



ISSN 3088-1935 (Online)

วารสารวิทยาศาสตร์โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ

Journal of Earth Science, Astronomy and Space

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 (2568)
Vol.8, No.1 (2025)

บรรณาธิการแถลง

วารสารวิทยาศาสตร์โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ (Journal of Earth Science, Astronomy and Space) สมาคมวิทยาศาสตร์โลก (Earth Science Association; ESA) ซึ่งเดิมคือ สมาคมดาราศาสตร์และวิทยาศาสตร์อวกาศเพื่อการศึกษา (Astronomy and Space Science Society for Education; 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

ทั้งนี้ทางวารสารขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิคณะกรรมการประเมินอิสระ (Peer Reviewers) เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้เกียรติและเสียสละเวลาในการพิจารณา กลับกรอง 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.อติพงศ์ งามจารุโรจน์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | กรรมการ |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.ธนา ยีรัมย์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม | กรรมการ |
| 4. รองศาสตราจารย์ ดร.กนต์ธีร์ กิจเกียรติพงษ์
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร | กรรมการ |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร.วิลาวัณย์ 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. ดร.นิรุช ล้ำเลิศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี | กรรมการและเลขานุการ |

คณะกรรมการประเมินอิสระ (Peer Reviewers) ตรวจสอบทางวิชาการ

รองศาสตราจารย์ บุญรักษา สุนทรธรรม
สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)
รองศาสตราจารย์ ดร.วิระภรณ์ ไหมทอง
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ นามมหาจักร
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎา บุญชม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชีวะ ทศนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภควัฒน์ วงศ์วรรณวัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุวัติ พิมพ์บุตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชนี มัธยม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นราภรณ์ แก้วขาว
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อร่าม ชนะโชติ
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญยกฤต รัตนพันธุ์
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ดร.พสุ ปราโมกษ์ชน
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

เรื่อง	หน้า
กองบรรณาธิการ	ก
สารบัญ	ง
บทความวิจัย	
การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด ตำบลหนองกะป๋อ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี สุภาดา ขุนณรงค์ ศิริพรรณ ศรีธธาผล นิรุธ ล้ำเลิศ ปัทมาพร ยอดสันติ และ วริษา ปานเจริญ	1
การเปลี่ยนแปลงของคาบโคจรของระบบดาวคู่ V700 Cyg สุภัทร สายรัตนอินทร์ ตอริก เอ็งปียา และ วิระภรณ์ ไหมทอง	15
การประเมินศักยภาพของเทคนิคการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์ เพื่อทำนายและเปรียบเทียบฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากชาเล็ดม้งกร ภัทราวดี ศิริอำนาจลาภ เตือนเต็ม ทองเผือก รุจิเรข ปราชญากุล อนันต์ พิริยะภัทรกิจ ปราโมทย์ ไตรบุญ และ วชิร วรจรรย์กุล	25
การศึกษาการวางตัวของปรากฏการณ์ในจังหวัดชัยภูมิกับการขึ้นตงของดวงอาทิตย์ เกียรติชัย ทวีลาภ พรรณพัชร ศรีบัวพันธุ์ อรอาภา เตชานุรักษ์ และ บุญยอร์ สุนทรเพราะ	41

Received: August 20, 2025
Accepted: September 19, 2025

Revised: September 10, 2025
Published: December 26, 2025

**การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด ตำบลหนองกะป๋อ
อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี**
**Assessment of Carbon Sequestration in the Ban Pong Salod Community
Forest, Nong Kapu Subdistrict, Ban Lat District, Phetchaburi Province**

สุภาดา ขุนณรงค์¹ ศิริพรรณ ศรีธธาพล¹ นิรุช ล้ำเลิศ¹ ปัทมาพร ยอดสันติ¹ และ วริษา ปานเจริญ^{1*}
Supada Khunnarong¹ Siriphan Saththaphon¹ Niroot Lamler¹ Pattamaporn Yodsunti¹ and
Warisa Pancharoen^{1*}

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 76000

¹Division of Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University, 76000

*Warisa.pan@mail.pbru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนของป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด ตำบลหนองกะป๋อ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี จากการทำการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลบนพื้นที่ที่วางแผนสี่เหลี่ยมขนาด 40 x 40 เมตร ซึ่งมีเนื้อที่แปลงเท่ากับ 1 ไร่ จากพื้นที่ป่าชุมชน 100 ไร่ โดยแบ่งเป็นแปลงย่อยขนาด 10 x 10 เมตร จำนวน 16 แปลง พบชนิดพันธุ์ไม้ทั้งหมด 27 ชนิด ชนิดพันธุ์ไม้ที่พบมากที่สุด คือ ต้นสามพันดา มีความหนาแน่นต้นไม้ 125 ต้น/ไร่ โดยชนิดของพันธุ์ไม้ที่มีการกักเก็บคาร์บอน ปริมาณดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจนมากที่สุดคือต้นมะค่าโมงซึ่งมีค่ากักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 0.47352 ตัน/ตัน ค่าปริมาณดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 1.73624 ตัน/ตัน และปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน เท่ากับ 1.26272 ตัน/ตัน ค่ากักเก็บคาร์บอนรวมทั้ง 16 แปลง มีค่าเท่ากับ 15.73877 ตัน/ไร่ ปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้ง 16 แปลงมีค่าเท่ากับ 57.70884 ตัน/ไร่ และปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน รวมทั้ง 16 แปลง มีค่าเท่ากับ 41.97006 ตัน/ไร่ ซึ่งหากคิดเป็นราคาการซื้อขาย Carbon credit (tCO₂e) ประเภทโครงการป่าไม้ โดยอ้างอิงจากราคาการซื้อขาย Carbon TVER ของโครงการปีงบประมาณ 2567 ซึ่งมีราคาเฉลี่ย 509.34 บาท/ตัน คิดเป็นมูลค่า 29,393.42 บาท/ไร่

คำสำคัญ: การกักเก็บคาร์บอน, การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์, การปลดปล่อยออกซิเจน , ความหนาแน่นต้นไม้

Abstract

This study aimed to evaluate the carbon sequestration potential of the Ban Pong Salod Community Forest, located in Nong Kapu Subdistrict, Ban Lat District, Phetchaburi Province, Thailand. Field surveys and data analyses were conducted in a 40 × 40 m sample plot (equivalent to 1 rai) within a total community forest area of 100 rai. The plot was subdivided into sixteen 10 × 10 m subplots. A total of 27 tree species were identified, with *Sampantaea amentiflora* (Airy Shaw) (locally known as Sam Phan Ta) being the most abundant, showing a density of 125 trees per rai. The species with the highest carbon sequestration, carbon dioxide uptake, and oxygen release was *Afzelia xylocarpa* (Makha Mong), which stored 0.47352 ton of carbon per tree, absorbed 1.73624 ton of CO₂ per tree, and released 1.26272 ton of oxygen per tree. The total carbon sequestration across all 16 subplots was 15.73877 ton/rai, with total CO₂ uptake and oxygen release calculated at 57.70884 ton/rai and 41.97006 ton/rai, respectively. Based on the average 2024 TVER carbon trading price for forestry projects of 509.34 THB/ton, the estimated carbon credit (tCO₂e) value was 29,393.42 THB/rai.

Keywords: Carbon sequestration, Carbon dioxide absorption, Oxygen emission, Tree density.

บทนำ

ปัญหาโลกร้อนในปัจจุบันเกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ในชั้นบรรยากาศเมื่อมีการสะสมของก๊าซเหล่านี้เป็นจำนวนมากจะก่อให้เกิดการกักเก็บความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์ที่เรียกว่า ภาวะเรือนกระจกซึ่งทำให้สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไปจากปกติได้และอาจส่งผลกระทบต่อความผิดปกติของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่าง ๆ บนโลกที่เราอาศัยอยู่ได้

การดำรงไว้ซึ่งทรัพยากรป่าไม้เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง และนำมาเก็บไว้ในรูปเซลลูโลสเมื่อต้นไม้เจริญเติบโตคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกสะสมอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของพืชในรูปของมวลชีวภาพ ซึ่งจากกระบวนการสังเคราะห์แสงคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว แล้วถูกนำไปสร้างอินทรีย์สารในเนื้อไม้ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เป็นต้น สะสมเป็นองค์ประกอบหลักในเนื้อไม้ และยังทำให้ไม้แข็งแรงทนทาน ดังนั้นหากไม่ทำลายป่า คาร์บอนจะยังคงสะสมในต้นไม้ที่มีชีวิตหรือเมื่อมีการแปรรูปต้นไม้ คาร์บอนยังถูกยึดไว้ในเนื้อไม้ที่นำมาแปรรูปด้วย ดังนั้นคาร์บอนจึงสามารถยึดอยู่กับเนื้อเยื่อของต้นไม้ และเนื้อไม้ซึ่งมีระยะเวลาที่ค่อนข้างยาวนาน ด้วยเหตุนี้ป่าชุมชนซึ่งเป็นพื้นที่ป่าไม้ที่ชุมชนสามารถใช้สอยพึ่งพาเพื่อการยังชีพได้ และยังช่วยรักษาสมดุลของสิ่งแวดล้อม จึงเป็นอีกหนึ่งพื้นที่สำคัญในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการกักเก็บคาร์บอนที่ช่วยลดภาวะโลกร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ (กฤษฎา ภาณุมนต์วาทิ และ เสวียน เปรมประสิทธิ์, 2566; ยุพเยาว์ โตศิริ และคณะ, 2563; จุฑาพร ทองนุ่น และคณะ, 2565; เอื้อมพร จันทร์สองดวง และคณะ, 2564) เนื่องจากป่าไม้แต่ละประเภทมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนและมีปริมาณคาร์บอนสะสมแตกต่างกันตามลักษณะโครงสร้างและชนิดพรรณไม้ที่ขึ้นอยู่ภายในพื้นที่ป่า และเพื่อเป็นข้อมูลอันนำไปสู่การให้ความรู้และกระตุ้นให้ประชาชนเล็งเห็นถึงความสามารถและตระหนักถึงประโยชน์ของพื้นที่ป่า

ในการกักเก็บคาร์บอน รวมถึงใช้เป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการพื้นที่เพื่อเพิ่มศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนเพื่อลดปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพราะว่าในปัจจุบันปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีแนวโน้มทวีความรุนแรงเพิ่มสูงขึ้น อันมีสาเหตุมาจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเข้าสู่ชั้นบรรยากาศจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น การใช้พลังงานเชื้อเพลิงทั้งภาคอุตสาหกรรมและการขนส่ง เป็นต้น (ศศิธร เพชรแสน และคณะ, 2566; สุรศักดิ์ วณิชอนุกุล และคณะ, 2565; สุรศักดิ์ เต็มวุฒิ และธันวา ใจเที่ยง, 2564; ภัทรธีรา บุญทูล และคณะ, 2563; สรียัตน์ ศรีบุตร และคณะ, 2563; สมชาย นองเนื่อง และคณะ, 2555)

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยต้องการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด ตำบลหนองกะป๋อ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด ตำบลหนองกะป๋อ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี และเป็นการแสดงถึงความสำคัญทั้งด้านศักยภาพทางเศรษฐกิจของป่าชุมชนในการบรรเทาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และเป็นข้อมูลในการสนับสนุนการบูรณาการกลไกคาร์บอนเครดิตเข้าสู่การจัดการป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด ตำบลหนองกะป๋อ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี เพื่อการจัดการป่าชุมชนอย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

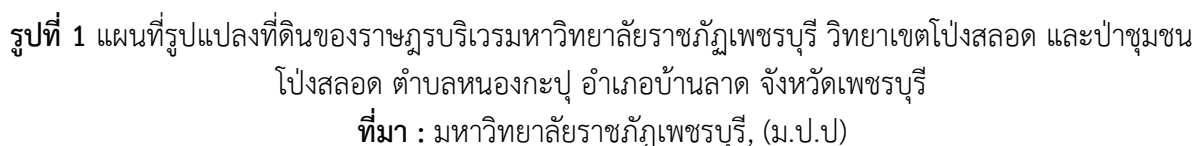
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนของป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด ตำบลหนองกะป๋อ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี

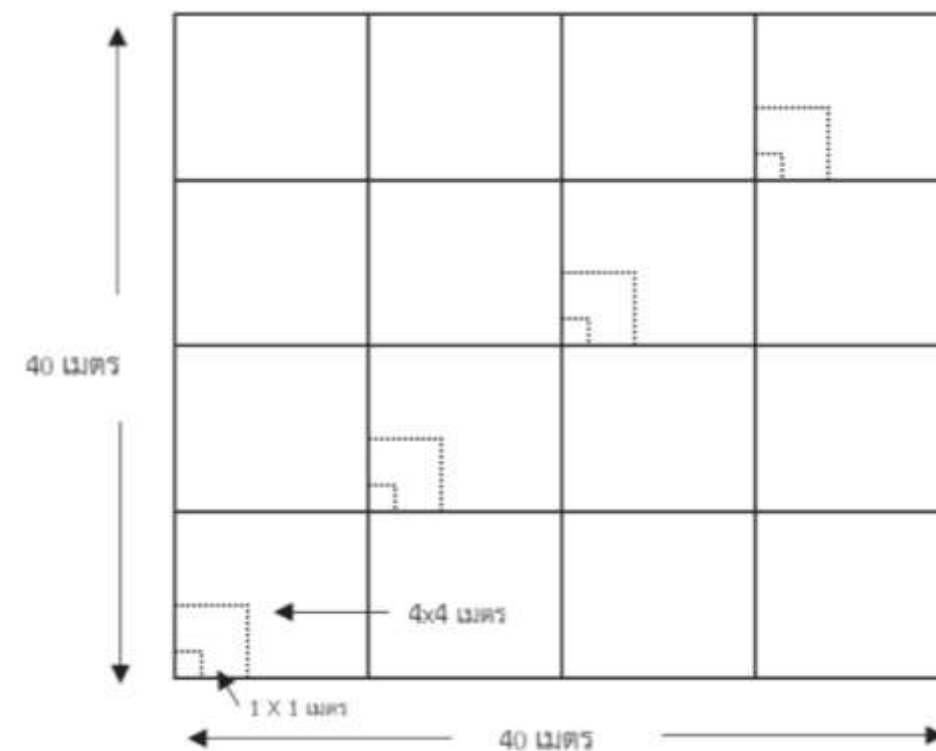
วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่วิจัย

จากการศึกษาป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด ตั้งอยู่ในตำบลหนองกะป๋อ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี สภาพพื้นที่โดยทั่วไปดั้งเดิมเป็นป่าเบญจพรรณ ขนาดต้นไม้มีทั้งขนาดใหญ่และเล็ก โดยมีจำนวนพื้นที่ป่าชุมชนจำนวน 100 ไร่ การวางแผนตัวอย่างเพื่อการศึกษาพื้นที่ของแปลงตัวอย่างรวมต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของพื้นที่ดำเนินโครงการทั้งหมดโดยการวางแผนตัวอย่างต้องกระจายในแต่ละชั้นภูมิอย่างเหมาะสม โดยในชั้นภูมิเดียวกันควรให้มีลักษณะทางกายภาพความคล้ายคลึงกันมากที่สุด (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.), 2568) โดยลักษณะป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด เป็นไปตามเงื่อนไข ทำการศึกษานี้จะใช้แปลงตัวอย่างชั่วคราว ขนาด 1 ไร่ (40x40 เมตร) จำนวน 1 แปลง เป็นตัวแทนของป่าชุมชนจำนวน 100 ไร่ ซึ่งในแปลงใหญ่ ขนาด 1 ไร่ นั้น วางแปลงย่อย ขนาด 10x10 จำนวน 16 แปลง เมตร 4 x 4 เมตร จำนวน 4 แปลง และ 1 x 1 เมตร จำนวน 4 แปลง ซ้อนทับลงไปบนพื้นที่ ขนาด 1 ไร่ (40x40 เมตร)



วางแผนสำรวจขนาด 40 x 40 เมตร ซึ่งมีเนื้อที่เท่ากับ 1 ไร่ โดยแบ่งออกเป็นแปลงย่อย 10 x 10 เมตร จำนวน 16 แปลง ใช้สำหรับศึกษาไม้ใหญ่ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.50 เซนติเมตรหรือเส้นรอบวง 14.13 เซนติเมตรขึ้นไป แบ่งเป็นแปลงย่อยขนาด 4 x 4 เมตร จำนวน 4 แปลง ใช้สำหรับศึกษาไม้หนุมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.43-4.50 เซนติเมตรหรือเส้นรอบวง 4.50-14.13 เซนติเมตร และแบ่งเป็นแปลงย่อยขนาด 1 x 1 เมตร จำนวน 4 แปลง ใช้สำหรับศึกษาไม้เล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 1.43 เซนติเมตรหรือเส้นรอบวงต่ำกว่า 4.50 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2 ซึ่งการวัดขนาดเส้นรอบวงของต้นไม้จะวัดที่ความสูงระดับอก 130 เซนติเมตรจากพื้นดิน โดยใช้สายวัดในการวัดขนาดเส้นรอบวงของต้นไม้ และวัดความสูงของต้นไม้โดยใช้ไม้วัดความสูงไฟเบอร์กลาสแบบยืดเข้า-ออกได้หรือใช้เครื่องวัดความสูงต้นไม้แบบเลเซอร์ขึ้นอยู่กับลักษณะของต้นไม้ และทำการเก็บบันทึกชนิดพันธุ์ไม้ (Species)



รูปที่ 2 วางแปลงสำรวจขนาด 40 x 40 เมตร

3. วัดเส้นรอบวงของต้นไม้ ที่มีขนาดมากกว่า 14.13 เซนติเมตรขึ้นไป (เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 4.50 เซนติเมตรขึ้นไป) ที่ความสูงระดับอก 130 เซนติเมตรจากพื้นดิน จากนั้นติดป้ายระบุรหัสต้นไม้ เพื่อบันทึกจำนวนต้นไม้ภายในแปลงตัวอย่างทั้ง 16 แปลง และวัดความสูงต้นไม้โดย 1) ไม้วัดความสูงไฟเบอร์กลาสแบบยืดเข้า-ออกได้ 2) ไคลโนมิเตอร์ 3) เครื่องวัดระยะแบบเลเซอร์ (ขึ้นอยู่กับลักษณะของต้นไม้) ที่ความสูงระดับอก 130 เซนติเมตร จากพื้นดินบันทึกข้อมูลชนิดพันธุ์ไม้ นับจำนวนต้นไม้ และระบุพิกัดของต้นไม้โดยใช้เครื่องหาพิกัดดาวเทียม (GPS)

4. นับจำนวนไม้หนุมและไม้เล็กในแปลงตามแนวเส้นทแยงมุมที่กำหนด โดยวัดเส้นรอบวงของต้นไม้หนุมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.43-4.50 เซนติเมตรหรือเส้นรอบวง 4.50-14.13 เซนติเมตร ในแปลงย่อยขนาด 4 x 4 เมตร และต้นไม้เล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 1.43 เซนติเมตรหรือเส้นรอบวงต่ำกว่า 4.50 เซนติเมตร ในแปลงย่อยขนาด 1 x 1 เมตร ที่ความสูงระดับอก 130 เซนติเมตรจากพื้นดินทั้ง 2 ขนาด จากนั้นบันทึกข้อมูลชนิดพันธุ์ไม้ นับจำนวนต้นไม้ และระบุพิกัดของต้นไม้

การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อทำการวางแปลง เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลชนิดของพันธุ์ไม้ รวมถึงนับจำนวน ระบุพิกัด วัดความสูง และเส้นรอบวงแล้ว นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ความหนาแน่นของต้นไม้ คือ จำนวนของพันธุ์พืชชนิดใดชนิดหนึ่งต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็นต้นต่อไร่ ใช้สูตรในการคำนวณ (สุรศักดิ์ วนิชอนุกุล และคณะ, 2565) ดังนี้

$$\text{ค่าความหนาแน่นของต้นไม้} = \frac{\text{จำนวนต้นของพืชชนิดนั้นในแปลงตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่แปลงตัวอย่างทั้งหมดที่ทำการศึกษา}} \quad (1)$$

2. ปริมาณมวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ และ การปล่อยก๊าซออกซิเจน

2.1 การคำนวณความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกของต้นไม้หาได้ดังนี้

1) การหาความสูงของต้นไม้

$$H = (S \times \tan \theta) + \text{ความสูงระดับอก (130 เซนติเมตร)} \quad (2)$$

โดยที่ H คือ ความสูงของต้นไม้ (เมตร)

S คือ ระยะห่างระหว่างต้นไม้งับผู้วัด (เมตร)

θ คือ มุมระหว่างความสูงระดับอกถึงปลายยอดไม้ (องศา)

2) การหาเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก

$$D = \frac{GBH}{\pi} \quad (3)$$

โดยที่ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (เซนติเมตร)

GBH คือ เส้นรอบวงต้นไม้ระดับอก (เซนติเมตร)

2.2 มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Aboveground biomass) โดยใช้สมการแอลโลเมตรีสำหรับการประเมินมวลชีวภาพของต้นไม้ในป่าปลูกซึ่งใช้สมการสำหรับกลุ่มพรรณไม้ทั่วไป (Ogawa et al., 1965) ดังนี้

$$w_s = 0.0396(D^2 H)^{0.9326} \quad (4)$$

$$w_b = 0.00349(D^2 H)^{1.027} \quad (5)$$

$$w_L = [28/(w_s + w_b) + 0.025]^{-1} \quad (6)$$

$$w_T = w_s + w_b + w_L \quad (7)$$

โดยที่ w_s คือ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

w_b คือ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

w_L คือ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

w_T คือ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (กิโลกรัม)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (1.30 เมตร) (เซนติเมตร)

H คือ ความสูงของต้นไม้ (เมตร)

2.3 มวลชีวภาพใต้ดิน (Belowground biomass; B_b) โดยจะใช้สมการจากอัตราส่วนมวลชีวภาพใต้ดินและมวลชีวภาพเหนือดินโดยทาง IPCC (2006) ได้กำหนดให้ค่าสัดส่วน เท่ากับ 0.27 ดังนี้

$$B_b = 0.27W_T \quad (8)$$

โดยที่ B_b = มวลชีวภาพใต้พื้นดิน (กิโลกรัม)

W_T = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (กิโลกรัม)

2.2 ปริมาณ การกักเก็บ คาร์บอน ของต้นไม้ (Carbon sequestration) ตามคณะกรรมการระหว่างรัฐที่ว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental panel on climate change: IPCC) ได้กำหนดว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้ในกลุ่มพรรณไม้ทั่วไปมีค่าประมาณ ร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพของต้นไม้เป็นตามสมการ (IPCC, 2006) ดังนี้

$$C = \text{มวลมวลชีวภาพของต้นไม้} \times 0.47 \quad (9)$$

โดยที่ C คือ การกักเก็บคาร์บอน (กิโลกรัม)

0.47 คือ ร้อยละ 47 โดยน้ำหนักของน้ำหนักแห้งของมวลชีวภาพ

2.4 การคำนวณปริมาณคาร์บอนที่ถูกกักเก็บเป็นการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ absorption) ของต้นไม้ เป็นผลรวมของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของ ลำต้น กิ่ง และใบ คูณด้วยค่าสัดส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂: มวลโมเลกุลเท่ากับ 44) และคาร์บอน (C: มวลโมเลกุลเท่ากับ 12) คือ 44/12 หรือ 3.67 โดยมีสมการ (IPCC, 2006) ดังนี้

$$CO_2 \text{ absorption} = TC \times CO_2CF \quad (10)$$

โดยที่ CO₂ absorption คือ การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (ตัน/ไร่)

