

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การหาอายุ ระยะทางของกระจุกดาวทรงกลม M3 กระจุกดาวเปิด M35 M44 และ M67 ด้วยเทคนิคซีซีดีโพโตเมทรีและการศึกษาเปรียบเทียบ ผู้ทำวิจัยได้ทำการศึกษา ค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยจะกล่าวในรายละเอียดที่ประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

- 2.1 การถ่ายภาพทางดาราศาสตร์
- 2.2 วัฏจักรชีวิตของดาวฤกษ์
- 2.3 ตำแหน่งของดาวบนท้องฟ้า
- 2.4 วิวัฒนาการของดาวฤกษ์
- 2.5 กระจุกดาว
- 2.6 การวัดแสง
- 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลและกำลังส่องสว่างของดาวฤกษ์
- 2.8 โปรแกรมอ่านไฟล์และวิเคราะห์ภาพทางดาราศาสตร์
- 2.9 ฐานข้อมูลและเครื่องมือทางดาราศาสตร์
- 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การถ่ายภาพทางดาราศาสตร์

ในอดีตการศึกษาทางด้านดาราศาสตร์มักจะทำการศึกษาสังเกตด้วยตาเปล่า ทำให้ขีดจำกัดในการศึกษาค่อนข้างจำกัดและขึ้นอยู่กับความสามารถและความอดทนของผู้สังเกตเป็นอย่างมาก ในปัจจุบันการถ่ายภาพทางดาราศาสตร์ (Astrophotography) ได้มีการพัฒนาขึ้นมากและมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการทำงานวิจัยทางดาราศาสตร์ นอกจากการถ่ายภาพจะง่ายต่อการนำไปวิเคราะห์แล้ว การถ่ายภาพทางดาราศาสตร์ยังสามารถใช้เป็นหลักฐานได้เป็นอย่างดีที่สามารถนำไปยืนยันผลการศึกษา ค้นคว้าได้ นอกจากนี้แล้วการถ่ายภาพก็ยังช่วยให้สามารถสังเกตสิ่งอื่น ๆ อีกมากมายที่ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า

หากเปรียบเทียบแสงดาวเป็นเหมือนกับฝนที่ตกลงไปในภาชนะ กล้องโทรทรรศน์ก็เปรียบเหมือนกับกรวยขนาดใหญ่ที่รวมน้ำฝนจากพื้นที่กว้างเข้ามาสู่ตาของผู้สังเกต การถ่ายภาพทางดาราศาสตร์ก็เปรียบได้เหมือนการรองน้ำฝนนี้ลงไปในภาชนะ เพื่อที่ผู้สังเกตจะสามารถเก็บสะสมแสงดาวไว้มากพอ จนสามารถนำไปใช้ได้ปริมาณที่มากยิ่งขึ้น และสังเกตเห็นสิ่งที่ปกติอาจจะไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า (มติพล ตั่งมติธรรม, 2556: หน้า 78)

2.1.1 กล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร

เป็นกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่ของหอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา นครราชสีมา ซึ่งเป็นกล้องโทรทรรศน์ชนิดริทชี-เครเตียง (Ritchey-Chretien Telescope) มีกระจกปฐมภูมิแบบไฮเปอร์โบลอยด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร และกระจกทุติยภูมิแบบไฮเปอร์โบลอยด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร มีอัตราส่วนความยาวโฟกัสเท่ากับ 6.8 (F-number $f/6.8$) ความยาวโฟกัส 3.454 เมตร ซึ่งติดตั้งบนฐานแบบ German Equatorial สามารถควบคุมการทำงานได้จากคอมพิวเตอร์ และการควบคุมผ่านระบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ต บนตัวกล้องติดตั้ง CCD Camera ความละเอียดสูงขนาด 9.3 ล้านพิกเซล พร้อมฟิลเตอร์สี LRGB และฟิลเตอร์ชนิด Narrow band filter เพื่อใช้เก็บข้อมูลงานวิจัยและบันทึกภาพถ่ายของวัตถุท้องฟ้าหรือปรากฏการณ์ทางดาราศาสตร์สำคัญ ๆ ได้ และมีช่องสำหรับใส่เลนส์ใกล้ตาแยกต่างหาก โดยไม่ต้องถอด CCD Camera ออกทำให้มีความสะดวกในการใช้งานทั้งการสังเกตด้วยตาเปล่าและการถ่ายภาพผ่าน CCD Camera สามารถรองรับการทำงานวิจัยทั้งระดับเบื้องต้นและระดับสูง (สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), 2556 : หน้า 1)



ภาพที่ 2.1 กล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร
ที่มา (สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), 2556 : หน้า 1)

2.1.2 ซีซีดี

ปัจจุบันการถ่ายภาพทั้งทางดาราศาสตร์และการถ่ายภาพทั่ว ๆ ไป ได้เปลี่ยนจากการเก็บแสงด้วยฟิล์มมาเป็นการเก็บแสงด้วยซีซีดี (Charged Coupled Device CCD) ซึ่งถูกคิดค้นขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1969 หลังจากนั้นมาได้มีการพัฒนาไปอย่างมากจนใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์การถ่ายรูป ตั้งแต่กล้องถ่ายรูปดิจิทัล กล้องวิดีโอ โทรศัพท์มือถือ ฯลฯ การคิดค้นซีซีดีมีประโยชน์กับวงการดาราศาสตร์เป็นอย่างมาก เพราะซีซีดีมีประสิทธิภาพทางควอนตัม (Quantum efficiency) ที่สูงถึงร้อยละ 95 หมายถึงสามารถเปลี่ยนโฟตอนที่รับสัญญาณได้ถึงร้อยละ 95 ประสิทธิภาพในการดักจับแสงเกือบเท่ากันตลอดทุกความยาวคลื่น ความเป็น linearity ของสัญญาณที่ได้รับ (ให้สัญญาณสองเท่าเมื่อได้รับโฟตอนเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า เทียบกับฟิล์มซึ่งรับแสงได้น้อยลงเมื่อได้รับแสงมาแล้วจุดหนึ่ง) มีความสะดวกในการใช้งานและสามารถนำมาใช้ใหม่ได้ เป็นต้น

ซีซีดีมีลักษณะแบ่งเป็น Pixel ประกอบด้วยส่วนที่ไวแสง และส่วนที่เก็บประจุ เมื่อโฟตอนตกลงบน pixel จะถูกเก็บเอาไว้ในรูปของอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนนี้จะถูกสะสมเอาไว้ใน pixel เมื่อถึงเวลาอ่านข้อมูล ประจุที่สะสมเอาไว้ในแต่ละ pixel จะถูกส่งต่อไปเป็นทอด ๆ ไปยัง pixel ข้าง ๆ จนถึงตัวเก็บประจุตัวสุดท้าย ซึ่งจะส่งต่อประจุไปยัง charge amplifier ทีละ pixel ซึ่งอ่านประจุที่เก็บได้เป็นรูปของความต่างศักย์ ซึ่งจะทำการประมวลผลเป็นภาพต่อไป (มติพล ตั้งมติธรรม, 2556: หน้า 81-84)

2.1.3 การประมวลภาพถ่ายทางดาราศาสตร์

สัญญาณที่อ่านได้จากซีซีดีในตอนแรก (Raw Image) ไม่ได้มาจากโฟตอนของวัตถุที่เราต้องการสังเกตเพียงอย่างเดียวแต่ประกอบขึ้นด้วยสัญญาณรบกวน (Noise) และสัญญาณอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการอีกมาก ซึ่งก่อนจะนำภาพที่วิเคราะห์ทางดาราศาสตร์ต่อไปนั้น ผู้วิจัยจำเป็นต้องทำการประมวลภาพ (Image Processing) เสียก่อน (มติพล ตั้งมติธรรม, 2556: 82) ดังภาพที่ 2.2

1) Dark Frame

ทุกครั้งถ่ายภาพ ในขั้นตอนการอ่านภาพจะมีสัญญาณส่วนหนึ่งอยู่ใน CCD อยู่แล้วไม่ว่าบริเวณนั้นจะมีสัญญาณตกลงมาหรือไม่ก็ตาม สัญญาณเช่นนี้จะเกิดในลักษณะ Hot pixel Banding noise ฯลฯ การลดสัญญาณเช่นนี้สามารถทำได้โดยง่าย เพียงการถ่ายภาพอีกภาพหนึ่งโดยที่ไม่ได้มีสัญญาณใด ๆ จากภายนอกเลย เช่น ถ่ายภาพขณะที่ปิดฝาหน้ากล้องเอาไว้ ในลักษณะเดียวกับที่ถ่ายภาพวัตถุที่ต้องการ การถ่ายภาพแบบนี้เรียกว่าการถ่าย "Dark Frame"

ในกล้องดิจิตอลทั่วไปนั้นก็มีขั้นตอนการประมวลผลภาพในลักษณะนี้ เรียกว่า "Long Exposure Noise Reduction"

2) Flat Field

นอกจากการถ่าย Dark Frame แล้ว จะพบว่าหากถ่ายภาพพื้นผิวที่ขาวที่มีความสว่างเท่ากันทั้งภาพ ภาพที่ได้อาจจะไม่สว่างเท่ากันหมดอย่างแท้จริง ปรากฏการณ์นี้เกิดจากสัมประสิทธิ์ของการรับแสงหรือความไวแสงของซีซีดีในแต่ละ Pixel ที่ไม่เท่ากัน ซึ่งอาจเกิดจากฝุ่นที่จับบนเลนส์หรือ CCD เกิดจาก Defect ในตัวซีซีดีเอง ลักษณะทาง Optics ของตัวกล้อง ฯลฯ ในทางการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอลทั่ว ๆ ไปโดยอาจจะรู้จักผลกระทบนี้ในชื่อของ "Vignetting" ผู้วิจัยสามารถแก้ปัญหานี้ได้ โดยการถ่ายภาพวัตถุที่ผู้วิจัยรู้ว่ามี ความสว่างเท่ากันทั้งภาพเสียก่อน เช่น ฉากสีขาวที่มีไฟสว่างเท่ากัน แล้วนำความสว่างที่ได้มาเป็นแผนที่ใช้ในการปรับสมดุลความสว่างของแต่ละ Pixel ให้เท่ากันทั้งภาพ

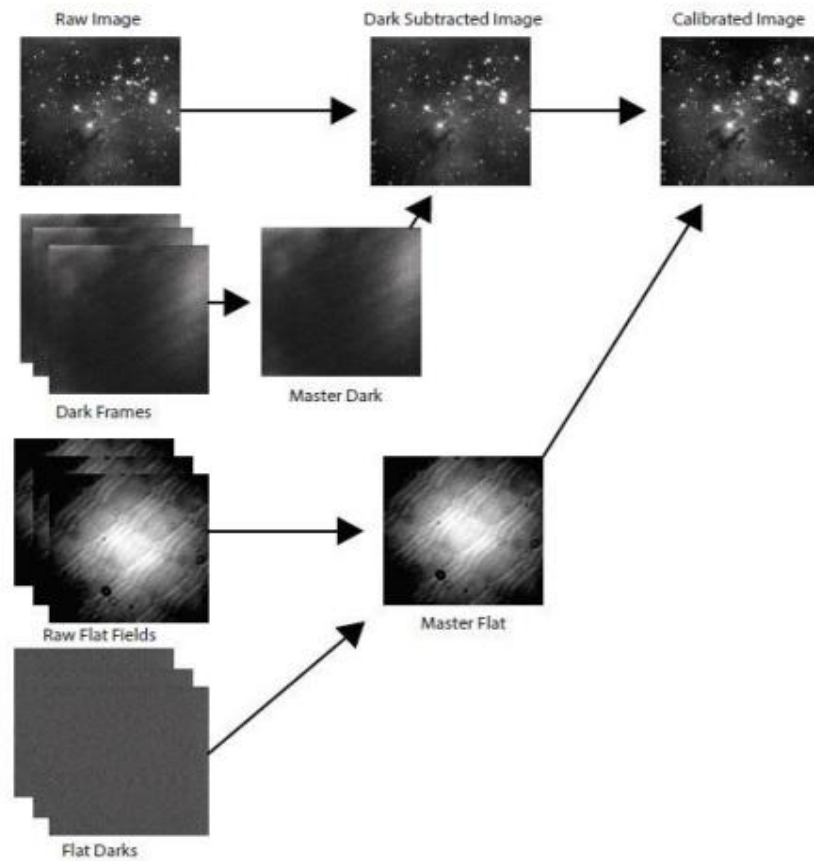
การถ่าย Flat Field มักจะทำในช่วงรุ่งเช้าหลังจากการถ่ายภาพทั้งคืนได้เสร็จสิ้นลง โดยการหันกล้องไปบริเวณที่มีความสว่างสม่ำเสมอ เช่น จากฉากภายในหอดูดาวที่ให้ ความสว่างสม่ำเสมอด้วยหลอดไฟ ไม่จำเป็นต้องใช้เวลาเปิดกล้องให้สัมพันธ์กับเวลาเปิดกล้องในการถ่ายภาพจริง แต่เราต้องการหาเพียงค่าสัมประสิทธิ์ในการรับแสงของแต่ละ Pixel เท่านั้นเอง โดยก่อนจะนำภาพ Flat Field ไปใช้ได้ เราควรจะทำการถ่ายภาพ Flat Field หลาย ๆ ภาพ และหักลบด้วย Flat Dark ซึ่งก็คือกระบวนการถ่ายภาพ Dark Frame สำหรับ Flat Field (ที่ความยาวการเปิดหน้ากล้องและสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ใกล้เคียงกัน) นั่นเอง ภาพรวม Flat Field หักลบด้วย Flat Dark นี้เรียกว่า Master Flat

