



วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2565

ISSN : 1905-4963 (Print) ISSN : 2672-9296 (Online)

**PHRANAKHON RAJABHAT
RESEARCH JOURNAL**
(Science and Technology)



วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)

ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2565

Vol. 17 No.2 July – December 2022

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ISSN : 1905-4963 (Print)

ISSN : 2672-9296 (Online)

วัตถุประสงค์

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

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.เป็รื่อง กิจรัตน์ภร

อธิการบดี

รองศาสตราจารย์ประกาศิต ไสไกร

รองอธิการบดี

ดร.วฤชา ประจักษ์ศักดิ์

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

อาจารย์วราวุธ ยอดจันทร์

คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันตกุล อินทรผดุง

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกายดาว ยิ่งสง่า

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.เรณูมาศ มาอุ่น

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.สัลยุทธ์ สว่างวรรณ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ศาสตราจารย์ ดร.พวงเพ็ญ ศิริรักษ์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ศาสตราจารย์ ดร.ชิดชนก เหลือสินทรัพย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.โองการ วนิชาชีวะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

รองศาสตราจารย์ ดร.มนทลี ศาสนนันท์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.วศิน เลิศวัฒนารักษ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา โพธิ์เอี่ยม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ทองคำ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.อรธพล แก้ววิสัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดา มัทธูรศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อะเคื้อ กุลประสูติติก

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมคิด สุทธิธารวัช

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรสิน สุภวาลย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนภูมิ ศิริงาม	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภินันท์ สุทธิธารวัช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวดี ลิ้มสวัสดิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมฤดี สักการเวช	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ กำแหงฤทธิรงค์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสุระ อังกุลานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลักขณา ฤกษ์เกษม	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์ ขาญกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
อาจารย์ ดร.กิตติพงษ์ เยาวาจา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อาจารย์ ดร.เมธินี รัตติสาร	กรมสอบสวนคดีพิเศษ
อาจารย์ ดร.วรวิดี สุขัยยะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
อาจารย์ ดร.อริยา รัตนพิทยาภรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
อาจารย์ ดร.อัยยวัฒน์ จิตรโรจนรักษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

เลขานุการ

อาจารย์ ดร.รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
----------------------------------	-------------------------

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาวสุปราณี ขมจุมจัง	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
------------------------	---

ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ

นางเดือนเพ็ญ สุขทอง	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวมัทนา เกตุโพธิ์ทอง	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวฐาณลารรณ หินกล้า	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวศุภราพร เกตุกลม	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวทัศนีย์ ปิ่นทอง	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นายรัชตะ อนุวัชกุล	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นายจักรพันธ์ ก้อนมณี	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาววรารภรณ์ แสงสุริศรี	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางบุษราภรณ์ บุตรีอุ้น	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวธนพร ชนาธิปภรณ์	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นายวิวิธ หล่อศรีจันทร์	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ติดต่อกองบรรณาธิการ

สถาบันวิจัยและพัฒนา ชั้น 4 อาคารเบญจมาภรณ์ (อาคาร 13) มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร 9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220 โทรศัพท์ / โทรสาร 0-2544-8629 Email: PRRJ_Scitech@pnru.ac.th

กำหนดตีพิมพ์

2 ฉบับ ต่อปี (มกราคม-มิถุนายน และกรกฎาคม-ธันวาคม)

การเผยแพร่

ผู้ที่สนใจสามารถค้นหาที่ http://PRRJ_Scitech@pnru.ac.th/ และ https://www.tci-thaijo.org/index.php/PRRJ_Scitech/user

พิมพ์ที่

พจน. ประยูรสาส์นไทย การพิมพ์ : เลขที่ 44/132 ถ.กำนันมนัน แขวงบางขุนเทียน เขตจอมทอง กทม. 10150
โทรศัพท์ : 0 - 2802 - 0377, 0 - 2802 - 0379, 08 - 1566 - 2540

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2565 ได้รวบรวมบทความ เพื่อเผยแพร่และแลกเปลี่ยนความรู้ ทางวิชาการ และการวิจัยของคณาจารย์นักศึกษา และผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย เนื้อหาสาระบทความ ในวารสารฉบับนี้เกี่ยวกับศาสตร์ทางด้านเกษตรศาสตร์ ชีววิทยา คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีชีวภาพ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม การจัดการเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม และวิทยาศาสตร์ สุขภาพ ทุกเรื่องมีความน่าสนใจและ เป็นประโยชน์กับผู้อ่านในหลากหลายสาขาอย่างมาก ทั้งนี้ทุกบทความ ผ่านการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยที่มีความเชี่ยวชาญในเรื่องนั้น ๆ เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ทางวิชาการสำหรับนักวิชาการ นักวิจัย คณาจารย์นักศึกษา และผู้ที่สนใจต่อไป การจัดทำวารสารฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความร่วมมือ อย่างดียิ่งจากผู้เขียนบทความ ผู้ทรงคุณวุฒิ กองบรรณาธิการ ตลอดจนบุคลากรทุกท่าน จึงขอขอบพระคุณ เป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกายดาว ยิ่งสง่า
บรรณาธิการวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Readers)

ประจำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

รองศาสตราจารย์ ดร.สมิคร แก้วสุกแสง	มหาวิทยาลัยทักษิณ
รองศาสตราจารย์ ดร.วรศักดิ์ เพชรโรทัย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.เนตรนภิส เขียวขำ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา โพธิ์เอี่ยม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัญญพร บุญมทิตีสุทธิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยรัตน์ บุรณะ	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรณวิภา แผงศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ญาณิกา วัชรเทวีรินทร์กุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสุระ อังกุลานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตตานันท์ สิริสาร	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เอ่งฉ้วน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรจิตา ทิวทัศน์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วาสนา เนียมแสง	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จิตราวดี รุ่งอินทร์ กันกา	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิชา เบญจพร	มหาวิทยาลัยรังสิต
อ.ดร.จิตต์โสภา เกลียวศักดิ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.พัฒนพงศ์ เกิดตะธา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ดร.นิศากร สมสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.สิริทิพ วะสินรัตน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ดร.อัญญา พลดเปลื้อง	วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนี จักรีรัช

สารบัญ

หน้า

บทบรรณาธิการ	ก
รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ	ข
สารบัญ	ค

บทความวิจัย

- HYPERBRANCHED POLY (L-LACTIDE) BY USING POLYGLYCIDOL FOR GREEN ENVIRONMENT
Nichakorn Pathumrangsarn 1
- ปริมาณสารพิษจากเคมีและการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกดาวเรืองพันธุ์ร็อคโคดีฟโกลด์
สุพจน์ ทับทิมใหญ่ คงศักดิ์ บุญยะประณัย ลัดดาวลัย พะวร และ อรุมา จันทร์เสถียร 13
- การศึกษาการยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* และ *Salmonella typhimurium*
 ด้วยสารสกัดหยาบจากพืชสมุนไพรไทย 12 ชนิด และสารสกัดหยาบผสม
นิพนธ์ สนมอม วีระพงษ์ วรประโยชน์ และ กฤตพร รำจวนเกียรติ 26
- การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากถั่ว ด้วยเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากผลิตภัณฑ์ถั่วเน่า
กิตติ เมืองดุ่ม 39
- ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์
 สำหรับธุรกิจรีสอร์ทในจังหวัดนครศรีธรรมราช
บุญฤทธิ์ ศรีปาน และ ปวีณา ปรีชญากุล 51
- การออกแบบเพื่อปรับปรุงการใช้พื้นที่ทาว์นเฮาส์สำหรับผู้สูงอายุ
 กรณีศึกษาหมู่บ้านอยู่เจริญ บางเขน กรุงเทพมหานคร
จุฬาลักษณ์ ขาญกุล 64
- MONTHLY RAINFALL AMOUNT FORECASTING IN KANCHANADIT DISTRICT
 SURAT THANI PROVINCE BY STATISTICS FORECASTING TECHNIQUES
Orawan Suebsen and Supachai Damkam 78

ภาคผนวก

รายละเอียดการเตรียมบทความ.....	94
ขั้นตอนการพิจารณาบทความ.....	98
รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์.....	99
จริยธรรมในการตีพิมพ์.....	104

HYPERBRANCHED POLY (L-LACTIDE) BY USING POLYGLYCIDOL FOR GREEN ENVIRONMENT

Nichakorn Pathumrangsarn*

Department of General Science, Faculty of Science and Technology,
Muban Chom Bueng Rajabhat University, 70150, Thailand

*E-mail: nichakornpat@mcru.ac.th

Received: 03-12-2021

Revised: 13-08-2022

Accepted: 23-08-2022

ABSTRACT

Hyperbranched poly(L-lactide) (*hb*-PLLA)s for green environment were synthesized by ring-opening polymerization of L-lactide (LLA) using polyglycidol (PG) as an initiator. *hb*-PLLAs were blended with linear PLLA (l-PLLA) by varying the LLA branch content. Thermal, Mechanical and rheological properties, and optical transparency of *hb*-PLLAs and their blends with l-PLLA were investigated. All l-PLLA/*hb*-PLLAs blends showed slightly changes of T_g values, whereas the T_m was significantly unchanged. A single T_g was observed in all blends, indicating a completely miscible system. All blends exhibited an increase in crystallinity, as the branch structure acted as nucleating agent for crystallization of l-PLLA. Viscosity of the blends was decreased with the addition of l-PLLA. This provides easy processing conditions. The blends also showed high optical transparency, comparable to neat l-PLLA. Given these properties and their biocompatibility, the blends can be used in biomedical applications.

Keywords: Branch structure; Blended Polylactide; Polylactide; Polyglycidol

Introduction

Nowadays, polylactide (PLA) has received much attention, due to serious environmental problems on plastic wastes. PLA is one of well-known degradable polymers, which provides many good properties, such as high mechanical strength, transparency, and biocompatibility (Ajioka et al., 1995; Tuominen et al., 2002; Fan et al., 2004). PLAs are widely used in many applications, especially in biomedical field (Uurto et al., 2005; Ormiston and Serruys, 2009; Rasal, Janorkar and Hirt, 2010)

However, PLA-based materials possess certain disadvantages which limit their use in some applications, e.g., brittleness, and difficulty in controlling degradation rates. Many approaches

have been performed to overcome these drawbacks, such as stereocomplexation, introduction of branch-structured PLA, and blending with other polymers. Among these, introducing of branch structures into PLA matrix is a promising method to solve these problems. Polymers with branch architectures typically have lower glass transition temperature (T_g) and melt viscosity than their linear counterparts of similar molecular weight. Moreover, branch length is an important parameter that affects the viscoelasticity of fluidity range and crystallinity (Ouchi, Ichimura and Ohya, 2006). The use of various hydrophilic cores have been reported in preparation of branched PLA copolymers, such as, poly(ethylene glycol) (PEG), poly(ethylene oxide) (PEO) (Choi, Bae and Kim, 1998; Pistel et al., 1999; Salaam, Dean and Bray, 2006), poly(amido amine) (PAMAM) (Cai et al., 2003), and polyglycidol (PG) (Ouchi, Ichimura and Ohya, 2006; Kainthan et al. 2006; Cabral et al., 2018; Atkinson and Vyazovkin 2012; Michalski et al., 2019)

In this study, hyper branched PLLA (*hb*-PLLA) is developed for intended use in biomedical applications. PG is chosen as a hydrophilic core because of its multi-functionality, which can be used as a macro-initiator for polymerization of PLA, and its biocompatibility (Kainthan et al. 2006). Ring-opening polymerization in bulk is employed (Xu et al., 2021). The resulting *hb*-PLLAs is blended with linear PLLA (*l*-PLLA) to optimize its physical and rheological properties.

Materials

L-Lactide (LLA) and tin octoate ($\text{Sn}(\text{Oct})_2$) were purchased from Wako (Japan). Linear PLLA (*l*-PLLA) (MW = 178,000 g/mol) was supplied by PURAC (Netherland). PG macro-initiator was synthesized according to a methodology reported earlier (Petchsuk et al., 2014). Ethyl acetate, chloroform, ethanol and toluene solvents were purchased from Lab Scan (Thailand).

Methods

1. Synthesis of *hb*-PLLAs

Hyper branched PLLAs (*hb*-PLLAs) were synthesized by ring-opening polymerization, using PG and $\text{Sn}(\text{Oct})_2$ as a macro-initiator and catalyst. Polymerization temperature and time for *hb*-PLLAs are 120 °C and 24 h. The weight ratio of PG to *l*-LA was varied 1:10, 1:20, 1:50 and 1:100. The products were purified by dissolving in chloroform and precipitated in mixing solvent (ethanol/hexane), and then dried them under vacuum at 50 °C for 2 days.

2. Blend of *l*-PLLA and *hb*-PLLAs

The synthesized products were blended with a *l*-PLLA by melt mixing in an internal mixer (MIX105-D40L50) using a rotor speed of 50 rpm and blending time and temperature of 20 min and 170 °C. Blend ratios of *hb*-PLLAs to *l*-PLLA of 5/95, 10/90, 15/85, and 20/80 were employed. The blended samples were then presses into a film form by a compression machine (PR2D-W300L300 HD-WCL).

3. Characterizations

Chemical structures of *hb*-PLLA were characterized on an AVEN-CEIII 500 MHz digital Nuclear Magnetic Resonance spectrometer (NMR) (AV-500, Bruker Biospin), using CDCl_3 solvent. For thermal properties, *hb*-PLLAs and their blended samples were measured by differential scanning calorimetry (DSC) (DSC822e Mettler Toledo) at a heating/cooling rate of 20 °C/min. All specimens were heated to 200 °C (first scan) to erase their thermal history, and then cooled to -20 °C. The samples were then heated from -20 to 220 °C.

Tensile properties of blends (PLLA/*hb*-PLLA) were measured on a universal testing machine with a crosshead speed of 50 mm/min and a 100 N load cell (Instron model 55R4502, Instron Corp., USA). The specimens were cut into rectangular shape with 50 mm gauge length and 15 mm width, according to ASTM D882. The five specimens were tested on each tensile test.

Rheological properties, in terms of complex viscosity (η^*) of the blends were measured on a strain-controlled rheometer (ARES, TA Inc., New Castle, USA). Samples were prepared into a disc form with a diameter of 25 mm and 1 mm thickness. The strain amplitude was fixed at 0.5%. The samples were scanned from 140 – 200 °C with a heating rate of 10 °C/min at a frequency of 1 rad/s.

UV/VIS spectroscopy was used to measure the transparency of blended PLLA films. UV/VIS measurements were obtained using a Perkin-Elmer UV/VIS Lambda 12 Spectrophotometer. The blended PLLA films were loaded in a quartz flow cell and were measured in scanning mode (400-600 nm) at room temperature.

Results and Discussions

1. Chemical structure and properties of *hb*-PLLAs

The proposed structure and ^1H -NMR spectra of the synthesized branched PLLA were shown in Figure 1. The peaks d, e and f ($\delta = 1.5$, 5.1 and 4.3 ppm) were assigned to methyl, methylene and methine protons at end groups of lactate units. The signals a and b ($\delta = 3.4 - 3.6$ ppm) indicated the methine and methylene proton of PG. The peak c and f overlapped in ^1H -NMR spectra of *hb*-PLLA. The integral ratio of the signal at 5.1 and 4.3 affected to average l-LA length/ branch (l-LA). The values of l-LA/PG composition in chain were calculated from the integral ratio of the signal at 3.4 - 3.6 and 5.1 ppm.

l-LA/PG values of the branched PLLA and the average l-LA length evaluated from ^1H -NMR spectrum increased with an increase in the feed ratio, as summarized in Table 1. Therefore, we can control length of PLLA chain by varying the feed ratios. (The code, e.g. *hb*-PLLA101, means PLLA that synthesized to have many branch on structure and 101 is weight ratio of LLA per PG.

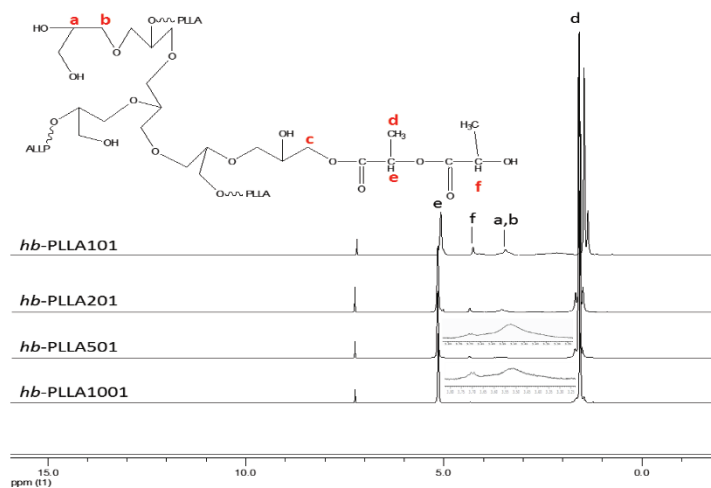


Figure 1 Chemical structures and ^1H -NMR spectra of *hb*-PLLAs synthesized from different feed ratios: *hb*-PLLA101, *hb*-PLLA201, *hb*-PLLA501, and *hb*-PLLA1001

Table 1 Evaluation of LLA/PG compositions and arm length of LLA sequences.

	(l-LA)/PG <i>composition</i>		l-LA ^a <i>composition</i>
	in feed	in chain	
<i>hb</i> -PLLA101	10/1	22/1	13
<i>hb</i> -PLLA201	20/1	29/1	16
<i>hb</i> -PLLA501	50/1	65/1	38
<i>hb</i> -PLLA1001	100/1	187/1	71

^a Calculated from integral ratios of e/f, l-LA_n = average l-LA length/branch

2. Thermal properties of hb-PLLAs and their blends

DSC thermograms of *hb*-PLLAs showed glass transition temperature (T_g) ranging 48-63 °C. However, *hb*-PLLA 501 and 1001 showed the melting temperature (T_m) at 147 and 163 °C, respectively. T_g showed in Table 2 in table 2 showed that T_g was increased when the chain length of branch PLLA due to the chain mobility. For T_m , long l-LA sequences (*hb*-PLLA 501 and 1001) were able to form the crystalline domains. In general, polymer chain can pack together and crystallize when the polymer structure is regular and symmetrical. Chain end either produce imperfect lattice in crystallinities or are not incorporate into the crystalline regions resulting in a lower T_m .

Table 2 Thermal properties of neat l-PLLA and *hb*-PLLAs with different structures.

Sample	T_g [°C]	T_m [°C]	ΔH_m [J/g]	T_c [°C]	ΔH_c [J/g]
l-PLLA	63	153	0.2		
<i>hb</i> -PLLA101	48	-	-	-	-
<i>hb</i> -PLLA201	47	-	-	-	-
<i>hb</i> -PLLA501	57	147	36.3	121	29.3
<i>hb</i> -PLLA1001	61	163	41.0	121	34.9

Effects of branched structures in terms of arm length and composition of the branched structure component on thermal properties of the l-PLLA/*hb*-PLLA blends are investigated. Results in Table 3 show that a single T_g is observed in all blends, indicating miscible blends, and also reveal 2 trends; (i) short branched PLLA decrease T_g and (ii) long branched PLLA increase T_g of blends. As these short branched PLLAs are miscible with PLLA matrix, the mobility of the branched structure induces the movement of PLLA main component. This results are similar to these reported by Phuphuak and Chirachanchai (2013) that short branching chains PLLA reduce T_g of PLLA by acting as a plasticizer. The degree of reduction also increases with the content of the branched structures. In contrast, T_g of blends containing long branched PLLA slightly increases, since long branched PLLA reduce free volume for chain-end movement and perform chain entanglement with PLLA matrix. T_m of blends are significantly unchanged with addition of branched PLLA. This exhibits that high content of branched PLLA do not result in the increasing of crystal structure. Nevertheless, crystallinity of all blends is higher than neat PLLA, as branched PLLA acts as a nucleating agent inducing crystallization. This result conforms to the report of Shibata et al. (2006) and Rosli et al. (2021).

Table 3 Thermal properties (2nd heating scan) of l-PLLA/hb-PLLA101 blends containing various blend ratios

l-PLLA/hb-PLLA	T _g [°C]	T _{cc} [°C]	T _m [°C]	ΔH _{cc} [J/g]	ΔH _m [J/g]	χ _c (%)
100/0	63	-	153	-	0.2	0.2
95/5	62	128	156	20	20	21.5
90/10	61	131	156	15	15	16.1
85/15	60	132	155	15	15	16.1
80/20	59	135	155	4	4	4.3

The degree of crystallinity (χ_c) of PLLA was calculated using the following equation (1)

$$\chi_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times 100 \quad (1)$$

Where: ΔH_m is the heat of fusion of the samples

ΔH_m⁰ is the heat of fusion of completely crystallized PLA, i.e. 93 J g⁻¹.

Effect of PLLA arm length of hb-PLLA on thermal properties of the l-PLLA/hb-PLLA blends were considered by varying branch chain length. When the branch length increases, an increase T_g and T_m is observed in all blends, due to their lower mobility and existent of crystal structure. Cold crystallization of neat PLLA is not observed, because of the presence of some additives from commercial processing. The addition of hb-PLLA, however, induces the formation of crystalline domains. ΔH_{cc} of the blends containing long branched PLLA is lower than their ΔH_m. This melt crystallization, as these longer PLLA sequence can induce the melt crystallization more effectively, i.e. at higher rate than the cooling rate of DSC experiment. However, crystallization is not complete, when blend is reheated higher than T_g, further chain rearrangements take place during cold crystallization.

Effect of PLLA arm length of hb-PLLA on thermal properties of the l-PLLA/hb-PLLA blends were considered by varying branch chain length. When the branch length increases, an increase T_g and T_m is observed in all blends, due to their lower mobility and existent of crystal structure. Cold crystallization of neat PLLA is not observed, because of the presence of some additives from commercial processing. The addition of hb-PLLA, however, induces the formation of crystalline domains. ΔH_{cc} of the blends containing long branched PLLA is lower than their ΔH_m. This melt crystallization, as these longer PLLA sequence can induce the melt crystallization more effectively, i.e.

at higher rate than the cooling rate of DSC experiment. However, crystallization is not complete, when blend is reheated higher than T_g , further chain rearrangements take place during cold crystallization.

Table 4 Thermal properties (2nd heating scan) of PLLA and *l*-PLLA/*hb*-PLLA (90/10) blends containing various length of *hb*-PLLAs

Blend component	T_g [°C]	T_{cc} [°C]	T_m [°C]	ΔH_{cc} [J/g]	ΔH_m [J/g]	χ_c (%)
Neat PLLA	63	-	153	-	0.2	0.2
<i>l</i> -PLLA/ <i>hb</i> -PLLA101	61	131	156	15	15	16.1
<i>l</i> -PLLA/ <i>hb</i> -PLLA201	61	125	153	24	25	26.9
<i>l</i> -PLLA/ <i>hb</i> -PLLA501	64	132	154	12	11	11.8
<i>l</i> -PLLA/ <i>hb</i> -PLLA1001	62	125	155	21	25	26.9

3. Mechanical properties

The mechanical properties of polymeric material that are most frequently evaluated are the tensile strength, Young's modulus, elongation at break, and toughness. A typical goal of enhancement of PLA properties is to increase the elongation at break and toughness. Results on neat PLLA and all blends (*l*-PLLA/*hb*-PLLA101) as a function of the blend ratios are shown in Table 5, whereas results on effect of the branched chain length are shown in Table 6. The addition of short branched PLLA leads to a decline in mechanical properties of the blends, because branch chain length does not optimize into enhance mechanical properties of PLLA. For long branched PLLA, mechanical properties of the blends slightly change with the increase in the blend compositions. Significant improvement in the properties are observed in blends containing long-branched structure at an optimum composition, e.g. at 90/10 for PLLA/*hb*-PLLA501 and 95/5 for PLLA/*hb*-PLLA1001, respectively. Toughness of PLLA/*hb*-PLLA501 (90/10) shows the highest value and other mechanical properties; tensile strength, Young's modulus and elongation at break. This reflect an influence of an optimum blend ratio on the improvement of blends mechanical properties.

Table 5 Mechanical properties of l-PLLA/hb-PLLA101 blends, as a function of blend ratios

Blend ratios	Tensile strength [MPa]	Young's modulus [MPa]	Elongation at break [%]	Toughness [$\times 10^5$ mJ/mm ³]
100/0	60.5 $\pm$ 2.0	2609 $\pm$ 62	2.8 $\pm$ 0.1	9.8 $\pm$ 0.3
95/5	52.2 $\pm$ 1.4	2474 $\pm$ 45	2.5 $\pm$ 0.2	8.4 $\pm$ 1.7
90/10	49.3 $\pm$ 1.3	2500 $\pm$ 31	2.3 $\pm$ 0.1	7.6 $\pm$ 0.9
85/15	42.9 $\pm$ 1.3	2348 $\pm$ 36	2.2 $\pm$ 0.2	5.9 $\pm$ 1.1
80/20	26.0 $\pm$ 2.0	2508 $\pm$ 68	1.1 $\pm$ 0.1	1.5 $\pm$ 0.2

Table 6 Mechanical properties of l-PLLA/hb-PLLA (90/10) blends consisting of hb-PLLA different chain lengths

Blend component	Tensile strength [MPa]	Young's modulus [MPa]	Elongation at break [%]	Toughness [$\times 10^5$ mJ/mm ³]
Neat PLLA	60.5 $\pm$ 2.0	2609 $\pm$ 62	2.8 $\pm$ 0.1	9.8 $\pm$ 0.3
l-PLLA/hb-PLLA101	49.3 $\pm$ 1.3	2500 $\pm$ 31	2.3 $\pm$ 0.1	7.6 $\pm$ 0.9
l-PLLA/hb-PLLA201	52.6 $\pm$ 0.4	2535 $\pm$ 66	2.4 $\pm$ 0.1	8.1 $\pm$ 0.9
l-PLLA/hb-PLLA501	57.3 $\pm$ 1.2	2496 $\pm$ 50	2.8 $\pm$ 0.1	11.3 $\pm$ 2.0
l-PLLA/hb-PLLA1001	53.6 $\pm$ 2.1	2731 $\pm$ 69	2.3 $\pm$ 0.1	7.2 $\pm$ 0.8

4. Rheological properties of l-PLLA/hb-PLLA blends

Complex viscosity (η^*) of l-PLLA/hb-PLLA blends consisting of different hb-PLLAs at the blend composition of 90/10 wt. is measured, as a function of temperature at a fixed strain of 0.5%. The results are shown in Figure 2. At the temperatures below T_m of the samples, blends containing short LLA branches exhibit low η^* values, as this acts as a plasticizer in the l-PLLA matrix. This is in accord with our previous results (Petchsuk et al., 2014). In contrast, blends consisting of long LLA branches, especially hb-PLLA501, show an increase in the values, compared to neat l-PLLA, indicating strong interaction between the blend components, likely due to higher degree of chain entanglements. However, at the temperatures range higher than T_m , where the samples are in melt state, the samples is observed in an opposite trend. This is likely due to the contribution of the

branched structure with longer arm lengths. The insight into this property is essential in fabrication of PLLA products for use in biomedical applications.

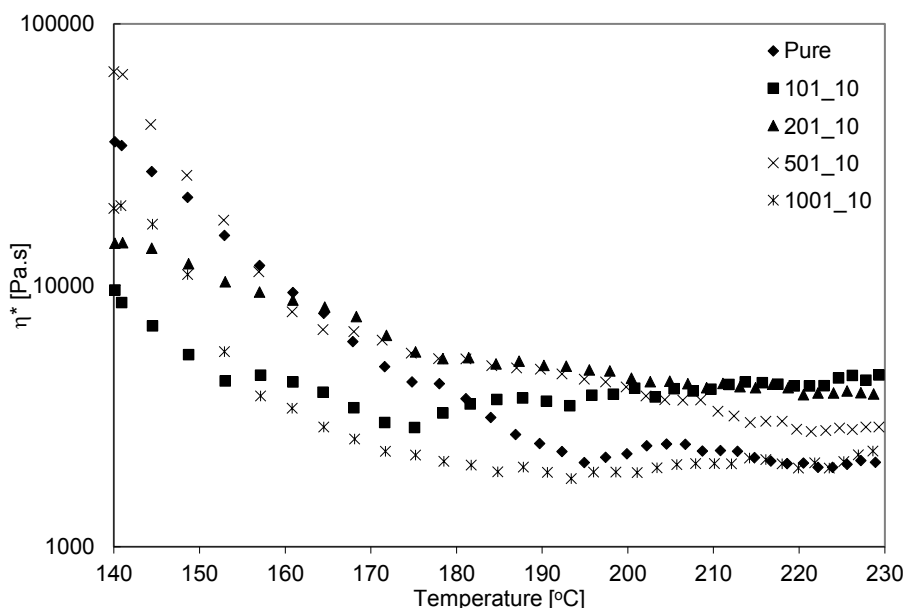


Figure 2 Temperature dependence of complex viscosity (η^*) of *l*-PLLA/*hb*-PLLA blends containing different *hb*-PLLAs.

5. Optical transparency of blends

To examine the effect of branched PLLA on the optical transparency of the blends, blend's films were made by hot press with a thickness ranging from 0.14 – 0.20 mm, and absorbance in visible region is measured. Figure 3 (a) shows significantly increasing absorbance with an increase in the content of *hb*-PLLA101. This indicates that short branched PLLA (*hb*-PLLA101) has lower degree of miscibility with *l*-PLLA matrix due to its lower *l*-PLLA/PG compositions in the chain. The increase in the branched structure composition, therefore, leads to lower transparency. *l*-PLLA/ *hb*-PLLA501 shows the trend of absorbance values like *l*-PLLA/ *hb*-PLLA101, but their values are slightly different (Figure 3(b)). This is due to the higher *l*-PLLA/PG content in the chain, which leads to closer solubility values of the branched structure and the PLLA matrix. In Figure 4, absorbance value increases due to increasing length of branch chain. This occur from distribution ability of large size of branch structure. Therefore, size and content of branch structure play the important role in miscibility that result in the optical transparency of blends

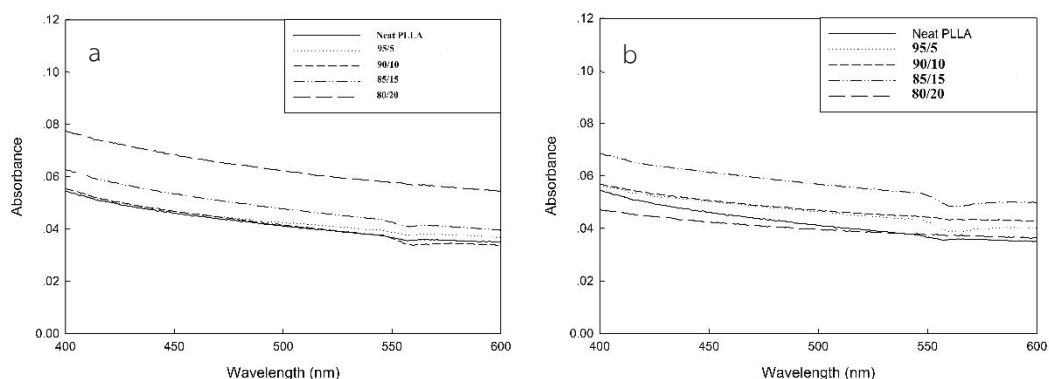


Figure 3 Absorbance of l-PLLA/hb-PLLA101 (a) and l-PLLA/hb-PLLA501 (b) varied the content of branched PLLA at the wavelength 400-600 nm.

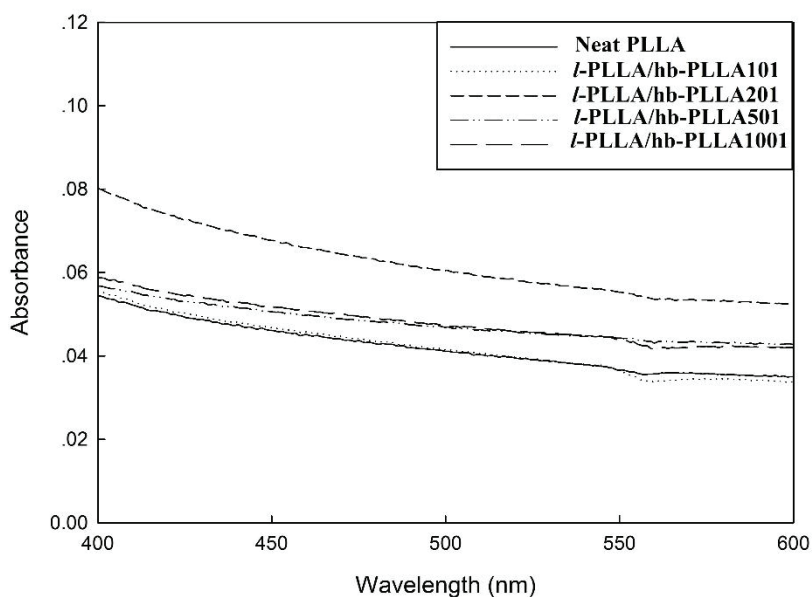


Figure 4 Absorbance of PLLA/hb-PLLA varied the branch chain length at the wavelength 400-600 nm.

Conclusions

Hyper branched PLLA is synthesized by bulk polymerization of LLA using polyglycidol as a macro-initiator. The copolymers are blended with l-PLLA, in which a complete miscible blend system is obtained. Upon introducing of *hb*-PLLAs, it is observed that crystallinity of the blends increase, as the branch structured act as a nucleate agent inducing crystallization of l-PLLA matrix. Toughness of PLLA/hb-PLLA501 (90/10) shows the highest value and other mechanical properties; tensile strength,

Young's modulus and elongation at break. This reflect an influence of an optimum blend ratio on the improvement of blends mechanical properties. The addition of *hb*-PLLAs also play an important role in rheological properties of the blends, without affecting their optical transparency. Given these properties and their biocompatibility, the blends can be used in biomedical applications.

Acknowledgement

This work was supported by Faculty of Science and Tecnology, Muban Chom Bueng Rajabhat University.

References

- Ajioka, M., Enomoto, K., Suzuki, K., & Yamaguchi, A. (1995). Basic properties of polylactic acid produced by the direct condensation polymerization of lactic acid. **Bulletin of the Chemical Society of Japan**, 68(8), 2125-2131.
- Atkinson, J. L., & Vyazovkin, S. (2012). Thermal Properties and Degradation Behavior of Linear and Branched Poly (L-lactide) s and Poly (L-lactide-co-glycolide) s. **Macromolecular Chemistry and Physics**, 213(9), 924-936.
- Cabral, H., Miyata, K., Osada, K., & Kataoka, K. (2018). Block copolymer micelles in nanomedicine applications. **Chemical reviews**, 118(14), 6844-6892.
- Cai, Q., Zhao, Y., Bei, J., Xi, F., & Wang, S. (2003). Synthesis and properties of star-shaped polylactide attached to poly (amidoamine) dendrimer. **Biomacromolecules**, 4(3), 828-834.
- Choi, Y. K., Bae, Y. H., & Kim, S. W. (1998). Star-shaped poly (ether– ester) block copolymers: synthesis, characterization, and their physical properties. **Macromolecules**, 31(25), 8766-8774.
- Fan, Y., Nishida, H., Shirai, Y., Tokiwa, Y., & Endo, T. (2004). Thermal degradation behaviour of poly (lactic acid) stereocomplex. **polymer Degradation and Stability**, 86(2), 197-208.
- Kainthan, R. K., Janzen, J., Levin, E., Devine, D. V., & Brooks, D. E. (2006). Biocompatibility testing of branched and linear polyglycidol. **Biomacromolecules**, 7(3), 703-709.
- Michalski, A., Brzezinski, M., Lapienis, G., & Biela, T. (2019). Star-shaped and branched polylactides: Synthesis, characterization, and properties. **Progress in Polymer Science**, 89, 159-212.
- Ormiston, J. A., & Serruys, P. W. (2009). Bioabsorbable coronary stents. *Circulation: Cardiovascular Interventions*, 2(3), 255-260.
- Ouchi, T., Ichimura, S., & Ohya, Y. (2006). Synthesis of branched poly (lactide) using polyglycidol and thermal, mechanical properties of its solution-cast film. **Polymer**, 47(1), 429-434.
- Petchsuk, A., Buchathip, S., Supmak, W., Opaprakasit, M., & Opaprakasit, P. (2014). Preparation and properties of multi-branched poly(D-lactide) derived from polyglycidol and its stereocomplex blends. **Express Polymer Letters**, 8(10), 779-789.

- Phuphuak, Y., & Chirachanchai, S. (2013). Simple preparation of multi-branched poly (l-lactic acid) and its role as nucleating agent for poly (lactic acid). **Polymer**, 54(2), 572-582.
- Pistel, K. F., Bittner, B., Koll, H., Winter, G., & Kissel, T. (1999). Biodegradable recombinant human erythropoietin loaded microspheres prepared from linear and star-branched block copolymers: Influence of encapsulation technique and polymer composition on particle characteristics. **Journal of Controlled release**, 59(3), 309-325.
- Rasal, R. M., Janorkar, A. V., & Hirt, D. E. (2010). Poly (lactic acid) modifications. **Progress in polymer science**, 35(3), 338-356.
- Rosli, N. A., Karamanlioglu, M., Kargarzadeh, H., & Ahmad, I. (2021). Comprehensive exploration of natural degradation of poly (lactic acid) blends in various degradation media: A review. *International journal of biological macromolecules*.
- Salaam, L. E., Dean, D., & Bray, T. L. (2006). In vitro degradation behavior of biodegradable 4-star micelles. **Polymer**, 47(1), 310-318.
- Shibata, M., Inoue, Y., & Miyoshi, M. (2006). Mechanical properties, morphology, and crystallization behavior of blends of poly (L-lactide) with poly (butylene succinate-co-L-lactate) and poly (butylene succinate). **Polymer**, 47(10), 3557-3564.
- Tuominen, J., Kylmä, J., Kapanen, A., Venelampi, O., Itävaara, M., & Seppälä, J. (2002). Biodegradation of lactic acid based polymers under controlled composting conditions and evaluation of the ecotoxicological impact. **Biomacromolecules**, 3(3), 445-455.
- Uurto, I., Mikkonen, J., Parkkinen, J., Keski-Nisula, L., Nevalainen, T., Kellomäki, M., ... & Salenius, J. P. (2005). Drug-eluting biodegradable poly-D/L-lactic acid vascular stents: an experimental pilot study. **Journal of Endovascular Therapy**, 12(3), 371-379.
- Xu, X., Lu, H., Luo, G., Kang, X., & Luo, Y. (2021). Theoretical insight into the opposite redox activity of iron complexes toward the ring opening polymerization of lactide and epoxide. **Inorganic Chemistry Frontiers**, 8(4), 1005-1014.



ปริมาณสารพฤกษเคมีและการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกดาวเรืองพันธุ์ร็อคโคดีฟโกลด์

PHYTOCHEMICAL CONTENTS AND ANTIOXIDANTS ACTIVITY OF EXTRACTS FROM ROCCO DEEP GOLD MARIGOLD FLOWERS (*TAGETES ERECTA* L.)

สุพจน์ ทับทิมใหญ่¹ คงศักดิ์ บุญยะประณัย² ลัดดาวัลย์ พะวร^{3*} และ อรุณา จันทร์เสถียร⁴

^{1,3,4}คณะสหเวชศาสตร์ วิทยาลัยนครราชสีมา นครราชสีมา 30000

²สถาบันวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

Suphod Tabtimyai¹, Kongsak Boonyapranai², Laddawan Phawon^{3*} and Onuma Chansatein⁴

^{1,3,4}Faculty of Allied Health Sciences, Nakhon Ratchasima College,

Nakhon Ratchasima 30000

²Research Institute for Health Sciences, Chiang Mai University,

Chiang Mai 50200

*E-mail: laddawam@nmc.ac.th

Received: 03-05-2022

Revised: 18-10-2022

Accepted: 19-10-2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการสกัดด้วยวิธีต้มด้วยน้ำ วิธีแช่เย็นด้วยเอทานอล 50% และวิธีซอกท์เลตด้วยเอทานอล 95% ต่อปริมาณสารพฤกษเคมี กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และการยับยั้งการเสียหายของโปรตีนของสารสกัดจากดอกดาวเรืองพันธุ์ร็อคโคดีฟโกลด์ ผลการทดลองพบว่า สารสกัดด้วยวิธีซอกท์เลตโดยใช้ เอทานอล 95% จากดอกดาวเรืองมีปริมาณสารฟีนอลิกและแคโรทีนอยด์สูงกว่าสารสกัดชนิดอื่น (63.9 ± 0.01 mg GAE/g extract และ 103.95 mg/g extract ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดด้วยวิธีแช่เย็นด้วยเอทานอล 50% มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์สูงสุด (174.30 ± 0.07 mg/g extract) เมื่อทดสอบประสิทธิภาพการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging พบว่าสารสกัดด้วยวิธีซอกท์เลตโดยใช้เอทานอล 95% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด (IC_{50} เท่ากับ 0.45 ± 0.00 mg/ml) และการทดสอบการยับยั้งการเสียหายของโปรตีนในระดับหลอดทดลอง พบว่าสารสกัดของดาวเรืองที่สกัดด้วยวิธีต้มด้วยน้ำมีฤทธิ์ยับยั้งการเสียหายของโปรตีนมากที่สุด รองลงมาคือ สารสกัดด้วยวิธีซอกท์เลตโดยใช้เอทานอล 95% และสารสกัดด้วยวิธีแช่เย็นด้วยเอทานอล 50% มีฤทธิ์ยับยั้งเท่ากับ 74.44%, 54.30% และ 38.67% ตามลำดับ

คำสำคัญ: ดอกดาวเรือง สารพฤกษเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ABSTRACT

This research aimed to study was compared to other processes including aqueous decoction, maceration and Soxhlet extraction on the photochemical contents, antioxidant activities and Anti-denaturation activity of marigold flowers (Rocco Deep Gold). The results showed that 95% ethanol Soxhlet extraction of flowers contained higher content of phenolics and carotenoids than the other extracts (63.9 ± 0.01 mg GAE/g extract and 103.95 mg/g extract, respectively). Fifty percentage ethanol maceration of flowers also contained high levels of flavonoids (174.30 ± 0.07 mg/g extract). In regard to the antioxidant of DPPH radical scavenging. Ninety-five percentage ethanol Soxhlet extraction extract of flowers showed stronger inhibition effect than other extracts. ($IC_{50} = 0.45 \pm 0.00$ mg/ml). The in vitro anti-Denaturation activity that aqueous extracted has the highest % inhibition, followed by 95% ethanol Soxhlet extraction and 50% ethanol maceration. the inhibitory activity was 74.44%, 54.30% and 38.67%, respectively.

Keywords: Marigold Flowers, Phytochemical, Antioxidant

บทนำ

ดาวเรือง (*Tagetes erecta* L.) เป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์ Asteraceae เป็นไม้ดอกเศรษฐกิจที่เกษตรกรนิยมปลูก เนื่องจากดาวเรืองได้รับความนิยมมากในประเทศไทยสามารถใช้ได้ตั้งแต่ปลูกเป็นไม้ประดับ และไม่กระถางใช้เป็นดอกไม้หน้าแทนบูชาพระ เป็นไม้ตัดดอกเพื่อใช้ทำพวงมาลัยในพิธีกรรมทางศาสนา ใช้แสดงความยินดีในเทศกาลต่าง ๆ ตลอดจนใช้เป็นไม้ประดับสถานที่ นอกจากนี้ยังมีการใช้ดาวเรืองในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เครื่องสำอาง สีสันอาหาร และผลิตภัณฑ์เสริมอาหารด้วย (Karwani et al., 2015) เนื่องจากในดอกดาวเรืองมีสารสำคัญหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ไทโอฟิน (Thiophene) แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) และอื่น ๆ (Xu et al., 2012) ซึ่งมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่น่าสนใจมากมาย อาทิเช่น ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Burlec et al., 2019) ยับยั้งการแบ่งตัวของเซลล์มะเร็งหลายชนิด (Kaisoon et al., 2012) ต้านเบาหวาน (ยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase และ α -amylase) ลดไขมัน (Wang et al., 2016) ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียหลายชนิด (Saani et al., 2017) และช่วยให้นอนหลับ คลายความกังวล (Pérez et al., 2017) เป็นต้น

ดาวเรืองพันธุ์ร็อคโคดีฟโกลด์เป็นสายพันธุ์ที่สามารถปลูกได้ทั้งปี ดอกมีลักษณะกลม กลีบดอกแน่น ขนาดใหญ่ มีสีส้มสวยงาม เกษตรกรนิยมปลูกเพื่อตัดดอกขายเป็นจำนวนมาก (Isantea & Wongkrajang, 2015) เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ดอกดาวเรืองพันธุ์ร็อคโคดีฟโกลด์ จึงมีความสนใจศึกษาดาวเรืองพันธุ์ร็อคโคดีฟโกลด์ และจากข้อมูลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าในดาวเรืองทั่วไป พบสารประกอบ ฟีนอลิก และสารประกอบฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบของสารสำคัญ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และมีฤทธิ์ชะลอความเสื่อมชราของเซลล์ผิว แต่งานวิจัยเกี่ยวกับสารสำคัญของดาวเรืองพันธุ์ร็อคโคดีฟโกลด์ในประเทศไทยยังมีอยู่ไม่มากนัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการและชนิดของสารที่ละลายที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณสารสำคัญ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากดอกร็อคโคดีฟโกลด์ รวมทั้งการทดสอบการยับยั้งการเสียดสภาพของโปรตีนในระดับหลอดทดลอง เพื่อให้ได้ข้อมูลเรื่องวิธีการที่ดีในการสกัดสาร เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ดอกดาวเรืองพันธุ์ร็อคโคดีฟโกลด์ และนำไปสู่การพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และเครื่องสำอางหรือใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ต่อไป

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างดอกดาวเรืองสายพันธุ์ร็อคโคดีฟโกลด์ (ลูกผสม) จากตลาดต้นพะยอม จังหวัดเชียงใหม่ ในช่วงเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ 2565 ตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยรูปวิธาน โดยหน่วยวิจัยโภชนาการศูนย์วิจัยโรคไม้ดีดเชื้อ และอนามัยสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากนั้นชั่งน้ำหนักกลับดอกกับฐานรองดอก ให้ได้ 1 กิโลกรัม นำกลับดอกที่แยกออกจากฐานรองดอกมาล้างแล้วบันทึกผล นำกลับดอกดาวเรืองตากไว้ในที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น UNE 400 ประเทศไทย ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นตัวอย่างแห้งที่ได้นำมาปั่นให้ละเอียดเป็นผงและชั่งน้ำหนัก

2. การสกัดสารสำคัญจากดาวเรืองร็อคโคดีฟโกลด์

2.1 การเตรียมสารสกัดจากดาวเรืองร็อคโคดีฟโกลด์ด้วยน้ำกลั่น ด้วยวิธีต้ม (Decoction) ดัดแปลงวิธีมาจาก Chompoo et al. (2021)

นำผงตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก 50 กรัม เติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร นำไปตั้งในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำมารองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman No.1) แล้วนำมาปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการทดสอบต่อไป

2.2 การเตรียมสารสกัดจากดาวเรืองร็อคโคดีฟโกลด์ด้วยตัวทำละลายเอทานอล 50% ด้วยวิธีการแช่เย็น (Maceration) ดัดแปลงวิธีมาจาก Wongkrajang & Jankam (2017)

นำผงตัวอย่าง 50 กรัม เติมเอทานอล 50% ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ห่อปากขวดด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ นำไปเก็บไว้ในที่มืด 7 วัน หลังจากนั้นนำมารองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 แล้วนำมาปั่นเหวี่ยง ด้วยความเร็ว 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการทดสอบต่อไป

2.3 การเตรียมสารสกัดจากดาวเรืองร็อคโคดีฟโกลด์ด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95% ด้วยวิธีซอกซ์เลต (Soxhlet extraction) ดัดแปลงวิธีมาจาก Phonprapai et al. (2019)

นำผงตัวอย่าง 20 กรัม ที่เตรียมไว้บรรจุใน Timber ล็อกด้วยห่วงพลาสติก จากนั้นเติมเอทานอล 95% ปริมาตร 300 มิลลิลิตร นำไปสกัดด้วยเครื่อง Universal extractor (ยี่ห้อ Buchi รุ่น E-800 ประเทศไทย) นำตัวอย่างที่ได้มา Concentrate ให้เหลือสารสกัด 100 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดสีชาแล้วนำไปเก็บไว้ในตู้เย็น (Refrigerator) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอทดสอบต่อไป

2.4 การคำนวณหาร้อยละของผลผลิตของสารสกัด (% yield) จากดาวเรืองร็อคโคดีฟโกลด์

การหา % yield จากสารสกัดดอกดาวเรืองร็อคโคดีฟโกลด์ด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด โดยเริ่มจากการชั่งหลอดทดลองเปล่าของสารสกัด 3 ตัวทำละลาย จากนั้นนำสารสกัด 1 มิลลิลิตร ใส่ลงหลอดทดลอง นำไปอบให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำกากสารสกัดที่ได้มาชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นคำนวณหา % yield (Phrompittayarat et al., 2007) ด้วยสูตรคำนวณดังนี้

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{น้ำหนักหลังสกัด}}{\text{น้ำหนักก่อนสกัด}} \times 100$$

2. การทดสอบหาปริมาณฟีนอลิกรวม (Total phenolic content) จากสารสกัดดอกดาวเรือง ร็อคโคตีฟโกลด์

ทดสอบฟีนอลิกรวมจากสารสกัดดอกดาวเรืองร็อคโคตีฟโกลด์ ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Colorimetric ดัดแปลงตามวิธีของ Folin & Ciocalteu (1927) ใช้กรดแกลลิก (Gallic acid) เป็นสารมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น ในช่วง 0–0.45 mg/ml โดยผสมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆ และเติมสารสกัดตัวอย่าง ลงใน 96-well plate ปริมาตร 20 µl เติมสารละลาย Folin Ciocalteu reagent ปริมาตร 100 µl เติมสารละลาย 1 M NaHCO₃ ปริมาตร 80 µl จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องไมโครเพลตรีดเดอร์ (ยี่ห้อ Spectrostar Nano รุ่น BMD601-0659 ประเทศไทย) ที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร การทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ คำนวณหาปริมาณฟีนอลิก นำไปเทียบกับกราฟมาตรฐานของแกลลิก และรายงานผลเป็นค่า Gallic acid equivalents ต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้งหนัก 1 กรัม (mg GAE/g extract)

3. การทดสอบหาปริมาณฟลาโวนอยด์ (Total flavonoid content) จากสารสกัดดอกดาวเรือง ร็อคโคตีฟโกลด์

การทดสอบฟลาโวนอยด์จากสารสกัดดอกดาวเรืองร็อคโคตีฟโกลด์ ด้วยวิธี Aluminium trichloride colorimetric ดัดแปลงตามวิธีของ Zhishen et al. (1999) โดยใช้เคอร์ซีติน (Quercetin) เป็นสารมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น ในช่วง 0.00-0.14 mg/ml โดยเตรียมสารสกัดที่ความเข้มข้น 10 mg/ml ปิเปตสารสกัดที่เตรียมไว้ ปริมาตร 100 µl จากนั้นเติมสารละลายอะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ (AlCl₃ reagent) ความเข้มข้น 2% ปริมาตร 100 µl เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ทำการทดลอง ทั้งหมด 3 ซ้ำ และนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมจากกราฟสารละลาย มาตรฐานของ Quercetagen glycosides และแสดงผลเป็นค่า Quercetagen glycosides equivalents ต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้งหนัก 1 กรัม (QGE/g extract)

4. การทดสอบหาปริมาณแคโรทีนอยด์รวม

การทดสอบหาปริมาณการหาปริมาณแคโรทีนอยด์รวมจากสารสกัดดอกดาวเรืองร็อคโคตีฟโกลด์ ด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด ดัดแปลงตามวิธีของ Ranganna (1999) โดยชั่งสารตัวอย่าง 1000 กรัม นำไปอบให้แห้ง อุณหภูมิ ที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นแช่ด้วยตัวทำละลาย Acetone ปริมาตร 10 ml แล้วนำไป แช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง แล้วนำมาแยกชั้น ด้วย Petroleum ether ปริมาตร 10 ml นำไปเขย่า 10 นาที จากนั้นดูดสารละลายส่วนบนไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ยาวคลื่น 452 นาโนเมตร และนำค่าที่ได้ไปคำนวณจากสูตร

$$\text{Total carotenoids} = \frac{3.87 \times A_{452} \times \text{Volume make up} \times \text{Dilution factor} \times 100}{\text{Weight of Sample (g)} \times 1000}$$

A_{452} = ค่าความยาวคลื่นที่วัดได้ที่ 452 นาโนเมตร

Volume make up = ค่าของ Petroleum ether 10 ml

Dilution factor = ค่าที่ทำการ Dilution

Weight of Sample (g) = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

6. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดดอกดาวเรืองร็อคโคดีฟโกลด์

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดดอกดาวเรืองร็อคโคดีฟโกลด์ ด้วยวิธี DPPH radical scavenging ดัดแปลงตามวิธีของ Yen & Hsieh (1997) ใช้โทรลอกซ์ (Trolox) เป็นสารมาตรฐาน โดยเตรียมสารตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ ความเข้มข้นในช่วง 0.05-0.45 mg/ml ปิเปตสารตัวอย่างหรือสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้น โดยผสมสารละลายตัวอย่างปริมาตร 10 μ l ลงในเพลท (96-well plate) และเติม DPPH reagent ปริมาตร 125 μ l นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ คำนวณร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้สูตร พล็อตกราฟหาค่า IC_{50} ในการรายงานค่าจะรายงานค่าเป็น IC_{50} ซึ่งได้จากการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % inhibition กับความเข้มข้นซึ่งความเข้มข้นที่ 50% inhibition จะมีค่าเป็น IC_{50} โดยคำนวณความสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH จากสูตร

$$\text{ร้อยละของการยับยั้ง (\% Inhibition)} = \left[\frac{A_{\text{Blank}} - B_{\text{Sample}}}{A_{\text{Blank}}} \right] \times 100$$

7. การทดสอบการยับยั้งการเสียสภาพของโปรตีน (Protein denaturation) ในระดับหลอดทดลอง

การตรวจสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบโดยการวัดความสามารถในการยับยั้ง Protein denaturation ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Williams et al. (2008) ดังต่อไปนี้ เตรียมตัวอย่างโดยการเจือจางครั้งละ 10 เท่า (10 Fold Dilution) จากนั้นปิเปตตัวอย่างมา 500 μ l เติม Phosphate buffer pH 6.9 ปริมาตร 2.5 ml และเติมไข่ขาว 2 ml ส่วนหลอด Blank และ Control เติม Phosphate buffer pH 6.9 ปริมาตร 3 ml แล้วเติมไข่ขาว 2 ml และหลอด Standard IC_{50} เติมยา Diclofenac 0.5 ml เติม Phosphate buffer pH 6.9 ปริมาตร 2.5 ml แล้วเติมไข่ขาว 2 ml ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และบ่มต่อในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 660 นาโนเมตร และคำนวณหาร้อยละของการยับยั้ง (% Inhibition) เทียบกับ ตัวควบคุม โดยใช้ Diclofenac sodium เป็นสารมาตรฐาน จากสูตร

$$\text{ร้อยละของการยับยั้ง (\% Inhibition)} = \left[\frac{A_{\text{Control}} - B_{\text{Sample}}}{A_{\text{Control}}} \right] \times 10$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ทางสถิติทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ครั้ง (n=3) และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\pm$ SD) และวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของข้อมูลโดยใช้ One-way Anova (Single factor) โดยใช้ Duncan multiple comparison tests ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($p < 0.05$)

ผลการทดลองและการวิจารณ์

1. ผลการสกัดสารจากดอกดาวเรืองร็อคโคดีฟโกลด์

จากการสกัดสารสำคัญจากดอกดาวเรืองร็อคโคดีฟโกลด์พบว่า การสกัดด้วยวิธีแช่อยู่ด้วยตัวทำละลายเอทานอล 50% มีลักษณะทางกายภาพของสารสกัดมีสีเหลืองเข้ม ไม่มีการแยกชั้น ไม่มีตะกอนเกิดขึ้น การสกัดสารด้วยวิธีช็อกห์เลตโดยใช้เอทานอล 95% ลักษณะทางกายภาพของสารสกัดมีสีเหลืองเข้มปนส้ม ไม่มีการแยกชั้น แต่มี

ตะกอนสีส้มเกิดขึ้นเมื่อนำไประเหยแห้ง (Evaporator) และการสกัดด้วยวิธีต้มโดยใช้น้ำกลั่น มีลักษณะทางกายภาพของสารสกัดสีเหลืองอ่อน มีการแยกชั้นสีเหลืองเข้มอยู่ข้างบน ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ และการเตรียมสารสกัดจากดอกดาวเรือง ทั้ง 3 วิธี ด้วย 3 ตัวทำละลาย พบว่าร้อยละของสารสกัดเมื่อเทียบกับน้ำหนักผงแห้ง (%yield extract/dry) มีค่าดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของการสกัดจากดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์ด้วยวิธีการสกัด 3 วิธี และตัวทำละลาย 3 ชนิด

ตัวทำละลาย	วิธีการสกัด	ลักษณะทางกายภาพของสารสกัด	% yield
น้ำกลั่น	Decoction	มีลักษณะสีเหลืองอ่อนมีการแยกชั้นสีเหลืองเข้มอยู่ข้างบน	28.16
เอทานอล 50%	Maceration	มีลักษณะสีเหลืองเข้มไม่มีการแยกชั้นแต่ไม่มีตะกอนเกิดขึ้น	30.55
		มีลักษณะสีเหลืองเข้มปนส้มไม่มีการแยกชั้นแต่มีตะกอนสี	28.85
เอทานอล 95%	Soxhlet extractor	ส้มเกิดขึ้นเมื่อนำไประเหยแห้ง	

2. ผลการทดสอบหาปริมาณฟีนอลิกรวมจากสารสกัดดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์

การทดสอบฟีนอลิกจากสารสกัดดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์ ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric โดยใช้กรดแกลลิก (Gallic acid) เป็นสารมาตรฐาน ซึ่งการคำนวณใช้สมการของกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก ($y = 3.7954x + 0.2015$, $R^2 = 0.9788$) เป็นตัวเทียบเพื่อหาปริมาณฟีนอลิก ดังแสดงในภาพที่ 1 จากผลการทดลองพบว่า ดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์ที่สกัดด้วยวิธีด้วยวิธีชกต์โดยใช้เอทานอล 95 % มีปริมาณฟีนอลิกรวมมากที่สุดคือ 63.90 ± 0.01 mg GAE/g extract และรองลงมาคือวิธีที่สกัดด้วยน้ำคือ 63.90 ± 0.06 mg GAE/g extract ส่วนดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์ที่สกัดด้วยวิธีการแช่ด้วยเอทานอล 50 % มีปริมาณฟีนอลิกรวมน้อยที่สุดคือ 58.70 ± 0.02 mg GAE/g extract ดังแสดงในตารางที่ 2 อาจเป็น ผลมาจากสารประกอบฟีนอลิกโดยทั่วไปมีโครงสร้างทางเคมีจัดอยู่ในกลุ่มที่มีขั้วปานกลาง จึงทำให้ละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วเช่นกัน ส่งผลให้สารสำคัญที่อยู่ในดอกดาวเรืองถูกปลดปล่อยออกมากับตัวทำละลาย (Pietta, 2000)

3. ผลการทดสอบหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวมจากสารสกัดดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์

การทดสอบฟลาโวนอยด์จากสารสกัดดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์ด้วยวิธี Aluminium trichloride colorimetric โดยใช้เคอร์ซีติน (Quercetin) เป็นสารมาตรฐาน ซึ่งการคำนวณใช้สมการของกราฟมาตรฐานเคอร์ซีติน ($y = 20.953x + 0.3234$, $R^2 = 0.9896$) เป็นตัวเทียบเพื่อหาปริมาณฟลาโวนอยด์ ดังแสดงในภาพที่ 2 จากผลการทดลอง พบว่าดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์ที่สกัดด้วยวิธีแช่ด้วยเอทานอล 50% มีปริมาณฟลาโวนอยด์มากที่สุด คือ 174.30 ± 0.07 mg QGE/g extract และรองลงมาคือการสกัดด้วยวิธีชกต์โดยใช้เอทานอล 95% คือ 100.30 ± 0.04 mg QGE/g extract ส่วนดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์ที่สกัดด้วยน้ำมีปริมาณฟลาโวนอยด์น้อยที่สุดคือ 24.10 ± 0.02 mg QGE/g extract ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aisantia & Wongkrachang (2014) ที่ศึกษาระบบตัวทำละลายของการสกัดสารฟลาโวนอยด์จากดอกดาวเรืองสด พบว่าดอกดาวเรืองสดที่สกัดด้วยระบบ 60% $H_2O/EtOH$ มีปริมาณฟลาโวนอยด์มากที่สุด ซึ่งสารฟลาโวนอยด์จัดเป็นหนึ่งในกลุ่มของสารประกอบ

พืชนอกที่พบได้มากในพืช โดยสารฟลาโวนอยด์สามารถจับกับโลหะหนัก เช่น Fe^{2+}/Fe^{3+} และ Cu^{2+} ที่มีผลเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายน

4. ผลการทดสอบหาปริมาณแคโรทีนอยด์จากสารสกัดดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์

จากการทดสอบหาปริมาณแคโรทีนอยด์รวมจากสารสกัดดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์ด้วย 3 วิธีและตัวทำละลาย 3 ชนิด ช่วงความยาวคลื่นที่ 452 นาโนเมตร พบว่าดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์ที่สกัดด้วยวิธีชอกห์เลตโดยใช้เอทานอล 95% มีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 103.95 mg/g extract รองลงมาคือสกัดด้วยวิธีแช่เย็นโดยใช้เอทานอล 50% คือ 0.715 mg/g extract ส่วนดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์ที่สกัดด้วยน้ำมีปริมาณน้อยที่สุดเท่ากับ 0.638 mg/g extract ตามลำดับ ดังแสดงตารางที่ 2 การศึกษาในครั้งนี้แตกต่างจากงานวิจัยของ Chompoo et al. (2021) ที่ศึกษาปริมาณสารฟลักซ์เคมี และการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากดอกดาวเรืองฝรั่งเศส พบว่าที่สารสกัดด้วยน้ำจากดาวเรืองฝรั่งเศส มีปริมาณสารแคโรทีนอยด์ มีค่าระหว่าง 63.42 ± 4.55 - 128.60 ± 5.94 mg/g DW ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์ที่สกัดน้ำมีค่าเท่ากับ 0.638 ± 0.00 mg/g extract ในขณะที่สกัดด้วยเอทานอล 95% มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงกว่าการสกัดด้วยน้ำ มีค่าเท่ากับ 103.95 ± 0.00 mg/g extract และสกัดด้วยวิธีชอกห์เลตโดยใช้เอทานอล 95% มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงกว่าการสกัดด้วยการแช่เย็นโดยใช้เอทานอล 50% ถึง 145 เท่า คาดว่าอาจเป็นแคโรทีนอยด์ชนิดแซนโทฟิลล์ ซึ่งมีคุณสมบัติละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว (Niyomdech & Khongsen, 2013) ดังนั้นการสกัดด้วยเอทานอล 95% จึงพบปริมาณ แคโรทีนอยด์ที่มากกว่าการสกัดด้วยเอทานอล 50% อย่างไรก็ตามวิธีการวิเคราะห์แคโรทีนอยด์ แสดงเป็นค่าที่ได้แทนในสูตรของแคโรทีนเท่านั้น ไม่ได้จำเพาะเจาะจงกับแคโรทีนอยด์ชนิดใดชนิดหนึ่ง จึงควรทำการศึกษาต่อโดยวิธีอื่นๆ ที่มีความจำเพาะเจาะจงมากยิ่งขึ้น อาทิเช่น HPLC สำหรับใช้ในการวิเคราะห์

5. ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์

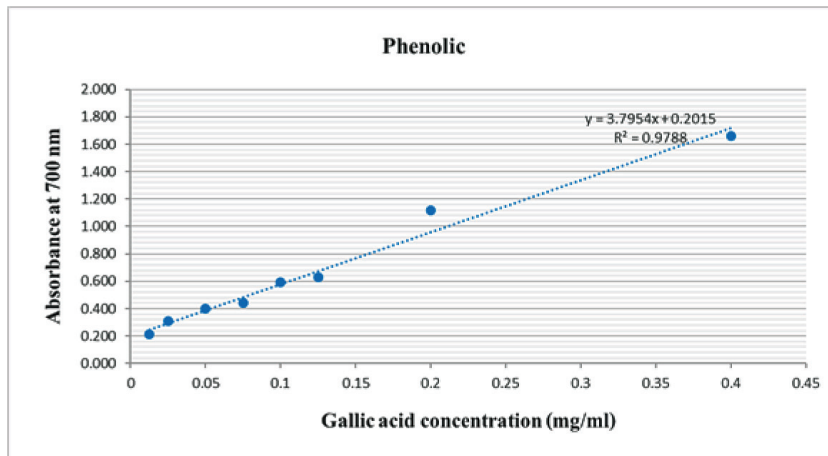
การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์ ด้วยวิธี DPPH radical scavenging โดยใช้ไทรอลอกซ์เป็นสารมาตรฐาน ซึ่งการคำนวณใช้สมการของกราฟมาตรฐาน ไทรอลอกซ์ ($y = 207.3X + 8.4735$, $R^2=0.9919$) ดังแสดงในภาพที่ 3 ผลการทดลองพบว่าดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์ที่สกัดด้วยวิธีชอกห์เลตโดยใช้เอทานอล 95% แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด รองลงมาคือการสกัดด้วยน้ำ และการสกัดด้วยการแช่เย็นโดยใช้เอทานอล 50% ซึ่งมีค่าความเข้มข้นที่สามารถต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (IC_{50}) เท่ากับ 0.45 ± 0.00 , 0.51 ± 0.01 และ 0.50 ± 0.01 $\mu g/ml$ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานไทรอลอกซ์ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.40 ± 0.00 $\mu g/ml$ พบว่าดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์ที่สกัดด้วยเอทานอล 95% มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.45 ± 0.00 $\mu g/ml$ เนื่องจากเอทานอล 95% ให้ปริมาณพืชนอกสูง จึงทำให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย ในส่วนของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่พบนั้นอาจมาจากสารสำคัญหลายชนิดที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ การศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ingkasupart et al. (2015) ที่ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณ ลูทีนของดาวเรือง 11 สายพันธุ์ในประเทศไทย โดยสกัดสารจากดอกดาวเรืองด้วยเอทานอล 95% พบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีเช่นกัน

จากการศึกษาในครั้งนี้จึงกล่าวได้ว่าสารสกัดจากส่วนของดอกดาวเรืองร้อยโคตีฟโกลด์ ที่สกัดด้วยเอทานอล 95% มีปริมาณสารประกอบพืชนอกปริมาณสูง ซึ่งสารประกอบพืชนอกทำหน้าที่ทั้งเป็นสารให้อิเล็กตรอนหรือเป็นสารให้อิโตรเจนและกำจัดออกซิเจนที่อยู่ในรูปแอคทีฟ ทำให้สารประกอบพืชนอกมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Singsai et al., 2020) โดยหมู่พืชนอกจะสามารถรับอิเล็กตรอนจากอนุมูลอิสระและกลายเป็นอนุมูลของสารประกอบ

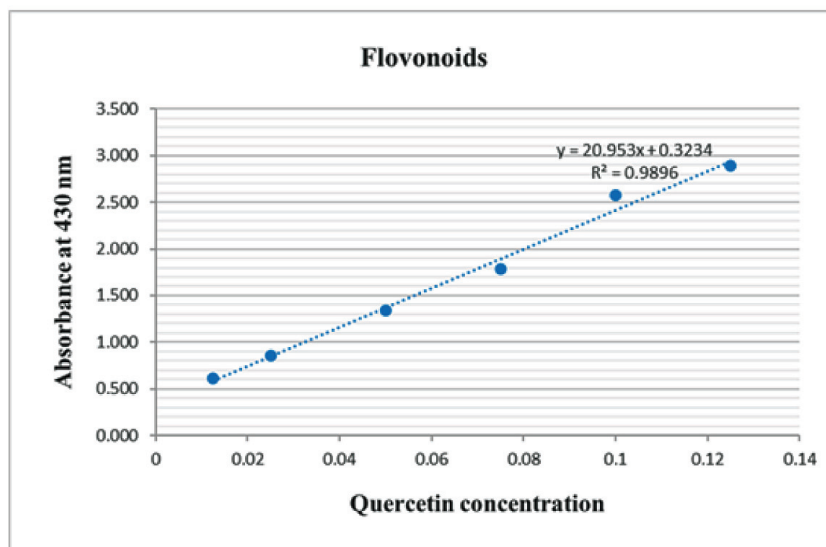
ฟินอลที่เสถียรซึ่งทำลายวงจรของความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระในเซลล์ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Pourmorad et al. (2006) และ Buachoon & Manjit (2018) ที่พบว่าสารสกัดที่มีปริมาณสารฟีนอลิกสูงจะมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงด้วย

ตารางที่ 2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม แคโรทีนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในดอกดาวเรือง ร็อคโคดีฟิโลดด้วยวิธีการสกัด 3 วิธี และตัวทำละลาย 3 ชนิด

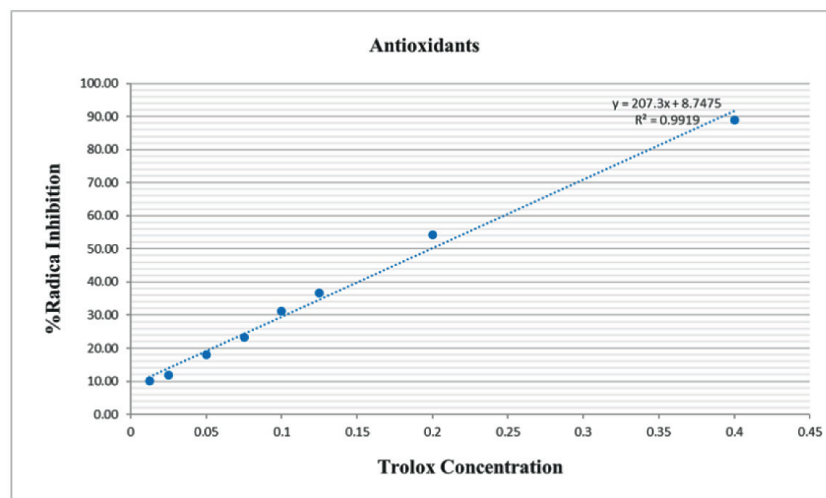
วิธีการสกัด	ตัวทำละลาย	Phenolics (mg GAE/g extract)	Flavonoids (mg QGE/g extract)	Carotenoids (mg/g extract)	Antioxidant activity (IC ₅₀ ± S.D. (mg/ml))
Decoction	น้ำกลั่น	63.90 ± 0.06	24.10 ± 0.02	0.638 ± 0.01	0.50 ± 0.01
Maceration	เอทานอล 50%	58.70 ± 0.02	174.30 ± 0.07	0.715 ± 0.04	0.51 ± 0.01
Soxhlet extractor	เอทานอล 95%	63.90 ± 0.01	100.30 ± 0.04	103.95 ± 0.03	0.45 ± 0.02



ภาพที่ 1 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิก



ภาพที่ 2 กราฟมาตรฐานเคอร์ซีติน



ภาพที่ 3 กราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

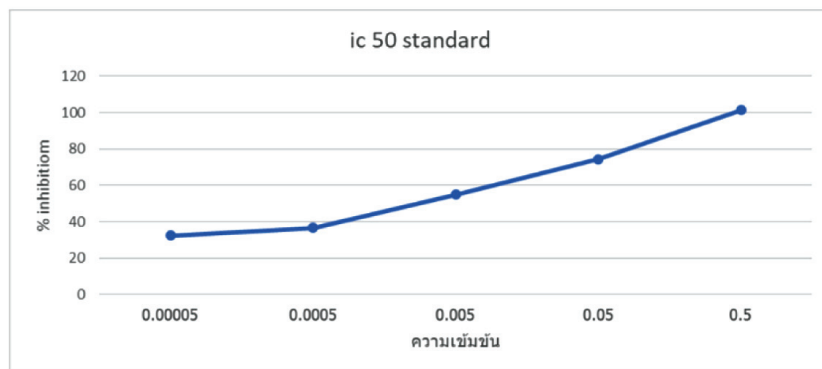
6. ผลการทดสอบการยับยั้งการเสียหายของโปรตีนในระดับหลอดทดลอง

จากการทดสอบฤทธิ์ด้านการอักเสบของสารสกัดดอกดาวเรืองร็อคโคดีฟโกลด์ ในระดับหลอดทดลอง ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร โดยใช้ ยา Diclofenac เป็นสารมาตรฐาน Standard Difelene IC₅₀ (mg/ml) ดังแสดงในภาพที่ 4 จากการศึกษาสารสกัดจากดอกดาวเรืองร็อคโคดีฟโกลด์ด้วย 3 วิธีร่วมกับตัวทำลายทั้ง 3 ชนิด ได้แก่งสกัดด้วยน้ำ เอทานอล 50% และ เอทานอล 95% พบว่าการสกัดด้วยวิธีต้มด้วยน้ำมีฤทธิ์การต้านการอักเสบได้ดีที่สุด

อยู่ที่ 74.64% ที่ความเข้มข้นของยาที่ใช้ในการต้านการอักเสบคือ 0.1 mg/ml รองลงมาคือ การสกัดด้วยวิธีชอกท์เลต โดยใช้เอทานอล 95% อยู่ที่ 54.30% ที่ความเข้มข้นของยาที่ใช้ในการต้านการอักเสบคือ 0.1 mg/ml ในส่วนของการสกัดด้วยวิธีแช่เย็นด้วยเอทานอล 50% ให้ค่าที่ต่ำที่สุดอยู่ที่ 38.67% ที่ความเข้มข้นของยาที่ใช้ในการต้านการอักเสบคือ 0.1 mg/ml ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการเสีสภาพของโปรตีนในระดับหลอดทดลองของสารสกัดจากดอกดาวเรือง ร็อคโคดีฟิโลดด้วยวิธีการสกัด 3 วิธี และตัวทำละลาย 3 ชนิด

ตัวอย่าง	ฤทธิ์ยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพของโปรตีน (% inhibition)		
	วิธีต้มด้วยน้ำกลั่น	วิธีแช่เย็น ด้วยเอทานอล 50%	วิธีชอกท์เลต ด้วยเอทานอล 95%
ดอกดาวเรืองร็อคโคดีฟิโลด	74.64 %	38.67 %	54.30 %



ภาพที่ 4 กราฟมาตรฐาน Standard Difelene IC₅₀ (mg/ml)

