



## การวิวัฒนาการของระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi และ V714 Mon Evolution of Eclipsing Binaries System AK CMi and V714 Mon

สุพัตรา วงศ์ศรียา<sup>1</sup>

<sup>1</sup>กลุ่มวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จ.บุรีรัมย์ 31000

E-mail: Supattra5149@gmail.com, supattra.ws@bru.ac.th

Received: 26 March 2019 | Revised: 27 May 2019 | Accepted: 10 August 2019

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาาระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดที่มีวิวัฒนาการแตกต่างกันสองช่วงตามแบบจำลองของโรชซ์ ได้แก่ ระบบดาวคู่แบบเกือบแตะกัน (NCBs) และระบบดาวคู่แบบแตะกัน ในที่นี้ได้เลือกกระบบที่มีลักษณะเฉพาะที่น่าสนใจ คือ ระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi และ V714 Mon สังเกตการณ์ ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา นครราชสีมา สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) โดยใช้กล้องโทรทรรศน์ ชนิดสะท้อนแสง บันทึกข้อมูลด้วยระบบซีซีดีโฟโตเมตรี ผ่านแผ่นกรองแสงช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) และสีเหลือง (V) ตามมาตรฐานระบบ UBV จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า AK CMi เป็นระบบดาวคู่ประเภทอัลกอลคาบสั้นที่มีคาบการโคจรเท่ากับ 0.5658966 วัน และ V714 Mon เป็นระบบดาวคู่ประเภท W Uma ที่มีองศาการแตะกันมากขึ้นถึง 49 เปอร์เซ็นต์ มีคาบการโคจรเท่ากับ 0.3445142 วัน เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าคาบการโคจรที่ลดลงอย่างต่อเนื่องในอัตรา  $2.83 \times 10^{-3}$  วินาทีต่อปี และ  $1.43 \times 10^{-2}$  วินาทีต่อปี สำหรับระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi และ V714 Mon ตามลำดับ โดยระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi และ V714 Mon มีค่าระนาบความเอียงวงโคจร เท่ากับ  $77.39 \pm 0.69$  องศา และ  $77.74 \pm 0.16$  องศา ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบทั้งสองเป็นการบังกันแบบบางส่วน จากแบบจำลองระบบ AK CMi มีสมาชิกอยู่ในแถบลำดับหลักบนแผนภาพแฮร์ตซปรุง-รัสเซล มีชนิดสเปกตรัม A3 และ K2 สำหรับ V714 Mon มีสมาชิกอยู่ในแถบลำดับหลักบนแผนภาพแฮร์ตซปรุง-รัสเซล มีชนิดสเปกตรัม A2 วิวัฒนาการแบบแตะกันอุณหภูมิดาวใกล้เคียงกันมาก แต่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี AML รวมทั้งวิวัฒนาการแกนกลางดาวของสมาชิกดาวฤกษ์ในระบบและยังพบว่าอัตราส่วนของสมาชิกในระบบลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าระบบเกิดการถ่ายเทมวลระหว่างสมาชิกอย่างต่อเนื่อง

### ABSTRACT

This research aims to study two close binary star systems in different evolution stages from the Roche model which consists of the Near-Contact Binaries (NCBs) and the Deep-Contact Binaries. In this study, two binary systems named AK CMi and V714 Mon are selected and observed at Regional Observatory for the Public, Nakhon Ratchasima provided by National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization). The observation used a 0.5-metre reflector telescope with Blue (B) and Yellow (V) filters from the UBV photometric system. The results show that AK CMi is an Algol-type eclipsing binary with an orbital period of 0.5658966 days (13.60 hours) while V714 Mon is a W UMa-type eclipsing binary that has a relatively high degree of contact (49 %) with an orbital

period of 0.3445142 days, 8.27 hours. The orbital period of these systems is continuously decreasing at  $2.83 \times 10^{-3}$  sec/yr and  $1.43 \times 10^{-2}$  with inclination of  $77.39 \pm 0.69$  and  $77.74 \pm 0.16$  degree, respectively. These result leads to the conclusion that both of them are the partial eclipse systems. Simulation of each system shows that stars in AK CMi system are main sequence stars in the Hertzsprung-Russell diagram with the spectral types of A3 and K2, respectively. The stars in V714 Mon are also main sequence stars in the H-R diagram as well, but both of them have similar spectral type A2 due to the property of Deep-Contact Binaries with slightly increasing as predicted by the Angular momentum loss theory (AML). Besides, according to this study, it is also found that the mass ratio of this system is continuously decreasing which implies that these systems have a constant mass transfer.

