



ISSN 3088-1935 (Online)

วารสารวิทยาศาสตร์โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ

Journal of Earth Science, Astronomy and Space

ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2569)
Vol.9, No.1 (January-June 2026)

บรรณาธิการแถลง

วารสารวิทยาศาสตร์โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ (Journal of Earth Science, Astronomy and Space) สมาคมวิทยาศาสตร์โลก (Earth Science Society; ATSSE) ได้จัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่บทความทางด้านวิทยาศาสตร์โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ จากผลงานวิจัย ผลงานทางวิชาการ บทความทางวิชาการ ผลงานวิชาการรับใช้สังคม ภายใต้กลุ่มสาขาย่อยคือ

1. General Earth and Planetary Sciences
2. Atmospheric Science
3. Space and Planetary Science
4. Renewable Energy, Sustainability and the Environment
5. General Physics and Astronomy

วารสารวิทยาศาสตร์โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ ปีที่ 1 -8 ที่ผ่านมา ได้ทำการเผยแพร่ปีละ 1 ฉบับ (ตุลาคม-ธันวาคม) แต่เนื่องจากปัจจุบันมีผู้สนใจเผยแพร่ผลงานวิชาการผ่านวารสารมากขึ้น ดังนั้นตั้งแต่ปีที่ 9 (2569) เป็นต้นไป จึงปรับเปลี่ยนการเผยแพร่เป็นปีละ 2 ฉบับ คือฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน) และฉบับที่ 2 (กรกฎาคม-ธันวาคม)

ทั้งนี้ทางวารสารขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิคณะกรรมการประเมินอิสระ (Peer Reviewers) เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้เกียรติและเสียสละเวลาในการพิจารณา กลั่นกรอง แก้ไข และให้ข้อเสนอแนะ แก่บทความวิจัย บทความวิชาการ เพื่อความสมบูรณ์ และประโยชน์สูงสุดในทางวิชาการ และขอขอบคุณผู้วิจัยที่ร่วมสร้างสรรค์ผลงาน เพื่อร่วมกันพัฒนาทั้งในมิติของการศึกษา งานวิจัย และสังคม

รองศาสตราจารย์ ดร.วิระภรณ์ ไหมทอง
บรรณาธิการ

กองบรรณาธิการ

- | | |
|---|---------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.วิระภรณ์ ไหมทอง
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ | บรรณาธิการ |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.อธิพงศ์ งามจารุโรจน์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | กรรมการ |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.ธนา ยีรัมย์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม | กรรมการ |
| 4. รองศาสตราจารย์ ดร.กนต์ธีร์ กิจเกียรติพงษ์
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร | กรรมการ |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร.วิลาวรรณ คำหาญ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร | กรรมการ |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ นามมหาจักร
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี | กรรมการ |
| 7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎา บุญชม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ | กรรมการ |
| 8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชีวะ ทศนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี | กรรมการ |
| 9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุวัติ พิมพ์บุตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย | กรรมการ |
| 10. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รณกฤต รัตนมาลา
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา | กรรมการ |
| 11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมพงศ์ พันธุ์พิบูลย์
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม | กรรมการ |
| 12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์อร่าม ชนะโชติ
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา | กรรมการ |
| 13. อาจารย์ณัฐพงษ์ สายพิณ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ | กรรมการ |
| 14. อาจารย์ ดร.นิรุช ล้ำเลิศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี | กรรมการและเลขานุการ |

คณะกรรมการประเมินอิสระ (Peer Reviewers) ตรวจสอบทางวิชาการ

รองศาสตราจารย์ ดร.วิระภรณ์ ไหมทอง
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.กนต์ธีร์ กิจเกียรติพงษ์
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ นามมหาจักร
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชีวะ ทศนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อโนดาช รัชเวทย์
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชิดตระกูล หอมจำปา
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภัทร สายรัตนอินทร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชนี มัธยม
มหาวิทยาลัยราชภัฏมณฑลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นราภรณ์ แก้วขาว
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมพงศ์ พันธุ์พิบูลย์
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อร่าม ชนะโชติ
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมกรณ์ ชัยวราภรณ์
มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญยกฤต รัตนพันธุ์
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

เรื่อง	หน้า
กองบรรณาธิการ	ก
สารบัญ	ง
บทความวิจัย	
การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis รณชัย หล้าคอม ญัฐริกา หมดเหรัมย์ และ นรากรณ์ แก้วขาว	1
การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา ปี พ.ศ.2568 โดยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ	17
ลักษณะดาวฤกษ์ วาฬแก้ว วาฬดำ บากา นวรัตน์ สีตะพงษ์ และ ศักดิ์ชัย คงนคร	
แบบจำลองระบบดาวคู่ V392 Orion	33
สุภัทร สายรัตน์อินทร์ ตอริก เอ็งปียา ฉัตรชัย เครืออินทร์ และ วิระภรณ์ ไหมทอง	
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกิ่งสำเร็จรูป	39
วัชร วัชรชัยกุล เตือนเต็ม ทองเผือก กุลพร พุทธิมี และ วริศชนม์ นิลนนท์	
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบครีมกันแดดเสริมฤทธิ์ด้วยไมโครเจลโคโตนานที่ห่อหุ้ม	50
สารสกัด α -แมนโกสทินจากเปลือกมังคุด	
วัชร วัชรชัยกุล สิริกร ชัสวิเศษ และ รุจิเรข ปราชญากุล	
การประเมินค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำในนาศตบรีเวณภาคเหนือของประเทศไทย	67
ภาณุภูมิ รัตน์จิราณกุล และ สุจิตรา รัตน์จิราณกุล	

Received: November 6, 2025

Revised: January 31, 2026

Accepted: February 2, 2026

Published: June 21, 2026

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis A Study for Orbital Period Variation of Eclipsing Binary System V2821 Orionis

รณชัย หล้าคอม^{1*} ณัฐริกา หมดเหรีม² และ นรากรณ์ แก้วขาว²
Ronnachai Lakhom^{1*} Nattarika Madrem² and Narakorn Kaewkhao²

¹ ศูนย์ปฏิบัติการหอดูดาวแห่งชาติและวิศวกรรม สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

² สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ (ฟิสิกส์) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

¹ Centre of Observatory Operation and Engineering, National Astronomical Research Institute of Thailand
(Public Organization)

² Division of Physical Science (Physics), Faculty of Science, Prince of Songkla University

*ronnachai@narit.or.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา วี 2821 โอไรออนิส ซึ่งจัดอยู่ในประเภท บีตา ไลรี (β Lyrae-type) เป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน (Semi-Detached System) ที่มีลักษณะกราฟแสงโค้งอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นถึงการโคจรรอบกันของดาวฤกษ์ทั้งสองดวง การสังเกตการณ์ดำเนินการโดยใช้กล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร เชื่อมต่อกับกล้องถ่ายภาพซีซีดี Andor iKon-L ขนาด 2048 × 2048 พิกเซล ผ่านแผ่นกรองแสง (Filters) ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีน้ำเงิน (B) สีเหลือง (V) และสีแดง (Rc) ข้อมูลถูกเก็บรวบรวม ณ หอดูดาวแห่งชาติ จังหวัดเชียงใหม่ ในวันที่ 10–11 ธันวาคม พ.ศ. 2567, 17 มกราคม พ.ศ. 2568 และ 19 มกราคม พ.ศ. 2568 ภาพถ่ายทั้งหมดได้รับการปรับปรุงสู่ค่ามาตรฐาน และวัดค่าโชติมาตร ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโฟโตเมตรี (Differential Photometry) โดยใช้โปรแกรม MaxIm DL Pro Version 6 ผลการวิเคราะห์คาบการโคจรด้วยแผนภาพ O–C พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นพาราโบลาคว่ำ ซึ่งบ่งชี้ถึงการลดลงของคาบการโคจร จากผลการคำนวณพบว่าระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis มีคาบการโคจรเท่ากับ 0.377661 ± 0.0000007 วัน หรือประมาณ 9.0639 ชั่วโมง และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของคาบการโคจรลดลง $(-7.23 \pm 0.0013) \times 10^{-2}$ วินาทีต่อปี ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการถ่ายเทมวลระหว่างดาวฤกษ์ทั้งสองดวง เมื่อดาวหนึ่งขยายตัวจนเต็มเต็มพื้นผิวของโรช (Roche Lobe) หรือการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมผ่านกลไก Magnetic Braking ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อระบบดาวคู่ ผลการศึกษานี้จึงมีความสำคัญต่อการเพิ่มพูนความเข้าใจด้านการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ในระยะยาว

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจร, ระบบดาวคู่อุปราคา, กราฟแสง, วี 2821 โอไรออนิส

Abstract

This research aims to investigate the orbital period variation of the eclipsing binary system V2821 Orionis, which is classified as a β Lyrae-type semi-detached system. The light curve of the system exhibits continuous variations, indicating that both stellar components are orbiting around a common center of mass. The observations were carried out using a 1-meter reflecting telescope equipped with an Andor iKon-L CCD camera (2048 × 2048 pixels) through B, V, and Rc filters based. Data were collected at the National Observatory, Chiang Mai, on December 10–11, 2024, January 17, 2025, and January 19, 2025. All CCD images were calibrated and analyzed using the Differential Photometry technique with MaxIm DL Pro Version 6 to obtain the standard magnitudes. The orbital period analysis was performed using an Observed minus Calculated (*O*–*C*) diagram, which revealed a downward parabolic trend, indicating a decrease in the orbital period. The results show that V2821 Orionis has an orbital period of 0.377661 ± 0.0000007 days approximately 9.0639 hours and an orbital period decrease rate of $(-7.23 \pm 0.0013) \times 10^{-2}$ seconds per year. This decrease may be attributed to mass transfer between the two stars when one component expands to fill its Roche lobe, or to angular momentum loss through magnetic braking-both of which play crucial roles in the evolution of close binary systems. Therefore, the findings of this study provide valuable insights into the long-term orbital period evolution of eclipsing binary systems.

Keywords: Orbital Period Variation, Eclipsing Binary, Light Curve, V2821 Orionis

บทนำ

ระบบดาวคู่อุปราคา (Eclipsing Binaries) สามารถจำแนกได้เป็นสามประเภทตามรูปร่างของเส้นโค้งแสง ได้แก่ ประเภท EA (Algol Type) เป็นระบบดาวคู่แยกกัน (Detached System) ประเภท EB (β Lyrae Type) เป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน (Semi-Detached System) และประเภท EW (W UMa Type) เป็นระบบดาวคู่แบบแตะกัน (Contact System) ซึ่งแต่ละประเภทสะท้อนถึงระดับของการถ่ายเทมวลและโครงสร้างทางกายภาพของระบบดาวคู่ไปยังดาวอีกดวงผ่านจุดลากรานจ์ L_1 ซึ่งเป็นจุดสมดุลแรงโน้มถ่วงและแรงศูนย์กลางของระบบดาวคู่ ปรากฏการณ์นี้พบได้บ่อยในระบบประเภท EB หรือ β Lyrae-Type มีลักษณะเด่นคือการถ่ายเทมวล (Mass Transfer Mechanism) ระหว่างดาวฤกษ์ทั้งสอง ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรและวิวัฒนาการของระบบในระยะยาว การศึกษาทฤษฎีจึงมีความสำคัญต่อการทำความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ การสำรวจท้องฟ้าแบบทราเนเซียนต์ของ Catalina Real-Time Transient Survey (CRTS) (Zola et al., 2017) ได้ตรวจพบระบบดาวคู่อุปราคาจำนวนมาก ช่วยเพิ่มข้อมูลสำคัญต่อการศึกษาคาบการโคจรและวิวัฒนาการของระบบเหล่านี้ เช่น สุพัตรา วงศ์ศรียา (2556) ได้ทำการศึกษาระบบดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน GW Carina พบว่า

คาบการเปลี่ยนแปลงการโคจรเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เปรียบเทียบลักษณะของระบบดาวคู่ประเภท EB กับระบบดาวคู่ดวงอื่น ๆ ในกลุ่มเดียวกันยังมีไม่มากนักซึ่งเป็นช่องว่างที่ควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติม

ระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis เป็นประเภท EB ที่อยู่ในกลุ่มดาวนายพราน (Orion) ถูกค้นพบและบันทึกไว้ในฐานข้อมูลดาวแปรแสงหลายแห่ง เช่น AAVSO, SIMBAD และฐานข้อมูลของ Czech Astronomical Society (2007) อย่างไรก็ตาม สมการวงโคจรเชิงเส้น (Linear Ephemeris) และแผนภาพ $O-C$ ของระบบนี้ยังไม่ได้มีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ทำให้ข้อมูลคาบการโคจรอาจมีความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับค่าจากการสังเกตการณ์ล่าสุด ถ้าวิเคราะห์แผนภาพ $O-C$ กับ Epoch แสดงลักษณะเป็นกราฟพาราโบลาว่า นั่นหมายความว่าระบบดาวคู่นี้มีการลดลงของคาบวงโคจรอย่างต่อเนื่อง (รณชัย หล้าคอม และปฐมพงศ์ พันธุ์พิบูลย์, 2568)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์แผนภาพ $O-C$ และปรับปรุงสมการวงโคจรเชิงเส้นของดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis ให้เป็นข้อมูลล่าสุด โดยอาศัยข้อมูลเวลาแสงเกิดการบังกันของดาวทั้งสองดวง (Times of Minima) จากฐานข้อมูลสากล เช่น $O-C$ Gateway, AAVSO และ Czech Astronomical Society (2007) เพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงของคาบวงโคจรในช่วงปี 2007–2025 และประเมินแนวโน้มที่อาจบ่งบอกถึงกระบวนการถ่ายเทมวลระหว่างดาวฤกษ์ทั้งสองดวง ผลลัพธ์จากการศึกษานี้คาดว่าจะช่วยปรับปรุงคาบการโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis ให้มีความถูกต้องมากขึ้น และสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการสังเกตการณ์ทางโฟโตเมตริก (Photometric Variation) และสเปกโตรสโกปี (Spectroscopic Variation) ในอนาคต อันจะช่วยเสริมความเข้าใจในกลไกวิวัฒนาการของระบบดาวคู่อุปราคาได้ดียิ่งขึ้น

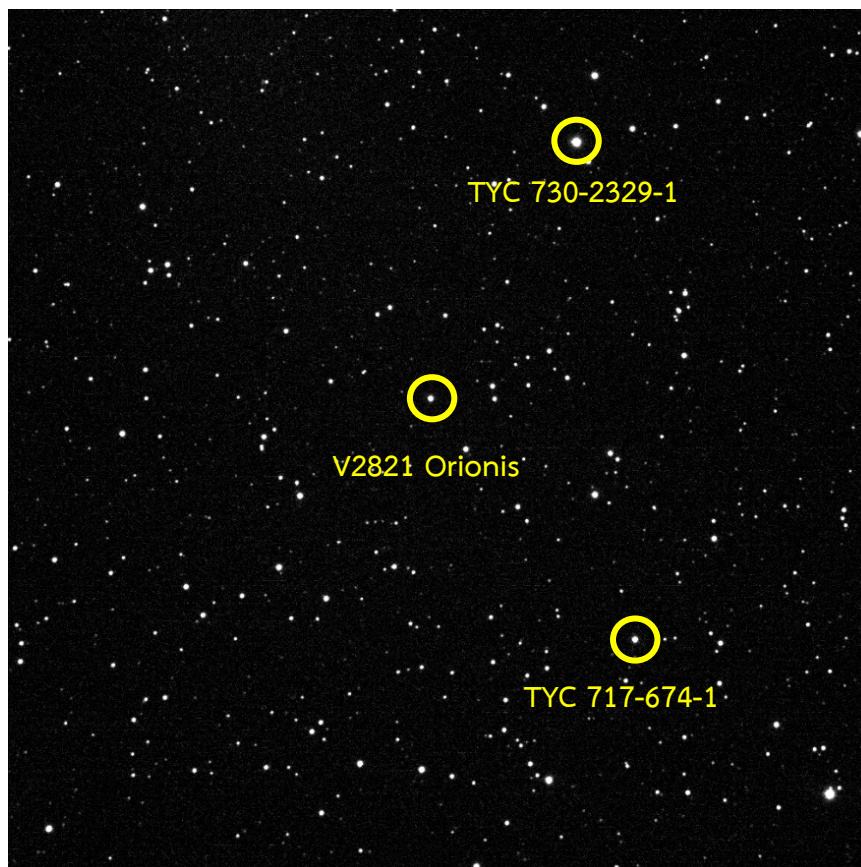
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis โดยการเขียนแผนภาพ $O-C$ ที่ได้จากการคำนวณค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร เชื่อมต่อกับกล้องซีซีดี รุ่น Andor iKon-L ขนาด 2048×2048 พิกเซล ผ่านแผ่นกรองแสง (Filters) ในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีน้ำเงิน (B) สีเหลือง (V) และสีแดง (Rc) ณ หอดูดาวแห่งชาติ จังหวัดเชียงใหม่ สังเกตการณ์ในวันที่ 10-11 ธันวาคม พ.ศ. 2567, 17 มกราคม พ.ศ. 2568 และ 19 มกราคม พ.ศ. 2568 รวมระยะเวลา 4 คืน เพื่อพื่อต่อการสรุปแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis เนื่องจากมีคาบการโคจรเริ่มต้น 0.377664 วัน แสดงใน American Association of Variable Star Observers (AAVSO) วัดค่าความสว่างด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโฟโตเมตรี ซึ่งเป็นการวัดความสว่างสัมพัทธ์ของดาวสังเกตการณ์เทียบกับดาวเปรียบเทียบ (Comparison Star) แทนการวัดค่าความสว่างเชิงสัมบูรณ์โดยตรง สามารถช่วยลดค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากเครื่องมือวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ค่าความสว่างเชิงปริมาณหาได้จากผลต่างระหว่างค่าความสว่างของระบบดาวคู่เปรียบเทียบกับดาวเทียบเคียงสำหรับสามช่วงความยาวคลื่นในงานวิจัยนี้ใช้ TYC 730-2329-1 เป็นดาวเปรียบเทียบ และ TYC 717-674-1 เป็นดาวตรวจสอบ (SIMBAD

Astronomical Database, 2025) โดยทั้งสองดวงต้องไม่เป็นดาวแปรแสง และอยู่ไม่ห่างจากระบบดาวคู่ไม่เกิน 1 องศา โดยมีพิกัดตำแหน่งของระบบดาวคู่อุปราคา ดาวเปรียบเทียบ และดาวตรวจสอบ ดังแสดงรูปที่ 1 และในตารางที่ 1



รูปที่ 1 ภาพถ่ายของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis ดาวเปรียบเทียบ และดาวตรวจสอบ

ตารางที่ 1 ข้อมูลพิกัดของระบบดาวคู่ ดาวเปรียบเทียบ และดาวตรวจสอบ ตาม Epoch ค.ศ. 2000

Star	Right Ascension (R.A.)	Declination (Dec)	Magnitude (Mag)
V2821 Orionis (ดาวสังเกตการณ์)	06 ^h 07 ^m 42.866 ^s	+08° 44' 38.26"	13.92
TYC 730-2329-1 (ดาวเปรียบเทียบ)	06 ^h 07 ^m 53.013 ^s	+08° 39' 12.34"	10.83
TYC 717-674-1 (ดาวตรวจสอบ)	06 ^h 07 ^m 23.973 ^s	+08° 44' 56.73"	12.53

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสังเกตการณ์ โดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. การเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงแสง (Photometric Data Acquisition) โดยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงแสงของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis โดยใช้กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร ติดตั้งบนฐานตั้งกล้องแบบอัลตัสซิมุธ (Altazimuth) เชื่อมต่อกับกล้องถ่ายภาพซีซีดี รุ่น Andor iKon-L ซึ่งมีขนาดความละเอียด 2048×2048 พิกเซล

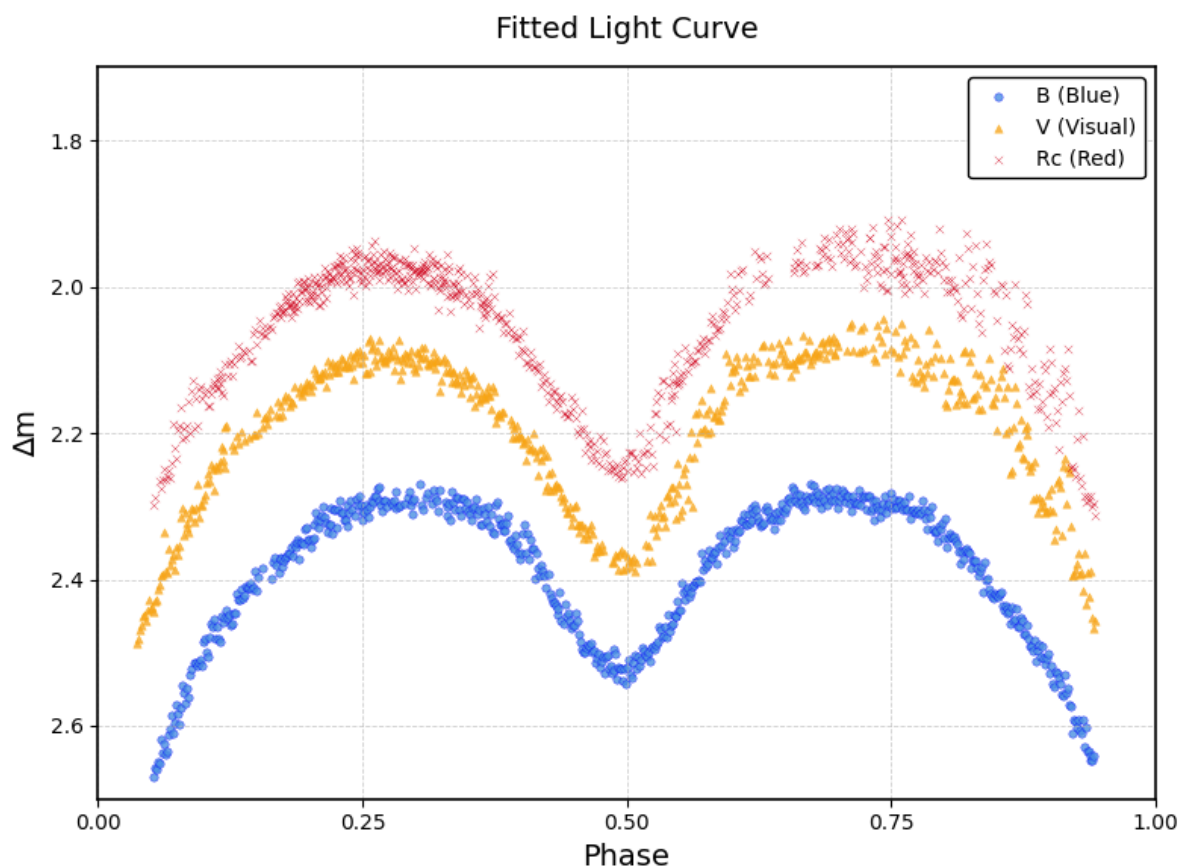
การสังเกตการณ์ครั้งนี้ ใช้แผ่นกรองแสง (Filters) ในช่วงความยาวคลื่นของแสง สีน้ำเงิน (B) สีเหลือง (V) และสีแดง (Rc) ซึ่งเป็น Filters ที่อยู่ในระบบ Johnson-Cousins Photometric System การใช้ Filters ดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อจำกัดช่วงความยาวคลื่นของแสงที่ผ่านเข้าสู่กล้อง CCD เพื่อให้สามารถวัดค่าความสว่างของวัตถุในแต่ละย่านของสเปกตรัมได้อย่างแม่นยำและเป็นมาตรฐาน การสังเกตการณ์ได้ดำเนินการทั้งหมดเป็นระยะเวลา 4 คืน ได้รับข้อมูลภาพถ่ายรวมทั้งสิ้น 5,139 ภาพ โดยรายละเอียดของการสังเกตการณ์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลจำนวนภาพถ่ายที่ได้จากการสังเกตการณ์เชิงแสงของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis

วัน/เดือน/ปี	จำนวนข้อมูลภาพถ่ายในแต่ละช่วงความยาวคลื่น		
	สีน้ำเงิน (B)	สีเหลือง (V)	สีแดง (Rc)
10/12/2567	502	502	502
11/12/2567	303	303	303
17/01/2568	590	590	589
19/01/2568	318	318	318

2. การประมวลผลและการวัดค่าโชติมาตร (Magnitude) โดยดำเนินการปรับปรุงภาพถ่ายจากการสังเกตการณ์ให้เข้าสู่ค่ามาตรฐาน และทำการวัดค่าโชติมาตรโดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโฟโตเมตรีด้วยโปรแกรม MaxIm DL Pro Version 6 ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากการสังเกตการณ์แผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีน้ำเงิน (B) สีเหลือง (V) และสีแดง (Rc)

ภาพถ่ายทั้งหมดถูกนำไปผ่านกระบวนการรีดักชันภาพ (Image Reduction) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลและกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ที่ไม่ต้องการให้เหลือเพียงข้อมูลที่เป็นมาตรฐาน (Calibration) ได้แก่ การลบค่า Bias, Dark และ Flat Field โดยใช้โปรแกรม MaxIm DL Pro Version 6 จากนั้นได้ทำการวัดค่าความสว่างเชิงโฟโตเมตรี (Photometry Measurement) ของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis และดำเนินการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการสังเกตการณ์เชิงเปรียบเทียบ (Differential Observation) เพื่อหาผลต่างของค่าความสว่างปรากฏระหว่างระบบดาวคู่กับดาวเปรียบเทียบในแต่ละช่วงความยาวคลื่น (B, V และ Rc) ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างกราฟแสง (Light Curve) ของระบบดาวคู่อุปราคาในแต่ละช่วงความยาวคลื่น แสดงดังรูปที่ 2



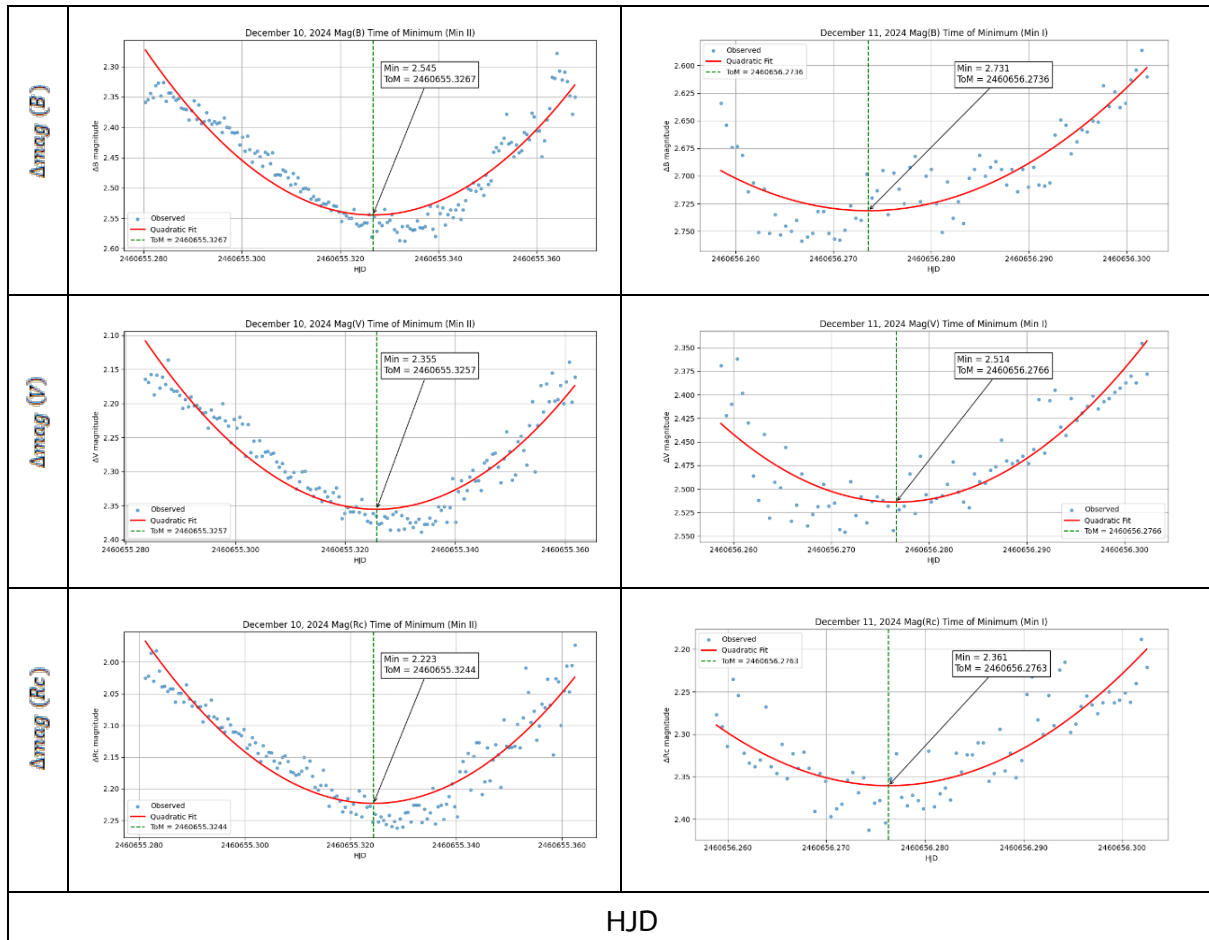
รูปที่ 2 กราฟแสงของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis ช่วงความยาวคลื่น (B, V และ Rc)

3. คำนวณหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (Time of Minimum Light) โดยทำการแปลงค่าของวันจูเลียน (Julian Date; JD) ให้เป็นค่าของวันจูเลียนศูนย์กลางสุริยะ (Heliocentric Julian Date; HJD) (Stephen, 2018) เพื่อปรับการอ้างอิงเวลาจากตำแหน่งของโลกให้เป็นค่าที่อ้างอิงกับจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ ซึ่งช่วยลดผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของโลกในวงโคจรที่มีต่อการบันทึกเวลาในกระบวนการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์

