

## KIC 5956776 : การได้มาซึ่งกราฟแสงตลอดจนการประมาณสมบัติทางกายภาพของระบบ

## KIC 5956776 : from Light Curve Acquiring to Absolute Dimension Determining

วรวัลลัญช์ การะเกตุ, เบญญาภา ครองมี, อภิลิทธิ์ อินแดง\*

Worrawalun Karaket, Benyapa Krongmee, Apisit Aindang

โรงเรียนเทศบาล 6 นครเชียงราย 421 ม.6 ต.ริมกก อ.เมืองเชียงราย จ.เชียงราย 57100

Chiang Rai Municipality School 6, 421 Moo 6 Rimkok, Muang Chiang Rai 57100, Thailand

\*E-mail: Apisit@tesaban6.ac.th

(Received: Sept16, 2022; Revised: Nov13, 2022; Accepted: Dec14, 2022)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่ออธิบายกระบวนการได้มาซึ่งกราฟแสงจากฐานข้อมูลกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์ การวิเคราะห์กราฟแสงด้วยโปรแกรมวิลสันแอนด์เดวินนี่ที่ให้ค่าสมบัติทางกายภาพสัมพัทธ์ และการประมาณค่าสมบัติทางกายภาพสัมบูรณ์ของดาวคู่แบบบังกัน KIC 5956776 ในสถานการณ์ที่ไม่มีข้อมูลของกราฟความเร็วในแนวเล็ง ซึ่งมีกราฟแสงเป็นประเภท Beta Lyrae โดยผลของการวิเคราะห์กราฟแสงพบว่าสมบัติทางกายภาพสัมบูรณ์ของดาวดาวปฐมภูมิและดาวทุติยภูมิตามลำดับ เป็นดังนี้ อุณหภูมิ  $T_1 = 3737$  K และ  $T_2 = 6946 \pm 128$  K พลังงานศักย์โน้มถ่วงที่ผิวดาว  $\Omega_1 = 3.78 \pm 0.01$  และ  $\Omega_2 = 3.49 \pm 0.01$  ค่าความเอียงของระนาบวงโคจร  $i$  เท่ากับ  $77.09 \pm 0.07^\circ$  รัศมีของดาวในสัดส่วนของค่าครึ่งการหลัก  $r_{1\text{เฉลี่ย}} = 0.315 \pm 0.001 R_\odot/a$  และ  $r_{2\text{เฉลี่ย}} = 0.327 \pm 0.01 R_\odot/a$  เมื่อสมมติให้ดาวทั้งสองเป็นดาวในแถบกระบวนการหลัก สามารถคำนวณรัศมีของดาวได้ว่า  $R_1 = 1.00 \pm 0.01 R_\odot$  และ  $R_2 = 1.04 \pm 0.01 R_\odot$  ทำให้สามารถคำนวณย้อนกลับและได้ค่า  $a = 3.17 \pm 0.01 R_\odot$   $M_1 = 1.00 \pm 0.01 M_\odot$   $M_2 = 1.05 \pm 0.01 M_\odot$   $q = 1.05 \pm 0.01$

**คำสำคัญ :** KIC 5956776 เคปเลอร์ ดาวคู่แบบบังกัน กราฟแสง วิลสันแอนด์เดวินนี่ สมบัติทางกายภาพ

### Abstract

This research aims to explain the process of obtaining light curve from the Kepler Space Telescope Database, the analysis of light curve fitting by using the Wilson & Devinney code that provide relative physical parameters, and the way proposed to estimate absolute physical parameters of eclipsing binary KIC 5956776 when radial velocity curves are absent. The light curve of the system presented as one of the Beta Lyrae type. The results of light curve analysis suggested that the absolute physical parameters of primary and secondary stars respectively are as follows: Temperature  $T_1 = 3737$  K and  $T_2 = 6946 \pm 128$  K. Potential energy at the star surface  $\Omega_1 = 3.78 \pm 0.01$  and  $\Omega_2 = 3.49 \pm 0.01$ . The inclination of the orbital plane  $i$  is  $77.09 \pm 0.07$  degree. The average radius of the primary and secondary stars are  $r_{1\text{ average}} = 0.315 \pm 0.001 R_\odot/a$  and  $r_{2\text{ average}} = 0.327 \pm 0.01 R_\odot/a$ , respectively. Assuming that both primary and secondary stars are main-

sequence stars. The radius of each star can be calculated as  $R_1 = 1.00 \pm 0.01 R_\odot$  and  $R_2 = 1.04 \pm 0.01 R_\odot$ . This makes it possible to calculate reversely back and get the value of a semi-major axis ( $a$ ) of  $3.17 \pm 0.01 R_\odot$  and therefore  $M_1 = 1.00 \pm 0.01 M_\odot$ ,  $M_2 = 1.05 \pm 0.01 M_\odot$  and  $q = 1.05 \pm 0.01$ , as the result.

**Keywords :** KIC 5956776, Kepler, eclipsing binary, light curve, Wilson & Devinney (WD), physical parameters

## บทนำ

กระทรวงศึกษาธิการเล็งเห็นปัญหาที่ประชาชนไทยมีความรู้พื้นฐานด้านดาราศาสตร์น้อยกว่าที่ควรจะเป็น จึงบรรจุวิชาดาราศาสตร์ให้อยู่ในสาระการเรียนรู้ โลก ดาราศาสตร์และอวกาศ ของหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 ทำให้เกิดสถานะสูญญากาศในโรงเรียนอยู่พักใหญ่นับตั้งแต่ พ.ศ. 2552 เป็นต้นมา เนื่องจากครูในโรงเรียนต่างไม่เคยเรียนวิชาดาราศาสตร์มาก่อน จึงต้องอาศัยการอบรมกับผู้เชี่ยวชาญและองค์กรที่สนับสนุน เช่น สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) เป็นต้น ปัจจุบันผู้วิจัยพบว่าวิชาดาราศาสตร์ได้ทำหน้าที่ได้อย่างดีเยี่ยม ในฐานะจุดสัมผัสอเนกมิติเชื่อมให้ประชาชนในสังคมหันมาสนใจวิทยาศาสตร์มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

