

## บทที่ 4

### วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยที่กล่าวในบทนี้จะเกี่ยวข้องกับการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบของระบบ หอคอยสุริยะ การออกแบบซอฟต์แวร์ วงจรควบคุม การติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบ รวมถึงขั้นตอนการ ออกแบบพีซีซีลอจิกในการควบคุมอุณหภูมิบนตัวรวมรังสี ซึ่งในการวิจัยจำเป็นต้องใช้วัสดุ อุปกรณ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 4.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยจะแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการ ออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบของระบบหอคอยสุริยะ อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบวงจรควบคุม และ อุปกรณ์ในการหาทิศเหนือ โดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบ

1. กระจกเงา ขนาด 10×10เซนติเมตร จำนวน 5 แผ่น
2. ตัวยึดกระจก จำนวน 20 อัน
3. นี้อตขนาดต่างๆ
4. แผ่นอะคลีติก ขนาด 12×12 เซนติเมตร จำนวน 5 แผ่น
5. ไนลอนกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 1 เมตร
6. เซอร์โวมอเตอร์ Model S03T จำนวน 10 ตัว
7. เฟืองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร จำนวน 60 ซี่ จำนวน 5 ตัว
8. เฟืองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร จำนวน 30 ซี่ จำนวน 5 ตัว
9. เหล็กกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 1 เมตร
10. เหล็กแบน หนา 1/4 นิ้ว ขนาด 15×15 เซนติเมตร จำนวน 5 แผ่น
11. เหล็กแบน หนา 1/2 นิ้ว ขนาด 25×25 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น
12. กาวสำหรับติดแผ่นอะคลีติก
13. ครึ่งวงกลม (180 องศา)
14. วงกลม (360 องศา)

#### 4.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบวงจร

1. ตะกั่วสำหรับเชื่อมและบัดกรี
2. ท่อหด
3. สายไฟ
4. ซี้อกเก็ต (Socket) ขนาด 8 ขา จำนวน 2 ตัว
5. สาย shield ยาว 30 เมตร
6. แผ่นลายวงจรอนกประสงค์ จำนวน 2 แผ่น
7. ตัวต้านทาน
8. บอร์ดทดลอง
9. DS1620 ไอซีวัดอุณหภูมิ จำนวน 2 ตัว
10. DS1307 ไอซีสร้างฐานเวลาจริงหรือไทม์คล็อก (RCT) จำนวน 1 ตัว
11. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ CP-PIC V3 EXP จำนวน 1 บอร์ด
12. แร็คกิลเตเตอร์ 220 VAC 5AMPS, 15 VDC จำนวน 1 ตัว
13. กล่องขนาด 25×30×21.5 จำนวน 1 กล่อง
14. กล่องขนาด 18×21×8 จำนวน 1 กล่อง
15. กล่อง ขนาด 7×10×3 จำนวน 2 กล่อง

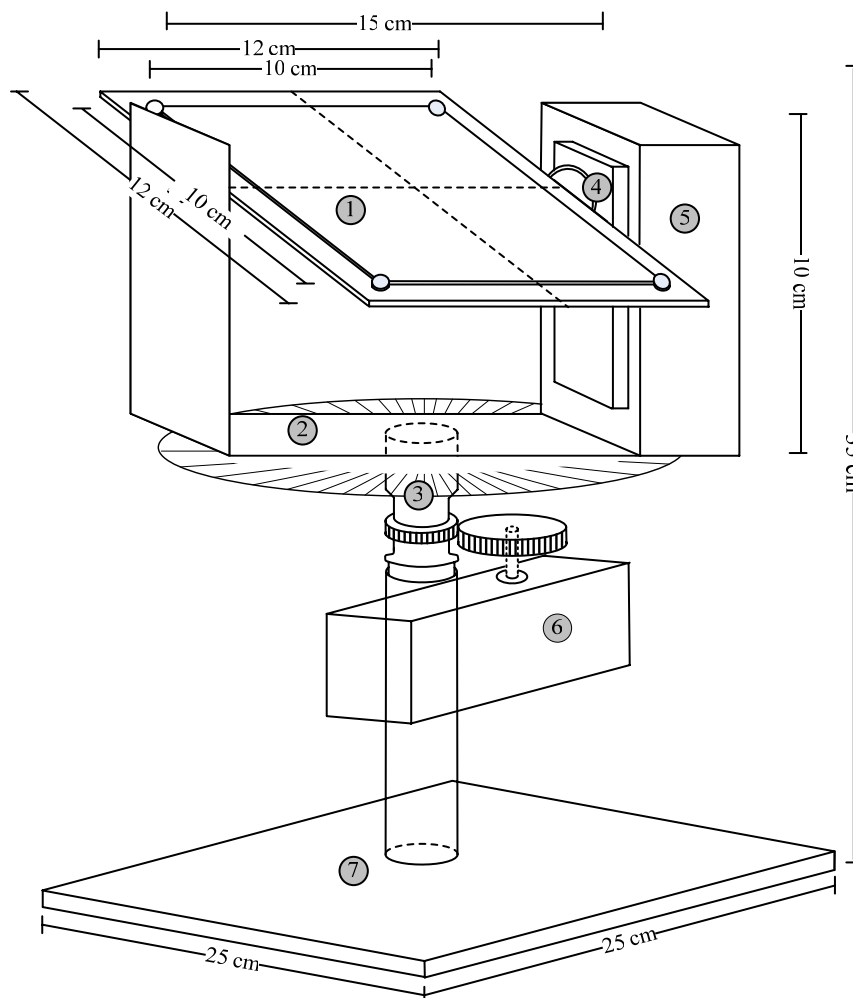
#### 4.1.3 อุปกรณ์ในการหาทิศเหนือ

1. วงเวียน
2. แท่งไม้ยาว 50 เซนติเมตร จำนวน 2 แท่ง
3. กระดาษขาว-เทา
4. ปูนพลาสติก
5. แก้วพลาสติก

### 4.2 การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบของระบบหอคอยสุริยะ

ในการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบของระบบหอคอยสุริยะ จะมี 2 ส่วน คือ กระจก  
รับรังสีอาทิตย์ และหอคอยสุริยะ โดยกระจกรับรังสีอาทิตย์จะออกแบบให้หมุนได้ในมุมกวาด  
แนวราบ และมุมเงยแนวตั้ง หรือหมุนได้ตามมุมอัตรัดิจูดของกระจก ( $\alpha_H$ ) และมุมอะซิมูทของ  
กระจก ( $A_H$ ) ซึ่งมุมทั้งสองนี้จะมีค่าไม่เกิน 90 และ 360 องศาตามลำดับ ในการออกแบบจึงต้องให้  
กระจกหมุนได้สอดคล้องกับข้อจำกัดของมุมทั้งสองนี้ เนื่องจากได้ใช้เซอร์โวมอเตอร์ในการ