เนื่องจากภาพ Master Flat คือสัมประสิทธิ์ในการรับแสงของแต่ละ Pixel บนซีซีดี หากเราหาค่าความเข้มแสงที่วัดได้ในแต่ละ Pixel ของ Dark Subtracted Image ด้วย Master Flat แล้วเราก็จะได้ภาพชุดสุดท้ายเป็น Calibrated Image ซึ่งได้แสงที่ลบสิ่งแปลกปลอมที่เกิดจากระบบภายในกล้องทิ้งไปได้มากที่สุด

เราอาจเขียนสมการของแสงที่วัดได้ในแต่ละ Pixel สำหรับ Calibrated Image (CI) ดังนี้

$$CI = \frac{RI - DI}{FI - FD} \quad (2.1)$$

เมื่อ RI = Raw Image, DI = Dark Image, FI = Flat Image, FD = Flat Dark



ภาพที่ 2.2 กระบวนการประมวลผลภาพถ่ายทางดาราศาสตร์: เริ่มจากภาพที่ได้ (Raw Image) ลบด้วย Master Dark (เกิดจากการรวมภาพ Dark Frames หลาย ๆ ภาพ ที่ถ่ายด้วยเวลาเปิดหน้ากล้องเท่ากับ Raw Image) จะได้ Dark Subtracted Image จากนั้นนำ Dark Subtracted Image หารด้วย Master Flat (ได้จากการรวมภาพ Raw Flat Fields หลาย ๆ รูป ลบด้วย Flat Dark) จึงจะได้ภาพสุดท้าย (Calibrated Image)

ที่มา (มติพล ตั่งมิตีธรรม, 2556: หน้า 83)

3) Signal to Noise Ratio (SNR)

ถึงแม้ว่าผู้วิจัยจะลบสัญญาณรบกวนที่อยู่คงที่ (Fixed-pattern noise) ออกไปหมดแล้ว ภาพบริเวณท้องฟ้าที่ว่างเปล่าที่ได้ก็ยังคงตรวจพบสัญญาณรบกวน (noise) สัญญาณรบกวนนี้ในทางดาราศาสตร์มักจะเรียกกันว่า พื้นหลัง (Background)

พื้นหลังในทางดาราศาสตร์มาจากหลายแหล่ง ตั้งแต่แสงที่สะท้อนไปมาจากในตัวอุปกรณ์เอง แสงที่กระเจิงอยู่ในชั้นบรรยากาศ (Airglow) หรืออาจจะเกิดจากดาวเคราะห์น้อย กาแล็กซีขนาดเล็ก ฝุ่นในระบบสุริยะ ฝุ่นในทางช้างเผือก รังสีคอสมิก (Cosmic Ray) รังสีไมโครเวฟพื้นหลัง (Cosmic Microwave Background) ฯลฯ

สาเหตุหนึ่งที่เราไม่สามารถลบสัญญาณรบกวนนี้ได้ ด้วยกระบวนการประมวลผลภาพถ่ายทางดาราศาสตร์เบื้องต้น เป็นเพราะพื้นหลังนี้มีลักษณะที่เกิดขึ้นโดยสุ่ม และไม่เกิดขึ้นซ้ำที่เดิมเสมอ แต่ด้วยเหตุสำคัญที่สัญญาณนี้เกิดขึ้นโดยสุ่มนี้เอง ทำให้เราสามารถลดผลกระทบของสัญญาณรบกวน แบบสุ่มได้ โดยการเพิ่มเวลาในการรับภาพ

สมมติว่าผู้สังเกตกำลังสังเกตดาวดวงหนึ่ง สัญญาณที่ได้บริเวณที่มีดาวจะมาจากตัวดาวหรือข้อมูล จริง ๆ (Signal) และมาจากพื้นหลัง (Noise) เนื่องจาก Noise มีลักษณะที่เกิดขึ้นโดยสุ่มเราจะได้ Noise ทั้งในบริเวณที่มีและไม่มีดาวอยู่ในปริมาณที่เท่ากัน แต่หากว่า signal ที่เราได้รับ มีอัตราส่วน ที่น้อยกว่า เมื่อเทียบกับ noise เราเรียกอัตราส่วนนี้ว่า Signal to Noise Ratio (SNR หรือ S/N) เมื่อ S/N มีค่าน้อย ก็เป็นการยากที่จะแยกสัญญาณออกจากสัญญาณรบกวน

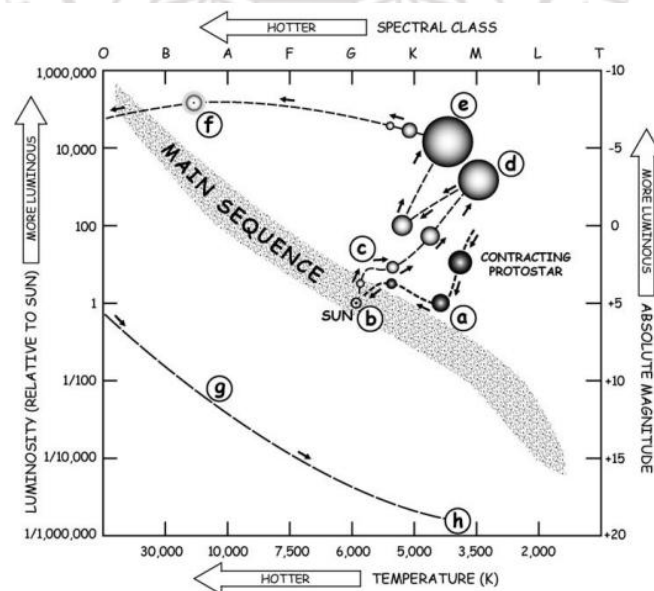
หากผู้สังเกตเปิดหน้ากล้องนานขึ้น ทุกส่วนของภาพก็จะได้ Noise เพิ่มขึ้นไปเท่า ๆ กันแต่ว่าบริเวณที่มีดาวอยู่จะได้ Signal มากกว่าส่วนอื่น ๆ ที่ไม่มีแหล่งกำเนิดแสง ถึงแม้ว่า Noise จะเพิ่มขึ้น แต่ว่า Signal ก็เพิ่มขึ้นในปริมาณที่มากกว่า เท่ากับว่าเราจะได้ S/N ของวัตถุนั้นที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้สามารถสังเกตวัตถุได้ง่ายขึ้น

ในทางทฤษฎีแล้ว ผู้สังเกตย่อมที่อยากจะให้ S/N มีค่ามากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถเปิดหน้ากล้องสำรวจวัตถุหนึ่งโดยใช้ระยะเวลาเป็นอนันต์ได้ ผู้สังเกตจึงจำเป็นต้องพยายามหา Exposure time ที่จะได้ค่า S/N ที่เหมาะสมกับการสำรวจของผู้สังเกตมากที่สุดอยู่เสมอสำหรับวัตถุที่อยู่นิ่งและไม่เปลี่ยนแปลง เราอาจจะลองถ่ายภาพเบื้องต้นดูสักรูป และหาก S/N ที่ได้มีน้อยเกินไป เป็นที่น่าพอใจ เรายังสามารถถ่ายภาพเพิ่มเติมและนำมา stack กันเพื่อเพิ่ม S/N ได้ภายหลัง

2.2 วิวัฒนาการชีวิตของดาวฤกษ์

ดาวฤกษ์ที่เราพบเห็นบนท้องฟ้าไม่ได้ส่องแสงไปชั่วนิรันดร์ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง เพราะทุกสรรพสิ่งเป็นไปตามกฎไตรลักษณ์ คือ เกิดขึ้น ตั้งอยู่ และดับไป ตามหลักคำสอนในพระพุทธศาสนา ในการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่สามารถที่จะศึกษาสังเกตได้โดยตรง เพราะปรากฏการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นมากกว่าพันล้านปีมาแล้ว จึงไม่สามารถที่จะศึกษาได้ในช่วงอายุของใครคนหนึ่งได้ ดังนั้นนักดาราศาสตร์จึงได้สร้างทฤษฎีวิวัฒนาการของดาวขึ้นซึ่งตรงกับกฎ และทฤษฎีทางฟิสิกส์ เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงอายุของดาวฤกษ์ วิวัฒนาการของดาวฤกษ์ (Stellar Evolution) วิวัฒนาการของดาวฤกษ์ และทำการตรวจสอบทฤษฎีที่สร้างขึ้นมาว่าถูกต้องหรือไม่ โดยการสังเกตปรากฏการณ์ของดาวฤกษ์จริง ๆ ที่ส่องสว่างอยู่บนท้องฟ้าเพื่อพิสูจน์ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาวนั้น

ในการตรวจสอบทฤษฎีโดยการสังเกตนั้นนักดาราศาสตร์จึงได้สร้างแผนภาพแฮร์ตสปรุง-รัสเซลล์ (H-R diagram) ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาวได้ทำนายถึงแนวทางการเปลี่ยนแปลง ของอัตราการส่องสว่าง (Luminosity) และอุณหภูมิของดาวเริ่มต้นตั้งแต่เกิดจนถึงดับสูญ การเปลี่ยนแปลงนี้ได้นำมาลงรายละเอียดในแผนภาพแฮร์ตสปรุง-รัสเซลล์ ในรูปของทฤษฎีวิวัฒนาการของดาว และแผนภาพแฮร์ตสปรุง-รัสเซลล์ ในรูปของทฤษฎีวิวัฒนาการแล้วนำมาเปรียบเทียบกับแผนภาพแฮร์ตสปรุง-รัสเซลล์ ในรูปข้อมูลที่ได้จากการสังเกตดาวฤกษ์จริง (โชติ เนื่องนันท์, 2558 : หน้า 126)



ภาพที่ 2.3 วิวัฒนาการของดาวฤกษ์ที่มีลักษณะเหมือนดวงอาทิตย์
ที่มา (โชติ เนื่องนันท์, 2558: หน้า 126)

จากภาพที่ 2.3 สามารถอธิบายวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ที่มีมวลในลักษณะเดียวกันกับมวลของดวงอาทิตย์ได้ดังนี้ (Karttunen et al. 2007: pp. 252-253)

ระยะที่ (a) เป็นระยะของดาวก่อนเกิด (Protostar) กลุ่มก๊าซและฝุ่นในอวกาศออกแรงโน้มถ่วงมหาศาลที่พยายามยุบตัวดาวทั้งดวงเข้าด้วยกัน

ระยะที่ (b) ดาวในแถบกระบวนหลักส่องสว่างโดยปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันเปลี่ยนจากไฮโดรเจนสู่อีเลียม

ระยะที่ (c) พัฒนาสู่ดาวยักษ์แดง (Red giant) เมื่อแกนของดาวปรากฏมีฮีเลียมเกิดขึ้น

ระยะที่ (d) กลายสถานะเป็นดาวยักษ์แดง (Red giant) ซึ่งส่องสว่างโดยการเผาไหม้ฮีเลียม

ระยะที่ (e) มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของดาวที่แกนของดาวปรากฏคาร์บอนเกิดขึ้น

ระยะที่ (f) กลายเป็นเนบิวลาดาวเคราะห์ (Planetary nebular) ก๊าซไฮโดรเจนที่หุ้มห่อดาวไว้ถูกขับออกสู่อวกาศ

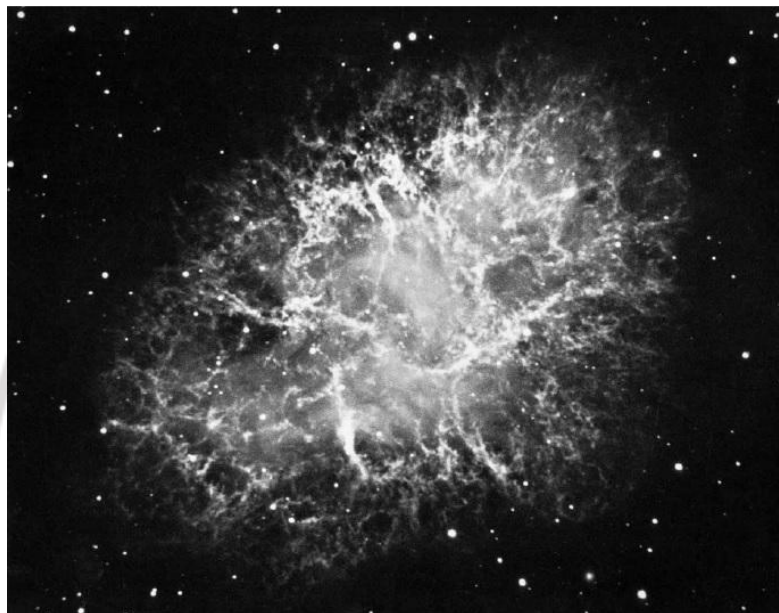
ระยะที่ (g) กลายสู่ดาวแคระขาว (White dwarf) กลุ่มมวลต่าง ๆ ของดาวจะเหลืออยู่ขนาดเพียงประมาณโลก

ระยะที่ (h) ระยะสุดท้ายจะหายไปสู่อวกาศในลักษณะดาวแคระดำ (Black dwarf)

สำหรับดาวที่มีมวลมากประมาณ 4 เท่าของมวลดวงอาทิตย์ ($4M_{\odot}$) การออสานของดาวประเภทนี้จะเต็มไปด้วยสิ่งที่น่าตื่นเต็น จะเกิดการระเบิดอย่างใหญ่โตมหาศาลที่เรียกว่าซูเปอร์โนวา แกนของดาวที่ประกอบด้วยคาร์บอนจะยุบตัวเพราะว่าแรงโน้มถ่วงภายในดาวอุณหภูมิในบริเวณแกนของดาวจะเพิ่มมากขึ้นจนถึง 600 ล้านเคลวิน ที่จุดนี้แกนของคาร์บอนจะเริ่มเผาไหม้ การยุบตัวลงนี้จะหยุดเมื่อธาตุคาร์บอนบริเวณแกนของดาวเปลี่ยนสู่แมกนีเซียมในปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน

เมื่อคาร์บอนถูกใช้จะทำให้เกิดวัฏจักรใหม่ของดาวเริ่มต้นขึ้น แรงโน้มถ่วงภายในเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้เกิดกระบวนการเริ่มต้นปฏิกิริยานิวเคลียร์ใหม่ จึงทำให้เกิดธาตุใหม่ ๆ และหยุดการยุบตัวภายในดวงดาว ธาตุที่หนักกว่าคาร์บอน เช่น ออกซิเจน และซิลิกอนจะเริ่มปรากฏขึ้นภายในดาวจนกระทั่งแกนส่วนใหญ่ของดาวจะเป็นเหล็ก แกนกลางของดาวเหล่านี้มีลักษณะเป็นชั้น ๆ ประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ ลดหลั่นกันไปในลักษณะหัวหอม วาระสุดท้ายของดาวประเภทนี้จะเกิดการยุบตัวของแกนกลางเมื่อเชื้อเพลิงฟิวชันเริ่มหมดไป และแกนกลางของดาวไม่สามารถคงเสถียรภาพของแรงโน้มถ่วงของดาวได้อีกจึงเกิดเป็นซูเปอร์โนวา (Shu, 1982 : p. 153) ดังภาพที่ 2.4 แสดงการเกิดการระเบิดครั้งใหญ่ซูเปอร์โนวาที่เนบิวลาปู (Crab nebula) ประเภทที่เกิดจากการยุบตัวของแกนกลาง ส่วนที่เหลืออยู่ของซูเปอร์โนวาจะเป็นก้อนที่

ประกอบด้วยนิวตรอนเป็นส่วนมากซึ่งอาจจะกลายเป็นดาวนิวตรอน (Neutron star) หรืออาจจะยุบตัวต่อไปกลายเป็น หลุมดำ (Black hole) (โชติ เนื่องนันท์, 2558 : หน้า 131-132)



ภาพที่ 2.4 แสดงการเกิดการระเบิดครั้งใหญ่ Supernova ที่เนบิวลาปู
ที่มา (Moche, 2009: p.139), (Karttunen et al., 2007: p.331)

2.2.1 แผนภาพเฮิร์ตซปรุง - รัสเซลล์

แผนภาพเฮิร์ตซปรุง-รัสเซลล์ ของกระจุกดาว (H-R Diagram of a cluster) เป็นแผนภาพที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ (Absolute magnitude) กับชนิดของสเปกตรัมของดาวฤกษ์แต่ละดวงซึ่งสามารถนำแผนภาพดังกล่าวมาใช้ศึกษาเส้นทางการวิวัฒนาการดาวฤกษ์ที่มีมวลต่างกันได้เป็นอย่างดี (มดิพล ตั้งมดิธรรม, 2556: หน้า 67-69) นักดาราศาสตร์ชาวเดนมาร์กชื่อ Ejnar Hertzsprung และนักดาราศาสตร์ชาวอเมริกาชื่อ Henry N. Russell ได้ค้นพบ Hertzsprung Russell Diagram (H-R Diagram) ในเวลาไล่เลี่ยกัน H-R Diagram คือกราฟระหว่างอุณหภูมิและความส่องสว่าง (Luminosity) ของดาวฤกษ์ Hertzsprung และ Russell (H&R) พบว่าเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิและความส่องสว่างของดาวจำนวนมากดาวประมาณ 90 % จะวางตัวเป็นแนวทแยงบน diagram ซึ่งต่อมาเรียกแนวนี้ว่าแถบกระบวนหลัก (Main sequence) โดยดาวฤกษ์ที่มีชนิดของสเปกตรัม

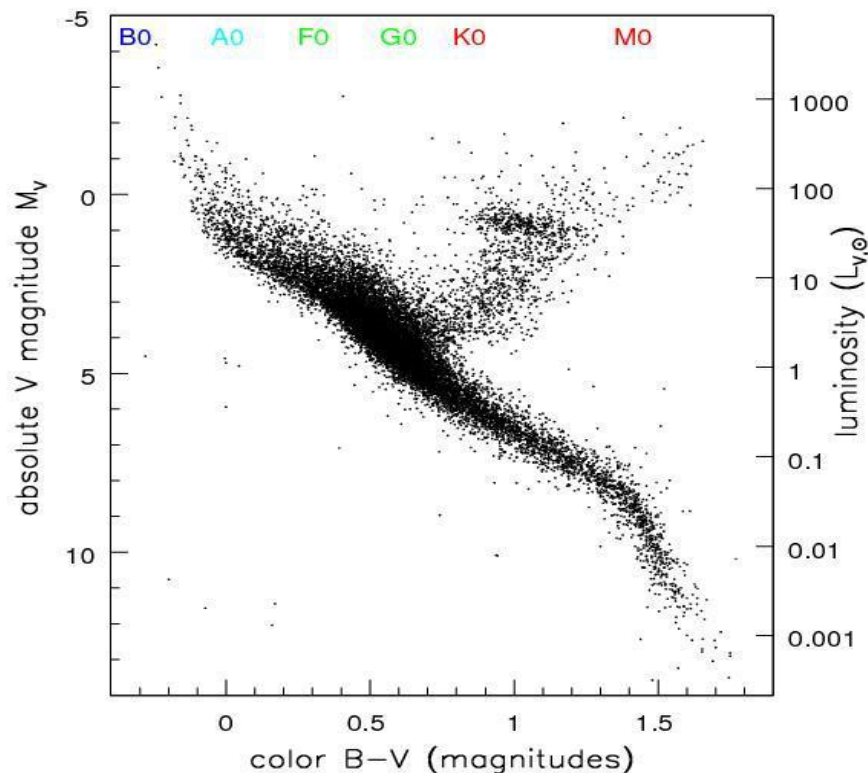
ในช่วงต้นจะมีค่าโชติมาตรสัมบูรณ์น้อยนั่นคือดาวสว่างมากและดาวฤกษ์ที่มีชนิดของสเปกตรัมในช่วงท้ายจะมีค่า โชติมาตรสัมบูรณ์มากนั่นคือ ดาวสว่างน้อย

ลักษณะดาวที่สำคัญในแผนภาพเฮิร์ตซปรุง-รัสเซลล์ นอกจากดาวฤกษ์ส่วนใหญ่จะอยู่ในแถบกระบวนการหลักแล้วยังพบดาวจำนวนไม่น้อยที่มีตำแหน่งอยู่เหนือแถบกระบวนการหลักทางด้านบนขวาดังรูปซึ่งดาวเหล่านี้มีอุณหภูมิต่ำแต่มีความสว่างมากเรียกว่าดาวยักษ์ (Giant star) หรือว่า ดาวยักษ์แดง (Red giant) อีกตำแหน่งคือเหนือแถบกระบวนการหลักขึ้นไปด้านบนสุดซึ่งมีความสว่างมากกว่าดาวยักษ์แดงเรียกว่าดาวยักษ์ใหญ่ (Supergiant stars) นอกจากนี้ยังมีดาวบางกลุ่มอยู่ในตำแหน่งมุมซ้ายล่างมีอุณหภูมิสูงแต่มีความสว่างน้อยเรียกว่าดาวแคระขาว (White dwarfs)

อย่างไรก็ตามตำแหน่งต่าง ๆ บนแผนภาพเฮิร์ตซปรุง-รัสเซลล์ ไม่ได้บอกถึงตำแหน่งของดาวบนท้องฟ้าแต่จะแสดงถึงชนิดของดาวที่แบ่งตามอุณหภูมิและความสว่างซึ่งเป็นคุณสมบัติของดาวแต่ละดวงด้านล่างของแถบกระบวนการหลักจะมีกลุ่มดาวขนาดเล็กสีแดงซึ่งกลุ่มดาวแคระแดง (Red dwarf) ที่ปลายด้านซ้ายของเส้นแถบกระบวนการหลักจะพบว่ามีดาวกลุ่มที่มีขนาดใหญ่ร้อนมากและสว่างสดใสต่อมาจึงได้แยกออกเป็นอีกกลุ่มเรียกว่ากลุ่มดาวยักษ์น้ำเงิน (Blue giant) (โชติ เนิ่งนนท์, 2558: หน้า 104)

ปัจจุบันนักดาราศาสตร์พบว่าดาวฤกษ์บนท้องฟ้า 90% เป็นดาวบนแถบกระบวนการหลัก ร้อยละ 9 เป็นดาวแคระขาวและ ร้อยละ 1 เป็นดาวยักษ์แดง (Red giant) HR diagram ยังแสดงให้เห็นว่ามวลของดาวฤกษ์มีความสำคัญต่อการวิวัฒนาการของดาวดวงนั้น Hertzsprung และ Russell พบว่าหากดาวดวงนั้นถือกำเนิดมามีมวลมากตำแหน่งของดาวดวงนั้นจะอยู่ด้านบนซ้าย ดังนั้นดาวเหล่านี้ก็จะอายุไม่ยืนเพราะต้องใช้พลังงานมาก

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



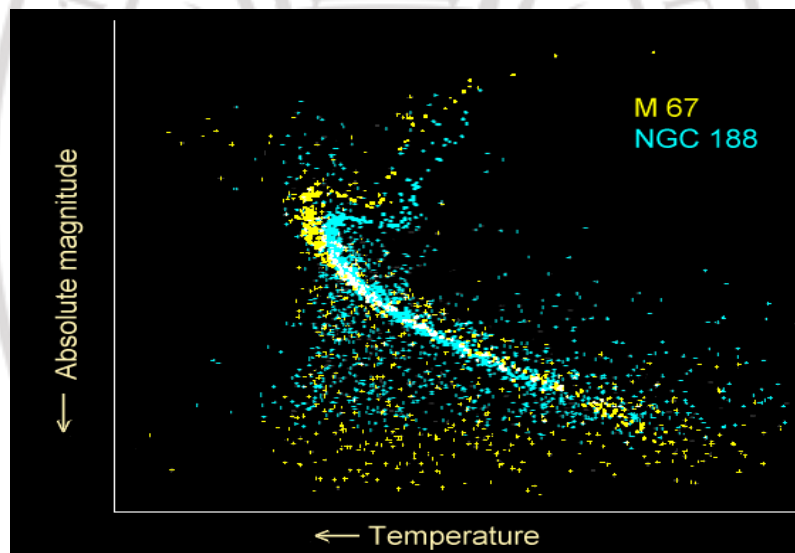
ภาพที่ 2.5 แผนภาพเฮิร์ตซปรุง-รัสเซลล์ มาตรฐาน
ที่มา (astro.wisc.edu, ม.ป.ป)

2.2.2 แผนภาพเฮิร์ตซปรุง-รัสเซลล์ของกระจุกดาว

แผนภาพเฮิร์ตซปรุง-รัสเซลล์ แฮร์ทซปรุง - รัสเซลล์ มีประโยชน์อย่างมากในการศึกษากระจุกดาวทั้งนี้เพราะดาวทุกดวงในกระจุกดาวนั้นมีระยะห่างถึงผู้สังเกตที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นเราจึงสามารถแทนแกน y ของแผนภาพเฮิร์ตซปรุง-รัสเซลล์ด้วย โขติมาตรปรากฏได้ เนื่องจากโขติมาตรปรากฏต่างจากโขติมาตรสัมบูรณ์เท่ากับมอดูลัสระยะทาง กล่าวคือแผนภาพเฮิร์ตซปรุง-รัสเซลล์ ของกระจุกดาว (H-R Diagram of a Cluster) โดยใช้แกน y เป็นโขติมาตรปรากฏต่างกับการใช้โขติมาตรสัมบูรณ์ โดยการเลื่อนกราฟขึ้นลงด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่งเท่านั้น เราจึงสามารถหาแผนภาพเฮิร์ตซปรุง-รัสเซลล์ ของกระจุกดาวได้ โดยไม่จำเป็นต้องรู้ระยะทางถึงกระจุกดาว คุณสมบัติสำคัญอีกอย่างหนึ่งของกระจุกดาวคือ ดาวทุกดวงในกระจุกดาวเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน นั่นหมายความว่าเราสามารถสังเกตดาวทั้งหมดในกระจุกดาว ณ ช่วงอายุที่เป็นเวลาเท่ากับอายุของกระจุกดาว กล่าวคือหากทราบ อายุของดาวสักดวงหนึ่งในกระจุกดาว เราก็จะทราบอายุของดาวทุกดวงและอายุของกระจุกดาวนั้น (มตีพล ตั้งมติธรรม, 2556: หน้า 74)

2.2.3 จุดเบนออกจากแถบกระบวนหลัก

เมื่อดาวในลำดับหลักหมดอายุขัยลงจะเปลี่ยนเป็นดาวยักษ์ที่มีขนาดเพิ่มขึ้นและมีค่าของอุณหภูมิลดลง (จึงมีความสว่างสมบูรณ์เกือบจะเท่าเดิม) ผลก็คือดาวในลำดับหลักจะเลื่อนออกจากแถบลำดับหลักในแผนภาพเฮิร์ตซปรุง - รัสเซลล์ และเลื่อนไปทางขวาเนื่องจากดาวมีมวลมากจะมีอายุขัยที่สั้นกว่าและดาวดวงแรก ๆ ของกระจุกดาวที่จะหมดอายุขัยลงดาวทางด้านซ้ายของแถบลำดับหลัก จะเป็นดาวดวงแรกที่เลื่อนออกจากแถบลำดับหลักในเวลาผ่านไปอีกไม่นาน ดาวที่มีมวลลำดับถัดไปจะเลื่อนออกจากแถบลำดับหลักไล่ไปเรื่อย ๆ ตามมุมจากบนซ้ายไปยังล่างขวาและเราเรียกว่าตำแหน่งซ้ายสุดว่าจุดเบนออกแถบลำดับหลัก (Main Sequence Turnoff Point)