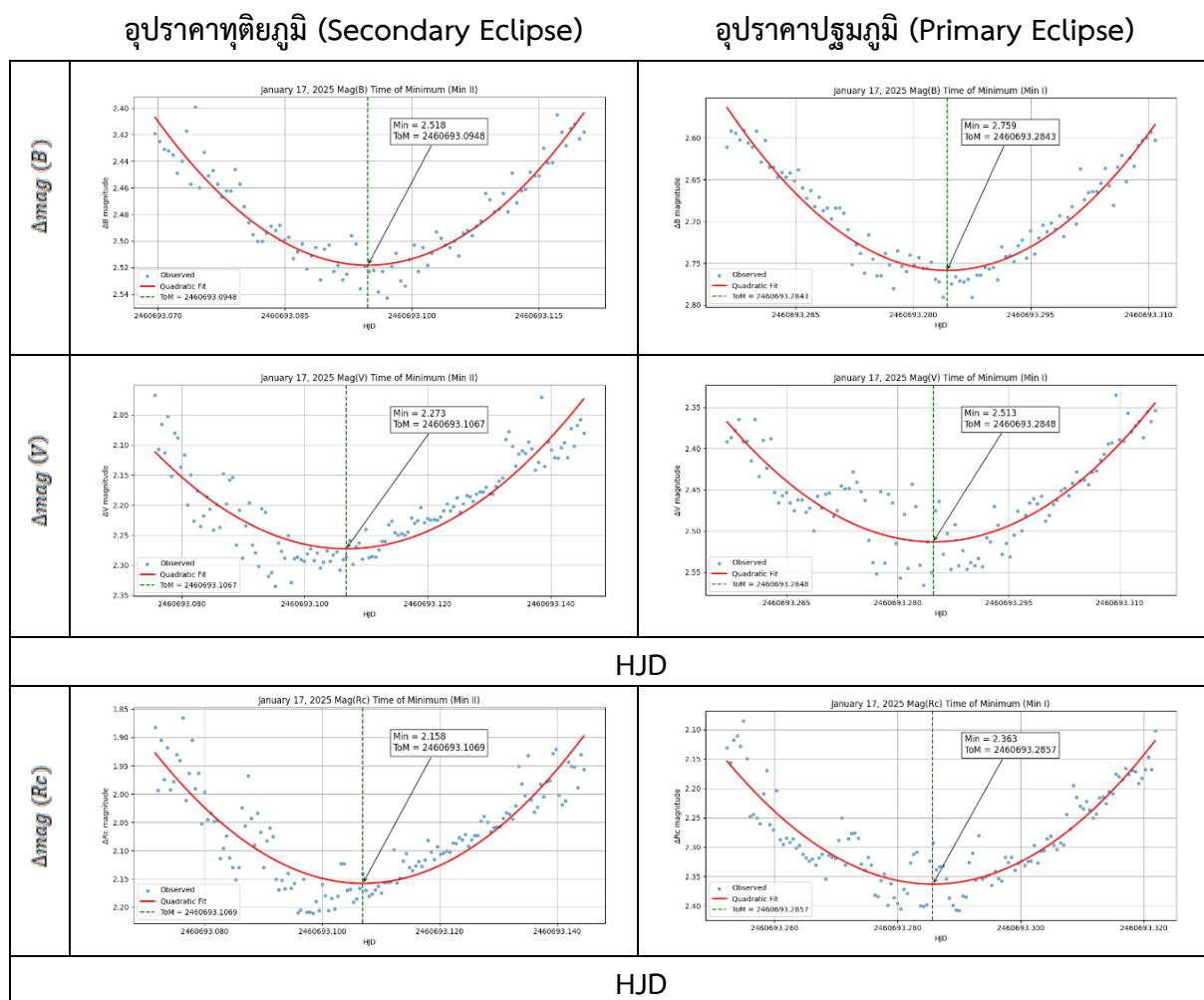
จากนั้นทำการฟิตกราฟด้วยวิธี Quadratic Equation ในบริเวณรอบ ๆ จุดต่ำสุดของแสง (Minima) ซึ่งเป็นช่วงข้อมูลที่ใกล้เคียงกับค่าความสว่างปรากฏต่ำสุดในกราฟแสง โดยพล็อตกราฟระหว่าง ค่า HJD กับ ค่า Δm ของแต่ละ Filters ทั้งนี้ค่าแมกนิจูด (Magnitude) มากที่สุดจะสอดคล้องกับช่วงเวลาที่แสงของระบบดาวคู่มืดที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3 - 5 แสดงวิธีการวิเคราะห์และคำนวณหาค่า ToM ช่วงเวลาที่แสงน้อยที่สุดที่สังเกตการณ์ในแต่ละวันของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis

อุปราคาทุติยภูมิ (Secondary Eclipse)

อุปราคาปฐมภูมิ (Primary Eclipse)

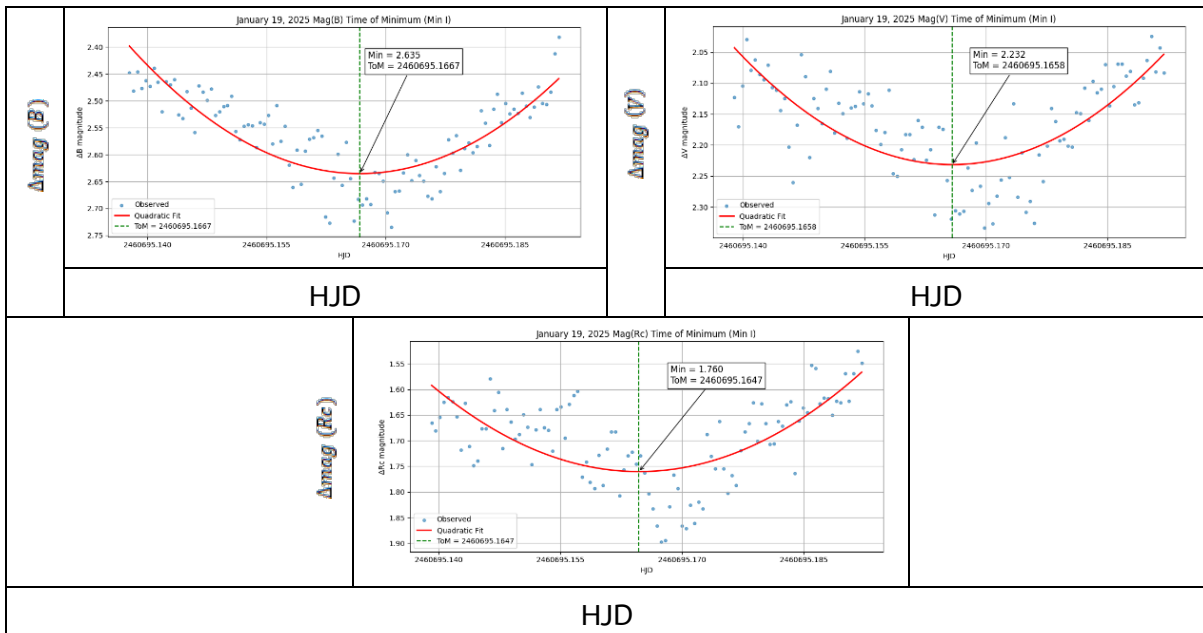


รูปที่ 3 การวิเคราะห์และคำนวณหาค่า ToM ของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis
ในช่วงวันที่ 10-11 ธันวาคม พ.ศ.2567



รูปที่ 4 การวิเคราะห์และคำนวณหาค่า ToM ของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis
 ในช่วงวันที่ 17 มกราคม พ.ศ.2568

อุปราคาปฐมภูมิ (Primary Eclipse)



รูปที่ 5 การวิเคราะห์และคำนวณหาค่า ToM ของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis
ในช่วงวันที่ 19 มกราคม พ.ศ.2568

4. คำนวณค่าความแตกต่างระหว่างเวลาที่สังเกตได้และเวลาที่คำนวณได้ (O-C) เป็นขั้นตอนสำคัญในการวิเคราะห์พฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงคาบ (Period Variation) ของระบบดาวคู่อุปราคา หลังจากได้ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (ToM) จากการฟิตกราฟแบบพาราโบลา (Quadratic Fit) แล้วนำค่า (Observed Time; O) ลบกับค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดที่ได้จากการคำนวณ (Calculated Time; C) ดังสมการที่ (3) (Bradstreet, 2009)

$$O = HJD_0 + P(E) \times E \quad (1)$$

$$C = HJD_0 + P_0 \times E \quad (2)$$

$$(O-C) = P(E)E - P_0 \times E \quad (3)$$

- เมื่อ O คือ ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดที่ได้จากการสังเกตการณ์
C คือ ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดที่ได้จากการคำนวณ
HJD₀ คือ เวลาที่เกิดอุปราคาปฐมภูมิที่ใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงในหน่วยวันจูเลียนศูนย์สุริยะ
P₀ คือ คาบการโคจรของระบบดาวคู่ ณ เวลาที่ใช้อ้างอิง
E คือ Epoch หรือจำนวนคาบที่ผ่านไปเมื่อพิจารณาจาก HJD₀ โดยที่ HJD₀ มีค่า Epoch เท่ากับ 0
P(E) คือ คาบที่วัดได้จากการสังเกตการณ์

โดยค่า $O-C$ ที่ได้จะใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคาบการโคจร $O-C$ Diagram หากข้อมูลมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง หมายถึงคาบการโคจรคงที่ แต่ถ้าข้อมูลมีลักษณะเป็นเส้นกราฟ โค้งพาราโบลาคว่ำ แสดงว่าคาบการโคจรของระบบดาวคู่มีการเปลี่ยนแปลง นั้นหมายความว่าระบบดาวคู่ มีการลดลงของคาบการโคจรอย่างต่อเนื่อง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการคำนวณสมการเชิงเส้น (Linear Ephemeris) ของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis โดยอ้างอิงจากสมการเชิงเส้นเดิมที่นักดาราศาสตร์ได้รายงานไว้ก่อนหน้านี้ ดังแสดงในสมการที่ (4) AAVSO และ Czech Astronomical Society (2007) ดังนั้นงานวิจัยนี้ดำเนินการสร้างกราฟโดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า HJD และค่า Δm กราฟที่ได้จะใช้ในการวิเคราะห์หาเวลาที่แสงน้อยที่สุด ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยค่า ToM เป็นค่าพารามิเตอร์สำคัญในการศึกษาคาบการโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis

$$\text{MIN I} = \text{HJD}2454133.659 + 0^d.377664 \times E \quad (4)$$

จากการวิเคราะห์กราฟระหว่างค่า HJD และค่า Δm ดังแสดงใน รูปที่ 3 - 5 พบว่า ข้อมูลการสังเกตการณ์ของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis แสดงให้เห็นการเกิดอุปราคาของระบบดาวคู่ทั้งสอง ช่วง ได้แก่ อุปราคาปฐมภูมิ (Primary Eclipse) และอุปราคาทุติยภูมิ (Secondary Eclipse) การวิเคราะห์หาเวลาที่แสงน้อยที่สุดทั้งหมด ดังตารางที่ 3 เพื่อหาดำแหน่งของค่าต่ำสุด (Minima) ได้อย่างแม่นยำเพียงพอสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงคาบ (Period Analysis) ในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 3 ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดจากการสังเกตการณ์ในแต่ละช่วงความยาวคลื่น (B, V และ Rc) ของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis

วันที่สังเกตการณ์	ช่วงความยาวคลื่น	ชนิดของอุปราคา	ค่าเวลาที่แสงน้อยสุด
10 ธันวาคม พ.ศ.2567	สีน้ำเงิน (B)	II	2460655.3267
	สีเหลือง (V)	II	2460655.3257
	สีแดง (Rc)	II	2460655.3244
	ค่าเฉลี่ย	II	2460655.3254
11 ธันวาคม พ.ศ.2567	สีน้ำเงิน (B)	I	2460656.2736
	สีเหลือง (V)	I	2460656.2766
	สีแดง (Rc)	I	2460656.2763
	ค่าเฉลี่ย	I	2460656.2756

17 มกราคม พ.ศ.2568	สีน้ำเงิน (B)	II	2460693.0948
	สีเหลือง (V)	II	2460693.1067
	สีแดง (Rc)	II	2460693.1069
	ค่าเฉลี่ย	II	2460693.1028
	สีน้ำเงิน (B)	I	2460693.2843
	สีเหลือง (V)	I	2460693.2848
	สีแดง (Rc)	I	2460693.2857
	ค่าเฉลี่ย	I	2460693.2847
19 มกราคม พ.ศ.2568	สีน้ำเงิน (B)	I	2460695.1667
	สีเหลือง (V)	I	2460695.1658
	สีแดง (Rc)	I	2460695.1647
	ค่าเฉลี่ย	I	2460695.1664

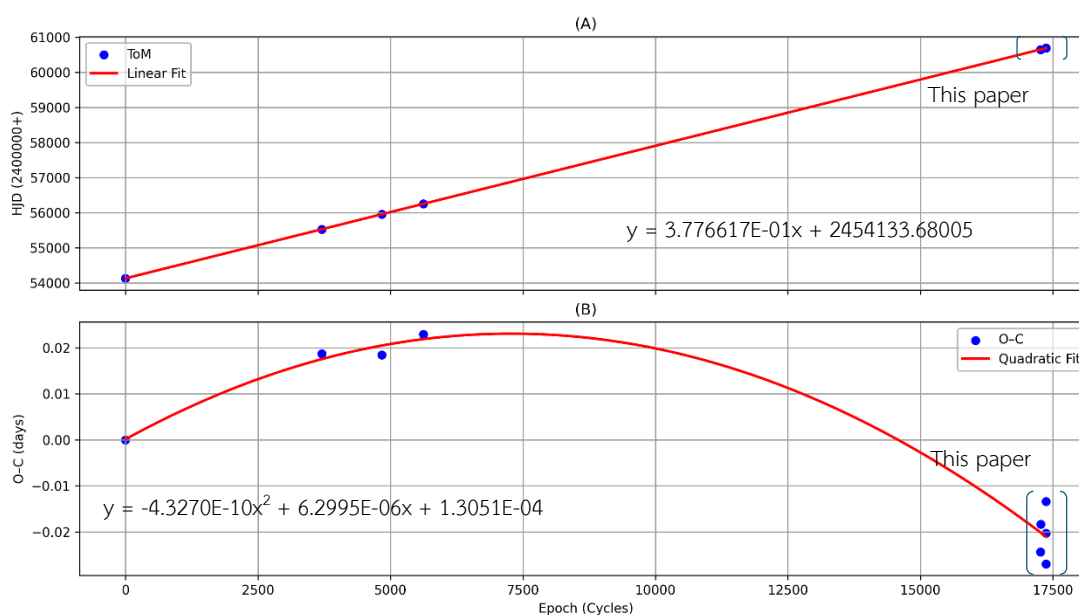
จากนั้นนำค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (Time of Minimum Light; ToM) แสดงในตารางที่ 3 โดยนำค่าเฉลี่ยของแต่ละชนิดของอุปราคาในแต่ละวันไปใช้คำนวณหาค่าผลต่างระหว่างเวลาที่สังเกตการณ์ได้และเวลาที่คำนวณได้ (Observed Minus Calculated) เพื่อใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคาบวงโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis จากการรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007-2025

HJD(O) (2400000+)	Epoch	HJD(C) (2400000+)	O-C (days)	Type	Reference
54133.6590	0.0000	54133.6590	0.0000	I	Diethelm (2011)
55532.9228	3705.0	55532.9041	0.0186	I	Diethelm (2011)
55959.6829	4835.0	55959.6644	0.0185	I	Diethelm (2012)
56256.9089	5622.0	56256.8860	0.0229	I	Diethelm (2013)
60655.3254	17268.5	60655.3498	-0.0243	II	This paper 10/12/2024
60656.2756	17271.0	60656.2939	-0.0183	I	This paper 11/12/2024

60693.1028	17368.5	60693.1162	-0.0134	II	This paper 17/01/2025
60693.2847	17369.0	60693.3050	-0.0203	I	This paper 17/01/2025
60695.1664	17374.0	60695.1933	-0.0269	I	This paper 19/01/2025

เมื่อนำค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด จากการสังเกตการณ์ในงานวิจัยนี้ไปรวมกับข้อมูลในอดีตตั้งแต่ ปี ค.ศ. 2007 - 2025 ดังแสดงในตารางที่ 4 สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า HJD_{Min} กับ Epoch (E) ดังแสดงในรูปที่ 6(A) สามารถนำมาคำนวณหาสมการเชิงเส้นใหม่ (Linear Ephemeris) ได้อย่างมีความแม่นยำสูงขึ้น ซึ่งยืนยันได้ว่าค่าที่สังเกตการณ์ได้ (Observed Time of Minima) มีความสอดคล้องกับค่าที่คำนวณได้ ตามสมการอ้างอิง เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าผลต่าง ($O-C$) ที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่สังเกตและค่าที่คำนวณตามสมการที่ (3) พบว่า กราฟ $O-C$ Diagram มีลักษณะเป็นพาราโบลาคว่ำ ดังแสดงในรูปที่ 6(B) ซึ่งบ่งชี้ว่าระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis มีแนวโน้มคาบการโคจรลดลงตามเวลา



รูปที่ 6 (A) ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่า HJD_{Min} กับ Epoch
 (B) แผนภาพ $O-C$ ของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007-2025

พิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $O-C$ กับ Epoch (E) แสดงดังรูปที่ 6(B) พบว่าเส้นกราฟมีลักษณะเป็นพาราโบลาคว่ำแนวโน้มของคาบลดลง แสดงให้เห็นว่าคาบวงโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ด้วยสมการพหุนามเมียร์ลำดับที่ 2 (Second Order

Polynomial Fitting) และใช้วิธีการฟิตกราฟด้วยสมการพหุนามกำลังสอง (Quadratic Polynomial Fitting Method) ดังสมการที่ (5) (Bradstreet, 2009) ซึ่ง Fitting ได้จากรูปที่ 6(B) ดังนี้

$$(O-C) = aE^2 + bE + c \quad (5)$$

$$(O-C) = -4.3270 \times 10^{-10} \times E^2 + 6.2995 \times 10^{-06} \times E + 1.3051 \times 10^{-04} \quad (6)$$

$$dP/dE = 2(-4.3270 \times 10^{-10}) \quad (7)$$

$$dP/dE = -8.6540 \times 10^{-10} \quad (8)$$

สามารถคำนวณหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของคาบวงโคจร ดังสมการที่ (8) ในหน่วยวันต่อรอบ (days/cycle) แล้วทำการแปลงหน่วยให้เป็น วินาทีต่อปี (sec/year) พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของคาบวงโคจรมีค่าเป็น $(-7.23 \pm 0.0013) \times 10^{-2}$ วินาทีต่อปี ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการถ่ายเทมวลระหว่างดาวฤกษ์ทั้งสองดวง เมื่อดาวหนึ่งขยายตัวจนเต็มเต็มพื้นผิวของโรซหรือการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมผ่านกลไก Angular Momentum Loss; AML ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อระบบดาวคู่ ผลการศึกษาครั้งนี้จึงมีความสำคัญต่อการเพิ่มพูนความเข้าใจด้านการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ในระยะยาว

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลกราฟแสงของระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis โดยทำการสังเกตการณ์ด้วยกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร ติดตั้งบนฐานตั้งกล้องแบบอัลตัสซิมุส (Altazimuth) เชื่อมต่อกับกล้องถ่ายภาพซีซีดี รุ่น Andor iKon-L ขนาดความละเอียด 2048×2048 พิกเซล ในวันที่ 10-11 ธันวาคม พ.ศ. 2567, 17 มกราคม พ.ศ. 2568 และ 19 มกราคม พ.ศ. 2568 รวมระยะเวลา 4 คืน วัดค่าความสว่างด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโฟโตเมตรี ซึ่งเป็นการวัดความสว่างสัมพัทธ์ของดาวสังเกตการณ์เทียบกับดาวเปรียบเทียบ เป็นเทคนิคการวัดค่าความสว่างของระบบดาวคู่ที่สามารถลดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากเครื่องมือวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากนั้นคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ โดยใช้แผนภาพ $O-C$ ที่ได้จากค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรลดลงด้วยอัตราเฉลี่ย $(-7.23 \pm 0.0013) \times 10^{-2}$ วินาทีต่อปี และมีคาบการโคจร 0.377661 ± 0.0000007 วัน หรือประมาณ 9.0639 ชั่วโมง ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการถ่ายเทมวลระหว่างดาวฤกษ์ทั้งสองดวงภายในระบบ หรือการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุม (Angular Momentum Loss; AML) จนกระทั่งดาวทั้งสองดวงเริ่มมีอุณหภูมิพื้นผิวที่เท่ากันกลายเป็นระบบดาวคู่แบบตะกั่วกัน

ผลการวิเคราะห์แผนภาพ $O-C$ พบว่า ระบบดาวคู่อุปราคา V2821 Orionis มีแนวโน้มคาบการโคจรลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของระบบดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน ประเภท บีตา ไลร์ โดยกลไกสำคัญที่อธิบายปรากฏการณ์นี้ได้คือ กระบวนการถ่ายเทมวลระหว่างดาวฤกษ์ทั้งสองดวงภายในระบบ ผลจากกระบวนการถ่ายเทมวลในระบบดาวคู่อุปราคาเช่นนี้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางโฟโตเมตริก ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการศึกษาวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ต่อไปในอนาคต โดยการสร้างแบบจำลอง

เชิงกายภาพที่มีความละเอียดสูงร่วมกับการประเมินค่าสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เช่น มวล รัศมี อุณหภูมิ และ มุมเอียงของระนาบวงโคจร รวมทั้งการวิเคราะห์แสงจากวัตถุที่สามซึ่งอาจเป็นสาเหตุของความคลาดเคลื่อนใน กราฟแสง ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรที่ลดลงซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากการหน่วงของแม่เหล็ก ของดาวฤกษ์และการถ่ายเทมวลระหว่างดาวสมาชิกทั้งสองดวง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ หอดูดาวแห่งชาติ จังหวัดเชียงใหม่ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล ในงานวิจัย และเอื้อเฟื้อการใช้โปรแกรม MaxIm DL Pro Version 6 ในการวิเคราะห์ข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- ปฐมพงศ์ พันธุ์พิบูลย์, รณชัย หล้าคอม และวิจิตร เชาว์วันกลาง. (2561). การศึกษาโฟโตเมตริกและสมบัติทาง กายภาพของระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตะกัน วี 1799 โอโรนิส. *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 46(3), 526–534.
<https://ph01.tcithaijo.org/index.php/KKUSciJ/article/view/249922/169499>
- รณกฤต รัตนมาลา. (2552). *การเปลี่ยนคาบของวงโคจรและการวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ เอเค คานิส ไม นอริส* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
<https://cmudc.library.cmu.ac.th/frontend/Info/item/dc:111202>
- รณชัย หล้าคอม และปฐมพงศ์ พันธุ์พิบูลย์. (2568). การวิเคราะห์เวลาแสงต่ำสุดและการเปลี่ยนแปลงคาบวง โคจรของระบบดาวคู่อุปราคา PV Comae Berenices. *Journal of Science, Engineering, and Technology Rajabhat Maha Sarakham University*, 4(1), 1–11. <https://ph03.tcithaijo.org/index.php/jsetRMU/article/view/3936/2904>
- วนิดา ปิงสุแสน. (2551). *การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่แบบแตะกัน จี ดับเบิลยู ทอริ* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
<https://cmudc.library.cmu.ac.th/frontend/Info/item/dc:109970>
- สุภาณี ใหม่จันทร์ดี, ตอริก เอ็งปียา และวริษา ปานเจริญ. (2565). การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจร ของระบบดาวคู่ V415 Vir. *วารสารวิทยาศาสตร์โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ*, 5(1), 59–65.
<https://www.atsse.org/article/1/61/790861036>
- สุพัตรา วงศ์ศรียา. (2556). *สมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน จีดับเบิลยู คารินา* (วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2556/phys40656sw_abs.pdf
- อรดี พิลลาโฮม, เชิดตระกูล หอมจำปา, อธิราช ศรีมหา และสมานชาญ จันทร์เอี่ยม. (2561). การศึกษาการ เปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ DF Hydrae. *วารสารวิทยาศาสตร์โลก ดาราศาสตร์ และ อวกาศ*, 1(1), 47–54. <https://www.atsse.org/article/1/9/6841048>
- AAVSO. *The International Variable Star Index*. Retrieved December 1, 2024, from <https://vsx.aavso.org/index.php?view=detail.top&oid=79014>

- Bradstreet, D. H. (2009). *Ephemerides of variable stars* [Lecture notes]. Eastern University. Retrieved December 3, 2024, from https://templeton.eastern.edu/sites/default/files/inline-files/ephemerides_of_variable_stars.pdf
- Breinhorst, R. A., Kallrath, J., & Kämpfer, B. C. (1989). Light curve analysis and parameter study of the EB-type eclipsing binary V 836 Cygni. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 241(3), 559–573. <https://doi.org/10.1093/mnras/241.3.559>
- Czech Astronomical Society. (2007). V2821 Ori – Eclipsing binary. Variable Star and Exoplanet Section. Retrieved February 1, 2025, from <https://var.astro.cz/en/Stars/17650>
- Diethelm, R. (2011). Timings of minima of eclipsing binaries. *Information Bulletin on Variable Stars*, 5960(1), 1–11. <https://ibvs.konkoly.hu/pub/ibvs/5901/5960.pdf>
- Diethelm, R. (2012). Timings of minima of eclipsing binaries. *Information Bulletin on Variable Stars*, 6029(1), 1–22. <https://ibvs.konkoly.hu/pub/ibvs/6001/6029.pdf>
- Diethelm, R. (2013). Timings of minima of eclipsing binaries. *Information Bulletin on Variable Stars*, 6042(1), 1–10. <https://ibvs.konkoly.hu/pub/ibvs/6001/6042.pdf>
- Kreiner, J. M. (2004). *O–C diagrams and up-to-date linear elements of eclipsing binaries*. Mt. Suhora Observatory. Retrieved February 1, 2025, from <https://www.as.up.krakow.pl/minicalc/ORIV2821.HTM>
- Reed, P. A. (2013). *Mass transfer between stars: Photometric studies*. In Mass transfer: Advanced aspects (pp. 1–16). Retrieved from https://cdn.intechopen.com/pdfs/23511/InTech-Mass_transfer_between_stars_photometric_studies.pdf
- SIMBAD Astronomical Database. (2025). TYC 730-2329-1 and TYC 717-674-1. Centre de Données astronomiques de Strasbourg. Retrieved February 1, 2025, from <https://simbad.cds.unistra.fr/simbad/sim-fbasic>
- Stephen, F. (2018). *Heliocentric Julian Date calculator*. Retrieved February 1, 2025, from <https://astronomy.sfasu.edu/astro/hjd.html>
- Yang, Y. G., Li, Q., Li, H. L., & Dai, H. F. (2016). Period studies and photometric models for two EB-type binaries EU Hya and AW Vul. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 16(2), 1-8. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1674-4527/16/2/035>
- Zhao, M., Gies, D., Monnier, J. D., Thureau, N., Pedretti, E., Baron, F., ... Goldfinger, P. J. (2008). First resolved images of the eclipsing and interacting binary β Lyrae. *The Astrophysical Journal*, 684(2), L95–L98. <https://iopscience.iop.org/article/10.1086/592146/pdf>

Zola, S., Szkody, P., Ciprini, S., Verrecchia, F., Debski, B., Ogloza, W., ... Hoette, V. L. (2017).
Observational study of an unusual cataclysmic binary 2MASS J16211735+4412541.
The Astronomical Journal, 154(6), 1-11.
<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-3881/aa9565>

Received: February 2, 2026

Revised: March 22, 2026

Accepted: April 8, 2026

Published: June 21, 2026

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา ปี พ.ศ.2568

โดยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

Coastal Line Change Analysis of Samila Beach, Songkhla Province, (2025)

using Geoinformatics Technology.

ลักขิกา นวลแก้ว¹ วาฟัต บากา¹ นวรัตน์ สีตะพงษ์² และ ศักดิ์ชัย คงนคร^{3*}

Luksika Nuankaew¹, Wafat Baka¹, Nawarat Seetapong² and Sakchai Kongnakorn^{3*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา

²สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา

³สาขาวิชานวัตกรรมและการเกษตรเพื่อความยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา

¹Program in General Science, Faculty of Education, Songkhla Rajabhat University, Songkhla

²Program in Physics, Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla

³Program in Agricultural Innovation for Sustainability, Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla

* sakchai.kh@skru.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพชายฝั่งหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา เริ่มจากรูปปั้นนางเงือกทอง ถึงเขื่อนกันคลื่นปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา ระยะทาง 2,720 เมตร เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่ง และจัดทำแผนที่แสดงการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลบริเวณหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา โดยบันทึกตำแหน่งแนวชายฝั่งด้วยเครื่องระบุพิกัดภูมิศาสตร์ (GPS) เวลาที่ระดับน้ำขึ้นสูงสุดจากตารางน้ำขึ้น-น้ำลง บันทึกเดือนละ 2 ครั้ง ทุกเดือนต่อเนื่องกันเป็นเวลา 1 ปี ในปี พ.ศ. 2568 จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Quantum GIS 3.4.12 เพื่อคำนวณพื้นที่หาดสมิหลาที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่า ในปี พ.ศ. 2568 พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบทับถมอย่างต่อเนื่องในอัตรา 3,612.09 ตารางเมตรต่อเดือน หรือ 43,345.08 ตารางเมตรต่อปี และพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาใน พ.ศ.2568 มีพื้นที่เฉลี่ยตลอดปี เท่ากับ 1,150,039.85 ตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาจากการเก็บข้อมูลในปี พ.ศ.2561 ซึ่งมีพื้นที่เฉลี่ยตลอดปี เท่ากับ 1,092,286.62 ตารางเมตร หรือภายใน 8 ปี พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเกิดการทับถมเพิ่มขึ้น 57,753.23 ตารางเมตร หรือพื้นที่ที่ทับถมเพิ่มขึ้น 7,219.15 ตารางเมตรต่อปี คิดเป็นอัตราการทับถม 2.65 เมตรต่อปี จากแผนที่พบว่าเกิดการทับถมบริเวณชายฝั่งหาดสมิหลาตอนบนและตอนกลางมากกว่าชายฝั่งหาดสมิหลาตอนล่าง

คำสำคัญ : พื้นที่ทับถม, การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง, เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ, หาดสมิหลา

Abstract

A study on the changes in the coastal conditions of Samila Beach, Songkhla Province. The study area starts from the Golden Mermaid statue to the breakwater at the mouth of the Songkhla Lake channel, covering a distance of 2,720 meters. The objective was to study the change in the coastal area and to prepare a map showing the coastline changes in the Samila Beach area, Songkhla Province. The coastline position was recorded using a Geographic Positioning System, with the time of the highest tide taken from the tide tables. Data was recorded 2 a month, every month, continuously for one year in 2025 A.D. The data was then analyzed to calculate the area of Samila Beach using the Quantum GIS 3.4.12. It was found that the coastal area of Samila Beach is continuously undergoing depositional change at a rate of 3,612.09 square meters per month, or 43,345.08 square meters per year. The average beach area throughout the year in 2025 A.D. will be equal to 1,150,039.85 square meters. When compared to the Samila beach area from data collected in 2018 A.D., which had an average beach area throughout the year of 1,092,286.62 square meters, it shows that over a period of 8 years, the coastal area of Samila Beach has increased due to deposition by 57,753.23 square meters, or an increase of 7,219.15 square meters per year. The coastline is experiencing sedimentation at a rate of 2.65 meters per year. The map indicates that deposition occurred more significantly in the upper and middle sections of the coast than in the lower section.

Keywords: Coastal Line Change, Deposition, Geoinformatics Technology, Samila Beach

บทนำ

ชายฝั่งทะเลประเทศไทยยาวประมาณ 3,151.13 กิโลเมตร ครอบคลุม 549 ตำบล ใน 117 อำเภอ 24 จังหวัด ประกอบด้วย จังหวัดพื้นที่ติดชายฝั่งทะเล 23 จังหวัด และจังหวัดที่ได้รับอิทธิพลจากการขึ้นถึงของน้ำทะเลในปัจจุบัน 1 จังหวัด คือ จังหวัดพัทลุง (สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน, 2558) เป็นฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย 18 จังหวัด ตั้งแต่จังหวัดตราดลงไปทางตอนใต้จนถึงชายแดนไทย-มาเลเซียที่จังหวัดนราธิวาส ความยาว 2,039.78 กิโลเมตร และฝั่งทะเลอันดามัน 6 จังหวัด ตั้งแต่จังหวัดระนองถึงจังหวัดสตูล ความยาว 1,111.35 กิโลเมตร (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2566; กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2568) ลักษณะเชิงกายภาพของสองฝั่งทะเลนี้แตกต่างกันอย่างชัดเจน คือ ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยมีลักษณะเป็นชายฝั่งทะเลแบบยกตัว ส่วนมากเป็นหาดทรายที่เกิด

จากการสะสมตัวของตะกอนเป็นเวลายาวนาน เป็นชายหาดที่ค่อนข้างยาวต่อเนื่องกัน มีแม่น้ำที่ไหลลงทะเลฝั่งอ่าวไทยหลายสาย มีเกาะแก่งและภูเขาหินน้อยมากเมื่อเทียบกับฝั่งทะเลอันดามัน ซึ่งมีลักษณะเป็นชายฝั่งทะเลแบบยุบตัว มีชายหาดแบบกระเปาะ คือ เป็นชายหาดสั้น ๆ แทรกอยู่ระหว่างเกาะแก่งและโขดหิน (ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2561; สมปรารถ ฤทธิ์พริ้ง, 2554)

การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยเฉพาะการกัดเซาะชายฝั่งเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ต้องแก้ไข เพราะมีผลกระทบต่อประชาชนที่อยู่อาศัยพื้นที่ชายฝั่งมากกว่า 12 ล้านคน (สิตาวีร์ ชีรวิรุฬห์, 2569; นิคม อ่อนสี และคณะ, 2559) ชายฝั่งที่ประสบปัญหาการกัดเซาะ (coastal erosion) เกิดขึ้นในทุกจังหวัด ระยะทางประมาณ 845.66 กิโลเมตร ชายฝั่งที่ไม่มีการกัดเซาะ (coastal non-erosion) ระยะทางประมาณ 2,305.47 กิโลเมตร (สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายหาด, 2558; กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2566) และพื้นที่ชายฝั่งมีความสำคัญทางเศรษฐกิจหลายด้าน คือ การเกษตรกรรม การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การประมง การท่องเที่ยว และการอุตสาหกรรม ซึ่งสร้างอาชีพและรายได้ให้กับชุมชนตามแนวชายฝั่ง (ชลธิศ สุรัสวดี, 2568; ขวัญชนก คุณกิตติ และสมปรารถนา ฤทธิ์พริ้ง, 2564)

จังหวัดสงขลามีชายฝั่งอยู่ด้านอ่าวไทยยาวประมาณ 158 กิโลเมตร เป็นชายฝั่งที่ประสบปัญหาการกัดเซาะ 7 พื้นที่ รวมความยาวชายฝั่งประมาณ 23.4 กิโลเมตร และเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบชายฝั่งสะสมตัว 3 พื้นที่ รวมความยาวชายฝั่งประมาณ 4.7 กิโลเมตร คือ หาดสมิหลา ใน อ.เมือง และ บ.ปากบางสะกอม กับ บ.เกาะแลหนัง ใน อ.เทพา (จุมพล วิเชียรศิลป์, 2558) เปรียบเทียบกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งสงขลาในปี พ.ศ.2545 ของสิน สิ้นสกุล และคณะ (2545) ที่กล่าวว่าชายฝั่งสงขลามีชายฝั่งสะสมตัวยาวประมาณ 31.5 กิโลเมตร แสดงถึงชายฝั่งแบบสะสมตัวมีระยะทางลดลงประมาณ 26.8 กิโลเมตร เป็นผลจากพื้นที่ชายฝั่งสะสมตัวเดิมได้หยุดกระบวนการสะสมตัวและเปลี่ยนเป็นชายฝั่งคงสภาพ ส่วนพื้นที่ชายฝั่งสะสมตัวที่ยังเกิดการสะสมตัวในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นผลเนื่องจากการสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นปากแม่น้ำซึ่งชายฝั่งหาดสมิหลาก็เป็นหาดที่มีการสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นจากปากทะเลสาบสงขลา (รูปที่ 1) และชายฝั่งหาดสมิหลามีการสะสมตัวในอัตรา 7.53 เมตรต่อปี (อดุลย์ เบ็ญนัย และคณะ, 2551) เนื่องจากพื้นที่ศึกษาได้รับผลกระทบโดยตรงจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่งผลให้เกิดคลื่นสูง ลมแรง ฝนตกหนัก และมักพบการเคลื่อนย้ายตะกอนทรายชายฝั่ง ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะ (Department of Marine and Coastal Resources, 2014) และในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะมีการเคลื่อนย้ายของตะกอนทรายน้อยที่สุด (ร้อยละ 8.79) (Marine Department, 2017) ส่งผลให้เกิดการทับถมชายฝั่งในช่วงเวลาดังกล่าว

หาดสมิหลา ชายฝั่งทะเลที่ตั้งอยู่ใน ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา ซึ่งเปรียบเสมือนที่ต้อนรับผู้มาเยือนนับจากอดีตถึงปัจจุบัน โดยหาดสมิหลาตั้งอยู่ทางตอนเหนือของชายทะเลเมืองสงขลาถัดจากแหลมสนอ่อนทอดยาวไปจรดหาดชลาทัศน์ที่อยู่ท้ายหาดทางด้านใต้ เป็นชายหาดสวยงามน่าเดินเล่นทรายขาวละเอียด

น้ำไม่ลึกเล่นน้ำได้ตลอดแนวหาดเป็นที่พักผ่อนที่ร่มรื่น ปัจจุบันหาดสมิหลามีการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในรูปแบบการทับถม ตั้งแต่บริเวณนางเงือกทองถึงเขื่อนกันคลื่นปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (จังหวัดสงขลา, 2569)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพชายฝั่งหาดสมิหลา เริ่มจากที่ตั้งนางเงือกทองถึงเขื่อนกันคลื่นปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา บันทึกตำแหน่งแนวชายฝั่งบริเวณรอยต่อระหว่างส่วนที่เปียกและแห้งของชายฝั่งในช่วงเวลาที่ระดับน้ำทะเลขึ้นสูงสุดด้วยเครื่องระบุพิกัดบนพื้นโลก (GPS) เดือนละ 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยแต่ละเดือนบันทึกต่อเนื่องกันเป็นเวลา 1 ปี จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคำนวณพื้นที่ชายฝั่งด้วยโปรแกรม Quantum GIS 3.4.12 นำมาซ้อนทับกับข้อมูลชายฝั่งหาดสมิหลาที่ได้บันทึกและศึกษาในลักษณะเดียวกันในปี พ.ศ.2561 เพื่อสร้างแผนที่การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหาดสมิหลาในช่วงเวลาดังกล่าว



รูปที่ 1 ชายฝั่งหาดสมิหลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา บันทึกภาพเมื่อ 23 มีนาคม พ.ศ.2567

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา ในปี พ.ศ.2568
2. เพื่อสร้างแผนที่แสดงการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหาดสมิหลา จังหวัดสงขลา ในปี พ.ศ.2568

วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์

1. ข้อมูลน้ำขึ้นน้ำลงจังหวัดสงขลาปี พ.ศ.2568 จากศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก
2. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจังหวัดสงขลาปี พ.ศ.2568 จากศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก
3. อุปกรณ์ระบุพิกัดบนพื้นโลก ยี่ห้อ Garmin รุ่น eTrex 10
4. โปรแกรมทำงานด้านตารางคำนวณ Microsoft Office Excel
5. โปรแกรมคอมพิวเตอร์แสดงภาพเสมือนจริงของโลก Google Earth Pro
5. โปรแกรมซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Free and Open-Source Software: FOSS) Quantum GIS

3.4.12

ขั้นตอนการวิจัย มี 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สำรวจพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา (รูปที่ 3)

1.1 ศึกษาและทดลองใช้เครื่องมือระบุพิกัดบนพื้นโลก ให้เกิดความชำนาญในการใช้บันทึกข้อมูลพิกัด และศึกษาการใช้งานโปรแกรม Quantum GIS 3.4.12

1.2 สำรวจพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา เพื่อศึกษาสภาพพื้นที่ทำวิจัย เช่น ลักษณะทางกายภาพ และสภาพการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหาดสมิหลา ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา เริ่มสำรวจและบันทึกข้อมูล ตั้งแต่รูปปั้นนางเงือกทอง (รูปที่ 2 (ก)) แนวชายฝั่งหาดสมิหลา (รูปที่ 2 (ข)) ถึงเขื่อนกันคลื่นปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (รูปที่ 2 (ค))

1.3 เก็บข้อมูลแนวชายฝั่งหาดสมิหลา (รูปที่ 2) ด้วยเครื่องระบุพิกัดบนพื้นโลก Garmin รุ่น eTrex 10 โดยเลือกวันและเวลาในการลงพื้นที่จากข้อมูลตารางน้ำขึ้น-น้ำลง ของจังหวัดสงขลา (กรมอุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก, 2568) ใน 1 เดือน จะบันทึกข้อมูล 2 ครั้ง เลือกช่วงเวลาที่มียกระดับน้ำขึ้นสูงสุดมา 2 วัน ในแต่ละเดือน กำหนดให้วันที่หนึ่งต้องห่างจากวันที่สองอย่างน้อย 7 วัน ตั้งแต่เดือนมกราคม 2568 ถึง เดือนธันวาคม 2568 รวมบันทึกข้อมูล 24 ครั้ง



(ก)



(ข)



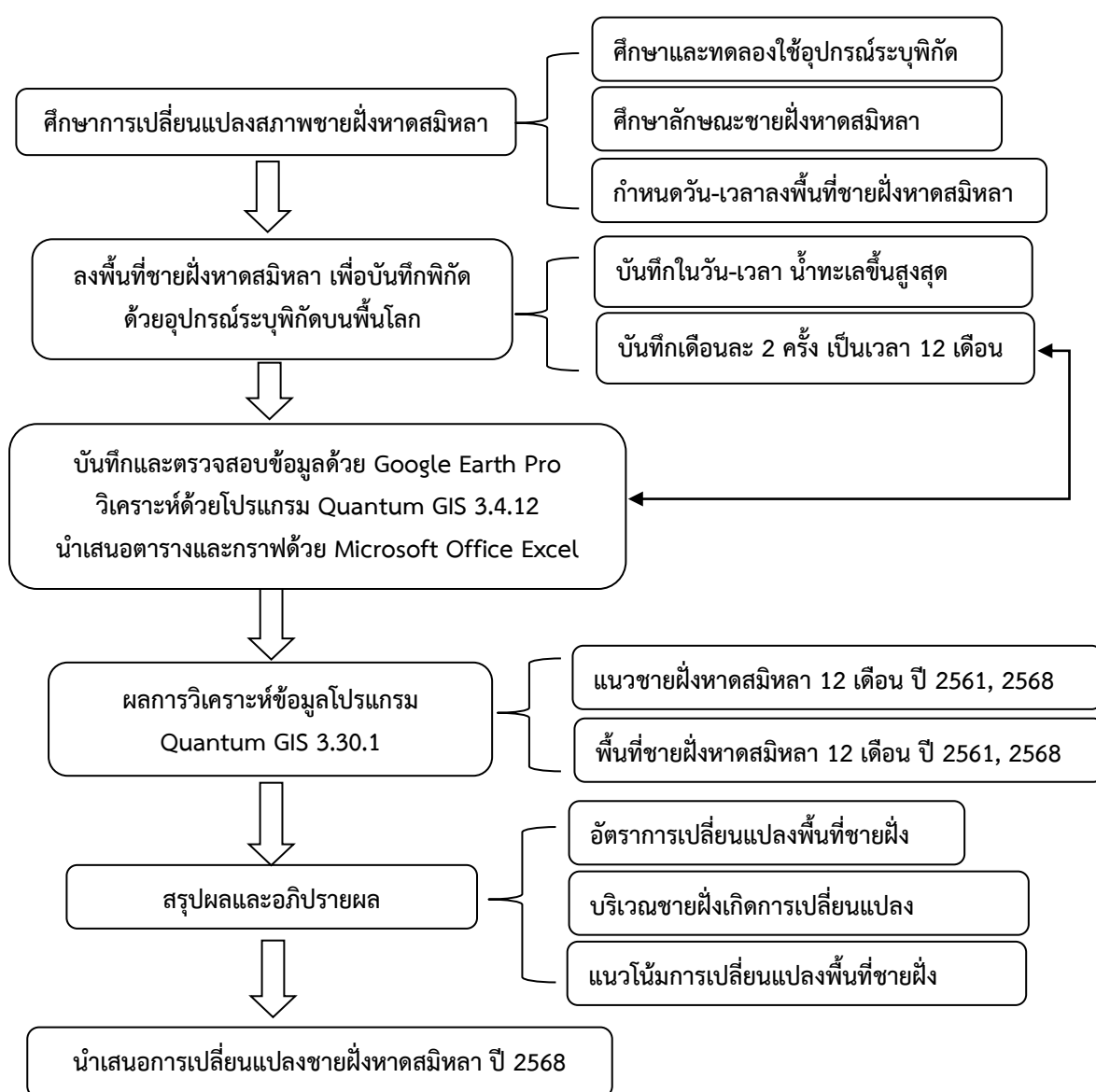
(ค)

รูปที่ 2 แนวชายฝั่งหาดสมิหลาตั้งแต่นางเงือกทองถึงเขื่อนกันคลื่นปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา

ขั้นตอนที่ 2 บันทึกข้อมูลค่าพิกัดด้วยอุปกรณ์ระบุพิกัดบนพื้นโลก (รูปที่ 3)

2.1 ในวันและเวลาที่กำหนดไว้ให้บันทึกข้อมูลแนวพิกัดชายฝั่งหาดสมิหลา เริ่มบันทึกตำแหน่งแรกบริเวณรูปปั้นนางเงือกทอง ไปจนถึงตำแหน่งสุดท้ายบริเวณเขื่อนกันคลื่นปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (รูปที่ 2) กำหนดแนวชายหาด คือ บริเวณรอยต่อระหว่างส่วนที่เปียกกับส่วนที่แห้งหรือบริเวณที่น้ำทะเลซัดมาถึงส่วนที่สูงที่สุด เพื่อบันทึกข้อมูลพิกัดด้วยอุปกรณ์ระบุพิกัดบนพื้นโลก ทำตามขั้นตอนนี้ไปจนถึงตำแหน่งสุดท้าย

2.2 นำออกข้อมูลจากอุปกรณ์ระบุพิกัดบนพื้นโลก จัดเก็บและตรวจสอบข้อมูลแนวชายฝั่งหาดสมิหลา ด้วยโปรแกรม Google Earth Pro บันทึกเป็นไฟล์ __.KMZ



รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมซอฟต์แวร์ที่เปิด Quantum GIS 3.4.12

3.1 นำข้อมูลจากอุปกรณ์ระบุพิกัดบนพื้นโลกที่ผ่านการตรวจสอบด้วย Google Earth Pro มาวิเคราะห์ด้วย Quantum GIS 3.4.12

3.2 ใช้คำสั่ง Points2One ใน Menu Plugins สำหรับดัดแปลงข้อมูลลักษณะตำแหน่ง (Point) เป็นข้อมูลลักษณะเส้น (Lines) เพื่อแสดงแนวชายฝั่งหาดสมิหลา ในแต่ละครั้งของการลงพื้นที่เก็บข้อมูล

3.3 ใช้คำสั่ง Points2One ใน Menu Plugins สำหรับดัดแปลงข้อมูลลักษณะตำแหน่ง (Point) เป็นข้อมูลลักษณะพื้นที่ (Polygons) เพื่อแสดงพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา และคำนวณพื้นที่ของชายฝั่งหาดสมิหลา โดยเลือกเปิดตารางแสดงข้อมูลของพื้นที่ชายฝั่ง ในตารางแสดงพื้นที่ของชายฝั่ง เลือก Open Field Calculator เลือก Area เพื่อคำนวณพื้นที่ในหน่วยตารางเมตร ในแต่ละครั้งของการลงพื้นที่เก็บข้อมูล นำมาเฉลี่ยเป็นพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาแต่ละเดือน (ตารางที่ 1)

3.4 สร้างตารางความสัมพันธ์ของเวลาในปี พ.ศ.2561 และ พ.ศ.2568 ในหน่วยเดือน กับพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาในหน่วยตารางเมตร (ตารางที่ 2) นำมาสร้างกราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ของพื้นที่ชายฝั่งต่อเวลา และสร้างสมการการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หาด โดยใช้สมการเส้นตรงจากโปรแกรม Microsoft Office Excel เพื่อหาพื้นที่ชายหาดที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือน (รูปที่ 9)

3.5 จากสมการพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาในปี พ.ศ.2568 นำมาคำนวณเพื่อคาดการณ์พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาอีก 5 หรือ ปี พ.ศ.2573 (ตารางที่ 3) เพื่อแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ชายฝั่งในอีก 5 ปี

3.6 สร้างแผนที่การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา (รูปที่ 4 ถึง 7) โดยนำข้อมูลพื้นที่ชายฝั่งในปี พ.ศ.2568 ที่มีพื้นที่น้อยที่สุด (รูปที่ 5) และพื้นที่มากที่สุด (รูปที่ 6) มาซ้อนทับ (overlay) กับพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาในปี พ.ศ.2561 คำนวณพื้นที่ส่วนต่างของการซ้อนทับดังกล่าว จะเป็นพื้นที่ชายฝั่งในปี พ.ศ.2568 ที่เปลี่ยนแปลงจากปี พ.ศ.2561

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 วิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา ในปี พ.ศ.2568

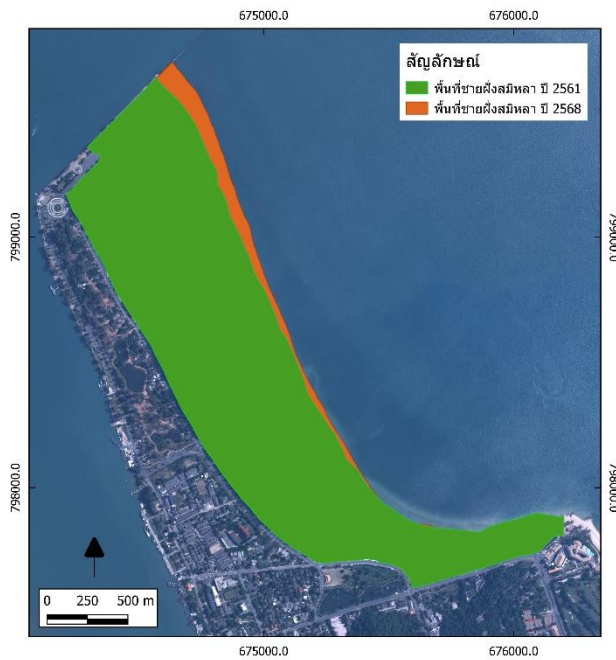
จากข้อมูลชายฝั่งหาดสมิหลา จำนวน 12 เดือน ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2568 เป็นข้อมูลที่บันทึกด้วยอุปกรณ์ระบุพิกัดบนพื้นโลก จำนวน 2 เครื่อง เดือนละ 2 ครั้ง แล้ววิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Quantum GIS 3.4.12 เพื่อคำนวณพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา นำมาเฉลี่ยเป็นพื้นที่แต่ละเดือน (ตารางที่ 1) นำพื้นที่เฉลี่ยแต่ละเดือนมาเฉลี่ยเป็นพื้นที่ชายฝั่งสมิหลาเฉลี่ยตลอดปี พ.ศ.2568

จากตารางที่ 1 พบว่า พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยตลอดปี พ.ศ.2568 มีพื้นที่ เท่ากับ 1,150,039.85 ตารางเมตร มีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาที่ได้จากการเก็บข้อมูล บันทึกและวิเคราะห์ในลักษณะเดียวกันใน ปี พ.ศ.2561 (ศักดิ์ชาย คงนคร และคณะ, 2562) ที่มีพื้นที่ เท่ากับ 1,092,286.62 ตารางเมตร อยู่ 57,753.23 ตารางเมตร (รูปที่ 4) หรือมีพื้นที่เพิ่มขึ้น ร้อยละ 5.29 โดยพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาในปี พ.ศ.2568

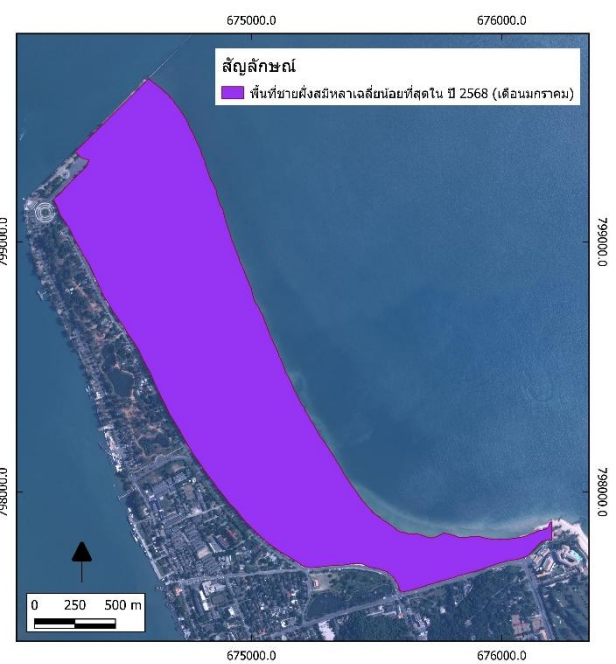
มีพื้นที่เฉลี่ยน้อยที่สุดในเดือนมกราคมมีพื้นที่ เท่ากับ 1,111,043.37 ตารางเมตร (รูปที่ 5) ชายฝั่งมีพื้นที่เฉลี่ยมากที่สุดในเดือนกันยายนมีพื้นที่ เท่ากับ 1,181,274.88 ตารางเมตร (รูปที่ 6) เมื่อนำพื้นที่ชายฝั่งที่น้อยที่สุดมาซ้อนทับกับพื้นที่ชายฝั่งที่มากที่สุด (รูปที่ 7) พบว่า พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลามีการเปลี่ยนแปลงต่างกันอยู่ 70,347.76 ตารางเมตร คิดเป็น ร้อยละ 6.11 ของพื้นที่เฉลี่ยตลอดปี พ.ศ.2568 โดยพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาตอนบนด้านเขื่อนกันคลื่นปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่าชายฝั่งหาดสมิหลาตอนกลางและชายฝั่งหาดสมิหลาตอนล่างที่เป็นที่ตั้งรูปปั้นนางเงือกทอง

ตารางที่ 1 พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาแต่ละเดือนในปี พ.ศ.2568 ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

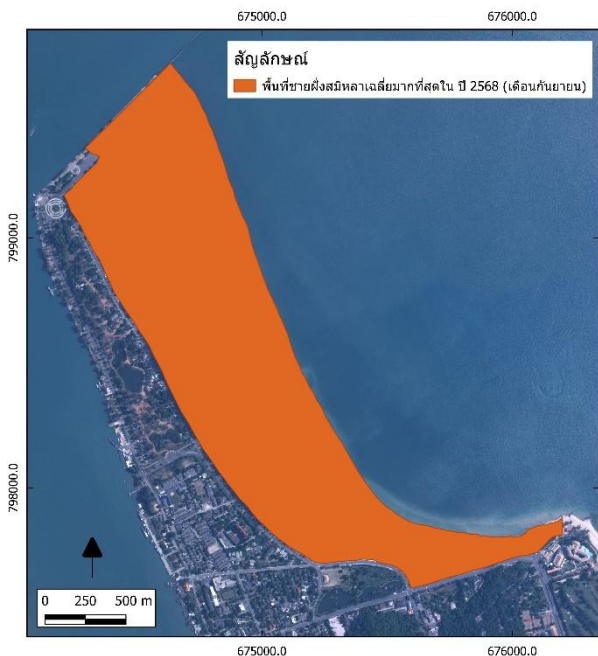
เดือน-ปี	พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา (ตารางเมตร)				ค่าเฉลี่ย	SD
	เครื่อง1ครั้งที่1	เครื่อง2ครั้งที่1	เครื่อง1ครั้งที่2	เครื่อง2ครั้งที่2		
ม.ค.-68	1,121,947.23	1,120,068.35	1,102,109.20	1,100,048.71	1,111,043.37	11,562.10
ก.พ.-68	1,120,776.19	1,122,118.67	1,115,599.72	1,115,591.14	1,118,521.43	3,422.82
มี.ค.-68	1,116,181.53	1,116,223.98	1,122,989.45	1,122,870.38	1,119,566.33	3,884.27
เม.ย.-68	1,133,976.61	1,131,624.10	1,161,285.97	1,161,218.97	1,147,026.41	16,454.91
พ.ค.-68	1,160,266.24	1,158,820.64	1,171,098.50	1,172,123.16	1,165,577.14	7,004.57
มิ.ย.-68	1,165,896.41	1,164,046.30	1,170,290.71	1,170,910.28	1,167,785.92	3,346.17
ก.ค.-68	1,167,542.31	1,166,544.43	1,171,424.20	1,172,077.46	1,169,397.10	2,761.12
ส.ค.-68	1,180,572.41	1,182,849.17	1,178,382.21	1,176,909.89	1,179,678.42	2,594.73
ก.ย.-68	1,184,482.78	1,183,184.34	1,178,368.34	1,179,064.07	1,181,274.88	3,015.09
ต.ค.-68	1,145,980.75	1,143,770.59	1,151,302.91	1,150,853.10	1,147,976.84	3,697.41
พ.ย.-68	1,159,040.42	1,163,748.12	1,152,648.33	1,148,037.74	1,155,868.65	6,924.35
ธ.ค.-68	1,138,596.53	1,134,042.14	1,138,208.07	1,136,200.22	1,136,761.74	2,095.22
ค่าเฉลี่ย	1,149,604.95	1,148,920.07	1,151,142.30	1,150,492.09	1,150,039.85	976.89



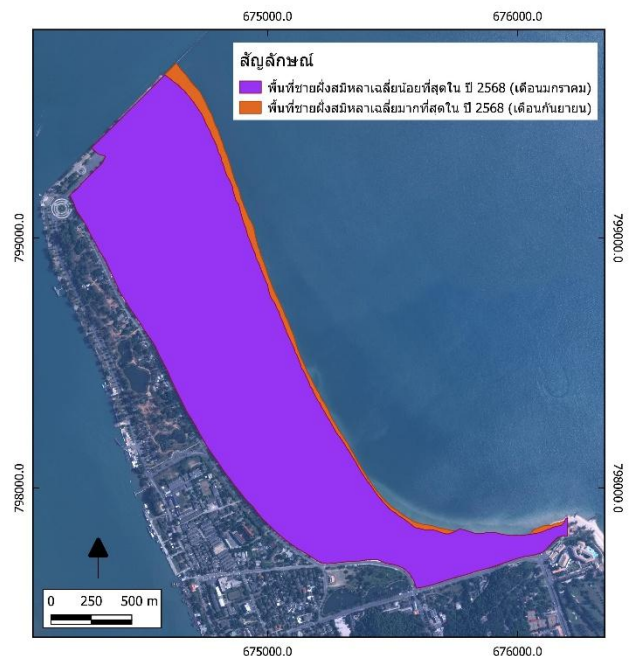
รูปที่ 4 พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยมากที่สุด
ปี พ.ศ. 2561 และ 2568



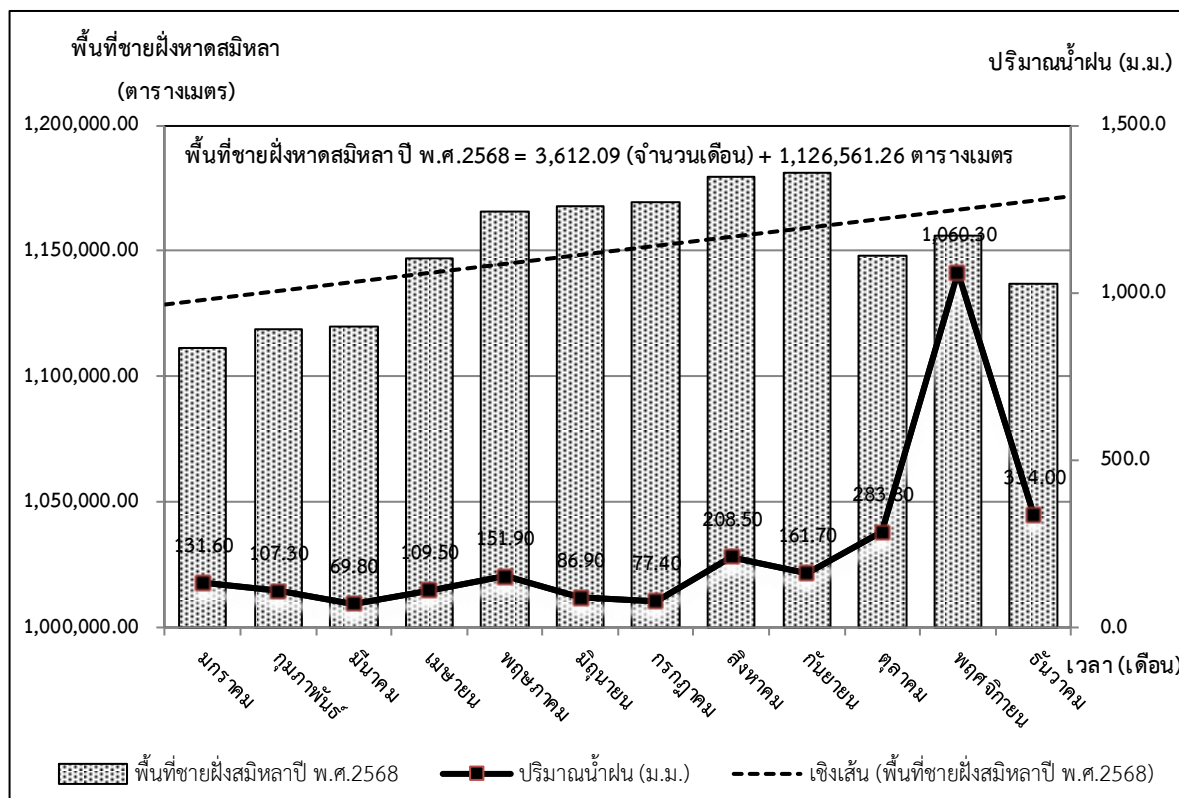
รูปที่ 5 พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยน้อยที่สุด
ในเดือนมกราคม พ.ศ.2568



รูปที่ 6 พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยมากที่สุด
ในเดือนกันยายน พ.ศ.2568



รูปที่ 7 พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยน้อยที่สุดซ้อนทับ
กับพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยมากที่สุด



รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาระหว่างเดือนมกราคมถึงธันวาคมในปี พ.ศ.2568

จากตารางที่ 1 แสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา ปี พ.ศ.2568 (ตารางเมตร) กับเวลา (จำนวนเดือน) ได้สมการเส้นตรง คือ พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา พ.ศ.2568 = 3,612.09 (จำนวนเดือน) + 1,126,561.26 ตารางเมตร (รูปที่ 8) จากสมการชายฝั่งหาดสมิหลาในปี พ.ศ.2568 มีพื้นที่เพิ่มขึ้นในอัตรา 3,612.09 ตารางเมตรต่อเดือน

ตอนที่ 2 วิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา ปี พ.ศ.2568 กับ ปี พ.ศ.2561

จากข้อมูลชายฝั่งหาดสมิหลาใน ปี พ.ศ.2568 กับปี พ.ศ.2561 ที่บันทึกด้วยอุปกรณ์ระบุพิกัดบนพื้นโลกเป็นเวลา 12 เดือน (ตารางที่ 2) นำมาเฉลี่ยเป็นพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยตลอดปี พ.ศ.2568 กับปี พ.ศ.2561 นำพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาทั้งสองช่วงเวลามาเปรียบเทียบกันเพื่อศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาต่อไป

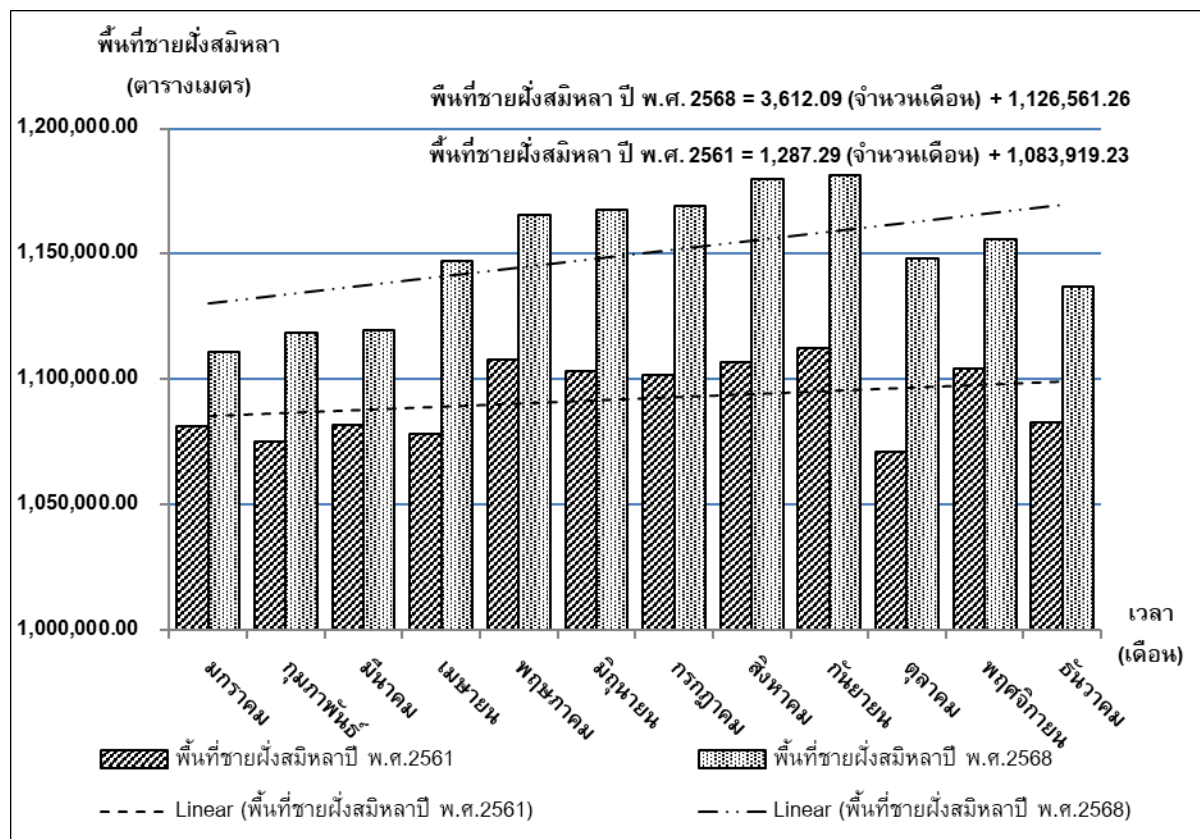
ตารางที่ 2 พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยรายเดือนและเฉลี่ยตลอดปี จาก 2 ช่วงเวลา (พ.ศ.2568 และ 2561)

ลำดับ	เดือน	พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา (ตารางเมตร)		
		ปี พ.ศ.2568	ปี พ.ศ.2561	พื้นที่ส่วนต่าง
1	มกราคม	1,111,043.37	1,081,450.44	29,592.94
2	กุมภาพันธ์	1,118,521.43	1,075,205.57	43,315.85
3	มีนาคม	1,119,566.33	1,082,028.62	37,537.72
4	เมษายน	1,147,026.41	1,078,326.74	68,699.67
5	พฤษภาคม	1,165,577.14	1,107,896.50	57,680.64
6	มิถุนายน	1,167,785.92	1,103,139.25	64,646.68
7	กรกฎาคม	1,169,397.10	1,101,739.99	67,657.11
8	สิงหาคม	1,179,678.42	1,106,886.73	72,791.69
9	กันยายน	1,181,274.88	1,112,241.17	69,033.71
10	ตุลาคม	1,147,976.84	1,071,283.64	76,693.20
11	พฤศจิกายน	1,155,868.65	1,104,303.64	51,565.02
12	ธันวาคม	1,136,761.74	1,082,937.13	53,824.60
ค่าเฉลี่ย		1,150,039.85	1,092,286.62	57,753.23
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		24,217.76	14,906.98	14,897.83

จากตารางที่ 2 พบว่า พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยตลอดปี พ.ศ.2568 มีพื้นที่ เท่ากับ 1,150,039.85 ตารางเมตร มีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยตลอดปี พ.ศ.2561 ซึ่งมีพื้นที่ เท่ากับ 1,092,286.62 ตารางเมตร อยู่ 57,753.23 ตารางเมตร หรือมีพื้นที่เพิ่มขึ้น ร้อยละ 5.29 แสดงว่าชายฝั่งหาดสมิหลามีอัตราการทับถม 2.65 เมตรต่อปี โดยพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาในปี พ.ศ.2561 มีพื้นที่เฉลี่ยน้อยที่สุดในเดือนตุลาคม ที่มีพื้นที่ เท่ากับ 1,071,283.64 ตารางเมตร และมีพื้นที่เฉลี่ยมากที่สุดในเดือนกันยายนมีพื้นที่ เท่ากับ 1,181,274.88 ตารางเมตร พื้นที่แตกต่างกัน 40,957.54 ตารางเมตร หรือ ร้อยละ 3.75 จากพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยตลอดปี โดยพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาตอนบนด้านเขื่อนกันคลื่นปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่าชายฝั่งหาดสมิหลาตอนกลางและชายฝั่งหาดสมิหลาตอนล่างที่เป็นที่ตั้งนางเงือกทอง

จากรูปที่ 9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา (ตารางเมตร) กับเวลา (จำนวนเดือน) ในสองช่วงเวลา คือ ปี พ.ศ.2568 กับ พ.ศ.2561 ได้สมการเส้นตรง คือ พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา พ.ศ. 2561 = 1,287.29 (จำนวนเดือน) + 1,083,919.23 ตารางเมตร จากสมการชายฝั่งหาดสมิหลาในปี พ.ศ.2561 หาดสมิหลามีพื้นที่เพิ่มขึ้นในอัตรา 1,287.29 ตารางเมตรต่อเดือน ซึ่งต่ำกว่าปี พ.ศ.2568 ดังสมการเส้นตรง

พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา พ.ศ.2568 = 3,612.09 (จำนวนเดือน) + 1,126,561.26 ตารางเมตร จากสมการชายฝั่งหาดสมิหลาในปี พ.ศ.2568 มีพื้นที่เพิ่มขึ้นในอัตรา 3,612.09 ตารางเมตรต่อเดือน



รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาระหว่างปี พ.ศ.2568 กับ ปี พ.ศ.2561

จากกราฟในรูปที่ 9 พบว่า พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเกิดการทับถมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน พื้นที่ชายฝั่งในปี พ.ศ.2568 มีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาปี พ.ศ. 2561 ในทุก ๆ เดือนตลอดทั้งปี ช่วงค่าของพื้นที่ในปี พ.ศ.2561 พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงประมาณ 1,070,000 ถึง 1,110,000 ตารางเมตร ส่วนในปี พ.ศ.2568 พื้นที่ชายฝั่งเกิดการทับถม พื้นที่ขยับขึ้นไปอยู่ในช่วงประมาณ 1,110,000 ถึง 1,180,000 ตารางเมตร โดยอัตราการทับถมเพิ่มขึ้น ปี พ.ศ.2568 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ที่รวดเร็วกว่า ปี พ.ศ.2561 อย่างเห็นได้ชัด โดยดูจากค่าความชันหรืออัตราการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ในสมการเส้นตรงของทั้งสองช่วงเวลา

ตารางที่ 3 พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาในอีก 5 ปี จากสมการพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา ปี พ.ศ.2568

ปีที่	ปี พ.ศ.	พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาจากสมการ ปี พ.ศ.2568	เปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เฉลี่ยตลอดปี พ.ศ.2568 (1,105,039.85)
ปีปัจจุบัน	2568	1,169,906.34	19,866.49
1	2569	1,213,251.42	63,211.57
2	2570	1,256,596.50	106,556.65
3	2571	1,299,941.58	149,901.73
4	2572	1,343,286.66	193,246.81
5	2573	1,386,631.74	236,591.89

จากตารางที่ 3 สมการเส้นตรง พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาปี พ.ศ.2568 คำนวณพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเดือนธันวาคม พ.ศ.2568 ได้ 1,169,906.34 ตารางเมตร (ตารางที่ 3) แตกต่างมากกว่าพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยตลอดปี พ.ศ.2568 ซึ่งมีพื้นที่ 1,150,036.85 ตารางเมตร อยู่ 19,866.49 ตารางเมตร (เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.72) และแตกต่างมากกว่าพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ.2568 (ตารางที่ 1) ซึ่งมีพื้นที่ 1,136,761.74 ตารางเมตร อยู่ 13,278.11 ตารางเมตร นำสมการมาคำนวณพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาอีก 5 ปี (ปี พ.ศ.2573) ชายฝั่งหาดสมิหลาจะมีพื้นที่หาดประมาณ 1,386,631.74 ตารางเมตร หรือพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 236,591.89 ตารางเมตร (เพิ่มขึ้นร้อยละ 20.57) จากพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยทั้งปี พ.ศ.2558

อภิปรายผลการวิจัย

จากสมมติฐานชายฝั่งหาดสมิหลาเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบทบถมหาดสมิหลาจะมีพื้นที่เพิ่มขึ้น พบว่าผลการศึกษาเป็นไปตามสมมติฐานโดยพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบทบถมอย่างต่อเนื่องในอัตราที่เพิ่มขึ้น โดยชายฝั่งหาดสมิหลาปี พ.ศ.2568 พื้นที่เพิ่มขึ้น 3,612.09 ตารางเมตรต่อเดือน และมีพื้นที่เฉลี่ยตลอดปี เท่ากับ 1,150,039.85 ตารางเมตร ซึ่งสูงกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของชายฝั่งหาดสมิหลาปี พ.ศ. 2561 ที่มีพื้นที่เพิ่มขึ้น 1,287.29 ตารางเมตรต่อเดือน และพื้นที่ชายฝั่งเฉลี่ยตลอดปี เท่ากับ 1,092,286.62 ตารางเมตร อยู่ 57,753.23 ตารางเมตร (เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.29) ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของลมมรสุมประจำปี ที่พัดเข้าสู่แนวชายฝั่ง พัดพาตะกอนทรายจากชายฝั่งด้านทิศใต้ เช่น หาดชลาทัศน์ หาดสะกอม มาทับถมตอนบนของชายฝั่งหาดสมิหลาบริเวณเขื่อนกันคลื่นปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา มากกว่าชายฝั่งหาดสมิหลาตอนกลางและตอนล่าง นอกจากนั้นยังมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายหาดและมีการปรับปรุงชายหาดอย่างต่อเนื่องของแต่ละปี เช่น การเติมทรายชายฝั่งชลาทัศน์ การปรับสภาพภูมิทัศน์หาดสมิหลา เป็นต้น สอดคล้องกับรายงานของอดุลย์ เบ็ญนัย และคณะ (2551) ที่กล่าวว่าชายฝั่งหาดสมิหลาซึ่งตั้งอยู่บริเวณพื้นที่

สร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา มีการสะสมตัวในอัตรา 7.53 เมตรต่อปี หรือ Chusrinuan et al., (2009) ที่รายงานว่าชายฝั่งบริเวณแหลมสมิหลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา เกิดการทับถมในอัตรา 2.04 เมตรต่อปี และ ศักดิ์ชาย คงนคร และคณะ (2562) ได้รายงานพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาใน ปี พ.ศ.2561 เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบทับถมอย่างต่อเนื่องในอัตรา 5.68 เมตรต่อปี

สรุปผลการวิจัย

1. การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาตลอดปี พ.ศ.2568 จากสมการเส้นตรง คือ พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลา พ.ศ.2568 = 3,612.09 (จำนวนเดือน) + 1,126,561.26 ตารางเมตร พบว่า ชายฝั่งหาดสมิหลา ในปี พ.ศ.2568 มีพื้นที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นใน 3,612.09 ตารางเมตรต่อเดือน แสดงถึงชายฝั่งหาดสมิหลามีอัตราการทับถม 15.94 เมตรต่อปี

2. การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาจากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลแนวชายหาดใน 2 ช่วงเวลา พบว่า พื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยตลอดปี พ.ศ.2568 มีพื้นที่ เท่ากับ 1,150,039.85 ตารางเมตร มีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยตลอดปี พ.ศ.2561 ซึ่งมีพื้นที่ 1,092,286.62 ตารางเมตร อยู่ 57,753.23 ตารางเมตร หรือมีพื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.29 แสดงถึงชายฝั่งหาดสมิหลามีอัตราการทับถม 2.65 เมตรต่อปี โดยชายฝั่งหาดสมิหลาตอนบนด้านเขื่อนกันคลื่นปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เพิ่มขึ้นมากกว่าชายฝั่งหาดสมิหลาตอนกลางและชายฝั่งหาดสมิหลาตอนล่าง

3. การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาในปี พ.ศ.2573 จากสมการพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาปี พ.ศ.2568 ได้คำนวณพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาในเดือนธันวาคม พ.ศ.2568 ได้พื้นที่ 1,169,906.34 ตารางเมตร มากกว่าพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาเฉลี่ยตลอดปี พ.ศ.2568 อยู่ 19,866.49 ตารางเมตร (เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.72) และจากสมการคำนวณพื้นที่ชายฝั่งหาดสมิหลาในอีก 5 ปี (ปี พ.ศ.2573) ชายฝั่งหาดสมิหลาจะมีพื้นที่เพิ่มขึ้นเป็น 1,386,631.74 ตารางเมตร หรือพื้นที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 236,591.89 ตารางเมตร จากปี พ.ศ.2568 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 20.57

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งและการปรับสภาพชายฝั่งอย่างต่อเนื่อง เช่น การเติมทราย และการดูดทรายเพื่อเติมทรายในพื้นที่ชายฝั่งชายหาดฯ เป็นต้น
2. ควรมีความตรงเวลาในการลงพื้นที่เก็บข้อมูลเพื่อความแม่นยำในการเก็บบันทึกข้อมูล
3. ควรศึกษาการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างละเอียด

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2566). รายงานสถานการณ์ด้านทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง และการ
กัดเซาะชายฝั่งของประเทศ พ.ศ. 2565. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ
สิ่งแวดล้อม.
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2568). รายงานสถานการณ์ด้านทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง และการ
กัดเซาะชายฝั่งของประเทศ พ.ศ. 2566. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ
สิ่งแวดล้อม.
- กรมอุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก. (2568). ระดับน้ำทะเลรายวัน พ.ศ. 2568. สงขลา: กรมอุตุนิยมวิทยา
ภาคใต้ฝั่งตะวันออก.
- ขวัญชนก คุณกิตติ และสมปรารถนา ฤทธิ์พริ้ง. (2564). การเปลี่ยนแปลงของชายหาดบ้านกรูดจากการเพิ่มขึ้น
ของระดับน้ำทะเล. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26 (น. 51–56).
กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.).
- จังหวัดสงขลา. (2569). แหลมสมิหลา. สืบค้น 18 มกราคม 2569 จาก
<https://www.songkhla.go.th/travel/detail/108>
- จุมพล วิเชียรศิลป์. (2558). ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลของไทย: ปัญหาภูมิศาสตร์ประเทศไทย. บุรีรัมย์:
คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.
- ชลธิศ สุรัสวดี. (2568). ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลไทยยังรุนแรง. สืบค้น 9 มิถุนายน 2568 จาก
<http://www.mcot.net/site/content?id=53d60a07be0470c5348b4578>
- นิคม อ่อนสี, อนเนก สวาทอินทร์, สุรินทร์ กาญจนะ และนฤทธิ์ กล่อมพงษ์. (2559). การเปลี่ยนแปลงแนว
ชายฝั่งบริเวณหาดราชมงคล จังหวัดตรัง. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 8(1),
60–70.
- ศักดิ์ชาย คงนคร, ธัญญเรศ อัมภรัตน์ และมาริยา บินลาเต๊ะ. (2562). พลวัตของชายฝั่งสมิหลาจังหวัดสงขลา
ระหว่างมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2561 ด้วยภูมิสารสนเทศ (รายงานการประชุมวิชาการ). การ
ประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เครือข่ายสถาบันอุดมศึกษาภาคใต้ ครั้งที่ 5
(น. 394–405). นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2561). ข้อมูลทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง จังหวัดสงขลา.
กรุงเทพมหานคร: ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.
- สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายหาด. (2558). คัมภีร์ทรัพยากรทางทะเล
และชายฝั่งของไทย. กรุงเทพมหานคร: กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวง
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

- สมปรารถ ฤทธิ์พริ้ง. (2554). *การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งทะเลอ่าวไทย* (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สิตาวีร์ ธีรวิรุฬห์. (2569). *ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลของไทย*. สืบค้น 4 มกราคม 2569 จาก https://cdc.parliament.go.th/ewtadmin/ewt/parliament_parcy/ewt_dl_link.php?nid=30789
- สิน สินสกุล, สุวัฒน์ ตริยะไพรัช, นิรันดร์ ชัยมณี และบรรเจิด อร่ามประยูร. (2545). *การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย*. กรุงเทพมหานคร: กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.
- อดุลย์ เบ็ญนุ้ย, พะยอม รัตนมณี และจิรดา ยงสถิตศักดิ์. (2551). *การใช้ระบบภูมิสารสนเทศเพื่อติดตามการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณทะเลสาบสงขลาและหาดสมิหลา* (รายงานวิชาการ). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Chusrinuan, N., Tanavud, C., & Yongchalerchai, C. (2009). Impacts of shoreline erosion on coastal ecosystems in Songkhla Province. *Sonklanakarin Journal of Science and Technology*, 31(2), 237-245.
- Department of Marine and Coastal Resources. (2014). *Guide to setting up a public network to prevent and solve coastal erosion problems*. Bangkok: Department of Marine and Coastal Resources.
- Marine Department. (2017). *Design survey report exploratory study project designed for the construction of coastal erosion at Sakom, Songkhla*. Bangkok: Marine Department.

Received: March 6, 2026

Revised: May 6, 2026

Accepted: May 14, 2026

Published: June 21, 2026

แบบจำลองระบบดาวคู่ V392 Orion Model of the Binary System V392 Orion

สุภัทร สายรัตนอินทร์¹ ตอริก เฮงปิยา² ฉัตรชัย เครืออินทร์³ และ วิระภรณ์ ไหมทอง^{3*}
Supat Sairattanain¹ Torik Hengpiya² Chatchai Kruea-In³ and Wiraporn Maithong^{3*}

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์และการพัฒนามนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ

² หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา สงขลา สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

³ ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

¹ Program in General Science, Faculty of Education, Sisaket Rajabhat University

² Regional Observatory for the Public, Songkhla, National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization)

³ Department of Physics and General Science, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University

*wiraporn_mai@cmru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองของระบบดาวคู่ V392 Orion (V392 Ori) โดยใช้ข้อมูลกราฟแสงที่ได้จากการสังเกตการณ์ ด้วยดาวเทียมสำรวจดาวเคราะห์นอกระบบ (Transiting Exoplanet Survey Satellite, TESS) เมื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพด้วยโปรแกรม Wilson-Devinney ในช่วงความยาวคลื่นแสงสีแดง (R) พบว่าระบบดาวคู่นี้มีค่าอัตราส่วนมวลประมาณ 0.23 และดาวทั้ง 2 ดวงของระบบมีอุณหภูมิพื้นผิว 8170 และ 5389 K

คำสำคัญ: V392 Ori, แบบจำลอง PHOEBE, TESS

Abstract

The purpose of this research is to construct a model of a binary star system V392 Orion (V392 Ori). The data of the light curve was observed by the satellite TESS, NASA. The physical parameters were analyzed in red (R) wavelength by Wilson-Devinney software. The results show that the mass ratio of this binary system is about 0.23 and the effective temperature both are 8170 and 5389 K.

Keywords: V392 Ori, PHOEBE model, TESS

บทนำ

ดาว V392 Orionis (V392 Ori) เป็น "ดาวคู่สเปกโทรสโกปิก" (spectroscopic binary) ซึ่งอยู่ในกลุ่มดาวนายพราน (Orion) มีพิกัดอยู่ที่ Right Ascension (RA) 06h 11m 25.1665s และ Declination (Dec) $+18^\circ 32' 59.557''$ เป็นดาวที่ยังอยู่ในลำดับหลัก (main sequence star) มีสเปกตรัมอยู่ที่ A5V มีความร้อนระดับกลาง-สูง อุณหภูมิผิวประมาณ 8200 K (SIMBAD, 2025)

ระบบดาวคู่ V392 Orionis (V392 Ori) เป็นหนึ่งในระบบดาวที่น่าสนใจทางดาราศาสตร์ เนื่องจากแสดงลักษณะการถ่ายเทมวลระหว่างดาวคู่อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นปรากฏการณ์สำคัญในการศึกษาวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ การสังเกตการณ์ระบบดาวคู่แบบนี้ช่วยให้นักวิจัยเข้าใจกลไกทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อน เช่น การเติม Roche lobe, การสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุม (Angular Momentum Loss, AML), และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของดาวฤกษ์ (Eggleton, 2006; Pribulla & Rucinski, 2006)

การศึกษาระบบดาวคู่ด้วยแบบจำลอง Wilson–Devinney (WD code) ช่วยให้เราสามารถวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางฟิสิกส์ของระบบได้อย่างแม่นยำ โดยเฉพาะการสร้างแบบจำลอง กราฟแสง (light curve) และ เส้นโค้งความเร็วรัศมี (radial velocity curve) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้ยืนยันลักษณะการโคจร อุณหภูมิผิว และการบิดเบี้ยวของดาวเนื่องจากแรงไทดัล (Wilson & Devinney, 1971; Prša & Zwitter, 2005)

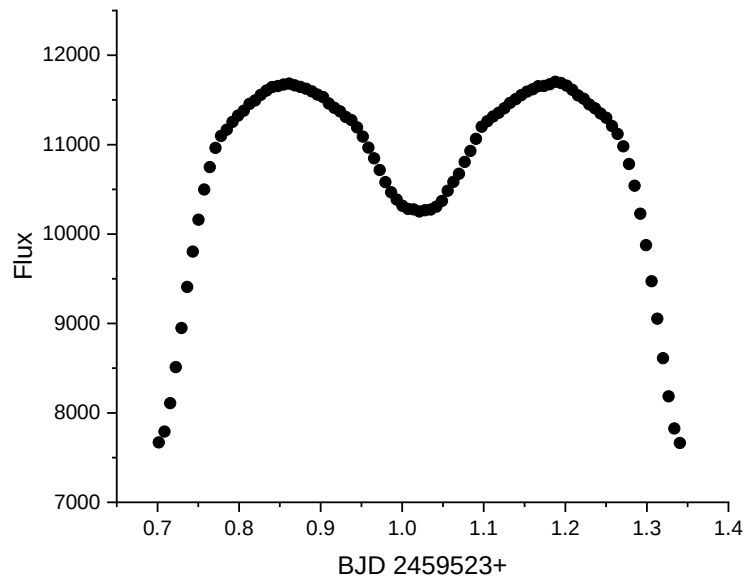
งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการสร้างแบบจำลองระบบดาวคู่ V392 Ori ด้วยดาวเทียมสำรวจดาวเคราะห์นอกระบบ (Transiting Exoplanet Survey Satellite, TESS) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของระบบ และสร้างแบบจำลอง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสร้างแบบจำลองระบบดาวคู่ V392 Ori โดยใช้แบบจำลองฟิสิกส์ของระบบดาวคู่ผ่านโปรแกรม Wilson–Devinney

วิธีดำเนินการวิจัย

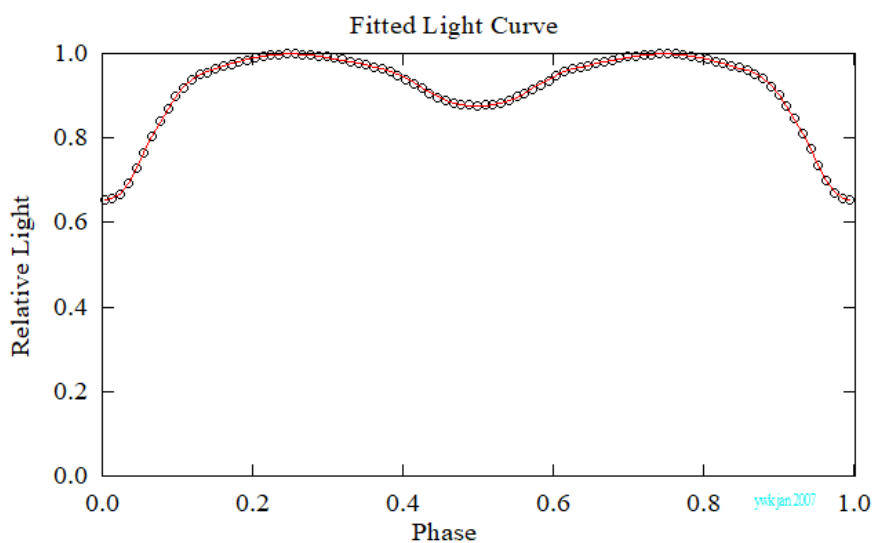
ข้อมูลกราฟแสง (light curve) ของ V392 Ori ที่ได้จากดาวเทียม TESS ณ วันที่สังเกตการณ์คือ 11 พฤษภาคม 2564 ซึ่งในงานนี้ได้ทำการวิเคราะห์กราฟแสงของระบบดาวคู่นี้ ดังรูปที่ 1 เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพ ด้วยโปรแกรม Wilson–Devinney ในช่วงความยาวคลื่น R ของระบบ UBVR Johnson โดยทำการวิเคราะห์ในขั้นแรก กำหนดให้ค่าอัตราส่วนมวล ($q = m_2/m_1$) คงที่ เพื่อหาค่าอัตราส่วนมวลที่ดีที่สุด แล้วจึงวิเคราะห์โดยการแปรค่าอัตราส่วนมวลต่อไป เพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุด แล้วสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 1 กราฟแสงของระบบดาวคู่ V392 Ori

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิเคราะห์ข้อมูลกราฟแสงของระบบดาวคู่ V392 Ori โดยใช้แบบจำลอง Wilson-Devinney แสดงให้เห็นว่าระบบมีมุมเอียงประมาณ 79.98° และอัตราส่วนมวลอยู่ที่ประมาณ 0.23 อุณหภูมิพื้นผิวของดาวหลักและดาวรองอยู่ที่ประมาณ 8200 K และ 5400 K ตามลำดับ ซึ่งมีความสอดคล้องกับสเปกตรัมประเภท A5V ที่ได้จากฐานข้อมูล SIMBAD ทั้งนี้ ค่า fill-out factor บ่งชี้ว่าระบบอยู่ในช่วงกึ่งสัมผัส (semi-detached) โดยดาวหลักอยู่ในภาวะเต็มเต็ม Roche lobe และกำลังถ่ายเทมวลเข้าสู่ดาวรอง



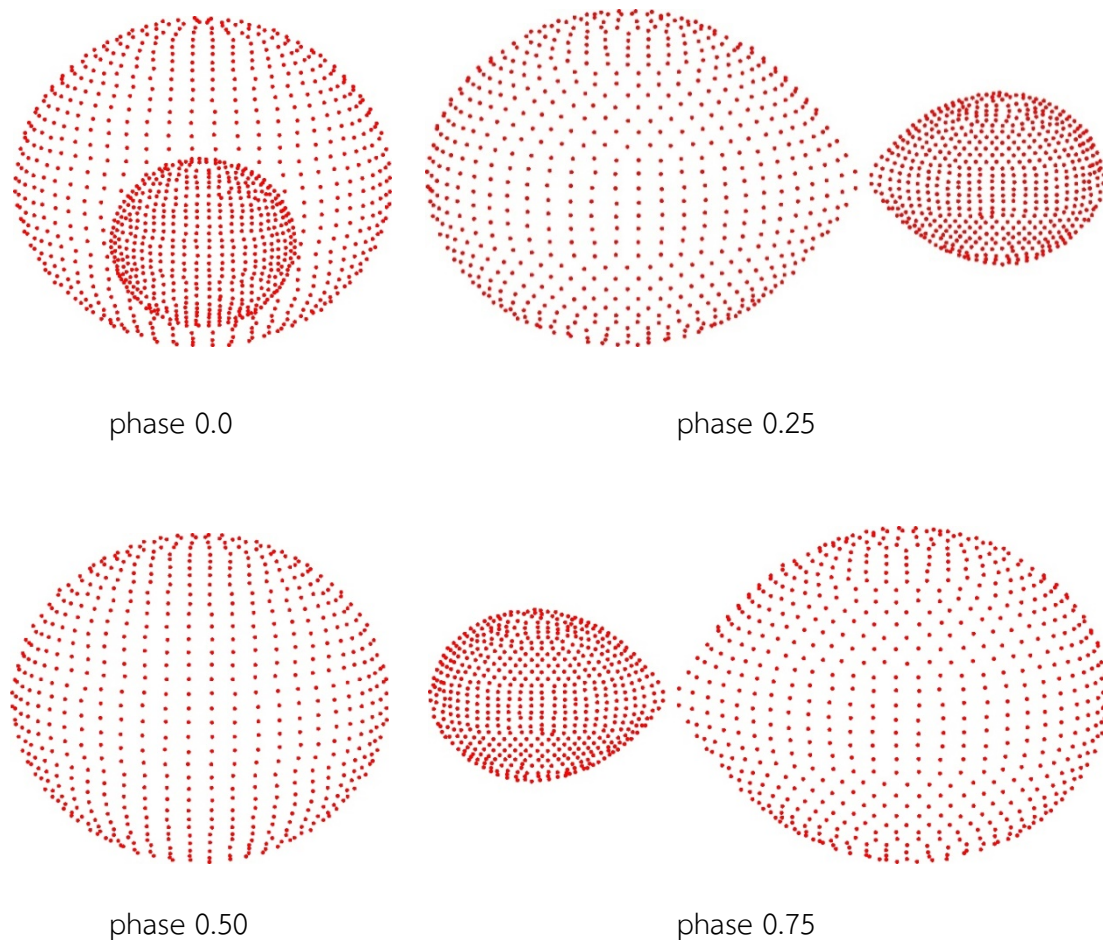
รูปที่ 2 กราฟแสงจากแบบจำลอง Wilson-Devinney ของระบบดาวคู่ V392 Ori

กราฟแสงจากแบบจำลอง Wilson-Devinney ของระบบดาวคู่ V392 Ori ดังรูปที่ 2 แสดงถึงความสว่างของระบบดาวคู่ V392 Ori ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามการโคจรรอบกันของดาวหลักและดาวรอง โดยมีการหุ้มรอบของการหุ้ม (phase) ตั้งแต่ตำแหน่งเริ่มต้นจนกลับมาที่ตำแหน่งเดิม นั่นคือ phase 0 จนถึง 1 โดยตำแหน่งที่ดาวมีความสว่างต่ำสุดหรือการเกิดอุปราคาหลัก (primary eclipsing) คือ 0.0 และ 1.0 และตำแหน่งที่ดาวมีความสว่างสูงสุดคือ 0.25 และ 0.75

ตารางที่ 1 ผลเฉลยที่ดีที่สุด ของระบบดาวคู่ V392 Ori

พารามิเตอร์	ผลเฉลยที่ดีที่สุด
i	$79.98^0 \pm 0.09$
g_1	0.32
g_2	0.32
Ω_1	2.457307 ± 0.002315
Ω_2	2.31236
T_1 (K)	8170 ± 369
T_2 (K)	5389 ± 169
A_1	0.50
A_2	0.50
q	0.23277 ± 0.00095
$L_1/(L_1+L_2)_R$	0.76127 ± 0.01074

ผลการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ของระบบดาวคู่ V392 Ori ด้วยแบบจำลอง PHOEBE แสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงผลการจำลอง ระบบดาวคู่ V392 Ori ด้วยแบบจำลอง PHOEBE

รูปที่ 3 แบบจำลองระบบดาวคู่ V392 Ori ด้วย PHOEBE แสดงการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งและรูปร่างของดาวหลักและดาวรองในแต่ละเฟส

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์กราฟแสงของระบบดาวคู่ V392 Ori โดยใช้แบบจำลอง Wilson–Devinney พบว่าแบบจำลองที่ให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลสังเกตการณ์ที่สุดมีค่าอัตราส่วนมวล (mass ratio: q) ประมาณ 0.23 และมุมเอียงของระนาบวงโคจร (inclination) ประมาณ 79.98 องศา ซึ่งแสดงว่าระบบมีแนวโน้มเกิดอุปราคาชัดเจน อุณหภูมิของดาวหลักและดาวรองที่ได้จากแบบจำลองอยู่ที่ประมาณ 8170 K และ 5389 K ตามลำดับ

กราฟแสงที่ได้จากแบบจำลองสอดคล้องกับข้อมูลสังเกตการณ์ โดยมีอุปราคาหลักเกิดที่เฟส 0.0 และ 1.0 และความสว่างสูงสุดที่เฟส 0.25 และ 0.75 ภาพจำลองแบบสามมิติที่เฟสต่าง ๆ แสดงลักษณะการบดบังระหว่างดาวหลักและดาวรองได้ชัดเจน รวมถึงรูปร่างดาวที่มีการบิดเบี้ยวจากแรงไทดัล การศึกษาในครั้งนี้จึงช่วยยืนยันว่า V392 Ori เป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งสัมผัส (semi-detached binary) ซึ่งมีความเหมาะสมในการใช้เป็นต้นแบบสำหรับการศึกษากระบวนการถ่ายเทมวลและวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ระยะใกล้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ผ่านมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ปีงบประมาณ พ.ศ. 2568

เอกสารอ้างอิง

- Eggleton, P. (2006). *Evolutionary processes in binary and multiple stars* (Vol. 40). United Kingdom: Cambridge University Press.
- Pribulla, T., & Rucinski, S. M. (2006). Contact binaries with additional components. I. The extant data. *The Astronomical Journal*, 131(6), 2986-3007.
- Prša, A., & Zwitter, T. (2005). A computational guide to physics of eclipsing binaries. I. Demonstrations and perspectives. *The Astrophysical Journal*, 628(1), 426–438.
- SIMBAD Astronomical Database. (2025). *V392 Ori basic data*. Retrieved from <https://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- Wilson, R. E., & Devinney, E. J. (1971). Realization of accurate close-binary light curves: application to MR Cygni. *Astrophysical Journal*, 166, 605-619.

Received: April 13, 2026

Revised: May 27, 2026

Accepted: May 31, 2026

Published: June 21, 2026

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกิ่งสำเร็จรูป Product Development of Semi-processed Chamuang Curry Powder

วัชร วัชรชัยกุล^{1*} เดือนเต็ม ทองเพือก² กุลพร พุทธิมี³ และ วริชชนม์ นิลนนท์³
Watcharee Waratchareeyakul^{1*} Dueantem Thongphueak² Kunlaporn Puttame³ and
Waritchon Ninlanon³

¹ สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

² สาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

³ สาขาวิศวกรรมและเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

¹ Program in Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

² Program in Microbiology, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat

³ Program in Food Innovation and Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

* watcharee.w@rbru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกิ่งสำเร็จรูป ศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัส การยอมรับของผู้บริโภค คุณค่าทางโภชนาการ อายุการเก็บรักษา และวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมจากใบชะมวงและผลิตภัณฑ์ที่พัฒนา โดยผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกิ่งสำเร็จรูปสูตรมาตรฐานประกอบด้วยผลิตจากตะไคร้ ข่า หอมแดง กระเทียม และพริกแห้ง ผ่านกระบวนการอบแห้งและคั่วด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ก่อนบดเป็นผงละเอียด ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่าผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับในระดับมาก โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 ± 0.66 จาก 5 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 90.00 และคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ผลิตภัณฑ์มีค่าออกฤทธิ์ออกฤทธิ์ที่วัดได้เท่ากับ 0.48 ซึ่งอยู่ในระดับที่ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมโดยวิธี Folin-Ciocalteu พบว่าส่วนสกัดน้ำของใบชะมวงมีปริมาณฟีนอลิกสูงที่สุด (74.55 ± 4.45 mg GAE/g extract) ขณะที่ผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกิ่งสำเร็จรูปมีปริมาณฟีนอลิกลดลง (24.91 ± 0.89 mg GAE/g extract) จากกระบวนการแปรรูป อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการต่อยอดเชิงพาณิชย์และส่งเสริมการใช้วัตถุดิบท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: พริกแกงชะมวง, อาหารกิ่งสำเร็จรูป, คุณภาพทางประสาทสัมผัส, ปริมาณฟีนอลิกรวม, ใบชะมวง

Abstract

This research aimed to develop a semi-processed Chamuang curry powder, evaluate its sensory quality and consumer acceptance, analyze its nutritional value, shelf life, and determine the total phenolic content of Chamuang leaves and the developed product. The standard formula of Chamuang curry powder comprised lemongrass, galangal, shallot, garlic, dried chili and Chamuang leaves, which were dried and roasted in a hot air oven at 60°C for 6 hours before being ground into fine powder. Consumer acceptance testing (n=100) revealed an overall mean liking score of 4.50 ± 0.66 out of 5 (90.00%). The characteristics of colour, aroma, taste, texture, and overall acceptability were not significantly different statistically ($p > 0.05$). The product exhibited a water activity value of 0.48, sufficient to inhibit microbial growth and no microbial contamination was detected throughout the storage period. Total phenolic content analysis by the Folin-Ciocalteu method revealed that the aqueous extract of Chamuang leaves contained the highest phenolic concentration (74.55 ± 4.45 mg GAE/g extract), whereas the semi-processed Chamuang curry powder showed a lower phenolic content (24.91 ± 0.89 mg GAE/g extract) due to processing effects such as drying and roasting. In conclusion, the developed semi-processed Chamuang curry powder demonstrated good sensory acceptance, microbiological safety, and potential for commercial development, while also promoting the value of local herbal resources.

Keywords: Chamuang curry paste, Semi-processed food, Sensory quality, Total phenolic contents, *Garcinia cowa* leaves

บทนำ

อาหารไทยได้รับการยอมรับในระดับสากลจากเอกลักษณ์ด้านรสชาติ กลิ่นหอม และความซับซ้อนขององค์ประกอบที่เกิดจากการใช้สมุนไพรและเครื่องเทศหลากหลายชนิด โดยเฉพาะพริกแกงซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของอาหารไทยหลายประเภท พริกแกงประกอบด้วยวัตถุดิบหลัก ได้แก่ พริก ตะไคร้ ข่า กระเทียม และหอมแดง ซึ่งเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระที่มีบทบาทในการลดความเสี่ยงของโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Dat-arun et al., 2019; Siripongvutikorn et al., 2024) อย่างไรก็ตาม พริกแกงในรูปแบบสดมีข้อจำกัดด้านอายุการเก็บรักษา เนื่องจากมีความชื้นสูง ส่งผลให้เกิดการเสื่อมคุณภาพทั้งทางเคมีและจุลชีววิทยาได้ง่าย (Inchuen et al., 2009)

แนวโน้มความต้องการอาหารกึ่งสำเร็จรูป (Semi-processed food) และอาหารพร้อมปรุงเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากวิถีชีวิตที่เร่งรีบและข้อจำกัดด้านเวลา โดยเฉพาะในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งมีการขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็ว รายงานตลาดระบุว่าตลาดอาหารสะดวกบริโภคในภูมิภาคนี้มีมูลค่า 22.5 พันล้านดอลลาร์สหรัฐในปี พ.ศ. 2568 และคาดว่าจะเพิ่มเป็น 39.2 พันล้านดอลลาร์ภายในปี พ.ศ. 2577 หรือมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยประมาณ 6.17% ต่อปี (IMARC Group, 2026) ขณะที่ตลาดอาหารกึ่งสำเร็จรูปทั่วโลกมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่องจากความต้องการผลิตภัณฑ์ที่สะดวก รวดเร็ว และมีอายุ

การเก็บรักษายาวนาน (Data Insights Market, 2026) แนวโน้มดังกล่าวจึงเป็นแรงผลักดันสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์พริกแกงในรูปแบบผง ซึ่งมีข้อได้เปรียบด้านความสะดวกและความคงตัวของผลิตภัณฑ์

การทำแห้งเป็นกระบวนการสำคัญที่ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยเฉพาะการอบแห้งด้วยลมร้อน (hot air drying) ซึ่งเป็นเทคนิคที่นิยมในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากสามารถลดความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทีวิตี (Water activity, a_w) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การลดค่า a_w เป็นกลไกหลักในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปจุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรียต้องการค่า a_w มากกว่า 0.90 ส่วนยีสต์และราสามารถเจริญได้ในช่วงประมาณ 0.60–0.85 และมีรายงานว่าค่า a_w ต่ำสุดสำหรับการเจริญของราบางชนิดอยู่ที่ประมาณ 0.61 (Beuchat, 1983; FDA, 1984) ดังนั้น การลดค่า a_w ให้ต่ำกว่า 0.60 จึงถือเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่มีความปลอดภัยสูง

อย่างไรก็ตาม กระบวนการทำแห้งด้วยความร้อนมีผลต่อโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งอาจเกิดการสลายตัวจากปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือการเสื่อมสภาพจากความร้อน (thermal degradation) รวมถึงการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ส่งผลต่อสีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์ มีรายงานว่าปริมาณสารฟีนอลิกในพืชสมุนไพรสามารถลดลงได้ประมาณ 10–50% ภายใต้กระบวนการอบแห้งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลา (Zhou et al., 2016) ขณะที่ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการคงตัวของสารสำคัญอยู่ที่ประมาณ 50–60°C (ElGamal et al., 2023) ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่มักใช้ในการอบแห้งสมุนไพรและเครื่องเทศ

ชะมวง (*Garcinia cowa* Roxb.) เป็นพืชสมุนไพรพื้นถิ่นในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะในประเทศไทย มีการนำใบมาใช้ในอาหารพื้นบ้าน เช่น แกงหมูชะมวง ใบชะมวงมีลักษณะรสเปรี้ยวเฉพาะจากกรดอินทรีย์ และมีองค์ประกอบทางเคมีสำคัญ เช่น แซนโทน (xanthones) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) ซึ่งมีรายงานว่ามียฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านจุลชีพ และต้านการอักเสบ (Xia et al., 2015; Tayana et al., 2017) นอกจากนี้ สารกลุ่มฟีนอลิกยังมีบทบาทต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส เช่น รสชาติและกลิ่นเฉพาะ ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

แม้ว่าจะมีการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพของใบชะมวงในหลายมิติ เช่น การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Rasyid et al., 2018) แต่จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นในระดับสารสกัดหรือผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้าน และยังขาดการพัฒนาในรูปแบบผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูป โดยเฉพาะในรูปแบบพริกแกงผง นอกจากนี้ แม้จะมีงานวิจัยเกี่ยวกับพริกแกงผงในประเทศไทยและภูมิภาคอาเซียน แต่ยังไม่พบการศึกษาที่บูรณาการการประเมินคุณภาพในหลายมิติในผลิตภัณฑ์เดียวกัน ได้แก่ คุณภาพทางประสาทสัมผัส ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี ความปลอดภัยทางจุลชีววิทยา และปริมาณสารฟีนอลิกรวม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สามารถแข่งขันในเชิงอุตสาหกรรมได้

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกิ่งสำเร็จรูปโดยใช้กระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน และศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในเชิงบูรณาการ ทั้งด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัส การยอมรับของผู้บริโภค คุณค่าทางโภชนาการ ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี ความปลอดภัยทางจุลชีววิทยา และปริมาณสารฟีนอลิกรวม เพื่อเติมเต็มช่องว่างองค์ความรู้และสนับสนุนการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากวัตถุดิบท้องถิ่นให้มีศักยภาพในเชิงพาณิชย์และความยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้กระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน
2. เพื่อประเมินการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกึ่งสำเร็จรูปที่พัฒนา
3. เพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและวอเตอร์แอกทีวิตี้ของผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกึ่งสำเร็จรูป
4. เพื่อศึกษาปริมาณสารฟีนอลิกรวมของใบชะมวงและผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกึ่งสำเร็จรูป รวมถึงผลของกระบวนการแปรรูปต่อการเปลี่ยนแปลงของสารฟีนอลิก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกึ่งสำเร็จรูป

คัดเลือกใบชะมวงสดไม่อ่อนหรือแก่เกินไป ที่มีลักษณะสมบูรณ์ ปราศจากร่องรอยการทำลายของแมลง โรคพืช และการเข้าเสีย เพื่อควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบให้มีความสม่ำเสมอ น้ำหนัก 350 กรัม นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำไหลเพื่อลดสิ่งปนเปื้อน จากนั้นผึ่งให้สะเด็ดน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผงพริกแกงชะมวงกึ่งสำเร็จรูปประกอบด้วย ตะไคร้ 200 กรัม ข่า 100 กรัม หอมแดง 100 กรัม กระเทียม 50 กรัม พริกแห้ง 20 กรัม และใบชะมวง 300 กรัม โดยวัตถุดิบทั้งหมดถูกหั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ 0.5-1 เซนติเมตร เพื่อให้มีความสม่ำเสมอในการให้ความร้อน

การคั่ววัตถุดิบดำเนินการโดยใช้เตาแก๊ส (gas stove) และกระทะสแตนเลส (stainless steel pan) ด้วยไฟระดับปานกลางที่อุณหภูมิประมาณ 120–140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10–15 นาที โดยคนอย่างต่อเนื่องจนมีกลิ่นหอม ทั้งนี้เพื่อกระตุ้นการเกิดสารให้กลิ่นและลดความชื้นเบื้องต้นของวัตถุดิบ หลังจากนั้นนำวัตถุดิบทั้งหมดไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

วัตถุดิบที่ผ่านการอบแห้งแล้วถูกนำไปบดด้วยเครื่องบดความเร็วสูง (high-speed grinder) กำลังไฟ 1,500 วัตต์ จนได้ผงละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh เพื่อให้ได้อนุภาคสม่ำเสมอ

ผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกึ่งสำเร็จรูปที่ได้ถูกเก็บในภาชนะปิดสนิทด้วยถุงซิลด์สุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง หลีกเลี่ยงแสงแดด สำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ต่อไป

2. การประเมินการยอมรับของผู้บริโภค

ผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกึ่งสำเร็จรูปที่พัฒนาขึ้นจากสูตรมาตรฐาน ถูกนำไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 100 คน โดยทำการประเมินการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยแบบทดสอบมาตราส่วนความชอบ 5 ระดับ (5-point hedonic scale) เพื่อศึกษาระดับความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น

3. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ และวอเตอร์แอกทีวิตี้เพื่อประเมินความปลอดภัยทางจุลินทรีย์

ผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกึ่งสำเร็จรูปถูกนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ พลังงานทั้งหมด ไขมันทั้งหมด โปรตีน คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด น้ำตาลทั้งหมด โซเดียม ความชื้น และเถ้า ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC โดยพลังงานทั้งหมดใช้วิธีวิเคราะห์เพื่อจัดทำฉลากโภชนาการ อ้างอิงจาก AOAC (1993) บทที่ 6 หน้า 106 ปริมาณไขมันทั้งหมดใช้วิธีทดสอบภายใน (In-house method) I-WI-LB-02 อ้างอิงจาก AOAC (2006) 2003.05 ปริมาณโปรตีนใช้วิธีทดสอบภายใน I-WI-LB-05 อ้างอิงจาก AOAC (2005) 991.20 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดใช้วิธีวิเคราะห์เพื่อจัดทำฉลากโภชนาการ อ้างอิงจาก AOAC (1993) บทที่ 6 หน้า 106 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดใช้วิธีทดสอบภายใน I-WI-LB-36 อ้างอิงจาก AOAC (2000) 923.09 ปริมาณโซเดียม

ใช้วิธีทดสอบภายใน I-WI-LB-10 อ้างอิงจาก AOAC (2016) 2011.14 ปริมาณความชื้นใช้วิธีทดสอบ AOAC (2008) 935.29 และปริมาณเถ้าตาม AOAC (2005) 923.03

ตรวจวัดค่าออกซิเจนรวม (a_w) ด้วยเครื่องวัดออกซิเจนรวม เพื่อประเมินความคงตัวของผลิตภัณฑ์

4. การสกัดและการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกรวม

ใบชะมวงแห้งบดละเอียด (200 กรัม) ถูกสกัดด้วยวิธีแช่ (maceration) ที่อุณหภูมิห้อง โดยสกัดจากตัวทำละลายขั้วต่ำไปขั้วสูง ได้แก่ เฮกเซน ไดคลอโรมีเทน เมทานอล และน้ำ ตามลำดับ ในการสกัดแต่ละครั้งใช้ระยะเวลา 7 วัน ตัวทำละลายละ 2 ครั้ง สำหรับตัวทำละลายอินทรีย์ และ 30 นาที สำหรับน้ำร้อน

สารสกัดแต่ละชนิดถูกรองและนำไประเหยแห้งด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ยกเว้นสารสกัดน้ำซึ่งทำแห้งด้วยเครื่องกำจัดน้ำแบบเยือกแข็ง (freeze dryer) จากนั้นคำนวณร้อยละผลผลิต (%yield) ของสารสกัดแต่ละชนิด

การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Content, TPC) ใช้วิธี Folin-Ciocalteu ดัดแปลงจาก Wairata et al. (2022) และใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 0–200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอย่างสารสกัดปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 1000 ppm ในเมทานอล) ถูกผสมกับสารละลาย Folin-Ciocalteu ร้อยละ 10 ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและพักไว้ 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ร้อยละ 5 ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร (ทำซ้ำ 5 ครั้ง ต่อตัวอย่าง) แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer โดยใช้เมทานอลเป็นสารควบคุม (blank) ผลการวิเคราะห์รายงานในรูปมิลลิกรัมกรดแกลลิกสมมูลต่อกรัมตัวอย่าง (mg GAE/g sample)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกิ่งสำเร็จรูป

ผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกิ่งสำเร็จรูปที่ผ่านกระบวนการคั่วและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำมาบดเป็นผงละเอียด มีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 3.20 ค่าความเป็นสีแดง (a*) 5.75 และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) 3.88 แสดงถึงสีเข้มในโทนแดง-เหลือง ค่าความสว่างที่ต่ำแสดงให้เห็นถึงเม็ดสีธรรมชาติจากสมุนไพรและเครื่องเทศ เช่น แคโรทีนอยด์และโพลีฟีนอล โดยสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความร้อนของส่วนผสม รวมทั้งปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ดและการออกซิเดชันของสารสี ส่วนความชื้นสุดท้าย (moisture content) และออกซิเจนรวมเท่ากับ 0.48 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการอบแห้งที่ใช้สามารถรักษาคูณลักษณะพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงไว้ได้

ค่าความสว่าง (L*) ที่ต่ำและค่าสีแดง-เหลือง (a*, b*) ที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์สามารถอธิบายได้จากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนในระหว่างการคั่วและอบแห้ง ซึ่งส่งผลให้เกิดสารเมลานอยดิน (melanoidins) ที่มีสีเข้ม นอกจากนี้ อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในพริกและใบชะมวง ส่งผลให้สีเปลี่ยนแปลงไป

ในด้านกลิ่น กระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ช่วยลดการสูญเสียสารระเหย (volatile compounds) เมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่สูงกว่า อย่างไรก็ตาม สารบางชนิด เช่น เทอร์พีน (terpenes) และอัลดีไฮด์ อาจเกิดการระเหยหรือสลายตัวได้ ส่งผลให้โปรไฟล์กลิ่นเปลี่ยนแปลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานว่า การอบแห้งสามารถส่งผลต่อการสร้างและการสูญเสียสารให้กลิ่น (ElGamal et al., 2023)

2. คุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค

ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่าผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับในระดับมาก โดยมีคะแนนเฉลี่ยความชอบโดยรวมเท่ากับ 4.50 ± 0.66 จากคะแนนเต็ม 5 คิดเป็นร้อยละ 90.00 และคุณลักษณะแต่ละด้านไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยคุณลักษณะด้านกลิ่นและความชอบโดยรวมได้รับคะแนนสูงสุด (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่ากลิ่นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับของผู้บริโภคมากกว่าสีของผลิตภัณฑ์

ผลที่ได้สอดคล้องกับแนวคิดที่ว่าพริกแกงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับกลิ่นและรสชาติมากกว่าลักษณะสี โดยกลิ่นหอมที่เกิดจากสมุนไพรและเครื่องเทศเป็นปัจจัยกำหนดการยอมรับหลักการอบแห้งที่อุณหภูมิปานกลางช่วยลดการสูญเสียสารระเหย จึงคงกลิ่นหอมได้ดี

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

คุณลักษณะ	ระดับความชอบ					ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD	ร้อยละ	ระดับความพึงพอใจ
	5	4	3	2	1			
สี	52	40	8	0	0	4.44 ± 0.64	88.80	มาก
กลิ่น	58	34	8	0	0	4.50 ± 0.64	90.00	มาก
รสชาติ ^a	56	36	6	1	1	4.45 ± 0.74	89.00	มาก
เนื้อสัมผัส ^a	54	38	7	1	0	4.45 ± 0.67	89.00	มาก
ความชอบโดยรวม	58	35	6	1	0	4.50 ± 0.66	90.00	มาก

3. ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและวอเตอร์แอกทีวิตี้

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกิ่งสำเร็จรูป (ตารางที่ 2) พบว่าผลิตภัณฑ์มีพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 308.26 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม โดยมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณ 65.51 กรัมต่อ 100 กรัม รองลงมาคือโปรตีน 10.07 กรัมต่อ 100 กรัม ขณะที่ไขมันทั้งหมดพบในปริมาณต่ำเพียง 0.66 กรัมต่อ 100 กรัม และไม่ตรวจพบน้ำตาลทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ ปริมาณโซเดียมมีค่าเท่ากับ 24.75 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับต่ำ สำหรับองค์ประกอบด้านกายภาพพบว่าผลิตภัณฑ์มีความชื้น 18.68 กรัมต่อ 100 กรัม และมีปริมาณเถ้า 5.08 กรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งสะท้อนถึงปริมาณแร่ธาตุจากวัตถุดิบสมุนไพรและเครื่องเทศที่ใช้ในการผลิต

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกิ่งสำเร็จรูป

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย
1. พลังงานทั้งหมด	308.26	Kcal/100g
2. ไขมันทั้งหมด	0.66	g/100g
3. โปรตีน	10.07	g/100g
4. คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	65.51	g/100g
5. น้ำตาลทั้งหมด	Not Detected	g/100g
6. โซเดียม	24.749	mg/100g
7. ความชื้น	18.68	g/100g
8. เถ้า	5.08	g/100g

ผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงมีค่าวอเตอร์แอกทีวิตี (a_w) เท่ากับ 0.48 (รูปที่ 1) ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ได้ โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ต้องการ a_w มากกว่า 0.90 และยีสต์/ราที่สามารถเจริญได้ในช่วงประมาณ 0.60–0.85 (Beuchat, 1983; FDA, 1984) การลดค่า a_w ดังกล่าวเป็นผลโดยตรงจากการอบแห้ง ซึ่งทำให้เกิดการลดน้ำอิสระในระบบอาหาร ส่งผลให้กิจกรรมของน้ำในระบบลดลง และจำกัดการเคลื่อนที่ของสารตั้งต้นที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์

ในเชิงโครงสร้าง การลดความชื้นยังส่งผลต่อการยุบตัวของโครงสร้างเซลล์พืช (cell collapse) และการลด porosity ของวัตถุดิบ ซึ่งมีผลต่อการแพร่ของโมเลกุลน้ำและสารระเหย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวมากขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา การค้นพบนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Inchuen et al. (2009) ที่รายงานว่า การอบแห้งพริกแกงสามารถลดค่า a_w และยืดอายุการเก็บรักษาได้อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 1 การวิเคราะห์วอเตอร์แอกทีวิตีและสีของผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกิ่งสำเร็จรูป

4. ผลการสกัดและปริมาณสารฟีนอลิกรวม

ใบชะมวง 200 กรัม ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีขั้วแตกต่างกันพบว่า ส่วนสกัดน้ำให้ร้อยละผลผลิตสูงสุด (6.12%) รองลงมาคือ เมทานอล ไดคลอโรมีเทน และเฮกเซน ตามลำดับ (ตารางที่ 3) แสดงว่าสารสำคัญในใบชะมวงส่วนใหญ่เป็นสารที่มีขั้ว

ตารางที่ 3 ร้อยละผลผลิตของส่วนสกัดด้วยตัวทำละลายต่าง ๆ ของใบชะมวง

ส่วนสกัดหยาบ	น้ำหนัก (กรัม)	ร้อยละผลผลิต
ส่วนสกัดหยาบเฮกเซน	1.1708	0.58
ส่วนสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน	1.7674	0.88
ส่วนสกัดหยาบเมทานอล	4.7097	2.35
ส่วนสกัดหยาบน้ำ	12.2455	6.12

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin–Ciocalteu พบว่าส่วนสกัดน้ำของใบชะมวงมีปริมาณฟีนอลิกสูงที่สุด (74.55 ± 4.45 mg GAE/g) ขณะที่ผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกิ่งสำเร็จรูปมีปริมาณฟีนอลิกรวมต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (24.91 ± 0.89 mg GAE/g) (ตารางที่ 4) ซึ่งสะท้อนถึงผลของกระบวนการแปรรูป โดยเฉพาะการคั่วและการอบแห้งด้วยลมร้อนที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

การลดลงดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากหลายกลไกเชิงเคมีที่เกิดขึ้นร่วมกันในระบบอาหาร ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุหลายประการ

ประการแรก ความร้อนจากกระบวนการอบแห้งสามารถเร่งการสลายตัวของสารฟีนอลิก (thermal degradation) ผ่านการแตกพันธะเคมีสำคัญ เช่น พันธะ O-H และ C-C ในโครงสร้างของโมเลกุล ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความเสถียรของสารออกฤทธิ์ โดยกระบวนการเสื่อมสลายนี้มักอธิบายได้ด้วยจลนพลศาสตร์แบบอันดับหนึ่ง (first-order kinetics) ซึ่งอัตราการลดลงของสารจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น (Zhou et al., 2016)

นอกจากนี้ สารฟีนอลิกยังมีความไวต่อการออกซิเดชัน (oxidation kinetics) โดยเฉพาะในสภาวะที่มีความร้อนและออกซิเจนร่วมกัน ซึ่งสามารถเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของฟีนอลิกไปเป็นสารควิโนน (quinones) ที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง เช่น การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง รวมถึงอาจส่งผลต่อสีและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (ElGamal et al., 2023)

อีกกลไกหนึ่งที่สำคัญคือการเกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างสารฟีนอลิกกับองค์ประกอบในระบบอาหาร (food matrix interaction) โดยสารฟีนอลิกสามารถจับกับโปรตีนผ่านแรงไฮโดรเจนบอนด์ (Hydrogen bonding) หรือเกิดการเชื่อมโยงกับคาร์โบไฮเดรตและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard conjugates) ส่งผลให้สารดังกล่าวอยู่ในรูปแบบที่ไม่สามารถสกัดได้ด้วยตัวทำละลายในกระบวนการวิเคราะห์ แม้ว่าจะยังคงอยู่ในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ก็ตาม

ดังนั้น การลดลงของสารฟีนอลิกในผลิตภัณฑ์จึงไม่ได้เกิดจากการสลายตัวเพียงอย่างเดียว แต่เป็นผลรวมของทั้งการเสื่อมสลาย การออกซิเดชัน และการเกิดพันธะกับองค์ประกอบในระบบอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่ระบุว่ากระบวนการอบแห้งสามารถทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกลดลงได้ประมาณ 10–50% ขึ้นอยู่กับสภาวะการแปรรูป เช่น อุณหภูมิ เวลา และชนิดวัตถุดิบ (Zhou et al., 2016)

ตารางที่ 4 ปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดใบชะมวงและผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกึ่งสำเร็จรูป

ตัวอย่าง	ปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดใบชะมวง (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด)
ส่วนสกัดหยาบเฮกเซน	66.97 ± 15.22
ส่วนสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน	36.50 ± 4.66
ส่วนสกัดหยาบเมทานอล	39.46 ± 0.61
ส่วนสกัดหยาบน้ำ	74.55 ± 4.45
ผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกึ่งสำเร็จรูป	24.91 ± 0.89

แม้ปริมาณสารฟีนอลิกรวมในผลิตภัณฑ์จะลดลงอย่างชัดเจนจากกระบวนการแปรรูป แต่ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์ยังคงได้รับการยอมรับในระดับสูง โดยเฉพาะด้านกลิ่นและรสชาติ สะท้อนให้เห็นว่าสารฟีนอลิกที่ยังคงอยู่ในผลิตภัณฑ์มีปริมาณเพียงพอในการสร้างลักษณะเฉพาะของพริกแกงชะมวง ได้แก่ รสเปรี้ยวและรสฝาดอ่อน

ในเชิงกลไก สารฟีนอลิกมีบทบาทสำคัญต่อการรับรู้รสชาติผ่านการจับกับโปรตีนในน้ำลาย (salivary proteins) ส่งผลให้เกิดความรู้สึกฝาด (astringency) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของพืชสมุนไพรหลายชนิด

นอกจากนี้กลุ่มสารสำคัญในชะมวง เช่น แซนโทนและฟลาโวนอยด์ ยังมีบทบาทต่อการสร้างกลิ่นและรสของผลิตภัณฑ์ ทั้งในแง่ของความซับซ้อนของกลิ่นและการเสริมรสชาติ (flavor enhancement) ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคโดยรวม (Xia et al., 2015; Tayana et al., 2017)

ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าแม้ว่าปริมาณสารฟีนอลิกจะลดลงจากกระบวนการแปรรูป แต่การควบคุมสภาวะการผลิตอย่างเหมาะสม เช่น อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง สามารถช่วยคงสารสำคัญบางส่วนไว้ได้ ในระดับที่ยังเพียงพอต่อการรักษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ และสนับสนุนศักยภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงพริกแกงชะมวงกิ่งสำเร็จรูปโดยใช้กระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าวอเตอร์แอคทีวิตีต่ำ ($a_w = 0.48$) อยู่ในช่วงที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในระดับสูงในทุกด้าน โดยเฉพาะกลิ่นและรสชาติ ในเชิงองค์ประกอบทางเคมี พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากกระบวนการแปรรูป ซึ่งสามารถอธิบายได้จากกลไกการเสื่อมสลายของสาร ได้แก่ การสลายตัวจากความร้อน ตามจลนพลศาสตร์แบบอันดับหนึ่ง การเกิดออกซิเดชันของสารฟีนอลิกเป็นควิโนน และการจับตัวของสารฟีนอลิกกับองค์ประกอบในระบบอาหาร หรือผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ส่งผลให้ลดความสามารถในการตรวจวัดเชิงวิเคราะห์ อย่างไรก็ตาม ปริมาณสารสำคัญที่คงเหลือยังเพียงพอที่จะรักษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ โดยเฉพาะรสเปรี้ยวและความฝาดอ่อนจากไบชะมวง ซึ่งสัมพันธ์กับบทบาทของสารฟีนอลิกและแซนโทนในระบบอาหาร ดังนั้น ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้กระบวนการอบแห้งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารกิ่งสำเร็จรูปจากวัตถุดิบท้องถิ่นที่สามารถรักษาสมดุลระหว่างความปลอดภัยทางจุลชีววิทยา คุณภาพเชิงเคมี และการยอมรับของผู้บริโภคได้อย่างเหมาะสม พร้อมทั้งเป็นแนวทางในการต่อยอดสู่การพัฒนาเชิงอุตสาหกรรมในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทว.) ประจำปีงบประมาณ 2567

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. (1993). *Official Methods of Analysis*, 14th Edition. USA: AOAC International.
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis: Method 923.09*, 17th Edition. USA: AOAC International.
- AOAC. (2005). *Official method of Analysis: Method 991.20, 923.03*, 18th Edition. USA: AOAC International.
- AOAC. (2006). *Official Methods of Analysis: Method 2003.05*, 18th Edition. USA: AOAC International.

- AOAC. (2008). *Official Methods of Analysis: Methods 935.29, 925.10, 974.24, 992.16*, 17th Edition. USA: AOAC International.
- AOAC. (2016). *Official Methods of Analysis: Methods 2011.14*, 20th Edition. USA: AOAC International.
- Beuchat, L. R. (1983). Influence of water activity on growth, metabolic activities and survival of yeasts and molds. *Journal of Food Protection*, 46(2), 135–141.
<https://www.researchgate.net/publication/284655437>
- Chaloeichitratham, N., Mawilai, P., Pongsuttiyakorn, T., & Pornchalermping, P. (2018). Effect of drying methods on properties of green curry powder. *EPJ Web of Conferences*, 187, 1-4. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819203023>
- Data Insights Market. (2026). *Semi-processed food market report*. Retrieved from <https://www.datainsightsmarket.com/reports/semi-processed-food-1261082>
- Dat-arun, P., Chakree, K., & Settaraksa, S. (2019). Fatty acid profile, phenolic compounds and potential antioxidant activity of fresh and cooked Massaman curry paste. *Functional Foods in Health and Disease*, 9(8), 543–557. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v9i8.644>
- ElGamal, R., Song, C., Rayan, A. M., Liu, C., Al-Rejaie, S. & ElMasry, G. (2023). Thermal degradation of bioactive compounds during drying. *Agronomy*, 13(6), 1-21.
<https://www.mdpi.com/2073-4395/13/6/1580>
- FDA. (1984). *Water activity (a_w) in foods*. Retrieved from <https://www.fda.gov/inspections-compliance-enforcement-and-criminal-investigations/inspection-technical-guides/water-activity-aw-foods>
- IMARC Group. (2026). *South East Asia convenience food market*. Retrieved from <https://www.imarcgroup.com/south-east-asia-convenience-food-market>
- Inchuen, S., Narkruga, W., & Pornchaloempong, P. (2009). Effect of drying methods on chemical composition, color and antioxidant properties of Thai red curry powder. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 43(3), 573-583.
<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/244890>
- Rasyid, R., Armin, F., Andayani, R., & Rivai, H. (2018). Determination of total phenolic content and antioxidant activities from extract of the leaf, fruit skin and stem bark of *Garcinia cowa* Roxb. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Medicine (IJPSM)*, 3, 1-7. <https://ijpsm.com/Publish/Jan2018/V3I101.pdf>
- Siripongvutikorn, S., Pumethakul, K., Yupanqui, C. T., Seechamnaturakit, V., Detarun, P., Utaipan, T., ... Samakradhamrongthai, R. S. (2024). Phytochemical Profiling and Antioxidant Activities of the Most Favored Ready-to-Use Thai Curries, Pad-Ka-Proa (Spicy Basil Leaves) and Massaman. *Foods*, 13(4), 582.
<https://doi.org/10.3390/foods13040582>

- Tayana, N., Suteerapataranon, S., & Deachathai, S. (2017). Phytochemistry and bioactive compounds from *Garcinia cowa* Roxb. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 22(3), 1-8. <https://apst.kku.ac.th/phytochemistry-and-bioactive-compounds-from-garcinia-cowa-roxb/>
- Thamkaew, G., Sjöholm, I., & Galindo, F. G. (2020). A review of drying methods for improving the quality of dried herbs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(11), 1763–1786. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1765309>
- Wairata, J., Fadlan, A., Purnomo, A. S., Taher, M., & Ersam, T. (2022). Total phenolic and flavonoid contents, antioxidants, antidiabetic and antiplasmodial activities of *Garcinia forbesii* King: A correlation study. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(2), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103541>
- Wanna, C., Boonman, N., & Phakpaknam, S. (2023). Antioxidant and antidiabetic properties of *Garcinia cowa* Roxb. extracts from different plant parts. *Plant Science Today*, 10(3), 1–10. <https://doi.org/10.14719/pst.2455>
- Xia, Z., Zhang, H., Xu, D., Lao, Y., Fu, W., Tan, H., ... Xu, H. (2015). Xanthones from *Garcinia cowa*. *Molecules*, 20(6), 11387–11399. <https://www.mdpi.com/1420-3049/20/6/11387>
- Zhou, L., Cao, Z., Bi, J., Yi, J., Chen, Q., Wu, X., & Zhou, M. (2016). Degradation kinetics of total phenolic compounds, capsaicinoids and antioxidant activity in red pepper during hot air and infrared drying process. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(4), 842–853. <https://academic.oup.com/ijfst/article/51/4/842/7774609>

Received: April 20, 2026

Revised: June 15, 2026

Accepted: June 15, 2026

Published: June 21, 2026

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบครีมกันแดดเสริมฤทธิ์ด้วยไมโครเจลไคโตซานที่ห่อหุ้ม

สารสกัด α -แมงโกสตินจากเปลือกมังคุด

Development of a Prototype Sunscreen Cream Enhanced with Chitosan Microgel Encapsulating α -Mangostin from *Garcinia mangostana* L. Pericarp

วัชร วรรณรียกุล^{1*} สิริกร ชัสวิเศษ¹ และ รุจิเรข ปราชญากุล²

Watcharee Waratchareeyakul¹ Sirikorn Chasvised¹ and Ruchirake Prachayakul²

¹ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

² สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

¹ Program in Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

² Program in Mathematics, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

* watcharee.w@rbru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดและแยกสารออกฤทธิ์จากเปลือกมังคุด ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และพัฒนาไมโครเจลไคโตซานเพื่อห่อหุ้มสารสกัดสำหรับประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ครีมกันแดด ผลการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบต่อเนื่องพบว่าส่วนสกัดเมทานอลให้ผลผลิตสูงสุดและสามารถแยกสาร α -แมงโกสตินได้ โดยการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าสารมาตรฐานวิตามินซีและ BHT มีค่า IC_{50} เท่ากับ 10.251 ± 2.458 และ 16.879 ± 2.291 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ ขณะที่สารสกัดหยาบเอทานอลจากเปลือกมังคุด มีค่า IC_{50} เท่ากับ 59.181 ± 4.051 $\mu\text{g/ml}$ แสดงว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแต่ต่ำกว่าสารมาตรฐาน ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ยืนยันว่าไมโครเจลไคโตซานสามารถห่อหุ้มสารสกัดได้โดยยังคงหมู่ฟังก์ชันไว้ และทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นรวมทั้งช่วยคงความเสถียรของสารออกฤทธิ์ อย่างไรก็ตาม ครีมกันแดดต้นแบบที่เติมสาร α -mangostin ในความเข้มข้น 1%, 3% และ 5% ไม่สามารถวัดค่า IC_{50} ได้ เนื่องจากส่วนประกอบของครีม (lipids, emulsifiers, thickeners) อาจกีดกันการเข้าถึงของ radical DPPH หรือทำให้เกิด scattering ในสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ สรุปได้ว่า การใช้ไมโครเจลไคโตซานช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความเสถียรของสารสกัดจากเปลือกมังคุด แต่การประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ครีมกันแดดควรได้รับการศึกษาต่อยอดในแง่การทดสอบค่า SPF/PA เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและปลอดภัยยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ครีมกันแดด, ไมโครเจล, ต้านอนุมูลอิสระ, α -แมงโกสติน, มังคุด

Abstract

This study aimed to extract, isolate and identify bioactive compounds from mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) pericarp, evaluate their antioxidant activity, and develop chitosan microgels for encapsulation with potential application in sunscreen

formulations. Successive solvent extraction revealed that the methanol extract yielded the highest amount and allowed the isolation of α -mangostin, whose structure was confirmed by spectroscopic techniques. Antioxidant activity evaluated by the DPPH assay showed IC_{50} values of 10.251 ± 2.458 $\mu\text{g/ml}$ for vitamin C and 16.879 ± 2.291 $\mu\text{g/ml}$ for BHT, whereas the crude ethanol extract of mangosteen peel exhibited an IC_{50} of 59.181 ± 4.051 $\mu\text{g/ml}$, indicating lower antioxidant activity compared to standards. FTIR analysis confirmed successful encapsulation of the extract within chitosan microgels while preserving phenolic functional groups, which enhanced antioxidant activity and stability. However, sunscreen prototypes containing α -mangostin at 1%, 3%, and 5% concentrations did not yield measurable IC_{50} values, antioxidant activity could not be reliably determined by DPPH assay in cream matrix due to formulation interference, suggesting the need for alternative methods such as ORAC or cell-based assays. In conclusion, chitosan microgels effectively improve its efficacy and stability, though further optimization is needed for practical application in sunscreen products to ensure quality and safety.

Keywords: Sunscreen, Microgel, Antioxidant, α -Mangostin, Mangosteen

บทนำ

ความต้องการวัสดุที่มีความยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มสูงขึ้น ได้กระตุ้นให้เกิดความสนใจอย่างมากในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและทางทะเลมาใช้เป็นแหล่งทางเลือกของวัสดุเชิงหน้าที่ที่มีมูลค่าเพิ่มสูง วัสดุเหลือทิ้งจำนวนมากที่เกิดจากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลและผลไม้ เช่น เปลือกกุ้ง แกนหมึก และเปลือกมังคุด นอกจากจะเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังเป็นโอกาสสำคัญในการนำไปพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์ในเชิงมูลค่าเพิ่ม การแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ให้เป็นวัสดุเชิงหน้าที่สอดคล้องกับแนวโน้มของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเชิงประยุกต์ในปัจจุบัน ซึ่งให้ความสำคัญกับความยั่งยืน การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และการพัฒนาวัสดุที่มีความปลอดภัย

ไคตินเป็นหนึ่งในพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีปริมาณมากที่สุดในธรรมชาติ และพบได้อย่างแพร่หลายในวัสดุเหลือทิ้งจากแหล่งทางทะเล โดยเฉพาะในเปลือกกุ้งและแกนหมึก อนุพันธ์ของไคตินคือไคโตซาน ซึ่งได้จากการบวนการดัดแปลงไคติน ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางเนื่องจากมีคุณสมบัติเด่น ได้แก่ ความเข้ากันได้ทางชีวภาพ การย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ความเป็นพิษต่ำ และสมบัติเชิงฟิสิกส์-เคมีที่หลากหลาย งานวิจัยก่อนหน้านี้รายงานความสำเร็จในการสกัดไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้งและแกนหมึก และชี้ให้เห็นถึงศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในระบบอาหาร อุตสาหกรรมเภสัชกรรม และสูตรเครื่องสำอาง (No & Meyers, 1995; Calvo et al., 1997)

ในบรรดาวัสดุจากแหล่งทางทะเล แกนหมึกถูกระบุว่าเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูง เนื่องจากมีปริมาณไคตินสูง มีสิ่งเจือปนจากแร่ธาตุต่ำ และมีรงควัตถุน้อย ทำให้ลดความจำเป็นในการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้นที่ซับซ้อน นอกจากนี้แกนหมึกได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในฐานะแหล่งของ β -chitin ซึ่งมีโครงสร้างแบบขนาน (Parallel arrangement) ที่ให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายพอลิเมอร์ต่ำกว่า α -chitin ส่งผลให้มีความสามารถในการบวมน้ำ การแทรกซึม และการดัดแปลงทางเคมีได้ดีกว่า (Garcinuño et al., 2022) อีกทั้งยังมี

สิ่งเจือปนจากแร่ธาตุต่ำและสามารถให้โคโตซานที่มีระดับการดีอะซีทีเลชันสูง เหมาะสำหรับการใช้งานทางชีวการแพทย์และเครื่องสำอาง (Martins et al., 2026) นอกจากการสกัดแบบดั้งเดิมแล้ว ยังมีการพัฒนาเทคนิคการสกัดแบบสีเขียว เช่น การใช้ deep eutectic solvents ที่สามารถให้ β -chitin บริสุทธิ์สูงพร้อมคุณสมบัติเชิงโครงสร้างและความร้อนที่ดี (McReynolds et al., 2022)

แกนหมึกถูกนำไปพัฒนาเป็นวัสดุชีวภาพหลากหลายรูปแบบ เช่น ไมโครแคปซูลและนาโนเจลสำหรับการนำส่งสารออกฤทธิ์ โดยพบว่าสามารถเพิ่มความเสถียรและประสิทธิภาพทางชีวภาพของสารสำคัญได้อย่างมีนัยสำคัญ (Li et al., 2025) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเป็นไฮโดรเจลและระบบควบคุมการปลดปล่อยยา ซึ่งแสดงศักยภาพในการใช้เป็น Carrier สำหรับยาและสารออกฤทธิ์ในระบบ Controlled release (Garcinuño et al., 2022) รวมถึงการนำไปประยุกต์เป็นวัสดุดูดซับโลหะหนักและวัสดุเชิงสิ่งแวดล้อม เช่น Hydrogel beads จาก β -chitosan ที่มีความสามารถในการดูดซับไอออนโลหะได้ดี (Moralez et al., 2025) นอกจากนี้ แนวคิดการแปรรูปแบบ Biorefinery ยังแสดงให้เห็นว่าแกนหมึกสามารถถูกพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง เช่น โคโตซานที่มีฤทธิ์ต้านจุลชีพและผลิตภัณฑ์ชีวภาพอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Lima et al., 2025)

ขณะเดียวกัน สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้รับความสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้ด้านเครื่องสำอาง เปลือกมังคุด (*Garcinia mangostana*) ซึ่งเป็นของเสียหลักจากอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารในกลุ่มแซนโทน โดยเฉพาะสารแอลฟาแมงโกสติน (α -mangostin) งานวิจัยหลายฉบับรายงานว่าแอลฟาแมงโกสตินมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง มีคุณสมบัติด้านการอักเสบ และมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตทั้งในย่าน UVB และ UVA ซึ่งบ่งชี้ถึงศักยภาพในการใช้เป็นสารออกฤทธิ์จากธรรมชาติสำหรับผลิตภัณฑ์ปกป้องผิวหน้า (Ee et al., 2006; Ahmad et al., 2013; Asasutjarit et al., 2019) นอกจากนี้ ส่วนสกัดจากเปลือกมังคุดยังแสดงฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH สนับสนุนบทบาทของส่วนสกัดดังกล่าวในฐานะสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Moongkarndi et al., 2004)

แม้แอลฟาแมงโกสตินจะมีคุณสมบัติทางชีวภาพที่โดดเด่น แต่การนำไปใช้โดยตรงในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางชนิดทาบนผิวยังประสบข้อจำกัดหลายประการ เช่น การละลายน้ำได้น้อย ความไม่เสถียรภายใต้สภาวะแวดล้อม และการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอในระบบสูตร ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและความเหมาะสมในการใช้งานจริง เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว มีการนำเสนอกลยุทธ์การห่อหุ้มสารโดยใช้พอลิเมอร์ชีวภาพเป็นพาหะ เพื่อเพิ่มความเสถียรและความเข้ากันได้ของสารออกฤทธิ์ที่มีลักษณะไม่ชอบน้ำ ไมโครเจลที่มีโคโตซานเป็นฐานซึ่งเตรียมด้วยเทคนิคการเชื่อมโยงข้ามแบบไอออนิกหรือแบบอิมัลชัน ได้รับการศึกษากันอย่างแพร่หลายในฐานะระบบนำส่ง เนื่องจากสามารถตรึงสารออกฤทธิ์ไว้ได้ พร้อมทั้งใช้สภาวะการเตรียมที่อ่อนโยนและหลีกเลี่ยงการใช้สารเชื่อมโยงข้ามที่เป็นพิษ (Calvo et al., 1997; Li et al., 2008)

งานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาการสกัดโคโตซานจากวัสดุเหลือทิ้งทางทะเล และการแยกสารแอลฟาแมงโกสตินจากเปลือกมังคุดแยกจากกัน อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่บูรณาการทรัพยากรเหลือทิ้งทั้งสองชนิดเข้าด้วยกันสำหรับการประยุกต์ใช้ด้านเครื่องสำอางยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของวัสดุเชิงประยุกต์ การพัฒนาระบบไมโครเจลโคโตซานที่ได้จากแกนหมึก สำหรับสารออกฤทธิ์จากเปลือกมังคุด ยังไม่ได้รับการศึกษาอย่างครอบคลุม

ตัวชี้วัดสำคัญที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ครีมกันแดดประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่สะท้อนความสามารถในการปกป้องรังสีอัลตราไวโอเล็ตและความคงตัวของสูตรภายใต้สภาวะแสง โดยค่า

Sun Protection Factor (SPF) เป็นตัวชี้วัดหลักสำหรับการป้องกันรังสี UVB ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดผิวไหม้แดด โดยนิยามจากอัตราส่วนของปริมาณรังสีที่ทำให้เกิด Minimal erythema dose (MED) บนผิวที่ทาครีมกันแดดต่อผิวที่ไม่ทา (Reinau et al., 2015) ขณะที่ประสิทธิภาพในการป้องกันรังสี UVA ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดริ้วรอยและการทำลายโครงสร้างผิวในระยะยาว การประเมินด้วยค่า UVA protection factor (UVA-PF) หรือระบบ PA (Protection Grade of UVA) ซึ่งอาศัยการทดสอบ Persistent pigment darkening (PPD) เพื่อวัดความสามารถในการลดการเกิดเม็ดสีเข้มหลังได้รับรังสี UVA (ISO 24443, 2021; ScienceInsights, 2026) นอกจากนี้ Photostability ยังเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ประเมินความสามารถของสารกรองรังสีในการคงโครงสร้างและประสิทธิภาพเมื่อสัมผัสรังสี UV โดยสารกรองรังสีที่ไม่เสถียรอาจเกิดการสลายตัว (Photodegradation) ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนรังสีลดลงและประสิทธิภาพการป้องกันโดยรวมลดลง (Nash & Tanner, 2014; Romanhole et al., 2026) ดังนั้น ครีมกันแดดที่มีประสิทธิภาพควรแสดงค่า SPF และ PA/UVA-PF ที่เหมาะสมควบคู่กับความคงตัวต่อแสง เพื่อให้สามารถปกป้องผิวจากรังสี UV ได้อย่างครอบคลุมและยั่งยืนทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการพัฒนากระบวนการผลิตวัสดุที่มีความยั่งยืนและมีสมบัติการใช้งาน โดยการผสมไมโครเจลโคโตซานที่ได้จากแกนหมึกเข้ากับสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สกัดจากเปลือกมังคุด โคโตซานถูกเตรียมผ่านกระบวนการขจัดแร่ธาตุ ขจัดโปรตีน และดีอะซีทิลเลชัน (Deacetylation) ก่อนนำมาสังเคราะห์เป็นไมโครเจลด้วยเทคนิคการเชื่อมโยงข้ามในระบบอิมัลชันโดยใช้โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตเป็นสารเชื่อมโยงข้าม สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยเฉพาะแอลฟาแมงโกสติน ถูกสกัด แยก และวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิคทางสเปกโตรสโกปีก่อนนำไปตรึงบนไมโครเจลโคโตซาน ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของระบบที่ได้ถูกประเมินด้วยการทดสอบการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH และได้มีการประเมินศักยภาพการใช้งานในสูตรต้นแบบครีมกันแดด

งานวิจัยนี้ผสานวัสดุเหลือทิ้งจากแหล่งทางทะเลและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้เป็นไมโครเจล ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้ไมโครเจลโคโตซานจากแกนหมึกเป็นพาหะสำหรับสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกมังคุด และเสนอแนวทางที่ยั่งยืนในการพัฒนาวัสดุเครื่องสำอางที่เสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ งานวิจัยนี้จึงมีส่วนช่วยต่อองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์เชิงประยุกต์ โดยเน้นย้ำศักยภาพของพอลิเมอร์ชีวภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งสำหรับการประยุกต์ใช้ในอนาคตด้านเครื่องสำอางและวัสดุเชิงหน้าที่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสกัดและตรวจสอบคุณภาพโคโตซานจากเปลือกกุ้งและแกนหมึก
2. เพื่อสกัด แยก และทดสอบองค์ประกอบทางเคมีจากสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มีคุณสมบัติดูดกลืนแสง และสามารถนำมาผลิตเป็นครีมกันแดดได้
3. เพื่อสังเคราะห์ไมโครเจลจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ
4. เพื่อห่อหุ้มสารแอลฟาแมงโกสตินที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและมีคุณสมบัติดูดกลืนแสงที่สกัดจากเปลือกมังคุดด้วยไมโครเจล
5. เพื่อผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์ครีมกันแดดที่มีอนุภาคในระดับไมโครเมตร

วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุและสารเคมี

เปลือกกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) และแกนหมึก (*gladius*) ได้รับจากของเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล เปลือกมังคุด (*Garcinia mangostana*) ได้จากผลสดในจังหวัดจันทบุรี และตราด สารเคมีที่ใช้ทั้งหมดเป็นเกรดวิเคราะห์ (analytical grade) ตัวทำละลายและน้ำที่ใช้เป็นน้ำกลั่น

การเตรียมและสกัดไคติน-ไคโตซาน

เปลือกกุ้งและแกนหมึกถูกล้างด้วยน้ำจนสะอาด ตากให้แห้งและอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C จนมีน้ำหนักคงที่ การขจัดแร่ธาตุดำเนินการโดยแช่วัตถุดิบแห้งในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1% (v/v) ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นกรองและล้างด้วยน้ำจนมีค่า pH ใกล้เคียงกลาง (pH 6.5-7.0) การขจัดโปรตีนดำเนินการโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% (w/v) ที่อุณหภูมิ 60-90 °C จากนั้นล้างด้วยน้ำจนเป็นกลาง ไคตินจากเปลือกกุ้งผ่านขั้นตอนการฟอกสีด้วยเอทานอลเพื่อกำจัดรงควัตถุ จากนั้นนำไคตินที่ได้ไปตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) รุ่น Alpha บริษัท Bruker เพื่อยืนยันโครงสร้างของไคตินและไคโตซาน

การสกัดและแยกสารออกฤทธิ์จากเปลือกมังคุด

เปลือกมังคุดแห้งถูกนำไปสกัดแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวทำละลายเรียงตามขั้ว ได้แก่ เฮกเซน ไดคลอโรมีเทน และเมทานอล ด้วยวิธีการแช่ (Maceration) สารสกัดถูกกรองและระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ สารสกัดเมทานอลถูกแยกองค์ประกอบด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี โดยใช้แผ่นทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี (TLC) ในการคัดเลือกระบบตัวทำละลาย ก่อนทำการแยกด้วยคอลัมน์โครมาโทกราฟี สารที่แยกได้ถูกตรวจสอบความบริสุทธิ์และยืนยันโครงสร้างด้วย FTIR และ ¹H-NMR spectroscopy 600 MHz บริษัท Bruker

การสังเคราะห์ไมโครเจลไคโตซาน

ไคโตซานจากเปลือกกุ้งและแกนหมึกถูกละลายในกรดอะซิติก 1% (v/v) ให้ได้ความเข้มข้น 1.0 mg mL⁻¹ และปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 4.0-5.0 สารละลายดังกล่าวถูกหยดลงในเฟสน้ำมันที่มี Tween 80 ภายใต้การกวนความเร็วสูงเพื่อสร้างอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน การเชื่อมโยงข้ามแบบอิมัลชัน-ไอออนิก (emulsion-ionic gelation) ดำเนินการโดยการเติมสารละลายโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (TPP) ที่ความเข้มข้นประมาณ 0.3-0.5 mg mL⁻¹ ส่งผลให้เกิดไมโครเจลไคโตซาน จากนั้นไมโครเจลถูกแยก ล้าง และทำให้แห้งด้วยวิธี freeze-drying ด้วยเครื่อง FTS Systems Flexi-Dry Freeze Dryer บริษัท SP Scientific ที่อุณหภูมิ -50 °C ภายใต้ความดันประมาณ 0.1 mbar เพื่อรักษาโครงสร้างพรุนและป้องกันการยุบตัวของไมโครเจลในระหว่างกระบวนการทำแห้ง

การห่อหุ้มไมโครเจลด้วยสารสกัดจากเปลือกมังคุด

ไมโครเจลไคโตซานถูกแขวนลอยในน้ำกลั่นและผสมกับสาร α-แมงโกสติน ที่แยกได้จากสารสกัดจากเปลือกมังคุด โดยกวนเบา ๆ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง ไมโครเจลที่เคลือบแล้วถูกแยก ล้าง และทำให้แห้ง ก่อนนำไปตรวจสอบโครงสร้างด้วย FTIR ทั้งนี้ควรมีการวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ที่ตรึงได้ (loading capacity) และประสิทธิภาพการห่อหุ้ม (encapsulation efficiency)

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดและตัวอย่างต่าง ๆ ถูกประเมินด้วยวิธีการกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical scavenging assay) โดยใช้กรดแอสคอร์บิกและบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (BHT) เป็นสารควบคุมเชิงบวก สารละลายต่าง ๆ ถูกเตรียมในตัวอย่างละลายเมทานอล ได้แก่ BHT ที่ความเข้มข้น $40.8 \mu\text{g mL}^{-1}$, DPPH ที่ความเข้มข้น $120 \mu\text{g mL}^{-1}$ โดยเก็บในที่มืดเพื่อป้องกันการสลายตัวจากแสง กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น $40 \mu\text{g mL}^{-1}$ และสารตัวอย่างที่ความเข้มข้น 8.0 mg mL^{-1} จากนั้นปิเปตสารตัวอย่างลงในไมโครเพลท 96 หลุมและเติมสารละลาย DPPH เป็นขั้นตอนสุดท้าย ก่อนบ่มในที่มืดและวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร ด้วยเครื่องอ่านไมโครเพลท (microplate reader) รุ่น Accureader M965 บริษัท Metertech ที่เวลา 30 นาที และคำนวณค่าร้อยละการยับยั้ง (% Inhibition) และค่า IC_{50} ตามวิธีมาตรฐาน (Wairata et al., 2022)

การเตรียมครีมกันแดดต้นแบบ

ครีมกันแดดต้นแบบถูกเตรียมในรูปแบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water-in-Oil; W/O) ซึ่งมีข้อดีด้านการสร้างฟิล์มเคลือบผิวและความสามารถในการต้านน้ำสูง เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์กันแดด (Nikam et al., 2023) โดยผสมเฟสน้ำ (water phase) และเฟสน้ำมัน (oil phase) ถูกเตรียมแยกกัน โดยเฟสน้ำมันประกอบด้วยสารให้ความนุ่มผิว (emollients) และสารก่อกิมัลชันชนิด lipophilic ขณะที่เฟสน้ำประกอบด้วยน้ำกลั่นและสารให้ความชุ่มชื้น เช่น กลีเซอรอล ซึ่งองค์ประกอบดังกล่าวอยู่ในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับสูตรครีมกันแดดทั่วไป (Romanhole et al., 2026) จากนั้นทั้งสองเฟสถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $70-75^\circ\text{C}$ และผสมเข้าด้วยกันภายใต้การกวนความเร็วสูงจนเกิดอิมัลชันที่มีความสม่ำเสมอ (Nikam et al., 2023)

หลังจากได้อิมัลชันค้อย ๆ ลดอุณหภูมิของระบบลงเหลือประมาณ $40-45^\circ\text{C}$ และเติมไมโครเจลไคโตซานที่เคลือบสาร α -แมงโกสติน ที่แยกได้จากสารสกัด จากนั้นปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 5.5–6.5 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อสภาพผิวหนังและช่วยเพิ่มเสถียรของสูตรเครื่องสำอาง (Bikiaris et al., 2023) ก่อนนำไปทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้ โครงสร้างอิมัลชันและองค์ประกอบของสูตรมีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพของครีมกันแดด ทั้งในด้านการป้องกันรังสี UV ความคงตัวของผลิตภัณฑ์ และการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ (Romanhole et al., 2026)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การเตรียมและสกัดไคติน-ไคโตซาน

กระบวนการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้นมีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพของการสกัดไคตินและไคโตซานในขั้นตอนถัดไป ผลการศึกษาพบว่าเปลือกกุ้งสดมีปริมาณความชื้นสูง (ตารางที่ 1) ในขณะที่แกนหมึกมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า (ตารางที่ 2) ส่งผลให้แกนหมึกให้ผลผลิตแห้งสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญความแตกต่างดังกล่าวสะท้อนถึงลักษณะโครงสร้างภายในของวัตถุดิบ โดยแกนหมึกมีโครงสร้างเส้นใยที่หนาแน่นและมีปริมาณน้ำในเนื้อวัสดุต่ำกว่า ซึ่งเอื้อต่อการกักเก็บมวลวัตถุดิบหลังการอบแห้ง และช่วยลดการใช้พลังงานในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ

ตารางที่ 1 สรุปผลการเตรียมวัตถุดิบเปลือกกุ้งขาวก่อนสกัดไคติน

ครั้งที่	น้ำหนักเปลือกกุ้ง (กรัม)		ร้อยละผลผลิต	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	ร้อยละความชื้น
	ก่อนอบ	หลังอบ			
1	500.00	128.57	25.71	371.43	74.29
2	500.02	132.43	26.49	367.59	73.52
3	500.05	125.35	25.07	374.70	74.94
4	500.00	130.28	26.06	369.72	73.94
5	500.00	127.80	25.56	372.20	74.44
เฉลี่ย	500.00 ± 0.02	128.89 ± 2.38	25.78 ± 0.48	371.13 ± 2.39	74.23 ± 0.48

ตารางที่ 2 ผลการเตรียมวัตถุดิบแกนหมึกก่อนสกัดไคติน

ครั้งที่	น้ำหนักแกนหมึก(กรัม)		ร้อยละผลผลิต	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	ร้อยละความชื้น
	ก่อนอบ	หลังอบ			
1	500.00	165.62	33.12	334.38	66.88
2	500.03	167.85	33.57	332.18	66.44
3	500.01	172.47	34.49	327.54	65.51
4	500.00	170.10	34.02	329.90	65.98
5	500.02	166.33	33.27	333.69	66.74
เฉลี่ย	500.01 ± 0.01	168.47 ± 2.52	33.69 ± 0.50	331.54 ± 2.52	66.31 ± 0.50

ผลการจัดแร่ธาตุด้วยสารละลายกรดอะซิติกพบว่าเปลือกกุ้งมีปริมาณองค์ประกอบแร่ธาตุที่ถูกกำจัดออกในสัดส่วนที่สูงกว่าแกนหมึก แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างเชิงองค์ประกอบของวัตถุดิบจากแหล่งทางทะเลทั้งสองชนิด ขณะที่แกนหมึกมีปริมาณแร่ธาตุต่ำกว่าโดยธรรมชาติ ส่งผลให้มีอัตราการคงเหลือของมวลวัตถุดิบหลังการจัดแร่ธาตุสูงกว่า (ตารางที่ 3 และ 4)

ในขั้นตอนการจัดโปรตีนโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าวัตถุดิบทั้งสองชนิดสามารถกำจัดโปรตีนออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเปลือกกุ้งมีปริมาณโปรตีนที่ถูกกำจัดออกมากกว่าแกนหมึก ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางชีวภาพของเปลือกกุ้งที่มีองค์ประกอบโปรตีนร่วมอยู่ในโครงสร้างมากกว่า อย่างไรก็ตาม แกนหมึกยังคงให้ผลผลิตสุดท้ายสูงกว่า สะท้อนถึงข้อได้เปรียบด้านองค์ประกอบและความสม่ำเสมอของเนื้อวัสดุ (ตารางที่ 5 และ 6)

ตารางที่ 3 ผลการจัดแร่ธาตุออกจากเปลือกกุ้งขาว

ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)		ร้อยละผลผลิต	น้ำหนักแร่ธาตุที่ถูกจัด (กรัม)	ร้อยละแร่ธาตุที่ถูกจัด (กรัม)
	ก่อนการจัด	หลังการจัด			
1	150.00	127.50	85.00	22.50	15.00
2	150.01	128.40	85.60	21.61	14.41
3	150.00	126.90	84.60	23.10	15.40
4	150.00	127.20	84.80	22.80	15.20
5	150.03	128.10	85.40	21.93	14.62
เฉลี่ย	150.01 ± 0.01	127.62 ± 0.56	85.08 ± 0.37	22.39 ± 0.55	14.93 ± 0.37

ตารางที่ 4 ผลการจัดแร่ธาตุออกจากแกนหมึก

ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)		ร้อยละผลผลิต	น้ำหนักแร่ธาตุ ที่ถูกขจัด (กรัม)	ร้อยละแร่ธาตุ ที่ถูกขจัด (กรัม)
	ก่อนการจัด	หลังการจัด			
1	150.00	139.50	93.00	10.50	7.00
2	149.99	140.10	93.40	9.89	6.59
3	149.98	139.20	92.80	10.78	7.19
4	150.00	140.10	93.40	9.90	6.60
5	150.01	139.80	93.20	10.21	6.81
เฉลี่ย	150.00 ± 0.01	139.74 ± 0.35	93.16 ± 0.23	10.26 ± 0.35	6.84 ± 0.23

ตารางที่ 5 ผลการจัดโปรตีนออกจากเปลือกกุ้งขาว

ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)		ร้อยละผลผลิต	น้ำหนักโปรตีน ที่ถูกขจัด	ร้อยละโปรตีน ที่ถูกขจัด
	ก่อนจัดโปรตีน	หลังจัดโปรตีน			
1	150.00	121.20	80.80	28.80	19.20
2	149.99	122.55	81.70	27.44	18.29
3	150.03	120.45	80.30	29.58	19.72
4	150.01	123.30	82.20	26.71	17.81
5	149.98	121.80	81.20	28.18	18.79
เฉลี่ย	150.00 ± 0.02	121.86 ± 1.00	81.24 ± 0.67	28.14 ± 1.00	18.76 ± 0.67

ตารางที่ 6 ผลการจัดโปรตีนออกจากแกนหมึก

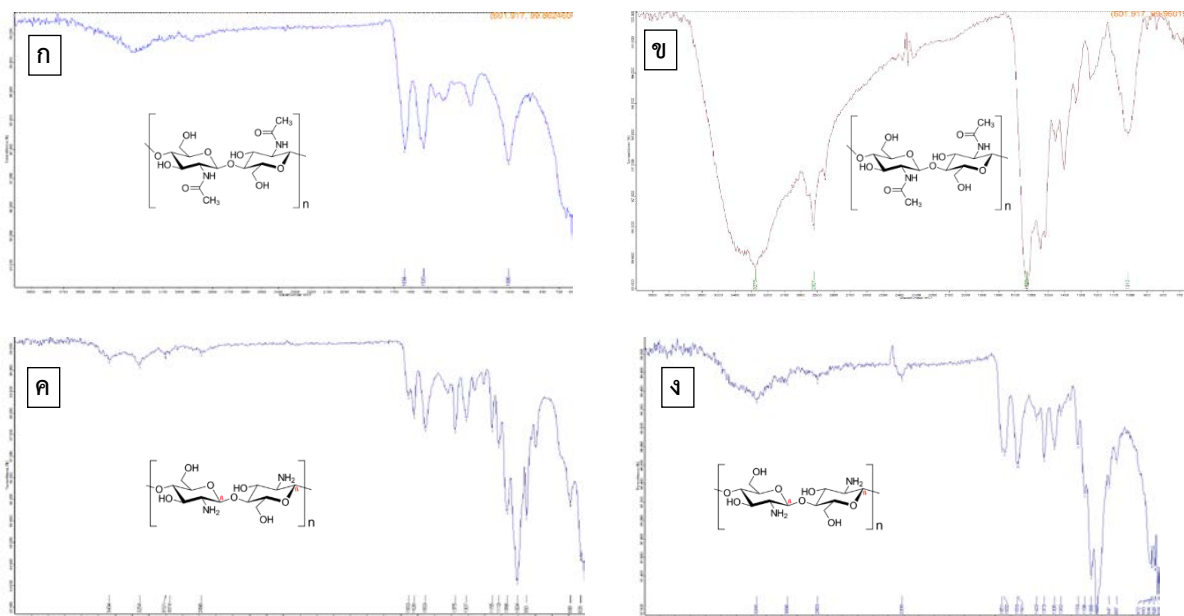
ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)		ร้อยละผลผลิต	น้ำหนักโปรตีน ที่ถูกขจัด	ร้อยละโปรตีน ที่ถูกขจัด
	ก่อนจัดโปรตีน	หลังจัดโปรตีน			
1	150.01	126.75	84.50	23.26	15.51
2	150.00	127.50	85.00	22.50	15.00
3	150.05	125.85	83.90	24.20	16.13
4	150.03	126.30	84.20	23.73	15.82
5	149.98	127.80	85.20	22.18	14.79
เฉลี่ย	150.01 ± 0.02	126.84 ± 0.73	84.56 ± 0.48	23.17 ± 0.75	15.44 ± 0.50

การฟอกสีถูกนำมาใช้เฉพาะกับไคตินที่ได้จากเปลือกกุ้ง เนื่องจากมีรงควัตถุธรรมชาติ เช่น แอสตาแซนธิน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสีและความเหมาะสมในการนำไปใช้ด้านเครื่องสำอาง การฟอกสีด้วยเอทานอลสามารถลดความเข้มของสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่พบการสูญเสียมวลวัสดุอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ผลการฟอกสีเปลือกกุ้งขาว

ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)		ร้อยละผลผลิต	น้ำหนักสีที่ถูกขจัด	ร้อยละสีที่ถูกขจัด
	ก่อนฟอกสี	หลังฟอกสี			
1	150.04	148.35	98.87	1.69	1.13
2	150.02	148.2	98.79	1.82	1.21
3	150.03	147.9	98.58	2.13	1.42
4	150.00	148.05	98.70	1.95	1.30
5	149.98	148.5	99.01	1.48	0.99
เฉลี่ย	150.01 ± 0.02	148.20 ± 0.21	98.79 ± 0.15	1.81 ± 0.22	1.21 ± 0.15

การยืนยันโครงสร้างของไคตินและไคโตซานด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) แสดงสัญญาณดูดกลืนที่เป็นลักษณะเฉพาะของไคตินและไคโตซานอย่างชัดเจน (รูปที่ 1) โดยพบสัญญาณของหมู่เอไมด์ในไคติน และการลดลงของสัญญาณดังกล่าวหลังการดื้ออะซีทิเลชัน ซึ่งบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นไคโตซานได้สำเร็จ ลักษณะสเปกตรัมของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและแกนหมึกมีความใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบตั้งต้นไม่มีผลต่อโครงสร้างพื้นฐานของพอลิเมอร์ที่ได้

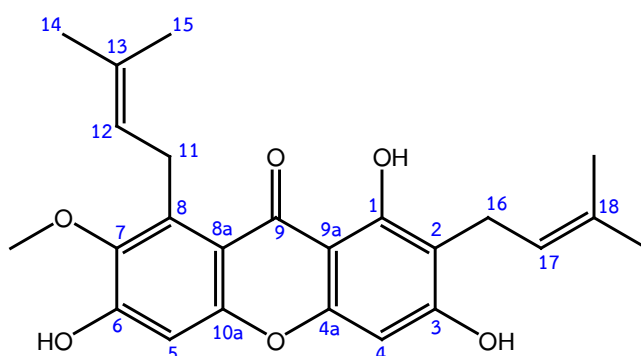


รูปที่ 1 FTIR สเปกตรัมของ (ก) ไคตินจากเปลือกกุ้ง (ข) ไคตินจากแกนหมึก
(ค) ไคโตซานที่ได้จากไคตินของเปลือกกุ้ง และ (ง) ไคโตซานที่ได้จากไคตินของแกนหมึก

การสกัดและการยืนยันสารออกฤทธิ์จากเปลือกมังคุด

การสกัดสารจากเปลือกมังคุดแบบใช้ตัวทำละลายต่อเนื่องพบว่าส่วนสกัดเมทานอลให้ผลผลิตสูงสุด สะท้อนถึงการมีอยู่ของสารออกฤทธิ์ที่มีขั้ว สารออกฤทธิ์หลักที่แยกได้ถูกยืนยันว่าเป็นแอลฟาแมงโกสทิน (รูปที่ 2) ด้วยการวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปี ได้แก่ $^1\text{H-NMR}$ (ตารางที่ 8), FTIR (รูปที่ 3) และ UV-Vis (รูปที่ 4)

ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลอ้างอิงในเอกสารวิชาการ แสดงให้เห็นถึงความถูกต้องของโครงสร้างและความบริสุทธิ์ของสารที่แยกได้



รูปที่ 2 โครงสร้างของ MH1 หรือ แอลฟาแมงโกสติน

ตารางที่ 8 ผลการเปรียบเทียบค่าการเลื่อนทางเคมี (δ_H) ของ MH1 กับแอลฟา-แมงโกสติน

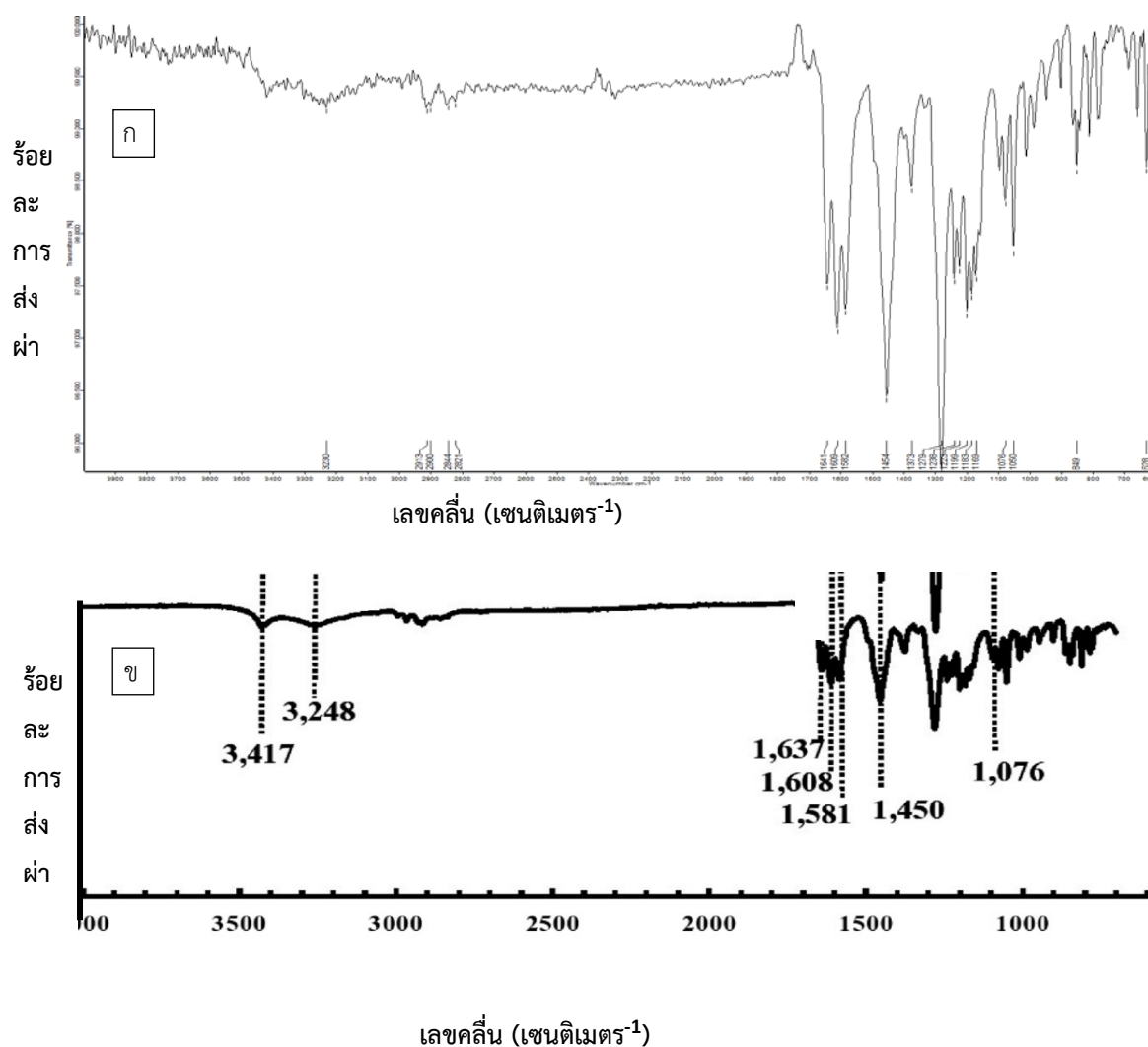
ตำแหน่ง	δ_H MH1 ใน $CDCl_3$	δ_H แอลฟา-แมงโกสติน		
		ใน $CDCl_3$ (Asasutjarit et al., 2019)	ใน CD_3OD (Ee et al., 2006)	ใน $DMSO-d_6$ (Ahmad et al., 2013)
4	6.28 (1H, s)	6.22 (1H, s)	6.25 (1H, s)	6.33 (1H, s)
5	6.80 (1H, s)	6.75 (1H, s)	6.25 (1H, s)	6.78 (1H, s)
11	4.07 (2H, d, $J = 6.5$ Hz)	3.38 (2H, d, $J = 7.3$ Hz)	4.10 (2H, d, $J = 7.3$ Hz)	2.50 (2H, d)
12	5.25 (1H, tt, $J = 6.5$ 1.5 Hz)	5.22 (1H, m)	5.26 (1H, t, $J = 7.3$ Hz)	5.13 (2H, d)
14	1.83 (3H, d, $J = 1.5$ Hz)	1.70 (3H, br s)	1.71 (3H, s)	1.59 (3H, s)
15	1.83 (3H, d, $J = 1.5$ Hz)	1.76 (3H, s)	1.82 (3H, s)	1.59 (3H, s)
16	3.42 (2H, d, $J = 7.0$ Hz)	4.01 (2H, d, $J = 7.2$ Hz)	3.37 (2H, d, $J = 7.3$ Hz)	2.50 (2H, d)
17	5.28 (1H, tt, $J = 7.0$ 1.5 Hz)	5.22 (1H, m)	5.26 (1H, t, $J = 7.3$ Hz)	N/A
19	1.75 (3H, d, $J = 1.5$ Hz)	1.77 (3H, s)	1.68 (3H, s)	1.70 (3H, s)
20	1.69 (3H, d, $J = 1.5$ Hz)	1.62 (3H, br s)	1.83 (3H, s)	1.70 (3H, s)
7-OMe	3.80 (3H, s)	3.73 (3H, s)	3.78 (3H, s)	3.18 (3H, s)
1-OH	13.74 (1H, s)	13.70 (1H, s)	13.72 (1H, s)	13.69 (3H, s)

*N/A = ไม่มีข้อมูล (Not available)

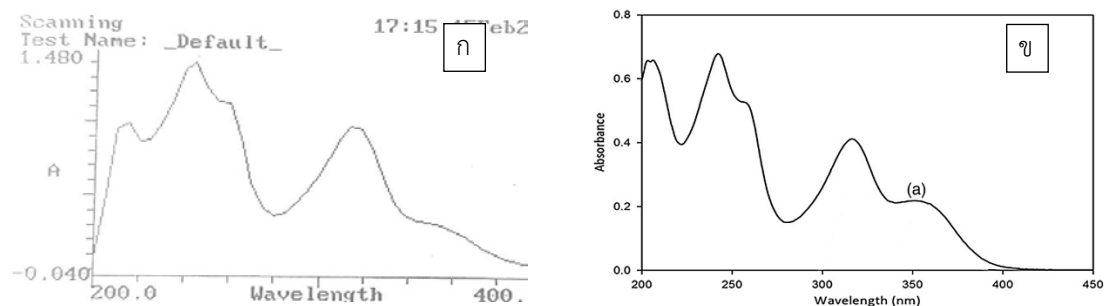
การสังเคราะห์และลักษณะของไมโครเจลโคโตซาน

ไมโครเจลโคโตซานสามารถสังเคราะห์ได้สำเร็จโดยเทคนิคการเชื่อมโยงข้ามแบบไอออนิกในระบบอิมัลชัน โดยใช้โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตเป็นสารเชื่อมโยงข้าม ผลการสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าไมโครเจลมีลักษณะเป็นทรงกลมและมีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ การวิเคราะห์ด้วย FTIR ยืนยันการเกิดพันธะ

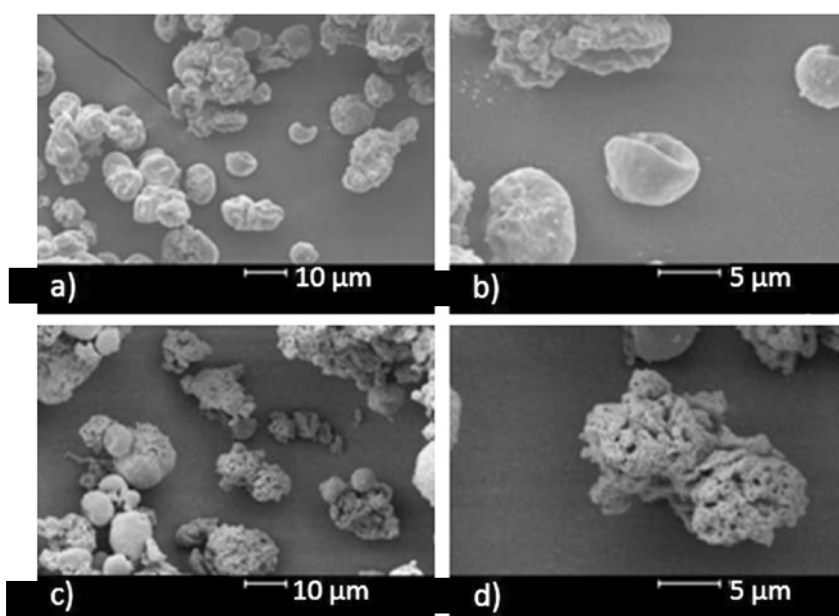
เชิงไอออนิกระหว่างหมู่เอมีโนของโคโตซานและหมู่ฟอสเฟตของสารเชื่อมโยงข้าม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Calvo et al. (1997) และ Martins et al. (2012) ที่พบว่าไมโครเจลโคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย TPP มีลักษณะทรงกลมและมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 3 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) แอลฟาแมงโกสติน (ทดลอง) (ข) แอลฟาแมงโกสติน (อ้างอิง)
 ที่มา: Asasutjarit et al. (2019)



รูปที่ 4 อัลตราไวโอเลตสเปกตรัมของ (ก) แอลฟาแมงโกสติน (ทดลอง) (ข) แอลฟาแมงโกสติน (อ้างอิง)
ที่มา: Ahmad et al. (2013)



รูปที่ 5 โครงสร้างผิวไมโครเจลไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต
ที่มา: Martins et al. (2012)

การเคลือบไมโครเจลด้วยสารสกัดจากเปลือกมังคุด

การเคลือบไมโครเจลด้วยสารสกัดจากเปลือกมังคุดสามารถดำเนินการได้โดยไม่ทำให้โครงสร้างของไมโครเจลเสียหาย FTIR แสดงสัญญาณเพิ่มเติมที่สอดคล้องกับหมู่ฟีนอลิกและหมู่คาร์บอนิล ซึ่งเกี่ยวข้องกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ แสดงให้เห็นว่าสารออกฤทธิ์ถูกตรึงอยู่กับไมโครเจลได้สำเร็จ ระบบไมโครเจลช่วยเพิ่มความเสถียรและความเข้ากันได้ของสารออกฤทธิ์

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH radical scavenging assay) พบว่า สารมาตรฐาน ได้แก่ กรดแอสคอร์บิกและบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (BHT) แสดงค่าความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้สูง ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของสารมาตรฐานที่มีศักยภาพในการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Gulcin & Alwasel, 2023) ขณะที่สารสกัดหยาบเอทานอลจากเปลือกมังคุดแสดงฤทธิ์ในระดับปานกลาง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่ระบุว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดมีองค์ประกอบของสารฟีนอลิกและแซนโทน เช่น α -mangostin ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในลักษณะขึ้นกับความเข้มข้น (Dose-dependent) (Widayanti et al., 2024; Ngawhirunpat et al., 2010)

สำหรับระบบไมโครเจลที่เคลือบสาร α -mangostin พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระตามปริมาณสารสกัดที่ใช้ (ดังตารางที่ 9 และ 10) ซึ่งอาจอธิบายได้จากบทบาทของโคโตะซานในฐานะตัวพาหะ (carrier) ที่ช่วยเพิ่มความเร็วของสารสำคัญและส่งเสริมการปลดปล่อยแบบค่อยเป็นค่อยไป (controlled release) ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานที่พบว่าการห่อหุ้มสารสำคัญด้วยโคโตะซานสามารถเพิ่มความคงตัวและฤทธิ์ทางชีวภาพของสารออกฤทธิ์ได้อย่างมีนัยสำคัญ (Pérez-Pacheco et al., 2025; Buanasari et al., 2020)

อย่างไรก็ตาม ในสูตรครีมกันแดดต้นแบบไม่สามารถวัดค่า IC_{50} ได้อย่างชัดเจนภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่ใช้ ซึ่งอาจเกิดจากผลของ Matrix effect ของระบบอิมัลชัน เช่น การรบกวนจากองค์ประกอบในครีม ได้แก่ น้ำมัน สารทำให้หนืด และสารก่ออิมัลชัน รวมถึงสีของสารสกัดที่อาจดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเดียวกับ DPPH ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนคลาดเคลื่อนและประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าความเป็นจริง (Paraskevopoulou et al., 2025; Tatarczak-Michalewska & Flieger, 2022) นอกจากนี้ วิธี DPPH ยังมีข้อจำกัดในระบบอิมัลชันเนื่องจากความขุ่นและปฏิกิริยาที่ขึ้นกับตัวทำละลายและสภาวะการทดลอง (Wotosiak et al., 2022) ดังนั้นจึงควรมีการใช้วิธีวิเคราะห์อื่นร่วม เช่น ABTS หรือ ORAC เพื่อยืนยันผลการทดสอบในระบบครีมกันแดดต่อไป

ตารางที่ 9 ค่าความเข้มข้นยับยั้งครึ่งหนึ่งของสารตัวอย่าง

ชื่อสาร	IC_{50}			ค่าเฉลี่ย
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	
สารมาตรฐานบีเอชที	13.703	17.910	19.024	16.879±2.291
กรดแอสคอร์บิก	13.425	7.437	9.892	10.251±2.458
ส่วนสกัดหยาบเอทานอลจากเปลือกมังคุด	53.454	62.163	61.925	59.181±4.051
สารแอลฟาแมงโกสติน	N/A	N/A	N/A	N/A
ครีมกันแดดต้นแบบที่ไม่ใส่สารแอลฟาแมงโกสติน	N/A	N/A	N/A	N/A
ครีมกันแดดต้นแบบที่ใส่สารแอลฟาแมงโกสตินร้อยละ 1	N/A	N/A	N/A	N/A
ครีมกันแดดต้นแบบที่ใส่สารแอลฟาแมงโกสตินร้อยละ 3	N/A	N/A	N/A	N/A
ครีมกันแดดต้นแบบที่ใส่สารแอลฟาแมงโกสตินร้อยละ 5	N/A	N/A	N/A	N/A

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอชของสารต้นแบบครีมกันแดดที่แต่ละความเข้มข้น

ชื่อสาร	ร้อยละการยับยั้ง			ค่าเฉลี่ยร้อยละการยับยั้ง
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	
สารต้นแบบครีมกันแดดเข้มข้นร้อยละ 1	5.692	-1.483	5.521	3.243 ± 3.342
สารต้นแบบครีมกันแดดเข้มข้นร้อยละ 3	10.654	18.265	6.467	11.795 ± 4.884
สารต้นแบบครีมกันแดดเข้มข้นร้อยละ 5	26.252	31.140	26.425	27.939 ± 2.264

การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการผสมทรพยากรเหลือทิ้งจากทะเลและการเกษตรให้เป็นระบบวัสดุเชิงหน้าที่เดียวกัน ไมโครเจลไคโตซานจากแกนหมึกสามารถทำหน้าที่เป็นพาหะจากธรรมชาติสำหรับสารออกฤทธิ์จากเปลือกมังคุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการปรับปรุงสูตรในอนาคตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ความเสถียร และความเหมาะสมในการใช้งานเชิงเครื่องสำอางและเวชสำอาง

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำวัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรและทรัพยากรทางทะเลมาพัฒนาเป็นวัสดุเชิงหน้าที่ โดยอาศัยการผสมระหว่างพอลิเมอร์ชีวภาพจากแกนหมึกและสารออกฤทธิ์จากเปลือกมังคุดในรูปแบบระบบไมโครเจลไคโตซาน ผลการศึกษาพบว่าแกนหมึกเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไคตินและไคโตซาน เนื่องจากให้ผลผลิตสูง มีสิ่งเจือปนต่ำ และลดขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเมื่อเทียบกับเปลือกกุ้ง โครงสร้างของไคตินและไคโตซานที่ได้ถูกยืนยันด้วยเทคนิค FTIR ซึ่งแสดงรูปแบบสเปกตรัมสอดคล้องกับพอลิเมอร์มาตรฐาน สะท้อนถึงคุณภาพของวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานเชิงหน้าที่

การสกัดจากเปลือกมังคุดสามารถแยกแอลฟาแมงโกสทินซึ่งเป็นสารสำคัญได้สำเร็จ โดยยืนยันโครงสร้างด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี และแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในระดับปานกลางเมื่อประเมินด้วยวิธี DPPH สนับสนุนศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ขณะที่การพัฒนาไมโครเจลไคโตซานด้วยเทคนิค Emulsion-ionic gelation สามารถสร้างอนุภาคที่มีความสม่ำเสมอและสามารถตรึงสารสกัดได้โดยไม่กระทบต่อโครงสร้างของพอลิเมอร์ ทั้งยังช่วยรักษาหมู่ฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับฤทธิ์ทางชีวภาพซึ่งบ่งชี้ถึงบทบาทของไมโครเจลในการเพิ่มความเสถียรและส่งเสริมการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าสูตรครีมกันแดดต้นแบบที่ผสมแอลฟาแมงโกสทินจะมีแนวโน้มแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ แต่ยังไม่สามารถประเมินค่า IC₅₀ ได้อย่างน่าเชื่อถือภายใต้เงื่อนไขการทดลอง ซึ่งอาจเกิดจากผลของ matrix effect ในระบบอิมัลชันที่รบกวนการวัดด้วยวิธี DPPH นอกจากนี้ ครีมต้นแบบยังไม่ได้รับการประเมินค่าการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต เช่น SPF และ PA ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญของผลิตภัณฑ์กันแดด

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ สำหรับการสนับสนุนที่เอื้ออำนวยให้การดำเนินงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Ahmad, M., Yamin, B. M., & Lazim, A. M. (2013). A study on dispersion and characterisation of α -mangostin loaded pH sensitive microgel systems. *Chemistry Central Journal*, 7 (1), 1-6. <https://link.springer.com/article/10.1186/1752-153x-7-85>
- Asasutjarit, R., Meesomboon, T., Adulheem, P., Kittiwisut, S., Sookdee, P., Samosornsuk, W., & Fuongfuchat, A. (2019). Physicochemical properties of alpha-mangostin loaded nanomeulsions prepared by ultrasonication technique. *Heliyon*, 5 (9), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02465>
- Bikiaris, N. D., Koumentakou, I., Hatzistamatiou, K., Lykidou, S., Barmapalexis, P., & Nikolaidis, N. (2023). Preparation and investigation of the SPF and antioxidant properties of emulsions. *Cosmetics*, 10(3), 1-14. <https://doi.org/10.3390/cosmetics10030076>
- Buanasari, Sugiyo, W. & Rustaman, H. (2020). Preparation and evaluation of plant extract microcapsules using chitosan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 755, 1-8.
- Calvo, P., Remuñán-López, C., Vila-Jato, J. L., & Alonso, M. J. (1997). Novel hydrophilic chitosan-polyethylene oxide nanoparticles as protein carriers. *Journal of Applied Polymer Science*, 63(1), 125–132. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19970103\)63:1<125::AID-APP13>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19970103)63:1<125::AID-APP13>3.0.CO;2-4)
- Ee, G. C. L., Daud, S., Taufiq-Yap, Y. H., Ismail, N. H., & Rahmani, M. (2006). Xanthones from *Garcinia mangostana* (Guttiferae). *Natural product research*, 20(12), 1067-1073. <https://doi.org/10.1080/14786410500463114>
- Garcinuño, S., Aranaz, I., Civera, C., Arias, C., & Acosta, N. (2022). Evaluating non-conventional chitosan sources for controlled release of risperidone. *Polymers*, 14(7), 1-15. <https://doi.org/10.3390/polym14071355>
- Gulcin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH radical scavenging assay. *Processes*, 11(8), 1-20. <https://doi.org/10.3390/pr11082248>
- International Organization for Standardization (ISO). (2021). *Cosmetics—Determination of sunscreen UVA photoprotection in vitro*. Retrieved from <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/75059/6a9b02bd442f427cb45ed022e45c550b/ISO-24443-2021.pdf>
- Li, P., Dai, Y. N., Zhang, J. P., Wang, A. Q., & Wei, Q. (2008). Chitosan-alginate nanoparticles as a novel drug delivery system for nifedipine. *International journal of biomedical science*, 4(3), 221–228. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3614711/>
- Li, R., Song, W., Huang, S., Liu, C., Li, M., & Sun, L. (2025). Synthesis, characterization, and preliminary analysis of squid pen chitosan microcapsules. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(7), 1-16. <https://doi.org/10.3390/ijms26072885>

- Lima, M., Pedreira, A., Sanz, N., Vázquez, J. A., García, M. R., Mergulhão, F., & Valcarcel, J. (2025). Sustainable and integral valorization of *Dosidicus gigas* pen waste. *Marine Drugs*, 23(10), 1-22. <https://doi.org/10.3390/md23100382>
- Martins, A. F., De Oliveira, D. M., Pereira, A. G., Rubira, A. F., & Muniz, E. C. (2012). Chitosan/TPP microparticles obtained by microemulsion method applied in controlled release of heparin. *International journal of biological macromolecules*, 51(5), 1127-1133. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.08.032>
- Martins, T., Henriques, S. B., Reis, G. K. O., Amaral, M. M. S., Guimarães, M. F., Oliveira, G. L., ... Nunes, E. H. M. (2026). A novel green method for producing medical-grade chitosan from squid pens. *Journal of Applied Polymer Science*, 143(25), 1-14. <https://doi.org/10.1002/app.70790>
- McReynolds, C., Adrien, A., Brugerolle de Fraissinette, N., Olza, S., & Fernandes, S. C. M. (2022). Deep eutectic solvents for the extraction of β -chitin from *Loligo vulgaris* squid pens. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(13), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03569-9>
- Moongkarndi, P., Kosem, N., Kaslungka, S., Luanratana, O., Pongpan, N., & Neungton, N. (2004). Antiproliferation, antioxidation and induction of apoptosis by *Garcinia mangostana* (mangosteen) on SKBR3 human breast cancer cell line. *Journal of ethnopharmacology*, 90(1), 161-166. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2003.09.048>
- Moralez, L., Nakasu, P., & Hallett, J. (2025). Preparation of hybrid β -chitosan-squid pen protein hydrogel beads for heavy metal adsorption. *Soft Matter*, 21, 2480-2492. <https://doi.org/10.1039/D4SM01300J>
- Nash, J. F., & Tanner, P. R. (2014). Relevance of UV filter/sunscreen product photostability to human safety. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*, 30(2-3), 88-95. <https://doi.org/10.1111/phpp.12113>
- Ngawhirunpat, T., Opanasopi, P., Sukma, M., Sittisombut, C., Kat, A., & Adachi, I. (2010). Antioxidant activity of mangosteen extract. *Pharmaceutical Biology*, 48(1), 55-62. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3109/13880200903046138>
- Nikam, R., Bachhav, P., Pawar, M., Sharma, Y., & Patil, D. (2023). A review: Formulation of sunscreen. *Research & Reviews Journal of Pharmaceutical Sciences*, 12(3), 45-50. <https://www.rroij.com/open-access/a-review-formulation-of-sunscreen.pdf>
- No, H. K., & Meyers, S. P. (1995). Preparation and characterization of chitin and chitosan-A review. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 4(2), 27-52. https://doi.org/10.1300/J030v04n02_03
- Paraskevopoulou, P., Tsotsou, G., & Chourda, F. (2025). Antioxidant capacity analysis of emulsions using DPPH assay. *MethodsX*, 15, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2025.103434>

