

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 ดาวแปรแสง ( Variable Star)

ดาวแปรแสง ( Variable Star) คือ ดาวที่มีการเปลี่ยนแปลงความสว่าง (Brightness) หรือ กำลังส่องสว่าง (Luminosity) ได้ และการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่ได้มาจากผลของบรรยากาศของโลก สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้คือ ดาวแปรแสงที่มีการแปรแสงจริง (Intrinsic Variable) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของดาวฤกษ์อย่างรวดเร็ว และ ดาวที่ไม่ได้แปรแสงจริง (Extrinsic Variable) โดยที่ดาวแปรแสงทั้งสองประเภทนี้ยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อยๆ อีกคือ

##### 1. ดาวแปรแสงที่มีการแปรแสงจริง (Intrinsic Variable)

1.1 Pulsating variable คือดาวที่มีการยุบและขยายตัว ในขั้นตอนวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ดังนี้

-  $\alpha$  Cygni variable เป็นดาวที่มีการยุบและขยายตัว ที่ไม่อยู่ในแนวรัศมี เป็นดาวยักษ์ใหญ่ (supergiants) อยู่ในชนิดสเปกตรัม B ถึง A มีคาบการแปรแสงเป็นวัน ถึง สัปดาห์ มีค่าการเปลี่ยนแปลงความสว่างประมาณ 0.1 โชติมาตร (magnitude) การแปรแสงมีลักษณะแบบไร้รูปร่าง (irregular)

-  $\beta$  Cephei variable เป็นดาวที่มีคาบการแปรแสงสั้นมาก ประมาณ 0.1 – 0.6 วัน มีค่าการเปลี่ยนแปลงความสว่างประมาณ 0.01 – 0.3 โชติมาตร

-  $\delta$  Cepheid variable เป็นดาวแปรแสงที่มีความน่าสนใจมากชนิดหนึ่ง ส่วนมากเป็นดาวยักษ์เหลืองที่มีคาบการแปรแสงแบบมีรูปร่าง (regular) โดยทั่วไปจะเรียกดาวแปรแสงกลุ่มนี้ว่า Cepheid มีคาบการแปรแสงอยู่ในช่วงไม่กี่วัน ถึงหลายสัปดาห์ นักดาราศาสตร์จะใช้ดาวกลุ่มนี้คำนวณหาระยะห่างของกาแลกซีได้ ซึ่งดาวแปรแสงกลุ่มนี้ยังแบ่งออกเป็น 2 ชนิดย่อยๆ อีก คือ W Virginis variable ซึ่งมีหลายๆ อย่างที่คล้ายคลึงกับ Cepheid แต่เป็นดาวประชากรที่ 2 ซึ่งจะมีโลหะน้อย ส่วนอีกชนิดหนึ่ง คือ  $\delta$  Scuti variable ซึ่งมีหลายๆ อย่างที่เหมือนกับ Cepheid แต่มีความสว่างและคาบการแปรแสงน้อยกว่า Cepheid บางครั้งจึงเรียกว่า Dwarf Cepheid โดยมีค่าการแปรแสงอยู่ที่ 0.003 – 0.9 โชติมาตร และมีคาบการแปรแสงประมาณ 0.01 – 0.2 วัน ซึ่งเป็นดาวที่อยู่ในชนิดสเปกตรัมระหว่าง A0 ถึง F5

- Mira variable เป็นดาวยักษ์ใหญ่แดงที่เย็นมาก มีคาบการแปรแสงนานหลายเดือน มีค่าการแปรแสงอยู่ในช่วง 2.5 ถึง 11 โชติมาตร

- PV Telescope variable เป็นดาวยักษ์ใหญ่ฮีเลียม มีความการแปรแสงประมาณ 0.1 - 1 วัน มีค่าการแปรความสว่างเฉลี่ยประมาณ 0.1 โซติมาตร

-RR Lyrae variable เป็นดาวที่คล้ายคลึงกับ Cepheid แต่สว่างน้อยกว่าและแก่กว่า Cepheid รวมทั้งเป็นดาวประชากรที่ 2 พบในกระจุกดาวทรงกลม บางครั้งเรียกว่า cluster Cepheid สามารถคำนวณหาระยะห่างของวัตถุท้องฟ้าจากดาวกลุ่มนี้ได้ ส่วนใหญ่เป็นชนิดสเปกตรัม A มีการแปรความสว่างประมาณ 0.2 - 2 โซติมาตร และมีความการแปรแสงตั้งแต่ชั่วโมง จนถึงวันหรือบางดวงอาจจะมากกว่านั้น