ภาพที่ 2.6 แผนภาพเฮิร์ตซปรุง-รัสเซลล์ ของกระจุกดาวสองกระจุกที่อายุไม่เท่ากัน แสดงตำแหน่งของ (Main Sequence Turnoff point) ที่ต่างกัน
ที่มา (อัญชลี ยะกฤษณะ, 2558: หน้า 40)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพที่ 2.6 แสดงกระจุกดาวสองกระจุกดาว เทียบดาวในลำดับหลักที่มีมวลมากที่สุดจากกระจุกดาวทั้งสองเราจะพบว่า M 67 มีดาวในลำดับหลักที่มีมวลมากกว่าในขณะที่ดาวที่มีมวลลำดับหลักนั้นใน NGC188 ได้หายไปหมดแล้วหมายความว่าอายุของ NGC188 มีอายุที่มากกว่า M 67 เนื่องจากดาวลำดับหลักที่มีมวลมากใน NGC188 ได้หมดอายุขัยลงไปแล้วและเนื่องจาก NGC188 มีอายุที่มากกว่าจึงมีดาวมวลมากเหลือในลำดับหลักน้อย

สามารถหาอายุของกระจุกดาวได้จากจุดเบนออกจากแถบลำดับหลักทราบว่าดาวในลำดับหลักทางซ้ายของแถบลำดับหลักนั้นหมดอายุขัยไปแล้ว (เนื่องจากไม่มีเหลือแล้ว) ดังนั้นอายุของกระจุกดาวย่อมที่จะมีมากกว่าอายุขัยของดาวลำดับหลักทางด้านซ้ายของจุดเบนออกจากแถบลำดับหลักในขณะเดียวกันดาวลำดับหลักทางด้านขวาของ จุดเบนออกจากแถบลำดับหลักยังไม่หมดอายุขัยดังนั้นจึงสามารถหาอายุของกระจุกดาวได้จากการหาอายุขัยของดาวในลำดับหลักที่มวลเท่ากับดาวหลักบนแถบลำดับหลัก (อัญชลี ยะกฤษณะ, 2558: หน้า38-40)

2.3 ตำแหน่งของดาวบนท้องฟ้า

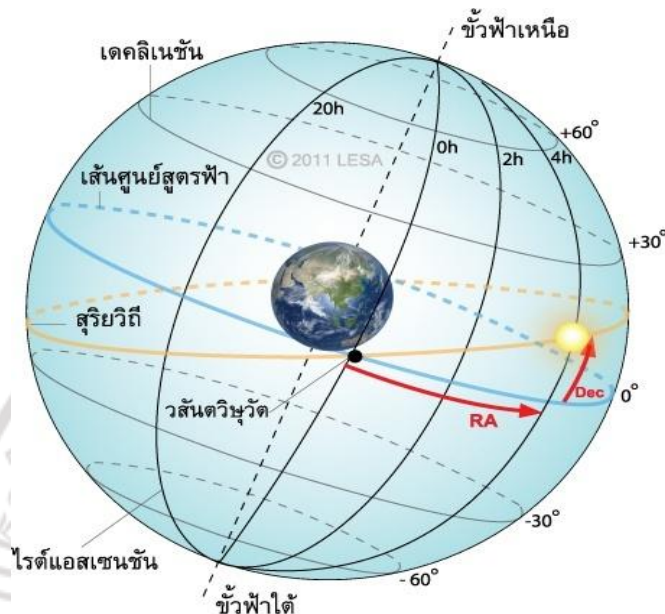
การบอกตำแหน่งของดาวบนท้องฟ้า สามารถบอกได้หลายระบบแล้วแต่ความเหมาะสม ระบบพิกัดศูนย์สูตรเป็นระบบหนึ่งที่ใช้กันมากการบอกตำแหน่งของดาวด้วยระบบพิกัดศูนย์สูตรบอกได้ด้วยพิกัดสองชนิด คือ เดคลิเนชันและไรต์แอสเซนชัน (โชติ เนื่องนันท์, 2558: หน้า 15-18)

2.3.1 เดคลิเนชัน

เดคลิเนชัน (Declination) เป็นระยะทางเชิงมุมจากเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าไปทิศทางเหนือหรือไปทิศทางใต้ถึงตำแหน่งของดาวตามเส้นวงกลมชั่วโมง ที่เส้นศูนย์สูตรท้องฟ้ามีค่าเดคลิเนชันตั้งแต่ 0 องศา จนถึง ± 90 องศา ใช้หน่วยองศาลิปดาฟิลิปดา สัญลักษณ์ของเดคลิเนชัน คือ δ

2.3.2 ไรต์แอสเซนชัน

ไรต์แอสเซนชัน (Right Ascension) เป็นเส้นสมมติตามแนวเหนือ-ใต้ บนทรงกลมฟ้า เปรียบเทียบคล้ายกับเส้นแวง (Longitude) ที่อยู่บนทรงกลมของโลก เส้นไรต์แอสเซนชันแบ่งโดยใช้อัตราการหมุนรอบตัวเองของโลก 1 รอบ จึงมีหน่วยเป็นชั่วโมง โดยมีเส้นชั่วโมง 24 เส้น แต่ละเส้นห่างกันเป็นมุม 15 องศา ($24 \text{ เส้น} \times 15 \text{ องศา} = 360 \text{ องศา}$) โดยเส้นแรกเริ่มต้นที่จุดวสันตวิษุวัตในกลุ่มดาวปลา เส้นชั่วโมงถัดไปอยู่ห่างไปทางทิศตะวันออก 15 องศา ไรต์แอสเซนชันมีค่าระหว่าง 0-24 ชั่วโมงแต่ละชั่วโมงมี 60 นาทีแต่ละนาทีมี 60 วินาที สัญลักษณ์ของไรต์แอสเซนชันคือ α ดังแสดงใน ภาพที่ 2.7

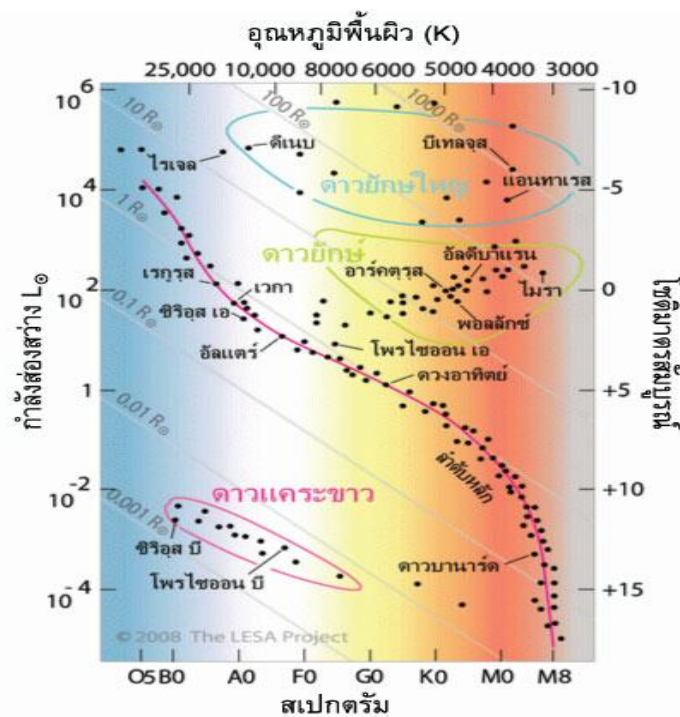


ภาพที่ 2.7 การบอกตำแหน่งของดาวบนท้องฟ้าด้วยระบบพิกัดศูนย์สูตรที่มา (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, ม.ป.ป)

2.4 วิวัฒนาการของดาวฤกษ์

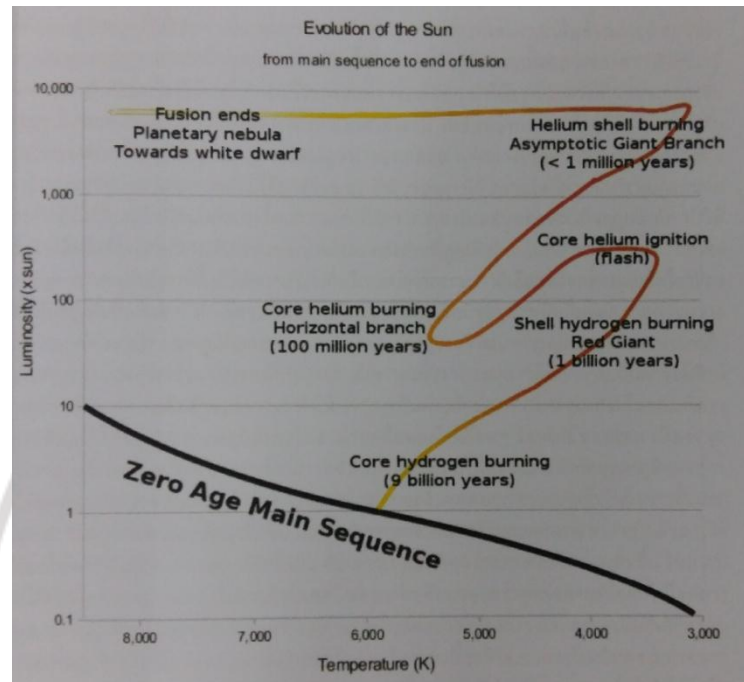
ไพบูลย์ ทองเชื้อ (2549: หน้า 11-15) กล่าวว่า เมื่อปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์เริ่มต้นทำงานเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานความดันภายในดาวจะเพิ่มขึ้นสูงจนเกิดความสมดุลอุทกสถิต (Hydrostatic) ดาวก็จะไม่หดหรือยืดตัวออกไปคืออยู่ในสภาวะเสถียร เราถือว่าดาวในขณะนี้ เป็นดาวที่สมบรูณ์แล้วโดยใช้พลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์เป็นหลัก ส่วนดาวที่ยังไม่มีปฏิกิริยานิวเคลียร์เกิดขึ้นเราเรียกว่าเป็นดาวก่อนเกิด และเราจะเริ่มนับอายุของดาวเป็นศูนย์เมื่อดาวมีไฟฟ้านิวเคลียร์เริ่มติดเป็นครั้งแรกซึ่งดาวดังกล่าวจะอยู่บนขบวนหลักในแผนภาพแฮร์ตสปรุง-รัสเซลล์ เรียกว่า “ขบวนหลักเมื่ออายุเป็นศูนย์” ซึ่งในขณะนี้ไฮโดรเจนกำลังหลอมตัวกลายเป็นฮีเลียม เมื่อองค์ประกอบทางเคมีและมวลเฉลี่ยของอนุภาคภายในดาวเปลี่ยนไป ทำให้โครงสร้างของดาวเปลี่ยนไปด้วย การเปลี่ยนแปลงนี้จะเป็นไปอย่างช้า ๆ และดาวก็จะค่อย ๆ เลื่อนไปจากแถบกระบวนหลัก

การเปลี่ยนแปลงหรือวิวัฒนาการของดาวฤกษ์จะขึ้นกับสมบัติ 2 ประการ คือ องค์ประกอบทางเคมีเริ่มแรกและมวล



ภาพที่ 2.8 ประเภทของดาวฤกษ์ในแผนภาพเฮิร์ตซปรุง-รัสเซลล์
ที่หมา (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, ม.ป.ป)

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีเริ่มแรกนั้นถ้าดาวดวงไหนไม่มี ${}^{12}\text{C}$ ที่จะใช้เป็นตัวช่วยใน
วัฏจักรซีเอ็นโอ วัฏจักรนี้ก็จะเป็นไปไม่ได้ที่จะเกิดขึ้นไม่ว่าอุณหภูมิจะสูงเพียงใดสารประกอบทางเคมี
เริ่มแรกเราสามารถพิจารณาได้จากการวิเคราะห์เส้นสเปกตรัมของการแผ่รังสีซึ่งปล่อยออกมาจาก
ชั้นบรรยากาศชั้นโฟโตสเฟียร์ของดาวฤกษ์ (ถ้าหากถือว่าสารเคมีในชั้นบรรยากาศชั้นโฟโตสเฟียร์
ไม่มีการเจือปนจากสารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้นจากใจกลางของดาวเลยดังนั้นบรรยากาศในชั้นนี้ก็จะ
ประกอบด้วยสารเคมีเริ่มแรกจริง ๆ) จึงทำให้ได้ว่า ดาวฤกษ์จะประกอบด้วยไฮโดรเจนประมาณ
70 เปอร์เซ็นต์และฮีเลียม 28 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักสำหรับธาตุที่หนักกว่าจะมีจำนวนน้อยมาก
ในบรรยากาศของดาวฤกษ์ เช่น ดวงอาทิตย์ จะประกอบด้วยธาตุหนักประมาณร้อยละ 2 ถึง 3 แต่
ดาวฤกษ์ที่อยู่ในกระจุกดาวทรงกลมจะมีธาตุหนักประมาณ 0.1 ถึง 0.01 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น



ภาพที่ 2.9 วิวัฒนาการของดาวลำดับหลักที่มีมวลใกล้เคียงกับดวงอาทิตย์
ที่มา (มติพล ตั่งมติธรรม, 2556: หน้า 72)