TC คือ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ (ตันคาร์บอน/ไร่)

CO₂CF คือ สัดส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอน (44/12 หรือ 3.67)

2.5 การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน การปล่อยก๊าซออกซิเจน (O₂ emission) ของต้นไม้ เกิดจากการสังเคราะห์แสงของต้นไม้ซึ่งเกิดจากผลรวมของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของลำต้น กิ่ง และใบ คูณด้วยค่าสัดส่วนระหว่าง ออกซิเจน (O₂: มวลโมเลกุลเท่ากับ 32) และคาร์บอน (C: มวลโมเลกุลเท่ากับ 12) คือ 32/12 หรือ 2.67 โดยมีสมการ (IPCC, 2006) ดังนี้

$$O_2 \text{ emission} = TC \times O_2CF \quad (11)$$

โดยที่ O₂ emission คือ ปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน (ตัน/ไร่)

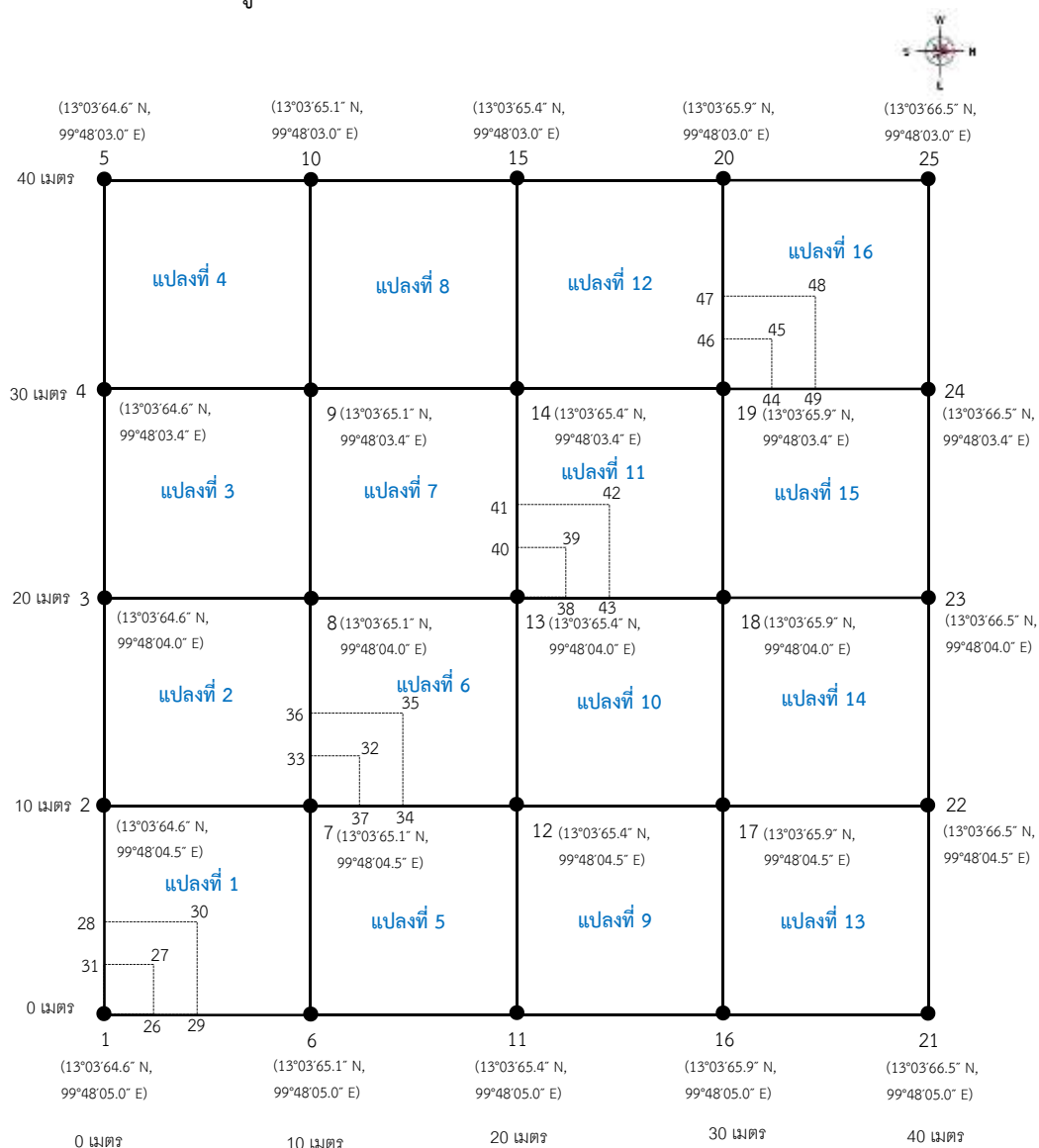
TC คือ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ (ตันคาร์บอน/ไร่)

O₂CF คือ สัดส่วนระหว่างก๊าซออกซิเจนและคาร์บอน (32/12 หรือ 2.67)

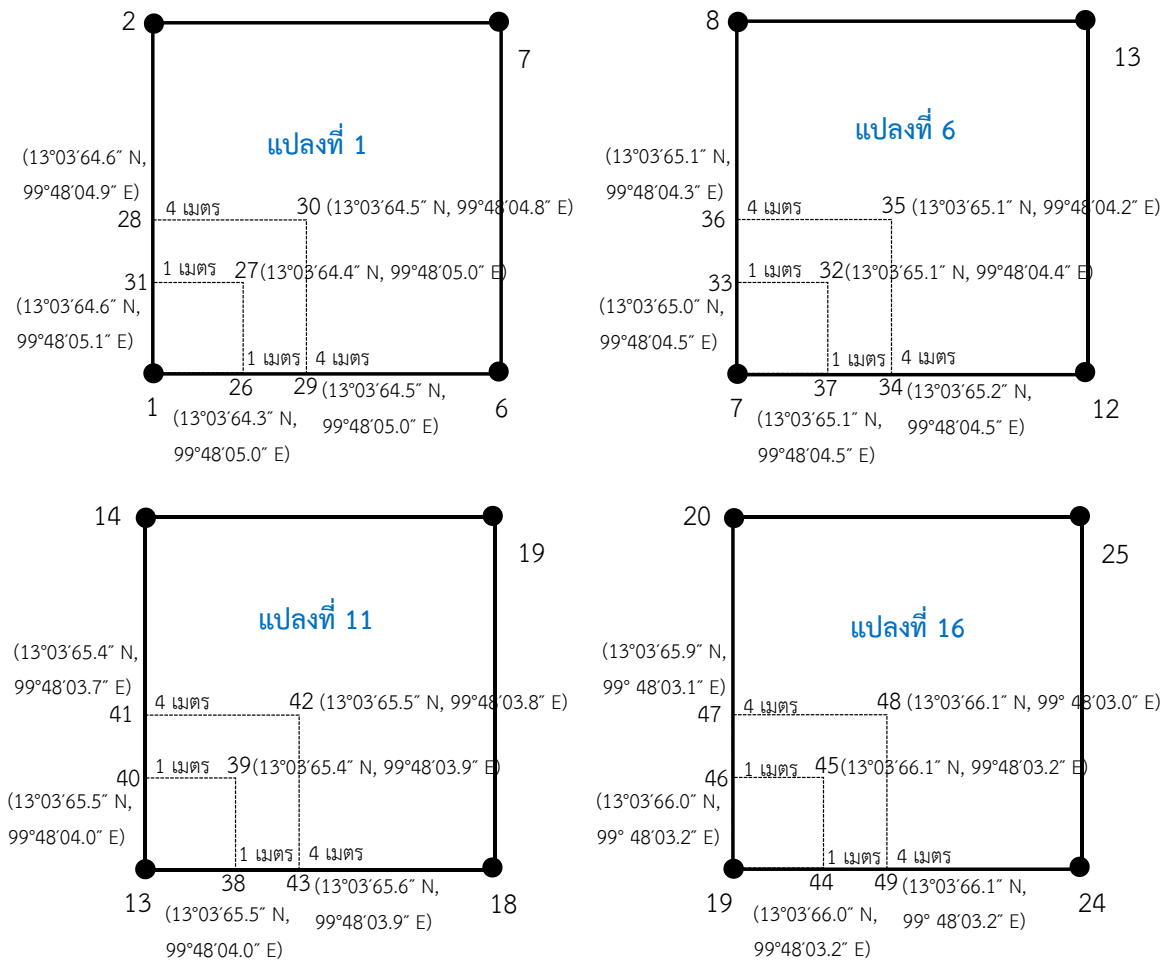
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวางแผนสำรวจ

ในการดำเนินการวิจัยได้กำหนดพื้นที่วางแผนในการสำรวจเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 40 x 40 เมตร ซึ่งมีเนื้อที่แปลงเท่ากับ 1 ไร่ ในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด ตำบลหนองกะป๋อ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี โดยแปลงตัวอย่างขนาด 40 x 40 เมตร จะแบ่งออกเป็นแปลงย่อยขนาด 10 x 10 เมตร จำนวน 16 แปลง ดังรูปที่ 3 จากนั้นทำการสำรวจพันธุ์ไม้ในแปลงสำรวจ โดยทำการบันทึกจำนวน และระบุชนิดพันธุ์ไม้ใหญ่ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 4.50 เซนติเมตร (หรือเส้นรอบวง 14.13 เซนติเมตร) ที่ความสูงระดับอก 130 เซนติเมตรจากพื้นดิน และระบุชนิดและจำนวนของไม้หนุมและไม้เล็ก ในแปลงย่อยขนาด 4 x 4 เมตร และ 1 x 1 เมตร ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 พิกัดตำแหน่งแปลงตัวอย่าง 10 x 10 เมตร



รูปที่ 4 พิกัดตำแหน่งแปลงตัวอย่าง 1 x 1 เมตร และ 4 x 4 เมตร

จากรูปที่ 4 แปลงย่อยขนาด 4 x 4 เมตร ใช้ในการเก็บข้อมูลชนิด และจำนวนของไม้หนุ่มซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 1.43 - 4.50 เซนติเมตร (หรือเส้นรอบวง 4.50-14.13 เซนติเมตร) และแปลงย่อยขนาด 1 x 1 เมตร ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลชนิด และจำนวนของไม้เล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1.43 เซนติเมตร (หรือเส้นรอบวง 4.50 เซนติเมตร) ซึ่งจากการสำรวจในแปลงย่อยขนาด 1 x 1 เมตร ไม่พบไม้เล็กในแปลงย่อยทั้ง 4 ที่ได้สำรวจ ซึ่งข้อมูลชนิดพันธุ์ และจำนวนของไม้หนุ่ม ของแปลงย่อยขนาด 4 x 4 เมตร แสดงไว้ในตารางที่ 1 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลชนิดพันธุ์ และจำนวนของไม้หนุ่ม ในแปลงย่อยขนาด 4 x 4 เมตร ของแปลงที่ 1, 6, 11 และ 16

แปลงที่	ชนิดพันธุ์ไม้	จำนวน
1	ต้นมะนาวผี	1
6	ต้นสามพันตา	2
	ต้นมะนาวผี	1
11	ต้นพลองเหมือด	2
	ต้นมะนาวผี	1
16	ต้นสะแกนา	2
	ต้นสามพันตา	3
	ต้นมะนาวผี	1

การประเมินความหนาแน่นของต้นไม้ในแปลงสำรวจ

จากการสำรวจชนิดพันธุ์ไม้ในแปลงตัวอย่างของพื้นที่ป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด ตำบลหนองกะปูลำ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี ขนาด 1 ไร่ ซึ่งแบ่งเป็นแปลงย่อยขนาด 10 x 10 เมตร จำนวน 16 แปลง พบพันธุ์ไม้ทั้งหมด 27 ชนิด และสามารถคำนวณความหนาแน่นของต้นไม้ได้ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงความหนาแน่นของต้นไม้ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของพันธุ์ไม้ที่พบในแปลงสำรวจ

ชนิดพันธุ์ไม้	ความหนาแน่นของต้นไม้ (ต้น/ไร่)	ค่ากักเก็บคาร์บอน (ตัน/ไร่)	ปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (ตัน/ไร่)	ปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน (ตัน/ไร่)	ค่ากักเก็บคาร์บอน (ตัน/ต้น)	ปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (ตัน/ต้น)	ปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน (ตัน/ต้น)
ต้นแสสาร	10	0.32346	1.18601	0.86255	0.03235	0.11860	0.08626
ต้นสะเดา	2	0.07455	0.27335	0.19880	0.03728	0.13668	0.09940
ต้นสามพันตา	125	5.29379	19.41055	14.11676	0.04235	0.15528	0.11293
ต้นปอเต่าไห	2	0.07977	0.29249	0.21272	0.03989	0.14625	0.10636
ต้นหนามแท่ง	4	0.04183	0.15339	0.11155	0.01046	0.03835	0.02789
ต้นตั่ว	35	0.57818	2.12001	1.54183	0.01652	0.06057	0.04405
ต้นมะนาวผี	53	1.30309	4.77799	3.47490	0.02459	0.09015	0.06556
ต้นกำยาน	8	0.07763	0.28466	0.20702	0.00970	0.03558	0.02588
ต้นแจง	5	0.03863	0.14166	0.10303	0.00773	0.02833	0.02061
ต้นมะค่าโมง	6	2.84113	10.41747	7.57634	0.47352	1.73624	1.26272
ต้นตาลดำ	15	0.43613	1.59915	1.16301	0.02908	0.10661	0.07753

ชนิดพันธุ์ไม้	ความหนาแน่นของต้นไม้ (ต้น/ไร่)	ค่ากักเก็บคาร์บอน (ตัน/ไร่)	ปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (ตัน/ไร่)	ปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน (ตัน/ไร่)	ค่ากักเก็บคาร์บอน (ตัน/ต้น)	ปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (ตัน/ต้น)	ปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน (ตัน/ต้น)
ต้นมะค่าแต้	18	0.31788	1.16554	0.84767	0.01766	0.06475	0.04709
ต้นข่อยแก้ว	13	0.17796	0.65254	0.47457	0.01369	0.05020	0.03651
ต้นพลองเหมือด	19	0.35196	1.29050	0.93855	0.01852	0.06792	0.04940
ต้นตะคล่อง	9	0.38083	1.39639	1.01556	0.04231	0.15515	0.11284
ต้นตะแบกเลือด	2	0.06914	0.25353	0.18438	0.03457	0.12676	0.09219
ต้นจั่ว	3	0.20669	0.75786	0.55117	0.06890	0.25262	0.18372
ต้นตะขบป่า	4	0.04886	0.17917	0.13030	0.01222	0.04479	0.03258
ต้นรูกฟ้า	8	0.35315	1.29489	0.94174	0.04414	0.16186	0.11772
ต้นจันทน์ชะมด	4	0.20718	0.75964	0.55247	0.05179	0.18991	0.13812
ต้นมะกอก	4	0.04940	0.18113	0.13173	0.01235	0.04528	0.03293
ต้นยูคาลิปตัส	2	0.04015	0.14723	0.10708	0.02008	0.07361	0.05354
ต้นช้อน	8	0.35475	1.30074	0.94599	0.04434	0.16259	0.11825
ต้นสะแกนา	31	2.06279	7.56356	5.50077	0.06654	0.24399	0.17744
ต้นชันทอง	1	0.01769	0.06488	0.04718	0.01769	0.06488	0.04718
พญาบาท							
ต้นเครือไส้ตัน	1	0.00386	0.01414	0.01028	0.00386	0.01414	0.01028
ต้นมก	2	0.01346	0.04934	0.03588	0.00673	0.02467	0.01794
รวม	394	15.73877	57.70884	41.97006	-	-	-

จากตารางที่ 2 พบว่าชนิดของพันธุ์ไม้ที่พบมากที่สุดในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านโป่งสลอดคือ ต้นสามพันตา มีความหนาแน่นของต้นไม้เท่ากับ 125 ต้น/ไร่ มีค่ากักเก็บคาร์บอน 0.04235 ตัน/ต้น ค่าปริมาณดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.15528 ตัน/ต้น และปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน 0.11293 ตัน/ต้น และชนิดของพันธุ์ไม้ที่พบน้อยที่สุด คือ ต้นชันทองพญาบาท มีความหนาแน่นของต้นไม้เท่ากับ 1 ต้น/ไร่ มีค่ากักเก็บคาร์บอน 0.01769 ตัน/ต้น ค่าปริมาณดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.06488 ตัน/ต้น และปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน 0.04718 ตัน/ต้น และต้นเครือไส้ตัน มีความหนาแน่นของต้นไม้เท่ากับ 1 ต้น/ไร่ มีค่ากักเก็บคาร์บอน 0.00386 ตัน/ต้น ค่าปริมาณดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.01414 ตัน/ต้น และปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน 0.01028 ตัน/ต้น และชนิดของพันธุ์ไม้ที่มีค่ากักเก็บคาร์บอน ปริมาณดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน มากที่สุด คือ ต้นมะค่าโมง ซึ่งมีค่ากักเก็บคาร์บอน 0.47352 ตัน/ต้น ค่าปริมาณดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ 1.73624 ตัน/ต้น ปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน 1.26272 ตัน/ต้น

การคำนวณปริมาณคาร์บอนที่ถูกกักเก็บในรูปของปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ และ ปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน

จากการสำรวจชนิดพันธุ์ไม้ในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด ตำบลหนองกะป๋อ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งแปลงตัวอย่างขนาด 1 ไร่ ได้แบ่งเป็นแปลงย่อยขนาด 10 x 10 เมตร จำนวน 16 แปลง และจากการเก็บข้อมูลต้นไม้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 4.50 เซนติเมตร (หรือเส้นรอบวง 14.13 เซนติเมตร) ที่ความสูงระดับอก 130 เซนติเมตรจากพื้นดิน โดยใช้สายวัดในการวัดขนาดเส้นรอบวงของต้นไม้ และวัดความสูงต้นไม้ และทำการเก็บบันทึกชนิดพันธุ์ไม้ (Species) ทั้ง 16 แปลงย่อย จากนั้นคำนวณหาค่าการกักเก็บคาร์บอน และปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลในการคำนวณหาปริมาณรวมการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน ของแปลงสำรวจขนาด 10 x 10 เมตร ของทั้ง 16 แปลง

แปลงที่	ค่ากักเก็บคาร์บอน (ตัน/ไร่)	ปริมาณการดูดซับ คาร์บอนไดออกไซด์ (ตัน/ไร่)	ปริมาณการปลดปล่อย ออกซิเจน (ตัน/ไร่)
แปลงที่ 1	1.17148	4.29542	3.12394
แปลงที่ 2	0.72584	2.66142	1.93558
แปลงที่ 3	0.49864	1.82835	1.32971
แปลงที่ 4	3.32344	12.18595	8.86251
แปลงที่ 5	0.21372	0.78363	0.56991
แปลงที่ 6	0.72613	2.66248	1.93635
แปลงที่ 7	0.65595	2.40514	1.74919
แปลงที่ 8	1.50857	5.53143	4.02286
แปลงที่ 9	0.37251	1.36585	0.99335
แปลงที่ 10	0.14438	0.52940	0.38502
แปลงที่ 11	2.23127	8.18133	5.95006
แปลงที่ 12	0.57246	2.09901	1.52655
แปลงที่ 13	0.58555	2.14700	1.56146
แปลงที่ 14	0.57179	2.09656	1.52477
แปลงที่ 15	1.81522	6.65580	4.84058
แปลงที่ 16	0.62183	2.28004	1.65821
รวม	15.73877	57.70884	41.97006

จากตารางที่ 3 พบว่ามีค่ากักเก็บคาร์บอนรวมของพื้นที่สำรวจทั้ง 16 แปลงมีค่าเท่ากับ 15.73877 ตัน/ไร่ ปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์รวมมีค่าเท่ากับ 57.70884 ตัน/ไร่ และปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน รวมมีค่าเท่ากับ 41.97006 ตัน/ไร่

สรุปผลการวิจัย

จากพื้นที่ว่างแปลงเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 40 x 40 เมตร ซึ่งมีเนื้อที่แปลงเท่ากับ 1 ไร่ ในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด ตำบลหนองกะป๋อ อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี โดยแบ่งเป็นแปลงย่อยขนาด 10 x 10 เมตร จำนวน 16 แปลง พบชนิดพันธุ์ไม้ทั้งหมด 27 ชนิด ชนิดพันธุ์ไม้ที่พบมากที่สุด คือ ต้นสามพันตา มีความหนาแน่นต้นไม้ 125 ต้น/ไร่ โดยชนิดของพันธุ์ไม้ที่มีการกักเก็บคาร์บอน ปริมาณดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน มากที่สุดคือ ต้นมะค่าโมง ซึ่งมีค่ากักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 0.47352 ตัน/ตัน ค่าปริมาณดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 1.73624 ตัน/ตัน และปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจน เท่ากับ 1.26272 ตัน/ตัน ค่ากักเก็บคาร์บอนรวมทั้ง 16 แปลงมีค่าเท่ากับ 15.73877 ตัน/ไร่ ปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้ง 16 แปลงมีค่าเท่ากับ 57.70884 ตัน/ไร่ และปริมาณการปลดปล่อยออกซิเจนรวมทั้ง 16 แปลงมีค่าเท่ากับ 41.97006 ตัน/ไร่ ซึ่งหากคิดเป็นราคาการซื้อขาย Carbon credit (tCO₂e) ประเภทโครงการป่าไม้ โดยอ้างอิงจากราคาการซื้อขาย Carbon TVER ของโครงการปีงบประมาณ 2567 ซึ่งมีราคา 509.34 บาท/ตันไร่ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2567) จะคิดเป็นมูลค่า 29,393.42 บาท/ไร่ และแปลงย่อยขนาด 4 x 4 เมตร ทั้ง 4 แปลงย่อยพบว่ามีจำนวนชนิดพันธุ์ไม้หนุมทั้งหมดจำนวน 4 ชนิด และมีจำนวนของไม้หนุมเท่ากับ 13 ต้น ในขณะแปลงย่อยขนาด 1 x 1 เมตร ไม่พบไม้เล็กในแปลงย่อยทั้ง 4 ที่ได้สำรวจ ผลจากการวิจัยนี้แสดงถึงความสำคัญทั้งด้านศักยภาพทางเศรษฐกิจของป่าชุมชนในการบรรเทาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และทำให้ชุมชนทราบถึงคุณค่าของป่าชุมชนบ้านโป่งสลอด ในอีกด้านหนึ่ง นั่นคือมูลค่าจากคาร์บอนเครดิตหากมีการซื้อขายได้จริงในตลาดคาร์บอน จะทำให้ชุมชนมีรายได้เพื่อใช้ในการบริหารจัดการ อนุรักษ์ และใช้ประโยชน์จากป่าชุมชนบ้านโป่งสลอดอย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสนับสนุนงบประมาณในโครงการการต่อต้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของชุมชนผ่านกระบวนการเรียนรู้และการวิเคราะห์เรื่องการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของป่าโป่งสลอด ประจำปีงบประมาณ 2566 ตลอดจนการประสานงานในการลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กฤษฎา ภาณุมนต์วาทิ และเสวียน เปรมประสิทธิ์. (2566). การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ปลูกกาแฟจากพื้นที่เสื่อมโทรมจากการปลูกข้าวโพดในจังหวัดน่าน. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์*, 15(1), 71-82.
- จุฑาทพร ทองนุ่น, พิชิต ลำไย, สันติ สุขสอาด และศุภศิษย์ ศรีอักษรินทร์. (2565). พลวัตป่าไม้และการกักเก็บคาร์บอนในช่วงเวลา 10 ปี ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติลำน้ำน่านจังหวัดอุดรธานีและจังหวัดแพร่. *วารสารวนศาสตร์ไทย*, 41(2), 48-62.

