

ชื่อเรื่องงานวิจัย	การหาอัตราส่วนไฮโดรเจนในดาวฤกษ์ลำดับหลัก
ชื่อผู้วิจัย	นายอภิวัฒน์ แก้วพิมาย
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์)
อาจารย์นิเทศ	ผศ. ธนวัฒน์ รุ่งสูงเนิน
สถานประกอบการ	หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา นครราชสีมา
หน่วยงาน	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนของไฮโดรเจน จากสเปกตรัมของดาวฤกษ์แถบลำดับหลัก (Main sequence) เพื่อทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของธาตุ H-beta ต่อ H-alpha โดยมีกระบวนการเก็บข้อมูลคือถ่ายภาพจากซีซีดีสเปกโตรกราฟที่ติดอยู่กับกล้องโทรทรรศน์ ขนาด 0.7 เมตร ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา นครราชสีมา จากนั้นนำชุดข้อมูลที่วิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ดาวฤกษ์ Type O มีอัตราส่วน H-beta ต่อ H-alpha ใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับดาวฤกษ์ Type อื่น ๆ จะพบว่าอัตราส่วนของ H-beta มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ H-alpha ดังนั้น ดาวฤกษ์ที่มีอุณหภูมิสูง จะมีอัตราส่วนของธาตุ H-beta และ H-alpha จะใกล้เคียงกัน แต่ดาวฤกษ์ที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีอัตราส่วนของธาตุ H-beta มากกว่า H-alpha และยังมีข้อมูลของดาวฤกษ์ในบางช่วงมีค่าลดลง ซึ่งเกิดได้จากการวัดค่าในช่วงข้อมูลนั้นเกิดข้อผิดพลาด หรืออาจเป็นเพราะในระหว่างขั้นตอนการถ่ายภาพเกิดข้อผิดพลาด

คำสำคัญ: การจำแนกสเปกตรัม, สเปกโตรมิเตอร์, แถบลำดับหลัก, แฮร์ทสชปรุง-รัสเซลล์,

Title	Determining the Hydrogen intensity ratio in the Main sequence Stars
Researcher	Mr. Aphiwat Kaephimai
Degree	Bachelor of Science (Physics)
Advisor	Asst. Prof. Thanawat Rangsungnoen
Establishment	Regional Observatory for the Public Nakhon Ratchasima
Institute	Nakhon Ratchasima Rajabhat University
Year	2019

Abstract

The objective of this research is to study the ratio of Hydrogen. From the spectrum of the Main sequence stars to analyze the relationship between H-alpha and H-beta. The data collection process is to take a picture from a CCD spectrograph attached to a 0.7-meter telescope at the Regional Observatory for the Public Nakhon Ratchasima. The data set that analyzed the data, found that. Type O stars have a similar H-beta / H-alpha ratio, and when compared to other types of stars, the ratio of H-beta tends to increase compared to H-alpha, therefore High temperature stars. The ratio of H-beta and H-alpha are similar. But stars with low temperatures have a higher ratio of H-beta than H-alpha, and there is also a decrease in some star data. Which is caused by measurement in the data range that has an error Or it may be because during the process of shooting an error.

Keywords: Spectrum classification, Spectrometer, Main sequence, Hertzsprung–Russell

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาจากคณาจารย์ที่ได้ให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ความช่วยเหลือ และความเอาใจใส่อย่างดีจากหลายๆฝ่าย โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยฉบับนี้คือ ผศ.ธนวัฒน์ รังสูงเนิน ในการให้คำปรึกษาในทุกเรื่องเกี่ยวกับงานวิจัย และได้ติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ นายสมานชาญ จันทรเอี่ยม เจ้าหน้าที่สารสนเทศดาราศาสตร์ชำนาญการ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา นครราชสีมา สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและให้คำปรึกษา เกี่ยวกับงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา นครราชสีมา ทุกคนที่ให้คำแนะนำในการในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คณะกรรมการที่เข้าร่วมรับฟังวิจัย ช่วยแนะนำ และให้ความรู้เพิ่มเติมแก่ผู้วิจัยเป็นอย่างดี และขอขอบคุณบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องในการวิจัยและขอขอบคุณทุก ๆ กำลังใจเสมอมาจนกระทั่งงานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	2
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
2.1.1 สเปกตรัม	4
2.1.2 ประเภทของสเปกตรัม	8
2.1.3 องค์ประกอบทางเคมี	9
2.1.4 การเปล่งรังสีของวัตถุดำ	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.5 สเปกตรัมของดาว	11
2.1.6 การจำแนกประเภทดาวฤกษ์	13
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	20
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์และโปรแกรมที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	20
3.1.1 กล้องโทรทรรศน์	20
3.1.2 เครื่องคอมพิวเตอร์	21
3.1.3 โปรแกรม The Sky X	21
3.1.4 โปรแกรม ISIS	22
3.1.5 โปรแกรม Visual Spec	22
3.1.6 โปรแกรม Planewave interface	23
3.1.7 โปรแกรม AudeLA	23
3.2 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล	24
3.2.1 การเลือกดาว	24
3.2.2 การวางแผนเก็บข้อมูล	24
3.2.3 การเก็บข้อมูล	24
3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล	25
3.2.1 ขั้นตอนการ Process ภาพ	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์สเปกตรัม	31
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผล	35
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุปผลการศึกษา	37
5.2 ข้อเสนอแนะ	37
บรรณานุกรม	38
ภาคผนวก	39
ภาคผนวก ก	40
ประวัติผู้วิจัย	41

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจัดประเภทดาวฤกษ์	16
2.2 จำแนกดาวฤกษ์ตามอุณหภูมิและความสว่าง	17
ก.1 แสดงอัตราส่วนของ H-beta ต่อ H-alpha	40

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 สเปกตรัมของแสงอาทิตย์	5
2.2 กฎการแผ่รังสีของเคิร์ชฮอฟ	5
2.3 ตัวอย่างสเปกตรัม	6
2.4 สเปกตรัมของดาวฤกษ์ทั้งเจ็ดประเภท	7
2.5 ผังการทำงานของสเปกโตรมิเตอร์	7
2.6 ตัวอย่างของสเปกตรัมเปล่งแสง	8
2.7 ตัวอย่างสเปกตรัมดูดกลืนแสง	8
2.8 เส้นสเปกตรัมเปล่งแสงของธาตุต่าง ๆ	9
2.9 เส้นสเปกตรัมของวัตถุดำที่อุณหภูมิต่างกัน	10
2.10 ตัวอย่างเส้นสเปกตรัมแสดงแถบการดูดกลืนและเปล่งแสง	11
2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและการแผ่รังสีของแก๊ส	12
2.12 การเคลื่อนที่ของเส้นดูดกลืนในแถบสเปกตรัม	13
2.13 การจำแนกประเภทของดาว	14
2.14 สเปกตรัมดาวฤกษ์แบ่งเป็น 7 ชนิด คือ O, B, A, F, G, K และ M	16
2.15 จำแนกดาวฤกษ์ตามอุณหภูมิและความสว่าง	17
3.1 กล้องโทรทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง ยี่ห้อ Plane Wave / CDK700 ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร	20

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.2 กล้องซีซีดีโฟโตมิเตอร์ (1) และ เครื่องคอมพิวเตอร์ (2)	21
3.3 แสดงโปรแกรม The Sky X	2
3.4 แสดงโปรแกรม ISIS	22
3.5 แสดงโปรแกรม Visual Spec	22
3.6 แสดงโปรแกรม Planewave interface	23
3.7 แสดงโปรแกรม AudeLA	23
3.8 เปลี่ยนภาษาพื้นฐานในโปรแกรม isis	25
3.9 การตั้งค่าในแถบเมนูบาร์ setting ในโปรแกรม isis	26
3.10 การตั้งค่าในแถบเมนูบาร์ Instruments ในฟังก์ชัน Setup	26
3.11 การเปลี่ยนชื่อไฟล์ในฟังก์ชัน rename	27
3.12 ขั้นตอนการเปลี่ยนชื่อไฟล์	28
3.13 ขั้นตอนการ Master ไฟล์ BIAS และ dark	28
3.14 ขั้นตอนการ Calibration และ Automatic Calibration image Processing	29
3.15 ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพถ่าย	30
3.16 ขั้นตอนการตรวจสอบภาพถ่ายหลังจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม	30
3.17 ขั้นตอนการ Normalize ภาพถ่ายหลังจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม	31

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.18 ขั้นตอนการเปิดไฟล์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Visual Spec	32
3.19 ขั้นตอนการเปิดไฟล์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Visual Spec (2)	32
3.20 การบอกความยาวคลื่นในหน่วย Å (Angstrom) ในโปรแกรม visual spec	33
3.21 การลดทอนอัตราส่วนของกราฟสเปกตรัม	33
3.22 การลากขอบเขตการคำนวณความลึกของกราฟ	34
3.23 รายละเอียดการคำนวณของโปรแกรม	34
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของสเปกตรัม กับอัตราส่วน H-beta ต่อ H-alpha	36

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันการแบ่งลำดับดาวฤกษ์เป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังส่องสว่างสัมบูรณ์ (Absolute magnitude) หรือ ความสว่าง (luminosities) เทียบกับประเภทสเปกตรัมหรือ อุณหภูมิของดาว นอกจากนั้นยังมีสเกลแสดงขนาดรัศมีของดาวฤกษ์ตั้งแต่ 0.001 เท่าของดวงอาทิตย์ จนถึง 1,000 เท่าของดวงอาทิตย์ โดยประชากรดาวส่วนใหญ่เรียงตัวจากมุมบนซ้าย มายังมุมล่างขวาของแผนภาพเรียกว่า แถบลำดับหลัก (Main sequence) ดาวที่อยู่ด้านบนขวา ของแถบลำดับหลักเป็นดาวที่มีขนาดใหญ่และมีกำลังส่องสว่างมาก เรียกว่า ดาวยักษ์ (Giants) และดาวยักษ์ใหญ่ (Super giants) ส่วนดาวที่อยู่ด้านล่างของแถบลำดับหลักเป็นดาวที่มีขนาดเล็ก และมีกำลังส่องสว่างน้อย เรียกว่า ดาวแคระ (Dwarfs) ซึ่งไดอะแกรมชนิดนี้มักถูกเรียกว่า แผนภาพ Hertzsprung – Russell ซึ่งแผนภาพดังกล่าวมีความสำคัญต่อการศึกษาวิวัฒนาการ ของดาวฤกษ์ เพราะเมื่อเข้าสู่ปลายวัฏจักร คุณสมบัติทางกายภาพบางอย่าง เช่น ขนาด อุณหภูมิ กำลังส่องสว่าง และความยาวคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงไป ตำแหน่งของดาวที่พล็อตลงบนแผนภาพ ก็จะเปลี่ยนไป

จากการศึกษาภาพถ่ายสเปกตรัมของดาวในแถบลำดับหลัก (main sequence) จะพบว่าเส้นสเปกตรัมของธาตุไฮโดรเจนที่เห็นได้ชัดเจน จำนวน 4 เส้น ได้แก่ เส้นความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร, 434 นาโนเมตร, 486 นาโนเมตร และ 656 นาโนเมตร อันเกิดจากการดูดซับ พลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมของไฮโดรเจน และเปลี่ยนระดับพลังงานจากการขึ้นที่ 2 ไป เป็นชั้นที่ 3 ทำให้เกิดเส้นสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 656 nm (H-alpha) และเปลี่ยนระดับ พลังงานจากการขึ้นที่ 3 ไปเป็นชั้นที่ 4, 5 และ 6 ทำให้เกิดเส้นสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 486nm (H-beta), 434 nm (H-gamma) และ 410 nm (H-delta) ตามลำดับ ซึ่งเป็นแสง ในช่วงคลื่นตามองเห็น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาอัตราส่วนของไฮโดรเจน โดยในการศึกษารั้งนี้ จะ เลือกดาวฤกษ์ที่อยู่แถบลำดับหลัก (main sequence) เพื่อมาศึกษาว่าค่าความเข้มของ H-beta และ H-alpha จะมีความสัมพันธ์เป็นอย่างไร เพื่อที่จะได้รู้ถึงคุณสมบัติทางกายภาพของดาวฤกษ์ ซึ่งได้แก่ ขนาด อุณหภูมิ พลังงาน กำลังส่องสว่าง ความยาวคลื่น องค์ประกอบทางเคมี ความเร็ว และทิศทางการเคลื่อนที่ รวมไปถึงวิวัฒนาการของดาวฤกษ์นั้น ๆ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนความเข้มของไฮโดรเจนดาวฤกษ์ที่อยู่ในดาวฤกษ์แถบลำดับหลัก (main sequence)

1.2.2 เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลทางดาราศาสตร์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 เป็นการวิเคราะห์หาความเข้มของไฮโดรเจนดาวฤกษ์ที่อยู่ในดาวฤกษ์แถบลำดับหลัก (main sequence)

1.3.2 เก็บข้อมูลภาพถ่าย ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา นครราชสีมา สถาบันวิจัยดาราศาสตร์ (องค์การมหาชน) กระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม โดยถ่ายภาพสเปกตรัมของดาวฤกษ์ จากซีซีดีสเปกโตรกราฟที่ต่อกับกล้องโทรทรรศน์กล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร และมีระบบตามดาวอัตโนมัติ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1.4.1 องค์ความรู้และเทคนิควิธีการในถ่ายภาพทางดาราศาสตร์

1.4.2 เพื่อเพิ่มผลงานวิจัยด้านดาราศาสตร์ และใช้เป็นฐานข้อมูลทางดาราศาสตร์

1.4.3 ได้เผยแพร่ผลงานวิจัย อีกทั้งยังเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมต่อไป

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

การจำแนกสเปกตรัม เป็นวิธีการประเมินลักษณะทางกายภาพของดวงดาวโดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติของสเปกตรัมซึ่งมีเส้นสเปกตรัมที่แตกต่างกันตามอุณหภูมิและก๊าซที่มีในดาวฤกษ์ โดยแบ่งสเปกตรัมของดาวฤกษ์เป็น 7 ชนิดหลัก ๆ คือ O, B, A, F, G, K และ M

สเปกโตรมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานโดยใช้เลนส์ของกล้องโทรทรรศน์ (Primary lens) รวมแสงของวัตถุให้ตกผ่านช่องแคบ ๆ (Slit) เพื่อบังคับให้เป็นแถบแสงผ่านเข้าสู่แผ่นเกรตติง (Diffraction grating) ซึ่งเป็นพื้นผิวที่มีลักษณะเป็นร่องสามเหลี่ยมคล้ายสันของปริซึมจำนวนมากเรียงขนานกันเป็นแถว เพื่อหักเหแสงให้เกิดสเปกตรัม แล้วทำการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องวัด (Detector) หรืออุปกรณ์บันทึกภาพ CCD

แถบลำดับหลัก (main sequence) คือ ขนาดของดาวฤกษ์ขึ้นอยู่กับแรงดันแก๊สร้อนซึ่งดันออกจากแกนกลางสู่พื้นผิว และมวลของดาวซึ่งทำให้เกิดแรงโน้มถ่วง หากอัตราการเกิดฟิว

ชั้นสูงเกินไป แก๊สที่แก่นกลางจะดันดาวให้ขยายตัวออก เมื่อแก๊สขยายตัวอุณหภูมิจะลดต่ำลง (ตามกฎของแก๊ส) ทำให้อัตราการเกิดฟิวชันลดลงด้วย ในทางกลับกันหากอัตราการเกิดฟิวชันต่ำเกินไป แก๊สที่แก่นกลางจะเย็นตัวลง แรงดันแก๊สลดลง เนื้อสารของดาวยุบตัวลงมา ทำให้เกิดความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น เพิ่มอัตราการเกิดฟิวชันให้สูงขึ้น ระบบกลไกนี้ช่วยรักษาสมดุลของดาวฤกษ์ ให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาฟิวชันคงที่สม่ำเสมอเกือบตลอดทั้งชีวิตของดาว

Hertzsprung–Russell บางครั้งเรียกว่า H-R Diagram เป็นแผนภาพคู่ลำดับระหว่างสีของดาวฤกษ์กับความสว่างของดาว (Colour-Magnitude Diagram เรียกว่า CMD) ซึ่งแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความส่องสว่างสัมบูรณ์ ความส่องสว่าง ประเภทของดาวฤกษ์ และอุณหภูมิของดาวฤกษ์ แผนภาพสร้างขึ้นในช่วงคริสต์ทศวรรษ 1910 โดย เอจเนร์ แฮร์ทสชปรุง และ เฮนรี นอร์ริส รัสเซลล์ ได้ส่งผลกระทบอย่างใหญ่หลวงต่อการศึกษาทำความเข้าใจวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ หรือ ช่วงชีวิตของดาวฤกษ์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและหาข้อมูลเกี่ยวกับดาวฤกษ์ เพื่อใช้ประกอบการวิจัย อีกทั้งยังศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการทำงานวิจัย และเป็นการศึกษาความรู้เพิ่มเติม ซึ่งได้นำเสนอตามหัวข้อดังนี้

