หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

เพื่อให้ได้สเปกตรัมของดวงอาทิตย์สำหรับการศึกษานี้ ได้นำอุปกรณ์สเปกโตรกราฟและอื่น ๆ ซึ่งมีอยู่ของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มาจัดเรียงใช้งาน การจัดเรียงจะได้กล่าวในบทที่ 5 ในบทนี้จะได้กล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์เท่านั้น

1. กล้องโทรทัศน์

ใช้กล้องโทรทัศน์โปลาร์เฮลิโอสตัท (polar heliostat telescope) ดังแสดงในรูป 3.1 มีส่วนประกอบดังนี้

1.1 กระจกเงาระนาบแผ่นที่ 1 เป็นกระจกเงาความคลาดไม่เกิน 1/20 ของความยาวคลื่นทำจากแก้วเซรามิคซึ่งไม่ขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน ฉาบผิวหน้าด้วยอลูมิเนียมและเคลือบทับด้วยซิลิกอนมอนนอกไซด์ มีลักษณะเป็นแผ่นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร หนา 7 เซนติเมตร ใช้ในการสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์ให้เดินทางต่อไปยังกระจกเงาระนาบแผ่นที่ 2

1.2 ตัวกล้อง ทำจากเหล็กรูปทรงกระบอก มีระบบตามดวงอาทิตย์ แนวแกนลำกล้องทำมุมกับแนวระดับเท่ากับละติจูดของที่ตั้ง (ประมาณ 14 องศา) เพื่อให้ขึ้นขนานกับแกนหมุนรอบตัวของโลก แขนสำหรับยึดกระจกเงาระนาบแผ่นที่ 1 สามารถหมุนรอบแกนกล้องเพื่อตามการเคลื่อนไปบนท้องฟ้าระหว่างวันโดยการขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้า และสามารถหมุนในแนวตั้งฉากกับแกนกล้อง เพื่อปรับตามการเปลี่ยนแปลงเดคลิเนชัน (declination) ของดวงอาทิตย์ แสงจากดวงอาทิตย์จะผ่านกล้องไปยังกระจกเงาระนาบแผ่นที่ 2

1.3 กระจกเงาระนาบแผ่นที่ 2 เป็นกระจกแบบเดียวกับแผ่นที่ 1 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 18.5 เซนติเมตร ใช้สะท้อนแสงจากกระจกเงาระนาบแผ่นที่ 1 ไปยังเลนส์ซึ่งตั้งอยู่ในตัวอาคาร (ด้านขวามือของรูป 3.1 และดูรูป 3.2 ประกอบ)

