หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 5

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับสังเกตการณ์และวิธีดำเนินงาน

ในการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่น 23 เซนติเมตรกับกัมมันตภาพของจุดมืดนี้ใช้อุปกรณ์สำคัญ 2 อย่างคือ โทรทรรศน์วิทยุสำหรับวัดฟลักซ์คลื่นวิทยุจากดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่น 23 เซนติเมตร และกล้องโทรทรรศน์ซึ่งใช้ประกอบกับกล้องถ่ายรูปสำหรับบันทึกภาพดวงอาทิตย์ในแสงแดง เพื่อนำมาวัดกัมมันตภาพของจุดมืด หลักการทำงานและวิธีใช้อุปกรณ์แต่ละอย่างเพื่อสังเกตการณ์ดวงอาทิตย์จะกล่าวโดยละเอียดดังต่อไปนี้

1. <u>โทรทรรศน์วิทยุและการวัดฟลักซ์ดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่น 23 เซนติเมตร</u>

โทรทรรศน์วิทยุที่ใช้ในการวัดฟลักซ์ดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่น 23 เซนติเมตร เป็นโทรทรรศน์วิทยุแบบง่าย ติดตั้งอยู่ที่ตึกฟิสิกส์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ สายอากาศและเครื่องรับ นอกจากนี้ยังได้สร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณเทียม (noise generator) เพื่อใช้เทียบมาตรฐาน (calibration) ด้วย หลักการทำงานและวิธีใช้อุปกรณ์ดังกล่าวแยกกล่าวได้ดังนี้

1.1 <u>สายอากาศ</u> เป็นจานพาราโบลาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เมตร ทำหน้าที่สะท้อนคลื่นวิทยุไปรวมกันที่จุดโฟกัส และรับสัญญาณด้วยลำโพงรับสัญญาณ (horn) ซึ่งแขวนอยู่เหนือจานสายอากาศที่จุดโฟกัส ส่งผ่านสัญญาณจากลำโพงรับสัญญาณไปยังเครื่องรับด้วยสายเคเบิลแกนกลาง (coaxial cable) จานสายอากาศนี้มีมุมรับสัญญาณกว้างประมาณ 4 องศา ติดตั้งอยู่บนแท่น หมุนรอบแกนเหนือใต้ทองฟ้า (polar axis) โดยมีมอเตอร์ขับเคลื่อนให้จานสายอากาศชี้ไปที่ดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ส่วนประกอบโดยละเอียดของจานสายอากาศแสดงไว้ในรูป 5.1

รูป 5.1 จานสายอากาศของโทรทรรศน์วิทยุ

2.1 <u>เครื่องรับ</u> การทำงานของเครื่องรับมีดังนี้ ลำโพงรับสัญญาณของจานสายอากาศจะรับคลื่นวิทยุในช่วงความถี่ประมาณ 1350–1450 เมกกะเฮิทซ์ สัญญาณนี้จะผสมเข้ากับสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณภายใน ในวงจรผสมสัญญาณ (mixer) ซึ่งทำให้ได้สัญญาณความถี่ปานกลางสะดวกต่อการนำไปขยาย ต่อจากนั้นสัญญาณความถี่ปานกลางนี้จะถูกส่งเข้าวงจรขยายสัญญาณภาคแรก (preamplifier) ซึ่งจูน (tune)ไว้รับความถี่ 10 เมกกะเฮิทซ์และมีช่วงกว้างความถี่ประมาณ 10 เมกกะเฮิทซ์ เพื่อขยายสัญญาณให้แรงขึ้น แล้วส่งผ่านวงจรทอนสัญญาณ (attenuator)ซึ่งเป็นตัวปรับสัญญาณให้พอเหมาะเพื่อที่จะส่งไปขยายต่อไปในวงจรขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง (main intermediate frequency amplifier) หลังจากนั้นสัญญาณซึ่งเป็นกระแสสลับจะถูกเปลี่ยนเป็นกระแสไฟตรง และขยายด้วยวงจรขยายไฟตรง (d.c. amplifier) บันทึกสัญญาณไฟตรงด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณ (recorder) ซึ่งบันทึกสัญญาณลงบนกระดาษกราฟ สำหรับรูปของเครื่องรับโดยละเอียดแสดงไว้ในรูป 5.2

เครื่องรับนี้เป็นแบบซุปเปอร์เฮทเทอโรดายน์ 2 ช่วงรับสัญญาณ (two channel superheterodyne) กล่าวคือ มันจะรับคลื่นวิทยุได้ 2 ความถี่พร้อมกันคือ ν_{RF} และ ν'_{RF} (เมกกะเฮิทซ์) ซึ่งมีค่าตามสมการ