- ภัทร์ธีรา บุญทูล, วาทีนี สอนผกา และสมพร แม่ลิ้ม. (2563). การประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนของพืชที่มีเนื้อไม้ในป่าเบญจพรรณ ในอุทยานแห่งชาติเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี. *วารสารวิทยาศาสตร์ไทย*, 39(2), 27-40.
- ยุพเยาว์ โตศิริ, ขวนพิศ จารัตน์, ดวงตา โนวาเชค และน้องนุช สารภี. (2563). การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้ต้น ในป่าชุมชนบ้านแสงตะวัน จังหวัดสุรินทร์. *PSRU Journal of Science and Technology*, 5(3), 23-36.
- ศศิธร เพชรแสน, สันติภาพ ศิริวัฒน์ไพบุลย์, ดารินทร์ ล้วนวิเศษ, วณิชยา จรุงพงษ์ และศรียา อินทสิน (2566). ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและคาร์บอนเครดิตจากป่าชุมชนห้วยหินขาว ตำบลด่านศรีสุข อำเภอโพธิ์ตาก จังหวัดหนองคาย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, 11(1), 109-125.
- สมชาย นองเนื่อง, สุนทร คำยอง, เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง และนิวัติ อนงค์รักษ์. (2555). การกักเก็บคาร์บอนใน มวลชีวภาพของต้นไม้ในสวนป่าสนสามใบ หน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่. *วารสารวิทยาศาสตร์ไทย*, 31(2), 1-15.
- สรศักดิ์ เต็มวุฒิ และธันวา ใจเที่ยง. (2564). มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในพื้นที่โครงการอนุรักษ์ พันธุกรรมพืชและคืนสัตว์สู่ป่าในมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ (พื้นที่นาามน). *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 12(1), 150-159.
- สรวิรัตน์ ศรีบุตร, พสุธา สุนทรห้าว และสาพิศ ดิลกสัมพันธ์. (2563). การประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนและการใช้ประโยชน์ของป่า ณ ศูนย์ศึกษาเรียนรู้ระบบนิเวศป่าชายเลนสิรินาถราชินี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์. *วารสารวิทยาศาสตร์ไทย*, 39(2), 41-51.
- สุรศักดิ์ วณิชอนุกุล, พิรภานุวัฒน์ ชื่นวงศ์, กิตติชัย จันธิมา, กฤตวิทย์ สุขอึ้ง และสิทธิศักดิ์ ปิ่นมงคลกุล. (2565). การกักเก็บคาร์บอนของสังคมพืชในป่าปลูกในป่าสงวนแห่งชาติป่าดอยบ่อ จังหวัดเชียงราย. *วารสารสหวิทยาการวิจัย: ฉบับบัณฑิตศึกษา*, 11(2), 156-167.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2567). *ราคา Carbon Credit*. สืบค้น 24 ธันวาคม 2567, จาก <https://www.tgo.or.th/2023/index.php/th>
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2568). *การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้*. สืบค้น 10 กันยายน 2568, จาก <https://ghgreduction.tgo.or.th/th/tver-method/tver-tool/for-agr/download/12026/3451/31.html>
- เอี่ยมพร จันทร์สองดวง, ปัทมวารรณ ฝัชอบ และชุติมา สักขินาดี. (2564). ความหลากหลายชนิดของไม้ต้นปริมาณคาร์บอนสะสม และการใช้ประโยชน์ในป่าโคกทุ่งบะ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 15(1), 15-25.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies.
- Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K., & Kira, T. (1965). Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand II. *Plant biomass Natural and life in Southeast Asia*, 4, 49-80.

Received: October 1, 2025
Accepted: November 14, 2025

Revised: November 14, 2025
Published: December 26, 2025

การเปลี่ยนแปลงของคาบโคจรของระบบดาวคู่ V700 Cyg Orbital Period Change of the Binary System V700 Cyg

สุภัทร สายรัตนอินทร์¹ ตอริก เอ็งปิยา² และ วิระภรณ์ ไหมทอง^{3*}
Supat Sairattanain¹ Torik Hengpiya² 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 and Human Development, 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

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคาบโคจรของระบบดาวคู่ V700 Cyg ซึ่งเป็นดาวคู่แบบแตะกันชนิด W UMa โดยใช้วิธีการถ่ายภาพด้วยกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงขนาด 0.7 เมตร พร้อมเซนเซอร์ CCD และฟิลเตอร์แสง B และ V ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา สงขลา เมื่อวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2564 ข้อมูลภาพถ่ายที่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อสร้างกราฟแสง และหาค่าเวลาที่ระบบมีความสว่างต่ำสุด แล้วนำไปใช้ในการสร้างแผนภาพ $O-C$ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า คาบโคจรของระบบดาวคู่ V700 Cyg มีแนวโน้มลดลง โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบโคจรประมาณ 9.98×10^{-4} วินาทีต่อปี ซึ่งบ่งชี้ว่าดาวทั้งสองดวงกำลังโคจรเข้าใกล้กันมากขึ้นในทุก ๆ ปี สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจเกิดจากการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุม ตามทฤษฎีวิวัฒนาการแบบ Angular Momentum Loss (AML)

คำสำคัญ: V700 Cyg, แผนภาพ $O-C$, AML

Abstract

This research aims to investigate the orbital period change of the contact binary system V700 Cyg, classified as a W Ursae Majoris (W UMa)-type binary. Observations were carried out using a 0.7-meter reflecting telescope equipped with a CCD sensor and B and V photometric filters at the Regional Observatory for the Public, Songkhla on August 7, 2021. The photometric data obtained were used to construct light curves and determine the times of minimum light, which were then used to generate an $O-C$ diagram. The analysis reveals that the orbital period of V700 Cyg is gradually decreasing, with the change of 9.98×10^{-4} seconds per year. This indicates that the two stellar components are slowly spiraling closer

to each other over time. That explained the by the Angular Momentum Loss (AML) evolution theory.

Keywords: V700 Cyg, O–C diagram, AML

บทนำ

ระบบดาวคู่แบบแตะกัน (Contact Binary System) เป็นระบบที่ดาวฤกษ์สองดวงโคจรใกล้กันมากจนมีชั้นบรรยากาศภายนอกสัมผัสหรือร่วมกัน โดยเฉพาะระบบที่จัดอยู่ในกลุ่ม W Ursae Majoris-type (W UMa-type) ซึ่งดาวทั้งสองดวงมีคาบโคจรสั้น และมีลักษณะเด่นคือการแลกเปลี่ยนพลังงานและมวลระหว่างกันอย่างต่อเนื่อง ระบบลักษณะนี้จึงมีความสำคัญต่อการศึกษาวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ในช่วงท้ายของชีวิต เนื่องจากกระบวนการถ่ายโอนมวล (Mass transfer) และการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุม (Angular Momentum Loss) ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคาบวงโคจร ซึ่งอาจนำไปสู่การรวมตัวกันของดาวทั้งสองดวงในที่สุด

ระบบดาวคู่ V700 Cyg ตั้งอยู่ในกลุ่มดาวหงส์ (Cygnus) เป็นหนึ่งในระบบดาวคู่แบบ W-subtype ของ W UMa ซึ่งดาวที่มีมวลน้อยกว่าจะมีอุณหภูมิสูงกว่าดาวที่มีมวลมากกว่า (Rucinski, 2000; Yakut & Eggleton, 2005) สถานะนี้บ่งชี้ว่าระบบกำลังอยู่ในช่วงเปลี่ยนผ่านเชิงวิวัฒนาการ จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ V700 Cyg มีการรายงานถึงความไม่สมมาตรในกราฟแสง (O’Connell effect) การเปลี่ยนแปลงของคาบโคจร และสัญญาณที่อาจมาจากวัตถุที่สามในระบบ การติดตามคาบโคจรและวิเคราะห์แผนภาพ O–C (Liao et al., 2012) รวมถึงลักษณะพลวัตที่ซับซ้อนของระบบ ซึ่งได้รับการศึกษารายละเอียดไว้โดย Kim & Jeong (2012) จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษาพฤติกรรมและพัฒนาระบบนี้

การวิจัยนี้จึงมีความสำคัญในเชิงดาราศาสตร์ เพราะช่วยเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงภายในของระบบดาวคู่แบบสัมผัส และอาจนำไปสู่การศึกษาต่อยอดด้านวัฏจักรแม่เหล็ก วัตถุที่สาม หรือปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อคาบโคจรของระบบดาวคู่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

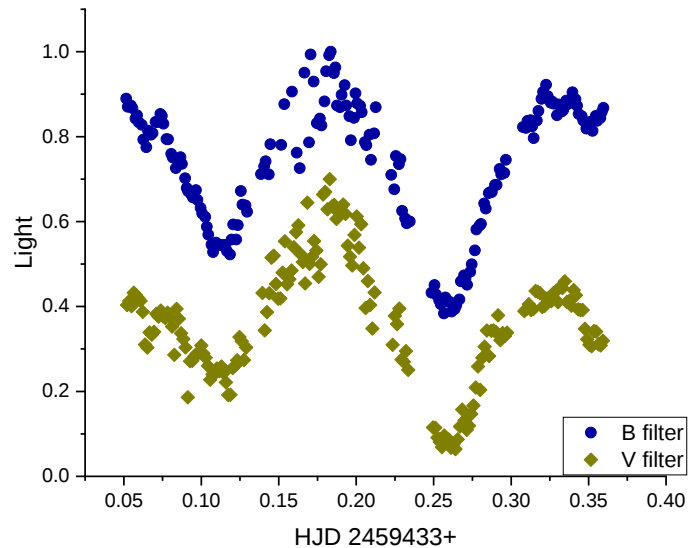
1. เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของคาบโคจรของระบบดาวคู่ V700 Cyg
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ V700

วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบของระบบดาวคู่ V700 Cyg ด้วยการบันทึกภาพด้วยกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา สงขลา ด้วยระบบรับสัญญาณแบบ CCD ผ่านแผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B filter) และสีเหลือง (V filter) ของระบบ UBV Johnson โดยใช้เวลาในการรับแสงภาพละ 60 วินาที ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน และ 50 วินาที ในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง สลับกันไป ในวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2564 แล้วนำภาพที่บันทึกได้มาวิเคราะห์หาความสว่าง (Flux) ในช่วงความยาวคลื่น B และ V สร้างเป็นกราฟแสง (Light Curves) เพื่อหาเวลาที่แสงน้อยที่สุด (time of minima light) แล้วจึงสร้างแผนภาพ O–C เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ V700 Cyg

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากภาพถ่ายที่ได้จากการสังเกตผ่านแผ่นกรองแสงช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) และสีเหลือง (V) สามารถสร้างกราฟแสงของระบบดาวคู่ V700 Cyg ได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟแสงของระบบดาวคู่ V700 Cyg ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) และสีเหลือง (V)

จากการสังเกตการณ์และวิเคราะห์กราฟแสงของระบบดาวคู่ V700 Cyg ตามรูปที่ 1 สามารถคำนวณค่า Time of Minimum light เท่ากับ HJD 2459433.11116 และ HJD 2459433.25799 เมื่อวิเคราะห์และสร้างแผนภาพ O-C จากสมการ Linear Ephemeris Equation ของฐานข้อมูล Eclipsing Binary O-C Files ของ Bob Nelson, AAVSO คือ

$$\text{Min I} = \text{HJD } 2449999.3003 + 0.29063148 \text{ E} \quad (1)$$

จากสมการที่ 1 สามารถคำนวณค่า O-C ที่ได้จากงานวิจัยนี้ รวมกับการศึกษาจากนักดาราศาสตร์ท่านอื่น ๆ ในอดีต ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า O-C ของระบบดาวคู่ V700 Cyg

HJD	Epoch	O-C	Source
2432028.86300	-45345.0	0.033687	AJ 56.207
2432028.86300	-45345.0	0.033687	AJ 56.207
2432028.86300	-45345.0	0.033687	AJ 56.207
2432028.86300	-45345.0	0.033687	AJ 56.207
2432028.86300	-45345.0	0.033687	AJ 56.207
2432028.86300	-45345.0	0.033687	AJ 56.207

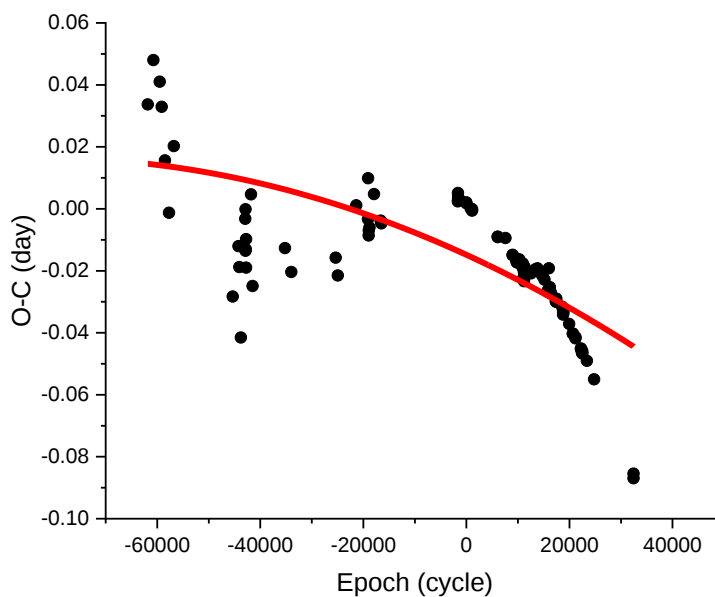
2432028.86300	-45345.0	0.033687	AJ 56.207
2432350.89700	-44237.0	0.048007	Whitney 1952
2432708.94800	-43005.0	0.041024	Whitney 1952
2432820.83300	-42620.0	0.032904	Whitney 1952
2433002.75100	-41994.0	0.015598	Whitney 1952
2433229.57200	-41213.5	-0.00127	Whitney 1952
2433503.65900	-40270.5	0.020242	Whitney 1952
2436819.42500	-28861.5	-0.02831	HABZ 28
2437146.54700	-27736.0	-0.01204	HABZ 28
2437192.46000	-27578.0	-0.01882	Niarchos 1997
2437280.20800	-27276.0	-0.04153	MSAI 40.397
2437530.48000	-26415.0	-0.00323	MSAI 40.397
2437530.48000	-26415.0	-0.00323	Niarchos 1997
2437542.39900	-26374.0	-0.00012	MSAI 40.397
2437544.42000	-26367.0	-0.01354	HABZ 28
2437559.38800	-26315.5	-0.01306	MSAI 40.397
2437575.37600	-26260.5	-0.00979	MSAI 40.397
2437576.38400	-26257.0	-0.019	HABZ 28
2437854.54200	-25300.0	0.00467	MSAI 40.397
2437940.39400	-25004.5	-0.02493	HABZ 28
2439773.41900	-18697.5	-0.01268	MSAI 40.397
2440125.36600	-17486.5	-0.0204	MSAI 40.397
2442633.37500	-8857.0	-0.01576	BBSAG Bull.23
2442748.31400	-8461.5	-0.02151	BBSAG Bull.25
2443791.41300	-4872.5	0.001113	BBSAG Bull.39
2444448.38100	-2612.0	-0.00335	BBSAG Bull.49
2444458.42100	-2577.5	0.009866	BBSAG Bull.49
2444490.37200	-2467.5	-0.0086	BBSAG Bull.50
2444498.36600	-2440.0	-0.00696	BBSAG Bull.50
2444498.36600	-2440.0	-0.00696	GCVS 4
2444539.34600	-2299.0	-0.006	BBSAG Bull.51
2444793.51400	-1424.5	0.00477	BBSAG Bull.56
2445163.47930	-151.5	-0.0038	IBVS 2344
2445207.50950	0.0	-0.00427	IBVS 2344
2445209.54350	7.0	-0.00469	IBVS 2344
2449518.45290	14833.0	0.002384	IBVS 4222
2449527.46520	14864.0	0.005108	IBVS 4222

2449535.45580	14891.5	0.003342	BAVM 80
2449535.45630	14891.5	0.003842	BAVM 80
2449639.35600	15249.0	0.002788	IBVS 4222
2449999.30240	16487.5	0.0021	IBVS 4711
2449999.44740	16488.0	0.001784	IBVS 4711
2450246.48250	17338.0	0.000126	IBVS 4472
2450324.37100	17606.0	-0.00061	BBSAG Bull.113
2450324.37150	17606.0	-0.00011	BBS 113
2451770.39940	22581.5	-0.00914	IBVS 5296
2451770.54490	22582.0	-0.00895	IBVS 5296
2452203.29470	24071.0	-0.00943	IBVS 5296
2452609.59200	25469.0	-0.01494	IBVS 5371
2452609.59210	25469.0	-0.01484	IBVS 5371
2452801.55300	26129.5	-0.01603	IBVS 5676
2452835.41060	26246.0	-0.017	IBVS 5643
2452846.45440	26284.0	-0.01719	IBVS 5643
2452854.73730	26312.5	-0.01729	Jones 2003B
2452854.88289	26313.0	-0.01701	Jones 2003A
2452859.53310	26329.0	-0.01691	IBVS 5676
2452859.82396	26330.0	-0.01668	Jones 2003C
2452897.46060	26459.5	-0.01682	IBVS 5643
2452981.30830	26748.0	-0.0163	IBVS 5643
2453168.76300	27393.0	-0.01891	IBVS 5603
2453187.21940	27456.5	-0.0176	VS 43
2453234.29640	27618.5	-0.0229	IBVS 6153
2453234.44220	27619.0	-0.02242	IBVS 6153
2453234.58730	27619.5	-0.02264	IBVS 6153
2453238.36540	27632.5	-0.02274	IBVS 6153
2453238.51120	27633.0	-0.02226	IBVS 6153
2453250.28140	27673.5	-0.02264	IBVS 6153
2453250.42750	27674.0	-0.02185	IBVS 6153
2453250.43010	27674.0	-0.01925	IBVS 5657
2453250.57210	27674.5	-0.02257	IBVS 6153
2453250.57440	27674.5	-0.02027	IBVS 5657
2453251.29920	27677.0	-0.02205	IBVS 6153
2453251.44410	27677.5	-0.02246	IBVS 6153
2453251.58850	27678.0	-0.02338	IBVS 6153

2453258.42210	27701.5	-0.01962	IBVS 5657
2453258.56770	27702.0	-0.01933	IBVS 5657
2453261.76530	27713.0	-0.01868	IBVS 5602
2453290.39230	27811.5	-0.01888	IBVS 5741
2453316.25750	27900.5	-0.01988	IBVS 5657
2453648.30300	29043.0	-0.02085	IBVS 5731
2453657.31290	29074.0	-0.02052	IBVS 5731
2453894.46918	29890.0	-0.01953	OEJV 0074
2454013.33780	30299.0	-0.01919	IBVS 5746
2454034.26271	30371.0	-0.01974	OEJV 0074
2454210.96590	30979.0	-0.02049	IBVS 5820
2454246.42232	31101.0	-0.02111	OEJV 0074
2454246.42261	31101.0	-0.02082	OEJV 0074
2454246.42277	31101.0	-0.02066	OEJV 0074
2454293.50406	31263.0	-0.02167	OEJV 0074
2454405.39599	31648.0	-0.02286	OEJV 0094
2454597.49943	32309.0	-0.02683	OEJV 0094
2454597.49969	32309.0	-0.02657	OEJV 0094
2454597.49989	32309.0	-0.02637	OEJV 0094
2454650.40199	32491.0	-0.0192	OEJV 0094
2454707.50500	32687.5	-0.02528	BAVM 203
2454750.08060	32834.0	-0.02719	Xiang 2009PASJ...61..499
2454750.95270	32837.0	-0.02698	Xiang 2009PASJ...61..499
2454751.09810	32837.5	-0.0269	Xiang 2009PASJ...61..499
2454752.11530	32841.0	-0.02691	Xiang 2009PASJ...61..499
2455050.44570	33867.5	-0.02972	BAVM 212
2455050.59080	33868.0	-0.02994	BAVM 212
2455073.40630	33946.5	-0.02901	BAVM 212
2455073.55060	33947.0	-0.03003	BAVM 212
2455398.47500	35065.0	-0.03162	BAVM 215
2455398.47500	35065.0	-0.03162	IBVS 5984
2455456.30815	35264.0	-0.03413	OEJV 0137
2455456.30905	35264.0	-0.03323	OEJV 0137
2455463.28379	35288.0	-0.03365	OEJV 0137
2455463.28409	35288.0	-0.03335	OEJV 0137
2455799.54090	36445.0	-0.03716	BAVM 225
2456006.61270	37157.5	-0.04029	IBVS 6048

2456013.00660	37179.5	-0.04028	IBVS 6050
2456159.33845	37683.0	-0.04138	OEJV 0160
2456159.48335	37683.5	-0.0418	OEJV 0160
2456463.48040	38729.5	-0.04528	OEJV 0160
2456463.48063	38729.5	-0.04505	OEJV 0160
2456517.39140	38915.0	-0.04642	IBVS 6084
2456540.35180	38994.0	-0.0459	IBVS 6118
2456541.36820	38997.5	-0.04671	IBVS 6118
2456799.44660	39885.5	-0.04907	IBVS 6149
2457204.43560	41279.0	-0.05504	IBVS 6157
2459433.11116	48947.0	-0.08698	งานวิจัยนี้
2459433.25799	48947.5	-0.08546	งานวิจัยนี้

จากตารางที่ 1 สามารถสร้างแผนภาพ O-C ของระบบดาวคู่ V700 Cyg และหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยสมการโพลิโนเมียลอันดับที่ 2 เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของดาวคู่ V700 Cyg ได้ดัง รูปที่ 2



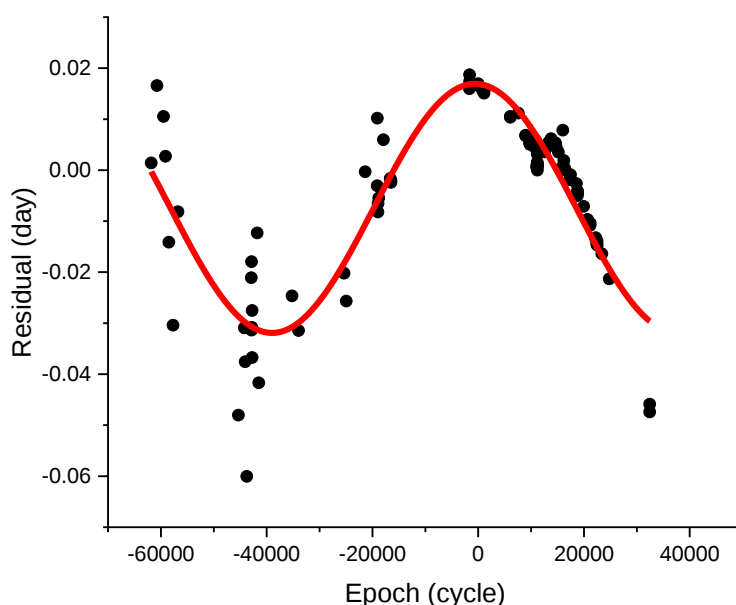
รูปที่ 2 แผนภาพ O-C ของระบบดาวคู่ V700 Cyg ที่แสดงเส้นแนวโน้มในรูปพหุนามลำดับที่สอง