ดาวฤกษ์ที่มีธาตุหนักเป็นปริมาณมาก (ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) จะจัดเป็นดาว
ประชากรประเภทที่ I ส่วนดาวฤกษ์ที่มีธาตุหนักเป็นปริมาณน้อย (0.1 ถึง 0.01 เปอร์เซ็นต์โดย
น้ำหนัก) จะจัดเป็นดาวประชากรประเภทที่ II นอกจากนี้ นักดาราศาสตร์ยังได้จัดดาวฤกษ์ซึ่งไม่มี
ธาตุหนักเลยคือ ดาวประกอบด้วยไฮโดรเจนและฮีเลียมเท่านั้นเป็นดาวประชากรประเภทที่ III แต่
นักดาราศาสตร์ยังไม่เคยค้นพบดาวประเภทนี้

2.4.1 สเปกตรัมของดาวฤกษ์

ไพบูลย์ ทองเชื้อ (2549: หน้า 8-9) กล่าวว่าในปลายศตวรรษที่ 19 ได้มีการถ่าย
สเปกตรัมของดาวหลายพันดวงพบว่าดาวต่างชนิดกันจะมีสเปกตรัมที่ต่างกันไป ดังนั้นจึงมีการแบ่ง
ชั้นสเปกตรัมของดาวขึ้น โดนนักดาราศาสตร์ชาวอเมริกันชื่อ แอนนี เจ แคนนอน (Anni J
Cannon) ซึ่งในครั้งนั้นได้ จัดเป็นแคตตาลอกดาวขึ้นมาเรียกว่า Henry Draper Catalog ซึ่งดาว
ในแคตตาลอกนี้จะใช้ชื่อย่อว่า HD เช่น HD3176 ต่อมาพบว่าสเปกตรัมของดาวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ
ขึ้นกับอุณหภูมิยังผลของดาวด้วย ดังนั้นในการพิจารณาสเปกตรัมของดาวจึงพิจารณาเส้นมืดที่มี
ความเข้มมาก ๆ เป็นหลัก เช่น เส้นมืดของไฮโดรเจน ณ อุณหภูมิที่เหมาะสมของดาวอุณหภูมิหนึ่ง

ชนิด O เป็นดาวฤกษ์สีน้ำเงินที่มีกำลังส่องสว่างและอุณหภูมิสูงมากประมาณ 30,000 ถึง 60,000 องศาเคลวิน แผ่รังสีในช่วงอัลตราไวโอเล็ตจะดูดกลืนความยาวคลื่นของก๊าซฮีเลียมได้ดีแต่มีเส้นไฮโดรเจนที่อ่อนมากเพราะมีแกนกลางร้อนมากจึงเผาไหม้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนผ่านได้รวดเร็วและเป็นดาวแรกๆที่ออกจากกระบวนหลักจำนวน 1 ใน 3,000,000 ของดาวในลำดับหลัก

ชนิด B เป็นดาวฤกษ์สีฟ้าที่มีก๊าซไฮโดรเจนห่อหุ้มรอบๆ อุณหภูมิประมาณ 10,000 ถึง 30,000 องศาเคลวิน ดูดกลืนไฮโดรเจนระดับปานกลาง เส้นโลหะบริสุทธิ์ Mg II และ Si II อายุสั้นมากจำนวน 1 ใน 800 ของดาวในลำดับหลัก

ชนิด A เป็นดาวฤกษ์สีขาวปนฟ้า อุณหภูมิประมาณ 7,500 ถึง 10,000 องศาเคลวิน มีเส้นไฮโดรเจนเข้มที่สุดและเส้นโลหะ Fe II Mg II Si II จำนวน 1 ใน 160 ของดาวในลำดับหลัก

ชนิด F เป็นดาวฤกษ์สีขาว อุณหภูมิประมาณ 6,000 ถึง 7,500 องศาเคลวิน เส้นไฮโดรเจนเริ่มอ่อนลง เริ่มเห็นเส้นของ Fe I Cr I K และ Ca II เข้มมากขึ้นจำนวน 1 ใน 33 ของดาวในลำดับหลัก

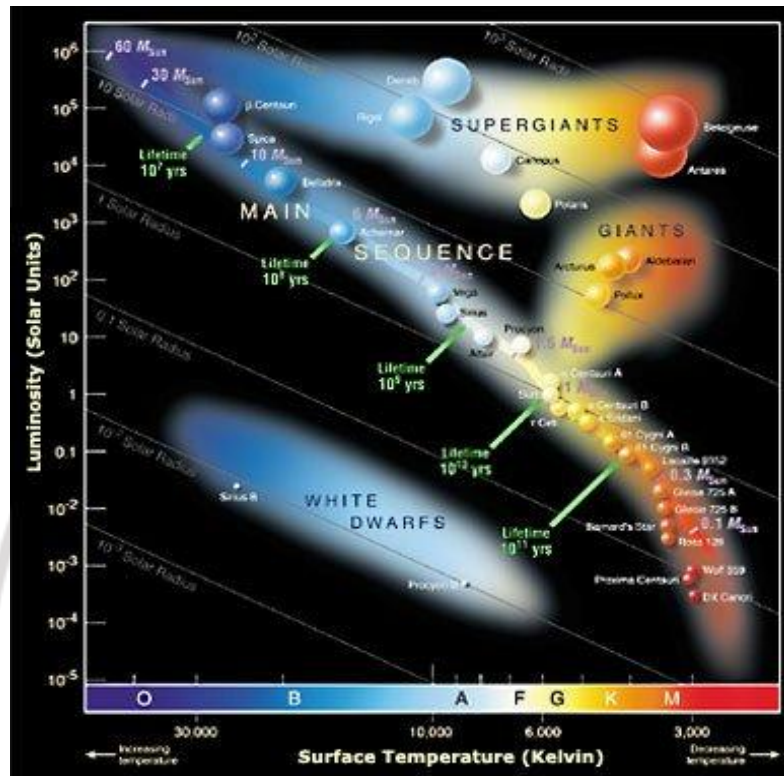
ชนิด G เป็นดาวฤกษ์สีเหลืองอุณหภูมิประมาณ 5,000 ถึง 6,000 องศาเคลวิน มีเส้นสเปกตรัมไฮโดรเจนอ่อนกว่า F เริ่มมีโมเลกุล CH และเส้นโลหะไอออนไนซ์มากขึ้น

ชนิด K เป็นดาวฤกษ์สีส้ม อุณหภูมิประมาณ 3,500 ถึง 5,000 องศาเคลวิน ส่วนใหญ่มีเส้นโลหะ Mn I Fe I Si I K และเริ่มมีโมเลกุลของไทเทเนียมออกไซด์ จำนวน 1 ใน 8 ของดาวในแถบลำดับหลัก

ชนิด M เป็นดาวฤกษ์สีแดง อุณหภูมิน้อยกว่า 3,500 องศาเคลวิน เส้นโลหะและโมเลกุลของไทเทเนียมออกไซด์เข้มข้น เริ่มมีโมเลกุลวาเนเดียมออกไซด์ จำนวน 1 ใน 3 ของดาวในแถบลำดับหลัก

2.4.2 อายุขัยของดาวในลำดับหลัก

ดาวในลำดับหลักต้องการไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงและมีการเผาผลาญไฮโดรเจนอยู่ตลอดเวลาตั้งนั้น เมื่อเวลาผ่านไปไม่ช้าก็เร็วดาวในลำดับหลักทุกดวงก็ไม่สามารถคงปฏิกิริยาฟิวชันในแกนกลางของดาวได้อีกต่อไปจึงหมดอายุขัยและค่อยๆ เลื่อนออกจากแถบลำดับหลักบนแผนภาพแฮร์ตซปรุง-รัสเซลล์ ไปเป็นดาวประเภทอื่น (มตีพล ตั้งมตีธรรม, 2556: หน้า 68) ดาวในลำดับหลักที่มีมวลมากย่อมจะมีปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่มากกว่า ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 แผนภาพเฮิร์ตซปรุง-รัสเซลล์
ที่หมา (มตีพล ตั้งมตีธรรม, 2556: หน้า 68)

2.5 กระจุกดาว

กระจุกดาว (Star clusters) เป็นระบบของดาวจำนวนมากที่อยู่ใกล้กัน กระจุกดาวบางกลุ่มจะมีดาวกระจาดกระจายอย่างหลวม ๆ แต่บางกลุ่มก็มีดาวจำนวนมากอยู่รวมกันอย่างหนาแน่น เมื่อสังเกตการเคลื่อนที่ของสมาชิกในกระจุกดาวต่าง ๆ ก็พบว่าการเคลื่อนที่สอดคล้องกัน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าดาวแต่ละดวงน่าจะมีจุดกำเนิดร่วมกันซึ่งนักดาราศาสตร์สามารถแบ่งกระจุกดาวได้เป็น 2 ประเภทคือ (อัญชลี ยะกฤษณะ, 2558: หน้า 40-41)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.5.1 กระจุกดาวเปิด

การจุกดาวเปิด (Open Cluster) หรือกระจุกดาวกาแลคติก เป็นกระจุกดาวที่พบมากบริเวณระนาบกาแลคซี จำนวนดาวฤกษ์จะอยู่รวมกันอย่างหลวม ๆ จำนวนหลาย 100 ถึง 1,000 ดวง ปกติแล้วเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 ปีแสงหรือ 10 พาร์เซก (Parsec) เมื่อมองผ่านกล้องดูดาวหรือมองด้วยตาเปล่าจะไม่สามารถมองเห็นดาวแต่ละดาวแยกกัน ตัวอย่างกระจุก

ดาวเปิดที่รู้จักกันดีคือ กระจุกดาวลูกไก่ (สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), 2556)



ภาพที่ 2.12 กระจุกดาวลูกไก่ (Pleiades, M45) ที่มา (สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), 2556)

2.5.2 กระจุกดาวทรงกลม

กระจุกดาวทรงกลม (Globular cluster) เป็นกระจุกดาวที่มีดาวรวมกันอย่างหนาแน่นมีสมาชิกตั้งแต่ 10,000 ถึง 1,000,000 ดวง ส่วนใหญ่มีอายุมาก ลักษณะรูปร่างค่อนข้างเป็นทรงกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางราว 10 ปีแสงหรือมากกว่า 300 ปีแสง ตำแหน่งของกระจุกดาวทรงกลมมักจะพบบริเวณเฮโล (Halo) ของกาแล็กซีเมื่อส่องดูดาวบริเวณใจกลางจะไม่สามารถแยกให้เห็นดาวแต่ละดาวได้ ตัวอย่างกระจุกดาวทรงกลม อาทิเช่น M 30 (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, ม.ป.ป)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

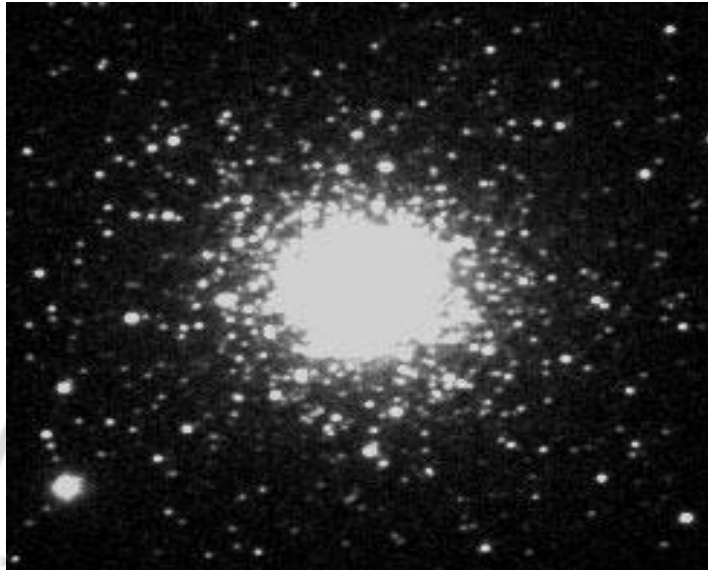


ภาพที่ 2.13 กระจุกดาวทรงกลม M 30
ที่มา (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, ม.ป.ป)

2.5.3 กระจุกดาวทรงกลม เอ็ม 3

กระจุกดาวทรงกลม M3 เป็นกระจุกดาว ที่มีตำแหน่งอยู่ในทางตอนเหนือของกลุ่มดาวสุนัขล่าเนื้อ ซึ่งถูกค้นพบโดยนักดาราศาสตร์ ชาร์ล เมซีเยร์ (Charles Messier) ในเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม ค.ศ.1764 และวิลเลียม เฮอร์เชลได้แก้ไขให้เป็นดาวฤกษ์ เมื่อปี ค.ศ.1784 ซึ่งมีตำแหน่ง Right Ascension 13h 42.2m และตำแหน่ง Declination $+28^{\circ} 23'$ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ลิปดา กระจุกดาวทรงกลม M 3 ไม่ได้อยู่ในดาราจักรทางช้างเผือกแต่สามารถมองเห็นได้ง่ายด้วยกล้องขนาดเล็ก (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, ม.ป.ป)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 2.14 กระจุกดาวทรงกลม เอ็ม 3
 ที่มา (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, ม.ป.ป)

ภาพที่ 2.15 เป็นภาพที่ได้จากมุมมองที่กว้างของกล้อง โมเสค ไนออลล์ กล้องโทรทรรศน์
 ขนาด 4 เมตร ที่หอดูดาวแห่งชาติ คิทพีค (Kitt Peak National Observatory) กระจุกดาว
 M3 เป็นกระจุกดาวทรงกลมขนาดยักษ์ที่ประกอบด้วยสมาชิกหลายร้อยหลายพันดวง