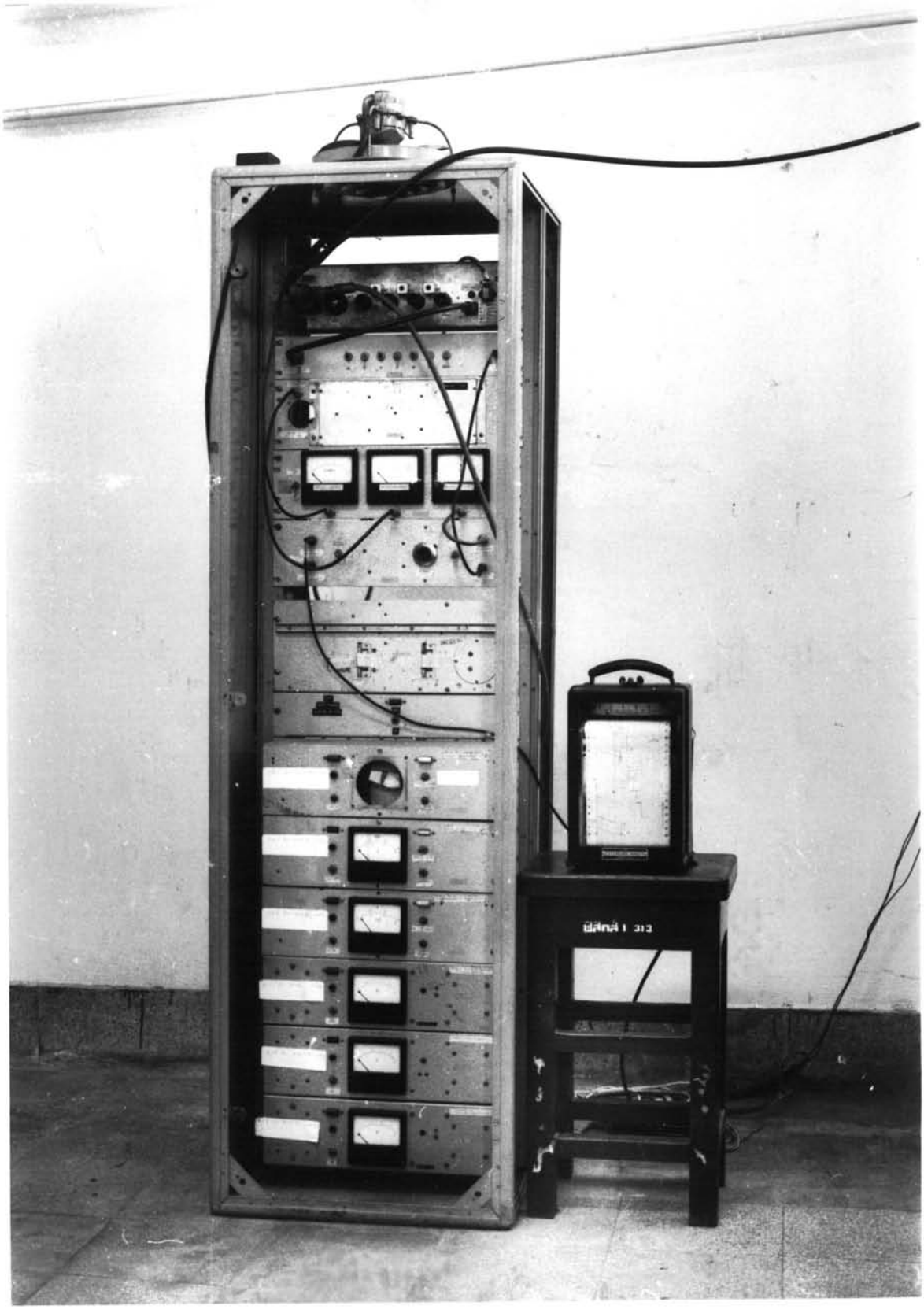
$$\nu_{RF} = \nu_0 + 10 \qquad (5.1)$$

$$\nu'_{RF} = \nu_0 - 10 \qquad (5.2)$$

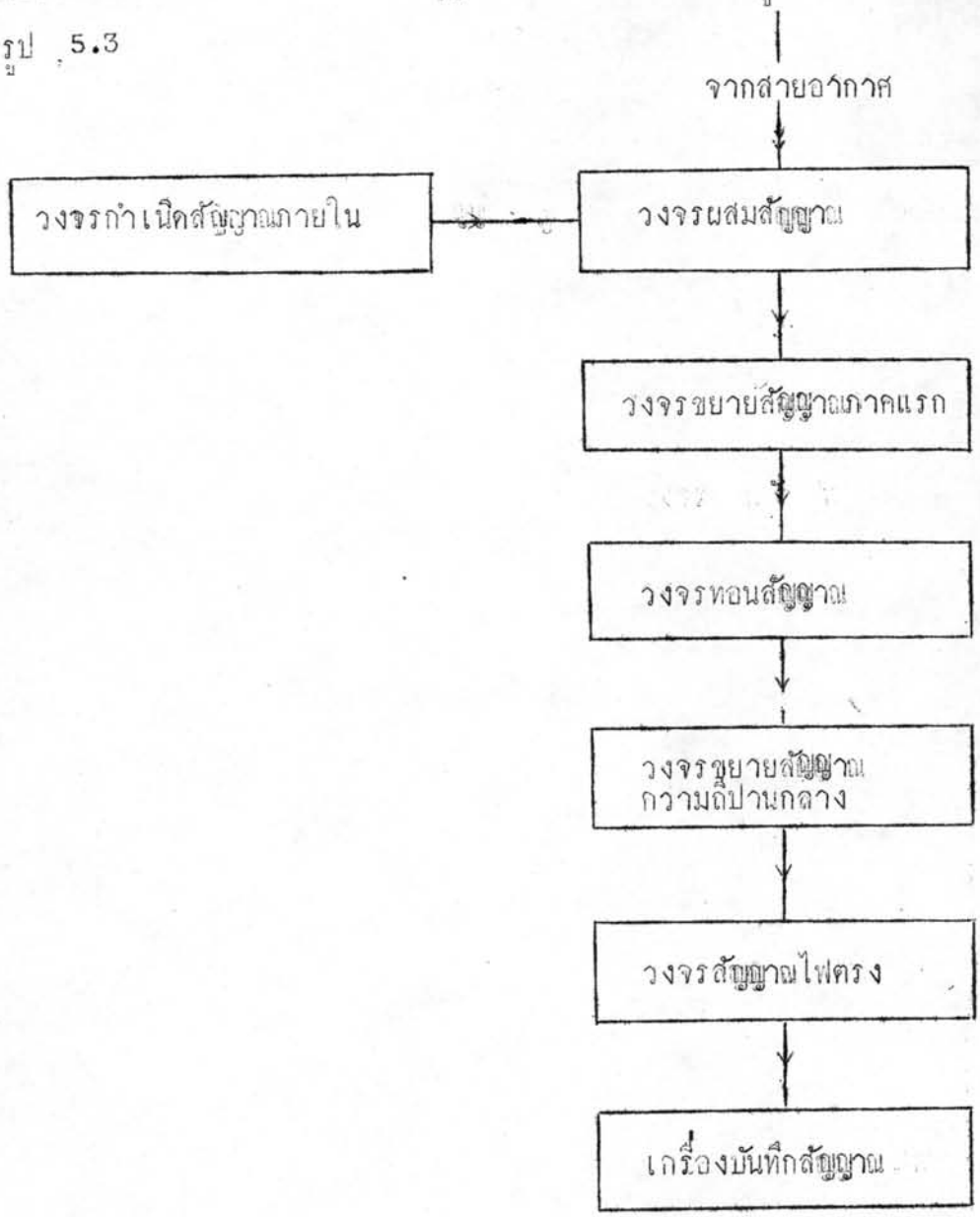
เมื่อ ν_0 = ความถี่จากวงจรกำเนิดสัญญาณภายใน (local oscillator) (เมกกะเฮิทซ์)

เหตุที่เครื่องรับรับทั้ง 2 ความถี่ดังกล่าวพร้อมกันเพราะว่า เมื่อคลื่นวิทยุที่มีความถี่ ν_{RF} และ ν'_{RF} เมกกะเฮิทซ์ รวมกับคลื่นวิทยุจากวงจรกำเนิดสัญญาณภายใน จะให้ความถี่บีต (beat) เท่ากับ10 เมกกะเฮิทซ์ทั้งคู่ ซึ่งจะผ่านเข้าวงจรขยายสัญญาณและถูกขยายเหมือนกัน เครื่องรับแบบนี้จึงมีความไว (sensitivity) ในการรับสัญญาณเป็น 2 เท่าของเครื่องรับที่มีช่องรับสัญญาณเพียงช่องเดียว คลื่นวิทยุทั้ง 2 ความถี่จะมีความ

รูป 5.2 เครื่องรับของโทรทรรศน์วิทยุที่ใช้วัดฟลักซ์ดวงอาทิตย์



แตกต่างกัน 20 เมกกะเฮิทซ์ ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความถี่ ν_{RF} และ ν'_{RF} (ประมาณ 1100 เมกกะเฮิทซ์) ดังนั้นจะถือว่าความถี่ที่เครื่องรับรับได้มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2}(\nu_{RF}+\nu'_{RF})=\nu_0$ คือเท่ากับความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณภายใน สำหรับแผนภูมิของเครื่องรับแสดงไว้ใน รูป 5.3



รูป 5.3 แสดงแผนภูมิของเครื่องรับที่ใช้ในงานวิจัยนี้

1.3 <u>วิธีใช้เครื่องรับ</u> การใช้เครื่องรับต้องดำเนินการตามขั้นตอน ถ้าหากผิดขั้นตอนอาจทำให้เครื่องรับเกิดชำรุดได้ ขั้นตอนในการเปิดเครื่องรับเรียงตามลำดับดังนี้

1)ตรวจสวิทช์ทุกอันของเครื่องจ่ายไฟ (power supply) ทุกเครื่องและสวิทช์ใหญ่ (main switch) ของเครื่องรับ โดยต้องให้สวิทช์ทุกอันดังกล่าวอยู่ในตำแหน่งปิด (off) และสวิทช์ควบคุมกระแสผลึก (crystal current) ต้องอยู่ในตำแหน่งเปิด (on) ทั้งนี้เพราะว่าถ้าเปิดสวิทช์ใหญ่ขณะที่สวิทช์เครื่องจ่ายไฟแรงสูงเปิดอยู่และเครื่องจ่ายไฟให้ไส้หลอด (filament power supply) ยังไม่ได้เปิด จะทำให้หลอดของวงจรที่รับไฟแรงสูงเกิดชำรุดได้ ส่วนการเปิดกระแสผลึกก่อนก็เพื่อให้มีกระแสไหลผ่านไดโอดผลึก (crystal diode) ของวงจรผสมสัญญาณไปยังวงจรขยายสัญญาณภาคแรก ทั้งนี้เพราะว่าถ้าไม่มีสัญญาณจากสายอากาศหรือสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณภายในผ่านวงจรผสมสัญญาณเข้าไปยังวงจรขยายสัญญาณภาคแรก วงขยายสัญญาณภาคแรกอาจเกิดสัญญาณกระเพื่อมอย่างรุนแรงได้

2) เสียบปลั๊ก (plug) ของพัดลมระบายความร้อนของเครื่องรับเข้ากับไฟบ้านแล้วเปิดสวิทช์ใหญ่

3)เปิดสวิทช์ของเครื่องจ่ายไฟให้ไส้หลอด ซึ่งจ่ายไฟไปยังไส้หลอดของวงจรกำเนิดสัญญาณภายในวงจรขยายสัญญาณภาคแรก และวงจรขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง เมื่อดูบนหน้าปัดของโวลต์มิเตอร์ของเครื่องจ่ายไฟทั้ง 3 เครื่องดังกล่าวจะเห็นเข็มชี้ไปที่ประมาณ 6 โวลต์

4) เปิดสวิทช์ให้ไฟบ้านเข้าเครื่องจ่ายไฟที่เหลืออีก 3 เครื่องซึ่งเป็นเครื่องจ่ายไฟแรงสูง เมื่อดูที่หน้าปัดของเครื่องจ่ายไฟทั้ง 3 เครื่องดังกล่าวซึ่งจ่ายไฟให้กับวงจรกำเนิดสัญญาณภายใน วงจรขยายสัญญาณภาคแรกและวงจรขยายสัญญาณความถี่ปานกลางจะเห็นเข็มชี้ไปที่ 250,170 และ 170 โวลต์ตามลำดับ แต่ยังไม่เปิดสวิทช์ให้เครื่องจ่ายไฟแรงสูงไปยังวงจรดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อรอให้ไส้หลอดในวงจรกำเนิดสัญญาณภายใน วงจรขยายสัญญาณภาคแรก และวงจรขยายสัญญาณความถี่ปานกลางอุ่นเครื่อง 2-3 นาทีก่อน

5) เปิดสวิทช์ให้เครื่องจ่ายไฟแรงสูงจ่ายไฟให้กับวงจรกำเนิดสัญญาณภายใน วงจรขยายสัญญาณภาคแรกและวงจรขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง

6) รอให้เครื่องรับอุ่น 30–60 นาที ถ้าอุ่นเครื่องน้อยเกินไปเครื่องรับจะให้สัญญาณรบกวนออกมามาก

7) เมื่อต้องการใช้เครื่องรับสังเกตการณ์ควงอาทิตย์ ให้ต่อสายนำสัญญาณซึ่งมาจากสายอากาศเข้ากับช่องนำสัญญาณเข้า แล้วจึงกดสวิทช์ของกระแสผลึกไปที่ตำแหน่งปิด (off) เพื่อตัดกระแสไฟตรงที่ไหลผ่านวงจรผสมสัญญาณไปยังวงจรขยายสัญญาณภาคแรกโดยรับเอาแต่สัญญาณจากสายอากาศเข้าไปแทน แล้วปรับสายนำสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณภายในโดยเลื่อนเข้าออกจนกระแสผลึกอยู่ที่ 0.5 มิลลิแอมป์