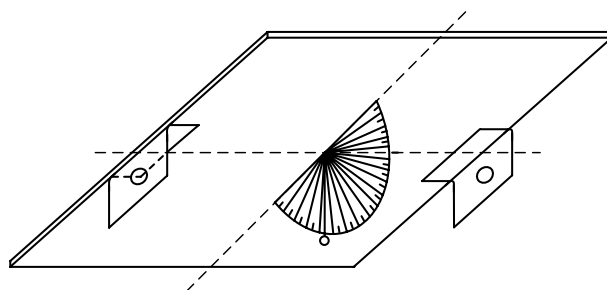
ควบคุมการหมุนของกระจก ซึ่งจากคุณสมบัติของเซอร์โวมอเตอร์จะสามารถหมุนได้แค่เพียงประมาณ 180 องศาเท่านั้น ดังนั้นในแนวมุมอะซิมูทของกระจกจึงได้ตัดเฟืองเพื่อให้กระจกหมุนได้ 360 องศา สำหรับวิธีการออกแบบได้แสดงดังภาพประกอบ 4.1 และ 4.2



ภาพประกอบ 4.1 แสดงการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบของตัวรับรังสีอาทิตย์

รายละเอียดส่วนต่างๆ ของการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบของตัวรับรังสีอาทิตย์

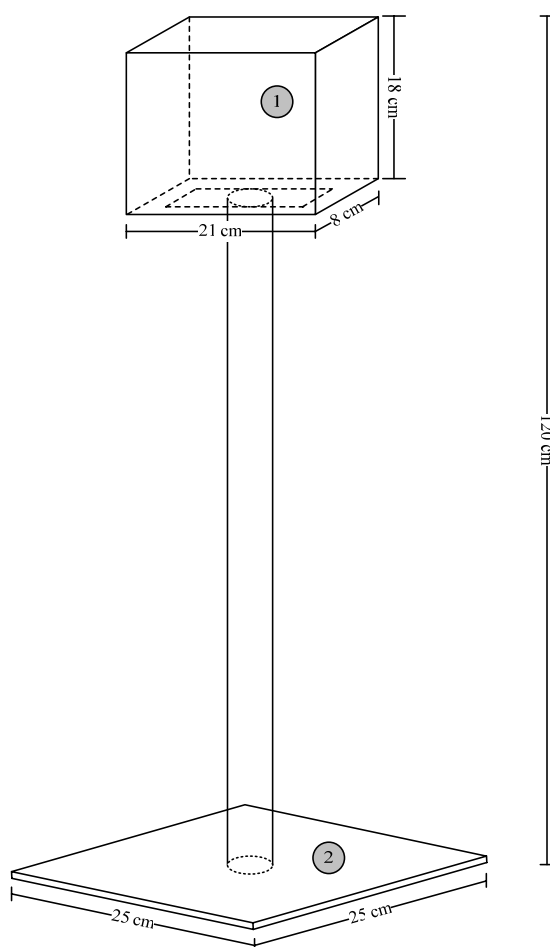
- ① กระจกรับรังสีอาทิตย์
- ② ฐานรองกระจกรับรังสีอาทิตย์
- ③ แกนหมุนเซอร์โวมอเตอร์ในแนวมุมอะซิมูทของกระจก
- ④ แกนหมุนเซอร์โวมอเตอร์ในแนวมุมอัลติจูดของกระจก
- ⑤ และ ⑥ เซอร์โวมอเตอร์
- ⑦ ฐาน



ภาพประกอบ 4.2 แสดงอุปกรณ์ต้นแบบในด้านหลังกระจับรังสีอาทิตย์

ด้านหลังของกระจับรังสีอาทิตย์และด้านล่างของฐานรองกระจับรังสีอาทิตย์ ได้ออกแบบอุปกรณ์สำหรับวัดมุมเอาไว้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูดของกระจก

ในส่วนของหอคอยสุริยะจะประกอบด้วย 3 ส่วนย่อยๆ คือฐานของตัวรวมรังสีอาทิตย์ เสา และกล่องวัดอุณหภูมิหรือตัวรวมรังสีอาทิตย์ ดังแสดงในภาพประกอบ 4.3



ภาพประกอบ 4.3 แสดงการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบของหอคอย

รายละเอียดส่วนต่างๆ ของการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบของหอคอย

- ① ตัวรวมรังสีอาทิตย์และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ
- ② เสา
- ③ ฐานหลัก

ลักษณะของอุปกรณ์ต้นแบบที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว มีลักษณะดังภาพประกอบ 4.4 สำหรับตัวรวมรังสีอาทิตย์ได้ปรับปรุงให้มีหลังคาและฉนวนความร้อนหุ้ม เพื่อกันความร้อนจากภายนอก

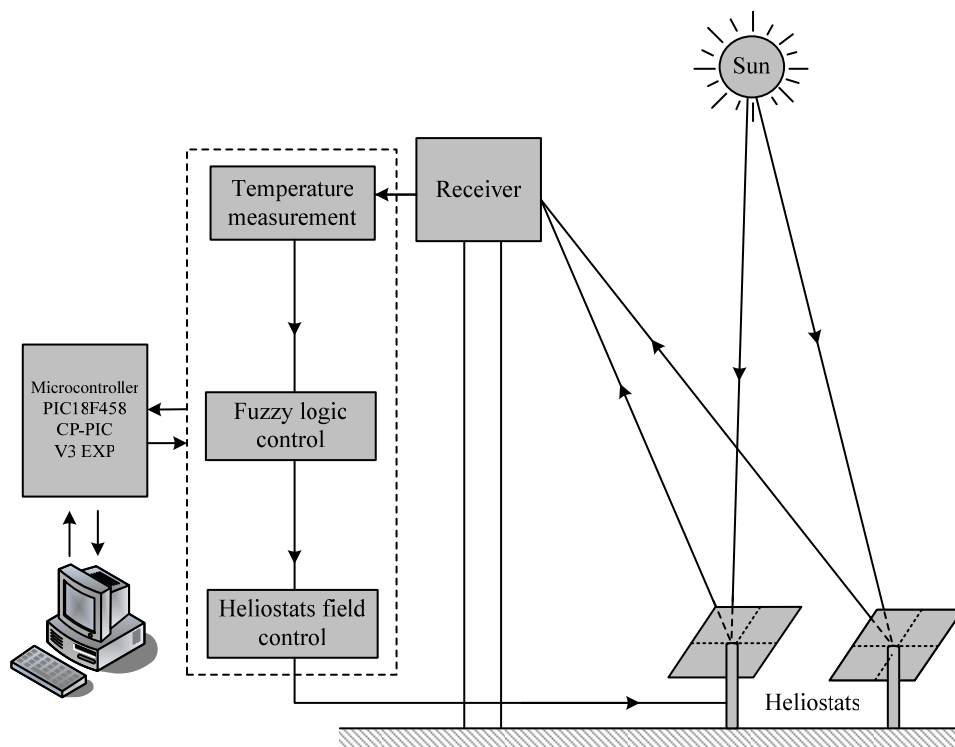


ภาพประกอบ 4.4 แสดงลักษณะอุปกรณ์ต้นแบบ (ตัวรวมรังสีอาทิตย์และหอคอย)

