

บทที่ 4

ผลของการศึกษาและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อศึกษาทางแสงของระบบดาวคู่แบบแยกกันบางระบบ และศึกษาแนวทางการใช้กล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็ก ร่วมกับกล้องดิจิทัล DSLR ในการทำวิจัยทางดาราศาสตร์ จากการศึกษาพบว่าภาพถ่ายดาวที่ได้จากการใช้อุปกรณ์รับสัญญาณอย่างง่าย สามารถคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงของระบบดาวคู่ได้ และสามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพได้ โดยในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ได้ทำการสังเกตการณ์ระบบดาวคู่ตัวอย่าง 2 ระบบ คือระบบดาวคู่ RW Comae Berenices และระบบดาวคู่ V1799 Orion

4.1 การวิเคราะห์ระบบดาวคู่ RW Comae Berenices

ภาพถ่ายระบบดาวคู่ RW Comae Berenices โดยกล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ร่วมกับกล้องดิจิทัล DSLR เก็บข้อมูล วันที่ 9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา นครราชสีมา ดังรูปที่ 4.1 และตำแหน่งของระบบดาวคู่และดาวอ้างอิง ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายระบบดาวคู่ RW Comae Berenices และดาวอ้างอิง

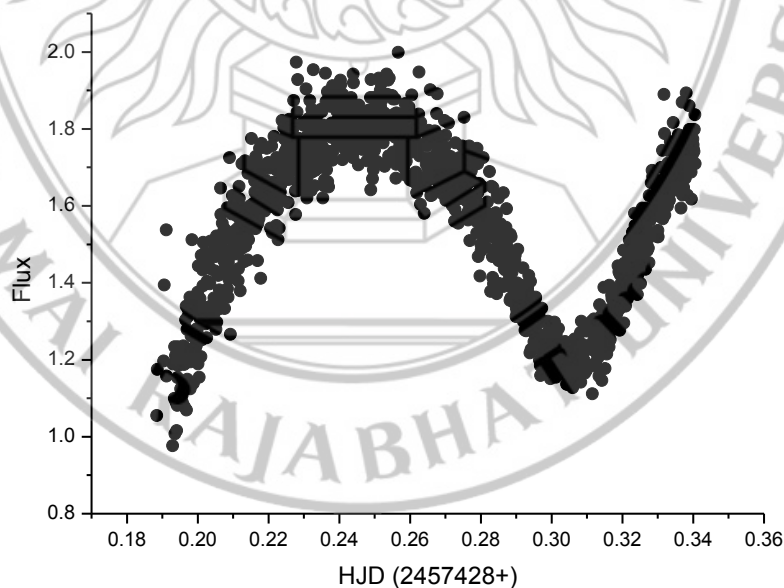
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลพื้นฐานของระบบดาวคู่ RW Comae Berenices และดาวอ้างอิง

Object	RA	Dec	V Magnitude
RW Comae Berenices	$12^{\text{h}} 33^{\text{m}} 0.285^{\text{s}}$	$26^{\circ} 42' 58.38''$	11.30
GSC 1991:1659 (Comparison Star)	$12^{\text{h}} 33^{\text{m}} 24^{\text{s}}$	$26^{\circ} 42' 46''$	11.5
GSC 1991:1656 (Check Star)	$12^{\text{h}} 33^{\text{m}} 11^{\text{s}}$	$26^{\circ} 4' 0.6''$	12.7
GSC 1991:1657 (Check Star)	$12^{\text{h}} 33^{\text{m}} 0.4^{\text{s}}$	$26^{\circ} 37' 28''$	11.9
GSC 1991:1695 (Check Star)	$12^{\text{h}} 33^{\text{m}} 19^{\text{s}}$	$26^{\circ} 35' 14''$	11.0

ข้อมูลจาก : Normal.sky – TheSky6

จากผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงของระบบดาวคู่ RW Comae Berenices ได้ผ่านขั้นตอนการทำโฟโตเมตรี (Photometry) เพื่อวัดค่าความสว่างของดาว ทำการคำนวณเวลาเป็นระบบ JD โดยโปรแกรม จากนั้นทำการแปลงค่าจาก JD เป็น HJD สร้างกราฟแสงจากความสัมพันธ์ระหว่าง Flux และ HJD แล้ววิเคราะห์กราฟแสงซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากการสังเกตการณ์ ระบบดาวคู่ RW Comae Berenices ด้วยโปรแกรม IRIS จะได้กราฟแสง (Light Curve) ดังรูป 4.2 (ข้อมูลที่นำมาสร้างกราฟในภาคผนวก ง) และทำการวิเคราะห์หาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด



รูปที่ 4.2 กราฟแสงของระบบดาวคู่ RW Comae Berenices

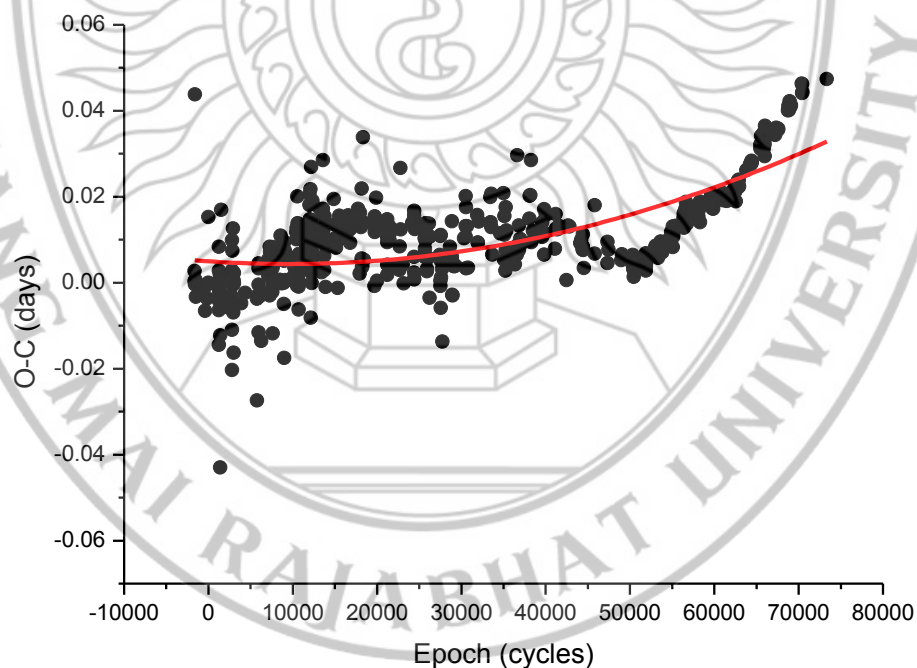
จากการสังเกตการณ์กราฟแสง 4.2 สามารถนำมาวิเคราะห์หา Time of Minimum Light (ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด) โดยการสร้างกราฟจากโปรแกรม Microcal origin 8 ทำการ Fit Polynomial ได้ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดที่ได้จากการสังเกตการณ์ (O) ได้เป็น 2457428.35097

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงในงานนี้ใช้สมการที่แสดงใน AAVSO โดย Bob Nelson ได้คำนวณไว้เมื่อวันที่ 13 กรกฎาคม ค.ศ. 2011 ดังนี้

$$\text{Min I} = 2440022.4163 + 0.2373459 E \quad (4.1)$$

ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดที่ได้จากการสังเกตการณ์ (O) นำมาคำนวณหาค่า Epoch และค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดจากการคำนวณ (C) หาได้จากจากสมการที่ (4.1) จะได้ 73335.5 และ 2457428.297 ตามลำดับ แล้วหาผลต่างของค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด O – C

ค่า O – C ที่ได้จากการสังเกตการณ์นี้ประกอบด้วยค่า O – C ที่นักดาราศาสตร์ท่านอื่นๆ เคยทำไว้ (ข้อมูลที่นำมาสร้างกราฟในภาคผนวก จ) นำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง O – C กับ Epoch ได้กราฟดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง O – C กับ Epoch ของระบบดาวคู่ RW Comae Berenices

จากกราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $O - C$ กับ Epoch ของระบบดาวคู่ RW Comae Berenices เมื่อวิเคราะห์หาในเชิงตัวเลข ด้วยสมการ โพลิโนเมียลลำดับที่ 2 (Second Order Polynomial Fitting) ดังนี้

$$O - C = aE^2 + bE + c \quad (4.2)$$

โดยจากภาพที่ 4.3 จะได้สมการ Polynomial Fitting Method ดังนี้

$$O - C = 6.98817 \times 10^{-12} E^2 + (-1.32639 \times 10^{-7})E + 0.00498 \quad (4.3)$$

