



โครงสร้างทางกายภาพของระบบดาวคู่

ดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอร์ แอลโอ แอนโดรเมดา

Physical Structure of W Uma Binary System LO Andromeda

ธนวัฒน์ รุ่งสูงเนิน¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจร องค์ประกอบทางกายภาพและวิวัฒนาการของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา โดยทำการสังเกตการณ์ ณ หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระหว่างเดือนธันวาคม 2553 จนถึงเดือนมกราคม 2554 ด้วยกล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร บันทึกข้อมูลด้วยระบบซีซีดีโฟโตเมทรี ผ่านแผ่นกรองแสงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน สีเหลืองและสีแดง ตามมาตรฐานระบบยูวีบี ข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์หาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด ผลปรากฏว่าได้ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด 3 ค่า ได้แก่ ขณะเกิดอุปราคาปฐมภูมิ 2 ครั้งและอุปราคาทุติยภูมิ 1 ครั้ง ทำการวิเคราะห์หาค่าสมการ Ephemeris ใหม่ ผลปรากฏว่าได้ค่าเท่ากับ $HJD (Min) = 2453655.45049 + 0.38082E$ จากนั้นนำข้อมูล Epoch และ $HJD (Min)$ ไปคำนวณเพื่อหาสมการ O-C ทำให้ทราบคาบวงโคจรใหม่ของดาวคู่นี้เท่ากับ 0.38082378 วัน มีอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.96238×10^{-10} วันต่อรอบ หรือ 0.00189048 วินาทีต่อปี เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา ด้วยโปรแกรมวิลสัน-เดวินี ผลปรากฏว่าได้ชุดพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดโดยมีค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 2.15947 ระบบดาวคู่นี้มีมุมเอียงเท่ากับ 89.45° อุณหภูมิของดาวปฐมภูมิและดาวทุติยภูมามีค่าเกือบเท่ากัน คือ 5250 และ 5252 เคลวิน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา เป็นระบบดาวคู่ชนิด KW ตามแผนภาพเฮิร์ตสปริง - รัสเซล เมื่อนำค่าผลเฉลยที่ดีที่สุดไปสร้างแบบจำลองของดาวคู่ด้วยโปรแกรม Binary Maker 3.0 ผลปรากฏว่าดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา เป็นระบบดาวคู่แบบตะกั่วกัน อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ดังกล่าวยังคงแสดงให้เห็นว่าดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา ยังคงเป็นระบบดาวคู่ประเภทดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอร์ เหมือนเดิม แต่เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรที่มีคาบเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นวิวัฒนาการจากเดิมที่ระบบดาวนี้มีคาบวงโคจรที่ลดลง แสดงว่าในระบบดาวอาจมีกระบวนการถ่ายเทมวลระหว่างดาวเกิดขึ้น

¹โปรแกรมวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา จ.นครราชสีมา 30000

ABSTRACT

The aims of this research were to study the orbital period change, parameter analyze and its evolution of W Uma binary system LO Andromeda. The data gathering were done via CCD Photometer (SBIG ST10-XME) that attached to the 0.5 m - reflecting telescope of Princess Sirindhorn Observatory, Chiang Mai University. The light curves obtained through B, V and R filters on UVB standard system were collected and processed via Maxim DL4 software. The three times of minimum (2 primary eclipses and 1 secondary eclipse) were determined. The result has shown that the new ephemeris equation from this research is $HJD (Min) = 2453655.45049 + 0.38082E$ and the light curve has shown that the orbital period of LO Andromeda was 0.38082378 day. Calculated data, the orbital period change was $+3.96238 \times 10^{-10}$ day/cycle or 0.00189048 sec/year. While, the best parameter by WD Program was 2.15947 of mass ratio and inclination was 89.45° . The temperature of primary star and secondary star were 5250 K and 5252 K respectively. The binary system has shown that it is a KW type for H – R diagram. The best parameter was employed to make the model via a binary Maker 3.0 software. Finally, the result has represented that LO Andromeda is on the over contact phase but it still hold the W Uma type.