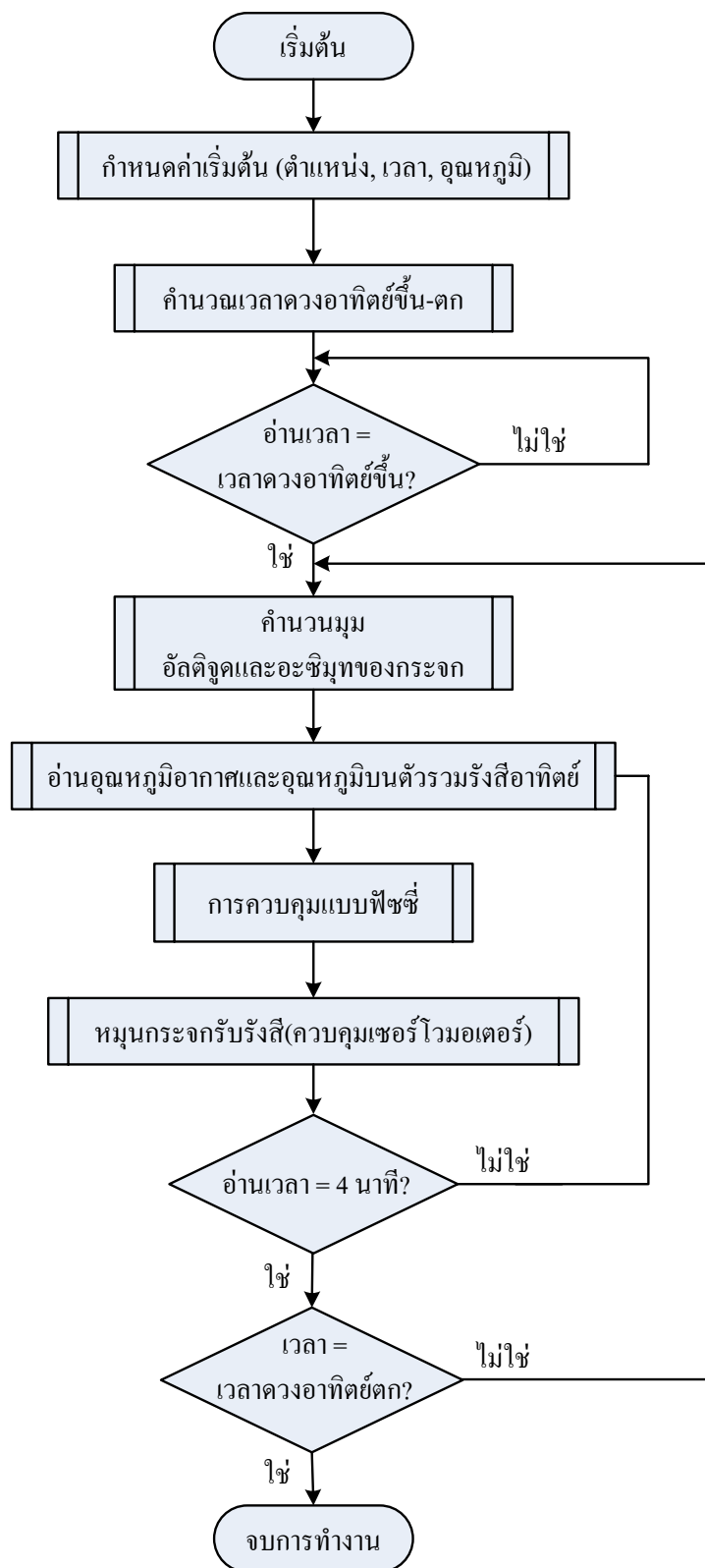
#### 4.3 การออกแบบหลักการทำงานส่วนซอฟต์แวร์

ในการออกแบบซอฟต์แวร์จะพัฒนาบนไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458 การทำงานจะส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่ส่งคำสั่งและแสดงผลผ่านทาง Visual Basic ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่คำนวณค่าต่างๆ เพื่อนำไปควบคุมการหมุนของกระจกรับรังสีให้สะท้อนรังสีอาทิตย์เข้าสู่ตัวรวมรังสี พร้อมทั้งวัด

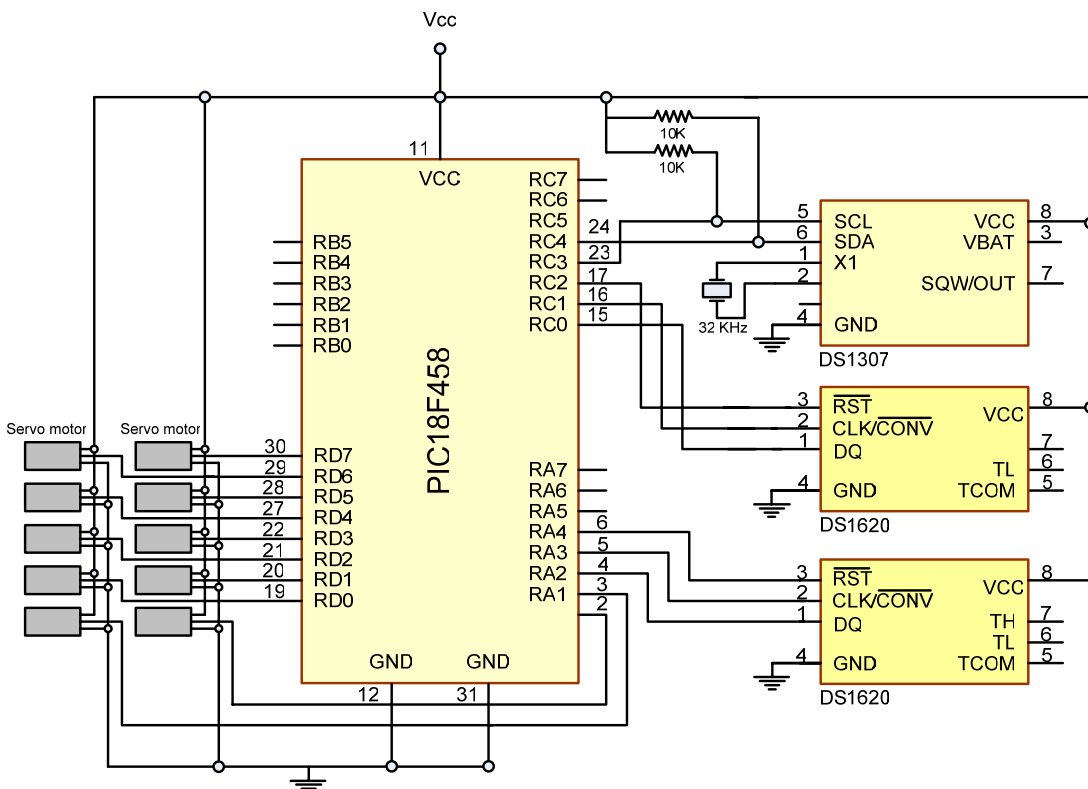
อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิมบนตัวรวมรังสี โดยอุณหภูมิที่ได้จะนำมาประมวลผลโดยใช้หลักการของฟuzzy logic เพื่อนำไปควบคุมอุณหภูมิมบนตัวรวมรังสีให้ได้ตามที่กำหนด ดังแสดงในภาพประกอบ 4.5 ส่วนขั้นตอนการทำงานของซอฟต์แวร์ และวงจรการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4.5 แสดงหลักการและขั้นตอนทำงานของระบบควบคุมหอคอยสุริยะ