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ V700 Cyg พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง O-C กับ Epoch เป็นดังสมการ

$$O-C = -1.484 \times 10^{-2} - 7.61942 \times 10^{-7} E - 4.64138 \times 10^{-12} E^2 \quad (2)$$

เมื่อตีฟเฟอเรเนียนซิทสมการที่ (2) เทียบกับ E เพื่อหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ V700 Cyg หรือ dP/dE ได้เท่ากับ -9.28276×10^{-12} Day/Epoch หรือ -9.97534×10^{-4} sec/year ซึ่งหมายถึงการลดลงของระยะห่างระหว่างดาวทั้งสอง จึงเป็นไปได้ว่าวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ V700 Cyg นี้สอดคล้องกับทฤษฎี Angular Momentum Loss (AML) ที่อธิบายถึงระบบดาวคู่แบบตะวันตกันชนิด W-subtype ที่มักเกิดการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมจากกระบวนการทางแม่เหล็กหรือการถ่ายโอนมวลระหว่างดาว (Yakut & Eggleton, 2005; Rucinski, 2000) ผลที่ได้สนับสนุนแนวคิดวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ประเภทนี้มีแนวโน้มที่ดาวทั้งสองจะเคลื่อนตัวเข้าใกล้กันมากขึ้น จนอาจเข้าสู่ภาวะสัมผัสเต็มหรือรวมตัวกันในอนาคต

นอกจากนี้ จากแผนภาพ O-C ที่ได้ยังพบลักษณะของการกระจายตัวของข้อมูลในบางช่วงที่อาจไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการพาราโบลาเพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจเป็นสัญญาณของการสั่นแบบวัฏจักร (Cyclic oscillation) ซ้อนอยู่บนแนวโน้มของคาบการโคจรที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง พฤติกรรมเช่นนี้เป็นไปได้ว่าเกิดจากผลของปรากฏการณ์แสงที่เดินทางต่างเวลา (Light-travel time effect: LTE) ซึ่งบ่งชี้ถึงการมีอยู่ของวัตถุที่สามในระบบ (Liao et al., 2012) ดังรูปที่ 3



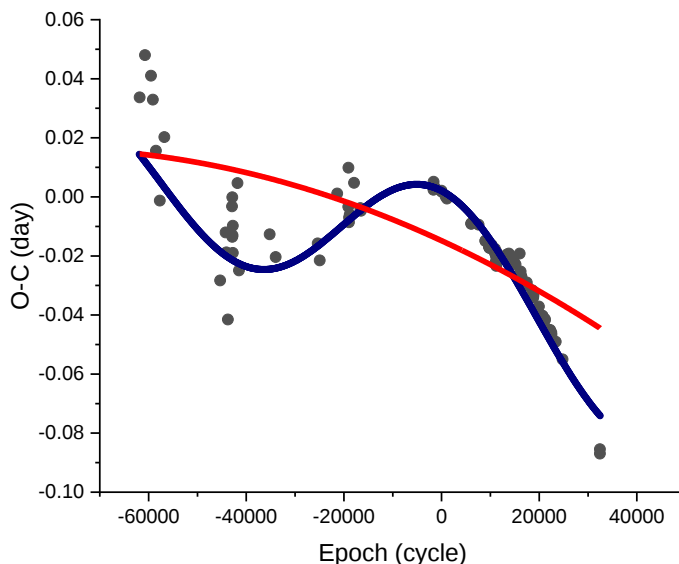
รูปที่ 3 แผนภาพ O-C ของระบบดาวคู่ V700 Cyg ที่แสดงแนวโน้มแบบเป็นคาบ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Residual กับ Epoch ของระบบดาวคู่ V700 Cyg ได้ผลเฉลยที่ดีที่สุด เป็นดังสมการ

$$\text{Residual} = -0.00748 + 0.02442 \sin\left(\pi \frac{E - 56975.94662}{38380.49967}\right) \quad (3)$$

จากสมการที่ 3 สามารถคำนวณได้ถึงถึงการมีอยู่ของวัตถุที่สามในระบบดาวคู่ V700 Cyg ที่ระยะห่าง 4.22 AU. และมีคาบการโคจร 52.069 ปี

เมื่อพิจารณาการรวมกันของ 2 สมการคือ สมการที่ (2) และ (3) แล้วพล็อตลงในแผนภาพ $O-C$ ได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภาพ $O-C$ ของระบบดาวคู่ V700 Cyg

จากรูปที่ 4 เป็นการเปรียบเทียบเส้นแนวโน้มทั้งแบบพาราโบลาและลักษณะคลื่นไซน์ในแผนภาพ $O-C$ โดยเส้นสีแดง เป็นสมการพาราโบลา ส่วนเส้นสีน้ำเงินเป็นผลรวมของสมการพาราโบลา และสมการคลื่นไซน์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องของผลการวิเคราะห์และข้อมูลจากการสังเกตการณ์

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแสงของระบบดาวคู่ V700 Cyg ที่ได้จากกล้องโทรทรรศน์ขนาด 0.7 เมตร ซึ่งติดตั้งเซนเซอร์ CCD พร้อมฟิลเตอร์ B และ V สามารถสร้างกราฟแสงของระบบดาวคู่นี้ได้อย่างชัดเจน และเมื่อวิเคราะห์แผนภาพ $O-C$ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคาบโคจร โดยพิจารณาจากการเปรียบเทียบเส้นแนวโน้มทั้งแบบพาราโบลาและลักษณะคลื่นไซน์ในแผนภาพ $O-C$ ผลการวิเคราะห์พบว่า คาบโคจรของระบบมีแนวโน้มลดลงในอัตรา -9.97534×10^{-4} วินาทีต่อปี ซึ่งหมายความว่า ดาวทั้งสองโคจรรอบกันเร็วขึ้นและเข้าใกล้กันมากขึ้นทุกปี สอดคล้องกับสมมติฐานว่าระบบอาจสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุม (AML) อันนำไปสู่การรวมตัวกันของดาวทั้งสองในอนาคต นอกจากนี้ยังพบว่า เส้นแนวโน้มลักษณะคลื่นไซน์ ซึ่งสามารถอธิบายรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลได้ดีกว่า โดยเฉพาะในช่วงที่พฤติกรรมของข้อมูลเบี่ยงเบนจากเส้นพาราโบลาอย่างมีนัยสำคัญ ลักษณะดังกล่าวอาจเกิดจากการมีอยู่ของวัตถุที่สามในระบบ โดยอยู่ที่ระยะห่าง 4.22 AU. และมีคาบการโคจร 52.069 ปี ทั้งนี้หากมีวัตถุที่สามอยู่จริง จะส่งผลให้ศูนย์กลางมวลของระบบหลักเคลื่อนที่ในลักษณะเป็นวงรอบดาวดวงที่สาม ทำให้เวลาที่เกิดความสว่างต่ำสุดของระบบดาวคู่เบี่ยงเบนไปในลักษณะเป็นคลื่นตามตำแหน่งของระบบในวงโคจรรอบวัตถุที่สาม ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถใช้ตรวจสอบวัตถุที่สามโดยอ้อม แม้ไม่มีภาพถ่ายโดยตรง หากแต่ข้อมูลในครั้งนี้นี้ยังอธิบายพฤติกรรมที่พบ โดยอาจเป็นแนวโน้มที่สนับสนุนการศึกษาต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- AAVSO. (2025). *Nelson's Database of Eclipsing Binary O-C Files*. Retrieved from <https://www.aavso.org/bob-nelsons-o-c-files>
- Kim, C. H., & Jeong, J. H. (2012). V700 Cygni: a dynamically active W UMa-type binary star II. *Journal of Astronomy and Space Sciences*, 29(2), 151-161.
- Kotková, L., & Wolf, M. (2006). *Information Bulletin on Variable Stars*, 5676.
- Liao, W. P., Qian, S. B., & Liu, N. P. (2012). A CCD photometric study of the contact binary star GSC 03526-01995. *The Astronomical Journal*, 144(6), 178-185.
- Qian, S. (2003). Are overcontact binaries undergoing thermal relaxation oscillation with variable angular momentum loss?. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 342(4), 1260-1270.
- Rucinski, S. M. (2000). W UMa-Type Binary Stars in Globular Clusters. *The Astronomical Journal*, 120(1), 319-332.
- SIMBAD Astronomical Database - CDS (Strasbourg). Retrieved from <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- Yakut, K., & Eggleton, P. P. (2005). Evolution of close binary systems. *The Astrophysical Journal*, 629(2), 1055-1074.
- Yang, Y. G., & Dai, H. F. (2009). A new photometric study for the weak-contact binary V700 Cygni. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 61(3), 577-584.

Received: September 6, 2025
Accepted: November 17, 2025

Revised: November 7, 2025
Published: December 26, 2025

การประเมินศักยภาพของเทคนิคการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์
เพื่อทำนายและเปรียบเทียบฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากชาเลือดมังกร
Evaluation of In Silico Screening Techniques for Predicting and Comparing
Bioactivities of Compounds from Dragon's Blood Tea

ภัทราวดี ศิริอำนวยลาภ¹ เตือนเต็ม ทองเผือก¹ รุจิเรข ปราชญากุล¹
อนันต์ พิริยะภัทรกิจ² ปราโมทย์ ไตรบุญ² และ วรัชรี วรรณรียกุล^{1*}

Pattharavadee Siriamnuaylap¹ Dueantem Thongphueak¹ Ruchirake Prachayakul¹
Anan Phiriyaphattharakit² Pramote Triboun² and Watcharee Waratchareeyakul^{1*}

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

² ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ (ศนก.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

¹ Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

² InnoAG : Expert Centre of Innovative Agriculture, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR)

* watcharee.w@rbru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพของเทคนิคการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์ (*in silico* screening) ในการทำนายฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสำคัญที่พบในต้นชาเลือดมังกร (*Peristrophe roxburghiana*) และเพื่อเปรียบเทียบผลการทำนายกับข้อมูลการทดลองเบื้องต้น เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของเทคนิคดังกล่าวกับผลจริงในห้องปฏิบัติการ ข้อมูลโครงสร้างของสารอินทรีย์ที่เคยรายงานในงานวิจัยที่ตีพิมพ์แล้วจำนวน 19 ชนิด ถูกนำมาสร้างเป็นแบบจำลองโครงสร้างสามมิติ และนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมและฐานข้อมูลออนไลน์ฟรี ได้แก่ SEA server, PharmMapper server และ PASS online เพื่อทำนายฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นไปได้ จากนั้นผลการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์ถูกเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์เชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากใบชาเลือดมังกร และใบของต้นชาเลือดมังกร ผลการศึกษาพบว่าสารในกลุ่ม Anthocyanidin Glycosides จากสารสกัดเมทานอล มีแนวโน้มแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้านการอักเสบ และต้านมะเร็ง ส่วนสารในกลุ่ม Alkaloids จากสารสกัดน้ำ มีแนวโน้มต้านเนื้องอกและลดการอักเสบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดปริมาณสารฟีนอลิกรวมที่พบว่ามีค่าสูงในสารสกัดน้ำ ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิคการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์สามารถช่วยคัดเลือกสารที่มีศักยภาพทางชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและสนับสนุนการวิจัยด้านผลิตภัณฑ์ธรรมชาติได้ดีในระดับหนึ่ง นอกจากนี้ โปรแกรมและฐานข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นแหล่งข้อมูลแบบเปิด (Open Access) ซึ่งมีประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ในงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำนายฤทธิ์ของสารจากธรรมชาติ

คำสำคัญ: ชาเลือดมังกร, การคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์, ต้นชาเลือดมังกร

Abstract

This study aimed to evaluate the potential of *in silico* screening techniques for predicting the bioactivities of compounds found in *Peristrophe roxburghiana* (Dragon's Blood Tea) and to compare the computational predictions with preliminary experimental data to assess their consistency. Nineteen organic compounds previously reported in published studies were selected and modeled into three-dimensional (3D) structures. These structures were analyzed using freely available online platforms, including the SEA server, PharmMapper server, and PASS online, to predict their possible biological activities. The *in silico* results were then compared with in vitro findings obtained from the determination of total phenolic content (TPC) of extracts from Dragon's Blood Tea leaves and fresh leaves of *P. roxburghiana*. The results revealed that anthocyanidin glycosides from the methanolic extract exhibited potential antioxidant, anti-inflammatory, and anticancer activities, while alkaloid compounds from the aqueous extract showed antineoplastic and anti-inflammatory potentials. These findings were consistent with the high TPC values observed in the aqueous extracts. The outcomes suggest that *in silico* screening can effectively identify bioactive compounds and serve as a supportive tool for natural product research. Moreover, the freely accessible databases and software used in this study provide a cost-effective and practical approach for researchers investigating bioactivity prediction of natural compounds.

Keywords: Dragon's Blood Tea, *In Silico* Screening, *Peristrophe roxburghiana*

บทนำ

ชาเลือดมังกร (Dragon's Blood Tea) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากต้นชาเลือดมังกร หรือที่รู้จักกันในชื่อ Magenta Plant มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Peristrophe roxburghiana* จัดอยู่ในวงศ์ Acanthaceae และมีชื่อพ้องทางพฤกษศาสตร์หลายชื่อ ได้แก่ *Justicia tinctoria* Roxb., *P. bivalvis* (L.) Merr. และ *P. tinctoria* (Roxb.) Nees. พืชชนิดนี้พบกระจายพันธุ์อย่างกว้างขวางในหลายภูมิภาคของโลก เช่น จีน กัมพูชา อินเดีย มาเลเซีย เวียดนาม ไนจีเรีย และประเทศไทย (Aluko et al., 2019: 1; Oguzie et al., 2021: 69) งานวิจัยทางเคมีและชีวเคมีก่อนหน้านี้รายงานว่าพืชชนิดนี้มีองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายกลุ่ม โดยเฉพาะแอนโธไซยานิน (Anthocyanins) โพลีฟีนอลิก (Polyphenolic compounds) และ แอลคาลอยด์ (Alkaloids) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ ต้านมะเร็ง และต้านจุลชีพ จุลินทรีย์ (Khue et al., 2014: 1; Yang et al., 2012: 1279; Thuy et al., 2012: 205)



รูปที่ 1 ต้นชาเลือดมังกร (ก) ใบ (ข) ดอก (ค) แปลงปลูก

สารสกัดจากใบต้นชาเลือดมังกรได้รับการศึกษาว่าสามารถลดความดันโลหิต ไชมันในเส้นเลือด และระดับครีเอตินิน พร้อมทั้งเพิ่มระดับกลูตาไธโอน เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือดในหนูทดลอง (Aluko et al., 2019: 1) โดยสารสกัดหยาดน้ำและเมทานอลแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแบบดีฟิฟิเอซ สารสกัดเมทานอลมีประสิทธิภาพสูงกว่า (Quan et al., 2016: 14) นอกจากนี้สารสกัดเอทานอลจากใบและลำต้นสามารถยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคหลายชนิด เช่น *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* และ *Pseudomonas aeruginosa* (Tanavade et al., 2012: 106; สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2565) รวมทั้งสารสกัดจากใบชาเลือดมังกรยังช่วยลดความหนืดของเลือดและป้องกันการเกิดลิ่มเลือดอุดตัน (Thuy et al., 2012: 1) อีกทั้งมีฤทธิ์ต้านการอักเสบในหนูทดลอง (Yang et al., 2012: 1279) โดยฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านี้ครอบคลุมถึงการชะลอความเสื่อมโทรมของร่างกาย ป้องกันหลอดเลือดอักเสบ ลดระดับคอเลสเตอรอล กระตุ้นการไหลเวียนโลหิต ลดความเสี่ยงโรคหัวใจและหลอดเลือด รวมทั้งป้องกันโรคมะเร็งและมะเร็งหลายชนิด เช่น มะเร็งลำไส้ ตับ เม็ดเลือดขาว ระบบสืบพันธุ์ และต้านไวรัสได้ (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2565) ชาเลือดมังกรยังถูกนำมาใช้ในยาแผนโบราณสำหรับรักษาวัณโรคปอด ไอเป็นเลือด โรคหลอดลมอักเสบ บำรุงกำลังและไต รวมถึงช่วยยับยั้งพิษงูเห่าและงูเขียวหางไหม้ เนื่องจากสารสกัดมีสีแดงอมม่วง จึงนิยมนำมาสกัดเป็นสีย้อมอาหาร สีย้อมผ้า และตากแห้งขบเคี้ยวเพื่อบำรุงสุขภาพ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ชาเลือดมังกร

Khue et al. (2014: 5) รายงานว่าในส่วนสกัดหยาดเมทานอลของต้นชาเลือดมังกรพบสารในกลุ่ม anthocyanidin glycosides หลายชนิด ได้แก่ Afzelechin(4-8)pelargonidyl glucoside (1), Pelargonidine-3-O-gentiobiose (2), Pelargonidine-3-O-sambabiose (3), 4'-Maloyl-3-rhamnozyl-

(4H,5H)pyranocyanidin (4), 4'-Oxaloyl-3-rhamnosyl-(4H,5H)pyranopeonidin (5), 4'-Sinpoyl-3-glucosyl-(4H,5H)pyranopeonidin (6) และ ขณะที่ส่วนสกัดหยาบน้ำมีสารสำคัญคือ Peristrophine (7) และ Perisbivalvine A (8) (Thuy et al., 2012: 205) นอกจากนี้ยังตรวจพบสารอินทรีย์รองอื่น ๆ ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น 1-Octadecanol, 3-Acetyl oleanolic acid, Allantoin, Apigenin, Catechin, Coumarin, Cyanidin-3-O- β -D-glucoside, Gallic acid, Isoquercetin, Kaempferol, Lupeol, Oleanolic acid, Quercetin, Rutin และ Tannic acid รวมทั้งสเตอรอลพื้นฐาน ได้แก่ Beta-sitosterol และ Beta-sitosterol glucoside (Daucosterol) (Yang et al., 2012: 1279; สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2565)

รายงานการวิจัยทางเคมีของชาเลื่อมังกรหลายฉบับแสดงให้เห็นว่า พืชสมุนไพรชนิดนี้มีศักยภาพสูงในการเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาเน้นการวิเคราะห์เชิงเคมีและการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพในห้องปฏิบัติการแบบดั้งเดิม (ทั้งในหลอดทดลองและในสัตว์ทดลอง) โดยยังไม่ได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์เพื่อทำนายฤทธิ์ของสารในพืชชนิดนี้อย่างเป็นระบบ หรือเปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างผลการทำนายเชิงคอมพิวเตอร์กับผลการทดลองจริง ซึ่งถือเป็นช่องว่างขององค์ความรู้ที่คณะผู้วิจัยมุ่งศึกษาต่อเพื่อเติมเต็ม

เทคนิคการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์ (*In silico* screening) เป็นแนวทางการวิเคราะห์เชิงโมเลกุลที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในงานวิจัยด้านเคมี ชีวเคมี และเภสัชศาสตร์ เนื่องจากสามารถทำนายฤทธิ์ทางชีวภาพของสารอินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว มีความแม่นยำสูง และช่วยลดข้อจำกัดด้านเวลา ทรัพยากร และค่าใช้จ่ายในกระบวนการวิจัยหรือพัฒนายา รวมถึงผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Benfenati et al., 2010: 153; Akram et al., 2019: 11; วัชรวิ วัชรจริยกุล และคณะ, 2564: 586) โดยเทคนิคนี้อาศัยหลักการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างโมเลกุลและฤทธิ์ทางชีวภาพ (Structure-activity relationship: SAR) เพื่อระบุสารที่มีศักยภาพสูงในการออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา ก่อนนำไปทดสอบในขั้นตอนเชิงทดลองจริง

อย่างไรก็ตาม การประเมินฤทธิ์ทางชีวภาพด้วยวิธีในห้องปฏิบัติการ (*In vitro*) หรือในสัตว์ทดลอง (*In vivo*) ส่วนใหญ่ประสบกับข้อจำกัดหลายประการ ทั้งด้านเวลา ทรัพยากร และต้นทุนการดำเนินงานที่สูง (Tani, 2013: 133) นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดทางจริยธรรมในการใช้สัตว์ทดลอง ทำให้เทคโนโลยีการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากสามารถจำลองกลไกการออกฤทธิ์ของสารอินทรีย์ในระดับโมเลกุล และช่วยทำนายเป้าหมายทางชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ โดยเฉพาะเมื่อผสมผสานกับฐานข้อมูลขนาดใหญ่และแบบจำลองฟาร์มาโคฟอร์ (Pharmacophore modeling) ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการออกแบบยาเชิงคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน (Liu et al., 2010: 609; Wang et al., 2017: 356; Akram et al., 2017: 1)

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา มีการพัฒนาแพลตฟอร์มออนไลน์และฐานข้อมูลแบบเปิด (Open-access Databases) สำหรับการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานได้ฟรี เช่น SEA Server, PharmMapper server และ PASS online ซึ่งสามารถประมวลผลและทำนายเป้าหมายทางชีวภาพของสารประกอบได้อย่างหลากหลาย (Keiser et al., 2007: 197; Liu et al., 2010: 609; Wang et al., 2016: 1175; Wang et al., 2017: 256; Lagunin et al., 2000: 747; Rudik et al., 2025: 1) เครื่องมือเหล่านี้ช่วยให้นักวิจัยสามารถคัดเลือกสารที่มีแนวโน้มออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูงได้โดยไม่ต้องดำเนินการทดลองทุกขั้นตอนใน

ห้องปฏิบัติการ ส่งผลให้เทคนิคดังกล่าวถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในการศึกษาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ (วัชร วรรณฤกุล และคณะ, 2564: 586)

SEA (Similarity Ensemble Approach) ใช้วิธีเปรียบเทียบโครงสร้างทางเคมีของสารกับฐานข้อมูล ลิแกนด์มากกว่า 65,000 ชนิด เพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลของสารกับโปรตีนเป้าหมาย โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทานิโมโต้ (Tanimoto coefficient) ในการวัดความคล้ายคลึงของโครงสร้าง และค่าความน่าจะเป็นเชิงสถิติ (P-value) เพื่อยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างสารกับโปรตีน โปรแกรมนี้ช่วยระบุได้ว่าสารนั้นมีแนวโน้มจับกับโปรตีนชนิดใด และมีศักยภาพในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระดับใด (Keiser et al., 2007: 197-206)