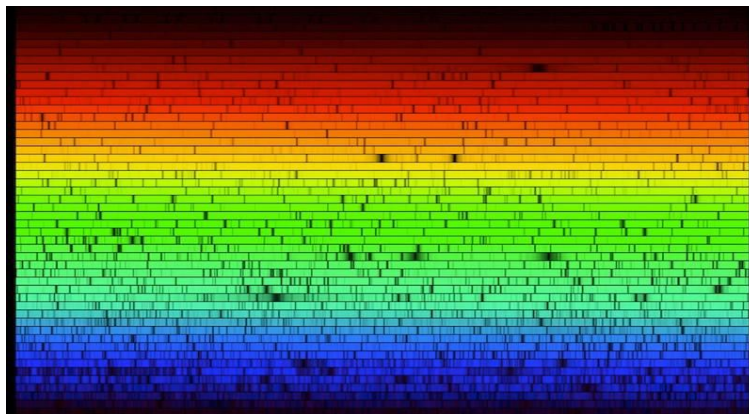
2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 สเปกตรัม

นักดาราศาสตร์ทำการศึกษาวัตถุท้องฟ้า โดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัตถุแผ่รังสีออกมา การวิเคราะห์สเปกตรัมทำให้เราทราบถึง คุณสมบัติทางกายภาพซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ พลังงาน องค์ประกอบทางเคมี รวมทั้งความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ อย่างไรก็ตามในการศึกษาสเปกตรัม สิ่งแรกที่เราจะต้องทำความรู้จักคือ นิยามของวัตถุดำ

วัตถุดำ (Blackbody) ไม่ได้หมายถึงวัตถุสีดำ แต่เป็นวัตถุในอุดมคติ (Ideal) ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดกลืนรังสีทุกชนิด มันจึงไม่สามารถสะท้อนแสงได้ อย่างไรก็ตามวัตถุดำจะแผ่รังสีออกจากตัวของมันเอง เมื่อรังสีถูกหักเหด้วยแท่งแก้วปริซึมหรือแผ่นเกรตติ้ง ก็จะทำให้แถบสเปกตรัมต่อเนื่อง วัตถุที่มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับวัตถุดำได้แก่ โลหะไส้หลอดสุญญากาศ เป็นต้น

ในปี ค.ศ.1672 เซอร์ไอแซค นิวตัน ได้ทำการทดลองโดยใช้แท่งแก้วปริซึมหักเหแสงอาทิตย์ ให้แยกออกเป็นแถบแสงสีรุ้ง ซึ่งเรียกว่า "สเปกตรัม" ต่อมาในปี ค.ศ.1814 โจเซฟ ฟอน ฟรังก์โฮเฟอร์ นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ได้ทำการทดลองซ้ำโดยใช้แผ่นเกรตติ้งแทนแท่งแก้วปริซึมหักเหแสงอาทิตย์ เขาพบเส้นมืดปรากฏบนแถบสเปกตรัมมากกว่า 600 เส้น ดังภาพที่ 1 (ในปัจจุบันตรวจพบมากกว่า 30,000 เส้น) นักเคมีในยุคต่อมาเรียกเส้นมืดเหล่านี้ว่า เส้นดูดกลืน (Absorption lines) ธาตุแต่ละชนิดทำให้เกิดเส้นดูดกลืนที่แตกต่างกัน

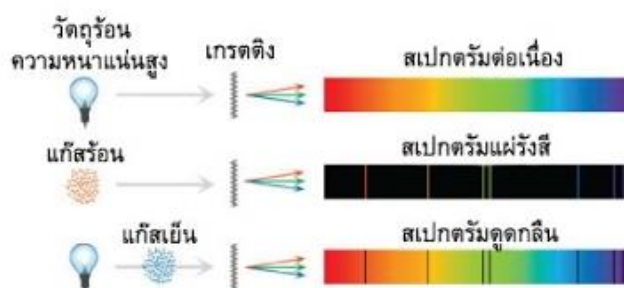


ภาพที่ 2.1 สเปกตรัมของแสงอาทิตย์

(ที่มา : สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). ออนไลน์. 2563)

ปี ค.ศ.1859 โรเบิร์ต บุนเซน และ กุสตาฟ เคิร์ชฮอฟ นักเคมีชาวเยอรมัน ได้ทำการทดลองเผาแก๊สร้อน แล้วพบว่า แสงจากแก๊สร้อนทำให้เกิดเส้นสว่างบนแถบสเปกตรัม สเปกตรัมของแก๊สแต่ละชนิดมีจำนวนและตำแหน่งของเส้นสว่างแตกต่างกัน เราเรียกเส้นสว่างนี้ว่า “เส้นแผ่รังสี” (Emission lines) ในเวลาต่อมา เคิร์ชฮอฟ ได้ค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างเส้นดูดกลืนและเส้นแผ่รังสี ตามกฎของเคิร์ชฮอฟ (Kirchhoff’s laws) ดังนี้

1. การแผ่รังสีของวัตถุดำ ทำให้เกิดสเปกตรัมต่อเนื่อง (Continuous spectrum)
2. การแผ่รังสีของแก๊สร้อน ทำให้เกิดสเปกตรัมแผ่รังสี (Emission spectrum) ปรากฏเป็นเส้นสีสว่างบนแถบมืด
3. แก๊สเย็นขวางกั้นการแผ่รังสีจากวัตถุดำ ทำให้เกิดสเปกตรัมดูดกลืน (Absorption spectrum) ปรากฏเป็นเส้นมืดบนแถบสีรุ้ง ดังภาพที่ 2.2

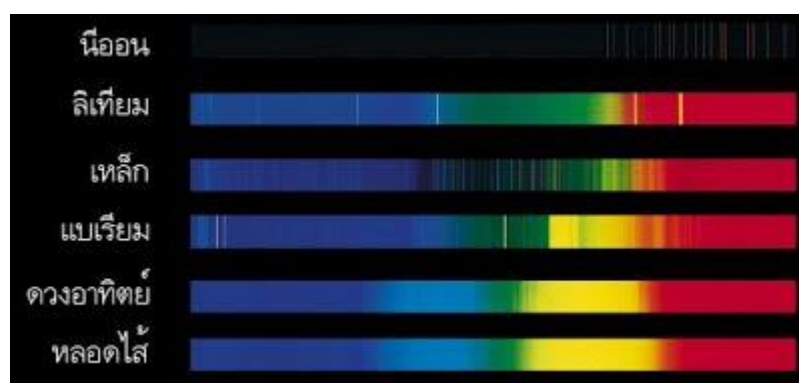


ภาพที่ 2.2 กฎการแผ่รังสีของเคิร์ชฮอฟ

(ที่มา : สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). ออนไลน์. 2563)

สเปกตรัมที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีของสสารแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะตัว ดังตัวอย่างในภาพที่ 3 เส้นสเปกตรัมที่เกิดขึ้นจากธาตุแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไม่ซ้ำกันเลย ทำนองเดียวกับเส้นลายมือของมนุษย์ ถ้าเราทราบข้อมูลสเปกตรัมของวัตถุต้นกำเนิด เราก็จะสามารถวิเคราะห์ได้ว่า วัตถุนั้นมีองค์ประกอบเป็นธาตุอะไร

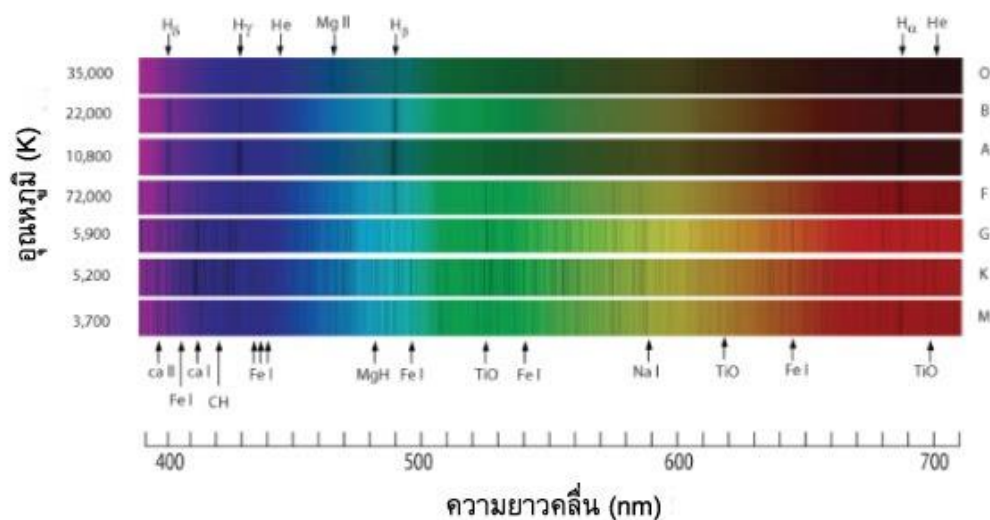
- วัตถุที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวัตถุดำ เช่น โลหะไส้หลอดไฟฟ้า แผ่รังสีทำให้เกิดสเปกตรัมต่อเนื่อง
- กลุ่มแก๊ส เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ เนบิวลา โคมาของดาวหาง แผ่รังสีทำให้เกิดสเปกตรัมแผ่รังสี
- วัตถุที่มีแก๊สหรือบรรยากาศห่อหุ้ม เช่น ดวงอาทิตย์ ดาวฤกษ์ แผ่รังสีทำให้เกิดสเปกตรัมดูดกลืน



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างสเปกตรัม

(ที่มา : สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). ออนไลน์. 2563)

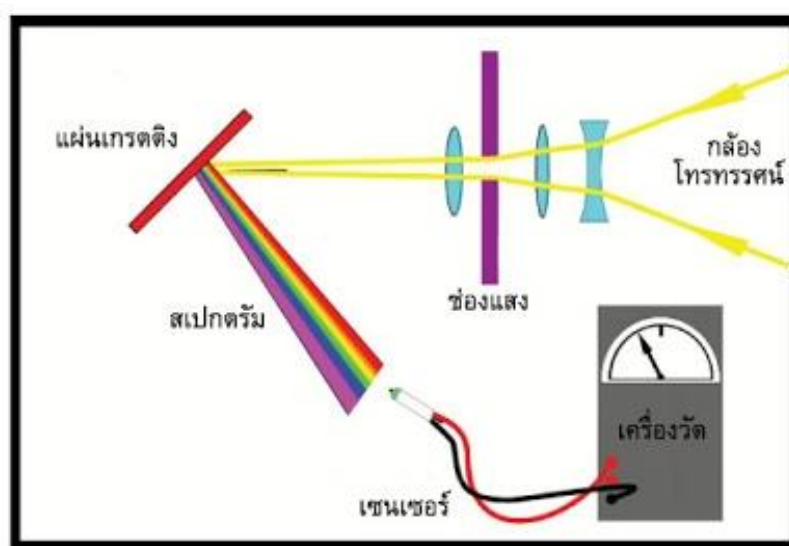
ในการศึกษาองค์ประกอบของดาวฤกษ์ด้วยการวิเคราะห์สเปกตรัม นักดาราศาสตร์แบ่งสเปกตรัมของดาวฤกษ์ออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ ดาวประเภท O, B, A, F, G, K และ M ดาวฤกษ์ชนิด O เป็นดาวฤกษ์มีอุณหภูมิสูงถึง 35,000 K ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ชนิด G มีอุณหภูมิสูง 5,800 K ส่วนดาวฤกษ์ชนิด M เป็นดาวฤกษ์มีอุณหภูมิต่ำเพียง 3,500 K เราจะเห็นได้ว่าสเปกตรัมของดาวฤกษ์แต่ละประเภทจะมีเส้นดูดกลืนสีดำ ซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบในบรรยากาศที่ห่อหุ้มดาวต่าง ๆ กัน เส้นดูดกลืนของสเปกตรัม O ส่วนใหญ่เกิดจากการดูดกลืนของอะตอมไฮโดรเจนและฮีเลียม ส่วนเส้นดูดกลืนของดาว K เกิดจากการดูดกลืนของธาตุหนักหลายชนิด นอกจากนั้นยังพบเส้นดูดกลืนของโมเลกุลอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากอุณหภูมิต่ำพอที่อะตอมสามารถจับตัวกันเป็นโมเลกุล เช่น ไททาเนียมออกไซด์ (TiO) เป็นต้น



ภาพที่ 2.4 สเปกตรัมของดาวฤกษ์ทั้งเจ็ดประเภท

(ที่มา : สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). ออนไลน์. 2563)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาสเปกตรัมเรียกว่า สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ทำงานโดยใช้เลนส์ของกล้องโทรทรรศน์ (Primary lens) รวมแสงของวัตถุให้ตกผ่านช่องแคบๆ (Slit) เพื่อบังคับให้เป็นแถบแสงผ่านเข้าสู่แผ่นเกรตติง (Diffraction grating) แล้วทำการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องวัด (Detector) หรืออุปกรณ์บันทึกภาพ CCD

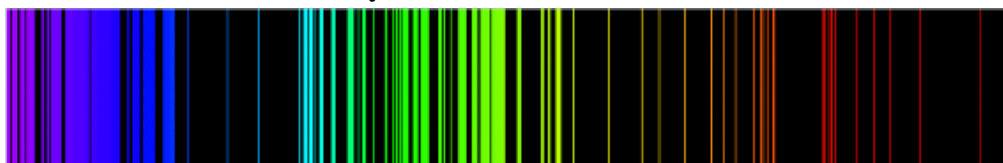


ภาพที่ 2.5 ผังการทำงานของสเปกโตรมิเตอร์

(ที่มา : สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). ออนไลน์. 2563)

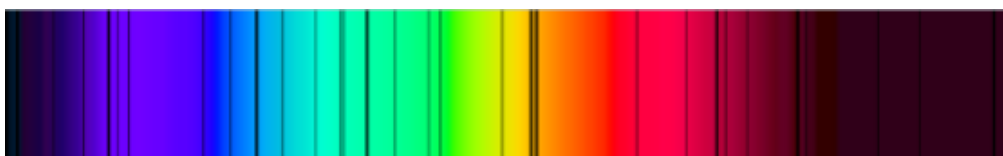
2.1.2 ประเภทของสเปกตรัม

โดยทั่วไปจะมีเส้นสเปกตรัมสองแบบที่สามารถจำแนกได้โดยง่าย นั่นคือ สเปกตรัมเปล่งแสง และสเปกตรัมดูดกลืนแสง



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างของสเปกตรัมเปล่งแสง

(ที่มา : มนุษย์กับวิทยาศาสตร์กายภาพ ตอนคลื่นแสงและทฤษฎีควอนตัม. ออนไลน์. 2563)



ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างสเปกตรัมดูดกลืนแสง

(ที่มา : มนุษย์กับวิทยาศาสตร์กายภาพ ตอนคลื่นแสงและทฤษฎีควอนตัม. ออนไลน์. 2563)

2.1.2.1 สเปกตรัมเปล่งแสง

สเปกตรัมเปล่งแสงเกิดขึ้นเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกกำเนิดขึ้นจากกลุ่มก้อนแก๊สที่มีอุณหภูมิสูง (เมื่อเทียบกับบริเวณรอบข้าง) จากอุณหภูมิที่สูงในก้อนแก๊สร้อน อะตอมภายในจะมีพลังงานเป็นจำนวนมาก และอิเล็กตรอนจะอยู่ในสถานะที่ถูกกระตุ้นรอบ ๆ นิวเคลียส อิเล็กตรอนเหล่านี้จะสูญเสียพลังงานและตกลงมาในสถานะที่มีพลังงานต่ำกว่า และพลังงานที่สูญเสียไปจะถูกเปลี่ยนไปเป็นโฟตอนที่ความยาวคลื่นค่าหนึ่งกระบวนการเหล่านี้ ทำให้เกิดแถบสว่างขึ้นบนสเปกตรัม-เส้นสเปกตรัมเปล่งแสง

2.1.2.2 สเปกตรัมดูดกลืนแสง

สเปกตรัมดูดกลืนแสงเกิดขึ้นเวลาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดาวเบื้องหลังผ่านก้อนแก๊สที่เย็นกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นเฉพาะค่าหนึ่ง ถูกดูดกลืนโดยอะตอมในแก๊สที่เย็น ทำให้อิเล็กตรอนได้รับพลังงานและเลื่อนขึ้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้น อิเล็กตรอนเหล่านี้ สูญเสียพลังงานและปล่อยโฟตอนกลับมาในความยาวคลื่นเดิม อย่างไรก็ตาม ทิศทางของแสงที่ปล่อยออกมาเกิดขึ้นแบบสุ่ม และนี่ทำให้ปรากฏมาเป็นแถบมืด (หรือแสงที่หายไป) ในสเปกตรัม สอดคล้องกับความยาวคลื่นที่ถูกดูดกลืนไปโดยแก๊ส เส้นเหล่านี้เรียกว่า เส้นสเปกตรัมดูดกลืน