**คำสำคัญ:** ระบบดาวคู่อุปราคา คุณสมบัติทางกายภาพ ลักษณะเฉพาะ (AK CMi และ V714 Mon) การวิวัฒนาการ

**Keywords:** Eclipsing Binary System, Physical Property, individual (AK CMi and V714 Mon), Evolution

## บทนำ

AK CMi (GSC 00187-00450, CSV 1102, BD+04 1778) เป็นระบบดาวคู่อุปราคาแบบใกล้ชิด (Close Binary systems) ประเภทอัลกอล (EA) อยู่ในกลุ่มดาวสุนัขเล็ก (Canis Minoris) Hoffmeister (1934) เป็นผู้ค้นพบคนแรก และระบุว่า เป็นระบบดาวคู่อุปราคา (Eclipsing Binary System) ต่อมา Notni (1955) สร้างและวิเคราะห์ผ่านกราฟแสง ได้คาบการโคจรของระบบ 0.5658953 วัน พบตำแหน่งเกิดอุปราคาปฐมภูมิที่เฟส 0.55 จากนั้น Robb และ Moffatt (1987) ได้รายงานการสังเกตการณ์แบบโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric) และคำนวณเวลาที่แสงน้อยที่สุด 3 ค่า ( $Min II$  : 1 ค่า และ  $Min I$  : 2 ค่า) และมีช่วงการเกิดอุปราคาทุติยภูมิที่เฟส 0.46 ต่อมาในปี ค.ศ.1988 Hegedüs ได้คำนึงถึงความริของวงโคจรของระบบ พบว่าเป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน (Semi-Detached Binary) ค.ศ. 1994 Shaw ก็ยังสรุปว่าระบบดาวคู่นี้เป็นประเภทอัลกอลที่มีวิวัฒนาการแบบเกือบแตะกัน (Near-Contact Binary; NCBs) ซึ่งอาศัยข้อมูลจากเวลาของแสงน้อยที่สุด และค่า Epoch จากรายงานของ Kreiner, Mistecka และ Winiarski จำนวน 208 ข้อมูล จากนั้น ค.ศ. 1998 Samec และคณะ ทำการศึกษาความริวงโคจรระบบจากกราฟแสงผ่านการสังเกตการณ์และวิเคราะห์โครงสร้างของระบบดาวคู่อุปราคานี้ด้วยเทคนิคโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric) พบว่าระบบมีการลดลงของคาบเนื่องจากความห้วงแม่เหล็ก (Magnetic Breaking) จากดาวปฐมภูมิ และมีวิวัฒนาการเป็นแบบกึ่งแยกกัน (Semi-Detached) ประกอบด้วยสมาชิกดาวปฐมภูมิและดาวทุติยภูมิชนิดสเปกตรัม

A3 และ K2 ตามลำดับ ต่อมาในปีค.ศ. 2008 รณกฤต รัตนมาลา สังเกตการณ์ด้วยเทคนิคโฟโตเมทรี (Photometry) ผ่านกรองแสงสีน้ำเงิน (B) สีเหลือง (V) และสีแดง (R) และพบว่าระบบมีคาบวงโคจร 0.5658956 วัน สมาชิกในระบบมีอัตราเปลี่ยนแปลงคาบลดลงในช่วง 0.0002676 - 0.0038896 วินาทีต่อปี เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และแบบจำลองระบบดาวคู่ AK CMi เป็นแบบกึ่งแยกกัน ประเภทอัลกอล ล่าสุดในปี ค.ศ. 2013 Y.-G. Yang และคณะ สังเกตการณ์ด้วยเทคนิคซีซีทีโฟโตเมทรี หอดูดาวยูนนาน ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ได้กราฟแสงผ่านแผ่นกรองแสงหลายช่วงความยาวคลื่น พิจารณาค่าเวลาของแสงน้อยที่สุดและคาบการโคจรของระบบ โดยใช้โปรแกรมวิลสัน-เดวินี V.2013 ได้คุณสมบัติของระบบดังแสดงในตารางที่ 1 อีกทั้งยังพบว่าสมาชิกดาวฤกษ์ในระบบมีถ่ายเทมวลที่บรรจุในผิวห่อหุ้มของโรชซ์ (Roche Lobes) ส่งผลให้การสูญเสียมวลเชิงมุมลดลง และคาดว่าในที่สุดก็จะบรรจุจนเต็มผิวห่อหุ้มนี้ จากการศึกษาข้อมูลคาดว่าวิวัฒนาการระบบดาวคู่อุปราคาประเภทอัลกอล AK CMi อาจเป็นต้นกำเนิดของระบบดาวคู่อุปราคาประเภท W UMa ในอนาคต

V714 Mon (GSC 00141-00638, CSV 761, NSV 2980) เป็นระบบดาวคู่อุปราคาประเภท W UMa (EW) อยู่ในกลุ่มดาวยูนิคอร์น (Monoceros) ค้นพบครั้งแรกโดย Hoffmeister (1949) ได้จำแนกให้เป็นดาวแปรแสงชนิด RR Lyr หรือ W UMa ต่อมา Guarro-Flo และคณะ (1995) ยืนยันว่าระบบดาวคู่นี้เป็นชนิด W UMa มีคาบการโคจรระบบประมาณ 0.416 วัน จากนั้นไม่นาน Monschner และคณะ (1997) ก็ได้ยืนยันข้อมูลของระบบดาวคู่นี้ว่ามีคาบการโคจรลดลงประมาณ

0.344 วัน ต่อมาในปีค.ศ. 2004 Qian และคณะ ได้สังเกตการณ์ด้วยเทคนิคซีซีทีโฟโตเมตรี พบคาบการโคจรระบบใกล้เคียงกันประมาณ 0.345 วัน ตามสมการที่ 1 ดังนี้

$$Min.I = HJD2450081.3539(\pm 0.0046) + 0.34451387(\pm 0.00000014)E \quad (1)$$

จากการวิเคราะห์แผนภาพ (*O-C*) พบว่าระบบมีอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรระบบลดลงอย่างต่อเนื่อง  $1.48 \times 10^{-7}$  วันต่อปี ล่าสุดนาริมัส เจและ (2013) ได้ให้ความสนใจระบบนี้ เพื่อยืนยันการลดลงของคาบการโคจร ในอัตรา  $dP/dE$  เท่ากับ  $-1.46 \times 10^{-7}$  วันต่อปี พร้อมทั้งหาคุณสมบัติอื่นๆ