สำหรับ PharmMapper server เป็นแพลตฟอร์มออนไลน์ที่ทำหน้าที่ทำนายโปรตีนหรือเอนไซม์เป้าหมายที่มีแนวโน้มจับกับโมเลกุลของสาร โดยอาศัยหลักการ “ฟาร์มาโคฟออร์แมปปิง” (Pharmacophore mapping) ซึ่งวิเคราะห์รูปแบบเชิงพื้นที่ของหมู่ฟังก์ชันที่จำเป็นต่อการจับกับรีเซพเตอร์ โปรแกรมนี้มีแบบจำลองฟาร์มาโคฟออร์ (Pharmacophore models) มากกว่า 50,000 โมเดลจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ เช่น DrugBank และ Protein Data Bank ผลลัพธ์จาก PharmMapper แสดงในรูปค่าความเหมาะสม (Fit score) ซึ่งใช้จัดลำดับความน่าจะเป็นของการจับระหว่างโมเลกุลและโปรตีนเป้าหมาย (Liu et al., 2010: 609-614; Wang et al., 2016: 1175; Wang et al., 2017: 356)

ส่วน PASS (Prediction of Activity Spectra for Substances) เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ทำนายฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นไปได้ของสารอินทรีย์มากกว่า 300 ประเภท เช่น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ หรือยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็ง โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเคมีกับฤทธิ์ทางชีวภาพ (Structure-Activity Relationship; SAR) โปรแกรมนี้ให้ผลลัพธ์ในรูปค่าความน่าจะเป็นของการเกิดฤทธิ์ (Probable Activity: Pa) และค่าความเป็นไปได้อันจะไม่เกิดฤทธิ์ (Probable Inactivity: Pi) ซึ่งหากค่า Pa มากกว่า 0.7 จะบ่งชี้ว่าสารนั้นมีโอกาสสูงที่จะมีฤทธิ์ทางชีวภาพตามที่ทำนายไว้ (Lagunin et al., 2000: 747-748; Rudik et al., 2025: 1-2)

โดยสรุป โปรแกรมทั้งสามระบบนี้มีหลักการทำงานแตกต่างกันแต่เสริมกันอย่างลงตัว SEA ใช้การเปรียบเทียบโครงสร้างเพื่อระบุโปรตีนเป้าหมายหลัก PharmMapper ช่วยระบุเอนไซม์หรือโปรตีนที่อาจเกี่ยวข้องกับกลไกการออกฤทธิ์ ส่วน PASS ใช้ยืนยันแนวโน้มของฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นไปได้ ผลการวิเคราะห์ร่วมกันจากทั้งสามระบบจึงช่วยให้สามารถคัดเลือกสารที่มีศักยภาพสูงทางชีวภาพจากขบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ ก่อนการนำไปทดสอบยืนยันในห้องปฏิบัติการ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งใช้เทคนิคการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์เพื่อทำนายและประเมินฤทธิ์ทางชีวภาพของสารที่รายงานว่าพบในต้นชาเล็ดมังกร พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการทำนายกับข้อมูลการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อประเมินความสอดคล้องและศักยภาพของเทคนิค *In silico* ในการสนับสนุนการวิจัยด้านผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการใช้ฐานข้อมูลแบบเปิด ซึ่งช่วยลดต้นทุนและเพิ่มโอกาสในการเข้าถึงเครื่องมือวิจัยสำหรับนักวิทยาศาสตร์ทุกสาขา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินศักยภาพของเทคนิคการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์ในการทำนายฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสำคัญที่พบในต้นชาเล็ดมังกร

2. เพื่อเปรียบเทียบผลการทำนายเชิงคอมพิวเตอร์กับผลการทดลองทางเคมีเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการ เพื่อประเมินความสอดคล้องของผลลัพธ์ระหว่างข้อมูลเชิงทำนายและข้อมูลเชิงทดลอง

3. เพื่อระบุสารสำคัญที่มีศักยภาพสูงทางชีวภาพในชาเลือดมังกร ซึ่งอาจนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติหรือสารนำต้นแบบทางเภสัชกรรมในอนาคต

4. เพื่อแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมและประโยชน์ของการใช้ฐานข้อมูลและโปรแกรมแบบเปิด (Open-access) ในการสนับสนุนงานวิจัยด้านผลิตภัณฑ์ธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะเชิงวิเคราะห์โดยผสานระหว่างการทดลองทางเคมีและเทคนิคการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์ เพื่อประเมินและทำนายฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสำคัญในต้นชาเลือดมังกร โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. การเก็บตัวอย่างพืช

เก็บตัวอย่างพืชชาเลือดมังกรจาก บ้านห้วยน้ำกิน บ้านเลขที่ 101 หมู่ที่ 13 ตำบลแม่เจดีย์ อำเภอยางป่าเป้า จังหวัดเชียงราย และเก็บใบของต้นชาเลือดมังกรจาก สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) บ้านเลขที่ 35 หมู่ที่ 3 เทคโนธานี ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี เพื่อใช้เป็นวัสดุต้นแบบในการสกัดและวิเคราะห์

2. การเตรียมและสกัดสารจากชาเลือดมังกร

ตัวอย่างพืชที่เก็บได้ถูกทำให้แห้งในที่ร่มและบดให้ละเอียด จากนั้นนำไปสกัดด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน (Hexane), ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane), เมทานอล (Methanol) และ น้ำตามลำดับ เพื่อแยกสารออกตามขั้วของตัวทำละลาย จะได้สารสกัดหยาบทั้งหมด 8 ส่วน (ประกอบด้วยส่วนสกัดจากชาชาเลือดมังกรและใบชาเลือดมังกรอย่างละ 4 ส่วน) สารสกัดที่ได้ถูกกรองและระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary evaporator) แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อใช้ในการทดสอบทางเคมีและวิเคราะห์เชิงคอมพิวเตอร์ต่อไป

3. การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดใช้ วิธี Folin-Ciocalteu ตามรายงานของ Wairata et al. (2022) โดยใช้ กรดแกลลิก (Gallic acid) เป็นสารมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 0–200 มิลลิกรัมต่อลิตร นำสารสกัดทั้ง 8 ส่วน (ที่ความเข้มข้น 1000 ppm) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย 10% Folin-Ciocalteu ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันและพักไว้ 5 นาที จากนั้นเติมสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 5% ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร และบ่มที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้น วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer รุ่น T60 UNNIS โดยใช้เมทานอลเป็นสารบลังก์ (Blank) และคำนวณค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วยมิลลิกรัมกรดแกลลิกเทียบเท่าต่อกรัมของสารสกัด (mg GAE/g extract)

4. การรวบรวมข้อมูลสารประกอบทางเคมี

ทำการสืบค้นข้อมูลสารประกอบที่แยกได้จากต้นชาเลือดมังกรจากแหล่งข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ เช่น ฐานข้อมูล PubChem, DrugBank และบทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ จากนั้นคัดเลือกเฉพาะสารประกอบที่มีการรายงานโครงสร้างทางเคมีอย่างสมบูรณ์ เช่น ฟลาโวนอยด์ แอลคาลอยด์ หรือเทอร์ปีนอยด์ พร้อมจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์โครงสร้างสามมิติ (SDF หรือ MOL2) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

5. การวิเคราะห์และทำนายฤทธิ์ทางชีวภาพด้วยเทคนิคเชิงคอมพิวเตอร์

ดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมและฐานข้อมูล 3 ระบบหลัก ได้แก่ SEA เพื่อประเมินความคล้ายคลึงของโครงสร้างทางเคมีกับลิแกนด์ของโปรตีนเป้าหมาย ส่วน PharmMapper Server เพื่อทำนายโปรตีนหรือเอนไซม์เป้าหมายของสารแต่ละชนิดโดยอาศัยแบบจำลองฟาร์มาโคฟอร์ และ PASS Online เพื่อทำนายฤทธิ์ทางชีวภาพของสารอินทรีย์ในรูปแบบความน่าจะเป็นของการมีฤทธิ์ทางชีวภาพ (Pa) และไม่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ (Pi)

6. การวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้

ผลการทำนายจากแต่ละโปรแกรมจะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อระบุสารที่มีศักยภาพสูงทางชีวภาพ โดยพิจารณาจากความสอดคล้องของโปรตีนเป้าหมายและชนิดของฤทธิ์ที่ทำนายได้ หากสารใดมีผลการทำนายตรงกันจากหลายโปรแกรม จะถือว่ามีความน่าเชื่อถือสูง จากนั้นจัดทำตารางสรุปผลการคัดกรอง พร้อมแปลผลในเชิงชีวภาพเพื่อชี้แนะแนวทางในการศึกษาต่อเชิงทดลอง

7. การตรวจสอบและตีความผลลัพธ์

ข้อมูลที่ได้จากการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์จะถูกวิเคราะห์เชิงสถิติและตีความในเชิงชีวเคมี เพื่อระบุประเภทของฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีแนวโน้มเกิดขึ้นมากที่สุด เช่น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ หรือยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับโรคเรื้อรัง ผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับรายงานการวิจัยเดิมเพื่อประเมินความสอดคล้องของผลการทำนาย

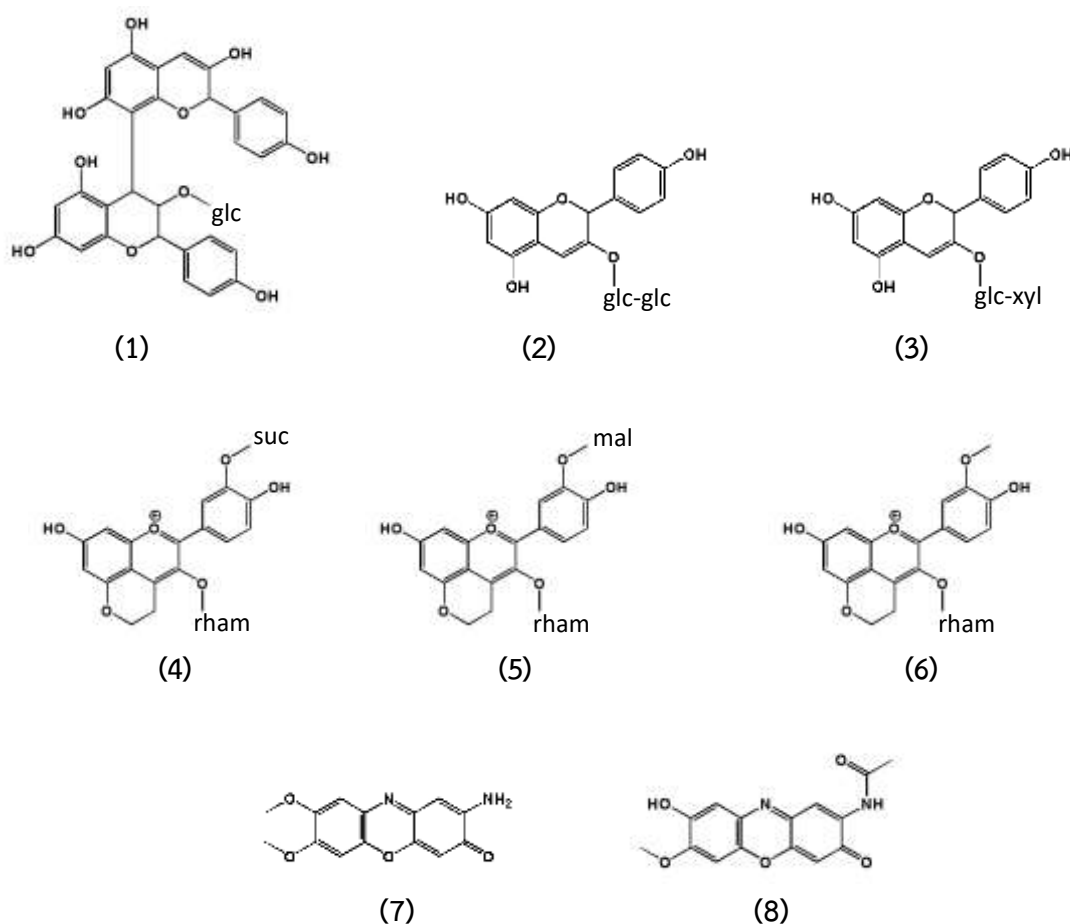
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

สารประกอบอินทรีย์ที่ถูกนำมาวิเคราะห์การทำนายฤทธิ์ทางชีวภาพโดยใช้การคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์เป็นสารที่มีปริมาณมากในส่วนสกัดหยาบเมทานอลของต้นชาเล็ดมังกร จำนวน 6 ชนิด คือ Afzelechin (4-8) pelargonidyl glucoside (1), Pelargonidine-3-O-gentiobiose (2), Pelargonidine-3-O-sambabiose (3), 4'-Maloyl-3-rhamnozyl-(4H,5H) pyranocyanidin (4), 4'-Oxaloyl-3-rhamnozyl-(4H,5H) pyranopeonidin (5) และ 4'-Sinpoyl-3-glucosyl-(4H, 5H) pyranopeonidin (6) (Khue et al., 2014: 5) นอกจากนี้ยังใช้โครงสร้างสารที่มีปริมาณมากในส่วนสกัดหยาบน้ำ จำนวน 2 ชนิด คือ Peristrophine (7) และ Perisbivalvine A (8) (Thuy et al., 2012: 205) ดังรูปที่ 3

หลังจากทดสอบด้วย SEA พบว่าสารประกอบอินทรีย์หมายเลข 1-8 ที่สกัดได้จากชาเล็ดมังกรมีค่าสัมประสิทธิ์ทานิโมโต้ (Tanimoto coefficient, TC) อยู่ในช่วง 0.30-0.39 ซึ่งจัดอยู่ในระดับความคล้ายคลึงปานกลางเมื่อเทียบกับสารอ้างอิงในฐานข้อมูลของ SEA ค่า TC ยิ่งสูงหมายถึงโครงสร้างของลิแกนด์มีความคล้ายคลึงกับสารอ้างอิงมาก ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับความน่าจะเป็นที่สารนั้นจะจับกับโปรตีนเป้าหมายเดียวกัน (Keiser et al., 2007: 198) โดยค่า MaxTC ที่ปรากฏในผลการวิเคราะห์ของแต่ละสารแสดงถึงค่าความคล้ายคลึงสูงสุด ที่โมเลกุลนั้นมีต่อสารอ้างอิงที่ถูกใช้ในการทำนาย ดังนั้นค่า MaxTC ที่อยู่ในช่วง 0.30-0.39 จึงบ่งชี้ว่าสารเหล่านี้มีโครงสร้างบางส่วนที่สอดคล้องกับสารที่ทราบฤทธิ์ทางชีวภาพแล้วเพียงพอให้สามารถทำนายแนวโน้มการออกฤทธิ์ได้ แม้ไม่เหมือนกันทั้งหมดก็ตาม ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของสารจากธรรมชาติที่มักมีหมู่ฟังก์ชันหลายชนิดและอาจออกฤทธิ์ผ่านกลไกหลายเส้นทาง (Multimodal bioactivity)

สำหรับค่า P-value ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย SEA นั้นเป็นตัวบ่งชี้ระดับความเชื่อมั่นเชิงสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างลิแกนด์และโปรตีนเป้าหมาย ค่า P-value ที่มีค่าน้อย (เช่น $< 10^{-15}$ ตามที่ปรากฏในตารางที่ 1 หมายความว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวเกิดขึ้นโดยบังเอิญได้ยากมากหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การทำนาย

ความสัมพันธ์ระหว่างสารกับโปรตีนเป้าหมายนั้นมีนัยสำคัญทางสถิติสูง ดังนั้น ค่า P-value ระดับ 10^{-16} จึงถือว่าเป็นหลักฐานเชิงคำนวณที่น่าเชื่อถือว่ามีความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างโมเลกุลของสารกับโปรตีนที่ระบบทำนายไว้ เช่น VEGFA, ESR1, LOX5, ESR2 และ CREB1 **ดังตารางที่ 1**



รูปที่ 3 สารประกอบอินทรีย์ที่ถูกนำมาวิเคราะห์การทำนายฤทธิ์ทางชีวภาพ
 ที่มา: Khue et al. (2014: 5) และ Thuy et al. (2012: 205)

ตารางที่ 1 ผลการทำนายฤทธิ์ทางชีวภาพของส่วนสกัดหยาดเมฆานอลและน้ำโดยใช้เซิร์ฟเวอร์ซี

P-Value	MaxTC	กลุ่มเป้าหมาย	สาร	ฤทธิ์ทางชีวภาพ
6.66×10^{-16}	0.30	CREB1_HUMAN	8	ต้านอนุมูลอิสระ, ต้านมะเร็ง และป้องกันโรคสมองเสื่อม
5.55×10^{-16}	0.36	ESR1_RAT	2-3	ต้านอนุมูลอิสระ และต้านมะเร็งเต้านม
4.44×10^{-16}	0.36	LOX5_RAT	7	ต้านอนุมูลอิสระ, ต้านอักเสบ, ลดความดัน และต้านมะเร็ง
2.22×10^{-16}	0.35	VEGFA_HUMAN	1	ต้านอนุมูลอิสระ, ต้านมะเร็ง และโรคจอตาเสื่อมจากหลอดเลือดผิดปกติ
4.57×10^{-17}	0.39	ESR2_HUMAN	4-6	ต้านอนุมูลอิสระ, ต้านอักเสบ และต้านมะเร็ง

ผลการทำนายของ SEA แสดงให้เห็นว่าสารในกลุ่มแอนโทไซยานิดินไกลโคไซด์ (Anthocyanidin glycosides) ซึ่งพบมากในส่วนสกัดหยาดเมฆานอลของชาเล็ดมังกร (สาร 1-6) แสดงศักยภาพในการต้าน

อนุมูลอิสระ ด้านการอักเสบ ด้านมะเร็ง และยับยั้งการสร้างเส้นเลือดใหม่ (Anti-angiogenic effect) โดยการเชื่อมโยงกับโปรตีน VEGFA_HUMAN ซึ่งเกี่ยวข้องกับการควบคุมการสร้างหลอดเลือด กลไกนี้สอดคล้องกับรายงานที่ระบุว่าสาร Anthocyanidin สามารถยับยั้งการส่งสัญญาณของ VEGFA และ NF- κ B ซึ่งเป็นเส้นทางหลักในการกระตุ้นการอักเสบและการเจริญของหลอดเลือดผิดปกติ (Karlsen et al., 2007: 1951; Ma et al., 2021: 6)

นอกจากนี้ สาร Pelargonidine-3-O-gentiobiose (2) และ Pelargonidine-3-O-sambabiose (3) แสดงความสัมพันธ์กับโปรตีน ESR1_RAT ซึ่งเป็นตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจนชนิด α (Estrogen Receptor α ; ER α) ที่เกี่ยวข้องกับมะเร็งเต้านม โดยมีค่า MaxTC ประมาณ 0.36 และค่า P-value 5.55×10^{-16} ซึ่งอยู่ในช่วงนัยสำคัญสูง ผลนี้ชี้ว่าสารในกลุ่มนี้อาจมีฤทธิ์ยับยั้งการจับของเอสโตรเจนกับ ER α ทำให้ลดการเจริญของเซลล์มะเร็งเต้านม สอดคล้องกับรายงานที่พบว่า Anthocyanidin บางชนิดสามารถยับยั้งการแสดงออกของ ER α และลดการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งเต้านมได้ (Kowalczyk et al., 2024: 1) ส่วนสาร 4-6 ที่สัมพันธ์กับโปรตีน ESR2_HUMAN หรือ Estrogen Receptor β (ER β) มีแนวโน้มออกฤทธิ์คล้ายกันแต่เกี่ยวข้องกับการต้านการอักเสบและการควบคุมภูมิคุ้มกันมากกว่า ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพของกลุ่มสารนี้ในการปรับสมดุลระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย

ในขณะที่สารในกลุ่มแอลคาลอยด์จากส่วนสกัดน้ำ (สาร 7-8) แสดงแนวโน้มการจับกับโปรตีน LOX5_RAT และ CREB1_HUMAN ตามลำดับ โดยเฉพาะ Perisbivalvine A (8) ซึ่งให้ค่า P-value 6.66×10^{-16} และค่า MaxTC 0.30 บ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญสูงกับโปรตีน CREB1 ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของสมอง การสร้างความจำ และการควบคุมการอยู่รอดของเซลล์ประสาท การทำนายนี้สอดคล้องกับคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระและสารปกป้องระบบประสาท (Neuroprotective agents) ที่สามารถกระตุ้นการทำงานของยีน CREB และลดความเสียหายของเซลล์สมองได้ ส่วน Peristrophine (7) มีค่า P-value 4.44×10^{-16} และ MaxTC 0.36 สัมพันธ์กับเอนไซม์ LOX5 ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ลิพิดโคไตรอิน (Leukotrienes) ตัวกระตุ้นสำคัญของการอักเสบ แสดงถึงความเป็นไปได้ที่สารนี้จะออกฤทธิ์ลดการอักเสบ ลดความดันโลหิต และยับยั้งการเกิดมะเร็งผ่านกลไกการยับยั้ง LOX5 (Lipoxygenase inhibition)

โดยสรุป ผลการทำนายจาก SEA แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากชาเลือดมังกรทั้งในส่วนของเมทานอลและน้ำ มีแนวโน้มออกฤทธิ์ต่อโปรตีนเป้าหมายที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันความเสียหายของเซลล์ การควบคุมการอักเสบ ระบบหลอดเลือด และระบบประสาท โดยมีค่าทางสถิติ (P-value) และค่าความคล้ายคลึงเชิงโครงสร้าง (MaxTC) อยู่ในระดับที่เชื่อถือได้ ซึ่งสะท้อนถึงความเป็นไปได้สูงในการออกฤทธิ์จริงในระบบชีวภาพ ผลการทำนายนี้จึงเป็นข้อมูลสำคัญในการชี้นำทิศทางการศึกษาต่อในระดับ Molecular docking และการทดสอบ *In vitro* เพื่อยืนยันกลไกการออกฤทธิ์ของสารสำคัญในชาเลือดมังกรอย่างเป็นระบบในอนาคต

ผลการทำนายเป้าหมายด้วย PharmMapper server พบว่าสารสกัดหยาบเมทานอลของต้นชาเลือดมังกร (ประกอบด้วย Anthocyanidin glycosides 1-6) มีแนวโน้มออกฤทธิ์สำคัญ ได้แก่ ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสัมพันธ์กับการป้องกันการอักเสบ โรคหัวใจและหลอดเลือด ตลอดจนโรคมะเร็ง โดยเฉพาะสาร 4-6 ยังแสดงศักยภาพด้านจุลินทรีย์เพิ่มเติม ขณะที่สารสกัดหยาบน้ำซึ่งประกอบด้วยแอลคาลอยด์ 7-8 แสดงศักยภาพด้านการอักเสบ ยับยั้งการรุกรานของเซลล์มะเร็ง ปกป้องเนื้อเยื่อ รวมถึงต้านมะเร็งที่เกี่ยวข้องกับ T-cell อีกทั้งยังเสริมฤทธิ์ด้านเชื้อแบคทีเรีย ด้านพังผืด และขยายหลอดเลือด **ดังตารางที่ 2**

ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารด้วยเซิร์ฟเวอร์ทำนายเป้าหมายเภสัชโมเดล (PharmMapper) พบว่าสารสกัดหยาบเมทานอลของชาเลือดมังกร ซึ่งประกอบด้วยสารกลุ่มแอนโธไซยานินไกลโคไซด์

