Determination of iron in pharmaceutical samples by the proposed method and by the standard method based on spectrophotometry system

Sample No.	Form of iron	Amount of Fe(II) (mg/tablet)			%Deviation from standard method
		Label amount	Standard method	Proposed method	
1	Fumarate	100	105 $\pm$ 1	102 $\pm$ 2	-2.9
2	Fumarate	200	197 $\pm$ 6	199 $\pm$ 4	1.0
3	Fumarate	200	234 $\pm$ 10	231 $\pm$ 8	-1.3
4	Sulfate	135	117 $\pm$ 3	116 $\pm$ 3	-0.9

### *Application of green tea extracts for the determination of iron in pharmaceutical products*

The pharmaceutical products were purchased from local drug stores in Chiang Rai, Thailand. The sample preparation procedure was modified from the Association of Official Analytical Chemists (AOAC) method (21). A procedure as mentioned above in the part of experimental, three-drug and vitamin samples were analyzed using green tea extracts as a green reagent with standard addition method. A graph of the standard addition method was established by plotting the absorbance of green light versus the added concentration of iron. The iron contents in samples were evaluated as summarized in Table 3. The standard method based on spectrophotometry system using 1,10-phenanthroline as reagent was used to compare with the results obtained from the proposed method. It was found that the results from the proposed method were in good correlation with the standard method as compared at the 95% confidence level by the paired *t*-test ( $t_{\text{cal}} = 0.4588$ ,  $t_{\text{crit}} = 4.3026$ ).

### CONCLUSIONS

PiCOEXPLORER as a modern instrument based on a colorimetric system was developed for the 1.3 determination of iron in pharmaceutical products using green tea extracts as a green reagent. Green tea extracts can be used as an alternative low cost and easily available reagent for the quantification of iron

without purifying extraction before use. The green extract can be classified as a selective reagent for iron ion assay more than the other studied cation interference at the show on the iron pills products. This proposed method was successful in the determination of iron in pharmaceutical products and provides an alternative to other methods which is common, cost-effective, environmentally friendly, high precision and reduce the sample and reagent consumption. Iron contents were compared with the standard method; the results found both methods were the non-significant difference at 95% confidence level by the paired *t*-test. In addition, the proposed method can be classified as a micro-scale portable device.

### ACKNOWLEDGEMENTS

This research was financially supported by the Chemistry Program, Faculty of Education, and Research and Development Institute, Chiang Rai Rajabhat University. The authors gratefully acknowledge Prof.Dr. Kate Grudpan, Center of Excellence for Innovation in Analytical Science and Technology, Chiang Mai University, USHIO Inc., and Thai Unique Co., Ltd. for PiCOEXPLORERTM instrumentation support. We would like to thank projects of undergraduate students including Linlada Chaowing, Siriporn Bunsinthalai, and Warunyou Muangmool.

### REFERENCES

1. Hentze MW, Muckenthaler MU, Galy B, Camaschella C. Two to tango: regulation

- of mammalian iron metabolism. *Cell*. 2010;142:24–8.
- Clark SF. Iron deficiency anemia. *Nutr Clin Pract*. 2008;23:128–41.
  - Melwanki MB, Seetharamappa J, Masti SP. Spectrophotometric determination of iron(III) in ore, pharmaceutical formulations, plants material and foodstuff using piroxicam. *Indian J Chem*. 2003;42:576–8.
  - Zachariadis GA, Raidou ES, Themelis DG, Stratis JA. Determination of mineral content of active dry yeast used in pharmaceutical formulations. *J Pharm Biomed*. 2002;28:463–73.
  - Rajbhandari A, Aryal A, Rajbhandari SD. Determination of iron in iron tablets by spectrophotometry and atomic absorption spectroscopy. *Int J Pharm*. 2013;4(3):435–8.
  - Zachariadis GA, Michos CE. Development of a slurry introduction method for multi-element analysis of antibiotics by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry using various types of spray chamber and nebulizer configurations. *J Pharm Biomed*. 2007;43(3): 951–8.
  - Mahmoud WH. Iron ion-selective electrodes for direct potentiometry and potentiometric titrimetry in pharmaceuticals. *Anal Chim Acta*. 2001;436(2):199–206.
  - Merli D, Profumo A, Dossi C. An analytical method for Fe(II) and Fe(III) determination in pharmaceutical grade iron sucrose complex and sodium ferric gluconate complex. *J Pharm Anal*. 2012;2(6):450–3.
  - Khuhawar MY, Lanjwani SN. Liquid chromatographic determination of cobalt(II), copper(II) and iron(II) using 2-thiophenylaldehyde-4-phenyl-3-thiosemicarbazone as derivatizing reagent. *Talanta*. 1998;46:485–90.
  - Senyuva HZ, Sarica DY, Ozden T. Simultaneous determination of Fe(II) and Fe(III) in pharmaceutical sample by post-column derivatization/HPLC. *Turk J Chem*. 2002;26:425–30.
  - Siriangkawut W, Khanhuathon Y, Chantiratikul P, Ponhong K, Grudpan K. A green sequential injection spectrophotometric approach using natural reagent extracts from heartwood of *Ceasalpinia Sappan* Linn. for determination of aluminium. *Anal Sci*. 2016;32:329–36.
  - Costa AD, Sulistyarti H, Sabarudin A. Tea leaves extract as a natural reagent for quantification of copper using sequential injection analysis (SIA). *ARNP J Eng Appl Sci*. 2017;12(24):7274–6.
  - Tontrong S, Khonyoung S, Jakmunee J. Flow injection spectrophotometry using natural reagent from *Morinda citrifolia* root for determination of aluminium in tea. *Food Chem*. 2012;132(1):624–9.
  - Ryan P, Hynes MJ. The kinetics and mechanisms of the complex formation and antioxidant behaviour of the polyphenols

- EGCg and ECG with iron(III). *J Inorg Biochem.* 2007;101(4):585–93.
15. Elhabiri M, Carër C, Marmolle F, Traboulsi H. Complexation of iron(III) by catecholate-type polyphenols. *Inorg Chim Acta.* 2007;360:353–9.
16. Hynes MJ, Coinceanainn MO. The kinetics and mechanisms of the reaction of iron(III) with gallic acid, gallic acid methyl ester and catechin. *J Inorg Biochem.* 2001;85(2-3):131–42.
17. Khokhar S, Apenten RKO. Iron binding characteristics of phenolic compounds: some tentative structure–activity relations. *Food Chem.* 2003;81:133–40.
18. Settheeworrit T, Hartwell SK, Lapanatnoppakhun S, Jakmunee J, Christian GD, Grudpan K. Exploiting guava leaf extract as an alternative natural reagent for flow injection determination of iron. *Talanta.* 2005;68(2):262–7.
19. Pinyou P, Hartwell SK, Jakmunee J, Lapanatnoppakhun S, Grudpan K. Flow injection determination of iron ions with green tea extracts as a natural chromogenic reagent. *Anal Sci.* 2010;26:619–23.
20. Saklar S, Ertas E, Ozdemir IS, Karadeniz B. Effects of different brewing conditions on catechin content and sensory acceptance in Turkish green tea infusions. *J Food Sci Technol.* 2015;52(10):6639–46.
21. Cunniff P. Iron in drugs. In: Horwitz W, editor. *Official Method of Analysis of AOAC International.* 18th ed. vol 1. Gaithersburg: AOAC International; 1995. p. 11.





## ลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังถั่วเหลืองและขนมปังดอกดาวเรือง (*Tagetes erecta* L.)

### Sensory Characteristics of Soybean Breads and Marigold (*Tagetes erecta* L.) Breads

ณัฐกิตติ์ แพศรีธนรักษ์ นารียา ธนากรวิเศษ นริศรา เหลืองประภา กมลเนตร บุญวิเทียน และ ณัฐธญาณ ศรีสุวอ\*  
Nattakit Paresithanarak, Nareeya Thanakornvises, Narisara Luengprapha, Kamonnet Boonwitian and Nutthaya Srisuvor\*

ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ  
เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

Department of Food Technology and Nutrition, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep, Sathon, 10120, THAILAND

\*Corresponding author e-mail: nuttaya.s@mail.rmutk.ac.th

#### ARTICLE INFO

#### ABSTRACT

Article history:

Received: 10 August, 2020

Revised: 30 October, 2020

Accepted: 12 November, 2020

Available online: 28 April, 2021

DOI: 10.14456/rj-rmutt.2021.11

*Keywords:* sensory

characteristics, bread,

soybean, marigold

Bread is a popular food and convenient food that provides high energy from the carbohydrate. Consumers eat it as a substitute for rice in a meal or as a snack. Supplementing the nutritional values or phytochemicals in bread increases the nutritional benefits from the consumption of bread. The purposes of this research were to study the effects of supplementing soybean powder in breads and marigold petals in pound breads on the sensory characteristics. The soybean powder replaced low-protein wheat flour at the levels of 0 25 and 50 % (w/w) and marigold petals in the ratios of water: marigold petals as 1: 0, 1: 1, 1: 2 and 1: 3 (by weight) were evaluated using a preference test with a 5-point hedonic scale. The sensory evaluations of the breads supplemented with soybean powder showed that the appearance, color, odor, flavor, taste, texture, and overall liking of the 3 bread recipes were not significantly different ( $p > 0.05$ ). The pound breads supplemented with marigold petals at the ratios of 1: 0, 1: 1

and 1: 3 had the highest odor (3.8, 3.7, and 4.5 scores, respectively) and texture characteristics (4.4, 4.3, and 3.9 scores, respectively). At the ratio 1: 3 was the highest for flavor (4.2 scores). The supplementation with soybean powder in breads and marigold petals in pound breads did not affect appearance, color, taste, and overall preference ( $p > 0.05$ ). Therefore, soybean powder and marigold petals can be used in the functional foods to increase the nutritional value and phytochemicals in them. They can be used in other bakery products and commercial foods.

### บทคัดย่อ

ขนมปังเป็นอาหารที่นิยมและสามารถรับประทานได้สะดวก ให้พลังงานสูงจากคาร์โบไฮเดรต ผู้บริโภครับประทานขนมปังแทนข้าวในมื้ออาหารหรือเป็นอาหารว่าง การเสริมคุณค่าทางโภชนาการหรือสารพฤกษเคมีในขนมปังช่วยเพิ่มประโยชน์ทางโภชนาการจากการบริโภคขนมปัง วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ศึกษาผลของการเสริมผงถั่วเหลืองในขนมปังและกลีบดาวเรืองในขนมปังปอนด์ที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยศึกษาผงถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีชนิดโปรตีนต่ำที่ระดับร้อยละ 0 25 และ 50 (โดยน้ำหนัก) และกลีบดาวเรืองในอัตราส่วนของน้ำต่อกลีบดาวเรืองเท่ากับ 1: 0 1: 1 1: 2 และ 1: 3 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้วิธีการทดสอบความชอบด้วยคะแนนความชอบ 5 ระดับ การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังเสริมผงถั่วเหลืองพบว่าลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของขนมปังทั้ง 3 สูตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ขนมปังปอนด์เสริมกลีบดอกดาวเรืองที่อัตราส่วน 1: 0 1: 1 และ 1: 3 มีกลิ่นสูงสุด (3.8 3.7 และ 4.5 คะแนน ตามลำดับ) และลักษณะเนื้อสัมผัสสูงสุด (4.4 4.3 และ 3.9 คะแนน ตามลำดับ) และอัตราส่วน 1: 3 มีกลิ่นรสสูงสุด (4.2 คะแนน) การเสริมผงถั่วเหลืองในขนมปังและกลีบดาวเรืองในขนมปังปอนด์ไม่มีผลต่อลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบโดยรวม ( $p > 0.05$ ) ดังนั้นสามารถใช้ผงถั่วเหลืองและกลีบดาวเรือง

ในอาหารฟังก์ชันเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและสารพฤกษเคมีให้แก่ขนมปังโดยสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และอาหารทางการค้าชนิดอื่นได้

**คำสำคัญ:** ลักษณะทางประสาทสัมผัส ขนมปัง ถั่วเหลือง ดาวเรือง

### บทนำ

ในปัจจุบันขนมปังสามารถหาซื้อรับประทานได้ง่าย เป็นอาหารที่ให้พลังงานสูง มีส่วนประกอบของแป้ง สาลี ไขมัน ยีสต์ น้ำตาล และเกลือ (1) แต่มีโปรตีน วิตามิน เกลือแร่ และใยอาหารน้อย ถ้ารับประทานมาก อาจส่งผลกระทบต่อระบบการย่อยอาหาร และเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคอ้วน โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวาน หรือโรคความดันโลหิตสูง (2, 3) ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาการเสริมวัตถุดิบชนิดอื่นนอกเหนือจากคาร์โบไฮเดรตลงในเค้กและขนมปัง ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วขาว เกสรดอกบัวหลวง หรือดอกดาวเรือง เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและเส้นใยอาหารให้แก่ผลิตภัณฑ์ (4-8) โดยใช้วัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นมาผลิตเป็นอาหารเพื่อช่วยเพิ่มสารอาหารและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive Compounds) ให้สามารถป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีสี กลิ่น และรสชาติที่น่ารับประทานมากขึ้น

ถั่วเหลือง (Soybean) มีโปรตีนมากกว่าร้อยละ 50 เป็นโปรตีนที่ย่อยง่าย มีกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential Amino Acids) มีคาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน ซี ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม เหล็ก และใยอาหาร นอกจากนี้ยังมีไอโซฟลาโวน (Isoflavone) ในปริมาณสูง (1 กรัมต่อกิโลกรัม) ได้แก่ เดดซีน (Daidzein) และจีนิสทีน (Genistein) ที่ช่วยปรับสมดุลฮอร์โมนเอสโตรเจน (Estrogen) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันการติดเชื้อ ป้องกันการเกิดโรคมะเร็งเต้านม มะเร็งปอด ลด LDL และเพิ่ม HDL คอเลสเตอรอล ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ และโรคเบาหวานชนิดที่ 2 (8, 9) ช่วยให้เส้นผมเป็นเงางาม ป้องกันการเกิดฝ้าและริ้วรอยบนผิวหนัง ถั่วเหลืองมีเลซิทิน (Lecithin) ที่ช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือด โครงสร้างของเลซิทินมีโคลีน (Choline) ที่จำเป็นต่อการสร้างสารสื่อประสาทของสมอง ได้แก่ แอซีทิลโคลีน (Acetylcholine) หากร่างกายได้รับเลซิทินในปริมาณมากจะช่วยป้องกันการผิดปกติของระบบประสาทบางประเภทได้ ถั่วเหลืองมีซาโปนิน (Saponin) ที่ช่วยต้านการเกิดโรคอ้วน และเสริมสร้างตับให้แข็งแรง ผงถั่วเหลือง (Soybean Powder) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำถั่วเหลืองมาล้าง ทำให้แห้งโดยคั่วหรืออบให้สุก บดให้ละเอียด และนำไปร่อน (10) ผงถั่วเหลือง 100 กรัม ให้พลังงาน 417 กิโลแคลอรี หากรับประทานวันละ 16 กรัม จะทำให้เกิดผลดีต่อสุขภาพ ความงาม และควบคุมน้ำหนักได้ (11)

ดาวเรือง (Marigold) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Tagetes erecta* L. เป็นสมุนไพรที่ช่วยบำรุงสายตา (12, 13) มีสารให้สีในกลุ่มแคโรทีนอยด์ ได้แก่ ลูทีน (Lutein) และซีแซนทีน (Zeaxanthin) พบประมาณร้อยละ 80 และ 5 ตามลำดับ เป็นสารที่ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอในร่างกายได้ (Non-Provitamin a Carotenoids) เรียกว่า แซนโทฟิลล์ (Xanthophylls) นอกจากนี้ยังพบสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เทอร์ปีนอยด์ (Terpenoids) ฟีนอลิก (Phenolic) และเบตาแคโรทีน ( $\beta$ -carotene) เป็นสาร

ต้านอนุมูลอิสระและสารต้านจุลินทรีย์ มีฤทธิ์ช่วยต้านการเกิดโรคเบาหวาน (14-17) มนุษย์ไม่สามารถสร้างสารลูทีนและซีแซนทีนซึ่งเป็นสารสีเหลืองที่มีอยู่มากบริเวณจอประสาทตาเองได้จำเป็นต้องได้รับจากอาหารซึ่งช่วยป้องกันเซลล์ไม่ให้ได้รับอันตรายจากอนุมูลอิสระ ดาวเรืองที่มีสีเหลืองเข้มจะมีลูทีนมาก ช่วยลดความเสี่ยงของการเป็นโรคต้อกระจกและจอประสาทตาเสื่อม (14) มีการนำดาวเรืองมาสกัดทำสผสมอาหารและน้ำมันหอมระเหย หรือนำมาทำขนมเค้กดาวเรืองโดยนำดอกดาวเรืองไปทำให้สุกก่อนซึ่งจะช่วยเพิ่มการออกฤทธิ์ของลูทีน (6, 7) ดอกและรากดาวเรืองมีรสขมและเผ็ดเล็กน้อย มีฤทธิ์เป็นยาเย็น ออกฤทธิ์ต่อปอด และช่วยขับพิษร้อนในตับ ดอกดาวเรือง 3-10 กรัม ต้มกับน้ำช่วยแก้อาการเวียนศีรษะ ชักละลายเสมหะ แก้ไข้ในเด็กที่มีอาการชัก ดอกแห้ง 10-15 กรัม ต้มกับน้ำช่วยแก้อาการเจ็บ บวม และปวดตา ดอกสด 10-15 ดอก ต้มกับน้ำผสมน้ำตาลช่วยแก้อาการไอหวัด ไอกรน ไอเรื้อรัง และมีฤทธิ์เป็นยาขับลม (12, 18)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังเสริมถั่วเหลืองและขนมปังปอนด์เสริมกลีบดอกดาวเรืองทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้วัตถุดิบทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่า และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เส้นใยอาหาร และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพให้กับขนมปัง ซึ่งเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. วัตถุดิบ

แป้งขนมปัง (บริษัท ยูไนเต็ทฟลาวมิลล์ จำกัด (มหาชน)) แป้งเค้ก (บริษัท ยูเอฟเอ็ม ฟู้ดเซ็นเตอร์ จำกัด) ถั่วเหลืองผงอบสุก (บริษัท บ้านธัญญาทิพย์ ออร์แกนิก แอนด์เฮลท์ตี้ฟู้ด จำกัด) นมถั่วเหลืองพาสเจอร์ไรส์สูตรหวานน้อย (บริษัท โทฟุซัง จำกัด) ยีสต์แห้งสำเร็จรูปชนิด

หวาน (Hangzhou Bake Biotechnology co., Ltd) ผงฟูสูตรดับเบิลแอนด์คิง (Unilever Food Solutions) น้ำตาลทราย (บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด) เนยสดชนิดจืด (บริษัท มะลิ กรุ๊ป 1962 จำกัด) นมข้นจืด (บริษัท เอฟแอนด์ เอ็นแตรีส (ประเทศไทย) จำกัด) เกลือ (บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด) และไข่ไก่ (บริษัท เกษมชัยฟู้ด จำกัด) ซื้อมาจากห้างสรรพสินค้า แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร และซื้อดอกดาวเรืองจากตลาด ซอยสวนพลู เขตสาทร กรุงเทพมหานคร

2. การผลิตขนมปังถั่วเหลือง

ซึ่งส่วนผสมของขนมปังถั่วเหลืองในตารางที่ 1 โดยศึกษาปริมาณของผงถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีชนิดโปรตีนต่ำที่ระดับร้อยละ 0 25 และ 50 โดยน้ำหนัก ผสม

แป้งขนมปัง แป้งเค้ก ผงถั่วเหลือง ยีสต์ และผงฟูในเครื่องผสมอาหาร (5K5SSWH, KitchenAid, USA) ผสมน้ำตาลทราย นมถั่วเหลือง และไข่ ให้ละลายดี จากนั้นเทลงในส่วนผสมของแป้ง ตีให้เข้ากัน ใส่เนยสดและเกลือผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันจนไม่ติดภาชนะ จากนั้นตัดแบ่งเป็นก้อน ๆ ละ 25 กรัม นวดและขึ้นรูปเป็นก้อนโดและบ่มในตู้หมักแป้ง (L800V, Piron, Italy) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที หรือจนมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (4, 19) วางโดลงในถาดที่ทาเนย จากนั้นผสมนมข้นจืด ไข่ และน้ำ ทาลงบนโดแล้วนำเข้าเตาอบ (K341, Shinelong, Chaina) ควบคุมไฟบนและล่างที่อุณหภูมิ 160 และ 170 องศาเซลเซียส ตามลำดับเป็นเวลา 10 นาที หรือจนสุก แล้วนำออกจากเตา ทิ้งให้เย็น และบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของขนมปังถั่วเหลือง (19)

ส่วนประกอบ (กรัม)	ปริมาณผงถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีชนิดโปรตีนต่ำ (ร้อยละ)		
	0	25	50
แป้งขนมปัง	400	400	400
แป้งเค้ก	200	150	100
ผงถั่วเหลือง	-	50	100
ยีสต์แห้ง	10	10	10
ผงฟู	5	5	5
น้ำตาลทราย	120	120	120
เกลือ	5	5	5
น้ำสะอาด	100	100	100
นมถั่วเหลือง	100	100	100
ไข่ไก่	100	100	100
เนยสด	100	100	100
รวม	1,140	1,140	1,140

3. การผลิตขนมปังปอนด์ดอกดาวเรือง

ซึ่งส่วนผสมของขนมปังปอนด์ดอกดาวเรืองในตารางที่ 2 โดยศึกษาอัตราส่วนของน้ำต่อกลิบดาวเรืองเท่ากับ 1: 0 1: 1 1: 2 และ 1: 3 โดยใช้ น้ำสะอาด 50 กรัม ต้มให้เดือด

และใส่กลีบดาวเรืองสดที่ล้างน้ำสะอาด 0 50 100 และ 150 กรัม ตามลำดับ ต้มเป็นเวลา 2 นาที กรอง และพักไว้ จากนั้นผสมแป้งขนมปัง แป้งเค้ก และยีสต์ ลงในเครื่องผสมอาหาร (5K5SSWH, KitchenAid, USA) ตีให้เข้ากัน

ผสมน้ำตาลทราย น้ำสกัดกลีบดาวเรือง นมข้นจืด และไข่คนจนละลาย แล้วเทลงในส่วนผสมของแป้ง ตีให้เข้ากัน ใส่เนยสด และเกลือ ตีให้เข้ากันตีจนไม่ติดภาชนะ จากนั้นนำกลีบดาวเรืองที่ต้มสุกแล้วใส่ลงในส่วนผสมทั้งหมด ตีให้เข้ากัน (6, 19) และนำมาขึ้นรูปเป็นก้อนโต และคลุมด้วยผ้าขาวบางที่ขึ้นเล็กน้อย พักทิ้งไว้ 40-50 นาที แบ่งโดออกเป็นก้อนให้มีน้ำหนักเท่า ๆ กัน นวดไล่อากาศ พักต่ออีก 10 นาที ไล่อากาศด้วยไม้คลึงแป้ง และแบ่งโดออกเป็นก้อนให้มีน้ำหนักเท่ากัน วางลงในพิมพ์ที่ทาเนยแล้ว คลุมด้วยผ้าขาวบางที่ขึ้นเล็กน้อย และพักโดจนมีปริมาตรเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า (4) จากนั้นผสมนมข้นจืด ไข่ และน้ำ ทาลงบนโดก่อนนำเข้าอบที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส จนสุกดี (ประมาณ 30-35 นาที) นำออกจากเตา พักทิ้งไว้ และตัดเสิร์ฟ

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของขนมปังดอกดาวเรือง (19)

ส่วนประกอบ (กรัม)	อัตราส่วนน้ำ: กลีบดาวเรือง			
	1: 0	1: 1	1: 2	1: 3
แป้งขนมปัง	200	200	200	200
แป้งเค้ก	100	100	100	100
ยีสต์แห้ง	5	5	5	5
น้ำตาลทราย	60	60	60	60
เกลือ	2.5	2.5	2.5	2.5
น้ำสะอาด	50	50	50	50
กลีบดาวเรือง	0	50	100	150
นมข้นจืด	50	50	50	50
ไข่ไก่	50	50	50	50
เนยสด	50	50	50	50

#### 4. การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส

ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยวิธีการทดสอบความชอบ (Preference Test) ด้วยคะแนนความชอบ 5 ระดับ (5-Point hedonic scale) ได้แก่ 5 หมายถึง