สรุป

จากการศึกษาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งการเสีสภาพของโปรตีนของสารสกัดจากดอกดาวเรืองพันธุ์ร็อคโคดีฟิโลดด้วยวิธีการสกัด 3 แบบโดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิดคือ น้ำเอทานอล 50% และเอทานอล 95% พบว่าปริมาณสารสำคัญของสารสกัดเอทานอล 50% เอทานอล 95% และน้ำ พบในปริมาณที่แตกต่างกันทางสถิติ การสกัดดอกดาวเรืองร็อคโคดีฟิโลดด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95% ด้วยวิธีชอกท์เลต มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมแคโรทีนอยด์มากที่สุด และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด ส่วนการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล 50% ด้วยวิธีแช่เย็น ได้ปริมาณฟลาโวนอยด์มากที่สุด และการสกัดด้วยน้ำ

ด้วยวิธีต้มมีฤทธิ์ด้านการอักเสบมากที่สุด โดยเมื่อนำไปทดสอบฤทธิ์ด้านการอักเสบในหลอดทดลองโดยวัดความสามารถในการยับยั้งการเสียหายโปรตีน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมด้วยวิธีการสกัดทั้ง 3 วิธี ร่วมกับการใช้วิธีการอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นทางกายภาพหรือเคมีเพื่อจะได้สารสำคัญปริมาณมากที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มมูลค่าให้ดอกดาวเรืองพันธุ์ร็อคโคดีฟโกลด์ และนำไปสู่การพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและเครื่องสำอางหรือใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะสหเวชศาสตร์ วิทยาลัยนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้ออุปกรณ์เครื่องมือสำหรับ ทำวิจัย และขอขอบพระคุณหน่วยวิจัยโภชนาการ ศูนย์วิจัยโรคไม่ติดต่อและอนามัยสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่เพื่อใช้ในการทำวิจัย ขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ที่เสียสละเวลาให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

- Aisantia. O., & Wongkrachang, K. (2014). The Investigation of the Extraction Solvent System of Total Phenolics and Flavonoids-Rich Extracts and Antioxidant Activity from *Tagetes erecta* Flower. **Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal**, 7(7), 29-40. (In Thai)
- Buachoon, N., & Manjit, W. (2018). Quantitation of Total Phenolics Antioxidant Activity and Development of skin care lotions. **VRU Research and Development Journal Science and Technology**, 13(2), 86-97. (In Thai)
- Burlec, A.F., Cioanca, O., Mircea, C., Arsene, C., Tuchiluş, C., Corciovă, A., & Hăncianu, M. (2019). Antioxidant and antimicrobial properties of Chrysanthemum and Tagetes selective extracts. **Farmacia**, 67, 405–410.
- Chompoo, J., U-yatung, S., Kaiput, T., & Boonruangrod, R. (2021). Phytochemical Contents and Antioxidants Activity of Extracts from French Marigold Flowers (*Tagetes patula* L.). **King Mongkut's Agricultural Journal**, 39(4), 264-273.
- Folin, O., & Ciocalteu, V. (1927). On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. **Journal of Biological Chemistry**, 73, 627-650.
- Ingkasupart, P., Manochai, B., Song, W.T., & Hong, J.H. (2015). Antioxidant activities and lutein content of 11 marigold cultivars (*Tagetes* spp.) grown in Thailand. **Food Science and Technology (Campinas)**, 35(2), 380-385. (In Thai)
- Isantea, O., & Wongkrajang, K. 2015. The Investigation of the Extraction Solvent System of Total Phenolics and Flavonoids-Rich Extracts and Antioxidant Activity from *Tagetes erecta* Flower. **Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal**, 7(7), 29-41. (In Thai)

- Kaisoon, O., Konczak, I., & Siriamornpun, S. (2012). Potential health enhancing properties of edible flowers from Thailand. **Food Research International**, **46** 563–571.
- Karwani, G., & Sisodia, S.S. (2015). *Tagetes erecta* plant: Review with significant pharmacological activities. **World Journal of Pharmaceutical Sciences**, **3**(6), 1180-1183.
- Niyomdech. A., & Khongsen. M. (2013). Metabolism and Nutritional Values of Carotenoids on Egg Yolk Color. **Princess of Naradhiwas University Journal**, **5**(4), 112-121. (In Thai)
- Pietta, P.G. (2000). Flavonoids as antioxidants. **Journal of Natural Products**, **63**, 1035-1042.
- Pourmorad, F., Hosseinimehr, S.J., & Shahabimajd, N. (2006). Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. **African Journal of Biotechnology**, **5**(11), 1142-1145. (In Thai)
- Phrompittayarat, W., Putalun, W., Tanaka, H., Jetiyanon, K., Wittaya-arekul, S. & Ingkaninan, K. (2007). Comparison of various extraction methods of *Bacopa monnieri*. **Naresuan University Journal**, **15**(1), 29-34.
- Pérez-Ortega, G., Angeles-López, G.E., Argueta-Villamar, A., & González-Trujano, M.E. (2017). Preclinical evidence of the anxiolytic and sedative-like activities of *Tagetes erecta* L. reinforces its ethnobotanical approach. **Biomedicine and Pharmacotherapy**, **93** (Supplement C), 383-390.
- Ranganna, S. (1999). **Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products**. New Delhi. Tata Mc-Graw Hill publishing company Ltd.
- Saani, M., Lawrence, R., & Lawrence, K. (2017). Evaluation of pigments from methanolic extract of *Tagetes erecta* and *Beta vulgaris* as antioxidant and antibacterial agent. **Natural Product Research**, **11**, 1-4.
- Singsai, K., Sakdavirote, A., Wechpanishkitkul, K., & Moonsamai, A. (2020). The comparison of phenolic compounds, flavonoids and antioxidant activities of the ethanolic extracts of shoots, leaves, fruits and seeds of *Leucaena leucocephala*. **Naresuan Phayao Journal**, **13**(3), 66-73. (In Thai)
- Williams, L.A., O'Connor, A., Latore, L., Dennis, O., Ringer, S., Whittaker, J.A. (2008). The in vitro antidenaturation effects induced by natural products and nonsteroidal compounds in heat treated (immunogenic) bovine serum albumin is proposed as a screening assay for the detection of antiinflammatory compounds, without the use of animals, in the early stages of the drug discovery process. **West Indian Medical Journal**, **57**(4), 327-331.
- Wang, W., Xu, H., Chen, H., Tai, K., Liu, F., & Gao, Y. (2016). In vitro antioxidant, anti-diabetic and antilipemic potentials of quercetagenin extracted from marigold (*Tagetes erecta* L.) inflorescence residues. **Journal of Food Science and Technology**, **53**(6), 2614-2624.

- [illegible]

การศึกษาการยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* และ *Salmonella Typhimurium*
ด้วยสารสกัดหยาบจากพืชสมุนไพรไทย 12 ชนิด และสารสกัดหยาบผสม

THE STUDIES ON INHIBITION OF *ESCHERICHIA COLI*
AND *SALMONELLA TYPHIMURIUM* OF 12 MEDICINAL PLANT CRUDE EXTRACTS
AND THEIR MIXTURES

นิพนธ์ สนนอม^{1*} วีระพงษ์ วรประโยชน์² และ กฤตพร จำจนเกียรติ³

^{1,3}วิทยาลัยนวัตกรรมการเกษตรและเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี 12000

²กลุ่มวิจัยส่วนผสมฟังก์ชันและนวัตกรรมอาหารศูนย์ พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย 12120

Nipon Sonhom^{1*}, Weerapong Woraprayote², and Kittaporn Rumjuankiat³

^{1,3}College of Agricultural Innovation and Food Technology, Rangsit University, Pathum Thani, 12000

²Functional Ingredients and Food Innovation Research Group, National Center for Genetic Engineering
and Biotechnology (BIOTEC), Thailand Science Park, Pathum Thani, 12120

*E-mail: nipon.s58@rsu.ac.th

Received: 25-05-2022

Revised: 11-08-2022

Accepted: 23-08-2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดหยาบจากสมุนไพรไทย 12 ชนิด สกัดด้วยน้ำและเอทานอล ในการยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* จำนวน 5 สายพันธุ์ และ *Salmonella typhimurium* จำนวน 1 สายพันธุ์ ทดสอบ โดยใช้วิธี spot-on-lawn รวมทั้งศึกษาเวลาในการฆ่าเชื้อ และการเสริมฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียด้วยสารสกัดหยาบผสม จากการทดสอบพบว่า สารสกัดหยาบจากรากของโกฐน้ำเต้า (*Rheum palmatum* L.) เหง้ากระชาย (*Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf.) และต้นทองพันชั่ง (*Rhinacanthus nasutus* L.) ที่สกัดด้วยเอทานอล มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย ทดสอบได้ดีที่สุด โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อได้ (Minimum Inhibitory Concentration; MIC) ในช่วง 0.19-0.78, 0.19-0.78 และ 0.19-1.56 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ความเร็วในการฆ่าเชื้อของสารสกัด ที่ค่า MIC พบว่า สารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้าสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้มากกว่า 2 log CFU ต่อมิลลิลิตร ภายในเวลา 12 ชั่วโมง การทดสอบความสามารถในการเสริมฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียของสารสกัดหยาบกระชาย ทองพันชั่ง และโกฐน้ำเต้า ด้วยวิธี checkerboard พบว่าทั้งสารสกัดหยาบกระชาย และสารสกัดหยาบทองพันชั่งสามารถเสริมฤทธิ์ สารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้า ในการยับยั้งเชื้อ *E. coli* O157H:7 และ *S. typhimurium* ATCC13311 ได้ โดย Fractional Inhibitory Concentration Index (FICI) มีค่าเท่ากับ 0.5 ทั้งนี้ส่วนผสมของสารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้า และสารสกัดหยาบ

กระชายที่ความเข้มข้น 0.09 และ 0.19 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถฆ่าเชื้อ *E. coli* O157H:7 และ *S. typhimurium* ATCC13311 ได้มากกว่า 2 log CFU ต่อมิลลิลิตร ภายในเวลา 6 ชั่วโมง

คำสำคัญ: กระชาย ทองพันชั่ง โกงน้ำเต้า สารสกัดหยาบ การฆ่าเชื้อแบคทีเรีย

ABSTRACT

Antibacterial activity of aqueous and ethanolic crude extracts from twelve Thai medicinal plants was studied on inhibition of five strains of *Escherichia coli* and one strain of *Salmonella typhimurium* using spot-on-lawn method including time-kill kinetic assay and synergistic effect of mixtures. Ethanolic crude extracts from the root of *Rheum palmatum* L., the rhizome of *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf. and aerial part of *Rhinacanthus nasutus* L. exhibited minimum inhibitory concentration (MIC) values ranging from 0.19-0.78, 0.19-0.78 and 0.19-1.56 mg/mL, respectively. Ethanolic crude extract of *R. palmatum* L. inhibited both bacteria at more than 2 log CFU/mL in 12 h. Synergistic effects of mixture of crude extracts of *B. rotunda*, *R. nasutus* and *R. palmatum* were tested using checkerboard method. Crude extract of *B. rotunda* and *R. nasutus* synergized antibacterial activity with *R. palmatum* crude extract against *E. coli* O157H:7 and *S. typhimurium* ATCC13311 at fractional inhibitory concentration index (FICI) of 0.5. *E. coli* O157H:7 and *S. typhimurium* ATCC13311 were inhibited at more than 2 log CFU/mL in less than 6 h by mixture of crude extracts of *R. palmatum* and *B. rotunda* at concentrations of 0.09 and 0.19 mg/mL, respectively.

Keywords: *Rheum palmatum*, *Boesenbergia rotunda*, *Rhinacanthus nasutus*, Crude extract, Antibacterial activity

บทนำ

ปัจจุบันคนไทยเสี่ยงต่อการเกิดโรคอาหารเป็นพิษมากขึ้น อันเนื่องมาจากการรับประทานอาหารที่ปรุงไม่สุก อาหารทะเล รวมทั้งอาหารค้างคืน ซึ่งอาจมีการเจริญเติบโตของเชื้อที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคท้องร่วงได้ เช่น *Salmonella* spp., *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* เป็นต้น การรายงานการเฝ้าระวังโรคของกองระบาดวิทยา พบว่าในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2560-พ.ศ. 2564) มีรายงานการพบผู้ป่วยเป็นโรคอุจจาระร่วงมากที่สุดในช่วงเดือน มกราคมถึงกุมภาพันธ์ และเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน โดยในปี 2564 พบผู้ป่วยมากถึง 503,816 ราย สำหรับในปี 2565 มีรายงานผู้ป่วยโรคอุจจาระร่วงสะสม 33,365 ราย คิดเป็นอัตราป่วย 50.41 ต่อประชากรแสนคน ซึ่งผู้ป่วยส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มอายุ 25-34 ปี ถึงร้อยละ 14.15 (Department of disease control, 2022) อาการที่พบได้บ่อยคือ อาการปวดท้อง ท้องเดิน คลื่นไส้ อาเจียน มีไข้เล็กน้อย ในบางรายที่รุนแรงอาจเกิดอาการช็อคหมดสติได้ การรักษาจะใช้วิธีการรักษาแบบพุงอาการ อาจมีการให้สารน้ำ และอาหารอ่อน ในส่วนของการใช้ยาปฏิชีวนะยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่และมักจะให้หลีกเลี่ยงการใช้ เนื่องจากยาปฏิชีวนะไม่ส่งผลต่อการลดอาการของโรค (Institute of public health sciences, 2014)

เชื้อที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรค ได้แก่ *Escherichia coli* เป็นแบคทีเรียแกรมลบ (gram negative bacteria) มีรูปร่างเป็นแท่ง ถูกจัดอยู่ในวงศ์ Enterobacteriaceae เจริญได้ดีทั้งในสภาวะมีอากาศ และไม่มีอากาศ เป็นแบคทีเรีย

ที่จัดอยู่ในกลุ่มโคลิฟอร์ม (coliform) ประเภท fecal coliform ซึ่งเป็นเชื้อประจำถิ่น (normal flora) ที่พบได้ในลำไส้ของคน และสัตว์เลือดอุ่น (Saeedi et al., 2017) เชื้อ *E. coli* บางสายพันธุ์เป็นสาเหตุก่อให้เกิดอาการท้องร่วงได้ หากรับประทานอาหาร น้ำ หรือเครื่องดื่มที่มีการปนเปื้อนเชื้อชนิดนี้ (Berthe et al., 2013) กลไกการก่อโรคของเชื้อ *E. coli* แต่ละสายพันธุ์นั้นมีความแตกต่างกันไป เช่น เชื้อ Enterotoxigenic *E. coli* เป็นเชื้อที่สามารถผลิตสาร Enterotoxin ซึ่งก่อให้เกิดอาการท้องร่วงแบบเฉียบพลัน ถ่ายเหลวเป็นน้ำ เชื้อ Enterohaemorrhagic *E. coli* ที่สามารถผลิตสาร Shiga ซึ่งเป็นสารพิษที่ทำให้เกิดอาการท้องร่วงอย่างรุนแรง ถ่ายเป็นมูกเลือด ก่อให้เกิดกลุ่มอาการเม็ดเลือดแดงแตก อาจถึงขั้นไตวายเฉียบพลันได้ (Institute of public health sciences, 2014; Kaper et al., 2004)

Salmonella เป็นแบคทีเรียแกรมลบ (gram negative bacteria) มีรูปร่างเป็นแท่ง ถูกจัดอยู่ในวงศ์ Enterobacteriaceae เจริญได้ทั้งในสภาวะมีอากาศ และไม่มีอากาศ ไม่สร้างแคปซูล เคลื่อนที่ด้วยแฟลกเจลล่า (flagella) ที่ยาว โดยมีอยู่รอบเซลล์ (peritrichous flagella) เป็นแบคทีเรียที่พบได้ลำไส้มนุษย์และสัตว์ อาหารที่พบว่าการปนเปื้อน คือ เครื่องใน เนื้อไก่ ไช้ และนมดิบ (Coburn et al., 2007) อาการของโรคจากการได้รับเชื้อ คือ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องร่วง เป็นไข้ สามารถพบหลังจากได้รับเชื้อมาแล้วประมาณ 8-72 ชั่วโมง (Orndorff et al., 1999) นอกจากนี้ *Salmonella* บางสายพันธุ์สามารถทำให้เกิดโรคไข้ไทฟอยด์ได้ อาทิ *S. enterica*, *S. Paratyphi* A, B และ C (Gänzle, 2015) สำหรับการรักษายังไม่มีแนวทางที่ใช้ในการปฏิบัติ เนื่องจากแพทย์ไม่สามารถแยกอาการท้องร่วงที่มีสาเหตุมาจากการติดเชื้อ *Salmonella* หรือมีสาเหตุมาจากเชื้อชนิดอื่นได้ จนกว่าจะทราบข้อมูลการเพาะเชื้อ แต่แพทย์มักทำการวินิจฉัยโดยภาพรวมว่าเป็นโรคท้องร่วงจากการติดเชื้อ จึงทำการรักษาโดยใช้ยาปฏิชีวนะ เช่น norfloxacin หรือ co-trimoxazole เป็นต้น (Coburn et al., 2007)

จากผลการรายงานจำนวนผู้ป่วยปัจจุบันพิษสุนัขไพรจึงได้รับความนิยมในการนำมารักษาโรคมามากขึ้น เนื่องจากมีการตระหนักถึงปัญหาการดื้อยาหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้ยาปัจจุบัน ดังนั้นจึงมีการนำสมุนไพรไทยมาใช้ในการต้านจุลชีพ โดยตามหลักการแพทย์แผนไทย ยาที่ใช้รักษาอาการท้องร่วงท้องเสียจะมีรสฝาด ซึ่งรสฝาดที่เกิดขึ้นมีสารที่สำคัญคือแทนนิน ซึ่งเป็นกรดอ่อนๆ และมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ (Jarriyawattanachai et al., 2016) นอกจากนี้มีรายงานว่าพิษสุนัขไพรไทยจำนวนหลายชนิดที่สามารถใช้รักษาโรคในระบบทางเดินอาหาร และมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ อาทิ พริกไทย สมอไทย กระชายดำ และขมิ้น (Jarriyawattanachai et al., 2016; Packiavathy et al., 2014; Saeloh & Visutthi, 2021) เป็นต้น Khan et al. (2022) ได้รายงานการศึกษาสารสกัดหยาบสมอไทยที่ใช้เอทานอลในการสกัด พบว่ามีความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *E. coli*, *Staphylococcus* sp. และ *Bacillus* sp. ได้ที่ความเข้มข้น 10, 2.5 และ 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ Karimi et al. (2018) ทำการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. aureus*, *E. coli*, *Acinetobacter junii* และ *Candida albicans* ด้วยสารสกัดหยาบขมิ้นที่ใช้เอทานอลในการสกัด พบว่าการใช้สารสกัดหยาบขมิ้นที่ความเข้มข้น 20, 5, 20 และ 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถยับยั้งเชื้อดังกล่าวได้ตามลำดับ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาฤทธิ์ของพิษสุนัขไพรไทยจำนวน 12 ชนิด (โดยคัดเลือกพิษสุนัขไพรจากการที่มีสรรพคุณในการใช้รักษาโรคในระบบทางเดินอาหาร) ในการยับยั้งเชื้อ *E. coli* จำนวน 5 สายพันธุ์ และ *S. typhimurium* ซึ่งเป็นเชื้อก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร และทดสอบการเสริมฤทธิ์กันของพิษสุนัขไพรต่อการยับยั้งเชื้อเป้าหมาย รวมทั้งศึกษาระยะเวลาในการยับยั้งเชื้อ เพื่อประเมินศักยภาพในการนำสารสกัดหยาบพิษสุนัขไพรไปใช้ประโยชน์ต่อไป

วิธีการ

1. การสกัดสารสกัดหยาบจากพืชสมุนไพร

ขิงสมุนไพรแห้งสับละเอียดจำนวน 12 ชนิด (ตารางที่ 1) ชนิดละ 20 กรัม แช่ตัวทำละลายสองชนิด ได้แก่ น้ำและเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1 ต่อ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) นาน 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ดัดแปลงวิธีการจาก (Zhang et al., 2018) หลังจากนั้นนำมารองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 (Whatman No.1, GE Healthcare, USA) แล้วนำสารสกัดที่ได้ไประเหยตัวทำละลายให้เข้มข้นด้วยเครื่องกลั่นระเหยสุญญากาศ (rotary evaporator; Buchi R-114, Switzerland) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนได้สารสกัดหยาบที่มีลักษณะข้นเหนียว แล้วละลายด้วยสาร dimethyl sulfoxide (DMSO) ให้ได้ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำให้ปราศจากเชื้อโดยกรองด้วย syringe filters ขนาด 0.2 ไมครอนเมตร (Advantec, Japan) เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย *E. coli* จำนวน 5 สายพันธุ์ และ *S. Typhimurium*

ตารางที่ 1 พืชสมุนไพรไทยที่ใช้ในการศึกษาการยับยั้งเชื้อ *E. coli* และ *S. typhimurium*

ชื่อสมุนไพร	ชื่อวิทยาศาสตร์	ส่วนที่ใช้
กระชาย	<i>Boesenbergia rotunda</i> (L.) Mansf.	เหง้า
ขมิ้น	<i>Curcuma longa</i> L.	เหง้า
เปล้าน้อย	<i>Croton fluvialis</i> Esser.	ลำต้น
น้ำนมราชสีห์	<i>Euphorbia hirta</i> L.	ทั้งต้น
กะเม็ง	<i>Eclipta prostrata</i> L.	ลำต้นและใบ
ปอกะบิด	<i>Helicteres isora</i> L.	ผล
เปราะหอม	<i>Kaempferia galanga</i> L.	เหง้า
ลูกใต้ใบ	<i>Phyllanthus niruri</i> L.	ทั้งต้น
พริกไทย	<i>Piper nigrum</i> L.	ผล
สมอไทย	<i>Terminalia chebula</i> Retz.	ผล
โกฐน้ำเต้า	<i>Rheum palmatum</i> L.	ราก
ทองพันชั่ง	<i>Rhinacanthus nasutus</i> L.	ลำต้นและใบ

2. การทดสอบการยับยั้งเชื้อ *E. coli* และ *S. Typhimurium*

2.1 การเตรียมแบคทีเรียทดสอบ

เพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* จำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ *E. coli* ATCC 25922, *E. coli* F18, *E. coli* O157:H7, *E. coli* ATCC35401, *E. coli* JCM1903T และ *S. typhimurium* จำนวน 1 สายพันธุ์ คือ *S. typhimurium* ATCC13311 บนอาหารแข็ง Tryptic soy agar (TSA; Difco, USA) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายโคโลนีเดียวลงในอาหารเหลว Tryptic soy broth (TSB) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

2.2 การวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดหยาบสมุนไพรที่ออกฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย (minimum inhibition concentration; MIC)

วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดหยาบสมุนไพรที่ออกฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียโดยทดสอบด้วยวิธี Spot-on-lawn ซึ่งดัดแปลงวิธีจาก (Ennahar et al., 2001) เทาอาหาร TSA ที่ผสมวุ้นความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ ลงในจานเพาะเชื้อแล้วทิ้งไว้ให้แห้งตัว จากนั้นดูดเชื้อแบคทีเรียทดสอบ 30 ไมโครลิตร ลงในอาหาร TSA ที่ผสมวุ้น 1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5 มิลลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วเททับบนอาหารเดิมที่เตรียมไว้ นำสารสกัดหยาบสมุนไพรแต่ละชนิดเจือจางให้ความเข้มข้นลดลงครึ่งละ 2 เท่า (2-fold serial dilution) หลังจากนั้นดูดสารสกัดหยาบที่เจือจาง ปริมาตร 10 ไมโครลิตร หยดลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทดสอบ สารสกัดหยาบสมุนไพรที่สามารถยับยั้งเชื้อได้ดีที่สุดถูกเลือก ไปศึกษาเวลาในการยับยั้งแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. typhimurium* และทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียดังกล่าวด้วยสารสกัดหยาบสมุนไพรผสมต่อไป

3. การศึกษาเวลาในการยับยั้งแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. typhimurium* ของสารสกัดหยาบสมุนไพรที่สามารถยับยั้งเชื้อได้ดี (โกลูน่าเต้า)

เลี้ยงเชื้อ *E. coli* จำนวน 5 สายพันธุ์ และ *S. typhimurium* ในอาหาร TSB ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 18 ชั่วโมง โดยทดสอบเชื้อแบคทีเรียความเข้มข้น 1.0×10^4 CFU ต่อมิลลิกรัม เติมน้ำตาลทราย (โกลูน่าเต้า) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ MIC (จากการทดลองที่ 2) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นวิเคราะห์ปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่ยังมีชีวิต (viable count) ด้วยวิธี Drop plate บนอาหาร TSA ทุก 2 ชั่วโมง ซึ่งดัดแปลงวิธีการจาก Mun et al. (2013)

4. การทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. typhimurium* ด้วยสารสกัดหยาบสมุนไพรผสม

ทดสอบการเสริมฤทธิ์ของสารสกัดหยาบสมุนไพรผสม ได้แก่ สารสกัดหยาบโกลูน่าเต้าร่วมกับสารสกัดหยาบกระชาย และสารสกัดหยาบโกลูน่าเต้าร่วมกับสารสกัดหยาบทองพันชั่ง ด้วยวิธี Checkerboard antimicrobial synergy testing วิธีการดัดแปลงจาก Ahmad et al. (2019) เตรียมสารสกัดหยาบสมุนไพรผสมโดยนำสารสกัดหยาบโกลูน่าเต้า เริ่มความเข้มข้น 0.78 มิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม (2MIC) เจือจางความเข้มข้นลดลงครึ่งละ 2 เท่า ตามแกน X (ตามแนวนอนใน 96-well microplate) ส่วนสารสกัดหยาบกระชายและสารสกัดหยาบทองพันชั่ง เริ่มความเข้มข้นเท่ากับ 0.78 และ 1.56 มิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม เจือจางความเข้มข้นลดลงครึ่งละ 2 เท่า ตามแกน Y (ตามแนวตั้งใน 96-well microplate) (Falcon, USA) หลังจากนั้นดูดตัวอย่างในหลุมปริมาตร 5 ไมโครลิตร นำมาทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *E. coli* O157H:7 และ *S. typhimurium* ATCC13311 ด้วยวิธี Spot-on-lawn นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดหยาบชนิดเดียว และสารสกัดหยาบผสมที่ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและคำนวณค่า fractional inhibitory concentration index (FICI) ตามสมการ

$$\Sigma FICI = FICI A + FICI B$$

FICI A = MIC ของสารผสม A/MIC ของสาร A เดี่ยว ๆ

FICI B = MIC ของสารผสม B/MIC ของสาร B เดี่ยว ๆ

หมายเหตุ : FICI ; fractional inhibitory concentration index และแปลผลดังนี้ $FICI \leq 0.5$ เสริมฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย (Synergy); $0.5 < FICI \leq 4$ ไม่เสริมฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย (No interaction) และ $FICI > 4$ ต้านฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย (Antagonism)

5. การศึกษาเวลาในการยับยั้งแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. typhimurium* ด้วยสารสกัดหยาบสมุนไพรผสม

จากการทดสอบที่ 4 จึงนำสารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้าร่วมกับสารสกัดหยาบกระชายที่ความเข้มข้น 0.09 และ 0.19 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และสารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้าร่วมกับสารสกัดหยาบทองพันชั่งที่ความเข้มข้น 0.09 และ 0.39 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ มาผสมกับสารละลายแขวนลอยเชื้อแบคทีเรียเพื่อทดสอบการยับยั้งเชื้อ *E. coli* O157H:7 และ *S. typhimurium* ATCC13311 ความเข้มข้น 1.0×10^4 CFU ต่อมิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างทุก 2 ชั่วโมง เพื่อบันทึกข้อมูลปริมาณเชื้อที่มีชีวิตด้วยวิธี Drop plate บนอาหาร TSA (Mun et al., 2013)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. typhimurium* ด้วยสารสกัดหยาบสมุนไพรไทย 12 ชนิด

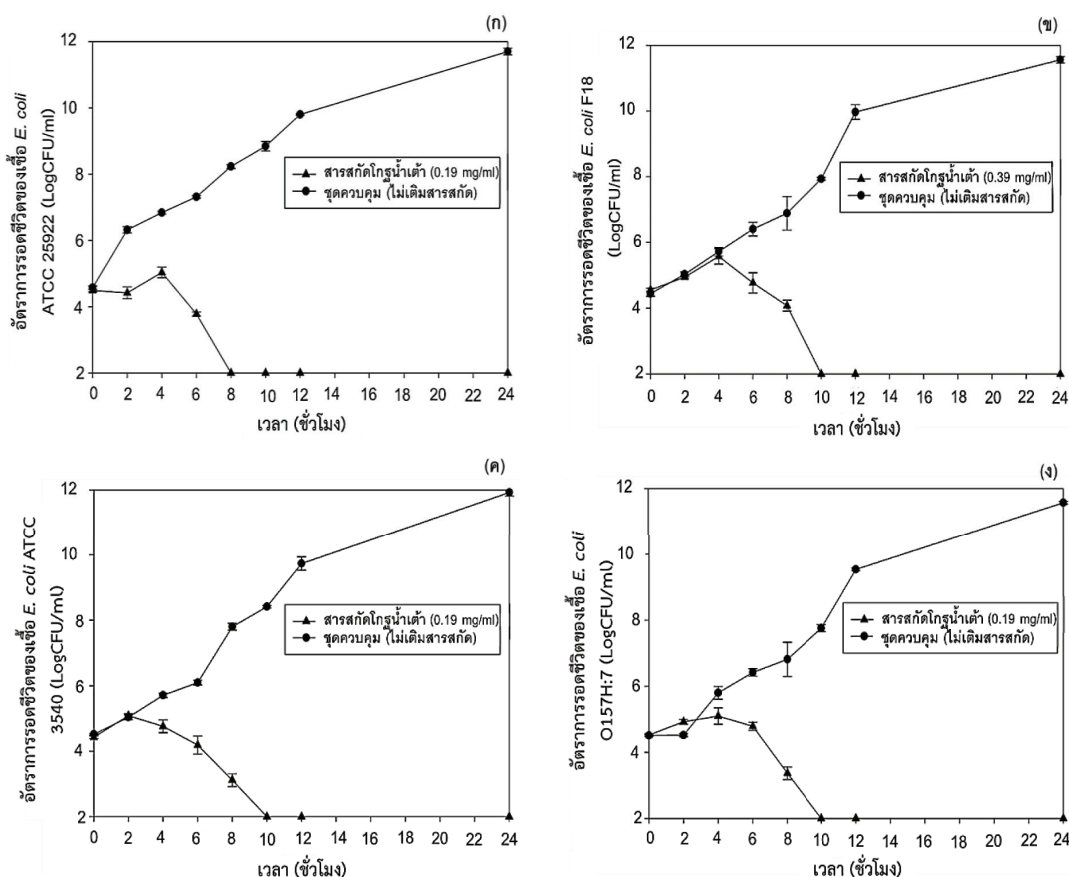
จากการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. typhimurium* ด้วยสารสกัดหยาบสมุนไพรโดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลและน้ำ พบว่าสารสกัดหยาบที่สกัดด้วยเอทานอลยับยั้งเชื้อ *E. coli* และ *S. typhimurium* ได้ดีกว่าน้ำ โดยสารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้าที่สกัดด้วยเอทานอลยับยั้งเชื้อทดสอบดีที่สุด โดยมีค่า MIC ในช่วงความเข้มข้น 0.19-0.78 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 2) ส่วนสารสกัดหยาบที่สกัดด้วยน้ำพบว่า สารสกัดหยาบน้ำนมราชสีห์แสดงฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดหยาบสมุนไพรชนิดอื่นๆ ที่ใช้น้ำเป็นตัวสกัด เช่นเดียวกัน โดยมีค่า MIC ในช่วงความเข้มข้น 1.56-6.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สอดคล้องกับการรายงานของ Sen & Batra (2012) ที่พบว่าสารสกัดต้นเลี่ยน (*Melia azedarach* L.) ที่ใช้เอทานอลเป็นตัวสกัดให้ฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *Bacillus cereus* MTCC4317, *Staphylococcus aureus* MTCC3160, *E. coli* MTCC1652, *Pseudomonas aeruginosa* MTCC4676, *Aspergillus niger* MTCC282, *A. flavus* MTCC2456, *Fusarium oxysporum* MTCC6659 และ *Rhizopus stolonifer* MTCC2591 ได้ดีกว่าการสกัดโดยใช้น้ำ เนื่องจากตัวสกัดเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วน้อยกว่าน้ำสามารถทำลายผนังเซลล์ของพืช และละลายสารโพลีฟีนอลออกจากเซลล์พืชได้ง่ายขึ้น (Adnan et al., 2014) โดยสารโพลีฟีนอลพบได้ในพืช มีคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดี อีกทั้งละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ (Cowan, 1999) นอกจากนี้รายงานของ Zhang et al. (2017) ยังพบสารสำคัญในโกฐน้ำเต้าหลายชนิด เช่น anthraquinones, gallic acid, flavonoids, polyphenols, anthocyanins, organic acids และ chromones โดยสารในกลุ่มของ Anthraquinones มีด้วยกันหลายชนิด เช่น emodin, physcion, rhein, aloe-emodin และ chrysophanol Dai et al. (2021) พบว่าสาร rhein ที่พบได้ในโกฐน้ำเต้าสามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ATCC25923, *S. aureus* MRSA ATCC43300, *Listeria monocytogenes* CICC21529, *P. aeruginosa* CICC216252 และ *Enterococcus faecalis* BNCC102668 ได้ ในขณะที่ Stompor-Gorący. (2021) ได้รายงานว่าสาร emodin และ chrysophanol ในโกฐน้ำเต้า ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ATCC25903, *Klebsiella pneumoniae* NCTC13368, *E. coli* ATCC 25722, *P. aeruginosa* DSMZ 1117 และ *C. albicans* ได้

ตารางที่ 2 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดหยาบพืชสมุนไพรไทย 12 ชนิด ที่ยับยั้งแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. typhimurium*

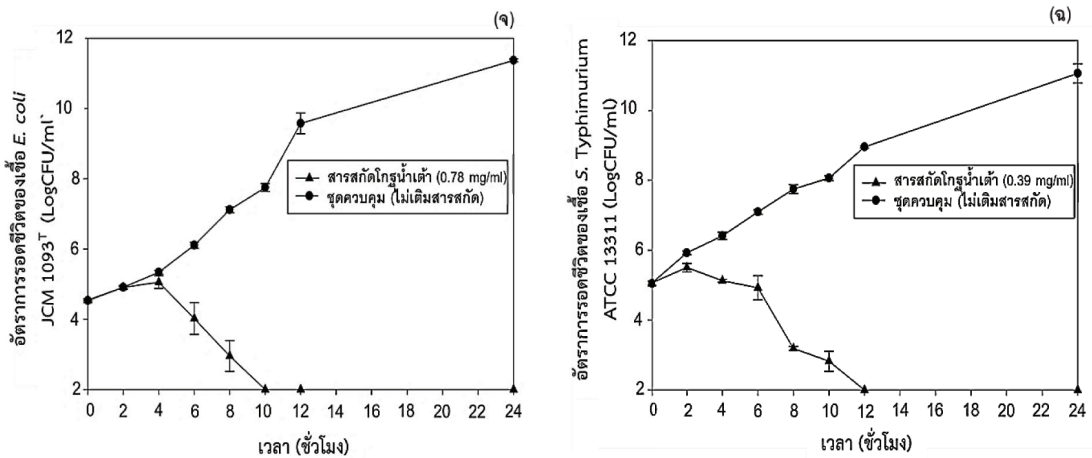
พืชสมุนไพร	สารที่ใช้ ในการสกัด	ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดหยาบที่ออกฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)					
		<i>E. coli</i>	<i>E. coli</i>	<i>E. coli</i>	<i>E. coli</i>	<i>E. coli</i>	<i>S.</i>
		ATCC 25922	F18	O157:H7	ATCC 35401	JCM 1093 ^T	<i>typhimurium</i> ATCC13311
กระชาย	เอทานอล	0.78	0.78	0.39	0.19	0.39	0.78
	น้ำ	12.5	3.12	12.5	12.5	25	12.5
ขมิ้น	เอทานอล	0.39	1.56	0.78	0.39	0.39	1.95
	น้ำ	3.12	25	12.5	6.25	6.25	12.5
เปล้าน้อย	เอทานอล	0.78	0.39	1.56	0.78	0.39	1.56
	น้ำ	6.25	6.25	12.5	12.5	12.5	6.25
น้านมราชสีห์	เอทานอล	0.39	0.39	0.78	0.39	0.78	0.78
	น้ำ	3.12	1.56	3.12	6.25	6.25	3.12
กะเม็ง	เอทานอล	1.56	0.78	0.78	0.39	0.39	1.56
	น้ำ	3.12	12.5	12.5	6.25	12.5	12.5
ปอกะบิด	เอทานอล	1.56	0.78	0.78	0.78	0.39	0.78
	น้ำ	6.25	3.12	6.25	6.25	12.5	6.25
เปราะหอม	เอทานอล	0.78	0.39	0.78	0.39	0.78	1.56
	น้ำ	12.5	3.12	6.25	6.25	12.5	12.5
ลูกใต้ใบ	เอทานอล	0.78	0.78	0.39	0.39	0.39	0.39
	น้ำ	3.12	6.25	3.12	12.5	12.5	6.25
พริกไทย	เอทานอล	0.39	0.78	0.39	0.78	0.39	1.56
	น้ำ	6.25	6.25	12.5	12.5	6.25	12.5
สมอไทย	เอทานอล	0.78	0.78	0.39	0.39	0.78	0.78
	น้ำ	3.12	6.25	12.5	3.12	6.25	12.5
โถงน้ำเต้า	เอทานอล	0.19	0.39	0.19	0.19	0.78	0.39
	น้ำ	6.25	6.25	12.5	3.12	6.25	12.5
ทองพันชั่ง	เอทานอล	0.39	0.78	0.19	0.78	1.56	0.78
	น้ำ	6.25	12.5	12.5	12.5	25	25