อย่างไรก็ตาม ครูที่มีความรู้ความสามารถมากพอที่จะเป็นที่ปรึกษาให้นักเรียนสามารถทำงานวิจัยดาราศาสตร์ในโรงเรียนขาดแคลนอยู่มาก หรืออาจกล่าวได้ว่าแทบจะไม่มีโครงการงานวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนที่เป็นการศึกษาด้านดาราศาสตร์เลยก็ว่าได้ หรืออาจมีให้เห็นบ้างในโรงเรียนใหญ่ที่มีความร่วมมือกับมหาวิทยาลัยชั้นนำ ที่มีอุปกรณ์กล้องโทรทรรศน์ ดังนั้น ผู้วิจัยสามารถสรุปสาเหตุของการขาดแคลนงานวิจัย/โครงการงานด้านดาราศาสตร์ในโรงเรียนได้ 2 ปัจจัย ได้แก่ 1) โรงเรียนไม่มีเครื่องมือในการสังเกตการณ์ และ 2) ครูไม่มีความรู้

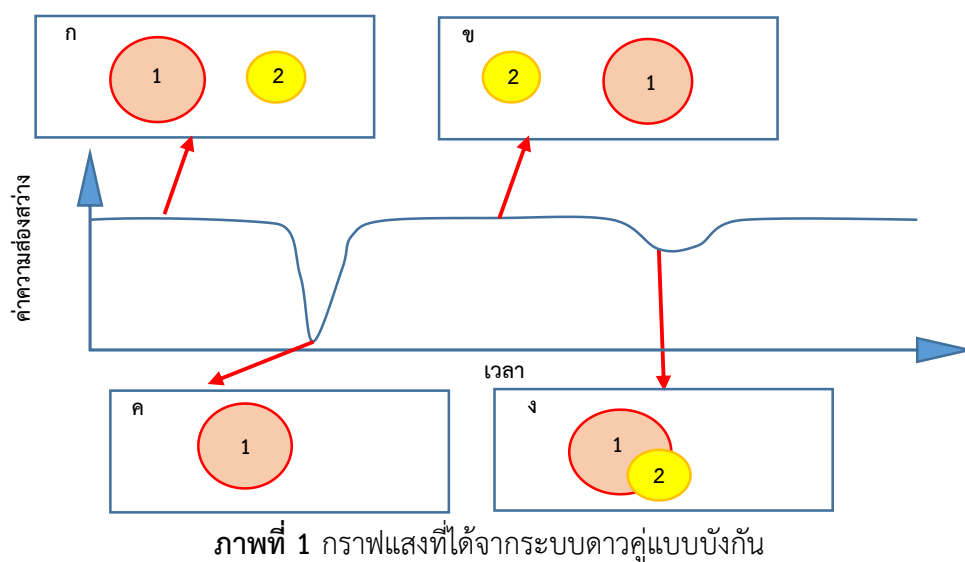
ดังนั้น เพื่อแก้ไขปัญหที่เกิดจากปัจจัยที่ 1) ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะใช้ข้อมูลจากกล้องโทรทรรศน์อวกาศที่เผยแพร่ข้อมูลเป็นสาธารณะและสามารถดาวน์โหลดได้จากระบบออนไลน์ เพื่อที่ผู้ที่สนใจจะทำโครงการดาราศาสตร์สามารถหาข้อมูลได้ง่ายและสะดวกสบายมากขึ้น และสามารถนำไปใช้ศึกษาในโรงเรียนได้ โดยไม่ต้องพึ่งอุปกรณ์เครื่องมือใด ๆ ทั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกที่จะใช้ข้อมูลจากกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์ (Kepler) เนื่องจากเป็นกล้องที่มีพันธกิจสร้างที่น่าสนใจคือ “เพื่อค้นหาดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ” เป็นความพยายามตอบคำถามที่ว่า “เราอยู่คนเดียวในเอกภพหรือไม่?” ซึ่งถือเป็นคำถามแห่งมนุษยชาติในยุคนี้

เพื่อแก้ไขปัญหที่เกิดจากปัจจัยที่ 2) ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะทำงานวิจัยดาราศาสตร์ขั้น 1 ขึ้น เพื่อเป็นต้นแบบให้โรงเรียนสามารถทำตามได้ แม้โรงเรียนนั้นจะไม่มีครูที่มีความรู้ด้านดาราศาสตร์ก็ตาม ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิจัยต้นแบบเรื่อง “การหาคุณสมบัติทางกายภาพของดาวคู่แบบบังกันโดยใช้ข้อมูลจากกล้องโทรทรรศน์อวกาศ Kepler” เนื่องจาก ข้อมูลจากกล้อง Kepler นั้น สามารถช่วยให้ผู้วิจัยหาคุณสมบัติทางกายภาพของดาวคู่แบบบังกันได้ โดยการวิเคราะห์จากกราฟแสง

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลกราฟแสงจากกล้อง Kepler มาวิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพของดาวคู่แบบบังกัน KIC 5956776 โดยใช้โปรแกรมวิลสันแอนด์เดวินนี่ (Wilson & Devinney, WD) ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ฟรี

### วิธีการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้เลือกกราฟแสงของสิ่งที่คาดว่าจะป็นระบบดาวคู่แบบบังกันจากฐานข้อมูลของเคปเลอร์ ซึ่งมีหลักการอยู่ว่า หากวัตถุหนึ่งเป็นดาวคู่แบบบังกันจริง กราฟแสงจะมีแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงไปของกราฟแสงกับเวลาเป็นไป ดังภาพที่ 1 นั่นคือ สมมติให้ดาวดวงที่ 1 มีความสว่างมากกว่าดาวดวงที่ 2 เมื่อดาวทั้งสองไม่ได้โคจรบังกันความสว่างของระบบดาวจะมีค่าคงที่ หรือกราฟแสงเรียบ (ดังแสดงในภาพที่ 1 ก และ ข) และเมื่อดาวดวงที่ 1 บังดาวดวงที่ 2 ที่สว่างน้อยกว่า จะส่งผลให้ความสว่างของระบบดาวลดลง (ดังแสดงในภาพที่ 1 ค) ขณะที่เมื่อดาวดวงที่ 2 บังดาวดวงที่ 1 ที่สว่างมากกว่า จะส่งผลให้ความสว่างของระบบดาวลดลงเช่นกัน แต่การลดลงนั้นน้อยกว่าครั้งก่อนหน้า (ดังแสดงในภาพที่ 1 ง)