8) เมื่อต้องการบันทึกสัญญาณลงบนกระดาษกราฟ ให้ต่อสายนำสัญญาณของเครื่องบันทึกสัญญาณเข้ากับเครื่องรับ ในการบันทึกสัญญาณลงบนกระดาษกราฟ สามารถเปลี่ยนอัตราเร็วของกระดาษกราฟได้ 2 อย่างคือ 6 นิ้วต่อชั่วโมง กับ 6 นิ้วต่อนาที

สำหรับการปิดเครื่องรับดำเนินการเรียงลำดับดังนี้

1) กดสวิทช์ตัดสัญญาณที่ส่งจากเครื่องรับไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณ

2) กดสวิทช์ของกระแสผลึกไปที่ตำแหน่งเปิด

3) ปิดสวิทช์ของเครื่องจ่ายไฟแรงสูงซึ่งจ่ายไฟแรงสูงให้กับวงจรกำเนิดสัญญาณภายในวงจรขยายสัญญาณภาคแรกและวงจรขยายสัญญาณความถี่ปานกลาง

4) ปิดสวิทช์ไฟเข้าเครื่องจ่ายไฟแรงสูงทั้ง 3 เครื่อง

5) ปิดสวิทช์เครื่องจ่ายไฟสำหรับไส้หลอดทั้ง 3 เครื่อง

6) ปิดสวิทช์ใหญ่

7) ถอดปลั๊กของพัดลมระบายความร้อนและของเครื่องรับ

1.4 <u>เครื่องกำเนิดสัญญาณเทียม</u> (Noise generator) เนื่องจากกำลังขยายและขนาดสัญญาณรบกวนภายในเครื่องของเครื่องรับ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา นอกจากนี้เครื่องรับที่ใช้ในการสังเกตการณ์ยังไม่มีระบบสำหรับกำจัดสัญญาณรบกวนภายใน

และไม่มีระบบตรวจสอบกำลังขยาย ดังนั้นจึงได้สร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณเทียมขึ้นเพื่อใช้ตรวจสอบความแปรปรวนภายในระบบเครื่องรับในช่วงเวลาที่ทำการสังเกตการณ์ เครื่องกำเนิดสัญญาณเทียมที่สร้างขึ้นอาศัยหลักการว่า อิเลกตรอนที่วิ่งระหว่างขั้วไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence) สามารถปล่อยคลื่นวิทยุในช่วงความยาวคลื่นของไมโครเวฟ (microwave) ครอบคลุมถึงความยาวคลื่น 23 เซนติเมตรด้วย ดังนั้นจึงใช้ คลื่นวิทยุที่ปล่อยจากหลอดฟลูออเรสเซนซ์สำหรับตรวจสอบความแปรปรวนภายในของเครื่องรับ

เครื่องกำเนิดสัญญาณเทียมที่สร้างขึ้นประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนซ์ขนาด 20 วัตต์ 3 หลอด และสายอากาศแบบห่วงกลม (circular loop) รัศมี 4 เซนติเมตร 1 อัน หลอดฟลูออเรสเซนซ์และสายอากาศติดตั้งอยู่ในลังไม้ซึ่งหุ้มด้วยลวดตาข่ายที่ใช้สำหรับทำมุ้งลวด เพื่อป้องกันสัญญาณจากภายนอกเข้าไปรบกวน ดังในรูป 5.4 หลอดฟลูออเรสเซนซ์แต่ละหลอดอยู่ห่างจากสายอากาศเป็นระยะทางที่แตกต่างกัน เพื่อให้คลื่นวิทยุจากแต่ละหลอดซึ่งสายอากาศรับได้มีความแรงต่างกัน สัญญาณจากสายอากาศถูกส่งไปยังเครื่องรับโดยสายเคเบิลแกนกลาง

สำหรับการใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณเทียมทำการเทียบมาตรฐาน (calibration) ดำเนินตามขั้นตอนดังนี้

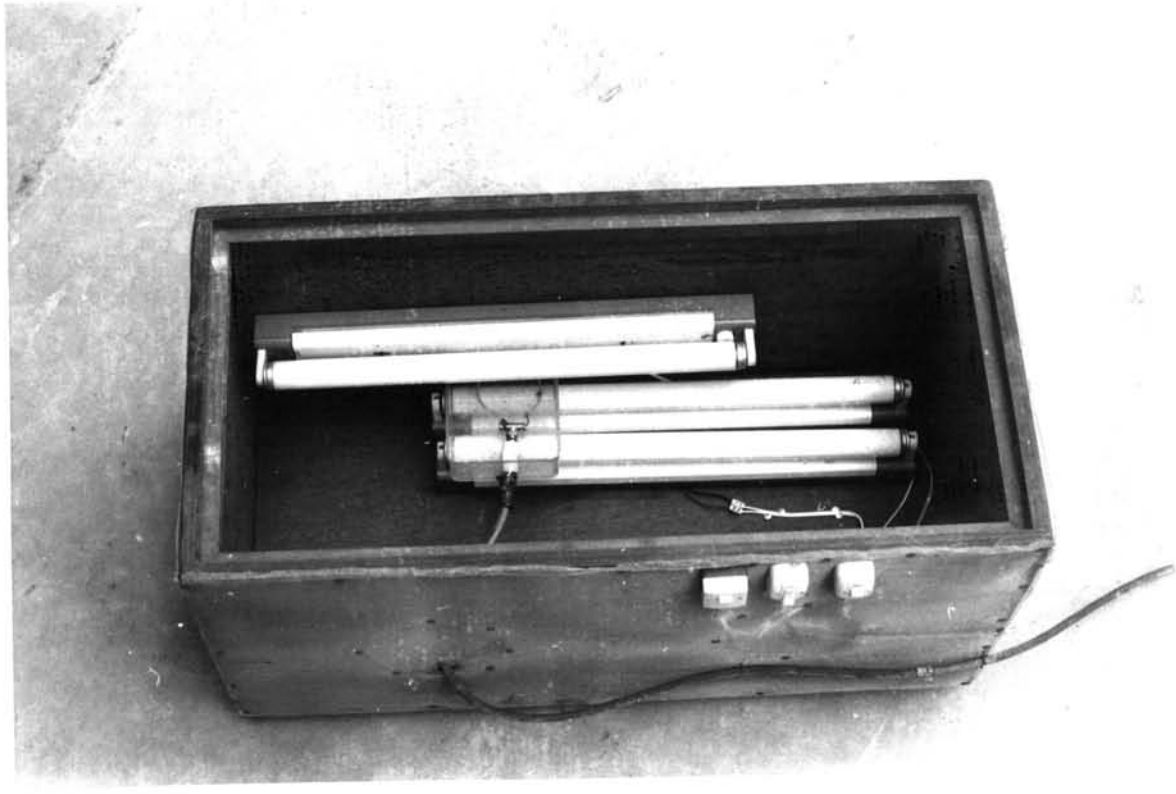
1) เปิดสวิทช์ของหลอดฟลูออเรสเซนซ์ทั้ง 3 หลอด อุ่นเครื่องประมาณ 20 นาทีเพื่อให้อุณหภูมิภายในลังใกล้สมดุลย์กับอุณหภูมิห้อง

2) กดสวิทช์กระแสผลึกไปที่ตำแหน่งเปิด แล้วต่อสายนำสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเทียมเข้ากับช่องนำสัญญาณเข้าของเครื่องรับ

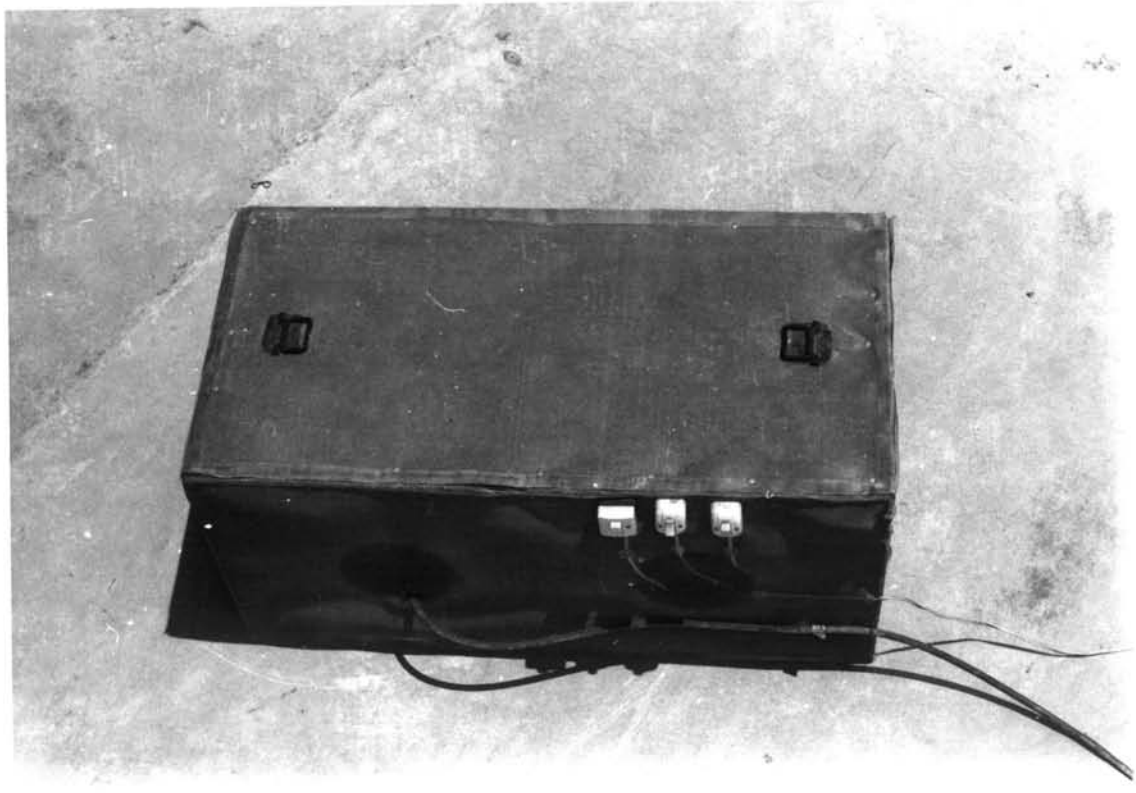
3) ปิดหลอดฟลูออเรสเซนซ์ที่ให้สัญญาณปานกลางและต่ำ โดยเปิดเฉพาะหลอดที่ให้สัญญาณสูง แล้วกดสวิทช์กระแสผลึกไปที่ตำแหน่งปิด