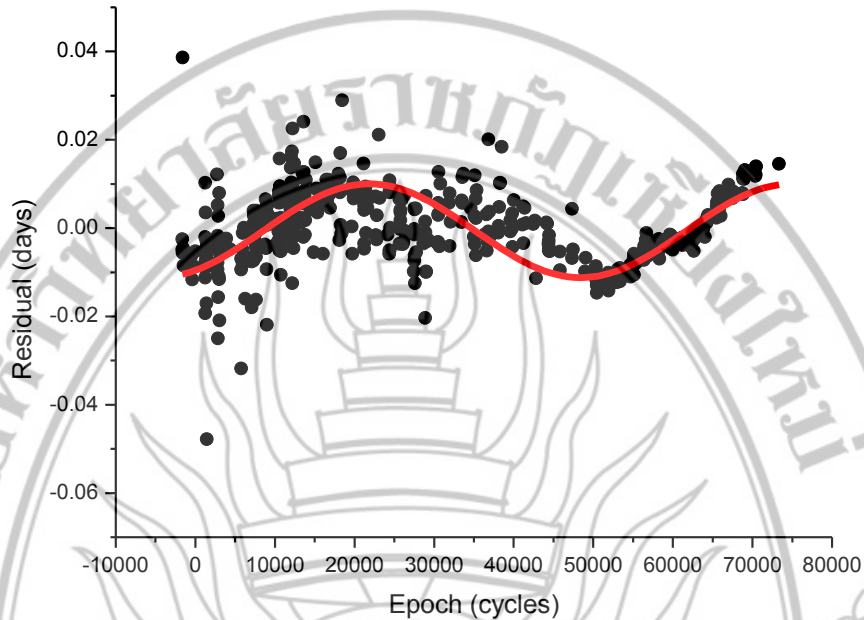
จากสมการ (2.7) สามารถคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ ในสมการ (4.3) คือ

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dE} &= 2 (6.98817 \times 10^{-12}) \\ &= 13.97634 \times 10^{-12} \text{ วัน/รอบ} \\ &= 13.97634 \times 10^{-12} \times (86400) \times (365.25/0.237) \\ &= 1.86 \times 10^{-3} \text{ วินาที/ปี} \end{aligned}$$

ดังนั้น

ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรที่ได้จากการสังเกตการณ์ด้วยแผนภาพ $O - C$ มีค่าเป็นบวก หมายถึงคาบวงโคจรของระบบดาวคู่ RW Comae Berenices มีการเพิ่มขึ้นในช่วงอัตรา 0.00189 วินาทีต่อปี พบว่าระยะทางระหว่างดาวทั้งสองจะมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้คาบการโคจรของดาวทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ระยะทางระหว่างดาวทั้งสองนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนดาวทั้งสองแยกออกจากกัน ดังนั้น จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงประเภทของระบบดาวคู่ จากรบบดาวคู่แบบติดกันไปเป็นระบบดาวคู่ดาวคู่แบบตะกัน และกลับมาเป็นระบบดาวคู่แบบติดกันอีก สลับกันไปเรื่อยๆ เป็นไปตามทฤษฎี Thermal Relaxation Oscillation (TRO)

ค่า Residual ที่ได้จากการสังเกตการณ์นี้ประกอบด้วยค่า Residual ที่นักดาราศาสตร์ท่านอื่นๆ เคยทำไว้ (ข้อมูลที่นำมาสร้างกราฟในภาคผนวก จ) นำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง Residual กับ Epoch ได้กราฟดังรูปที่ 4.4



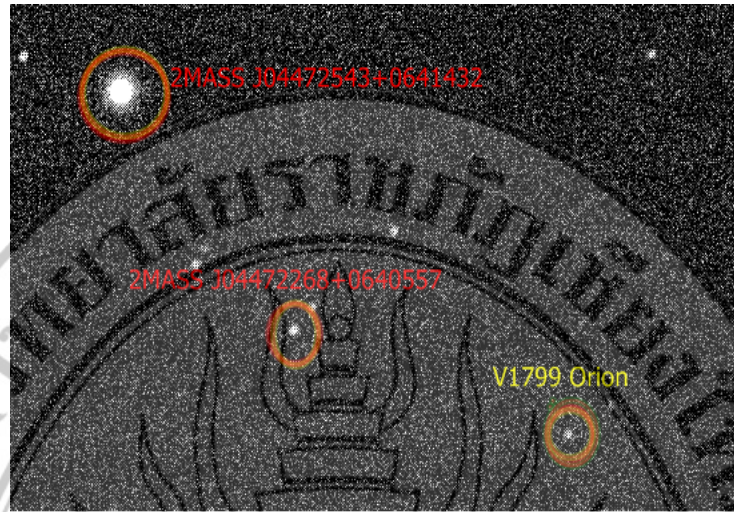
รูปที่ 4.4 แผนภาพ Residual ของระบบดาวคู่ RW Comae Berenices จากรูปจะเห็นว่าค่า Residual ที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน แต่มีแนวโน้มในลักษณะเป็นคาบ และหา Periodic Ephemeris ที่ดีที่สุดสำหรับค่า Residual ดังสมการ