2. การศึกษาเวลาในการยับยั้งแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. typhimurium* ด้วยสารสกัดหยาบโกลูโนไซด์

การทดสอบความเร็วในการฆ่าเชื้อ *E. coli* ATCC25922, *E. coli* F18, *E. coli* O157:H7, *E. coli* ATCC3540, *E. coli* JCM1093^T และ *S. typhimurium* ATCC13311 ด้วยสารสกัดหยาบโกลูโนไซด์ที่ความเข้มข้น 0.19, 0.39, 0.19, 0.19, 0.78 และ 0.39 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ระดับ MIC ต่อเชื้อแต่ละสายพันธุ์ตามลำดับ นาน 24 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าสารสกัดหยาบโกลูโนไซด์สามารถฆ่าเชื้อ *E. coli* ทั้ง 5 สายพันธุ์และ *S. typhimurium* เป็นไปในแนวทางเดียวกัน (ภาพที่ 1) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง *E. coli* ATCC25922 พบว่าในเวลาเพียง 8 ชั่วโมง เชื้อมีอัตราการรอดชีวิตลดลงได้มากกว่า 2 log CFU ต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 1ก) และใช้เวลา 12 ชั่วโมง ในการฆ่าเชื้อ *S. typhimurium* ATCC13311 ให้ลดปริมาณลง 2 log CFU ต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 1ฉ) จากการทดลองของ Techaoei (2022) ได้ศึกษาเวลาในการฆ่าเชื้อของสารสกัดฝางที่ความเข้มข้น 2.50, 5.00 และ 7.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าการใช้สารสกัดความเข้มข้น 7.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถฆ่าเชื้อ *Aeromonashydrophila* และ *Streptomyces* sp. ได้ดีที่สุดที่ระยะเวลา 9 ชั่วโมง ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของสารสกัดสมุนไพรมีผลต่อความเร็วในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย



ภาพที่ 1 ระยะเวลาในการยับยั้งเชื้อ (ก) *E. coli* ATCC25922 (ข) *E. coli* F18
(ค) *E. coli* O157:H7 (ง) *E. coli* ATCC3540 (จ) *E. coli* JCM1093^T (ฉ) *S. typhimurium* ATCC13311
ของสารสกัดหยาบโกลูโนไซด์ที่สกัดด้วยเอทานอล



ภาพที่ 1 (ต่อ)

3. การทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. typhimurium* ด้วยสารสกัดหยาบสมุนไพรผสม

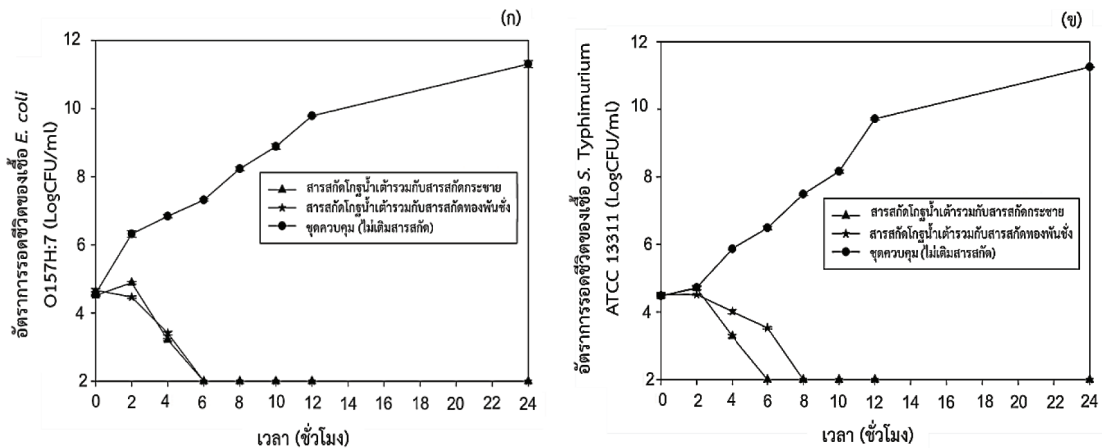
การศึกษาการเสริมฤทธิ์กันของสารสกัดหยาบโกลมน้ำเต้า สารสกัดหยาบกระชาย และ สารสกัดหยาบทองพันชั่ง (ซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อได้ดี และเชื่อมีความสำคัญในทางการแพทย์ ซึ่งเป็นสารสกัดหยาบที่ใช้เอทานอลเป็นตัวสกัด) พบว่าสารสกัดหยาบกระชาย และสารสกัดหยาบทองพันชั่งสามารถเสริมฤทธิ์กันกับสารสกัดหยาบโกลมน้ำเต้าในการยับยั้งเชื้อ *E. coli* O157H:7 และ *S. typhimurium* ATCC13311 ได้ โดยมีค่า FICI เท่ากับ 0.5 แสดงดังตารางที่ 3 โดยการใช้สารสกัดหยาบโกลมน้ำเต้าความเข้มข้น 0.09 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ร่วมกับการใช้สารสกัดหยาบกระชายความเข้มข้น 0.19 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* O157H:7 และ *S. typhimurium* ATCC13311 ได้ดีกว่าการใช้สารสกัดหยาบโกลมน้ำเต้าความเข้มข้น 0.09 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ร่วมกับสารสกัดหยาบทองพันชั่งความเข้มข้น 0.39 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เนื่องจากใช้ความเข้มข้นที่น้อยกว่า จากการทดลองของ Gadisa et al. (2019) รายงานว่า สารสกัดสมุนไพรต่างชนิดที่นำมาผสมกันระหว่าง *Thymus schimper* กับ *Blepharis cuspidata*, *B. cuspidata* กับ *Boswellia ogadensis* และ *B. ogadensis* กับ *T. schimper* ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 นั้นสามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ATCC25922 ได้ที่ความเข้มข้น 1.56, 6.25 และ 6.25 ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ในขณะที่การใช้สารสกัดเพียงชนิดเดียว ได้แก่ *T. schimper*, *B. cuspidata* และ *B. ogadensis* สามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ATCC25922 ได้ที่ความเข้มข้น 6.50, 12.5 และ 6.25 ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการเสริมฤทธิ์ของสารสกัดหยาบสมุนไพร

สารสกัดหยาบที่ใช้ทดสอบ	ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดหยาบ ที่ออกฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)		FICI	Σ FICI	ผลที่ได้
	สารสกัดหยาบ ชนิดเดี่ยว	สารสกัดหยาบ ผสม			
สารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้า/ สารสกัดกระชาย	0.39/0.78	0.09/0.19	0.23/0.24	0.5	เสริมฤทธิ์ การยับยั้ง
สารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้า/ สารสกัดทองพันชั่ง	0.39/1.56	0.09/0.39	0.23/0.24	0.5	เสริมฤทธิ์ การยับยั้ง

4. ความเร็วในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของส่วนผสมสมุนไพร

การทดสอบความเร็วในการฆ่าเชื้อ *E. coli* O157H:7 และ *S. typhimurium* ATCC 13311 ของส่วนผสมสารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้ากับสารสกัดหยาบกระชาย และสารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้ากับสารสกัดหยาบทองพันชั่ง พบว่าส่วนผสมของสารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้าความเข้มข้น 0.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กับสารสกัดหยาบกระชายความเข้มข้น 0.19 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถฆ่าเชื้อ *E. coli* O157H:7 และ *S. typhimurium* ATCC13311 ได้มากกว่า 2 log CFU ต่อมิลลิลิตร (ร้อยละ 99) ภายในเวลา 6 ชั่วโมง ในขณะที่ส่วนผสมของสารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้าความเข้มข้น 0.09 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กับสารสกัดหยาบทองพันชั่งที่ความเข้มข้น 0.39 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถฆ่าเชื้อ *E. coli* O157H:7 และ *S. typhimurium* ATCC13311 ได้มากกว่า 2 log CFU ต่อมิลลิลิตร ในระยะเวลา 6 และ 8 ชั่วโมงตามลำดับ (ภาพที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Ye et al. (2013) ที่พบว่าสาร carvacrol ที่ได้จากการสกัดออริกานที่ความเข้มข้น 0.16 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อใช้ร่วมกับ สาร cinnamaldehyde ที่ได้จากการสกัดอบเชยที่ความเข้มข้น 0.16 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* และ *S. aureus* ได้ โดยตรวจสอบผลจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเชื้อเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 0.5 ซึ่งหลังจากทดสอบความเร็วในการฆ่าเชื้อของสารสกัดหยาบดังกล่าว พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงลดลงต่ำกว่า 0.1 ภายในระยะเวลา 12 ชั่วโมง



ภาพที่ 2 ระยะเวลาในการยับยั้งแบคทีเรีย (ก) *E. coli* ATCC25922 และ (ข) *S. typhimurium* ATCC13311 ด้วยสารสกัดหยาบสมุนไพรผสม 1) สารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้ากับสารสกัดหยาบกระชาย และ 2) สารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้ากับสารสกัดหยาบทองพันชั่ง

สรุป

สารสกัดหยาบพืชสมุนไพรทั้ง 12 ชนิด ที่สกัดด้วยเอทานอลมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *E. coli* จำนวน 5 สายพันธุ์ และเชื้อ *S. typhimurium* ได้ดีกว่าการใช้เป็นตัวยับยั้ง จากการทดลองพบว่าสารสกัดหยาบจากโกฐน้ำเต้ามีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทดสอบได้ดีที่สุด การใช้สารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้า สามารถลดปริมาณเชื้อ *E. coli* ATCC25922 ได้จนอยู่ในระดับต่ำกว่าที่จะสามารถตรวจวัดได้ ภายในเวลา 8 ชั่วโมง นอกจากนี้พบว่าสารสกัดโกฐน้ำเต้ายังสามารถใช้ร่วมกับสารสกัดหยาบกระชาย และสารสกัดหยาบทองพันชั่ง เพื่อเสริมฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย *E. coli* O157H:7 และ *S. typhimurium* ATCC13311 ได้ ทั้งนี้การใช้สารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้าร่วมกับกระชายสามารถยับยั้งเชื้อได้ดีกว่าการใช้สารสกัดหยาบโกฐน้ำเต้าร่วมกับทองพันชั่ง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนโดยวิทยาลัยนวัตกรรมการเกษตร และเทคโนโลยีอาหารมหาวิทยาลัยรังสิต และขอขอบคุณกลุ่มวิจัยส่วนผสมฟังกซ์และนวัตกรรมอาหาร ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำหรับการช่วยเหลือในด้านเครื่องมือ และการให้คำปรึกษาในการทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Adnan, M., Bibi, R., Mussarat, S., Tariq, A., & Shinwari, Z. K. (2014). Ethnomedicinal and phytochemical review of Pakistan medicinal plants used as antibacterial agents against *Escherichia coli*. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*, 13(1), 1-18.
- Ahmad, M. I., Keach, J. E., Behl, T., & Panichayupakaranant, P. (2019). Synergistic effect of α -mangostin on antibacterial activity of tetracycline, erythromycin, and clindamycin against acne involved bacteria. *Chinese Herbal Medicines*, 11(4), 412-416.

- Berthe, T., Ratajczak, M., Clermont, O., Denamur, E., & Petit, F. (2013). Evidence for coexistence of distinct *Escherichia coli* populations in various aquatic environments and their survival in estuary water. **Applied and Environmental Microbiology**, 79(15), 4684-4693.
- Coburn, B., Grassl, G. A., & Finlay, B. B. (2007). *Salmonella*, the host and disease: a brief review. **Immunology and Cell Biology**, 85(2), 112-118.
- Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. **Clinical Microbiology Reviews**, 12(4), 564-582.
- Dai, L. X., Li, J. C., Miao, X. L., Guo, X., Shang, X. F., Wang, W. W., & Zhang, J. Y. (2021). Ultrasound-assisted extraction of five anthraquinones from *Rheum palmatum* water extract residues and the antimicrobial activities. **Industrial Crops and Products**, 162, 1-12.
- Department of disease control. (2022). **Prevention of diseases and health hazards occurring in the summer of Thailand, 2022**. Announcement of the department of disease control.
- Ennahar, S., Asou, Y., Zendo, T., Sonomoto, K., & Ishizaki, A. (2001). Biochemical and genetic evidence for production of enterocins A and B by *Enterococcus faecium* WHE 81. **International Journal of Food Microbiology**, 70(3), 291-301.
- Gadisa, E., Weldearegay, G., Desta, K., Tsegaye, G., Hailu, S., Jote, K., & Takele, A. (2019). Combined antibacterial effect of essential oils from three most commonly used Ethiopian traditional medicinal plants on multidrug resistant bacteria. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, 19(1), 1-9.
- Gänzle, M. G. (2015). Lactic metabolism revisited metabolism of lactic acid bacteria in food fermentations and food spoilage. **Current Opinion in Food Science**, 2, 106-117.
- Institute of public health sciences. (2014). *Escherichia coli*. Retrieved from http://nih.dmsc.moph.go.th/data/data/fact_sheet/12_57.pdf [April 2022]
- Jarriyawattanachai, W., Chaveerach, P., & Chokesajjawatee, N. (2016). Antimicrobial activity of Thai-herbal plants against food-borne pathogens *E. coli*, *S. aureus* and *C. jejuni*. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, 11, 20-24.
- Kaper, J. B., Nataro, J. P., & Mobley, H. L. T. (2004). Pathogenic *Escherichia coli*. **Nature Reviews Microbiology**, 2(2), 123-140.
- Karimi, N., Ghanbarzadeh, B., Hamishehkar, H., Mehramuz, B., & Kafil, H. S. (2018). Antioxidant, antimicrobial and physicochemical properties of turmeric extract-loaded nanostructured lipid carrier (NLC). **Colloid and Interface Science Communications**, 22, 18-24.
- Khan, I., Ullah, Z., Shad, A. A., Fahim, M., & Öztürk, M. (2022). *In vitro* antioxidant, anticholinesterase inhibitory, and antimicrobial activity studies of *Terminalia chebula* (Retz) and *Terminalia arjuna* (Roxb). **South African Journal of Botany**, 146, 395-400.

- Mun, S. H., Joung, D. K., Kim, Y. S., Kang, O. H., Kim, S. B., Seo, Y. S., & Kwon, D. Y. (2013). Synergistic antibacterial effect of curcumin against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. **Phytomedicine**, 20(8), 714-718.
- Orndorff, P. E., Tsois Renée, M., Adams, L. G., Ficht Thomas, A., & Bäumlér Andreas, J. (1999). Contribution of *Salmonella* Typhimurium virulence factors to diarrheal disease in calves. **Infection and Immunity**, 67(9), 4879-4885.
- Packiavathy, I. A. S. V., Priya, S., Pandian, S. K., & Ravi, A. V. (2014). Inhibition of biofilm development of uropathogens by curcumin an anti-quorum sensing agent from *Curcuma longa*. **Food Chemistry**, 148, 453-460.
- Saeedi, P., Yazdanparast, M., Behzadi, E., Salmanian, A. H., Mousavi, S. L., Nazarian, S., & Amani, J. (2017). A review on strategies for decreasing *E. coli* O157:H7 risk in animals **Microbial Pathogenesis**, 103, 186-195.
- Saeloh, D., & Visutthi, M. (2021). Efficacy of Thai plant extracts for antibacterial and anti-Biofilm activities against pathogenic bacteria. **Antibiotics**, 10(12), 1-9.
- Sen A, & Batra A. (2012). Evaluation of antimicrobial activity of different solvent extracts of medicinal plant: *Melia azedarach* L. **International Journal of Current Pharmaceutical Research**. 4(2), 67-73.
- Stompor-Gorący, M. (2021). The health benefits of emodin, a natural anthraquinone derived from rhubarb a summary update. **International Journal of Molecular Sciences**, 22(17), 1-16.
- Techaoei, S. (2022). Time-kill kinetics and antimicrobial activities of Thai medical plant extracts against fish pathogenic bacteria. **Journal of Advanced Pharmaceutical Technology and Research**, 13(1), 25-29.
- Ye, H., Shen, S., Xu, J., Lin, S., Yuan, Y., & Jones, G. S. (2013). Synergistic interactions of cinnamaldehyde in combination with carvacrol against food-borne bacteria. **Food Control**, 34(2), 619-623.
- Zhang, Q. Y., Wang, F. X., Jia, K. K., & Kong, L. D. (2018). Natural product interventions for chemotherapy and radiotherapy-induced side effects. **Frontiers in Pharmacology**, 9, 1-25.
- Zhang, Y., Zhou, L., Ma, W., Shi, X., Zhang, H., & Shi, X. (2017). Bidirectional solid fermentation using *Trametes robiniophila* Murr. for enhancing efficacy and reducing toxicity of rhubarb (*Rheum palmatum* L.). **Journal of Traditional Chinese Medical Sciences**, 4(3), 306-313.

การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากถั่ว ด้วยเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากผลิตภัณฑ์ถั่วเน่า

PRODUCTION OF BEAN PROTEIN HYDROLYSATE BY BACTERIA ISOLATED FROM FERMENTED SOYBEAN (THUA-NAO)

กิตติ เมืองตุ้ม*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

Kitti Mueangtoom*

Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit, Thailand 53000

*E-mail: kittoom@hotmail.com

Received: 12-06-2022

Revised: 21-10-2022

Accepted: 08-11-2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากถั่วชนิดต่าง ๆ โดยกระบวนการหมัก ด้วยเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้ถั่วเน่าแผ่นพื้นบ้านที่ผลิตที่จังหวัดแพร่ จากการศึกษาพบว่า สามารถแยกเชื้อแบคทีเรีย จากถั่วเน่าแผ่นได้ทั้งหมด 25 ไอโซเลต จากนั้นนำมาศึกษาคุณลักษณะทางด้านสรีรวิทยาและสัณฐานวิทยาเบื้องต้น พบว่า เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างแท่ง การเรียงเซลล์ต่อกันเป็นสายสั้น จำนวน 13 ไอโซเลต และเป็นแบคทีเรีย แกรมบวก รูปร่างกลม จำนวน 12 ไอโซเลต และเมื่อนำมาย่อยถั่วเหลืองพบว่า ไอโซเลต TN23 ค่าระดับการย่อยสลาย สูงสุดอยู่ที่ 20.70 ± 0.56 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อวิเคราะห์สายพันธุ์ด้วยเครื่อง MALDI-TOF MS พบว่าเป็น เชื้อ *Lactobacillus lactis* และเมื่อนำเชื้อ *Lactobacillus lactis* TN23 มาทำการหมักถั่วชนิดต่าง ๆ จำนวน 5 ชนิด คือ ถั่วเหลือง ถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วดำ และถั่วลิสง เพื่อหาปริมาณกรดอะมิโนที่เปลี่ยนแปลงหลังกระบวนการหมัก พบว่าถั่วดำ มีปริมาณกรดอะมิโนทุกชนิดเพิ่มสูงขึ้นหลังกระบวนการหมัก สรุปได้ว่าการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสต จากถั่วดำ ด้วยเชื้อ *L. lactis* TN23 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำให้ได้ผงโปรตีนไฮโดรไลเสตที่มี กรดอะมิโน จำเป็นสูงกว่าการรับประทานถั่วดำที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก

คำสำคัญ: โปรตีนไฮโดรไลเสต ถั่ว ถั่วเน่า กรดอะมิโน

ABSTRACT

This research was to study the production of bean protein hydrolysate by bacteria isolated from fermented soybean (Thua-nao). There were 25 isolates of bacteria from Thua-nao which were studied morphological and physiological characteristics. The result showed gram-positive rod 13 isolates with short - chain arrangement and gram-positive cocci 12 isolates. The degree of hydrolysis

showed the highest degree of degradation at 20.70 ± 0.56 percent by isolate TN23. Then, isolate TN23 was strain analyzed by MALDI-TOF MS, which showed a strain of isolate TN23 is *Lactobacillus lactis*. After the fermentation of 5 different types of beans which were soybeans, red beans, mung beans, black beans, and peanuts by *L. lactis* TN23, the amino acid profile was analyzed. It was found that the hydrolysates black beans protein was increased for all amino acids. It could be concluded that in the production of protein hydrolysate from fermented black beans by *L. lactis* TN23 for 72 hours at room temperature, the amount of essential amino acids is higher than in non-fermented black beans.

Keywords: Protein hydrolysate, Bean, Thua-nao, Amino acid

บทนำ

ในปัจจุบัน การบริโภคอาหารของผู้สูงวัยมุ่งเน้นในเรื่องของสุขภาพ และสามารถรองรับสภาวะการทำงาน และความเป็นอยู่ที่เร่งรีบ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงการบริโภคของอาหารในกลุ่มโปรตีน เช่น มีการเน้นคุณค่าอาหาร ในด้านการดูดซึมที่รวดเร็วและการกระตุ้นการทำงานของสมอง เพราะเป็นแหล่งของสารอาหารประเภทกรดอะมิโน ที่สำคัญต่อคนทุกช่วงวัย เป็นต้น คณะวิจัยหลายกลุ่มได้รายงานไว้ว่า ร่างกายสามารถดูดซึมอาหารกลุ่มโปรตีนที่ถูกละลายจนได้ส่วนประกอบกรดอะมิโนและเปปไทด์สายสั้น ได้รวดเร็วกว่าอาหารประเภทโปรตีนที่ยังไม่ถูกละลาย รวมถึงข้อดี ที่ได้จากการบริโภคอาหารกลุ่มโปรตีน ที่ผ่านการย่อยแล้ว (Thongsuk, 2019)

โปรตีนไฮโดรไลเสต เป็นโปรตีนผ่านกระบวนการย่อยจนได้สายของโพลีเปปไทด์ โอลิโกเปปไทด์ และกรดอะมิโนอิสระ (Lamsal et al., 2007) ซึ่งในปี ค.ศ. 1990 เริ่มมีการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตในทางการค้า โดยมีวัตถุดิบหลักที่ใช้ผลิต ได้แก่ ธัญพืชและถั่ว เคซีน แป้งปลา เจลาติน ยีสต์ หรือแหล่งโปรตีนอื่น ๆ เพื่อใช้เป็น สารเพิ่มกลิ่นรสในอาหาร (Julmanlik & Kongruang, 2019) โปรตีนไฮโดรไลเสตยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เช่น เป็นอาหารสัตว์ อาหารมนุษย์ และอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ โดยโปรตีนไฮโดรไลเสตส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลง โครงสร้าง สมบัติเชิงหน้าที่บางประการและคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนดั้งเดิม (Carthy et al., 2013) อีกทั้งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตยังมีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพ การควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ ภายในร่างกาย ซึ่งการออกฤทธิ์ขึ้นอยู่กับลำดับ ขนาด ความยาว และชนิดของกรดอะมิโน โดยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่สามารถก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพนั้น ต้องประกอบด้วยโอลิโกเปปไทด์ที่มีกรดอะมิโน อยู่ระหว่าง 2–20 พันธะ (Chalamaiah et al., 2018) โดยการศึกษาวิจัยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสต เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอาหารเชิงฟังก์ชันกันอย่างแพร่หลาย ทั้งชนิดของแหล่งโปรตีน วิธีการ สารเคมีหรือเอนไซม์ ในการย่อยสลาย และสารออกฤทธิ์ที่เป็นประโยชน์ในด้านต่าง ๆ รวมทั้งการนำไปเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์สุขภาพ อีกด้วย การย่อยสลายโปรตีนด้วยสารเคมี เป็นวิธีการที่มีต้นทุนต่ำ แต่มีข้อจำกัดมากในการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร และยังเป็นวิธีการที่ยากต่อการควบคุมการย่อยสลาย ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่คงที่ ในขณะที่วิธีการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตโดยใช้เอนไซม์จะมีความคงที่ของกรดอะมิโนมากกว่า และเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพที่จะให้ปริมาณ เปปไทด์สูงสุด เนื่องจากเอนไซม์มีความจำเพาะต่อสารตั้งต้น อีกทั้งยังเป็นสภาวะที่ไม่รุนแรง และสามารถควบคุมการย่อยสลายได้ ซึ่งทำได้โดยใช้เอนไซม์ในการย่อยสลายโปรตีนที่มีพันธะเปปไทด์ ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกลุ่ม โปรติเอส ที่มีแหล่งของเอนไซม์อยู่ใน พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ แต่ในการผลิตของกลุ่มผู้ประกอบการรายย่อย รวมถึงการผลิตในระดับชุมชน การใช้เอนไซม์ยังคงเป็นเทคโนโลยีที่สูง ซึ่งที่ผ่านมาเอนไซม์โปรติเอสจากจุลินทรีย์ จะพบได้ในกระบวนการ

หมักอาหารพื้นบ้าน เช่น ถั่วเน่า ซิอิ้ว น้ำปลา เป็นต้น ซึ่งถั่วเน่า เป็นอาหารหมักที่เกิดจากการหมักถั่วด้วยแบคทีเรีย นิยมนำมาเป็นส่วนผสมในอาหารพื้นถิ่นทางภาคเหนือ เช่น น้ำเงี้ยว และใสในอาหารจานผัดเพื่อเพิ่มกลิ่นรส นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่าถั่วเน่าเป็นอาหารหมักที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง แต่ทว่าขึ้นอยู่กับ ชนิดของเชื้อที่ใช้ผลิต และกระบวนการผลิตของแต่ละพื้นที่ (Chukeatirote et al., 2011)

งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากผลิตภัณฑ์ ถั่วเน่า ในการย่อยโปรตีนในถั่วชนิดต่างๆ เพื่อวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์กรดอะมิโนที่ได้จากกระบวนการหมักถั่ว ชนิดต่าง ๆ และประเมินความเหมาะสมในการใช้เป็นส่วประกอบของการผลิตอาหารสำหรับผู้สูงอายุต่อไป

วิธีการ

1. การแยกเชื้อแบคทีเรีย

1.1 เก็บตัวอย่างถั่วเน่าแผ่นจากร้านขายของฝาก แยกปากจ๊วระ อ.เด่นชัย จ.แพร่ ซึ่งเป็นแผ่นถั่วเน่า ที่ผ่านกระบวนการหมักแล้ว 3 วัน

1.2 การแยกเชื้อบริสุทธิ์

1) เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient Broth (NB) ใส่ในขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 90 มิลลิลิตร นำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำติ ลดอุณหภูมิให้เป็นอุณหภูมิห้อง จากนั้นใส่ถั่วเน่า 10 กรัม แล้วนำไปเขย่า ที่ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

2) แตะเชื้อที่เลี้ยงได้มาลากบนอาหาร Nutrient Agar (NA) ด้วยเทคนิค Streak Plate แล้วนำไป บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3) เลือกโคโลนีของแบคทีเรียที่ต่างกันมาลากซ้ำบนอาหาร NA จนได้เชื้อบริสุทธิ์ แล้วนำมาเก็บไว้ในอาหาร NA Slant สำหรับการทดลองต่อไป

4) การให้รหัสเชื้อจากตัวอย่างที่เก็บมาเป็นตัวเลข 2 หลักหลังตัวอักษร TN (Thua-Nao)

5) ศึกษาคุณลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยบันทึกลักษณะโคโลนี การย้อมสีแกรมแบคทีเรีย และรูปร่าง การเรียงตัว ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (OLYMPUS, รุ่น CX22LED) กำลังขยาย 1,000 เท่า

2. การทดสอบคุณสมบัติของแบคทีเรียในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสต

2.1 การศึกษาระดับการย่อยสลายโดยทำตามวิธีของ Nissen (1979)

1) การเตรียมตัวอย่างโดยนำถั่วเหลือง มาล้างทำความสะอาดคัดเลือกล้างเจือปนออกให้หมด จากนั้นแช่น้ำ 1 คืน แล้วต้มจนสุก ประมาณ 3 ชั่วโมง ทำให้แห้งโดยการผึ่งลมที่อุณหภูมิห้อง และนำมาแยกบรรจุในขวด รูปชมพู่ ปริมาณ 200 กรัมต่อขวด นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นลง ที่อุณหภูมิห้อง ทำการถ่ายเชื้อจากหัวเชื้อ 10 มิลลิลิตรลงในถั่ว โดยปริมาณเชื้อเริ่มต้นเป็น 10^7 CFU/mL ซึ่งเตรียมมาจากการนำเชื้อแต่ละไอโซเลตที่แยกไว้ใน NA slant มาใส่ใน 0.85% Normal Saline Solution (NSS) แล้วปรับความขุ่นของเชื้อให้ได้ความขุ่นในหลอดเทียบเท่ากับ ความขุ่นของสารละลาย McFarland Standard No. 0.5 จะทำให้มีปริมาณเชื้อเป็น 1.5×10^8 CFU/mL แล้วเจือจางให้ได้ปริมาณเชื้อเริ่มต้นเป็น 10^7 CFU/mL ปิดปากขวดให้สนิท บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างที่บ่มเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ แล้วปั่นด้วยเครื่องปั่นให้เป็นผง นำใส่ถุงซิปล็อกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเพื่อนำไปทดสอบระดับการย่อยสลาย

2) ศึกษาการย่อยสลายโดยนำตัวอย่าง 50 ไมโครลิตร ผสมกับฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.215 M pH 8.2 และ trinitrobenzene sulfonic acid เข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร บ่มสารละลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นหยุดปฏิกิริยาโดยเติม hydrochloric acid เข้มข้น 0.1 N ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร โดยใช้ glycine เป็นสารมาตรฐาน

3) การกำหนดปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดทำได้โดยเติม hydrochloric acid เข้มข้น 6 N (ตัวอย่างโปรตีนไฮโดรไลสได้จากถั่วหมัก: กรด เท่ากับ 1:100) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสโดยใช้หม้อนึ่งแรงดันไอน้ำ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ระดับการย่อยสลายคำนวณดังนี้

$$\text{Degree of hydrolysis (\%DH)} = [(hs - ho)/ht] \times 100\%$$

โดย hs = ปริมาณของ α -amino acid ของตัวอย่างแต่ละทริทเมนต์หลังการบ่ม 72 ชั่วโมง, ho = ปริมาณของ α -amino acid ของตัวอย่างที่เวลา 0 ชั่วโมง, ht = ปริมาณของ α -amino acid ทั้งหมดหลังจากย่อยด้วยกรด

4) คัดเลือกเชื้อแบคทีเรียที่ให้ระดับการย่อยสลายสูงสุด มาทำการจำแนกสายพันธุ์โดยส่งวิเคราะห์สายพันธุ์ ณ ศูนย์ชีววัสดุประเทศไทย โดยเครื่องจำแนกแบคทีเรียอัตโนมัติในระบบแมสสเปกโตรเมตรีชนิด MALDI-TOF

2.2 การศึกษาปริมาณโปรตีน และวิเคราะห์โปรไฟล์กรดอะมิโน

1) การเตรียมวัตถุดิบโดยนำถั่วเหลือง ถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วลิสง ถั่วดำมาล้างทำความสะอาด คัดเลือกสิ่งเจือปนออกให้หมด จากนั้นนำถั่วแต่ละชนิดมาแช่น้ำ 1 คืน แล้วต้มจนสุก ประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นตักออก ทำให้แห้งโดยการผึ่งลมที่อุณหภูมิห้อง และนำมาแยกบรรจุในขวดรูปชมพู่ ปริมาณ 200 กรัมต่อขวด นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

2) การเตรียมหัวเชื้อโดยการนำเชื้อที่ให้ระดับการย่อยสลายถั่วเหลืองสูงสุด ที่แยกไว้ใน NA slant ปริมาณ 1 loop ใส่ลงในอาหาร NB ที่ฆ่าเชื้อแล้ว 9 มิลลิลิตร บ่มทิ้งไว้ 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

3) นำวัตถุดิบที่เตรียม และหัวเชื้อ มาผสมกันโดยการเทหัวเชื้อ 10 มิลลิลิตรลงในถั่วแต่ละชนิด คิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรต่อน้ำหนักถั่ว ปิดปากขวดให้สนิท ทำ 3 ซ้ำ

4) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างที่บ่มเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง มาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ แล้วปั่นด้วยเครื่องปั่นให้เป็นผง แล้วนำใส่ถุงซิปล็อกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปทดสอบระดับการย่อยสลาย นำตัวอย่างที่ได้ของแต่ละทริทเมนต์มาศึกษาปริมาณโปรตีน และวิเคราะห์โปรไฟล์กรดอะมิโน

5) นำผงโปรตีนไฮโดรไลสได้จากถั่วหมักแต่ละชนิดที่บดละเอียดจำนวน 200 มิลลิกรัม วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl method (Latimer, 2012) และ การวิเคราะห์โปรไฟล์อะมิโนตามวิธี In-house method WI-TMC-06 โดยส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การแยกเชื้อ และจำแนกเชื้อแบคทีเรียจากถั่วเน่าพื้นบ้าน

ผลจากการคัดแยกเชื้อลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ทำการคัดแยกได้จากถั่วหมักจากถั่วเหลือง ด้วยวิธีการ Dilution plate Spread plate และ Cross streak plate ในอาหารเลี้ยงเชื้อ NA โดยสามารถแยกเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งหมด 25 ไอโซเลต (TN01 – TN25) เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างแท่ง การเรียงเซลล์ต่อกันเป็นสายสั้น จำนวน 13 ไอโซเลต และเป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างกลม จำนวน 12 ไอโซเลต (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Phoupasong et al. (2015) ทำการคัดเลือกและแยกเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ที่สามารถย่อยโปรตีนได้ดี โดยคัดแยกจากถั่วเน่าหรือถั่วเหลืองหมักพื้นเมืองทางภาคเหนือของไทย ที่พบว่า มี 28 สายพันธุ์ที่สามารถผลิตเอนไซม์โปรติเอสได้ โดยมี 5 สายพันธุ์ที่ผลิตโปรติเอสได้มากที่สุด โดยมีลักษณะเป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างแท่ง

ตารางที่ 1 เชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากถั่วเน่าพื้นบ้าน จังหวัดแพร่

ไอโซเลต	ไอโซเลต	ลักษณะโคโลนี
TN01	มีรูปร่างกลม แกรมบวก เรียงตัวกลุ่มจากการแบ่งเซลล์	สีเหลือง ขอบนูน เงาม
TN02	มีรูปร่างแท่ง แกรมบวก เซลล์เดี่ยว หรือต่อกันเป็นสายสั้น	ขาวขุ่น ขอบไม่เรียบ ด้าน
TN03	มีรูปร่างกลม แกรมบวก เรียงตัวกลุ่มจากการแบ่งเซลล์	สีเหลือง ขอบนูน เงาม
TN04	มีรูปร่างกลม แกรมบวก การเรียงเซลล์ต่อกันเป็นสายยาว	เทาใส ขอบเรียบ เงาม
TN05	มีรูปร่างกลม แกรมบวก เรียงตัวกลุ่มจากการแบ่งเซลล์	สีเหลือง ขอบนูน เงาม
TN06	มีรูปร่างกลม แกรมบวก เรียงตัวกลุ่มจากการแบ่งเซลล์	สีเหลือง ขอบนูน เงาม
TN07	มีรูปร่างกลม แกรมบวก เรียงเซลล์เป็นกลุ่มจำนวนหลายเซลล์	ขาวเหลือง ขอบเรียบ มันวาว
TN08	มีรูปร่างแท่ง แกรมบวก เซลล์เดี่ยว หรือต่อกันเป็นสายสั้น	ขาวขุ่น ขอบไม่เรียบ ด้าน
TN09	มีรูปร่างแท่ง แกรมบวก เซลล์เดี่ยว หรือต่อกันเป็นสายสั้น	ขาวขุ่น ขอบไม่เรียบ ด้าน
TN10	มีรูปร่างแท่ง แกรมบวก การเรียงเซลล์ต่อกันเป็นสายสั้น	ขาวขุ่น ขอบเรียบ เงาม
TN11	มีรูปร่างแท่ง แกรมบวก การเรียงเซลล์ต่อกันเป็นสายสั้น	ขาวขุ่น ขอบเรียบ เงาม
TN12	มีรูปร่างแท่ง แกรมบวก การเรียงเซลล์ต่อกันเป็นสายสั้น	ขาวขุ่น ขอบเรียบ เงาม
TN13	มีรูปร่างแท่ง แกรมบวก เซลล์เดี่ยว หรือต่อกันเป็นสายสั้น	ขาวขุ่น ขอบไม่เรียบ ด้าน
TN14	มีรูปร่างกลม แกรมบวก เรียงเซลล์เป็นกลุ่มจำนวนหลายเซลล์	ขาวเหลือง ขอบเรียบ มันวาว
TN15	มีรูปร่างกลม แกรมบวก เรียงตัวกลุ่มจากการแบ่งเซลล์	สีเหลือง ขอบนูน เงาม
TN16	มีรูปร่างแท่ง แกรมบวก เซลล์เดี่ยว หรือต่อกันเป็นสายสั้น	ขาวขุ่น ขอบเรียบ เงาม
TN17	มีรูปร่างแท่ง แกรมบวก การเรียงเซลล์ต่อกันเป็นสายสั้น	ขาวขุ่น ขอบเรียบ เงาม
TN18	มีรูปร่างกลม แกรมบวก การเรียงเซลล์ต่อกันเป็นสายยาว	เทาใส ขอบเรียบ เงาม
TN19	มีรูปร่างแท่ง แกรมบวก การเรียงเซลล์ต่อกันเป็นสายสั้น	ขาวขุ่น ขอบเรียบ เงาม
TN20	มีรูปร่างกลม แกรมบวก เรียงเซลล์เป็นกลุ่มจำนวนหลายเซลล์	ขาวเหลือง ขอบเรียบ มันวาว