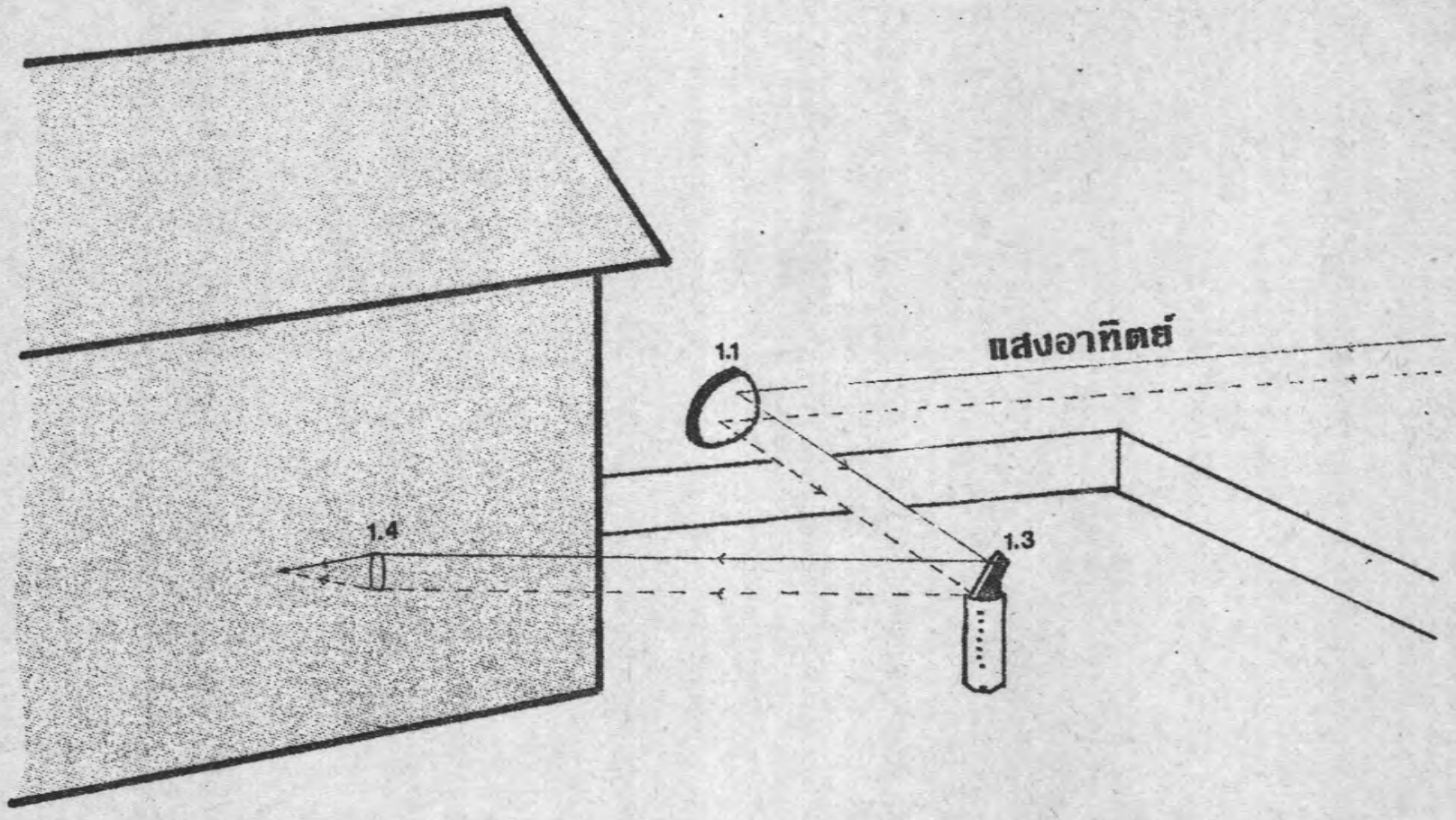
1.4 เลนส์ ทำจากแก้ว ออกแบบเพื่อแก้ความคลาดรงค์ (chromatic aberration) แล้วมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ทางยาวโฟกัส 1.5 เมตร ได้ภาพของดวงอาทิตย์

รูป 3.1 กล้องโทรทัศน์โปลาร์เฮลิโอสโคปของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 เซนติเมตร เนื่องจากหากเปิดหน้าเลนส์ทั้งหมดจะได้ภาพที่มีความเข้มของแสงสูงมาก จึงใช้กระดาษปิดหน้าเลนส์เหลือเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7 เซนติเมตร จึงได้ภาพที่มีความเข้มพอเหมาะแก่การใช้งานนี้ได้

การจัดองค์ประกอบต่าง ๆ ของกล้องและทางเดินของแสงได้แสดงไว้ในรูป 3.2

อนึ่ง เพื่อให้ได้ภาพดวงอาทิตย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11.5 เซนติเมตร สามารถเปลี่ยนใช้เลนส์ของกล้องเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ทางยาวโฟกัส 12 เมตร โดยติดเลนส์ตรงตัวกล้องระหว่างกระจกเงาระนาบแผ่นที่ 1 และ 2



รูป 3.2 แผนภาพแสดงตำแหน่งส่วนประกอบของกล้องโปลาร์เซลิโอสตัท ในมาตราส่วน 1 เซนติเมตร ต่อ 1 เมตร บริเวณแสงเงาอยู่ในตัวอาคาร

2. สเปกโตรกราฟแบบลิตโทรว์

อุปกรณ์ที่มีความสำคัญในการศึกษาสเปกตรัมจากดวงอาทิตย์นี้คือ สเปกโตรกราฟแบบลิตโทรว์ (Littrow spectrograph) มีส่วนประกอบสำคัญดังแสดงในรูป 3.3 โดยมีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