คำสำคัญ: ดาวคู่อุปราคา แอลโอ แอนโดรเมตา การเปลี่ยนคาบวงโคจร

Keywords: Eclipsing binary, LO Andromeda, Orbital period change

บทนำ

ดาวฤกษ์ทั้งหลายนั้นมีจำนวนเกินครึ่งหนึ่งที่เป็นดาวฤกษ์แบบมีคู่ที่หมุนรอบจุดศูนย์กลางซึ่งกันและกัน เรียกว่า **ระบบดาวคู่** (บุญรักษา, 2550) โดยระบบดาวคู่นี้ยังแบ่งประเภทออกตามลักษณะที่ค้นพบ ได้แก่ ระบบดาวคู่แบบมองเห็นแยกกัน (visual binary) ระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด (close binary) ซึ่งระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดนี้มนุษย์จะไม่สามารถมองเห็นดาวแยกจากกันเป็นสองดวงได้ ไม่ว่าจะใช้กล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่เท่าใดก็ตาม ซึ่งนักดาราศาสตร์จะใช้เทคนิควิธีการต่าง ๆ แบ่งประเภทของระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดออกได้ตามลักษณะต่าง ๆ ทางเทคนิควิธี หนึ่งในนั้นคือระบบดาวคู่อุปราคา โดยระบบดาวคู่อุปราคานั้นมีนักดาราศาสตร์ทั่วโลกให้ความสนใจกันมาก เนื่องจากมีจำนวนมากถึง 20 เปอร์เซ็นต์ของระบบดาวคู่ทุกประเภท (บุญรักษา, 2550) ผู้วิจัยได้เลือกสรรระบบดาวคู่อุปราคาแบบหนึ่ง คือ ดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา โดยดาวคู่ระบบนี้ได้ถูกค้นพบครั้งแรกโดย R. Weber ตั้งแต่ปี ค.ศ.1963 ซึ่งเบื้องต้นนั้นระบุว่าป็นดาวพัลซาร์ จากการใช้วิธี visual observation ซึ่งระบบดาวคู่นี้อยู่ในกลุ่มดาวแอนโดรเมตา มีพิกัดตำแหน่ง RA เท่ากับ 23 h 27 m 06 s และมุม DEC เท่ากับ $+45^{\circ} 34' 11.2''$ (Weber,1963) หลังจากนั้นนักดาราศาสตร์ประจำหอดูดาวต่างๆได้ทำการศึกษาวิจัยโดยใช้เทคนิควิธีการ

ต่างๆ จำนวน 117 ครั้ง (Kreiner. et.al, 2000) จากนั้น R. Diethelm ได้ทำการใช้เทคนิควิธี Photoelectric ทำการวิเคราะห์และยืนยันว่ามีคาบวงโคจรที่สั้น ตั้งแต่ปี ค.ศ.1981 เป็นต้นมานักดาราศาสตร์พบว่าดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา เป็นระบบดาวคู่ประเภท ดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอร์ (Diethelm, 1981) ซึ่งเป็นระบบดาวคู่ที่มีดาวฤกษ์สองดวงถ่ายเทมวลให้แก่กันมากจนเกือบจะรวมเป็นดาวดวงเดียวกัน แต่เทคนิควิธีต่าง ๆ ที่นักดาราศาสตร์ได้ใช้วิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพของระบบดาวคู่นี้ ก็ยังไม่สามารถระบุถึงสมบัติทางกายภาพที่แท้จริง กระทั่งล่าสุด Gural et al. (2005) ได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคโฟโตเมตรีร่วมกับโปรแกรมวิลสัน-เดวินี่ พบว่าดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา มีวัตถุดวงที่สาม ซึ่งมีมวลประมาณ 0.21 เท่าของมวลดวงอาทิตย์ โดยดาวคู่ระบบนี้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรลดลง 0.0212 วินาทีต่อปี

หลังจากปี ค.ศ. 2005 เป็นต้นมา ยังไม่ปรากฏมีรายงานการวิเคราะห์ดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา นี้อีกเลย ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาดาวคู่ระบบนี้ เพื่อให้ทราบข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพต่าง ๆ และวิวัฒนาการของระบบดาวคู่นี้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบทางกายภาพของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา ได้แก่ อัตราส่วนมวล, คาบมุมเอียง, อุณหภูมิพื้นผิว, คาบวงโคจร, แสงจากวัตถุที่สาม เป็นต้น
2. เพื่อนำข้อมูลจากการสังเกตการณ์มาสร้างกราฟแสงจากการสังเกตการณ์ และทำการวิเคราะห์หาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด, วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจร, สร้างกราฟแสงสังเคราะห์ ของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา
3. เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและหาค่าผลเฉลยที่ดีที่สุด เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองของ ดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา

วิธีการวิจัย

การสังเกตการณ์ดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา ใช้กล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสง Meade LX 200 แบบ Schmidt Cassegrain ขนาด 0.5 เมตร ฐานกล้องระบบเส้นศูนย์สูตรและติดตั้งระบบมอเตอร์ติดตามดาวอัตโนมัติ การถ่ายภาพใช้เครื่องซีซีดีโฟโตมิเตอร์ต่อเข้ากับกล้องโทรทรรศน์ เพื่อทำการบันทึกภาพผ่านแผ่นกรองแสงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน สีเหลืองและสีแดง ทำการสังเกตการณ์ ณ หอดูดาว สิรินคร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ตำแหน่งละติจูด $18^{\circ} 47' 23.3''$ องศาเหนือ ตำแหน่งลองจิจูด $98^{\circ} 55' 17.03''$ องศาตะวันออก เริ่มสังเกตการณ์ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2554

เมื่อทำการสังเกตการณ์และถ่ายภาพทางดาวคู่ครบจำนวนรอบแล้ว นำข้อมูลภาพถ่ายจากการสังเกตการณ์มาผ่านกระบวนการรีดักชันภาพ (image reduction) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนในส่วนที่ไม่ต้องการออกจากภาพถ่ายทางดาราศาสตร์ด้วยโปรแกรม MaxIm DL หลังจากนั้นทำการวัดแสงด้วยเทคนิควิธีดิฟเฟอเรนเชียลโฟโตเมตรี (differential photometry) โดยการใช้โปรแกรม MaxIm DL 4.6 หลังจากนั้นสร้างกราฟแสง

เพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา โดยใช้แผนภาพ O-C คำนวณการ residual ของแผนภาพ O-C เพื่อตรวจสอบการมีจุดหรือวัตถุวงที่สามของระบบดาวคู่ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลระบบดาวคู่ โดยการใส่ค่าองค์ประกอบทางกายภาพต่าง ๆ ลงในโปรแกรมวิลสัน-เดวินนี่ ได้แก่ ค่าแสงดาว ตำแหน่งเฟสของแต่ละภาพถ่าย ค่าอัตราส่วนมวล ค่ามุมเอียงของระนาบวงโคจร ค่าการสะท้อนแสงที่ผิวดาว (bolometric albedo) ค่าอุณหภูมิยังผล ค่าเอกโพเนนต์ของการมืดคล้ำเนื่องจากความโน้มถ่วง (gravity-darkening exponent) ค่าความมืดคล้ำที่ขอบดวง (limb darkening) กำลังการส่องสว่าง เป็นต้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะนำไปสร้างกราฟแสงสังเคราะห์ (synthetic light curve) โดยใช้โปรแกรม LC คำนวณผลเฉลยที่ดีที่สุดโดยใช้เทคนิค least square เพื่อให้ได้กราฟแสงสังเคราะห์ที่มีการปรับค่าได้ดีที่สุด (best fit) โดยการใช้โปรแกรม DC ผลจากการคำนวณเป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดจากการคำนวณตามโปรแกรมวิลสัน-เดวินนี่ ในกรณีไม่มีแสงจากวัตถุที่สามมาเกี่ยวข้องในระบบ ดังนั้นเมื่อทราบข้อมูลระบบดาวคู่ที่ทำการศึกษาวิจัยจากนักดาราศาสตร์ในอดีต ปรากฏว่าอาจจะมีวัตถุวงที่สาม (หรือพิจารณาจากแผนภาพ O-C Residual) ให้ทำการปรับค่า EL3 ในโปรแกรมวิลสัน-เดวินนี่ เพื่อให้โปรแกรมทำการคำนวณหาค่าแสงจากวัตถุวงที่สาม นำข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากผลเฉลยที่ดีที่สุดมาสร้างแบบจำลองของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา ด้วยโปรแกรม Binary Maker 3.0 ในรูปกราฟฟิก (graphic -image)