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ไอโซเลต	ไอโซเลต	ลักษณะโคโลนี
TN21	มีรูปร่างกลม แกรมบวก การเรียงเซลล์ต่อกันเป็นสายยาว	เทาใส ขอบเรียบ เงาม
TN22	มีรูปร่างแท่ง แกรมบวก เซลล์เดี่ยว หรือต่อกันเป็นสายสั้น	ขาวขุ่น ขอบไม่เรียบ ด้าน
TN23	มีรูปร่างแท่ง แกรมบวก การเรียงเซลล์ต่อกันเป็นสายสั้น	ขาวขุ่น ขอบเรียบ เงาม
TN24	มีรูปร่างแท่ง แกรมบวก เซลล์เดี่ยว หรือต่อกันเป็นสายสั้น	ขาวขุ่น ขอบไม่เรียบ ด้าน
TN25	มีรูปร่างกลม แกรมบวก การเรียงเซลล์ต่อกันเป็นสายยาว	เทาใส ขอบเรียบ เงาม

2. ระดับการย่อยสลาย (Degree of hydrolysis: DH)

ผลการศึกษาความสามารถของเชื้อแบคทีเรียแต่ละไอโซเลตต่อค่าระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการหมัก 7 วัน (ตารางที่ 2) พบว่า ค่าระดับการย่อยสลายสูงสุดอยู่ที่ 20.70 ± 0.56 เปอร์เซ็นต์ โดยการย่อยด้วยเชื้อไอโซเลต TN23 และ รองลงมาคือ TN17 ที่มีค่าการย่อยสลายอยู่ที่ระดับ 19.13 ± 2.20 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ เชื้อ TN04 ให้ค่าระดับการย่อยสลายต่ำสุดที่ 3.70 ± 1.49 เปอร์เซ็นต์ ทำให้พบว่าเชื้อแบคทีเรียต่างสายพันธุ์ก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการสลายโปรตีนต่างกัน ($p < 0.05$) ถึงแม้จะใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตถั่วเน่าเหมือนกัน แต่ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของถั่วเหลืองให้เป็นผลิตภัณฑ์ถั่วเน่าจะเป็นการหมักแบบร่วม (Mixed culture) ที่เชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดทำหน้าที่ในการย่อยสลายสเตรทต่างกัน และจากการศึกษาการย่อยสลายพบว่าระดับการย่อยสลายที่ 20 เปอร์เซ็นต์ เพียงพอต่อปริมาณกรดอะมิโนในผลิตภัณฑ์ (Oladejo et al., 2020)

ตารางที่ 2 ผลของชนิดของเชื้อแบคทีเรียต่อค่าระดับการย่อยสลาย (%) ของโปรตีนถั่วเหลือง

Isolate	DH $\pm$ S.D. (%)*	Isolate	DH $\pm$ S.D. (%)*
TN01	12.33 ± 1.53^g	TN09	14.30 ± 2.14^{defg}
TN02	15.50 ± 1.32^{cdef}	TN10	14.50 ± 0.50^{cdefg}
TN03	13.73 ± 2.05^{efg}	TN11	14.90 ± 2.53^{cedfg}
TN04	3.70 ± 1.49^i	TN12	15.50 ± 1.61^{cdef}
TN05	14.60 ± 1.64^{cdefg}	TN13	4.77 ± 1.64^{hi}
TN06	16.27 ± 1.97^{bcde}	TN14	15.77 ± 1.57^{cdef}
TN07	13.80 ± 1.71^{efg}	TN15	12.07 ± 1.79^g
TN08	15.77 ± 1.57^{cdef}	TN16	16.87 ± 1.03^{bcde}

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Isolate	DH $\pm$ S.D. (%) [*]	Isolate	DH $\pm$ S.D. (%) [*]
TN17	19.13 $\pm$ 2.20 ^{ab}	TN22	17.53 $\pm$ 1.98 ^{bc}
TN18	14.70 $\pm$ 1.95 ^{cdefg}	TN23	20.70 $\pm$ 0.56 ^a
TN19	15.60 $\pm$ 0.36 ^{cdef}	TN24	17.43 $\pm$ 0.51 ^{bcd}
TN20	6.73 $\pm$ 1.65 ^h	TN25	12.87 $\pm$ 1.69 ^{fg}
TN21	16.93 $\pm$ 1.22 ^{bcde}		

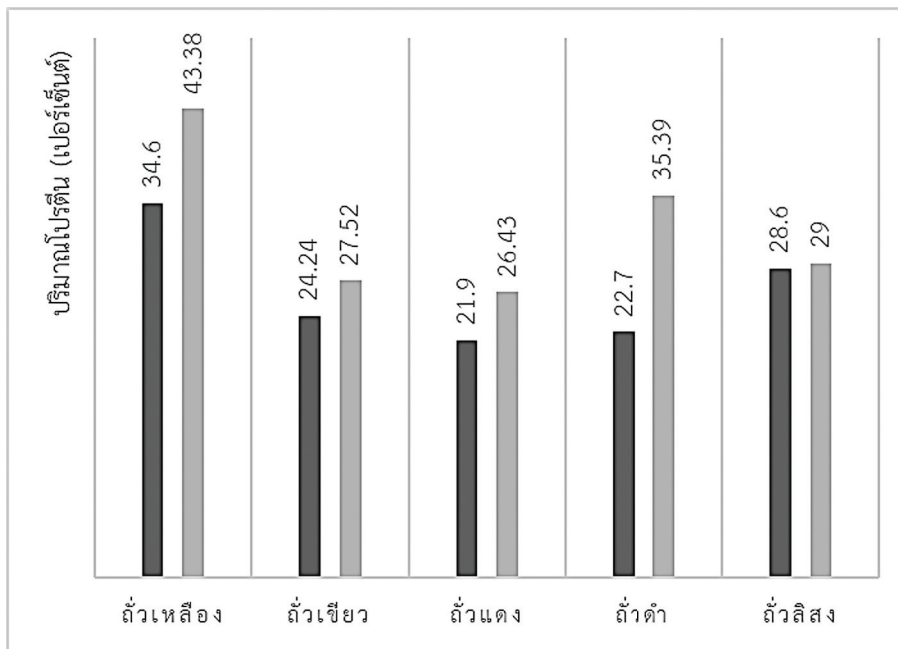
^{*}หมายเหตุ : ตัวอักษร a – i ในแนวคอลัมน์ แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ($p \leq 0.05$) จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan, s New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อทำการจำแนกชนิดแบคทีเรีย ไอโซเลต TN23 ที่ให้ค่าการย่อยสลายสูงสุด ด้วยเครื่องจำแนกแบคทีเรียอัตโนมัติในระบบแมสสเปกโทรเมตรีชนิด MALDI-TOF ณ ศูนย์ชีววัสดุประเทศไทย พบว่า เชื้อแบคทีเรีย TN23 เป็นเชื้อ *Lactococcus lactis* ซึ่งสอดคล้องกับการบ่งชี้เบื้องต้นจากลักษณะโคโลนี และการย้อมสีแกรม

ในการคัดแยกเชื้อจากถั่วเน่าพื้นบ้าน ทำให้พบว่านอกจากแบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus* ที่ทำหน้าที่หลักในกระบวนการหมักแล้ว ยังมีแบคทีเรียชนิดอื่นที่เจริญเติบโตร่วมด้วย ซึ่งเป็นแบคทีเรียในธรรมชาติ (Chukeatirote et al., 2011) และเมื่อพิจารณาจากแบคทีเรียที่มีความสามารถในการไฮโดรไลซ์โปรตีนในถั่วเหลืองได้ดีที่สุด พบว่า *Lactobacillus lactis* TN23 มีความสามารถในการไฮโดรไลซ์โปรตีนได้สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีใช้เอนไซม์จากเชื้อ *Lactobacillus* ในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากถั่วเหลือง ส่งผลให้เกิดกรดอะมิโนอิสระจำนวนมาก และมีผลต่อการเกิดกลิ่นรสของโปรตีนด้วย (Aguirre et al., 2008)

3. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน และการวิเคราะห์โปรไฟล์กรดอะมิโน

จากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมด หลังจากการหมักถั่วแต่ละชนิดด้วยเชื้อ *Lactobacillus lactis* TN23 เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้น โดยถั่วดำจะมีการเพิ่มปริมาณโปรตีนสูงสุด โดยมีปริมาณโปรตีนหลังการหมัก 35.39 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นโปรตีนเพิ่มขึ้น 12.69 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ถั่วเหลือง ถั่วแดง และถั่วเขียว ในขณะที่ถั่วลิสงมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด โดยเพิ่มขึ้นเพียง 0.1 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 1) เนื่องจากโครงสร้างโปรตีนในถั่วลิสงจะสามารถย่อยสลายได้ดีด้วยเอนไซม์หลายชนิดร่วมกัน (Zhang et al., 2022)



ภาพที่ 1 ปริมาณโปรตีนของถั่วแต่ละชนิด ก่อนและหลังกระบวนการหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus lactis* TN23 เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (■ ก่อนกระบวนการหมัก ■ หลังกระบวนการหมัก)

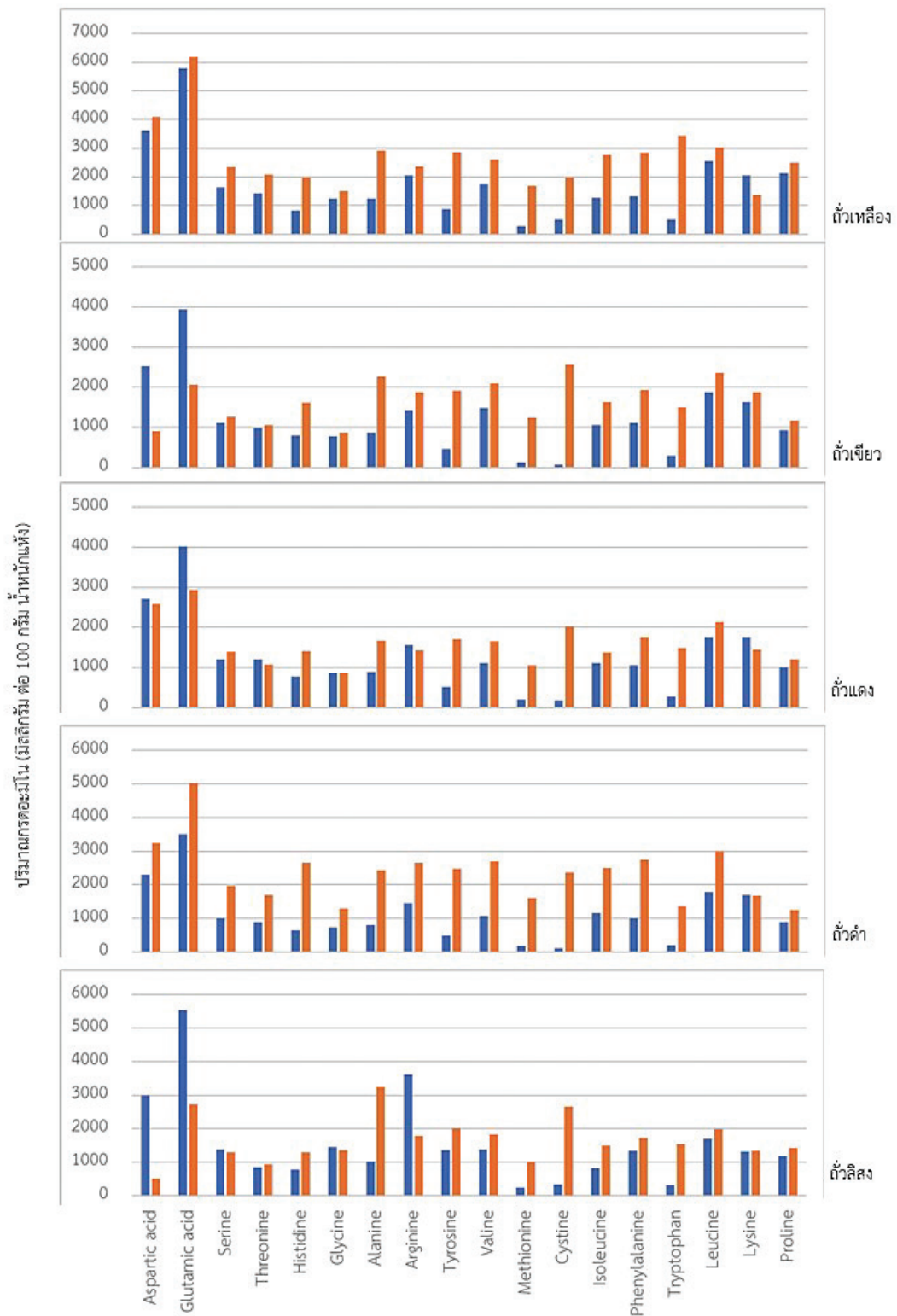
ดังนั้นกระบวนการหมักถั่วด้วยกระบวนการทางจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์โปรติเอส ทำให้เกิดการย่อยสลายโปรตีนในถั่วชนิดต่าง ๆ ซึ่งถือว่าเป็นวิธีหนึ่งในการผลิตไฮโดรไลเสตโปรตีนด้วยเอนไซม์โปรติเอส หรือเรียกว่าวิธีการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (enzymatic hydrolysis) ที่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบันเพื่อปรับปรุงสมบัติของโปรตีน ทั้งนี้กระบวนการย่อยสลายด้วยเอนไซม์มีความจำเพาะต่อชนิดของโปรตีนสูง สภาวะการผลิตที่ไม่รุนแรง และสามารถควบคุมระดับการย่อยได้ ส่งผลให้วิธีนี้มีอัตราการย่อยสลายค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการย่อยสลายด้วยวิธีทางเคมี ที่ใช้กรดและด่าง (López-Barrios et al., 2014)

นอกจากนั้นเมื่อนำเชื้อ *Lactobacillus lactis* TN23 มาทำการหมักร่วมกับถั่วชนิดต่าง ๆ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีกลิ่นถั่วเน่าที่เกิดจากการหมักด้วย *Bacillus* ที่ผลิตแอมโมเนียเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการหมัก (Chukeatirote et al., 2011) แต่ผลิตภัณฑ์จะมีกลิ่นของกรดแลคติกอ่อน ๆ แทน ซึ่งเมื่อนำมาอบแห้งและบดเป็นผงแล้วกลิ่นแลคติกก็หายไป ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นคล้ายถั่วแต่ละชนิดมากกว่าการหมักด้วย *Bacillus*

4. ผลการวิเคราะห์โปรไฟล์กรดอะมิโน

จากการวิเคราะห์โปรไฟล์กรดอะมิโน พบว่า ถั่วดำ มีปริมาณกรดอะมิโนทุกชนิดเพิ่มสูงขึ้น หลังกระบวนการหมัก และถั่วทุกชนิดที่ผ่านกระบวนการหมัก พบว่ามีกรดอะมิโนจำเป็นเพิ่มขึ้นทุกชนิด ยกเว้น Lysine โดยถั่วเหลืองหมักพบ Lysine มีปริมาณลดลง 32 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือถั่วแดงหมัก และถั่วดำหมัก ที่มีปริมาณ Lysine ลดลง 17.50 เปอร์เซ็นต์ และ 2.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในส่วนของกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นในกลุ่ม Aspartic acid และ Glutamic acid ลดลงเมื่อผ่านกระบวนการหมักในถั่วแดงที่ 4.75 เปอร์เซ็นต์ และ 26.70 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เช่นเดียวกับถั่วเขียวหมัก และถั่วลิสงหมัก ในขณะที่ในถั่วลิสงหมักยังมีปริมาณของ Arginine ลดลงด้วย (ภาพที่ 2)

ในส่วนของการผลิตกรดโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้ พบว่า มีกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิดเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในถั่วดำ เมื่อทำการไฮโดรไลเสตด้วยกระบวนการหมักพบว่า มีกรดอะมิโนเพิ่มขึ้นทุกชนิด และมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้นถึง 12.69 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณรวมของโปรตีนที่เพิ่มขึ้นหลังกระบวนการหมักด้วยแบคทีเรีย *Lactobacillus lactis* TN23 เป็นเวลา 72 ชั่วโมง มีผลต่อการเพิ่มและลดของกรดอะมิโนแต่ละชนิด ดังนั้นถั่วที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตคือ ถั่วดำ ถั่วเหลือง และถั่วแดงตามลำดับ โดยมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าการรับประทานแบบไม่ผ่านกระบวนการหมัก ในขณะที่ปริมาณ Lysine ที่ลดลง 2.5 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อรสขมที่ลดลงด้วย (Chukeatirote et al., 2011) และปริมาณของกรดอะมิโนจำเป็นสำหรับผู้สูงอายุ ได้แก่ Tryptophan ในถั่วดำที่ผ่านกระบวนการหมักที่เพิ่มขึ้น 6.70 เท่าเมื่อเทียบกับถั่วดำที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก ส่งผลช่วยให้หลับได้ง่าย ในขณะที่ปริมาณ Threonine ในถั่วดำหมักเพิ่มขึ้น 2 เท่า ทำให้เกิดการเผาผลาญไขมันได้ดีขึ้น นอกจากนั้นยังปริมาณ Leucine และ Valine ในถั่วดำหมักเพิ่มขึ้น 1.70 เท่า และ 2.55 เท่า ตามลำดับ โดยทั้ง Leucine และ Valine มีคุณสมบัติช่วยเรื่องของระบบประสาทเพิ่มสูงขึ้น (Julmanlik & Kongruang, 2019) นอกจากนั้นถั่วดำหมักยังมีปริมาณ Methionine เพิ่มขึ้น 9 เท่า ที่เป็นสารตั้งต้นกรดอะมิโนหลายชนิดที่ร่างกายต้องใช้ในการสังเคราะห์ (Canfield et al., 2019) โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณของกรดอะมิโนแตกต่างกันในถั่วแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับการเรียงตัวของกรดอะมิโนในถั่วแต่ละชนิด โดยถั่วที่มีองค์ประกอบของโปรตีนเป็น กรดอะมิโนที่มีหมู่ฟังก์ชันไม่มีขั้ว และไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ได้แก่ Glycine Alanine Valine Leucine Isoleucine และ Proline เป็นจำนวนมาก ก็จะทำให้ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ได้ยาก ส่งผลให้ถั่วลิสงที่มีไขมันสูงมีการเพิ่มขึ้นของกรดอะมิโนต่ำที่สุด ในขณะที่บริเวณเร่ง (active site) ของเอนไซม์ก็มีผลเฉพาะเจาะจงกับซับสเตรท ทำให้เกิดการแยกตัวของกรดอะมิโนอิสระต่างกันในแต่ละชนิด (Zhang et al., 2022) ซึ่งกรดอะมิโนที่กล่าวมาข้างต้นพบว่ามีปริมาณที่สูงขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการไฮโดรไลซ์ด้วยวิธีการหมักด้วยแบคทีเรีย *Lactobacillus lactis* TN23 เป็นเวลา 72 ชั่วโมง



ภาพที่ 2 โปรไฟล์กรดอะมิโนของนมแต่ละชนิด ก่อนและหลังกระบวนการหมัก

ด้วยเชื้อ *Lactobacillus lactis* TN23 เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (■ ก่อนกระบวนการหมัก ■ หลังกระบวนการหมัก)

สรุป

ดังนั้นการผลิตโปรตีนไฮโดรไลสได้จากถั่วชนิดต่าง ๆ ด้วยกระบวนการหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus lactis* TN23 ที่แยกได้จากถั่วเน่าแผ่นพื้นบ้าน เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำให้ได้ผงโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้มีปริมาณของกรดอะมิโนจำเป็นสูงขึ้นในถั่วทุกชนิด รวมถึงปริมาณโปรตีนที่สูงขึ้นด้วย และด้วยปริมาณกรดอะมิโนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความเป็นไปได้สูงในการนำผงโปรตีนไฮโดรไลสได้จากถั่วด้วยกระบวนการหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus lactis* TN23 สามารถต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ให้ผู้สูงวัยได้

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) และกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม สำหรับทุนวิจัยประจำปี 2565 และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่สนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในห้องปฏิบัติการ และนายคงศิริ มั่นคง นักวิจัยโครงการในการประสานงานส่งตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

- Aguirre, L., Garro, M.S., & de Giori, G.S. (2008). Enzymatic hydrolysis of soybean protein using lactic acid bacteria. **Food Chemistry**, **111**, 976–982
- Canfield, C.A., Patrick, C., & Bradshaw, B. (2019). Amino acids in the regulation of aging and aging-related diseases. **Translational Medicine of Aging**, **3**(1), 70-89.
- Carthy, M.A.L., Callaghan, O.Y.C., Piggott, C.O., Gerald, F.R.J., & Brien, O.N.M. (2013). Brewers spent grain; bioactivity of phenolic component, its role in animal nutrition and potential for incorporation in functional foods: a review. **Proceedings of the Nutrition Society**, **72**(1), 117-125.
- Chalamaiah, M., Yu, W., & Wu, J. (2018). Immunomodulatory and anticancer protein hydrolysates (peptides) from food proteins: A review. **Food Chemistry**, **245**(1), 205-222.
- Chukeatirote, E., In-khian, S., Dajanta, K., & Apichartsrangkoon, A. (2011). Thua Nao – An indigenous fermented soybean of Thailand. **Srinakharinwirot Science Journal**, **27**(1), 197-213.
- Julmanlik, T. & Kongruang, S. (2019). Functional properties and applications of egg white protein hydrolysates. **Journal of Food Technology, Siam University**, **14**(1), 69-87. (In-Thai).
- López-Barrios, L., Gutiérrez-Urbe, J.A., & Serna-Saldívar, S.O. (2014). Bioactive peptides and hydrolysates from pulses and their potential use as functional ingredients. **Journal of Food Science**, **79**(3), 273-283.
- Lamsal, B.P., Jung, S., & Johnson, L.A. (2007). Rheological properties of soy protein hydrolysates obtained from limited enzymatic hydrolysis, **LWT - Food Science and Technology**, **40**(7), 1215-1223.

- Latimer, G.W. (2012). **Official methods of analysis of AOAC International**. (19th edition). Gaithersburg, Maryland. AOAC International.
- Nissen, A.J. (1979). Determination of the degree of hydrolysis of food protein hydrolysates by trinitrobenzenesulfonic acid. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, **27**(6), 1256–1262.
- Oladejo, T.C., Olaniya, O.O., Ayodejib, A.O., & Akinyele, B.J. (2020). Protease produced by *Lactobacillus brevis* enhanced nutritional values of African yam beans and demonstrated improvement in the growth and blood indices of albino rats. **Heliyon**, **6**(1), 1-10.
- Phoupasong, O., Ketbot, P., Phoemsuk, K., Tachaapaikoon, C., Pason, P., Ratanakhanokchai, K. & Waeonukul, R. (2015). Screening and isolation of bacteria from Thua-nao for improving nutritive values of fermented soybean meal in animal feed. **Agricultural Science Journal**, **46**(3), 273-276.
- Thongsuk, T. (2019). Dietary behavior of the elderly on era 4.0. **Journal of Humanities and Social Sciences, Rajapruk University**, **5**(3), 232-244. (In-Thai).
- Zhang, L., Sun, X., Lu, X., Wei, S., Sun, O., Jin, L., Song, G., You, J., & Li, F. (2022). Characterization of peanut protein hydrolysate and structural identification of umami-enhancing peptides. **Molecules**, **27**, 2853. <https://doi.org/10.3390/molecules27092853>.

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ สำหรับธุรกิจรีสอร์ทในจังหวัดนครศรีธรรมราช

FACTORS INFLUENCING THE USE OF SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR RESORT BUSINESS IN NAKHON SI THAMMARAT PROVINCE

บุญยฤทธิ์ ศรีปาน^{1*} และ ปวีณา ปรีชญากุล²

¹สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปทุมธานี 12120

²สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีดิจิทัลและสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
กรุงเทพมหานคร 10220

Boonyarit sripan^{1*} and Pawena Preechayakul²

¹Technology Management Department, Faculty of Industrial Technology,

Walaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathum Thani, 12120

²Information and Digital Technology Management Department, Faculty of Industrial Technology,
Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220

*E-mail: Boonyarit.sri@vru.ac.th

Received: 23-06-2022

Revised: 19-10-2022

Accepted: 19-10-2022

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์สำหรับธุรกิจรีสอร์ท และเพื่อศึกษาเปรียบเทียบปัจจัยที่แบ่งตามขนาดธุรกิจรีสอร์ทในจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้แบบสอบถามในการรวบรวมข้อมูลผ่านทางออนไลน์ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2565 ถึง 30 เมษายน 2565 จากการสุ่มประชากรจำนวน 250 คน สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล คือ สถิติพรรณนา ประกอบด้วย ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ด้วยวิธีการเปรียบเทียบ กลุ่มตัวแปร การวิเคราะห์ไคสแควร์ แบ่งตามปัจจัยที่ด้านการประยุกต์ใช้และด้านการรับรู้ประโยชน์

ผลการศึกษาพบว่า ผู้ประกอบการธุรกิจรีสอร์ท มีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานระบบพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับมาก จากการรับรู้ประโยชน์จากการประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้ามากขึ้น และการใช้งานในสถานที่ต่าง ๆ ได้สะดวกขึ้น และจากการเปรียบเทียบปัจจัยแบ่งตามประกอบธุรกิจรีสอร์ทขนาดต่าง ๆ มีความคิดเห็นไปในทิศทางเดียวกัน พบว่าในธุรกิจรีสอร์ทขนาดใหญ่ มีการนำระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ไปใช้ร่วมกับระบบรักษาความปลอดภัยของรีสอร์ท และประยุกต์ใช้เพื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในครัวเรือนในรีสอร์ท ซึ่งแสดง

ให้เห็นว่าการทำงานของระบบไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานและเกิดประโยชน์ต่อการบริการของภาคธุรกิจเป็นอย่างยิ่ง

คำสำคัญ: ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ พลังงานทดแทน ธุรกิจรีสอร์ต

ABSTRACT

This research aims to study the influencing factors of using the solar photovoltaic system in resort businesses and compare influencing factors based on the size of the business. The samples are resort entrepreneurs in Nakhon Sri Thammarat province. The questionnaire is the tool to collect data through the internet from January 1, 2022 to April 30, 2022. The sample was obtained by randomizing the population by determining the sample size according to Taro Yamane's table at a 95.5% confidence level and an error of $\pm 5\%$. The sample size was 250 sets. The statistical method for analyzing is descriptive statistics which are composed of Percentage, Mean, and Standard Deviation. Testing the relationship between variables by comparative method, group of variables, chi-square analysis test based on applied factor and recognition factor after using the solar photovoltaic system.

The results show that resort entrepreneurs express their opinion about the influencing factor of a solar photovoltaic system with a high level. Caused by the recognition benefit after use, implied to more electricity cost saving factors and various places more convenient for using factor. The comparative factor results which are grouped by sizes of resort businesses expressed their opinions in the same direction. At large resort businesses deployed solar photovoltaic systems and integrated into the security system and household electrical equipment. This shows that the used of the solar photovoltaic system is influencing technology that has a useful impact on the service of this business sector.

Keywords: Solar photovoltaic systems, Renewable energy, Resort business

บทนำ

รัฐบาลมีแผนเร่งขับเคลื่อนเศรษฐกิจไทย โดยปรับเปลี่ยนรูปแบบการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมไทยไปสู่รูปแบบใหม่ที่เรียกว่า BCG Economy Model ซึ่งจะช่วยต่อยอดจุดแข็งของประเทศให้มูลค่าเพิ่มขึ้น ทั้งในด้านความหลากหลายทางชีวภาพและความหลากหลายทางวัฒนธรรม โดยอาศัยกลไกวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมเพื่อผลิตสินค้าและบริการที่มีมูลค่าสูงและเปลี่ยนระบบเศรษฐกิจจาก “ทำมากแต่ได้น้อย” ไปสู่ “ทำน้อยแต่ได้มาก” รัฐบาลจึงพยายามผลักดันเศรษฐกิจแบบใหม่ ๆ เช่น ต้องเป็นระบบที่ใช้ความรู้ การจัดการ และเทคโนโลยีใหม่ หรือการมีระบบเศรษฐกิจที่ค่อนข้างส่งผลกระทบต่อเชิงเศรษฐศาสตร์ และปรับเปลี่ยนได้รวดเร็ว (National Science and Technology Development Agency, 2021)

กระทรวงพลังงานส่งเสริมให้ภาคธุรกิจมีส่วนร่วมในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่หมดสิ้น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ไม่มี

การเผาไหม้ จึงไม่เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไม่มีมลภาวะทางเสียง และช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่เป็นต้นทุนสำคัญของภาคธุรกิจ (Ministry of Energy, 2022)

ในภาคธุรกิจมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้า 23% การใช้เพิ่มขึ้น 6% โดยกลุ่มธุรกิจหลักที่มีการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ได้แก่ ธุรกิจรีสอร์ท อพาร์ทเมนต์และเกสต์เฮาส์ โรงพยาบาล ธุรกิจก่อสร้าง ธุรกิจขายปลีกและขายส่ง ส่วนหนึ่งเป็นผลจากสภาพอากาศที่ร้อน มีการใช้เครื่องปรับอากาศมากขึ้นในอนาคต ดังนั้นภาคธุรกิจจึงต้องมีการนำพลังงานทดแทนที่ผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เข้ามาใช้และลดค่าใช้จ่าย (Energy Policy and Planning Office, 2022)

จากการพัฒนาแผนศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ฉบับใหม่สำหรับประเทศไทย ปี 2560 พบว่าการกระจายตามพื้นที่ของรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละเดือนได้รับอิทธิพลของลมมรสุมและลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ โดยเดือนเมษายนเป็นช่วงเวลาที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ จังหวัดสิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สุรินทร์ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ บุรีรัมย์ และร้อยเอ็ด ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด สำหรับการกระจายตามพื้นที่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด ($18-20 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$) จะอยู่ในบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2018)

จังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นจังหวัดที่ได้รับความสนใจจากนักท่องเที่ยวเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก ซึ่งเห็นได้จากจำนวนเที่ยวบินของสายการบินต่างๆ มีจำนวนเที่ยวบินตรงเพิ่มขึ้น และมีสถิติการจองห้องพักเพิ่มขึ้นสูง อันเนื่องจากการเข้าสู่ช่วงเทศกาลต่างๆ ของการท่องเที่ยวในภาคใต้ และตลอดจนความมีชื่อเสียงของสถานที่ต่าง ๆ ที่ได้รับความนิยมจากนักท่องเที่ยวที่เดินทางมายังจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยเฉพาะการเดินทางมาสักการะบูชาสิ่งศักดิ์สิทธิ์ การพักผ่อนตามที่พักรายหาด การท่องเที่ยวทางธรรมชาติที่เห็นได้จากนโยบายส่งเสริมการท่องเที่ยวอย่างต่อเนื่องของรัฐบาล ข้อมูลผู้ประกอบการ โรงแรม รีสอร์ทและเกสต์เฮาส์ จำแนกตามรูปแบบการจัดตั้งตามกฎหมายมีผู้ประกอบการจำนวน 484 ราย (National Statistical Office, 2020)

จากหลักการและเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ของธุรกิจรีสอร์ท ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยการเลือกตัวอย่างแบบสุ่มจากผู้ประกอบการรีสอร์ท การสุ่มประชากร โดยกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างตามตารางของ ทาโร ยามาเน (Yamane, 1973) การวิเคราะห์ปัจจัยหลังจากการใช้งานระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ปัจจัยด้านการรับรู้ประโยชน์ และทำการเปรียบเทียบปัจจัยแบ่งตามขนาดของธุรกิจรีสอร์ท เพื่อทำให้เกิดการรับรู้ประโยชน์จากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ที่สามารถนำไปใช้จัดการด้านเทคโนโลยีระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการ

ขั้นตอนการวิจัยการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์สำหรับธุรกิจรีสอร์ทในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ผู้วิจัยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มประชากร ใช้มาตรวัดประมาณค่า และผ่านกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อนำมาใช้กับกลุ่มตัวอย่างเป็นประชากรในภาคธุรกิจรีสอร์ท ที่มีการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ในจังหวัดนครศรีธรรมราช เก็บข้อมูลผ่านทางระบบอินเทอร์เน็ตในช่วงระหว่างเดือน มกราคม ถึงเดือน เมษายน ในปี พ.ศ. 2565 จำนวนแบบสอบถามที่ได้จำนวน 250 ชุด แล้วนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมสำเร็จรูป โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน (Sukcharoen, 2019)

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 – 5.00 หมายความว่า มีอิทธิพลมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.50 – 4.49 หมายความว่า มีอิทธิพลมาก

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.50 – 3.49 หมายความว่า มีอิทธิพลปานกลาง

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.50 – 2.49 หมายความว่า มีอิทธิพลน้อย

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 – 1.49 หมายความว่า มีอิทธิพลน้อยที่สุด

การประเมินโดยใช้แบบสอบถามที่มีลักษณะแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) โดยมีการให้คะแนนรวมเป็นแบบอันดับจากชั้น ที่มีต่อด้านต่าง ๆ จำนวน 2 ด้าน ดังนี้

1. ด้านการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ จำนวน 6 ข้อ
2. ด้านการรับรู้ประโยชน์ จำนวน 4 ข้อ

ขั้นตอนวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบปัจจัยการใช้เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยวิธีการเปรียบเทียบกลุ่มตัวแปร ใช้สถิติแบบเพียร์สัน (Pearson Chi-Square) การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางเดียว F-test (One-Way ANOVA) และทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่ด้วยวิธีของ Scheffit

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปในการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์สำหรับธุรกิจรีสอร์ทในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช แบ่งตามขนาดของธุรกิจรีสอร์ท

ตารางที่ 1 ค่าความถี่ และค่าร้อยละข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 250 คน

ลำดับ	ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม	n = 250	
		ความถี่	ร้อยละ
1	ธุรกิจรีสอร์ทขนาดเล็ก (จำนวนห้องพักต่ำกว่า 20 ห้อง)	118	47.2
2	ธุรกิจรีสอร์ทขนาดกลาง (จำนวนห้องพัก 20-50 ห้อง)	105	42.0
3	ธุรกิจรีสอร์ทขนาดใหญ่ (จำนวนมากกว่า 50 ห้อง)	27	10.8
รวม		250	100

1. ผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากตารางที่ 1 พบว่าข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม มีผู้ตอบแบบสอบถามอยู่ในธุรกิจรีสอร์ทขนาดเล็ก จำนวนสูงสุด จำนวน 118 คน คิดเป็นร้อยละ 47.2 รองลงมาธุรกิจรีสอร์ทขนาดกลาง จำนวน 105 คน คิดเป็นร้อยละ 42 และผู้ตอบแบบสอบถามน้อยที่สุดอยู่ในธุรกิจรีสอร์ทขนาดใหญ่ มีจำนวน 27 คน คิดเป็นร้อยละ 10.8

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ของผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 250 คน

การใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
ด้านการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์			
1. ประยุกต์ใช้เพื่อการเกษตรในไรส์อร์ท	3.14	1.346	ปานกลาง
2. ประยุกต์ใช้เพื่อใช้กับระบบแสงสว่าง	4.00	1.149	มาก
3. ประยุกต์ใช้เพื่อระบบรักษาความปลอดภัย	4.28	0.933	มาก
4. ประยุกต์ใช้เพื่อรถไฟฟ้า	3.58	1.632	มาก
5. ประยุกต์ใช้เพื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในครัวเรือน	4.20	1.322	มาก
6. ประยุกต์ใช้เพื่อสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ	3.94	1.436	มาก
สรุป	3.856	1.303	มาก
ด้านการรับรู้ประโยชน์			
1. มีประโยชน์ต่อการประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้ามากขึ้น	4.43	0.993	มาก
2. มีประโยชน์ต่อการสำรองไฟฟ้ามากขึ้น	4.28	1.258	มาก
3. มีประโยชน์ใช้ในสถานที่ต่าง ๆ ได้สะดวกขึ้น	4.32	1.007	มาก
4. มีประโยชน์ต่อการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้มากขึ้น	3.74	1.620	มาก
สรุป	4.192	1.219	มาก

จากตารางที่ 2 พบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ได้แก่

1. ด้านการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ มีอิทธิพลอยู่ในระดับมาก พบว่าปัจจัยเกี่ยวกับประยุกต์ใช้เพื่อระบบรักษาความปลอดภัย มีค่าเฉลี่ยที่ 4.28 รองลงมาประยุกต์ใช้เพื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในครัวเรือน มีค่าเฉลี่ยที่ 4.20 และประยุกต์ใช้เพื่อการเกษตร มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดที่ 3.14 ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะในธุรกิจไรส์อร์ทมีการทำการเกษตรสำหรับการตกแต่งสถานที่เพื่อให้เกิดความสวยงามของสถานที่เท่านั้น จึงมีผลทำให้การประยุกต์ใช้ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ในธุรกิจไรส์อร์ทจึงมีอิทธิพลอยู่ในระดับปานกลาง

2. ด้านการรับรู้ประโยชน์ มีอิทธิพลอยู่ในระดับมาก พบว่าปัจจัยที่มีประโยชน์ต่อการประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้ามากขึ้น มีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.43 รองลงมาการรับรู้ประโยชน์ในสถานที่ต่าง ๆ ได้สะดวกขึ้น ค่าเฉลี่ยที่ 4.32 และมีประโยชน์ต่อการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้มากขึ้น มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดที่ 3.74 ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะในธุรกิจไรส์อร์ทมีการนำระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้กับอุปกรณ์ได้หลากหลายมากขึ้น มีความสะดวกและใช้งานได้ง่าย จึงมีผลทำให้การรับรู้ประโยชน์ มีอิทธิพลอยู่ในระดับมาก

2. ผลการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ แบ่งตามขนาดของธุรกิจรีสอร์ท