ดังตารางที่ 1 และสร้างแบบจำลองระบบเป็นการแบบตะกั่ว-กันประเภท W UMa คาดว่าในอนาคตอันใกล้จะตะกั่วกันที่ความลึกมากขึ้น (Deep-Contact binary) จากนั้นก็จะหลอมรวมกันเป็นดาวเดี่ยว (Single star) ในอัตราการการหมุนที่สูงมาก

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเฉพาะของระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi และ V714 Mon

Parameter	AK CMi (EA)	V714 Mon (EW)
$P$ (days)	$0.5658969^1$	$0.3445170^5$
$HJD_0$	$2449396.7050^1$	$2450081.3543^5$
$i$ (degree)	$85.90^4$	$74.08^5$
$T_1$ (K)	$8,530^4$	$8,300^5$
$T_2$ (K)	$5,039^4$	$7,051^5$
Sp.type	A3,K2 <sup>2</sup>	-
$\Omega_1$	$3.426^3$	$3.062^5$
$\Omega_2$	$3.150^2$	$3.062^5$
$q$	$0.604^3$	$0.614^5$
$g_1, g_2$	$1.00, 0.32^3$	$0.32, 0.32^5$
$A_1, A_2$	$1.00, 0.50^3$	$0.50, 0.50^5$

อ้างอิง (1) Locher K. (1994), (2) Ronald G. Samec (1998), (3) รณกฤต รัตนมาลา (2008), (4) Y.-G. Yang และคณะ (2013), (5) นาริมัส เจและ (2013)

จากการศึกษาข้อมูลที่ผ่านมา นับว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องสังเกตการณ์ระบบดาวคู่อุปราคา ทั้ง 2 ระบบนี้อย่างต่อเนื่อง เนื่องด้วยระบบดาวคู่แบบเกือบตะกั่วกัน มีแนวโน้มอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของวงโคจรที่ลดลง ซึ่งคาดว่าจะป็นต้นกำเนิดของระบบดาวคู่แบบตะกั่วกันในอนาคต กระทั่งหลอมรวมกันเป็นดาวเดี่ยว ฉะนั้นในการศึกษาวิวัฒนาการของระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi และ V714 Mon จากคุณสมบัติภายในแกนกลางดาวและปรากฏการณ์ในระบบอันประกอบด้วยเวลาที่แสงน้อยสุดปฐมภูมิ (*Min I*) เวลาที่แสงน้อยสุดทุติยภูมิ (*Min II*) สมการเส้นตรงเอพิเมอร์ริสใหม่ คาบการโคจรของระบบ อัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจร วิเคราะห์แผนภาพ (*O-C*) นำไปสู่ความเข้าใจทฤษฎี AML รวมทั้งยังวิเคราะห์การมีอยู่ของวัตถุที่

สาม คุณสมบัติทางกายภาพที่น่าสนใจอื่นๆ ตลอดจนการสร้างแบบจำลองของระบบ

### วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้สังเกตการณ์ทางแสงด้วยเทคนิคซีซีทีโฟโตเมตรี (ระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi และ V714 Mon) สังเกตการณ์ระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2015 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2018 ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา นครราชสีมา สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) พิกัด  $14^{\circ}52'17.16'' \text{ }^{\circ}\text{N}$ ,  $102^{\circ}1'41.24'' \text{ }^{\circ}\text{E}$  โดยใช้กล้องโทรทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง Meade LX 200 ชนิดทึบเคลือบเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร ติดตั้งบนฐานตั้งกล้องระบบเส้น

ศูนย์สูตร (Equatorial system) ผ่านแผ่นกรองแสงช่วงความยาวคลื่นมาตรฐาน B และ V (UBV System) เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม The sky X ในการหาค่าตำแหน่งดาวดังแสดงในตารางที่ 2 และใช้โปรแกรม Maxlm DL6 ในการถ่ายภาพระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi, V714 Mon, ภาพ Bias, Dark และ Flat โดยภาพของระบบดาวคู่อุปราคาจะถูกนำไปกำจัดสัญญาณรบกวน (Reduction image) ด้วยโปรแกรม IRIS

และวัดแสงด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโฟโตเมตรี โดยใช้โปรแกรม Aperture Photometry tool จากนั้นนำมาสร้างกราฟแสง และหาค่าเวลาแสงน้อยที่สุด จากนั้นวิเคราะห์หาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบของระบบดาวคู่อุปราคาจากการวิเคราะห์แผนภาพ (O-C) และการมีอยู่ของวัตถุที่สาม จากแผนภาพ (O-C) Residual ตลอดจนการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่ด้วยโปรแกรม PHOEBE 0.31a

ตารางที่ 2 ข้อมูลพิกัดระบบดาวคู่อุปราคา ดาวเปรียบเทียบ และดาวตรวจสอบ (Simbad, 2018)

Star	$\alpha_{J2000}$	$\delta_{J2000}$	$m_v$
AK CMi	07 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 15.55 <sup>s</sup>	+ 03° 57' 12.1"	10.736
GSC 187-863 (Comparison)	07 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 28.86 <sup>s</sup>	+ 03° 57' 41.7"	11.835
GSC 187-1081 (Check)	07 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 13.62 <sup>s</sup>	+ 03° 57' 09.1"	11.127
V714 Mon	06 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup> 12.42 <sup>s</sup>	+ 04° 44' 40.00"	12.11
TYC 141-666-1 (Comparison)	06 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup> 12.42 <sup>s</sup>	+ 04° 44' 54.12"	11.70
TYC 141-2321-1 (Check)	06 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup> 35.86 <sup>s</sup>	+ 04° 44' 47.55"	11.25