ชอบมาก 4 หมายถึง ชอบ 3 หมายถึง รู้สึกเฉย ๆ 2 หมายถึง ไม่ชอบ และ 1 หมายถึง ไม่ชอบมาก ผู้ทดสอบชิม ได้แก่ นักศึกษา และอาจารย์ สาขาวิชาธุรกิจอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ จำนวน 40 คน

#### 5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

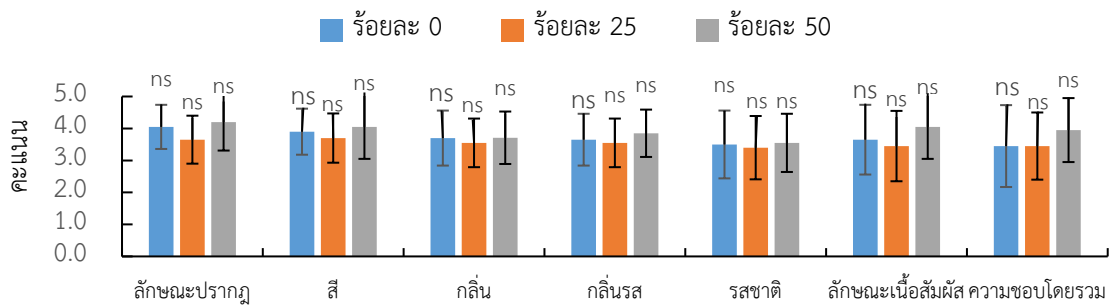
วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Analysis of Variance (One Way ANOVA) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

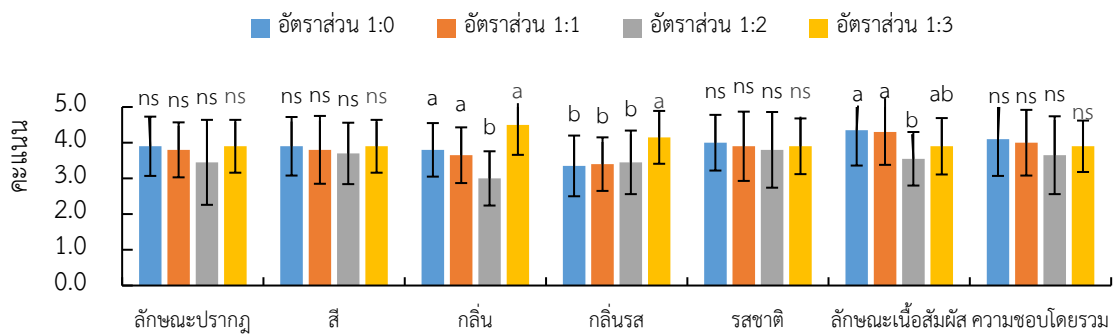
ผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังเสริมผงถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีชนิดโปรตีนต่ำที่ระดับร้อยละ 0 25 และ 50 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 1 จากผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่าขนมปังเสริมผงถั่วเหลืองที่ระดับร้อยละ 0 25 และ 50 โดยน้ำหนัก ได้รับความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เนื่องจากน้ำหนักของผงถั่วเหลืองในขนมปังทั้ง 3 สูตร มีน้อยกว่าน้ำหนักของแป้งสาลีที่ใช้ในส่วนผสม ได้แก่ แป้งขนมปัง และแป้งเค้ก จึงทำให้ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างทางด้านลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังทั้ง 3 สูตรได้ ดังนั้นการเสริมผงถั่วเหลืองในขนมปังจึงเลือกใช้ผงถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีชนิดโปรตีนต่ำในปริมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เนื่องจากไม่มีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส และการเสริมผงถั่วเหลืองในปริมาณมากขึ้นช่วยเพิ่มปริมาณสารอาหารไฟโตเอสโตรเจน (Phytoestrogen) และกากใยอาหารให้แก่ขนมปัง ซึ่งทำให้ผู้บริโภคที่ไม่ได้รับสารอาหาร

เพียงพอโดยเฉพาะโปรตีนในการบริโภคขนมปังแทนอาหาร 1 มื้อ สามารถได้รับโปรตีนจากถั่วเหลืองที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงใกล้เคียงกับโปรตีนจากเนื้อสัตว์และไข่ ซึ่งถั่วเหลืองเป็นโปรตีนจากพืชที่ง่าย ช่วยในการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย มีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วนต่อการเสริมสร้างโปรตีนชนิดต่าง ๆ ในร่างกาย อีกทั้งมีกรดไขมันที่จำเป็น (Essential Fatty Acids) วิตามิน เกลือแร่ และกากใยอาหาร (8) รวมทั้งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ไอโซฟลาโวน และลิกแนน (Lignans) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ ให้แก่ร่างกาย (9) แต่ทั้งนี้ปริมาณการใช้ผงถั่วเหลืองเสริมลงในอาหารควรคำนึงถึงผลต่อสุขภาพ และปริมาณการใช้ตามข้อกำหนดของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข มีรายงานว่าบริโภคผงถั่วเหลืองวันละ 16 กรัม ช่วยทำให้เกิดผลดีต่อสุขภาพ ความงาม และช่วยควบคุมน้ำหนักได้ (11) ถ้านำผงถั่วเหลืองที่เป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรมาทดแทนแป้งสาลีที่

นำเข้าจากต่างประเทศได้มากขึ้นจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตขนมปัง และช่วยลดการนำเข้าแป้งสาลีจากต่างประเทศได้มากขึ้น จากผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่เสริมผงถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีชนิดโปรตีนต่ำพบว่า สามารถเสริมผงถั่วเหลืองได้ในปริมาณมากกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก โดยไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค และเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ กากใยอาหาร และสารออกฤทธิ์ที่สำคัญทางชีวภาพของถั่วเหลือง ซึ่งจะช่วยป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ และก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับความต้องการและความชอบของผู้บริโภค ได้มีการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ทำจากถั่วเหลืองซึ่งสามารถใช้ปริมาณถั่วเหลืองในสูตรขนมปังได้สูงถึงร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก และพบว่าผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ทำจากถั่วเหลืองบดรสช็อกโกแลต รสนมกลิ่นนมเนย และรสนมกลิ่นวานิลลาได้รับความชอบจากผู้บริโภคมากกว่าผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ทำจากถั่วลิสงบดอย่างมีนัยสำคัญ (20)



รูปที่ 1 ผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังถั่วเหลือง



รูปที่ 2 ผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังปอนด์ดอกดาวเรือง

ผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังปอนด์เสริมกลีบดาวเรื่องที่อัตราส่วนของน้ำตาลต่อกลีบดาวเรื่องเท่ากับ 1: 0 1: 1 1: 2 และ 1: 3 ดังแสดงในรูปที่ 2 ผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่า ขนมปังปอนด์เสริมกลีบดาวเรื่องที่อัตราส่วน 1: 1 และ 1: 3 ได้รับความชอบทางด้านกลิ่นสูงสุด (3.7 และ 4.5 คะแนน ตามลำดับ) และลักษณะเนื้อสัมผัสสูงสุด (4.3 และ 3.9 คะแนน ตามลำดับ) ( $p \leq 0.05$ ) และไม่แตกต่างจากขนมปังปอนด์ที่ไม่ใส่กลีบดาวเรื่อง (1: 0) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ชอบกลิ่นและลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังปอนด์ที่เสริมกลีบดาวเรื่องในปริมาณน้อย (1: 1) และกลุ่มที่ชอบกลิ่นและลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังปอนด์ที่เสริมกลีบดาวเรื่องในปริมาณมาก (1: 3) และยังพบว่าขนมปังปอนด์เสริมกลีบดาวเรื่องที่อัตราส่วน 1: 3 ได้รับความชอบทางด้านกลิ่นรสมากที่สุด (4.2 คะแนน) เนื่องจากมีการใช้กลีบดาวเรื่องในปริมาณมากส่งผลทำให้ผู้บริโภคได้กลิ่นหอมและรสชาติของกลีบดาวเรื่องชัดเจนมากที่สุด นอกจากนี้ผู้ทดสอบชิมชอบขนมปังเสริมกลีบดาวเรื่องทั้ง 3 อัตราส่วนไม่แตกต่างกันทางด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ และความชอบโดยรวม ( $p > 0.05$ ) เนื่องจากปริมาณกลีบดาวเรื่องทั้ง 3 สูตรที่ผ่านการต้มแล้วอาจไม่เพียงพอที่จะทำให้ผู้ทดสอบชิมสามารถแยกความแตกต่างทางด้านลักษณะปรากฏ สี และรสชาติของขนมปังได้อย่างชัดเจน ดังนั้นการเสริมกลีบดาวเรื่องเพื่อให้ผู้บริโภคได้รับสารสี กลิ่น รสชาติ เส้นใยอาหาร และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมากที่สุด รวมทั้งได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส จึงควรเสริมกลีบดาวเรื่องในปริมาณที่มากขึ้นเพื่อให้เกิดประโยชน์ของสารพฤกษเคมีที่มีต่อร่างกายให้มากที่สุดโดยที่ผู้บริโภคยังให้การยอมรับทางประสาทสัมผัส ในอนาคตควรมีการหาปริมาณสารพฤกษเคมีและวิธีการที่จะทำให้สารพฤกษเคมีในขนมปังมีความเสถียรทั้งในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา

## สรุปผล

การเสริมผงถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีชนิดโปรตีนต่ำที่ระดับร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ไม่มีผลกระทบต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส และการเสริมกลีบดาวเรื่องในขนมปังปอนด์ที่อัตราส่วนน้ำตาลต่อกลีบดาวเรื่อง 1: 0 1: 1 และ 1: 3 ได้รับความชอบทางด้านกลิ่นและลักษณะเนื้อสัมผัสสูงสุด และอัตราส่วน 1: 3 ได้รับความชอบทางด้านกลิ่นรสสูงสุดในอนาคตควรมีการศึกษาปริมาณและความเสถียรของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เสริมลงในขนมปังทั้งในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้บริโภคสูงสุด

## เอกสารอ้างอิง

1. Luangsakul N, Nualkaekul S. Cooking bible: Bakery. 5th ed. Bangkok: Amarin Printing & Publishing Public; 2018. Thai.
2. Vos MB, Kaar JL, Welsh JA, Horn LVV, Feig DI, Anderson CAM, et al. Added sugars and cardiovascular disease risk in children: A scientific statement from the American heart association. *Circ*. 2017;135(19):e1017-34.
3. Picincu A. Does Sugar Turn into Fat? [Internet]. n.p: Livestrong; 2019 [updated 19 Nov 09; cited 20 Apr 02]. Availability from: <https://www.livestrong.com/article/408673-does-sugar-turn-into-fat/>
4. Manantapong K, Songpranam P, Kamdaen O. [Development from pollen of lotus for bread]. Pathum Thani: Rajamangala University of Technology Thanyaburi; 2011, 125353. Thai.
5. Meemuk W, Kanchana R, Oupathumpanont, O. [Development of bread with kidney bean

- product by apply of design of experiments]. J Eng RMUTT. 2012;10(2):13-21. Thai.
6. Voicetv. Handing out recipes of marigold cake, herbal dessert for nurturing eyes [Internet]. Bangkok: Voicetv; 2017 [updated 17 Jun 23; cited 20 Apr 12]. Availability from: <https://www.voicetv.co.th/read/501253>. Thai.
  7. Sentangsedtee Online. Marigold cake is delicious too and it helps nourish the eyes [Internet]. Bangkok: Matichon; 2017 [updated 21 Mar 07; Cited 2020 Apr 12]. Availability from: [https://www.sentangsedtee.com/exclusive/article\\_36118](https://www.sentangsedtee.com/exclusive/article_36118). Thai.
  8. Adalakun OE, Duodu KG, Buys E, Olanipekun BF. Potential use of soybean flour (glycinemax) in food fortification. In: El-Shcmy HA, editor. Soybean-Bio-Active Compounds. Rijeka, Croatia: InTech; 2013. p. 513-20.
  9. Fuentes E, Guzmán L, Carrasco G, Leiva E, Moore-Carrasco R, Palomo I. Food, nutrition and health. In: El-Shemy HA, editor. Soybean-Bio-Active Compounds. Rijeka, Croatia: InTech; 2013. p. 521-46.
  10. Thai Community Product Standard. (TCPS. 688/2547). Soybean Powder [Internet]. Bangkok: Thai Industrial Standards Institute; 2004 [cited 20 Apr 02]. Availability from: [http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps688\\_47](http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps688_47.pdf). pdf. Thai.
  11. Anngle. How to make “Kinako”, many useful soybean powder for both health and beauty [Internet]. Bangkok: Tencent; 2019 [updated 19 Oct 20; cited 20 Apr 02]. Availability from: <https://www.sanook.com/women/151953/>. Thai.
  12. Thiengburanathum W. Dictionary of Thai Herbs. 5th ed. Bangkok: Ruamsarn; 1999. Thai.
  13. Ruangrunsi N, Mangalakup T. Thai Herbs. Vol 1. Bangkok: Than Printing; 2004. Thai.
  14. Chainok K. Marigolds...yellow flowers are good for the eyes [Internet]. Bangkok: MedHerb Guru; 2018 [cited 2020 Apr 03]. Availability from: [http://medherbguru.gpo.or.th/articles/d59\\_marigold.pdf](http://medherbguru.gpo.or.th/articles/d59_marigold.pdf). Thai.
  15. Wang W, Xu H, Chen H, Tai K, Liu F, Gao Y. In vitro antioxidant, anti-diabetic and antillipemic potentials of quercetagenin extracted from marigold (*Tagetes erecta* L.) inflorescence residues. J Food Sci Tech. 2016;53(6):2614-24.
  16. Ayub MA, Hussain AI, Hanif MA, Chatha SAS, Kamal GM, Shahid M, et al. Variation in phenolic profile,  $\beta$ -carotene and flavonoid contents, biological activities of two tagetes species from Pakistani flora. Chem Biodivers. 2017;14(6):e1600463-70.
  17. Saani M, Lawrence R, Lawrence K. Evaluation of pigments from methanolic extract of *Tagetes erecta* and *Beta vulgaris* as antioxidant and antibacterial agent. Nat Prod Res. 2018;32(10):1208-11.
  18. Boonvorapat V. Encyclopedia of Thai-Chinese Herbs are Frequently Used in



- Thailand. Bangkok: Association of Traditional Chinese Medicine in Thailand; 2011. Thai.
19. Wangyao P. Bakery Recipes, Palace People (Wangyao). Bangkok: Rajamangala Institution of Technology, Technical Krunghthep Campus; n.d. Thai.
20. Charoenkulsak W. Accarabovon W. [Development of soy spread] [bachelor's thesis]. Bangkok: Mahidol University; 2005. Thai.



## *In Vitro* Self and Cross Pollinated Seed Culture of *Nymphaea rubra* ‘Maeploi’, A Night – Blooming Tropical Waterlily Hybrid (Nymphaeaceae) from Thailand Itsaraphong Khaenthong<sup>1\*</sup>, Ngarmnij Chuenboongarm<sup>2</sup> and Atchara Muengkrut<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Division of Building and Site Administration, Office of the President, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND

<sup>2</sup>Department of Plant Science, Faculty of Science, Mahidol University, Phayathai Campus, Ratchathewi, Bangkok 10400, THAILAND

\*Corresponding Author E-mail: itsaraphong\_k@rmutt.ac.th

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

Article history:

Received: 29 May, 2020

Revised: 21 July, 2020

Accepted: 6 November, 2020

Available online: 28 April, 2021

DOI: 10.14456/rj-rmutt.2021.12

**Keywords:** Nymphaeaceae, interspecific hybridization, hand pollination, germination, *ex situ* conservation

This research was aimed to develop culture medium enhancing the germination of self and cross-pollinated seeds in *Nymphaea rubra* ‘Maeploi’ and *Nymphaea pubescens* Willd. The self-pollinated seeds of *N. rubra* ‘Maeploi’ were investigated for surface sterilization method, seed culture medium and light conditions. The self-pollinated seeds were surface sterilization with 20% (v/v) sodium hypochlorite (NaOCl) at various times (5, 10, 15 and 20 min), followed by the second surface sterilization with NaOCl at different concentrations (5, 10, 15 and 20% (v/v)) for 10 min. MS medium at different strengths (MS, 1/2MS, 1/4MS, 1/8MS) was also studied to rescue the cross-pollinated seeds, compared to control. The results showed that the fruit set percentages of *N. pubescens* x *N. rubra* ‘Maeploi’ and *N. rubra* ‘Maeploi’ x *N. pubescens* were low at 5% and 3.33%, respectively. The *N. rubra* ‘Maeploi’ self-pollinated seeds were soaked with 20% (v/v) NaOCl for 5 min, followed by the sterilization with 5% (v/v) NaOCl for 10 min showed without the microbial contamination. Moreover, the suitable medium for *N. rubra* ‘Maeploi’ self-pollinated seeds was 1/8MS semi solid medium under dark condition. The germinated seedlings were developed shoots (60%), immature leaves (51.67%), and roots (48.33%) after 4 weeks of culture. Germination

---

percentages of *N. rubra* 'Maeploi' and *N. pubescens* self-pollinated seeds cultured on 1/8MS were 51.67 higher than those of cross-pollinated seeds of *N. pubescens* x *N. rubra* 'Maeploi' and *N. rubra* 'Maeploi' x *N. pubescens* (35 and 31.67%, respectively).

---

## INTRODUCTION

*Nymphaea* is the largest genus of waterlilies that classified into the family Nymphaeaceae, which consists of two groups: Apocarpiae and Syncarpiae, (1-4). The Apocarpiae group contains three subgenera, especially *Anecphyra* (an Australian tropical waterlily), *Confluentes* (an Australian tropical waterlily) and *Brachyceras* (a day-blooming tropical waterlily). In the Syncarpiae group also consists of three subgenera, such as *Hydrocallis* (a night-blooming tropical waterlily), *Lotos* (a night-blooming tropical waterlily) and *Nymphaea* (a hardy waterlily) (3). The members of this genus are approximately 50 species which are widely distributed in both tropical and temperate areas (1; 5) for example, *Nymphaea rubra* Roxb. ex Andrews and *N. pubescens* Willd., which are classified into the subgenus *Lotos*. They are a night-blooming tropical waterlily and their flowers are opened during 07.00 p.m. to 10.00 a.m.) in the Thai climate (3). *N. rubra* 'Maeploi' is a Thai waterlily hybrid cultivar in the nature that registered to the international waterlily and water gardening society (IWGS) by Dr. Slearmlarp Wasuwat in 2002 (Figure 1A). This waterlily cultivar has the light brown on adaxial side and dark green on abaxial side of leaf. Its dark pink flowers like a ruby which are smaller size than its related waterlily species, especially *N. rubra* Roxb. ex Andrews. For *N. pubescens*

Willd., a beautiful night-blooming tropical waterlily with the white flowers and yellow stamen, which is beyond to be its unique characteristics. It has been reported that the ethanolic extract of its flowers could induce apoptosis in human cervical and breast carcinoma cells *in vitro*, and therefore, this plant species was used as a medicinal plant for cancer therapy with anti-proliferation activity (6). These two waterlily species have been chosen because they are tropical potted aquatic plants and used as ornamental waterlilies for building decoration and water gardening (7). In order to conserve this natural waterlily hybrid for genetic resource and to produce a mass numbers of germinated seedlings of the interspecific waterlily hybrids, the both of self and cross pollination were investigated. However, the report on seed culture under aseptic technique of these two waterlily species is still limited.

Hence, factors affecting on fertilization, fruit setting and germination of cross-pollinated seeds between *N. rubra* 'Maeploi' and *N. pubescens* were observed for the interspecific waterlily hybrid production. The main goal of this study was aimed to develop the culture medium for increasing the germination and survival percentage of self-pollinated seeds of *N. rubra* 'Maeploi' and *N. pubescens*, and cross-pollinated seeds between *N. rubra* 'Maeploi' and *N. pubescens*. According to the results from

this study will be used as an effective procedure for further studies and research involved in *in vitro* and *ex vitro* propagation, varietal improvement and *ex situ* conservation of a night-blooming tropical waterlilies and several aquatic plants.

## MATERIALS AND METHODS

### Experiment I: Self and cross pollination

Self-pollination of *N. rubra* ‘Maeploi’, *N. pubescens*, and cross pollination between *N. rubra* ‘Maeploi’ and *N. pubescens* (*N. pubescens* × *N. rubra* ‘Maeploi’ and *N. rubra* ‘Maeploi’ × *N. pubescens*) were performed by hand pollination that is described as conventional breeding. The vigorous parental plants of two selected waterlily species were collected at lotus museum, Division of Building and Site Administration, Office of the President, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT), Pathum Thani, Thailand, which were used as plant materials in this study (Figure 1A-B). Because of the receptivity of stigma former their stamen within the same flower on the first day (1<sup>st</sup> day) blooming, therefore, the 1<sup>st</sup> day blooming flowers were only used as the female parent plant (seed plant) while the second day (2<sup>nd</sup> day) or the third day (3<sup>rd</sup> day) blooming flowers were used as male parent plants (pollen plant). To cross pollinate these two selected waterlily species, the pollen grains were collected from one flower and then taken to deposit them into the nectar or stigmatic fluid on the center of stigma of a first day bloom, following by reciprocal cross pollination. Each pollination of self and interspecific cross in *N. rubra* ‘Maeploi’ and *N. pubescens* was performed by

sixty flower blooms. Fruit set percentages of self and cross pollination were monitored and recorded after hand pollination for one week.

### Experiment II: Surface sterilization on self-pollinated seeds of *N. rubra* ‘Maeploi’

Self-pollinated seeds of *N. rubra* ‘Maeploi’ (Figure 1E) were pre-sterilized by mild detergent and then dipped into 70% ethanol for 60 seconds before sterilization with sterilizing reagent. The first surface sterilization was examined by 20% (v/v) sodium hypochlorite (NaOCl) solution in various soaking times (5, 10, 15, and 20 min). Regarding to the second surface sterilization was studied at different concentrations (5%, 10%, 15%, and 20% (v/v)) of NaOCl solution for 10 min. Seeds were cultured on semi solid Murashige and Skoog (MS) (8) medium without plant growth regulators (PGRs) and then incubated at  $25 \pm 2$  °C, under the cool white fluorescent light at intensity of  $37 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  for 16 hours per day. Each treatment contained six replications and each replication had ten seeds. Contamination and seed germination percentages were recorded after four weeks of culture.

### Experiment III: Culture medium development for seed culture of *N. rubra* ‘Maeploi’

In case of culture medium development, self-pollinated seeds of *N. rubra* cv ‘Maeploi’, 0.2 – 0.3 cm in diameter were cultured on different strengths of MS semi-solid medium: MS, 1/2MS, 1/4MS and 1/8MS, pH at 5.6 – 5.8 and then maintained under the same light condition in experiment II, when compared to dark condition. Six replications were performed with ten seeds

per replication. Seed germination percentage, seedling survival percentage, shoot formation, leaf formation and root formation were recorded after four weeks of culture.

#### *Experiment IV: In vitro culture of cross-pollinated N. rubra 'Maeploi' seeds*

Self and cross-pollinated seeds of two selected waterlily species were obtained from the experiment I. The sample seeds were surface sterilized using the suitable procedures from the experiment II, cultured on the suitable strength of MS semi-solid medium from experiment III, compared to the control. The experiment was also taken to place under the standard culture conditions that consisted of incubation temperature at  $25 \pm 2$  °C, under the cool white fluorescent lamps originating the light intensity of approximately  $37 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  for 16 hours photoperiod. Each treatment was performed with six replications and ten seeds per replication. Seed germination percentage, seedling survival percentage, shoot formation, leaf formation and root formation were also monitored and recorded after four weeks of culture.

#### *Data collection and statistical analysis*

All experiments were arranged by a completely randomized design (CRD). The data were statistically subjected to a one-way analysis of variance (ANOVA, F-test) using SPSS version 22.0. The means  $\pm$  standard error (SE) were compared by using Duncan's multiple range test (DMRT) with the level of significance at 5%.

The results showed that fruit set percentage of self-pollinated flowers of *N. rubra* 'Maeploi' and *N. pubescens* were 1.67 and 11.17%, respectively. Whereas, the cross-pollinated flowers of *N. pubescens* x *N. rubra* 'Maeploi' and *N. rubra* 'Maeploi' x *N. pubescens* resulted in 5% and 3.33% of fruit set (Table 1). This data indicated that fertilization processes rarely occurred in both self and cross pollinations of these two *Nymphaea* species. Thus, the self and cross barriers in the same species or interspecific hybridizations, including the pre- and post-fertilization incompatibility of self and cross pollination are required for further investigation.