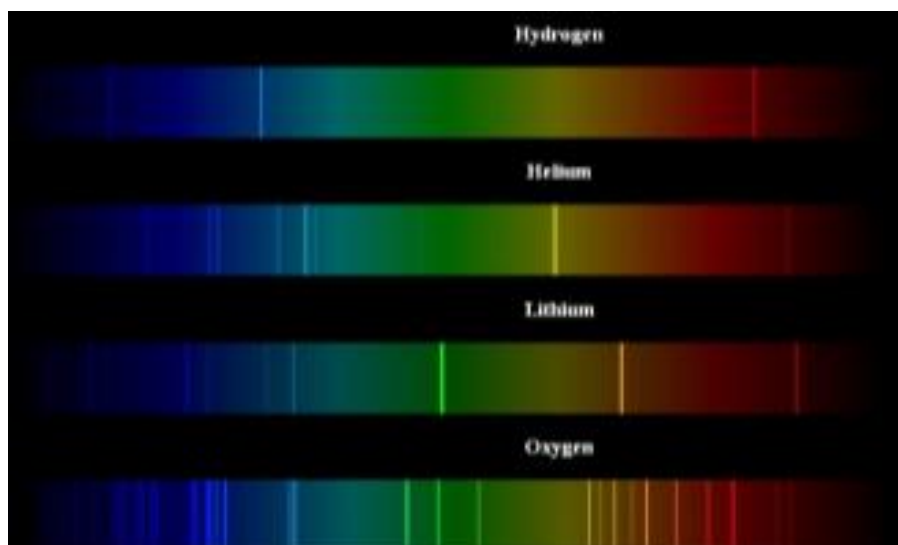
แสง นักดาราศาสตร์ใช้เส้นสเปกตรัมดูดกลืนแสงในการศึกษาดาวฤกษ์อยู่เสมอ

การศึกษาเส้นสเปกตรัมดูดกลืนแสงอย่างละเอียด ทำให้นักดาราศาสตร์สามารถเรียนรู้อะไรหลายอย่างเกี่ยวกับดาวฤกษ์ เช่น อุณหภูมิ ความเร็วในการหมุน ความเร็วในแนวสายตา (การเคลื่อนที่ของดาวฤกษ์เข้าหาหรือออกจากผู้สังเกต) ความหนาแน่น องค์ประกอบทางเคมี ความเป็นโลหะ (ดาวฤกษ์มีธาตุหนักอยู่มกน้อยเพียงใด)

2.1.3 องค์ประกอบทางเคมี

ธาตุแต่ละธาตุและโมเลกุลจะดูดกลืนและเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันออกไป เราสามารถศึกษาสเปกตรัมได้ว่าธาตุใดทำให้เกิดเส้นสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ ดังนั้น ทำให้เราสามารถศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุที่กำลังศึกษาได้

การวิเคราะห์สเปกตรัมของดาวอาทิตย์ ทำให้เราค้นพบธาตุฮีเลียม ก่อนที่เราจะพบธาตุนี้บนโลก



ภาพที่ 2.8 เส้นสเปกตรัมเปล่งแสงของธาตุต่าง ๆ

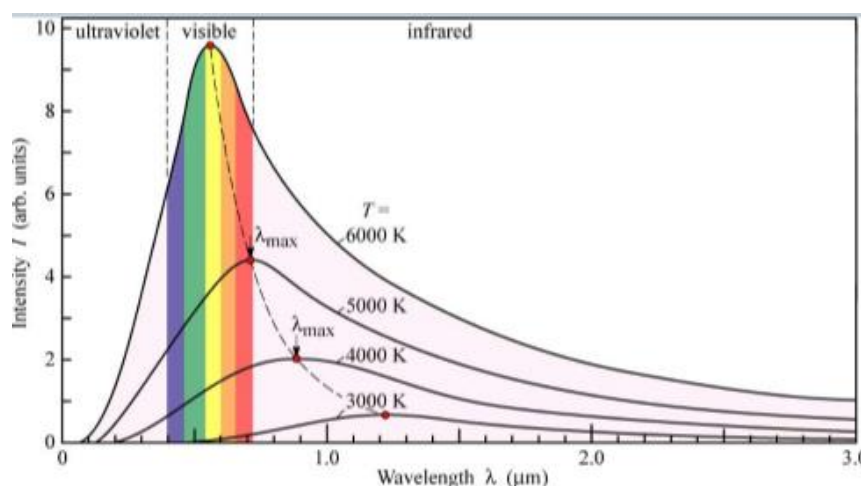
(ที่มา : มนุษย์กับวิทยาศาสตร์กายภาพ ตอนคลื่นแสงและทฤษฎีควอนตัม. ออนไลน์. 2563)

2.1.4 การเปล่งรังสีของวัตถุดำ

ก่อนที่จะเราไปศึกษาสเปกตรัมเราจำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเปล่งแสงของวัตถุดำเสียก่อน ดาวฤกษ์ทุกดวงประกอบขึ้นจากใจกลางที่ร้อน และเปลือกชั้นนอกหรือชั้นบรรยากาศที่เย็นกว่า ใจกลางของดาวฤกษ์ทำให้เกิดเส้นสเปกตรัมต่อเนื่อง เรียกว่าสเปกตรัมของวัตถุดำ ถ้าไม่มีการดูดกลืนแสงหรือเปล่งแสงจากชั้นบรรยากาศรอบนอก สเปกตรัมของดาวฤกษ์จะมีลักษณะใกล้เคียงกับสเปกตรัมของวัตถุดำบริสุทธิ์

สเปกตรัมของวัตถุดำจะแสดงถึงการกระจายความเข้มของการแผ่รังสีที่เปล่งออกมาในทุกความยาวคลื่น โลหะที่เปล่งแสงสีแดงในเตาเผาเป็นตัวอย่างหนึ่งของการเปล่งแสงของวัตถุดำ รูปร่างของสเปกตรัมวัตถุดำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุ

วัตถุที่อุณหภูมิอุ่นกว่า จะมีสเปกตรัมที่ยืดออกในความยาวคลื่นที่สั้นกว่า ในขณะที่วัตถุที่เย็นกว่าจะมีสเปกตรัมวัตถุดำที่มียอดอยู่ในช่วงที่ความยาวคลื่นยาวกว่า



ภาพที่ 2.9 เส้นสเปกตรัมของวัตถุดำที่อุณหภูมิต่างกัน

(ที่มา : มนุษย์กับวิทยาศาสตร์กายภาพ ตอนคลื่นแสงและทฤษฎีควอนตัม. ออนไลน์. 2563)

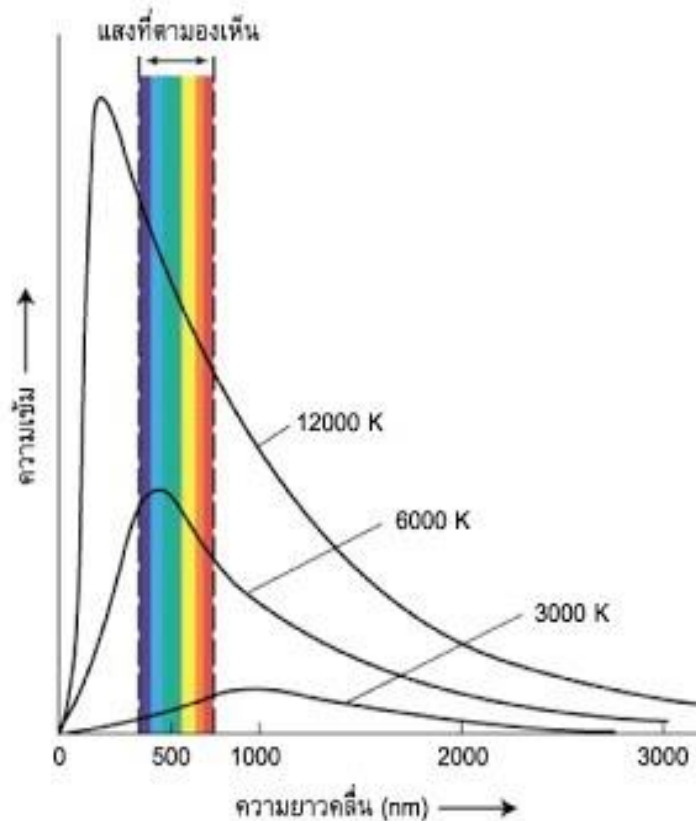
ในความเป็นจริงแล้วสเปกตรัมที่วัดนั้นไม่เคยเป็นสเปกตรัมวัตถุดำที่ราบเรียบเนื่องจากสเปกตรัมดูดกลืนแสงและเปล่งแสง ส่วนที่สเปกตรัมตกลงไป (ลดต่ำลงกว่าสเปกตรัมของวัตถุดำ) แสดงถึงเส้นสเปกตรัมการดูดกลืนแสง ส่วนที่สเปกตรัมสูงขึ้นมา (สูงกว่าสเปกตรัมของวัตถุดำ) แสดงถึงเส้นสเปกตรัมการเปล่งแสง

(ที่มา : มนุษย์กับวิทยาศาสตร์กายภาพ ตอนคลื่นแสงและทฤษฎีควอนตัม. ออนไลน์.
2563)

เราเรียกกรรมวิธีที่นักดาราศาสตร์ศึกษาดาวฤกษ์โดยการสังเกตจากสเปกตรัมของดาวว่า "สเปกโตรสโคปี" (Spectroscopy) โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ต่อพ่วงกับกล้องโทรทรรศน์เพื่อรวมแสงดาวเข้ามาผ่านเกรตติงเพื่อแยกแสงดาวออกเป็นสเปกตรัมช่วงคลื่นต่าง ๆ แล้วบันทึกภาพด้วยอุปกรณ์บันทึกภาพ CCD สเปกตรัมจะบอกสมบัติของดาว 3 ประการคือ อุณหภูมิพื้นผิว องค์ประกอบทางเคมีของบรรยากาศ และทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวซึ่งสัมพันธ์กับโลก

นักดาราศาสตร์ศึกษาอุณหภูมิพื้นผิวของดาวฤกษ์ได้จากสเปกตรัมที่ดาวแผ่รังสีออกมา โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นเข้มสุดที่ดาวแผ่รังสีออกมา (λ_{max}) กับอุณหภูมิพื้นผิว (T) ตามกฎการแผ่รังสีของวิน $\lambda_{\text{max}} = 0.0029/T$ ซึ่งอธิบายอย่างสั้นๆ ว่า "ความยาวคลื่นของรังสีเข้มสุดที่ดาวแผ่ออกมา แปรผกผันกับอุณหภูมิพื้นผิวของดาว" ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ดาวฤกษ์ที่แผ่รังสีเข้มสุดเป็นรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 250 nm มีอุณหภูมิพื้นผิว 12,000 K ดาวฤกษ์ที่แผ่รังสีเข้มสุดในช่วงแสงที่ตามองเห็นที่มีความยาวคลื่น 500

nm มีอุณหภูมิพื้นผิว 6,000 K และดาวฤกษ์ที่แผ่รังสีเข้มสุดเป็นรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 1,000 nm มีอุณหภูมิพื้นผิว 3,000 K ตามลำดับ



ภาพที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและการแผ่รังสีของแก๊ส

(ที่มา : สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). ออนไลน์. 2563)

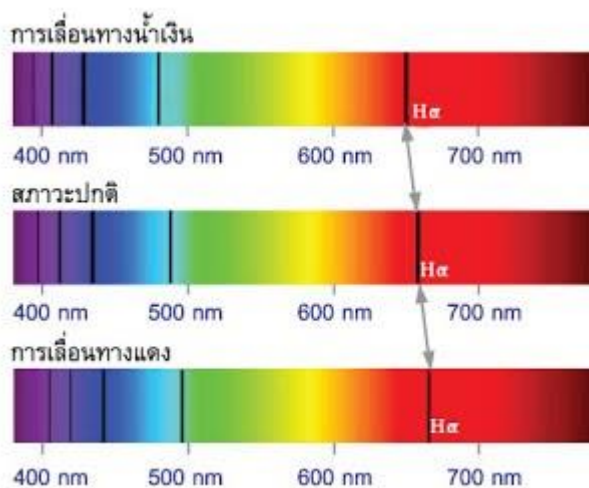
ทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวฤกษ์

นักดาราศาสตร์ศึกษาทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวฤกษ์ที่สัมพันธ์กับโลก โดยอาศัยปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ ในภาพที่ 3 แสดงสเปกตรัม 3 แบบ ได้แก่

สเปกตรัมของดาวฤกษ์ในสภาวะปกติแสดงอยู่ตรงกลาง มีเส้นดูดกลืนรังสีซึ่งเกิดจากการยกตัวของอิเล็กตรอนในวงโคจรของอิเล็กตรอนในอะตอมของธาตุไฮโดรเจน จากชั้นที่ 2 ไปยังชั้นที่ 6, 5, 4, 3 ทำให้เกิดเส้นสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่น 410 nm (H-delta), 434 nm (H-gamma), 486nm (H-beta), 656 nm (H-alpha) ตามลำดับ เรียกว่า บาลเมอร์ซีรีส์

การเลื่อนทางน้ำเงิน (Blueshift) ซึ่งแสดงในแถบล่าง เกิดขึ้นเมื่อดาวเคลื่อนที่ในทิศทางเข้าหาโลก ทำให้เราสังเกตเห็นความยาวคลื่นสั้นกว่าความเป็นจริง เส้นดูดกลืนรังสีทั้งสี่เส้นจึงเคลื่อนที่ไปทางด้านสีม่วง

การเลื่อนทางแดง (Redshift) ซึ่งแสดงในแถบบน เกิดขึ้นเมื่อดาวเคลื่อนที่ในทิศทางออกห่างจากโลก ทำให้เราสังเกตเห็นความยาวคลื่นมากกว่าความเป็นจริง เส้นดูดกลืนรังสีทั้งสี่เส้นจึงเคลื่อนที่ไปทางด้านสีแดง



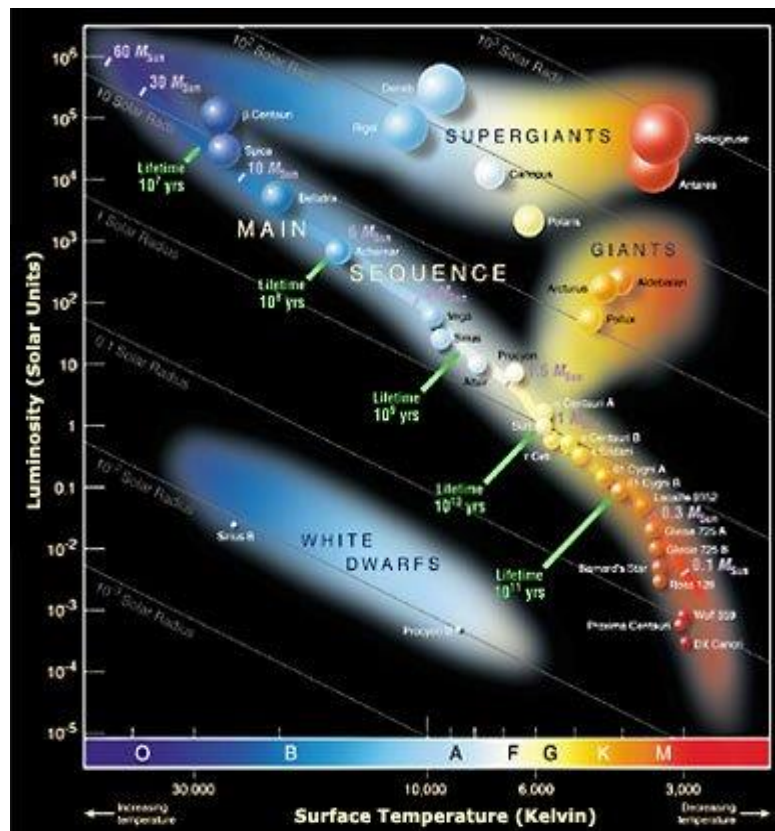
ภาพที่ 2.12 การเคลื่อนที่ของเส้นดูดกลืนในแถบสเปกตรัม

(ที่มา : สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). ออนไลน์. 2563)