ผลการวิจัย

จากการสังเกตการณ์ดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา ผู้วิจัยได้ทำการเลือกดาว GSC 3637:897 เป็นดาวเปรียบเทียบ (comparison star) และดาว GSC 3637:684 เป็นดาวตรวจสอบ (check star) ข้อมูลที่ได้จากการสังเกตการณ์ผ่านแผ่นกรองแสงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) สีเหลือง (V) และสีแดง (R) มีจำนวน 173 ข้อมูล 167 ข้อมูล และ 206 ข้อมูลตามลำดับ ข้อมูลที่ได้นำมาผ่านกระบวนการรีดักชันภาพเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนในส่วนที่ไม่ต้องการออกจากภาพถ่ายทางดาราศาสตร์ด้วยโปรแกรม MaxIm DL3 และทำการวัดแสงด้วยวิธีโฟโตเมตรี (photometry) ด้วยโปรแกรม MaxIm DL4.6 ใช้เทคนิคการสังเกตการณ์เปรียบเทียบ (differential observation) ข้อมูลที่ได้ประกอบด้วยเวลาของดาวคู่ในหน่วยวันจูเลียน (JD)

หลังจากนั้นทำการรวมข้อมูลที่ได้จากการสังเกตการณ์ในแต่ละช่วงเฟสเข้าด้วยกัน จะต้องแปลงเวลาในหน่วยวันจูเลียนศูนย์สุริยะ (HJD) เป็นเฟสการโคจร เพื่อให้ได้ข้อมูลของความสว่างและเฟสการโคจรที่จะนำมาสร้างกราฟแสง ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน สีเหลืองและสีแดง ดังแสดงในรูปที่ 1

เมื่อทำการวิเคราะห์หาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด ขณะเกิดอุปราคาผลปรากฏว่าได้ค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดจำนวน 3 ค่า เป็นอุปราคาปฐมภูมิ (primary eclipse) 2 ค่า และอุปราคาทุติยภูมิ (secondary eclipse) จำนวน 1 ค่า หลังจากนั้นนำค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดไปรวมกับข้อมูลของนักดาราศาสตร์ท่านอื่นๆที่เคยทำการวิเคราะห์ไว้เพื่อทำการหาค่ายุค (epoch) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการอ้างอิงสมการ Ephemeris เดิมของ Bob Nelson นักดาราศาสตร์ชาวอเมริกัน ซึ่งได้คำนวณและแสดงผลของสมการไว้ ดังนี้

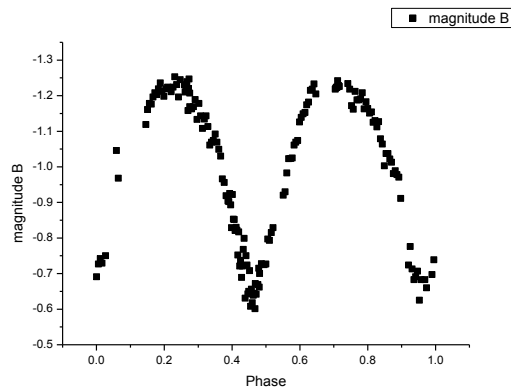
$$\text{HJD (Min)} = 2453655.45049 + 0.380823777 \quad (1)$$

ผลปรากฏว่าเมื่อนำค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดทั้งสามค่าและค่ายุคไปรวมกับข้อมูลของ Bob สามารถทำการวิเคราะห์หาค่าสมการ Ephemeris ใหม่สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ดังสมการ (2)

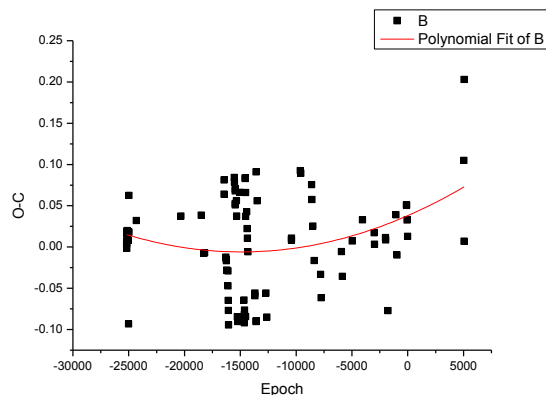
$$\text{HJD (Min)} = 2453655.45049 + 0.38082E \quad (2)$$