### คาบ และการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจร

จากการสังเกตการณ์ระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi และ V714 Mon รวมทั้งสิ้น 12 คืน ดังแสดงในตารางที่ 3 ผ่านแผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน (B) และแสงสีเหลือง (V) โดยใช้ดาวเปรียบเทียบ และดาวตรวจสอบ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 2 โดยรายละเอียดของการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

#### 1. ระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi

การสังเกตการณ์ของระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi ใช้เวลาเปิดหน้ากล้อง (Exposure time) ในการถ่ายภาพในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน (B) และแสงสีเหลือง (V) 20 วินาที และ 12 วินาที ตามลำดับ ได้จำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 1,019 ข้อมูล (B:429, V:590) และสร้างกราฟแสง (Light Curve) ของระบบดาวคู่ AK CMi ดังรูปที่ 1 โดยช่วงอุปราคาปฐมภูมิลึกกว่าช่วงอุปราคาทุติยภูมิ 0.62 แมกนิจูด และพบว่ามีช่วงการเกิดอุปราคาทุติยภูมิที่ 0.49 นำมาคำนวณร่วมกับข้อมูลงานวิจัยของ Locher K. (1994) แสดงในตารางที่ 1 และค่าเวลาของแสงน้อยที่สุด

(Min) ที่รวบรวม 1,400 ข้อมูล (ค.ศ. 1994 - ค.ศ. 2015) ได้สมการเส้นตรงอิมเมอร์สใหม่ ดังสมการที่ (2)

$$\text{Min } I = \text{HJD } 2449396.7069 + 0.5658966E \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) พบว่าระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi มีคาบการโคจรอยู่ที่ 0.5658966 วัน จากแผนภาพ (O-C) ดังรูปที่ 2 พบว่าข้อมูลมีแนวโน้มลดลง ลักษณะกราฟเป็นรูปพาราโบลาคว่ำ (Bell shape) เมื่อทำวิเคราะห์ค่าเชิงตัวเลขด้วยสมการพหุนามลำดับ 2 (Second Order Polynomial Fitting) จะได้สมการที่ (3)

$$(O-C) = (-2.53392 \times 10^{-11})E^2 + (2.53393 \times 10^{-7})E + (2.53541 \times 10^3) \quad (3)$$

จากสมการที่ (3) สามารถคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบโคจร (dP/dE) ได้  $-5.07 \times 10^{-11}$  วันต่อรอบ หรือ  $-2.83 \times 10^{-3}$  วินาทีต่อปี แสดงให้เห็นว่าระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi มีคาบของการโคจรลดลงอัตรา  $2.83 \times 10^{-3}$  วินาทีต่อปี และจากการวิเคราะห์กราฟ (O-C) residual ดังรูปที่ 3 ยืนยันว่าระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi ไม่มีวัตถุที่สามในระบบ

ตารางที่ 3 ข้อมูลการสังเกตการณ์ระบบดาวคู่อุปราคา, HJD และชนิดอุปราคา

Star	วันที่สังเกตการณ์	HJD	ชนิดอุปราคา
AK CMi	19/20 ธ.ค. 2015	2457418.2812	ปฐมภูมิ
	3/4/30 ม.ค., 26 ก.พ., 1 มี.ค. 2016	2457445.1590	ทุติยภูมิ
V714 Mon		2458141.0972	ทุติยภูมิ
	9/10/22 ม.ค. 2018	2458154.1893	ปฐมภูมิ
	4/5 ก.พ. 2018	2458155.0717	ปฐมภูมิ
		2458155.2345	ทุติยภูมิ

## 2. ระบบดาวคู่ V714 Mon

การสังเกตการณ์ของระบบดาวคู่อุปราคา V714 Mon ใช้เวลาเปิดหน้ากล้องในการถ่ายภาพในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน (B) และแสงสีเหลือง (V) 60 วินาที และ 15 วินาที ตามลำดับ ได้จำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 548 ข้อมูล (B:339, V:209) และสร้างกราฟแสงของระบบดาวคู่นี้ ดังรูปที่ 1 อุปราคาปฐมภูมิใกล้เคียงกับอุปราคาทุติยภูมิมากต่างกันเพียง 0.20 แมกนิจูด จากข้อมูลพบช่วงการเกิดอุปราคาทุติยภูมิที่ 0.51 จากนั้นนำมาคำนวณร่วมกับข้อมูลงานวิจัยของนารีมัส เจและ (2013) แสดงในตารางที่ 1 และค่าเวลาของแสงน้อยที่สุด ( $Min, HJD_0$ ) ที่รวบรวม 65 ข้อมูล (ค.ศ. 1997 - ค.ศ. 2018) ได้สมการเส้นตรงอิมเมอร์สใหม่ ดังสมการที่ (4)