$$\text{Residual} = -5.87786 \times 10^{-4} + (0.01061) \sin(1.181133 \times 10^{-4} E - 1.00988) \quad (4.4)$$

จะเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรในลักษณะที่เป็นคาบ อาจเกิดเนื่องจากการมีอยู่ของวัตถุที่สาม (Third Body) ในระบบ โดยค่า Residual มีการเปลี่ยนแปลงเป็นคาบที่มี Amplitude เท่ากับ 0.01061 วัน และค่า Light time หากจากค่า Amplitude โดยการแปลงหน่วยวันให้เป็นวินาที แล้วคูณด้วยความเร็วแสง จะได้ระยะทางประมาณ 1.83 AU และจากสมการที่ 4.4 เมื่อเทียบกับสมการคลื่นแล้วจะได้ค่าเลขคลื่นเชิงมุม (k) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.181133×10^{-4} โดยที่ $k = 2\pi/\lambda$ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณคาบการโคจรของระบบดาวคู่ได้ประมาณ 34.55 ปี (วิธีการคำนวณดูในภาคผนวก จ)

4.2 การวิเคราะห์ระบบดาวคู่ V1799 Orion

ภาพถ่ายระบบดาวคู่ V1799 Orion โดยกล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ร่วมกับกล้องดิจิทัล DSLR เก็บข้อมูล วันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ. 2560 ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา ฉะเชิงเทรา ดังรูปที่ 4.5 และตำแหน่งของระบบดาวคู่และดาวอ้างอิง ดังตารางที่ 4.2

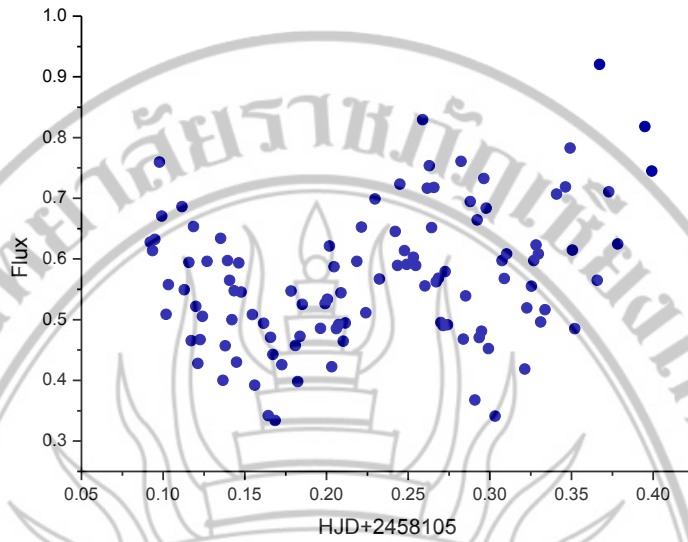


รูปที่ 4.5 ระบบดาวคู่ V1799 Orion และดาวอ้างอิง

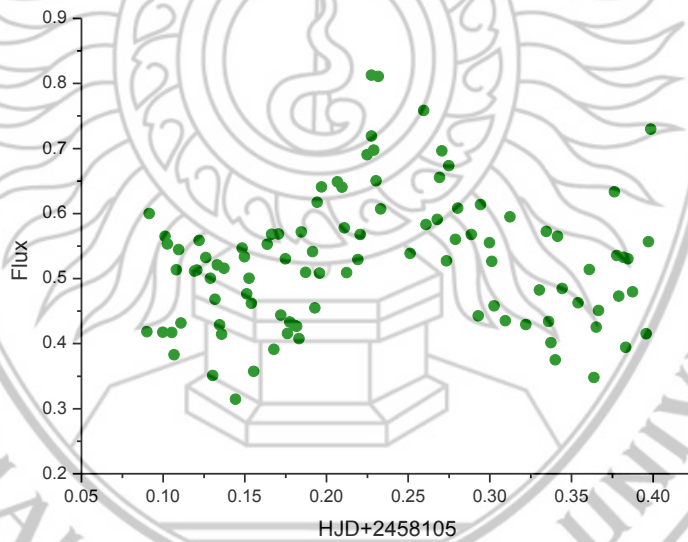
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลพื้นฐานของระบบดาวคู่ V1799 Orion และดาวอ้างอิง