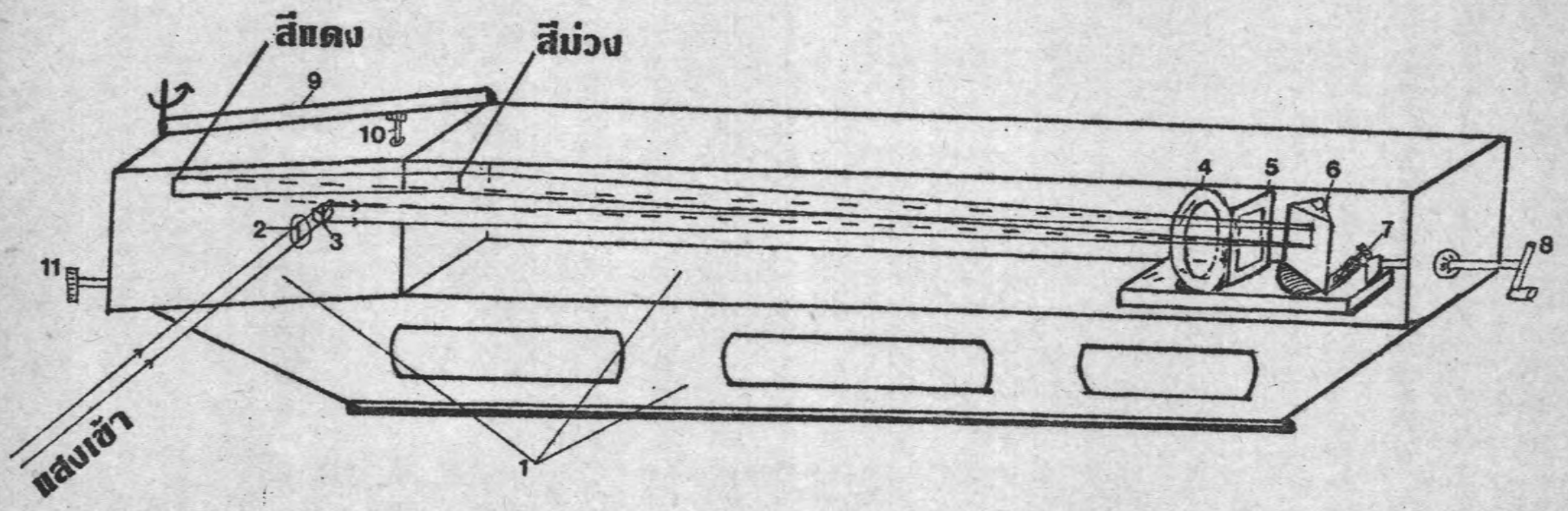
(1) ตัวโครงสเปกโตรกราฟ ทำจากโลหะประกอบด้วยสามส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนหัวรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูยาว 44 เซนติเมตร มีช่องเปิดสำหรับติดสลิท (slit) และที่ใส่แผ่นบันทึกภาพ (photographic plate) ส่วนที่สองเป็นส่วนตัวเครื่องมือเป็นกล่องโลหะรูปสี่เหลี่ยมทึบแสงขนาดกว้าง 18 เซนติเมตร ยาว 154 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ส่วนนี้มีเลนส์และปริซึมบรรจุอยู่ ส่วนที่สามคือฐานทำจากโลหะสูง 16 เซนติเมตร ส่วนตัวโครงนี้มีน้ำหนักมากพอจะทำให้สเปกโตรกราฟไม่สั่นขณะใช้งาน

(2) สลิท เป็นสลิทโลหะมีปุ่มปรับความกว้างและมีเหล็กรูปขากรรไกร (jaw) สำหรับเลื่อนหน้าสลิทปรับความยาวของสลิทจาก 0 ถึง 2.0 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับขนาดของภาพดวงอาทิตย์ที่ได้คือ 1.4 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าสามารถถ่ายสเปกตรัมของดวงอาทิตย์เต็มดวงได้

(3) ปริซึมรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก สำหรับสะท้อนแสงที่ผ่านจากสลิทให้ไปสู่เลนส์ในแนวแกนของเลนส์ มีความสูงหรือหน้ารับแสงเท่ากับสลิท

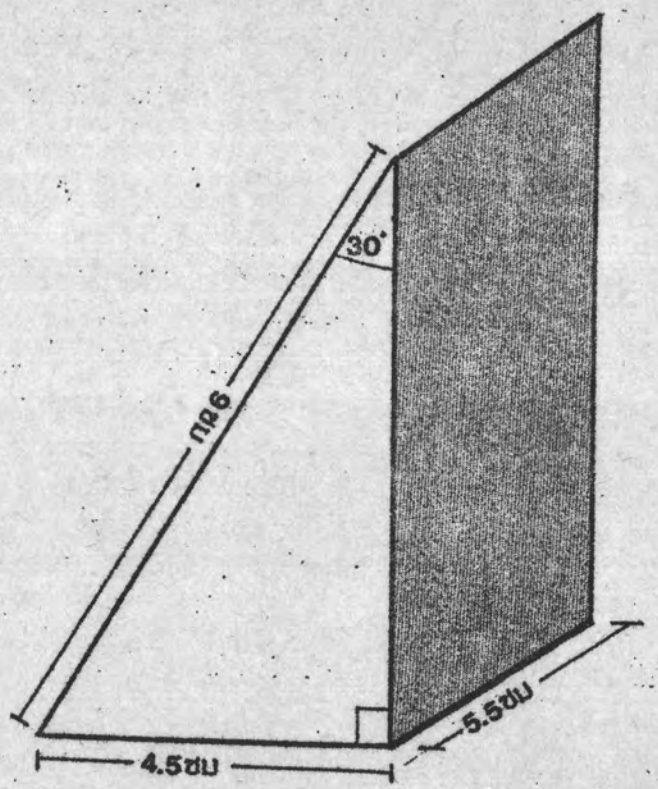
(4) เลนส์ ทำหน้าที่เป็นทั้งคอลลิเมเตอร์เลนส์ (collimator lens) และเลนส์โทรทัศน์ (telescope lens) อันเป็นลักษณะสำคัญของสเปกโตรกราฟแบบลิทโทรว์คือ คอลลิมิเนตโดยอัตโนมัติ (autocollimating) มีความยาวโฟกัสประมาณ 146 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร

(5) ไดอะแฟรม (diaphragm) ทำด้วยโลหะรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 เซนติเมตร วางอยู่หลังเลนส์



รูป 3.3 แผนภาพแสดงส่วนประกอบและทางเดินของแสงของสเปกโตรกราฟแบบลิตโทรว์ มาตราส่วน 1 ต่อ 10 เซนติเมตร

(6) ปริซึม เป็นปริซึมมุมฉาก หน้ารับแสงมีขนาดกว้าง 5.5 เซนติเมตร ยาว 9 เซนติเมตร จากการทดสอบด้วยวิธีการคอลลิมิเนตโดยอัตโนมัติ พบว่ามีมุมยอดประมาณ 30 องศา ทำจากแก้วควอซ์หลอม (fused quartz) มีค่าดัชนีหักเหของแสงสีเหลืองของโซเดียม (sodium line) เท่ากับ 1.459 ด้านหลังฉาบด้วยปรอท



รูป 3.4 แสดงลักษณะและขนาดของปริซึมที่ใช้กระจายแสงในสเปกโตรกราฟแบบลิตโทรว์ มาตราส่วนเท่าของจริง ด้านแลเงาคือด้านที่ฉาบด้วยปรอท

(7) ปุ่มสำหรับปรับมุมรับแสงของปริซึม ใช้สำหรับเลือกส่วนของสเปกตรัมที่จะปรากฏบนแผ่นบันทึกภาพ

ส่วนประกอบหมายเลข (4) ถึง (7) ตั้งอยู่บนฐานโลหะสามารถเลื่อนบนรางในแนวขนานกับตัวโครงและนำออกมาเพื่อเปลี่ยนปริซึมได้ (ดูรูป 3.5)

รูป 3.5 แสดงการติดตั้งส่วนประกอบหมายเลข (4) ถึง (7)

(8) ปุ่มสำหรับปรับระยะโฟกัส ใช้เลื่อนในแนวขนานเพื่อให้ได้ภาพที่ชัดของสเปกตรัม

(9) ที่ใส่แผ่นบันทึกภาพ มีขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 25.5 เซนติเมตร มีฝาโลหะปิดด้านหลังกันแสงรบกวนขณะถ่ายภาพ และมีแผ่นโลหะปิดด้านหน้ากันแสงจากสเปกตรัมถูกแผ่นบันทึกภาพก่อนถ่าย

เนื่องจากแผ่นบันทึกภาพขนาดดังกล่าวไม่มีใช้ จึงใช้ฟิล์มโกดาลิทแพนฟิล์ม (Kodalith Pan Film 2568) ของบริษัทโกดัก จำกัด ซึ่งมีขนาดกว้าง 7 เซนติเมตรตัดให้ยาวประมาณ 25 เซนติเมตรติดบนแผ่นโลหะแทน

(10) ปุ่มปรับมุมรับภาพของแผ่นบันทึกภาพ ใช้ปรับมุมรับภาพเนื่องจากระยะโฟกัสของแสงสีต่าง ๆ ไม่เท่ากัน

(11) ปุ่มปรับตำแหน่งภาพ ใช้เลื่อนตามแนวดิ่งทำให้สามารถถ่ายสเปกตรัมได้หลายแถบบนฟิล์ม 1 แผ่น

3. ชัตเตอร์ (shutter)

ชัตเตอร์ซึ่งใช้กำหนดเวลาที่ให้แสงตกกระทบแผ่นบันทึกภาพทำจากแผ่นพลาสติกทึบแสงเจาะช่องสี่เหลี่ยมยาวประมาณ 2 เซนติเมตร กว้าง 0.3 เซนติเมตร บังคับความเร็วด้วยสปริง ประกบด้วยแผ่นไม้อัดทำให้เลื่อนไปมาได้

ได้ดีสเกล (scale) บนแผ่นพลาสติกและทดลองถ่ายภาพด้วยความเร็วต่าง ๆ กันจนได้ความเร็วที่พอเหมาะสำหรับการถ่ายภาพ

4. เครื่องไมโครเดนซิโตมีเตอร์

อุปกรณ์สำหรับวัดความเข้มของฟิล์มที่ได้ ใช้เครื่องไมโครเดนซิโตมีเตอร์ของบริษัท จอย ลอบล์ จำกัด (Joyce, Loebl and Co., Ltd., Model MK III C5) ซึ่งภาควิชาฟิสิกส์มีอยู่

หลักการทำงานของเครื่องมือนี้คือ นำแสงซึ่งแยกออกมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกันสองลำแสง ลำแสงที่หนึ่งผ่านระบบทัศน์ (optical system) และไปสิ้นสุดที่แผ่นฟิล์มและผ่านไปสู่หลอดโฟโตมัลติไพเออร์ (photomultiplier) ลำแสงที่สองผ่านระบบทัศน์ต่าง ๆ ไปสิ้นสุดที่เวดจ์ (optical wedge) อันเป็นแก้วที่มีความเข้มเปลี่ยนไปตามระยะความยาวและผ่านไปสู่หลอดโฟโตมัลติไพลเออร์เดียวกัน จากนั้นจะมีวงจรทางไฟฟ้าเทียบความเข้มของแสงที่ผ่านมา หากไม่เท่ากันจะมีมอเตอร์ปรับตำแหน่งของเวดจ์จนกระทั่งแสงที่ผ่านเวดจ์มีความเข้มเท่ากันจึงหยุดนิ่ง ในขณะทำงานนั้นแผ่นฟิล์มและแท่นบันทึกผลจะถูกทำให้เคลื่อนที่ไปพร้อม ๆ กัน ขณะที่ความเข้มบนฟิล์มเปลี่ยนไปเวดจ์ก็จะเคลื่อนที่ไปด้วย ทำให้ปากกาซึ่งติดกับเวดจ์และกดบนกระดาษบันทึกผลเคลื่อนที่ไปตามความเข้มที่เปลี่ยนแปลง กราฟที่ได้จึงเป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความเข้ม ทั้งนี้อาจตั้งอัตราส่วนระหว่าง

ระยะบนฟิล์มและระยะที่แผ่นบันทึกผลเคลื่อนที่ในอัตราส่วนต่าง ๆ เช่น 1 ต่อ 1 หรือ 1 ต่อ 10 หรือ 1 ต่อ 100 เป็นต้น โดยการเลือกคานและตำแหน่งจุดหมุน

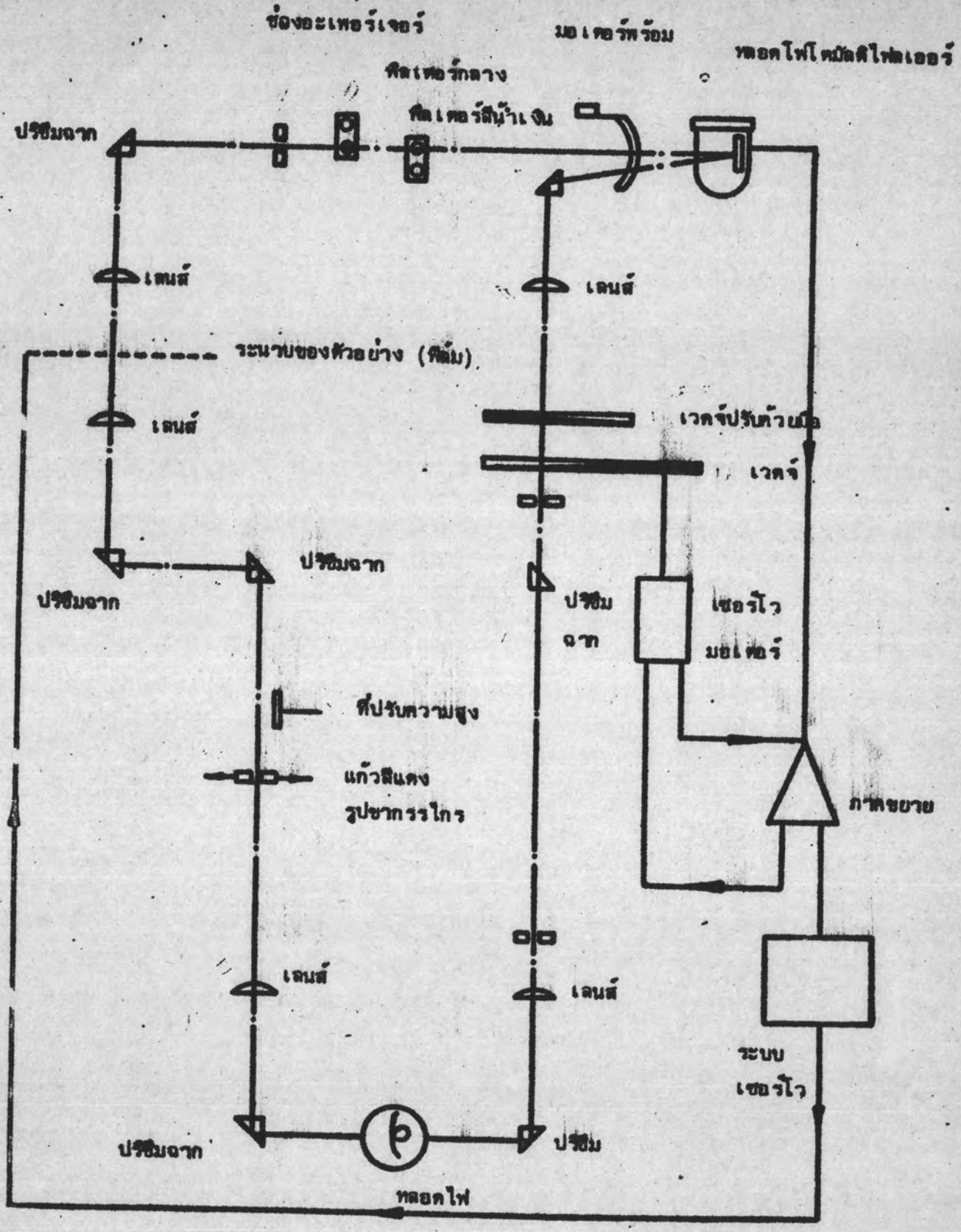
แผนภาพแสดงระบบทัศน์และระบบเซอร์โว (servo system) แสดงในรูป 3.6

เส้นทางของแสงผ่านระบบทัศน์จนถึงโฟโตมัลติไพลเออร์ ตลอดจนรายละเอียดของชิ้นส่วนที่สำคัญ นอกจากเลนส์ซึ่งใช้โฟกัสแสงและปริซึมฉากที่ใช้หักมุมแสงมีดังนี้

4.1 ลำแสงที่ 1 แสงจากหลอดไฟถูกหักทิศทางด้วยปริซึมฉากผ่านแก้วสีแดงรูปขากรรไกร (red glass jaws) ซึ่งทำหน้าที่กำหนดความกว้างของลำแสง จากนั้นระบบเลนส์จะทำให้เป็นแสงขนานและไปยังระนาบของตัวอย่าง (หรือแผ่นฟิล์มนั่นเอง) จากนั้นลำแสงจะผ่านไปจนถึงฟิลเตอร์ที่เป็นกลาง (neutral filter) ซึ่งใช้ลดปริมาณของแสงจากตัวอย่าง หากมีมากเกินไปจนไม่อาจเทียบกับความเข้มของเวดจ์ได้ สุดท้ายจะผ่านฟิลเตอร์สีน้ำเงินสำหรับตัดแสงสีแดงที่มาจากแก้วสีแดงรูปกรรไกรข้างต้น แล้วไปโฟกัสที่โฟโตมัลติไพลเออร์

4.2 ลำแสงที่ 2 แสงอีกส่วนหนึ่งจากหลอดไฟดวงเดียวกันจะถูกหักโดยปริซึมฉากผ่านระบบเลนส์ไปยังเวดจ์ซึ่งมีปากกาสำหรับบันทึกติดอยู่ เวดจ์ปรับด้วยมือตัวที่อยู่ถัดไปใช้สำหรับตั้งเส้นฐานของปากกา สำหรับการใช้งานกับตัวอย่างที่มีความเข้มต่างกันไปในแต่ละชิ้นอาจเปลี่ยนเวดจ์ที่มีช่วงของความทึบต่าง ๆ กันได้ตามความเหมาะสม ระบบเลนส์จะทำให้แสงส่วนที่ 2 นี้ไปโฟกัสที่โฟโตมัลติไพลเออร์เช่นเดียวกันกับลำแสงที่ 1

ระบบขับเคลื่อนทำงานจากการบังคับของวงจรขยายดังนี้ สัญญาณจากหลอดโฟโตมัลติไพลเออร์ถูกส่งไปยังเครื่องขยายสัญญาณและส่งไปยังเซอร์โวมอเตอร์เพื่อปรับเวดจ์ อีกส่วนหนึ่งของสัญญาณจะไปควบคุมระบบเซอร์โวสำหรับขับเคลื่อนที่ตั้งตัวอย่างพร้อมกับแผ่นบันทึกข้อมูล (กราฟ) โดยที่ความเร็วของการขับเคลื่อนจะสอดคล้องกับความแตกต่างของความเข้มของตัวอย่าง กล่าวคือหากตัวอย่างมีความเข้มที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว



รูป 3.6 แผนภาพแสดงระบบทัศน์และระบบเซอร์โวของเครื่องไมโครเดนซิโตมิเตอร์

ระบบจะทำให้มีการขับเคลื่อนที่ตั้งตัวอย่างช้าลง แต่หากความเข้มของตัวอย่างไม่แตกต่างกันมาก ระบบจะทำให้ขับเคลื่อนไปเร็วขึ้น

ที่เรียกเครื่องมือนี้ว่าไมโครเดนซิโตมีเตอร์เพราะสามารถวัดความเข้มของตัวอย่างด้วยระยะความกว้าง 1 ไมครอน หรือต่ำกว่านั้น คือวัดจากจุดเล็ก ๆ บนตัวอย่างประมาณในหน่วยของไมครอนต่อเนื่องกันไป ทำให้ได้ค่าที่บันทึก นั้นละเอียดมาก

5. แหล่งกำเนิดมาตรฐาน

เพื่อประโยชน์ในการวัดความยาวคลื่นของเส้นต่าง ๆ จึงต้องมีแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้เป็นมาตรฐานซึ่งทราบความยาวคลื่นของแสงที่ให้ออกมา

ส่วนประกอบของแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานแสดงในรูป 3.7

โดยมีส่วนประกอบดังนี้

(1) แหล่งจ่ายไฟความต่างศักย์สูง มีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วทำเป็นคลิป สามารถใช้หนีบขั้วของหลอดไฟที่ให้แสงมาตรฐาน