จากสมการ Ephemeris ใหม่ แสดงให้เห็นว่าดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา มีคาบวงโคจรใหม่เป็น 0.38082 วัน (ค่า error = 2.26468×10^{-16})

นำค่า Epoch และ ค่า O-C ของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา ที่ได้จากการคำนวณ ไปรวมกับข้อมูลค่า Epoch และ ค่า O-C ของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา ที่นักดาราศาสตร์ในอดีตเคยคำนวณไว้ทั้งหมด จากนั้นนำมาเป็นข้อมูลในการเขียนกราฟความสัมพันธ์ ผลปรากฏว่าได้แผนภาพ O-C ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 กราฟแสงที่ได้จากการสังเกตการณ์ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน



รูปที่ 2 แผนภาพ O-C ของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา

เส้นกราฟที่แสดงในแผนภาพ O-C ได้จากการคำนวณโดยวิธี polynomial fit curve มีลักษณะเป็นพาราโบลาหงาย แสดงให้เห็นว่าดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมดา มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของคาบวงโคจร และจากการใช้ quadratic polynomial fitting method จะได้สมการแสดงผลการคำนวณดังสมการที่ (3)

$$(O-C) = 3.804 \times 10^{-2} + 5.90283 \times 10^{-6}E + 1.98119 \times 10^{-10}E^2 \quad (3)$$

จากสมการ (3) สามารถหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา ได้เท่ากับ

$$\frac{dP}{dE} = 3.96238 \times 10^{-10} \text{ days / cycle} \quad (4)$$

จากสมการ (4) แสดงว่าดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา มีอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจร เท่ากับ 3.96238×10^{-10} วันต่อการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ หรือมีอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบเทียบกับเวลา จะได้ว่า

$$\frac{dP}{dt} = \left[\frac{(3.96238 \times 10^{-10} \text{ days / cycle}) \times \left(\frac{1}{0.6641693} \text{ cycle / day} \right)}{(86400 \text{ sec / day})(365.25 \text{ days / year})} \right]$$

$$\frac{dP}{dt} = 1.89048 \times 10^{-3} \text{ sec / year} \quad (5)$$

จากสมการที่ (5) ดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา มีอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 0.00189048 วินาทีต่อปี ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับคาบวงโคจรของ Gural และคณะพบว่า การที่ระบบดาวคู่มีคาบวงโคจรเพิ่มขึ้นในอัตราลดลงจากเดิม อาจเป็นผลมาจากกระบวนการถ่ายเทมวลสารระหว่างดาวฤกษ์ทั้งสอง

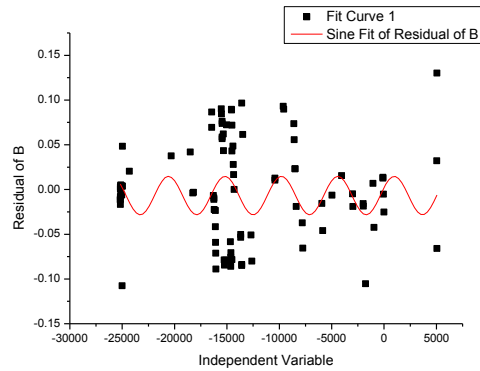
จากแผนภาพ O-C เมื่อนำข้อมูลผลต่างระหว่างค่า O-C ที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ Linear - Ephemeris และค่า O-C ที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ Parabolic Ephemeris มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ จะได้แผนภาพ O-C Residual ดังแสดงในรูปที่ 3

จากรูปที่ 3 เส้นกราฟมีลักษณะเป็นกราฟรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภายในระบบดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา อาจจะมีวัตถุดวงที่สามร่วมอยู่ในระบบ โดยจากผลรายงานการวิจัยของ Gurol และคณะได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมวิลสัน-เดวินนี่ พบว่าระบบดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา มีวัตถุดวงที่สาม ซึ่งมีมวลประมาณ 0.21 เท่า ของมวลดวงอาทิตย์ ดังนั้นจากแผนภาพดังกล่าว สามารถหา Periodic Ephemeris ที่ดีที่สุดสำหรับ Residuals ได้เท่ากับ

$$(O-C)_2 = (-0.00677) + 0.02147^d \sin\left(\pi \frac{E - 5024.5961}{2695.6003}\right) \quad (6)$$