ภาพที่ 2.15 กระจุกดาวทรงกลม เอ็ม 3 (กระจุกดาวทรงกลมขนาดยักษ์)
 ที่มา (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, ม.ป.ป)

2.5.4 กระจุกดาวเปิด M 35

กระจุกดาวเปิด M35 หรือบัญชีรายชื่อเอ็นจีซีลำดับที่ 2168 (NGC2168) อยู่ในบริเวณ กลุ่มดาวคนคู่หรือราศีเมถุน (Gemini) เป็นวัตถุท้องฟ้าที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ภายในกระจุกดาวนี้ประกอบไปด้วยดาวฤกษ์สว่างเรียงกันเป็นแนวโค้งมากกว่า 200 ดวง กระจายปกคลุมพื้นที่ในท้องฟ้าประมาณ 0.2 ตารางองศา ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับดวงจันทร์เต็มดวง มีค่าความสว่างปรากฏเท่ากับ 5 ถือว่าเป็นวัตถุท้องฟ้าที่มีค่าความสว่างที่สูงอีกวัตถุหนึ่งที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าภายใต้ท้องฟ้าที่มืดไร้แสงรบกวน และภายใต้ท้องฟ้าที่สว่างสามารถสังเกตเห็นได้จากกล้องสองตาหรือกล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็ก อยู่ห่างจากโลกไปเป็นระยะทางประมาณ 2,500 ถึง 2,800 ปีแสง (กรกมล ศรีบุญเรือง, 2557: หน้า 1) มีอายุเพียง 150 ล้านปี ซึ่งถือว่าเป็นตัวอย่างของกระจุกดาวที่มีอายุน้อยและเป็นดาวสีฟ้าที่มีอุณหภูมิสูงมาก



ภาพที่ 2.16 กระจุกดาวเปิด M35
ที่มา (Rob Franke, 2015: p.1)

2.5.5 กระจุกดาวเปิด M44

M44 เป็นกระจุกดาวที่ใกล้ระบบสุริยะที่สุดกระจุกดาวหนึ่งอยู่ห่างออกไป 600 ปีแสง รู้จักกันในนาม Praesepe หรือ กระจุกดาวรวงผึ้ง (Beehive cluster) เป็นกระจุกดาวที่อายุเพียง 600 ล้านปี ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับอายุ 4.5 พันล้านปีของดวงอาทิตย์ จากอายุที่ใกล้เคียงกันและการเคลื่อนที่ผ่านห้วงอวกาศ M44 และ กระจุกดาวเปิด Hyades ในกลุ่มดาววัว อาจจะถือ

กำเนิดขึ้นมาในกลุ่มก๊าซเดียวกัน M44 เป็นกระจุกดาวเปิดมีขนาดประมาณ 15 ปีแสง และมีดาวประมาณ 1,000 ดวง กินพื้นที่บนท้องฟ้าเทียบเท่ากับดวงจันทร์เต็มดวง 3 ดวง (1.5 องศา) ในกลุ่มดาวปู M44 เป็นกระจุกดาวที่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า และมีการบันทึกกันมาแต่โบราณกาล เป็นลักษณะของกลุ่มเมฆหรือหมอกจาง ๆ ก่อนที่ ชาลส์ เมสซิเอะจะบันทึกเอาไว้เป็นวัตถุที่ 44 ในศตวรรษที่ 18 ดาวในกระจุกดาวไม่เคยได้ถูกการแยกออกมาจนกระทั่งเกิดการประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ขึ้น ในยุคปัจจุบัน กระจุกดาว M44 เป็นวัตถุที่ได้รับความนิยมในหมู่นักดูดาวด้วยกล้องสองตา นักดูดาวสามารถสังเกตเห็นดาวยักษ์แดงสีเหลือง ท่ามกลางดาวลำดับหลักสีฟ้าในภาพที่เต็มไปด้วยสีอันภาพนี้



ภาพที่ 2.17 กระจุกดาวเปิด M44

ที่มา (สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), 2557: หน้า 1)

2.5.6 กระจุกดาวเปิด M 67

กระจุกดาวเปิด M67 หรือ NGC 2682 อยู่ในบริเวณกลุ่มดาวปูหรือราศีกรกฎ (Cancer) ที่เกิดจากเมฆก๊าซและฝุ่นในจานราบของกาแล็กซีทางช้างเผือก และยังมีความแตกต่างจากกระจุกดาวอื่น ๆ โดยกระจุกดาว M67 ตั้งอยู่สูงกว่าระนาบกาแล็กซี 2,800 ปีแสงจากโลก มีจำนวนดาวมากกว่า 500 ดวง ยังคงสภาพสมบูรณ์ และมีอายุนานกว่า 4 พันล้านปี โดยที่อายุของกระจุกดาวและโครงสร้างทางเคมีของดาวฤกษ์ภายในกระจุกดาวมีลักษณะคล้ายกับที่ดวงอาทิตย์ของเรา ซึ่งดวงอาทิตย์ของเรามีอายุประมาณ 4.5 พันล้านปี นอกจากนี้ นักดาราศาสตร์ยังพบดาวฝาแฝดที่มีลักษณะคล้ายกับดวงอาทิตย์ภายในกระจุกดาวและยังคาดเดาจากความคล้ายคลึงกันของดาว ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าดวงอาทิตย์ของเราอาจเคยเป็นดาวฤกษ์ที่อยู่ภายในกระจุกดาว M67 มาก่อนและพลัดหลงออกมาจากกระจุกดาวแม่กลายเป็นดาวเดี่ยวที่อยู่ในบริเวณจานและโคจรอยู่รอบ ๆ ใจกลางกาแล็กซีทางช้างเผือก (กรกมล ศรีบุญเรือง, 2557: หน้า 1)



ภาพที่ 2.18 กระจุกดาวเปิด M67

ที่มา (Rob Franke, 2009: p.1)

2.7 การวัดแสง

จากการศึกษาพบว่า วัตถุบนท้องฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งอย่างไรแล้ว อีกหนึ่งที่นักดาราศาสตร์สนใจที่จะวัดก็คือ วัตถุบนท้องฟ้ามีความสว่างเท่าใด สว่างกว่ามากแค่ไหน ความสว่างมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร (มติพล ตั้งมติธรรม, 2557: หน้า 40)

2.7.1 โขติมาตรของดาว

ดวงดาวบนท้องฟ้ามีความส่องสว่างไม่เท่ากัน การบอกค่าระดับความสว่างของดาว เราสามารถบอกด้วยค่า “โขติมาตร (Magnitude)” ความสว่างของดวงดาวนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ขนาด และระยะทางที่ดาวอยู่ห่างจากโลก (สุพรรณิ ไพศรีจันทร์, 2549: หน้า 7-8) ดังนั้น การบอกค่าระดับความสว่างของดาวจะบอกเป็น 2 แบบ คือ

2.7.1.1 โขติมาตรปรากฏ

1) โขติมาตรปรากฏ (Apparent Magnitude) หากว่าเรามองดูดาวฤกษ์บนท้องฟ้าในเวลากลางคืนเราจะเห็นความสว่างของดาวฤกษ์ต่าง ๆ ที่ไม่เท่ากันความสว่างที่เรามองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเรียกว่า “ความสว่างปรากฏ (Apparent brightness)” ในศตวรรษที่ 2 ก่อนคริสต์ศักราช ฮิปพาราซุส (Hipparchus) เป็นนักดาราศาสตร์คนแรกที่ได้เสนอแคตตาล็อกของดาวฤกษ์ประมาณหนึ่งพันดวง โดยจำแนกความสว่างปรากฏดาวฤกษ์ออกเป็น 6 ระดับ ตั้งแต่ระดับ 1 ถึง ระดับ 6 ตามรายละเอียดดังนี้

ระดับที่ 1 หมายถึง กลุ่มดาวฤกษ์ที่สว่างที่สุดบนท้องฟ้า

ระดับที่ 2-5 หมายถึง เป็นกลุ่มดาวฤกษ์ที่สว่างรองลงไปตามลำดับ

ระดับที่ 6 หมายถึง เป็นกลุ่มดาวฤกษ์ที่มีความสว่างน้อยที่สุด ซึ่งมองเห็นด้วยตาเปล่าเกือบไม่เห็น

ในปัจจุบันความสว่างปรากฏเรียกว่า “โขติมาตรปรากฏ (Apparent magnitude)” ต่อมาในปี ค.ศ. 1856 นอร์แมน แพกสัน (Norman Pogson) ได้เสนอระบบการจำแนกโขติมาตรว่า “อัตราส่วนของความสว่างระหว่างโขติมาตรที่เรียงกันจะมีค่าเท่ากับ รากที่ 5 ของ $100(\sqrt[5]{100})$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.512” ค่าโขติมาตรปรากฏของดาวไม่สามารถบอกจำนวนแสงสว่างที่ดาวฤกษ์ปล่อยออกมาที่แท้จริงได้ (โชติ เนื่องนันท์, 2558: หน้า 96)

ในทางดาราศาสตร์ได้กำหนดเกณฑ์ที่แน่นอน เพื่อถือเป็นหลักในการกำหนดโขติมาตรของดวงดาวว่า ดวงดาวที่มีโขติมาตรที่ 1 จะมีความสว่างมากกว่าดวงดาวที่มีค่าติมาตรถัดไปเป็น a และผลต่างค่าโขติมาตรที่ 1 และ 6 คือ 5 ดังนั้น

จะได้ว่า

$$a^5 = \frac{L_1}{L_2} = 100$$

$$a = 10^{\frac{2}{5}}$$

$$a = 2.512$$

นั่นคือ ถ้าดาวมีค่าโชติมาตรต่างกัน 1 จะมีความสว่างต่างกัน 2.512 เท่า

พิจารณาดาวสองดาวที่มีค่าโชติมาตรเป็น m และ M และส่งพลังงานแสงมายังโลกมีความสว่างเป็น L_m และ L_M ดังนั้นผลต่างของโชติมาตรเท่ากับ $m-M$ จะแปรตามอัตราส่วนของความสว่าง L_m / L_M นั่นคือ

$$\begin{aligned}\frac{L_M}{L_m} &= 100^{\left(\frac{m-M}{5}\right)} \\ \log\left(\frac{L_M}{L_m}\right) &= \left(\frac{m-M}{5}\right) \log 100 \\ \log\left(\frac{L_M}{L_m}\right) &= 0.4(m-M) \\ m-M &= 2.5 \log\left(\frac{L_M}{L_m}\right)\end{aligned}\quad (2.1)$$

จากสมการ (2.1) คือนิยามของโชติมาตรปรากฏ จะเห็นว่าค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของดาวมากกว่าค่าโชติมาตรปรากฏของดาว เมื่อกำลังส่องสว่างของดาวค่าโชติมาตรปรากฏของดาวน้อยกว่ากำลังส่องสว่างของดาวค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของดาว นั่นคือ ดวงดาวที่ความสว่างมากกว่าจะมีค่าโชติมาตรน้อยกว่า

2.7.1.2 โชติมาตรสัมบูรณ์

โชติมาตรสัมบูรณ์ (Absolute magnitude) เมื่อทราบค่าโชติมาตรปรากฏของดาวขึ้นอยู่กับระยะทางของดาวด้วย เมื่อต้องการเปรียบเทียบระดับความสว่างของดาว เราจึงต้องกำหนดที่ระยะทางเท่ากัน ระยะทางที่เรากำหนดเพื่อเปรียบเทียบ คือ ระยะทางห่างจากโลก 10 พาร์เซก (Parsec) หรือ 32.6 ปีแสง หรือประมาณ 2,000,000 a.u. โชติมาตรที่ระยะนี้เราเรียกว่า “โชติมาตรสัมบูรณ์” (Absolute magnitude)

2.6.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโชติมาตรปรากฏกับโชติมาตรสัมบูรณ์

กำหนดให้โชติมาตรสัมบูรณ์ของดาวเป็น M ความสว่างสัมบูรณ์เป็น B ในระยะทาง 10 พาร์เซก และโชติมาตรปรากฏ m ความสว่างปรากฏเป็น b ในระยะทาง d พาร์เซก

จากกฎกำลังสองผกผันจะได้

$$\frac{B}{b} = \left(\frac{d}{10pc}\right)^2 \quad ; \text{ pc คือ parsec} \quad (2.2)$$

อาศัยสมการที่ (2.1) จะได้

$$m - M = 2.5 \log\left(\frac{B}{b}\right)$$

$$m - M = 2.5 \log\left(\frac{d}{10pc}\right)^2$$

$$m - M = 2.5 \log d - 5 \quad (2.3)$$

$$d = 10^{\left(\frac{m-M+5}{5}\right)} \quad (2.4)$$

เมื่อ	m	คือ ค่าโชติมาตรปรากฏของดาว
	M	คือ ค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของดาว
	d	คือ ระยะทางของดาว หน่วยพาร์เซก (Parsec)
	$m - M$	คือ มอดูลัสระยะทาง

สมการที่ (2.3) เป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างโชติมาตรปรากฏกับโชติมาตรสัมบูรณ์

สมการที่ (2.4) เป็นสมการหาระยะทางของกรจุกดาว

ปริมาณ $5 \log\left(\frac{d}{10}\right)$ เรียกว่ามอดูลัสระยะทาง (Distance modulus) ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางของดาวฤกษ์ดวงนั้น สำหรับดาวฤกษ์ดวงที่อยู่ไกลมากๆ ซึ่งไม่สามารถวัดระยะทางของ ดาวฤกษ์โดยวิธีพาร์แลกซ์ได้ เราจะสามารถทราบค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของดวงดาวเหล่านี้ได้จากการพิจารณาสเปกตรัมของดาวฤกษ์ ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาคำนวณหาระยะทางได้เช่นกัน (โชติ เนื่องนันท, 2558: หน้า 103)

2.6.2 กำลังส่องสว่าง

กำลังส่องสว่างเป็นพลังงานที่ดาวฤกษ์ปลดปล่อยออกมาต่อหน่วยเวลา ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของดาวแต่ละดวง ไม่ขึ้นอยู่กับระยะห่างของผู้สังเกตการณ์ กำลังส่องสว่างของดาวแปรผัน ตามระยะทางและความสว่างของดาว ดังนั้นเมื่อทราบความสว่างและระยะห่างของดาวก็จะทราบกำลังส่องสว่าง (Luminosity) ของดาว (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ ,ม.ป.ป.)