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ด้วยวิธีการเปรียบเทียบ กลุ่มตัวแปร แบ่งตามปัจจัยที่มีอิทธิพล
ต่อผู้ตอบแบบสอบถาม ด้านการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และด้านการรับรู้ประโยชน์ แบ่งตามขนาด
ของธุรกิจรีสอร์ท

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้งาน		จำนวนตัวอย่าง	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
ด้านการประยุกต์ใช้ พลังงานแสงอาทิตย์	รีสอร์ทขนาดเล็ก	118	3.80	0.068	มาก
	รีสอร์ทขนาดกลาง	105	3.87	0.066	มาก
	รีสอร์ทขนาดใหญ่	27	4.00	0.125	มาก
	รวม	250	3.85	0.676	มาก
ด้านการรับรู้ประโยชน์	รีสอร์ทขนาดเล็ก	118	4.15	0.596	มาก
	รีสอร์ทขนาดกลาง	105	4.18	0.587	มาก
	รีสอร์ทขนาดใหญ่	27	4.20	0.528	มาก
	รวม	250	4.17	0.583	มาก

จากตารางที่ 3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ แบ่งตามขนาดของ
ธุรกิจรีสอร์ท

ด้านการประยุกต์ใช้ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงาน
ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ มีอิทธิพลต่อการใช้งานอยู่ในระดับมาก ในธุรกิจรีสอร์ทขนาดใหญ่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00
รองลงมา ในธุรกิจรีสอร์ทขนาดกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.87 และน้อยที่สุดในธุรกิจรีสอร์ทขนาดเล็ก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.80

ด้านการรับรู้ประโยชน์ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า
จากแสงอาทิตย์ มีอิทธิพลต่อการใช้งานอยู่ในระดับมาก ในธุรกิจรีสอร์ทขนาดใหญ่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 รองลงมา
ในธุรกิจรีสอร์ทขนาดกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.18 และน้อยที่สุดในธุรกิจรีสอร์ทขนาดเล็ก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.15

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางเดียว F-test (One-Way ANOVA)

แหล่งความแปรปรวน		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1. ด้านการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์	ระหว่างกลุ่ม	0.915	2	0.458	0.999	0.370
	ภายในกลุ่ม	113.198	247	0.458		
	รวม	114.114	249			
2. ด้านการรับรู้ประโยชน์	ระหว่างกลุ่ม	0.065	2	0.032	0.095	0.910
	ภายในกลุ่ม	84.716	247	0.343		
	รวม	84.781	249			

* คำนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$

สมมติฐาน H_0 = ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ไม่แตกต่างกัน
 H_1 = ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ แตกต่างกัน

จากตารางที่ 4 พบว่า ด้านการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.370 และด้านการรับรู้ประโยชน์ ค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.910 มีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญทางสถิติ 0.05 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ด้านการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และด้านการรับรู้ประโยชน์ ในภาพรวมเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานที่ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 5 การทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่สัมพันธระหว่างตัวแปรปัจจัยต่าง ๆ ด้านการประยุกต์ใช้แบ่งตามขนาดของธุรกิจรีสอร์ท

ปัจจัยด้านการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์		จำนวนตัวอย่าง	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
1. ประยุกต์ใช้เพื่อการเกษตร	รีสอร์ทขนาดเล็ก	118	3.26	1.304	ปานกลาง
	รีสอร์ทขนาดกลาง	105	3.00	1.414	ปานกลาง
	รีสอร์ทขนาดใหญ่	27	3.11	1.251	ปานกลาง
	รวม	250	3.14	1.346	ปานกลาง
2. ประยุกต์ใช้เพื่อใช้กับระบบแสงสว่าง	รีสอร์ทขนาดเล็ก	118	3.88	1.171	มาก
	รีสอร์ทขนาดกลาง	105	4.07	1.137	มาก
	รีสอร์ทขนาดใหญ่	27	4.30	1.068	มาก
	รวม	250	4.00	1.149	มาก

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ปัจจัยด้านการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์		จำนวนตัวอย่าง	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
3. ประยุกต์ใช้เพื่อระบบรักษาความปลอดภัย	รีสอร์ทขนาดเล็ก	118	4.26	0.938	มาก
	รีสอร์ทขนาดกลาง	105	4.23	0.973	มาก
	รีสอร์ทขนาดใหญ่	27	4.59	0.649	มาก
	รวม	250	4.28	0.933	มาก
4. ประยุกต์ใช้เพื่อรถไฟฟ้า	รีสอร์ทขนาดเล็ก	118	3.53	1.637	มาก
	รีสอร์ทขนาดกลาง	105	3.67	1.609	มาก
	รีสอร์ทขนาดใหญ่	27	3.41	1.738	ปานกลาง
	รวม	250	3.58	1.632	มาก
5. ประยุกต์ใช้เพื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในครัวเรือน	รีสอร์ทขนาดเล็ก	118	4.12	1.397	มาก
	รีสอร์ทขนาดกลาง	105	4.24	1.297	มาก
	รีสอร์ทขนาดใหญ่	27	4.37	1.079	มาก
	รวม	250	4.20	1.322	มาก
6. ประยุกต์ใช้เพื่อสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ	รีสอร์ทขนาดเล็ก	118	3.77	1.510	มาก
	รีสอร์ทขนาดกลาง	105	4.07	1.423	มาก
	รีสอร์ทขนาดใหญ่	27	4.22	1.050	มาก
	รวม	250	3.94	1.436	มาก

จากตารางที่ 5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ แบ่งตามขนาดของธุรกิจรีสอร์ท

ด้านการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ มีอิทธิพลอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเกี่ยวกับปัจจัยการประยุกต์ใช้เพื่อระบบรักษาความปลอดภัย มีค่าเฉลี่ยสูงสุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.59 ของธุรกิจรีสอร์ทขนาดใหญ่ รองลงมาเป็นปัจจัยการประยุกต์ใช้เพื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในครัวเรือน ในธุรกิจรีสอร์ทขนาดใหญ่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 และน้อยที่สุดในธุรกิจรีสอร์ทขนาดกลาง ประยุกต์ใช้สำหรับเพื่อการเกษตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00

สรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ ในธุรกิจรีสอร์ทตามขนาดต่าง ๆ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการบริการในรีสอร์ทได้เป็นอย่างดีและมีอิทธิพลอยู่ในระดับมาก เห็นได้จากการประยุกต์ใช้ในด้านความปลอดภัย ที่เป็นเช่นนี้อาจเพราะว่าระบบรักษาความปลอดภัยจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าได้ตลอด 24 ชั่วโมง ที่สอดคล้องกับประยุกต์ใช้ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์สามารถจัดเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ แล้วนำมาใช้สำรองในเวลาที่ไฟฟ้าดับ เนื่องจากจังหวัดนครศรีธรรมราชมีช่วงฤดูมรสุมเป็นระยะเวลา 8 เดือน ทำให้เกิดโอกาสไฟฟ้าขัดข้องได้ง่าย (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2018)

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางเดียว F-test (One-Way ANOVA)

แหล่งความแปรปรวน		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1. ประยุกต์ใช้เพื่อการเกษตร	ระหว่างกลุ่ม	3.853	2	1.927	1.063	0.347
	ภายในกลุ่ม	447.523	247	1.812		
	รวม	451.376	249			
2. ประยุกต์ใช้เพื่อใช้กับระบบแสงสว่าง	ระหว่างกลุ่ม	4.494	2	2.247	1.710	0.183
	ภายในกลุ่ม	324.502	247	1.314		
	รวม	328.996	249			
3. ประยุกต์ใช้เพื่อระบบรักษาความปลอดภัย	ระหว่างกลุ่ม	2.947	2	1.474	1.702	0.184
	ภายในกลุ่ม	213.889	247	0.866		
	รวม	216.836	249			
4. ประยุกต์ใช้เพื่อรถไฟฟ้า	ระหว่างกลุ่ม	1.840	2	0.920	0.344	0.710
	ภายในกลุ่ม	661.216	247	2.677		
	รวม	663.056	249			
5. ประยุกต์ใช้เพื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในครัวเรือน	ระหว่างกลุ่ม	1.713	2	0.857	0.488	0.615
	ภายในกลุ่ม	433.683	247	1.756		
	รวม	435.396	249			
6. ประยุกต์ใช้เพื่อสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ	ระหว่างกลุ่ม	7.194	2	3.597	1.756	0.175
	ภายในกลุ่ม	506.022	247	2.049		
	รวม	513.216	249			

* คำนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$

สมมติฐาน H_0 = ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ไม่แตกต่างกัน

H_1 = ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ แตกต่างกัน

จากตารางที่ 6 พบว่า ค่าทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปัจจัยต่าง ๆ ด้านการประยุกต์ใช้ในภาพรวมมีค่ามากกว่า คำนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ด้านการประยุกต์ใช้ แบ่งตามขนาดของธุรกิจรีสอร์ท ในภาพรวมมีอิทธิพลต่อการใช้งานที่ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 7 การทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่สัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปัจจัยต่าง ๆ ด้านการรับรู้ประโยชน์จากการใช้งานระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ แบ่งตามขนาดของธุรกิจรีสอร์ท

ปัจจัยด้านการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์	จำนวนตัวอย่าง	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
1. การประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้ามากขึ้น				
รีสอร์ทขนาดเล็ก	118	4.37	1.052	มาก
รีสอร์ทขนาดกลาง	105	4.44	1.009	มาก
รีสอร์ทขนาดใหญ่	27	4.67	0.555	มาก
รวม	250	4.43	0.993	มาก
2. การสำรองไฟฟ้ามากขึ้น				
รีสอร์ทขนาดเล็ก	118	4.21	1.326	มาก
รีสอร์ทขนาดกลาง	105	4.36	1.170	มาก
รีสอร์ทขนาดใหญ่	27	4.22	1.311	มาก
รวม	250	4.28	1.258	มาก
3. ใช้ในสถานที่ต่าง ๆ ได้สะดวกขึ้น				
รีสอร์ทขนาดเล็ก	118	4.23	1.025	มาก
รีสอร์ทขนาดกลาง	105	4.38	1.023	มาก
รีสอร์ทขนาดใหญ่	27	4.48	0.849	มาก
รวม	250	4.32	1.007	มาก
4. การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้มากขึ้น				
รีสอร์ทขนาดเล็ก	118	3.87	1.556	มาก
รีสอร์ทขนาดกลาง	105	3.64	1.722	มาก
รีสอร์ทขนาดใหญ่	27	3.59	1.500	มาก
รวม	250	3.74	1.620	มาก

จากตารางที่ 7 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ด้านการรับรู้ประโยชน์แบ่งตามขนาดของธุรกิจรีสอร์ท พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ด้านการรับรู้ประโยชน์ มีอิทธิพลต่อการใช้งานอยู่ในระดับมาก ปัจจัยเกี่ยวกับการประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้ามากขึ้น ในธุรกิจรีสอร์ทขนาดใหญ่ รองลงมา ในธุรกิจรีสอร์ทขนาดกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.44 และน้อยที่สุดในธุรกิจรีสอร์ทขนาดเล็ก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 และปัจจัยด้านการรับรู้ประโยชน์ รองลงมาเป็นปัจจัยเกี่ยวกับการใช้สถานที่ต่าง ๆ ได้สะดวกขึ้น ในธุรกิจรีสอร์ทขนาดใหญ่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 รองลงมา ในธุรกิจรีสอร์ทขนาดกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.38 และน้อยที่สุดในธุรกิจรีสอร์ทขนาดเล็ก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.23

สรุปได้ว่าปัจจัยด้านการรับรู้ประโยชน์ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในธุรกิจรีสอร์ทตามขนาดต่าง ๆ สามารถก่อให้เกิดประโยชน์กับธุรกิจรีสอร์ทได้เป็นอย่างดี มีอิทธิพลต่อการใช้งานอยู่ในระดับมาก เห็นได้จากประโยชน์จากการประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้ามากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเพราะธุรกิจรีสอร์ทมีต้นทุนจากการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างสูง และเมื่อนำระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในรีสอร์ท จึงมีผลทำให้ลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้าได้

สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่หลากหลาย จึงมีผลทำให้ค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้าลดลง

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางเดียว F-test (One-Way ANOVA) ด้านการรับรู้ประโยชน์จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

แหล่งความแปรปรวน		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1. ประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้ามากขึ้น	ระหว่างกลุ่ม	1.903	2	0.952	0.965	0.382
	ภายในกลุ่ม	243.441	247	0.986		
	รวม	245.344	249			
2. สำรองไฟฟ้ามกขึ้น	ระหว่างกลุ่ม	1.338	2	0.669	0.421	0.657
	ภายในกลุ่ม	392.618	247	1.590		
	รวม	393.956	249			
3. ใช้ในสถานที่ต่าง ๆ ได้สะดวกขึ้น	ระหว่างกลุ่ม	2.075	2	1.038	1.024	0.361
	ภายในกลุ่ม	250.325	247	1.013		
	รวม	252.400	249			
4. การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้มากขึ้น	ระหว่างกลุ่ม	3.757	2	1.878	0.714	0.491
	ภายในกลุ่ม	649.859	247	2.631		
	รวม	653.616	249			

* คำนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$

สมมติฐาน H_0 = ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ไม่แตกต่างกัน
 H_1 = ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ แตกต่างกัน

จากตารางที่ 8 พบว่า ปัจจัยด้านการรับรู้ประโยชน์ในภาพรวมมีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญทางสถิติ 0.05 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ด้านการรับรู้ประโยชน์ในภาพรวมมีอิทธิพลต่อการใช้งานที่ไม่แตกต่างกัน

การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์สำหรับธุรกิจรีสอร์ทในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่ามีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ มีอิทธิพลอยู่ในระดับมาก โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานจากการประยุกต์ใช้สำหรับระบบรักษาความปลอดภัยและอุปกรณ์ไฟฟ้าในครัวเรือนอยู่ในระดับมาก และประยุกต์ใช้เพื่อการเกษตรของรีสอร์ทอยู่ในระดับปานกลาง เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะว่า อุปกรณ์ทางการเกษตรเป็นอุปกรณ์ที่กินกระแสไฟค่อนข้างสูงจึงมีผลทำให้การสำรองไฟฟ้าสามารถใช้งานในระยะสั้นและการผลิตสามารถใช้งานได้ในช่วงเวลาที่มีแสงสว่างที่เพียงพอ จึงจะสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับ

งานวิจัยของ Rungtaweetchai (2019) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ การติดตั้งปั้มน้ำโซลาร์เซลล์สำหรับการเกษตรเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน พบว่าการติดตั้งระบบปั้มน้ำโซลาร์เซลล์กับแบตเตอรี่ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในการทดลองต่อระบบสูบน้ำที่กินกระแสสูง มีผลให้ประสิทธิภาพของปั้มน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว และจากการเปรียบเทียบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ด้านการรับรู้ประโยชน์กับด้านการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ผลเปรียบเทียบพบว่าปัจจัยการประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าและความสะดวกในการใช้งานตามสถานที่ต่าง ๆ มีอิทธิพลต่อรีสอร์ทขนาดใหญ่อยู่ในระดับมาก เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะว่าเทคโนโลยีระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงอื่นใดนอกจากแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้เปล่า จึงทำให้มีผลต่อการใช้งานไฟฟ้าสำหรับภาคธุรกิจ มีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการประหยัดค่าใช้จ่ายและการซ่อมแซมง่าย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yiemwattana (2018) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับบ้านต้นแบบประหยัดพลังงานที่ใช้โซลาร์เซลล์ ที่พบว่าบ้านประหยัดพลังงานที่ผ่านเกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลังงาน โดยมีค่าการประเมินอยู่ในระดับดีเด่น รวมทั้งได้รับการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ในเรื่องงบประมาณในการลงทุนติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์โดยบ้านทั้ง 4 หลังนี้จะสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 7-9 ปี

สรุป

สรุปได้ว่าผู้ประกอบการมีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์สำหรับธุรกิจรีสอร์ทในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชในปัจจัยต่าง ๆ มีอิทธิพลอยู่ในระดับมาก ปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงสุดเป็นปัจจัยเกี่ยวกับการประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้า และเกี่ยวกับความสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์ และเมื่อเปรียบเทียบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้งานแบ่งตามขนาดของธุรกิจ พบว่าในธุรกิจรีสอร์ทขนาดใหญ่ มีการนำระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ไปใช้ร่วมกับระบบรักษาความปลอดภัยของรีสอร์ท และประยุกต์ใช้เพื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในครัวเรือน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ เป็นเทคโนโลยีที่มีอิทธิพลต่อการใช้งาน และเกิดประโยชน์ต่อภาคธุรกิจรีสอร์ทอย่างแท้จริง สอดคล้องกับนโยบายของกระทรวงพลังงานประเทศไทย (Ministry of Energy, 2022) ที่มีการส่งเสริมให้ภาคธุรกิจมีส่วนร่วมในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ปรากฏชัดเจนเป็นรูปธรรม ช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่เป็นต้นทุนสำคัญของภาคธุรกิจ

เอกสารอ้างอิง

- Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2018) **Comprehensive report**. Project to develop and reconcile the declining energy plan from photographs satellite for thailand. Silpakorn University Press. (In Thai)
- Energy Policy and Planning Office. (2022). Summary of the energy situation during the Jan-Apr 2022. **Articles of energy overview**. n.d. 34-35. (In Thai)
- Ministry of Energy. (2022). Project to produce electricity from solar energy. **Articles of the development of renewable energy**. n.d. 3-10. (In Thai)
- Ministry of Energy.(2022). **People's solar**. Retrieved from http://app.energy.go.th/pages/news_detail.php?id=353 [2022, 15 Apr.] (In Thai)

- National Science and Technology Development Agency. (2021). **Action plan for driving the Development of Thailand with the economic model BCG 2021-2027**. Retrieved from <https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/bcg/BCG-Actioion-Plan.pdf> [2022, 10 Apr.] (In Thai)
- National Statistical Office. (2020). **Explore accommodation 2020**. Retrieved from <http://www.nso.go.th/sites/2014/Pages> [2022, 9 August] (In Thai)
- Rungtaweechai, C. (2019). **Installation of solar cell water pumps for agriculture for sustainable development**. (Bachelor of Engineering). Industrial engineering Faculty of Engineering Chiang Mai University. Chiang Mai. (In Thai)
- Sukcharoen, W. (2019). **Market Research**. 2nd printing. Bangkok.. Chulalongkorn University Press. (In Thai)
- Yamane, T. (1973) **Statistics: An Introductory Analysis**. 3rd Edition, Harper and Row, New York.
- Yiemwattana, S. (2018). Energy-saving model house that uses solar cells. **Journal of Art and Architecture Naresuan University**. 9(1). 25-41. (In Thai)
-

การออกแบบเพื่อปรับปรุงการใช้พื้นที่ทาวน์เฮาส์สำหรับผู้สูงอายุ
กรณีศึกษาหมู่บ้านอยู่เจริญ บางเขน กรุงเทพมหานคร

DESIGNS TO IMPROVE TOWNHOUSE SPACE UTILIZATION FOR ELDERLY:
A CASE STUDY OF YOO CHAROEN VILLAGE, BANGKHEN, BANGKOK

จุฬาลักษณ์ ชาญกุล*

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

Chulalak Changul*

Department of Civil Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University,
Bangkok 10220

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

Received: 27-12-2021

Revised: 09-11-2022

Accepted: 14-11-2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้พื้นที่และสภาพแวดล้อมทางกายภาพในปัจจุบันของพื้นที่ภายในทาวน์เฮาส์ที่พักอาศัยของผู้สูงอายุและเพื่อออกแบบพื้นที่และปรับปรุงพื้นที่ทาวน์เฮาส์ให้เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ พื้นที่กรณีศึกษาเป็นทาวน์เฮาส์ 2 ชั้น โครงการหมู่บ้านอยู่เจริญ บางเขน กรุงเทพมหานคร โดยงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยประยุกต์ ใช้การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิและข้อมูลปฐมภูมิเกี่ยวกับผู้สูงอายุ และลักษณะเฉพาะของพื้นที่วิจัย จากนั้นสังเคราะห์ประเด็นการใช้งานพื้นที่ที่ควรปรับปรุงสำหรับผู้สูงอายุ มีการนำเสนอแนวความคิด และผลการวิจัยพฤติกรรมการใช้งานในพื้นที่ต่าง ๆ ของผู้สูงอายุพบว่า ผู้สูงอายุจะทำกิจกรรมประจำวันที่ชั้นหนึ่งของบ้านเป็นส่วนใหญ่ โดยจะใช้พื้นที่อยู่บริเวณโถงนั่งเล่นทำกิจกรรมที่ตนเองสนใจ และมีแนวโน้มในอนาคตที่จะย้ายที่นอนตอนกลางคืนจากชั้นสองลงมาชั้นหนึ่ง จากการสำรวจพบว่าปัญหาและอุปสรรคของการใช้พื้นที่ในหมู่บ้านอยู่เจริญในแต่ละหลังมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ได้แก่ ราวจัด ทางลาดหน้าบ้าน แสงสว่างและการระบายอากาศที่ดี โดยสาเหตุมาจากพื้นที่ไม่เหมาะสมกับการรองรับการใช้งานในวัยสูงอายุ มีบ้านหลายหลังมีความต้องการที่จะปรับปรุงบ้านแต่ยังไม่มีวางแผนสำหรับรองรับการอยู่อาศัยในวัยสูงอายุ ดังนั้นจึงเสนอแนะองค์ประกอบหลักที่ต้องการปรับปรุงหลัก 2 ประเด็น ได้แก่ ห้องนั่งเล่นและโถงนั่งเล่น และการออกแบบพื้นที่ห้องนอนสำหรับรองรับการย้ายห้องนอนในอนาคต

คำสำคัญ: ผู้สูงอายุ การปรับปรุงพื้นที่ทาวน์เฮาส์ การจัดสภาพแวดล้อม

ABSTRACT

The objectives of this research are (1) to study space usage behavior and physical environment of elderly residential townhouses (2) to design and improve the townhouses' area to be suitable for the elderly. The case study area is a 30 year old and 2-storey townhouse located in Yoo Charoen Village, Bang Khen, Bangkok. This applied research is based on the collection of secondary and primary information on the elderly and characteristics of the research area. After that, the area usage issues were synthesized in order to suitably improve for the elderly. The area conceptualization and research results on usage behavior in different areas were presented. The results of this study showed that usage behavior in various areas of the house that elderly mostly consume for daily activities is on the ground floor. Elderly will use the area in the living hall for interesting activities and tend to move the sleeping space at night from upstairs to downstairs. It was found that the problems and obstacles of using space in Yoo Charoen village residences are similar such as handrails, ramps, lighting and air ventilation. There are two main elements that need urgent improvement: the bathroom and the living hall, and the design of the bedroom area to accommodate the future bedroom relocation.

Keywords: Elderly, Townhouse renovation, Environmental management

บทนำ

ในปัจจุบันสังคมไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางอายุของประชากรโครงสร้างทางอายุของประชากรในประเทศไทยเห็นได้ชัดเจนว่าในระหว่างปี พ.ศ.2553 – พ.ศ.2583 สัดส่วนของประชากรวัยเด็กและวัยแรงงาน มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่สัดส่วนของประชากรสูงอายุ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจากการคาดการณ์การประมาณประชากรของประเทศไทย พ.ศ. 2553 – พ.ศ. 2583 โดยสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ พบว่าสัดส่วนประชากรสูงอายุจะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 13.2 ในปี พ.ศ.2553 เป็นร้อยละ 32.1 ในปี พ.ศ.2583 (Office of the National Economic and Social Development Council, 2016) การมีสัดส่วนประชากรผู้สูงอายุที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เห็นว่าประเทศไทยมีความจำเป็นที่จะต้องเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับการเป็นสังคมผู้สูงอายุเพราะความเสื่อมตามธรรมชาติของร่างกายและโรคประจำตัวเรื้อรังของผู้สูงอายุทำให้ผู้สูงอายุเป็นกลุ่มที่จะต้องได้รับการดูแลทั้งทางร่างกายและจิตใจที่แตกต่างไปจากประชากรในกลุ่มอื่น นอกจากนี้การปรับปรุงสภาพแวดล้อมและความเป็นอยู่ทางกายภาพให้ผู้สูงอายุยังคงสามารถเคลื่อนไหวได้ด้วยตนเอง ส่งผลให้ช่วยลดระยะเวลาที่ผู้สูงอายุจะต้องพึ่งพาการดูแลตนเองโดยผู้อื่นได้อีกด้วย

การศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลที่พักอาศัยของผู้สูงอายุในเอเชียพบว่า ผลจากการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมที่มีความทันสมัยมากขึ้น วิถีชีวิตที่เปลี่ยนไปทำให้แบบแผนการอยู่อาศัยของผู้สูงอายุเริ่มเปลี่ยนแปลง สังคมและค่านิยมที่คนสมัยนี้บุตรน้อยลง ทำให้ผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่ร่วมกันกับลูกทิศทางแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ผู้สูงอายุมีแนวโน้มที่จะพักอาศัยคนเดียวหรืออยู่ลำพังกับผู้สูงอายุเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน (Chuanwan et al., 2020) สัดส่วนการเลือกที่พักอาศัยของผู้สูงอายุจากงานวิจัยของ Khamsook & Jarutat (2020) พบว่าผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่ใน

ที่อยู่อาศัยประเภททาวน์เฮาส์มีสัดส่วนร้อยละ 39.4 ซึ่งเป็นอันดับสองรองจากบ้านเดี่ยว (ร้อยละ 50.9) ผู้สูงอายุทุกระดับรายได้ ส่วนใหญ่มีระยะเวลาที่พักอาศัย ณ ที่อยู่อาศัยปัจจุบัน เป็นเวลามากกว่า 20 ปี หลังเกษียณอายุผู้สูงอายุทุกระดับรายได้ ส่วนใหญ่เลือกที่อยู่อาศัยเดิม และมีภาพรวมของความต้องการในการปรับปรุงที่อยู่อาศัยสูงถึงร้อยละ 50.7 ในขณะที่อีกส่วนหนึ่ง ร้อยละ 20 ได้ปรับปรุงไปไปแล้ว อย่างไรก็ตามการปรับปรุงทาวน์เฮาส์ให้เอื้อต่อผู้สูงอายุย่อมมีความจำเป็น ด้วยเหตุผลที่ผู้สูงอายุที่มีข้อจำกัดทางด้านสมรรถนะร่างกาย ทำให้การดำรงชีวิตเต็มไปด้วยข้อจำกัดที่จะส่งผลต่อความปลอดภัยและความสะดวกสบายในการดำรงชีวิต การออกแบบเพื่อมวลชนจึงเป็นแนวทางที่จะถูกนำมาใช้ในการออกแบบในงานวิจัยนี้ ภายใต้ 5 องค์ประกอบได้แก่ 1) การเข้าถึงแบบเสรี (Open Access) เอื้อให้คนทุวัยสามารถเข้าถึงได้อย่างสะดวก เน้นพื้นที่เปิดโล่งมีความสะดวกในการใช้งานที่มีความปลอดภัย (2) เจ้าของบ้านหลายคน (Multiple Masters) ควรจัดให้มีพื้นที่สำหรับคนทุวัย (3) เพิ่มเติมห้องสุขา (Suite Additions) เพิ่มพื้นที่ส่วนตัวแบบเสรีจรรยาในห้องเดียว (4) ปัจจัยด้านความเป็นส่วนตัว (Privacy Factors) การมีพื้นที่ส่วนกลางสำหรับใช้ร่วมกันของคนในครอบครัวและ (5) ความสามารถในการปรับเปลี่ยน (Flex Potential) ควรเน้นการตกแต่งห้องที่สามารถปรับเปลี่ยนการใช้งานได้ในอนาคต เป็นต้น (Suchai, 2017)

ทาวน์เฮาส์หมู่บ้านอยู่เจริญ สะพานใหม่ เขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพมหานคร เป็นหมู่บ้านจัดสรรเก่าเริ่มต้นก่อสร้างและเข้าพักอาศัยในช่วงปี พ.ศ. 2532 – 2533 อายุประมาณของหมู่บ้านนับถึงปัจจุบันประมาณ 32 ปี (นับถึงปี พ.ศ. 2564) มีจำนวนครัวเรือนรวมทั้งสิ้นประมาณ 331 หลัง ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะศึกษาแนวทางการปรับปรุงรูปแบบการใช้งานทาวน์เฮาส์เพื่อให้เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุมากขึ้น โดยใช้พื้นที่หมู่บ้านอยู่เจริญ เขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพมหานคร เป็นพื้นที่ศึกษาเนื่องจากเป็นหมู่บ้านที่มีอายุการก่อสร้างที่ยาวนานและยังไม่ได้ออกแบบให้รองรับการใช้งานของผู้สูงอายุ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้พื้นที่และสภาพแวดล้อมทางกายภาพปัจจุบันของพื้นที่ภายในทาวน์เฮาส์ที่พักอาศัยของผู้สูงอายุและเพื่อออกแบบปรับปรุงพื้นที่ทาวน์เฮาส์ที่สร้างมาอยู่แล้วให้เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุที่ยังสามารถช่วยเหลือตนเองได้และนำเสนอต่อชุมชนต้นแบบต่อไป

วิธีการ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยประยุกต์ (Applied research) ซึ่งเป็นลักษณะของการวิจัยที่มุ่งนำผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยไปใช้ในการปฏิบัติพัฒนาปรับปรุง ผลการปฏิบัติงานขององค์กรให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุดและนำไปใช้ในทางปฏิบัติ หรือเป็นการนำเอาความรู้และวิธีการต่าง ๆ ที่ได้จากงานวิจัยพื้นฐานมาประยุกต์ใช้อีกต่อหนึ่ง (Brown, 2015; Krueger, 2015) โดยในงานวิจัยนี้จะเน้นการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากหนังสือ บทความ วารสาร เอกสาร รายงานผลการวิจัย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งที่เป็นรูปเล่มและเอกสารออนไลน์เกี่ยวกับผู้สูงอายุและนำมาวิเคราะห์ร่วมกันกับลักษณะเฉพาะของพื้นที่วิจัย รวมถึงศึกษาพฤติกรรมการใช้พื้นที่ภายในบ้านและสภาพแวดล้อมทางกายภาพในปัจจุบันของพื้นที่วิจัย จากนั้นสังเคราะห์ประเด็นการใช้งานพื้นที่ที่ควรปรับปรุงสำหรับผู้สูงอายุร่วมกับข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับผู้สูงอายุที่ได้ศึกษามาแล้วในขั้นต้น โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อออกแบบต้นแบบพื้นที่เพื่อเป็นประโยชน์และเป็นต้นแบบสำหรับชุมชนนำไปใช้งาน โดยมีวิธีการและขั้นตอนวิจัยโดยสังเขป ดังนี้

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล ในขั้นตอนนี้จะแบ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) ข้อมูลทุติยภูมิโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านต่าง ๆ จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบไปด้วย การศึกษาพฤติกรรมความต้องการใช้พื้นที่และอุปกรณ์ของผู้สูงอายุภายในบ้านและศึกษาพฤติกรรมของผู้สูงอายุ ข้อจำกัดทางด้านสมรรถนะของผู้สูงอายุ หลักการออกแบบเพื่อมวลชน การจัดพื้นที่ที่เหมาะสม และการเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ

เป็นต้น (2) การเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ เป็นข้อมูลที่ผู้วิจัยเก็บรวบรวมจากประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ตัวอย่างพบว่า มีผู้สูงอายุจำนวนทั้งสิ้น 118 คน ผู้วิจัยทำการสัมภาษณ์ผู้สูงอายุจำนวน 15 คน เข้าถึงพื้นที่ได้โดยการแจ้งวัตถุประสงค์งานวิจัยกับประธานหมู่บ้าน และมีผู้ประสานงานซึ่งเป็นตัวแทนหมู่บ้านได้ให้การแนะนำและพาเข้าถึงผู้สูงอายุและผู้ดูแล ลักษณะการสัมภาษณ์เป็นการสัมภาษณ์แบบไร้โครงสร้าง (Unstructured Interview) (Jiteua & Pasunon, 2018) ซึ่งเป็นการสัมภาษณ์มีความยืดหยุ่นและไม่เป็นทางการ ทำให้คำถามสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสถานการณ์และเหมาะสมสำหรับผู้สัมภาษณ์แต่ละคน ใช้เวลาในการสัมภาษณ์ประมาณ 15-20 นาที โดยประเด็นและแนวคำถามในการสัมภาษณ์ครอบคลุมในด้านต่าง ๆ ดังนี้ รูปแบบการดำรงชีวิต (อยู่คนเดียว/อยู่กับคู่ชีวิต/อยู่กับลูกหลาน) ข้อมูลลักษณะการอยู่อาศัย การใช้เวลาในแต่ละพื้นที่ภายในบ้าน และปัญหาที่พบได้กับการดำรงชีวิต (เช่น ปัญหาที่เกี่ยวข้องด้านสุขภาพร่างกาย/สภาพจิตใจ) ปัญหาและอุปสรรคในการใช้งานพื้นที่และความต้องการในการปรับปรุงพื้นที่หรือเพิ่มเติมสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ โดยนักวิจัยเป็นผู้ทำหน้าที่จดบันทึกคำตอบทั้งหมดของผู้ถูกสัมภาษณ์ลงในแบบสัมภาษณ์ด้วยตนเอง นอกจากนี้ยังมีการเก็บข้อมูลจากการสังเกตพฤติกรรมการใช้ของผู้สูงอายุ โดยการเข้าสำรวจพื้นที่ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 2 สัปดาห์เพื่อดูวิถีการดำรงชีวิต การตื่นนอน การออกกำลังกายและสังคมของผู้สูงอายุในพื้นที่ศึกษา

2. การสำรวจด้านกายภาพของพื้นที่ศึกษา ทำการศึกษารูปแบบเดิมของการออกแบบและการใช้พื้นที่ของพื้นที่กรณีศึกษา โดยการวัดขนาดพื้นที่ใช้สอยและองค์ประกอบที่สำคัญในส่วนต่าง ๆ ของบ้าน ด้วยการร่างแบบด้วยมือและบันทึกภาพด้วยการถ่ายภาพ สำรวจการใช้วัสดุต่าง ๆ อุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวก เป็นต้น

3. การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ การสัมภาษณ์และการสังเกตพฤติกรรม โดยทางผู้วิจัยใช้วิธีการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับทฤษฎี แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ได้รวบรวมมา เพื่อสังเคราะห์ รูปแบบเดิมของพื้นที่กรณีศึกษา บ่งชี้ปัญหาและจุดที่ควรปรับปรุงแก้ไข รวมถึงจุดที่ควรพัฒนาเพื่อทำให้การอยู่อาศัยได้รับความสะดวกสบายทั้งทางด้านร่างกายและจิตใจ

4. ออกแบบเพื่อแนวทางการปรับปรุงพื้นที่ในบ้านให้เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุโดยใช้แบบจำลองในคอมพิวเตอร์ และนำเสนอต้นแบบการออกแบบปรับปรุงพื้นที่ทาวนเฮาส์ที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุและปรับปรุงแก้ไขแบบตามข้อเสนอแนะ

สภาพแวดล้อมทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาที่ใช้ในครั้งนี้คือ ทาวน์เฮาส์หมู่บ้านอยู่เจริญ สะพานใหม่ ซอยพหลโยธิน 40 ถนน พหลโยธิน แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพมหานคร มีจำนวนครัวเรือนรวมทั้งสิ้นประมาณ 331 หลัง ผู้วิจัยได้เข้าทำการสำรวจอาคารดั้งเดิมของหมู่บ้านอยู่เจริญที่ยังไม่เคยถูกปรับปรุง จำนวนรวมทั้งสิ้น 5 หลัง ซึ่งทุกหลังจะมีรูปแบบลักษณะของบ้านในลักษณะเดียวกัน หมู่บ้านอยู่เจริญเป็นหมู่บ้านเก่าแก่ เริ่มต้นก่อสร้างและเข้าพักอาศัยในช่วงปี พ.ศ. 2532 – 2533 อายุประมาณของหมู่บ้านนับถึงปัจจุบันประมาณ 32 ปี (นับถึงปี พ.ศ. 2564) เป็นลักษณะของอาคารคอนกรีต 2 ชั้น ใช้ผนังบ้านและรั้วด้านข้างร่วมกัน พื้นที่ใช้สอยโดยประมาณ 29-31 ตารางวา หน้ากว้าง 6.50 เมตร เปิดประตูด้านหน้า 3.00 เมตร เพื่อเข้าเป็นที่จอดรถ และอีกด้านกว้าง 3.50 เมตร เป็นลานหน้าบ้าน อาคารดั้งเดิมของหมู่บ้านอยู่เจริญที่ยังไม่เคยถูกปรับปรุง จะชั้นหนึ่งปูพื้นด้วยกระเบื้อง และชั้นสองปูพื้นด้วยไม้ปาเก้ องค์ประกอบภายในบ้านและการใช้พื้นที่ภายในบ้าน ประกอบด้วย ชั้นหนึ่งมี 1 ห้องนอนประสงค์ ห้องครัว ห้องแม่บ้าน ห้องน้ำ 1 ห้อง ลานซักล้างด้านหลังบ้าน จอดรถในบ้านได้ 1 คัน พร้อมระเบียงหน้าบ้านมีที่นั่งรับลมได้ ชั้นสอง มี 3 ห้องนอน

ประกอบด้วยห้องนอนใหญ่ 1 ห้อง และห้องนอนเล็ก 2 ห้อง ห้องน้ำ 1 ห้อง และมีระเบียงด้านหน้าบ้าน แผนผังการใช้พื้นที่ชั้นหนึ่งและชั้นที่สองของทาวน์เฮาส์ แสดงได้ดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2