จากสมการ (6) พบว่าค่า residuals มีการเปลี่ยนแปลงที่มีอัตราเร็วเชิงมุมเป็นหน่วยเรเดียนต่อรอบ และมีค่า semi-amplitude เท่ากับ 0.02147 วัน ซึ่งสามารถนำไปหาค่า light -time ได้โดยการแปลงหน่วยวันเป็นวินาทีแล้วคูณด้วยความเร็วแสง จะทำให้ได้ระยะทาง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.561×10^{11} m หรือ 3.7197 AU

เมื่อนำข้อมูลจากผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรและข้อมูลทางกายภาพของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตาไปทำการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางกายภาพที่ดีที่สุด โดยการโปรแกรมวิลสัน-เดวินนี่ ซึ่งเป็นการคำนวณหาผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยโปรแกรมนี้จะคำนวณผลข้อมูลจากการสังเกตการณ์และสร้างกราฟแสงสังเคราะห์ ผลปรากฏว่าได้ชุดค่าผลเฉลยที่ดีที่สุดดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 3 แผนภาพ O-C Residual หรือ $(O-C)_2$ ของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา

ตารางที่ 1 ผลเฉลยที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ในดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา จากโปรแกรมวิลสัน-เดวินนี่

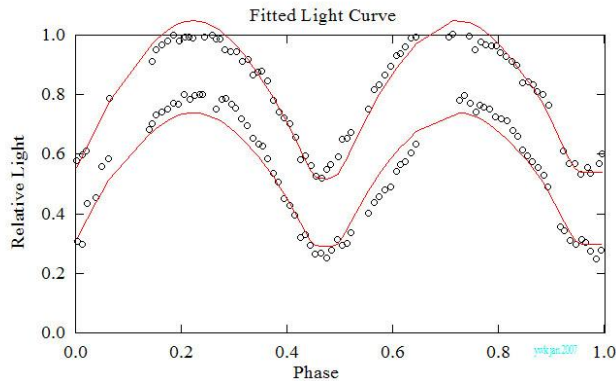
พารามิเตอร์	ผลเฉลยที่ดีที่สุด	
	ดาวปฐมภูมิ	ดาวทุติยภูมิ
$q = (m_2/m_1)$	2.1594790572	
i (degree)	89.45	
T (K)	5250	5252 ± 0.03
Ω	2.184694	
Ω_{in}	2.184694	
Ω_{out}	2.159479	2.159479
$L_{1B} / (L_{1B} + L_{2B})$ ความยาวคลื่นสีน้ำเงิน 4300 Å	0.535163	
$L_{1R} / (L_{1R} + L_{2R})$ ความยาวคลื่นสีแดง 5950 Å	0.508889	
$A_1 = A_2$	0.500	0.500
$g_1 = g_2$	0.320	0.320
r (pole)	0.332440	0.458531
r (side)	0.354356	0.498455
r (back)	0.432071	0.545057
\sum_{input} (Sum Square Residual for input value)	0.48580633	
$\sum_{predict}$ (Predict Sum Square Residual)	0.48522039	

การสร้างกราฟแสงสัณเคราะห์

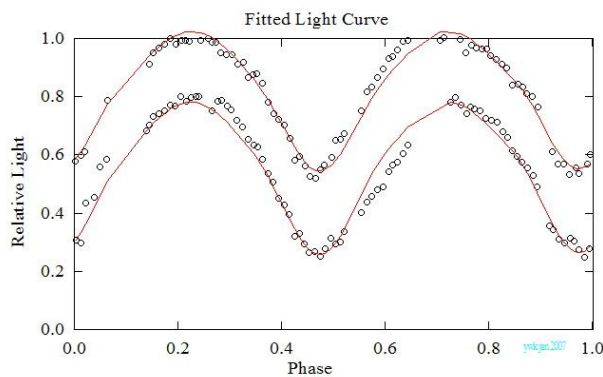
จากชุดองค์ประกอบทางกายภาพที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากการคำนวณของโปรแกรม DC โปรแกรมจะสร้างกราฟแสงสัณเคราะห์เปรียบเทียบกับกราฟแสงที่ได้จากการสังเกตการณ์ สำหรับช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินและสีแดง (สำหรับความยาวคลื่นสีเหลืองไม่นำมาคำนวณเนื่องจากมีผลของความคลาดเคลื่อนสูง) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4