Star	R.A.(h m s)	Dec.(° ' ")	magnitude
V1799 Orion	04 47 18.195	06 40 56.125	13.14 (V)
2MASS J04472268+0640557 (Comparison)	04 47 22.680	06 40 55.729	14.71 (J)
2MASS J04472543+0641432 (Check Star)	04 47 25.436	06 41 43.320	11.31 (J)

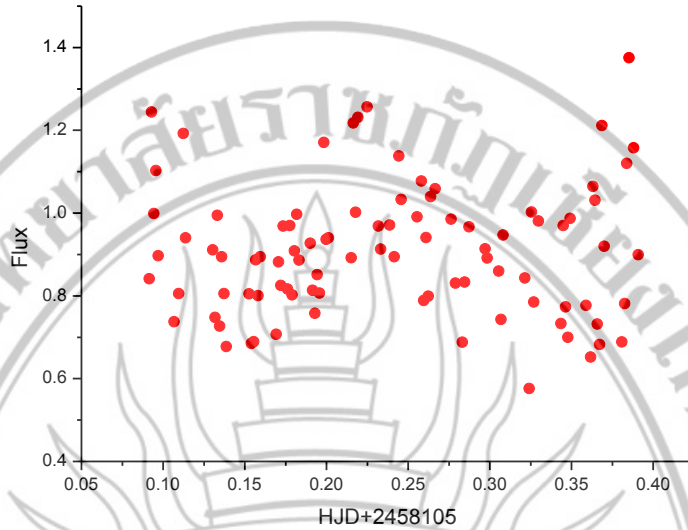
เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายที่ได้จากการสังเกตการณ์ระบบดาวคู่ V1799 Orion ด้วยโปรแกรม Maxlm DL6 จะได้กราฟแสง (Light Curve) ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง ดังรูปที่ 4.6 4.7 และรูปที่ 4.8 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 กราฟแสงของระบบดาวคู่ V1799 Orion ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน



รูปที่ 4.7 กราฟแสงของระบบดาวคู่ V1799 Orion ในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง



รูปที่ 4.8 กราฟแสงของระบบดาวคู่ V1799 Orion ในช่วงความยาวคลื่นสีแดง

ผลจากการสังเกตการณ์ทางแสง สามารถวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพ โดยใช้โปรแกรม Wilson – Devinney ซึ่งในการคำนวณจะต้องใช้ค่า Phase กับ Normalized Flux ที่ได้จากการสังเกตการณ์ เพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด โดยในการศึกษารั้งนี้ใช้ค่า initial parameters จาก Nianping Liu, Sheng-Bang Qian และ Kam-Ching Leung ที่คำนวณไว้เมื่อปี 2014 เมื่อทำการคำนวณจะได้ค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นเลือกจากผลต่างของ Residue ที่ น้อยที่สุดดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นของระบบดาวคู่ V1799 Orion

พารามิเตอร์	ผลที่ดีที่สุด
ขนาดมุมเอียง (i)	50.86°
ความโน้มถ่วงของดวงดาวที่ 1 (g_1)	0.320
ความโน้มถ่วงของดวงดาวที่ 2 (g_2)	0.320
สัณยที่ผิวดาวดวงที่ 1 และ 2 ($\Omega_1 = \Omega_2$)	4.567323
อุณหภูมิของดาวปฐมภูมิ (T_1) (K)	5000
อุณหภูมิของดาวทุติยภูมิ (T_2) (K)	4062

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นของระบบดาวคู่ V1799 Orion (ต่อ)

พารามิเตอร์	ผลที่ดีที่สุด
อัตราส่วนมวล (q)	1.60
กำลังส่องสว่างในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน ($L_{1B}/(L_1+L_2)_B$)	0.79915
กำลังส่องสว่างในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง ($L_{1V}/(L_1+L_2)_V$)	0.74485
กำลังส่องสว่างในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง ($L_{1V}/(L_1+L_2)_R$)	0.68787