ภาพประกอบ 4.6 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของซอฟต์แวร์ควบคุมระบบหอคอยสุริยะ



ภาพประกอบ 4.7 แสดงวงจรการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ในการควบคุมการทำงานของระบบหอคอยสุริยะ

การควบคุมการทำงานของระบบหอคอยสุริยะ สามารถแบ่งรายละเอียดการออกแบบซอฟต์แวร์ได้ดังต่อไปนี้

4.3.1 กำหนดสมการการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์และสมการของมุมในระบบหอคอยสุริยะ

การกำหนดหามุมอัตรัดิจูดและมุมอะซิมุทของกระจก จะใช้ความสัมพันธ์ของสมการที่ได้วิเคราะห์ไว้ใบบทที่ 2 ดังเช่นตัวอย่างการหามุมอัตรัดิจูดและอะซิมุทของกระจก ณ พิกัด ละติจูด  $7^{\circ}00'$  ลองจิจูด  $100^{\circ}30'$  ในวันที่ 21 มกราคม 2548 เวลา 10:00 น. เมื่อวางกระจกปรับรังสีสูง 40 เซนติเมตร ไว้ห่างจากหอคอยทางทิศเหนือ 100 เซนติเมตร ทิศตะวันออก 50 เซนติเมตร โดยหอคอยสูง 150 เซนติเมตร

จากสมการมุมอัตรัดิจูด ( $\alpha_H$ ) 2.33 และมุมอะซิมุท ( $A_H$ ) 2.34



$$\sin \alpha_H = \frac{R_z + \sin \alpha}{2 \cos \theta_i} \quad (4.1)$$

$$\sin A_H = \frac{R_e + \cos \alpha \sin A}{2 \cos \theta_i \cos \alpha_H} \quad (4.2)$$

พิจารณา  $R_z$  และ  $R_e$  จากสมการ 2.27 และ 2.28

$$\hat{R} = \frac{(z_0 - z_1)\hat{i} - e_e\hat{j} - n\hat{k}}{\sqrt{(z_0 - z_1)^2 + e_e^2 + n^2}} \quad (4.3)$$

$$\hat{R} = R_z\hat{i} + R_e\hat{j} + R_n\hat{k} \quad (4.4)$$

จะได้

$$\begin{aligned} \hat{R} &= \frac{(150 - 40)\hat{i} - 50\hat{j} - 100\hat{k}}{\sqrt{(150 - 40)^2 + (50)^2 + (100)^2}} \\ &= \frac{110\hat{i} - 50\hat{j} - 100\hat{k}}{156.8438} \end{aligned}$$

เปรียบเทียบกับสมการ 4.4 จะได้

$$R_z = 0.7013$$

$$R_e = -0.3187$$

$$R_n = -0.6375$$

พิจารณามุม  $\alpha_H$  และ  $A$  จากสมการ 2.20 และ 2.21

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi) \quad (4.5)$$

$$A' = \sin^{-1}\left(\frac{-\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha}\right) \quad (4.6)$$

ใช้สมการ 2.8 หามุมเดคลิเนชัน ( $\delta$ )

$$\sin \delta = \cos \left[ (n - 173) \frac{180^\circ}{182.6} \right] \sin(23.45^\circ) \quad (4.7)$$

ในวันที่ 21 มกราคม จะได้  $n = 21$  ดังนั้น

$$\sin \delta = \cos \left[ (21 - 173) \frac{180^\circ}{182.6} \right] \sin(23.45^\circ)$$

$$\delta = \sin^{-1}(-0.3464) = -20.2705 \text{ องศา}$$

พิจารณา  $\omega$  จากสมการ 2.9

$$\omega = 15(t_s - 12) \quad (4.8)$$

เมื่อ  $t_s$  ซึ่งเป็นเวลาสุริยคติปรากฏ หาได้จากสมการ 2.11

$$AST = LCT \pm T_{zW}^E \pm \lambda_W^E + \frac{EQT}{60} \quad (4.9)$$

ที่ลองจิจูด  $100^\circ 30'$  เขตเวลา  $T_{zW}^E = -7$ , ค่าเวลา  $\lambda_W^E = +\frac{100.5}{15}$  และใช้สมการ 2.10 หา  $EQT$

$$EQT = 60 \sum_{k=0}^5 \left[ A_k \cos\left(\frac{360kn}{365.25}\right) + B_k \sin\left(\frac{360kn}{365.25}\right) \right] \quad (4.10)$$

แทนค่า  $n$  และ  $k, A_k, B_k$  จากตาราง 4.1 จะได้

$$EQT = -11.1558 \text{ นาที}$$

ดังนั้น ที่เวลาที่ท้องถิ่น ( $LCT$ ) 10:00 น. จะได้เวลาสุริยคติ

$$\begin{aligned} AST &= 10 - 7 + \frac{100.5}{15} - \frac{11.1558}{60} \\ &= 9.5141 \text{ ชั่วโมง} \end{aligned}$$

แทนค่า  $AST$  ในตัวแปร  $t_s$  จากสมการ 4.8 จะได้

$$\omega = 15 \times (9.5141 - 12) = -37.2885 \text{ องศา}$$

แทน  $\phi, \delta$  และ  $\omega$  ในสมการ 4.5 จะได้

$$\alpha = \sin^{-1}[\sin(-20.2705)\sin(7) + \cos(-20.2705)\cos(-37.2885)\cos(7)]$$

$$= \sin^{-1}(-0.0422 + 0.7408) = 44.3097 \text{ องศา}$$

แทนค่า  $\delta, \omega$  และ  $\alpha$  ในสมการ 4.6 จะได้

$$A' = \sin^{-1}\left(\frac{-\cos(-20.2705)\sin(-37.2885)}{\cos(44.3097)}\right)$$

$$A' = 52.5796 \text{ องศา}$$

พิจารณามุม  $A$  จากมุม  $A'$  ซึ่ง

$$\cos \omega = 0.7955$$

$$\frac{\tan \delta}{\tan \phi} = -\frac{0.3693}{0.1228} = -3.007$$

ได้ว่า  $\cos(\omega) \geq \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi}\right)$  ดังนั้น  $A = 180 - A'$

$$A = 180 - 52.5796 = 127.4204 \text{ องศา}$$

พิจารณามุม  $\theta_i$  จากสมการ 2.31

$$\cos 2\theta_i = R_z \sin \alpha + R_e \cos \alpha \sin A + R_n \cos \alpha \cos A \quad (4.11)$$

$$= [0.7013(\sin(44.3097))] + [-0.3187 \cos(44.3097) \sin(127.4204)] \\ + [-0.6375 \cos(44.3097) \cos(127.4204)]$$