4) อ่านค่ากระแสบนแอมมิเตอร์ ซึ่งเป็นกระแสเนื่องจากสัญญาณของหลอดฟลูออเรสเซนซ์ที่ให้สัญญาณสูง ในกรณีที่บันทึกสัญญาณด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณ-

รูป 5.4 เครื่องกำเนิดสัญญาณเทียม ก. แสดงส่วนประกอบต่างๆที่อยู่ภายใน
ข. แสดงลักษณะภายนอก



ก.



ข.

-กระดาษกราฟ ต้องให้กระดาษกราฟเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วต่ำประมาณ 30 วินาที เพื่อรอให้ปากกาของเครื่องบันทึกสัญญาณเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งที่ควรจะอยู่ก่อน หลังจากนั้นจึงให้ให้กระดาษกราฟเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสูงต่อไปอีก 20 วินาที ซึ่งจะทำให้เห็นระดับของสัญญาณได้ชัดเจนกว่าการบันทึกด้วยอัตราเร็วต่ำ

5) ปิดหลอดฟลูออเรสเซนซ์ที่ให้สัญญาณสูง แล้วเปิดหลอดฟลูออเรสเซนซ์ที่ให้สัญญาณปานกลาง หลังจากนั้นปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 4

6. ปิดหลอดฟลูออเรสเซนซ์ที่ให้สัญญาณปานกลาง แล้วเปิดหลอดฟลูออเรสเซนซ์ที่ให้สัญญาณต่ำ หลังจากนั้นปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 4

7) ปิดหลอดฟลูออเรสเซนซ์ทั้ง 3 หลอด แล้วปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 4 กราฟที่ได้เมื่อปิดทั้ง 3 หลอดถือว่าเป็นขีดศูนย์ของสัญญาณจากแต่ละหลอด

8) หลังจากนั้นจึงนำเครื่องรับไปสังเกตการณ์ดวงอาทิตย์ต่อไปอีกระยะหนึ่ง

9) เมื่อต้องการตรวจสอบว่ากำลังขยายของเครื่องรับเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเมื่อเทียบมาตรฐานครั้งแรกเท่าไร ก็ปฏิบัติตามลำดับจากข้อ 1 ถึงข้อ 7 อีกครั้งหนึ่ง เมื่อนำสัญญาณจากแต่ละหลอดซึ่งได้จากการเทียบมาตรฐานในครั้งแรกกับครั้งหลังมาเปรียบเทียบกัน ก็จะสามารถทราบว่ากำลังขยายของเครื่องรับเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร โดยถือว่าความแรงของสัญญาณจากแต่ละหลอดไม่เปลี่ยนแปลง

เนื่องจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเทียมใช้ไฟบ้านซึ่งมีความต่างศักย์ (voltage) ไม่สม่ำเสมอ ทำให้ความแรงของสัญญาณจากหลอดฟลูออเรสเซนซ์ไม่คงที่นัก นอกจากนี้ในขณะเทียบมาตรฐานกระแสผลึกของเครื่องรับสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งมีผลทำให้สัญญาณที่เครื่องรับวัดได้จากหลอดฟลูออเรสเซนซ์มีค่าไม่คงที่ด้วย ดังนั้นในการเทียบมาตรฐานแต่ละครั้งจึงต้องบันทึกค่ากระแสผลึกซึ่งอ่านได้จากแอมมิเตอร์ของเครื่องรับและวัดความต่างศักย์ของไฟบ้านที่จ่ายให้กับเครื่องกำเนิดสัญญาณเทียมทุกครั้ง เพื่อนำมาใช้คำนวณแก้ไขสัญญาณที่ได้จากแต่ละหลอดเนื่องจากผลดังกล่าว

1.5 <u>วิธีใช้โทรทรรศน์วิทยุสังเกตการณ์ดวงอาทิตย์</u> ในการใช้โทรทรรศน์วิทยุวัดฟลักซ์ดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่น 23 เซนติเมตร มีวิธีการเรียงลำดับตามขั้นตอนต่อไปนี้

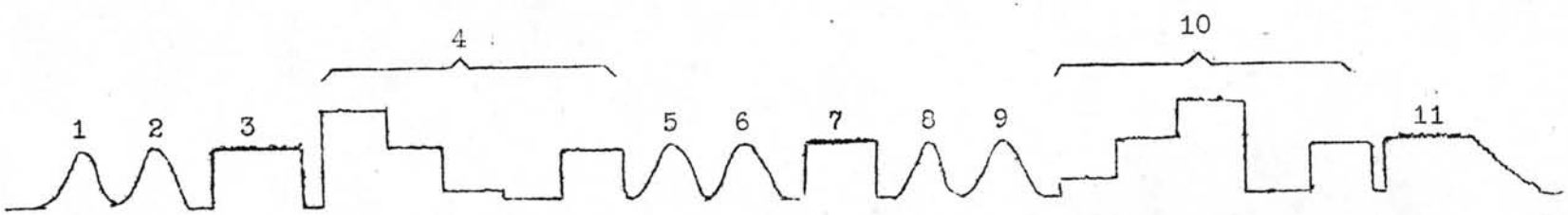
1) เปิดเครื่องรับตามขั้นตอนในข้อ 1.3 เมื่อเวลาประมาณ 9.00–9.30 นาฬิกา ใช้เวลาอุ่นเครื่อง 30–60 นาที

2) เริ่มสังเกตการณ์ดวงอาทิตย์เมื่อเวลาประมาณ 10.00–10.30 นาฬิกา จัดจานสายอากาศให้มีมุมเดคลิเนชัน (declination) ตรงกับมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ด้วยการสังเกตได้จากเงาของลำโพงลำสัญญาณในจานสายอากาศโดยจะต้องอยู่ตรงตำแหน่งที่จานสายอากาศรับสัญญาณจากดวงอาทิตย์ได้สูงสุด ซึ่งเราได้ทดลองหาตำแหน่งนั้นเอาไว้แล้ว แล้วจึงตรึงให้คงที่ หลังจากนั้นหมุนจานสายอากาศรอบแกนเหนือใต้ท้องฟ้าให้มาอยู่ในแนวดิ่ง เพื่อเตรียมพร้อมที่จะหมุนจานสายอากาศผ่านดวงอาทิตย์

3) ต่อสายนำสัญญาณจากสายอากาศเข้ากับเครื่องรับ ปิดกระแสผลึกเลื่อนหัวนำสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณภายในเข้าออกจนกระแสผลึกมีค่า 0.5 มิลลิแอมป์

4) กดคันบังคับของเครื่องบันทึกสัญญาณให้กระดาษกราฟเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสูง แล้วหมุนจานสายอากาศผ่านดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตกและจากทิศตะวันตกกลับมาทิศตะวันออกอย่างช้าๆ จะได้สัญญาณบนกระดาษกราฟของเครื่องบันทึกสัญญาณมีลักษณะดังที่แสดงไว้ในรูป 5.5 ตรงช่วงที่ 1 และ 2 ทั้งนี้เพื่อเป็นการบันทึกค่าฟลักซ์สูงสุดจากดวงอาทิตย์ในช่วงเช้าเทียบกับสัญญาณจากท้องฟ้าซึ่งถือว่าเป็นขีดศูนย์

5) เลื่อนคันบังคับของเครื่องบันทึกสัญญาณให้กระดาษกราฟเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วต่ำ หมุนจานสายอากาศให้หันไปตรงดวงอาทิตย์ แล้วหมุนคลัทช์ (clutch) ให้ตรึงสายอากาศเข้ากับแกนของมอเตอร์ หลังจากนั้นจึงเปิดมอเตอร์ให้ขับเคลื่อนจานสายอากาศหันตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา จนถึงเวลาประมาณ 12.00 นาฬิกา จะได้สัญญาณจากดวงอาทิตย์ที่บันทึกลงบนกระดาษกราฟมีลักษณะเหมือนช่วงที่ 3 ในรูป 5.5