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์บอกค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ของดาวฤกษ์ได้เป็นการเคลื่อนที่เชิงเรเดีย (Radial velocity) อย่างไรก็ตามปรากฏการณ์ดอปเพลอร์จะเกิดขึ้นต่อเมื่อมีการเคลื่อนที่ในแนวสายตาเท่านั้น (เคลื่อนที่เข้าหาหรือออกจากผู้สังเกตการณ์) แต่ถ้าดาวเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับสายตา ก็จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ของเส้นดูดกลืนในแถบสเปกตรัม

2.1.6 การจำแนกประเภทดาวฤกษ์

ในวิชาดาราศาสตร์แบ่งประเภทของดาวฤกษ์ตามลักษณะพื้นฐาน 2 อย่าง คือ อุณหภูมิแสงและคุณสมบัติทางสเปกตรัม ดังนั้นจึงเก็บข้อมูลดาวฤกษ์หลายๆดวง แล้วนำมาเขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการส่องสว่างกับอุณหภูมิ หรือเรียกว่า H-R diagram ที่แบ่งขนาดของดาวตามกำลังการส่องสว่าง และสีของดาวตามอุณหภูมิ



ภาพที่ 2.13 การจำแนกประเภทของดาว

(ที่มา <http://www.aw-bc.com/info/bennett/images/hrdiagram.jpg>)

จากแผนภาพจะเห็นได้ว่าขนาดของดาวฤกษ์จะเรียงตามกำลังส่องสว่าง สีของดาวจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ส่วนใหญ่ดาวฤกษ์จะอยู่ในแถบลำดับหลัก (main sequence) ซึ่งเป็นช่วงอายุตามปกติในวิวัฒนาการดาวฤกษ์ ส่วนแขนงที่แยกออกมานอกแถบกระบวนหลักเป็นขนาดที่ผิดไปจากปกติ ดาวฤกษ์สีน้ำเงินขนาดใหญ่เกิดจากการก่อตัวด้วยมวลมากจึงทำให้มีขนาดใหญ่กว่า Super giant ดาวฤกษ์สีแดงขนาดใหญ่เป็นช่วงสุดท้ายของอายุ เกิดจากการขยายตัวของก๊าซเมื่อปฏิกิริยานิวเคลียร์ภายในแกนกลางมากกว่าแรงโน้มถ่วงจึงผลักดันให้ขยายตัวใหญ่กว่าปกติมากเรียกว่า Red giant ส่วนดาวฤกษ์ขนาดเล็กมากจะเป็นช่วงที่ต่อการขยายตัวจนแกนกลางหยุดผลักดัน ดาวจึงยุบตัวอย่างรวดเร็วด้วยแรงโน้มถ่วง ทำให้มวลสารอัดแน่นจนเหลือขนาดเล็กมากเรียกว่า White dwarf หรือดาวแคระขาว เป็นต้น

การจำแนกดาวฤกษ์ตามชนิดสเปกตรัม จะแบ่งเป็น 7 ชนิด โดยมี 2 วิธีที่ใช้ประกอบกัน คือ Harvard classification และ Yerkes classification

แบบ Harvard แบ่งสเปกตรัมของดาวฤกษ์เป็น 7 ชนิดหลักๆ คือ O, B, A, F, G, K, M การจำแนกสเปกตรัมมีวิธีการประเมินลักษณะทางกายภาพของดวงดาวโดยการเปรียบเทียบ

คุณสมบัติของสเปกตรัมซึ่งมีเส้นสเปกตรัมที่แตกต่างกันตามอุณหภูมิและก๊าซที่มีในดาวฤกษ์ ความแตกต่างของสเปกตรัมสะท้อนความแตกต่างของอุณหภูมิของบรรยากาศเป็นหลัก และการจำแนกสเปกตรัมเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับความเข้าใจฟิสิกส์ของดาวฤกษ์

- ชนิด O เป็นดาวฤกษ์สีน้ำเงินที่มีกำลังส่องสว่างและอุณหภูมิสูงมากประมาณ 30,000-60,000 เคลวิน แผ่รังสีในช่วงอัลตราไวโอเล็ต ดูดกลืนความยาวคลื่นของก๊าซฮีเลียมได้ดี แต่มีเส้นไฮโดรเจนที่อ่อนมากเพราะมีแกนกลางร้อนมากจึงเผาไหม้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนผ่านได้อย่างรวดเร็วและเป็นดาวแรกๆ ที่ออกจากกระบวนหลัก จำนวนดาวฤกษ์ชนิด O คิดเป็น 1 ใน 3,000,000 ของดาวในลำดับหลัก

- ชนิด B เป็นดาวฤกษ์สีฟ้าที่มีก๊าซไฮโดรเจนห่อหุ้มรอบ ๆ ดาว อุณหภูมิประมาณ 10,000-30,000 เคลวิน ดูดกลืนไฮโดรเจนระดับปานกลาง เส้นโลหะบริสุทธิ์ Mg II และ Si II อายุสั้นมาก จำนวนดาวฤกษ์ชนิด B คิดเป็น 1 ใน 800 ของดาวในลำดับหลัก

- ชนิด A เป็นดาวฤกษ์สีขาวปนฟ้า อุณหภูมิประมาณ 7,500-10,000 เคลวิน มีเส้นไฮโดรเจนเข้มที่สุดและเส้นโลหะ Fe II, Mg II, Si II จำนวนดาวฤกษ์ชนิด A คิดเป็น 1 ใน 160 ของดาวในลำดับหลัก

- ชนิด F เป็นดาวฤกษ์สีขาว อุณหภูมิประมาณ 6,000-7,500 เคลวิน เส้นไฮโดรเจนเริ่มอ่อนลง เริ่มเห็นเส้นของ Fe I, Cr I, K และ Ca II เข้มมากขึ้น จำนวนดาวฤกษ์ชนิด F คิดเป็น 1 ใน 33 ของดาวในลำดับหลัก

- ชนิด G เป็นดาวฤกษ์สีเหลืองอุณหภูมิประมาณ 5,000-6,000 เคลวิน มีเส้นสเปกตรัมไฮโดรเจนอ่อนกว่า F เริ่มมีโมเลกุล CH และเส้นโลหะไอออนไนซ์มากขึ้น จำนวนดาวฤกษ์ชนิด G คิดเป็น 1 ใน 13 ของดาวในลำดับหลัก

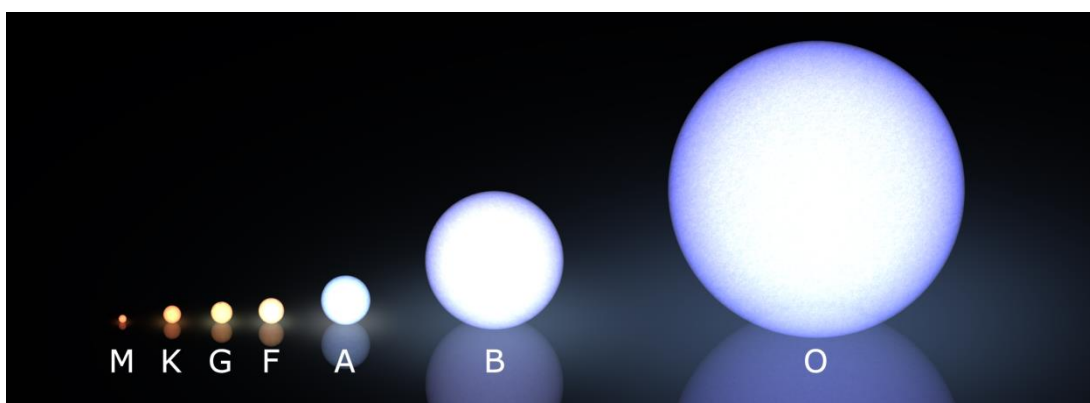
- ชนิด K เป็นดาวฤกษ์สีส้ม อุณหภูมิประมาณ 3,500-5,000 เคลวิน ส่วนใหญ่มีเส้นโลหะ Mn I, Fe I, Si I, K และเริ่มมีโมเลกุลของไทเทเนียมออกไซด์ จำนวนดาวฤกษ์ชนิด K คิดเป็น 1 ใน 8.3 ของดาวในแถบลำดับหลักเหมาะสมสำหรับสิ่งมีชีวิต

- ชนิด M เป็นดาวฤกษ์สีแดง อุณหภูมิน้อยกว่า 3,500 เคลวิน เส้นโลหะและโมเลกุลของไทเทเนียมออกไซด์เข้มข้น เริ่มมีโมเลกุลวาเนเดียมออกไซด์ จำนวนดาวฤกษ์ชนิด M คิดเป็น 1 ใน 1.3 ของดาวในแถบลำดับหลัก

ระดับ	อุณหภูมิ	สีพื้นฐาน	สีที่ปรากฏ [8][9]	มวล (มวลดวงอาทิตย์)	รัศมี (รัศมีดวงอาทิตย์)	ความส่องสว่าง	แถบไฮโดรเจน	% ของดาวฤกษ์แถบหลักทั้งหมด ^[10]
O	30,000–60,000 K	น้ำเงิน	น้ำเงิน	64 M_{\odot}	16 R_{\odot}	1,400,000 L_{\odot}	อ่อน	~0.00003%
B	10,000–30,000 K	น้ำเงิน ถึงน้ำเงินขาว	น้ำเงินขาว	18 M_{\odot}	7 R_{\odot}	20,000 L_{\odot}	ปานกลาง	0.13%
A	7,500–10,000 K	ขาว	ขาว	3.1 M_{\odot}	2.1 R_{\odot}	40 L_{\odot}	เข้ม	0.6%
F	6,000–7,500 K	ขาวออกเหลือง	ขาว	1.7 M_{\odot}	1.4 R_{\odot}	6 L_{\odot}	ปานกลาง	3%
G	5,000–6,000 K	เหลือง	ขาวออกเหลือง	1.1 M_{\odot}	1.1 R_{\odot}	1.2 L_{\odot}	อ่อน	7.6%
K	3,500–5,000 K	ส้ม	เหลืองส้ม	0.8 M_{\odot}	0.9 R_{\odot}	0.4 L_{\odot}	อ่อนมาก	12.1%
M	2,000–3,500 K	แดง	ส้มแดง	0.4 M_{\odot}	0.5 R_{\odot}	0.04 L_{\odot}	อ่อนมาก	76.45%

ตารางที่ 2.1 การจัดประเภทดาวฤกษ์

(ที่มา : <https://sites.google.com/site/suparat111122222/kar-cad-praphe>
[th?t mpl2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog](https://sites.google.com/site/suparat111122222/kar-cad-praphe))



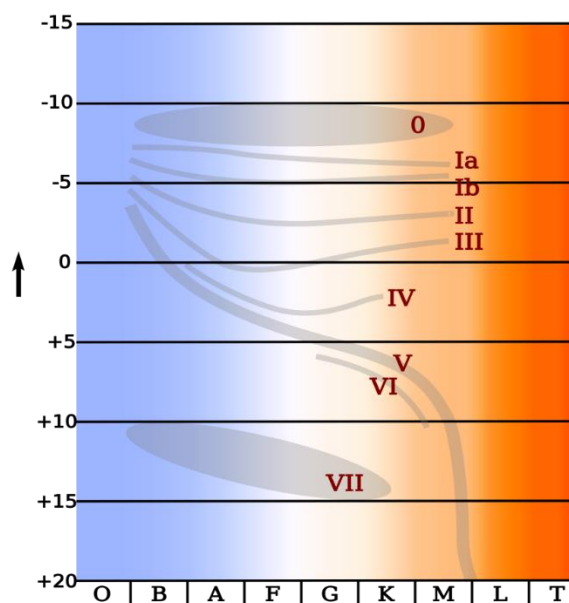
ภาพที่ 2.14 สเปกตรัมดาวฤกษ์แบ่งเป็น 7 ชนิด คือ O, B, A, F, G, K และ M

(ที่มา : http://scienceblogs.com/startswithabang/upload/2009/10/setting_the_cosmic_Distance_re/morgan-keenan_spectral_classification.png)

การจำแนกดาวฤกษ์แบบ Yerkes จำแนกตามอุณหภูมิและความสว่าง การจำแนกจะขึ้นอยู่กับชนิดสเปกตรัมและแมกนิจูดสัมบูรณ์ ซึ่งบอกขนาดและมวลของดาวฤกษ์ได้ แบ่งดาวฤกษ์เป็น 8 ประเภท คือ

Type	Name	Absolute Magnitude
0	Hyper giants	-7 ถึง -10
I	Super giants	-5 ถึง -7
II	Bright giants	-3 ถึง -5
III	Normal giants	0 ถึง -5
IV	Subgiant	+3 ถึง 0
V	Main sequence	+20 ถึง -4
VI	Subdwarfs	+10 ถึง +5
VII	White dwarfs	+15 ถึง +10

ตารางที่ 2.2 จำแนกดาวฤกษ์ตามอุณหภูมิและความสว่าง



ภาพที่ 2.15 จำแนกดาวฤกษ์ตามอุณหภูมิและความสว่าง

(ที่มา : <http://en.wikipedia.org/wiki/File:HR-diag-no-text-2.svg>)

ตัวอย่าง สเปกตรัมของดวงอาทิตย์ คือ G2V หมายความว่า ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์สีเหลืองมีสเปกตรัมชนิด G ลำดับที่ 2 อยู่ในแถบกระบวนหลัก

เมื่อนำการจำแนกทั้ง 2 แบบมาประกอบกันจะได้ขอบเขตมวลของดาวฤกษ์เพื่อนำไปอธิบายช่วงสุดท้ายของวิวัฒนาการได้

มวลของดาวฤกษ์

0.8-11 เท่าของมวลดวงอาทิตย์ เป็นชนิด B, A, F, G

11-50 เท่าของมวลดวงอาทิตย์ เป็นชนิด O, B

50 เท่าของมวลดวงอาทิตย์ขึ้นไป เป็นชนิด O

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

West Miriam และคณะ (2010) ได้ศึกษาโดยใช้กล้องโทรทรรศน์ขนาด 1.2 เมตร ของหอดูดาว Dominion Astrophysical ได้ชุดข้อมูลสเปกตรัมจำนวนมากจากกลุ่มดาว Hyades Cluster, Coma Clusters และฐานข้อมูล H-beta ที่เลือกไว้ สเปกตรัมเหล่านี้ครอบคลุมตั้งแต่ H-beta ถึง H-alpha เส้นสเปกตรัมของ H-beta ถูกใช้ในการเป็นดัชนีชี้วัดเกี่ยวกับอุณหภูมิและเปรียบเทียบกับดัชนี H-alpha ซึ่งได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อสังเกตการณ์ทางแสง เพื่อที่จะแสดงผลลัพธ์สุดท้ายของการเปรียบเทียบสเปกโตรโฟโตเมตริกของดัชนีอุณหภูมิจากสายไฮโดรเจนแต่ละเส้น

Michael D. Joner (2012) ได้นำเสนอข้อมูลใหม่สำหรับกระจุกดาวเปิด M35, M67, NGC 188, NGC 752, NGC 869 และ NGC 884 ภายใต้การดูแลของมหาวิทยาลัย Brigham Young University และหอดูดาว West Mountain โดยใช้ตัวกรอง H-beta เป็นตัวเปรียบเทียบมาตรฐานเช่นเดียวกับตัวกรองมาตรฐานสำหรับระบบโฟโตเมตริก BYU H-alpha ที่กำหนดล่าสุด นอกเหนือจากการสำรวจยังศึกษาวัตถุปล่อยก๊าซร้อนกระเจก เช่น HMXBs และ YSO การรวมกันของดัชนีอิสระสีแดงทั้งสองนี้ยังเป็นการวัดอุณหภูมิที่เชื่อถือได้สำหรับดาวแต่ละดวงภายในกระจุกดาวที่มีดัชนี H-alpha ถึงดาวอุณหภูมิเย็นกว่าเล็กน้อยซึ่งสามารถพบได้จากการวัด H-beta

Miriam Anne West (2010) ได้ทำการศึกษาโดยใช้กล้องโทรทรรศน์ McKellar ขนาด 1.2 เมตร ของหอดูดาว Dominion Astrophysical ในการถ่ายสเปกตรัมของดาวฤกษ์ 81 ดวงจาก Hyades Cluster, Coma Cluster และเลือกดาว H-beta มาตรฐาน สเปกตรัมเหล่านี้ครอบคลุมจาก 4,500 Å ถึง 6900 Å ซึ่งรวมถึงทั้งเส้นการดูดกลืนแสง H-beta และ H-alpha เส้นการดูดกลืนแสง H-beta ถูกใช้ในการเป็นตัววัดอุณหภูมิและเมื่อเร็ว ๆ นี้การสอบเทียบดัชนี H-alpha ได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อสังเกตการณ์ทางแสง จากการเปรียบเทียบสเปกโตรโฟโตเมตริกของดัชนีอุณหภูมิจากเส้นการดูดกลืนแสง H-alpha และ H-beta พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการวัดด้วยแสงตามความเข้มของเส้นทั้งสองนี้ ผลลัพธ์นี้ยืนยันว่าดัชนี H-alpha เป็นตัวบ่งชี้อุณหภูมิที่ดีที่สุด