- RV Tauri variable เป็นดาวยักษ์ใหญ่เหลือง ที่มีชนิดสเปกตรัม F หรือ G เมื่อมีความสว่างมากที่สุด และจะอยู่ในชนิดสเปกตรัม K หรือ M เมื่อมีความสว่างน้อยที่สุด โดยที่ดาวกลุ่มนี้จะมีค่าการแปรแสงอยู่ในช่วง 30 - 100 วัน และมีการแปรความสว่างประมาณ 3 - 4 โซติมาตร

- Semiregular variable เป็นดาวยักษ์ใหญ่แดง มีการแปรแสงแบบมีรูปร่าง แต่บางครั้งก็แปรแสงแบบไร้รูปร่าง ตัวอย่างของดาวแปรแสงที่เป็นที่รู้จักกันดีในกลุ่มนี้คือดาว Betelgeuse ซึ่งมีการแปรค่าโซติมาตรตั้งแต่ +0.2 - +1.2

- SS Phoenicis variable เป็นดาวที่คล้ายคลึงกับ  $\delta$  Scuti variable โดยอยู่ในชนิดสเปกตรัม A2 ถึง F5 ส่วนมากจะพบในกระจุกดาวทรงกลม มีการแปรความสว่างประมาณ 0.7 โซติมาตร และมีความการแปรแสง 1 - 2 ชั่วโมง

- ZZ Ceti variable เป็นดาวที่มีการยุบและขยายตัว ที่ไม่อยู่ในแนวรัศมี มีความการแปรแสงสั้นมากประมาณ 0.5 - 25 นาที และมีการแปรความสว่างน้อยมากประมาณ 0.001 - 0.2 โซติมาตร

1.2 Eruptive variable เป็นดาวที่มีการระเบิดเปลือกนออกออกไป ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ดังนี้

- Flare star เป็นดาวที่มีความสว่างน้อย สามารถเพิ่มความสว่างได้ถึง 2 โซติมาตร ในเวลาเพียง 2 - 3 วินาที แต่จะลดความสว่างลงเหมือนเดิมใช้เวลาประมาณครึ่งชั่วโมง ส่วนมากเป็นดาวแคระแดง

- FU Orionis variable เป็นดาวที่อยู่ในชนิดสเปกตรัม A ถึง G สามารถเพิ่มค่าความสว่างได้ถึง 6 โซติมาตร



-  $\gamma$  Cassiopeiae variable เป็นดาวที่อยู่ในชนิดสเปกตรัม B ถึง I สามารถเพิ่มค่าความสว่างได้ถึง 1.5 โซลิมมาตร ขณะที่กระจายมวลสถานออกไปอื่นเนื่องมาจากการหมุนรอบตัวเองอย่างเร็ว

- Orion variable เป็นดาวเกิดใหม่ที่ร้อน และยังไม่เข้าสู่แถบดาวกระบวนหลัก มีคาบการแปรแสงแบบและค่าการแปรแสงไม่แน่นอน

- Luminous blue variable บางครั้งเรียกว่า S Doradus variable

- R Coronae Borealis variable ดาวกลุ่มนี้มีการเพิ่มความสว่างแบบไม่เป็นคาบ โดยมีการเพิ่มความสว่างจาก 1 ไปยัง 9 โซลิมมาตรในทันที แต่จะลดความสว่างลงอย่างช้าๆ โดยใช้เวลาเป็นเดือน หรือเป็นปี ซึ่งเป็นผลมาจากฝุ่นในบรรยากาศของดาว

- RS Canum Venaticorum variable เป็นระบบดาวคู่ที่มีคาบการแปรแสงยาวนานรวมถึงมีการลุกจ้า (flare) ที่มีดาวด้วย โดยมีคาบประมาณ 1 - 4 ปี

- Wolf - Rayet variable เป็นดาวร้อนที่มีมวลมาก และมีการปล่อยเปลือกออกมา โดยมีการแปรค่าความสว่างเฉลี่ย 0.1 โซลิมมาตร เมื่อถ่ายสเปกตรัมพบว่ามีการปล่อย (emission) สเปกตรัมของ ฮีเลียม ไนโตรเจน คาร์บอน และออกซิเจน

1.3 Cataclysmic variable เป็นการแปรแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติภายในของดาว ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ดังนี้