รูป 5.5 แสดงตัวอย่างของสัญญาณที่บันทึกบนกระดาษกราฟ ซึ่งได้จากการสังเกตการณ์ดวงอาทิตย์ในแต่ละวัน

6) ประมาณเที่ยงจะปลดสายนำสัญญาณจากสายอากาศออกจากเครื่องรับ แล้วต่อปลายสายนำสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเทียมเข้าเครื่องรับ เพื่อทำการเทียบมาตรฐานครั้งแรก ในการเทียบมาตรฐานทำตามขั้นตอนในข้อ 1.4 ซึ่งจะได้ลักษณะของสัญญาณบนกระดาษกราฟของเครื่องบันทึกสัญญาณเหมือนกับช่วงที่ 4 ในรูป 5.5 การเทียบมาตรฐานในครั้งนี้ นอกจากจะใช้สัญญาณจากหลอดฟลูออเรสเซนซ์ทั้ง 3 แล้ว ยังใช้สัญญาณจากตัวต้านทาน 50 โอห์มต่อเข้ากับเครื่องรับหลังจากที่ใช้สัญญาณจากหลอดฟลูออเรสเซนซ์ทั้ง 3 แล้ว ทั้งนี้เพื่อใช้สัญญาณจากตัวต้านทานมาใช้ในการเทียบมาตรฐานด้วย (หากจำเป็น)

7) หมุนจานสายอากาศผ่านดวงอาทิตย์ช้าๆอีก 2 ครั้ง ปฏิบัติเหมือนกับข้อ 3–4 สัญญาณที่บันทึกได้จะมีลักษณะเหมือนช่วงที่ 5 และ 6 ในรูป 5.5

8) หันจานสายอากาศตามดวงอาทิตย์ประมาณ 20 นาที โดยปฏิบัติเหมือนข้อ 5 สัญญาณที่บันทึกได้จะมีลักษณะเหมือนช่วงที่ 7 ในรูป 5.5

9) หมุนจานสายอากาศผ่านดวงอาทิตย์อย่างช้าๆอีก 2 ครั้ง ปฏิบัติเหมือนข้อ7 สัญญาณที่บันทึกได้จะมีลักษณะเหมือนช่วงที่ 8 และ 9 ในรูป 5.5

10) ทำการเทียบมาตรฐานตามข้อ 6 อีกครั้งหนึ่งแต่ลำดับจากสัญญาณต่ำไปสูง จะได้ลักษณะของสัญญาณที่บันทึกได้เหมือนช่วงที่ 10 ในรูป 5.5

11) หันจานสายอากาศให้ตามดวงอาทิตย์ไปเรื่อยๆ โดยปฏิบัติเหมือนข้อ 5 จนกระทั่งดวงอาทิตย์พ้นจากจานสายอากาศเมื่อเวลาประมาณ 15 นาฬิกา จะได้สัญญาณที่บันทึกได้เหมือนช่วงที่ 11 ในรูป 5.5

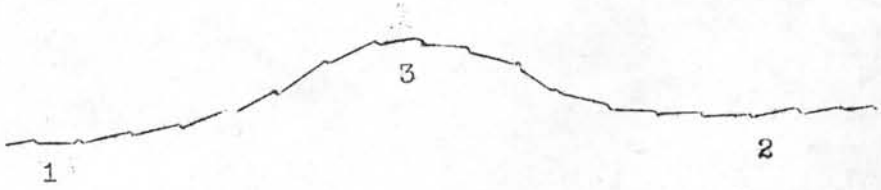
ในการวิเคราะห์จะใช้เฉพาะค่าฟลักซ์ที่วัดได้ในช่วงเที่ยงหรือตรงกับช่วงที่ 5,6,7,8และ 9 ในรูป 5.5 เท่านั้น ทั้งนี้เพราะเป็นช่วงที่อุณหภูมิของอากาศค่อนข้างคงที่ การหักเหและการดูดกลืนคลื่นวิทยุโดยบรรยากาศของโลกน้อยกว่าช่วงเวลาอื่น เพราะทางเดินของคลื่นวิทยุที่เข้ามายังจานสายอากาศใกล้แนวตั้งฉากกับบรรยากาศโลก

มากกว่าเวลาอื่น ส่วนฟลักซ์ที่วัดได้ในช่วงเช้าและบ่ายสำรองไว้สำหรับทดแทนฟลักซ์ในช่วงเที่ยงในกรณีที่ไม่สามารถวัดฟลักซ์ในช่วงเที่ยงได้และสัญญาณที่ได้จากตัวต้านทาน 50 โอห์มก็จะเอาไว้สำรองเมื่อหลอดฟลูออเรสเซนซ์ขัดข้องเท่านั้น

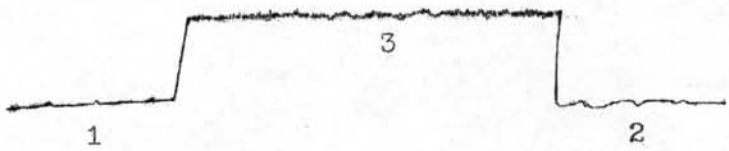
1.6 <u>การอ่านค่าฟลักซ์จากสัญญาณที่บันทึกอยู่บนกระดาษกราฟ</u> ในการอ่านค่าฟลักซ์จากกระดาษกราฟแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ การอ่านค่าฟลักซ์ดวงอาทิตย์และฟลักซ์จากเครื่องกำเนิดสัญญาณเทียม การอ่านในแต่ละกรณีจะแยกกล่าวดังนี้

1.6.1 การอ่านค่าฟลักซ์จากดวงอาทิตย์ เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนจากภายในและภายนอกเครื่องรับรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์จากดวงอาทิตย์ด้วย ทำให้เส้นกราฟที่บันทึกสัญญาณไม่สม่ำเสมอ เมื่อเปิดเครื่องบันทึกสัญญาณให้กระดาษกราฟเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วต่ำจะได้เส้นกราฟเป็นเส้นหนา ส่วนเส้นกราฟที่ได้เมื่อค่อยๆ หมุนจานสายอากาศผ่านดวงอาทิตย์โดยกระดาษกราฟเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสูงจะได้กราฟมีเส้นขนาดเท่ากับเส้นปากกาของเครื่องบันทึกสัญญาณปกติ ดังนั้นในการอ่านค่าฟลักซ์ดวงอาทิตย์แต่ละกรณีจึงมีวิธีการที่แตกต่างกันดังนี้

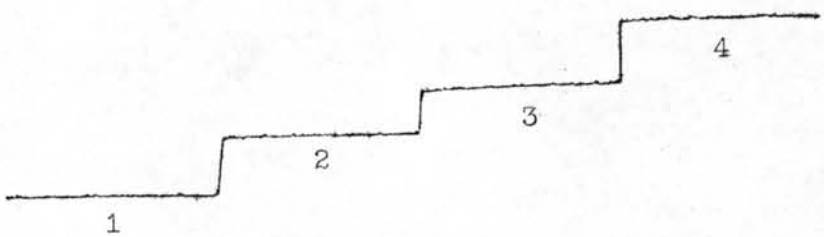
ก. การอ่านค่าฟลักซ์เมื่อหมุนจานสายอากาศผ่านดวงอาทิตย์อย่างช้าๆ สัญญาณที่บันทึกได้จะมีลักษณะเหมือนรูป 5.6 ก. บริเวณที่ 1 และ2 เป็นสัญญาณที่ได้เมื่อจานสายอากาศหันพ้นดวงอาทิตย์ บริเวณที่ 3 เป็นสัญญาณที่ได้เมื่อจานสายอากาศหันไปตรงดวงอาทิตย์



ก.



ข.



ค.

รูป 5.6 ก. สัญญาณที่ได้จากการหมุนจานสายอากาศผ่านดวงอาทิตย์ช้าๆโดยที่เครื่องบันทึกใช้อัตราเร็วสูง

ข. สัญญาณที่ได้จากการหันจานสายอากาศตามดวงอาทิตย์ โดยที่เครื่องบันทึกใช้อัตราเร็วต่ำ

ค. สัญญาณที่ได้เมื่อทำการเทียบมาตรฐาน

การอ่านจะพิจารณาตำแหน่งต่ำสุดในบริเวณที่ 1 และ 2 เพื่อหาขีดศูนย์ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของขอบล่างของเส้นกราฟตรงตำแหน่งต่ำสุดในบริเวณที่ 1 และ 2 เป็นขีดศูนย์ จะอ่านค่าฟลักซ์เป็นความสูงตามแนวที่ปากกากวาดไปบนเครื่องบันทึกสัญญาณ จากขีดศูนย์ขึ้นไปถึงขอบล่างของเส้นกราฟในบริเวณที่ 3 ตรงตำแหน่งสูงสุด กรณีที่เส้นกราฟในบริเวณที่ 3 ไม่สม่ำเสมอ จะลากเส้นโค้งต่อเส้นกราฟก่อนทำการวัด หน่วยที่ใช้อ่านค่าฟลักซ์จะถือเอา 1 ช่องเล็กในกระดาษกราฟของเครื่องบันทึกสัญญาณมีค่าเท่ากับ 5 หน่วยของฟลักซ์และจะใช้หน่วยนี้ในการอ่านค่าสัญญาณทุกชนิดที่บันทึกบนกระดาษกราฟ