Xia Fang and Fu Yan-ning (2010) ได้ทำการศึกษามวลของดาวฤกษ์เป็นลักษณะพิเศษที่ขาดไม่ได้ในการศึกษาฟิสิกส์ของดาวฤกษ์และการเปลี่ยนแปลงของดาวฤกษ์ และอีกหนึ่งวิธีที่เชื่อถือได้มากที่สุดในการกำหนดมวลพลศาสตร์ของดาวฤกษ์ก็คือการกำหนดวงโคจรของไบนารี ในทางกลับกันมวลของดาวฤกษ์ส่วนใหญ่จะต้องมีการประมาณโดยใช้มวลสัมพันธ์ของความส่องสว่าง (MLR) ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องรู้เกี่ยวกับ MLR ผ่านการปรับข้อมูลมวลพลศาสตร์และความส่องสว่างของดาวฤกษ์ให้เหมาะสม ผลของความเป็นโลหะสามารถทำให้ความสัมพันธ์นี้กระจัดกระจายใน V-band แต่การศึกษาแสดงให้เห็นว่านี่เป็นข้อจำกัด ส่วนใหญ่ในกรณีที่มวลของดาวฤกษ์น้อยกว่า $0.6M_{\odot}$ เมื่อไม่นานมานี้ มีการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องสำหรับดาวฤกษ์ในแถบลำดับหลักที่มีมวลมาก ซึ่งทำให้สามารถแก้ไข MLR ให้สอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญ การใช้วิธีการที่เหมาะสมสามารถกำหนดน้ำหนักให้กับข้อมูลเชิงสังเกตการณ์รวมถึงสองปริมาณที่มีขนาดแตกต่างกัน เราได้รับ V-band MLR จากมวลพลวัตและความส่องสว่างของ 203 ดาวจากแถบลำดับหลัก ในการเปรียบเทียบกับงานก่อนหน้านี้ MLR ที่แก้ไขแล้วมีนัยสำคัญทางสถิติและข้อผิดพลาดสัมพัทธ์ของการประมาณค่ามวลถึงประมาณ 5% ดังนั้น MLR ของเราจึงมีประโยชน์ไม่เพียงแต่ในการศึกษาลักษณะทางสถิติ แต่ยังในการศึกษาระบบดาวฤกษ์ที่เป็นรูปธรรม เช่น การศึกษาพลวัตระยะยาวและการศึกษาตำแหน่งระยะสั้นของระบบดาวหลายดวงที่เฉพาะเจาะจง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการ Process ภาพ การวิเคราะห์ข้อมูล เครื่องมือ อุปกรณ์ โปรแกรมและวิธีการดำเนินการวิจัย มีรายละเอียดดังนี้

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์และโปรแกรมที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

3.1.1 กล้องโทรทรรศน์

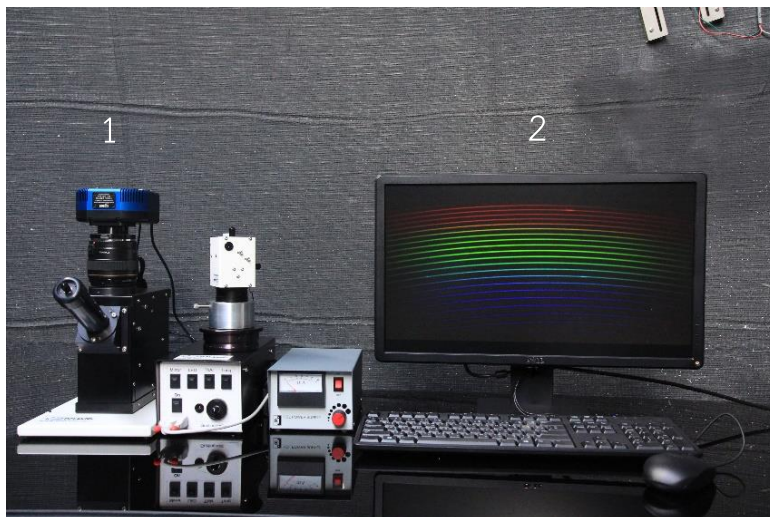
กล้องโทรทรรศน์ที่ใช้ในการสังเกตการณ์คือ กล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสง ยี่ห้อ Plane Wave / CDK700 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร เป็น กล้องหลักของหอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา นครราชสีมา เพื่อใช้เก็บ ข้อมูลงานวิจัย และบันทึกภาพถ่ายของวัตถุท้องฟ้าหรือปรากฏการณ์ทาง ดาราศาสตร์สำคัญ ๆ ได้ มีช่องสำหรับใส่เลนส์ใกล้ตาแยกต่างหาก โดยไม่ต้องถอด CCD Camera ออก ทำให้มี ความสะดวกในการใช้งาน ทั้งการสังเกตด้วยตาเปล่า และการถ่ายภาพผ่าน CCD Camera รองรับการทำงานวิจัย ทั้งระดับเบื้องต้น และระดับสูง ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 กล้องโทรทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง ยี่ห้อ Plane Wave / CDK700 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร
(ที่มา : สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). ออนไลน์. 2563)

3.1.2 เครื่องคอมพิวเตอร์

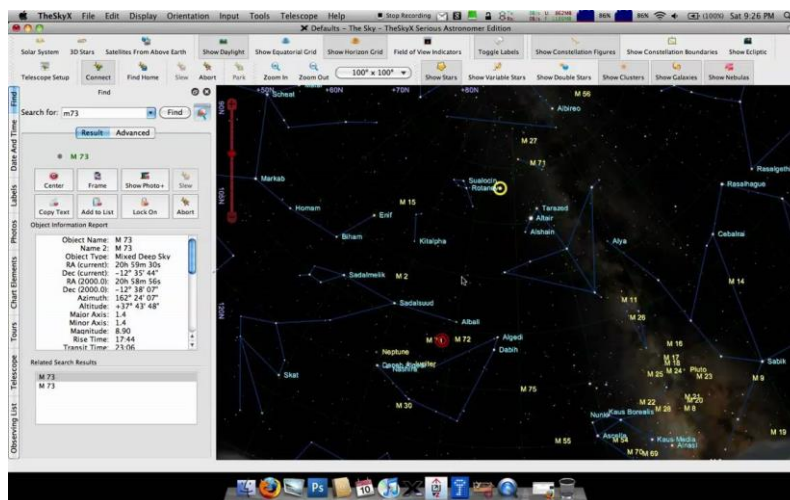
เครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของกล้องโทรทรรศน์ สะท้อนแสงและกล้องซีซีดีโฟโตมิเตอร์ (CCD photometer) ในการบันทึกภาพถ่ายดาวฤกษ์ วัตถุท้องฟ้าต่าง ๆ รวมทั้งภาพถ่ายสเปกตรัมของดาวฤกษ์ที่ต้องการทำวิจัย ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 กล้องซีซีดีโฟโตมิเตอร์ (1) และ เครื่องคอมพิวเตอร์ (2)

3.1.3 โปรแกรม The Sky X

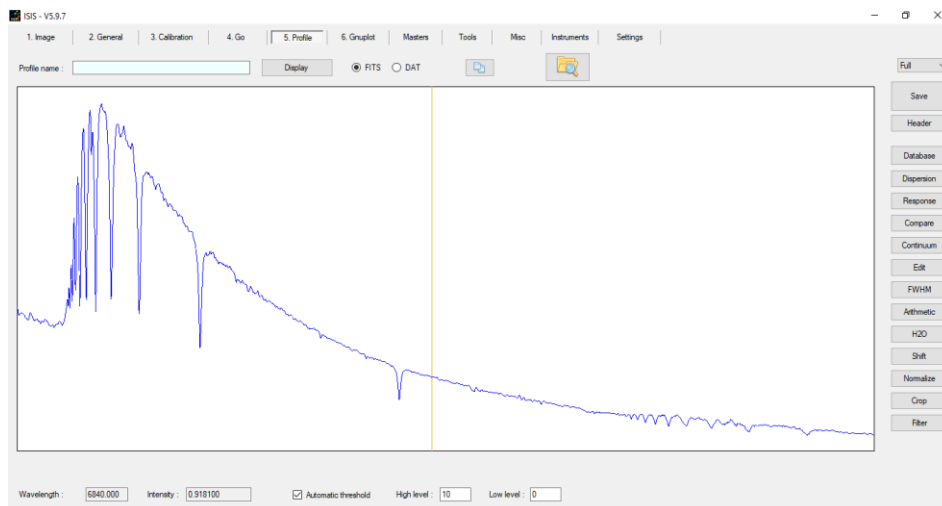
เป็นโปรแกรมแผนที่ดาว ใช้บอกตำแหน่งต่าง ๆ ของวัตถุท้องฟ้า และเป็นโปรแกรมที่เชื่อมต่อกับกล้องโทรทรรศน์ เพื่อควบคุมการหาตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้าที่จะทำการสังเกตการณ์ได้อย่างแม่นยำ ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 แสดงโปรแกรม The Sky X

3.1.4 โปรแกรม ISIS

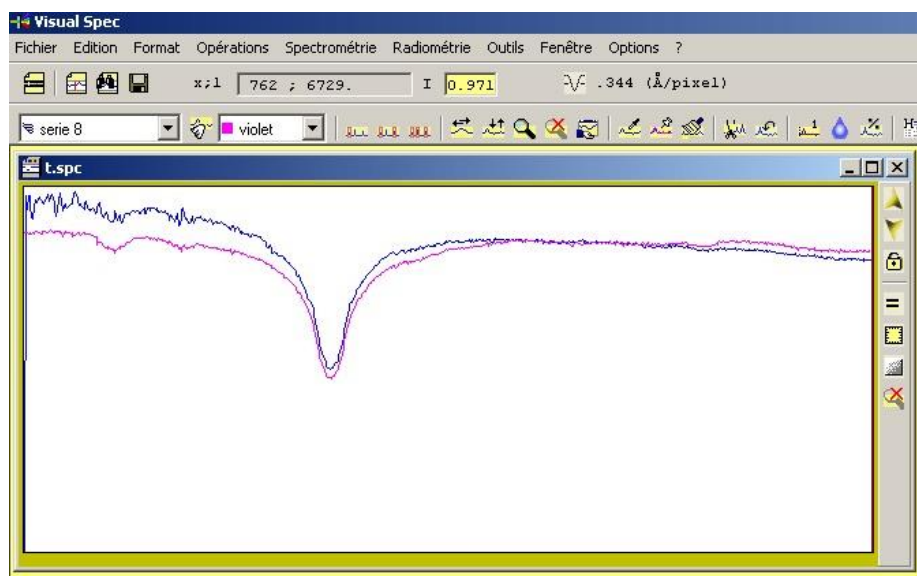
โปรแกรม ISIS เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลสเปกตรัม และมีฐานข้อมูลสเปกตรัมดาวฤกษ์จำนวนมากไว้เปรียบเทียบ ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 แสดงโปรแกรม ISIS

3.1.5 โปรแกรม Visual Spec

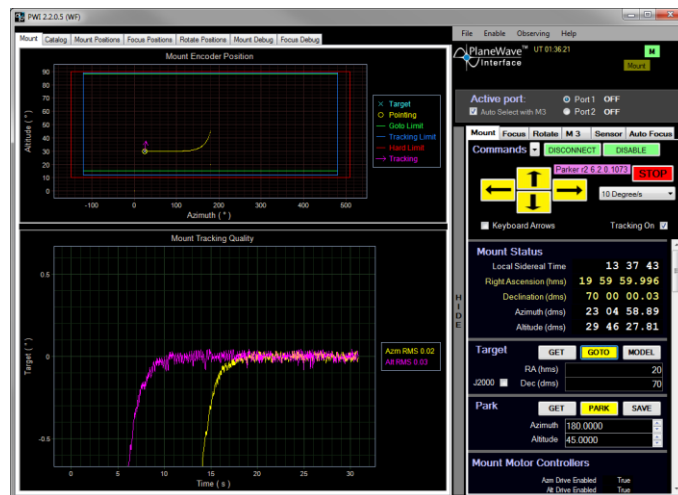
เป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติของดาวฤกษ์ในมุมต่าง ๆ เช่น ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ความยาวคลื่นที่เลื่อนไป สามารถคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวของดาวฤกษ์จากการแผ่รังสีของวัตถุดำ และคำนวณหาความเข้มของธาตุที่สนใจ เป็นต้น ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 แสดงโปรแกรม Visual Spec

3.1.6 โปรแกรม Planewave interface

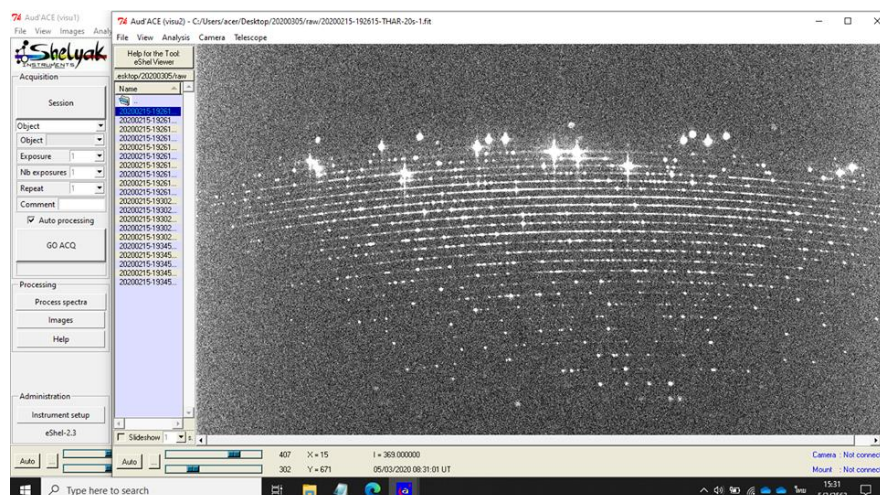
เป็นโปรแกรมควบคุมกล้องโทรทรรศน์ สามารถปรับโฟกัส หมุนกล้องเพื่อหา ดาว ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 แสดงโปรแกรม Planewave interface

3.1.7 โปรแกรม AudeLA

เป็นโปรแกรมสำหรับควบคุมการถ่ายภาพสเปกตรัม จากกล้อง CCD Camera สามารถตั้งเวลาถ่าย และกำหนด series ได้ ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 แสดงโปรแกรม AudeLA

3.2 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

สำหรับขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.2.1 การเลือกดาว

- 1) ผู้วิจัยได้เลือกดาวฤกษ์ที่อยู่ในดาวฤกษ์แถบลำดับหลัก (main sequence) จำนวน 30 ดวง ซึ่งมีค่า Visual Magnitude ไม่เกิน 8
- 2) เป็นดาวฤกษ์ที่ปรากฏบนท้องฟ้า ในระยะเวลาที่เก็บข้อมูล โดยมีมุมเงยมากกว่า 20 องศา
- 3) ศึกษาตำแหน่งของดาว เวลาการขึ้น-ตกของดาว และหาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพดาว

3.2.2 การวางแผนเก็บข้อมูล

- 1) ทำตารางเวลาการขึ้น-ตกของดาว แยกตาม Type และแยกตาม R.A.
- 2) ถ่ายดาวที่อยู่ทางทิศตะวันตก หรือดาวที่ใกล้ตกลับขอบฟ้าก่อน จากนั้นค่อยถ่ายดาวที่อยู่ทางทิศตะวันออก

3.2.3 การเก็บข้อมูล

- 1) เตรียมกล้องซีซีดีสเปกโตรกราฟ แล้วนำต่อเข้ากับกล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสง ยี่ห้อ Plane Wave / CDK700 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร
- 2) เตรียมคอมพิวเตอร์ใช้ในการควบคุมกล้องโทรทรรศน์และกล้องซีซีดีสเปกโตรกราฟ ให้พร้อมที่จะใช้งาน
- 3) ปรับหน้ากล้องโทรทรรศน์ไปยังตำแหน่งเริ่มต้น เมื่อกล้องรู้ตำแหน่งเริ่มต้นแล้วให้เปิดโปรแกรม The Sky X และเชื่อมต่อกล้องโทรทรรศน์กับโปรแกรม The Sky X
- 4) กำหนดให้กล้องโทรทรรศน์หันหน้ากล้องไปตำแหน่ง ของดาวฤกษ์ ผ่านโปรแกรม The Sky X จากนั้นทำการตั้งค่าเวลาในการถ่ายภาพ
- 5) หลังจากถ่ายเสร็จแล้ว นำข้อมูลดาวมาวิเคราะห์ภาพถ่ายให้ได้กราฟแสงให้มีค่าอยู่ระหว่าง 8,000 – 20,000 ADU
- 6) สลับไปถ่ายแสงมาตรฐาน เมื่อถ่ายสเปกตรัมของดาวฤกษ์ได้จำนวนมากกว่า 1/2 ของดาวในแผนงาน หรือเมื่อถึงเวลา 24.00 น. โดยประมาณ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้แสงจากหลอด Thorium-Argon สำหรับเทียบตำแหน่งความยาวคลื่น