Previous study, Sun et al. (21) reported the pollen viability, pollen germinability and time after pollination (hour, h) influenced on self and cross-pollination of four tropical waterlilies, especially *N. odorata* 'Peter Slocum', *N. colorata*, *N. micrantha* and *N. gigantea*. The results showed that the highest number of germinated pollen grains on stigmas in the self-pollinated *N. odorata* 'Peter Slocum' was peaked at 12 hours after pollination (HAP). At the same time, the self-pollination of *N. odorata* 'Peter Slocum' gave a high percentage (81.2%) of normal embryos. Whereas, the normal embryos and seeds were not produced from the *N. odorata* 'Peter Slocum' x *N. micrantha*, *N. odorata* 'Peter Slocum' x *N. colorata* and *N. odorata* 'Peter Slocum' x *N. gigantea* crosses. From the results suggested that pre- and post-fertilization barriers existed together in these crosses, which may be the main causes resulting in the failure and embryo abortion of interspecific hybridizations in waterlily

## RESULTS AND DISCUSSION

(21). Like the low seed set in some crosses between *Nymphaea* 'Fen Zhuang', *Nymphaea* 'Bai Lu' and *Nymphaea* 'Hong Ying' was from the low pollen viability, low pistil receptivity and embryo abortion (22). In another plant species, hand pollination in *Oxalis corymbosa* for evaluating the flower characteristics in sample population. The resulted showed that some sample populations were not produced seeds after fertilization that caused from limitations of pollen transfer. Almost cross-pollinated seeds were less germination and also failed to grow in early development of embryos and seedlings, which indicated that the embryo rescue or embryonic culture are necessary (10).

According to surface sterilization of self-pollinated *N. rubra* 'Maeploi' seeds, the sample seeds were soaked in 20% (v/v) NaOCl for 5 min, followed by the sterilization with 5% (v/v) NaOCl for 10 min showed without the microbial contamination and the highest seed germination percentage of approximately 5% after four weeks of culture (Table 2). This sterilizing treatment could inhibit the microbial contamination and maintain the clean culture in the long period of cultivation time. In preparation of plant tissues and explants before culturing, the selected explants must have to be rendered aseptic techniques, especially surface sterilization. The various dilutions (10-30% v/v) of Clorox® or commercial bleach containing sodium hypochlorite, (5.25% w/v NaOCl) often used as the active ingredient and disinfectant for removal microorganisms (23). Likewise, the ability of sodium hypochlorite (NaOCl) to inhibit the growth of microbial contaminants

in *Ziziphus spina* [christti] seeds has been investigated *in vitro*. The experiment revealed that the surface sterilization with 4% NaOCl for 20 min, followed by dipping seeds in 2% benomyl for 5 min and then rinsed with distilled water was the best sterilization treatment for culturing *Z. spina* [christti] seeds, when compared to other sterilization treatments. Seeds tested in each treatment were aseptically cultured on agar-solidified MS medium in culture tubes. However, this sterilization treatment also gave the highest number of the germination of sterilized seeds in *Z. spina* [christti] (24). Moreover, sodium hypochlorite was used as media sterilant in the production of sugarcane plantlets at commercial scale, which was the total active chlorine concentration at 0.002% in the culture medium (25). On the other hand, *in vitro* surface sterilization of *Nymphaea gigantea* 'Atrans' hybrid seeds have been previous studied. This waterlily hybrid cultivar was from the cross pollination between *N. gigantea* var. *violacea* and *N. gigantea* 'Atrans'. Regarding to break the seed dormancy and *in vitro* culture of *Nymphaea gigantea* 'Atrans' hybrid seeds, some selected surface sterilization procedures were also investigated. The sample seeds were soaked in 70% (v/v) ethanol (EtOH) for 30 seconds, followed by a two-step procedure: 7.5% and 4% (v/v) hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) for 5 min in each step and then rinsed thrice in sterile distilled water for 5 min, respectively. From the results showed that without the microbial contamination and gave the highest percentage of surface sterilization

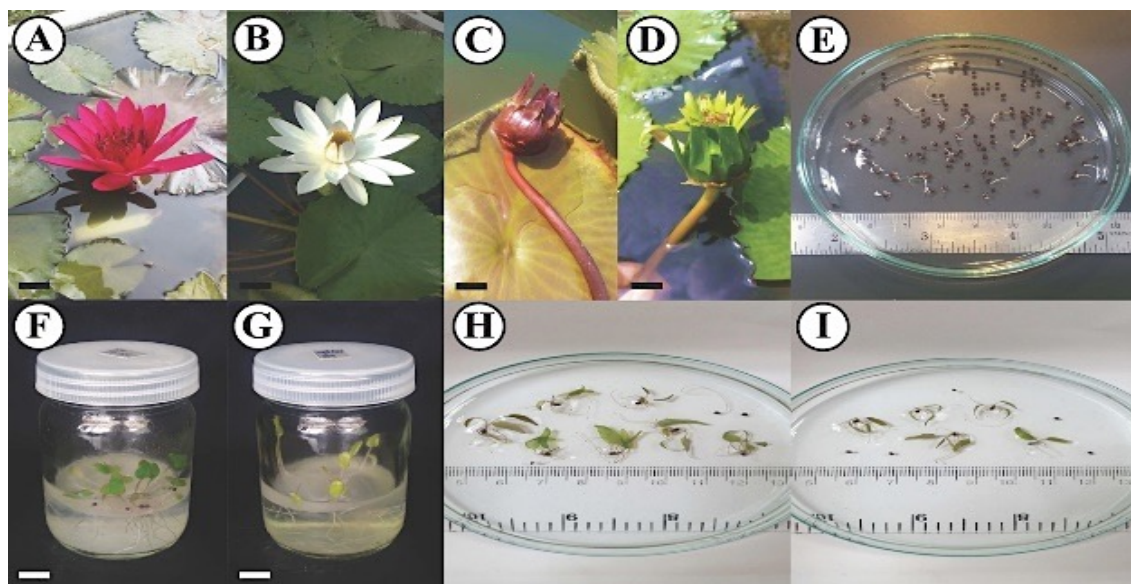
(100%) of 60 days-stored seeds after two weeks of culture, compared to the others (26).

After the four weeks of *in vitro* culture, self-pollinated *N. rubra* 'Maeploi' seeds cultured on 1/8MS semi solid medium and incubation under dark condition gave the highest germination percentage (75%) and survival percentage (75%). Most of the germinated seedlings produced shoots (60%), immature leaves (51.67%) and roots (48.33%), respectively (Table 3). However, the immature leaves of germinated seedlings formed under dark condition were pale yellow when compared to those of germinated seedlings grown under light condition (Figure 1 F-G). Culture medium is an important factor affecting on growth and development of cultured explants (i.e. seeds, shoot tips, dormant buds, plant meristematic tissues and callus). Application of culture medium depends on many factors, especially plant species, plant organs and tissues. In various plant tissue culture media, MS (Murashige and Skoog) basal medium is widely used in plant tissue culture, which is attainably enrich in both macro and micronutrients (17). Many culture media have been examined in both seed and tissue culture but not all of them were effective to use, depending on plant species and other factors. The highest germination percentages of *N. rubra* 'Maeploi' and *N. pubescens* self-pollinated seeds were at 51.67% on 1/8MS culture medium whilst the germination percentages of *N. pubescens* x *N. rubra* 'Maeploi' and *N. rubra* 'Maeploi' x *N. pubescens* cross-pollinated seeds were at 35% and 31.67% on 1/8MS culture medium, respectively (Table 4). The results showed that the interspecific hybrid seeds of

*Nymphaea* species germinated well on 1/8MS culture medium and self-pollinated seeds could germinate and growth better than cross-pollinated one. This may be because *Nymphaea* seeds required low concentrations of MS medium. Buitendijk et al. (11) denoted that the interspecific hybridization in *Alstroemeria* spp. was also found the problems about early growth and development of hybrids, which known as post-fertilization barriers. The developmental rate of hybrid seedlings was gradually decreased after 18 days of fertilization. On the other hand, Liu et al. (12) studied on culture medium used for embryo rescue of *Leucadendron* hybrids after the interspecific hybridization. MS medium containing 2% (w/v) sucrose and 3.0 g/L Phytogel was suitable culture medium for accelerating growth and development of the interspecific hybrid embryos and seedlings in this plant genus. Manzur et al. (13) reported that *Capsicum* spp. seeds culture on half strength MS (1/2MS) agar medium containing 4% (w/v) sucrose gave the highest germination rate that used to rescue the hybrid embryos. Bodhipadma et al. (18) reported that the suitable culture medium and condition used for *in vitro* leaf induction in *Nymphaea nouchali* var. *versicolor* 'Bua Phuean' tuberous rhizomes, it was found in explant cultured on MS semi-solid medium supplemented with 2.5 mg/L BAP and 0.1% activated charcoal under light condition for four weeks of culture. However, more related studies and database of *in vitro* propagation and improvement of lotuses and waterlilies are needed. In addition, this study was to develop the suitable culture medium used for enhancing the

seed germination and produce vigorous seedlings of self and cross-pollinated seeds of *N. rubra* ‘Maeploi’. Moreover, these practical treatments provide basic information for future research and studies on the *ex situ* conservation, propagation and improvement of tropical night-blooming waterlilies and their hybrids. For further studies, the biotechnological approaches and molecular

techniques are also important and necessary for developing the plant variety production, hybridization and other breeding programs that applied to precise any quantitative and qualitative trait of interests, for example; the application of plant genomic selection and deoxyribonucleic acid (DNA) marker selection (14).



**Figure 1** Interspecific hybridization of two selected *Nymphaea* species, (A) *Nymphaea rubra* ‘Maeploi’ (black scale bar = 2 cm), (B) *Nymphaea pubescens* Willd. (black scale bar = 2 cm), (C) *N. rubra* ‘Maeploi’ seed pod (black scale bar = 2 cm), (D) *N. pubescens* Willd. seed pod (black scale bar = 2 cm), (E) self-pollinated *N. rubra* ‘Maeploi’ seeds, (F) self-pollinated *N. rubra* ‘Maeploi’ seedlings cultured on one-eighth strength MS (1/8MS) semi-solid medium under light condition (white scale bar = 1 cm), (G) self-pollinated *N. rubra* ‘Maeploi’ seedlings cultured on 1/8MS semi-solid medium under dark condition (white scale bar = 1 cm), (H) cross-pollinated seedlings between *N. pubescens* and *N. rubra* ‘Maeploi’ cultured on 1/8MS semi-solid medium under light condition, (I) cross-pollinated seedlings between *N. rubra* ‘Maeploi’ and *N. pubescens* cultured on 1/8MS semi-solid medium under light condition.

**Table 1** Fruit set percentages of self and cross-pollination of two selected *Nymphaea* species.



Treatment	Fruit set (%)
Self-pollination of <i>N. rubra</i> 'Maeploi'	1.67 ± 1.67 <sup>b</sup>
<i>N. pubescens</i> × <i>N. rubra</i> 'Maeploi'	5.00 ± 2.84 <sup>ab</sup>
<i>N. rubra</i> 'Maeploi' × <i>N. pubescens</i>	3.33 ± 2.34 <sup>ab</sup>
Self-pollination of <i>N. pubescens</i>	11.17 ± 4.18 <sup>a</sup>

Value presented as mean ± SE; different letters within a column that indicate significant differences at  $p = 0.05$  according to analysis of variance (ANOVA, F-test).

**Table 2** Utilization of NaOCl for surface sterilization of self-pollinated *N. rubra* 'Maeploi' seeds.

1 <sup>st</sup> surface sterilization		2 <sup>nd</sup> surface sterilization		Contamination (%)	Seed germination (%)
NaOCl (% V/V)	Time	NaOCl (% V/V)	Time		
20	5	-	-	0.00 ± 0.00 <sup>b</sup>	5.00 ± 2.84 <sup>a</sup>
20	10	-	-	3.33 ± 2.34 <sup>b</sup>	3.33 ± 2.34 <sup>a</sup>
20	15	-	-	0.00 ± 0.00 <sup>b</sup>	1.67 ± 1.67 <sup>a</sup>
20	20	-	-	0.00 ± 0.00 <sup>b</sup>	3.33 ± 2.34 <sup>a</sup>
20	5	5	10	0.00 ± 0.00 <sup>b</sup>	5.00 ± 2.84 <sup>a</sup>
20	10	10	10	0.00 ± 0.00 <sup>b</sup>	1.67 ± 1.67 <sup>a</sup>
20	15	15	10	0.00 ± 0.00 <sup>b</sup>	3.33 ± 2.34 <sup>a</sup>
20	20	20	10	16.67 ± 4.85 <sup>a</sup>	6.67 ± 3.25 <sup>a</sup>

Value presented as mean ± SE; different letters within a column that indicate significant differences at  $p = 0.05$  according to analysis of variance (ANOVA, F-test).

**Table 3** Effects of different MS medium strengths on germination and early development of self-pollinated *N. rubra* 'Maeploi' seedlings after 4 weeks of culture.

MS medium	Condition	Germination (%)	Survival (%)	Shoot formation (%)	Leaf formation (%)	Root formation (%)
1	Light	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>
1	Dark	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>
1/2	Light	35.00 ± 6.21 <sup>b</sup>	35.00 ± 6.21 <sup>b</sup>	23.33 ± 5.51 <sup>c</sup>	21.67 ± 0.05 <sup>b</sup>	21.67 ± 5.36 <sup>b</sup>
1/2	Dark	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>
1/4	Light	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>
1/4	Dark	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>
1/8	Light	43.33 ± 6.45 <sup>b</sup>	43.33 ± 6.45 <sup>b</sup>	43.33 ± 6.45 <sup>b</sup>	43.33 ± 0.07 <sup>a</sup>	43.33 ± 6.45 <sup>a</sup>
1/8	Dark	75.00 ± 5.64 <sup>a</sup>	75.00 ± 5.64 <sup>a</sup>	60.00 ± 6.38 <sup>a</sup>	51.67 ± 0.07 <sup>a</sup>	48.33 ± 6.51 <sup>a</sup>

Value presented as mean ± SE; different letters within a column that indicate significant differences at  $p = 0.05$  according to analysis of variance (ANOVA, F-test).

**Table 4** *In vitro* culture of self and cross-pollinated seeds of two selected *Nymphaea* species on

1/8 MS medium, compared to control after 4 weeks of culture.

Treatment		Germination	Survival	Shoot	Leaf	Root	
		percentage	Percentage	formation	formation	formation	
Hand pollination	MS medium	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
(Self)	<i>N. rubra</i> 'Maeploi'	Full MS	5.00 ± 2.84 <sup>c</sup>	5.00 ± 2.84 <sup>c</sup>	1.67 ± 1.67 <sup>c</sup>	1.67 ± 1.67 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>
(Self)	<i>N. rubra</i> 'Maeploi'	1/8 MS	51.67 ± 6.51 <sup>a</sup>	51.67 ± 6.51 <sup>a</sup>	50.00 ± 6.51 <sup>a</sup>	50.00 ± 6.51 <sup>a</sup>	43.33 ± 6.45 <sup>a</sup>
(Cross)	<i>N. pubescens</i> x <i>N. rubra</i> 'Maeploi'	Full MS	13.33 ± 4.43 <sup>c</sup>	13.33 ± 4.43 <sup>c</sup>	1.67 ± 1.67 <sup>c</sup>	1.67 ± 1.67 <sup>c</sup>	1.67 ± 1.67 <sup>c</sup>
(Cross)	<i>N. pubescens</i> x <i>N. rubra</i> 'Maeploi'	1/8 MS	35.00 ± 6.21 <sup>b</sup>	35.00 ± 6.21 <sup>b</sup>	28.33 ± 5.87 <sup>b</sup>	28.33 ± 5.87 <sup>b</sup>	25.00 ± 5.64 <sup>b</sup>
(Cross)	<i>N. rubra</i> 'Maeploi' x <i>N. pubescens</i>	Full MS	6.67 ± 3.25 <sup>c</sup>	3.33 ± 2.34 <sup>c</sup>	1.67 ± 1.67 <sup>c</sup>	1.67 ± 1.67 <sup>c</sup>	1.67 ± 1.67 <sup>c</sup>
(Cross)	<i>N. rubra</i> 'Maeploi' x <i>N. pubescens</i>	1/8 MS	31.67 ± 6.06 <sup>b</sup>	31.67 ± 6.06 <sup>b</sup>	25.00 ± 5.64 <sup>b</sup>	25.00 ± 5.64 <sup>b</sup>	25.00 ± 5.64 <sup>b</sup>
(Self)	<i>N. pubescens</i>	Full MS	11.67 ± 4.18 <sup>c</sup>	11.67 ± 4.18 <sup>c</sup>	1.67 ± 1.67 <sup>c</sup>	1.67 ± 1.67 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>
(Self)	<i>N. pubescens</i>	1/8 MS	51.67 ± 6.51 <sup>a</sup>	51.67 ± 6.51 <sup>a</sup>	45.00 ± 6.48 <sup>a</sup>	45.00 ± 6.48 <sup>a</sup>	43.33 ± 6.45 <sup>a</sup>

Value presented as mean ± SE; different letters within a column that indicate significant differences at p = 0.05 according to analysis of variance (ANOVA, F-test).

## CONCLUSIONS

Low fruit set percentages were obtained from self and cross pollination of *N. rubra* 'Maeploi' and *N. pubescens*. Using 20% (v/v) NaOCl for 5 min followed by 5% (v/v) NaOCl for 10 min was the optimum for seed surface sterilization. One-eighth strength MS (1/8MS) semi-solid medium was suitable for *in vitro* culture of self-pollinated *N. rubra* 'Maeploi' seeds and cross-pollinated seeds between *N. rubra* 'Maeploi' and *N. pubescens*.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This research was partially supported by a grant from the annual budget expenditures for fiscal year 2018, following the Plant Genetic Conservation Project Under the Royal initiative of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn

(RSPG) (Contract number; IRF01166103 (RSPG)) and Institute of Research and Development, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT), Pathumthani, Thailand.

## REFERENCES

- Borsch T, Hilu KW, Wiersema JH, Löhne C, Barthlott W, Wildes V. Phylogeny of *Nymphaea* (Nymphaeaceae): evidence from substitutions and microstructural changes in the chloroplast trnT-trnF Region. *Int J Plant Sci* 2007;168(5): 639–71.
- Anon. Genera of Nymphaeaceae, Germplasm Resources Information Network [Internet]. GRIN Taxonomy for Plants; 2008 [updated on 2008 Feb 17]. Availability from: [www.ars-grin.gov](http://www.ars-grin.gov)

3. Songpanich P, Hongtrakul V. Intersubgeneric cross in *Nymphaea* spp. L. to develop a blue hardy waterlily. *Sci Hortic Amsterdam*. 2010;124:475-81.
4. Eiad-thong W. Phylogenetic relationship of the genus *Nymphaea*. *Proceedings of Lotus park in Thai Culture*. 2013 Dec 18; Office of Agricultural Museum and Culture, Kasetsart University, Bangkok, Thailand: 2013.
5. Pooma R. *Concise Encyclopedia of Plants in Thailand, Commemorate the 60<sup>th</sup> Birthday Anniversary of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn*. Bangkok: The Forest Herbarium (BKF); 2016. p. 517.
6. Selvakumari E, Shantha S, Purushoth PT, Sreenathkumar C. Antiproliferation activity of ethanolic flower extract from *Nymphaea pubescens* Willd. against human cervical and breast carcinoma *in vitro*. *International Research Journal of Pharmacy*. 2012;3(1):124-5.
7. Wasuwat S. *Ornamental Waterlilies in Thailand*. Bangkok: Nation Book Publishing; 2005. p. 192.
8. Murashige T, Skoog FA. Revised medium for rapid growth and bio-assays with tobacco tissue cultures. *Plant Physiol*. 1962;15:473-97.
9. Sehwat N, Jaiwal PK, Bhat KV, Tomooka N, Kaga A, Yadav M. Breeding mediated improvement of mungbean (*Vigna radiate* (L.) Wilczek) for salt tolerance. *Thai Journal of Agricultural Science*. 2014;47(2):109-14.
10. Tsai MY, Chen SH, Kao WY. Floral morphs and seed production from hand-pollination in a population of *Oxalis corymbosa* in Taiwan. *Flora*. 2017;226:89-95.
11. Buitendijk JH, Pinsonneaux N, Donk ACV, Ramanna MS, Lammeren AAMV. Embryo rescue by half-ovule culture for the production of interspecific hybrids in *Alstroemeria*. *Sci Hortic Amsterdam*. 1995;64:65-75.
12. Liu H, Yan G, Sedgley R. Interspecific hybridization in the genus *Leucadendron* through embryo rescue. *S Afr J Bot*. 2006;72(3):416-20.
13. Manzur JP, Penella C, Burruezo AR. Effect of the genotype, developmental stage and medium composition on the *in vitro* culture efficiency of immature zygotic embryos from genus *Capsicum*. *Sci Hortic Amsterdam*. 2013;161:181-7.
14. Srinives P, Tanya P, Somta P. Science in plant breeding and the importance to humanity. *Thailand Advanced Institute of Science and Technology*. 2015;1(1):46-64.
15. Khan S, Al-Qurainy F, Nadeem M. Biotechnological approaches for conservation and improvement of rare and endangered plants of Saudi Arabia. *Saudi J Biol Sci*. 2012;19(1):1-11.
16. Dubranszki J, da Silva JAT. Micropropagation of apple-A review. *Biotechnol Adv*. 2010;28(4):462-88.

17. Paul S, Kumaria S, Tandon P. An effective nutrient medium for asymbiotic seed germination and large-scale *in vitro* regeneration of *Dendrobium hookerianum*, a threatened orchid of northeast India. *AoB Plants*. 2011;2012(plr032):1-7.
18. Bodhipadma K, Noichinda S, Wachirabongkoth P, Pukpoomin E, Punnakanta L, Nathalang K. In Vitro Propagation of *Nymphaea nouchali* var. *versicolor* 'Bua Phuean'. *The Journal of Applied Science*. 2011;10(2):7-11.
19. Songpanich P, Hongtrakul V. *Nymphaea* 'Siam Blue Hardy': The world's first blue hardy waterlily. *Thai Agricultural Research Journal*. 2009;27(1):68-81.
20. Songpanich P. Hardy waterlily (*Nymphaea* sp.) hybridization. *The Water Garden Journal*. 2009;24(3):10-5.
21. Sun C, Ma Z, Zhang Z, Sun G, Dai Z. Factors influencing cross barriers in interspecific hybridizations of water lily. *J Amer Soc Hort Sci*. 2018;143(2):130-5.
22. Sun CQ, Ma ZH, Sun GS, Dai ZL, Teng NJ, Pan YP. Cellular mechanisms of reproductive barriers in some crosses of water lily (*Nymphaea* spp.) cultivars. *Hort Science*. 2015;50(1):30-5.
23. Kumar PP, Loh CS. Plant tissue culture for biotechnology. In: Altman A, Hasegawa PM, editor. Chapter number 9. *Plant Biotechnology and Agriculture. Prospects for the 21<sup>st</sup> Century*. 1st ed. United States of America: Academic Press; 2012. p. 586.
24. Ahmadi E, Nasr SMH, Jalilvand H, Savadkoobi SK. Contamination control of microbe *Ziziphus spina* [christti] seed in vitro culture. *Trees*. 2012;26:1299-304.
25. Sawant RA, Tawar PN. Use of Sodium hypochlorite as media sterilant in sugarcane micropropagation at commercial scale. *Sugar Tech*. 2011;13(1):27-35.
26. Noimai Y. [Effects of plant growth regulators on seed germination treatment of *Nymphaea gigantea* 'Atrans' hybrid *in vitro* conditions]. *Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi*. 2018;17( 2) :54-64. Thai.



ผลของผงวุ้นลูกสำรองต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของ  
กุนเชียงปลาดุก

Effect of Malva Nut Gum Powder on Physical, Chemical and Sensorial  
Properties of Catfish Chinese Sausage

อัญชลินทร์ สิงห์คำ

Unchalin Singkhum

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

Division of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University  
of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND

\*Corresponding author e-mail: anchalins\_s@rmutt.ac.th

## ARTICLE INFO

## ABSTRACT

Article history:

Received: 7 August, 2020

Revised: 22 September, 2020

Accepted: 6 November, 2020

Available online: 28 April, 2021

DOI: [10.14456/rj-rmutt.2021.13](https://doi.org/10.14456/rj-rmutt.2021.13)

*Keywords:*

catfish Chinese sausage,  
malva nut gum powder,  
consumer acceptance

The purposes of this research were to study the effects of crude malva nut gum powder and fat on physicochemical properties and sensory evaluation of catfish Chinese sausage. The suitable ratio of crude malva nut gum powder and fat of 0:10 (control), 3: 7, 5: 5, 7: 3 and 10: 0 (w/w) were studied. The results indicated that addition of crude malva nut gum powder increased hardness, cohesiveness, gumminess, chewiness, water activity, total ash, total protein, crude fiber and carbohydrate contents but decreased adhesiveness, redness ( $a^*$ ), moisture and crude fat contents ( $P \leq 0.05$ ), while no significant difference in springiness, lightness ( $L^*$ ), yellowness ( $b^*$ ) ( $P > 0.05$ ) was observed. Sensory evaluation results showed that an addition of crude malva nut gum powder decreased color, odor, texture and acceptability scores ( $P \leq 0.05$ ), while there was no significant difference in taste score ( $P > 0.05$ ). The ratios of 3: 7 catfish Chinese sausage obtained similar sensory scores to that of 0: 1 (control). Therefore, the optimum ratio of malva nut gum powder and fat was

3: 7 or 90 grams of crude malva nut gum powder and 210 grams of fat per batch.

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมันต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุนเชียงปลาตุก โดยใช้ผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมันหมู ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ดังนี้คือ 0 ต่อ 10, 3 ต่อ 7, 5 ต่อ 5, 7 ต่อ 3 และ 10 ต่อ 0 ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของผงวุ้นลูกสำรองมากขึ้นและลดปริมาณการใช้ไขมันลงในส่วนผสมมีผลต่อค่าความแข็ง ความสามารถเกาะตัวรวมกัน การทนต่อการเคี้ยว ความเหนียวคล้ายยาง ค่ากิจกรรมของน้ำ ปริมาณเถ้า โปรตีน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าความสามารถในการเกาะติดผิววัสดุ ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) ปริมาณไขมันมีแนวโน้มลดลง ( $P < 0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่อค่าความยืดหยุ่น ค่าความความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) ( $P > 0.05$ ) ผลประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของผงวุ้นลูกสำรองและลดปริมาณการใช้ไขมันลงในส่วนผสมมีผลต่อค่าคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของกุนเชียงปลาตุก ( $P \leq 0.05$ ) ในขณะที่ค่าคะแนนความชอบด้านรสชาติไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) โดยสูตรอัตราส่วน 3 ต่อ 7 ได้คะแนนความชอบในทุกด้านใกล้เคียงกับอัตราส่วน 0 ต่อ 10 (สูตรควบคุม) ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้ผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมันหมูในกุนเชียงปลาตุกคือ 3:7 หรือใช้ปริมาณกัมลูกสำรอง 90 กรัม ไขมันหมู 210 กรัม ต่อ 1 สูตรการผลิต

**คำสำคัญ:** กุนเชียงปลาตุก ผงลูกสำรอง การยอมรับของผู้บริโภค

## บทนำ

ชนิดและปริมาณอาหารที่บริโภคเข้าไปในร่างกายในแต่ละวันเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสุขภาพ และการเกิดโรคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโรคทางโภชนาการ ในแต่ละวันหากร่างกายรับประทานอาหารประเภทไขมันมากกว่าร้อยละ 30 ของพลังงานทั้งหมดที่ร่างกายได้รับในแต่ละวัน อาจทำให้มีโอกาสเป็นโรคทางโภชนาการเกินได้ เช่น โรคอ้วน โรคไขมันในเส้นเลือดสูง โรคหัวใจขาดเลือด เป็นต้น อาหารบางชนิดจึงมีการปรับเปลี่ยนส่วนผสมหรือกรรมวิธีการผลิตเพื่อให้ลดปริมาณไขมันลง ลักษณะเนื้อสัมผัสหรือรสชาติอาหารที่ได้ไม่เป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค เช่น อาหารที่ลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งกระด้าง ไม่ชุ่มน้ำ มีรสชาติแตกต่างจากรสดั้งเดิมของอาหารชนิดนั้นมากเกินไป ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการลดไขมันและหาส่วนผสมอื่นมาทดแทนโดยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะทางประสาทสัมผัสในทุกด้านใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เดิมให้มากที่สุด

ปลาเชียง หรือกุนเชียงปลา คือ ใสรอกชนิดหนึ่งที่ทำจากเนื้อปลา เช่น ปลายี่สก ปลานวลจันทร์ ปลาตุก ปลานิล ปลาสลิด ปลาทราย ปลานิล และปลาทรายแดง และมันสัตว์ เช่น มันหมู มันปลา เป็นต้น นำมาบดหยาบผสมเครื่องปรุงรส เช่น น้ำตาล เกลือ และส่วนผสมอื่น เช่น เครื่องเทศ สมุนไพร ซีอิ๊ว นำไปบรรจุใส่แล้วนำไปทำแห้งโดยใช้ลมร้อนหรือตากให้แห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป ผลิตภัณฑ์ที่ดีต้องมีเนื้อสัมผัสที่แน่น คงรูป มีความนุ่มพอเหมาะ ไม่แข็งกระด้างหรือยุ่ย เนื้อปลาและไขมันผสมกันอย่างทั่วถึง ไม่รวมกันเป็นก้อน ไม่มีน้ำมันไหลออกมาภายนอก อาจมีโพรงอากาศเล็กน้อย มีสีสม่ำเสมอตลอดทั้งชิ้น ไม่มีกลิ่นที่ผิดปกติเช่น กลิ่นอับ กลิ่นคาว กลิ่นหืน (1) ไขมันเป็นส่วนผสมที่มีประโยชน์ในกุนเชียงปลา เพราะช่วยเพิ่ม

รสชาติ ช่วยกักเก็บกลิ่นรส เพิ่มความชุ่มฉ่ำให้ผลิตภัณฑ์ ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของกุนเชียงปลากำหนดให้มีไขมันในผลิตภัณฑ์ ไม่เกินร้อยละ 30 ดังนั้นผลิตภัณฑ์ กุนเชียงปลาจึงจัดเป็นอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะไขมันจากสุกรมีกรดไขมันอิ่มตัว และคอเลสเตอรอลในปริมาณที่สูง และมีเส้นใยอาหารต่ำ ส่งผลให้เมื่อบริโภคการรับประทานในปริมาณมาก และเป็นประจำอาจก่อให้เกิดโรคต่างๆตามมา เช่น เสี่ยงต่อการเป็นโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือดหรือโรคหัวใจ รวมถึง การเป็นสาเหตุของการเกิดโรคอ้วน (2)

การลดปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์กุนเชียงปลา ทำให้กลิ่น รส และลักษณะเนื้อสัมผัสไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์กุนเชียงปลาที่ใช้น้ำมันพืชแทนการใช้ไขมันจากสัตว์ มีผลต่อระบบอิมมัลชันของผลิตภัณฑ์ น้ำมันเกิดการแยกชั้นออกมาในระหว่างการวางจำหน่าย หรือเก็บรักษา ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยใช้สารทดแทนไขมันจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่น่ามาปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ให้มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มมากขึ้นและไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา สารทดแทนไขมัน มีหลายชนิด โดยทั่วไปสารทดแทนไขมันจำแนกตามแหล่งที่มาออกเป็น 3 แหล่ง คือกลุ่มที่มาจากโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต (3)

ลูกสำรอง ชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Scaphium scaphigerum* (G.Don) Guib.& Planoh. ชื่อสามัญว่า Malva Nut เมล็ดสำรองมีรูปกลมรีหัว ท้ายมน มีสีน้ำตาล ผิวขรุขระ เปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกมีสารเมือกจำนวนมาก สามารถพองตัวในน้ำ มีลักษณะคล้ายวุ้นโดยขยายใหญ่กว่าขนาดเดิมเกือบ 10 เท่า จัดเป็นสารทดแทนไขมันที่มาจากคาร์โบไฮเดรต ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยชนิดที่ละลายน้ำ เป็นสารเมือกประเภทมิวซิเลจ ที่สามารถพองตัวได้ดีในน้ำ (4) และมีความสามารถในการดูดซับน้ำถึง 40-45 มล/ก. แล้วเกิดโครงสร้างคล้ายเจล เจลหรือวุ้นได้โดยไม่ต้องอาศัยความร้อน และมีลักษณะยืดหยุ่นคล้ายไขมัน (5) มีการนำลูกสำรองมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม และนำมาเป็นส่วนผสมทดแทนไขมัน

ในผลิตภัณฑ์แปรรูปเนื้อสัตว์หลายประเภท เช่น หมูยอ และไส้กรอก โดยงานวิจัยศศิพร (6) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากเนื้อลูกสำรองในผลิตภัณฑ์ไก่ยอไขมันต่ำที่ใช้เนื้อลูกสำรองทดแทนอินนูลิน โดยแปรอัตราส่วนของเนื้อสำรองต่ออินนูลินเป็น 0 ต่อ 3 (สูตรควบคุม), 1 ต่อ 2, 2 ต่อ 1 และ 3 ต่อ 0 ตามลำดับ พบว่า เมื่ออัตราส่วนของเนื้อสำรองเพิ่มขึ้นมีผลต่อปริมาณความชื้น เนื้อและความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มมากขึ้นในขณะที่ค่าสีมีแนวโน้มที่ลดลง และภูธฤทธิ์ และเสาวภา (7) ได้ศึกษาคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภคต่อไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ที่ใช้ลูกสำรองเป็นองค์ประกอบในอัตราส่วนร้อยละ 25 และ 50 ของไขมันหมู พบว่า สีและรสชาติของไส้กรอกผู้บริโภคให้การยอมรับในระดับดีถึงดีมาก แสดงถึงการใช้ลูกสำรองทดแทนไขมันสุกรในสูตรการผลิตที่ไม่มีผลต่อเรื่องของรสชาติและสีของผลิตภัณฑ์ และสามารถ เก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานานโดยที่อัตราการสูญเสียน้ำหนักอยู่ในระดับต่ำ จากคุณสมบัติของลูกสำรองที่ทำให้อาหารมีความชื้นหนืด เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และสามารถใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์แปรรูปเนื้อสัตว์ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาปริมาณการใช้ผงวุ้นลูกสำรองเป็นสารทดแทนไขมันที่มีผลต่อคุณภาพทางเคมี ทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของกุนเชียงปลาดุก

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. วิธีการเตรียมผงวุ้นลูกสำรอง

ลูกสำรองแห้งคัดเกรดพิเศษจากกลุ่มผู้ผลิตพืชสมุนไพรบ้านเกาะลอย อ. แก่งหางแมว จ. จันทบุรี การเตรียมได้ผงวุ้นลูกสำรองดัดแปลงกรรมวิธีจากงานวิจัยของบงกชมาศ (8) นำลูกสำรองแช่ในน้ำกลั่น อัตราส่วนลูกสำรองต่อน้ำ คือ 1 ต่อ 8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นแยกเมล็ด เปลือก และเส้นใยออก กรองผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช นำวุ้นสำรองที่กรองได้ไปทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 20 ชั่วโมง หรือจนแห้ง

สนิท จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดสมุนไพร ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช จะผงวุ้นลูกสำรองเพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงวุ้นลูกสำรอง

นำผงวุ้นลูกสำรองจากขั้นตอนที่ 1 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐาน ได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เส้นใย และ คาร์โบไฮเดรต ตามวิธี AOAC (9) และทางด้านกายภาพ ได้แก่ ค่ากิจกรรมของน้ำ (Water activity; aw) ด้วยเครื่อง Water activity meter (model, Company, City/State, Country)

3. การศึกษาผลของการใช้ผงวุ้นลูกสำรองเพื่อทดแทนไขมันที่มีผลต่อคุณภาพของกุนเชียงปลาดุก

3.1 การเตรียมวัตถุดิบและการผลิตกุนเชียงปลาดุก

1. การเตรียมเนื้อปลาดุก ดัดแปลงจากวิธีการของ Chomnawang และคณะ (10) นำปลาดุกมาล้างในถัง 2 คิน (ประมาณ 48 ชั่วโมง) เพื่อให้ปลาขับถ่ายของเสียออกและกำจัดกลิ่นโคลนจากบ่อเพาะเลี้ยงทำการทำความสะอาด แล้เอาเฉพาะเนื้อที่ติดกับหนัง แล้วยแยกหนังออกจากเนื้ออีกครั้งส่วนไขมันปลาที่อยู่พื้นท้องแยกออก หั่นเนื้อปลาดุกเป็นชิ้นเล็ก ๆ บรรจุในถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเทรฟทาเลตในสภาวะสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส

2. กรรมวิธีการผลิตกุนเชียงปลาดุก ดัดแปลงจากวิธีของอรรวรรณ และคณะ(11) นำเนื้อปลาดุกมาบดปั่นผสมกับเกลืออนาน 3 นาที เติมส่วนผสมที่เป็นของแห้ง (แป้งมันสำปะหลัง น้ำตาลทราย ผงเพรค ริกัลเบสพริกไทย ผงพะโล้ และสารทดแทนไขมัน) ปั่นผสมกันนาน 5 นาทีเติมส่วนผสมที่เป็นของเหลว (น้ำมันพืช ซีอิ้วขาว และน้ำ) ผสมกันนาน 5 นาที บรรจุถุงแบบสุญญากาศ เก็บในตู้เย็น นาน 48 ชั่วโมง นำมาบรรจุใน

ใส่คอลลาเจนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตรอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 100 ±2 องศาเซลเซียสนาน 5 ชั่วโมง บรรจุในถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเทรฟทาเลตในสภาวะสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เพื่อนำไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

3.2 การใช้ผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมันในกุนเชียงปลาดุก

นำผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมันในกุนเชียงปลาดุกในอัตราส่วนของผงวุ้นลูกสำรองต่อไขมันโดยน้ำหนัก ดังนี้ 0 ต่อ 10, 3 ต่อ 7, 5 ต่อ 5, 7 ต่อ 3 และ 10 ต่อ 0 ตามลำดับ มีวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยส่วนผสมของกุนเชียงปลาดุกแต่ละสิ่งทดลองแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของกุนเชียงปลาดุก

ส่วนผสม	สิ่งทดลอง (ร้อยละ)				
	1	2	3	4	5
1. เนื้อปลาดุก	60.39	60.39	60.39	60.39	60.39
2. แป้งมัน	3.97	3.97	3.97	3.97	3.97
3. ผงเพรค	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
4. ริกัลเบส	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
5. น้ำตาล	18.12	18.12	18.12	18.12	18.12
6. ซีอิ้วขาว	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
7. พริกไทย	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
8. เกลือ	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
9. น้ำ	4.14	4.14	4.14	4.14	4.14
10. มันหมู	10.00	7.00	5.00	3.00	-
11. ผงวุ้นสำรอง	-	3.00	5.00	7.00	10.00

4. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุนเชียงปลาดุก

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกุนเชียงปลาดุกภายหลังจากการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน ดังนี้



4.1 วิเคราะห์ค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัส หันตัวอย่างกวนเชิงปลาตุกก่อนทอดหนา 0.5 เซนติเมตร นำไปวัดค่าความแข็ง (Hardness) ความสามารถเกาะตัวรวมกัน (Cohesiveness) ความสามารถในการเกาะติดผิววัสดุ (Adhesiveness) ความยืดหยุ่น (Springiness) การทนต่อการเคี้ยว (Chewiness) ความเหนียวคล้ายยาง (Gumminess) โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (TX.XT plus stable micro system, Company, City/State, England) หัววัด (TPA) ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 50 มิลลิเมตร DIA (Cylinder aluminum) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Feng (12)

4.2 ค่าสี วิเคราะห์ค่าสีตามระบบ CIE ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) ด้วยเครื่องวัดสี (Color Meter Chroma, CR200, Company, City/Province, Japan) กำหนดให้ค่า  $L^*$  คือค่าความสว่าง  $a^*$  คือค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว  $b^*$  คือค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

4.3 ค่ากิจกรรมของน้ำตัวอย่าง (Water activity;  $a_w$ ) ด้วยเครื่อง water activity meter

4.4 วิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของอาหาร (Proximate analysis) ได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เส้นใย และ คาร์โบไฮเดรต ตามวิธี AOAC (6)

4.5 การประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน อายุระหว่าง 20-40 ปี การเตรียมตัวอย่างกวนเชิงเพื่อทดสอบชิมทำได้โดยนำกวนเชิงปลาตุกมาต้มในน้ำเดือดนาน 2 นาที นำไปทอดในน้ำมันพืชที่อุณหภูมิ  $150 \pm 5$  องศาเซลเซียส นาน 1 นาที หั่นหนา 0.5 เซนติเมตร ประเมินความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ให้คะแนนแบบ 9-Point hedonic scale 1-9 คะแนน (9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด และ 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด) ในระหว่างการประเมิน ผู้ทดสอบต้องบ้วนปากด้วยน้ำอุ่น และเว้นระยะระหว่างตัวอย่าง 2 นาที (เว้นระยะเท่า ๆ กันในทุกตัวอย่าง) ก่อนทดสอบตัวอย่างต่อไป (3)

## ผลการศึกษาและอภิปรายผล

### 1. ลักษณะปรากฏและคุณสมบัติทางเคมีของผงวุ้นลูกสำรอง

เมื่อนำลูกสำรองไปแช่น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาแยกเมล็ด เปลือก และเส้นใยออก นำวุ้นสำรองที่ได้ไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด แล้วนำไปบดเป็นผง จะได้ผงวุ้นลูกสำรอง มีสีน้ำตาลเข้มออกดำ ไม่มีรสชาติ (รูปที่ 1) เมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐาน พบว่า ผงวุ้นลูกสำรองที่ได้มีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เส้นใย และ คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 9.52, 4.81, 3.92, 0.48, 31.22 และ 50.05 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนค่ากิจกรรมของน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.845 ดังนั้นผงสำรองจึงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่าสารอาหารชนิดอื่น สอดคล้องกับงานวิจัยของสุปรียา และศุภมาศ (13) ที่นำผลสำรองไปแช่น้ำให้เกิดการพองตัวและนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 13.21, 6.20, 4.05, 0.38, 11.10 และ 65.06 ตามลำดับ และในงานวิจัยของวรัญญา และคณะ (14) ที่ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลสำรองแห้ง พบว่าผงสำรองที่สกัดด้วยน้ำ แล้วอบแห้ง มีปริมาณความชื้นร้อยละ 15.31 ไขมันร้อยละ 0.41 โปรตีนร้อยละ 3.75 เถ้า ร้อยละ 5.84 และใยอาหารที่บริโภคได้ (Dietary Fiber) ร้อยละ 76.45 และกัมจากเมล็ดสำรองที่สกัดด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.05 จะมีปริมาณเส้นใยหยาบ โปรตีน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 45.2, 4.9, 1.4 และ 38.9 และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 32.3 โดยน้ำหนัก (15) ดังนั้นผงสำรองจัดเป็นพืชสมุนไพรที่มีคาร์โบไฮเดรตในปริมาณสูงเมื่อละลายในน้ำจึงสามารถดูดน้ำได้รวดเร็วและเกิดการพองตัว

### 2. คุณสมบัติทางกายภาพของกวนเชิงปลาตุกที่มีการใช้ผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมัน

เมื่อนำผงวุ้นลูกสำรองไปทดแทนไขมันในกวนเชิงปลาตุกในอัตราส่วนของผงวุ้นลูกสำรองต่อไขมัน

โดยน้ำหนักดังนี้ 0 ต่อ 10, 3 ต่อ 7, 5 ต่อ 5, 7 ต่อ 3 และ 10 ต่อ 0 ตามลำดับ และนำไปสังเกตลักษณะปรากฏของกุนเชียงปลาตุกทั้ง 5 สิ่งทดลอง โดยใช้ประสาทสัมผัสทั้งห้า พบว่ากุนเชียงปลาตุกที่ใช้ผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมันในอัตราส่วน 3 ต่อ 7, 5 ต่อ 5, 7 ต่อ 3 และ 10 ต่อ 0 ผลิตภัณฑ์กุนเชียงปลาตุกมีสีน้ำตาลและสีน้ำตาลดำมากขึ้นตามปริมาณผงวุ้นลูกสำรองที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสม มีกลิ่นเครื่องเทศและกลิ่นปลา รสชาติกลมกล่อมและหวาน เนื้อสัมผัสเหนียว ร่วน นุ่ม และแข็ง ตามลำดับ (รูปที่ 2)

เนื้อสัมผัสของกุนเชียงปลาตุกที่ใช้ผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมันในอัตราส่วนแตกต่างกัน (ตารางที่ 2) พบว่าการทดแทนไขมันโดยใช้ผงวุ้นจากลูกสำรองมีผลต่อค่าความแข็ง ความสามารถเกาะตัวรวมกัน ความสามารถในการเกาะติดผิววัสดุ การทนต่อการเคี้ยว และความเหนียวคล้ายยางที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยค่าลักษณะเนื้อสัมผัสในทุกด้านมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อผลิตภัณฑ์มีการทดแทนไขมันจากผงวุ้นลูกสำรองเพิ่มมากขึ้นทำให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์แข็งมากขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากไขมันมีความสัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ เช่น ความฉ่ำน้ำและลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าความเหนียวของกุนเชียง ช่วยทำให้เนื้อสัมผัสนุ่มไม่แข็งกระด้าง เพิ่มกลิ่นรส และความอร่อยของอาหาร (16) นอกจากนี้ก็มาจากลูกสำรองจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำ (Water-soluble Dietary Fiber) มีสารเมือก และมิวซิเลจสูง ซึ่งมีคุณสมบัติพองตัวได้ดี เมื่อสัมผัสน้ำจะละลายเกิดเป็นสารชั้นหนืดที่ทำให้เกิดความข้นหนืดของอาหารหรือใสในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้นจะดูคาวในผลิตภัณฑ์มากขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแน่นและแข็งมากขึ้น (17) จากงานวิจัยของ Somboonpanyakul และคณะ (18) ได้ศึกษาผลการเติมกัมจากลูกสำรองที่ยังไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ที่ร้อยละ 0.2 ในไส้กรอกแฟรงค์เฟอ์เตอร์ พบว่าจะช่วยลดการสูญเสียหลังการทำให้สุก และทำให้ค่าความสามารถเกาะตัวรวมกัน การทนต่อการเคี้ยวของไส้

กรอกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ชนิดของปลามีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ กุนเชียงที่ผลิตจากปลาน้ำจืด ปลาเนื้อขาว ที่มีไขมันต่ำ เช่น ปลายี่สก ปลาทับทิม ปลาช่อน และปลานวลจันทร์เทศ จะเกิดเจลได้ช้ากว่าปลาเนื้อแดง เพราะโปรตีนแอคโตไมโอซินมีความคงตัวต่อความร้อนมากกว่า ทำให้เกิดการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นโครงสร้างหรือร่างแหสามมิติของโปรตีนได้ช้ากว่า และมีความทนต่อปฏิกิริยาโมโดริ (Modori) หรือการสลายโครงสร้างของเจลเมื่อให้ความร้อนที่ 60-70 องศาเซลเซียส ลักษณะเจลของปลาเนื้อแดงที่เกิดขึ้นจึงมีความแข็งกระด้างกว่า และกุนเชียงปลาที่ใช้ปลาเนื้อขาวมีผลให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีความเหนียวนุ่มน้อยกว่าการใช้ปลาเนื้อแดงเป็นส่วนผสม (19)

จากการวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของน้ำ (ตารางที่ 3) ของกุนเชียงปลาตุกที่ใช้กัมจากลูกสำรองทดแทนไขมัน พบว่าการทดแทนไขมันโดยใช้ผงวุ้นลูกสำรองในอัตราส่วนที่ แตกต่างกันมีผลต่อค่ากิจกรรมของน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยค่ากิจกรรมของน้ำมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นแต่ยังอยู่ในช่วงที่ได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนดว่ากุนเชียงปลาเป็นอาหารประเภทกึ่งแห้ง (Intermediated Moisture Food) มีค่ากิจกรรมของน้ำ ในช่วง 0.60-0.85 และต้องมีค่ากิจกรรมของน้ำน้อยกว่า 0.86 (1, 20)