ข. การอ่านค่าฟลักซ์ที่ได้เมื่อจานสายอากาศหันตามดวงอาทิตย์ สัญญาณที่บันทึกได้จะมีลักษณะเหมือนรูป 5.6 ข การหาขีดศูนย์จะใช้บริเวณที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ได้เมื่อหันจานสายอากาศออกจากดวงอาทิตย์โดยใช้วิธีการเหมือนข้อ ก. การวัดฟลักซ์จะแบ่งบริเวณที่ 3 ซึ่งเกิดจากการหันจานสายอากาศตามดวงอาทิตย์ออกเป็น 10 ตำแหน่งโดยประมาณ อ่านค่าฟลักซ์จากขีดศูนย์ขึ้นไปตามแนวที่ปากกากวาดไปจนถึงขอบล่างตรงตำแหน่งที่แบ่งไว้ ทำเช่นนี้ทั้ง 10 จุด แต่ละค่าที่อ่านได้จะเป็นค่าฟลักซ์จากดวงอาทิตย์ในเวลาต่างๆกัน หาค่าเฉลี่ยของค่าฟลักซ์ทั้ง 10 ค่าแล้วใช้ค่าเฉลี่ยนี้แทนค่าฟลักซ์ในช่วงเที่ยงของวันนั้นๆ

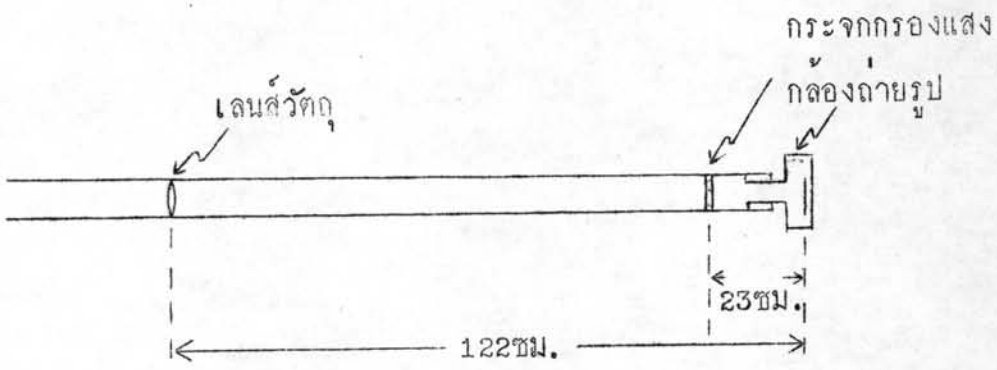
1.6.2 การอ่านค่าฟลักซ์ซึ่งได้จากการเทียบมาตรฐาน ในการเทียบมาตรฐานแต่ละครั้งจะได้ลักษณะของสัญญาณบนกระดาษกราฟเหมือนในรูป 5.6 ค (หรือลำดับกลับกัน) เส้นกราฟส่วนที่ 1 เป็นสัญญาณซึ่งบันทึกได้เมื่อปิดหลอดฟลูออเรสเซนซ์ทั้ง 3 หลอด ส่วนที่ 2 เมื่อเปิดหลอดที่ให้สัญญาณต่ำ ส่วนที่ 3 เมื่อเปิดหลอดที่ให้สัญญาณปานกลาง ส่วนที่ 4 เมื่อเปิดหลอดที่ให้สัญญาณสูง และส่วนที่ 5 เมื่อต่อตัวต้านทาน 50 โอห์ม การหาขีดศูนย์จะพิจารณาจากเส้นกราฟที่ได้จากการปิดหลอดฟลูออเรสเซนซ์

ทั้ง 3 หลอด โดยจะแบ่งเส้นกราฟนี้เป็น 3 จุด ใช้ค่าเฉลี่ยของขอบล่างตรงตำแหน่ง ทั้ง 3 เป็นขีดศูนย์ ส่วนเส้นกราฟที่เกิดจากหลอดฟลูออเรสเซนซ์ทั้ง 3 และตัวต้านทาน 50 โอห์มจะแบ่งแต่ละเส้นเป็น 3 จุด แล้วใช้ขอบล่างของเส้นกราฟเป็นเกณฑ์ อ่านค่าฟลักซ์จากขีดศูนย์ตามแนวที่ปากกาของเครื่องบันทึกสัญญาณกวาดขึ้นไปจนถึงขอบล่างของเส้นกราฟแต่ละเส้นตรงตำแหน่งที่แบ่งไว้ ดังนั้นกราฟ 1 เส้นจะอ่านค่าฟลักซ์ได้ 3 ตำแหน่ง หาค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ตำแหน่งแล้วใช้ค่าเฉลี่ยนั้นแทนค่าฟลักซ์จากหลอดฟลูออเรสเซนซ์ซึ่งให้สัญญาณเป็นเส้นกราฟนั้นๆ

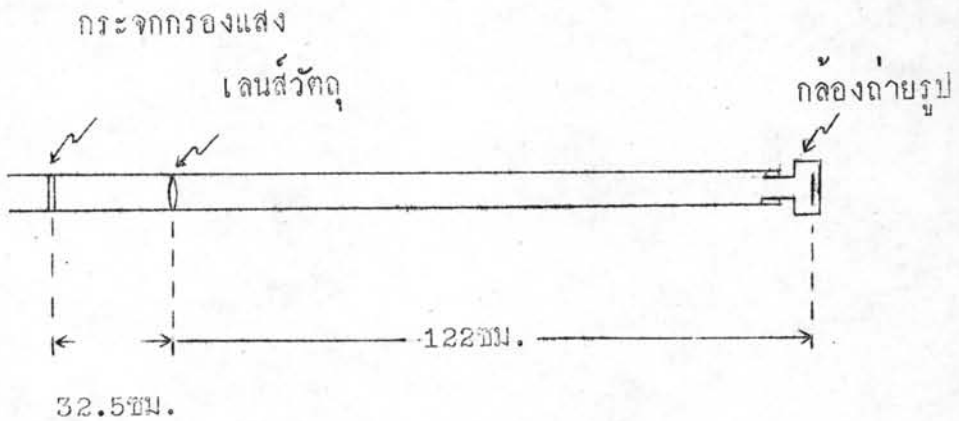
2. <u>กล้องโทรทรรศน์และการหากัมมันตภาพของจุดมืด</u>

ในการสังเกตการณ์ดวงอาทิตย์เพื่อหากัมมันตภาพของจุดมืด ใช้การถ่ายภาพดวงอาทิตย์ในแสงแดงด้วยกล้องโทรทรรศน์แบบง่ายซึ่งสร้างขึ้นเอง กล้องโทรทรรศน์ดังกล่าวประกอบด้วยเลนส์วัตถุ (objective) ซึ่งเป็นเลนส์นูนที่แก้ความคลาดรงค์ (chromatic aberation) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร มีความยาวโฟกัส 122 เซนติเมตร 1 ชิ้น ได้ภาพดวงอาทิตย์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 เซนติเมตร บันทึกภาพดวงอาทิตย์ด้วยกล้องถ่ายรูปซึ่งติดอยู่ที่ปลายสุดของกล้องโทรทรรศน์ด้านใกล้เลนส์วัตถุ โดยให้ภาพดวงอาทิตย์ตกบนฟิล์มในกล้องถ่ายรูป ในการลดความเข้มของแสงและลดความคลาดรงค์ที่จะเกิดขึ้นได้ใช้กระจกกรองแสงสีแดงกรองแสงบางส่วนออกไปก่อนถ่ายภาพ สำหรับแผนภูมิและรูปของกล้องโทรทรรศน์แสดงไว้ในรูป 5.7 และ 5.8 ตามลำดับ

2.1 <u>กระจกกรองแสงและฟิล์มที่ใช้ในช่วงระหว่างวันที่ 20 พฤศจิกายน 2519 ถึงวันที่ 13 มกราคม 2520</u> ในช่วงนี้ใช้กระจกกรองแสงสีแดงฉาบด้วยอะลูมิเนียมสะท้อนแสงประมาณร้อยละ 90 โดยติดกระจกกรองแสงดังกล่าวไว้ที่ระยะห่างจากกระนาบโฟกัส 23 เซนติเมตร บันทึกภาพดวงอาทิตย์ด้วยฟิล์มโกดาลิธ แพนโครแมติก (kodalith panchromatic) ใช้เวลาเปิดหน้ากล้อง $\frac{1}{1000}$ วินาที ล้างฟิล์มด้วยน้ำยา เอช ซี 110 (HC-110) ของบริษัทโกดัก ผสมน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 100 ใช้เวลาล้าง 1 $\frac{1}{2}$ นาที ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซนติเกรด เมื่อสังเกตการณ์ดวงอาทิตย์ไปได้ระยะเวลาหนึ่ง อะลูมิเนียมที่ฉาบกระจกกรองแสงเริ่มมัวขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากความชื้นในอากาศ ทำให้ภาพถ่ายของจุดมืดไม่ชัดเจน จึงเปลี่ยนกระจกกรองแสงใหม่