$$\theta_i = 27.0632 \text{ องศา}$$

แทน  $\alpha$  และ  $\theta_i$  ในสมการ 4.1 จะได้

$$\sin \alpha_H = \frac{0.7013 + \sin(44.3097)}{2 \cos(27.0632)}$$

$$\alpha_H = 51.8113 \text{ องศา}$$

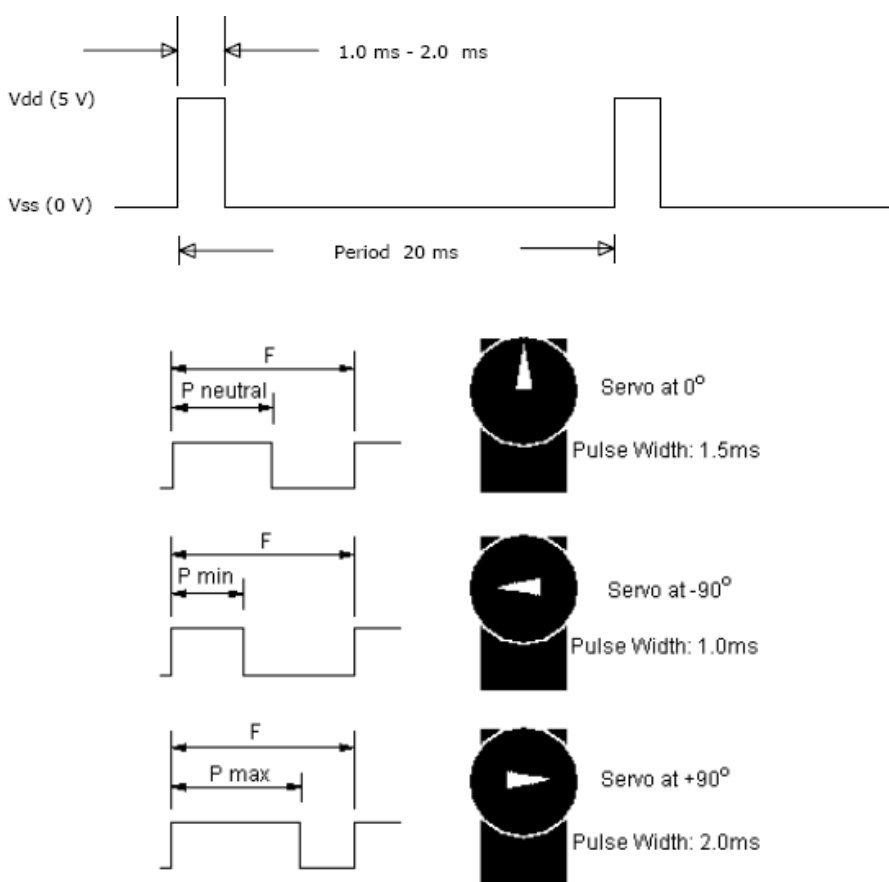
$$\sin A_H = \frac{-0.3187 + \cos(44.3097) \sin(127.4204)}{2 \cos(27.0632) \cos(51.8113)}$$

$$A_H = 13.1021 \text{ องศา}$$

พิจารณามุม  $A_H$  เช่นเดียวกับมุม  $A$  ได้ว่า  $A_H = 180 - A_H = 166.8979$  องศา

### 4.3.2 การควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์จะนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมการหมุนของมุมอติจุดและมุมอะซิมุทของกระจก ซึ่งการควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ ทำได้โดย การป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ ให้กับมอเตอร์ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นกับขนาดความกว้างของพัลส์นั้นๆ โดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์จะมีจุดให้อ้างอิง 2 จุด ดังภาพประกอบ 4.8



ภาพประกอบ 4.8 แสดงความกว้างของพัลส์ที่ใช้ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์  
ที่มา : วัชรินทร์, 2546

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 0 องศา หรือ จุดกึ่งกลางมอเตอร์

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม - 90 องศา หรือในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 2 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่ง + 90 หรือในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

ส่วนการที่จะควบคุมให้มอเตอร์หมุนเป็นมุมอื่นๆ นั้นก็สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณพัลส์เป็นระดับความกว้างต่างๆ โดยอ้างอิงจากจุด ทั้ง 3 จุดที่กล่าวมานี้ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนไปที่มุม - 45 องศา จะต้องป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้าง 1.25 ms เป็นต้น และสัญญาณพัลส์นี้จะต้องจ่ายให้มอเตอร์ทุกๆ 20 ms (Period) เพื่อรักษาสภาพตำแหน่งของมอเตอร์ไว้ (วัชรินทร์, 2546)

#### 4.3.3 ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

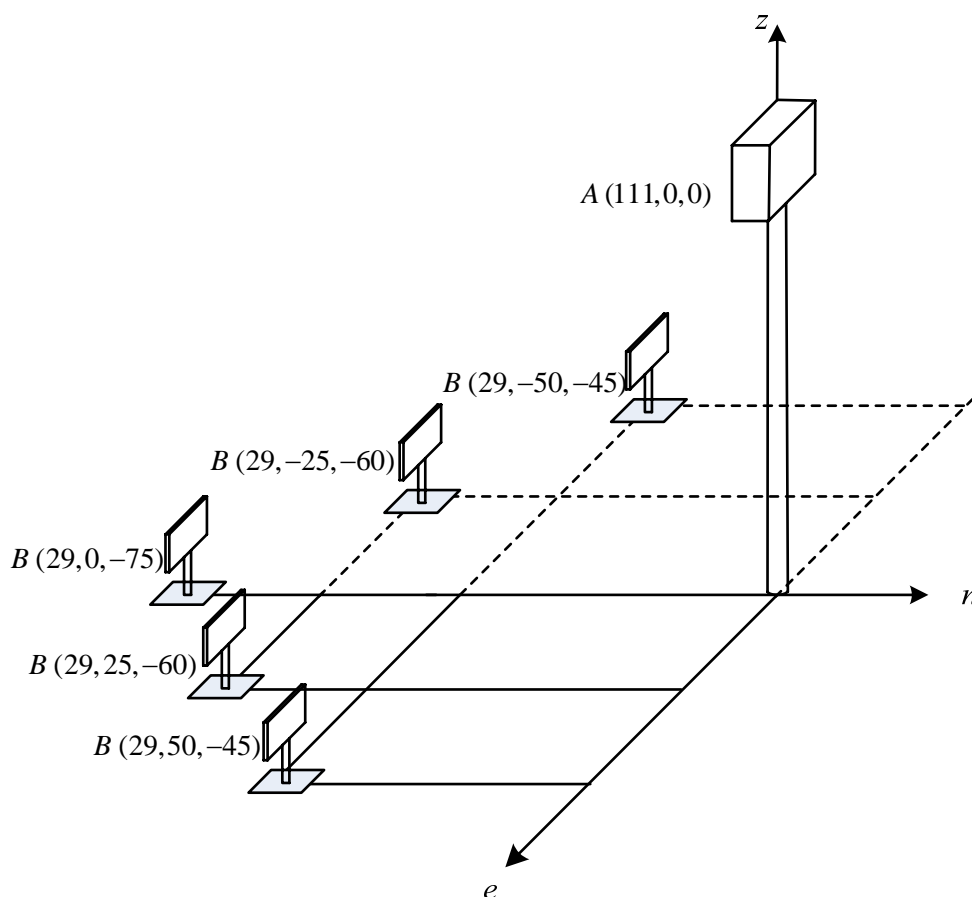
ในส่วนของการวัดอุณหภูมิ จะทำการวัดทั้งอุณหภูมิบนตัวรวมรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของอากาศ โดยจะทำการวัดทุกๆ 20 วินาที อุปกรณ์ที่ใช้วัดเป็นไอซี DS1620 (Digital Thermometer and Thermostat) ซึ่งเป็นไอซีตรวจจับอุณหภูมิ ที่ให้ข้อมูลได้ละเอียด 9 บิต เมื่อนำมาแปลงเป็นข้อมูลเลขฐานสิบจึงสามารถแสดงความละเอียดของอุณหภูมิได้ 0.5 องศาเซลเซียส และ 0.9 องศาฟาเรนไฮต์ โดยมีย่านวัดอุณหภูมิ - 55 ถึง + 125 องศาเซลเซียส หรือ - 67 ถึง + 257 องศาฟาเรนไฮต์ ใช้เวลาแปลงค่าอุณหภูมิเป็นข้อมูลดิจิทัลประมาณ 1 วินาที และมีค่าความผิดพลาดในการอ่านอุณหภูมิเท่ากับ  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  ก่อนนำอุปกรณ์ไปติดตั้งได้ทำการทดลองเพื่อหาความผิดพลาดของอุปกรณ์ โดยทำการวัดที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิกกลางแดดเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก-กระเปาะแห้ง