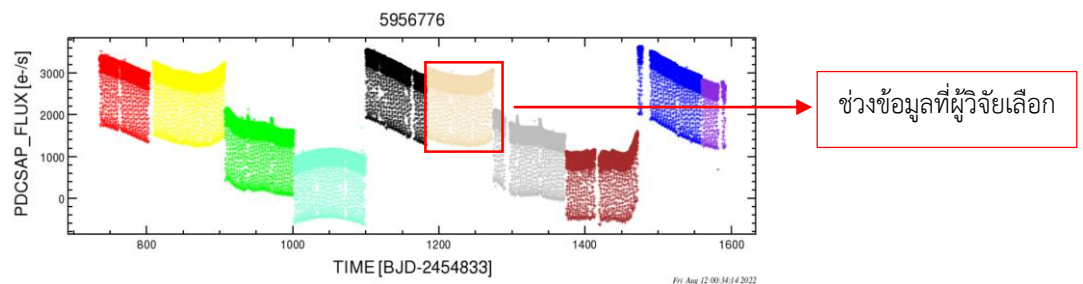
ภาพที่ 1 กราฟแสงที่ได้จากระบบดาวคู่แบบบังกัน

การเลือกดาวจากข้อมูล Kepler Object of Interest (KOI) โดยวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลดิบจากเว็บ Kepler เพื่อได้มาเป็นกราฟแสงเลือกดาวจาก Koi (Kepler Object of Interest) มีค่าความนิยม 3,000 ขึ้นไป และมีคาบการโคจรประมาณ 0.5 วัน จากเว็บไซต์ Mikulski Archive for Space Telescopes<sup>1</sup> แล้วทำการค้นหาดาวจำนวน 10 ระบบ แล้วเลือกดาวที่ยังไม่ได้ตีพิมพ์และหนึ่งระบบที่ตีพิมพ์เลือกระบบดาวคู่ 1 ระบบ และดาวน์โหลดข้อมูลสังเกตการณ์ได้โดย เข้าไปที่เว็บไซต์ NASA EXOPLANET ARCHIVE NASA

<sup>1</sup> เข้าถึงได้จาก [https://archive.stsci.edu/kepler/eclipsing\\_binaries.html?fbclid=IwAR1-ru3G3cmhgCVcJmU8XpbjRpT4Wy-Nq2sA1QHIVtr-vVDe1KcaeYswM](https://archive.stsci.edu/kepler/eclipsing_binaries.html?fbclid=IwAR1-ru3G3cmhgCVcJmU8XpbjRpT4Wy-Nq2sA1QHIVtr-vVDe1KcaeYswM)

EXOPLANET SCIENCE INSTITUTE<sup>2</sup> โดยสาเหตุที่เลือกระบบดาวคู่ที่มีคาบเท่ากับ 0.5 วัน<sup>3</sup> เพื่อจะเป็นตัวช่วยในการประมาณการสมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่นี้ในหัวข้อต่อไป

ข้อมูลสังเกตการณ์ที่ดาวโหลดมาจะเป็นค่า TIME และ Flux นำมาแปลงข้อมูลใน Excel แล้วพล็อตกราฟเชิงเส้นเป็นดัง ภาพที่ 2 จากภาพรวมของกราฟแสงทั้งหมดผู้วิจัยจะพบว่าเคปเลอนำเสนอกราฟแสงหลายช่วงข้อมูลสังเกตการณ์ ผู้วิจัยจึงเลือกดาวโหลดข้อมูลทั้งหมดมาก่อน แล้วเลือกช่วงข้อมูลสังเกตการณ์มา 1 ฟิลเตอร์ ที่ช่วงข้อมูลต่อเนื่องที่ไม่ขาดตอนและไม่มีการกระจัดกระจาย



ภาพที่ 2 ภาพกราฟแสงหลายช่วงข้อมูลสังเกตการณ์โดยกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์ ของ KIC 5956776 โดยชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยเลือกแสดงในกรอบสี่เหลี่ยม

(ที่มา : NASA EXOPLANET ARCHIVE NASA EXOPLANET SCIENCE INSTITUTE<sup>4</sup>)

เมื่อเลือกข้อมูลสังเกตการณ์ที่ต้องการแล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมเอ็กเซลทำตามขั้นตอนดังนี้

1. ทำการเปลี่ยนค่า TIME ซึ่งเดิมอยู่ในรูป BJD-2454833 ให้เป็น BJD การนำค่า Time แต่ละค่ามา +2454833
2. หาค่าเฟสจากสมการที่ 1 โดยที่ค่าเฟสจะมีค่าไม่เกิน 1 หาค่า period ของ KIC5956776 โดยปรับตำแหน่งทศนิยมของ Phase เป็น 5 ตำแหน่ง

$$Phase = \left( \frac{BJD}{period} \right) - int \left( \frac{BJD}{period} \right) \quad (1)$$

3. ทำการ Normaliz Flux ให้ค่า Flux มีค่าระหว่าง 0-1 โดนหาค่า Flux max แล้วนำไปหารค่า Flux แต่ละตัว โดยปรับตำแหน่งทศนิยมของ Normaliz Flux เป็น 6 ตำแหน่งเพื่อเตรียมพร้อมนำ

<sup>2</sup> เข้าถึงได้จาก [https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/cgi-bin/TblSearch/nph-](https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/cgi-bin/TblSearch/nph-tblSearchInit?app=ExoTbls&config=keplerstellar&fbclid=IwAR0TMUMkp8bjE15astKmEe4bk7cHJrKJWVrYNUVBHC5SNFbCr-M1at3jJ5o)

[tblSearchInit?app=ExoTbls&config=keplerstellar&fbclid=IwAR0TMUMkp8bjE15astKmEe4bk7cHJrKJWVrYNUVBHC5SNFbCr-M1at3jJ5o](https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/cgi-bin/TblSearch/nph-tblSearchInit?app=ExoTbls&config=keplerstellar&fbclid=IwAR0TMUMkp8bjE15astKmEe4bk7cHJrKJWVrYNUVBHC5SNFbCr-M1at3jJ5o)

<sup>3</sup> คาบ 0.5 วัน ถือเป็นเป็นซ้ำกันขั้นต่ำของดาวแปรแสงคาทาคลิสมิก (Cataclysmic Variable) ซึ่งสรุปไว้ใน [5] เพื่อเป็นตัวช่วยในการประมาณการคุณสมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่ที่ผู้วิจัยต้องการศึกษา

<sup>4</sup> เข้าถึงได้จาก [https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/cgi-bin/TblSearch/nph-](https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/cgi-bin/TblSearch/nph-tblSearchInit?app=ExoTbls&config=keplerstellar&fbclid=IwAR0TMUMkp8bjE15astKmEe4bk7cHJrKJWVrYNUVBHC5SNFbCr-M1at3jJ5o)