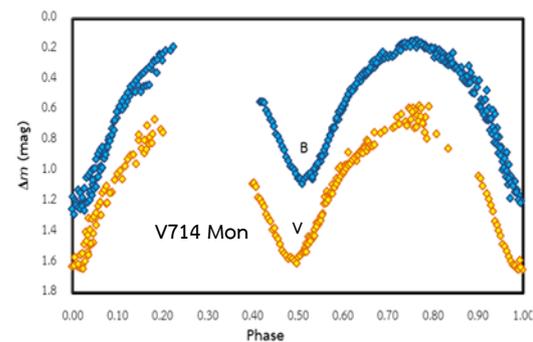
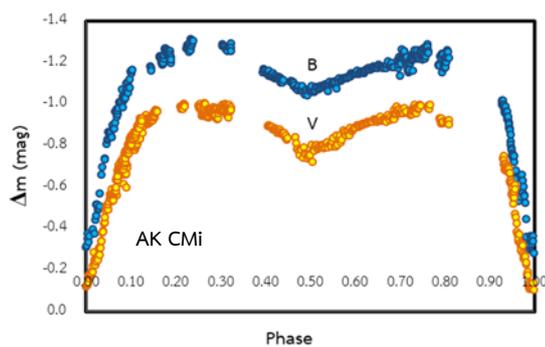
$$Min I = HJD 2450081.3629 + 0.3445142E \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) พบว่าระบบดาวคู่อุปราคา V714 Mon มีคาบการโคจรอยู่ที่ 0.3445142 วัน จากแผนภาพ (O-C)

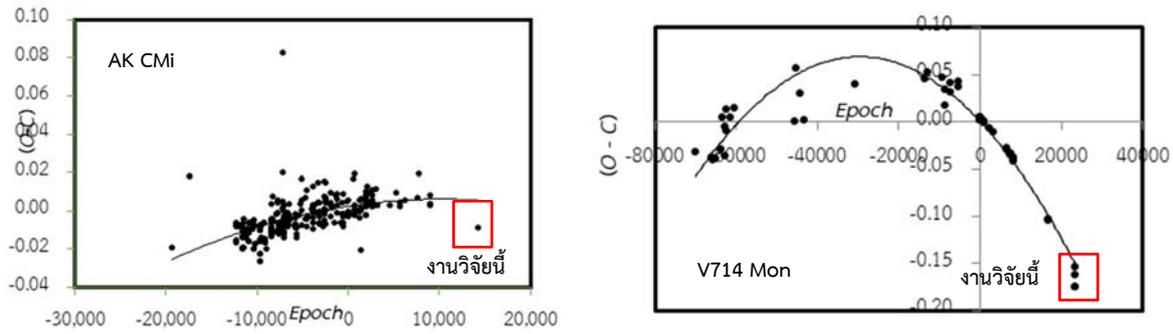
ดังรูปที่ 2 ข้อมูลมีแนวโน้มลดลงในลักษณะเป็นรูปพาราโบลาคว่ำ เมื่อทำวิเคราะห์ค่าเชิงตัวเลขด้วยสมการโพลีโนเมียลลำดับ 2 จะได้สมการที่ (5)

$$(O-C) = (-7.80942 \times 10^{-11})E^2 + (-4.62557 \times 10^{-6})E + (7.85279 \times 10^{-4}) \quad (5)$$

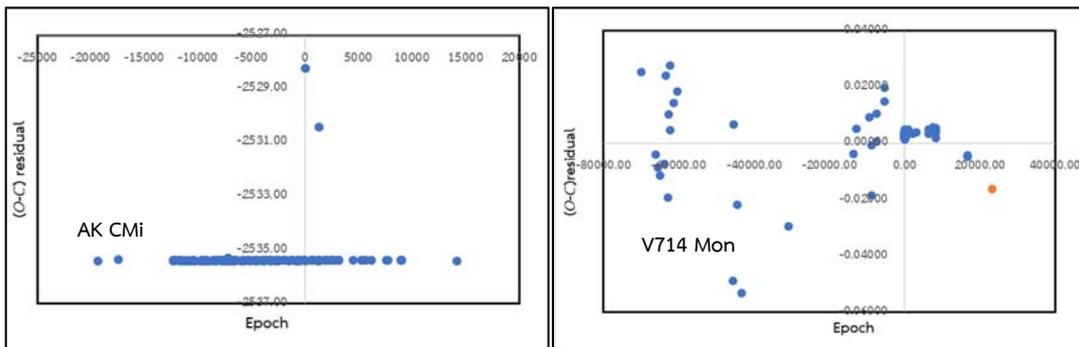
จากสมการที่ (5) สามารถคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจร ( $dP/dE$ ) ได้  $-15.62 \times 10^{-11}$  วันต่อรอบ หรือ  $-1.43 \times 10^{-2}$  วินาทีต่อปี แสดงให้เห็นว่าระบบดาวคู่อุปราคา V714 Mon มีคาบของการโคจรลดลงอัตรา  $1.43 \times 10^{-2}$  วินาทีต่อปี หรือสมาชิกดาวในระบบใกล้กันมากขึ้น ภายใต้แรงดึงดูดระหว่างมวล ซึ่งเป็นไปตามวิวัฒนาการของระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด และจากการวิเคราะห์กราฟ (O-C) residual ดังรูปที่ 3 พบว่าข้อมูลมีแนวโน้มเป็นคลื่นรูปไซน์ที่ไม่สมบูรณ์ อาจมีผลเนื่องมาจากการมีอยู่ของวัตถุที่สามในระบบหรือผลของสนามแม่เหล็กของสมาชิกในระบบ



รูปที่ 1 กราฟแสงของระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi และ V714 Mon จากการสังเกตการณ์



รูปที่ 2 แผนภาพ (O-C) ของระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi และ V714 Mon