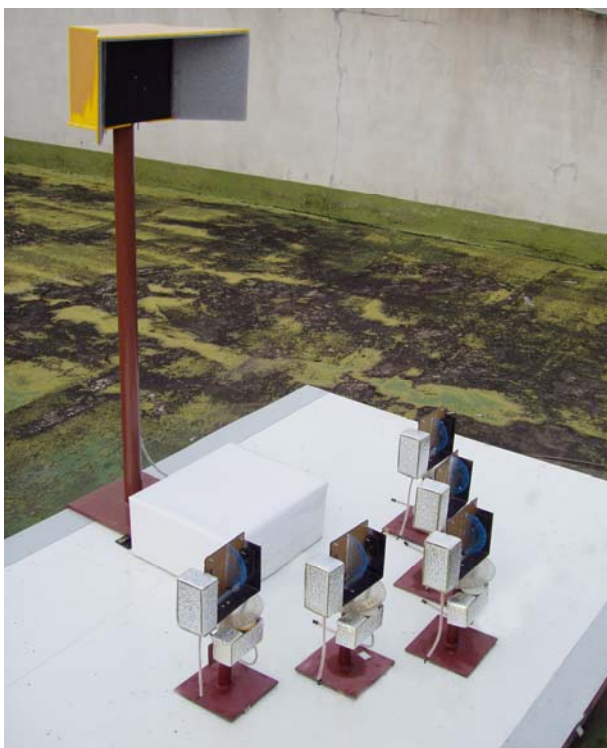
#### 4.3.4 ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สร้างฐานเวลาจริง

ในการทดลองจะเริ่มตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนถึงดวงอาทิตย์ตก โดยจะตั้งเวลาไว้ให้กระจกหมุนทุกๆ 4 นาที อุปกรณ์ที่ใช้ในตั้งและอ่านเวลา เป็นไอซี DS1307 ซึ่งเป็นไอซีสร้างฐานเวลาจริงหรือรีลไทม์คล็อก (RCT) ให้ข้อมูลตั้งแต่วันที่จนถึงปี รวมถึงการปรับวันในปีอธิกสุรทินด้วย สามารถให้ข้อมูลเวลาได้อย่างเที่ยงตรงถึงปีคริสตศักราช 2100 มีหน่วยความจำอนโวลตาไทม์แรม 56 ไบต์อยู่ภายใน สามารถใช้เก็บข้อมูลทั่วไปได้ และมีวงจรตรวจจับไฟเลี้ยงต่ำหรือหายไปอย่างอัตโนมัติ สามารถรักษาข้อมูลเวลาไว้ได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยงไอซี

#### 4.4 การติดตั้งอุปกรณ์

การทดลองจะติดตั้งอุปกรณ์ไว้บนคานฟ้าของอาคารฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ซึ่งอยู่ที่พิกัด ลองจิจูด  $100^{\circ} 29' E^{\circ}$  ละติจูด  $7^{\circ} 00' N^{\circ}$  โดยวางหอคอยให้หันหน้าไปทางทิศใต้ และวางกระจกรับรังสีจำนวน 5 อันไว้รอบๆ ในแนวรัศมี มีมุมอะซิมุทของกระจกรับรังสีเริ่มต้นเท่ากับ 0 องศา หรือระนาบปกติของกระจกรับรังสีทำมุมกับทิศเหนือ 0 องศา ดังแสดงในภาพประกอบ 4.9 โดยกำหนดให้หอคอยเป็นจุดอ้างอิง อยู่ที่ตำแหน่ง  $(111, 0, 0)$  กระจกรับรังสี 5 อัน ห่างจากหอคอยเท่ากับ  $(29, 0, -75)$ ,  $(29, 25, -60)$ ,  $(29, 50, -45)$ ,  $(29, -25, -60)$  และ  $(29, -50, -75)$  มีหน่วยเป็นเซนติเมตรตามลำดับ และมีพิกัดตามแนว ทิศซิมิท ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก หรือ  $(z, e, n)$  ลักษณะเดียวกับภาพประกอบ 2.15





ภาพประกอบ 4.9 แสดงการติดตั้งกระจกรับรังสีอาทิตย์และหอคอยสุริยะ

จากการติดตั้งอุปกรณ์จะเห็นว่ากรวางตำแหน่งอุปกรณ์จำเป็นต้องอ้างอิงทิศต่างๆ ซึ่งสิ่งสำคัญ คือการหาทิศเหนือที่ถูกต้อง เมื่อทราบทิศเหนือที่ถูกต้องแล้วก็สามารถหาทิศต่างๆ ได้ ในที่นี้วิธีการหาทิศเหนือจากเข็มทิศ ดาวเหนือ และการใช้ GPS ไม่สามารถหาทิศเหนือที่ถูกต้องได้ เนื่องจากบริเวณที่ทดลองมีเหล็กกระจายอยู่โดยรอบ มีผลให้เข็มทิศไม่สามารถชี้ทิศทางที่ถูกต้องได้ และทิศเหนือที่ได้จากเข็มทิศจะเป็นทิศเหนือตามสนามแม่เหล็กโลก ไม่ใช่ทิศของขั้วโลกเหนือ ส่วนการใช้ดาวเหนือก็ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากตำแหน่งที่ทดลองอยู่ที่ละติจูด  $7^{\circ}00' N$  ไม่สามารถมองดาวเหนือได้ชัดเจน การใช้ GPS ซึ่งเป็นอุปกรณ์บอกตำแหน่งที่แม่นยำ แต่ไม่สามารถบอกทิศทางที่ถูกต้องได้ เนื่องจากการหาทิศเหนือจาก GPS ต้องอ้างอิงจากจุด 2 จุด ซึ่งแต่ละจุดจะมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 10 – 30 เมตร ดังนั้นในงานวิจัยจึงได้ทำการออกแบบวิธีการหาทิศเหนือ โดยการใช้เงาของดวงอาทิตย์และตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในขณะเวลาต่างๆ