[tblSearchInit?app=ExoTbls&config=keplerstellar&fbclid=IwAR0TMUMkp8bjE15astKmEe4bk7cHJrKJWVrYNUVBHC5SNFbCr-M1at3jJ5o](https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/cgi-bin/TblSearch/nph-tblSearchInit?app=ExoTbls&config=keplerstellar&fbclid=IwAR0TMUMkp8bjE15astKmEe4bk7cHJrKJWVrYNUVBHC5SNFbCr-M1at3jJ5o)

ข้อมูล Normaliz Flux และ Phase เข้าสู่การวิเคราะห์กราฟแสงด้วย WD ในกรอบเหลือง และสีเขียว ดังภาพที่ 3

|    | A             | B          | C            | D            | E       | F          | G                                    | H          | I             | J          | K |
|----|---------------|------------|--------------|--------------|---------|------------|--------------------------------------|------------|---------------|------------|---|
| 1  | Time          | flux       | Time         | int(BJD)     | period  | BJD/period | phase = (BJD/period)-int(BJD/period) | flux (e/s) | Normaliz Flux | flux max = |   |
| 2  | BJD - 2454883 | (e/s)      | BDJ          |              |         |            |                                      |            |               | 7164.41    |   |
| 3  | 630.1959524   | 7088.04980 | 2455513.1960 | 2455513.0000 | 7.12923 | 344429.046 | 0.04561                              | 7088.0498  | 0.989342      |            |   |
| 4  | 630.2163852   | 7082.73490 | 2455513.2164 | 2455513.0000 | 7.12923 | 344429.048 | 0.04847                              | 7082.7349  | 0.988600      |            |   |
| 5  | 630.2368182   | 7086.54490 | 2455513.2368 | 2455513.0000 | 7.12923 | 344429.051 | 0.05134                              | 7086.5449  | 0.989131      |            |   |
| 6  | 630.2572509   | 7084.66550 | 2455513.2573 | 2455513.0000 | 7.12923 | 344429.054 | 0.05420                              | 7084.6655  | 0.988869      |            |   |
| 7  | 630.2776837   | 7084.16310 | 2455513.2777 | 2455513.0000 | 7.12923 | 344429.057 | 0.05707                              | 7084.1631  | 0.988799      |            |   |
| 8  | 630.2981167   | 7080.10790 | 2455513.2981 | 2455513.0000 | 7.12923 | 344429.060 | 0.05994                              | 7080.1079  | 0.988233      |            |   |
| 9  | 630.3185494   | 7081.75590 | 2455513.3185 | 2455513.0000 | 7.12923 | 344429.063 | 0.06280                              | 7081.7559  | 0.988463      |            |   |
| 10 | 630.3389823   | 7077.69090 | 2455513.3390 | 2455513.0000 | 7.12923 | 344429.066 | 0.06567                              | 7077.6909  | 0.987896      |            |   |
| 11 | 630.3594152   | 7081.91940 | 2455513.3594 | 2455513.0000 | 7.12923 | 344429.069 | 0.06854                              | 7081.9194  | 0.988486      |            |   |
| 12 | 630.3798479   | 7080.12550 | 2455513.3798 | 2455513.0000 | 7.12923 | 344429.071 | 0.07140                              | 7080.1255  | 0.988235      |            |   |
| 13 | 630.4002808   | 7080.61180 | 2455513.4003 | 2455513.0000 | 7.12923 | 344429.074 | 0.07427                              | 7080.6118  | 0.988303      |            |   |
| 14 | 630.4411465   | 7089.72170 | 2455513.4411 | 2455513.0000 | 7.12923 | 344429.080 | 0.08000                              | 7089.7217  | 0.989575      |            |   |

ภาพที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมเอ็กเซลล์

เนื่องจากโปรแกรม WD เป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์กราฟแสงได้หลายประเภทจึงจำเป็นต้องเลือกใช้โหมดให้เหมาะสมกับประเภทของดาวคู่ที่ผู้วิจัยเลือก โดยมีตั้งแต่โหมด -1 ถึง 6

โหมด -1 สำหรับดาวคู่เอกซ์เรย์ ซึ่งการลดลงของความสว่างขณะดาวบังกันนั้นสังเกตได้ด้วยรังสีเอกซ์

โหมด 0 เป็นโหมดที่ไม่มี constraint ใด ๆ เลย แม้ความสว่างของดาวก็ไม่ได้ขึ้นกับอุณหภูมิ ฯลฯ

โหมด 1 ใช้สำหรับระบบดาวคู่ที่แตะกัน (over contact binaries) เช่น W Uma ฯลฯ

โหมด 2 ใช้สำหรับระบบดาวคู่ไม่แตะกัน (detached binaries) ที่ไม่มี constraint สำหรับค่าพลังงานศักย์  $P_1$  และค่า  $P_2$  จะถูกคำนวณจากค่าตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

โหมด 3 ใช้สำหรับระบบดาวคู่ที่แตะกัน (over contact binaries) เหมือนโหมด 1 เว้นแต่ว่าในโหมด 3 นี้ ค่า  $P_1$  และ  $L_2$  จะถูกคำนวณจากค่าตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

โหมด 4 ใช้สำหรับระบบดาวคู่กึ่งแตะกัน (semi-detached binaries) ที่มีดาวปฐมภูมิขยายเต็มผิวสมศักร์โรซ (ศึกษาเพิ่มเติมได้จาก [5])

โหมด 5 ใช้สำหรับระบบดาวคู่กึ่งแตะกัน (semi-detached binaries) เหมือนโหมด 4 เว้นแต่ว่าในโหมด 5 นี้ ดาวทุติยภูมิขยายเต็มผิวสมศักร์โรซ มักใช้กับดาวคู่แบบบังกันประเภท Algol