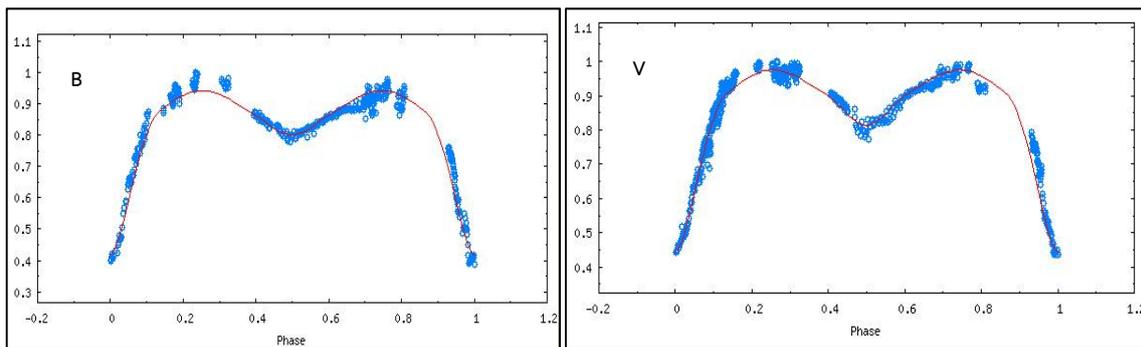


รูปที่ 3 แผนภาพ (O-C) residual ของระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi และ V714 Mon

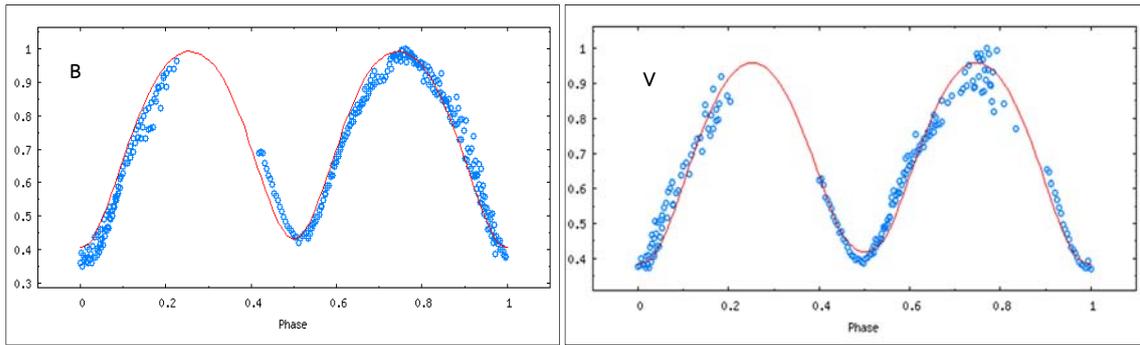
**พารามิเตอร์และแบบจำลองระบบ**

จากข้อมูลสังเกตการณ์ด้วยเทคนิคซีซีดีโฟโตเมตรีของระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi และ V714 Mon ดังรูปที่ 1 รวมทั้ง

ข้อมูลค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นแสดงดังตารางที่ 1 จะนำมาวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางกายภาพในการสังเกตการณ์ครั้งนี้ โดยจะใช้โปรแกรม PHOEBE 0.31a วิเคราะห์ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5



รูปที่ 4 กราฟแสงสังเคราะห์ (เส้นทึบ) และกราฟแสงสังเกตการณ์ของระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi

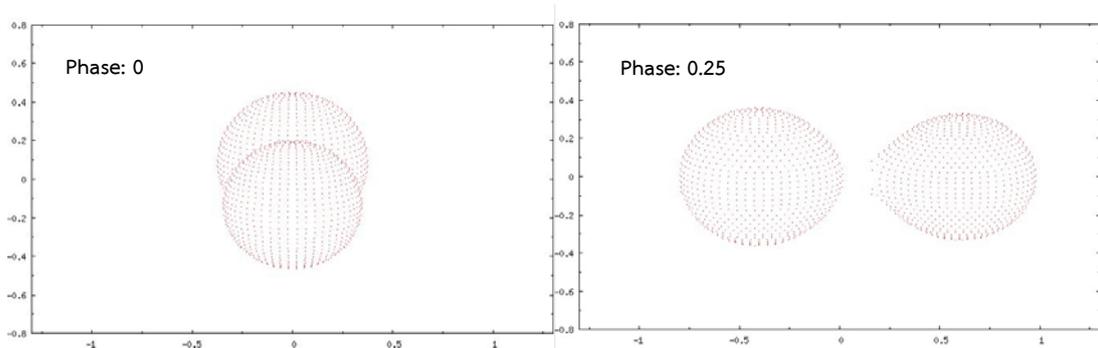


รูปที่ 5 กราฟแสงสังเคราะห์ (เส้นทึบ) และกราฟแสงสังเกตการณ์ของระบบดาวคู่อุปราคา V714 Mon

**1. ระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi**

การหาค่าอัตราส่วนมวลระบบ (Mass ratio;  $q$ ) Samec และคณะ (1998) ได้  $q = 0.648$  ( $T_1 = 8,530$  K) รมฤต รัตนมาลา (2008) พบค่าลดลง  $q = 0.604$  และ Y.-G. Yang และคณะ (2013) ได้ค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง  $q = 0.370$  ปัจจุบันได้ค่าที่ลดลงถึง  $0.360 \pm 0.002$  ( $\sum_{input} : 0.397$ ) พร้อมทั้งอุณหภูมิของระบบก็ได้ค่าที่สอดคล้องกันกับงานวิจัยที่ผ่านมา (ตารางที่ 5) แสดงให้เห็นว่าสมาชิกในระบบเกิดการถ่ายเทมวลตามแบบจำลองของโรซซ์และความร้อนตามหลักสมดุลทางความร้อน