7) หลังจากถ่ายภาพเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะทำการถ่ายภาพ Dark, Bias, Flat และ Tungsten

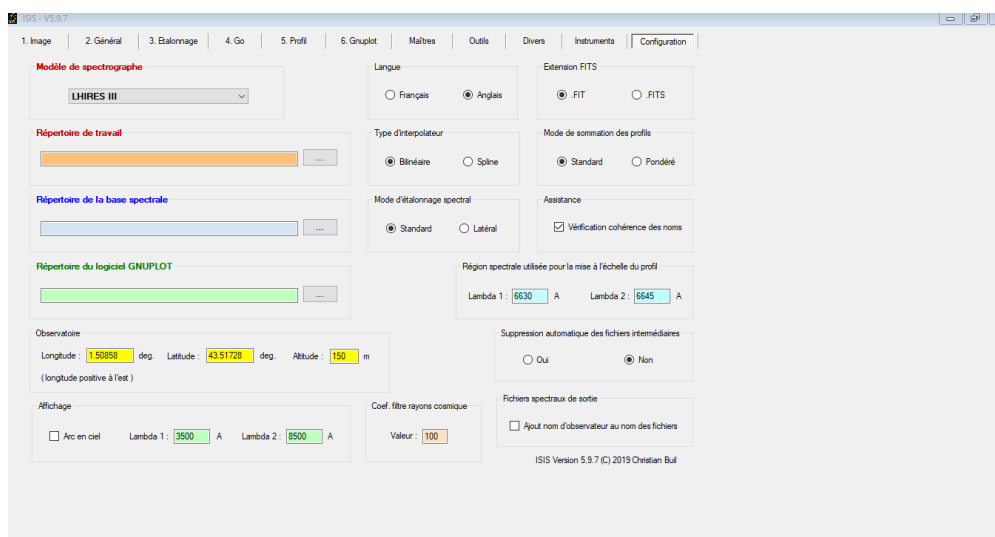
8) เมื่อได้ข้อมูลภาพถ่ายครบตามที่ต้องการแล้ว จึงทำการปรับกล้องโทรทรรศน์ให้อยู่ที่ตำแหน่งเดิม แล้วเก็บอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เรียบร้อย

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.1 ขั้นตอนการ Process ภาพ

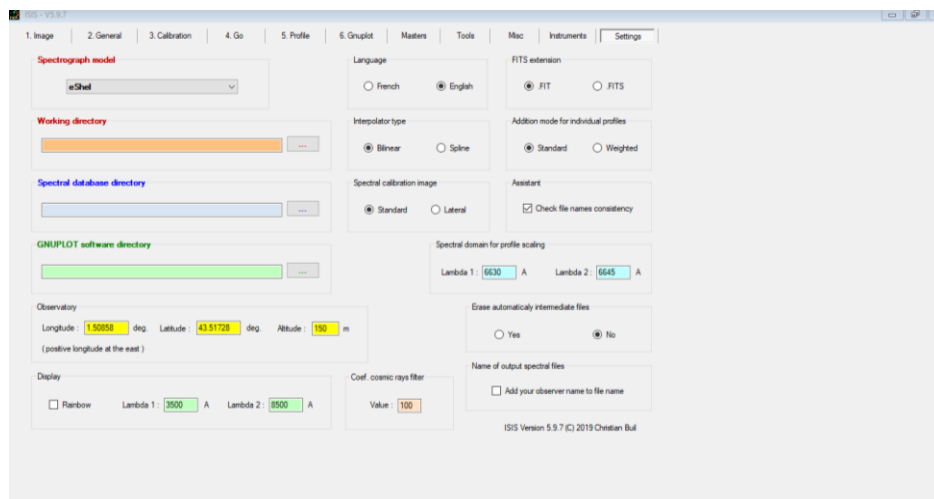
1. นำภาพที่ได้จากการถ่ายสเปกตรัมด้วยเครื่อง CCD Spectrometer ซึ่งจะได้ไฟล์ภาพเป็นสกุลไฟล์ .fit นำมาเข้าสู่กระบวนการ process เพื่อเปลี่ยนจากภาพถ่ายเป็นกราฟสเปกตรัมของแสงจากดาวฤกษ์ ดังนี้

1.1 ขั้นตอนการตั้งค่าโปรแกรม เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาจะตั้งทำการตั้งค่าภาษาที่ใช้ในโปรแกรมก่อน โดยภาษาเริ่มต้นพื้นฐานที่โปรแกรมให้มาจะเป็นภาษาฝรั่งเศส โดยวิธีการตั้งค่าเมื่อเปิดโปรแกรม isis ขึ้นมา เลือกที่แท็บเมนูบาร์ด้านบนในคำสั่งที่ชื่อว่า “Configuration” เลือกในส่วน Language เป็น Anglagic จากนั้นปิดโปรแกรมแล้วเปิดขึ้นมาใหม่



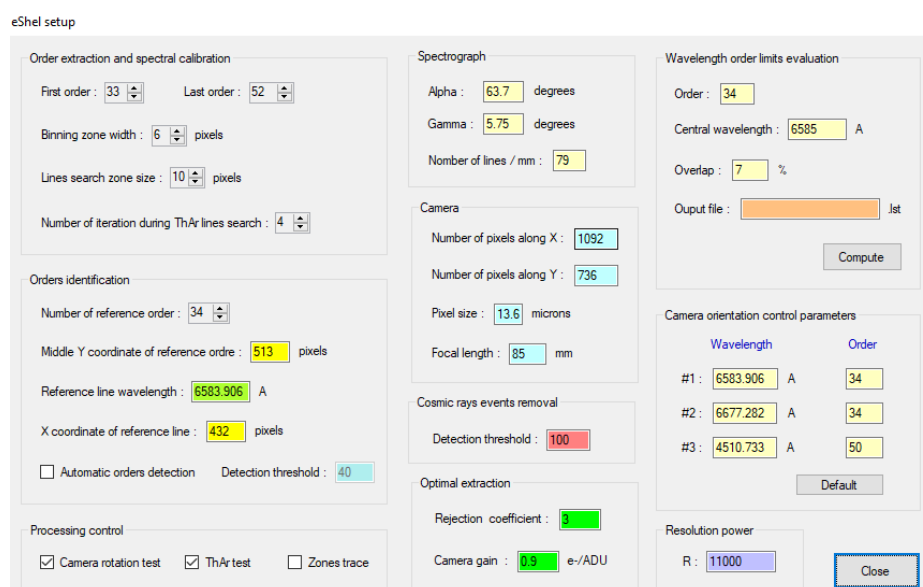
ภาพที่ 3.8 เปลี่ยนภาษาพื้นฐานในโปรแกรม isis

การกำหนดการตั้งค่าต่าง ๆ ในโปรแกรม โดยตั้งค่าในแถบเมนูบาร์ในส่วน Setting ด้วยเริ่มแรกจากการตั้งค่า Spectrograph เป็น eShel และ working directory โดยจะเลือก folder ที่ผู้วิจัยต้องการที่นำเข้าภาพถ่าย



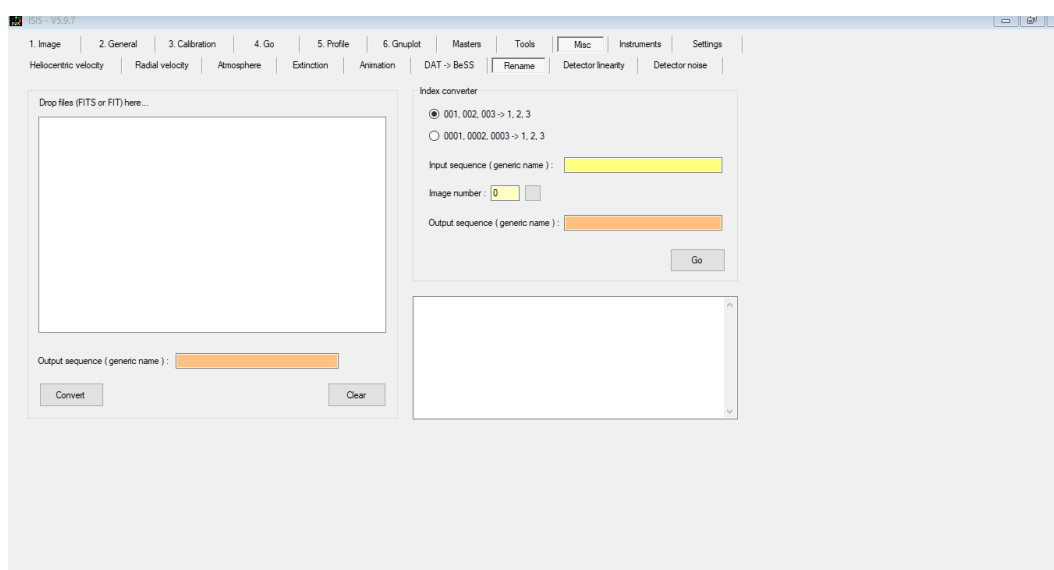
ภาพที่ 3.9 การตั้งค่าในแถบเมนูบาร์ setting ในโปรแกรม isis

และในส่วนที่ต้องค่าอีกส่วนหนึ่งคือ ในแถบเมนูบาร์ Instruments ในฟังก์ชัน Setup ซึ่งจะตั้งค่าตามชนิดของ CCD ที่ใช้ในการถ่ายภาพ และคุณสมบัติของเครื่องสเปกโตรสโคป ดังภาพที่ 3.10



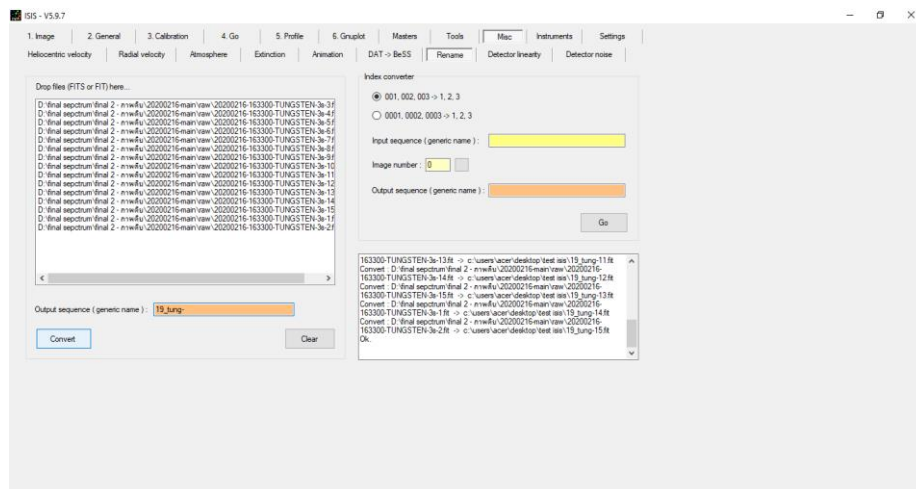
ภาพที่ 3.10 การตั้งค่าในแถบเมนูบาร์ Instruments ในฟังก์ชัน Setup

1.2 ขั้นตอนการนำเข้าภาพถ่ายสเปกตรัมมาวิเคราะห์ในโปรแกรม isis ในโปรแกรมจะมีฟังก์ชันที่ชื่อว่า rename อยู่ในแถบเมนูบาร์ Misc ซึ่งจะใช้เปลี่ยนชื่อไฟล์สเปกตรัมที่จะวิเคราะห์โดยการนำเข้าภาพเพื่อที่จะมาเปลี่ยนชื่อ สามารถลากไฟล์เข้ามาในช่อง Drop files (FITS or FIT) here ได้เลย โดยจะมีช่อง output sequence (generic name) อยู่ข้างล่างช่อง Drop files เพื่อที่จะใส่ชื่อที่ต้องการจะเปลี่ยน



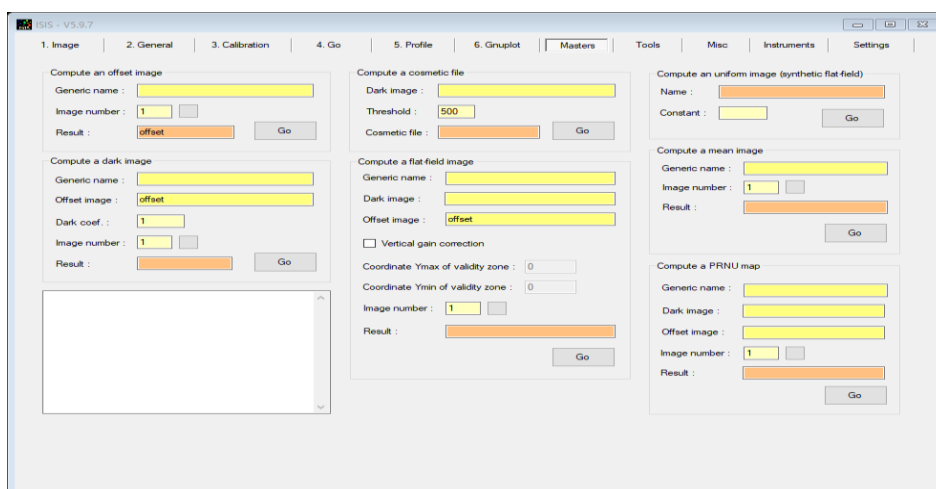
ภาพที่ 3.11 การเปลี่ยนชื่อไฟล์ในฟังก์ชัน rename

ซึ่งขั้นตอน rename จะนำเข้าไฟล์ภาพเป็นไฟล์สอบเทียบ (calibrate) เช่น BIAS, Thorium, FLAT, TUNGSTEN, DARK และ ไฟล์ภาพถ่ายสเปกตรัมจากดาว ซึ่งเมื่อนำเข้าไฟล์ภาพต่าง ๆ แล้ว จะมีฟังก์ชันที่ชื่อว่า Convert จะกดเพื่อเปลี่ยนชื่อไฟล์ ซึ่งไฟล์ภาพที่ถูกเปลี่ยนชื่อแล้วจะถูกเก็บไว้ใน folder ที่ตั้งค่าไว้ใน working directory ในภาพที่ 3.9



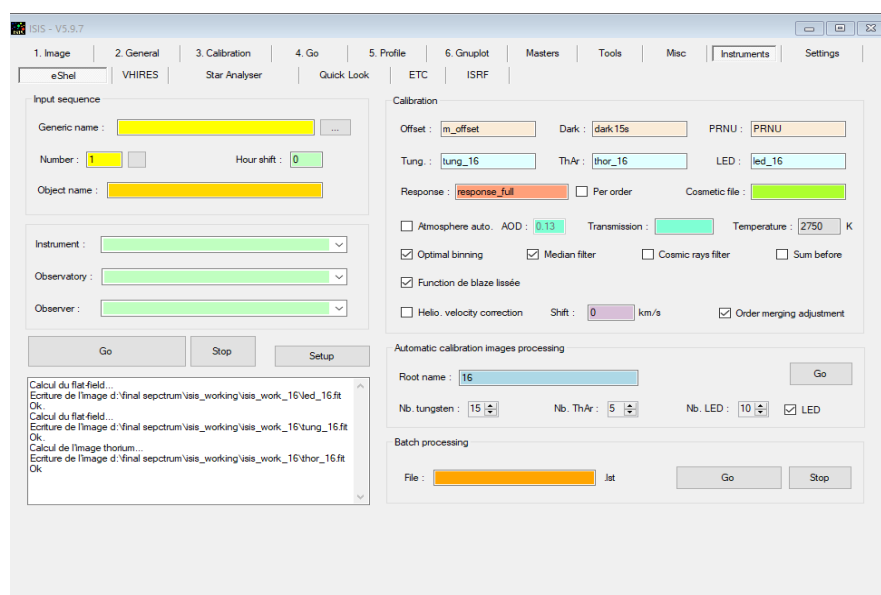
ภาพที่ 3.12 ขั้นตอนการเปลี่ยนชื่อไฟล์

ซึ่งขั้นตอนการเปลี่ยนชื่อไฟล์ (rename) จะต้องมีหลักการการตั้งชื่อ เนื่องจากโปรแกรม isis จะมีขั้นตอนการนำเอาภาพวิเคราะห์ภาพถ่ายจากชื่อ root ไฟล์ที่เลือกไว้ ซึ่งการตั้งชื่อจะเริ่มต้นด้วย **rootname_ชื่อไฟล์-** ตัวอย่าง 16_mdark600s- ซึ่งเมื่อทำการเปลี่ยนชื่อไฟล์แล้ว ไฟล์สอบเทียบบางไฟล์จะต้องทำการ Master หรือ การรวมไฟล์ต่าง ๆ เข้าด้วยกันเป็นไฟล์เดียว ซึ่งอยู่ในแถบเมนูบาร์ที่ชื่อ “Master” ซึ่งไฟล์ที่ทำการ Master หรือ รวมไฟล์ จะประกอบด้วย ไฟล์ 2 ชนิดด้วยกัน คือ BIAS และ dark ซึ่งไฟล์ dark จะขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพ ซึ่งในฟังก์ชัน Compute an offset image จะใช้ไฟล์ BIAS ในการ Master ส่วน ในฟังก์ชัน Compute an dark image จะใช้ไฟล์ dark ในการ Master