และโปรแกรม WD จำเป็นจะต้องมี input file เท่านั้นตามโค้ดของโปรแกรม WD ที่กำหนดไว้ดังนั้นผู้วิจัยได้นำผลที่ได้ทำข้อมูล Flux เป็น normalized Flux ดังต้นมาจึงสร้างไฟล์ input file ต้นแบบไว้ ดังภาพที่ 4

```

1 +0.2d-1 +0.2d-1 +0.2d-1 +0.2d-1 +0.2d-1 +0.2d-1 +0.2d-1 +0.2d-1
2 +1.0d-2 +1.0d-3 +1.0d-2 +3.0d-2 +3.0d-2 +2.0d-3 +1.0d-1 +1.0d-2 +1.0d-3 +3.0d-3 +3.0d-3
3 +5.0d-2 +5.0d-2 +3.0d-2 +3.0d-2 +2.0d-2 +1.0d-2 +1.0d-2 +1.0d-2 +1.0d-2
4 1111 1111 111111 01110 11001 11111 11111 11111 11111 11111 01111 10 0.100D-04 1.000
5 1 0 2 0
6 0 0 1 2 0 0 3 1 1
7 1 1 1 1 1 0 2 2 0 2 0 0 0 0 0.0000
8 2 2455000.303505 0.5691150000D+00 0.0000000000 0.1626 0.10000 1
9 2 0 0 0 30 30 15 15 0.000000 0.00000D+00 0.00000 100.000
10 0.00000 3.460000D+00 1.0000 1.0000 -15.000 77.089 1.000 0.500 0.00 1.0000 1.0000
11 0.5800 1.0780 1.000 1.000 3.775621D+00 3.489594D+00 0.700000D+00 0.500 0.500 0.000 0.000 1.00000
12 0.000000D+00 0.0000000D+00 0.00000 0.00000 0.000000 0.00000000
13 26 1.491576920 0.16361D+01 0.500 0.500 0.240 0.230 0.0000D+00 0.000D+00 2 0.10000D-01 0.08000 0.42000 0.58000 0.92000 1
14 0.360000 0.0000 0.1000D+01 0.10000D+01
15 300.00000
16 300.00000
17 150.0000
18 0.59840 0.704900 1.000 0.59501 0.737037 1.000 0.77149 0.863466 1.000
19 0.63431 0.477542 1.000 0.63092 0.510347 1.000 0.80740 0.889875 1.000

1430 0.52320 0.909000 1.000 0.69968 0.518196 1.000 0.55809 0.930864 1.000
1431 0.55911 0.877714 1.000 0.73559 0.738325 1.000 0.59400 0.780727 1.000
1432 -10000.00000
1433 1111 1111 111111 01110 11001 11111 11111 11111 11111 11111 01111 10 0.100D-04 1.000
1434 2
1435
1436 ADJUSTMENT CONTROL INTEGERS; 1 SUPPRESSES ADJUSTMENT, 0 ALLOWS ADJUSTMENT.
1437 0000 0000 0111111 11112 22223 33333 33334 44444 44445 55555 55556
1438 1234 5678 9012345 67890 12345 67890 12345 67890 12345 67890 12345 67890
1439 LLSS LLSS aELFFPV IggTT AAPFQ EPFDa FiewT BBBB DEOMM DOMMD BBBB LLXXL It xlamda VLR
1440 AGRT AGRT P12S 1212 1212 P TT3 3333c KKKKK XNAI SNAIS KKKKK 12123
1441 AAA BBBB
1442 1111 1111 111111 01110 11001 11111 11111 11111 11111 11111 01111 10 0.100D-04 1.000
1443
1444

```

ภาพที่ 4 การสร้างไฟล์ input file ต้นแบบ

โดยผู้วิจัยได้นำค่าตัวแปร  $T_1, T_2, P_1, P_2, i, q, a, e$  จาก catalog Eclipsing Binaries หนังสือของ Terrell et al. (1992) [1] ที่มี  $BJD_0^5$ , คาบและฟิลเตอร์ มาปรับค่าในไฟล์ input file ต้นแบบโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) เปลี่ยนค่าเริ่มต้นตัวแปรที่ทราบค่า ได้แก่  $BJD_0$ , คาบ
  - $BJD_0$  คอลัมน์ที่ 2 และ คาบ คอลัมน์ที่ 3 ในบรรทัดที่ 8 ดังกรอบสีแดงภาพที่ 4
- 2) นำค่า Phase และ Normalized Flux ใส่ในโปรแกรม Crimson Editor โดยมีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง 3 องค์ประกอบ ได้แก่ 1.) Phase Normaliz 2.) Flux 3.) ค่าถ่วงน้ำหนักตามลำดับ และแบ่งเป็น 3 คอลัมน์
- 3) โดยเลือกตัวแปรหลัก ( $T_1, PS, L_1, P_1, i$ ) ให้โปรแกรม WD ปรับค่า
  - ตัวแปรที่ต้องการปรับค่าให้ปรับค่าสั่งการปรับค่าส่วนหัวละท้ายเป็น 0
  - ตัวแปรไหนไม่ต้องการปรับค่าให้เปลี่ยนเป็นเลข 1
- 4) บันทึกไฟล์เป็น .wdc
- 5) ทำการวิเคราะห์กราฟแสงด้วย WD
- 6) ปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ ตามที่โปรแกรมแนะนำ

<sup>5</sup>  $BJD_0$  หมายถึง Time of Minimum ของกราฟแสงในตำแหน่ง  $E=0$  ในรูปของวันจูเลียนศูนย์สุริยะ เข้าเว็บไซต์

<https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/cgi-bin/TblSearch/nphTblSearch?app=ExoTbls&config=keplerstellar&fbclid=IwAR0TMUMkp8bjE15astKmEe4bk7cHjrKJWWYrYNUVBHC5SNFbCr-M1at3jJ5o>

bin/TblSearch/nphTblSearch?app=ExoTbls&config=keplerstellar&fbclid=IwAR0TMUMkp8bjE15astKmEe4bk7cHjrKJWWYrYNUVBHC5SNFbCr-M1at3jJ5o

- 7) จากนั้นก็ทำการรันซ้ำ จนกว่า residual fitting error มีค่าไม่ต่างจากเดิม 4 ตำแหน่งแล้ว  
ปรับค่าตัวแปรของ ( $A_1, A_2, x_1, x_2, g_1, g_2$ ) รันโปรแกรม WD จนได้ค่าที่สมบูรณ์

## ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดาวน์โหลดและเลือกช่วงข้อมูลกราฟแสงต่อเนื่องที่ไม่ขาดตอนและเป็นช่วงที่เป็น Out of eclipse มากที่สุด จากกราฟแสงที่เป็นข้อมูลดิบจาก Kepler ของ KIC 5956776 โดยแกน y เป็นค่าฟลักซ์ (Flux) ในหน่วย (e/s) หลังจากนั้นผู้วิจัยจึงเปลี่ยน BJD-2454833 ให้เป็น Phase แกน y ยังเป็น flux คงเดิม จากนั้นผู้วิจัยได้เปลี่ยน flux ให้อยู่ในรูป normalized flux