ได้จากสมการ

$$L = 4\pi d^2 b \quad (2.5)$$

เมื่อ L คือ กำลังส่องสว่างของดาว
 d คือ ระยะทางของดาว
 b คือ ความสว่างปรากฏของดาว

1) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังส่องสว่างกับมวลของดาว

$$\log\left(\frac{L}{L_{sun}}\right) = 3.5 \log\left(\frac{M}{M_{sun}}\right) \quad (2.6)$$

เมื่อ L_{sun} คือ กำลังส่องสว่างของดวงอาทิตย์

2) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังส่องสว่างกับระยะทางของดาว

$$m - m_{sun} = -2.5 \log\left[\left(\frac{L}{L_{sun}}\right)\left(\frac{d_{sun}}{d}\right)^2\right] \quad (2.7)$$

เมื่อ m คือ โชติมาตรปรากฏของดาว
 m_{sun} คือ ค่าโชติมาตรปรากฏของดวงอาทิตย์
 d_{sun} คือ ระยะทางของดวงอาทิตย์

2.6.3 อายุของดาว

ช่วงเวลาหรือช่วงชีวิตที่ดาวฤกษ์สามารถปลดปล่อยพลังงานออกมา โดยปฏิกิริยานิวเคลียร์ภายในดาวฤกษ์ (รณกฤต รัตนมาลา และวันธนา ศิลปะวิลาวัณย์, 2556: หน้า 2) สามารถคำนวณได้ดังสมการ

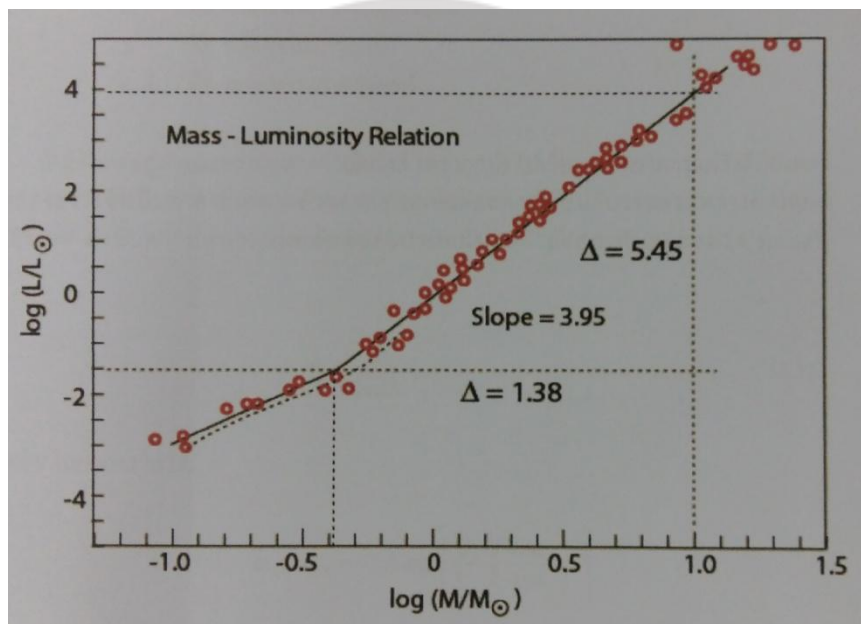
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$t = 10^{10} \text{ years} \left[\frac{M}{M_{sun}} \right]^{-2.5} \quad (2.8)$$

เมื่อ t คือ อายุของดาว
 M คือ มวลของดาว
 M_{sun} คือ มวลของดวงอาทิตย์

2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลและกำลังส่องสว่างของดาวฤกษ์

พิกุลรัตน์ ณะน่าน (2558: หน้า 11-13) กล่าวว่า ดาวฤกษ์ที่ปรากฏบนท้องฟ้าส่วนมากจะมีความสัมพันธ์ระหว่างมวลและกำลังส่องสว่างเป็นไปดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลและกำลังส่องสว่างของดาวฤกษ์ที่มา (พิกุลรัตน์ ณะน่าน, 2558: หน้า 11)

จากภาพที่ 2.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลและกำลังส่องสว่างของดาวฤกษ์ จึงจะแทนค่าได้ว่ามวลของดาวจะแปรผันตามกำลังส่องสว่าง โดยสามารถเขียนเป็นสมการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลและกำลังส่องสว่างของดาวฤกษ์ได้ ดังนี้

$$\log\left(\frac{L}{L_{sun}}\right) = 3.5 \log\left(\frac{M}{M_{sun}}\right) \quad (2.9)$$

จะพบว่าค่าเฉลี่ยของกำลังส่องสว่างจะเพิ่มขึ้นตามมวลของดาวฤกษ์ยกกำลัง 3.5 และสามารถเปลี่ยนค่าโชติมาตรปรากฏให้เป็นกำลังส่องสว่างของดาวฤกษ์ โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและกำลังส่องสว่าง ดังนี้

$$L = 4 \pi d^2 F$$

เมื่อ L คือ กำลังส่องสว่างของดาวฤกษ์
 F คือ ฟลักซ์ของดาวฤกษ์
 r, d คือ ระยะทางของดาวฤกษ์

ถ้าผู้สังเกตอยู่ห่างออกจากแหล่งกำเนิดรังสี (ดาวฤกษ์) ไปเรื่อย ๆ อัตราการแผ่รังสีก็ยังคงที่ กำลังส่องสว่างจึงเป็นค่าคงที่เฉพาะตัวของดาวฤกษ์แต่ละดวงไม่ขึ้นกับระยะระหว่างดาวฤกษ์กับผู้สังเกต ดังนั้นความหนาแน่นฟลักซ์จะแปรผกผันยกกำลังสองกับระยะทาง ($L \propto d^2$)
 จะได้

$$F = \left(\frac{L}{4\pi d^2} \right)$$

แทนค่า F ในสมการ จะได้

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log \left[\left(\frac{L_1}{L_2} \right) \left(\frac{4\pi d_2}{4\pi d_1} \right)^2 \right]$$

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log \left[\left(\frac{L_1}{L_2} \right) \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 \right]$$

เมื่อ m_1 คือ โชติมาตรปรากฏของดาวฤกษ์
 m_2 คือ โชติมาตรปรากฏของดวงอาทิตย์
 L_1 คือ กำลังส่องสว่างของดาวฤกษ์
 L_2 คือ กำลังส่องสว่างของดวงอาทิตย์
 d_1 คือ ระยะทางของดาวฤกษ์
 d_2 คือ ระยะทางของดวงอาทิตย์

2.8 โปรแกรมอ่านไฟล์และวิเคราะห์ภาพทางดาราศาสตร์

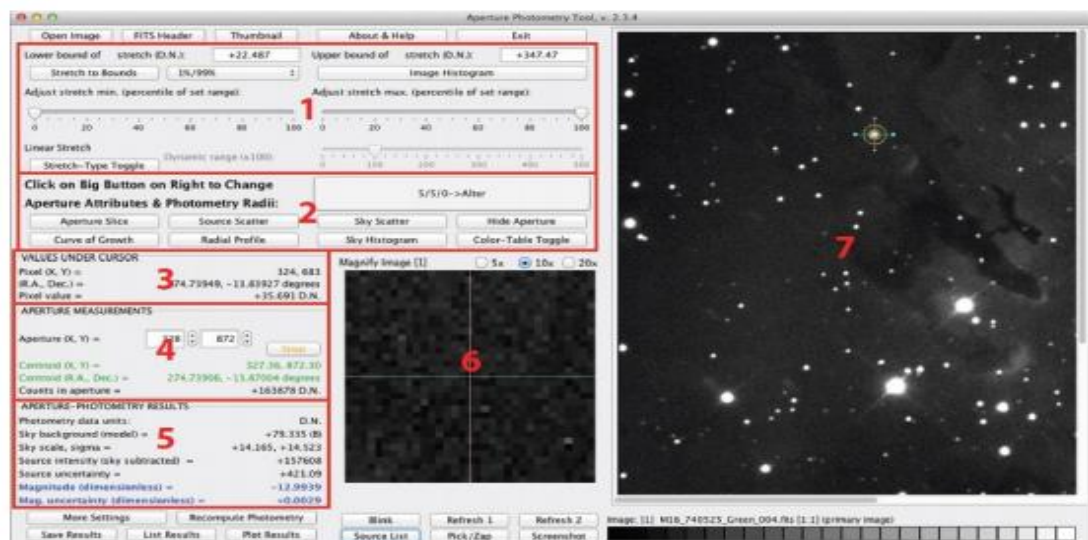
ภาพถ่ายดาราศาสตร์นั้นมีข้อมูลและรายละเอียดที่มากกว่าภาพทั่ว ๆ ไปมาก จึงจำเป็นต้องมีการใช้โปรแกรมที่มีความซับซ้อนกว่าในการอ่านและจัดการกับภาพถ่ายทางดาราศาสตร์ (มติพล ตั้งมดีธรรม, 2556: หน้า 115)

2.8.1 โปรแกรม Iris

ไอริสเป็นโปรแกรมสามารถทำการกำจัดสัญญาณรบกวนของภาพ (Image Processing) พร้อมกันหลาย ๆ ภาพได้ หรือว่าจะเป็นการรวมภาพหลาย ๆ ภาพเอาไว้ด้วยกัน (Image Stacking) และสามารถใช้เปิดไฟล์ FIT ได้สะดวก ซึ่งสามารถนำมาทำโพโตเมทรีของดาวแปรแสงได้

2.8.2 โปรแกรมอะเพอร์เจอร์ โพโตเมทรี (Aperture Photometry Tool)

การวัดค่าโชติมาตรของดาวด้วย โปรแกรมอะเพอร์เจอร์ โพโตเมทรี (Aperture Photometry Tool) นี้สามารถทำ Photometry ได้เช่นเดียวกับ iris สามารถปรับ Aperture ได้ทั้งขนาดและรูปร่าง มีการวัดค่าโชติมาตรที่ค่อนข้างง่ายและข้อดีที่สุดคือ สามารถหาแหล่งกำเนิดแสงในภาพได้เหมาะสมกับงานที่มีความต้องการวัดค่าโชติมาตรของดาวหลาย ๆ ดวงในเวลาเดียวกันเช่น การสร้างแผนภาพเฮิร์ตซปรุง – รัสเซลล์ (มตีพล ตั้งมติธรรม, 2556: หน้า 128)



ภาพที่ 2.20 หน้าจอหลักโปรแกรมอะเพอร์เจอร์ (APT) แสดงบริเวณต่าง ๆ ที่มา (มตีพล ตั้งมติธรรม, 2556: หน้า 129)

ภาพที่ 2.20 แสดงหน้าจอหลักของ APT สามารถแบ่งส่วนที่สำคัญใหญ่ ๆ ออกเป็นดังนี้

1. Scaling เป็นส่วนที่ใช้ปรับค่าการแสดงผลต่าง ๆ สามารถปรับค่าของ Histogram ได้ทั้ง upper bound และ lower bound (ใช้ปรับว่าต้องมีความสว่างเท่าใดจึงจะเป็น “สีขาว”) ใช้

สำหรับ เพื่อให้ให้เห็นรายละเอียดที่ต้องการในภาพได้ มีปุ่มแสดง Histogram เพื่อช่วยในการวิเคราะห์

2. Aperture Control ส่วนที่ใช้ปรับค่าเกี่ยวกับ aperture ทั้งวงใน และ annuli มีปุ่ม Aperture Slice เพื่อแสดงความเข้มของแสงรอบ ๆ aperture ทั้งในแกนตั้งและแกนนอน นอกจากนี้ ยังมีปุ่มอื่นๆ อีกมากเพื่อแสดงค่าความเข้มต่าง ๆ และสำหรับทั้งภาพ

3. Values Under Cursor แสดงค่าพิกัดของ pixel อยู่รวมไปถึงจำนวนอิเล็กตรอนของ pixel

4. Aperture Measurements ข้อมูลเบื้องต้นของ Aperture ตำแหน่ง pixel ที่ aperture อยู่ ตำแหน่งของ centroid จำนวนอิเล็กตรอนทั้งหมดใน aperture

5. Aperture-Photometry Results ข้อมูลทาง photometry ของ aperture ณ ปัจจุบันในการทำ aperture ทั่วไปเราสามารถอ่านค่าได้จากบริเวณนี้โดยเฉพาะค่า source intensity (sky subtracted), magnitude (dimensionless), mag. Uncertainty (dimensionless)

6. Magnify Image แสดงภาพขยายรอบ ๆ pixel ที่ cursor อยู่

7. หน้าจอแสดงภาพหลัก แสดงภาพโดยกว้าง ตำแหน่งของ Aperture สามารถคลิก บริเวณ ตำแหน่ง Aperture ใหม่