- Dwarf novae เป็นระบบดาวคู่ที่ดาวดวงใดดวงหนึ่งเป็นดาวแคระขาว และมีการถ่ายเทมวลระหว่างคู่ ทำให้เกิดการระเบิดที่บริเวณรอบนอก

- Novae เป็นการระเบิดของดาวในระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด

- Supernovae เป็นการแปรแสงของดาว โดยที่เกือบทั้งหมดของ Cataclysmic variable จะเป็น Supernovae ซึ่งมีการปล่อยพลังงานออกมาจำนวนมาก มีความสว่างเพิ่มขึ้นมากกว่า 20 โซลิมมาตร และเป็นผลมาจากการระเบิดของดาวมวลมากในช่วงท้ายของวิวัฒนาการ

- Z Andromedae variable เป็นระบบดาวคู่ที่ดาวดวงใดดวงหนึ่งเป็นดาวยักษ์แดง และ ดาวร้อน ที่อยู่ในกลุ่มแก๊สและฝุ่น คล้ายๆกับ novae คือเกิดการระเบิดที่บริเวณรอบนอก ซึ่งการแปรค่าความสว่างประมาณ 4 โซลิมมาตร

## 2. ดาวแปรแสงที่ไม่ได้แปรแสงจริง (Extrinsic Variable)

2.1 Rotating variable เป็นดาวที่มีการแปรค่าความสว่างอันเนื่องมาจากการหมุนรอบตัวเอง เช่นการเกิด sun spot ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ดังนี้

-  $\alpha^2$  Canum Venaticorum variable เป็นดาวที่อยู่ในแถบกระบวนหลัก มีชนิดของสเปกตรัมเป็น B7 – A7 มีการแปรค่าความสว่างประมาณ 0.01 – 1 โซติมาตร ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนของสนามแม่เหล็ก

- BY Draconis variable เป็นดาวที่มีชนิดของสเปกตรัมเป็น K หรือ M และมีการแปรค่าความสว่างประมาณ 0.5 โซติมาตร

- FK Comae Berenices variable เป็นดาวที่มีหมุนเร็วและมีลักษณะรี

- SX Arietis variable เป็นดาวที่มีการแปรค่าความสว่างประมาณ 0.1 โซติมาตร ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนสนามแม่เหล็กอันเนื่องมาจากการหมุนรอบตัวเองด้วยความเร็วสูง

- Rotating ellipsoidal variable เป็นดาวที่มีการหมุนที่พื้นผิว ทำให้ผู้สังเกตเห็นว่าการแปรแสง

- Optically variable pulsar มีพัลซาร์เพียงไม่กี่ดวงที่สามารถสังเกตได้ในช่วงความยาวคลื่นที่ตาคนมองเห็น เช่น ดาวนิวตรอนที่มีการแปรค่าความสว่างอันเนื่องมาจากการหมุนรอบตัวเองอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการแปรแสงอย่างรวดเร็วด้วย โดยใช้เวลาเพียงมิลิวินาทีหรือ สองถึงสามวินาทีเท่านั้น

2.2 Eclipsing binary เป็นการแปรแสงของระบบดาวคู่ ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ดังนี้

- Algol variable เป็นดาวคู่แบบแยกกัน (Detached Binaries) มีอุปราคาปฐมภูมิ (Primary Eclipse) ลึก แต่อุปราคาทุติยภูมิ (Secondary Eclipse) ลื้น แสดงว่าดาวปฐมภูมิสว่างกว่าดาวทุติยภูมิมาก กราฟแสงบริเวณนอกอุปราคา (Outside Eclipse) ค่อนข้างสม่ำเสมอ

-  $\beta$  Lyrae variable เป็นดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน (Semi-Detached Binary) กราฟแสงจะมีความโค้งสม่ำเสมอและอุปราคาทุติยภูมิจะเห็นชัดกว่าประเภท Algol มาก

- W Ursae Majoris variable เป็นดาวคู่แบบติดกัน (Contact Binaries) กราฟแสงจะโค้งสม่ำเสมอ และความลึกของอุปราคาปฐมภูมิ กับอุปราคาทุติยภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน

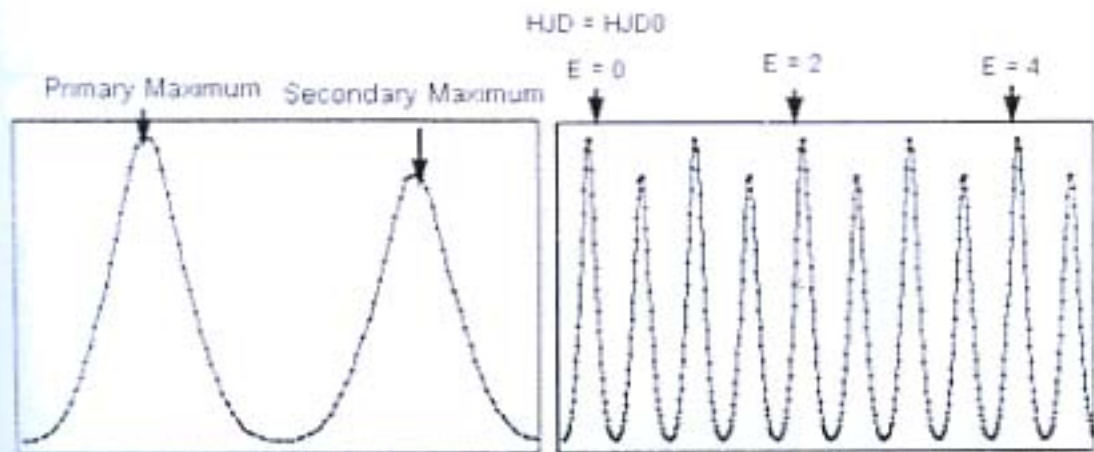
2.3 Planetary transit เป็นการแปรค่าความสว่างของดาว อันเนื่องมาจากดาวเคราะห์เคลื่อนที่บังดาวฤกษ์





### 2.3 การวิเคราะห์กราฟแสงของดาวแปรแสง

กราฟแสง (Light Curve) คือข้อมูลทางเวลาที่บันทึกการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของปริมาณแสงจากวัตถุท้องฟ้า ข้อมูลดังกล่าวจะบ่งชี้ถึงวิวัฒนาการของแสงจากวัตถุท้องฟ้านั้นตามเวลาที่ถูกบันทึก ดาวแปรแสงเป็นวัตถุท้องฟ้าที่นักดาราศาสตร์นิยมสังเกตการณ์ด้วยกราฟแสง โดยถ้าทราบว่าดาวแปรแสงดังกล่าวมีกลไกการแปรแสงอย่างไร ก็สามารถทำนายโครงสร้าง และแนวโน้มพฤติกรรมของดาวแปรแสงนั้นเมื่อเวลาต่างๆ ได้ สำหรับดาวแปรแสงเคลตา สคูติ จัดเป็นดาวแปรแสงที่มีกลไกการแปรแสงแบบพัลส์ (Pulsating) ซึ่งเกิดจากกระบวนการทางเทอร์โมนิวเคลียร์ภายในดาว ดังนั้นกราฟแสงที่สังเกตการณ์ได้จะบ่งบอกถึงแนวการโคจรของระบบจากการสังเกตการณ์บนโลก ลักษณะของกราฟแสงที่มีการลดลงของเส้นกราฟหมายถึงมีการยุบตัวของดาวตามแนวสังเกตจากโลก ซึ่งเวลาที่ระบบดาวแปรแสงมีการแปรความสว่างครบหนึ่งรอบโดยสมบูรณ์เรียกว่า คาบ (Period) ในทางปฏิบัติสามารถวัดคาบของดาวแปรแสงดวงนั้นๆ ได้จากการวัดช่วงเวลาจากตำแหน่งความสว่างสูงสุดหนึ่งจนถึงตำแหน่งความสว่างสูงสุดถัดไป และนิยมวัดคาบของดาวแปรแสงในหน่วยวัน



รูป 2.2 แสดงส่วนประกอบในกราฟแสงและการหา Epoch

ถ้าสังเกตการณ์กราฟแสงของดาวแปรแสงคาบสั้นด้วยระยะเวลาสั้น กราฟแสงที่ได้จะมีค่าสูงสุดหลายจุดซึ่งวนเป็นคาบตามการแปรแสงของดาว ซึ่ง Time of Maximum ของกราฟแสงจะมีการแปรตามจำนวนเท่าของคาบ ตามสมการเชิงเส้นเอพริเมอร์ริส (Linear Ephemeris Equation) ดังนี้

$$HJD = HJD_0 + PE \quad (2.1)$$

โดยที่ HJD คือ ค่า Time of Minimum ของกราฟแสงในตำแหน่งที่สนใจในรูปของวันจูเลียน-  
ศูนย์สุริยะ