เนื่องจากโปรแกรม WD เป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์กราฟแสงได้หลายประเภทได้ทำการทดลองวิเคราะห์กราฟแสงโดยใช้โหมดต่างๆ แล้ว ผู้วิจัยเลือกที่จะใช้โหมด 2 ก่อนสำหรับระบบดาวที่ยังไม่ทราบค่าสัดส่วนมวล โดย input file ตามโค้ดของโปรแกรม WD ผู้วิจัยได้นำค่าตัวแปร  $T_1, T_2, P_1, P_2, I, q, a, e$  จาก catalog Eclipsing Binaries ของหนังสือ Terrell et al, 1992 [1] แล้วเปลี่ยนตัวแปรหลัก ( $T_2, PS, L_1, P_1, I$ ) ให้โปรแกรมปรับค่า ตัวแปรที่ต้องการปรับค่าให้ปรับค่าสั่งการปรับค่าส่วนหัวละท้ายเป็น 0 ตัวแปรไหนไม่ต้องการปรับค่าให้เปลี่ยนเป็นเลข 1

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์กราฟแสง โดยไฟล์ input file ที่ถูกต้องของไฟล์ input ที่เป็นไฟล์ .wdc เพื่อให้โปรแกรมอ่านค่าและสร้างไฟล์ output และรันโปรแกรม WD ปรับค่าตัวแปรที่โปรแกรมแนะนำจนกว่า residual fitting error มีค่าไม่ต่างจากเดิม 4 ตำแหน่ง โดยจุดดำคือ ข้อมูลสังเกตการณ์ และเส้นแดง คือ เส้นที่เกิดการจำลองโดยโปรแกรม WD

จากนั้นผู้วิจัยได้กราฟแสงที่ได้ นำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้วยโปรแกรม Wilson-Devinney ได้ผลที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์เบื้องต้นของระบบดาวคู่

เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย WD จะอยู่ในรูปของอัตราส่วน เช่น อุณหภูมิจะอยู่ในรูป  $T_1/T_2$  ซึ่งจะไม่อยู่ในรูปค่าจริง ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จะไม่เป็นค่าจริง ค่าที่ได้มาจะอยู่ในรูปอัตราส่วน ค่าที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ จากการวิเคราะห์ข้อมูลของระบบดาวคู่ KIC 5956776 ด้วยโปรแกรม WD เป็นดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของ KIC 5956776 ที่ปรากฏในฐานข้อมูลเคปเลอร์

| ตัวแปร           | ค่าที่ได้            |
|------------------|----------------------|
| RA               | 19h22m35.587s        |
| Dec              | +41°14' 02.65''      |
| BJD <sub>0</sub> | 55000.303505 ± 0.02  |
| Period           | 0.569115 ± 0.0000001 |
| Kepmag           | 16.747               |
| T <sub>eff</sub> | 6946                 |
| Log G            | 4.120                |
| Metallicity      | -0.201               |
| E(B-V)           | 0.229                |

หมายเหตุ : ข้อมูลจากฐานข้อมูลกล้องโทรทรรศน์อวกาศเคปเลอร์ Mikulski Archive for Space Telescopes<sup>6</sup>

### 1. การวิเคราะห์กราฟแสง

ผู้วิจัยใช้โปรแกรมวิลสันแอนด์เดวินนี่ โหมด 2 (สำหรับดาวคู่แบบแยกกัน [2]) วิเคราะห์กราฟของ KIC 5956776 โดยเริ่มกำหนดให้อุณหภูมิของดาวปฐมภูมิ ( $T_1$ ) มีค่าเท่ากับอุณหภูมิยังผล ( $T_{eff}$ ) ก่อน จนได้ผลดังตารางที่ 2 และภาพที่ 4

<sup>6</sup> เข้าถึงได้จาก [https://archive.stsci.edu/kepler/eclipsing\\_binaries.html?fbclid=IwAR1-ru3G3cmhgCVcJmU8XpbjRqT4Wy-Nq2sA1QHIVtr-vlVDe1KcaeYswM](https://archive.stsci.edu/kepler/eclipsing_binaries.html?fbclid=IwAR1-ru3G3cmhgCVcJmU8XpbjRqT4Wy-Nq2sA1QHIVtr-vlVDe1KcaeYswM)

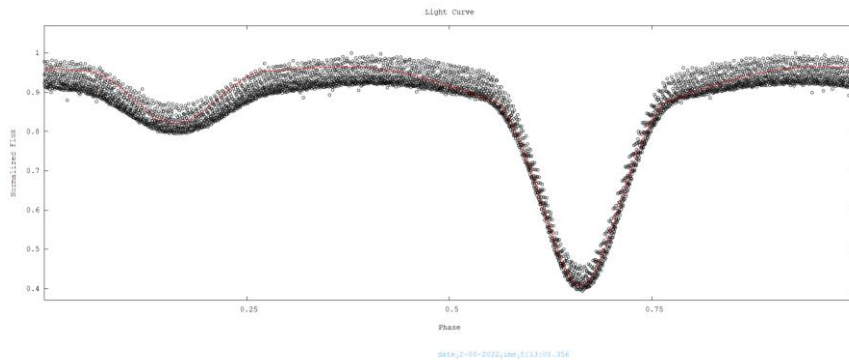


ตารางที่ 2 ค่าตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์กราฟแสงของ KIC 5956776

| ตัวแปร                                                       | ค่าที่ได้         |
|--------------------------------------------------------------|-------------------|
| ขนาดมุมเอียง, $i$ (degree)                                   | $77.09 \pm 0.07$  |
| ศักราชที่ผิวด้านใน ( $\Omega_1$ )                            | $3.78 \pm 0.01$   |
| ศักราชที่ผิวด้านนอก ( $\Omega_2$ )                           | $3.49 \pm 0.01$   |
| อุณหภูมิของดาวปฐมภูมิ ( $T_1$ ) (K)                          | 5800              |
| อุณหภูมิของดาวหทัยภูมิ ( $T_2$ ) (K)                         | $10780 \pm 128$   |
| สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงจากผิวดาวที่ 1 หรือ Albedo ( $A_1$ ) | 1.0               |
| สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงจากผิวดาวที่ 2 หรือ Albedo ( $A_2$ ) | 1.0               |
| ค่าสัมประสิทธิ์ความโน้มถ่วงดวงดาวที่ 1 ( $g_1$ )             | 1.0               |
| ค่าสัมประสิทธิ์ความโน้มถ่วงดวงดาวที่ 2 ( $g_2$ )             | 0.5               |
| ค่าสัมประสิทธิ์การมืดที่ขอบดาวที่ 1 $x_1$                    | 0.5               |
| ค่าสัมประสิทธิ์การมืดที่ขอบดาวดวงที่ 2 $x_2$                 | 0.5               |
| $r_1$ pole ( $R_\odot/a$ )                                   | $0.303 \pm 0.001$ |
| $r_1$ point ( $R_\odot/a$ )                                  | $0.326 \pm 0.002$ |
| $r_1$ side ( $R_\odot/a$ )                                   | $0.311 \pm 0.001$ |
| $r_1$ back ( $R_\odot/a$ )                                   | $0.320 \pm 0.001$ |
| $r_2$ pole ( $R_\odot/a$ )                                   | $0.303 \pm 0.001$ |
| $r_2$ point ( $R_\odot/a$ )                                  | $0.356 \pm 0.003$ |
| $r_2$ side ( $R_\odot/a$ )                                   | $0.314 \pm 0.001$ |
| $r_2$ back ( $R_\odot/a$ )                                   | $0.335 \pm 0.001$ |