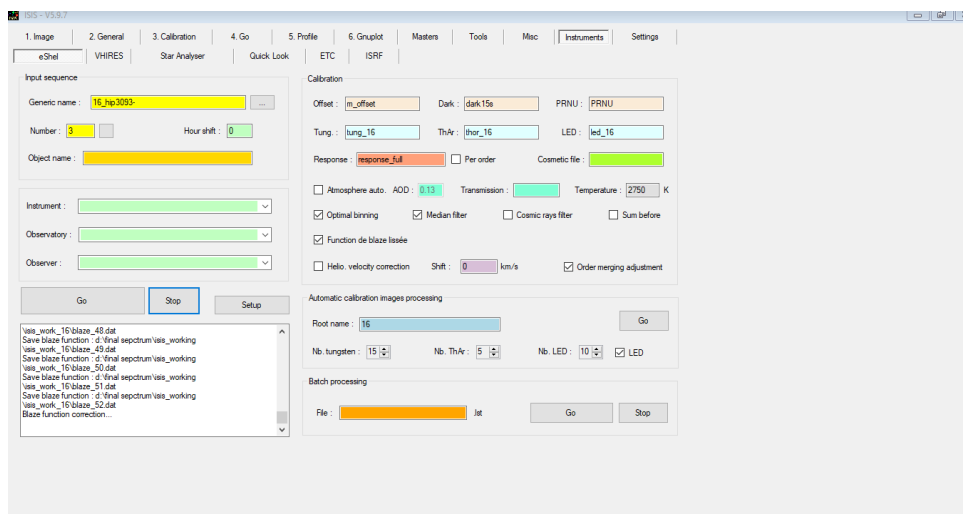
ภาพที่ 3.13 ขั้นตอนการ Master ไฟล์ BIAS และ dark

เมื่อผู้ใช้งานตั้งค่าโปรแกรม เปลี่ยนชื่อ (rename) และ ทำการรวมไฟล์ (Master) ในฟังก์ชันของ isis เรียบร้อยแล้ว จะต้องกลับมาตั้งค่าในเมนูบาร์ที่ชื่อว่า Instrument ในส่วน Calibration และ Automatic Calibration image processing โดยในส่วน Calibration ในช่อง Offset , Dark , PRNU จะต้องใส่ชื่อไฟล์ต่าง ๆ ที่เราทำการ rename หรือ master ส่วนในบรรทัดข้างล่างโปรแกรมจะทำการเติมให้ และในส่วน Automatic Calibration image processing ในช่อง root name จะต้องใส่ root name ที่ได้กำหนดค่าไว้ในตอนนั้น และจำนวน Tungsten , ThAr (Thorium) และ LED (Flat) ให้ใส่ตามจำนวนที่ได้ทำการ rename ไว้ เมื่อกด Go โปรแกรมจะทำการเติมบรรทัดที่ 2 ในส่วนของ Calibration ให้เอง



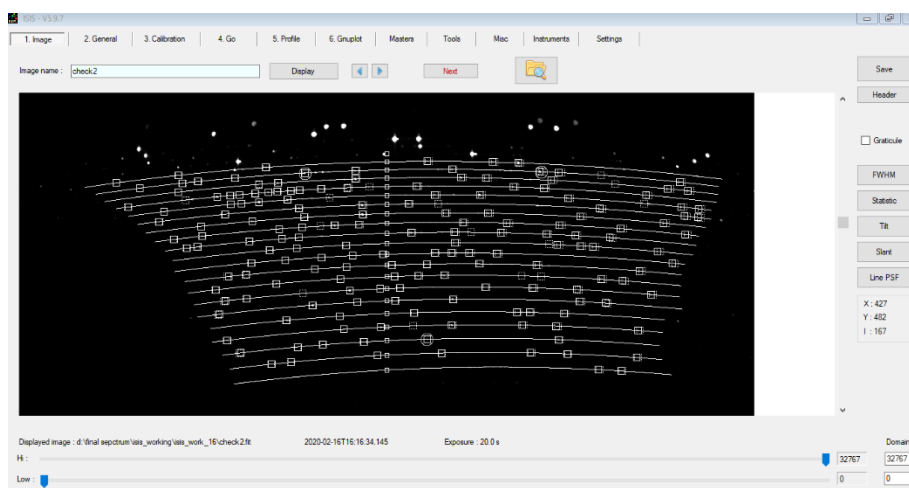
ภาพที่ 3.14 ขั้นตอนการ Calibration และ Automatic Calibration image processing

1.3 ขั้นตอนการ Process ภาพถ่ายสเปกตรัม หลังจากที่ทำกร Rename และ Master ไฟล์สอบเทียบต่าง ๆ แล้ว จะทำการนำเข้าภาพถ่ายสเปกตรัมสำหรับการวิเคราะห์ภาพถ่าย โดยเมื่อนำเข้าและเปลี่ยนชื่อไฟล์ภาพถ่ายสเปกตรัมที่ต้องใช้แล้ว ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพถ่ายจะอยู่ในเมนูบาร์ Instrument ในส่วนของ eShel ซึ่งในช่อง Generic name ให้ใส่ชื่อไฟล์ที่ทำกร rename มา Number คือจำนวนภาพถ่าย จากนั้นให้กด Go โปรแกรมก็จะทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายที่เราได้เลือกได้



ภาพที่ 3.15 ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพถ่าย

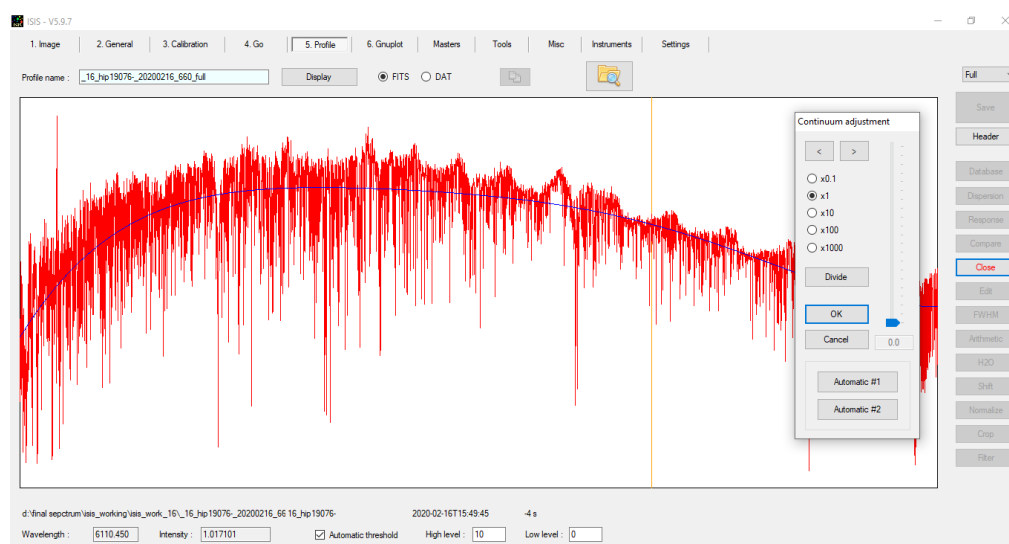
ซึ่งหลักจากการวิเคราะห์ภาพ หรือ กด Go ไปแล้ว สามารถเข้าไปใช้ภาพถ่ายที่เราทำการวิเคราะห์ได้ในฟังก์ชัน 1.Image และ 5.Profile ซึ่งในส่วนของ 1.Image จะเป็นการตรวจสอบว่าจะตำแหน่งที่เราใช้สอบเทียบ และ ตำแหน่งภายในภาพตรงกันหรือไม่



ภาพที่ 3.16 ขั้นตอนการตรวจสอบภาพถ่ายหลังจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม

นำภาพไฟล์สเปกตรัมที่ได้ไปเข้าสู่ขั้นตอนการ Normalize ซึ่งในส่วนที่ใช้ในการ Normalize ภาพถ่ายจะอยู่ในแถบเมนูบาร์ที่ชื่อ 5.Profile ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกฟังก์ชันการ Normalize ได้ในแถบเมนูด้านขวามือ ซึ่งฟังก์ชันในการ Normalize ภาพถ่ายส่วนใหญ่จะใช้

ฟังก์ชัน Crop ในการตัดส่วนเกินที่ไม่ใช่ออก , Continuum ในการทำให้กราฟมีความสูงที่สม่ำเสมอ และ Filter ที่ทำให้รอยหยักของภาพลดน้อยลง ซึ่งเมื่อทำการ Normalize เสร็จแล้วสามารถทำการบันทึก เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ต่อไปได้ด้วย ฟังก์ชัน Save ในแถบเมนูบาร์ด้านขวามือ



ภาพที่ 3.17 ขั้นตอนการ Normalize ภาพถ่ายหลังจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม

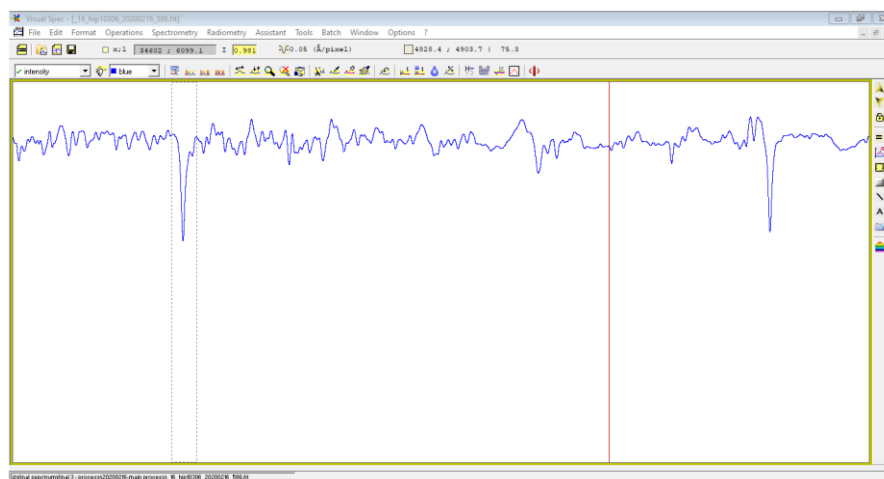
3.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์สเปกตรัม

1. การหาอัตราส่วน Hydrogen beta ต่อ hydrogen alpha ด้วยโปรแกรม Visual Spec ซึ่งภายในโปรแกรมสามารถเปิดไฟล์ที่วิเคราะห์เสร็จแล้วได้เลย หรือ สามารถตั้ง Working Directory เพื่อให้ตอนการเปิดได้อีกด้วย ซึ่งขั้นตอนในการวิเคราะห์ภาพถ่ายในโปรแกรม Visual Spec มีดังนี้

1.1 ทำการเปิดโปรแกรม Visual Spec และได้ทำการเปิดไฟล์ที่ได้จากโปรแกรม isis ได้จากแถบเมนูบาร์ File > Open Profile หรือรูปไอคอนในแถวที่ 2 ตำแหน่งที่ 3 (Open profile)

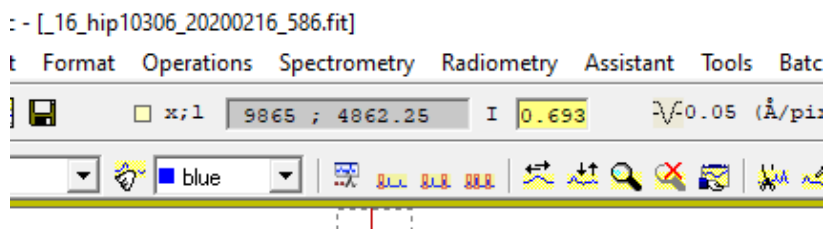


ภาพที่ 3.18 ขั้นตอนการเปิดไฟล์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Visual Spec



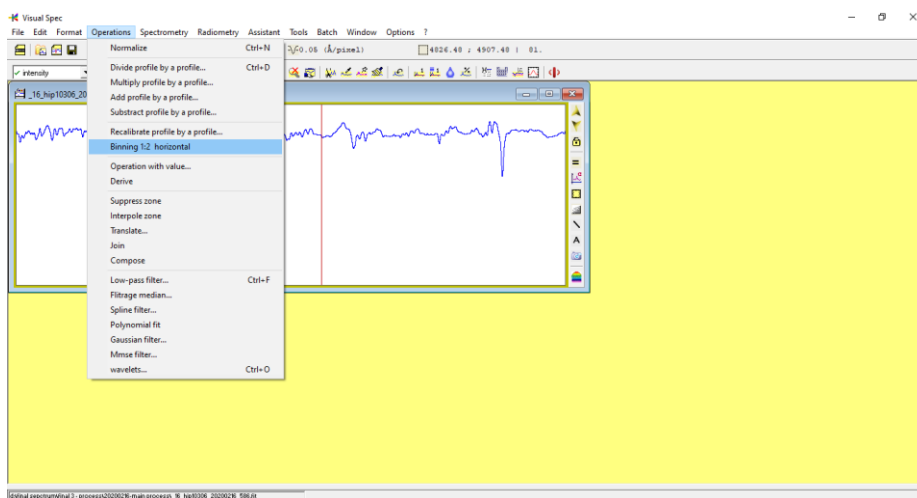
ภาพที่ 3.19 ขั้นตอนการเปิดไฟล์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Visual Spec (2)

หลังจากที่เปิดไฟล์ภาพได้แล้ว ในโปรแกรมก็จะแสดงกราฟที่ทำการ Normalize จากโปรแกรม isis ซึ่งในขั้นตอนนี้ ผู้ทำการวิจัยมีความต้องการที่จะหาอัตราส่วน Hydrogen beta ต่อ hydrogen alpha ซึ่งสามารถหาได้จากความลึกของหลุมในช่วงความยาวคลื่น Hydrogen alpha และ hydrogen beta ซึ่งในโปรแกรม visual spec สามารถบอกช่วงความยาวคลื่นได้ในแถบเมนูบาร์ด้านบน ในหน่วย Å (Angstrom)



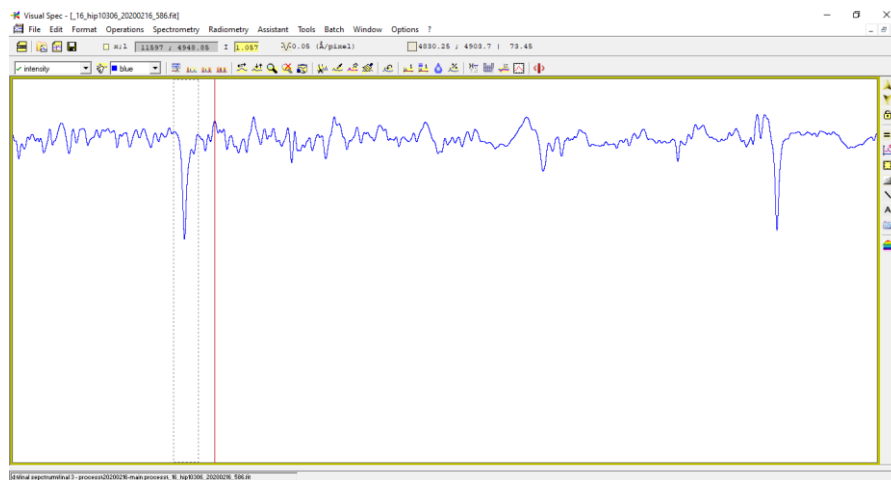
ภาพที่ 3.20 การบอกความยาวคลื่นในหน่วย Å (Angstrom) ในโปรแกรม visual spec