ค่าสีของกุนเชียงปลาตุกทั้ง 5 สิ่งทดลอง แสดงในตารางที่ 3 พบว่าค่าความสว่าง ( $L^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) โดยกุนเชียง ปลาตุกที่มีการใช้ผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมันในอัตราส่วน 0 ต่อ 10, 3 ต่อ 7, 5 ต่อ 5, 7 ต่อ 3 และ 10 ต่อ 0 มีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) เท่ากับ 45.97, 39.73, 39.10, 40.83, และ 39.07 ตามลำดับ และมีค่าความสีเหลือง ( $b^*$ ) เท่ากับ 29.87, 27.27, 32.47, 40.67 และ 30.37 ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) ( $P \leq 0.05$ ) การทดแทนผงวุ้นลูกสำรองในปริมาณเพิ่มมากขึ้นมีผลต่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำมากขึ้น ทั้งนี้เป็น

เพราะกัมสำรองมีสีน้ำตาลเข้มเมื่อนำไปทดแทนไขมันที่มีสีขาวส่งผลต่อสีผลิตภัณฑ์กุนเชียงที่มีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Juthong และคณะ (21) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เจลดจากลูกสำรองเพื่อทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์หมวย โดยระดับของเจลดจากลูกสำรองที่ใช้ในการเป็นสารทดแทนไขมัน คือ

ร้อยละ 0 (สูตรควบคุม) 25 50 75 และ 100 โดยน้ำหนัก จากผลการทดลอง พบว่าระดับของเจลดจากลูกสำรองที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อค่าความสว่าง ( $L^*$ ) และค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) แต่ไม่มีผลต่อค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) และค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) หลังจากการเก็บรักษานาน 9 วัน



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 1 ลูกสำรองและผงวุ้นจากลูกสำรอง (ก) ลูกสำรอง (ข) ลูกสำรองที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ค) ผงวุ้นจากลูกสำรอง



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ 2 ลักษณะของกุนเชียงปลาตุกที่มีการใช้ผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมันที่อัตราส่วน 0 ต่อ 10, 3 ต่อ 7, 5 ต่อ 5, 7 ต่อ 3 และ 10 ต่อ 0 โดยน้ำหนักตามลำดับ

ตารางที่ 2 ลักษณะเนื้อสัมผัสของกุนเชียงปลาตุกที่มีการใช้ผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมัน

อัตราส่วน ผงวุ้นลูกสำรอง ต่อไขมัน (โดยน้ำหนัก)	ลักษณะเนื้อสัมผัส					
	Hardness (N)	Cohesiveness	Adhesiveness (N)	Springiness <sup>ns</sup> (mm)	Guminess (N)	Chewiness (Nmm)
0:10	1731.66 ± 0.13 <sup>d</sup>	1490.60 ± 0.46 <sup>c</sup>	-3.67 ± 0.15 <sup>a</sup>	1.42 ± 0.37	305.09 ± 0.53 <sup>c</sup>	433.19 ± 0.19 <sup>b</sup>
3:7	2099.80 ± 0.12 <sup>c</sup>	1840.53 ± 0.31 <sup>bc</sup>	-2.59 ± 0.38 <sup>a</sup>	1.46 ± 0.25	350.03 ± 0.47 <sup>bc</sup>	512.16 ± 0.17 <sup>b</sup>
5:5	2487.83 ± 0.27 <sup>b</sup>	2065.22 ± 0.17 <sup>b</sup>	-1.64 ± 0.38 <sup>a</sup>	1.41 ± 0.22	356.46 ± 0.37 <sup>bc</sup>	502.13 ± 0.15 <sup>b</sup>
7:3	2594.08 ± 0.23 <sup>b</sup>	1984.38 ± 0.21 <sup>b</sup>	-5.43 ± 0.61 <sup>a</sup>	1.39 ± 0.21	366.04 ± 0.28 <sup>b</sup>	509.95 ± 0.21 <sup>b</sup>
10:0	3657.71 ± 0.29 <sup>a</sup>	2719.28 ± 0.19 <sup>a</sup>	-24.07 ± 0.68 <sup>b</sup>	1.42 ± 0.22	489.64 ± 0.29 <sup>a</sup>	695.52 ± 0.19 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ( $P > 0.05$ )

a-d หมายถึง อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ( $P \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 3** ค่ากิจกรรมของน้ำ และค่าสีของกุนเชียงปลาตุ๋กที่มีการใช้ผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมัน

อัตราส่วนผงวุ้นลูกสำรอง ต่อไขมัน (โดยน้ำหนัก)	ค่ากิจกรรม ของน้ำ	ค่าสี		
		ค่าความสว่าง (L*) <sup>ns</sup>	ค่าความเป็นสีแดง(a*)	ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) <sup>ns</sup>
0: 10	0.79±0.13 <sup>b</sup>	45.97±0.31	-13.43±0.19 <sup>ab</sup>	29.87±0.11
3: 7	0.84±0.12 <sup>a</sup>	39.73±0.15	-13.57±0.15 <sup>ab</sup>	27.27±0.19
5: 5	0.84±0.19 <sup>a</sup>	39.10±0.19	-15.87±0.21 <sup>c</sup>	32.47±0.19
7: 3	0.81±0.10 <sup>a</sup>	40.83±0.61	-15.53±0.20 <sup>bc</sup>	40.67±0.17
10: 0	0.85±0.16 <sup>a</sup>	39.07±0.23	-12.10±0.28 <sup>a</sup>	30.37±0.13

หมายเหตุ: ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (P > 0.05)

a-c หมายถึง อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (P ≤ 0.05)

**ตารางที่ 4** องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของกุนเชียงปลาตุ๋กที่มีการใช้ผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมัน

อัตราส่วนผงวุ้นลูก สำรองต่อไขมัน (โดยน้ำหนัก)	การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี(ร้อยละ)					
	ความชื้น	เถ้า	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	คาร์โบไฮเดรต
0:10	27.70±0.04 <sup>a</sup>	1.96±0.05 <sup>c</sup>	25.77±0.10 <sup>d</sup>	24.13±0.17 <sup>a</sup>	0.73±0.10 <sup>d</sup>	19.71±0.14 <sup>cd</sup>
3:7	28.29±0.07 <sup>a</sup>	3.23±0.11 <sup>b</sup>	27.38±0.17 <sup>c</sup>	19.70±0.17 <sup>b</sup>	1.21±0.15 <sup>c</sup>	20.19±0.18 <sup>c</sup>
5:5	28.39±0.27 <sup>a</sup>	4.38±0.06 <sup>a</sup>	28.01±0.15 <sup>b</sup>	19.49±0.17 <sup>b</sup>	1.49±0.12 <sup>b</sup>	18.24±0.17 <sup>d</sup>
7:3	25.95±0.34 <sup>b</sup>	4.56±0.08 <sup>a</sup>	27.55±0.13 <sup>bc</sup>	16.76±0.17 <sup>c</sup>	1.77±0.19 <sup>a</sup>	23.41±0.11 <sup>b</sup>
10:0	22.72±0.11 <sup>c</sup>	4.67±0.07 <sup>a</sup>	29.58±0.18 <sup>a</sup>	12.69±0.17 <sup>d</sup>	1.87±0.15 <sup>a</sup>	28.51±0.12 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: a, d หมายถึง อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (P < 0.05)

**ตารางที่ 5** คะแนนความชอบเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของกุนเชียงปลาตุ๋กที่มีการใช้ผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมัน

อัตราส่วนผงวุ้นลูกสำรอง ต่อไขมัน (โดยน้ำหนัก)	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติกรs	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0:10	7.07±1.61 <sup>a</sup>	6.80±1.41 <sup>ab</sup>	6.53±1.25	6.80±1.29 <sup>ab</sup>	6.73±1.22 <sup>b</sup>
3:7	6.70±1.31 <sup>ab</sup>	7.13±1.38 <sup>a</sup>	6.97±1.48	7.20±1.40 <sup>a</sup>	7.37±1.49 <sup>a</sup>
5:5	6.63±1.41 <sup>ab</sup>	6.80±1.53 <sup>ab</sup>	6.70±1.61	6.77±1.50 <sup>ab</sup>	6.83±1.47 <sup>b</sup>
7:3	6.70±1.39 <sup>ab</sup>	6.60±1.27 <sup>ab</sup>	6.60±1.53	6.47±1.48 <sup>b</sup>	6.67±1.41 <sup>b</sup>
10:0	6.43±1.37 <sup>b</sup>	6.57±1.25 <sup>b</sup>	6.67±1.56	6.70±1.40 <sup>ab</sup>	6.73±1.44 <sup>b</sup>

หมายเหตุ: ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (P > 0.05)

a-b หมายถึง อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (P < 0.05)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของผลิตภัณฑ์กุนเชียงปลาตุ๋กพบว่า การทดแทนไขมันโดยใช้ผงวุ้นลูกสำรองมีผลต่อปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรตอย่างที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05) (ตารางที่ 4) โดยการเพิ่มกัมลูกสำรองทดแทนมากขึ้นในขณะที่ปริมาณไขมันลดลงส่งผลให้ปริมาณเถ้า โปรตีน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรตในผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ซึ่ง

ให้ผลตรงกันข้ามกับปริมาณความชื้น และไขมันในผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่ลดลง ทั้งนี้เป็นในผลสำรองแห่งอุดมไปด้วย โยอาหาร ใยอาหาร ไขมัน และโปรตีน ร้อยละ 76.45 5.84 0.41 และ 3.75 (14) องค์ประกอบที่สำคัญในลูกสำรองได้แก่ น้ำตาลอะราบินอส น้ำตาลกาแลคโตส น้ำตาลแรมโนส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลสและน้ำตาลแมนโนส (18) จะเห็นได้ว่าลูกสำรองมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมไปด้วยเส้นใยหรือโยอาหาร ปริมาณโปรตีนสูง และปริมาณไขมันต่ำ ดังนั้นเมื่อนำไปทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กุนเชียงปลาตุกมีปริมาณโปรตีน เส้นใยสูงไปด้วย นอกจากนี้ลูกสำรองมีคุณสมบัติในการดูดน้ำกลับ และเป็นน้ำที่มาจากส่วนผสมและกักเก็บไว้ในโครงสร้างได้มากทำให้ผลิตภัณฑ์กุนเชียงมีลักษณะแห้ง ความชื้นลดต่ำลงตามปริมาณผงวุ้นที่มากขึ้นแต่ปริมาณส่วนผสมคงเดิมทุกสูตรการผลิต มีการปรับเปลี่ยนเพียงปริมาณไขมันเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากไขมันทำหน้าที่ปรับลักษณะเนื้อสัมผัสให้อ่อนนุ่มลง ในขณะที่ปริมาณไขมันที่ใส่ลดลง ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่มาจากส่วนประกอบของไขมันลดลงตามไปด้วย ซึ่งปริมาณไขมันเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนดให้กุนเชียงปลาต้องมีค่าโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 ไขมันไม่เกินร้อยละ 30 และ ค่ากิจกรรมของน้ำต้องน้อยกว่า 0.85 (1)

เมื่อนำผลิตภัณฑ์กุนเชียงปลาตุกทุกสิ่งทดลองไปทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส พบว่า การใช้ผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมากขึ้นมีผลต่อความชอบด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของกลุ่มตัวแทนผู้ทดสอบชิมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่อความชอบด้านรสชาติ (ตารางที่ 5) โดยผู้ทดสอบชิมให้ค่าคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมในผลิตภัณฑ์กุนเชียงปลาที่มีการใช้ผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมันในอัตราส่วนร้อยละ 3 มากที่สุด มีค่าคะแนนเท่ากับ 6.70, 7.13, 7.20 และ 7.37 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการใช้ลูกสำรองในผลิตภัณฑ์อาหารมีผลต่อ

ความชอบของผู้ทดสอบชิม ซึ่งในงานวิจัยของ Somboonpanyakul และคณะ (18) ได้ศึกษาผลการเติมกัมจากลูกสำรองที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ พบว่าไส้กรอกที่เติมกัมจากลูกสำรองในปริมาณร้อยละ 0.2 มีคะแนนการยอมรับสูงสุด ในขณะที่งานวิจัยของ ภูธฤทธิ์ และเสาวภา (7) ที่ศึกษาคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภคต่อไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ที่ใช้ลูกสำรองเป็นองค์ประกอบในอัตราส่วนร้อยละ 25 และ 50 ของไขมันหมู พบว่าสีและรสชาติของไส้กรอกผู้บริโภคให้การยอมรับในระดับดีถึงดีมาก และงานวิจัยของประภาศรี และคณะ (22) ที่ศึกษาการใช้ลูกสำรองทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์หมวย พบว่า การใช้ลูกสำรองทดแทนไขมันในอัตราส่วนปริมาณลูกสำรองต่อไขมันเป็น 2 ต่อ 1 ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าสูตรควบคุม ได้ค่าคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดที่ 6.97 คะแนน ปริมาณลูกสำรองที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อค่าคะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิม ทั้งนี้เนื่องจากลูกสำรองมีสีน้ำตาลเข้มเมื่อนำไปใส่ในผลิตภัณฑ์แปรรูปเนื้อสัตว์สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปเป็นสีที่ไม่คุ้นชิน คือสีของผลิตภัณฑ์มีลักษณะเข้มขึ้นไม่เป็นไปตามธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ดั้งเดิม และผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์ในแต่ละประเภทที่มีการใช้ประโยชน์จากลูกสำรองทดแทนไขมันมีผลต่อความชอบของผู้ประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส ดังนั้นเมื่อพิจารณาเลือกใช้ปริมาณผงวุ้นลูกสำรองและไขมันหมูที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์กุนเชียงปลาตุก คือ การใช้กัมจากลูกสำรองทดแทนไขมันหมูในอัตราส่วน 3 ต่อ 7 เนื่องจากมีค่าคะแนนความชอบด้านต่าง ๆ ของผู้ทดสอบมากที่สุด

## สรุปผล

การใช้ผงวุ้นลูกสำรองทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์กุนเชียงปลาตุกที่อัตราส่วนผงวุ้นลูกสำรองต่อไขมัน คือ 3 ต่อ 7 ซึ่งเป็นสูตรที่ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

มากที่สุด โดยสูตรที่เหมาะสมนี้มีองค์ประกอบเบื้องต้นของอาหาร คือ ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 28.29, 3.23, 27.38, 1.21 และ 20.19 ตามลำดับ สีนํ้าตาลของผงวุ้นลูกสำรองเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ผลต่อความชอบในทุกด้านของผู้ทดสอบชิม การเพิ่มปริมาณผงวุ้นลูกสำรองที่มากขึ้นสี่ของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่เข้มข้นส่งผลต่อคะแนนประเมินที่ลดลงทำให้การเพิ่มปริมาณการใช้ผงวุ้นลูกสำรองเพื่อประโยชน์ในการทดแทนไขมันมีข้อจำกัดแนวทางที่สามารถพัฒนาการใช้ประโยชน์จากผงวุ้นลูกสำรองมากขึ้นในผลิตภัณฑ์แปรรูปเนื้อสัตว์ คือ การนำผงวุ้นลูกสำรองไปพอกสี หรือการเลือกใช้ใช้ในผลิตภัณฑ์แปรรูปอาหารอื่นที่ลักษณะสีของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับสีของผงวุ้นลูกสำรอง เช่น ผลิตภัณฑ์บราวน์เค้ก เค้กช็อกโกแลต เป็นต้น

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ เคมีในการวิจัยครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

1. Thai Industrial Standards Institute. Community Product Standards Fish Sausage (CPS.104/2012). Bangkok: Ministry of Industry; 2012. Thai.
2. Rattanapanon N. Food Science of Fat and Oil. Bangkok: O.S. Printing House; 2005. Thai.
3. Seesung S, Thanasrisutarat A, Kongrat W. The Effects of Fat Replacers on Physical Properties of Fish Chinese Sausage from Freshwater Fish. Bangkok: Fisheries Industrial Technology Research and Development Division, Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives; 2561. 59-0803-59024. Thai.
4. Polsena P. Manual distinguishes between reserve and reserve skull. Prachinburi: Jetanaromphan LP; 2007. Thai.
5. Hengsawadi D. [Healthy dietary fiber]. Food Journal. 2002;32(3):157-9. Thai.
6. Rattanasuwan S. Utilization of Malva Nut meat in chicken yor products. In: Proceeding The 3<sup>rd</sup> National Academic Conference of Phranakhon Rajabhat University on "Interdisciplinary. Research for Sustainable Development: Thai Wisdom for the Advancement of ASEAN; 2012 Jul 25; Phranakhon Rajabhat University. Bangkok: 2012. p. 61-7. Thai.
7. Vittayaphattananurak Raksasiri B, Khiangga S. [Using of malva nut (Scaphium-MacropodiumBeaum.) as a fat substitute in frankfurter sausage]. Thaksin University Journal. 2012;15(3 Spec No): 157-9. Thai.
8. Sopha B. Effect of malva Nut Gum, Salt and Phosphate contents on quality characteristics of reduced fat Vienna Sausage preserved by combined hurdle factors [master's thesis]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2010. Thai.
9. Association of Official Analytical Chemist (AOAC). Official Method of Analysis. 16th ed. Arington Virginia: Association of Official Analytical Chemist; 1996.
10. Chomnawang C, Nantachai K, Yongsawatdigul J, Thawornchinsombut S,

- Tungkawachara S. Chemical and biochemical changes of hybrid catfish fillet stored at 4°C and its gel properties. *J Food chemistry*. 2007;103:420–27.
11. Kongpan O, Kongrat W, Siripornkitti W, Piriyaangkun P. *Aquaculture processing*. Bangkok: Fisheries Industrial Technology Research and Development Division, Department of Fisheries; 2015. Thai.
  12. Feng T, Ye R, Zhuang H, Rong Z, Fang Z, Wang Y, et al. Physicochemical properties and sensory evaluation of Mesona Blumes gum/rice starch mixed gels as fat-substitutes in Chinese Cantonese-style sausage. *J Food Res Int*. 2013;50:85-93.
  13. Sukhasem S, Klinkajorn S. [Stabilizer agent from malva nut (*scaphium scaphigerunm*) in food products]. *Thai Agricultural Research Journal*. 2017;35(1):14-30. Thai.
  14. Supamit W, Phusri P, Penroj P. Rheological Properties of malva nut gum. In: *Proceeding of the 8<sup>th</sup> Agro Industry Symposium; 2006 Jun 15 – 16; BITEC International Convention Center, Bang Na, Bangkok*. 2006. p. 169-80. Thai.
  15. Klinsukon M, Somboonpanyakul P, Laohakunjit N. [Extraction and chemical compositions of gum from malva nut seeds]. *Agricultural Science Journal*. 2009;40 (3 Suppl):333-6. Thai.
  16. Tan FJ, Liao FY, Jhan YJ, Liu DC. Effect of replacing pork backfat with yam (*Dioscorea alata*) on quality characteristics of Chinese sausage. *J Food Engineering*. 2007;79:858-63.
  17. Shao JH, Zou YF, Xu XL, Wu JQ, Zhou GH. Evaluation of structural changes in raw and heated meat batters prepared with different lipids using Raman spectroscopy. *J Food Res Int*. 2011;44(9):2955–61.
  18. Somboonpanyakul P, Barbut S, Jantawat P, Chinprahast N. Textural and sensory Quality of poultry meat batters containing malva nut gums, salt and phosphate. *J LWT food science and technology*. 2007;40(3):498–505.
  19. Prerdpornpan N. physicochemical property of protein from small scale mud carp (*Cirrhina microlepis*) [master's thesis]. Bangkok: Kasetsart University. 2007. Thai.
  20. Lichanporn I, Nanthachai N, Tanganurat P, Singkhum A, Kromnongpai P. [Effect of pectin from watermelon rind on quality of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) jam]. *Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi*. 2020;19(1):64-3. Thai.
  21. Juthong T, Singthong J, Boonyaputthipong W. Using Mhajokong (*Scaphium macropodium*) gel as fat replacer in Thai emulsion type pork sausage (Moo Yo). *Food Innovation Asia 2007 "Q" Food for Good Life; 2007 Jun 14–15; BITEC, Bangna, Bangkok*. 2007.
  22. Theprugsa P, Onwan N, Tongtangwong U. [Using of *scaphium macropodium* beaum as fat replacer in Moo Yaw]. *Food Journal*. 2006;36(3):238–46. Thai.



## การจัดการกระบวนการฉีดพลาสติก กรณีศึกษา โรงงานผลิตชิ้นส่วนไฟฟ้าประเภทโคมไฟ Management of Plastic Injection Processes: A Case Study of Electric Lamp Manufacturing

กนกพร พุ่มแย้ม วรณลักษณ์ เหล่าทวีทรัพย์ และ สุพิชชา ชีวพฤกษ์\*

Kanokporn Pumyaem, Wannalak Laotaweesub and Supitcha Cheevapruck\*

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800, THAILAND

\*Corresponding author e-mail: s6003081617013@kmutnb.ac.th

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

Article history:

Received: 24 June, 2020

Revised: 1 September, 2020

Accepted: 18 January, 2021

Available online: 28 April, 2021

DOI: [10.14456/rj-rmutt.2021.14](https://doi.org/10.14456/rj-rmutt.2021.14)

*Keywords:* waste reduction, injection adjustment, plastic injection process

The product quality inspection is processes of inspecting and controlling quality of the product by specifying waste controlling standards for controlling waste proportion. When wastes exceeded the waste controlling standard, the inefficient process in production must be improved. This research collected data on 2 product groups which are clear plastic products with waste controlling standard of less than 3 and coloured plastic products with waste controlling standard of less than 7%. Both groups are the main production line of the company. The researcher applied 7 Wastes Theory and Quality Control Tools for data collection then analysed the root causes of the waste that occurring in the production line in order to highlight the actual waste proportion in the production line as well as set the policy for encountering excess waste by applying ECRS concept, which consisted of Eliminate, Combine, Rearrange, and Simplify, as a production processes improving guideline. After improving the production processes, the machine set up time in chasing processes reduced from average of 25 minutes to 15 minutes. Moreover, after rearranging injection



moulding machines into each product line, the waste in the injection moulding was reduced by 45.08 in clear plastic product and 60.17% in general products which resulting in the total waste proportion was being within the waste controlling standard limit.