หมายเหตุ : - ตัวแปรที่ไม่ระบุค่าความคลาดเคลื่อน หมายถึง ตัวแปรที่ไม่มีการแปรค่าในโปรแกรม  
 - ความหมายของ  $r_1$   $r_2$  ดังภาพที่ 6

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า รัศมีดาวปฐุมภูมิและหุติยภูมิมีขนาดใกล้เคียงกันที่ประมาณ  $0.3 R_{\odot}/a$  และผลการวิเคราะห์ข้อมูลสังเกตการณ์กับโมเดลสอดคล้องกันเป็นอย่างดี (ดังภาพที่ 5) แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้โมเดล 2 นั้นเหมาะสมกับ KIC 5956776



ภาพที่ 5 ข้อมูลสังเกตการณ์และเส้นโมเดลจากชุดตัวแปรในตารางที่ 2

## 2. การประมาณสมบัติทางกายภาพสัมบูรณ์

นำค่า  $r_1$  และ  $r_2$  ที่ได้จากตารางที่ 2 มาคำนวณหา  $R_1$  จากความสัมพันธ์  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{r_1}{r_2}$  แล้วจึงนำค่า  $R_1$  และ  $R_2$  ที่ได้ มาประกอบกับสัดส่วนของ  $T_1/T_2$  ที่ได้จากตารางที่ 2 มาคำนวณหาอุณหภูมิของดาวปฐุมภูมิ ( $T_1$ ) และหุติยภูมิ ( $T_2$ ) ที่แท้จริงอีกครั้ง โดยวิธีการเทียบกลับอุณหภูมินี้ (สมการที่ 2 และ 3) ได้เสนอไว้โดย [3] และถูกนำมาใช้โดย [4]

$$T_1 = \left( \frac{(1+R_{ratio}^2)T_{sys}^4}{1+R_{ratio}^2T_{ratio}^4} \right)^{0.25} \quad (2)$$

$$T_2 = T_1 T_{ratio} \quad (3)$$

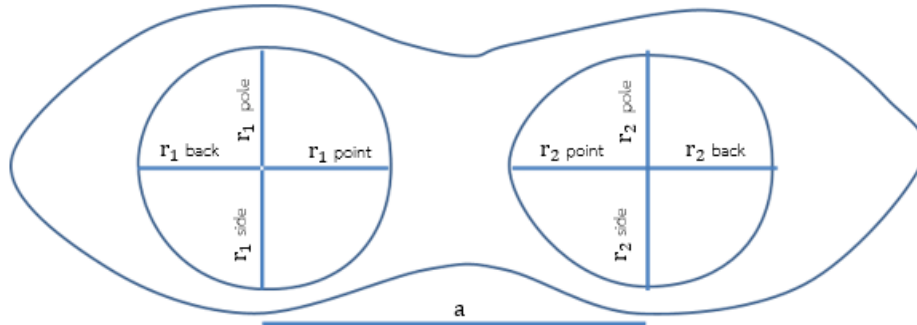
เมื่อ ความสัมพันธ์  $R_{ratio} = \frac{R_2}{R_1}$  และ  $T_{ratio} = \frac{T_2 \text{ จากตารางที่ 2}}{T_1 \text{ จากตารางที่ 2}} = \frac{10780}{5800}$

เมื่อผู้วิจัยได้  $R_1, R_2, r_1$  และ  $r_2$  มาแล้ว ผู้วิจัยจะสามารถหาระยะครึ่งแกนเอก ( $a$ ) ได้จากจากความสัมพันธ์  $r_{1,2} = R_{1,2}/a$  นอกจากนี้ผู้วิจัยยังสามารถคำนวณค่ากำลังส่องสว่างในหน่วยของดวงอาทิตย์ตามความสัมพันธ์  $L_{1,2} = R_{1,2}^2 T_{1,2}^4$  ได้อย่างตรงไปตรงมา โดยสมบัติทางกายภาพสัมบูรณ์ทั้งหมดแสดงในตารางที่ 3

หากสมมติให้ดาวปฐุมภูมิและหุติยภูมิเป็นดาวในแถบกระบวนหลัก ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างมวลและรัศมีดังสมการที่ 3 ผู้วิจัยจะสามารถหาค่ามวลของดาวปฐุมภูมิ ( $M_1$ ) และดาวหุติยภูมิ ( $M_2$ ) ได้จากสมการที่ 4 ทำให้ผู้วิจัยสามารถประมาณค่าสัดส่วนมวล ( $q$ ) ได้ดังแสดงในตารางที่ 3 และมีสัณฐานของผิวสมคัยดังแสดงภาพที่ 5

$$\frac{M_{1,2}}{M_{\odot}} \approx \left( \frac{R_{1,2}}{R_{\odot}} \right)^{1/0.8} \quad (4)$$

$$\begin{array}{ll}
 r_1 \text{ pole } (R_\odot/a) & = 0.303 \\
 r_1 \text{ point } (R_\odot/a) & = 0.326 \\
 r_1 \text{ side } (R_\odot/a) & = 0.311
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{ll}
 r_2 \text{ pole } (R_\odot/a) & = 0.303 \\
 r_2 \text{ point } (R_\odot/a) & = 0.356 \\
 r_2 \text{ side } (R_\odot/a) & = 0.314
 \end{array}$$