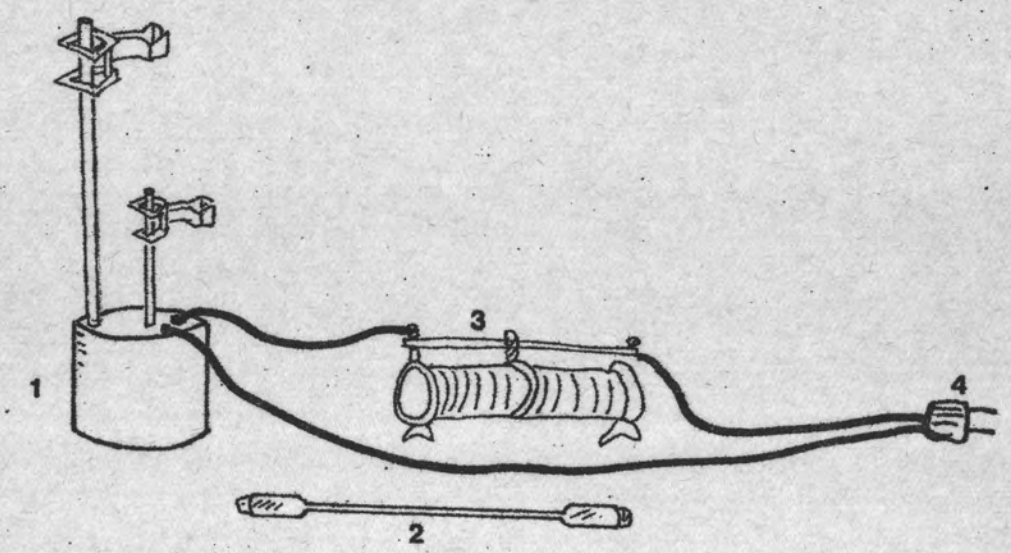
(2) หลอดไฟให้แสงมาตรฐาน เป็นหลอดแก้วมีขั้วโลหะ 2 ขั้ว ภายในบรรจุก๊าซหรือไอที่ความดันต่ำของธาตุชนิดต่าง ๆ กันในแต่ละหลอด เมื่อนำไปติดกับขั้วของแหล่งจ่ายไฟและต่อไฟฟ้าเข้าหลอด จะให้แสงความยาวคลื่นต่าง ๆ อันเป็นเฉพาะตัวออกมา

หลอดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้ 3 หลอดคือ หลอดไฮโดรเจน ฮีเลียม และปรอท ความยาวคลื่นของแสงที่แต่ละหลอดให้ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 3.1

อย่างไรก็ตามการถ่ายภาพสเปกตรัมของหลอดไฟเหล่านี้จะได้เส้นครบทุกเส้นหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับเวลาและความสว่างของหลอด ตลอดจนความไวของฟิล์ม

(3) เครื่องควบคุมกระแส (Rheostat) ใช้สำหรับปรับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดซึ่งส่งผลให้หลอดสว่างมากหรือน้อยตามต้องการ

(4) ปลั๊กไฟฟ้า ต่อไปยังแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 โวลต์



รูป 3.7 แสดงส่วนประกอบหลักกำเนิดแสงมาตรฐาน

ตารางที่ 3.1 ธาตุและความยาวคลื่นเป็นอังสตรอมของหลอดไฟให้แสงมาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (ปรับปรุงจาก Jenkins and White, 1957 และ Alonso and Finn, 1975)

ธาตุ	ความยาวคลื่น		สี
ไฮโดรเจน	4101.74	จ	ม่วง
	4340.46	จ	ม่วง
	4861.33	ป	ฟ้า
	6562.81	ข	แดง
ปรอท	4046.56	ป	ม่วง
	4077.81	ป	ม่วง
	4358.35	ข	ม่วง
	4916.04	จ	ฟ้า
	5460.74	ข	เขียว
	5769.59	ข	เขียว
	5790.65	ข	เหลือง
ฮีเลียม	4387.93	จ	ม่วง
	4437.55	จ	ม่วง
	4471.48	ข	ม่วง
	4713.14	ป	ฟ้า
	4921.93	ป	เขียว
	5015.67	ข	เขียว
	5047.74	ข	เขียว
	5857.62	ข	เหลือง
	6678.15	ป	แดง

หมายเหตุ ข คือ แสงเข้ม ป คือ แสงปานกลาง จ คือ แสงจาง