$HJD_0$  คือ ค่า Time of Maximum ของกราฟแสงในตำแหน่ง  $E=0$  ในรูปของวันจูเลียน-  
ศูนย์สุริยะ

$P$  คือ คาบการโคจรของระบบดาวคู่

$E$  คือ Epoch หรือจำนวนรอบของการแปรแสงของดาว

ซึ่งการนับ Epoch จะมีลักษณะดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$HJD \text{ (next period)} = HJD_0 + P(1)$$

$$HJD \text{ (2<sup>nd</sup> period)} = HJD_0 + P(2)$$

$$HJD \text{ (3<sup>rd</sup> period)} = HJD_0 + P(3)$$

.

.

.

สำหรับการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบเชิงมุม จะใช้แผนภาพ  $O-C$  โดยที่

$$O = HJD_0 + P(E)E \quad (2.2)$$

$$C = HJD_0 + P_{ev}E \quad (2.3)$$

โดยที่  $O$  คือ Time of Maximum Light ที่สังเกตการณ์ (Observe) ได้

$C$  คือ Time of Maximum Light ที่ได้จากการคำนวณ (Calculate) โดยสมการเชิงเส้น  
เอพรีเมอริส

$P_{ev}$  คือ คาบการแปรแสงของดาวคู่ที่คำนวณได้จากสมการเชิงเส้นเอพรีเมอริส

$P(E)$  คือ คาบการแปรแสงจริงของดาวที่ได้จากการสังเกตการณ์

เมื่อนำสมการ (2.2) ลบด้วยสมการ (2.3) จะได้

$$O - C = (P(E) - P_{ev})E \quad (2.4)$$

โดยถ้าแผนภาพ  $O-C$  ที่ได้มีการกระจายแบบพาราโบลา จะได้ว่า

$$O - C = aE^2 + bE + c = (P(E) - P_{ev})E \quad (2.5)$$

จากนั้นดิฟเฟอเรนเชียลสมการ (2.5) เทียบกับ  $E$

$$\frac{dP}{dE} E + (P(E) - P_{ev}) = 2aE + b \quad (2.6)$$

เทียบสัมประสิทธิ์ของทั้งสองข้างของสมการ ทำให้ได้

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dE} &= 2a \\ (P(E) - P_{ev}) &= b \end{aligned} \quad (2.7)$$

ในการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงของดาว  $dP/dE$  (หน่วย days/cycle) จะใช้การพิจารณาแผนภาพ  $O-C$  โดยการหาค่า  $a$  จากการใช้ Quadratic Polynomial Fitting Method แล้วจึงแทนค่าในสมการ (2.7) ต่อไป

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงของดาวแปรแสงนี้ พบว่า ถ้าการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงมีค่าลดลง ดาวแปรแสงดวงนั้นๆ อาจอยู่ในช่วงวิวัฒนาการก่อนเข้าสู่แถบกระบวนหลัก (main sequence) ส่วนดาวที่มีการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงมีค่าเพิ่มขึ้น ดาวแปรแสงดวงนั้นๆ อาจอยู่ในแถบกระบวนหลัก และออกจากแถบกระบวนหลัก

#### 2.4 ระบบดาวคู่ (Binary System)

ดาวแปรแสงบางดวง ประกอบด้วยดาวฤกษ์อีก 1 ดวง โคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลเดียวกัน เรียกว่า ระบบดาวคู่ เมื่อพิจารณาคาบการโคจรของดาวแปรแสงเป็นเวลานาน จะพบการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของดาวแปรแสงนี้ในลักษณะที่เป็นคาบ ซึ่งมีค่าเท่ากับคาบการโคจรบังกันของระบบดาวคู่

ดังนั้นถ้าแผนภาพ  $O-C$  มีลักษณะเป็นคาบ หรือ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นคาบซ่อนอยู่ในแผนภาพ จะสามารถหาสมการของฟังก์ชันคาบ (Periodic Function) มาอธิบายได้ โดยที่คาบของฟังก์ชันนี้จะมีค่าเท่ากับคาบการโคจรบังกันของระบบดาวคู่ และแอมพลิจูดที่ได้ แสดงถึงระยะห่างระหว่างดาวทั้งสองในระบบดาวคู่นั้นๆ