2.9 ฐานข้อมูลและเครื่องมือทางดาราศาสตร์

2.9.1 SIMBAD

Set of Identifications, Measurements and Bibliography for Astronomical Data (SIMBAD) เป็นระบบฐานข้อมูลที่สามารถแสดงถึงวัตถุท้องฟ้าใดๆ ที่เคยมีการค้นพบ โดยสามารถ ระบุพิกัดท้องฟ้าของวัตถุที่เราทำการสังเกต และระบบจะค้นหาวัตถุจากฐานข้อมูลที่อยู่ในระยะรัศมี 10 arcmin ได้ เหมาะสำหรับวัตถุในระบบสุริยะ และไม่มีการเคลื่อนที่ เพื่อตรวจสอบว่า ณ ตำแหน่งที่เรากำลังสังเกตมีวัตถุในระบบสุริยะใดบ้างที่คนเคยค้นพบไปแล้ว

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.9.2 ALADIN

Aladin Sky Atlas เป็นโปรแกรมที่อาจจะมีประโยชน์กับการทำงานวิจัยได้มากที่สุด โปรแกรมหนึ่ง ผู้ใช้สามารถโหลดภาพทางดาราศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลและ Catalog ทางดาราศาสตร์ได้ โดยสามารถอ้างอิงข้อมูลได้จากฐานข้อมูล เช่น Simbad และ Vizier โดยสามารถใช้ได้ทั้งในรูปแบบโปรแกรมที่ดาวน์โหลดมา หรือในรูปแบบของ applet ผ่านทาง

บราวเซอร์ก็ได้ Aladin เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์เป็นอย่างมากในการยืนยันตำแหน่งหรือภาพของวัตถุที่เราต้องการ การทำงานของ Aladin สามารถโหลดภาพของบริเวณท้องฟ้าที่เราสนใจได้ สามารถโหลด database เพื่อนำมายืนยันหรือหา magnitude ของดาวอ้างอิง โดยสามารถ search เพื่อหาวัตถุที่เรา กำลังศึกษาได้ เช่น ชื่อของดาวแปรแสง หรือกาแล็กซี่ที่เรา กำลังศึกษา เพื่อทราบตำแหน่งและรูปร่างโดย คร่าวของวัตถุที่เราจะศึกษา ก่อนที่เราจะลงมือถ่ายภาพ (มติพล ตังมติธรรม, 2556: หน้า 154)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พีระพงษ์ นาชัยสิทธิ์ (2537) ได้ทำวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ค่าโชติมาตรปรากฏของสมาชิกกระจุกดาวเปิด M35 โดยเทคนิคซีซีดี โฟโตเมทรี โดยผู้วิจัยได้สังเกตการณ์และเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์การลดของแสงดาว เนื่องจากผลของบรรยากาศของโลกอันดับที่หนึ่ง อันดับที่สอง และวิเคราะห์ค่าโชติมาตรปรากฏของสมาชิกในกระจุกดาวเปิด M35 โดยเทคนิคซีซีดี โฟโตเมทรี และเทคนิคโฟโตอิเล็กทรอนิกส์โฟโตเมทรี แล้วเปรียบเทียบผลที่วิเคราะห์ได้โดยเทคนิคทั้งสอง การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์การลดของแสงดาว เนื่องจากผลของบรรยากาศของโลก และวิเคราะห์ค่าโชติมาตรปรากฏของสมาชิกในกระจุกดาวเปิด M35 โดยเทคนิคซีซีดี โฟโตเมทรี อุปกรณ์ที่ใช้คือ กล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว ของหอดูดาว สิรินคร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และคอมพิวเตอร์ระบบซีซีดี โฟโตเมทรี ผลจากการวิเคราะห์ได้ค่าโชติมาตรปรากฏของสมาชิกในกระจุกดาวเปิด M35 ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) มีค่าตั้งแต่ 7.593 ถึง 11.583 และในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง (V) มีค่าตั้งแต่ 7.501 ถึง 10.581 และวิเคราะห์ค่าโชติมาตรปรากฏของสมาชิกในกระจุกดาวเปิด M35 โดยเทคนิคโฟโตอิเล็กทรอนิกส์ โฟโตเมทรี อุปกรณ์ที่ใช้คือ กล้องดูดาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 นิ้ว ของหอดูดาว สิรินคร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และคอมพิวเตอร์ระบบโฟโตอิเล็กทรอนิกส์ โฟโตเมทรี ผลจากการวิเคราะห์ได้ค่าโชติมาตรปรากฏของสมาชิกในกระจุกดาวเปิด M35 ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) มีค่าตั้งแต่ 10.496 ถึง 13.605 และในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง (V) มีค่าตั้งแต่ 9.967 ถึง 13.205 จากการวิเคราะห์โดยเทคนิคซีซีดี โฟโตเมทรี พบว่าในการวัดความสว่างของจะให้ความแม่นยำสูงกว่า การวิเคราะห์โดยเทคนิคโฟโตอิเล็กทรอนิกส์ โฟโตเมทรี

ไพบุลย์ ทองเชื้อ (2549) ได้ศึกษาและสร้างแผนภาพ ของกระจุกดาวเปิด เอ็ม 35 โดยการสังเกตการณ์และเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคซีซีดี โฟโตเมทรีซึ่งติดตั้งบนระบบกล้องโทรทรรศน์ชนิดสะท้อนแสงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 นิ้ว ณ หอดูดาว มหาวิทยาลัยรามคำแหง โดยถ่ายภาพ

ครอบคลุมดาวภายในกระจุกดาวรวมทั้งสิ้นจำนวน 111 ดวง จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลของกระจุกดาวเพื่อหาระยะทางและอายุของกระจุกดาวในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แผนภาพเฮิร์ตซปรุง-รัสเซลล์ เพื่อวิเคราะห์หาระยะทางของกระจุกดาวเปิด เอ็ม 35 ด้วยวิธี “ซ้อนลำดับหลัก” คำนวณหาระยะทางได้ค่าประมาณ 870 พาร์เซก และคำนวณอายุของกระจุกดาวเปิด เอ็ม 35 ได้ค่าประมาณ 133×10^6 ปี

สุพรรณิ ไพรศรีจันทร์ (2549) ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระจุกดาวปิด เอ็ม 15 โดยเทคนิคซีซีดี โฟโตเมทรีในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) และช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง (V) ด้วยกล้องโทรทรรศน์ชนิดสะท้อนแสงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 นิ้ว ณ หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากการวิเคราะห์ค่าโชติมาตรปรากฏของดาวที่อยู่ในกระจุกดาวปิด เอ็ม 15 พบว่าช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) มีค่า 12.56 ถึง 15.56 และสีเหลือง (V) มีค่า 12.85 ถึง 14.79 และมีค่าโชติมาตรสัมบูรณ์อยู่ในช่วง -0.05 ถึง -2.75 เมื่อทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น ดัชนีสี อุณหภูมิสีผิว และอุณหภูมิยังผลของดาว โปรแกรม พบว่ามีค่าต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาค่าโชติมาตรของดาวที่เกิดจากการลดลงของแสงดาว เนื่องจากสสารระหว่างดาว พบว่า ค่าการเปลี่ยนสีเนื่องจากสสารระหว่างดาว ($E_{(B-V)}$) มีค่า 0.078 มีค่าการลดลงของแสงดาว (A_V) ที่อยู่บนบริเวณฮาโลกาแลกซี มีค่าเท่ากับ 0.237 จากการคำนวณค่าโชติมาตรสัมบูรณ์พบว่าสมาชิกของกระจุกดาวปิด เอ็ม 15 เหล่านี้อาจอยู่ในตำแหน่งดาวยักษ์ของแผนภาพเฮิร์ตซปรุง-รัสเซลล์

รณกฤต รัตนมาลา และ วันธนา ศิลปะวิลาวัณย์ (2556) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดาวฤกษ์ในกระจุกดาว เอ็ม 67 ได้ทำการสังเกตการณ์และถ่ายภาพด้วยกล้องซีซีดี โฟโตมิเตอร์ ที่ต่อเข้ากับกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงชนิดรีฟlector-เครเทียน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร ณ หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในช่วงเดือน มกราคม พ.ศ. 2556 ภาพที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์และคำนวณหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพของดาวฤกษ์ ได้แก่ อุณหภูมิยังผล มวล รัศมี และอายุของดาวฤกษ์ ผลที่ได้พบว่าดาวฤกษ์ที่ได้ทำการวิเคราะห์มีค่าอุณหภูมิยังผลอยู่ในช่วง 3,324.799K ถึง 28,541.996K มวลอยู่ในช่วง $1.664M_{sun}$ ถึง $2.807M_{sun}$ รัศมีอยู่ในช่วง $0.099R_{sun}$ ถึง $18.385R_{sun}$ และอายุของดาวอยู่ในช่วง $0.0757t_{sun}$ ถึง $0.2797t_{sun}$ จากค่าอุณหภูมิยังผลที่คำนวณได้และยังสามารถจัดประเภทตามลำดับสเปกตรัม ได้แก่ ชนิด B A F K และ M เมื่อพิจารณาแผนภาพเฮิร์ตซปรุง-รัสเซลล์ พบว่าดาวฤกษ์ส่วนใหญ่อยู่เหนือดาวฤกษ์ในแถบลำดับหลักแสดงว่าเป็นดาวฤกษ์ประเภทดาวยักษ์

(Giant Stars) แต่จะมีดาวฤกษ์ดวงหนึ่งที่มีตำแหน่งอยู่ที่ดาวฤกษ์ในแถบลำดับหลักซึ่งอาจกำลังวิวัฒนาการไปเป็นดาวแคระในอนาคต

ยุพยงค์ สันทมครบุรี (2541) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของกระจุกดาวเปิด เอ็ม 41 โดยเทคนิคซีซีดี โฟโตเมทรี ด้วยกล้องโทรทรรศน์ชนิดสะท้อนแสงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 นิ้ว ใช้แผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินและสีเหลือง ณ หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้ทำการวัดค่าโชติมาตร และค่าดัชนีสีของสมาชิกในกระจุกดาวเปิด เอ็ม 41 จำนวน 8 ดวง พบว่ามีค่าโชติมาตรปรากฏที่แท้จริงในแถบช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) มีค่า 7.8041 ถึง 10.6831 และในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง (V) มีค่า 7.5691 ถึง 10.8212 โชติมาตรตามลำดับจากค่าโชติมาตรทำให้สามารถวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานคือ ค่าดัชนีสี อุณหภูมิสัมฤทธิ์ ความยาวคลื่นที่มีการแผ่รังสีมากที่สุด และอัตราการแผ่รังสีของสมาชิกแต่ละดวงในกระจุกดาวนี้ได้

อำนวนย เสน่ห์ดี (2548) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของกระจุกดาวเปิด เอ็ม 45 โดยเทคนิคซีซีดี โฟโตเมทรีและแผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) และสีเหลือง (V) โดยใช้กล้องโทรทรรศน์ชนิดสะท้อนแสงที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 นิ้ว ได้มีการดำเนินการ หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากการวิเคราะห์ค่าโชติมาตร ดัชนีสีอุณหภูมิและนำมาสร้างแผนภาพฮีโรดซปรุง-รัสเซลล์ ส่วนอุณหภูมิผิวของดาวแต่ละดวงในกระจุกดาวปรากฏว่ามีค่าแตกต่างกัน จากการพิจารณาความสัมพันธ์ ระหว่างอุณหภูมิผิวสัมฤทธิ์ (T_{eff}) กับค่ากำลังส่องสว่าง (L/L_{\odot}) พบว่าตำแหน่งของกระจุกดาวอยู่บริเวณตำแหน่งของดาวอาทิตย์บนแถบกระบวนหลัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระจุกดาวเปิด เอ็ม 45 เป็นกระจุกดาวอายุน้อย

พัชรวิภา เพชรรางกูร และ ศิริขวัญ กรกฎ (2558) ได้ศึกษาการหาอายุ ระยะทางของกระจุกดาวเปิด M35 และ M67 ด้วยเทคนิคซีซีดีโฟโตเมทรี โดยได้ทำการสังเกตการณ์ด้วยการถ่ายภาพด้วยซีซีดีโฟโตเมทรี และวิเคราะห์หาค่าโชติมาตรปรากฏ ด้วยเทคนิคซีซีดีโฟโตเมทรี ทำให้ทราบอายุของกระจุกดาวเปิดนั้นๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อายุอายุของกระจุกดาวเปิด M35 มีอายุประมาณ 178 ล้านปี และอายุของกระจุกดาวเปิด M67 มีอายุประมาณ 3 พันล้านปี ซึ่งดาวส่วนใหญ่มีตำแหน่งอยู่ในช่วง ใต้ดาวยักษ์แดงหรือดาวยักษ์แดง

อย่างไรก็ตามจวบจนกระทั่งปัจจุบันกระจุกดาวทรงกลม M3 กระจุกดาวเปิด M35 M44 และ M67 นี้ยังไม่มีนักวิจัยได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม ทำให้ข้อมูลเกี่ยวกับอายุและระยะทางของกระจุกดาวนี้ยังไม่มีข้อมูลการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้ตามทฤษฎีวิวัฒนาการของกระจุกดาวนั้นแสดงให้เห็นว่ากระจุกดาวกลุ่มนี้จะมีวิวัฒนาการที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ดังนั้นผู้วิจัยได้มีความสนใจใน

การที่จะศึกษากระจุกดาวปิด M3 กระจุกดาวเปิด M 44 เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลที่เป็นปัจจุบันของกระจุกดาวดังกล่าวด้วยเทคนิคซีซีดีโฟโตเมทรี แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาทำการเปรียบเทียบกันกับผลการวิจัยที่ผ่านมา



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี