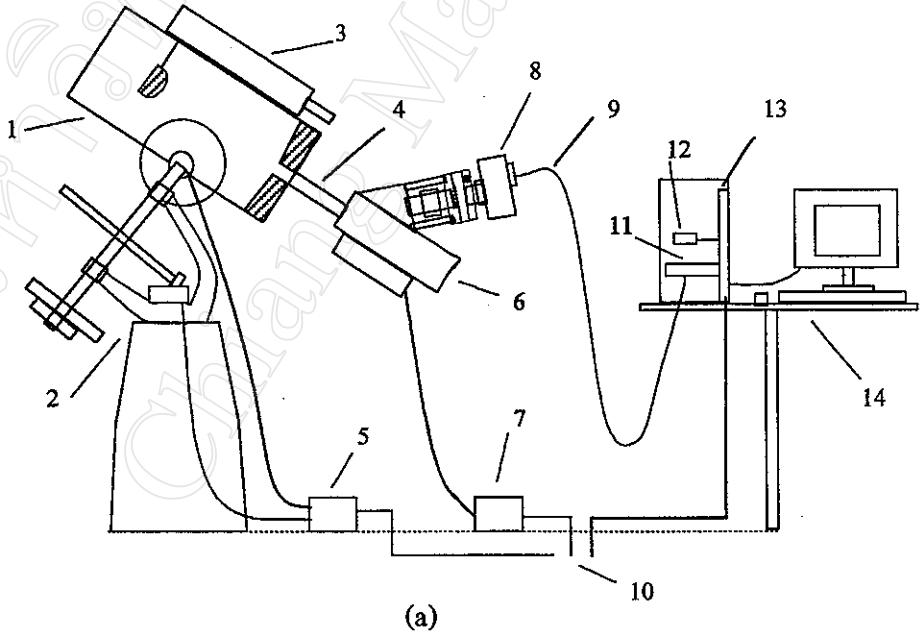
บทที่ 3
การเตรียมสังเกตการณ์

การสังเกตการณ์ดาวคู่บีตา ไลรี นี้ เป็นการทดลองผ่านอุปกรณ์ทางดาราศาสตร์ ดังรูปที่ 3-1 และผลสังเกตการณ์จะอยู่ในรูปของภาพสเปกตรัมที่ถ่ายด้วยเครื่องมือซีซีดีสเปกโตรกราฟ ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักที่ต่อพ่วงกับกล้องโทรทรรศน์ ขนาด 40 เซนติเมตร แล้วนำข้อมูลเหล่านี้ไปวิเคราะห์ แต่ก่อนการสังเกตการณ์ จำเป็นต้องมีการเตรียมการณ์ ได้แก่ ศึกษาหลักการทำงานและวิธีการใช้ของแต่ละอุปกรณ์สังเกตการณ์โดยเฉพาะซีซีดีสเปกโตรกราฟ ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการณ์พิสูจน์หาคุณสมบัติและการ alignment ของระบบอุปกรณ์สังเกตการณ์, หาชนิดสเปกตรัมของหลอดสเปกตรัมเปรียบเทียบ, รวมทั้งหาเทคนิคและวิธีการที่เหมาะสมในการถ่ายภาพสเปกตรัมตามคุณลักษณะของอุปกรณ์ดาราศาสตร์และสภาพแวดล้อมรอบ หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

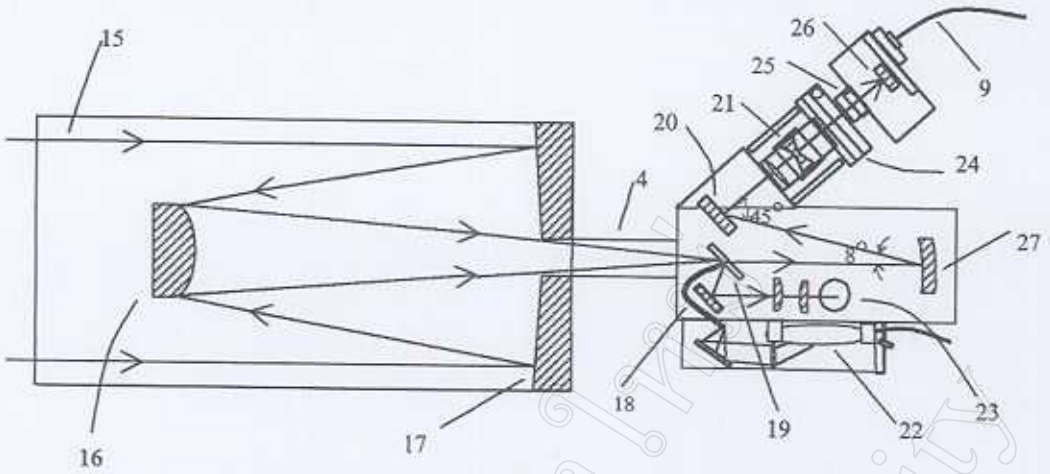
การเตรียมสังเกตการณ์ ประกอบด้วยหัวข้อใหญ่ 3 ข้อ คือ 3.1 อุปกรณ์สังเกตการณ์, 3.2 ขั้นตอนเตรียมสังเกตการณ์, 3.3 เทคนิคและวิธีสังเกตการณ์ถ่ายภาพสเปกตรัม

3.1 อุปกรณ์สังเกตการณ์

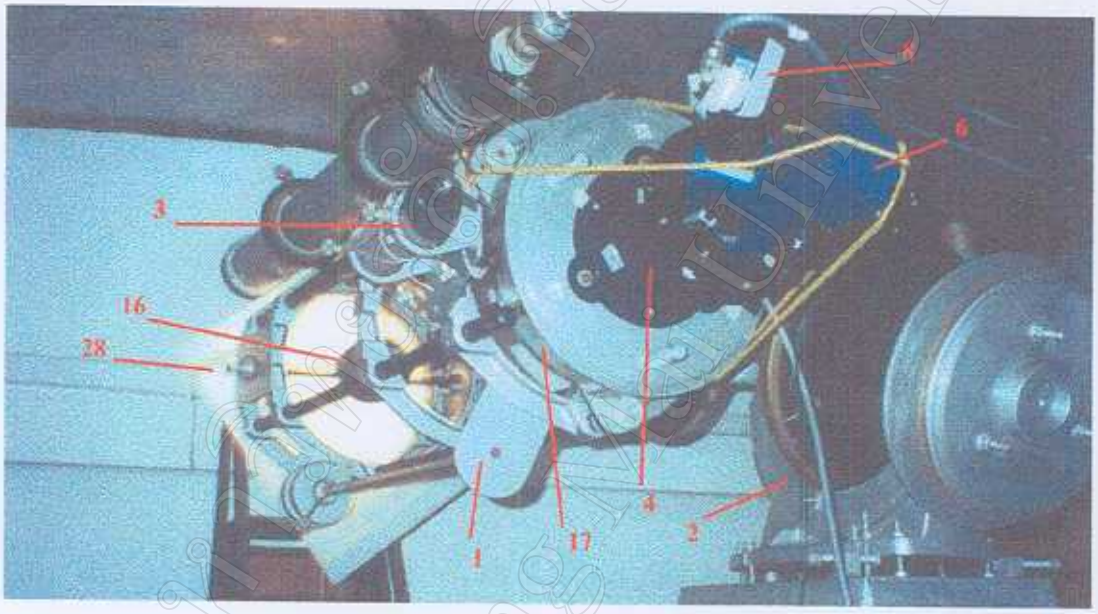


(a)

รูปที่ 3-1 อุปกรณ์สังเกตการณ์ (a).แผนภาพแสดงอุปกรณ์สังเกตการณ์, (b).แผนภาพแสดงแนวรังสีขนานของแสงดาวบนอุปกรณ์สังเกตการณ์, และ (c).ภาพถ่ายอุปกรณ์สังเกตการณ์ขณะทำการถ่ายสเปกตรัมของ Uniform light source



(b)



(c)

รูปที่ 3-1 อุปกรณ์สังเกตการณ์ (ต่อ)

เมื่อกำหนดให้หมายเลขกำกับอุปกรณ์เหล่านี้ มีชื่อ หรือความหมาย ดังนี้

1 คือ กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงชนิดคาสซิเกรน (Cassegrain reflector telescope)

2 คือ ฐานกล้องโทรทรรศน์ระบบเส้นศูนย์สูตร (equatorial)

3 คือ กล้องเล็งกำลังขยายต่ำสำหรับใช้ค้นหาดาว (finder telescope)

4 คือ ท่อกลวงเชื่อมต่อระหว่างกล้องโทรทรรศน์และระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟ

5 คือ เครื่องควบคุมอิเล็กทรอนิคติดตามดาว

6 คือ สเปกโตรกราฟ (spectrograph)

7 คือ หม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) AC เป็น DC

8 คือ กล้องซีซีดี (CCD หรือ charge-coupled device camera)

9 คือ สายเคเบิล (cable)

10 คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 โวลท์

11 คือ ISA bus controller card

12 คือ Hardware key port

13 คือ เมนบอร์ด (mainboard)

14 คือ เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (microcomputer)

15 คือ รังสีขนานของแสงดาว

16 คือ กระจกนูนทุติยภูมิ (convex secondary mirror)

17 คือ กระจกเว้าปฐมภูมิ (concave primary mirror)

18 คือ เส้นใยนำแสง (optical fibers)

19 คือ สลิต (slit)

20 คือ เกรติง (grating)

21 คือ วงแหวนปรับโฟกัส (focus ring)

22 คือ หลอดสเปกตรัมเปรียบเทียบ (comparison spectrum lamp)

23 คือ เลนส์ใกล้ตา (eyepiece)

24 คือ ชุดวงแหวนสำหรับยึดอุปกรณ์ของซีซีดีสเปกโตรกราฟ จำนวน 3 วง

25 คือ ท่อกลวงเชื่อมต่อระหว่างกล้องซีซีดีและสเปกโตรกราฟ

26 คือ ซีซีดีชิพ (CCD chip)

27 คือ กระจกคอลลิเมเตอร์ (collimator mirror)

28 คือ ฉากขาว (white screen) สำหรับใช้ในขบวนการถ่ายสเปกตรัมของ Uniform light source

อุปกรณ์สังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์ ดังรูปที่ 3-1 ประกอบด้วยอุปกรณ์หลายส่วนที่มีคุณสมบัติและหน้าที่เฉพาะในการปฏิบัติการ ซึ่งสามารถให้รายละเอียดเหล่านี้ ได้ดังนี้

(1). กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงชนิดคาสซิเกรน (หมายเลข 1) เป็นกล้องโทรทรรศน์หลักในการสังเกตการณ์ดาวเป้าหมาย ประกอบด้วย กระจกเว้าปฐมภูมิขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร (หมายเลข 17) และกระจกนูนทุติยภูมิ (หมายเลข 16) ซึ่งติดตั้งบนฐานกล้องระบบเส้นศูนย์สูตร (หมายเลข 2) และมีเครื่องควบคุมอิเล็กทรอนิคติดตามดาวเป้าหมายแบบอัตโนมัติ (หมายเลข 5) และมีกล้องเล็งกำลังขยายต่ำ (หมายเลข3) สำหรับใช้ค้นหาดาวเป้าหมาย อันเนื่องมาจากกล้องโทรทรรศน์หลักมีองศาในการสังเกตการณ์ท้องฟ้าค่อนข้างแคบ และเป็นกล้องโทรทรรศน์หลักที่ถูกติดตั้งอย่างถาวรที่ หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ที่ละติจูด (latitude) ประมาณ N18°47′ และลองจิจูด (longitude) ประมาณ E98°56′08″.07 หรือบริเวณภายในเขตอุทยานดอยสุเทพ-ปุย ตรงกับหลักกิโลเมตรที่ 12 สูงจากระดับน้ำทะเล 864 เมตร

(2). ซีซีดีสเปกโตรกราฟ (CCD Spectrograph) เป็นเครื่องมือถ่ายภาพสเปกตรัม มีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ

(2.1). กล้องซีซีดี (หมายเลข 8) เป็นกล้องถ่ายภาพ ที่ควบคุมการถ่ายภาพผ่านโปรแกรมเคสเทรลสเปก (KestrelSpec) บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (windows) 95/NT ขึ้นไปของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (หมายเลข 14) กล้องนี้มีแบบจำลอง (model) เป็น KX2 และ SPKX2 , มีรุ่น

เป็น Kodak KAF-1600 ด้วยพิกเซล (pixel size) ขนาด 9 ไมโครเมตร (μm), ภายในกล้องมีซีซีดีชิพ (หมายเลข 26) เป็นพื้นที่รับภาพขนาด 14.0 × 9.3 ตารางมิลลิเมตร [$(mm)^2$], และกล้องนี้ผลิตมาจากบริษัท Apogee instrument incorporation

(2.2). สเปกโตรกราฟ (หมายเลข 6) เป็นเครื่องมือสำหรับกระจายแสง (diffraction) ออกเป็นสเปกตรัม และให้ภาพสเปกตรัมปรากฏอยู่บนพื้นที่รับภาพของซีซีดีชิพ (หมายเลข 26) ของกล้องซีซีดี รุ่นของสเปกโตรกราฟนี้ คือ Model 10C Astronomical Grating Spectrograph ที่ใช้เฉพาะกับกล้องโทรทรรศน์ขนาด 30.48 ถึง 50.8 เซนติเมตร ด้วยเกรติงแบบระนาบสะท้อนแสง (reflection grating) ขนาด 600 ช่องต่อมิลลิเมตร (grooves/mm) ตรงกับหมายเลข 20 และกระจกคอลลิเมเตอร์ (หมายเลข 27) มีความยาวโฟกัสขนาด 225 มิลลิเมตร

(2.3). หลอดสเปกตรัมเปรียบเทียบ (หมายเลข 22) เป็นหลอดแคโทด (cathode) บรรจุก๊าซความดันต่ำติดตั้งเป็นอุปกรณ์หนึ่งของสเปกโตรกราฟ และสเปกตรัมที่ได้ เรียกว่า สเปกตรัมเปรียบเทียบ ทำหน้าที่กำหนดสเกลบนพื้นที่รับภาพของซีซีดีชิพให้อยู่ในหน่วย นาโนเมตร (nm) หรือ cm^{-1} สำหรับแต่ละขบวนการถ่ายภาพ เมื่อเดิมพื้นที่รับภาพของซีซีดีชิพอยู่ในหน่วย พิกเซล (pixel) ซึ่งขบวนการก่อกำเนิดสเปกตรัมนี้ เริ่มจากให้กระแสแก่วงจรเพื่อให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดและแอโนดของหลอด ด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าที่แปลงกระแสสลับ (AC) 220 โวลท์ เป็นกระแสตรง (DC) 12 โวลท์ (หมายเลข 7) จะทำให้อะตอมของก๊าซแตกตัวเป็นไอออนและมีอิเล็กตรอนเกิดขึ้นมากมายพร้อมกับเปล่งแสงและมีสีของแสงตามชนิดของก๊าซ อันเนื่องมาจากไอออนและอิเล็กตรอนวิ่งด้วยอัตราเร็วสูงชนกับอะตอมของก๊าซ และเมื่อแสงนี้ผ่านเกรติงของสเปกโตรกราฟจะทำให้เกิดเส้นสเปกตรัม และในการทดลองของหัวข้อ 3.2.1 พิสูจน์ได้ว่า ชนิดสเปกตรัมเปรียบเทียบนี้ คือ สเปกตรัมของนีออน (neon spectrum) ให้แสงเป็นสีส้ม

(3). เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ รุ่น 486 DX-4 100MHz (หมายเลข 14) ที่ติดตั้งโปรแกรมเคสเทรลสเปกบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95/NT ขึ้นไป ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการถ่ายภาพสเปกตรัมบนกล้องซีซีดีผ่านคำสั่งที่แป้นคีบอร์ด และสามารถใช้ในการคำนวณข้อมูลของภาพสเปกตรัมที่ได้จากการถ่ายได้, ติดตั้ง ISA bus controller card (หมายเลข 11) บน ISA slot ของเมนบอร์ด (หมายเลข 13) ซึ่ง ISA bus controller card เป็นแผงวงจรอิเล็กทรอนิคที่ควบคุมการทำงานของกล้องซีซีดีในการถ่ายภาพและบันทึกข้อมูลของภาพ, ติดตั้ง Hardware key port (หมายเลข 12) บน Printer port ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคที่ควบคุมการใช้บางคำสั่งของโปรแกรมเคสเทรลสเปก เช่น คำสั่งถ่ายภาพสเปกตรัม คำสั่งบันทึกภาพสเปกตรัม และคำสั่งในการถ่ายโอนข้อมูล เป็นต้น และถ้าไม่มีอุปกรณ์นี้จะทำให้ไม่สามารถใช้คำสั่งเหล่านี้ได้

(4). อุปกรณ์อื่นๆ สำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย

- หลอดสเปกตรัมทดสอบ เป็นหลอดแบบมีไส้ ทำมาจากขดลวดทังสเตน ภายในหลอดบรรจุก๊าซความดันต่ำ และใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า (power supply) ขนาด 500 วัตต์ จ่ายกระแสเข้าไปในขดลวดทำให้ขดลวดร้อนอย่างรวดเร็ว ไปกระตุ้นอะตอมของก๊าซ แล้วเกิดการเปล่งแสงออกมาให้สีตาม

ชนิดของก๊าซ และเมื่อแสงนี้ผ่านเกรติงของสเปกโตรกราฟจะทำให้เกิดเส้นสเปกตรัม ผู้เขียนขอเรียกสเปกตรัมนี้ว่า สเปกตรัมทดสอบ ซึ่งจะใช้เป็นตัวทดสอบหา alignment ของระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟ, และชนิดของหลอดสเปกตรัมเปรียบเทียบ ในหัวข้อที่ 3.2.1 เมื่อหลอดสเปกตรัมทดสอบที่นำมาใช้ในการทดลอง ได้แก่ หลอดนีออน (neon lamp) หลอดแคดเมียม (cadmium lamp) และหลอดโซเดียม (sodium lamp)

- เลนส์คอลลิเมเตอร์ (collimater lense)
- เลนส์รวมแสง (focusing lense)
- แหล่งจ่ายไฟฟ้า (power supply) ขนาด 500 วัตต์ (watt)
- ฐานตั้งหลอดสเปกตรัมทดสอบ
- ฉากขาว (หมายเลข 28)
- โคมไฟฟ้าแบบตั้งโต๊ะพร้อมหลอดแบบมีไส้ ขนาด 60 วัตต์ นำมาใช้สร้าง uniform light source สำหรับถ่ายแฟลท-ฟิลด์ (flat-field) ดังรูปที่ 3-1 (c)
- แผ่นวงกลม 3 รู
- และอื่นๆ

3.2 ขั้นตอนเตรียมสังเกตการณ์

เนื่องจากเครื่องมือถ่ายภาพสเปกตรัม ซีซีดีสเปกโตรกราฟ (CCD Spectrograph) เป็นเครื่องมือใหม่สำหรับการศึกษาวิจัยทางฟิสิกส์ดาราศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และเป็นอุปกรณ์หลักในการสังเกตการณ์สำหรับงานวิจัยนี้ ดังรูปที่ 3-1 และจากข้อเท็จจริงที่ว่า ข้อมูลหรือผลการทดลองจะมีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือเพียงพอที่จะนำไปวิเคราะห์ได้นั้น ระบบอุปกรณ์สังเกตการณ์หรือทดลองต้องมี alignment ก่อนจะดำเนินการใช้วัดหรือทดลองใดๆ เมื่อ alignment หมายถึง การปรับระบบเครื่องมือให้อยู่ในแนวเดียวกันเพื่อทำให้เครื่องมือสามารถใช้วัดค่าใดๆ ออกมาอย่างถูกต้องและเป็นจริง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับระบบอุปกรณ์ให้มี alignment ก่อนดำเนินการสังเกตการณ์ แยกพิจารณาเป็น 3 ส่วน คือ

(1). การ alignment ระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟ โดยระบบจะมี alignment เมื่อตำแหน่งของภาพสเปกตรัมที่สร้างจากเกรติงของสเปกโตรกราฟตรงกันพอดีกับตำแหน่งของพื้นที่รับภาพของซีซีดีชิพ (หมายเลข 26) พร้อมกับแนวของแถบสเปกตรัมและแนวการวัดของพื้นที่รับภาพของซีซีดีชิพต้องขนานกัน

(2). การ alignment กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงชนิดคาสซิเกรนขนาด 40 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3-1(b) โดยระบบของกล้องโทรทรรศน์มี alignment เมื่อเส้นแกนมุขสำคัญของกระจกปฐมภูมิและทุติยภูมิอยู่ในแนวเดียวกันและตรงกันกับแนวแกนกลางของกล้อง

(3). การ alignment ระบบการเชื่อมต่อกล้องโทรทรรศน์และซีซีดีสเปกโตรกราฟ โดยระบบการเชื่อมต่อจะมี alignment เมื่อตำแหน่งของภาพดาวเป้าหมายที่อยู่ส่วนท้ายกล้องโทรทรรศน์ตรงกันกับตำแหน่งของสลิตของเครื่องมือซีซีดีสเปกโตรกราฟ เมื่อกล้องโทรทรรศน์และซีซีดีสเปกโตรกราฟต่างก็มี alignment แล้ว

ด้วยเหตุนี้ การเตรียมสังเกตการณ์จึงเป็นเรื่องสำคัญประกอบด้วย 3.2.1 การทดลองหาชนิดสเปกตรัมเปรียบเทียบ (ภายใต้ระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟมี alignment แล้ว), และ 3.2.2 การ Alignment ระบบการเชื่อมต่อกล้องโทรทรรศน์และซีซีดีสเปกโตรกราฟ

3.2.1 การทดลองหาชนิดสเปกตรัมเปรียบเทียบ

เนื่องจากหลอดสเปกตรัมเปรียบเทียบของเครื่องมือซีซีดีสเปกโตรกราฟไม่ได้ระบุชนิดของสเปกตรัมไว้ จึงทำให้ต้องมีการทดลองหาชนิดของสเปกตรัมเปรียบเทียบ ซึ่งสเปกตรัมเปรียบเทียบนี้จะถูกใช้เป็นตัวกำหนดสเกลบนพื้นที่รับภาพของซีซีดีชิพของแต่ละขบวนการถ่าย จากเดิมที่อยู่ในหน่วย พิกเซล (pixel) ให้เปลี่ยนไปอยู่ในหน่วย นาโนเมตร (nm) หรือ cm^{-1} ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้หลอดสเปกตรัมทดสอบที่ทราบชนิดของสเปกตรัมแล้ว มาใช้หา alignment ของเครื่องมือซีซีดีสเปกโตรกราฟ และชนิดของสเปกตรัมเปรียบเทียบ โดยใช้สเปกตรัมทดสอบเป็นตัวกำหนดสเกลให้แก่พื้นที่รับภาพ เมื่อหลอดสเปกตรัมทดสอบที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ หลอดนีออน หลอดแคดเมียม และหลอดโซเดียม

การทดลองหาชนิดสเปกตรัมเปรียบเทียบ มีลำดับในการปฏิบัติการ ดังนี้คือ

3.2.1.1 ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรมเคสเทรลสเปก และสเปกตรัมทดสอบที่เหมาะสม

3.2.1.2 เตรียมอุปกรณ์ชุดทดลอง

3.2.1.3 การทดลองและผลการทดลอง

3.2.1.3.1 Alignment ระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟ

3.2.1.3.2 ถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบ

3.2.1.3.3 สรุปผลการทดลองถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบ

3.2.1.1 ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรมเคสเทรลสเปก และสเปกตรัมทดสอบที่เหมาะสม

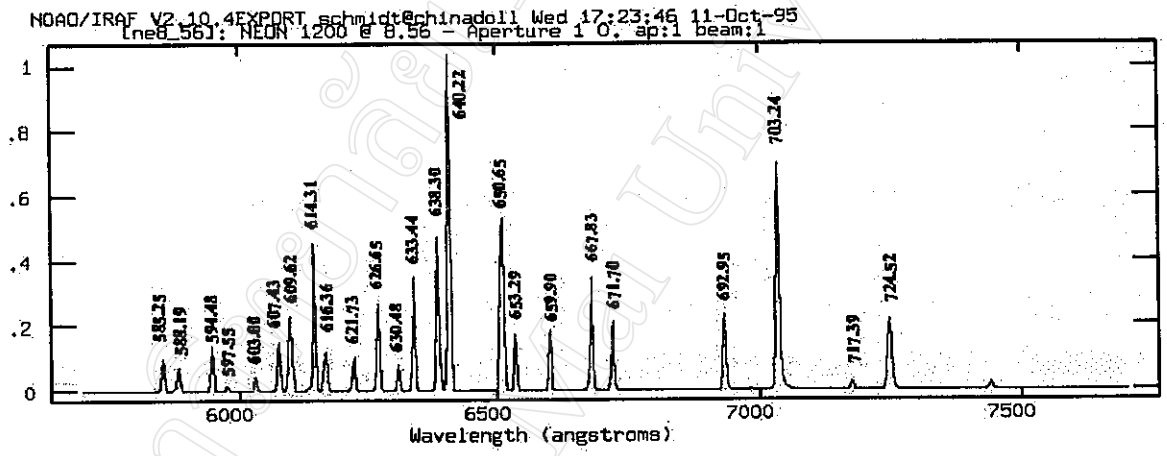
(1). ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรมเคสเทรลสเปก

ทั้งหลักการทำงาน, คำสั่งสำคัญๆ, ทฤษฎีการแก้ไขเส้นฐาน ของโปรแกรมเคสเทรลสเปก รวมถึงโปรแกรมอื่นที่ใช้ร่วมกับโปรแกรมหลักในการคำนวณ การถ่ายโอนข้อมูลให้อยู่ในรูปชนิดไฟล์อื่นๆ ผู้เขียนได้สรุปและรวบรวมไว้ในภาคผนวก ก

(2). สเปกตรัมทดสอบที่เหมาะสม

หลอดสเปกตรัมทดสอบที่นำมาทดลอง ประกอบด้วย หลอดนีออน (Ne Lamp), หลอดแคดเมียม (Cd Lamp), และหลอดโซเดียม (Na Lamp) ซึ่งยืมมาจากห้องปฏิบัติการทางแสงของ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากการพิจารณาข้อมูลทั้งในส่วนของรูปภาพสเปกตรัม (เส้นสเปกตรัมของรูปที่ 3-2), ข้อมูลทางตัวเลขของเส้นสเปกตรัม (จากภาคผนวก ข) พบว่า หลอดนีออนให้เส้นสเปกตรัมสว่างจำนวนมาก และค่อนข้างกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ ดังรูปที่ 3-2 ซึ่งเป็นย่านที่ต้องการศึกษา ดังนั้น จึงเลือกสเปกตรัมของนีออนเป็นสเปกตรัมทดสอบ ที่จะใช้หา alignment ของระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟ และชนิดสเปกตรัมเปรียบเทียบ โดยใช้ค่าความยาวคลื่นอ้างอิงของเส้นสเปกตรัมต่างๆ จากภาคผนวก ข

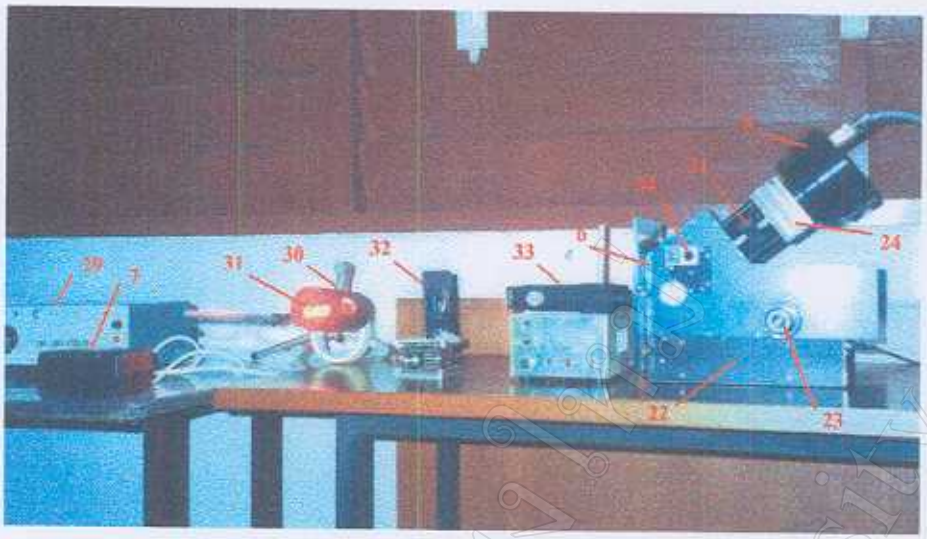
รูปที่ 3-2 คือภาพสเปกตรัมของนีออนสำหรับเกรติงขนาด 600 ช่องต่อมิลลิเมตร เมื่อเฉพาะส่วนที่เป็นโปรฟายของเส้นและค่าตัวเลขในแนวแกน โดยแกน y เป็นค่าความเข้มสัมพัทธ์ และค่าแกน x เป็นความยาวคลื่น มีหน่วยเป็น อังสตรอม ได้มาจากเวบไซต์ http://chinadoll.as.arizona.edu/~schmidt/spol/spol.html ของ Gary Schmidt และค่าตัวเลขที่กำกับบนแต่ละเส้นสเปกตรัมคือ ความยาวคลื่นในหน่วยนาโนเมตร ได้มาจากค่าความยาวคลื่นมาตรฐานของสเปกตรัมนีออน ที่รวบรวมโดย Wiese และ Martin [Weast et al., 1986-1987] ในภาคผนวก ข ซึ่งผู้เขียนกำหนดค่าความยาวคลื่นของเส้นต่างๆ กำกับลงไปดังรูปที่ 3-2 โดยวิธีการเปรียบเทียบค่าของเส้นบนสเกลในแนวแกน x ด้วยไม้วัดธรรมดากับค่าความยาวคลื่นมาตรฐานของนีออนจากภาคผนวก ข



รูปที่ 3-2 ภาพสเปกตรัมทดสอบของนีออน สำหรับเกรติงขนาด 600 ช่องต่อมิลลิเมตร เมื่อค่าความยาวคลื่นบนแกน x มีหน่วยเป็นอังสตรอม แต่สำหรับค่าที่กำกับบนแต่ละเส้นสเปกตรัมอยู่ในหน่วยของนาโนเมตร และค่าบนแกน y คือความเข้มสัมพัทธ์ (ฟลักซ์ของรังสี)

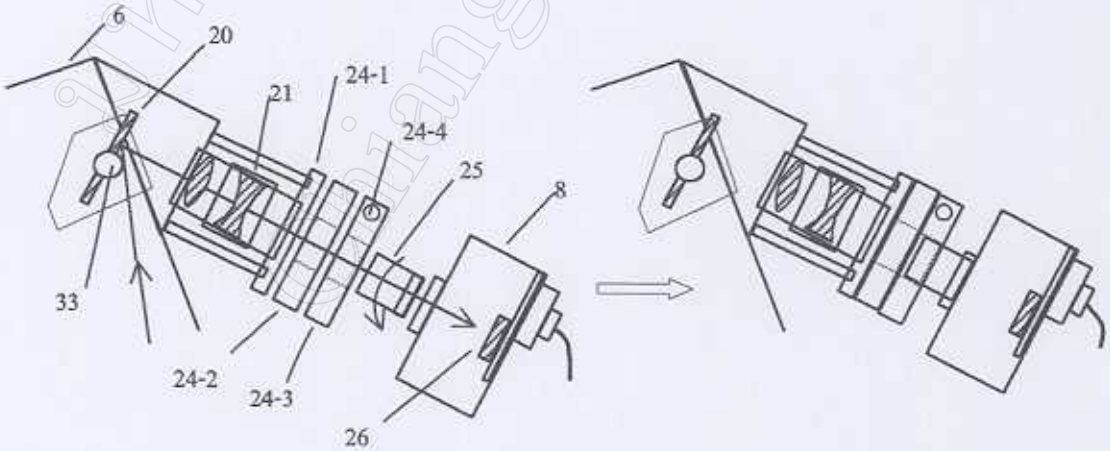
3.2.1.2 เตรียมอุปกรณ์ชุดทดลอง

เตรียมอุปกรณ์การทดลอง และดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการมืด ซึ่งผู้เขียนเลือกห้องปฏิบัติการมืดที่หอสังเกตการณ์ของฐานกล้องโทรทรรศน์ ขนาด 40 เซนติเมตร ณ หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยอาศัยความมืดตามธรรมชาติในเวลาค่ำและห้องที่ปิดสนิท ดังรูปที่ 3-3



(a-1)

(a-2)



(b)

รูปที่ 3-3 (a-1). และ (a-2). ภาพถ่ายแสดงชุดการทดลองหา alignment ระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟ และชนิดสเปกตรัมเปรียบเทียบ, และ (b).แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องมือซีซีดีสเปกโตรกราฟแบบแยกส่วน และแบบสมบูรณ์

เมื่อกำหนดให้หมายเลขกำกับบนอุปกรณ์เหล่านี้ มีชื่อหรือความหมาย พร้อมกับสอดคล้องหมายเลขของรูปที่ 3-1 ด้วย คือ

6 คือ สเปกโตรกราฟ

7 คือ หม้อแปลงไฟฟ้า AC เป็น DC

8 คือ กล้องซีซีดี

14 คือ เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ รุ่น 486 DX-4 100MHz

20 คือ เกรติง

21 คือ วงแหวนปรับโฟกัส

22 คือ หลอดสเปกตรัมเปรียบเทียบ

23 คือ เลนส์ใกล้ตา

24 คือ ชุดวงแหวนสำหรับยึดอุปกรณ์ของซีซีดีสเปกโตรกราฟ จำนวน 3 วง

24-1 คือ วงแหวนยึดชุดของเลนส์ปรับโฟกัส (lens clamp)

24-2 คือ วงแหวนเว้นระยะ (spacer clamp)

24-3 คือ วงแหวนยึดเพลา

24-4 คือ สกรูสำหรับปรับหมุนเพื่อให้การยึดเพลาแน่น

25 คือ ท่อกลวงเชื่อมต่อระหว่างกล้องซีซีดีและสเปกโตรกราฟ

26 คือ ซีซีดีชิพ

29 คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 500 วัตต์

30 คือ ฐานตั้งหลอดสเปกตรัมทดสอบ

31 คือ หลอดสเปกตรัมทดสอบ ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ หลอดนีออน หลอดแคดเมียม และหลอดโซเดียม

32 คือ เลนส์รวมแสง (focusing lens)

33 คือ เลนส์คอลลิเมเตอร์ (collimator lens)

34 คือ ปุ่มปรับมุมเกรติง

รูปที่ 3-3(a-1) และ(a-2) เป็นภาพถ่ายแสดงชุดการทดลอง สำหรับหา alignment ระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟ และชนิดสเปกตรัมเปรียบเทียบของหลอดแคโทดในสเปกโตรกราฟ และรูปที่ 3-3(b) เป็นแผนภาพแสดงส่วนประกอบของซีซีดีสเปกโตรกราฟ ที่ผู้เขียนต้องการแสดงให้เห็นชิ้นส่วนที่สำคัญของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับหา alignment ระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟ เมื่อเราสามารถเลื่อนตัวกล้องซีซีดี (หมายเลข 8) ที่ยึดแน่นกับท่อกลวง (หมายเลข 25) เข้าหรือออก หรือหมุน โดยการคลายสกรู (หมายเลข 22-4)

3.2.1.3 การทดลองและผลการทดลอง

มีขั้นตอน ประกอบด้วย 3.2.1.3.1 Alignment ระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟ, 3.2.1.3.2 ถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบ, และ 3.2.1.3.3 สรุปผลการทดลองถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบ

3.2.1.3.1 Alignment ระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟ

มีลำดับในการ alignment ดังนี้ คือ

ลำดับที่ 1. เตรียมอุปกรณ์การทดลอง ดังรูปที่ 3-3 โดยเลือกหลอดสเปกตรัมทดสอบเป็นหลอดนีออน (หมายเลข 31)

เมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 500 วัตต์ (หมายเลข 29) ถูกทำให้จ่ายกระแสไฟฟ้าแก่หลอดสเปกตรัมทดสอบ ซึ่งจะได้แสงออกมา ไปผ่านเลนส์รวมแสง (หมายเลข 32) ซึ่งทำหน้าที่รวมแสงให้มีความเข้มสูง ผ่านเข้าไปในสลิตของชุดคอลลิเมเตอร์ (หมายเลข 33) ทำให้แสงนี้กลายเป็นแสงขนาน แล้วผ่านเข้าไปในช่องสลิตของสเปกโตรกราฟ (หมายเลข 19) แล้วไปสะท้อนที่กระจกคอลลิเมเตอร์ (หมายเลข 27) เป็นมุม 8° แล้วตกกระทบบนเกรติงแบบระนาบสะท้อนแสง (หมายเลข 20) แล้วเกิดการกระจายของแสงออกเป็นแถบสเปกตรัมไปตกลงบนพื้นที่รับภาพของซีซีดีชิพ (หมายเลข 26) ซึ่งการกระจายของแสงออกเป็นสเปกตรัมเมื่อแสงมีการผ่านหรือสะท้อนจากเกรติง เพราะว่า โฟตอนที่มีความยาวคลื่นไม่เท่ากันจะมีการเลี้ยวเบนไม่เท่ากัน ดังนั้น จึงเกิดการแยกของแสงออกเป็นแถบสเปกตรัม และสามารถถ่ายภาพสเปกตรัมที่ตกบนพื้นที่รับภาพของซีซีดีชิพในกล้องซีซีดี ด้วยคำสั่งการถ่ายภาพผ่านโปรแกรมเคสเทรลสเปกบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ที่มีการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์จาก ISA bus controller card (หมายเลข 11) บนเมนบอร์ด (หมายเลข 13) กับกล้องซีซีดี ด้วยสายเคเบิล (หมายเลข 9) ขณะเดียวกันก็ต้องมี Hardware key port ติดตั้งบน Printer port ด้วยจึงจะสามารถใช้คำสั่งนี้ได้

การ alignment ในเบื้องต้นคือ หลอดสเปกตรัมทดสอบนีออน, เลนส์รวมแสง, เลนส์คอลลิเมเตอร์, และช่องสลิตของสเปกโตรกราฟ ต้องอยู่ในแนวเดียวกัน ซึ่งสังเกตจากภาพของแหล่งกำเนิดแสงที่ปรากฏบนระนาบของสลิตผ่านช่องเลนส์ใกล้ตา (หมายเลข 23) มีความเข้มสูงสุดอยู่ตรงช่องสลิต เพราะว่าแสงที่มีความเข้มสูงจะแสดงถึงว่าแนวแกนมุขสำคัญของระบบเลนส์อยู่ในแนวเดียวกัน เมื่อลักษณะของช่องสลิตของสเปกโตรกราฟที่เห็นจากเลนส์ใกล้ตา คือ ขีดยาวสีดำ

ลำดับที่ 2. กำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเคสเทรลสเปก ก่อนดำเนินการถ่ายภาพสเปกตรัม

เมื่อเปิดเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์และมีสถานะอยู่ในระบบปฏิบัติการวินโดวส์ แล้วเปิดเข้าสู่โปรแกรมเคสเทรลสเปก ซึ่งค่าเริ่มต้นที่เราต้องกำหนด คือ

- แบบจำลองของกล้องซีซีดีเป็น SPKX2 ที่หน้าต่าง Apogee SPH Series CCD Cameras
- ค่าอุณหภูมิการทำงานของระบบซีซีดีเป็น –10 องศาเซลเซียส (หรือต่ำกว่า) ที่ Setup Menu Option: Camera Configuration
- พื้นที่ของภาพในการแสดงผลที่อ่านจากเครื่องวัดซีซีดี (Binning Setup) เป็นขนาดของพิกเซล (Pixel Size) 9×288 microns ที่ Setup Menu Option : Binnig Setup
- กำหนด Auto Flat-Field Correction และ Auto Background Subtraction ที่ Set Menu Option เป็น None

ลำดับที่ 3. ถ่ายภาพสเปกตรัมทดสอบของหลอดนีออน

เป็นขบวนการหา alignment ของระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟ เมื่ออุณหภูมิการทำงานของกล้องซีซีดีลดต่ำลงถึงระดับ –10 องศาเซลเซียสแล้ว มีขั้นตอนดังนี้ คือ

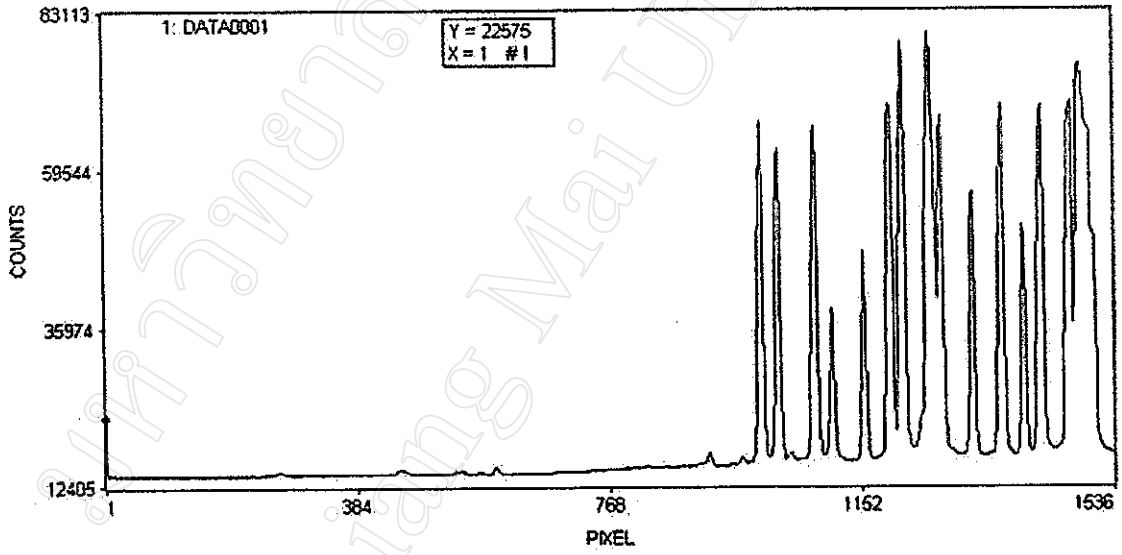
(1). เปิดสวิตช์ไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 500 วัตต์เพื่อให้กระแสไฟฟ้าแก่ หลอดสเปกตรัมทดสอบของนีออน และกำหนดค่าเวลาในการเปิดหน้ากล้องรับแสงของซีซีดี หรือ Exposure Time เท่ากับ 0.20 วินาที (หรือค่าอื่นที่เหมาะสม จากต่ำสุด 0.02 วินาที) ที่ Setup Menu Option : Acquire Setup

(2). สั่งให้กล้องซีซีดีถ่ายภาพสเปกตรัมตามเวลาที่กำหนด 0.20 วินาที ที่ Acquire Menu Option : Acquire Spectra จะทำให้ได้ภาพปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์เป็นไฟล์ Curve (สกุล .crv) ดังในรูปที่ 3-4(a) แล้วให้เปลี่ยนเป็นไฟล์ Image (สกุล .img)ได้ที่ Window Menu Option : Active Image ก็จะทำให้ได้ภาพในไฟล์ Image ดังรูปที่ 3-4(b) แล้วให้สังเกตแนวของแถบสเปกตรัม พบว่า ไม่ขนานกับแนวการวัดของพื้นที่รับภาพหรือแนวของแกน x แสดงว่า ระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟยังไม่มี alignment ซึ่งสามารถทำการ alignment ได้ในขั้นตอนต่อไป

(3). ทำการ alignment ระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟ เมื่อภาพสเปกตรัมที่ถ่ายในขั้นตอนที่ (2) แสดงความไม่มี alignment ของระบบ ดังรูปที่ 3-4(a) และ(b) ดำเนินการได้ดังนี้

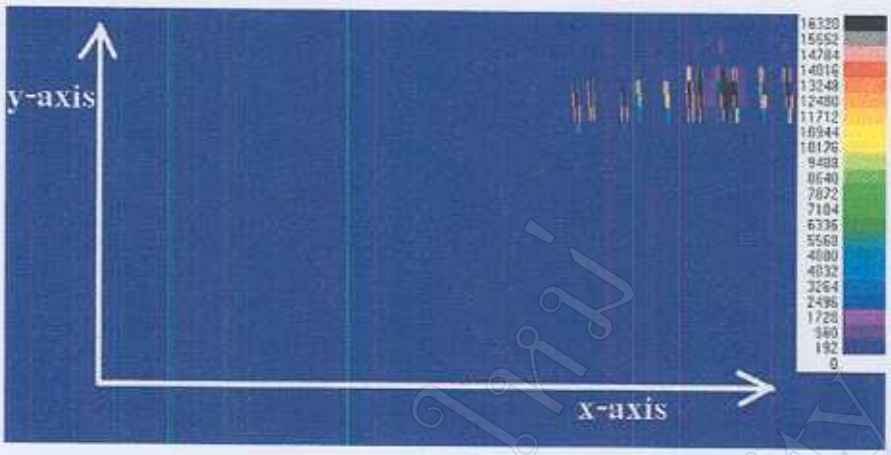
- อันดับแรก ทำการปรับระยะโฟกัสให้ตำแหน่งของภาพสเปกตรัมที่สะท้อนมาจากระนาบของเกรติงตรงกันกับตำแหน่งของพื้นที่รับภาพของกล้องซีซีดี ซึ่งกระทำได้โดยการปรับระยะโฟกัสที่วงแหวนปรับโฟกัส (หมายเลข 21) แต่ถ้าทำการปรับโฟกัสตลอดช่วงสเกลที่สามารถปรับโฟกัสแล้วยังไม่สามารถสังเกตเห็นภาพสเปกตรัมหรืออาจมองเห็นเพียงบางส่วนซึ่งไม่ชัดเจน แสดงว่า ตำแหน่งของพื้นที่รับภาพของกล้องซีซีดีอยู่ไกลหรือใกล้เกินไปจากตำแหน่งของการเกิดภาพนั่นเอง ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยการขยับหัววัดซีซีดีเข้ามาใกล้หรือถอยห่างจากวงแหวนปรับโฟกัส ซึ่งเริ่มต้นจากการปรับให้ตำแหน่งของระยะโฟกัสของวงแหวนปรับโฟกัส (หมายเลข 21) อยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางสเกลของระยะที่สามารถปรับโฟกัสได้ก่อนเพื่อความสะดวกในภายหลัง แล้วจึงทำการคลายสกรู (หมายเลข 24-4) เพื่อให้สามารถเลื่อนท่อกลวง (หมายเลข 25) เข้าหรือออก เมื่อยึดท่อกลวงติดแน่นกับกล้องซีซีดี ขณะเดียวกันก็ทำการถ่ายภาพสเปกตรัมทดสอบของนีออนอย่างต่อเนื่องด้วยคำสั่ง Repeat-Acquire Spectra (หรือ Repeat-Acquire Image) ที่ Acquire Menu Option แล้วสังเกตภาพสเปกตรัมบนหน้าจอคอมพิวเตอร์และถ้าได้ภาพสเปกตรัมออกมาคมชัดหรือเกือบคมชัด นั่นแสดงว่า ตำแหน่งของพื้นที่รับภาพของซีซีดีชิพในกล้องซีซีดีอยู่ตรงหรือเกือบตรงกันกับตำแหน่งของการเกิดภาพสเปกตรัม แล้วให้ทำการยึดตำแหน่งของกล้องซีซีดีอยู่กับที่ด้วยการขันสกรูยึดท่อกลวงให้แน่น
- อันดับที่สอง เมื่อได้ภาพสเปกตรัมปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์แล้ว แต่ถ้าแนวของแถบสเปกตรัมไม่เกิดการ alignment หรือตรงกันกับแนวการวัดของพื้นที่รับภาพ ดังเช่นในรูปที่ 3-4(b) ก็จะแก้ไขเริ่มด้วยการคลายสกรู (หมายเลข 24-4) ให้หลวมแล้วทำการหมุนตัวกล้องซีซีดี (หมายเลข 8) ที่ยึดแน่นกับท่อกลวง (หมายเลข 25) อย่างเป็นจังหวะสลับกันให้สอดคล้องกับเวลาในการเปิดหน้ากล้องหรือช่วงเวลาในการถ่ายภาพสเปกตรัมต่อ 1 ภาพ เมื่อทำการยึดตำแหน่งเข้า-ออกของกล้องซีซีดีไม่ให้เคลื่อนที่พร้อมกับทำการถ่ายสเปกตรัมด้วยคำสั่ง Repeat--Acquire Image ที่ Acquire Menu Option ด้วย Exposure Time ที่เหมาะสม ซึ่งในขณะที่โปรแกรมกำลังดำเนินการถ่ายสเปกตรัมอย่างต่อเนื่องและแสดงภาพสเปกตรัมที่เกิดจากการถ่ายแต่ละครั้งออกทางจอคอมพิวเตอร์และให้ภาพสเปกตรัมเปลี่ยน

ไปตามตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของกล้องซีซีดีหรือทิศทางของพื้นที่รับภาพ ก็ให้ทำการสังเกตภาพสเปกตรัมพร้อมกันไปด้วย และถ้าปรากฏว่า แนวของแถบสเปกตรัมตรงกันกับแนวการวัดของพื้นที่รับภาพหรือแนวของแกน x แล้วให้ทำการหยุดหมุนตัวกล้องซีซีดีและยึดให้อยู่กับที่ด้วยการขันสกรูยึดท่อกลวง (หมายเลข 25) ให้แน่น หลังจากนั้น ให้ทำการปรับโฟกัสที่วงแหวนปรับโฟกัส (หมายเลข 21) และคลิก Peak Finder เพื่อให้แสดงข้อมูลของเส้นสเปกตรัม พร้อมกับใช้คำสั่งถ่ายภาพสเปกตรัมเป็น Repeat-Acquire Spectra เพื่อให้ได้ภาพสเปกตรัมปรากฏคมชัดที่สุดอีกครั้งหนึ่ง โดยให้สังเกตว่า ตำแหน่งที่เกิดการโฟกัส คือ ค่า FWHM มีค่าต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ของเส้นสเปกตรัมดังกล่าวหรือพีคหนึ่งพีคใด และถ้าได้ภาพสเปกตรัมออกมาโฟกัสแล้วก็ให้ทำการยึดตำแหน่งของวงแหวนปรับโฟกัสไม่ให้เคลื่อนที่ ซึ่งภาพที่มี alignment แล้ว อย่างเช่น ดังรูปที่ 3-4(c) นั่นคือ แนวของแถบสเปกตรัมขนานกับแนวการวัดภาพของซีซีดี และแต่ละพีคหรือเส้นสเปกตรัมให้ค่า FWHM มีค่าต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

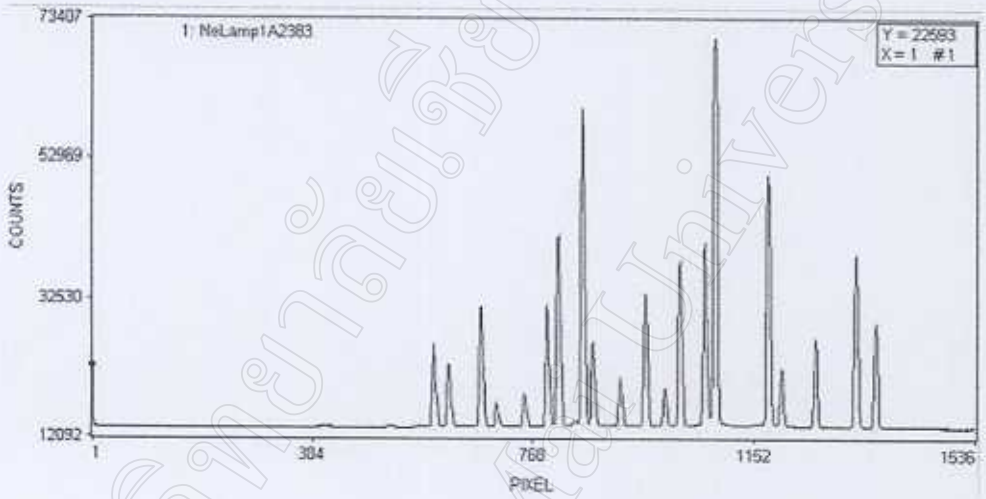


(a)

รูปที่ 3-4 Alignment ระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟ โดยใช้สเปกตรัมทดสอบของนีออนเป็นตัวทดสอบ (a).ภาพสเปกตรัมทดสอบของนีออนในไฟล์ Curve สำหรับ non alignment เมื่อค่าเริ่มต้นคือ Created 02/23/2000 at 11:17:11; Exp: 0.20 secs; Temp: -10.5C; Binning: 1 x 32; Image Size: 1536 x 32; Origin: 1,1, (b).ภาพสเปกตรัมทดสอบของนีออนในไฟล์ Image สำหรับ non alignment [เป็นภาพเดียวกันกับรูปที่3-4(a)] เมื่อค่าเริ่มต้นเหมือนกับรูปที่3-4(a) ด้วย, และ (c).ภาพสเปกตรัมทดสอบของนีออนในไฟล์ Curve สำหรับระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟมี alignment แล้ว เมื่อค่าเริ่มต้นคือ Created 03/05/2000 at 19:12:31; Exp: 0.02 secs; Temp: -11.0C; Binning: 1 x 32; Image Size: 1536 x 32; Origin: 1,1



(b)



(c)

รูปที่ 3-4 Alignment ระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟ โดยใช้สเปกตรัมทดสอบของนีออนเป็นตัวทดสอบ (ต่อ)

3.2.1.3.2 ถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบ

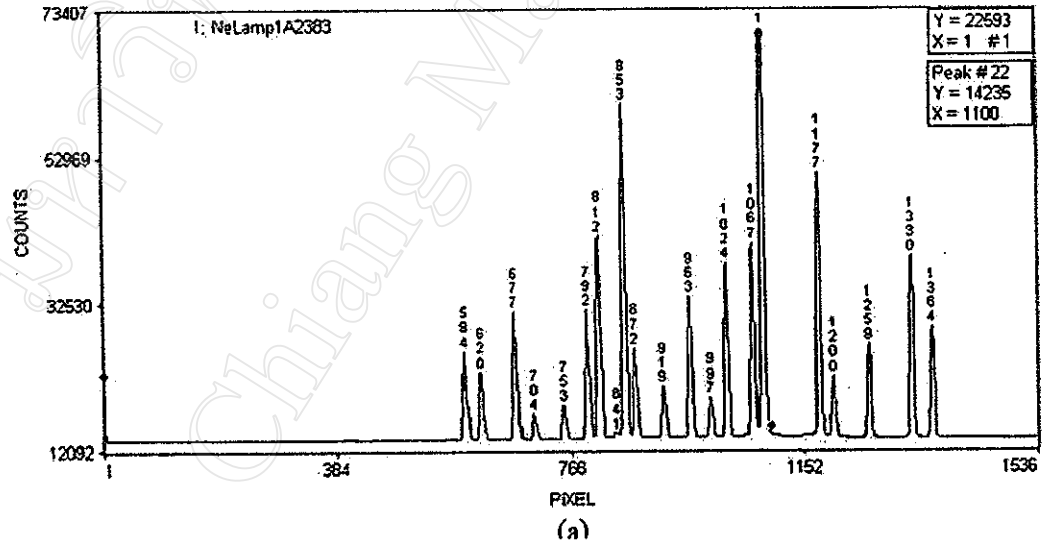
ถ่ายภาพสเปกตรัมของหลอดสเปกตรัมเปรียบเทียบ (หมายเลข 22) ของซีซีดีสเปกโตรกราฟโดยใช้ค่าความยาวคลื่นของสเปกตรัมทดสอบของนีออนเป็นตัวกำหนดสเกลให้แก่พื้นที่รับภาพของซีซีดี เมื่อระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟมี alignment แล้ว ซึ่งมีลำดับการถ่ายภาพสเปกตรัม ตามลำดับ คือ

1. ถ่ายภาพสเปกตรัมทดสอบของนีออนจากหลอดสเปกตรัมทดสอบของนีออน ด้วย Exposure time = 0.02 วินาที ได้ภาพสเปกตรัม ดังรูปที่ 3-5(a)
2. ถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบของหลอดสเปกตรัมเปรียบเทียบ ด้วย Exposure time = 0.02 วินาที ได้ภาพสเปกตรัม ดังรูปที่ 3-5(c)
3. ถ่ายภาพสเปกตรัมทดสอบของนีออนจากหลอดสเปกตรัมทดสอบของนีออนซ้ำอีกครั้งด้วย Exposure time = 0.02 วินาที สำหรับภาพนี้ถ่ายเพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

และเมื่อขบวนการถ่ายเสร็จสิ้น แล้วให้ทำการเปรียบเทียบค่าความยาวคลื่นของสเปกตรัมทดสอบของนีออนทั้งก่อนและหลังขบวนการถ่ายสเปกตรัม ซึ่งถ้าผลจากการเปรียบเทียบ ให้ค่าความยาวคลื่นในหน่วย

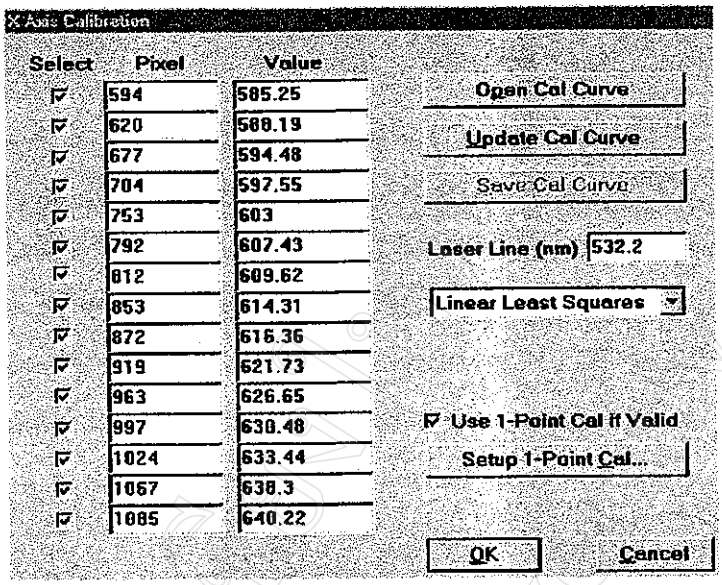
ของพิกเซลของแต่ละพีคตรงกันของทั้ง 2 ภาพ นั่นแสดงว่า ข้อมูลทั้งขบวนการถ่ายครั้งนี้เชื่อถือได้ และสามารถนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปได้ ถ้าหากว่ามีค่าพิกเซลไม่ตรงกันสำหรับแต่ละเส้น แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการถ่ายสเปกตรัมในขบวนการนี้ใช้ไม่ได้และไม่ควรนำไปวิเคราะห์ จึงต้องทำการถ่ายใหม่อีก และทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลดังกล่าวนี้ทุกครั้ง และบางครั้งแม้นว่าผลการเปรียบเทียบจะออกมาถูกต้องแต่ข้อมูลของภาพถ่ายสเปกตรัมที่อยู่ระหว่างขบวนการอาจมีการเลื่อน (shift) ซึ่งให้ค่าไม่ถูกต้องอันเนื่องมาจากเครื่องมือได้ ดังนั้น การศึกษาทางสเปกโตรสโคปีจึงจำเป็นต้องมีการถ่ายภาพสเปกตรัมหลายๆ รอบ สำหรับข้อมูลชุดเดียวที่เราต้องการเพื่อนำไปวิเคราะห์

ทำการวิเคราะห์ผลจากการถ่ายภาพสเปกตรัม ดังรูปที่ 3-5 พบว่า ค่าความยาวคลื่น (หน่วยพิกเซลและนาโนเมตร), รูปร่าง, และระยะห่าง ของเส้นสเปกตรัมเปรียบเทียบในรูปที่ 3-5(c) นั้นตรงกันอย่างบังเอิญกับรูปที่ 3-5(a) ที่เป็นภาพสเปกตรัมทดสอบของนีออน และจากการตรวจสอบโดยแทนค่าความยาวคลื่นมาตรฐานของนีออนจากตารางที่ ข-1 (ภาคผนวก ข) สำหรับสเปกตรัมทดสอบของนีออน [รูปที่ 3-5(a)] ที่ Setup: X Axis Calibration [รูปที่ 3-5(b)] และเมื่อทุกภาพอยู่ในหน่วยของความยาวคลื่นนาโนเมตร จึงเห็นชัดเจนว่า ชนิดสเปกตรัมเปรียบเทียบจากหลอดสเปกตรัมเปรียบเทียบที่อยู่ในเครื่องมือสเปกโตรกราฟคือ สเปกตรัมของนีออน เมื่อใช้สเปกตรัมทดสอบของนีออน ดังรูปที่ 3-5(a) เป็นตัวกำหนดสเกลให้แก่พื้นที่รับภาพ และต่อไปจะขอเรียกสเปกตรัมเปรียบเทียบนี้ว่า สเปกตรัมเปรียบเทียบนีออน

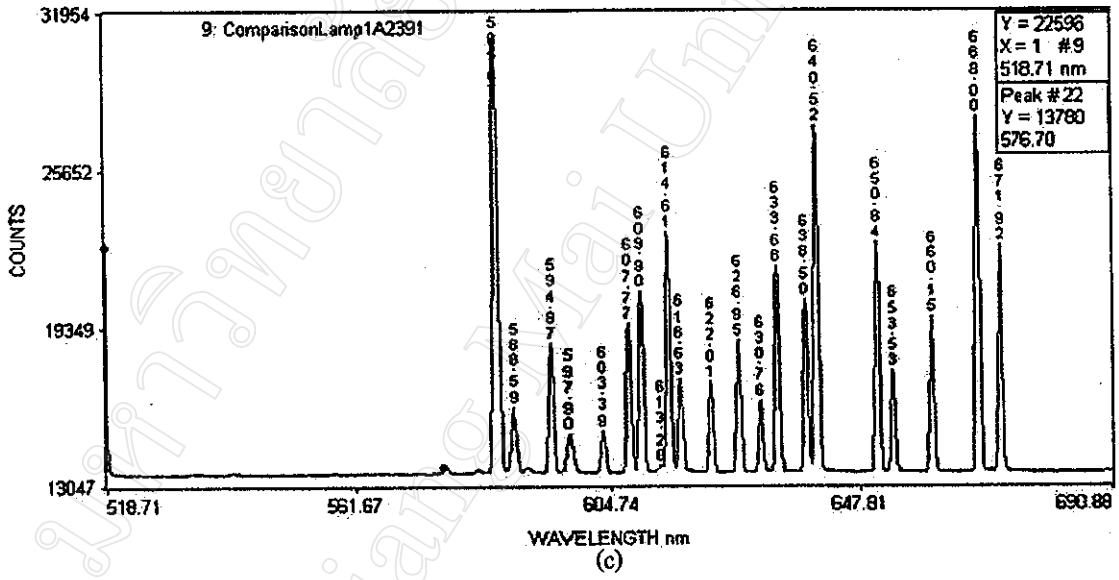


(a)

รูปที่ 3-5 ภาพแสดงขบวนการถ่ายภาพสเปกตรัมหาชนิดสเปกตรัมเปรียบเทียบ โดยใช้สเปกตรัมทดสอบของนีออนเป็นตัววัด เมื่อระบบมี alignment แล้ว (a).ภาพสเปกตรัมทดสอบของนีออนใช้กำหนดสเกลพื้นที่รับภาพ เมื่อค่าเริ่มต้นคือ Created 03/05/2000 at 19:12:31; Exp: 0.02 secs; Temp: -11.0C; Binning: 1 x 32; Image Size: 1536 x 32; Origin: 1,1, (b).ภาพการกำหนดสเกลให้แก่พื้นที่รับภาพ, และ (c).ภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบ ในสเกลนาโนเมตร จากการกำหนดสเกลด้วยสเปกตรัมทดสอบของนีออนรูปที่ 3-5(a) เมื่อค่าเริ่มต้นคือ Created 03/05/2000 at 19:17:53; Exp: 0.02 secs; Temp: -11.0C; Binning: 1 x 32; Image Size: 1536 x 32; Origin: 1,1



(b)

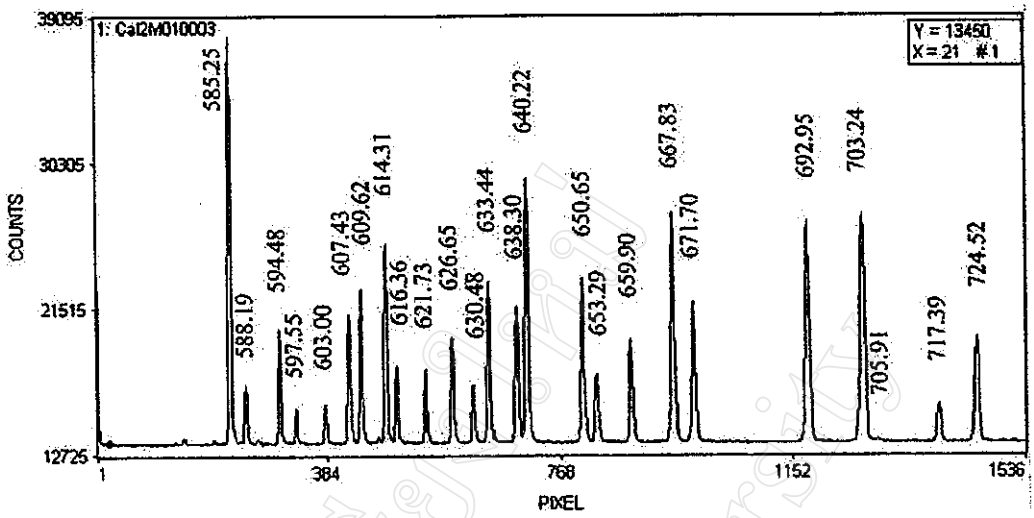


(c)

รูปที่ 3-5 ภาพแสดงขบวนการถ่ายภาพสเปกตรัมหาชนิดสเปกตรัมเปรียบเทียบ โดยใช้สเปกตรัมทดสอบของนีออนเป็นตัววัด เมื่อระบบมี alignment แล้ว (ต่อ)

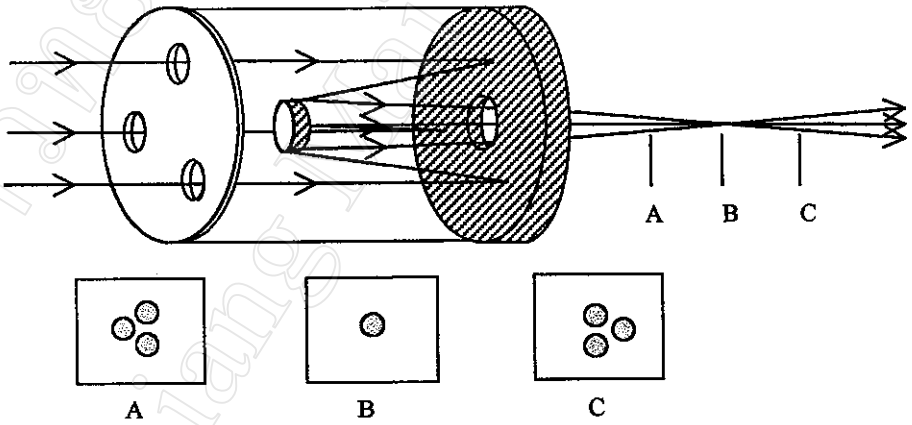
3.2.1.3.3 สรุปผลการทดลองถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบ

จากการใช้สเปกตรัมทดสอบเป็นนีออน หา alignment ระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟ โดยการมี alignment พิจารณาตามความหมายที่ให้ไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1.3.1 และเมื่อระบบมี Alignment แล้ว ดำเนินการถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบ พบว่า มีชนิดสเปกตรัมเป็นนีออน เมื่อใช้สเปกตรัมทดสอบของหลอดนีออนเป็นตัวกำหนดสเกลให้แก่พื้นที่รับภาพของซีซีดีชิพ ดังนั้น การสังเกตการณ์โดยการถ่ายภาพสเปกตรัมของดาวคู่บีตา ไลรี จึงชัดเจนว่า ชนิดสเปกตรัมเปรียบเทียบคือ นีออน ที่จะใช้กำหนดสเกลให้กับภาพสเปกตรัมทุกภาพในขบวนการของการสังเกตการณ์ พร้อมกับใช้ค่าความยาวคลื่นมาตรฐานที่ได้จากการทดลองที่น่าเชื่อถือในภาคผนวก ข ซึ่งผู้เขียนสรุปไว้เป็นมาตรฐานในการวัดต่อไป ดังรูปที่ 3-6



รูปที่ 3-6 เส้นสเปกตรัมเปรียบเทียบนีออนและความยาวคลื่นอ้างอิงจากผลการทดลอง สำหรับระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟมี alignment , ด้วย Exposure time = 0.02 วินาที, เกรติง ขนาด 600 ช่องต่อมิลลิเมตร, เมื่อค่าตัวเลขกำกับที่แต่ละเส้นเป็นความยาวคลื่นในหน่วย นาโนเมตร ที่ใช้อ้างอิง

3.2.2 การ Alignment ระบบการเชื่อมต่อกล้องโทรทรรศน์และซีซีดีสเปกโตรกราฟ



รูปที่ 3-7 แสดงลักษณะของภาพดาวที่เกิดขึ้นที่ระยะต่างกัน เมื่อ A เป็นภาพเมื่อตำแหน่งรับภาพ A อยู่สั้นกว่าระยะโฟกัส, B เป็นภาพเมื่อตำแหน่งรับภาพ B อยู่ที่ระยะโฟกัสพอดี, และ C เป็นภาพเมื่อตำแหน่งรับภาพ C อยู่ไกลจากระยะโฟกัส [วุฒิไกร, พ.ศ. 2542]

มีขั้นตอนหา alignment ระบบการเชื่อมต่อกล้องโทรทรรศน์และซีซีดีสเปกโตรกราฟ ดังนี้ คือ

1. Alignment กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงชนิดคาสซิเกรน ดังรูปที่ 3-7 ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สามารถกระทำได้โดยไม่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือซีซีดีสเปกโตรกราฟ และสามารถดำเนินการได้ตามความหมายที่ได้อธิบายในข้อที่ (2) ของหัวข้อ 3.2 หน้า 58

2. Alignment ระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟ ซึ่งมีหลักการและขั้นตอนในการ Alignment ตามความหมายที่ได้อธิบายไปในข้อที่ (1) หัวข้อ 3.2 หน้า 58 และในหัวข้อ 3.2.1.3.1 อย่างละเอียดแล้ว

3. Alignment ระบบการเชื่อมต่อกล้องโทรทรรศน์และซีซีดีสเปกโตรกราฟ จึงเป็นเพียงการให้แสงที่สะท้อนจากกระจกทุติยภูมิของกล้องโทรทรรศน์ไปโฟกัสที่ตำแหน่งสลิตในเครื่องสเปกโตรกราฟพอดีเท่านั้นสำหรับวัตถุดาวที่อยู่ไกลมาก (ระยะอนันต์) และมีขนาดเป็นจุดจะมีตำแหน่งภาพอยู่ที่จุดโฟกัส ดังรูปที่ 3-7 และถ้าหากว่าเป็นวัตถุท้องฟ้าระยะไกลมีขนาดโต เช่น ดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ จะได้ภาพมีขนาดอยู่บนระนาบโฟกัส ของจุดโฟกัสนี้ เมื่อแต่ละจุดกำเนิดแสงของวัตถุเป็นแสงขนาน แต่ถ้าหากว่าเป็นวัตถุบนโลก ซึ่งไม่ไกลเป็นอนันต์ จะทำให้ตำแหน่งภาพปรากฏอยู่ที่ระยะต่างๆ ขึ้นกับระยะวัตถุและทางยาวโฟกัสของกระจกหรือเลนส์ ตามทฤษฎีทางแสง แสดงว่า ตำแหน่งของการ alignment คือ ตำแหน่งภาพตรงกันกับตำแหน่งของสลิต หรือเพื่อให้ได้ความเข้มแสงสูงสุด นั่นเอง เพราะฉะนั้น ต้องนำผลของระยะวัตถุมาคิดด้วยในการทำ alignment แต่เนื่องจากวัตถุดาวของเราเป็น ดาวฤกษ์ และมีระยะไกลมาก ดังนั้น ตำแหน่งที่มี alignment คือ ตำแหน่งภาพดาว ซึ่งเป็นจุดปรากฏที่จุดโฟกัสต้องตรงกันกับตำแหน่งของสลิตพอดี มีวิธีการปรับหา alignment 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 คือ ถ้าตำแหน่งของสลิต (หมายเลข 19) ของเครื่องซีซีดีสเปกโตรกราฟถูกตรึงให้อยู่กับที่ด้วยท่อกลวง (หมายเลข 4) ที่มีความยาวคงตัวเชื่อมต่อระหว่างกล้องโทรทรรศน์และซีซีดีสเปกโตรกราฟ ซึ่งตรงกันกับลักษณะอุปกรณ์ในงานวิจัยนี้ ดังนั้น จึงสามารถหา alignment ตรงนี้โดยการปรับเลื่อนกระจกทุติยภูมิเข้าหรือออกจากกระจกปฐมภูมิ เมื่อตำแหน่งของกระจกปฐมภูมิถูกตรึงอยู่กับที่ ตรงกันกับความหมายที่ว่า การเลื่อนตำแหน่งโฟกัสของแสงที่สะท้อนมาจากกระจกทุติยภูมิให้เข้าหรือออกจากกล้องโทรทรรศน์ ซึ่งในการหา alignment ในงานวิจัยนี้ เริ่มต้นด้วยการเตรียมชุดสังเกตการณ์ดังในรูปที่ 3-1(a) เมื่อระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟและกล้องโทรทรรศน์ต่างมี alignment แล้ว ต่อไปให้เตรียมระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟมีความพร้อมจะดำเนินการถ่ายภาพสเปกตรัม เช่นเดียวกับวิธีการในหัวข้อ 3.2.1.3.1, เล็งกล้องโทรทรรศน์ไปยังดาวเป้าหมายเพื่อใช้ทดสอบหา alignment ซึ่งขณะนั้นเลือก ดาวซีรีอุส (Sirius) ซึ่งดาวนี้ไม่ใช้ดาวแปรแสงในช่วงสั้น หรือเป็นดาวแปรแสงที่มีคาบยาว (ไม่น้อยกว่าคาบเวลาของการทดสอบ) จึงสามารถนำมาใช้ทดสอบได้ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วควรจะใช้ดาวมาตรฐาน (standard star) เป็นตัวทดสอบ และผลจากการสังเกตภาพของดาวซีรีอุสที่ตำแหน่งเลนส์ใกล้ตา (หมายเลข 23) ของสเปกโตรกราฟ อาจปรากฏเป็นภาพบนระนาบของสลิต (หมายเลข 19) เป็นแบบ A, B หรือ C ดังรูปที่ 3-7 โดยภาพที่ถูกต้องคือภาพแบบ B จากเหตุผลที่ดาวเป็นจุดและไกลเป็นอนันต์ แล้วกำหนดให้เครื่องควบคุมอิเล็กทรอนิคติดตามดาว (หมายเลข 5) ติดตามดาวซีรีอุสอย่างต่อเนื่อง แล้วใช้แผ่นวงกลม 3 รู (ซึ่งเป็นแผ่นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 44.45 เซนติเมตร แต่ละรูมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 7.62 เซนติเมตร และตำแหน่งของทั้ง 3 รู ถูกกำหนดเป็นสามเหลี่ยมด้านเท่าและอยู่ในตำแหน่งที่สมมาตรบนแผ่นวงกลม และมีระยะจากขอบที่เป็นมุมของสามเหลี่ยมของแต่ละรูถึงขอบของแผ่นวงกลมเท่ากับ 6.35 เซนติเมตร) นำไปปิดหน้ากล้องโทรทรรศน์ ดังรูปที่ 3-7 แล้วปรับให้ตำแหน่งภาพดาวที่ระยะโฟกัสเลื่อนไปตกอยู่ที่ตำแหน่งของระนาบสลิตพอดี ซึ่งจะได้ภาพแบบ B ดังรูปที่ 3-7 โดยปรับเลื่อนกระจกทุติยภูมิเข้าหรือออก และเมื่อเกิด alignment ในระดับนี้แล้วให้ตรึงตำแหน่งของกระจกทุติยภูมิอยู่กับที่ เมื่อขั้นตอนทั้งหมดนี้สามารถสังเกตจากการมองผ่านเลนส์ใกล้ตาของสเปกโตรกราฟ หลังจากนั้น ให้เราปรับระยะโฟกัสละเอียดสุดอีก

ครั้ง โดยใช้โปรแกรมเคสเทรลสเปกช่วย ด้วยการพิจารณาเส้นสเปกตรัมหรือพีคใดพีคหนึ่ง (หรือพิกเซลใดพิกเซลหนึ่ง) ของภาพสเปกตรัมที่อยู่ในไฟล์ Curve จากการถ่ายสเปกตรัมของดาว ด้วยการใช้คำสั่งถ่ายภาพสเปกตรัมแบบต่อเนื่องที่ Acquire Menu Option: Repeat-Acquire Spectra เมื่อระบบซีซีดีสเปกโตรกราฟมี alignment แล้ว (ไม่ต้องปรับโฟกัสที่วงแหวนปรับโฟกัสอีก) ซึ่งให้ภาพสเปกตรัมปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์ ขณะเดียวกันก็ทำการเลื่อนกระจกทุติยภูมิเข้าหรือออกจากตำแหน่งข้างต้นเพียงเล็กน้อย และสังเกตสังเกตค่าความเข้มแสง (หน่วย counts) ของพีคหนึ่งๆ และถ้าพีคเหล่านั้นให้ค่าความเข้มสูงสุด จะแสดงว่า ตำแหน่งโฟกัสที่สะท้อนมาจากกระจกทุติยภูมิของกล้องโทรทรรศน์ตรงกันพอดีกับตำแหน่งของสลิตในเครื่องสเปกโตรกราฟ และเมื่อแน่ใจแล้วให้ทำการยึดตำแหน่งของกระจกทุติยภูมิให้คงที่ตลอดเวลาของการสังเกตการณ์

วิธีที่ 2 คือ การเลื่อนตำแหน่งสลิตของสเปกโตรกราฟเข้าหรือออกจากกล้องโทรทรรศน์ โดยการปรับขนาดความยาวของท่อกลวง (หมายเลข 4) เชื่อมต่อระหว่างกล้องโทรทรรศน์และซีซีดีสเปกโตรกราฟ ดังนั้น สำหรับวิธีนี้จึงไม่จำเป็นต้องไปปรับตำแหน่งของกระจกทุติยภูมิ และในส่วนของการปรับหา alignment ก็มีหลักการปฏิบัติเช่นเดียวกันกับวิธีที่ 1 เมื่อกล้องโทรทรรศน์ และซีซีดีสเปกโตรกราฟต่างก็มี alignment ก่อนแล้ว

สรุปว่า การ alignment ระบบการเชื่อมต่อกล้องโทรทรรศน์และซีซีดีสเปกโตรกราฟ คือ การทำให้แสงของดาวที่มาจากกล้องโทรทรรศน์ไปโฟกัสที่ตำแหน่งของสลิตของเครื่องสเปกโตรกราฟ ตามวิธีการข้างต้น และทำการปรับละเอียดสุดโดยอาศัยการสังเกตค่าความเข้มสูงสุดของพีคใดพีคหนึ่งที่ทำการพิจารณาของสเปกตรัมดาวโดยใช้โปรแกรมเคสเทรลสเปก

3.3 เทคนิคและวิธีสังเกตการณ์ถ่ายภาพสเปกตรัม

การสังเกตการณ์ เป็นขบวนการสำคัญในการได้ข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุดาวเป้าหมาย ผ่านการใช้อุปกรณ์ทางดาราศาสตร์ ดังรูปที่ 3-1 นอกเหนือจากความถูกต้องของข้อมูลสังเกตการณ์ที่ต้องขึ้นอยู่กับการมี alignment ของระบบอุปกรณ์สังเกตการณ์แล้ว เทคนิคและวิธีการสังเกตการณ์ก็เป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจว่าข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือและถูกต้องเพียงพอที่จะนำไปวิเคราะห์หรือไม่ เพราะว่า ทั้งเทคนิคและวิธีการสังเกตการณ์ต้องปรับตามความเหมาะสมกับฤดูกาลที่สัมพันธ์กับดาวหรือกลุ่มดาวที่เราต้องการสังเกตการณ์, สภาวะแวดล้อมของหอดูดาว, และระบบการทำงานของชุดอุปกรณ์สังเกตการณ์ เป็นต้น จึงทำให้ต้องมีการพิจารณาเทคนิคและวิธีการสังเกตการณ์

หัวข้อ 3.3 นี้ ประกอบด้วย 3 หัวข้อ คือ 3.3.1 เทคนิคการสังเกตการณ์, และ3.3.2 วิธีการสังเกตการณ์ที่เหมาะสม, และ 3.3.3 ตัวอย่างการถ่ายภาพสเปกตรัมของดาวคู่บีตา ไลรี

3.3.1 เทคนิคการสังเกตการณ์

ประกอบด้วย 3.3.1.1 การปรับกล้องโทรทรรศน์ค้นหาดาวเป้าหมาย, และ 3.3.1.2 แนวคิดของเทคนิคการสังเกตการณ์ สำหรับการถ่ายภาพสเปกตรัมของดาวคู่บีตา ไลรี

3.3.1.1 การปรับกล้องโทรทรรศน์ค้นหาดาวเป้าหมาย

เมื่อระบบอุปกรณ์สังเกตการณ์รวมถึงกล้องโทรทรรศน์มี alignment เราจะสามารถปรับกล้องโทรทรรศน์เล็งไปที่ดาวเป้าหมาย ในตำแหน่งตามแผนที่ดาว (เช่น แผนที่ดาวของสมาคมดาราศาสตร์ไทย) เทียบกับท้องฟ้าจริง พร้อมกับสังเกตที่เลนส์ใกล้ตาว่าดาวเป้าหมายอยู่ในกรอบแสดงผล (ขนาดเชิงมุมของภาพท้องฟ้า) หรือไม่ ซึ่งโดยปกติทราบกันดีว่า กล้องโทรทรรน์ขนาดใหญ่ที่มีกำลังการขยายสูงนั้นจะมีองศาแคบในภาพปรากฏเชิงมุมจากท้องฟ้า ดังนั้น จึงยากที่จะมองเห็นดาวเป้าหมายของเราอยู่ในกรอบแสดงผล หรือดาวที่เราเห็นแท้จริงแล้วอาจไม่ใช่ดาวเป้าหมายของเราก็ได้ ผู้เขียนแก้ปัญหานี้โดยอาศัยอุปกรณ์และโปรแกรมแสดงแผนที่ดาวอิเล็กทรอนิคช่วย ได้แก่ 1.กล้องเล็งกำลังขยายต่ำ (หมายเลข 3) ที่มี alignment กับกล้องโทรทรรศน์หลัก (40 ซม.) สำหรับเล็งไปยังดาวเป้าหมาย อันเนื่องจากมีกรอบแสดงผลกว้าง, และ 2.โปรแกรม Redshift 3 ของ DK Multimedia ที่สามารถเปิดแสดงในระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95/NT ได้ สำหรับแสดงภาพท้องฟ้าของดาวเป้าหมายแบบละเอียด (หรืออาจใช้โปรแกรมแผนที่ดาวอิเล็กทรอนิคอื่นๆ) เมื่อการ alignment ระหว่างกล้องเล็งและกล้องหลัก คือ เส้นแกนมุขสำคัญของกระจกปฐมภูมิและทุติยภูมิของกล้องหลักอยู่ในแนวเดียวกันและขนานกับเส้นแกนมุขสำคัญของระบบเลนส์ของกล้องเล็ง ซึ่งมีหลักการปรับเช่นเดียวกันกับที่อธิบายในหัวข้อที่ 3.2.2

จากรูปที่ 3-1(a) เริ่มจากชี้กล้องเล็ง (หมายเลข 3) ไปยังดาวเป้าหมาย ซึ่งจะทำให้ดาวเป้าหมายมาอยู่ในกรอบแสดงผลได้ง่าย และสามารถปรับให้เครื่องหมายศูนย์เล็งหรือตำแหน่งศูนย์กลางของกรอบแสดงผลของกล้องเล็ง ($\oplus$) ตรงกับตำแหน่งดาว พร้อมกับตรึงอุปกรณ์สังเกตการณ์ให้ตามดาวนี้ได้ทันทีด้วยเครื่องควบคุมอิเล็กทรอนิคติดตามดาว (หมายเลข 5) ให้ติดตามอย่างต่อเนื่อง และเนื่องจากว่ากล้องหลัก (หมายเลข 1) มี alignment กับกล้องเล็ง ดังนั้น ตำแหน่งดาวเป้าหมายที่ศูนย์เล็งของกล้องเล็งจะตรงกันพอดีกับศูนย์เล็งของกล้องหลัก แต่ถ้าหากว่า ดาวที่ปรากฏให้เห็นเพียง 1 ดวงในกล้องเล็งนั้น แท้จริงแล้วกลับปรากฏว่ามีหลายดวงที่บริเวณใกล้ๆ กับศูนย์เล็งของกล้องหลัก เมื่อมองจากเลนส์ใกล้ตาของกล้องแต่ละตัว จึงเกิดปัญหาว่า ดาวดวงใดคือดาวเป้าหมาย เราสามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการใช้โปรแกรม Redshift 3 (หรืออื่นๆ) ที่แสดงแผนที่ท้องฟ้าที่ตำแหน่งดาวเป้าหมาย [(α, δ)] ซึ่งมีความละเอียดที่ตาของเราไม่สามารถแยกหรือมองเห็นได้ทั้งจากการมองท้องฟ้าโดยตรงหรือมองจากกล้องเล็งก็ตาม เมื่อเราเปิดโปรแกรมนี้และขยายภาพบริเวณใกล้กับดาวเป้าหมายให้ได้ภาพเหมือนกับที่มองจากเลนส์ใกล้ตาของกล้องหลัก แน่นอนว่า เราสามารถกำหนดดาวเป้าหมายได้แน่นอน จากหมู่ดาวที่อยู่ในกรอบแสดงผลของโปรแกรม ดังนั้น จึงไม่ใช่เรื่องยากที่จะปรับให้ศูนย์เล็งของกล้องหลักชี้ไปที่ดาวเป้าหมายอย่างถูกต้อง เมื่อมุมการมองของเราเมื่อมองผ่านโปรแกรมแผนที่ดาวกับภาพที่ปรากฏในกรอบแสดงผลตรงกัน

3.3.1.2 แนวคิดของเทคนิคการสังเกตการณ์

เนื่องจากงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการหา Calibrated spectrum ของดาวเป้าหมาย ด้วยการใช้ข้อมูลสเปกตรัมมาตรฐานของดาวเซตาเพกาซี (ζ Pegasi) ของภาคผนวก ค ที่ปรับค่าความไว (sensitivity) ของกล้องซีซีดีแล้วเป็นสเปกตรัมเปรียบเทียบ เพื่อหาค่าความไวของกล้องซีซีดีของเรา แล้วนำมาแก้ไขที่ภาพสเปกตรัมของดาวเป้าหมายของเรา ทำให้ได้ผลลัพธ์เป็น Calibrated spectrum ที่เป็นสเปกตรัมแท้จริงที่ดาว

เป้าหมายนั้นแสดงออกมา ซึ่งสามารถกระทำได้ในขั้นตอนของการคำนวณ ดังนั้น ตลอดขบวนการถ่ายสเปกตรัมจึงสามารถละทิ้งเงื่อนไขค่าเริ่มต้น Auto Flat-Field Correction ที่ Set menu option ด้วยการกำหนดให้เป็น None แต่ค่าเริ่มต้นอื่นอาจมีความจำเป็นต้องใช้ในกรณีจำเป็นที่สภาวะแวดล้อมของหอดูดาว เช่น แสง, เมฆ, หรือฝน เป็นต้น มารบกวน คือ Auto Background Subtraction ที่ Set menu option และเทคนิคที่ผู้เขียนวิเคราะห์เป็นเวลานานคือ การถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบ 2 ครั้งต่อหนึ่งขบวนการถ่าย สำหรับตรวจสอบข้อมูลว่ามีความถูกต้องหรือไม่ ดังนั้น ทั้งหมดนี้อาจสามารถอธิบายเป็นเทคนิคการถ่ายภาพสเปกตรัมที่สำคัญ 3 เรื่อง คือ (1).ไม่ใช้เงื่อนไข Auto Background Subtraction, (2).ใช้วิธีการถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบ 2 ครั้งต่อหนึ่งขบวนการถ่าย, และ (3).เลือกใช้เงื่อนไข Auto Background Subtraction เมื่อทุกขบวนการถ่ายภาพในงานวิจัยนี้ไม่ใช้ Auto Flat-Field Correction ด้วยการกำหนดเป็น None มีรายละเอียด ดังนี้ คือ

(1). ไม่ใช้เงื่อนไข Auto Background Subtraction

กำหนดเงื่อนไข Auto Background Subtraction ที่ Set menu option เป็น None ในทุกๆ ภาพที่ทำการถ่าย ดังนั้น จึงทำให้ภาพสเปกตรัมทุกภาพในขบวนการถ่าย มีส่วนประกอบของ noise ที่มาจากเครื่องซีซีดีเสมอ และเราจะดำเนินการลบ noise ในส่วนนี้ภายหลังในขั้นตอนของการคำนวณ ด้วยการนำภาพสเปกตรัมของแสงดาวเป้าหมายลบด้วยภาพสเปกตรัมท้องฟ้าพื้นหลังหรือแสงสว่างบนท้องฟ้าที่อยู่บริเวณข้างเคียงกับดาวเป้าหมาย ซึ่งเป็นการลบ noise บนภาพสเปกตรัมของดาวเป้าหมายด้วย noise ที่มาจากแหล่งกำเนิด 2 แหล่ง คือ 1. สเปกตรัมท้องฟ้าพื้นหลัง เกิดขึ้นเนื่องจากการเรืองแสงในชั้นบรรยากาศของโลก จากแสงดาวอื่นๆ ทั้งหมดบนท้องฟ้าและแสงจากพื้นโลก, และ 2. สเปกตรัมที่เกิดจาก noise ของกล้องซีซีดี

(2). ใช้วิธีการถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบ 2 ครั้งต่อหนึ่งขบวนการถ่าย

เป็นเทคนิคสำคัญในการตัดสินใจว่าภาพสเปกตรัมที่ถ่ายได้มีความถูกต้องเพียงพอที่จะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปหรือไม่ นั่นคือ ต้องทำการถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบ 2 ครั้ง ในลำดับแรกและลำดับสุดท้ายของขบวนการถ่าย และถ้าหากว่าข้อมูล (เส้นสเปกตรัมในหน่วยพิกเซล) ของภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบทั้ง 2 รูป ตรงกัน แสดงว่าข้อมูลทั้งขบวนการถ่ายมีความถูกต้องและถือว่ามี alignment คงที่ตลอดขบวนการ หรือไม่มีการ shift ในองค์ประกอบใดๆ ของเครื่องมือซีซีดีสเปกโตรกราฟ แต่ถ้าหากว่าภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบทั้งสองไม่ตรงกันจะถือว่าข้อมูลที่ได้ตลอดขบวนการถ่ายสเปกตรัมไม่ถูกต้อง และต้องทำการถ่ายใหม่ ซึ่งเราสามารถทดสอบความถูกต้องตามเทคนิคนี้ได้โดยนำภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบทั้ง 2 รูป มาเปรียบเทียบกันในขั้นตอนของการคำนวณหลังจากจบขบวนการถ่ายสเปกตรัมครั้งนี้ ด้วยการใช้คำสั่งบนโปรแกรมเคสเทรลสเปกให้ภาพสเปกตรัมทั้ง 2 รูปนี้ แสดงอยู่บนหน้าต่างเดียวกันด้วยคำสั่ง Stacked Overlay Plot ที่ Window menu option แล้วใช้คำสั่ง Peak Finder บน Control Palette เพื่อแสดงค่าพิกเซลบนแต่ละพีคของภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบที่เป็น Active Spectrum แล้วใช้คำสั่งแสดงค่าพิกเซลบนแต่ละพีคที่ภาพสเปกตรัมอีกภาพหนึ่งด้วยการคลิกพื้นที่ว่างอันใดอันหนึ่ง

ที่ Z scroll bar ที่ Control Palette แล้วเปรียบเทียบข้อมูลค่าพิกเซลของทั้งสองภาพนี้ ก็จะทำให้เราทราบว่าข้อมูลที่ได้ถูกต้องเพียงพอหรือไม่ในการจะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป แต่ถ้าหากไม่ถูกต้องเราต้องทำการถ่ายใหม่ และบางครั้งข้อมูลทั้งขบวนการถ่ายภาพสเปกตรัมที่เราเชื่อว่าถูกต้องตามเทคนิคการทดสอบนี้ก็อาจมีความไม่ถูกต้องได้ในภาพสเปกตรัมอื่นๆ ที่อยู่ในระหว่างขบวนการ ดังนั้น ในขบวนการถ่ายสเปกตรัมของแสงดาวเป้าหมายจึงจำเป็นต้องมีการถ่ายภาพสเปกตรัมหลายชุด สำหรับข้อมูลหนึ่งๆ

(3). เลือกใช้เงื่อนไข Auto Background Subtraction

เลือกเทคนิคการถ่ายภาพโดยใช้เงื่อนไข Auto Background subtraction เป็น Dynamic Background Image ที่ Set menu option ถ้าหากว่าสภาวะแวดล้อมรอบๆ หอดูดาวในขณะนั้นไม่ดี เช่น มีเมฆเคลื่อนตัวตลอดเวลา จะทำให้สภาวะอากาศที่สามารถสังเกตการณ์ได้มีอยู่ในช่วงเวลาจำกัดของวันสังเกตการณ์เป็นต้น ทำให้การเลือกใช้คำสั่งนี้มีความจำเป็น และถ้าหากใช้คำสั่งนี้ก็ไม่จำเป็นต้องถ่ายภาพสเปกตรัมท้องฟ้าพื้นหลังเพื่อจะนำมาลบในภายหลัง เพราะว่า noise ที่เกิดจากสภาวะเช่นนั้นมีการเปลี่ยนอย่างรวดเร็ว เมื่อใช้คำสั่งถ่ายภาพสเปกตรัม (Acquire Spectra) ด้วยการกำหนด Auto Background subtraction เป็น Dynamic Background Image จะทำให้ระบบกล้องซีซีดีดำเนินการถ่ายภาพสเปกตรัม 2 ครั้งต่อเนื่องกัน ด้วยเวลาที่เท่ากัน เท่ากับ Exposure Time ซึ่งกำหนดที่ Acquire ของ Setup menu option โดยภาพที่ 1 เป็นการถ่ายภาพสเปกตรัมที่เกิดจาก noise ของกล้องซีซีดีเมื่อปิดหน้ากล้อง (close shutter) อย่างอัตโนมัติ, และภาพที่ 2 เป็นการถ่ายภาพสเปกตรัมของแสงดาวเป้าหมายเมื่อเปิดหน้ากล้อง (Open Shutter) อย่างอัตโนมัติ แล้วดำเนินการลบภาพสเปกตรัมที่ 1 ออกจากภาพที่ 2 อย่างอัตโนมัติในระบบของกล้องซีซีดีเพื่อให้ผลลัพธ์เป็นภาพเดียว ซึ่งจะแสดงผลลัพธ์ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เพียง 1 รูป เท่านั้น

เช่น ตัวอย่างเทคนิคการถ่ายภาพสเปกตรัมดาวเป้าหมาย ที่มีมลภาวะทางอากาศเนื่องจากมีเมฆเคลื่อนตัวตลอดเวลา แต่เนื่องจากเรามีความจำเป็นที่ต้องได้ข้อมูลตลอดคาบสังเกตการณ์อย่างสม่ำเสมอ เช่น การถ่ายภาพสเปกตรัมของระบบดาวคู่ ซึ่งต้องการข้อมูลแบบต่อเนื่อง มีเทคนิคดังนี้ คือ

1. ตรึงตำแหน่งภาพของดาวเป้าหมายบนศูนย์เล็งในกล้องโทรทรรศน์ให้อยู่กับที่ หรือที่กึ่งกลางสลิตสังเกตจากช่องเลนส์ใกล้ตาของสเปกโตกราฟ
2. ถ้าหากว่า มีระยะห่างหรือพื้นที่ว่างระหว่างก้อนเมฆ ที่สามารถเห็นแสงดาวเป้าหมาย แม้ว่าจะมีช่วงเวลาจำกัดอันเนื่องจากเมฆมีการเคลื่อนตัว เราก็สามารถถ่ายภาพสเปกตรัมได้ ซึ่งคำนวณช่วงเวลาที่เมฆไม่บดบังแสงดาวจากอัตราเร็วของเมฆ เราสามารถถ่ายภาพสเปกตรัมในสภาวะเช่นนี้ได้โดยเลือกใช้เงื่อนไข Auto Background subtraction เป็น Dynamic Background Image โดยการกำหนด Exposure Time มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับช่วงเวลาที่แสงดาวเป้าหมายไม่ถูกบังระหว่างเมฆ ซึ่งมีข้อสังเกตว่า การเปิดหน้ากล้องที่นานขึ้นจะทำให้ข้อมูลข่าวสารที่มากับสเปกตรัมของแสงดาวมากขึ้นและครบถ้วน ดังนั้น ควรกำหนดค่า Exposure time ประมาณเท่ากับเวลาที่แสงดาวไม่ถูกบัง
3. เราทราบว่า ทุกภาพในขบวนการถ่ายภาพสเปกตรัมที่ใช้เงื่อนไข Auto Background subtraction เป็น Dynamic Background Image ต้องใช้เวลาในการถ่ายเป็นสองเท่าของ Exposure Time ต่อหนึ่งภาพ ดังนั้น ถ้าตำแหน่งของดาวเป้าหมายอยู่กึ่งกลางสลิต แต่มีเมฆบดบังแสงของดาวอยู่ เราสามารถถ่าย

ภาพสเปกตรัมได้ที่ Acquire Spectra ของ Acquire menu option ด้วย Exposure Time ประมาณเท่ากับเวลาที่แสงดาวปรากฏระหว่างเมฆ โดยอาศัยข้อเท็จจริงที่ว่า ช่วงเวลาแรก (เท่ากับ Exposure time) กล้องซีซีดีปิดหน้ากล้องและดำเนินการถ่ายสเปกตรัมที่เกิดจาก noise ของเครื่อง เพราะฉะนั้นการบังของเมฆในช่วงเวลานี้จึงไม่มีผลกระทบต่อสเปกตรัม และช่วงเวลาที่เหลือ (เท่ากับ Exposure time) กล้องซีซีดีเปิดหน้ากล้อง เมื่อเมฆที่บังในช่วงเวลาแรกหายไป ซึ่งสังเกตจากช่องเลนส์ใกล้ตา สรุปว่า เทคนิคนี้อาศัยจังหวะการเคลื่อนตัวของเมฆ หรือแม้แต่กรณีที่เมฆปกคลุมทั่วท้องฟ้า แต่เบาบางพอที่จะมองเห็นได้จากกล้องโทรทรรศน์ เราก็สามารถใช้เทคนิคนี้ได้เช่นกัน

3.3.2 วิธีการสังเกตการณ์ที่เหมาะสม

ประกอบด้วย 3.3.2.1 วิธีการปกติในการถ่ายภาพสเปกตรัม, และ 3.3.2.2 วิธีการไม่ปกติในการถ่ายภาพสเปกตรัม

3.3.2.1 วิธีการปกติในการถ่ายภาพสเปกตรัม

สำหรับการถ่ายภาพสเปกตรัม 1 ขบวนการ มีลำดับ คือ

1. ดำเนินการถ่ายภาพสเปกตรัมของ Uniform light source ดังรูปที่ 3-1(c) แล้วกำหนดให้ภาพนี้เป็นแฟลท-ฟิลท์ (Flat-Field) ด้วยคำสั่ง Set menu option : Set as Flat-Field Blanck : Current Curve หลังจากนั้น กำหนดเงื่อน Auto Flat-Field Correction ที่ Set menu option โดยเลือก Use Flat-Field Curve (หรือ Image) สำหรับการถ่ายภาพสเปกตรัมทุกขบวนการ
2. ใช้เงื่อนไข Auto Background Subtraction เป็น Dynamic Background Image ที่ Set menu option
3. ถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบนีออน
4. ถ่ายภาพสเปกตรัมดาวเป้าหมาย
5. ถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบนีออน ตามเทคนิคที่ (2) ของหัวข้อ 3.3.1.2

3.3.2.2 วิธีการไม่ปกติในการถ่ายภาพสเปกตรัม

เนื่องจากดาวคู่บีตา ไลร์ อยู่ในกลุ่มดาวพิณ ซึ่งปรากฏในปลายฤดูฝนของประเทศไทย, สภาวะแวดล้อมของหอดูดาวที่ผันแปรทั้งจากฤดูกาลและจากแสงสว่างของเมืองเชียงใหม่, และระบบของชุดอุปกรณ์สังเกตการณ์ เป็นต้น ทั้งหมดเหล่านี้เป็นอุปสรรคในการสังเกตการณ์ ดังนั้น ผู้เขียนจึงตัดสินใจเลือกวิธีสังเกตการณ์ที่เหมาะสมมาใช้ อาจแยกได้ 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ไม่ใช้ Auto Flat-Field Correction และ Auto Background Subtraction มีลำดับดังนี้ คือ

1. ไม่ใช้ Auto Flat-Field Correction
2. ไม่ใช้ Auto Background Subtraction
3. ถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบนีออน ด้วย Exposure Time = 0.02 วินาที
4. ถ่ายภาพสเปกตรัมดาวเป้าหมาย ด้วย Exposure Time = 60 วินาที
5. ถ่ายภาพสเปกตรัมท้องฟ้าพื้นหลัง ด้วย Exposure Time = 60 วินาที

6. ถ่ายภาพสเปกตรัมดาวเป้าหมาย ด้วย Exposure Time = 60 วินาที
7. ถ่ายภาพสเปกตรัมท้องฟ้าพื้นหลัง ด้วย Exposure Time = 60 วินาที
8. ถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบนีออน ด้วย Exposure Time = 0.02 วินาที

กรณีที่ 2 ไม่ใช้ Auto Flat-Field Correction แต่ใช้ Auto Background Subtraction เป็น Dynamic Background Image มีลำดับดังนี้ คือ

1. ไม่ใช้ Auto Flat-Field Correction
2. ใช้ Auto Background Subtraction เป็น Dynamic Background Image
3. ถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบนีออน ด้วย Exposure Time = 0.02 วินาที
4. ถ่ายภาพสเปกตรัมดาวเป้าหมาย ด้วย Exposure Time = 60 วินาที
5. ถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบนีออน ด้วย Exposure Time = 0.02 วินาที
6. ถ่ายภาพสเปกตรัมดาวเป้าหมาย ด้วย Exposure Time = 60 วินาที
7. ถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบนีออน ด้วย Exposure Time = 0.02 วินาที

หมายเหตุ การถ่ายภาพสเปกตรัมของดาวเป้าหมาย 2 ครั้ง (หรืออาจมากกว่า) ก็เพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้อง หรือความผันแปรของข้อมูลของสเปกตรัมดาว

3.3.3 ตัวอย่างการถ่ายภาพสเปกตรัมของดาวคู่บีตา ไลรี

การถ่ายภาพสเปกตรัมของดาวคู่บีตา ไลรี เกือบทั้งหมด ผู้เขียนเลือกใช้วิธีการไม่ปกติของหัวข้อ 3.3.2 ในกรณีที่ 2 คือไม่ใช้ Auto Flat-Field Correction แต่ใช้ Auto Background Subtraction เป็น Dynamic Background Image ในการถ่ายภาพสเปกตรัม

สำหรับการถ่ายภาพสเปกตรัมของดาวคู่บีตา ไลรี ณ วันที่ 23 ตุลาคม พ.ศ. 2543 ที่เวลา 18:39:54 น. (หรือ 2451840.985 H.J.D.) และที่เวลา 18:43:29 น. (หรือ 2451840.988 H.J.D.) ในหนึ่งขบวนการถ่าย [การคำนวณ H.J.D. ดูจากหัวข้อที่ 5.1.1 ของบทที่ 5] มีลำดับดังนี้ คือ

(1). ปิดทางแสงของดาวที่มาจากกล้องโทรทรรศน์ไม่ให้ผ่านเข้าไปในสลิต และจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลท์ (หมายเลข 7) ให้แก่หลอดสเปกตรัมเปรียบเทียบ แล้วถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบด้วย Exposure Time = 0.02 วินาที จำนวน 1 รูป ดังรูปที่ 3-8

(2). เปิดทางแสงของดาวเป้าหมายที่มาจากกล้องโทรทรรศน์ให้ผ่านเข้าไปในสลิตแล้วถ่ายภาพสเปกตรัมของดาวเป้าหมาย ด้วย Exposure time = 60.00 วินาที จำนวน 1 รูป ดังรูปที่ 3-9

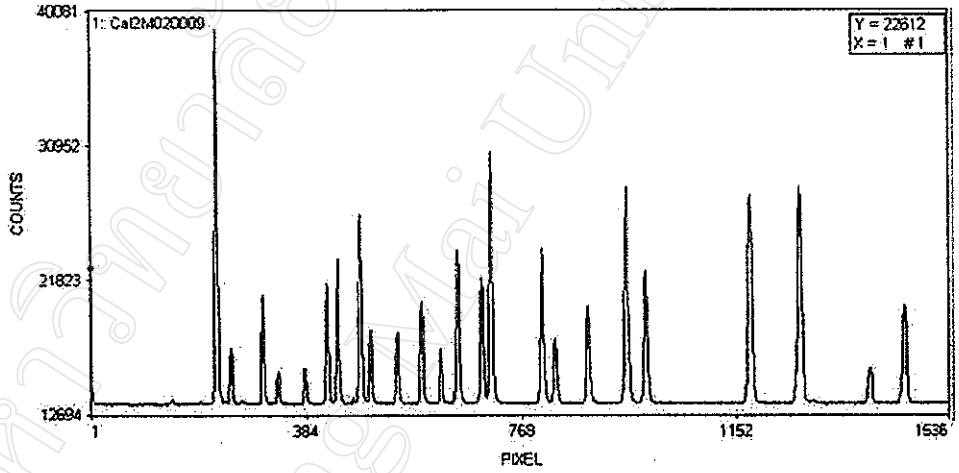
(3). เล็งกล้องโทรทรรศน์ชี้ไปที่ท้องฟ้าพื้นหลัง ซึ่งอยู่ข้างเคียงกับดาวเป้าหมาย และเปิดทางแสงให้แสงสว่างของท้องฟ้าพื้นหลังที่มาจากกล้องโทรทรรศน์ผ่านเข้าไปในสลิต แล้วดำเนินการถ่ายภาพสเปกตรัมนี้ ด้วย Exposure time = 60.00 วินาที จำนวน 1 รูป ดังรูปที่ 3-10

(4). เล็งกล้องโทรทรรศน์กลับไปที่ดาวเป้าหมายดวงเดิม แล้วเปิดทางแสงที่มาจากกล้องโทรทรรศน์ให้ผ่านเข้าไปในสลิตแล้วถ่ายภาพสเปกตรัมของดาวเป้าหมายนี้ ด้วย Exposure time = 60.00 วินาที จำนวน 1 รูป ดังรูปที่ 3-11

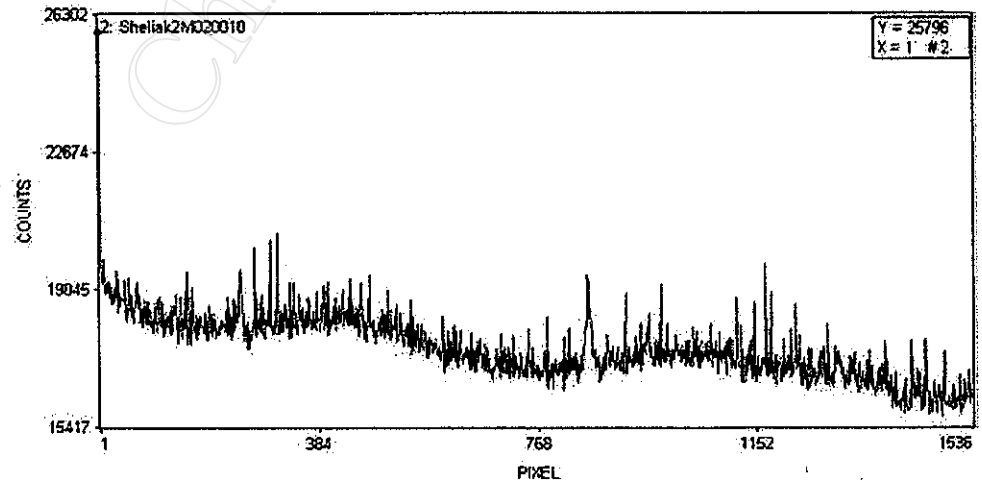
(5). แล้วเปลี่ยนให้กล้องโทรทรรศน์เล็งไปที่ท้องฟ้าพื้นหลัง แล้วดำเนินการถ่ายภาพสเปกตรัม เช่นเดียวกับข้อ (3) ด้วย Exposure time = 60.00 วินาที จำนวน 1 รูป ดังรูปที่ 3-12

(6). ถ่ายภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบ เช่นเดียวกับข้อ (1) ด้วย Exposure time = 0.02 วินาที จำนวน 1 รูป ดังรูปที่ 3-13

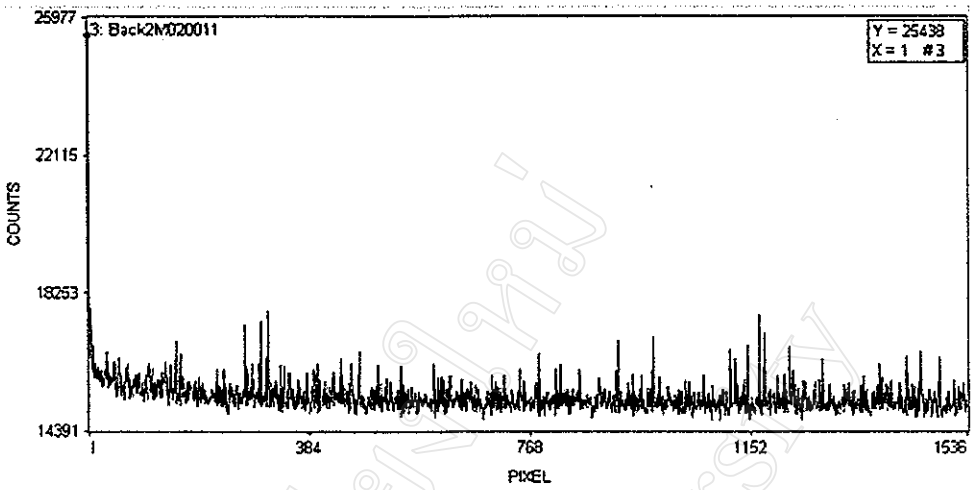
(7). ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ที่อธิบายในข้อที่ (2) ของหัวข้อที่ 3.3.1.2 โดยนำภาพสเปกตรัมเปรียบเทียบของรูปที่ 3-18 กับรูปที่ 3-13 มาเปรียบเทียบกัน ด้วยคำสั่ง Stacked Overlay Plot ที่ Window menu option แล้วใช้ Peak Finder บน Control Palette เพื่อแสดงค่าพิกเซล และสามารถสลับการแสดงผลทางตัวเลขนี้ด้วยคำสั่ง Z scroll bar ที่ Control Palette ถ้าตรงกันแสดงว่า ข้อมูลสเปกตรัมของขบวนการถ่ายนี้ถูกต้องและสามารถนำไปวิเคราะห์ได้ ดังรูปที่ 3-14(a) และถ้าหากเราดำเนินการคำนวณ เช่น นำรูปที่ 3-9 ลบด้วย รูปที่ 3-10 เราจะได้ภาพสเปกตรัมของดาวคู่บีตา ไลรี ที่เป็น non Calibrated Spectrum ดังรูปที่ 3-14(b) เป็นต้น



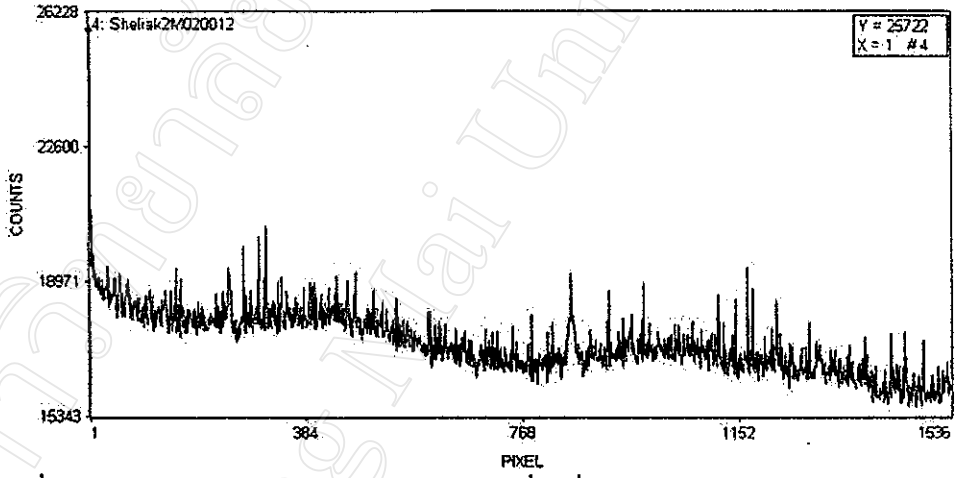
รูปที่ 3-8 ภาพถ่ายสเปกตรัมเปรียบเทียบนีออน ลำดับที่ 1 ด้วย Exp. 0.02 วินาที, สำหรับตัวอย่างของหัวข้อที่ 3.3.3



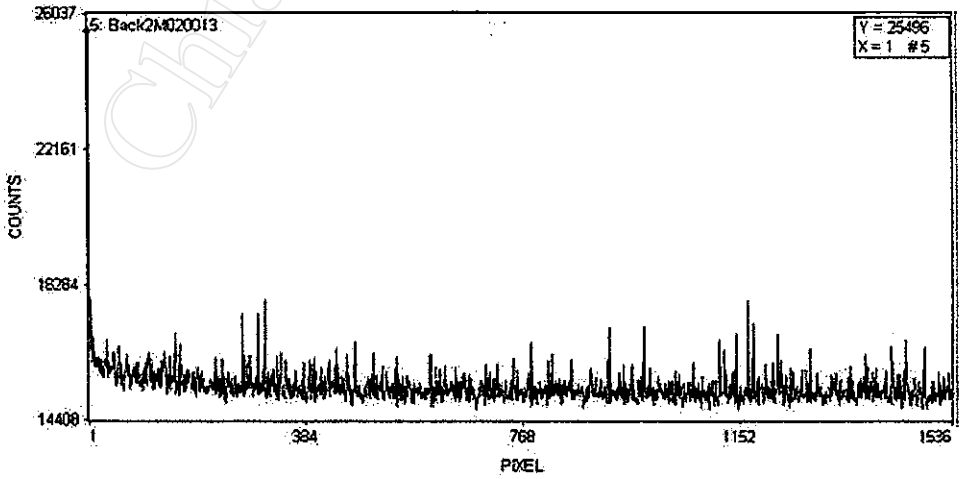
รูปที่ 3-9 ภาพถ่ายสเปกตรัมดาวคู่บีตา ไลรี ลำดับที่ 2 ที่ 2451840.985 H.J.D. ด้วย Exp. 60 วินาที, สำหรับตัวอย่างของหัวข้อที่ 3.3.3



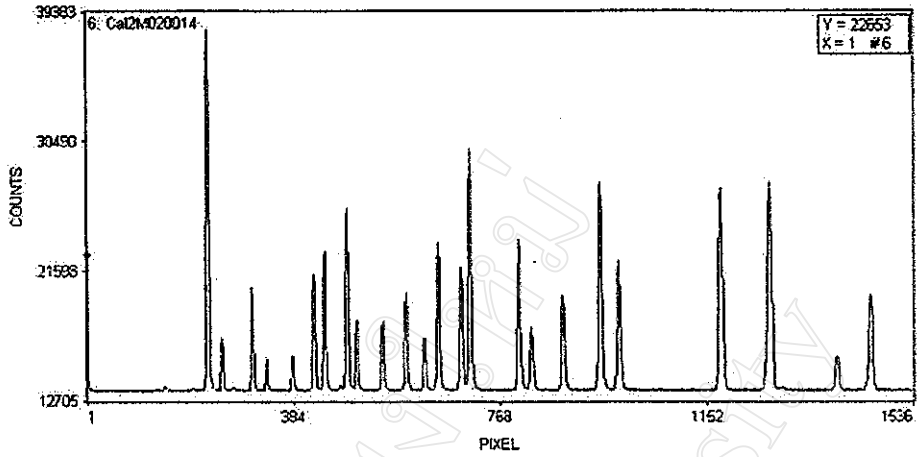
รูปที่ 3-10 ภาพถ่ายสเปกตรัมท้องฟ้าพื้นหลัง ลำดับที่ 3 ด้วย Exp. 60 วินาที, สำหรับตัวอย่างของหัวข้อที่ 3.3.3



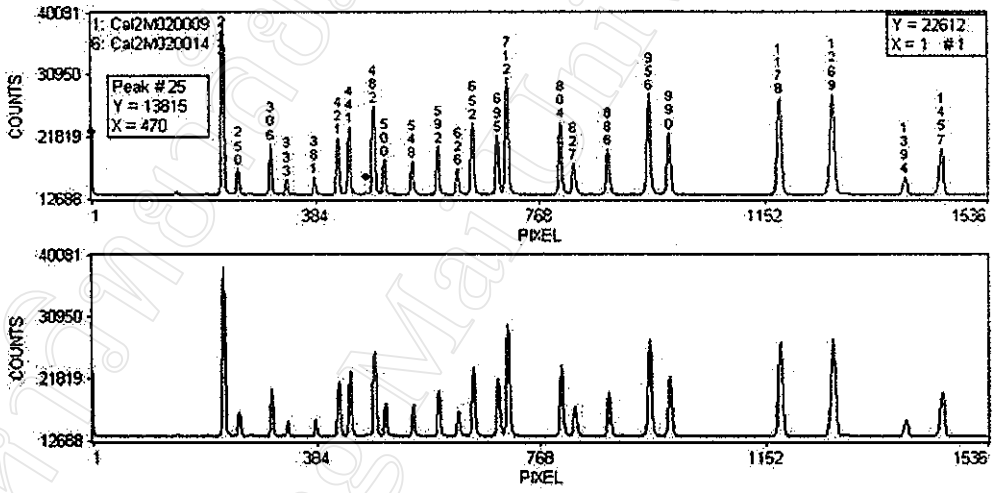
รูปที่ 3-11 ภาพถ่ายสเปกตรัมดาวคู่บีตา ไลรี ลำดับที่ 4 ที่ 2451840.988 H.J.D. ด้วย Exp. 60 วินาที, สำหรับตัวอย่างของหัวข้อที่ 3.3.3



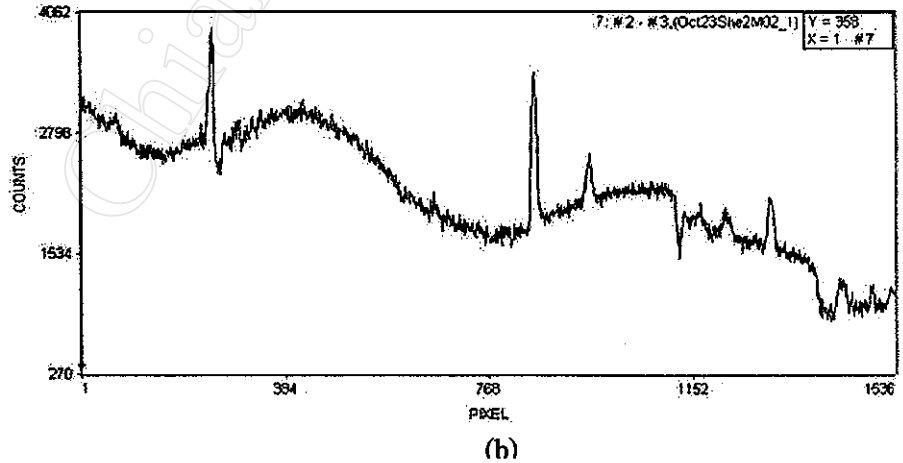
รูปที่ 3-12 ภาพถ่ายสเปกตรัมท้องฟ้าพื้นหลัง ลำดับที่ 5 ด้วย Exp. 60 วินาที, สำหรับตัวอย่างของหัวข้อที่ 3.3.3



รูปที่ 3-13 ภาพถ่ายสเปกตรัมเปรียบเทียบนีออน ลำดับที่ 6 ด้วย Exp. 0.02 วินาที, สำหรับตัวอย่างของหัวข้อที่ 3.3.3



(a)



(b)

รูปที่ 3-14 (a). ภาพตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของการถ่ายภาพสเปกตรัมต่อหนึ่งขบวนการ, และ (b). ภาพสเปกตรัมของดาวคู่บีตา ไลรี ที่เป็น non Calibrated Spectrum จากการนำ รูปที่ 3-9 ลบด้วย รูปที่ 3-10 ซึ่งจะถือว่าเป็นภาพดาวคู่บีตา ไลรี ณ 2451840.985 H.J.D. ของข้อมูลหลังขบวนการถ่าย สำหรับตัวอย่างของหัวข้อที่ 3.3.3