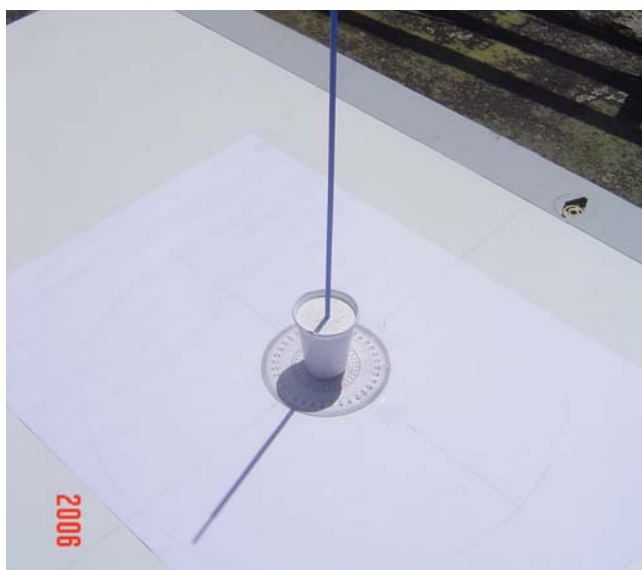
#### วิธีการหาทิศเหนือ

วัดเงาของดวงอาทิตย์ในเวลา 9:00 น. 12:00 น. และเวลา 15:00 น. จำนวน 3 ตำแหน่ง ดังภาพประกอบ 4.10 จำนวนมุมอะซิมูทจากสมการ 2.21 โดยแทนมุมชั่วโมงเป็นเวลาที่ทำการวัดเงา ความสัมพันธ์ของมุมอะซิมูทและเงาของดวงอาทิตย์ แสดงใน

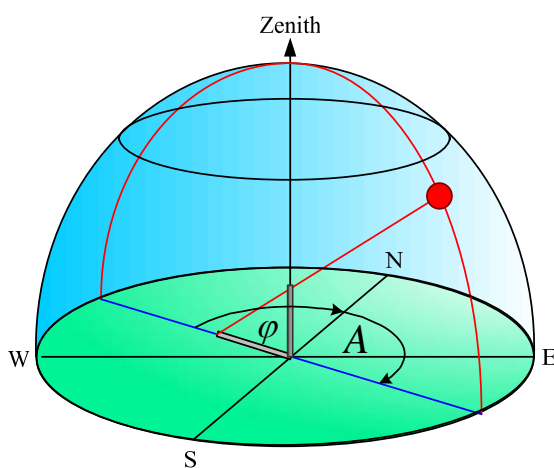
ภาพประกอบ 4.11 เมื่อทราบมุมอะซิมูทจะสามารถหามุมระหว่างเงาของดวงอาทิตย์กับทิศเหนือได้จาก

$$\varphi = |180 - A| \quad (4.12)$$

เมื่อ  $\varphi$  เป็นมุมระหว่างเงาของดวงอาทิตย์กับทิศเหนือ



ภาพประกอบ 4.10 แสดงอุปกรณ์การวัดเงาของดวงอาทิตย์



ภาพประกอบ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ของมุมระหว่างเงาของดวงอาทิตย์กับทิศเหนือ

เมื่อทำการหาทิศเหนือและติดตั้งอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว ในตอนแรกจะทำการศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงจำนวนกระจกต่ออุณหภูมิบนตัวรวมรังสีอาทิตย์เป็นเวลา 1



เดือน หลังจากนั้นจะทำการทดลองควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ทฤษฎีพีชชีลอจิก ซึ่งจะนำค่าอุณหภูมิที่วัดได้ในตอนแรกไปเป็นข้อมูลในการกำหนดค่าอินพุตของระบบที่ได้ออกแบบไว้ดังต่อไปนี้

#### 4.5 การออกแบบตัวควบคุมพีชชี

ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิโดยอาศัยทฤษฎีของพีชชีลอจิก

##### 1. การพีชชีพีเคชั่นของอินพุต

การพีชชีพีเคชั่นของอินพุต เป็นการหาอินพุตของระบบ โดยการนำค่าอุณหภูมิของอินพุตที่ได้มาหาอัตราความเป็นสมาชิก โดยแปลงค่าอุณหภูมิของอินพุต เป็นอินพุตของระบบพีชชีลอจิก ได้ 2 ค่า คือ

1.1. ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ (Error Temperature) หาได้จากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ณ ตัวรวมรังสีอาทิตย์ กับอุณหภูมิที่ได้ขณะนั้น

$$E(t) = T(set) - T(t)$$

เมื่อ  $E(t)$  = ค่าความผิดพลาดปัจจุบัน

$T(set)$  = อุณหภูมิที่ตั้งไว้ ณ ตัวรวมรังสีอาทิตย์

$T(t)$  = อุณหภูมิที่วัดได้ขณะนั้น

1.2. ค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด (Change Error Temperature) หาได้จากความแตกต่างระหว่าง ค่าความผิดพลาดล่าสุด กับค่าความผิดพลาดก่อนหน้านั้น

$$Ech = E(t) - E(t - 1)$$

เมื่อ  $Ech$  = ค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด

$E(t - 1)$  = ค่าความผิดพลาดก่อนหน้านั้น

##### 2. กำหนดค่าระดับชั้นของอินพุต

เนื่องจากค่าอินพุตที่เป็นไปได้ของระบบอยู่ในช่วงกว้าง ดังนั้นจึงต้องมีการแบ่งอินพุตออกเป็นช่วงๆ และกำหนดค่าระดับชั้นให้กับแต่ละช่วงของอินพุตเพื่อเป็นการลดอินพุตของตัวควบคุมพีชชีลอจิก

ค่าระดับชั้นของค่าความผิดพลาดและค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดกำหนดดังนี้

| ค่าความผิดพลาด   | ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด | ค่าระดับชั้น |
|------------------|---------------------------------|--------------|
| $E \geq 5$       | $Ech \geq 2.5$                  | +5           |
| $4 \leq E < 5$   | $2.0 \leq Ech < 2.5$            | +4           |
| $3 \leq E < 4$   | $1.5 \leq Ech < 2.0$            | +3           |
| $2 \leq E < 3$   | $1.0 \leq Ech < 1.5$            | +2           |
| $1 \leq E < 2$   | $0.5 \leq Ech < 1.0$            | +1           |
| $-1 \leq E < 1$  | $-0.5 \leq Ech < 0.5$           | 0            |
| $-2 \leq E < -1$ | $-1.0 \leq Ech < -0.5$          | -1           |
| $-3 \leq E < -2$ | $-1.5 \leq Ech < -1.0$          | -2           |
| $-4 \leq E < -3$ | $-2.0 \leq Ech < -1.5$          | -3           |
| $-5 \leq E < -4$ | $-2.5 \leq Ech < -2.0$          | -4           |
| $E < -5$         | $Ech < -2.5$                    | -5           |