ภาพที่ 1 แปลนพื้นที่ 1 (ก) และ แปลนพื้นที่ 2 (ข)



ภาพที่ 2 บริเวณภายนอกบ้าน (ก) และทางลาดหน้าบ้าน (ข)

ทางลาดหน้าบ้านเชื่อมระหว่างพื้นที่บ้านและถนนหลักมีหลายรูปแบบ บางหลังใช้เทคอนกรีตหยาบ ไม่ขัดมัน ไม่ปูกระเบื้อง ในขณะที่บางหลังใช้แผ่นกระเบื้องปูพื้นทางลาด ไม่มีราวจับทั้งสองด้าน ลักษณะวัสดุกรุพื้นผิวทางลาดเป็นกระเบื้อง มีความมันวาว มีความฝืดค่อนข้างต่ำ

ประตูทางเข้าหน้าบ้านเชื่อมต่อกับลานจอดรถ ลักษณะเป็นประตูสองชั้น ประตูสวิงบานไม้ มือจับเป็นลูกบิด อีกชั้นหนึ่งเป็นประตูมุ้งลวดเหล็กดัดกันยุง มือจับประตูเป็นกลอนล้อคสลัก เมื่อเปิดประตูจะเชื่อมต่อกับพื้นที่โถงของบ้าน ความต่างระดับของพื้นหน้าบ้านกับตัวบ้านเท่ากับ 7 เซนติเมตร ปัญหาที่พบจากการใช้ลูกบิดประตูลักษณะนี้คือพบว่าค่อนข้างมีปัญหาการใช้ลูกบิดประตู ผู้สูงอายุให้เหตุผลว่าต้องใช้แรงมากขึ้น ใช้แรงข้อมือในการบิดและมืออื่นไม่สามารถจับลูกบิดได้ถนัด นอกจากนี้ยังพบว่าด้วยการใช้พื้นที่ด้านประตูเชื่อมต่อกับพื้นที่จอดรถ เมื่อมีรถจอดภายในบ้านพื้นที่จะค่อนข้างแคบ ทำให้จะต้องแทรกตัวเข้ามาเพื่อเข้าถึงประตูเข้าบ้าน ผู้สูงอายุไม่สามารถเดินได้อย่างสะดวกทำให้อาจเกิดอุบัติเหตุได้ (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ประตูทางเข้าบ้านที่เชื่อมต่อกับลานจอดรถค่อนข้างแคบ

ภายในบ้านเป็นพื้นที่ห้องโถงนั่งเล่น ขนาด 30.45 ตารางเมตร (ภาพที่ 4) สามารถเข้าออกได้ด้วยประตูเพียงด้านเดียว อีกด้านหนึ่งของประตูเป็นบานหน้าต่างทรงสูง บานกระทุ้ง เปิดเชื่อมต่อไปยังบรรยากาศหน้าบ้าน จากการสำรวจบ้านทุกหลังใช้พื้นที่บริเวณโถงสองด้านนี้ เป็นพื้นที่เอนกประสงค์ สำหรับนั่งทำงานและเป็นห้องนั่งเล่นดูทีวี เป็นจุดรวมตัวของครอบครัว สภาพแสงภายในบ้านเมื่อไม่ได้เปิดไฟค่อนข้างมืดสลัว มีความแตกต่างของระดับแสงทั้งวันค่อนข้างมาก มีความวูบไหว เปลี่ยนสภาพไปตามการแสงแดดภายนอก



(ก)



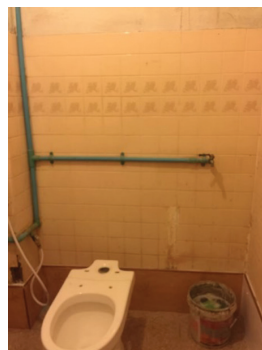
(ข)

ภาพที่ 4 พื้นที่เอนกประสงค์ภายในห้องโถงนั่งเล่นชั้น 1 (ก) และ ประตูเข้าออกได้ประตูเดียว (ข)

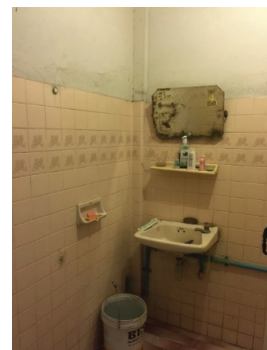
ห้องน้ำจะเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับโถงนั่งเล่น มีขนาด 2.00 x 1.75 เมตร ระดับพื้นในห้องน้ำเป็นระดับเดียวกันหมด ประตูเป็นบานสวิง ผลักเข้าไปด้านในห้องน้ำ มีอ่างล้างมือ มีอ่างล้างมือ ก๊อกน้ำแบบหมุน ภายในห้องน้ำเป็นพื้นกระเบื้องขนาดเล็ก ไม่มีการแบ่ง ส่วนเปียกและส่วนแห้ง ทำให้เมื่ออาบน้ำพื้นที่ทั้งห้องน้ำจะเปียกทั่วถึงกันหมด โถส้วมเป็นลักษณะชักโครก คันชำระแบบกดด้านหลัง ไม่มีราวจับบริเวณผนังที่จะสามารถช่วยพยุงตัวในการเดินได้ รวมถึงไม่มีการติดตั้งราวจับข้างโถส้วมเพื่อช่วยพยุงตัวขณะที่จะนั่งหรือลุกจากโถส้วม



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 5 สภาพห้องน้ำที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงในส่วนทางเข้าห้องน้ำ (ก) โถชักโครก (ข) และอ่างล้างมือ (ค)

พื้นที่ครัวและพื้นที่ซักล้างเชื่อมต่อกัน ครัวอยู่ในบริเวณเดียวกับห้องเก็บของ มีแสงสว่างจากหลอดไฟฟ้า และมีแสงสว่างจากแสงธรรมชาติซึ่งส่องเข้ามาทางกระเบื้องหลังคาแบบโปร่งแสง

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการศึกษาพฤติกรรมการใช้พื้นที่และสภาพแวดล้อมทางกายภาพในปัจจุบันของพื้นที่ภายในทาว์นเฮาส์ที่พักอาศัยของผู้สูงอายุ

จากการสำรวจข้อมูลผู้สูงอายุในพื้นที่ ข้อมูลจากการสอบถามอาสาสมัครสาธารณสุขกรุงเทพมหานคร (อสส.) คอยสำรวจและเก็บข้อมูลสุขภาพคนในหมู่บ้านในเดือนตุลาคม 2563 พบว่ามีจำนวนผู้สูงอายุ 118 คน โดยมากเป็นผู้สูงอายุที่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ มีเพียง 12 คนที่ไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ ผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่ในหมู่บ้านนี้ส่วนใหญ่เป็นข้าราชการเกษียณอายุ ลักษณะการรวมตัวอยู่อาศัยมีหลากหลาย เช่น อยู่อาศัยกันสองคนสามี-ภรรยา บางหลังมีบุตรหลานอาศัยอยู่ด้วย โดยพื้นฐานประชากรในหมู่บ้าน โดยมากเป็นผู้ที่อยู่ตั้งแต่หมู่บ้านเริ่มก่อสร้างใหม่ ทำให้มีความคุ้นเคย คุ้นหน้ากันเป็นอย่างดี ในหมู่บ้านมีอาสาสมัครสาธารณสุขกรุงเทพมหานคร (อสส.) หมั่นสำรวจและเก็บข้อมูลสุขภาพคนในหมู่บ้าน จากการสัมภาษณ์และสังเกตพฤติกรรมผู้สูงอายุ ได้ข้อมูลว่าในช่วงเช้าผู้สูงอายุส่วนมากจะตื่นนอนในช่วงเวลาประมาณ 5.00 – 6.00 น. หลังจากตื่นนอน ผู้สูงอายุบางคนมีกิจวัตรในการออกกำลังกายในเวลาเช้า บางคนกวาดถนนหน้าบ้าน ในช่วงเวลากลางวัน เป็นช่วงที่ทุกคนจะอยู่ในบ้านของตนเอง ไม่ค่อยออกมาพบปะสังสรรค์ หรือเดินไปมาระหว่างบ้าน แต่ละคนจะมีกิจกรรมที่แตกต่างกันออกไป ใช้เวลาในการนอนกลางวันโดยเฉลี่ย 1 ชั่วโมงหลังรับประทานอาหารกลางวัน จากนั้นจึงจะออกจากบ้านอีกครั้งในช่วงเวลาเย็นเพื่อออกกำลังกายและพบปะสังสรรค์ทักทาย โดยสรุปพื้นที่ใช้สอยที่ผู้สูงอายุใช้ในช่วงเวลากลางวัน (นับตั้งแต่ 6.00 – 19.00 น. รวม 14 ชั่วโมง) โดยเรียงลำดับตามระยะเวลาที่ใช้งานได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 พื้นที่ใช้สอยที่ผู้สูงอายุใช้ในช่วงเวลากลางวัน (นับตั้งแต่ 6.00 – 19.00 น. รวม 14 ชั่วโมง)

พื้นที่ภายในบริเวณบ้าน	เวลาที่ใช้ในพื้นที่โดยประมาณ (ชั่วโมง)	ขนาดพื้นที่ (ตารางเมตร)	ลักษณะกิจกรรม
โถงนั่งเล่น	10	26.95	ใช้ตลอดระยะเวลากลางวัน สำหรับนั่งดูทีวี พักผ่อน นอนกลางวัน
ออกนอกบ้าน	2	-	ออกกำลังกาย พบปะ พูดคุย กวาดลานหน้าบ้าน
ห้องน้ำ	1	5.4	อาบน้ำ เข้า - เย็นและเข้าห้องน้ำระหว่างวัน
ห้องครัว/กินข้าว	1	10.5	ห้องครัวมีไว้สำหรับเตรียมอาหารเท่านั้น โดยมากจะนำอาหารมารับประทานในโถงนั่งเล่น
โซนซักล้าง	0.5	16.25	ใช้ไม่บ่อย ไม่ได้ซักผ้าทุกวัน ไม่ได้ใช้งาน
ลานหน้าบ้าน/โรงจอดรถ	0.5	45	เพียงแค่เดินผ่านเพื่อออกนอกบ้านเท่านั้น

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าผู้สูงอายุใช้เวลาเกือบทั้งวันอยู่ที่โถงนั่งเล่น (ประมาณ 10 ชั่วโมง) ทำกิจกรรมตามความสนใจของตนเอง ซึ่งเวลาเกือบทั้งหมดคือการดูทีวี ผู้สูงอายุยังมีความต้องการการเข้าถึงชมและต้องการมีกิจกรรมร่วมกัน มักมีพฤติกรรมที่ขอบมองนอกบ้านเพื่อสำรวจผู้คนที่เดินผ่านไปมาเนื่องจากรู้สึกเหงาเมื่อต้องอยู่ในบ้านคนเดียว

จากการสอบถามความต้องการในการปรับปรุงที่อยู่อาศัยผู้สูงอายุ แม้ว่าจะเป็นกลุ่มผู้สูงอายุที่ยังช่วยตัวเองได้อยู่ ปัจจุบันกลุ่มตัวอย่าง 13 คน นอนที่ชั้น 2 ของบ้าน แต่มีการวางแผนที่จะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเป็นการนอนที่ชั้น 1 เนื่องจากอายุที่เพิ่มขึ้น เริ่มมีความวิตกกังวลถึงปัญหาสุขภาพในอนาคตอันใกล้ มีเพียง 2 คนที่นอนที่ชั้น 1 เนื่องจากปัญหาการปวดเข่าทำให้ไม่สามารถเดินลงชั้นบันไดได้อย่างสะดวก ด้านข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุยังไม่พบว่าผู้สูงอายุมีอุบัติเหตุใหญ่ที่ส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บทางร่างกาย มีเพียงอุบัติเหตุเล็กน้อย เช่น การสะดุดในขณะที่ก้าวเท้าขึ้นบ้านและเดินสะดุดเมื่อเดินผ่านพื้นต่างระดับหรือพื้นไม่เสมอกันแต่ไม่มีผลกระทบรุนแรง ในด้านข้อจำกัดในการดำรงชีวิตคือผู้สูงอายุไม่สามารถนั่งที่พื้นราบได้ เนื่องจากจะไม่สามารถลุกขึ้นได้ หรือหากลุกขึ้นจะใช้เวลานานและจำเป็นต้องหาที่ยึดเกาะเพื่อโหนตนเองขึ้นจากพื้น แม้กระทั่งการนั่งที่เก้าอี้เป็นเวลานาน เมื่อต้องการจะลุกเดินผู้สูงอายุจะต้องใช้เวลาระยะหนึ่งเพื่อค่อย ๆ ลุกและทรงตัวได้อย่างมั่นคงแล้วจึงก้าวเดินแต่จะไม่มีปัญหาเมื่อออกเดินได้แล้ว

ผลการศึกษาในส่วนนี้สรุปได้ว่าความต้องการหลักของผู้สูงอายุกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ต้องการปรับปรุงพื้นที่ชั้นล่างเพื่อเตรียมไว้รองรับการปรับเป็นห้องนอนในอนาคต การปรับปรุงห้องน้ำให้มีความปลอดภัยและสะดวกแก่การใช้งานมากขึ้น นอกจากนี้พฤติกรรมการใช้พื้นที่ห้องโถงเป็นระยะเวลาในระหว่างวันและความต้องการสังคมของผู้สูงอายุในชุมชนนี้เป็นเหตุผลหนึ่งซึ่งใช้ประกอบการออกแบบปรับปรุงพื้นที่ทาวนเฮาส์ให้เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุในชุมชนหมู่บ้านอยู่เจริญในงานวิจัยนี้

ผลการศึกษาการออกแบบและปรับปรุงพื้นที่ทาวนเฮาส์ให้เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ

จากข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิที่ได้ทำการรวบรวม ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการออกแบบและปรับปรุงที่อยู่อาศัยให้เหมาะสมกับผู้สูงอายุ ในการจัดเตรียมที่อยู่อาศัยให้เหมาะสมต่อสภาพการอยู่อาศัยของผู้สูงอายุ ต้องคำนึงถึงการ ใช้งานของผู้สูงอายุพร้อมผู้ดูแลหรืออุปกรณ์ช่วยเหลือต่าง ๆ ตามกรอบแนวคิดการออกแบบเพื่อทุกคน สำหรับการออกแบบจากผลการศึกษาครั้งนี้ วางแผนให้มีการออกแบบใน 3 รูปแบบ และนำผลการออกแบบให้กับผู้สูงอายุในพื้นที่ได้ให้ข้อคิดเห็น ทั้ง 3 รูปแบบแตกต่างกันในด้านระยะเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงอาคาร ประกอบไปด้วยการออกแบบปรับปรุงระดับต้น การออกแบบปรับปรุงระดับกลาง และการออกแบบปรับปรุงระดับสูง

การออกแบบปรับปรุงระดับต้น ในส่วนนี้ปรับปรุงเฉพาะส่วนที่จำเป็นต่อผู้สูงอายุ เพื่อเพิ่มความสะดวกและความปลอดภัยให้แก่ผู้สูงอายุ โดยไม่แตะต้องในส่วนโครงสร้าง สามารถปรับปรุงให้แล้วเสร็จได้ภายใน 3-5 วัน ได้แก่ การติดตั้งราวพุงตัวในห้องน้ำ การปรับเปลี่ยนประตู มือจับประตูและการติดตั้งพัดลมดูดอากาศ

การออกแบบปรับปรุงระดับกลาง มีการปรับเปลี่ยนส่วนของโครงสร้างผนังอาคารบางส่วน แต่สามารถปรับปรุงให้แล้วเสร็จได้ภายในระยะเวลาไม่เกิน 1-2 สัปดาห์ ได้แก่ การปรับปรุงห้องน้ำ เนื่องจากพื้นที่ห้องน้ำที่เป็นกรณีศึกษา ค่อนข้างแคบ ผู้วิจัยไม่แนะนำให้ใช้ประตูบานสวิงซึ่งจะทำให้กินพื้นที่ ควรปรับเปลี่ยนประตูห้องน้ำให้เป็นบานเลื่อนความกว้างอย่างน้อย 90 เซนติเมตร ปรับระดับพื้นห้องน้ำและทำการปูกระเบื้องใหม่ ด้วยกระเบื้องขนาดเล็กและมีรอยต่อจำนวนมากเพื่อลดแรงเสียดทานขณะผู้สูงอายุทำกิจกรรมภายในห้องน้ำ และปูพื้นด้วยพรมกันลื่นหรือพื้น

กันกระแทก (Ekparinya & Fusakul, 2021) ปรับเปลี่ยนสุขภัณฑ์ขนาดและตำแหน่งความสูงที่เหมาะสมสำหรับสรีระของผู้สูงอายุ การเปลี่ยนพื้นกระเบื้องทางลาดหน้าบ้านก็เป็นสิ่งจำเป็น จากการสำรวจพบว่า หลายบ้านใช้กระเบื้องพื้นทางลาดที่มีความลื่น ส่วนนี้เป็นส่วนของนอกตัวอาคาร มีโอกาสในการโดนฝนหรือน้ำจากการรดน้ำต้นไม้ซึ่งทำให้ลื่นมากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นช่องทางที่ผู้สูงอายุจำเป็นต้องใช้เข้าออกบ้านทุกวัน ผู้วิจัยจึงแนะนำให้เปลี่ยนกระเบื้องปูพื้นทางลาด เป็นกระเบื้องผิวหยาบ ปรับระดับทางลาดหน้าบ้านให้มีระยะทางลาด 1:12 หรือ 1:15 เพื่อให้ผู้สูงอายุสามารถเดินขึ้นลงได้ง่ายและสามารถรองรับการใช้เก้าอี้ล้อขึ้นลงได้ในอนาคต (Santiwes & Tongpong, 2017) และมีค่ากันลื่น (Slip Resistance Rating) ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกิจกรรมที่ผู้สูงอายุอาศัยเลือกใช้

การออกแบบปรับปรุงระดับสูง นอกจากข้อแนะนำในการปรับปรุงระดับต้นและระดับกลางที่ผู้วิจัยได้แนะนำแล้ว ผู้วิจัยแนะนำการปรับปรุงเพื่อรองรับการย้ายห้องนอนของผู้สูงอายุและการปรับปรุงพื้นที่สำหรับใช้ชีวิตประจำวันของผู้สูงอายุมีความจำเป็นเป็นอย่างยิ่ง ความแตกต่างที่เพิ่มเติมจากการปรับปรุงในสองระดับแรกมีรายละเอียดดังนี้

การเพิ่มตำแหน่งประตูทางออกที่ห้องโถงนั่งเล่น พื้นที่โถงนั่งเล่นเป็นพื้นที่ที่ผู้สูงอายุใช้บ่อยที่สุด ควรจัดทำให้มีขนาดเหมาะสมสำหรับการทำกิจกรรมร่วมกันของครอบครัว เพื่อให้ผู้สูงอายุจะได้เห็นบรรยากาศภายนอกได้ แม้จะอยู่ภายในบ้าน เป็นการกระตุ้นให้เกิดความสดชื่น มีชีวิตชีวา และปรับปรุงพื้นที่ห้องนั่งเล่นให้สามารถเชื่อมต่อกับภายนอกได้ ผู้สูงอายุสามารถมองเห็นบรรยากาศและผู้คนที่เดินไปมาด้านนอกได้โดยสะดวก สอดคล้องกับงานวิจัยของ boonwad & roonpho, 2017 ที่กล่าวว่าผู้สูงอายุยังต้องการสังคม การสร้างปฏิสัมพันธ์ทางสังคมกับบุคคลอื่นจะบรรเทาไม่ให้เกิดความโดดเดี่ยว คลายความเหงา การเจาะทะลุหน้าต่างเดิมในโถงนั่งเล่นจะทำให้มีประตูที่เชื่อมต่อกับลานหน้าบ้านโดยตรงกับพื้นที่ที่ทำกิจกรรมนอกพื้นที่หน้าบ้าน ทำให้เพิ่มศักยภาพพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการใช้งานในเชิงเนกประสงค์ ผู้สูงอายุสามารถทำกิจกรรมส่วนตัว มองบรรยากาศภายนอกบ้าน สามารถจัดบรรยากาศระหว่างภายในภายนอกให้ต่อเนื่องกันโดยไม่ตัดขาดพื้นที่ (Chaloeichanya & Jarutach, 2018) นอกจากนี้พื้นที่ประตูเข้าออกบ้านในปัจจุบันอยู่ติดกับพื้นที่จอดรถ หากมีรถจอดอยู่เมื่อเปิดออกมาจะชนกับพื้นที่จอดรถ ทำให้เกิดความแออัด ไม่โปร่งสบาย (ภาพที่ 3) การที่มีพื้นที่ที่ค่อนข้างจำกัด ทำให้เมื่อจะเข้า/ออกจากบ้านจะต้องมีจังหวะการเบี่ยงตัวออกให้พ้นจากท้ายรถที่กีดขวางอยู่ซึ่งอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุในผู้สูงอายุได้ การเปิดทางเข้าออกเพิ่มจึงจะทำให้ผู้สูงอายุสามารถเข้าออกได้อย่างสะดวกมากขึ้น แสดงดังแปลนหลังปรับปรุงในภาพที่ 6



(ก)



(ข)

ภาพที่ 6 การปรับเปลี่ยนการใช้พื้นที่และตำแหน่งของประตู แสดงการปรับปรุงแปลนพื้นที่ 1
และภาพจำลองห้องโถงเมื่อเพิ่มตำแหน่งประตูทางออก

ผู้วิจัยเสนอให้เตรียมปรับปรุงตำแหน่งของห้องนอนของผู้สูงอายุอยู่ชั้น 1 รองรับความต้องการในอนาคตที่จะย้ายมานอนชั้น 1 เพื่อป้องกันอุบัติเหตุจากการใช้บันได จากข้อมูลการสอบถามผู้สูงอายุที่เริ่มมีปัญหาด้านสุขภาพเข้าจากการวิเคราะห์พื้นที่ พบว่ามีพื้นที่ที่ว่างสองพื้นที่ คือ พื้นที่เอนกประสงค์หลังบ้านและพื้นที่โถงนั่งเล่นซึ่งมีขนาดค่อนข้างกว้าง ในกรณีนี้ผู้วิจัยแนะนำให้เตรียมพื้นที่ครึ่งหนึ่งในส่วนของโถงนั่งเล่นหน้าบ้านให้เป็นพื้นที่สำหรับห้องนอนผู้สูงอายุ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ไม่ลึกหรือลึบตาจนเกินไป อยู่ติดกับบันได เมื่อมีเหตุฉุกเฉิน สมาชิกในบ้านจะสามารถเข้าถึงได้โดยง่ายสำหรับประตูบ้านเดิมให้ทำการก่อกำหนดให้เป็นผนัง เพิ่มตำแหน่งประตูเข้าออกใหม่ทางด้านโถงของตัวบ้าน กั้นพื้นที่ด้วยการใช้ฉากกั้นหรือประตูพับเพื่อไม่ให้พื้นที่ดูแน่นและอึดอัดจนเกินไป แต่ยังสามารถกั้นพื้นที่ให้เป็นสัดส่วนได้อย่างสวยงาม มีน้ำหนักเบา เมื่อพับเก็บไม่กินพื้นที่ สามารถเชื่อมต่อกับพื้นที่โถงนั่งเล่นได้ จากข้อมูลที่ได้สอบถามผู้สูงอายุในงานวิจัยพบว่าแม้ว่าผู้สูงอายุจะยังสามารถช่วยเหลือตัวเองได้ แต่ผู้สูงอายุไม่สามารถนั่งหรือนอนบนพื้นราบเพราะไม่สามารถลุกขึ้นยืนได้ ต้องอาศัยการยึดจับราวหรือมีที่ยึดเหนี่ยว ดังนั้นเตียงนอนจึงเป็นเฟอร์นิเจอร์สำคัญในห้องนอนของผู้สูงอายุ ควรเลือกเตียงนอนที่มีความปลอดภัย สูงพอดีกับสรีระ (40-50 เซนติเมตร) มีรูปแบบฟูกยื่นออกมานอกโครงสร้างเตียง เพราะฟูกเป็นวัสดุที่นุ่มไม่ก่อให้เกิดอันตราย โดยช่วยในเรื่องการลดเหลี่ยมคมจากวัสดุที่มีความแข็งได้ (Dokbua, 2021)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 7 ภาพจำลองห้องโถงที่เชื่อมต่อห้องนอนด้วยประตูพับ (ก) และห้องโถงที่เชื่อมต่อบรรยากาศ
ออกสู่นอกตัวบ้าน (ข)

นอกจากนี้เพื่อความสะดวกในการเข้าออกของผู้สูงอายุเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งประตูเข้าออกตัวบ้านแล้ว ผู้วิจัยแนะนำให้การปรับปรุงรั้วบ้านไปในคราวเดียวกัน จากเดิมที่จะเห็นว่าด้านหนึ่งของรั้วบ้านเป็นรั้วคอนกรีต อีกด้านประตูรั้วเลื่อนสำหรับนำรถเข้าจอด (ภาพที่ 8) ซึ่งปัจจุบันหากจะเข้าออกในขณะที่มีรถจอดพื้นที่สำหรับเดิน เข้าออกแคบเกินไป แนะนำให้ปรับเปลี่ยนรั้วฝั่งที่เป็นรั้วคอนกรีต ให้เป็นประตูเพิ่มอีกด้าน ให้สามารถเข้าออกได้ ซึ่งจะเชื่อมพื้นที่เข้ากับประตูใหม่ที่ดีกับโถงนั่งเล่น ทำให้ผู้สูงอายุที่ใช้เวลาทำกิจกรรมทั้งวันในห้องนั้น สามารถมองเห็นบรรยากาศภายนอกได้ เชื่อมต่อพื้นที่ภายในบ้านออกสู่บรรยากาศด้านนอกอย่างต่อเนื่อง (Boonwad & Roonpho, 2017)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 8 รั้วบ้านเดิมที่เปิดได้ด้านเดียว (ก) และแนวทางการปรับปรุงประตูรั้วเข้าออกได้สองด้าน (ข)

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้พื้นที่และสภาพแวดล้อมทางกายภาพปัจจุบันของพื้นที่ภายในทาวน์เฮาส์ที่พักอาศัยของผู้สูงอายุ และเพื่อออกแบบปรับปรุงพื้นที่ทาวน์เฮาส์ที่สร้างมาอยู่แล้วให้เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุที่ยังช่วยเหลือตัวเองได้ จากการผลสำรวจข้อมูลสภาพพื้นที่และสภาพแวดล้อมทางกายภาพในปัจจุบันและด้านการใช้พื้นที่และพฤติกรรมของผู้สูงอายุพบว่าด้วยอายุการใช้งานของทาวน์เฮาส์ที่เกือบ 30 ปี ทำให้ในปัจจุบันมีหลายสิ่งที่ยังปรับปรุงเปลี่ยนแปลงไปบ้างแล้ว แต่พบว่าเป็นการปรับปรุงโดยที่ไม่ได้วางแผนสำหรับรองรับการอยู่อาศัยในวัยสูงอายุ ผลจากการสำรวจในงานวิจัยนี้พบว่าสำหรับผู้สูงอายุโดยมากมีการวางแผนที่จะปรับปรุงพื้นที่ชั้น 1 เป็นพื้นที่ห้องนอนในระยะเวลาอันใกล้เนื่องจากเริ่มเคลื่อนไหวไม่สะดวก สำหรับพฤติกรรมการใช้งานในพื้นที่ต่าง ๆ ในบ้านของผู้สูงอายุ พบว่า ผู้สูงอายุจะใช้เวลาส่วนมากในห้องโถงชั้น 1 ของบ้านเกือบทั้งวันเพื่อทำกิจกรรมที่ตนเองสนใจ ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงทาวน์เฮาส์ในงานวิจัยนี้แนะนำหลักการออกแบบเพื่อคนทุกคนหรือ universal design มาใช้ในการออกแบบปรับปรุงที่พักที่มีความเหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุบนพื้นฐานของความปลอดภัย สะดวกสบาย เอื้อต่อการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ โดยการวางตำแหน่งห้องนอนไว้เป็นที่อยู่อาศัยในอนาคต ในบริเวณชั้น 1 ของบ้าน มีการปรับผังการใช้งานของอาคาร ปรับเปลี่ยนตำแหน่งประตู หน้าต่าง เพื่อให้สะดวกเหมาะสมกับการใช้พื้นที่เพิ่มมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการออกแบบเพื่อปรับปรุงการใช้พื้นที่ทาวน์เฮาส์สำหรับผู้สูงอายุสำเร็จลงไปด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ผู้ให้ทุนสนับสนุนกองทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2562 ในครั้งนี้ ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้โดยได้รับความร่วมมือจากผู้สูงอายุในหมู่บ้านอยู่เจริญ สะพานใหม่ กรุงเทพฯ ฯ ที่ได้ให้ความเอื้อเฟื้อข้อมูลและอนุญาตให้ผู้วิจัยสำรวจพื้นที่บริเวณบ้านได้ รวมถึงการต้อนรับพูดคุยที่เป็นมิตรเสมอมา คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงสำหรับอาจารย์ปวีณา ปรีชญากุล และคุณแม่เพ็ญจันทร์ ปรีชญากุล ที่ช่วยดูแลแนะนำและพาเข้าพื้นที่หมู่บ้านอยู่เจริญ ขอขอบคุณ คุณดนัย ต่ายธานี สำหรับภาพประกอบในงานวิจัยเล่มนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาปรับปรุงที่อยู่อาศัยเป็นแนวคิดหรือทางเลือกให้กับผู้สูงอายุที่มีแนวทางที่จะปรับปรุงที่พักอาศัยของตนเองต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Boonwad, S. & RoonPho, P. (2017). **Health Care of Physically and Mentally of The Elders in Bangkhae District, Bangkok**. Creative RMUT and Sustainable Innovation for Thailand 4.0. The 9th Rajamangala University of Technology National Conference. 428-437. (In Thai).
- Brown, T. (2015). **Confirmatory Factor Analysis for Applied Research**. NY: A Division of Guilford.
- Chaloeichanya, L. & Jarutach, T. (2018). Design Guideline And Improvement Of Housing, Building And Outdoor Spaces For The Elderly In Suburban Zone : A Case Study Of Bueng Yitho Municipality , Pathum Thani Province. **Sarasatr academic journal**, 1(2). 325-336. (In Thai).
- Chatakarn, V. (2015). Action Research. **Suratthani Rajabhat Journal**, 2(1). 29-49. (In Thai).

- Chuanwan, S., Thianlai, K. & Thuenklin, P. (2020). **Living arrangements of the Thai elderly in urban area to support adequate dwelling and care**. Institute for Population and Social Research. Mahidol University. (In Thai).
- Dokbua, W. (2021). **Principal of Elderly Bedroom Design**. Retrieved from <https://www.dop.go.th/th/know/15/593>. [2021, 6 April]. (In Thai).
- Ekparinya, A. & Fusakul, S. (2011). Tile Surfaces forms against impact in Bathrooms for Elderly People. **Journal of the Faculty of Architecture King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**, 12(1), 45-56. (In Thai).
- Jituea, N. & Pasunon, P. (2018). The use of tools to collect research data for education, the implement of excellent schools. **Veridian E-Journal, Silpakorn University**, 11(2), 2118-2135. (In Thai).
- Khamsook, W. & Jarutat, T. (2020). Housing Renovation Demand of Elderly Club Member: A Case Study of an Elderly Club, Chulalongkorn Hospital. **Sarasatr academic journal**, 3(3), 721-733. (In Thai).
- Krueger, R. (2015). **Focus Groups: A Practical Guide for Applied Research**. NY: SAGE Publication.
- Office of the National Economic and Social Development Council. (2019). **Report of the Population Projections for Thailand 2010-2040 (Revision)**. Office of the National Economic and Social Development Council, Thailand. (In Thai).
- Santiwes, S. & Tongpong, N. (2017). Thai Attitudes towards Universal Design of the Public Facilities for the Disabled. **Veridian E-Journal, Silpakorn University**. 1360-1370. (In Thai).
- Suchai, N. (2017). **Design Guidelines to Townhouse for Multigenerational Low to Middle Incomes Families in Suburban Bangkok**. (Master's Thesis) Thammasat University, Bangkok, TH. (In Thai).
-

MONTHLY RAINFALL AMOUNT FORECASTING IN KANCHANADIT DISTRICT, SURAT THANI PROVINCE BY STATISTICAL FORECASTING TECHNIQUES

Orawan Suebsen^{*} and Supachai Damkam

Mathematics Faculty of Science and Technology, Surat Thani Rajabhat University, Surat Thani, 84100

^{*}E-mail: orawan.sue@sru.ac.th

Received: 30-07-2022

Revised: 17-11-2022

Accepted: 25-11-2022

ABSTRACT

The research aims to study the appropriate forecasting model for the rainfall in Kanchanadit, Surat Thani Province. The data used in this research was the average monthly rainfall from Surat Thani Meteorological Station from January 2013 to February 2020 (86 values). The time series data were divided into two categories. The first 74 values from January 2013 until February 2019 were used for the modeling by the Decomposition Method, Triple Exponential Smoothing: Winter's Method, and Box – Jenkins Method. On the other hand, the last 12 values from March 2019 to February 2020 were used check the forecasting models' accuracy via the determination of the mean absolute percentage error. The research findings were as follows:

- 1) The Box–Jenkins method was the most suitable method that has been used for this time series.
- 2) The forecasting model for the rainfall in Kanchanadit, Surat Thani Province, could be written as

$$\hat{Y}_t = Y_{t-12} - 0.915 (Y_{t-12} - Y_{t-24}) - 0.655 (Y_{t-24} - Y_{t-36}) - 0.444 (Y_{t-36} - Y_{t-48})$$

Keywords: Decomposition Method, Triple Exponential Smoothing: Winter's Method, Box – Jenkins Method

Introduction

Surat Thani Province is an agricultural province that relies on natural rainwater for agriculture. Most of the population engage in agriculture, such as farming, gardening, and uses land to cultivate about 45% of the total area (Surat Thani Land Development Station, 2019) which require rainwater to reduce the risk of damage crops; therefore, it is necessary to organize a good planting system. One must know the variability and distribution characteristics of rain. Rainwater is an important factor for agriculture. The most important constraint is having sufficient water for planting and plant

growth.(Office of the Meteorological Department, 2018) However, whether it rains or not is an uncontrollable factor. Rainfall is also unstable and varies from area to area. In addition, rainwater is important for agriculture. Therefore, rainfall forecasting is essential for agriculture. (Suwanwong, 2013) Kanchanadit District, It is a good plan for Surat Thani province, It is worth paying attention to the study. The amount of rainfall that has fallen is uncertain. Rainfall can be predicted by analyzing trends in rainfall changes. For plant cultivation, planning and finding solutions to problems that will occur with the rain that tends to change for the reasons mentioned above, the researcher was interested in studying the rain forecasting in Kanchanadit District, Surat Thani Province, which is useful in agriculture. Soil and water conservation in engineering, such as irrigation projects and reservoirs Projects to build dams, etc. can also be applied to solve flooding problems and provide guidelines for the further development of water resources.

Purpose of the study

1. Create a monthly rainfall forecast model for Kanchanadit District Surat Thani Province
2. Compare the three methods of forecasting rainfall, namely the decomposition method, the exponential smoothing method with Winter's method, and the Box-Jenkins method, which uses the mean absolute percentage error (MAPE) criterion.

Methods

1. Collect a monthly rainfall dataset. Kanchanadit District, Surat Thani Province collecting 86 values from January 2013 to February 2020. (Office of the Meteorological Department, 2018). The data source was the weather forecast bureau, meteorological department, Ministry of Information and Communication Technology, Surat Thani Province.

2. Take the monthly time series data from January 2013 to February 2020 and divide the data into two sets. (Ruangchaisiwawet, 2011)

The first dataset contains the monthly rainfall recorded from January 2013 to February 2013. Forecast models are based on this dataset.

The second dataset contains the monthly precipitation collected during March 2019 and February 2020.

3. Generate prediction models with three predictions from the 1 dataset.
4. Use the forecast values obtained from item 2 to calculate the accuracy of the forecast by comparing then with the actual data. Between March 2019 and February 2020. The accuracy was measured by the mean percentage error of the absolute value.
5. Take the mean of the absolute percent error from the time series into account. Compare the forecasting approaches for time series.

Results and Discussions

This dataset consisted of trends (T) and seasonal variations (S), as it can be seen in Figure 1, but these methods produce ambiguous results, for accuracy and comprehension. They are consistent. Therefore, the trend component test and the seasonal component test were used as follows:

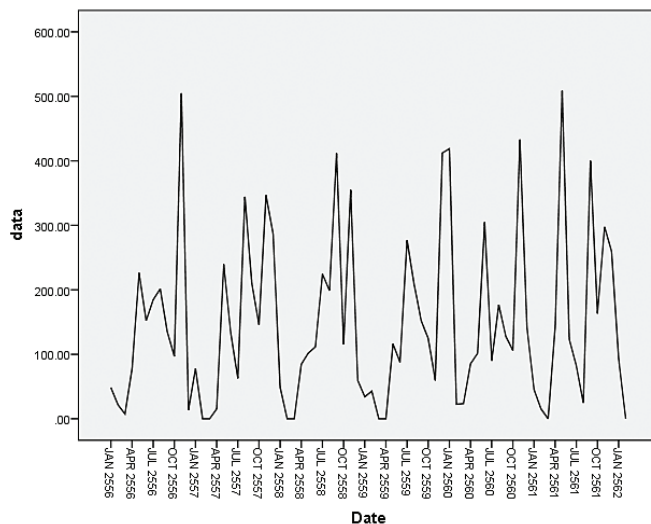


Figure 1 The movement characteristics of time series data

1. Trend component testing

As shown in Figure 2, the trend component was created using Run Test (Suwanwong, 2013). By the Run Test method, Hypotheses are as follows, H_0 : time series has no trend component and H_1 : time series has trended component. At the significance level of .05, the p -value was found to be .010, which was less than the significance level, and was therefore H_0 was rejected. In conclusion, such time series contains trend component.