จากการสังเกตการณ์กราฟแสงดังภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 สามารถนำมาวิเคราะห์หาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (Time of Minimum Light) ที่หาได้จากกราฟแสงของระบบดาวคู่ V1799 Orion เท่ากับ 2458105.1665 และ 2458105.3139 และใช้สมการที่แสดงใน AAVSO โดย Bob Nelson ได้คำนวณไว้เมื่อวันที่ 13 กรกฎาคม ค.ศ. 2011 ดังสมการที่ (4.5)

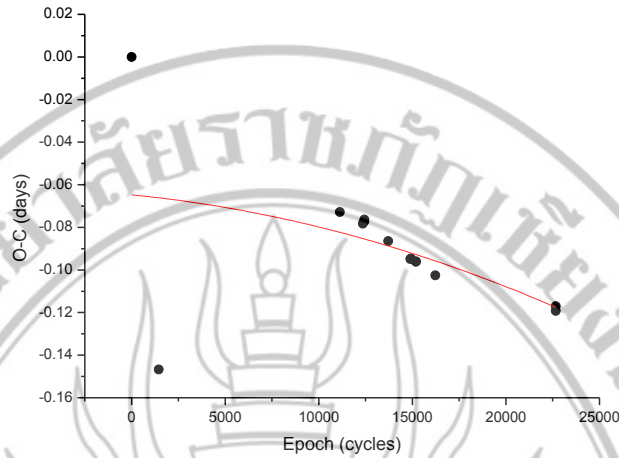
$$\text{Min. I} = \text{HJD } 2451524.829 + 0.29031 \text{ E.} \quad (4.5)$$

จากค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดที่ได้จากการสังเกตการณ์ (O) เพื่อคำนวณหาค่า Epoch และคำนวณหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (C) จากสมการที่ (4.5) แล้วหาผลต่างของค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด O – C ดังแสดงในตารางที่ 4.4 (การคำนวณแสดงในภาคผนวก ง)

ตารางที่ 4.4 ค่า O – C ของระบบดาวคู่ V1799 Orion

HJD (O)	Epoch	HJD (C)	O – C
2458105.1665	22667	2458105.286	-0.119
2458105.3139	22667.5	2458105.431	-0.117

ค่า O – C ที่ได้จากการสังเกตการณ์นี้ประกอบกับค่า O – C ที่นักดาราศาสตร์ท่านอื่น ๆ เคยทำไว้ นำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง O – C กับ Epoch ได้กราฟดังรูปที่ 4.9 (ค่า O-C และค่า Epoch แสดงในภาคผนวก จ)



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง O – C กับ Epoch ของระบบดาวคู่ V1799 Orion

จากกราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง O – C กับ Epoch ของระบบดาวคู่ V1799 Orion เมื่อวิเคราะห์หาในเชิงตัวเลขด้วยสมการโพลิโนเมียลลำดับที่ 2 (Second Order Polynomial Fitting) ดังนี้

$$O - C = aE^2 + bE + c \tag{4.6}$$

โดยจากสมการที่ 4.6 จะได้สมการ Polynomial Fitting Method ดังนี้

$$O - C = -6.48534 \times 10^{-11}E^2 - 8.59525 \times 10^{-7}E - 0.06474 \tag{4.7}$$

จากสมการที่ (4.7) สามารถคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ V1799 Orion ได้ดังนี้ (แสดงขั้นตอนการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบ ได้ในภาคผนวก ช)

$$\begin{aligned} dP/dE &= 2(-6.48534 \times 10^{-11}) \\ &= -1.297068 \times 10^{-10} \text{ วัน/รอบ} \end{aligned}$$

ดังนั้น
$$dP/dE = -1.41 \times 10^{-2} \tag{4.8}$$

ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรที่ได้จากการสังเกตการณ์ด้วยแผนภาพ O-C มีคาบวงโคจรของระบบดาวคู่ V1799 Orion มีอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรลดลง -1.41×10^{-2} วินาที/ปี ซึ่งหมายถึง การลดลงของระยะห่างระหว่างดาวทั้งสองจึงเป็นไปได้ว่าระบบดาวคู่ V1799 Orion นี้ มีวิวัฒนาการที่สอดคล้องกับทฤษฎี Angular Momentum Loss (AML)