(Thermal Equilibrium) ระหว่างกันมากขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความเอียงของระนาบวงโคจร (Inclination;  $i$ ) เท่ากับ  $77.39 \pm 0.69$  องศา ซึ่งสอดคล้องกับ ค.ศ. 2008 คือ  $78.12$  องศา (รมฤต, 2008) และจากการวิเคราะห์กราฟแสงแสดงให้เห็นว่าระบบเกิดการบังกันแบบบางส่วน (Partial Eclipse) นอกจากนี้ยังได้ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ดังตารางที่ 5 และแบบจำลองระบบ ดังรูปที่ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า AK CMi เป็นระบบดาวคู่แบบเกือบแตะกัน ถ่ายเทมวลและความร้อนจากดาวปฐมภูมิ (A3) ขนาดใหญ่ไปยังดาวทุติยภูมิ (K2) ที่มีขนาดเล็กกว่า

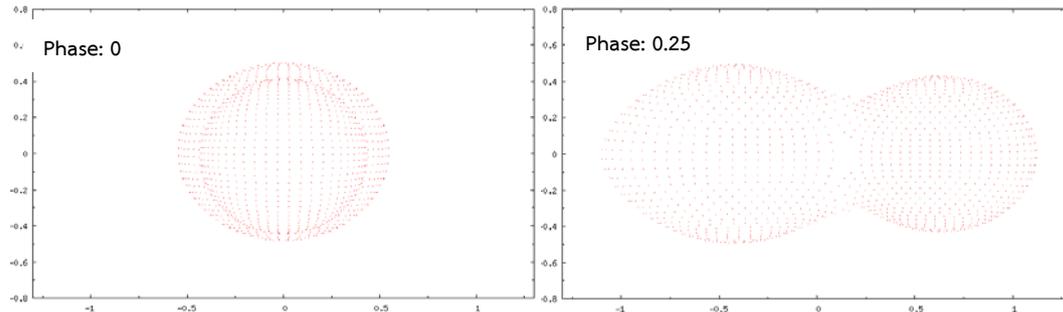


รูปที่ 6 แบบจำลองระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi

**2. ระบบดาวคู่ V714 Mon**

สำหรับระบบดาวคู่อุปราคา V714 Mon นารีมัส เจและ (2013) ได้ค่า  $q = 0.614$  และเมื่อเวลาผ่านไปมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเท่ากับ  $0.464 \pm 0.002$  อีกทั้งยังพบว่า  $T_1, T_2$

ใกล้เคียงกันมากแสดงให้เห็นว่าสมาชิกดาวในระบบแตะกันมากขึ้น และบรรจุเต็มผิวห่อหุ้มของโรซซ์ อันเป็นผลจากการถ่ายโอนมวลและวิวัฒนาการภายในแกนกลางดาว หรือลมดาวฤกษ์ ตามแบบจำลองระบบดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แบบจำลองระบบดาวคู่อุปราคา V714 Mon

**สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย**

การวิเคราะห์ข้อมูลของระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi เมื่อสังเกตการณ์บนโลกพบว่าสมาชิกดาวในระบบมีการบังกันแบบบางส่วน จำแนกเป็นระบบดาวคู่อุปราคาประเภทอัลกอล วิวัฒนาการแบบเกือบแตะกัน (NCBs) เมื่อเวลาผ่านไปพบแนวโน้มอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบที่ลดลง  $2.83 \times 10^{-3}$  วินาทีต่อปี คาดว่าเป็นผลเนื่องมาจากการหน่วงของสนามแม่เหล็กของลมดาวฤกษ์ และการถ่ายเทมวลในระบบ ทำให้มีอัตราส่วนมวลลดลง (Mass loss; ML) ไปเรื่อยๆ เมื่อสมาชิกแต่ละดวงขยายขนาดจนเกือบเต็มผิวห่อหุ้มของโรซซ์ ก็จะมีวิวัฒนาการเป็นระบบดาวคู่แบบแตะกันทันที ตามที่บุญรักษา และคณะ (2008) ได้กล่าวไว้ V714 Mon เป็นระบบดาวคู่อุปราคา มีการบังกันแบบ

บางส่วน จัดอยู่ในประเภท W UMa ปัจจุบันมีวิวัฒนาการแบบแตะกันค่อนข้างลึก โดยมีองศาการแตะกันที่ 49 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาผ่านไปสมาชิกดาวในระบบมีคาบการโคจรที่ลดลงอย่างต่อเนื่องในอัตรา  $1.43 \times 10^{-2}$  วินาทีต่อปี สอดคล้องจากการศึกษาข้อมูลของ Hoffmeister (1934), Notni (1955), Robb และ Moffatt (1987), Hegedüs (1988), Shaw (1994), Samec และคณะ (1998), รณกฤต (2008), Hoffmeister (1949), Guarro-Flo และคณะ (1995), Monschner และคณะ (1997), Qian และคณะ (2004) และ นารีมัส (2013) ที่ผ่านมาปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นไปตามทฤษฎีการสูญเสียมวลเชิงมุม (AML) ของระบบอันเกิดจากสมาชิกดาวปฐม และดาวทุติยภูมิ นอกจากนี้ยังพบว่าอาจมีผลของวัตถุที่สามในระบบร่วมด้วย

ตารางที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ที่สุดของระบบดาวคู่อุปราคา AK CMi และ V714 Mon