ภาพที่ 6 ลักษณะสัญญาณ ของ KIC 5956776 กรณี  $R_1 = 1 R_\odot$   $\Omega_1 = 3.775621$   $\Omega_2 = 3.489594$  และ  $q = 1.0476$  โดยค่ารัศมีต่าง ๆ นำมาจากตารางที่ 2

ตารางที่ 3. สมบัติทางกายภาพสมบูรณ์ของดาวปฐุมภูมิและดาวทุติยภูมิของ KIC 5956776

| ตัวแปร          | ค่า             |
|-----------------|-----------------|
| $T_1(K)$        | 3737            |
| $T_2(K)$        | $6946 \pm 128$  |
| $R_1 (R_\odot)$ | $1.00 \pm 0.01$ |
| $R_2 (R_\odot)$ | $1.04 \pm 0.01$ |
| $M_1 (M_\odot)$ | $1.00 \pm 0.01$ |
| $M_2 (M_\odot)$ | $1.05 \pm 0.01$ |
| $a (R_\odot)$   | $3.17 \pm 0.01$ |
| $q = M_2/M_1$   | $1.05 \pm 0.01$ |

หมายเหตุ : ค่า  $R_2$   $M_1$   $M_2$   $a$  และ  $q$  ในตารางเกิดจากการสมมติให้  $R_1 = 1 R_\odot$

### สรุปผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลของการวิเคราะห์กราฟแสงพบว่าสมบัติทางกายภาพสมบูรณ์ของดาวปฐุมภูมิและดาวทุติยภูมิตามลำดับ เป็นดังนี้ อุณหภูมิ  $T_1 = 3737$  K และ  $T_2 = 6946 \pm 128$  K พลังงานศักย์โน้มถ่วงที่ผิวดาว  $\Omega_1$

$=3.78\pm0.01$  และ  $\Omega_2 = 3.49\pm0.01$  ค่าความเอียงของระนาบวงโคจร i เท่ากับ  $77.09\pm0.07^\circ$  รัศมีของดาวในสัดส่วนของค่าครึ่งการหลัก  $r_{1\text{เฉลี่ย}}=0.315\pm0.001 R_\odot/a$  และ  $r_{2\text{เฉลี่ย}} = 0.327\pm0.01 R_\odot/a$  เมื่อสมมติให้ดาวทั้งสองเป็นดาวในแถบกระบวนหลัก สามารถคำนวณรัศมีของดาวได้ว่า  $R_1 = 1.00 \pm 0.01 R_\odot$  และ  $R_2 = 1.04 \pm 0.01 R_\odot$  ทำให้สามารถคำนวณย้อนกลับและได้ค่า  $a = 3.17 \pm 0.01 R_\odot$   $M_1 = 1.00 \pm 0.01 M_\odot$   $M_2=1.05 \pm 0.01 M_\odot$   $q= 1.05 \pm 0.01$  จากสัญญาณของผิวสมศัณยโรซ ของ KIC 5956776 น่าจะเป็นดาวคู่แบบติดกัน ดังนั้นจึงขอเสนอแนะให้ควรทำการทดสอบด้วยโปรแกรมวิลสันวิลสันแอนด์เดวินนี่ ด้วยโหมด 5 อีกครั้งในอนาคต เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพที่คำนวณได้จากโหมด 2 ต่อไป

ทั้งนี้ ผู้วิจัยตระหนักดีว่าโดยปกติการวิเคราะห์กราฟแสงของดาวคู่แบบบังกันนั้น เพื่อให้ได้ผลที่มีความเชื่อมั่นสูง จำเป็นต้องมีกราฟแสงจำนวนมากกว่า 1 กราฟแสง ในฟิลเตอร์หรือกล้องโทรทรรศน์อื่นที่ต่างกัน เพื่อให้เป็น constraint ซึ่งกันและกัน เพื่อให้ได้ผลที่น่าเชื่อถือมากขึ้น ผู้เขียนซึ่งได้ทำการค้นคว้าหากราฟแสงของ KIC 5956776 ว่าไม่ปรากฏในฐานข้อมูลออนไลน์ของกล้องโทรทรรศน์เนื่องจากเป็นดาวที่ค่าความส่องสว่างที่หริ่แสงมาก ยกตัวอย่างเช่นในฐานข้อมูลของ The Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) ที่สามารถเก็บข้อมูลค่าความส่องสว่างของดาวได้อยู่ที่ 9-15 แมกนิจูด แต่ KIC 5956776 มีมูลค่าความส่องสว่างของดาวอยู่ที่ 16.747 แมกนิจูด จึงไม่พบข้อมูลในฐานระบบของ TESS

อย่างไรก็ตามผู้วิจัยมีความยินดียิ่ง หากนักวิจัยท่านอื่นจะนำผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของ KIC 5956776 ต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากรองศาสตราจารย์ ดร.ฟ้ารุ่ง สุริยาบุญทิศ ที่ได้ช่วยแนะนำและแก้ไขปัญหาที่ผู้วิจัยไม่เข้าใจให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ให้โอกาสให้นักเรียนได้ร่วมทำงานวิจัยร่วมกัน

ขอบคุณผู้อำนวยการประชวน เชื้อนเพชร ผู้อำนวยการ โรงเรียนเทศบาล 6 นครเชียงราย ที่ให้การสนับสนุนนักเรียนในการส่งผลงานนักเรียนเข้าร่วมในการประกวดครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Terrell, M., & Wilson, R.E. (1992). *Binary Stars A Pictorial Atlas*, Florida : Krieger Publishing.
- [2] Aindang, A., Inkum, R., Sarotsakulchai, T., & Surina, F. (2018). Kepler-TESS Light Curve Analysis of KIC 10417986 as a Practical Example for Astronomical Research in Schools. *J. Phys. Conf. Ser.*, 1719 012017.

- [3] Hümmerich, B., & Srdoc. (2013). Twenty New W Ursae Majoris-type Eclipsing Binaries from the Catalina Sky Survey. *Vistas in Astronomy*, 12, 11.
- [4] Kjurkchieva, D., Vasileva, D., & Dimitrov, D. (2016). Light Curve Solutions of 12 Eccentric Kepler Binaries and Analysis of Their Out-of-eclipse Variability. *The Astron. J.*, 152(6), 189.
- [5] ฟ้ารุ่ง สุริยา บุญทิต. (2565). ฟิสิกส์ดาราศาสตร์เบื้องต้นของโนวา (*Introduction to Astrophysics of Nova Eruption*). กรุงเทพฯ : ดีไซน์เบอร์รี่.