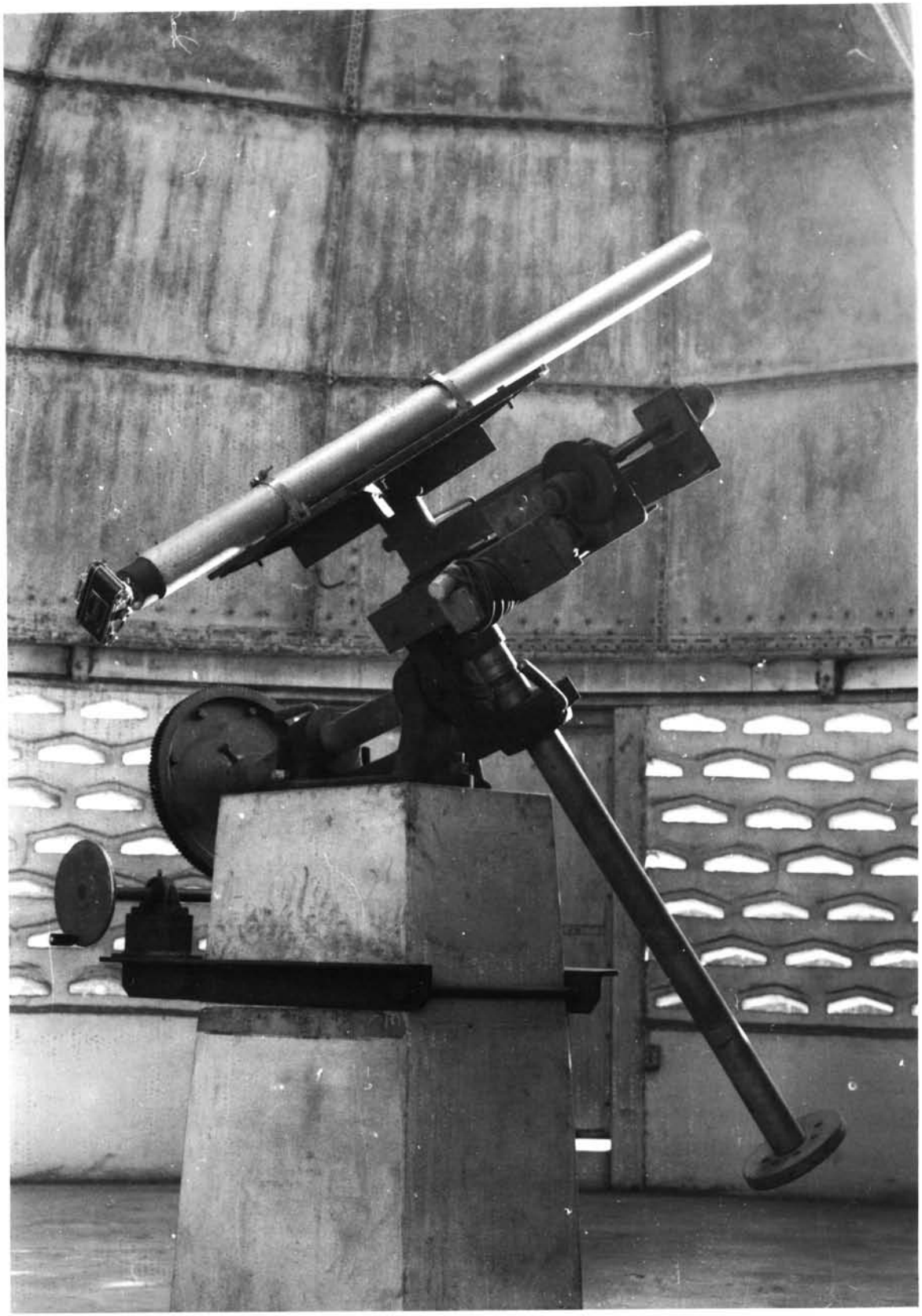
ก.



ข.

รูป 5.7 แสดงแผนภูมิของกล้องโทรทรรศน์ ก. เป็นระบบที่ใช้ตั้งแต่วันที่ 20 พฤศจิกายน 2519 ถึงวันที่ 13 มกราคม 2520 ข. เป็นระบบที่ใช้ตั้งแต่วันที่ 14 มกราคม 2520 ถึงวันที่ 25กุมภาพันธ์ 2520

รูป 5.8 กล้องโทรทรรศน์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้สังเกตการณ์ดวงอาทิตย์ **(สร้างเฉพาะตัวกล้อง)**



2.2 <u>กระจกกรองแสงและฟิล์มที่ใช้ในช่วงระหว่างวันที่ 14 มกราคม 2520 จนถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2520</u> ในช่วงนี้ได้เปลี่ยนมาใช้กระจกกรองแสงสีแดงชิ้นใหม่ซึ่งไม่ได้ฉาบอะลูมิเนียม โดยติดไว้ที่หน้าเลนส์วัตถุห่างจากเลนส์ 32.5 เซนติเมตร ภาพดวงอาทิตย์ที่ได้มีความเข้มแสงมากกว่าแบบแรก จึงได้เปลี่ยนชนิดของฟิล์มจากเดิมมาใช้ฟิล์มโกดาลิธ ออร์โธ (kodalith ortho) ซึ่งมีความไวต่อแสงแดงน้อยกว่าฟิล์มชนิดแรก ใช้เวลาเปิดหน้ากล้องตั้งแต่ $\frac{1}{100}$ ถึง $\frac{1}{500}$ วินาที ทั้งนี้ขึ้นกับความเข้มของแสงอาทิตย์ ล้างฟิล์มด้วยน้ำยา เอช ซี 110 ผสมน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 50 ใช้เวลาล้าง 4 นาที ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซนติเกรด ภาพถ่ายของจุดมืดที่ได้ชัดเจนกว่าชุดแรก

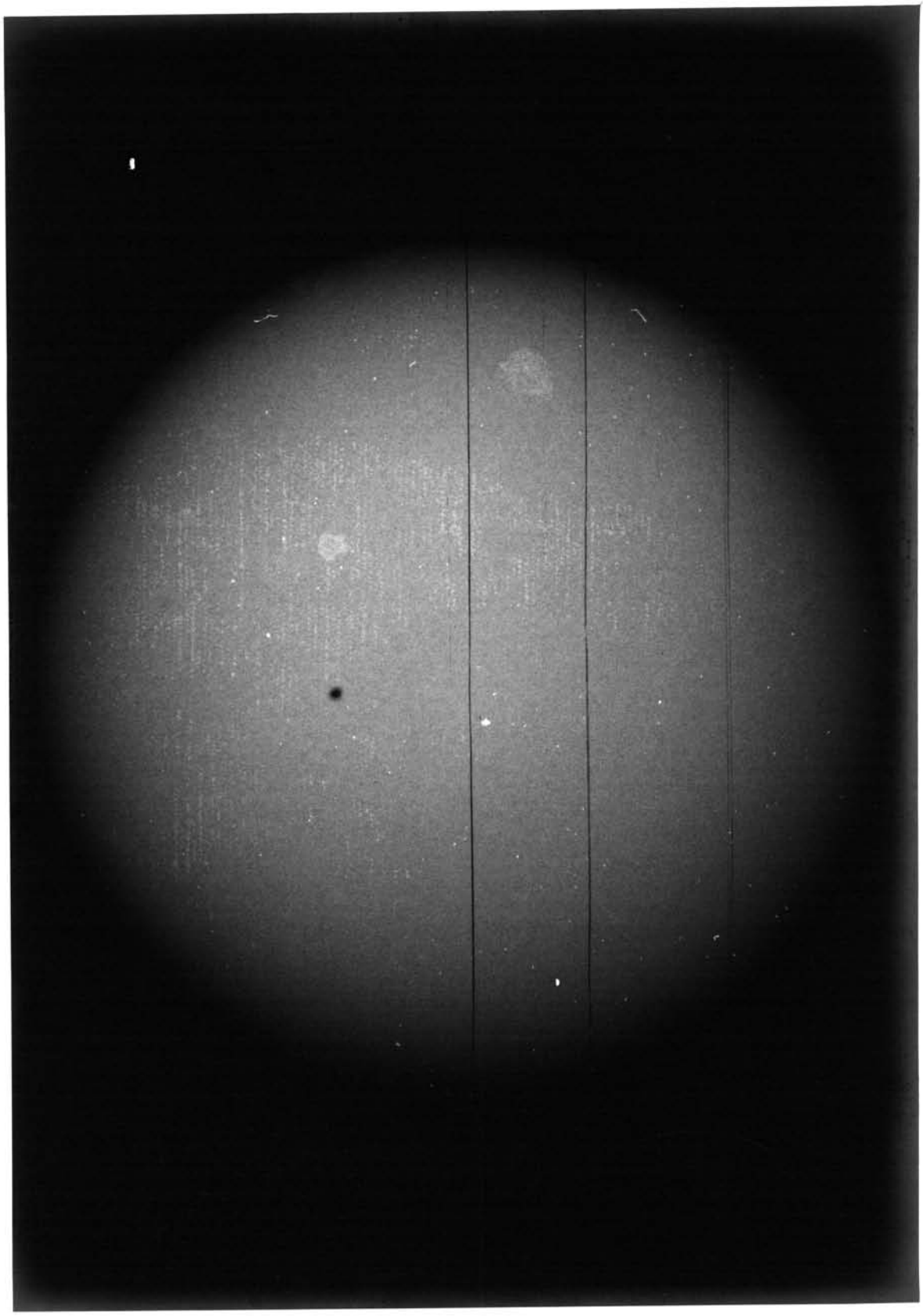
เนื่องจากคุณภาพของภาพถ่ายขึ้นกับสภาพสังเกตการณ์ (seeing) ดังนั้นจึงถ่ายรูปดวงอาทิตย์ในช่วงเช้าซึ่งสภาพสังเกตการณ์ดีกว่าตอนเที่ยงหรือตอนบ่าย ซึ่งอากาศมีความแปรปรวนมาก ถ่ายภาพดวงอาทิตย์ประมาณวันละ 5 ถึง 10 ภาพ แล้วเลือกภาพที่มีคุณภาพดีไปอัดขยาย เพื่อนำไปวัดพื้นที่ของจุดมืดต่อไป สำหรับตัวอย่างของภาพถ่ายจุดมืดที่ถ่ายได้แสดงไว้ในรูป 5.9 และ 5.10 ตามลำดับ