แสงจากวัตถุที่สาม

จากรูปที่ 4 กราฟแสงสังเคราะห์ (เส้นทึบ) ที่ได้จากการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางกายภาพที่ดีที่สุดของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา ส่วนใหญ่มีความสอดคล้องกับกราฟแสงที่ได้จากการสังเกตการณ์ มีเพียงบางส่วนของเส้นกราฟของกราฟแสงสังเคราะห์ไม่ทาบทับกับกราฟแสงจากการสังเกตการณ์ ซึ่งจากรายงานผลการวิจัยของ Gurol และคณะได้ระบุถึงการมีวัตถุที่สามร่วมอยู่ในระบบดาวคู่ระบบนี้ โดยมีมวลประมาณ 0.21 เท่าของดวงอาทิตย์ ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น สาเหตุที่ทำให้กราฟแสงสังเคราะห์ไม่ทาบทับกับกราฟแสงจากการสังเกตการณ์ครบทุกช่วงเฟส อาจมาจากสาเหตุของการมีแสงจากวัตถุที่สาม ซึ่งวัตถุที่สามนี้อาจจะเป็นได้ทั้งดาวฤกษ์หรือดาวเคราะห์ ดังนั้นเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดที่มีความเป็นไปได้ในกรณีที่วัตถุที่สามในระบบ จึงทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์อีกครั้ง ผลปรากฏว่าค่าที่แสดงถึงว่าวัตถุที่สามอาจจะเป็นดาวฤกษ์เนื่องจากมีปริมาณแสงมากในระบบ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 กราฟแสงสังเคราะห์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมวิลสัน-เดวินนิ กรณีไม่มีแสงที่สาม



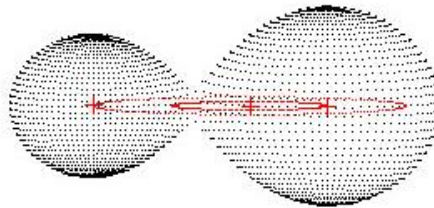
รูปที่ 5 กราฟแสงสังเคราะห์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมวิลสัน-เดวินนิ กรณีมีแสงที่สาม

จากรูปที่ 4 และ 5 สังเกตได้ว่าการคำนวณผลเฉลยที่ดีที่สุดจากการใช้โปรแกรมวิลสัน-เดวินนิ ซึ่งในรูปที่ 5 เส้นกราฟแสงสังเคราะห์ (สีแดง) มีการทาบทับที่ดีกว่ารูปที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการมีแสงจากวัตถุที่สามอยู่

ภายในระบบดาวคู่ แต่เนื่องจากกราฟแสงจากการสังเกตการณ์ (จุดสีดำ) มีการเลื่อนของเฟสในช่วง 0.5 - 0.7 แสดงว่าภายในระบบดาวคู่อาจมีจุดร้อน (Hot spot) เกิดขึ้น

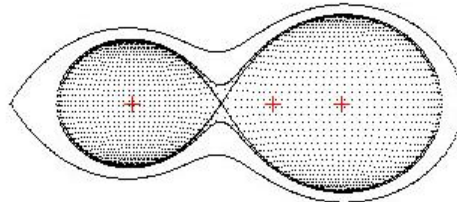
การสร้างแบบจำลองของดาวคู่

เมื่อนำชุดข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพที่ดีที่สุด รวมถึงผลเฉลยที่ดีที่สุดจากการคำนวณโดยโปรแกรม วิลสัน-เดวินนี่ ไปสร้างแบบจำลองของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา ผลปรากฏว่าได้แบบจำลองของดาวคู่ดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 6 และแบบจำลอง surface potential ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 6 แบบจำลองลักษณะทางกายภาพของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6 พบว่าแอลโอ แอนโดรเมตา เป็นระบบดาวคู่แบบตะกั่วกันที่มีจุดศูนย์กลางมวลอยู่ ณ ตำแหน่งดาวปฐุมภูมิ ขนาดของดาวปฐุมภูมิมิขนาดใหญ่มากกว่าดาวฤกษ์เล็กน้อย ดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตามี กระบวนการถ่ายเทมวลสารระหว่างกัน เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 7 พบว่าดาวฤกษ์ทั้งสองดวงมีวิวัฒนาการขยายตัว จนเต็มผิวทอหุ้มโรซ



รูปที่ 7 แบบจำลอง surface potential ของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา

สรุปผลการวิจัย

จากการสังเกตการณ์ดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา โดยใช้กล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร ในระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ.2553 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ.2554 ผลปรากฏว่าดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา มีคาบวงโคจรเท่ากับ 0.38082377 วัน จากการวิเคราะห์ข้อมูลทำให้ได้สมการ Ephemeris ใหม่ คือ $HJD (Min) = 2453655.45049 + 0.38082E$

เมื่อทำการวิเคราะห์แผนภาพ O-C สามารถคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบวงโคจรว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.96238×10^{-10} วัน หรือเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 0.00189048 วินาทีต่อเวลาที่ผ่านไป 1 ปี ซึ่งอาจเกิดจากการถ่ายเทมวลของระบบดาว จากการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางกายภาพที่ดีที่สุดของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา พบว่าอาจมีวัตถุที่สามอยู่ภายในระบบ

จากการสร้างแบบจำลองของดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา ด้วยโปรแกรม Binary Maker 3.0 พบว่าแอลโอ แอนโดรเมตา เป็นระบบดาวคู่แบบประกกันที่มีจุดศูนย์กลางมวลอยู่ ณ ตำแหน่งของดาวปฐมภูมิ ขนาดของดาวปฐมภูมิมีขนาดใหญ่กว่าดาวทุติยภูมิเล็กน้อย แสดงว่าดาวคู่แอลโอ แอนโดรเมตา มีกระบวนการถ่ายเทมวลสารระหว่างกัน ซึ่งดาวฤกษ์ทั้งสองดวงมีวิวัฒนาการขยายตัวจนเต็มผิวห่อหุ้มโรซ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำหอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่อนุญาตให้ใช้กล้องโทรทรรศน์และอุปกรณ์สำหรับการเก็บข้อมูล ขอขอบคุณคุณสมสวัสดิ์ รัตน์สุรย์ นักวิชาการประจำสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ สำหรับข้อเสนอแนะและคำแนะนำเทคนิควิธีต่างๆ สุดท้ายขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาสำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- บุญรักษา สุนทรธรรม. (2550). ดาราศาสตร์ฟิสิกส์. สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ. เชียงใหม่ หน้า 328 – 377.
- บุญรักษา สุนทรธรรม, มาโนช นาคสาทา, สุมิตร นิภารักษ์ และอนิวรรต เฉลิมพงษ์. (2538). รายงานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของดาวคู่อุปราคา ดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอร์โดยเทคนิคโฟโตเมตรีแบบซีซีดี. สกว. หน้า 1 – 5.
- บุญรักษา สุนทรธรรม และ Yang Yulan. (2538). รายงานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของดาวคู่อุปราคาแบบเกือบประกกันบางระบบ, สกว. หน้า 1 – 5.
- Boninsegna, R. (1983). LO Andromedae ; a new close eclipsing binary system. GEOS Circular on Eclipsing Binaries. [online]. EB 11 : 7. Available : <http://www.google.co.th>.
- Gural, B. and MUYESSEROGLU, Z. (2005). First light curve and period study of LOAndrome dae. Astronomiche Nachrichten. [online]. 326 : 43. Available : <http://www.google.co.th>.
- Kreiner, J.M., Kim, C-H. and Nha, I-S. (2000). Atlas of O-C Diagrams of Eclipsing binary stars. Available URL ;<http://www.google.co.th>.
- Nelson, B. (2010). Bob Nelson's O-C file. (online). Available URL ; <http://www.aavso.org/bob-nelsons-o-c-files>.
- Löcher, S. (2007). Astro wissen. [online]. Available :<http://www.wissenschaft-online.de/astrowissen/astro>.
- Mas-Hesse, J.M. (2003). An Optical Monitoring Camera for INTEGRAL. [online]. Available : <http://www.aanda.org>.
- Terrell, D. (2001). Light Curve Classification. [online]. Available : <http://www.boulder.swri.edu>.
- Chen, W-C. and Li, X-D. (2006). Orbital evolution of Algol Binaries with Circumbinary disk. The Astrophysical Journal. [online]. 649 : 973 - 978. Available : <http://www.google.co.th>.