Runs Test	
	data
Test Value ^a	113.40
Cases < Test Value	37
Cases >= Test Value	37
Total Cases	74
Number of Runs	27
Z	-2.575
Asymp. Sig. (2-tailed)	.010

a. Median

Figure 2 Component testing of rainfall trends

2. Seasonal Component Test

As shown in Figure 3, the seasonal components were calculated using Kruskal-Wallis (Ketiam, 2005) By the Kruskal-Wallis method, the hypotheses are as follows: H_0 : The time series has no seasonal variance components; H_1 : The time series has seasonal variance components. At the significance level of .05, the p -value was found to be .010, which was less than the significance level and rejected H_0 . It was concluded that the time-series data contained seasonal variations.

Test Statistics ^{a,b}	
	data
Chi-Square	42.987
df	11
Asymp. Sig.	.000

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable:

MONTH, period 12

Figure 3 Seasonal component test of rainfall

3. Create forecast models

3.1 That the time series contains trend components (Ketiam, 2005). So we can generate trend equations by finding trend line equations. By creating a trend line using the least-squares method, the equation of a straight line trend was formed as follows:

$$Y_t = (b_0 + b_1 t) \hat{S}_t \dots\dots\dots(1)$$

Where Y_t is an observation value at time t

b_0 is the mean of the data

b_1 is the slope of the data

$\hat{S}_t$ is the estimated seasonal variation at time t.

Short term forecast

The equation for forecasting was $Y_t = (18.885t) \hat{S}_t$

When $b_1 = 18.885$

Table 1 Coefficients of model Forecast calculation example

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
MONTH, period 12	18.885	3.868	.499	4.882	.000
(Constant)	27.708	28.100		.986	.327

March 2019 rainfall forecast

the equation $Y_t = (18.885t) \hat{S}_t$

$$Y_{75} = (18.885(3)) (0.032)$$

So $Y_{75} = 1.813$

Therefore, the March 2020 rainfall forecast is 1.813 millimeters.

Table 2 shows actual and forecasted rainfall. By the decomposition method, the mean absolute percentage error (MAPE) was 1.789.

Table 2 shows the mean absolute percent error (MAPE) values of the time series of the forecasted values compared to the actual values by the decomposition method.

Month/year	Actual rainfall (mm)	Forecasted rainfall (mm)	The absolute value of the error relative to the actual value.
Mar 19	0.0	1.813	-
Apr 19	53.6	32.482	0.394
May 19	242.1	131.628	0.456
Jun 19	139.8	112.290	0.197
Jul 19	107.8	143.431	0.331
Aug 19	139.0	198.972	0.431
Sep 19	298.7	268.715	0.100
Oct. 19	153.7	157.501	0.025
Nov 19	85.2	453.901	4.327
Dec. 19	19.5	301.405	14.457
Jan 20	0.0	13.597	-
Feb 20	15.5	3.890	0.749
Σ			21.467
MAPE			1.789

3.2 Exponential smoothing method with Winter's method

A forecasting equation of rainfall in Kanchanadit District, Surat Thani Province was created using Winter's method of exponential smoothing.

Below is a Multiplicative Seasonality Model

$$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t(m))\hat{S}_{t-p+m} \dots\dots\dots(2)$$

$$a_t = \frac{\alpha Y_t}{\hat{S}_{t-p}} + (1-\alpha) \left[a_{t-1} + b_{t-1} \right]$$

$$b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) (1-\gamma) b_{t-1}$$

$$\hat{S}_t = \frac{\delta Y_t}{a_t} + (1-\delta)\hat{S}_{t-p}$$

Where $\hat{Y}_{t+m}$ is the observation at time t

a_t is the level of the data or smoothing part

b_t is the trend

$\hat{S}_t$ is the seasonal part

m is the number of periods to be forecasted forward

p is the number of seasons p=12 when the data is monthly.

α is the smoothing constant between the data and the forecast value,
and $0 \leq \alpha \leq 1$

γ is the smoothing constant between the actual trend and the trend estimate,
and $0 \leq \gamma \leq 1$

δ is the smoothing constant between the actual season value and seasonal
estimate, and $0 \leq \delta \leq 1$

The Winter method is analyzed using the multiplication pattern α , δ and γ between 0.001-1.0 by trying to change the α , δ and γ values in increments of 0.01, and then selected the α , δ and γ that give the lowest SSE values the, and values of Win's method. The appropriate parameters are $\alpha = 0.001$, $\gamma = 0.001$ and $\delta = 0.001$.

There is a forecasted value m, the forward time unit, the forecast at time t, and the monthly data are:

$$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t(m))\hat{S}_{t-p+m} \dots\dots\dots(2)$$

Short term forecast

When, $a_t = 07.708$ and $b_t = 18.885$ are obtained by the least-squares trend line generation method of the discrete forecasting method. Fromm's data analysis, The winter season index ($\hat{S}_t$) is obtained when ($t = 1, 2, 3, \dots, p$) which is equal to the seasonality index obtained by the modular forecasting method. As show in Table 3.

Table 3 winter season index of rainfall.

t	1	2	3	4	5	6
$\hat{S}_t$	0.622774	0.335709	0.027191	0.432075	1.488382	1.016865
t	7	8	9	10	11	12
$\hat{S}_t$	1.055471	1.291599	1.718774	0.901464	1.958707	1.150991

Forecast calculation example

March 2019 rainfall forecast (data 75)

Into the equation $\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t(m))\hat{S}_{t-p+m}$

Represent $\hat{Y}_{75} = (a_{74} + b_{74}(3))\hat{S}_{63}$

$$\hat{Y}_{75} = 1.530$$

Therefore, the rainfall forecast for March 2020 is 1.530 mm. Rainfall Forecast for April 2019 (Data 76)

Table 4 shows the actual rainfall and the actual rainfall from the forecast. The mean absolute percentage error (MAPE) in winter was 1.497.

Table 4 shows the mean absolute percent error (MAPE) of the time series for the forecasted values compared to the actual values with the winter method.

Month/year	Actual rainfall (mm)	Forecasted rainfall (mm)	The absolute value of the error relative to the actual value.
Mar 19	0.0	1.530	-
Apr 19	53.6	32.633	0.168
May 19	242.1	140.504	0.249
Jun 19	139.8	115.236	0.026
⋮	⋮	⋮	⋮
Dec. 19	19.5	260.840	12.376
Jan 20	0.0	11.765	-
Feb 20	15.5	12.691	0.419
Σ			17.966
MAPE			1.497

3.3 Box - Jenkins Time Series Analysis Method

3.3.1 Determine the time series model

From Figure 4, it was found that when r_k is intermittently high, there is an undulating movement that is repeated for every 12 K values. This could lead to the conclusion that the time series data influences the seasonal variations involved. Therefore, such time series must be transformed so that they are free from the influence of seasonal variation using the seasonal difference method. By assigning $D = 1$, or the number of times the seasonal difference is equal to 1, the result is shown in Figure 4 as follows:

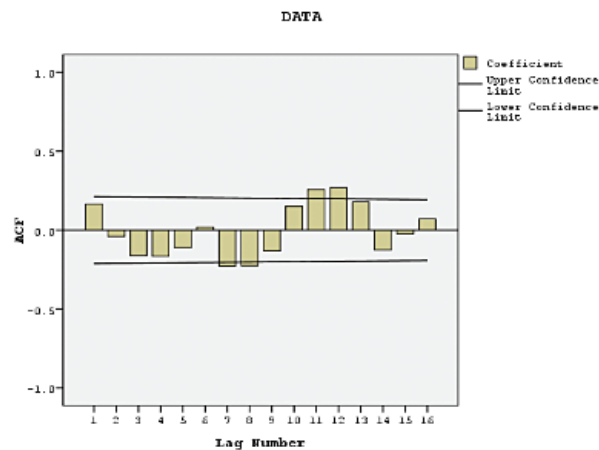


Figure 4 The determination and correlogram of r_k

From Figure 5, it was found that when the aforementioned time series was modified by the seasonal difference method, it could be seen that r_k It decreases rapidly when K increases. This shows that the time series data was free from the influence of trends. The above time series is now stationary. However, because the original time series includes the trend's influence, Therefore, the model was set up in the form of ARIMA (p, d, q) (P, D, Q)_s. Model determination was based on the results of ARIMA analysis. Which used the following model selection method:

1. Choose a model with the lowest RMSE value.
2. Choose a model with the least number of parameters.
3. A model that accepts the assumption that the parameter value is 0 is not chosen, which results in the following:

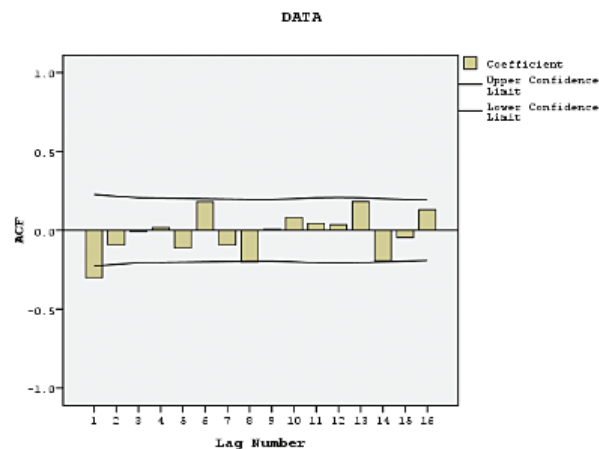


Figure 5 The values and correlogram of r_k after finding the difference to eliminate the influence of the seasons.

From Table 5, it was concluded that the model $ARIMA(0,0,0)(3,1,0)_{12}$ It is the best model with the lowest RMSE value, so the model is chosen $ARIMA(0,0,0)(3,1,0)_{12}$ which the general form of SARIMA (p,d,q) There is an equation

$$(1 - B)^d(1 - B^L)^D(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)(1 - \theta_L B^L - \theta_{2L} B^{2L} - \dots - \theta_{qL} B^{qL})y_t = \theta_0 + (1 - \theta_L B - \theta_{2L} B^2 - \dots - \theta_q B^q)(1 - \theta_L B^L - \theta_{2L} B^{2L} - \dots - \theta_{qL} B^{qL})\epsilon_t$$

Where B called backshift, where $B^p y_t = y_{t-p}$ และ $B^p \epsilon_t = \epsilon_{t-p}$

θ_0 is a constant

ϕ_i is the parameter of AR at i ; i =1,2,3, ..., p

θ_i is the parameter of MA at i ; i =1,2,3, ..., p

Therefore, the equation as

$$\hat{Y}_t = Y_{t-12} - \phi_1(Y_{t-12} - Y_{t-24}) - \phi_2(Y_{t-24} - Y_{t-36}) - \phi_3(Y_{t-36} - Y_{t-48}) \dots \dots \dots (4)$$

Table 5 defines the model in the form $ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$ Using the following model selection method:

1. Selecting a Model with the Least RMSE Value

ARIMA(p, d, q)(P, D, Q) _s	RMSE
ARIMA(0,0,1)(0,1,1) ₁₂	124.976
ARIMA(0,0,0)(2,1,1) ₁₂	124.976
ARIMA(0,0,0)(2,1,2) ₁₂	125.441
ARIMA(0,0,0)(2,1,0) ₁₂	129.983
ARIMA(0,0,0)(3,1,0) ₁₂	124.109

3.4 Parameter estimation

Least Squares Parameter Estimation was performed using a statistical package. This will produce the results shown in Figure 6.

From Table 6 - 7, the estimated value was $\phi_1 = -0.915$, $\phi_2 = -0.655$ and $\phi_3 = -0.444$

When substituting the values into the equation

$$\hat{Y}_t = Y_{t-12} - 0.915(Y_{t-12} - Y_{t-24}) - 0.655(Y_{t-24} - Y_{t-36}) - 0.444(Y_{t-36} - Y_{t-48}) \dots \dots \dots (5)$$

Table 6 Model Description

Model Description	
Model Type	ARIMA(0,0,0)(3,1,0)

Table 7 the approximation of parameter ϕ_1 , ϕ_2 and ϕ_3 in ARIMA model parameters

ARIMA model parameters		Estimate	SE	t	Sig.
AR, Seasonal	Lag 1	-.915	.159	-5.756	.000
	Lag 2	-.655	.226	-2.903	.005
	Lag 3	-.444	.223	-1.990	.049
Seasonal Difference 1					

Table 8 shows actual and forecast rainfall. Perform by using the Box-Jenkins time series analysis method. The mean absolute percentage error (MAPE) was 1.157.

Table 8 shows the mean absolute percent error (MAPE) values of the time series for the forecasted values compared to the actual values by the Box Jenkins time-series analysis method.

Month/year	Actual rainfall (mm)	Forecasted rainfall (mm)	The absolute value of the error relative to the actual value.
Mar 19	0.0	19.35	-
Apr 19	53.6	85.11	0.588
May 19	242.1	152.92	0.368
Jun 19	139.8	170.94	0.223
⋮	⋮	⋮	⋮
Nov 19	85.2	321.02	2.768
Dec 19	19.5	185.81	8.529
Jan 20	0.0	136.80	-
Feb 20	15.5	41.05	1.648
	Σ		13.891
	MAPE		1.157

Table 9 The comparison of the mean absolute percent error (MAPE) values of three methods forecasting the rainfall in Kanchanadit, Surat Thani Province

Methods	MAPE
The decomposition method.	1.789
The winter method	1.497
The Box Jenkins time-series analysis method.	1.157

Table 9 shows the mean absolute percent error (MAPE) values of three forecasting models. The Box Jenkins time-series analysis method was suitable for this forecasting model for the rainfall in Kanchanadit, Surat Thani Province.

Conclusions

Using results from a study on the monthly rainfall forecast in Kanchanadit District, Surat Thani Province using statistical forecasting techniques, the following issues can be discussed: The Box-Jenkins Method: This was the most appropriate method for this time series. This is consistent with research by Ngamsuk (2012), a study of time series forecasting by comparing traditional methods and the Box-Jenkins method, a case study of the number of accidents in Thailand, and Kiratiwiboon's (2014) study on a rainfall forecasting model in Songkhla Province. The Box-Jenkins Method was the most appropriate method for this time series. The results of this research could be used to plan future crop production for farmers in Surat Thani province. The forecast models are suitable for time series with similar motion characteristics. However, rainfall may not depend solely on time factors. For future research, researchers should consider other factors in the predictive model study. Also, when more recent rainfall data was available. In applying the research results, the researcher should modify the model to suit their data. Furthermore, climate change should be closely monitored as a factor in data analysis. Therefore, the researcher must use caution when analyzing the data.

Acknowledgement

Thank you to Surat Thani Rajabhat University for funding research, and to the Surat Thani Meteorological Station for analyzing monthly rainfall data in Kanchanadit District, Surat Thani Province.

References

- Ketiam, S. (2005). Forecasting techniques. (2nd ed), Songkhla: Thaksin University. (In Thai)
- Kiratiwiboon, W. (2014). A model for forecasting rainfall in Songkhla province. **Thaksin University Journal**, 17(1), 40-48. (In Thai)
- Ngamsuk, W. (2011). **Time Series Forecasting by the Comparison of classical and Box-Jenkins Methods Case Study the Number of accidents in the country**. (Master's Thesis). Department of Mathematics Faculty of Science Burapha University, Chonburi. (In Thai)
- Office of the Meteorological Department. (2018). **Surat Thani rainfall**. Retrieved from <https://www.tmd.go.th> [2019, 16 Dec].
- Ruangchaisiwawet, P. (2011). Forecasting **monthly rainfall of Lampang Province by Statistical forecast techniques**. (Master's thesis). Department of Statistics, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok. (In Thai)
- Suwanwong. S. (2013). **Quantitative Forecasting Techniques: Time Series**. Bangkok: Mahidol University.
- Surat Thani Land Development Station. (2019). **Information of Surat Thani Province**. Retrieved from <http://r11.ldd.go.th/station/sni/> [2019, 2 Dec].

.....



ภาคผนวก

รายละเอียดการเตรียมบทความ

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Preparation Process of PNRU Research Journal Science and Technology

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

► ขอบเขตของผลงานที่ตีพิมพ์

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

► การพิจารณาบทความ

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนี้จะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง (Peer Review) อย่างน้อย 2 ท่าน โดยผู้แต่งและผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความจะไม่ทราบชื่อซึ่งกันและกัน (Double-blind Peer Review)

► ประเภทของบทความที่รับตีพิมพ์

1. บทความวิจัย (Research Article)

เป็นการนำเสนอผลงานวิจัยอย่างเป็นระบบ กล่าวถึงความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ การดำเนินการวิจัย

2. บทความวิชาการ (Academic Article)

งานเขียน ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เป็นความรู้ใหม่ กล่าวถึงความเป็นมาของปัญหา วัตถุประสงค์ แนวทางการแก้ไขปัญหา มีการใช้แนวคิดทฤษฎี ผลงานวิจัยจากแหล่งข้อมูล เช่น หนังสือ วารสารวิชาการ อินเทอร์เน็ตประกอบการวิเคราะห์วิจารณ์ เสนอแนวทางแก้ไข

3. บทความปริทัศน์ (Review Article)

งานวิชาการที่ประเมินสถานะล่าสุดทางวิชาการ (State of the art) เฉพาะทางที่มีการศึกษาค้นคว้า มีการวิเคราะห์และสังเคราะห์องค์ความรู้ทั้งทางกว้าง และทางลึกอย่างทันสมัย โดยให้ข้อพิพากษ์ที่ชี้ให้เห็นแนวโน้ม ที่ควรศึกษาและพัฒนาต่อไป

➤ หลักเกณฑ์ในการส่งบทความ

1. บทความที่ผู้แต่งส่งมาเพื่อตีพิมพ์จะต้องเป็นบทความที่ยังไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่หรืออยู่ระหว่างการเสนอขอตีพิมพ์จากวารสารอื่น ๆ
2. เนื้อหาในบทความต้องไม่คัดลอก ลอกเลียน หรือไม่ตัดทอนจากบทความอื่นโดยเด็ดขาด (การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้แต่งเท่านั้น)
3. ผู้แต่งต้องเขียนบทความตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในระเบียบการส่งบทความของ วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. การพิจารณาบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จะพิจารณาเฉพาะบทความที่ได้รับการประเมินให้ตีพิมพ์เผยแพร่จากผู้ทรงคุณวุฒิเท่านั้น
5. กรณีขอเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้แต่งต้องปรับแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ และชี้แจงการแก้ไขต้นฉบับดังกล่าว มายังกองบรรณาธิการ

➤ คำแนะนำการเตรียมต้นฉบับ

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

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

โดยมีส่วนประกอบดังนี้

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

ชื่อเรื่อง	ควรมีความกระชับและชัดเจน ไม่ยาวจนเกินไป บทความภาษาไทยต้องมีชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้ตัวพิมพ์ใหญ่ทั้งหมด
ชื่อผู้แต่ง	ระบุชื่อเต็มและนามสกุลเต็มของผู้แต่งทุกคนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษโดยไม่ใส่ยศหรือตำแหน่งสำหรับผู้แต่งหลักต้องใส่ E-mail address ที่ติดต่อได้และลงเครื่องหมายดอกจันกำกับ
บทคัดย่อ	บทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษควรมีความยาวระหว่าง 200 ถึง 250 คำ
คำสำคัญ	ให้มีคำสำคัญ 3-5 คำ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
รูปภาพ	แยกบันทึกเป็นไฟล์ภาพที่มีนามสกุล TIFF, หรือ JPEG ถ้าเป็นภาพถ่ายกรุณาส่งภาพต้นฉบับเพื่อคุณภาพในการพิมพ์ หมายเลขรูปภาพและกราฟให้เป็นเลขอารบิก คำบรรยายและรายละเอียดต่าง ๆ อยู่ด้านล่างของรูปภาพ ปรับรูปแบบให้เหมาะสมกับการตีพิมพ์แบบขาว-ดำ หรือ Greyscale
เนื้อหา	ใช้ตัวหนังสือแบบ TH SarabunPSK ขนาด 14 พอยท์ จัดเนื้อหาตามรูปแบบบทความวิจัย (Research Article) บทความวิชาการ (Academic Article) หรือบทความปริทัศน์ (Review Article) หน่วยที่ใช้ให้เป็นไปตามรูปแบบสากล ศัพท์ภาษาอังกฤษในวงเล็บให้ใช้ตัวพิมพ์เล็กทั้งหมดยกเว้นชื่อเฉพาะ หากมีสมการให้ใช้ Equation Editor โดยจัดให้อยู่ในตำแหน่งกลางหน้ากระดาษ พร้อมระบุหมายเลขสมการ
ตาราง	หมายเลขตารางให้เป็นเลขอารบิก คำบรรยายและรายละเอียดต่าง ๆ อยู่ด้านบนของตาราง
เอกสารอ้างอิง	เป็นรายชื่อเอกสารที่ใช้อ้างถึงในบทความ โดยให้แปลเป็นภาษาอังกฤษทุกรายการ และจัดรูปแบบอ้างอิงตามระบบ APA 6 th edition

รูปแบบการอ้างอิง

1. การอ้างอิงในเนื้อหา (In-text citation)

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

2. การอ้างอิงในส่วนท้ายบทความ (References)

2.1 อ้างอิงจากหนังสือ (Books)

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

รูปแบบ	ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, ปีที่(ฉบับที่), หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.
ตัวอย่าง	Yingsanga, P., & Mathurasa, L. (2009). Yellowing development of Chinese Kale (Brassica oleracea var. alboglabra). Phranakhon Rajabhat Research Journal: Science and Technology , 14(1), 76-90. (In Thai)
	Morrisa, G.A., Fosterb, T.J., & Hardinga, S.E. (2000). The effect of the degree of esterification on the hydrodynamic properties of citrus pectin. Food Hydrocolloids , 14(3), 227-235.

รูปแบบ	ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อวิทยานิพนธ์ . (ระดับวิทยานิพนธ์). มหาวิทยาลัย, เมืองที่ตั้งมหาวิทยาลัย.
ตัวอย่าง	Caprette, C.L. (2005). Conquering the cold shudder: The origin and evolution of snake eyes . (Doctoral dissertation). Ohio State University, Columbus, OH.

รูปแบบ	ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง (ประเภทของเอกสาร). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.
ตัวอย่าง	Tayama, T. (2006). Velocity influence on detection and prediction of changes in color and motion direction (Report No. 38). Sapporo, Japan: Psychology Department, Hokkaido University.

รูปแบบ	ชื่อผู้แต่งในบท. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง . ใน ชื่อบรรณาธิการ, (บรรณาธิการ), ชื่อการประชุม (หน้าแรก-หน้าสุดท้าย). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.
ตัวอย่าง	Deci, E.L., & Ryan, R.M. (1991). A motivational approach to self: Integration in personality . In R. Dienstbier (Ed.), Nebraska Symposium on motivation: Vol. 38 Perspectives on motivation (237-288). Lincoln, NM: University of Nebraska Press.

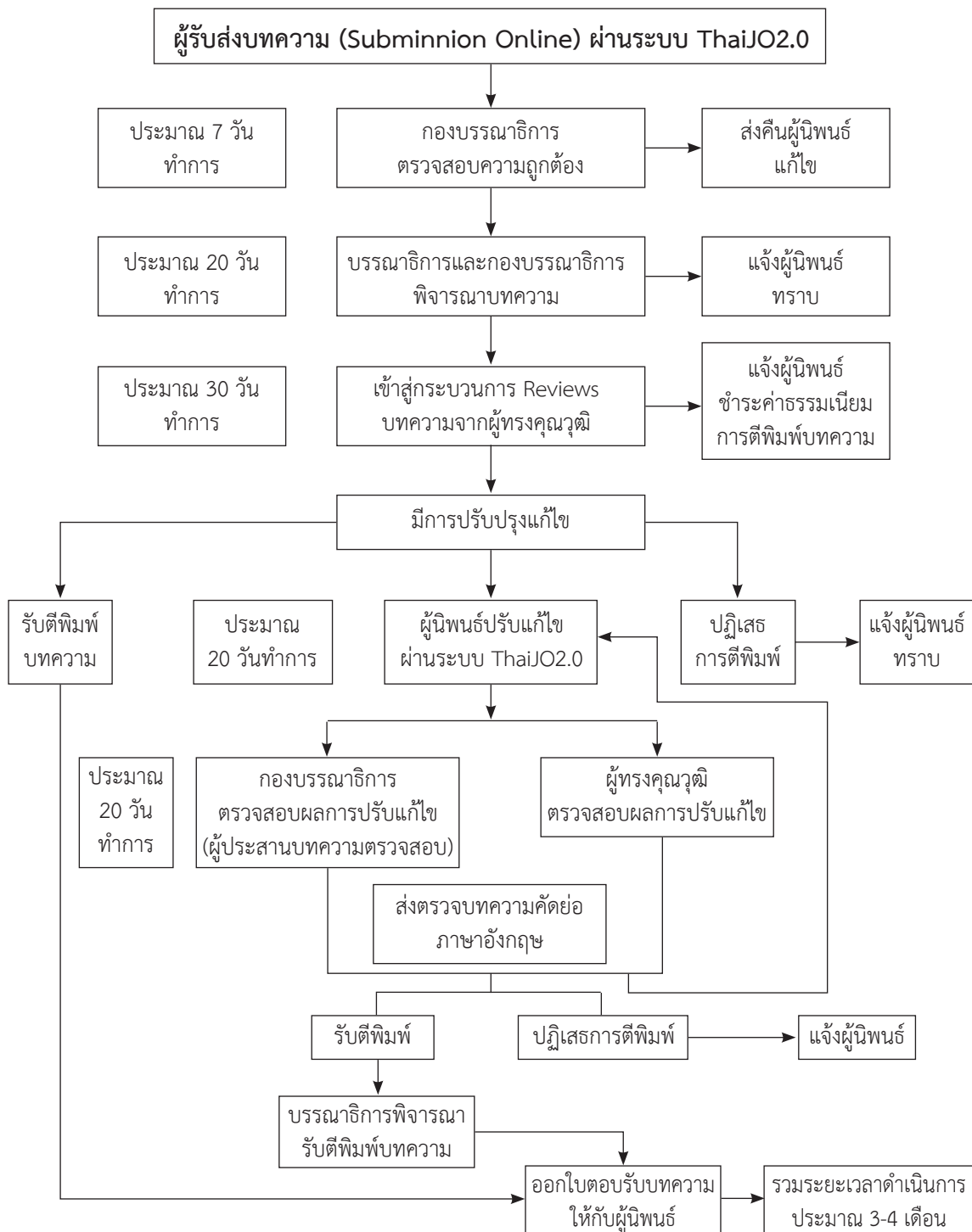
รูปแบบ ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). **ชื่อเรื่อง**. Retrieved from <http://.....> [ไ้วันที่สืบค้น].

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

รูปแบบ	ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์. (ปีที่ให้สัมภาษณ์, วัน เดือน). สัมภาษณ์. ตำแหน่งผู้ให้สัมภาษณ์. หน่วยงาน.
ตัวอย่าง	Phae-ngam, W. (2016, 10 Jan.). How to write a good research article. Assistant Professor. Faculty of Science and Technology. Phranakhon Rajabhat University.

ขั้นตอนการพิจารณาบทความ

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



หมายเหตุ: ทางวารสารขอสงวนสิทธิ์ที่จะเรียงเรียงและอาจปรับปรุงการนำเสนอบทความตามความเหมาะสม

รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาไทย)

ชื่อเรื่องภาษาไทย (TH SarabunPSK ขนาด 16pt. ตัวหนา)

ENGLISH TITLE (TH SarabunPSK 16pt. bold)

ชื่อ-สกุล ผู้แต่งบทความ^{1*} ชื่อ-สกุล ผู้แต่งบทความ² (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ)

¹ชื่อหน่วยงานที่สังกัด (TH SarabunPSK ขนาด 12pt. ตัวปกติ)

²ชื่อหน่วยงานที่สังกัด (TH SarabunPSK ขนาด 12pt. ตัวปกติ)

Author ^{1*}, Author ² (TH SarabunPSK 14pt. normal)

¹Affiliation (TH SarabunPSK 12pt. normal)

²Affiliation (TH SarabunPSK 12pt. normal)

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

Received: xx-xx-xx

Revised: xx-xx-xx

Accepted: xx-xx-xx

บทคัดย่อ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

เนื้อหาบทคัดย่อในกรณีเป็นบทความภาษาไทยต้องมีบทคัดย่อเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ยกเว้น
บทวิจารณ์หนังสือ บทคัดย่อควรมีย่อหน้าเดียว ไม่ควรเกิน 250 คำ บทคัดย่อควรกล่าวถึงวัตถุประสงค์หลักของบทความ
ผลลัพธ์หรือ สรุปผลที่ได้จากการทำวิจัย คำสำคัญที่เป็นภาษาไทยต้องมีเครื่องหมายจุลภาค (,) ระหว่างคำ
(TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

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

ABSTRACT (TH SarabunPSK 14pt. bold)

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

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

บทนำ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

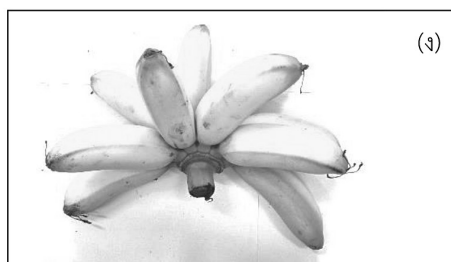
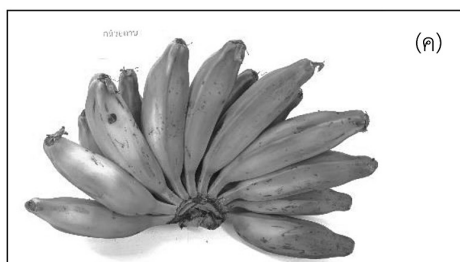
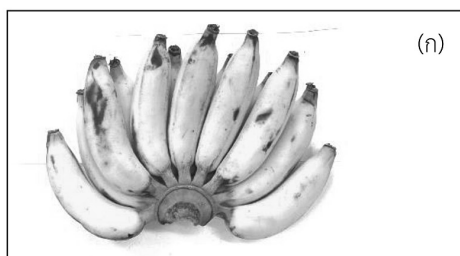
เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

วิธีการ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

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

ผลการทดลองและวิจารณ์ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

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



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

ตารางที่ 1 ชื่อตาราง

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

หมายเหตุ : (TH SarabunPSK ขนาด 12pt. ตัวปกติ)

สรุป (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

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

.....

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

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

.....

เอกสารอ้างอิง (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

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

.....

.....

รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาอังกฤษ)

ENGLISH TITLE (TH SarabunPSK 16pt. bold)

Author 1*, Author 2 (TH SarabunPSK 14pt. normal)

¹Affiliation (TH SarabunPSK 12pt. normal)

²Affiliation (TH SarabunPSK 12pt. normal)

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

Received: xx-xx-xx

Accepted: xx-xx-xx

Published: xx-xx-xx

ABSTRACT (TH SarabunPSK 14pt. bold)

The abstract should contain a single paragraph and its length should not exceed 250 words. It should be prepared in concise statement of objectives and summary of important results.

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

Introduction (TH SarabunPSK 14pt. bold)

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

Methods (TH SarabunPSK 14pt. bold)

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

Results and Discussions (TH SarabunPSK 14pt. bold)

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

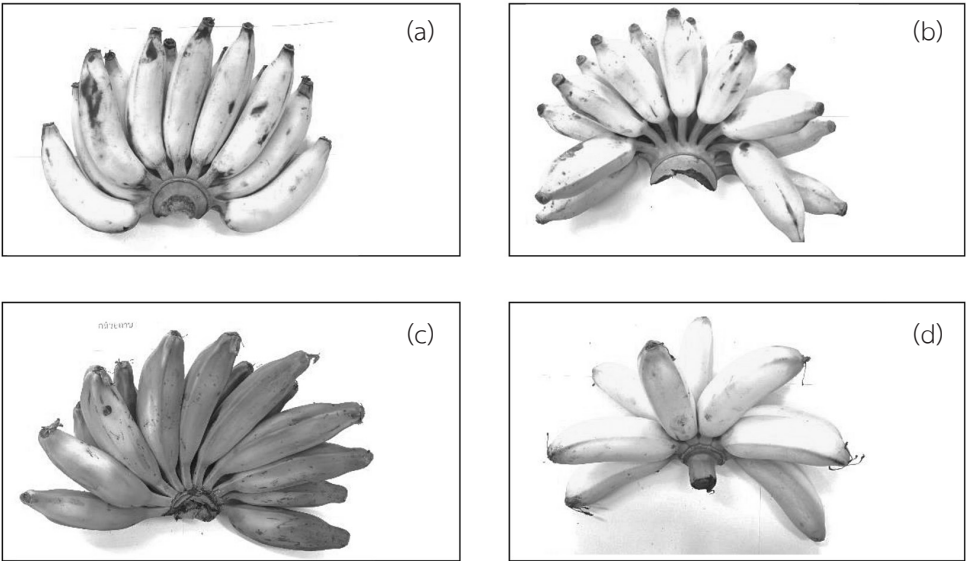


Figure 1(a)..... (b)..... (c)..... (d).....

Table 1 table name

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

Note: (TH SarabunPSK 12pt. normal)

Conclusions (TH SarabunPSK 14pt. bold)

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

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

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

References (TH SarabunPSK 14pt. bold)

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

จริยธรรมในการตีพิมพ์ Publication Ethics

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีมาตรฐานทางจริยธรรมในการตีพิมพ์บทความ
ดังนี้

➤ จริยธรรมของผู้แต่งบทความ

1. บทความที่ส่งต้องเป็นบทความที่ไม่เคยมีการตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน และต้องไม่คัดลอกผลงาน
ผู้อื่นโดยขาดการอ้างอิงที่ถูกต้อง ยกเว้นบทความที่แปลจากภาษาต่างประเทศที่ผู้แต่งบทความได้รับการยินยอม
และมีหลักฐานแสดงแก่วารสาร
2. ชื่อบทความ ข้อความ รูปภาพ ตารางประกอบ และอื่น ๆ ที่ปรากฏในบทความเป็นความคิดเห็นของผู้แต่ง
ถือว่าเป็นความรับผิดชอบของผู้แต่ง กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบร่วมใด ๆ ทั้งสิ้น
3. บทความต้องรายงานผลการทดลอง รวมถึงข้อมูลต่าง ๆ ตามข้อเท็จจริง
4. หากมีการทดลองเกี่ยวกับมนุษย์หรือสัตว์ ผู้แต่งต้องปฏิบัติตามหลักจริยธรรมในการวิจัยและข้อกำหนด
ที่เกี่ยวข้อง
5. บทความต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ของวารสารอย่างเคร่งครัด ตาม "คำแนะนำสำหรับผู้แต่ง" ทั้งในรูปแบบ
การจัดบทความ การเขียนอ้างอิง และควรระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนการวิจัย (ถ้ามี)
6. เมื่อผู้แต่งได้รับผลการประเมินบทความจากผู้ทรงคุณวุฒิ ควรเคารพความคิดเห็นทางวิชาการและแก้ไข
ตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ แล้วส่งกลับมายังกองบรรณาธิการตามระยะเวลาที่กำหนด
7. ชื่อผู้แต่งที่ปรากฏในบทความต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในผลงานวิชาการนี้จริง

➤ จริยธรรมของบรรณาธิการ

1. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการมีหน้าที่ดำเนินงานวารสารให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของวารสาร
2. บรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาความสอดคล้องของเนื้อหาบทความกับวัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร
3. บรรณาธิการมีหน้าที่กลั่นกรองตรวจสอบคุณภาพและพิจารณาความถูกต้องของบทความร่วมกับ
กองบรรณาธิการ และผู้ทรงคุณวุฒิก่อนการตีพิมพ์
4. บรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้แต่งผู้ประเมินบทความ และบุคคลอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง
5. บรรณาธิการต้องสนับสนุนให้มีกระบวนการพิจารณาการประเมินบทความจากผู้ประเมินที่มีความชำนาญ
ต่อเนื้อหาของบทความ รวมถึงระบบการปกปิดความลับของการพิจารณาการประเมิน และระบบการป้องกันข้อมูล
ส่วนตัวของผู้แต่งและผู้ประเมินบทความ (Double blinded)
6. บรรณาธิการมีหน้าที่รักษามาตรฐานของวารสาร รวมถึงพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพอยู่เสมอ

➤ จริยธรรมของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตระหนักถึงความเชี่ยวชาญตามศาสตร์ของตนเองในการรับประเมินบทความ และพิจารณาบทความตามหลักวิชาการและจริยธรรมสากล โดยปราศจากอคติหรือความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลทางวิชาการรองรับ และไม่มีส่วนได้เสียหรือผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้แต่ง
2. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตรวจสอบความซ้ำซ้อนของบทความกับงานตีพิมพ์อื่น ๆ
3. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่เปิดเผยข้อมูลทุกส่วนของบทความที่ทำการประเมินให้แก่บุคคลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องในระหว่างการประเมินบทความ
4. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่นำข้อมูลในบทความที่ตนประเมินไปเป็นผลงานของตนเองก่อนบทความนั้นได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่
5. ผู้ทรงคุณวุฒิควรตรงต่อเวลาในการส่งผลการประเมินบทความ และหากตรวจพบเนื้อหาในบทความที่มีความซ้ำซ้อนกับผลงานอื่น ผู้ทรงคุณวุฒิต้องแจ้งให้กับบรรณาธิการทราบ และปฏิเสธการตีพิมพ์บทความนั้น ๆ