1.2 ในส่วนการวิเคราะห์ภาพถ่าย เมื่อผู้วิจัยทราบถึงความยาวคลื่นในกราฟสเปกตรัมแล้ว ก็สามารถหาความลึกของกราฟได้ แต่ก่อนที่จะหาความลึกของกราฟเราต้องทำการลดทอนอัตราส่วนของกราฟสเปกตรัมลงให้เหลือ 0.1 Å/Pixel ซึ่งโดยปกติแล้วภาพที่นำเข้ามาจากโปรแกรม isis จะมีอัตราส่วนที่ 0.05 Å/Pixel ซึ่งความละเอียดที่สูงเกินไปมักทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ค้าง งานวิจัยนี้ จึงจำเป็นต้องลดความละเอียดของเส้นกราฟลง เราสามารถทำการลดทอนได้จากฟังก์ชันในแถบเมนูบาร์ที่ชื่อ Operation > Binning 1:2 horizontal



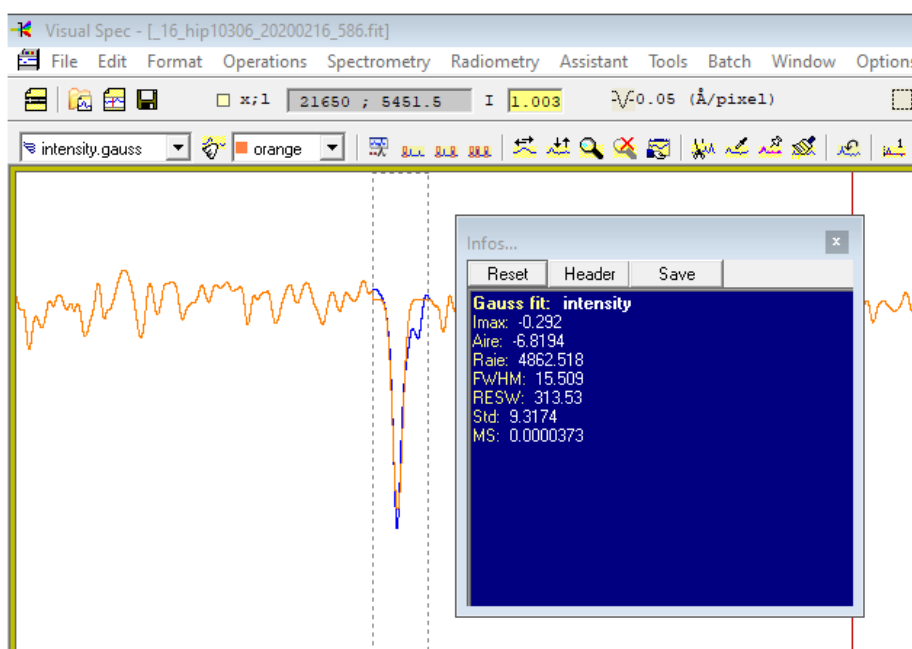
ภาพที่ 3.21 การลดทอนอัตราส่วนของกราฟสเปกตรัม

จากนั้นเมื่อทำการลดทอนอัตราส่วนของภาพแล้ว ผู้วิจัยสามารถหาความลึกของกราฟได้จากฟังก์ชัน One Gaussian fit ซึ่งอยู่ในแถบเมนูบาร์ Spectrometry ผู้ทำการวิจัยต้องลากเส้นประเพื่อกำหนดขอบเขตให้โปรแกรมทำการคำนวณ โดยคลิกเมาส์ลากบนพื้นที่สีขาวในที่ว่างของกราฟได้เลย ซึ่งเมื่อลากขอบเขตแล้วโปรแกรมก็จะแสดงขอบเขตดังกล่าวเป็นเส้นประสีเทา ดังภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.22 การลากขอบเขตการคำนวณความลึกของกราฟ

ซึ่งเมื่อผู้วิจัยลากขอบเขตการคำนวณแล้วสามารถใช้ฟังก์ชันในการคำนวณได้เลย โดยฟังก์ชันดังกล่าวชื่อ One Gaussian fit (Spectrometry > One Gaussian fit) ซึ่งเมื่อคำนวณแล้วโปรแกรมจะมีหน้าต่างโปรแกรมที่บอกค่าการคำนวณต่าง ๆ ขึ้นมาดังภาพที่ 3.23 ซึ่งผู้วิจัยสามารถนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหาอัตราส่วนได้เลย



ภาพที่ 3.23 รายละเอียดการคำนวณของโปรแกรม

จากนั้น นำข้อมูล FWHM จากการคำนวณ มาใส่ในตารางเพื่อเปรียบเทียบ โดยจะนำค่า FWHM จากการลากหาขอบเขตของความถี่ในช่วงความยาวคลื่น 486.1 นาโนเมตร H-beta และ ในช่วงความยาวคลื่น 656.28 นาโนเมตร H-alpha เพื่อมาเปรียบเทียบหาอัตราส่วน

บทที่ 4

ผลและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หาอัตราส่วนความเข้มของ H-beta ในช่วงความยาวคลื่น 486.1 นาโนเมตร ต่อ H-alpha ในช่วงความยาวคลื่น 656.28 นาโนเมตร ได้ข้อมูลดังนี้

4.1 ผลและการอภิปรายผล

ดาวฤกษ์ ชนิด O เป็นดาวฤกษ์สีน้ำเงินที่มีอุณหภูมิสูงมากประมาณ 30,000-60,000 เคลวิน โดยจะมีอัตราส่วนของ H-beta ต่อ H-alpha ประมาณ 1 : 1

ดาวฤกษ์ ชนิด B เป็นดาวฤกษ์สีฟ้าที่มีอุณหภูมิประมาณ 10,000-30,000 เคลวิน โดยจะมีอัตราส่วนของ H-beta ต่อ H-alpha ประมาณ 1 : 1

ดาวฤกษ์ ชนิด A เป็นดาวฤกษ์สีขาวปนฟ้าที่มีอุณหภูมิประมาณ 7,500-10,000 องศาเคลวิน โดยจะมีอัตราส่วนของ H-beta ต่อ H-alpha ประมาณ 1.2 : 1

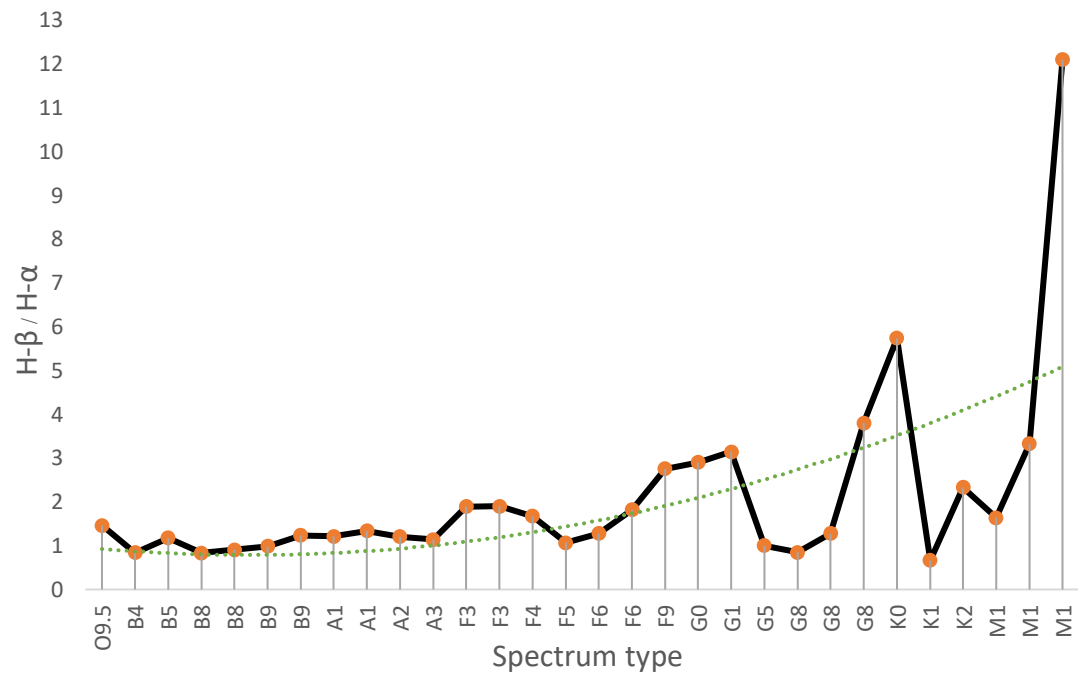
ดาวฤกษ์ ชนิด F เป็นดาวฤกษ์สีขาวที่มีอุณหภูมิประมาณ 6,000-7,500 เคลวิน โดยจะมีอัตราส่วนของ H-beta ต่อ H-alpha ประมาณ 2 : 1

ดาวฤกษ์ ชนิด G เป็นดาวฤกษ์สีเหลืองที่มีอุณหภูมิประมาณ 5,000-6,000 เคลวิน โดยจะมีอัตราส่วนของ H-beta ต่อ H-alpha ประมาณ 2.2 : 1

ดาวฤกษ์ ชนิด K เป็นดาวฤกษ์สีส้มที่มีอุณหภูมิประมาณ 3,500-5,000 เคลวิน โดยจะมีอัตราส่วนของ H-beta ต่อ H-alpha ประมาณ 3 : 1

ดาวฤกษ์ ชนิด M เป็นดาวฤกษ์สีแดงที่มีอุณหภูมिन้อยกว่า 3,500 เคลวิน โดยจะมีอัตราส่วนของ H-beta ต่อ H-alpha ประมาณ 5 : 1

จะเห็นได้ว่า อัตราส่วนของ H-beta ต่อ H-alpha มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อดาวฤกษ์ต่างชนิดกัน เรียงลำดับจากดาวฤกษ์ที่มีขนาดใหญ่จนถึงดาวฤกษ์ที่มีขนาดเล็ก (O B A F G K และ M) จากกราฟ ข้อมูลของดาวฤกษ์ในบางช่วงมีค่าลดลง ซึ่งเกิดได้จากการวัดค่าในช่วงข้อมูลนั้นเกิดข้อผิดพลาด หรืออาจเป็นเพราะในระหว่างขั้นตอนการถ่ายภาพเกิดข้อผิดพลาด แสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของสเปกตรัม กับ H-beta ต่อ H-alpha

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนความเข้มของไฮโดรเจนดาวฤกษ์ที่อยู่ในดาวฤกษ์แถบลำดับหลัก (main sequence) สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาสเปกตรัมของดาวฤกษ์ที่อยู่ในดาวฤกษ์แถบลำดับหลัก (main sequence) เพื่อหาอัตราส่วนของ H-beta และ H-alpha ของดาวฤกษ์แต่ละประเภทพบว่า ดาวฤกษ์ Type O มีอัตราส่วน H-beta ต่อ H-alpha ใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับดาวฤกษ์ Type อื่น ๆ จะพบว่าอัตราส่วนของ H-beta มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ H-alpha ดังนั้น ดาวฤกษ์ที่มีอุณหภูมิสูง จะมีอัตราส่วนของธาตุ H-beta และ H-alpha จะใกล้เคียงกัน แต่ดาวฤกษ์ที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีอัตราส่วนของธาตุ H-beta มากกว่า H-alpha และยังมีข้อมูลของดาวฤกษ์ในบางช่วงมีค่าลดลง ซึ่งเกิดได้จากการวัดค่าในช่วงข้อมูลนั้นเกิดข้อผิดพลาด หรืออาจเป็นเพราะในระหว่างขั้นตอนการถ่ายภาพเกิดข้อผิดพลาด

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ต้องเลือกดาวที่มีค่า Visual Magnitude ไม่เกิน 8 และ Altitude มากกว่า 20
- 5.2.2 เพิ่มจำนวนดาวให้มากกว่านี้ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลทางดาราศาสตร์
- 5.2.3 ควรศึกษาการใช้โปรแกรมสำหรับ Process ภาพถ่ายสเปกตรัม และการวิเคราะห์สเปกตรัมก่อน

บรรณานุกรม

- มาลี บานชื่น. (2514). **มนุษย์กับวิทยาศาสตร์กายภาพ ตอนคลื่นแสงและทฤษฎีควอนตัม**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์. (2563). **สเปกตรัม**. (Online). แหล่งที่มา : <http://www.lesa.biz/astromy/light/spectrum>. (21 มกราคม 2563).
- สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). (2555). **การจำแนกประเภทดาวฤกษ์**. (Online). แหล่งที่มา : <http://www.narit.or.th/index.php/nso/89-2012-11-21-03-42-24>. (29 มกราคม 2563).
- สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). (2556). **คู่มือการศึกษาดาราศาสตร์เชิงปฏิบัติการ**. แหล่งที่มา : http://www.narit.or.th/files/astromy_media/คู่มือการศึกษาดาราศาสตร์เชิงปฏิบัติการpdf. (29 มกราคม 2563).
- สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). (2563). **สเปกตรัมของดาว**. (Online). แหล่งที่มา : <http://www.narit.or.th/index.php/nso/89-2012-11-21-03-42-24>. (21 มกราคม 2563).
- Michael D. Joner and Hintz E. G. (2012). **H-alpha and H-beta Photometry of Selected Open Clusters**. (Online). แหล่งที่มา: https://www.researchgate.net/publication/258564138_H-alpha_and_H-beta_Photometry_of_Selected_Open_Clusters. (19 มีนาคม 2563)
- Miriam Anne West. (2010). **Comparison of H α and H β Temperature Indices in the Hyades and Coma Star Clusters and Selected H β Standard Stars**. (Online). แหล่งที่มา : <https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=326&context=etd>. (18 กุมภาพันธ์ 2563).
- Miriam Anne West, Hintz E. G. and Joner M. D. (2010). **Comparison of H α and H β Temperature Indices in the Hyades and Coma Star Clusters**. (Online). แหล่งที่มา : <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2010AAS21545531W/abstract>. (19 มีนาคม 2563)
- Xia Fang and Fu Yan-ning (2010). **The V-band Empirical Mass-luminosity Relation for Main Sequence Stars**. (Online). แหล่งที่มา : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0275106210000512#>. (18 กุมภาพันธ์ 2563)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางการวิเคราะห์ข้อมูล

ตารางที่ ก.1 แสดงอัตราส่วนของ H-beta ต่อ H-alpha

NAME	type	Beta		Alpha		B:A	B/A
		FWHM	RESW	FWHM	RESW	FWHM	
hip26549	O9.5V	26.1816	185.67	17.91	366.48	3:2	1.461843
hip14887	B4V	15.7268	309.16	18.7084	350.87	5:6	0.840628
hip24836	B5V	16.5395	293.94	14.0273	467.9	7:6	1.179094
hip15338	B8V	16.7025	291.08	20.0404	327.52	5:6	0.833441
hip14756	B8V	18.8262	258.29	20.8343	315.13	1:1	0.903616
hip15040	B9V	25.2469	192.55	25.5447	256.9	1:1	0.988342
hip15040	B9V	21.4013	227.17	17.3016	379.35	5:4	1.236955
hip45688	A1V	37.9911	127.98	28.3645	231.36	4:3	1.339389
hip43121	A1Vp	37.0503	131.23	30.4605	215.47	11:9	1.216339
hip39847	A2V	34.4199	141.26	28.6122	229.38	6:5	1.20298
hip18777	A3V	33.7509	144.04	29.652	221.32	8:7	1.138234
hip24017	F3V	18.3342	265.19	9.7037	676.38	17:9	1.889403
hip16712	F3V	34.7571	139.89	18.2771	359.11	2:1	1.901675
hip23380	F4V	30.8754	157.5	18.4554	355.62	5:3	1.672974
hip10306	F5V	10.0555	483.53	9.4419	695.17	1:1	1.064987
hip1487	F6V	27.2159	178.63	21.2622	307.68	9:7	1.280013
hip22449	F6V	31.2378	155.7	17.2018	381.58	9:5	1.815961
hip32480	F9V	38.2148	127.29	13.876	472.9	11:4	2.754021
hip67371	G0V	35.4181	137.31	12.2076	537.54	3:1	2.901316
47 uma	G1V	34.6925	140.21	11.0357	594.66	22:7	3.143661
hip19076	G5V	11.6017	419.16	11.5767	567.03	1:1	1.00216
hip8102	G8V	5.7665	843.09	6.7825	967.64	6:7	0.850203
hip40693	G8V	48.9055	99.56	12.8713	509.91	19:5	3.799577
hip15510	G8V	8.5678	567.6	6.6933	980.84	9:7	1.280056
hip3093	K0V	7.0344	691.48	1.2259	1070.71	23:4	5.738152
hip7981	K1V	4.3118	1127.46	6.5098	1008.15	2:3	0.662355
hip16537	K2V	9.039	107.54	3.8782	1692.49	7:3	2.33072
hip29295	M1V	6.2959	154.56	3.8471	1706.11	5:3	1.636531
hip1475	M1V	42.3443	115.23	12.7281	103.15	10:3	3.326836
hip25878	M1V	91.2209	53.24	7.544	174.14	12:1	12.09185

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล

นายอภิวัฒน์ แกพิมาย

สถานศึกษา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ติดต่อได้ที่

gotaphiwat@gmail.com