(anthocyanidin glycosides; สารที่ 1-6) แสดงแนวโน้มการออกฤทธิ์ในหลายเส้นทางชีวภาพ โดยเฉพาะการจับกับโปรตีน Borealin, Adenosylhomocysteinase และ Nonaheme cytochrome C ซึ่งเกี่ยวข้องกับการควบคุมวัฏจักรเซลล์ การสังเคราะห์โปรตีน และกระบวนการถอดรหัสในเซลล์ การจับกับโปรตีนเหล่านี้สะท้อนศักยภาพของสารในการต้านอนุมูลอิสระและยับยั้งการเพิ่มจำนวนของเซลล์มะเร็ง ซึ่งสอดคล้องกับกลไกที่ทำนายจาก SEA ที่พบว่าสารในกลุ่มนี้มีความสัมพันธ์กับโปรตีน VEGFA และ ESR (ตารางที่ 1) ผลลัพธ์จาก PharmMapper ยังแสดงว่า สารที่ 4-6 มีแนวโน้มออกฤทธิ์ต้านจุลชีพและไวรัสผ่านการจับกับเอนไซม์ Probable threonine synthase, Gag-Pol polyprotein และ NADP-dependent alcohol dehydrogenase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนและการคงสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ในสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เหล่านี้อาจส่งผลต่อการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและไวรัส จึงสนับสนุนแนวคิดที่ว่าสารกลุ่มนี้มีศักยภาพต้านจุลชีพในระดับเซลล์อย่างแท้จริง

ตารางที่ 2 การทำนายเป้าหมายเภสัชโมเดลและฤทธิ์ทางชีวภาพของส่วนสกัดหยาบเมทานอลและน้ำ

สาร	เป้าหมาย	ฤทธิ์ทางชีวภาพ
1	Borealin	ต้านมะเร็งและควบคุมการเจริญเติบโตของเซลล์
	Adenosylhomocysteinase	ต้านอนุมูลอิสระ, ต้านมะเร็ง และโรคหัวใจ
2-3	Nonaheme cytochrome C	ต้านแบคทีเรียบางชนิด
4-6	Probable threonine synthase	ต้านแบคทีเรียและต้านรา
	Gag-Pol polyprotein	ต้านไวรัส
	NADP-dependent alcohol dehydrogenase	ฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์
	FK506-binding protein 4 (FKBP4)	ต้านอนุมูลอิสระ, ต้านการอักเสบ และต้านมะเร็ง
7	Hyaluronate lyase	ต้านการอักเสบ, ต้านการรุกรานมะเร็ง, ปกป้องเนื้อเยื่อ
	Protein unc-45 homolog A	ต้านมะเร็ง, ต้านการแพร่กระจายของเซลล์, ควบคุมการเคลื่อนที่ของเซลล์
8	Thymocyte selection-TOX	ต้านมะเร็งที่เกี่ยวข้องกับ T-cell
	Protein translocase subunit SecA	ต้านเชื้อแบคทีเรีย
	Rho-associated protein kinase 2	ต้านอนุมูลอิสระ, ต้านการอักเสบ, ต้านพังผืด, ขยายหลอดเลือด

ขณะที่สารจากส่วนสกัดน้ำ (สาร 7-8) ซึ่งอยู่ในกลุ่มแอลคาลอยด์ แสดงแนวโน้มออกฤทธิ์ที่สอดคล้องกับผลการคัดกรองจาก SEA เช่นเดียวกัน โดย PharmMapper ทำนายว่ามีความสัมพันธ์กับโปรตีน Hyaluronate lyase, Protein unc-45 homolog A และ Rho-associated protein kinase 2 ซึ่งเป็นโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการอักเสบ การซ่อมแซมเนื้อเยื่อ และการควบคุมการเคลื่อนที่ของเซลล์ ผลนี้ชี้ว่ากลุ่มสารแอลคาลอยด์จากชาเล็ดม้งกรอาจช่วยลดการอักเสบ ยับยั้งการรุกรานของเซลล์มะเร็ง และป้องกันการเกิดพังผืดในร่างกายได้ นอกจากนี้ การจับกับโปรตีน Thymocyte selection-TOX และ Protein translocase subunit Sec A ยังสะท้อนถึงความสามารถของสาร Perisbivalvine A (สารที่ 8) ในการยับยั้งกระบวนการคัดเลือกเซลล์ T และกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนของแบคทีเรีย ซึ่งสอดคล้องกับฤทธิ์ต้านแบคทีเรียที่พบจากการทำนายของ SEA ที่แสดงแนวโน้มการยับยั้งโปรตีน LOX5 และ CREB1 ที่เกี่ยวข้องกับการอักเสบและการควบคุมระบบประสาท

ค่าความเหมาะสม (Fit score) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย PharmMapper แสดงถึงระดับการเข้ากันของโครงสร้างโมเลกุลของสารกับโมเดลฟาร์มาโคฟอร์ในฐานข้อมูล โดยค่า Fit score ที่สูงสะท้อนถึงความเป็นมาที่โมเลกุลจะจับกับโปรตีนเป้าหมายที่คาดการณ์ไว้ ในการศึกษาพบว่าสารกลุ่มแอนโธไซยานินดินและแอลคาลอยด์มีค่า Fit score อยู่ในระดับสูงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งยืนยันว่าการทำนายด้วย SEA และ PharmMapper มีความสอดคล้องกันในเชิงโครงสร้างและกลไกการออกฤทธิ์

ตารางที่ 3 การทำนายฤทธิ์ทางชีวภาพของส่วนสกัดหยาดเมฆทานอลและน้ำโดยใช้พาส

สาร	Pa	คำอธิบาย	ฤทธิ์ทางชีวภาพ
1	0.929	Membrane integrity agonist	การต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบ
	0.920	Free radical scavenger	ต้านอนุมูลอิสระ
2-3	0.962	Membrane integrity agonist	การต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบ
	0.931	HIF1A expression inhibitor	การต้านอนุมูลอิสระและต้านมะเร็ง
4-6	0.923	Membrane integrity agonist	การต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบ
	0.903	Histidine kinase inhibitor	ต้านแบคทีเรีย
7	0.803	Antineoplastic	ต้านมะเร็ง ต้านเนื้องอก
	0.780	Gluconate 2-dehydrogenase (acceptor) inhibitor	ต้านเนื้องอก
8	0.798	Membrane integrity agonist	การต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบ
	0.729	Histamine release inhibitor	ต้านการอักเสบและลดอาการแพ้

เมื่อเปรียบเทียบผลการคัดกรองด้วย PASS (ตารางที่ 3) พบว่าสารกลุ่มแอนโธไซยานินดิน (1-6) ให้ค่าความน่าจะเป็นของการออกฤทธิ์ (Pa) สูงกว่า 0.90 ซึ่งอยู่ในระดับที่มีแนวโน้มเกิดฤทธิ์ทางชีวภาพสูง โดยเฉพาะกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการคงสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ การกำจัดอนุมูลอิสระ และการยับยั้งเอนไซม์ Histidine kinase ที่เกี่ยวข้องกับการอักเสบและการติดเชื้อแบคทีเรีย ผลนี้สอดคล้องกับค่าการจับของโปรตีนเป้าหมายจาก PharmMapper ที่แสดงแนวโน้มต้านแบคทีเรียและต้านอักเสบเช่นเดียวกัน นอกจากนี้สารบางชนิดในกลุ่มนี้ยังมีค่า Pa สูงต่อการยับยั้งการแสดงออกของ HIF-1 α ซึ่งสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านมะเร็งโดยการยับยั้งการสร้างหลอดเลือดในเนื้องอกอีกด้วย

สำหรับสารกลุ่มแอลคาลอยด์ (7-8) ที่พบในส่วนสกัดน้ำ ให้ค่า Pa อยู่ในช่วง 0.78–0.80 สำหรับฤทธิ์ Antineoplastic และการยับยั้งเอนไซม์ Gluconate 2-dehydrogenase (Acceptor) รวมถึงฤทธิ์ป้องกันเยื่อเมือกและยับยั้งการปล่อยฮิสตามีนซึ่งแปลว่ามีแนวโน้มสูงในการลดการอักเสบและบรรเทาอาการแพ้ ผลเหล่านี้สนับสนุนกลไกที่ทำนายจาก SEA ว่าสารกลุ่มแอลคาลอยด์อาจทำหน้าที่ปกป้องระบบประสาทและลดการอักเสบในระดับเซลล์ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการควบคุมการทำงานของ CREB1 และ LOX5 ที่พบจากการทำนายก่อนหน้านี้

จากผลการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์ทั้งสามระบบ ได้แก่ SEA, PharmMapper และ PASS สามารถสรุปได้ว่าสารสำคัญจากชาเล็ดม้งมีแนวโน้มสูงที่จะออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ ต้านมะเร็ง และลดความเสี่ยงโรคที่เกี่ยวข้องกับหลอดเลือด ซึ่งกลไกหลักที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลองคอมพิวเตอร์นั้นเกี่ยวข้องกับการยับยั้งโปรตีนกลุ่ม VEGFA, LOX5 และ ESR รวมถึงการกระตุ้นโปรตีน CREB1 ที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันความเสียหายของเซลล์ประสาท อย่างไรก็ตาม ผลการทำนายเชิงคอมพิวเตอร์จำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนด้วยข้อมูลเชิงทดลองที่สามารถยืนยันศักยภาพในการออกฤทธิ์จริงของสารในพืชชนิดนี้ การวัด

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมจึงมีบทบาทสำคัญในฐานะการทดสอบเบื้องต้นที่ช่วยยืนยันความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด

สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) เป็นกลุ่มของสารธรรมชาติที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เชื่อมกับวงแหวนเบนซีน ซึ่งสามารถบริจาคอิเล็กตรอนให้แก่อนุมูลอิสระได้โดยตรง จึงทำหน้าที่เป็นตัวลดที่มีประสิทธิภาพสูงในการทำให้อนุมูลอิสระที่มีพลังงานสูงกลายเป็นโมเลกุลที่มีเสถียรภาพ ป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระเหล่านั้นเข้าไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ โปรตีน หรือกรดนิวคลีอิกภายในเซลล์ กลไกนี้สอดคล้องกับการทำนายจาก SEA และ PASS ที่ระบุว่าสารกลุ่ม Anthocyanidin glycosides และ Polyphenolic compounds จากส่วนสกัดเมทานอลมีแนวโน้มออกฤทธิ์เป็น Free radical scavenger และ Membrane protector ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย

การหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Folin–Ciocalteu จึงถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการตรวจสอบศักยภาพทางเคมีของสารสกัด เนื่องจากปริมาณสารฟีนอลิกมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระซึ่งเป็นหนึ่งในกลไกหลักที่ช่วยลดความเสี่ยงการเกิดโรคเรื้อรัง โดยเฉพาะโรคหัวใจและหลอดเลือด และโรคมะเร็ง สารฟีนอลิกสามารถยับยั้งกระบวนการออกซิเดชันของไขมันที่เป็นสาเหตุของการแข็งตัวของหลอดเลือด รวมถึงยับยั้งการแสดงออกของเอนไซม์ที่ก่อการอักเสบ เช่น COX-2 และ LOX5 ซึ่งเป็นกลไกที่พบในการทำนายจาก SEA และ PharmMapper เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ สารฟีนอลิกยังมีบทบาทในการยับยั้งการส่งสัญญาณของยีน VEGFA และ HIF-1 α ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างหลอดเลือดใหม่ในเนื้องอก การยับยั้งกระบวนการนี้จึงมีส่วนช่วยลดความเสี่ยงในการพัฒนาและแพร่กระจายของมะเร็งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสารสกัดชนิดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ส่วนสกัดหยาบ	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด)
ใบชาเลือดมังกร	เฮกเซน	0.31 $\pm$ 0.02
	ไดคลอโรมีเทน	50.77 $\pm$ 2.56
	เมทานอล	29.00 $\pm$ 4.36
	น้ำ	58.98 $\pm$ 19.73
ใบสดของต้นชาเลือดมังกร	เฮกเซน	0.31 $\pm$ 0.02
	ไดคลอโรมีเทน	28.66 $\pm$ 4.13
	เมทานอล	17.50 $\pm$ 7.83
	น้ำ	50.23 $\pm$ 4.41

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัด (ตารางที่ 4) ตามวิธีของ Wairata et al. (2022: 2) แสดงว่าสารสกัดหยาบน้ำของใบชาเลือดมังกรและใบของต้นชาเลือดมังกรมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 58.98 $\pm$ 19.73 และ 50.23 $\pm$ 4.41 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารประกอบที่ละลายน้ำได้มีบทบาทสำคัญต่อการสะสมของสารในกลุ่มฟีนอลิกในพืชชนิดนี้ ขณะที่สารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทนของใบของต้นชาเลือดมังกรมีค่าปริมาณฟีนอลิกรวมใกล้เคียงกับสารสกัดหยาบน้ำ ส่วนสารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทนของใบชาเลือดมังกรให้ค่าปริมาณใกล้เคียงกับสารสกัดหยาบเมทานอลของทั้งสองชนิด โดยสารสกัดหยาบเฮกเซนจากใบชาเลือดมังกรและใบของต้นชาเลือดมังกรให้ค่าปริมาณฟีนอลิกรวมน้อยที่สุดเท่ากันที่ 0.31 $\pm$ 0.02 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด ซึ่งสะท้อนว่า

สารออกฤทธิ์ส่วนใหญ่ในพืชชนิดนี้เป็นสารที่มีขั้ว (Polar compounds) เช่น ฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์มากกว่าสารไม่มีขั้ว

ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของผลการวิเคราะห์พบว่ามีความแตกต่างค่อนข้างมากในบางตัวอย่าง โดยเฉพาะในสารสกัดหยาดน้ำของใบชาเล็ดมังกร ซึ่งอาจเกิดจากลักษณะทางธรรมชาติของตัวอย่างและความแปรผันในการชั่งน้ำหนักและการวิเคราะห์ในระดับมิลลิกรัม ซึ่งเป็นหน่วยที่มีความละเอียดสูง จึงมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนระหว่างซ้ำได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อสารสกัดมีความหนืดหรือดูดความชื้นได้ง่าย การเก็บตัวอย่างและขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างอาจส่งผลต่อค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ ส่งผลให้ SD มีค่าค่อนข้างกว้าง อย่างไรก็ตาม แม้จะมีความแปรปรวนในระดับตัวเลข แต่แนวโน้มของข้อมูลยังคงแสดงผลที่ชัดเจนว่าสารสกัดที่ใช้ตัวทำละลายขั้วสูงให้ค่าปริมาณฟีนอลิกรวมมากกว่าสารสกัดที่ใช้ตัวทำละลายไม่มีขั้ว

สรุปผลการวิจัย

การทำนายฤทธิ์ทางชีวภาพของสารประกอบที่พบในส่วนสกัดหยาดเมทานอลและน้ำจากใบชาเล็ดมังกรและใบของต้นชาเล็ดมังกรโดยใช้เทคนิคการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์ พบว่าสารในกลุ่ม Anthocyanidin glycosides จากส่วนสกัดเมทานอลมีศักยภาพสูงในการต้านอนุมูลอิสระ ด้านการอักเสบ ด้านมะเร็ง และด้านจุลชีพ ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของสารในกลุ่มโพลีฟีนอลิกที่มีรายงานว่าสามารถให้อิเล็กตรอนและยับยั้งกระบวนการเกิดออกซิเดชันในระดับเซลล์ได้ ขณะที่สารในกลุ่ม Alkaloids จากส่วนสกัดน้ำแสดงแนวโน้มฤทธิ์ Antineoplastic (ต้านมะเร็ง), ด้านการอักเสบ, ปกป้องเยื่อเมือก, ลดอาการแพ้ และต้านแบคทีเรีย อีกทั้งยังพบความเป็นไปได้ของการออกฤทธิ์ปกป้องระบบประสาท (Neuroprotective activity) ผ่านการจับกับโปรตีนเป้าหมายที่เกี่ยวข้องกับการส่งสัญญาณของเซลล์ประสาท เช่น CREB1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเซิร์ฟเวอร์ PharmMapper และ PASS แสดงความสอดคล้องกับการคาดการณ์จาก SEA โดยชี้ว่าสารบางชนิดสามารถยับยั้งการทำงานของโปรตีน HIF-1 α , เอนไซม์ Histidine kinase และเอนไซม์ Gluconate 2-dehydrogenase (Acceptor) ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกการสร้างหลอดเลือด การอักเสบ และการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง แสดงถึงศักยภาพของสารเหล่านี้ในฐานะสารต้านมะเร็ง ด้านจุลชีพ และต้านอนุมูลอิสระ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมสนับสนุนแนวโน้มดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าสารสกัดหยาดน้ำและเมทานอลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงกว่าสารสกัดด้วยตัวทำละลายไม่มีขั้วอย่างเฮกเซนหรือไดคลอโรมีเทน ซึ่งบ่งชี้ว่าสารออกฤทธิ์หลักของชาเล็ดมังกรเป็นสารที่มีขั้ว เช่น โพลีฟีนอลและแอนโธไซยานิน สารประกอบฟีนอลิกเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการต่อต้านกระบวนการเกิดออกซิเดชันของไขมันและโปรตีนในร่างกาย ลดการสะสมของอนุมูลอิสระ และชะลอความเสื่อมของเซลล์ ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการป้องกันการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด รวมถึงโรคมะเร็ง การที่สารสกัดที่ให้ค่าฟีนอลิกสูงยังเป็นสารที่ระบบคอมพิวเตอร์ทำนายว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านอักเสบสูง จึงสะท้อนถึงความสอดคล้องระหว่างข้อมูลเชิงเคมีและข้อมูลเชิงทำนายทางชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อเชื่อมโยงผลการวิเคราะห์ทางเคมีกับผลการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์ จะเห็นได้ว่าการใช้เทคนิคการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์ร่วมกับการทดสอบเชิงเคมี เป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงในการประเมินฤทธิ์ทางชีวภาพของพืชสมุนไพรอย่างมีประสิทธิภาพ เทคนิคนี้ช่วยให้สามารถทำนายเป้าหมายทางชีวภาพของสารออกฤทธิ์ได้อย่างแม่นยำก่อนการทดสอบทางชีวภาพจริง ซึ่งช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการวิจัย พร้อมทั้งขึ้นการออกแบบการทดลองในลำดับต่อไป เช่น การจำลองการจับระดับโมเลกุล (molecular docking) หรือการทดสอบฤทธิ์ *in vitro* เพื่อยืนยันผลที่ทำนายไว้ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าชาเล็ดมังกรเป็นแหล่งของสาร

ธรรมชาติที่มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ด้านอนุมูลอิสระและด้านมะเร็งในอนาคต อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการบูรณาการระหว่างวิธีการคัดกรองเชิงคอมพิวเตอร์และการวิเคราะห์เชิงเคมีในการวิจัยผลิตภัณฑ์ธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566

เอกสารอ้างอิง

- วัชร วัชรจริยกุล, พิมใจ สุวรรณวงศ์, อุดม เครือวัลย์, เตือนเต็ม ทองเผือก และจุริเชช ปราชญากุล. (2564). การทำนายฤทธิ์ทางชีวภาพของสารที่ได้จากกล้วยไม้สกุลสิงโตโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์. *การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2564 (NIRC IV 2021)* (น. 584-591). บุรีรัมย์: มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.
- สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน). (2565). *ชาเลื้อดมังกรสีส้มพรรณพฤษชา*. สืบค้น 12 สิงหาคม 2568, จาก <https://www.hrdi.or.th/articles/Detail/1530>
- Akram, M., Patt, M., Kaserer, T., Temml, V., Waratchareeyakul, W., Kratschmar, D. V., ... Schuster, D. (2019). Identification of the fungicide epoxiconazole by virtual screening and biological assessment as inhibitor of human 11 β -hydroxylase and aldosterone synthase. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 192, 1-13. (Article 105358). doi: 10.1016/j.jsbmb. 2019.04.007
- Akram, M., Waratchareeyakul, W., Hauptenthal, J., Hartmann, R. W., & Schuster D. (2017). Pharmacophore modeling and *in silico/in vitro* screening for human cytochrome P450 11B1 & cytochrome P450 11B2 inhibitors. *Frontiers in Chemistry*, 5, 1-14. (Article 104) doi: 10.3389/fchem.2017.00104
- Aluko, E. O., Adejumobi, O. A., & Fasanmade, A. A. (2019). *Peristrophe roxburghiana* leaf extracts exhibited anti-hypertensive and anti-lipidemic properties in L-NAME hypertensive rats. *Life Sciences*, 234, 1-17. doi: 10.1016/j.lfs.2019.116753
- Benfenati, E., Gini, G., Hoffmann, S., & Luttik, R. (2010). Comparing *in vivo*, *in vitro* and *in silico* methods and integrated strategies for chemical assessment: problems and prospects. *Alternatives to laboratory animals*, 38(2), 153-166. doi: 10.1177/026119291003800201
- Karlsen, A., Retterstøl, L., Laake, P., Paur, I., Kjølrsrud-Bøhn, S., Sandvik, L., & Blomhoff, R. (2007). Anthocyanins inhibit nuclear Factor- κ B activation in monocytes and reduce plasma concentrations of Pro-Inflammatory mediators in healthy adults, 3. *The Journal of nutrition*, 137(8), 1951-1954. doi: 10.1093/jn/137.8.1951

- Keiser, M. J., Roth, B. L., Armbruster, B. N., Ernsberger, P., Irwin, J. J. & Shoichet, B. K. (2007). Relating protein pharmacology by ligand chemistry. *Nature biotechnology*, 25(2), 197-206.
- Khue, D. B., Mai, D. S., Tuan, P. M., Oanh, D. T. B., & Van, L. T. H. (2014). *Peristrophe roxburghiana*-a review. *Ann. Food Sci. Technol*, 15, 1-9.
- Kowalczyk, T., Muskała, M., Merecz-Sadowska, A., Sikora, J., Picot, L., & Sitarek, P. (2024). Anti-inflammatory and anticancer effects of anthocyanins in *in vitro* and *in vivo* studies. *Antioxidants*, 13(9), 1-35 (Article 1143) doi: 10.3390/antiox13091143
- Lagunin, A., Stepanchikova, A., Filimonov, D., & Poroikov, V. (2000). PASS: prediction of activity spectra for biologically active substances. *Bioinformatics*, 16(8), 747-748. doi: 10.1093/bioinformatics/16.8.747
- Liu, X., Ouyang, S., Yu, B., Liu, Y., Huang, K., Gong, J., ... Jiang, H. (2010). PharmMapper server: a web server for potential drug target identification using pharmacophore mapping approach. *Nucleic acids research*, 38, W609-W614. doi: 10.1093/nar/gkq300
- Ma, Z., Du, B., Li, J., Yang, Y., & Zhu, F. (2021). An insight into anti-inflammatory activities and inflammation related diseases of anthocyanins: A review of both *in vivo* and *in vitro* investigations. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(20), 1-17. (Article 11076) doi: 10.3390/ijms222011076
- Oguzie, C. K., Ichetaonye, S. I., Ajekwene, K. K., Yibowei, M. E., Ulaeto, S. B., Khan, I., ... Asiri, A. M. (2021). *Vegetable Fiber Composites and their Technological Applications*. Singapore: Springer.
- Quan, N. V., Khang, D. T., Dep, L. T., Minh, T. N., Nobukazu, N., & Xuan, T. D. (2016). The potential use of a food-dyeing plant *Peristrophe bivalvis* (L.) Merr. Northern Vietnam. *Int.J. Pharm. Phytopharmacol. Eth*, 4, 14-26. doi: 10.18052/www.scipress.com/IJPPE.4.14
- Rudik, A. V., Pogodin, P. V., Lagunin, A. A., Filimonov, D. A., & Poroikov, V. V. (2025). MetaPASS 2024: visualization of biological activity spectra of organic compounds taking into account their biotransformation. *Biomedical Chemistry: Research and Methods*, 8(2), 1-8. (Article e00243) doi: 10.18097/BMCRM00243
- Tanavade, S. S., Naikwade, N. S., & Chougule, D. D. (2012). Antimicrobial activity of ethanolic extracts of leaves and stems of *Peristrophe bivalvis* Merrill. *International Journal of Biomedical Research*, 2, 106-108.
- Tani, N. (2013). *Cytochrome P450-selective prodrugs and inhibitors*. Kuopio: University of Eastern Finland.
- Thuy, T. T., Lam, T. H., Thanh Huong, N. T., Hong Nhung, L. T., Ninh, P. T., Hoang Anh, N. T., ... Sung, T. V. (2012). Natural phenoxazine alkaloids from *Peristrophe bivalvis* (L.) Merr. *Biochemical Systematics and Ecology*, 44, 205-207. doi: 10.1016/j.bse.2012.05.009

- 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), 103541. doi: 10.1016/j.arabjc.2021.103541
- Wang, X., Pan, C., Gong, J., Liu, X., & Li, H. (2016). Enhancing the enrichment of pharmacophore-based target prediction for the polypharmacological profiles of drugs. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 56(6), 1175-1183. doi: 10.1021/acs.jcim.5b00690
- Wang, X., Shen, Y., Wang, S., Li, S., Zhang, W., Liu, X., ... Li, H. (2017). PharmMapper 2017 update: a web server for potential drug target identification with a comprehensive target pharmacophore database. *Nucleic acids research*, 45, W356-W360. doi: 10.1093/nar/gkx374
- Yang, Z., Zhang, Y. H., Yao, X. Q., Gao, W. Y., & Jin, X. H. (2012). Anti-inflammatory activity of chemical constituents isolated from *Peristrophe roxburghiana*. *Lat Am J Pharm*, 31(9), 1279-1284.

Received: September 1, 2025

Revised: November 16, 2025

Accepted: November 24, 2025

Published: December 26, 2025

การศึกษาการวางตัวของปราสาทในจังหวัดชัยภูมิกับการขึ้นตกของดวงอาทิตย์ A Study of the Astronomical Alignment of Prang Ku Monuments in Chaiyaphum Province with Solar Movements

เกียรติชัย ทวีลาภ^{1*} พรรณพัชร ศรีบัวพันธุ์¹ อรอาภา เตชานุรักษ์¹ และ บุญยอร์ สุนทรเพราะ²
Kiadtichai Tavilab¹ Phannaphach Sriburphan¹ Ornappa Taechanuruk¹
and Boonyaon Sunthonproa²

¹ โรงเรียนปทุมคงคา ตำบลห้วยต้อน อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ 36000

² โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา 227 ถนนพญาไท แขวงปทุมวัน เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

¹ Punjadee School, Huai Ton Sub District, Muang District, Chaiyaphum, 36000

² Triam Udom Suksa School, 227 Phaya Thai Road, Pathum Wan, Bangkok 10330

* Kiadtichai4444@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาการวางตัวของปราสาทในจังหวัดชัยภูมิโดยใช้โปรแกรมแผนที่อิเล็กทรอนิกส์ และ 2) เพื่อหาวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงกับประตูปราสาทจากค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ โดยวัดมุมทิศจากการวางตัวของปราสาทเทียบกับแนวเส้นลองจิจูดโดยใช้โปรแกรมแผนที่อิเล็กทรอนิกส์ และนำมุมทิศกับละติจูดที่ตั้งของปราสาทคำนวณค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์เพื่อหาวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงกับประตูปราสาท ผลการวิจัยพบว่าปราสาทในจังหวัดชัยภูมิที่มีสภาพสมบูรณ์ทั้งสิ้น 4 แห่ง ซึ่งมีการวางตัวในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก และหันหน้าไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือเล็กน้อย สอดคล้องกับวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงกับประตูปราสาทในช่วงเดือนเมษายนและกันยายน ซึ่งเป็นวันที่ดวงอาทิตย์เข้าสู่ราศีเมษตามปฏิทินมหาศักราชที่เป็นวันปีใหม่ทางสุริยคติ หรือวันเถลิงศกที่ถือเป็นวันนับศกใหม่เพิ่มอีกหนึ่งปีตามที่อาณาจักรขอมได้รับอิทธิพลมาจากอินเดีย ซึ่งสิ่งก่อสร้างเหล่านี้อาจถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการบ่งบอกวัน เวลา และตรวจสอบฤดูกาลเป็นปฏิทินแบบโบราณ การศึกษาการวางตัวของปราสาททำให้ทราบถึงภูมิปัญญาของชนยุคก่อนในการออกแบบสิ่งปลูกสร้าง โดยใช้ประโยชน์จากมุมของดวงอาทิตย์ในการคำนวณหาทิศทางการสร้างที่เหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้สอยพื้นที่แต่ละส่วนของสิ่งปลูกสร้าง

คำสำคัญ: ปราสาท, การขึ้นตกของดวงอาทิตย์, เดคลิเนชัน, มุมทิศ

Abstract

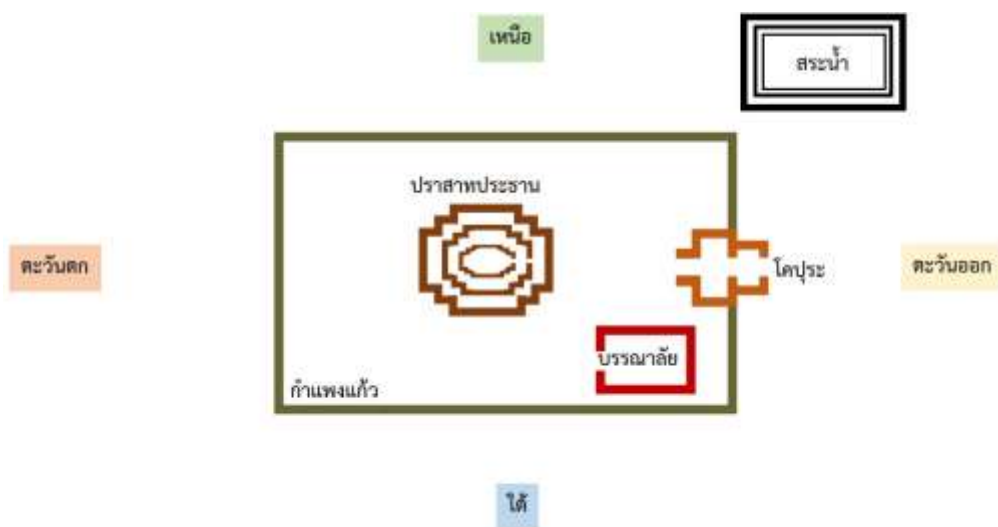
This research aims (1) to study the orientation of Prang Ku Monuments in Chaiyaphum Province using digital mapping software, and (2) to determine the dates when the rising and setting of the sun aligns with the doors of the Prang Ku by calculating the declination of the sun. The azimuth angles of the Prang Ku monuments were measured in relation to longitude using the digital mapping software. These azimuth angles and the

geographic latitudes of the Prang Ku locations, were used to calculate the sun's declination in order to identify the dates when the sunrise aligns with the doorways of the Monuments. The study revealed that only four Prang Ku monuments in Chaiyaphum Province exist in a relatively intact state. These structures are oriented along an east-west axis and face slightly northeast, corresponding with the sunrise that aligns with the doorway in April and September, during which the sun enters the zodiac sign of Aries according to the Maha Sakaraj calendar, marking the solar New Year or Thaloeng Sok, which adds another year to the calendar cycle influenced by Indian culture that got adopted by the Khmer Empire. These structures may have been built as ancient instruments for dividing time and seasons, functioned as an ancient calendar. Studying the orientation of the Prang Ku monuments reveals the wisdom of ancient builders in designing architecture that utilizes the position of the sun to determine optimum orientation, aligning functional space use with astronomical events.

Keywords: Prang Ku, Sunrise, Sunset, Declination, Azimuth

บทนำ

ปราสาทกู๋ (Prang Ku) หรือกู๋ เป็นศาสนสถานในบริเวณอโรคยศาลสร้างขึ้นโดยกษัตริย์ขอมโบราณ เพื่อให้เป็นโรงพยาบาลประจำชุมชน ที่มีนัยยะของการปกครองท้องถิ่นและกระจายอำนาจจากส่วนกลาง ซึ่งจะมีอโรคยศาล 102 แห่งในทุก ๆ เมืองทั่วราชอาณาจักร ปัจจุบันพบศาสนสถานเหล่านี้จำนวนมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยขนาดและความสำคัญของอโรคยศาลจะแตกต่างกันตามชุมชนและเมืองในบริเวณนั้น ปราสาทกู๋ในแต่ละแห่งจะมีแผนผังในรูปแบบเดียวกันทั้งหมด ดังรูปที่ 1 เป็นสถาปัตยกรรมแบบศิลปะขอมโบราณ ประกอบด้วยปราสาทประธานขนาดเล็กก่อด้วยศิลาแลง และมีองค์ประกอบบางส่วนทำด้วยหินทราย ตั้งอยู่ตรงกลางหันหน้าไปทางทิศตะวันออก มีอาคารรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดเล็กตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของปราสาท ซึ่งเรียกว่า บรรณาลัย ล้อมรอบด้วยกำแพงแก้ว และมีซุ้มประตูหรือโคปุระเป็นทางเข้าด้านเดียวทางทิศตะวันออก มีสระน้ำที่ก่อขอบด้วยหินทรายหรือศิลาแลงซึ่งอาจอยู่ภายในหรือด้านนอกกำแพงแก้ว นอกจากนี้ในบริเวณใกล้เคียงอาจมีอาคารรักษาผู้ป่วยที่น่าจะสร้างขึ้นจากไม้และได้ผุพังไปตามกาลเวลา (วรรณวิภา สุเนตต์ตา, 2548)



รูปที่ 1 แผนผังปราสาท

หมายเหตุ: ดัดแปลงจาก องค์ความรู้เรื่องภาพสลักทับหลังโบราณสถานปราสาท อำเภอมืองชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ, โดย นภสินธุ์ บุญล้อม, 2563; สำนักศิลปากรที่ 10 นครราชสีมา (https://www.finearts.go.th/fad10/view/22886?fbclid=IwAR0oIUvHQj0W4epI3CQmWFuyxXpoH9iY6gYX8wYtb5c2ySnCPU6w_IInSc).

ในอดีตดวงอาทิตย์มีอิทธิพลต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นแหล่งกำเนิดของแสงสว่างและความอบอุ่นอันนำมาซึ่งความสมบูรณ์ของชีวิตและพืชพรรณธัญญาหาร ดังนั้นนักษัตริย์ขอมจึงให้ความสำคัญต่อดวงอาทิตย์ จึงสร้างปราสาทขอมขึ้นเพื่อบูชาดวงอาทิตย์ โดยปราสาทแต่ละแห่งจะจำลองเขาพระสุเมรุอันเป็นที่สถิตของเทพเจ้าและเป็นที่เคารพบูชาทางศาสนา ดังนั้นการวางตัวของปราสาทจึงอาจมีความสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์หรือทิศทางต่าง ๆ ตามความเชื่อในสมัยนั้น ซึ่งในแต่ละวันดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งขึ้นและตก โดยจะมีการเบี่ยงตัวทางด้านเหนือหรือใต้ของตำแหน่งเส้นศูนย์สูตรฟ้า (Celestial equator) ตัดกับเส้นขอบฟ้า (น้ำทิพย์ เนตรประโคน และธัญพิศ สุรติวรพัทธ์, 2558) ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์จากความสัมพันธ์ระหว่างการวางตัวของปราสาทกับการขึ้นตงของดวงอาทิตย์ ดังจะเห็นได้จากปรากฏการณ์ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกผ่านประตูทั้ง 15 ช่องของปราสาทพนมรุ้ง ซึ่งในหนึ่งปีจะเกิดขึ้น 4 ครั้งต่างช่วงวันกัน (จิรัชญา ดิลกธารังคกุล, 2559) และปรากฏการณ์ดวงอาทิตย์ขึ้น-ตกผ่านช่องประตูปราสาทประธานของปราสาทพิมาย (เชิดศักดิ์ แซ่ลี และคณะ, 2565) นอกจากนี้ยังมีปราสาทขอมอื่น ๆ ที่กระจายตัวอยู่หลายแห่งทั่วประเทศไทย

จากการสำรวจพบว่า ในจังหวัดชัยภูมิมีปราสาทปรากฏอยู่ทั้งหมด 10 แห่ง ซึ่งเป็นปราสาทที่มีสภาพสมบูรณ์เพียง 4 แห่ง ได้แก่ ปราสาทชัยภูมิ กู่แดง กู่บ้านหนองแฝก และกู่บ้านหนองขาม ซึ่งมีการสร้างในยุคสมัยและสถานที่ที่ต่างกัน และปราสาทส่วนใหญ่ถูกสร้างให้มีประตูด้านทิศตะวันออกเพียงด้านเดียว อีก 3 ด้านเป็นประตูหลอก จึงเป็นไปได้ว่าอาจมีการออกแบบแนวการวางตัวของปราสาทให้สัมพันธ์กับวัตถุฟ้าหรือทิศทางต่าง ๆ เช่นเดียวกับปราสาทแห่งอื่น ๆ ที่พบทั้งในประเทศไทยและประเทศกัมพูชา ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาแนวการวางตัวของปราสาท และวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงกับประตูปราสาท และผู้วิจัยหวังว่าการศึกษาราวดวงของปราสาทจะทำให้ทราบถึงภูมิปัญญาทางชนยุคก่อนและการประยุกต์ใช้ความรู้ด้านดาราศาสตร์ในทางสถาปัตยกรรม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการวางตัวของปราสาท์กูในจังหวัดชัยภูมิโดยใช้โปรแกรมแผนที่อิเล็กทรอนิกส์
2. เพื่อหาวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงกับประตูปราสาท์กูจากค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สืบค้นข้อมูลปราสาท์กูในจังหวัดชัยภูมิทั้งหมดเพื่อจำแนกปราสาท์กูที่มีสภาพสมบูรณ์หรือได้รับการบูรณะแล้ว ซึ่งพบว่าในจังหวัดชัยภูมิมีปราสาท์กูกว่า 10 แห่ง แต่มีเพียง 4 แห่งเท่านั้นที่ยังคงสภาพสมบูรณ์ ได้แก่ ปราสาท์กูชัยภูมิ กู่แดง กู่บ้านหนองแฝก และกู่บ้านหนองขาม ดังรูปที่ 2 แล้วลงพื้นที่เพื่อศึกษาสภาพปัตยกรรมของปราสาท์กูทั้ง 4 แห่ง



รูปที่ 2 ปราสาท์กูในจังหวัดชัยภูมิ (a) ปราสาท์กูชัยภูมิ (b) กู่แดง
(c) กู่บ้านหนองแฝก (d) กู่บ้านหนองขาม

2. หาตำแหน่งที่ตั้ง ลักษณะการจัดวางตัว ละติจูด และค่ามุมทิศ ของปราสาท์กูโดยใช้โปรแกรมแผนที่อิเล็กทรอนิกส์ (Google Earth Pro) ซึ่งช่วยให้การสำรวจและวิจัยเชิงพื้นที่เป็นไปได้ง่าย ใช้งบประมาณน้อย และไม่จำเป็นต้องเดินทางไปยังสถานที่จริง (Google Earth, 2023) อีกทั้งความแม่นยำและความละเอียดของข้อมูลที่ได้เป็นที่ยอมรับในงานวิชาการซึ่งเหมาะสมสำหรับโครงการสำรวจเบื้องต้น (Potere, 2008)



รูปที่ 3 ภาพถ่ายทางอากาศ (a) ปราสาทภูมิ (b) ภูแดง
(c) ภูบ้านหนองแฝก และ (d) ภูบ้านหนองขาม

3. คำนวณค่ามุมเดคลิเนชันเพื่อหาตำแหน่งที่ดวงอาทิตย์ขึ้นหรือตกตรงกับประตูปราสาท ดังสมการ (Smart, 1997)

$$\delta = \sin^{-1}(\cos A \cos \phi)$$

เมื่อ δ คือ มุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ในหน่วยองศา
A คือ มุมทิศ (Azimuth) ของประตูปราสาท ในหน่วยองศา
 ϕ คือ ละติจูด (Latitude) ของสถานที่ ในหน่วยองศา

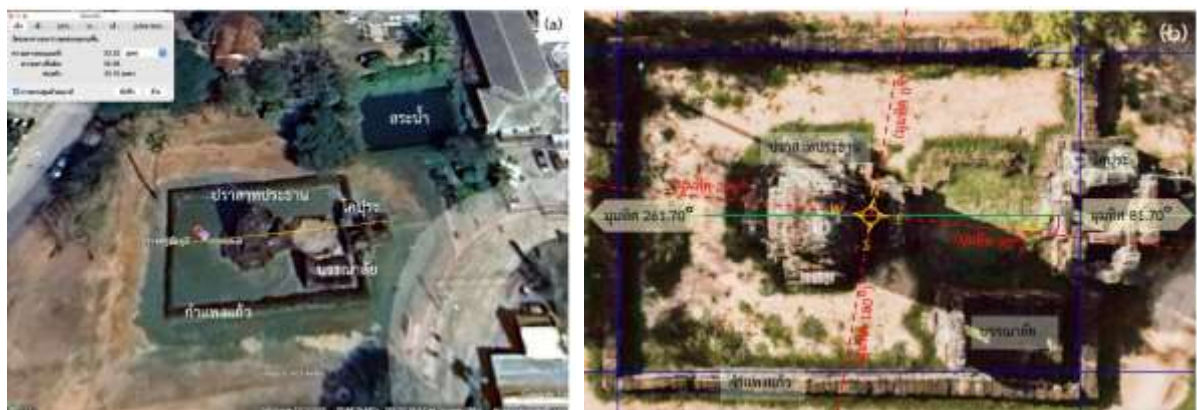
4. นำค่ามุมเดคลิเนชันที่ได้จากข้อ 3. มาเทียบกับตารางเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (The declination of the sun) ดังรูปที่ 4 เพื่อหาวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงกับประตูปราสาท

TABLE 4.—GHA and Declination of the Sun for the Years 2001–2036 — Argument “Orbit Time”

OT	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	OT
00 ^h	E Dec.	E Dec.	E Dec.	E Dec.	E Dec.	E Dec.	E Dec.	E Dec.	E Dec.	E Dec.	E Dec.	E Dec.	00 ^h
1	4 12 523.03	1 36 511.16	1 59 5 7.49	3 58 N 4 19	5 42 N14 54	5 35 N21 08	4 05 N23 08	3 34 N18 10	4 56 N 8 29	7 31 5 2 57	8 06 514 14	7 50 521 42	1
2	4 05 22 58	1 36 18 59	1 58 7 28 23	4 03 4 42 23	5 44 15 12	5 32 22 06	4 02 23 04	3 25 17 54	5 01 5 05 21	7 35 3 21 24	8 07 14 20	7 44 21 51	2
3	3 58 22 52	1 33 16 41	1 58 7 53 23	4 02 5 05 23	5 46 15 30	5 30 22 14	3 59 23 00	3 36 17 39	5 08 7 48 22	7 41 3 44 23	8 07 14 50	7 38 22 00	3
4	3 52 22 47	1 33 16 34	1 52 8 40 23	4 12 5 28 23	5 47 15 47	5 28 22 22	3 58 22 58	3 39 17 23	5 11 7 24 22	7 48 4 07 23	8 07 15 11	7 33 22 09	4
5	3 45 22 40	1 32 16 04	1 58 8 17 23	4 18 5 51 23	5 48 16 05	5 25 22 28	3 53 22 51	3 38 17 08	5 18 7 32 22	7 50 4 30 23	8 07 15 29	7 27 22 17	5
6	3 38 522 34	1 30 515 48	2 08 5 54 23	4 20 N 6 14	5 50 N16 22	5 22 N22 30	3 51 N22 44	3 32 N16 51	5 21 N 6 43	7 53 5 53 23	8 08 515 48	7 20 522 25	6
7	3 31 22 28	1 29 15 29	2 12 6 31 23	4 25 6 36 23	5 51 16 36	5 20 22 41	3 48 22 38	3 32 16 39	5 28 8 12 23	7 58 6 18 23	8 08 16 06	7 14 22 32	7
8	3 25 22 19	1 28 15 11	2 18 5 57 23	4 29 6 59 23	5 52 16 55	5 17 22 47	3 46 22 32	3 34 16 18	5 31 5 55 23	8 05 6 02 23	8 05 16 23	7 08 22 39	8
9	3 18 22 11	1 28 14 52	2 25 4 44 23	4 33 7 21 23	5 53 17 12	5 14 22 53	3 44 22 25	3 36 16 01	5 36 5 32 23	8 08 6 08 23	8 04 16 41	7 01 22 42	9
10	3 12 22 02	1 27 14 32	2 33 4 30 23	4 37 7 44 23	5 54 17 39	5 11 22 58	3 41 22 18	3 38 15 45	5 41 5 19 23	8 12 6 15 23	8 02 16 54	6 54 22 51	10
11	3 06 521 53	1 27 514 13	2 27 5 57 23	4 41 N 8 06 23	5 54 N17 43	5 08 N23 02	3 38 N23 11	3 40 N15 35	5 48 N 4 47	8 18 5 8 48	8 01 517 15	6 47 522 57	11
12	3 00 21 44	1 27 13 53	2 31 5 33 23	4 45 8 26 23	5 55 17 59	5 05 23 08	3 37 22 03	3 42 15 09	5 52 4 24 23	8 20 7 10 23	8 00 17 20	6 41 23 02	12
13	2 55 21 36	1 27 13 33	2 38 5 15 23	4 49 8 50 23	5 55 18 14	5 02 23 10	3 35 21 54	3 45 14 59	5 57 4 01 23	8 23 7 19 23	8 00 17 48	6 34 23 09	13
14	2 49 21 24	1 26 13 13	2 39 2 46 23	4 53 8 11 23	5 55 18 29	4 50 23 14	3 33 21 48	3 48 14 32	6 02 3 58 23	8 27 7 25 23	8 06 18 04	6 27 23 10	14
15	2 43 21 14	1 26 12 53	2 43 2 22 23	4 57 9 33 23	5 55 18 43	4 56 23 17	3 32 21 37	3 50 14 14	6 07 3 15 23	8 31 8 18 23	8 03 18 20	6 19 23 14	15
16	2 36 521 05	1 25 810 32	2 47 5 1 58	5 00 N 8 55 23	5 55 N19 55	4 52 N23 19	3 30 N21 27	3 58 N13 59	6 13 N 2 52	8 34 8 40 23	8 01 518 35	6 12 523 17	16
17	2 30 20 51	1 25 12 11	2 51 1 25 24	5 04 10 10 23	5 55 19 11	4 49 23 21	3 29 21 17	3 56 13 38	6 18 2 28 23	8 37 8 52 23	8 00 18 50	6 05 23 20	17
18	2 24 20 38	1 24 11 50	2 58 1 15 24	5 07 10 37 23	5 54 19 25	4 46 23 23	3 27 21 07	3 59 13 17	6 23 2 06 23	8 40 8 58 23	8 00 19 05	5 58 23 26	18
19	2 18 20 25	1 24 11 24	3 00 0 47 24	5 11 10 58 23	5 54 19 38	4 43 23 25	3 26 20 57	4 03 12 58	6 29 1 43 23	8 43 9 06 23	8 00 19 19	5 51 23 24	19
20	2 12 20 15	1 23 11 04	3 04 0 24 24	5 14 11 19 23	5 53 19 51	4 39 23 25	3 25 20 46	4 06 12 38	6 34 1 19 23	9 05 10 07 23	8 00 19 30	5 43 23 25	20
21	2 06 520 04	1 23 510 49	3 08 0 00 24	5 17 N11 39	5 52 N20 04	4 36 N23 26	3 24 N20 39	4 10 N12 19	6 40 N 0 56	9 09 10 29 23	8 00 19 46	5 36 23 26	21
22	2 00 19 46	1 22 10 29	3 13 N 0 24 24	5 20 12 00 23	5 51 20 16	4 32 23 28	3 24 20 31	4 13 11 58	6 45 0 33 23	9 11 10 58 23	8 00 20 00	5 29 23 26	22
23	1 54 19 33	1 22 10 03	3 18 0 47 24	5 23 12 20 23	5 50 20 28	4 29 23 28	3 23 20 21	4 17 11 38	6 50 N 0 09 23	9 13 11 11 23	8 00 20 13	5 21 23 26	23
24	1 48 19 21	1 22 9 41	3 22 1 15 24	5 26 12 40 23	5 48 20 39	4 26 23 25	3 22 19 59	4 21 11 18	6 55 0 14 23	9 16 11 30 23	8 00 20 25	5 13 23 25	24
25	1 42 19 09	1 22 9 19	3 27 1 35 24	5 29 13 00 23	5 47 20 50	4 23 23 24	3 21 19 48	4 25 10 57	7 01 0 37 24	9 18 11 53 23	8 00 20 37	5 05 23 24	25
26	1 35 518 51	1 22 8 58	3 31 N 1 38 24	5 31 N13 19	5 46 N21 01	4 20 N23 22	3 22 N19 34	4 29 N10 37	7 05 0 1 01	9 20 512 14	8 00 20 49	4 58 23 23	26
27	1 29 18 36	1 22 8 34	3 36 2 22 24	5 34 13 39 23	5 44 21 10	4 17 23 20	3 20 19 20	4 34 10 14 21	7 11 1 24 23	9 21 512 25	8 00 21 01	4 51 23 21	27
28	1 23 18 21	1 22 8 11	3 40 2 45 24	5 36 13 59 23	5 43 21 22	4 14 23 19	3 20 19 03	4 36 9 55 21	7 16 1 47 24	9 22 512 36	8 00 21 12	4 44 23 19	28
29	1 17 18 06	1 22 7 48	3 45 3 08 24	5 38 14 17 23	5 41 21 31	4 11 23 18	3 20 18 53	4 42 9 34 21	7 21 2 11 24	9 24 512 47	8 00 21 23	4 37 23 17	29
30	1 11 17 49	1 22 7 25	3 49 3 32 24	5 40 14 35 23	5 39 21 41	4 06 23 12	3 20 18 36	4 47 9 13 21	7 26 2 34 23	9 25 512 58	8 00 21 34	4 29 23 12	30
31	1 05 17 33	1 22 7 02	3 54 N 3 55 24	5 42 N21 50	5 37 21 50	4 05 23 09	3 20 18 24	4 52 N 8 51	7 31 2 55 23	9 26 513 09	8 00 21 45	4 22 23 09	31

รูปที่ 4 ตารางเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์
 ที่มา: The Nautical Almanac (2019)

ตัวอย่างการหาวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงกับประตูปรางค์กู่
 จากการวัดแนวการวางตัวของปรางค์กู่โดยใช้โปรแกรมแผนที่อิลเล็กทรอนิกส์พบว่าปรางค์กู่ชัยภูมิอยู่ที่
 ละติจูด 15.80 องศา และปรางค์กู่มีมุมทิศ 81.70 องศา



รูปที่ 5 (a) การวัดมุมทิศของปรางค์กู่ชัยภูมิโดยใช้โปรแกรมแผนที่อิลเล็กทรอนิกส์
 (b) การเบี่ยงจากแกนทิศตะวันออกแท้ของปรางค์กู่ชัยภูมิ

$$\text{จาก } \delta = \sin^{-1}(\cos A \cos \phi)$$

$$\text{จะได้ } \delta = \sin^{-1}(\cos(81.70) \cos(15.80))$$

$$\delta = \sin^{-1}(0.14)$$

$$\delta = 7.98 \text{ องศา}$$

จากนั้นนำ 7.98 องศาเปลี่ยนจากหน่วยองศาเป็นลิปดา และแปลงเศษลิปดาที่เหลือเป็นฟิลิปดา โดยที่ 1 องศา เท่ากับ 60 ลิปดา และ 1 ลิปดา เท่ากับ 60 ฟิลิปดา ซึ่งจะได้ δ เท่ากับ $7^{\circ}58'48''$ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับตารางเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์เพื่อหาวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงกับของประตูปราสาท โดยดวงอาทิตย์จะขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงที่ 9-10 เมษายน และ 3-4 กันยายน เนื่องจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์ถูกบังด้วยสิ่งปลูกสร้างและต้นไม้ที่อยู่ทางทิศตะวันออกของปราสาท ผู้วิจัยจึงได้ใช้โปรแกรม Stellarium ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับจำลองท้องฟ้าแบบ 3 มิติเสมือนท้องฟ้าจริงที่สามารถจำลองตำแหน่งดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ ดาวเคราะห์ ดาวฤกษ์ วัตถุท้องฟ้าต่าง ๆ และปรากฏการณ์ทางดาราศาสตร์ (สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ, 2563) ตรวจสอบผลการคำนวณ ดังรูปที่ 6 โดยปราสาทชัยภูมิอยู่ที่ละติจูด $15^{\circ}48'24.03''$ ในวันที่ 9 เมษายน พ.ศ. 2568 ดวงอาทิตย์ขึ้นเวลา 06.04 น. มีมุมทิศ 82.07 องศา และค่าเดคลิเนชัน $7^{\circ}34'29.0''$ ซึ่งใกล้เคียงกับมุมทิศของปราสาท และมุมเดคลิเนชันที่ได้จากการคำนวณ



รูปที่ 6 ภาพจำลองจากโปรแกรม Stellarium แสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์ขึ้น ณ ปราสาทชัยภูมิ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 แนวการวางตัวของปราสาท

จากการศึกษาแนวการวางตัวของปราสาทในจังหวัดชัยภูมิที่มีสภาพสมบูรณ์ทั้ง 4 แห่ง ได้แก่ ปราสาทชัยภูมิ กู่แดง กู่บ้านหนองแฝก และกู่บ้านหนองขาม โดยใช้โปรแกรมแผนที่อิเล็กทรอนิกส์ (Google Earth Pro) สามารถระบุตำแหน่งที่ตั้ง ค่าละติจูด และค่ามุมทิศของปราสาทได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงตำแหน่ง ละติจูด และมุมทิศของปราสาท

รายชื่อปราสาท	ตำแหน่งที่ตั้ง	ละติจูด (องศาเหนือ)	มุมทิศ (องศา)
ปราสาทขี้ขี้	บ้านหนองบัวเมืองเก่า ตำบลในเมือง จังหวัดชัยภูมิ	15.80	81.70
กุ้แดง	วัดกุดยาง ตำบลตลาดแร้ง อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ	15.81	76.92
กุ้บ้านหนองแฝก	ตำบลบ้านเต่า อำเภอบ้านแท่น จังหวัดชัยภูมิ	16.38	83.25
กุ้บ้านหนองขาม	บ้านปราสาท ตำบลหนองขาม อำเภอแก้งคร้อ จังหวัดชัยภูมิ	16.14	38.00

จากตารางที่ 1 พบว่าปราสาทในจังหวัดชัยภูมิส่วนใหญ่มีการวางตัวตามแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก โดยหน้าปราสาทจะเฉียงไปทางทิศเหนือเล็กน้อยในมุมทิศระหว่าง 76.92 องศา ถึง 83.25 องศา ยกเว้นกุ้บ้านหนองขามที่มีมุมทิศ 38.00 องศา จึงมีมุมเบี่ยงเบนออกจากทิศตะวันออก 52 องศา นั่นคือหน้าปราสาทหันไปทางตะวันออกเฉียงเหนือมากกว่าทิศตะวันออกแท้ ซึ่งมีรูปแบบแตกต่างจากปราสาทแห่งอื่น ๆ

ตอนที่ 2 วันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงกับประตูปราสาท

เมื่อนำค่าละติจูดและมุมทิศของปราสาทแต่ละแห่งมาใช้ในการคำนวณหาค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับตารางค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์เพื่อหาวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงกับประตูปราสาท ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเดคลิเนชัน และวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงกับประตูปราสาท

รายชื่อปราสาท	ค่าเดคลิเนชัน	วันที่
ปราสาทขี้ขี้	7°58'48"	9-10 เมษายน และ 3-4 กันยายน
กุ้แดง	12°34'48"	23-24 เมษายน และ 19-20 สิงหาคม
กุ้บ้านหนองแฝก	6°28'48"	6-7 เมษายน และ 6-7 กันยายน
กุ้บ้านหนองขาม	-49°12'00"	-

จากตารางที่ 2 พบว่าปราสาทส่วนใหญ่มีค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์อยู่ระหว่าง 6 – 12 องศา ซึ่งสอดคล้องกับค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ซึ่งอยู่ในช่วง +23.5 องศา และ -23.5 องศา ยกเว้นกุ้บ้านหนองขามที่มีข้อมูลไม่สอดคล้องกับค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ จึงไม่สามารถระบุวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงกับประตูได้ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างปราสาทเดิมพังลงหมดแล้ว แต่ชาวบ้านได้ทำการบูรณะขึ้นใหม่ในปี พ.ศ. 2549 จึงทำให้การวางตัวของปราสาทไม่สอดคล้องกับแนวการวางตัวเดิม สำหรับวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงกับประตูของปราสาทจะอยู่ในช่วงเดือนเมษายนและเดือนกันยายน ซึ่งสอดคล้องกับเส้นทางปรากฏของดวงอาทิตย์ (apparent path) ที่เคลื่อนที่ขึ้นเยื้องทางทิศเหนือและตกเยื้องทางทิศใต้เล็กน้อย เมื่อใช้โปรแกรม Stellarium ในการจำลองตำแหน่งดวงอาทิตย์ขึ้น ณ ปราสาทขี้ขี้ กุ้แดง และกุ้บ้านหนองแฝก ดังรูปที่ 7

พบว่าค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์มีค่า $7^{\circ}34'29.0''$, $12^{\circ}31'41.8''$ และ $6^{\circ}27'1.40''$ ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเดคลิเนชันที่ได้จากการคำนวณ นอกจากนี้ดวงอาทิตย์ยังปรากฏอยู่ในราศีมีน (กลุ่มดาวปลา) อีกด้วย



รูปที่ 7 ภาพจำลองจากโปรแกรม Stellarium แสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์ขึ้น ณ (a) ปราสาทชัยภูมิ (b) กู่แดง และ (c) กู่บ้านหนองแฝก

จากผลการวิจัยจะพบว่าปราสาทภูมิในจังหวัดชัยภูมิมีการวางตัวในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตกตามความเชื่อที่เกี่ยวข้องกับการสร้างปราสาทเพื่อบูชาดวงอาทิตย์ของชาวขอมโบราณ (อมลันธุ์ หนูพันธ์ และชูศักดิ์ เสนายอด, 2557) อีกทั้งปราสาทยังหันหน้าไปทางทิศตะวันออกเฉียงทางทิศเหนือเล็กน้อย และจากการเปรียบเทียบค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์พบว่าวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงกับประตูปราสาทอยู่ในช่วงเดือนเมษายนและกันยายน ซึ่งเป็นวันที่ดวงอาทิตย์เข้าสู่ราศีเมษตามปฏิทินมหาศกราชที่เป็นวันปีใหม่ทางสุริยคติ

หรือวันเถลิงศกที่ถือเป็นวันนับศกใหม่เพิ่มอีกหนึ่งปีตามที่อาณาจักรขอมได้รับอิทธิพลมาจากอินเดีย โดยที่พราหมณ์ผู้ประกอบพิธีกรรมจะต้องวางทิศให้ถูกโฉลกและเป็นมงคล เพราะเชื่อว่าหากวางวางทิศผิดจะได้รับโทษ เกิดสิ่งเลวร้ายกับบ้านเมือง ผู้คนเจ็บป่วยจากสารพัดโรค และอาจเกิดภัยพิบัติหรืออาเพศขึ้น (เชิดศักดิ์ แซ่ลี้ และคณะ, 2565)

เนื่องจากการหมุนควงของแกนโลกทำให้เกิดการหมุนควงของจุดวิษุวัต (the precession of the equinoxes) จุดวสันตวิษุวัตจึงเปลี่ยนตำแหน่ง โดยเลื่อนถอยประมาณ 1 องศาบนเส้นสุริยวิถีในทุก ๆ 72 ปี (2160 ปี ดาวจักรราศีเลื่อน 1 ราศี) ในปี พ.ศ. 2568 (ค.ศ. 2025) จุดวสันตวิษุวัตจะอยู่ใกล้ขอบเริ่มของราศีมีน (Pisces) แต่เมื่อสองพันกว่าปีก่อนหน้านั้นในช่วงราว พ.ศ. 404 (140 ปีก่อน ค.ศ.) จุดวสันตวิษุวัตอยู่ใกล้ขอบเริ่มของราศีเมษ (Aries) Hipparchus เรียกจุดนั้นระบบพิกัดฟ้าว่า “First Point of Aries” โดยใช้ดาวจิตรา หรือดาวรวงข้าว (Spica: α Virginis) ที่อยู่ตรงข้ามเป็นดาวอ้างอิง ซึ่งจุดวสันตวิษุวัตในขณะนั้นจะอยู่ระหว่างราศีเมษ-มีน (กลุ่มดาวปลากับกลุ่มดาวแกะ) คนโบราณจึงยึดดวงอาทิตย์ย้ายเข้าสู่ราศีเมษเป็นจุดเริ่มต้นปีสุริยคติ และถือเป็นการเริ่มต้นปีใหม่ จนกระทั่งในราวคริสต์ศตวรรษที่ 2 Ptolemy พบว่าดาวจิตราเคลื่อนออกจากตำแหน่งที่ Hipparchus เคยบันทึกไว้ จึงถือเป็นการเริ่มต้นค้นพบปรากฏการณ์การหมุนควงของจุดวิษุวัต และในปัจจุบันจุดวสันตวิษุวัตนี้กำลังเคลื่อนเข้าสู่ราศีกุมภ์ นั่นคือยิ่งเวลาผ่านไปจุดวิษุวัตยิ่งห่างจากจุดเริ่มต้น First Point of Aries มากขึ้น นั่นหมายความว่าในแต่ละปีจุดวสันตวิษุวัตจะเลื่อนไม่ได้กลับมาถึงจุดหรือดาวอ้างอิงเดิม ส่งผลให้วันเถลิงศกปัจจุบันไม่ได้อยู่ตรงกับวันวสันตวิษุวัตแล้ว (เชิดศักดิ์ แซ่ลี้ และอรพิน ธิยาพราว, 2566)

สำหรับแนวการวางตัวของปราสาทในจังหวัดชัยภูมิดังกล่าวข้างต้นสอดคล้องกับงานวิจัยของกนกกร คัดทะจันทร์ และภัทรตรา เจริญพร (2561) ที่ได้ศึกษาการจัดวางตัวของปราสาทขอมในบริเวณอาณาจักรขอมเดิม พบว่าปราสาทขอมในประเทศไทยส่วนใหญ่จะหันหน้าทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือเล็กน้อย และดวงอาทิตย์ขึ้นตรงกับประตูปราสาทในช่วงเดือนเมษายนและกันยายน นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของกัญธิชา ใหม่จู และชาลีสา จินตนาเลิศ (2565) ที่ได้ศึกษาการวางของปราสาทขอมในประเทศไทยโดยการวัดแสงอาทิตย์และระบบ GPS พบว่าปราสาทที่หันหน้าไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือเล็กน้อย เช่น ปราสาทพนมรุ้ง และปราสาทเมืองต่ำ เนื่องจากปราสาทมีการอิงกลุ่มดาวราศีเมษตามความเชื่อของศาสนาฮินดู กล่าวได้ว่าสิ่งก่อสร้างเหล่านี้อาจถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการบ่งบอกวัน เวลา และตรวจสอบฤดูกาลเป็นปฏิทินแบบโบราณอีกด้วย

สรุปผลการวิจัย

ปราสาทในจังหวัดชัยภูมิมีการวางตัวในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตกตามความเชื่อที่เกี่ยวข้องกับการสร้างปราสาทเพื่อบูชาดวงอาทิตย์ของชาวขอมโบราณ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบฤดูกาล และใช้เป็นปฏิทินโบราณมาตั้งแต่อดีตในหลากหลายอารยธรรมโบราณอีกด้วย ผลการเปรียบเทียบค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์พบว่าวันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นตรงกับประตูปราสาทอยู่ในช่วงเดือนเมษายนและกันยายน ซึ่งเป็นวันที่ดวงอาทิตย์เข้าสู่ราศีเมษตามปฏิทินมหาศกราชที่เป็นวันปีใหม่ทางสุริยคติ หรือวันเถลิงศกที่ถือเป็นวันนับศกใหม่เพิ่มอีกหนึ่งปีตามที่อาณาจักรขอมได้รับอิทธิพลมาจากอินเดีย สอดคล้องกับการที่ปราสาทหันหน้าไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือเล็กน้อยเพื่อให้ตรงกับกลุ่มดาวราศีเมษ แต่เนื่องจากการหมุนควงของแกนโลกทำให้เกิดปรากฏการณ์การหมุนควงของจุดวิษุวัต โดยในช่วงสองพันปีก่อนจุดวิษุวัตจะอยู่ระหว่างราศีเมษ-มีน คนโบราณจึงยึดดวงอาทิตย์ย้ายเข้าสู่ราศีเมษเป็นจุดเริ่มต้นปีสุริยคติ แต่ปัจจุบันจุดวสันตวิษุวัตเคลื่อนเข้าสู่

ราศีกุมภ์ นั้นคือยิ่งเวลาผ่านไปความแตกต่างระหว่างจุดวิษุวัตยิ่งห่างจากจุดเริ่มต้น (First Point of Aries) มากขึ้น ส่งผลให้วันเถลิงศกปัจจุบันไม่ได้อยู่ตรงกับวันวสันตวิษุวัตแล้ว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคุณครูพรชัย บุญครอง ครูกลุ่มสาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม โรงเรียนปัญจติที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับปราสาทขอมและปราสาทแก้ว และขอขอบคุณนายวัชชัยชนัน ภัทร์จรินทร์ญา นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีการบิน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่อนุเคราะห์ภาพถ่ายมุมสูงของปราสาทชัยภูมิในการนำมาประกอบบทความวิจัยฉบับนี้ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำปราสาทแก้วที่ให้คำแนะนำ และอนุญาตให้เข้าศึกษาสถาปัตยกรรมภายในปราสาทแก้วจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กนกกร คัดทะจันทร์ และภัทร์ตรา เจริญพร. (2561). การศึกษาการจัดวางตัวของปราสาทขอมในบริเวณอาณาจักรขอมเดิมกับเส้นทางเดินของดวงอาทิตย์. *THE 5th THAI ASTRONOMICAL CONFERENCE* (น. 196-199). เชียงใหม่: สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน).
- กัญทิชา ใหม่จุ และชวลีสา จินตนาเลิศ. (2565). การศึกษาการวางตัวของปราสาทขอมในประเทศไทยโดยการวัดด้วยแสงอาทิตย์และระบบ GPS. *THE 8th THAI ASTRONOMICAL CONFERENCE* (น. 135-138). เชียงใหม่: สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน).
- จิรัชญา ดิลกธำรงค์กุล. (2559). การศึกษาโครงสร้างและการวางตัวของปราสาทหินพนมรุ้งเพื่ออธิบายปรากฏการณ์แสงทะลุประตู 15 ช่อง. *THE 3rd THAI ASTRONOMICAL CONFERENCE* (น. 98-101). เชียงใหม่: สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน).
- เชิดศักดิ์ แซ่ลี และอรพิน ธิยาพร้าว. (2566). *สอบเทียบวันเดือนปีในจารึกล้านนา*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เชิดศักดิ์ แซ่ลี, อรพิน ธิยาพร้าว, กรกมล ศรีบุญเรือง และศิริมาศ โกมลจินดา. (2565). *หนังสือชุดความรู้โบราณดาราศาสตร์ เล่ม 2 ปราสาทพนมรุ้ง*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- _____. (2566). *หนังสือชุดความรู้โบราณดาราศาสตร์ เล่ม 3 ปราสาทพิมาย*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นภสินธุ์ บุญล้อม. (2563). *องค์ความรู้เรื่องภาพสลักทับหลังโบราณสถานปราสาทแก้ว อำเภอเมืองชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ*. สืบค้นจาก https://www.finearts.go.th/fad10/view/22_886?fbclid=IwAR0oiUVHQqj0W4epI3CQmWFuyxXpoH9iY6gYX8wYtb5c2ySnCPU6w_IlnSc
- น้ำทิพย์ เนตรประโคน และธัญยพัทธ์ สุรติวรพัทธ์. (2558). การศึกษาการวางตัวของปราสาทขอมในประเทศไทยเทียบกับการขึ้นตกของดวงอาทิตย์. *THE 2nd THAI ASTRONOMICAL CONFERENCE* (น. 112-115). เชียงใหม่: สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน).
- วรรณวิภา สุนต์ตา. (2548). *ชัยวัฒน์ที่ 7 มหาราชวงศ์สุดท้ายของอาณาจักรกัมพูชา ผู้เฝ้ารมิตสถาปนาปราสาทบายนและเมืองนครธม*. กรุงเทพฯ: พิมพ์ดี.
- สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ. (2563). *ดาราศาสตร์เบื้องต้น (Introduction to Astronomy)*. เชียงใหม่: สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน).

- อมลณัฐ หนูพยนต์ และชูศักดิ์ เสนายอด. (2557). ความสัมพันธ์ระหว่างการวางตัวของปราสาทขอมกับเส้นทางเดินของดวงอาทิตย์. *THE 1st THAI ASTRONOMICAL CONFERENCE* (น. 147-152).
เชียงใหม่: สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน).
- Google Earth. (2023). *Measure distances and areas in Google Earth*. Retrieved from <https://earth.google.com>
- Potere, D. (2008). Horizontal positional accuracy of Google Earth's high-resolution imagery archive. *Sensors*, 8(12), 7973–7981. doi:10.3390/s8127973
- Smart, W. M. (1977). *Textbook on Spherical Astronomy* (6th edition). Great Britain: Cambridge University Press.
- The Nautical Almanac. (2019). *GHA and Declination of the Sun for the Years 2001–2036*. Retrieved from <https://thenauticalalmanac.com/TABLE%204%20%20GHA%20and%20Declination%20of%20the%20Sun%20for%20the%20Years%202001%20to%202036.pdf>



สมาคมวิทยาศาสตร์โลก Earth Science Association; ESA

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

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