## บทคัดย่อ

การวิเคราะห์หาสาเหตุข้อบกพร่องและความผิดพลาดของผลิตภัณฑ์ เป็นกระบวนการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของสินค้า ด้วยการกำหนดเกณฑ์ควบคุมสัดส่วนของเสีย หากเกิดของเสียเกินค่าควบคุมจำเป็นต้องทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตในขั้นตอนที่ขาดประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์ 2 กลุ่ม คือกลุ่มผลิตภัณฑ์พลาสติกสีใสค่าควบคุมของเสียไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มผลิตภัณฑ์พลาสติกสีทึบค่าควบคุมของเสียไม่เกิน 7 เปอร์เซ็นต์ ทั้งสองกลุ่มงานเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์หลักที่บริษัทตัวอย่างทำการผลิต จากทฤษฎีความสูญเสียเปล่า 7 ประการและการนำเครื่องมือควบคุมคุณภาพ (Qc Tools) มาใช้การเก็บรวบรวมข้อมูล ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในสภาพการทำงานจริง เพื่อให้เห็นสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของเสียที่ชัดเจน พร้อมวางแผนมาตรการแก้ไข ปัญหาและเสนอแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยหลักการลดความสูญเสียตามแนวคิด ECRS ซึ่งประกอบด้วย การกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) ภายหลังจากปรับปรุงการผลิตพบว่าระยะเวลาในการตั้งเครื่องก่อนเริ่มการผลิต ในขั้นตอนการไล่กระบอก เวลาก่อนปรับปรุงอยู่ที่ 25 นาที หลังปรับปรุงใช้ระยะเวลา 15 นาที และจากการจัดกลุ่มเครื่องฉีดพลาสติกตามกลุ่มผลิตภัณฑ์ พบว่ากลุ่มงานฉีดผลิตภัณฑ์พลาสติกสีใสของเสียลดลง 45.08 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มผลิตภัณฑ์งานสีทึบของเสียลดลง 60.17 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่งผลให้ปริมาณของเสียอยู่ในเกณฑ์ควบคุมที่กำหนด

**คำสำคัญ:** การลดของเสีย งานปรับขีด กระบวนการผลิต ชิ้นงานพลาสติก

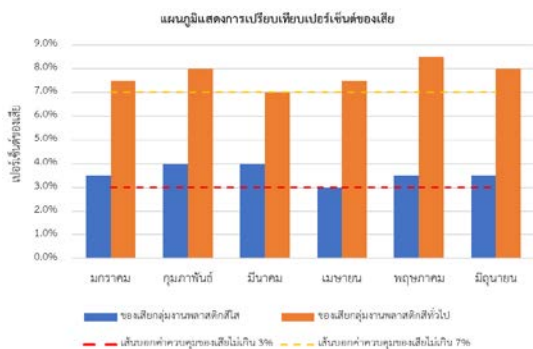
## บทนำ

จากการวิเคราะห์อุตสาหกรรมพลาสติกไทย ภายในปี 2562 คาดว่าอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก มีอัตราการเติบโตใกล้เคียงกับปีที่ผ่านมาอยู่ที่ 32 เปอร์เซ็นต์ จากปี 2561 โดยความต้องการบริโภคสินค้าด้านอาหาร และเครื่องใช้ภายในประเทศที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้การผลิตผลิตภัณฑ์จากพลาสติกยังคงมีความสำคัญอยู่ในปัจจุบัน (1) สถานประกอบมีความพยายามที่จะพัฒนาอุตสาหกรรมและเพิ่มศักยภาพในกระบวนการผลิตให้สูงขึ้น เพื่อสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าจึงมุ่งเน้นคุณภาพในด้านความสอดคล้องในกระบวนการผลิต คุณภาพในด้านนี้ จะส่งผลกระทบต่อตรงต่อต้นทุนการผลิต เนื่องจากในกรณีที่ผลิตผิดพลาด จะต้องมีการผลิตซ้ำ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ครบตามจำนวนที่ต้องการผลิต จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการผลิต จึงเป็นผลทำให้กระทบโดยตรงต่อต้นทุน (2)

กรณีโรงงานที่ศึกษาเป็นโรงงานที่มีการผลิตแบบหมุนเวียนเปลี่ยนผลิตภัณฑ์อยู่ตลอดเวลา ไม่มีการผลิตที่ตายตัว และผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้าโดยโรงงานมีการกำหนดค่าควบคุมของเสีย ได้แก่กลุ่มงานพลาสติกสีทึบของเสียได้ไม่เกิน 7 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มงานพลาสติกสีใส ของเสียไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการผลิตแบบหมุนเวียนในแต่ละสัปดาห์ไม่คงที่ ทำให้การใช้งานเครื่องฉีดพลาสติกมีการใช้งานที่ไม่เหมาะสมกับกลุ่มงานเช่น การใช้เครื่องฉีดพลาสติกตัวเดียวกัน แต่เม็ดพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่างกัน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิต เกิดข้อบกพร่องในตัวผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งผลกระทบต่อองค์กรในด้านต้นทุนแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ของเสียแต่ละประเภททั้งกลุ่มงานพลาสติกสีใสและกลุ่มงานพลาสติกทั่วไป

ประเภทของเสีย	ของเสีย(ชิ้น)	งานสีใส	งานสีทั่วไป
ปรับฉีด	50,201	23,788	26,413
จุดดำ/จุดสี	9,900	6,879	3,021
ฉีดขึ้นงานไม่เต็ม	10,255	5,128	5,127
คราบไฟเบอร์	8,907	2,100	6,807
ย่น/ยุบ	13,400	10,304	3,096
สีต่าง	9,693	4,356	5,337



รูปที่ 1 แผนภูมิแสดงเปอร์เซ็นต์ของเสียที่เกิดขึ้นค่าควบคุม

รูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าตั้งแต่เดือนมกราคม-มิถุนายนกลุ่มงานทั้งสองมีของเสียเกินค่าควบคุม 3 เปอร์เซ็นต์ และ 7 เปอร์เซ็นต์ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาหลักการของความสูญเปล่า 7 ประการ (7 Waste) (5) โดยมุ่งเน้นความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการผลิตของเสียทำการวิเคราะห์หาสาเหตุโดยเลือกใช้กราฟแท่ง (Graph) ในการแสดงของเสียพร้อมเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยปรับปรุงขั้นตอนกระบวนการฉีดพลาสติกที่ขาดประสิทธิภาพเป็นแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพแก่โรงงานอุตสาหกรรมโดยนำหลักการ ECRS ในเรื่องของการจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) (7) มาปรับใช้ในการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้มาซึ่งความเป็นเลิศทางกระบวนการผลิตถือเป็นความสำเร็จในทุกอุตสาหกรรม (8)

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### ศึกษากระบวนการฉีดขึ้นงานพลาสติก

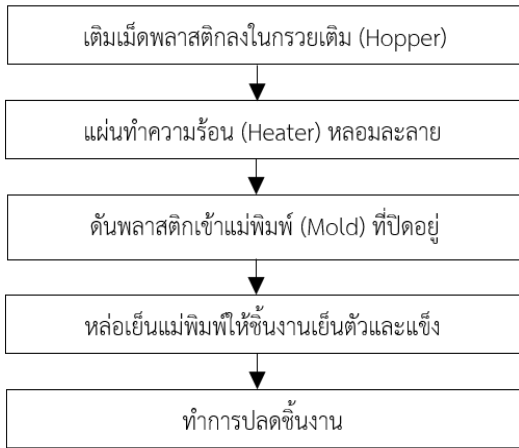
การขึ้นรูปพลาสติกเพื่อนำไปใช้งานมีหลากหลายวิธี เช่น การโดยการขึ้นรูปที่นิยมใช้ผลิตส่วนประกอบประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า คือ การขึ้นรูปด้วยการฉีด กระบวนการเริ่มจากการให้ความร้อนกับเม็ดพลาสติกจนหลอมละลายแล้วจึงฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ จากนั้นทำการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ถือว่าเสร็จสิ้นในแต่ละครั้งที่มีการฉีดพลาสติกจะต้องมีการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีด ได้แก่ ความเร็ว ความดัน อุณหภูมิ และเวลา ให้มีความเหมาะสมและสัมพันธ์กัน โดยผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น (9)

ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนวิธีการดำเนินการไว้ 5 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

#### 1. ศึกษากระบวนการฉีดขึ้นงานพลาสติก

การขึ้นรูปพลาสติกเพื่อใช้ประโยชน์มีหลายวิธี เช่น การขึ้นรูปที่ใช้ผลิตส่วนประกอบประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า คือ การขึ้นรูปด้วยการฉีด กระบวนการเริ่มจากการให้ความร้อนกับเม็ดพลาสติกจนหลอมละลายแล้วจึงฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ จากนั้นทำการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ถือว่าเสร็จสิ้นในแต่ละครั้งที่มีการฉีดพลาสติกจะต้องมีการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีด ได้แก่ ความเร็ว ความดัน อุณหภูมิ และเวลา ให้มีความเหมาะสมและสัมพันธ์กัน เพื่อป้องกัน

ข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น (9) โดยได้แสดงกระบวนการฉีดขึ้นรูปไว้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) (9)



รูปที่ 3 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่บริษัททำการผลิตในปัจจุบัน

2. ศึกษาสภาพการผลิตปัจจุบัน

โรงงานกรณีศึกษาฯ ผลิตสินค้า ชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และชิ้นงานพลาสติกประเภทต่าง ๆ เช่น โคมไฟ ชิ้นส่วนประกอบย่อย อีกทั้งรับเขียนแบบแม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิต ส่วนด้านการผลิต ผลิตภัณฑ์จะหมุนเวียนโดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตแสดงดังรูปที่ 3

3. เก็บรวบรวมข้อมูลข้อเสียที่เกิดจากงานปรับฉีด

จากการเก็บข้อมูลในเดือนมกราคม-มิถุนายน พ.ศ. 2562 พบของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต มีอัตราการเสียเกินค่าควบคุมที่โรงงานได้กำหนดทั้งกลุ่มงานพลาสติกสีใส ของเสียไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์และกลุ่มงานพลาสติกสีทึบ ของเสียไม่เกิน 7 เปอร์เซ็นต์โดยของเสียที่พบ ผู้วิจัยได้จำแนกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

3.1 ของเสียที่เกิดจากงานปรับฉีด หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทดลองฉีดหลังจากทำการปรับตั้งเครื่องฉีด

พลาสติก ถ้าหากผลิตภัณฑ์เกิดข้อบกพร่องจะถือว่าเป็นงานเสียที่เกิดจากงานปรับฉีดทันที

3.2 ของเสียที่เกิดจากการไล่กระบอก หมายถึง ของเสียที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาการไล่กระบอกเครื่องฉีดพลาสติก ก่อนทำการใช้งานเครื่องฉีด หมายถึง เม็ดพลาสติกที่ใช้ในการไล่กระบอก เมื่อเกิดการให้ความร้อนจะหลอมเหลวกลายเป็นก้อนพลาสติกที่ไม่สามารถใช้งานได้

ของเสียที่เกิดจากงานปรับฉีด

ตารางที่ 2 ข้อมูลของเสียที่เกิดจากงานปรับฉีดในกลุ่มงานพลาสติกสีใสและกลุ่มงานพลาสติกสีทึบ

เดือน	จำนวนผลิต(ชิ้น)	ของเสีย(ชิ้น)
มกราคม	197,499	7,900
กุมภาพันธ์	211,154	9,941
มีนาคม	247,714	5,901
เมษายน	179,439	7,370
พฤษภาคม	177,347	10,000
มิถุนายน	151,852	9,089

จากตารางที่ 2 แสดงจำนวนของเสียที่เกิดจากงานปรับฉีด จะเห็นได้ว่าของเสียที่เกิดจากงานปรับฉีดมีอัตราการเสียเกิดขึ้นตั้งแต่เดือนมกราคม-เดือนมิถุนายน มีอัตราการเสียเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาทั้ง 6 เดือน ผู้วิจัยจึงได้เก็บลักษณะของเสียที่เกิดจากงานปรับฉีดที่มีลักษณะงานเสียแตกต่างกันไป ทั้งกลุ่มงานพลาสติกสีใสและกลุ่มงานพลาสติกสีทึบไว้ดังรูปที่ 4

ของเสียจากการไล่กระบอก

จากตารางที่ 3 แสดงข้อมูลของเสียที่เกิดจากการไล่กระบอก ผู้วิจัยได้ทำการสอบถามพนักงานภายในโรงงาน ในเรื่องของการไล่กระบอก พบว่าการไล่กระบอกเครื่องฉีดพลาสติก เป็นสิ่งที่ต้องกระทำทุกครั้งก่อนการใช้งาน เนื่องจากเครื่องฉีดทุกเครื่อง มีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันแล้วแต่คำสั่งซื้อจากลูกค้าว่าต้องการให้ขึ้นผลิตภัณฑ์ใด เม็ดพลาสติกที่มีสีแตกต่างกันในกรณีที่ต้องเปลี่ยนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ขึ้นใหม่ โรงงานไม่สามารถที่

จะดำเนินการฉีดได้ทันที เพราะต้องทำการไล่กระบอก เม็ดพลาสติกเดิมที่ค้างอยู่ในกระบอกฉีดก่อน โดยของเสียที่พบจากการไล่กระบอกจะจำแนกเป็นกลุ่มงานพลาสติก

สีใสและกลุ่มงานพลาสติกสีทั่วไป มีลักษณะดังรูปที่ 5 และ 6

4. ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของเสียจากงานปรับฉีด



รูปที่ 4 ของเสียที่เกิดจากงานปรับฉีด

ตารางที่ 3 ของเสียที่เกิดจากการไล่กระบอก

เดือน	จำนวนการผลิต หน่วย:ชิ้น	เม็ดพลาสติกที่ใช้ หน่วย:มิลลิกรัม	ไล่กระบอก หน่วย:มิลลิกรัม	งานเสีย หน่วย:ชิ้น
มกราคม	197,499	2,333,900	201,152	7,900
กุมภาพันธ์	211,154	1,900,455	109,500	9,941
มีนาคม	247,714	900,000	157,254	5,901
เมษายน	179,439	1,500,780	987,560	7,370
พฤษภาคม	177,347	1,678,900	290,870	10,000
มิถุนายน	151,825	8,50,780	196,004	9,089



รูปที่ 5 ของเสียจากการไล่กระบอกพลาสติกทั่วไป



รูปที่ 6 ของเสียจากการไล่กระบอกพลาสติกสีใส



รูปที่ 7 แผนภูมิแสดงสัดส่วนของเสียจากงานปรับฉีด

จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่ามีของเสียจากงานปรับฉีดมีแนวโน้มของเสียเพิ่มขึ้นในทุกเดือน เนื่องจากโรงงานมีการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ตามปริมาณการสั่งผลิตของลูกค้า ดังนั้นการวางแผนผลิตจึงมีการเปลี่ยนแปลงทุกสัปดาห์ โดยโรงงานจะมีการจัดทำแผนการฉีดล่วงหน้า 1 สัปดาห์ ซึ่งไม่ได้มีการกำหนดเครื่องฉีดพลาสติกตามกลุ่มงานที่ต้องการฉีดเป็นสาเหตุให้พนักงานต้องทำการไล่กระบอกรีดพลาสติกทุกวัน โดยก่อนการใช้งานจะต้องมีขั้นตอนการทำงานของพนักงาน ดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการปรับตั้งแม่พิมพ์
2. ขั้นตอนการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์
3. ขั้นตอนการไล่กระบอกรีด
4. ขั้นตอนการทดลองฉีดชิ้นงาน

จากขั้นตอนดังกล่าวพบขั้นตอนที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดของเสีย คือ ขั้นตอนของการไล่กระบอกรีดเนื่องจากขั้นตอนนี้เป็นการไล่เม็ดพลาสติกและผงสีที่ตกค้างอยู่ในกระบอกรีดพลาสติก หากพนักงานไล่กระบอกรีดไม่สะอาดก็จะส่งผลให้ช่วงทดลองฉีดผลิตภัณฑ์ เกิดชิ้นงานที่มีข้อบกพร่อง เช่น คราบเปรอะเปื้อน คราบไฟเบอร์ แตก ย่น ยุบ หด จุดดำ จุดสี พนักงานจะทำการลงบันทึกโดยระบุเป็นของเสียที่เกิดจากงานปรับฉีดทั้งหมด โดยผลิตภัณฑ์ต้องผ่านการตรวจสอบจากพนักงาน จึงจะนับชิ้นงานนั้นเป็นผลิตภัณฑ์งานดีและทำการฉีดต่อไปจนครบจำนวนการผลิต แต่หากพบชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องระหว่างวันจะถูกบันทึกตามลักษณะที่เสียและไม่มีการลงบันทึกว่าเป็นงานปรับฉีด

ตารางที่ 4 การจับเวลาของเสียจากการไล่กระบอกรีดกลุ่มงานพลาสติกสีทั่วไป

ลักษณะของเสียและระยะเวลาในการไล่กระบอกรีด		
1:00 นาที	1:30 นาที	1:40 นาที
2:16 นาที	6:00 นาที	11:40 นาที

ตารางที่ 5 การจับเวลาของเสียจากการไล่กระบอกรีดกลุ่มงานพลาสติกงานสีใส

ลักษณะของเสียและระยะเวลาในการไล่กระบอกรีด		
2:15 นาที	2:25 นาที	2:40 นาที
3:16 นาที	4:00 นาที	7:24 นาที

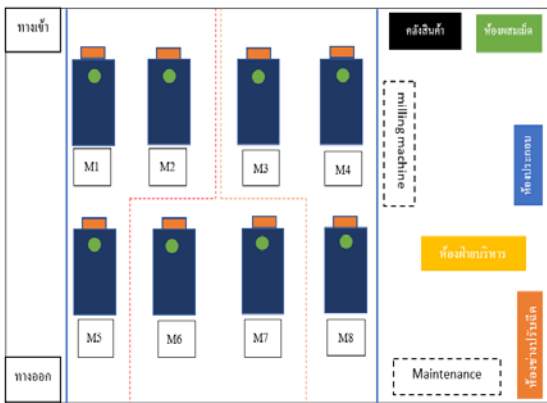
การไล่กระบอกรีด

จากการศึกษากระบวนการไล่กระบอกรีด โรงงานไม่มีคู่มือที่ใช้ในการไล่กระบอกรีด พนักงานใช้ความเคยชินและความรู้สึกในการไล่กระบอกรีดเครื่องฉีดพลาสติก ดังนั้นปริมาณเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการไล่กระบอกรีดในแต่ละวันจะมีปริมาณไม่เท่ากัน ขั้นตอนการไล่กระบอกรีดจะเริ่มต้นหลังจากการปรับตั้งเครื่องฉีด โดยระยะเวลาการไล่กระบอกรีดจะขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์เดิมที่ค้างในกระบอกรีดว่าเป็นพลาสติกสีทั่วไปหรือพลาสติกสีใส หากต้องการขึ้น

ผลิตภัณฑ์ชิ้นใหม่ที่เป็นกลุ่มงานพลาสติกสีใส อาจจะต้องใช้ระยะเวลาในการไล่กระบอกมากกว่าการขึ้นผลิตภัณฑ์ชิ้นใหม่ที่เป็นพลาสติกสีทัวไป การที่ไม่ใช้เครื่องฉีดให้ตรงกับประเภทของกลุ่มงานจะทำให้ระยะเวลาในการไล่กระบอกเพิ่มขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการสำรวจวิธีการไล่กระบอกและจับเวลาที่ใช้ในการไล่กระบอก ไว้ดังตารางที่ 4 และตารางที่ 5

5. นำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหา

1. เสนอแนวทางโดยกำหนดการใช้เครื่องฉีดพลาสติกให้ตรงกับกลุ่มผลิตภัณฑ์จากสภาพปัจจุบัน โรงงานมีเครื่องฉีดพลาสติกมีจำนวน 20 เครื่องแต่เปิดใช้งานต่อวันวันละ 8 เครื่องตามปริมาณการผลิตในแต่ละสัปดาห์ โรงงานไม่ได้มีการกำหนดการใช้เครื่องฉีดกับประเภทกลุ่มงานทำให้ไม่สามารถควบคุมของเสียได้ จึงนำเสนอแผนผังจำลองการใช้งานเครื่องฉีด ได้กำหนดกลุ่มงานออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มงานพลาสติกสีใส และพลาสติกสีทัวไปโดยทำแผนภาพจำลองไว้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงแผนผังการจัดกลุ่มเครื่องฉีด

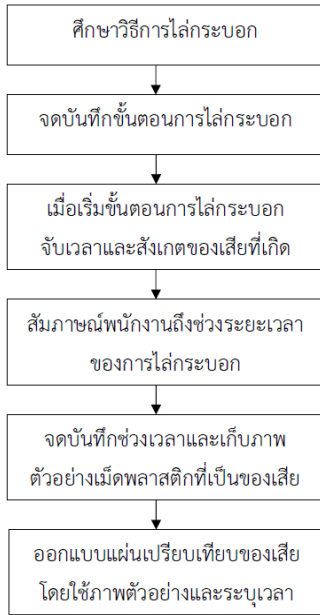
จากรูปที่ 9 แสดงเครื่องฉีดพลาสติกจำนวน 8 เครื่องที่โรงงานได้ทำการเปิดใช้งานในแต่ละวันจึงได้ทำการกำหนดการใช้เครื่องฉีดพลาสติกโดยแนวทางการแก้ไขนี้ต้องคำนึงถึงปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ของลูกค้าและวันส่งสินค้า โดยแบ่งแยกเป็น 3 โซน ได้แก่ โซนที่ 1 จะเป็นเครื่องฉีดพลาสติก M1 M2 M5 จะทำการฉีดพลาสติกในกลุ่มงานพลาสติกสีใส โซนที่ 2 จะเป็นเครื่องฉีดพลาสติก M3 M4 M8 จะทำการฉีดกลุ่มงาน

พลาสติกสีทัวไปที่เป็นงานสีดำ และโซนสุดท้าย จะเป็นเครื่องฉีดพลาสติก M6 M7 จะทำการฉีดพลาสติกในกลุ่มงานสีทัวไปเหมือนกันแต่จะมีความแตกต่างกันในเรื่องของสีพิเศษ (เขียวเนียน ชมพูเรืองแสง เหลืองเนียน) ซึ่งงานในกลุ่มนี้มักพบไม่มาก

2. การทำแผนเปรียบเทียบของเสียที่เกิดจากการไล่กระบอกโดยระบุระยะเวลา และลักษณะเพื่อเป็นคู่มือในการไล่กระบอกและง่ายต่อการศึกษาและนำไปพัฒนาในการอบรมพนักงานที่ยังไม่มีความเชี่ยวชาญในการไล่กระบอกได้แนวทางการแก้ไขนี้ ได้นำเทคนิค ECRS มาช่วยลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต เพื่อให้การดำเนินงานหรือการปฏิบัติงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยหลักการ ECRS ประกอบด้วย 1. การกำจัด (Eliminate) เป็นการกำจัดความสูญเปล่าที่ไม่จำเป็น หรือไม่มีประโยชน์ออกไปจากกระบวนการ เช่น ความสูญเปล่าจากการผลิตของเสีย 2. การรวมกัน (Combine) เป็นการลดขั้นตอนของกระบวนการทำงานที่ไม่จำเป็นลง เช่น จากเดิมมี 6 ขั้นตอน หลังจากปรับปรุงลดเหลือ 5 ขั้นตอน เป็นวิธีการที่ช่วยประหยัดเวลาช่วยให้รอบเวลาในการผลิตเร็วขึ้น

3. การจัดเรียงใหม่ (Rearrange) หากพบว่ามามีวิธีการทำงานแบบเดิม ที่ทำให้เกิดความสูญเปล่าเกิดขึ้น ก็จะมีการปรับเปลี่ยน เช่น การปรับเปลี่ยนแผนการจัดเครื่องฉีดพลาสติก

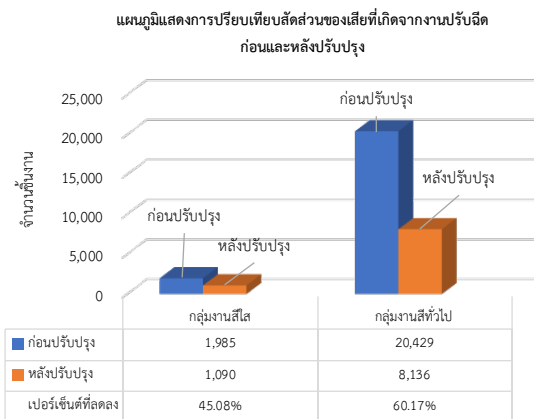
4. การทำให้ง่าย (Simplify) เป็นการปรับปรุงวิธีการทำงานให้เกิดความสะดวกต่อผู้ปฏิบัติงานให้มากขึ้นกว่าเดิม (10) การสร้างอุปกรณ์เครื่องมือเพื่อช่วยในการทำงานง่ายและสะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น โดยผู้วิจัยได้แสดงวิธีการจัดทำแผนเปรียบเทียบของเสีย ไว้ดังรูปที่ 9 และ 10



รูปที่ 9 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำแผ่นเปรียบเทียบ



รูปที่ 10 แผ่นเปรียบเทียบของเสียกลุ่มงานพลาสติกสีใสและกลุ่มงานพลาสติกสีทั่วไป



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียที่เกิดจากงานปรับฉีดก่อนและหลังปรับปรุง

## ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากแนวทางการแก้ไข ผู้วิจัยได้อภิปรายผลไว้ดังนี้

1. การนำเสนอให้มีการระบุเครื่องฉีดพลาสติกให้ตรงกับประเภทของกลุ่มงานทั้งกลุ่มงานพลาสติกสีใสและกลุ่มงานพลาสติกสีทั่วไป ผลพบว่าของเสียที่เกิดจากงานปรับฉีดมีของเสียลดลงทั้งกลุ่มงานพลาสติกสีใสและกลุ่มงานพลาสติกสีทั่วไป เมื่อเครื่องฉีดไม่ได้มีการปนเปื้อนจากเม็ดพลาสติกต่างชนิดกันจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกฉีดทดลองเกิดข้อบกพร่องน้อยลง จากเดิม ดังรูปที่ 11

จากรูปที่ 11 พบว่าก่อนทำการปรับปรุงมีการผลิตผลิตภัณฑ์ ทั้งหมด จำนวน 317,400 ชิ้น พบผลิตภัณฑ์ที่เสียจากงานปรับฉีด จำนวน 22,414 ชิ้น คิดเป็น 7.06 เปอร์เซ็นต์ของงานที่ผลิตทั้งหมด โดยของเสียจากงานปรับฉีด แบ่งเป็นกลุ่มงานพลาสติกสีใสจำนวน 1,985 ชิ้น และ กลุ่มงานพลาสติกสีทั่วไปจำนวน 20,459 ชิ้น