Parameters	AK CMi	V714 Mon
$i$ (degree)	77.39±0.69	77.74±0.16
$q$ ( $m_1 / m_2$ )	0.360 ±0.002	0.464±0.002
$T_1$ (K)	8,530	8,354
$T_2$ (K)	5,000	7,120
$\Omega_1$	3.406±0.008	2.276±0.002
$\Omega_2$	3.150	2.400
$R_1, R_2$	0.79, 0.75	2.51, 1.79
$M_1, M_2$	0.23, 0.16	5.15, 2.39
$A_1, A_2$	1.00, 0.32	0.50, 0.50
$g_1, g_2$	1.00, 0.50	0.32, 0.32
$f$ (%)	-	49
$L_1 / (L_1 + L_2)B$	10.9837	7.2963
$L_1 / (L_1 + L_2)V$	10.8314	7.5050
$L_2 / (L_1 + L_2)V$	12.5664	3.0516
Chi 2	0.3969	0.6156

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่อนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์สังเกตการณ์ ขอขอบคุณคุณสมานชาญ จันทร์เอี่ยม นักวิชาการประจำหอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา นครราชสีมา สำหรับข้อเสนอแนะและเทคนิควิธีต่างๆ ขอขอบคุณนายศรายุทธ จันทรานางสาวอารีรัตน์ ภูวิจักร นางสาววรารักษ์ หริภักดิ์นางสาวอันธิกา โสมโสภากา และนายอนุสร ชัยรัมย์ ผู้ช่วยสังเกตการณ์และวิเคราะห์ข้อมูล ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ที่ได้ให้การสนับสนุนวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- นารัมภ์ส เจาะและ. (2556). สมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่ประเภทดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอร์ วี 714 ไมเนอร์โรติส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่: 83 หน้า
- บุญรักษา สุนทรธรรม. (2550). ดาราศาสตร์ฟิสิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. หน้า 329 - 377.
- บุญรักษา สุนทรธรรม, Yulan Yang, Qingyao Liu, Shengbang Qian, สมิตร์ นิการักษ์, อนิวรรณ สุขสวัสดิ์ และอมรรรัตน์ อังเวโรจน์วิทย์. (2551). การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและการวิวัฒนาการของระบบดาวคู่แบบเกือบแตะกันบางระบบ. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี พ.ศ. 2551. 14-32.
- รณกฤต รัตนมาลา. (2551). การเปลี่ยนคาบของวงโคจรและการวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ เอเค คานิส ไมเนอร์โรติส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่: 99 หน้า
- ศิรามาศ โกลมลจินดา. (2546). โครงสร้างกายภาพของระบบดาวคู่แบบแตะกัน อาร์ แซด ทอริ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่: 66 หน้า
- อมรรรัตน์ อังเวโรจน์วิทย์. (2541). การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่ อาร์ ที ลาเซอที โดยเทคนิควิลสันและเดวินนี่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่: 91 หน้า
- Guarro-Flo, J., Gomez-Forrellad, J. M., Garcia-Melendo, E., and Vidal-Sainz, J. (1995). *Variable Stars. Inf. Bull.* 4246
- Hegedus, T. (1988). *CDS, No. 35. Bull. Inf.* 22.
- Hoffmeister, C. *Astron. Nachr.* 253(196): 1934.
- Hoffmeister, C. (1949). *Astron. Abh.* 12(1): 36
- Moschner, W., Garcia-Melendo, E., Gomez-Forrellad, J. M., and Kleikamp, W. (1997). *Variable Stars. Inf. Bull.* 4468
- Notni, P. (1955). *Mitt. Vera. nderl. Sterne.* 177.
- Qian, S. B., Boonrucksar Soonthornthum, XIANG, F-Y., ZHU, L-Y. and HE, J-J. (2004). On the Period Variation of the Neglected W Uma-type Binary System V7 1 4 Monocerotis. *Astronomical Society of Japan* 56: 465-468.
- Robb, R. M. and Moffatt, J. D. (1987). *BAAS.* 19:709.
- Robb, R. M., Lowe, T. B., Moffaff, J. D. and Balan, D. D. (1986). Where is AK Canis Minoris. *Commissions 27 of the I.A.U. information Bulletin on Variable stars No.2888.* HU ISSN 0374-0676.
- Samec, R. G., Carrigan, B. J., Gray, J. D., French, J. A., McDermith, R. J. and Padgen, E. E. (1995). *UBV Light Curves of the Near-Contact Binary AK Canis Minoris. Commissions 27 and 42 of the IAU information Bulletin on Variable stars No.4186.* HU ISSN 0374-0676.
- Samec, R. G., Carrigan, B. J., Gray, J. D., French, J. A., McDermith, R. J. and Padgen, E. E. (1998). *Analysis of UBV Photometry of the Near-Contact Binary AK Canis Minoris. The Astronomical Journal* 116: 895-907.
- Shaw, J. S. (1994). *Astron. Mem. Soc.* 65: 95.
- Simbad Query Result. Basic data : V\* AK CMi -- Eclipsing binary of Algol type : [Online]. Available: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-basic?Ident=AK+CMi+&submit=SIMBAD+search> [2018, February 1].
- Simbad Query Result. Basic data : V\* 714 Mon -- Eclipsing binary of W UMa type: [Online]. Available:<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-basic?Ident=V714+Mon+&submit=SIMBAD+search> [2018, February 1].
- Yang, Y. G., DAI, H. F., HE, J. J., ZHANG, J. and DING, W. (2013). *New Photometric Models of Four Near-Contact Binaries: EP Cassiopeiae, AK Canis Minoris, FG Geminorum, and DF Puppis. Astronomical Society of Japan* 65: 45.