2.3 <u>การหาก้ามันตภาพของจุดมืด</u> สำหรับการวัดขนาดของจุดมืด จะนำภาพถ่ายของดวงอาทิตย์มาขยายให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตขึ้นประมาณ 16 เท่า ทั้งนี้เพื่อให้จุดมืดมีขนาดโตพอที่จะวัดพื้นที่ได้

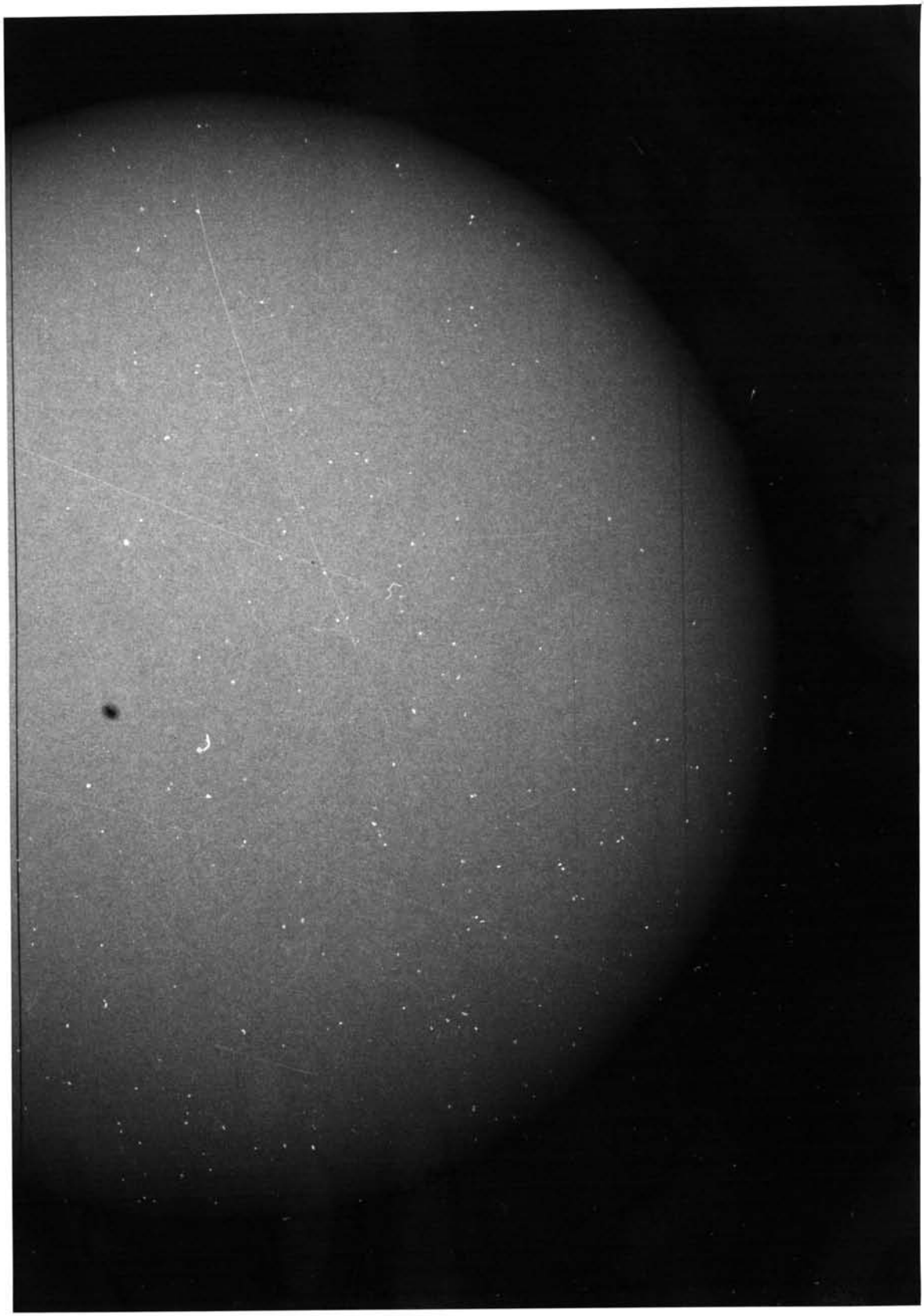
อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดเป็นแผ่นฟิล์มใสซึ่งมีเส้นดำเป็นรูปวงรี มีขนาดและความรีต่าง ๆ กัน แผ่นฟิล์มนี้ได้จากภาพถ่ายเส้นวงรี มีขนาดและความรีต่าง ๆ เขียนด้วยหมึกดำบนกระดาษขาว แล้วนำมาอัดลงบนแผ่นฟิล์มอีกแผ่นหนึ่งจะได้ภาพเส้นวงรีสีดำบนแผ่นฟิล์มใส หาพื้นที่ของวงรีบนแผ่นฟิล์มนี้โดยการนำมาอัดลงบนกระดาษอัดรูปให้มีขนาดโตขึ้นซึ่งสามารถวัดพื้นที่ได้โดยตรง จากการทราบกำลังขยายทำให้สามารถคำนวณหาพื้นที่ของวงรีบนแผ่นฟิล์มได้

วิธีการวัดพื้นที่จุดมืด นำแผ่นฟิล์มซึ่งมีรูปวงรีขนาดต่าง ๆ ทาบลงบนภาพถ่ายของจุดมืด โดยเลือกขนาดและความรีให้ใกล้เคียงกับขนาดและรูปร่างของจุดมืดให้ขอบในของวงรีสัมผัสกับขอบนอกของเงามัวโดยประมาณ ในกรณีที่จุดมืดไม่ชัดเจนจะใช้วิธีประมาณให้ขอบใน

รูป 5.9 แสดงภาพถ่ายจุดมืดซึ่งถ่ายเมื่อ วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2520



รูป 5.10 แสดงภาพถ่ายจุดมืด ซึ่งถ่ายเมื่อ วันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2520
ขยายเท่ากับที่ใช้วัดพื้นที่จุดมืด



ของวงรีอยู่ห่างจากเงามืดเล็กน้อย ซึ่งจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นประมาณ 3 % สำหรับจุดมืดขนาดใหญ่และมีความชัดเจน ส่วนจุดมืดขนาดเล็กและไม่ชัดเจนโดยเฉพาะเมื่ออยู่ใกล้ขอบดวงมีความผิดพลาดได้ถึง 15 %

เนื่องจากพื้นที่จุดมืดที่วัดได้จากภาพถ่ายดวงอาทิตย์โดยตรง เป็นพื้นที่ซึ่งฉาย (project) ไปบนระนาบตัวดวง จึงมีค่าขึ้นกับมุมที่ศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ (heliocentric angle) ซึ่งคือมุมที่เกิดจากเส้นรัศมีที่ชี้ไปยังจุดมืดทำกับเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างศูนย์กลางของโลกกับดวงอาทิตย์ เราต้องการหาพื้นที่จริงของจุดมืดซึ่งคำนวณกลับมาสู่ที่ผิวดวง เพื่อจะได้นำพื้นที่จริงของจุดมืดบนผิวดวงไปหาสหสัมพันธ์กับฟลักซ์ดวงอาทิตย์ทำได้ดังนี้

ถ้า A เป็นพื้นที่จุดมืดซึ่งวัดได้โดยจากภาพถ่าย A' เป็นพื้นที่จริงของจุดมืดซึ่งคำนวณกลับมาสู่ผิวดวงและ θ เป็น มุมที่ศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ซึ่งเกิดจากเส้นรัศมีที่ชี้ไปยังจุดมืดทำมุมกับแนวเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างศูนย์กลางของดวงอาทิตย์กับโลก จะได้ว่า

$$A' = \frac{A}{\cos\theta} \qquad (5.3)$$

เมื่อทำการวัดค่าของ A และ θ จากภาพถ่ายของดวงอาทิตย์และแทนค่าในสมการ 5.3 ก็จะสามารถหาค่า A' ได้ตามต้องการ ค่าของ A และ A' ที่หาได้แสดงไว้ในภาคผนวก

หน่วยที่ใช้ในการวัดพื้นที่จุดมืด เราใช้ 1 หน่วยพื้นที่เท่ากับ 1 ตารางมิลลิเมตรบนภาพถ่ายดวงอาทิตย์ หรือเท่ากับ 34×10^{-6} เท่าของพื้นที่ตัวดวง (solar disk) ในซีกที่มองเห็นได้จากโลก

เริ่มสังเกตการณ์ดวงอาทิตย์โดยการวัดฟลักซ์และถ่ายภาพดวงอาทิตย์ตั้งแต่วันที่ 20 พฤศจิกายน 2519 จนถึงวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2520 ได้ข้อมูลประมาณ 90 ชุด.