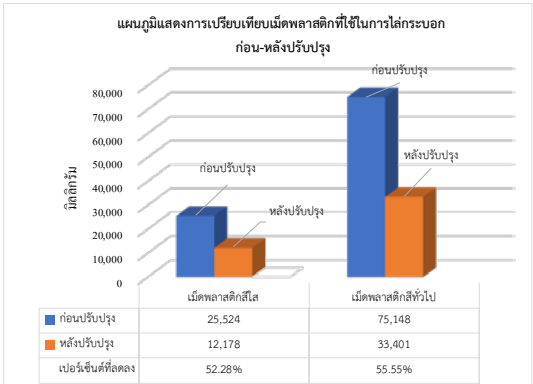
หลังปรับปรุงผู้วิจัยได้ทำการระบุเครื่องฉีดให้ตรงกับประเภทของงานโดยกลุ่มงานพลาสติกสีใสได้ถูกระบุให้ฉีดในเครื่องฉีดหมายเลข 1 2 5 และกลุ่มงานพลาสติกสีทั่วไป ระบุให้ฉีด เครื่องฉีดหมายเลข 3 4 8 แต่กลุ่มงานที่ไม่พบในเดือนที่ทำการแก้ไขปรับปรุง คือกลุ่มงานพลาสติกสีทั่วไป ที่เป็นสี ตลอดระยะเวลาเก็บผล 1 เดือนพบว่าของเสียที่เกิดจากการปรับฉีดหลังปรับปรุงมีของเสียเพียง 9,226 ชิ้น คิดเป็น 6.21 เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต แบ่งเป็นกลุ่มงานพลาสติกสีใส 1,090 ชิ้น คิดเป็น 11.80 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชิ้นงานที่เสีย และเมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุงสามารถลดของเสียในกลุ่มงานพลาสติกสีใสได้ถึง 45.08 เปอร์เซ็นต์และ ผลิตภัณฑ์กลุ่มงานพลาสติกสีทั่วไป ของเสีย 8,136 ชิ้น คิดเป็น 88.18 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชิ้นงานที่เสียและเมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุงสามารถลดของเสียในกลุ่มงานพลาสติกสีทั่วไปได้ถึง 60.17 เปอร์เซ็นต์

จากผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าวิธีการที่ได้เสนอให้มีการจัดกลุ่มเครื่องฉีดให้ตรงกับประเภทของกลุ่มงานเป็นการลดความสูญเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกใน

เรื่องของการผลิตของเสีย (Defect) (11) อันเนื่องมาจากการใช้งานเครื่องจักรไม่เหมาะสมซึ่งความสูญเสียนี้สามารถส่งผลกระทบต่อผู้ประกอบการในด้านของต้นทุนทางวัตถุดิบในการผลิตซ้ำและระยะเวลาที่ต้องเสียไปในการผลิตซ้ำ หากโรงงานสามารถควบคุมของเสียให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดได้และมีเปอร์เซ็นต์ของเสียอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ก็จะเป็นแนวในการพัฒนาในเรื่องของกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมพลาสติกต่อไป และยังสามารถนำไปปรับใช้กับอุตสาหกรรมแขนงต่าง ๆ ได้ ผู้วิจัยได้เก็บภาพเพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของปริมาณของเสียเปรียบเทียบของเสียสะสมภายในระยะเวลา 1 สัปดาห์ ไว้ดังตารางที่ 6

ของเสียที่สะสมภายในระยะเวลา 1 สัปดาห์ก่อนปรับปรุง		
		
วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
ของเสียที่สะสมภายในระยะเวลา 1 สัปดาห์หลังปรับปรุง		
		
วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5

2. การทำแผนเปรียบเทียบของเสียที่เกิดจากการไล่กระบอกพบว่าพนักงานใช้ระยะเวลาในการไล่กระบอกน้อยลงหลังจากได้ดูแผนเปรียบเทียบที่ได้จัดทำขึ้นและการใช้เม็ดพลาสติกในการไล่กระบอกลดน้อยลง ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบสัดส่วนเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการไล่กระบอกก่อน-หลังปรับปรุง

แสดงปริมาณเม็ดพลาสติกที่ใช้ไล่กระบอกก่อนปรับปรุง และ หลังปรับปรุง โดยก่อนปรับปรุงมีการใช้เม็ดพลาสติกในการผลิต จำนวน 13,549,162 มิลลิกรัม นำไปใช้ในการไล่ กระบอกเครื่องฉีด จำนวน 100,672 มิลลิกรัม คิดเป็น 0.74 เปอร์เซ็นต์ของเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการผลิต โดยแบ่งเป็นเม็ดพลาสติกสีใส 25,524 มิลลิกรัม และเม็ดพลาสติกสีทัวไป 75,118 มิลลิกรัมจากระยะเวลาในการเก็บผล พบว่าเม็ดพลาสติกสีทัวไปมีปริมาณการใช้ไล่กระบอกมากกว่าเม็ดพลาสติกสีใสเพราะมีการส่งผลิตในกลุ่มงานพลาสติกสีทัวไปมากกว่ากลุ่มงานพลาสติกสีใส โดยงานทั้ง 2 กลุ่มนี้จำเป็นต้องมีการไล่กระบอกทุกครั้ง ทำให้มีการสูญเสียเม็ดพลาสติกไปในการไล่กระบอก หลังทำการปรับปรุง

ผลพบว่าหลังทำการปรับปรุงมีการใช้เม็ดพลาสติกในการผลิตจำนวน 6,221,968 มิลลิกรัม ถูกนำไปใช้ในใช้ในการไล่กระบอกเครื่องฉีด 45,579 มิลลิกรัม คิดเป็น 0.73 เปอร์เซ็นต์ของเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการผลิต แบ่งเป็นเม็ดพลาสติกสีใส หลังทำการปรับปรุงใช้ไปเพียง 12,178 มิลลิกรัมและเมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุงใช้เม็ดพลาสติกสีใสไป 25,524 มิลลิกรัม เทียบเป็นสัดส่วนที่ลดลงไปถึง 52.28 เปอร์เซ็นต์ และเม็ดพลาสติกสีทัวไป หลังปรับปรุงใช้เพียง 33,401 มิลลิกรัม เมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุง 75,148 มิลลิกรัม เทียบเป็นสัดส่วนที่ลดลงไปถึง 55.55 เปอร์เซ็นต์การลดของเสียในกระบวนการผลิตที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งพื้นฐานสาเหตุ



ของความผิดพลาดจนเกิดของเสีย อีกประการหนึ่งนั้นคือ ความผิดพลาดของพนักงาน (Human Error) ถ้าหากพนักงานเกิดความเข้าใจในสิ่งที่ผิดพลาดในเรื่องของข้อบกพร่องและสาเหตุที่สัมพันธ์กัน และเข้าใจกลไกการป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้น จะทำโรงงานมีขั้นตอนในการปรับปรุงประสิทธิภาพได้ดีมากขึ้น พร้อมทั้งเป็นการพัฒนาบุคลากรใหม่ ๆ ภายในโรงงาน วิธีการที่ได้นำเสนอในการจัดทำแผนเปรียบเทียบของเสีย สามารถนำไปพัฒนาต่อไปในการใช้ข้อมูลส่วนดังกล่าวนำไปจัดทำเป็นคู่มือเพื่อให้ผู้ประกอบการได้นำไปใช้ ในการอบรมแก่พนักงานของโรงงานต่อไป นอกจากจะสามารถควบคุมของเสียที่เกิดจากการผลิตได้แล้ว เรายังสามารถพัฒนาศักยภาพของพนักงาน ในการทำงานให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย

ตารางที่ 7 ลักษณะของเสียที่เกิดจากการไล่กระบอกสีใส

ก่อนปรับปรุง


ใช้ระยะเวลา 26:18 นาที จำนวนครั้งที่ไล่กระบอก 6 ครั้ง

ใช้ระยะเวลา 15:00 นาที จำนวนครั้งที่ไล่กระบอก 4 ครั้ง

จากตารางที่ 7 แสดงการลักษณะของเสียที่เกิดจากการไล่กระบอกและระยะเวลาที่ใช้ในการไล่กระบอก ผู้วิจัยได้ทำการเก็บผลก่อนปรับปรุงโดยพนักงานใช้ระยะเวลาในช่วงไล่กระบอก 26:18 นาที ซึ่งโรงงานจะมีนโยบายในการปรับตั้งเครื่องจักรและทำการทดลองฉีดผลิตภัณฑ์ โดยมีระยะเวลาที่กำหนดคือ 30 นาที นั้นหมายถึง ระยะเวลา 08:30-09:00 นาที จึงเริ่มฉีดผลิตภัณฑ์ และหลังปรับปรุงใช้ระยะเวลา 15 นาที จำนวนครั้งการไล่กระบอกลดน้อยลงเหลือเพียง 4 ครั้ง นอกจากนี้ กลุ่มงานพลาสติกสีทั่วไป พนักงานก็ได้ใช้ระยะเวลาในการไล่กระบอกน้อยลงเช่นกัน

ตารางที่ 8 ลักษณะของเสียที่เกิดจากการไล่กระบอก

ก่อนปรับปรุง

ใช้ระยะเวลา 21:20 นาที จำนวนครั้งที่ไล่กระบอก 6 ครั้ง

ใช้ระยะเวลา 12:80 นาที จำนวนครั้งที่ไล่กระบอก 4 ครั้ง

จากตารางที่ 8 แสดงการลักษณะของเสียที่เกิดจากการไล่กระบอกและระยะเวลาที่ใช้ในการไล่กระบอก โดยระยะเวลา ก่อนทำการปรับปรุงใช้เวลา 20:10 นาที

และหลังปรับปรุงใช้ระยะเวลา 12:80 นาที จำนวนครั้ง  
การไล่กระบอกลดน้อยลงเหลือเพียง 4 ครั้ง

### สรุปผล

จากการศึกษาปัญหาตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2562 พบว่า มีของเสียที่เกิดจากงาน  
ปรับฉีดในขั้นตอนการไล่กระบอก มีปริมาณมาก ผลิตภัณฑ์  
เสียเกินค่าควบคุม โดยผู้วิจัยใช้กราฟในการเปรียบเทียบ  
สัดส่วนของเสีย โดยสามารถจำแนกของเสียได้ 2 แบบ คือ  
ของเสียที่เกิดจากงานปรับฉีด คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทำการ  
ทดลองฉีดหลังปรับตั้งเครื่องฉีด และของเสียที่เกิดจากการ  
ไล่กระบอก คือ เม็ดพลาสติกที่ใช้ไล่กระบอกเมื่อ  
หลอมเหลวจะกลายเป็นก้อนพลาสติกแข็งที่ไม่สามารถใช้  
ประโยชน์ได้ ผลการดำเนินการแก้ไขปัญหาดังนี้

1. เมื่อทำการระบุเครื่องฉีดพลาสติกให้ตรงกับ  
ประเภทของกลุ่มผลิตภัณฑ์ พบว่าของเสียจากงานปรับ  
ฉีด หลังทำการปรับปรุง ของเสียมีสัดส่วนลดลง จากของ  
เสียรวมจำนวน 9,226 ชิ้นแบ่งเป็นของเสียที่เกิดจากงาน  
ปรับฉีดในกลุ่มงานพลาสติกสีใสจำนวน 1,090 ชิ้นและ  
กลุ่มงานพลาสติกสีทั่วไปจำนวน 8,136 ชิ้น จากข้อมูล  
ดังกล่าวคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเสียที่ลดลงทั้งกลุ่ม  
พลาสติกสีใสและสีทั่วไปลดลงไป 58.83 เปอร์เซ็นต์ โดย  
กลุ่มงานพลาสติกสีใสลดลงไป 45.08 เปอร์เซ็นต์ และ  
กลุ่มงานทั่วไปลดลงไป 60.17 เปอร์เซ็นต์นอกจากนั้นผล  
ที่ได้ตามมาคือการใช้เม็ดพลาสติกในการไล่กระบอกลด  
น้อยลง เพราะไม่ได้มีการปรับเปลี่ยนเครื่องฉีด ทำให้การ  
ไล่กระบอกง่ายขึ้น ก่อนทำการปรับปรุงการไล่กระบอก  
ใช้เม็ดพลาสติกสีใสไปทั้งหมด 21,324 มิลลิกรัม และ  
หลังปรับปรุงใช้ไป 12,178 มิลลิกรัม คิดเป็นเปอร์เซ็นต์  
การใช้เม็ดพลาสติกลดลง 52.28 เปอร์เซ็นต์ และ  
พลาสติกสีทั่วไปใช้เม็ดพลาสติก 75,148 มิลลิกรัม หลัง  
ปรับปรุงใช้เม็ดพลาสติก 33,401 มิลลิกรัม คิดเป็น  
เปอร์เซ็นต์การใช้เม็ดพลาสติกลดลง 55.55 เปอร์เซ็นต์

2. ในการจัดทำแผ่นเปรียบเทียบของเสียที่เกิด  
จากการไล่กระบอกโดยมีการระบุระยะเวลาและอุณหภูมิ

ให้พนักงานได้ใช้สังเกตลักษณะของเสียที่ออกมาจากการ  
ไล่กระบอกที่จะสามารถบ่งบอกความพร้อมในการทำงาน  
ของเครื่องฉีดพลาสติกด้วยวิธีการนี้ได้นำหลัก ECRS เป็น  
ขั้นตอนการปรับปรุงประสิทธิภาพของงานให้ดีขึ้นโดย  
เลือกใช้หลักการทำให้ง่าย (Simplify) โดยการสร้าง  
อุปกรณ์ที่ช่วยให้ง่ายขึ้นต่อการทำงาน นั่นคือแผ่น  
เปรียบเทียบ ผลพบว่าพนักงานสามารถใช้ระยะเวลาใน  
การไล่กระบอกได้เร็วขึ้นจากก่อนปรับปรุงอยู่ที่ 20-25 นาที  
หลังปรับปรุงใช้ระยะเวลา 10 - 15 นาที ส่งผลให้เริ่ม  
ผลิตได้เร็วขึ้นจากเดิมเป็นเวลา 10 นาที

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท พีทีที อุตสาหกรรม จำกัด  
และพนักงานฝ่ายผลิตของบริษัททุกท่าน ที่ให้ความ  
อนุเคราะห์ข้อมูลและทดลองปรับปรุงการผลิตตามแผน  
งานวิจัยนี้

### เอกสารอ้างอิง

1. Center for Business and Economic Research for  
Plastic Industry Foundations. Plastic industry  
2018-2019 [Internet]. 2018 [cited 2018 Dec 12].  
Availability from: [https://www.gsb.or.th/  
getattachment/52ccb027-2b2c-4930-bf0c-  
87da88b0976a/plastic\\_61\\_62.aspx](https://www.gsb.or.th/getattachment/52ccb027-2b2c-4930-bf0c-87da88b0976a/plastic_61_62.aspx). Thai.
2. Srirattanaphan N. Waste Reduction in Forming  
Foam Car Seat Process: Case Study at an  
Example Factory [master's thesis]. Pathumthani:  
Rajamangala University of Technology  
Thanyaburi; 2016. Thai.
3. Nakayoshi N. Waste reduction in the  
production process to zero. 6th ed. Bangkok:  
Technology Promotion Association (Thailand-  
Japan); 2009. Thai.

4. Thamchaisopit P. Efficiency Enhancement of Production Process for Electronic Industry by Using Lean Manufacturing [master's thesis]. Chon Buri: Burapha University; 2016. Thai.
5. Chearatharavanich P, Wattanasangsut A, Teekasap S, Saelem S. [Quality control tools application for waste reduction in voice coil production line]. Kasetsart University Kamphaeng Saen. 2006;4(1):101-9. Thai.
6. Poonsawat. ( Increasing Work Efficiency of Export Document Department: A Case Study of Agent Liner in Laem Chabang Zone [master's thesis]. Chon Buri: Burapha University; 2016. Thai.
7. Sunarak T. Improving the efficiency of production line: A case study of magnetic coil production line [master's thesis]. Bangkok: Mahanakorn University of Technology; 2016. Thai.
8. Ridkheaw P. [Design of experiment to reduce Waste in chrome coated mirror]. Journal of Engineering, RMUTT. 2012;10(1):25-32. Thai.
9. Phuengsook P, Rungruang-Anan W. [Defect reduction in injection process a case study of a washing machine by design of experiment]. Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi. 2012;10(1):33-9. Thai.
10. Wajanawichakon K. [Waste reduction for efficiency improvement in broom production processes: A case study of community enterprise Bung Wai, Ubon Ratchathani]. UBU Engineering Journal. 2020;13(1):141-51. Thai.
11. Homsri P, kongtana j. [Defects Reduction in the process of automotive injection plastic part by using Design of Experiment (DOE)]. Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi. 2016;16(6):11-28. Thai.



## การพัฒนาระบบแสดงผลภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก 2.5 ไมโครเมตร (PM2.5) ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร

### Development of Data Visualization for Particulate Matter 2.5 micrometers Analysis in Bangkok

วันมงคล พิกุลแย้ม<sup>1</sup> ปราลี มณีรัตน์<sup>1</sup> และ นิเวศ จิระวิชิตชัย<sup>2\*</sup>

Wunmongkol Pikulyam<sup>1</sup>, Paralee Maneerat<sup>1</sup> and Nivet Chirawichitchai<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

<sup>2</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ ถนนแจ้งวัฒนะ เขตปากเกร็ด นนทบุรี

<sup>1</sup>School of Information Technology, Sripatum University, Phahon Yothin, Chatuchak, Bangkok 10900, THAILAND

<sup>2</sup>Faculty of Engineering and Technology, Panyapiwat Institute of Management, Chaengwattana Pakkred, Nonthaburi 11120, THAILAND

\*Corresponding author e-mail: nivetchi@pim.ac.th

#### ARTICLE INFO

#### ABSTRACT

Article history:

Received: 4 August, 2020

Revised: 7 September, 2020

Accepted: 30 October, 2020

Available online: 31 May, 2021

DOI: 10.14456/rj-rmutt.2021.15

*Keywords:* data analytics, data visualization, PM2.5

Annual data of the Pollution Control Department of PM dust 2.5 is an increase in volumes indicating problem air quality. The problem is different and more complex. Therefore, it has to be analyzed to identify the cause in order to resolve the problem more precisely and efficiently. This research purposes data analytics and visualization system for particle dust particle size determination of 2.5 micrometers (PM2.5) in Bangkok using visualization technique with R programming language and Mysql database. The system can display quantitative information that can be measured in many forms such as numbers, diagrams and graphs as well as being interesting, easy to understand, and provide clarity in analysis. The implementation of this research has collected data from the Pollution Control Department and the Bangkok PM 2.5 database, which monitors the air quality of Thailand to assess the situation of air quality and alert the case of pollution exceeding the standard.

The experimental and evaluation of satisfaction by user found that users were satisfied with the program at a good level. The system was analyzed to support the work of data analytic and visualization for users effectively.

## บทคัดย่อ

ข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษประจำปี สถานการณ์ของปริมาณฝุ่น PM2.5 มีแนวโน้มที่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงคุณภาพของอากาศที่ยังเป็นปัญหาที่ต้องแก้ไขอย่างเร่งด่วน เนื่องจากสภาพปัญหาที่แตกต่างจากเดิมและมีความซับซ้อนมากขึ้น จึงต้องวิเคราะห์ให้ทราบสาเหตุที่ชัดเจน เพื่อที่จะดำเนินการแก้ไข ปัญหาได้อย่างตรงจุดและมีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอการพัฒนาระบบแสดงผลภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก 2.5 ไมโครเมตร (PM2.5) ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยใช้เทคนิคดาต้า วิซวลไลเซชันด้วยภาษา R และใช้ฐานข้อมูล Mysql สามารถแสดงข้อมูลในเชิงปริมาณที่วัดได้หลายรูปแบบ เช่น ตัวเลข แผนภาพ และกราฟต่าง ๆ อีกทั้งมีความน่าสนใจ ดูแล้วเข้าใจง่าย และทำให้เกิดความชัดเจนในการวิเคราะห์ การดำเนินงานของงานวิจัยนี้ มีการเก็บรวบรวม ข้อมูลหลังจากกรมควบคุมมลพิษกับฐานข้อมูล Bangkok PM2.5 ที่ดำเนินการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศของประเทศไทย เพื่อประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศเผ่า ระวังและแจ้งเตือนกรณีพบปริมาณสารมลพิษเกินค่า มาตรฐาน ผลการทดสอบประสิทธิภาพความพึงพอใจของ ผู้ใช้งานระบบแสดงผลภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่น พบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจด้านความสามารถของระบบ ความ ถูกต้องของระบบ และ การใช้งานของระบบ เพื่อนำไป วิเคราะห์วิเคราะห์ปริมาณฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก 2.5 อยู่ใน ระดับดี จึงสรุปได้ว่าระบบงานนี้ สามารถวิเคราะห์ปริมาณ ฝุ่นอนุภาคขนาดเล็กเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้ใช้ ระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ:** การวิเคราะห์ข้อมูล การแสดงผลภาพ ฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก 2.5 ไมโครเมตร

## บทนำ

ปัจจุบันมลพิษทางอากาศนับว่าเป็นปัญหาหลัก ที่สำคัญของประเทศไทยและนับวันยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น ทางรัฐบาลให้ความสำคัญเป็นอย่างมากและได้ ดำเนินการหาวิธีการต่างๆเพื่อที่จะทำการแก้ไขปัญหา ดังกล่าว โดยเฉพาะฝุ่น อนุภาคขนาดเล็กที่มี เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมโครเมตร ซึ่งสาเหตุ ต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดฝุ่นอนุภาคขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าน ศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมโครเมตร นั้นเกิดจากการเผา ชยะ การเผาป่า การเผาไหม้ไอเสียของเครื่องยนต์จาก รถยนต์หลายประเภท ไอเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และ การก่อสร้างต่าง ๆ ซึ่งเมื่อฝุ่นอนุภาคขนาดเล็กที่มี เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมโครเมตร ที่เกิดจาก สาเหตุต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมานั้นฟุ้งกระจายปะปนกับอากาศ และมีปริมาณมากเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ ทำให้ ประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่หายใจเอาฝุ่นอนุภาคขนาด เล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมโครเมตร เข้าไป ได้โดยง่าย และเมื่อมีปริมาณฝุ่นอนุภาคขนาดเล็กที่มีเส้น ผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมโครเมตร เข้าสู่ร่างกายใน ปริมาณที่สูงมากจะส่งผลให้เกิดความเสี่ยงโรคเรื้อรัง เช่น โรคหลอดเลือดในสมอง โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรคมะเร็ง ปอด โรคหัวใจขาดเลือด โรคติดเชื้อเฉียบพลัน ในระบบ ทางเดินหายใจส่วนล่าง การรับทราบข้อมูลของคุณภาพ อากาศล่วงหน้าจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ (1, 2)

ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์วิจัยปริมาณ ฝุ่นอนุภาคขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมโครเมตร ที่เกิดขึ้นในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็น

มหานครที่มีประชาชนอาศัยอยู่เป็นจำนวนมากเป็นอันดับหนึ่งของประเทศไทย ปัจจุบันกรุงเทพมหานครอยู่ในช่วงที่กำลังพัฒนาเมือง จึงมีการก่อสร้างจำนวนมากไม่ว่าจะเป็นการสร้างที่อยู่อาศัย การสร้างระบบขนส่งมวลชน ยังมีการคมนาคมคับคั่ง มีการใช้ยานพาหนะส่วนตัวเป็นจำนวนมาก และแนวโน้มของการเพิ่มจำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลประเภทต่าง ๆ มากขึ้นทุกปี ล้วนเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิด PM2.5 เป็นฝุ่นที่ก่อปัญหามลพิษทางอากาศให้กับกรุงเทพมหานคร โดย PM2.5 ได้สะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศนั้นมีอยู่ในระดับที่เกินค่ามาตรฐานซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนทั้งทางตรงและทางอ้อม

**ตารางที่ 1** ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (1, 2)

QI	PM2.5 (มคก./ลบ.ม.)	PM10 (มคก./ลบ.ม.)
0 - 25	0 - 25	0 - 50
26 - 50	26 - 37	51 - 80
51 - 100	38 - 50	81 - 120
101 - 200	51 - 90	121 - 180
มากกว่า 200	91 ขึ้นไป	181 ขึ้นไป

จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษประจำปีสถานการณ์ของ PM2.5 มีแนวโน้มที่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงถึงคุณภาพของอากาศที่ยังเป็นปัญหาที่ต้องแก้ไขอย่างเร่งด่วน ซึ่งมีปัญหาที่แตกต่างจากเดิม และมีความซับซ้อน จึงต้องวิเคราะห์ให้ทราบสาเหตุที่ชัดเจนเพื่อที่จะดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างตรงจุดและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่หลากหลายเพื่อช่วยในการเก็บข้อมูล ในงานวิจัยนี้จะทำการเก็บข้อมูลจากเครื่องมือวัดสภาพอากาศที่สามารถวัดค่า PM2.5 เครื่องมือวัดสภาพอากาศยังสามารถวัดค่า PM1.0 ค่าแรงลม ค่าความชื้นสัมพัทธ์ และค่าก๊าซต่าง รวมถึงค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่ทั้งหมดที่กล่าวมานั้นล้วนจัดปัจจัยให้เกิดปริมาณฝุ่น PM2.5 เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มา

คำนวณค่าเพื่อทำการพยากรณ์การเกิด PM2.5 ในงานวิจัยนี้ทำการพัฒนาระบบรับข้อมูลจากเครื่องมือวัดสภาพอากาศที่ได้มานั้นแล้วทำการเก็บเข้าระบบฐานข้อมูลและนำมาคำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อทำการพยากรณ์ค่าปริมาณ PM2.5 ที่จะเกิดขึ้นและแสดงผลภาพเชิงปฏิสัมพันธ์ของ PM2.5 ด้วยเทคโนโลยีวิชวลไลเซชัน (Visualization) จึงสามารถแสดงข้อมูลในเชิงปริมาณที่วัดได้หลายรูปแบบ เช่น ตัวเลข แผนภาพ 2 มิติ 3 มิติ และกราฟต่าง ๆ ที่มีปฏิสัมพันธ์ต่อผู้ใช้งานเป็นอย่างมากทั้งยังมีความน่าสนใจ ดูแล้วเข้าใจง่าย และทำให้เกิดความชัดเจน และเป็นการแก้ปัญหาความซ้ำซ้อน ลดระยะเวลาการเข้าถึงข้อมูล การสร้างภาพวิชวลไลเซชันในระดับสำคัญวิธีการให้ปฏิสัมพันธ์กับข้อมูล เทคนิคการสร้างภาพวิชวลไลเซชันสามารถแบ่งออกเป็นประเภทหรือหมวดหมู่ตามชนิดข้อมูล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยในการเลือกเทคนิคการสร้างภาพวิชวลไลเซชัน จำนวนของแอตทริบิวต์หรือมิติ ปริมาณข้อมูลหรือจำนวนข้อมูล คุณภาพหรือหมวดหมู่ข้อมูล การสร้างภาพวิชวลไลเซชัน จัดเป็นชนิดของงานเป็นอีกแง่มุมในการพิจารณาจำแนกประเภทหรือหมวดหมู่ของเทคนิคการสร้างภาพวิชวลไลเซชันหรือการวิเคราะห์ข้อมูลให้บรรลุเป้าหมายด้วยวิธีการนำเสนอข้อมูลเป็นกราฟิก โดยพิจารณาจากงานที่มีความสำคัญเป็นหลัก รวมถึงการมีปฏิสัมพันธ์ของข้อมูลกันระหว่างการวิเคราะห์และการแสดงผล (3, 4)

เมื่อได้มีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่างานวิจัยของ รัฐภาพร และคณะ (5) ได้ศึกษาการนำค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 และ PM2.5 เฉลี่ยรายวันที่วัดได้จากเครื่องมือวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก Dust DETEC มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศกรมควบคุม พบว่าข้อมูลที่ได้มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันและเมื่อนำข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็กจากเครื่องมือวัดฝุ่นละออง Dust DETEC เปรียบเทียบกับข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษและปริมาณจุดความร้อน พบว่ามีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือหากช่วงที่มีปริมาณจุดความร้อนสูง

ก็จะส่งผลให้ค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 สูงขึ้นตามไปด้วย

งานวิจัยของ อิศระ (6) ได้ศึกษาการกระจายความเข้มข้นฝุ่นละอองเชิงพื้นที่ (Spatial Distribution) ในกรุงเทพมหานคร เป็นประโยชน์ในการประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศ ดังแสดงในภาพการประเมิน PM2.5 เฉลี่ยรายปี 2560 จากโครงการ การจัดทำแผนที่สถานการณ์มลพิษทางอากาศของประเทศไทย ปี 2560 โดยใช้ ภาพถ่ายดาวเทียมของกรมควบคุมมลพิษ จะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่มีความเข้มข้น PM2.5 สูงสุดได้แก่ พื้นที่ใจกลางกรุงเทพฯ และพื้นที่ บริเวณชานเมืองทิศตะวันออกเฉียงเหนือของกรุงเทพฯ ในช่วงฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและฤดูแล้งซึ่งมีการเผาชีวมวล ลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือจะพัดพามลพิษอากาศเข้าสู่กรุงเทพฯ และเป็นผลให้ความเข้มข้นมลพิษอากาศสูงในช่วงเวลาดังกล่าว

อนุสรณ์ (7) ได้ศึกษาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในห้องโดยสารรถโดยสารสาธารณะในกรุงเทพฯ พบว่า ระบบขนส่งมวลชนเป็นบริการสาธารณะที่มีความสำคัญในการช่วยให้ประชาชนสามารถเดินทางไปยังที่ต่าง ๆ ได้อย่างสะดวกสบาย ช่วยให้การใช้รถยนต์ส่วนบุคคล ลดแหล่งระบายมลพิษ ส่งผลให้คุณภาพอากาศในเมืองดีขึ้น อนึ่งการปนเปื้อนของสารมลพิษภายในรถโดยสารสาธารณะอาจเกิดขึ้นจากหลาย ๆ ปัจจัย ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้โดยสาร การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ภายในห้องโดยสารของรถโดยสารสาธารณะ 6 ประเภท ประกอบด้วย รถตู้สาธารณะ รถประจำทางปรับอากาศ รถมินิบัส รถไฟฟ้าบีทีเอส รถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที และรถแท็กซี่ การศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่องตรวจวัดปริมาณฝุ่นแบบต่อเนื่อง (Dusttrak Aerosol Monitor) ในการตรวจวัดปริมาณ PM2.5 การติดตามความเร็วและสภาวะการขับขี่ด้วยเครื่องมือตรวจวัดพิกัดทางภูมิศาสตร์ (จีพีเอส)

ภาษา R จัดเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ภาษาหนึ่งที่เป็นที่ใช้นับว่าทางสถิติ เพราะเป็นโปรแกรมโอเพนซอร์ซ (Open Source) ที่ใช้งานได้ฟรี รองรับระบบปฏิบัติการหลายระบบ ปฏิบัติการทั้ง Windows Mac OS หรือ Linux โดยการทำงานของ R ที่นิยมเนื่องจากมี built-in function ทางด้านสถิติที่มีปริมาณมาก รวมถึง สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ และมีความสามารถแสดงผลการทำงานในรูปแบบกราฟ สามารถประมวลผลได้รวดเร็ว จึงได้รับความนิยม โดยเฉพาะการใช้งานด้านการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analytics) (8, 9)

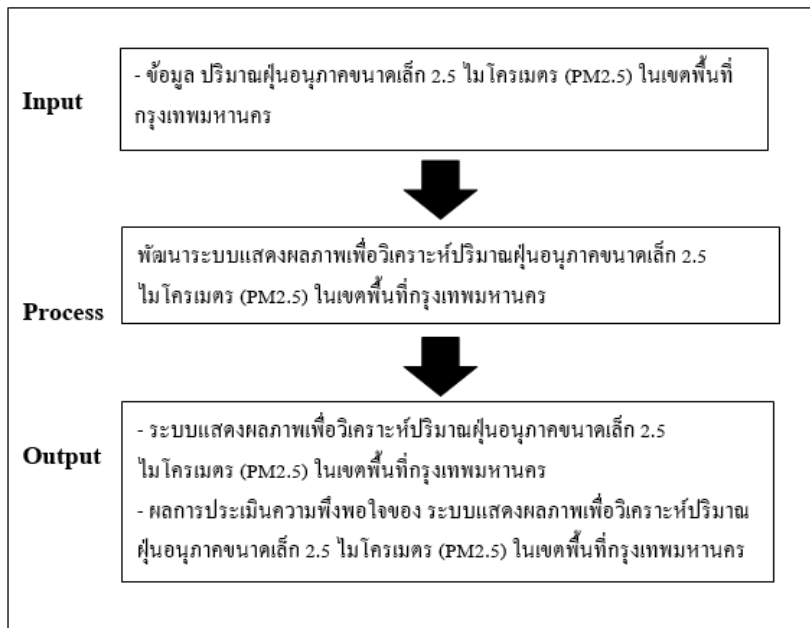
จากปัญหา การทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าว จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาาระบบแสดงผลภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร และเพื่อทดสอบประสิทธิภาพและความพึงพอใจ ของผู้ใช้งานระบบแสดงผลภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร เพื่อประโยชน์การใช้งานด้านการวิเคราะห์ข้อมูล

## วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานของงานวิจัยนี้ มีการเก็บรวบรวมข้อมูลหลังจากกรมควบคุมมลพิษกับฐานข้อมูล Bangkok PM 2.5 Data - Berkeley Earth (10) ที่ดำเนินการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศของประเทศไทย เพื่อประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศเผ่าระวังและแจ้งเตือนกรณีพบปริมาณสารมลพิษเกินค่ามาตรฐาน ข้อมูลคุณภาพอากาศที่ตรวจวัดได้สามารถนำมาศึกษาและวิเคราะห์เชิงลึกได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเกิดความคิดที่จะใช้ข้อมูลที่เก็บได้ในแต่ละวัน จำนวน 365 วัน ต่อเนื่อง ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ใช้ข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ย้อนหลัง 5 ปี ตั้งแต่ มกราคม ค.ศ. 2016 –กรกฎาคม ค.ศ. 2020 ได้จากการติดตามตรวจวัดสถานการณ์ฝุ่นละอองในประเทศไทย (1, 2) ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลวัน เดือน ปี รายวัน

(เฉลี่ย 24 ชั่วโมง) ข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็กรายวัน จาก ข้อมูลสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศกรุงเทพฯ นำเข้า ระบบฐานข้อมูล Mysql แยกตามวันและสถานีวัด เพื่อนำมาพัฒนาระบบแสดงผลภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก 2.5 ไมโครเมตร (PM2.5) และคุณภาพอากาศด้วยดาวเทียมดาวเทียมโลกเสเช่นบนมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศประเทศไทย เพื่อให้ทราบถึงปัญหา และเห็นภาพรวมได้ง่ายและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

การพัฒนาระบบแสดงผลภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่น ผู้วิจัยเลือกใช้ภาษา R เนื่องจากเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ ภาษาหนึ่งที่เป็นที่ใช้นับว่าทางสถิติ เพราะเป็น โปรแกรมโอเพนซอร์ซ (Open Source) ที่ใช้งานได้ฟรี รองรับระบบปฏิบัติการหลายระบบ เป็นเครื่องมือในการ วิเคราะห์ปริมาณฝุ่นและคุณภาพอากาศด้วยดาวเทียม ดาวเทียมโลกเสเช่นบนเว็บ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดระบบแสดงผลภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก 2.5 ไมโครเมตร

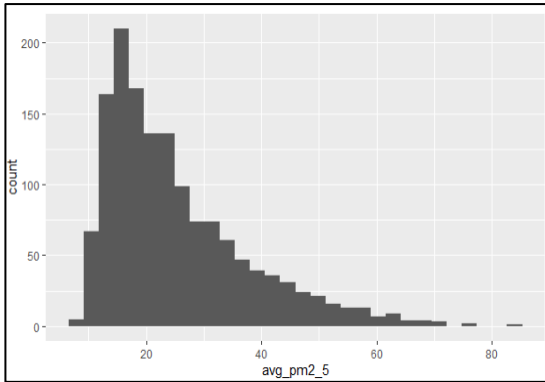
### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลจากวิธีการดำเนินงานของงานวิจัยนี้ มีการ เก็บรวบรวมข้อมูลหลังจากกรมควบคุมมลพิษกับ ฐานข้อมูล Bangkok PM2.5 ที่ดำเนินการติดตาม ตรวจสอบคุณภาพอากาศของประเทศไทย เพื่อประเมิน สถานการณ์คุณภาพอากาศใฝ่ระยะวังและแจ้งเตือนกรณี พบปริมาณสารมลพิษเกินค่ามาตรฐาน ข้อมูลคุณภาพ อากาศที่ตรวจวัดได้สามารถนำมาศึกษาและวิเคราะห์ได้ ดังรูปที่ 2-10

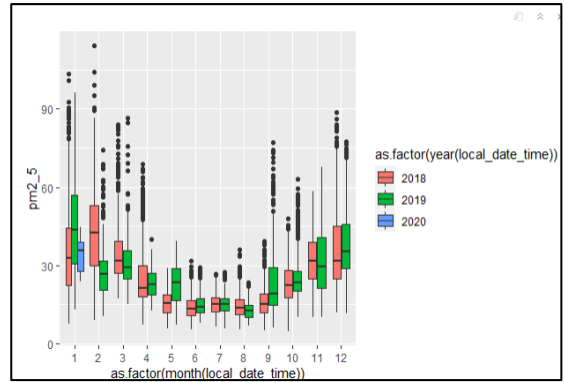
year	month	day	hour	pm2_5	date_time	local_date_time
<db>	<db>	<db>	<db>	<db>	<S3: POSIXct>	<S3: POSIXct>
2016	3	3	8	62.9	2016-03-03 08:00:00	2016-03-03 15:00:00
2016	3	3	9	62.9	2016-03-03 09:00:00	2016-03-03 16:00:00
2016	3	3	10	55.5	2016-03-03 10:00:00	2016-03-03 17:00:00
2016	3	3	11	55.5	2016-03-03 11:00:00	2016-03-03 18:00:00
2016	3	3	12	47.9	2016-03-03 12:00:00	2016-03-03 19:00:00
2016	3	3	13	43.6	2016-03-03 13:00:00	2016-03-03 20:00:00
2016	3	3	14	28.6	2016-03-03 14:00:00	2016-03-03 21:00:00
2016	3	3	15	33.6	2016-03-03 15:00:00	2016-03-03 22:00:00
2016	3	3	16	34.8	2016-03-03 16:00:00	2016-03-03 23:00:00
2016	3	3	17	31.3	2016-03-03 17:00:00	2016-03-04 00:00:00

รูปที่ 2 ข้อมูลรายวันปริมาณฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก 2.5

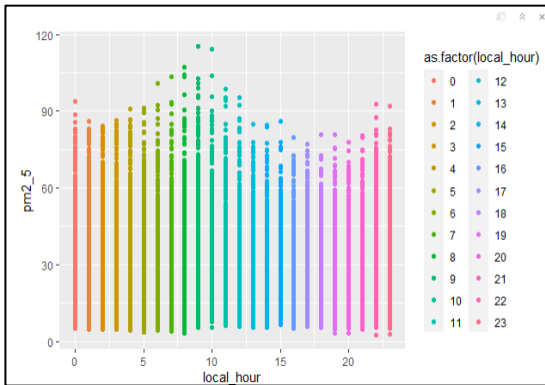




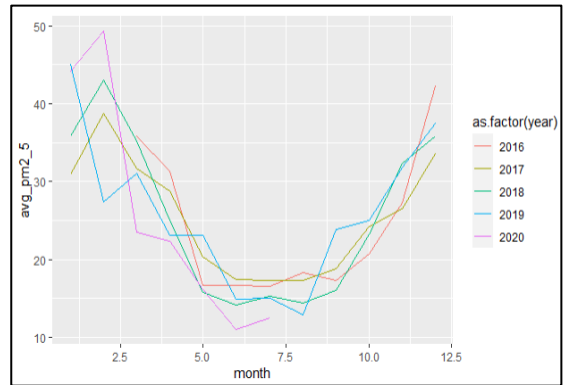
รูปที่ 3 กราฟ Histogram แสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณฝุ่น 2.5 รายวัน



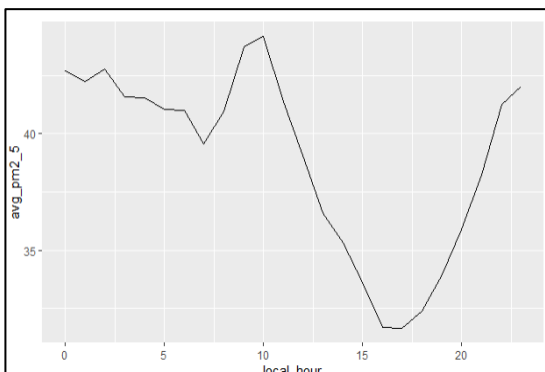
รูปที่ 6 กราฟ Boxplot แสดงค่าเฉลี่ยข้อมูลปริมาณฝุ่น 2.5 รายเดือน ย้อนหลังสามปี



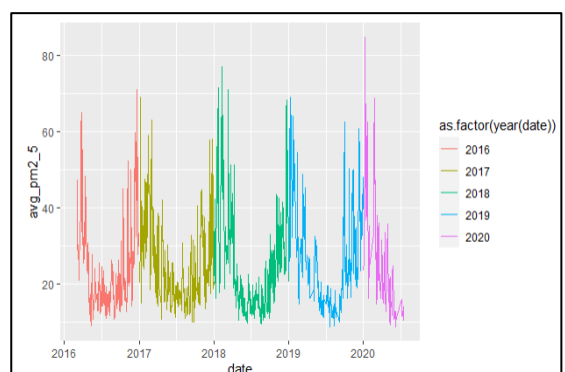
รูปที่ 4 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณฝุ่น 2.5 รายชั่วโมง



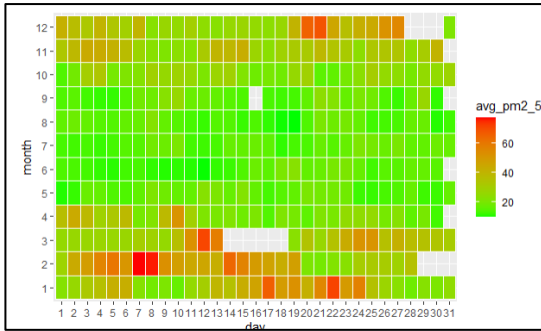
รูปที่ 7 กราฟเส้นแสดงค่าเฉลี่ยข้อมูลปริมาณฝุ่น 2.5 รายเดือนย้อนหลัง 5 ปี



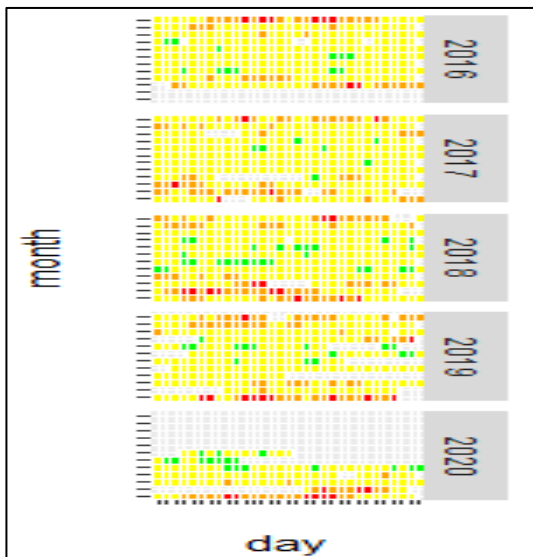
รูปที่ 5 กราฟเส้นแสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณฝุ่น 2.5 รายชั่วโมงในหนึ่งวัน



รูปที่ 8 กราฟเส้นแสดงข้อมูลปริมาณฝุ่น PM2.5 รายวัน ย้อนหลัง



รูปที่ 9 กราฟ Heatmap แสดงค่าเฉลี่ยข้อมูลปริมาณฝุ่น 2.5 เปรียบเทียบ เดือนและวัน ย้อนหลัง



รูปที่ 10 กราฟ Heatmap แสดงข้อมูลปริมาณฝุ่น 2.5 จำแนกตามค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ ย้อนหลัง 5 ปี

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งาน

รายการประเมิน	Mean	S.D.
ด้านความสามารถของระบบแสดงผลภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่น	4.10	0.65
ด้านความถูกต้องของระบบแสดงผลภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่น	4.20	0.68
ด้านการใช้งานของระบบแสดงผลภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่น	4.10	0.65
ผลสรุปการประเมินความพึงพอใจเฉลี่ย	4.13	0.66

ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอการพัฒนาแบบแสดงผลภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก 2.5 ไมโครเมตร (PM2.5) ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยใช้เทคนิคดาต้าวิซวลไลเซชันด้วยภาษา R และฐานข้อมูล Mysql ผลการทดสอบประสิทธิภาพความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบแสดงผลภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่น พบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจด้านความสามารถของระบบ ความถูกต้องของระบบ และการใช้งานของระบบเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นอยู่ในระดับดี (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุพรรณ หวังวงศ์วัฒนา (3) ซึ่งนำเสนอรายงานวิจัยเกี่ยวกับมลภาวะของฝุ่น PM 2.5 ที่เกิดขึ้นใน กทม. และงานวิจัยของ จิฎาพร สุภาชี และคณะ (5) ที่ได้นำเสนอเกี่ยวกับการวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวล PM2.5 และ PM10 ในบรรยากาศด้วยเครื่องตรวจวัดฝุ่นละอองไร้สาย ในประเด็นเรื่องการสร้างมลภาวะและการแพร่กระจายของฝุ่นที่มีความค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ ไม่เท่ากันในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนสอดคล้องกับรายงานวิจัย ของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (1, 2) ที่นำเสนอเรื่องการข้อมูลคุณภาพอากาศ ตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ และการแพร่กระจายในแต่ละพื้นที่ แนวทางการจัดการฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล

สรุปผล

ผลจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าระบบการแสดงผลภาพเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก 2.5 ไมโครเมตร (PM2.5) ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นอนุภาคขนาดเล็กเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้ใช้ระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ง่ายต่อการวิเคราะห์ และแปลผล สามารถตอบโจทย์วัตถุประสงค์งานวิจัยและสามารถต่อยอดนำไปวิเคราะห์ปัญหาทางสิ่งแวดล้อมด้านอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี

## เอกสารอ้างอิง

1. Pollution Control Department. Thailand Air Quality Data Report [Internet]. [cited 2020 Aug 10]. Availability from: [http://www2.pcd.go.th/info\\_serv/database.html](http://www2.pcd.go.th/info_serv/database.html). Thai.
2. Pollution Control Department. Measurement of Particulate Matter [Internet]. [cited 2020 Aug 10]. Availability from: [http://www2.pcd.go.th/info\\_serv/database.html](http://www2.pcd.go.th/info_serv/database.html). Thai.
3. Wangwongwattana S. Project Origin and Approach to Managing Dust in The Bangkok Metropolitan Area [Internet]. [cited 2020 Aug 10]. Availability from: <http://www.pcd.go.th/airandsound>. Thai.
4. Suwanwattana R, Mungsing S. [Data visualization: basic concept, processes and techniques]. APHEIT Journals. 2015;4(1):73-83. Thai.
5. Supasri T, Intra P, Jomjunyong S, Sampattagul S. [Evaluation of particulate matter concentration by using a wireless sensor system for continuous monitoring of particulate air pollution in northern of Thailand]. Journal of Innovative Technology Research. 2018;2(1):65-78. Thai.
6. Pollution Control Department. Project to study the origin and management of PM2.5 in the Bangkok Metropolitan Area [Internet]. [cited 2020 Aug 10] Availability from: <http://www.doh.hpc.go.th/bs/topicDisplay.php?id=243>. Thai.
7. Rodthanee A. Quantities of PM2.5 Inside Public Vehicles in Bangkok [master's thesis]. Bangkok: Silpakorn University; 2015. Thai.
8. Sinsomboonthong S. Data Analysis Using R Program. 1st ed. Bangkok: Chulabook; 2562. Thai.
9. Janpla S. [Smart University]. Journal of Technology Management Rajabhat Maha Sarakham University. 2019;6(1):147-58. Thai.
10. Bangkok PM2.5 Data - Berkeley Earth [Internet]. [cited 2020 Aug 10] Availability from: <http://berkeleyearth.lbl.gov/air-quality/Maps/cities/Thailand/Bangkok/Bangkok.txt>.



Institute of Research and Development  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
39 M.1 Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand  
Tel (02) 549-4681 Fax. (02) 577-5038, (02) 549-4680  
[www.ird.rmutt.ac.th](http://www.ird.rmutt.ac.th)