- Pérez-Pacheco, Y., Tylkowski, B., & García-Valls, R. (2025). Chitosan micro/nanocapsules in action. *Molecules*, 30(2), 1-27. <https://doi.org/10.3390/molecules30020252>
- Reinau, D., Osterwalder, U., Stockfleth, E., & Surber, C. (2015). The meaning and implication of sun protection factor. *British Journal of Dermatology*, 173(5), 1345. <https://doi.org/10.1111/bjd.14015>
- Romanhole, R. C., dos Santos, É. M., Fava, A. L. M., Pagani, L. S., Carvalho, N. F., Lima, G. C., ... Mazzola, P. G. (2026). Influence of formulation, application, and environment on sunscreen effectiveness. *Cosmetics*, 13(3), 1-24. <https://doi.org/10.3390/cosmetics13030122>
- ScienceInsights. (2026). *What is PA in sunscreen? UVA ratings explained*. Retrieved from <https://scienceinsights.org>
- Tatarczak-Michalewska, M., & Flieger, J. (2022). Application of High-Performance Liquid Chromatography with Diode Array Detection to Simultaneous Analysis of Reference Antioxidants and 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) in Free Radical Scavenging Test. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), 1-19. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148288>
- Wairata, J., Fadlan, A., Purnomo, A. S., Taher, M., & Ersam, T. (2022). Total phenolic and flavonoid contents, antioxidant, antidiabetic and antiplasmodial activities of *Garcinia forbesii* King: A correlation study. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(2), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103541>
- Widayanti, A., Jufri, M., Surini, S., & Ellya, B. (2024). Antioxidant activity of mangosteen rind extract. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 16(1), 145-148. <https://doi.org/10.22159/ijap.2024.v16s1.31>
- Wołosiak, R., Drużyńska, B., Derewiaka, D., Piecyk, M., Majewska, E., Ciecierska, M., Worobiej, E. & Pakosz, P. (2022). Verification of antioxidant activity by DPPH assay. *Molecules*, 27(1), 1-20. <https://doi.org/10.3390/molecules27010050>

Received: May 25, 2026

Revised: June 17, 2026

Accepted: June 19, 2026

Published: June 21, 2026

การประเมินค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำในอนาคตบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย Assessment of Potential Evapotranspiration in the Future over Northern Thailand

ภาคภูมิ รัตน์จิราณุกูล^{1*} และ สุจิตรา รัตน์จิราณุกูล²
Pakpoom Ratjiranukool^{1*} and Sujitra Ratjiranukool²

¹ ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

² ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

¹ Department of Physics and General Science, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University,
Chiang Mai, Thailand

² Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand

* pakpoom_rat@cmru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ประเมินการเปลี่ยนแปลงค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำด้วยวิธีของ Thornthwaite บริเวณภาคเหนือของประเทศไทยโดยเชื่อมโยงผลลัพธ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก CMIP5-CESM สำหรับเป็นเงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้นของแบบจำลอง WRF ในช่วงปีฐาน ค.ศ.2000-2004 และช่วงอนาคตปี ค.ศ.2050-2054 ผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าข้อมูลตรวจวัดในทุกสถานี โดยมีค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองของทุกสถานีอยู่ระหว่าง 0.73-3.14 °C และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง 0.72-0.89 ค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำเฉลี่ยรายเดือนบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยจะมีค่าสูงสุดในเดือนเมษายนซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน โดยรูปแบบดังกล่าวจะสอดคล้องกันทั้งในอดีตและการคาดการณ์ในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณภาคเหนือตอนล่างจะมีค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำเฉลี่ยรายเดือนสูงขึ้นในช่วงฤดูร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับจังหวัดอื่นๆ ของภาคเหนือ นอกจากนี้การคาดการณ์ในอนาคตยังแสดงให้เห็นว่าค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำเฉลี่ยรายเดือนโดยรวมจะเพิ่มขึ้นในทุกสถานี ซึ่งบ่งชี้ว่ามีความเสี่ยงต่อการเกิดภัยแล้งในอนาคตเพิ่มขึ้นภายใต้สถานการณ์จำลอง RCP8.5 เมื่อเทียบกับสภาพภูมิอากาศปัจจุบัน

คำสำคัญ: ศักยภาพการคายระเหยน้ำ, การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ, แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค

Abstract

In this research, potential evapotranspiration (PET) changes across northern Thailand were estimated using the Thornthwaite method. The Weather Research and Forecasting (WRF) model was driven by the Community Earth System Model (CESM) during the baseline period (2000-2004) and the projected period (2050-2054) under the Coupled Model Intercomparison Project 5 (CMIP5). The results reveal that the simulated

monthly mean temperatures were underestimated relative to the observed data across all stations, with root mean square errors (RMSE) ranging from 0.73 to 3.14 °C and correlation coefficients (R) ranging from 0.72 to 0.89. The monthly potential evapotranspiration over northern Thailand peaks in April, corresponding to the summer months, a pattern consistent across both current climate conditions and future projections. Specifically, the lower northern region shows higher monthly potential evapotranspiration during the summer compared to other provinces in the region. Future projections under the RCP8.5 scenario indicate a consistent increase in monthly potential evapotranspiration across all study stations, implying an elevated risk of drought conditions relative to the current climate.

Keywords: Potential evapotranspiration, Climate change, Regional climate model

บทนำ

ประชาชนในภาคเหนือส่วนหนึ่งมีการประกอบอาชีพด้านการเกษตรเป็นหลัก แหล่งน้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่ส่วนใหญ่พึ่งพาน้ำฝนและระบบชลประทานที่มีอย่างจำกัดในบางช่วงเวลาทั้งในเชิงปริมาณและการกระจายตัว ผลจากข้อจำกัดดังกล่าวอาจมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำสำหรับการเพาะปลูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูร้อนซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงสูงต่อการขาดแคลนน้ำ (Kornkosa et al., 2021) ซึ่งจะส่งผลให้พืชได้รับน้ำไม่เพียงพอทำให้เกิดการลดลงของผลผลิตหรือคุณภาพของผลผลิตต่ำกว่ามาตรฐานที่ต้องการ เพื่อประเมินแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมีการใช้แบบจำลองภูมิอากาศในการศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานทางด้านอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา เช่น อุณหภูมิสูงสุดต่ำสุดของอากาศ ปริมาณน้ำฝน (Ratjiranukool et al., 2017^a; Amnuaylojaroen, 2021) น้ำไหลบ่า (runoff) และการคายระเหยน้ำ (evapotranspiration) (Shi et al., 2022) เป็นต้น

การคายระเหยน้ำเป็นกระบวนการควบคู่กันระหว่างการระเหยน้ำ (evaporation) ของดินและการคายน้ำ (transpiration) ของพืช ซึ่งมีบทบาทสำคัญในวัฏจักรของน้ำ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ 1.การคายระเหยน้ำจริง (actual evapotranspiration) ซึ่งเป็นการวัดปริมาณการคายระเหยน้ำที่เปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำออกไปสู่บรรยากาศจริงในระยะเวลาที่กำหนดโดยมีข้อดีคือสามารถทราบการระเหยของน้ำที่แท้จริง แต่มีข้อจำกัดเรื่องเวลาและค่าใช้จ่ายสูงในกรณีที่ต้องการศึกษาในหลายๆพื้นที่พร้อมกัน และ 2.ศักยภาพการคายระเหยน้ำ (potential evapotranspiration) ซึ่งเป็นการคำนวณปริมาณการคายระเหยสูงสุดที่เป็นไปได้ในพื้นที่ โดยพิจารณาให้ดินและพืชสามารถใช้น้ำได้ไม่จำกัดทั้งปริมาณและเวลา (Zhang et al., 2025) สำหรับใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวางแผนและออกแบบมาตรการบริหารจัดการน้ำอย่างเป็นระบบทั้งในระดับชุมชนและระดับภูมิภาค โดยสามารถใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาจากแบบจำลองภูมิอากาศความละเอียดสูง (Phumkokrux et al., 2025) มาใช้ในการอธิบายและคาดการณ์สภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการคายระเหยน้ำ เพื่อพัฒนาแนวทางบริหารจัดการน้ำที่เหมาะสม เช่น การจัดลำดับความสำคัญของการใช้น้ำ การวางแผนการเก็บกักน้ำฝน และการปรับเปลี่ยนการจัดการการเพาะปลูก เพื่อบรรเทาผลกระทบต่อผลผลิตและความมั่นคงด้านรายได้ของเกษตรกร

งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำโดยวิธีของ Thornthwaite ในภาคเหนือของประเทศไทยโดยเชื่อมโยงผลลัพธ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก CMIP5-CESM กับแบบจำลอง WRF ในช่วงอดีตที่ผ่านมา ค.ศ.2000-2004 และในช่วงอนาคต ค.ศ.2050-2054 ภายใต้สถานการณ์จำลอง RCP8.5

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพผลการจำลองอุณหภูมิอากาศบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยในช่วงปีฐาน ค.ศ.2000-2004 กับข้อมูลตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา
2. เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำในอนาคต ค.ศ.2050-2054 เทียบกับปีฐาน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การจำลองสภาพภูมิอากาศด้วยแบบจำลอง WRF

รวบรวมข้อมูลสภาพอากาศจากข้อมูลแบบจำลองโลก CMIP5-CESM ซึ่งได้แก้ไขความคลาดเคลื่อนกับข้อมูล reanalysis ERA-Interim (Bruyere et al., 2015) ภายใต้สถานการณ์จำลอง RCP8.5 ได้แก่ ความกดอากาศที่ระดับน้ำทะเล ความเร็วลมในแนวนอนและแนวตั้ง อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดิน และ อุณหภูมิของชั้นดิน เป็นต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (forcing data) สำหรับเงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง WRF โดยกำหนดพื้นที่ที่ศึกษาแบ่งเป็น 2 domain ให้เหมาะสมตามลักษณะภูมิประเทศของประเทศไทย โดยการย่อส่วนให้มีความละเอียดในแนวนอน (horizontal grid spacings) 60 และ 20 กิโลเมตร ตามลำดับ (Chotamonsak et al., 2012) และในแนวตั้ง (vertical levels) 35 ระดับ ตั้งแต่พื้นดินถึงบรรยากาศที่ระดับ 50 มิลลิบาร์ ให้ครอบคลุมประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้าน แล้วประมวลผลแบบจำลอง WRF ในช่วงปี ค.ศ.2000-2004 และช่วงอนาคตปี ค.ศ.2050-2054 ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ได้เลือกใช้ physics scheme ให้เหมาะสมกับประเทศไทย (Ratjiranukool et al., 2017^a; Chotamonsak et al., 2011) ดังตารางที่ 1 และทดสอบประสิทธิภาพผลการจำลองอุณหภูมิอากาศกับข้อมูลตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา 13 สถานี ในภาคเหนือ ด้วยค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Ratjiranukool et al., 2017^b)

ตารางที่ 1 Physics scheme ต่างๆของแบบจำลอง WRF ที่เลือกใช้ในงานวิจัย

Physics scheme	Option
Cumulus Parameterization	Betts-Miller-Janjic (Janjic Z.I., 2000)
Planetary Boundary Layer	Yonsei University (Hong et al., 1996)
Microphysics	WRF Single-Moment 6-Class
Longwave radiation	Rapid Radiative Transfer Model (RRTM)
Shortwave radiation	Dudhia (Dudhia, 1989)

2. การหาค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำโดยวิธีของ Thornthwaite

การหาค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำโดยวิธีของ Thornthwaite ถูกคิดค้นขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1948 (Thornthwaite, 1948) และถูกปรับปรุงแก้ไขให้มีความเหมาะสมมากขึ้น (Thornthwaite & Mather, 1955)

ซึ่งตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ศึกษามีเพียง 2 ตัวแปร คือ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน (ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้จากแบบจำลอง WRF) และค่าความยาวนานของแสงอาทิตย์ (daylight hours) สามารถหาได้จากค่าละติจูดและ solar declination ของตำแหน่งที่พิจารณา (Allen et al., 1998) แล้วนำมาคำนวณตาม (Liu & Liu, 2019) ดังสมการ (1)

$$PET = 16 \left(\frac{L}{12} \right) \left(\frac{D}{30} \right) \left(\frac{10T}{I} \right)^a \quad (1)$$

เมื่อ PET คือ ค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำรายเดือน (มิลลิเมตร)

L คือ ค่าเฉลี่ยของความยาวนานของแสงอาทิตย์ในเดือนที่ศึกษา (ชั่วโมง)

D คือ จำนวนวันในเดือนที่ศึกษา

T คือ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ($^{\circ}\text{C}$)

a คือ cubic function

I คือ ดัชนีความร้อน (heat index) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ร่างกายรู้สึกได้ว่าขณะนั้น

อากาศร้อนอย่างไร โดย $I = \sum_{j=1}^{12} i_j$

ในการหาค่าดัชนีความร้อนสามารถหาจากผลรวมของค่า heat index ในแต่ละเดือนที่ ศึกษา (i) ซึ่งหาได้จากสมการ (2)

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad (2)$$

สำหรับ cubic function สามารถหาได้จากพหุนามอันดับสามของดัชนีความร้อนจากสมการ (3)

$$a = (6.75 \times 10^{-7}) I^3 - (7.71 \times 10^{-5}) I^2 + (1.792 \times 10^{-2}) I + 0.49239 \quad (3)$$

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้แปลงค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำรายเดือนจากสมการ (1) เป็น มิลลิเมตรต่อวัน เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ในการวิเคราะห์กับวิธีอื่นๆต่อไปได้

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนในช่วงปีฐาน

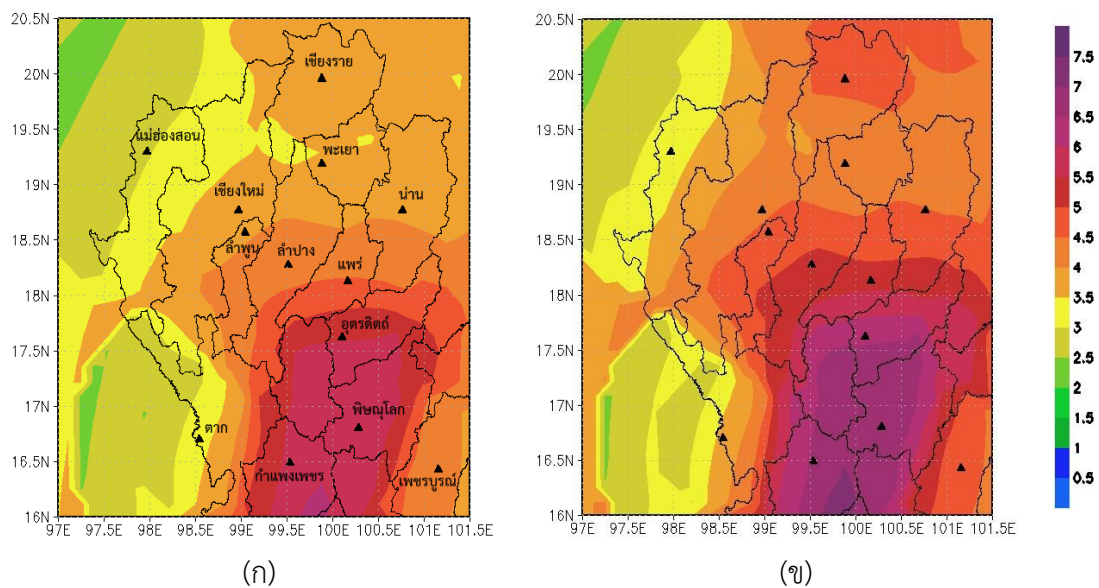
เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนในช่วงปีฐาน ค.ศ.2000-2004 จากแบบจำลอง WRF-CESM และจากข้อมูลตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา 13 สถานี ดังตารางที่ 2 พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าข้อมูลตรวจวัดในทุกสถานี ซึ่งอาจเป็นผลอันเนื่องมาจากข้อมูลนำเข้าจากแบบจำลอง CESM มีการคำนวณค่าอุณหภูมิของ land surface model ที่ต่ำกว่าความเป็นจริง สำหรับค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองของทุกสถานีมีค่าอยู่ระหว่าง $0.73\text{--}3.14\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยมีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดที่สถานีตรวจวัดจังหวัดแม่ฮ่องสอน มีค่าเท่ากับ $3.14\text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง $0.72\text{--}0.89$ แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองมีความสอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัด

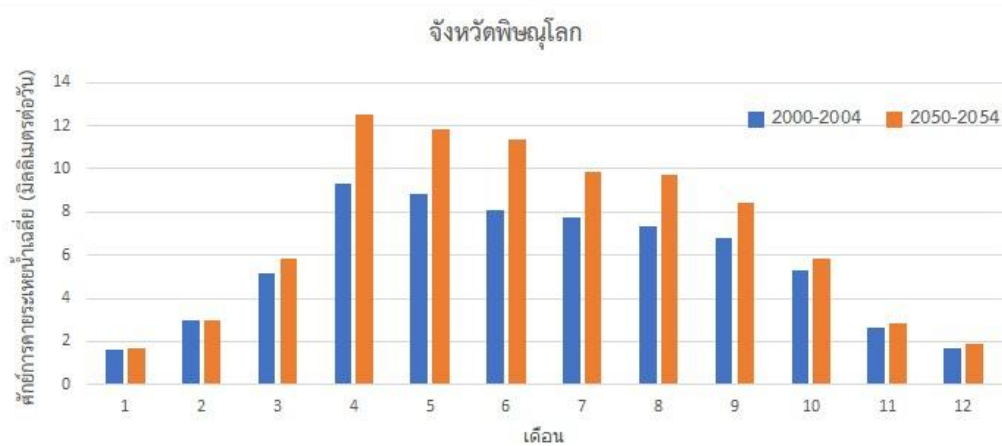
สถานี	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)		RMSE (°C)	R
	แบบจำลอง	ข้อมูลตรวจวัด		
เชียงใหม่	23.41	25.54	2.12	0.75
เชียงราย	23.72	24.48	0.93	0.84
กำแพงเพชร	26.64	27.38	0.82	0.85
ลำปาง	24.83	26.48	1.95	0.72
ลำพูน	24.26	26.24	2.18	0.76
แม่ฮ่องสอน	22.67	25.74	3.14	0.73
น่าน	24.12	25.94	2.01	0.82
พะเยา	23.84	25.10	1.35	0.84
เพชรบูรณ์	25.46	27.04	1.78	0.89
พิษณุโลก	27.21	27.82	0.73	0.88
แพร่	25.17	26.40	1.44	0.84
ตาก	24.81	27.46	2.86	0.79
อุตรดิตถ์	26.73	27.44	0.94	0.85

การเปลี่ยนแปลงของค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำ

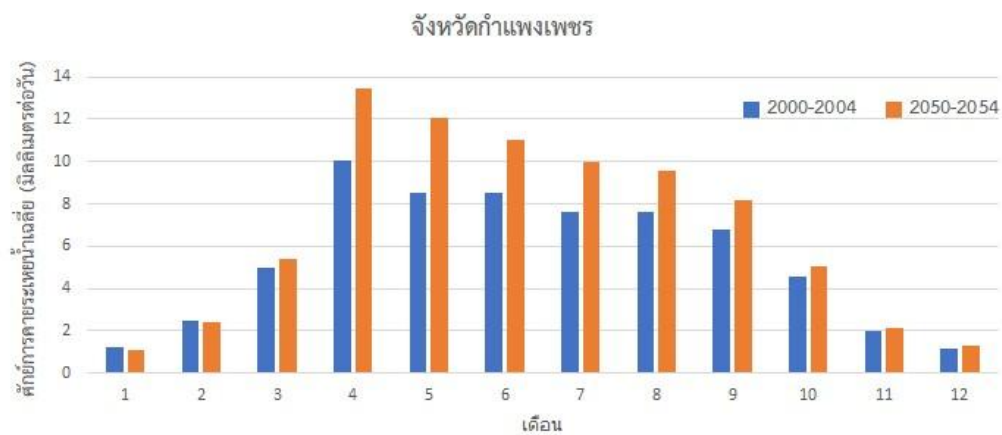
พิจารณาค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำรายเดือนเฉลี่ย (รูปที่ 1) ในช่วงปีฐาน ค.ศ.2000-2004 พบว่า ค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำรายเดือนเฉลี่ยทางตอนบนของภาค ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน พะเยา ลำปาง ลำพูน มีค่าอยู่ระหว่าง 3-4 มิลลิเมตรต่อวัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าตอนล่างของภาค โดยศักยภาพการคายระเหยน้ำรายเดือนเฉลี่ยมีค่ามากที่สุดที่จังหวัดพิษณุโลกและกำแพงเพชร ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 5.5-6.0 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วนค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำรายเดือนเฉลี่ยในช่วงปีอนาคต ค.ศ.2050-2054 พบว่า มีค่าต่ำสุดอยู่ระหว่าง 3.0-3.5 มิลลิเมตรต่อวัน ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน และมีค่าสูงสุดที่จังหวัดพิษณุโลกและกำแพงเพชร ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 6.5-7.0 มิลลิเมตรต่อวัน เมื่อวิเคราะห์ค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำเฉลี่ยของแต่ละเดือนในรอบปีของทุกจังหวัด พบว่ามีรูปแบบคล้ายกันในทุกจังหวัดคือในช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึงมีนาคมและพฤศจิกายนถึงธันวาคมซึ่งเป็นช่วงนอกฤดูร้อนความแตกต่างของค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำเฉลี่ยระหว่างปีฐานและอนาคตมีค่าน้อยมาก (~0.0-0.2 มิลลิเมตรต่อวัน) และจะมีค่าแตกต่างกันมากที่สุด (~2.5-3.5 มิลลิเมตรต่อวัน) ในช่วงฤดูร้อนระหว่างเดือนเมษายนถึงมิถุนายน ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงและค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างไม่เป็นเชิงเส้นเนื่องจากธรรมชาติของสมการ Thornthwaite (1948) ที่ใช้ยกกำลัง ส่วนในช่วงฤดูมรสุมช่วงระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคมความแตกต่างของค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำเฉลี่ยลดลงจาก ~2.4 เหลือ ~0.4 มิลลิเมตรต่อวัน แม้อุณหภูมิในอนาคตจะยังสูงกว่าปีฐาน แต่ค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำเฉลี่ยเพิ่มขึ้นน้อยลง ดังตัวอย่างของจังหวัดพิษณุโลก (รูปที่ 2) ซึ่งในช่วงปีฐานค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำเฉลี่ยสูงสุดในเดือนเมษายน มีค่าเท่ากับ 9.33 มิลลิเมตรต่อวัน และช่วงปีอนาคตค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำเฉลี่ยสูงสุดในเดือนเมษายน มีค่า 12.54 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วนจังหวัดกำแพงเพชร (รูปที่ 3) ค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำเฉลี่ยสูงสุดช่วงปีฐานในเดือนเมษายน เท่ากับ 10.02 มิลลิเมตรต่อวัน และปีอนาคตมีค่า 13.47 มิลลิเมตรต่อวัน



รูปที่ 1 แผนภาพศักยภาพการคายระเหยน้ำรายเดือนเฉลี่ย (มิลลิเมตรต่อวัน) (ก) ค.ศ.2000-2004
 (ข) ค.ศ.2050-2054

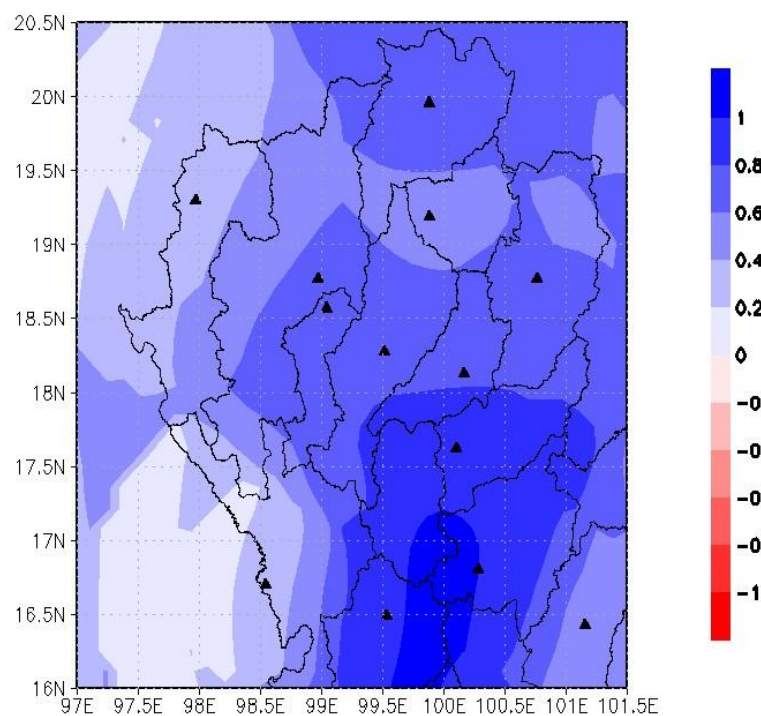


รูปที่ 2 ค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำเฉลี่ยของแต่ละเดือนในรอบปีของจังหวัดพิษณุโลก



รูปที่ 3 ค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำเฉลี่ยของแต่ละเดือนในรอบปีของจังหวัดกำแพงเพชร

จากการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำรายเดือนเฉลี่ยแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ทางตอนบน โดยเฉพาะบริเวณภูเขาจะมีค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำต่ำกว่าเมื่อเทียบกับทางตอนล่างที่เป็นพื้นที่ราบ ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความชื้นในดินที่เพิ่มขึ้นและอุณหภูมิอากาศที่ลดลงในพื้นที่ที่สูงกว่า การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำรายเดือนเฉลี่ยในอนาคตตามรูปที่ 4 จะเพิ่มขึ้นทั่วทั้งภูมิภาค โดยมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นมากที่สุดในพื้นที่ทางตอนล่างของภาคที่เป็นพื้นที่ราบ อาจก่อให้เกิดสภาวะภัยแล้งทางตอนล่างของภาคในอนาคตภายใต้สถานการณ์จำลอง RCP8.5 ได้



รูปที่ 4 แผนภาพการเปลี่ยนแปลงค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำ (มิลลิเมตรต่อวัน)

สรุปผลการวิจัย

1. อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนในช่วงปีฐาน ค.ศ.2000-2004 จากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าข้อมูลตรวจวัดในทุกสถาน แต่เมื่อพิจารณาจากค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าข้อมูลจากแบบจำลองมีความสอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา

2. ค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำรายเดือนเฉลี่ยในปีฐานทางตอนบนของภาคมีค่าน้อยกว่าตอนล่างของภาค โดยศักยภาพการคายระเหยน้ำรายเดือนเฉลี่ยมีค่ามากที่สุดที่จังหวัดพิษณุโลกและกำแพงเพชร การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำรายเดือนเฉลี่ยในอนาคตจะเพิ่มขึ้นทั่วทั้งภูมิภาค โดยมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นมากที่สุดในพื้นที่ทางตอนล่างของภาค ซึ่งอาจก่อให้เกิดสภาวะภัยแล้งทางตอนล่างของภาคในอนาคต ภายใต้สถานการณ์จำลอง RCP8.5 ได้ แต่เนื่องจากวิธีของ Thornthwaite เป็นการพิจารณาจากอุณหภูมิอากาศเพียงอย่างเดียวจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การใช้ water balance model เพื่อประเมินผลกระทบต่อปริมาณน้ำใช้การได้จริงในระดับลุ่มน้ำให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลตรวจวัด ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัย และภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่สนับสนุนเครื่องมือสำหรับงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper 56). Italy: FAO.
- Amnuaylojaroen, T. (2021). Projection of the precipitation extremes in Thailand under climate change scenario RCP8.5. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 1-7.
- Bruyère, C. L., Monaghan, A. J., Steinhoff, D. F., & Yates, D. (2015). *Bias-corrected CMIP5 CESM data in WRF/MPAS intermediate file format*. Boulder, CO. USA: National Center for Atmospheric Research.
- Chotamonsak, C., Salathe E. P., Kreasuwan, J., & Chantara, S. (2012). Evaluation of precipitation simulations over Thailand using a WRF regional climate model. *Chiang Mai J. Sci.*, 39(4), 623-638.
- Chotamonsak, C., Salathe E. P., Kreasuwan, J., Chantara, S., & Siriwitayakorn, K. (2011). Projected climate change over Southeast Asia simulated using a WRF regional climate model. *Atmospheric Science Letters*, 12(2), 213-219.
- Dudhia, J. (1989). Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. *Journal of Atmospheric Science*, 46, 3077-3107.
- Hong, S. Y., & Pan, H. L. (1996). Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Weather, Rev.*, 124, 2322-2339.

- Janjic, Z. I. (2000). Comments on development and evaluation of a convection scheme for use in climate models. *J. Atmos. Sci.*, 57, 3686-3686.
- Kornkosa, S., Phumkokrux, N., Pattanasak, P., & Manajitprasert, S. (2021). Analysis and Prediction of Meteorological Drought Area by Using Standardized Precipitation Index in Northeast Thailand. *Int. J. Environ. Sci. Dev.*, 12, 372-376.
- Liu, W., & Liu, L. (2019). Analysis of Dry/Wet Variations in the Poyang Lake Basin Using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index Based on Two Potential Evapotranspiration Algorithms. *Water*, 11(7), 1380.
- Phumkokrux, N., & Trivej, P. (2025). An Investigation of Changes in the New Thornthwaite Climate Classification Based on Temperature, Rainfall, and Evapotranspiration over Thailand, Using CMIP5 for the Mid-21st Century Period. *Applied Sciences*, 15, 11731.
- ^aRatjiranukool, P., & Ratjiranukool, S. (2017). Projection of Extreme Temperature over Northern Thailand by WRF Model. *Applied Mechanics and Materials*, 866, 104-107.
- ^bRatjiranukool, P., & Ratjiranukool, S. (2017). Evaluating wind speed by WRF model over northern Thailand. *Energy Procedia*, 138, 1171-1176.
- Shi, L., Feng, P., Wang, B., Li Liu, D., Zhang, H., Liu, J., & Yu, Q. (2022). Assessing future runoff changes with different potential evapotranspiration inputs based on multi-model ensemble of CMIP5 projections. *Journal of Hydrology*, 612, 128042.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geogr. Rev.*, 38, 55-94.
- Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1955). *The Water Balance*. USA: Centerton.
- Zhang, H., Chapman, S., Trancoso, R., Eccles, R., Syktus, J., & Toombs, N. (2025). Projections of actual and potential evapotranspiration from downscaled high-resolution CMIP6 climate simulations in Australia. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 29(23), 6863-6884.



สมาคมวิทยาศาสตร์โลก Earth Science Society; ATSSE

ที่ตั้ง: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
เลขที่ 38 หมู่ 8 ตำบลนาวัน อำเภอมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

<https://ph05.tci-thaijo.org/index.php/JESA>