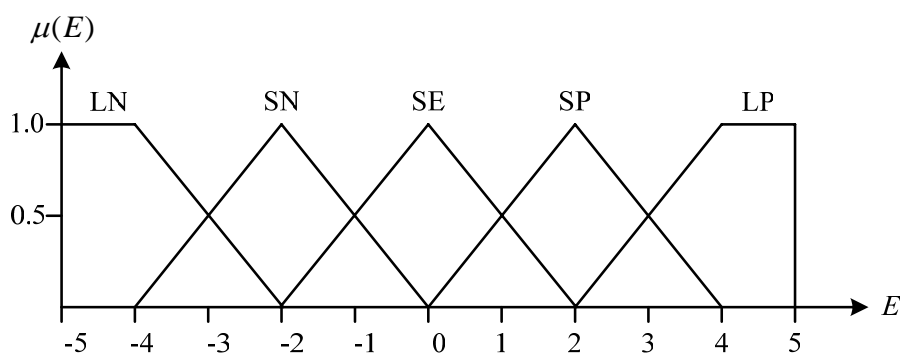
ตาราง 4.1 แสดงค่าระดับชั้นของค่าความและค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด

### 3. กำหนดฟัซซีเซต

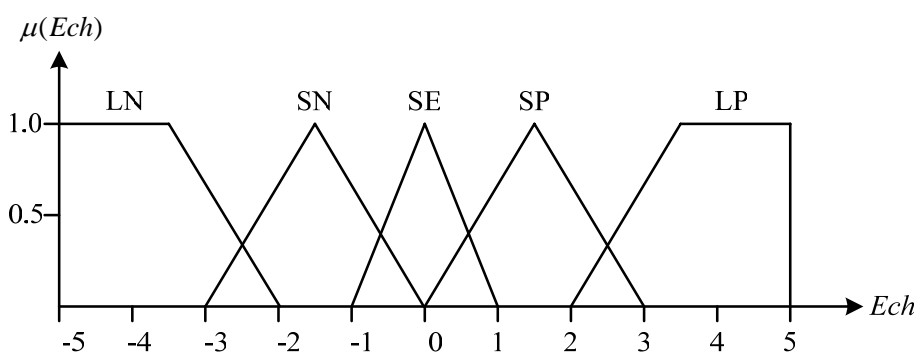
เป็นการกำหนดรูปร่างของฟัซซีเซตของอินพุตและเอาต์พุตครอบคลุมขอบเขตของข้อมูลที่สนใจ โดยรูปร่างของฟัซซีเซตที่กำหนดนั้น คือ ฟังก์ชันที่ใช้กำหนดค่าความเป็นสมาชิก (Grade of Membership Function) ของสมาชิกภายในเซตแต่ละตัว โดยได้กำหนดตัวแปรเชิงภาษา (Fuzzy Linguistic) ของอินพุตและเอาต์พุตแทนฟัซซีเซตแต่ละเซต ดังนี้

- Large Positive (LP) : บวกมาก
- Medium Positive (MP) : บวกปานกลาง
- Small Positive (SP) : บวกน้อย
- Zero (SE) : ศูนย์
- Small Negative (SN) : ลบน้อย
- Medium Negative (MN) : ลบปานกลาง
- Large Negative (LN) : ลบมาก

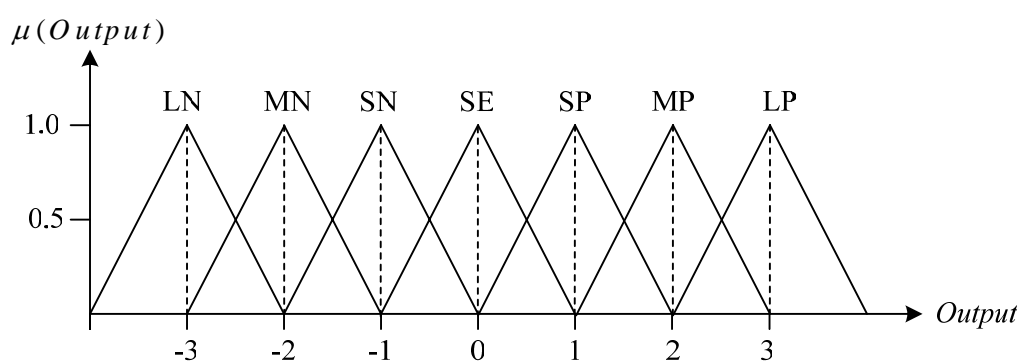
โดยจะกำหนดรูปร่างกราฟของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุตทั้ง 2 ตัวดังนี้



ภาพประกอบ 4.12 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของของอินพุต: ค่าความผิดพลาด



ภาพประกอบ 4.13 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของของอินพุต: ค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด



ภาพประกอบ 4.14 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเอาต์พุตในระบบควบคุมความร้อน

#### 4. เงื่อนไขการควบคุมหรือกฎการควบคุม

เมื่อได้ทำขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 แล้ว ต่อไปจะเป็นการสร้างเงื่อนไขที่จะนำมาใช้ในการควบคุมของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เพราะเป็นการ

จำลองพฤติกรรมของระบบที่เป็นไปได้ จำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจเป็นอย่างดี เกี่ยวกับระบบที่จะทำการควบคุม อาจต้องอาศัยประสบการณ์หรือการทดลองในการกำหนด ซึ่งกฎที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของตัวรวมรังสีอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้สามารถเขียนได้ดังนี้

If  $E$  is LN AND  $Ech$  is LN Then Output is LN

If  $E$  is LN AND  $Ech$  is SN Then Output is LN

If  $E$  is LN AND  $Ech$  is SE Then Output is LN

If  $E$  is LN AND  $Ech$  is SP Then Output is LN

If  $E$  is LN AND  $Ech$  is LP Then Output is MN

If  $E$  is SN AND  $Ech$  is LN Then Output is LN

If  $E$  is SN AND  $Ech$  is SN Then Output is MN

If  $E$  is SN AND  $Ech$  is SE Then Output is MN

If  $E$  is SN AND  $Ech$  is SP Then Output is SN

If  $E$  is SN AND  $Ech$  is LP Then Output is SN

If  $E$  is SE AND  $Ech$  is LN Then Output is SN

If  $E$  is SE AND  $Ech$  is SN Then Output is EN

If  $E$  is SE AND  $Ech$  is SE Then Output is SE

If  $E$  is SE AND  $Ech$  is SP Then Output is SE

If  $E$  is SE AND  $Ech$  is LP Then Output is SP

If  $E$  is SP AND  $Ech$  is LN Then Output is SP

If  $E$  is SP AND  $Ech$  is SN Then Output is SP

If  $E$  is SP AND  $Ech$  is SE Then Output is SP

If  $E$  is SP AND  $Ech$  is SP Then Output is MP

If  $E$  is SP AND  $Ech$  is LP Then Output is LP

If  $E$  is LP AND  $Ech$  is LN Then Output is MP

If  $E$  is LP AND  $Ech$  is SN Then Output is LP

If  $E$  is LP AND  $Ech$  is SE Then Output is LP

If  $E$  is LP AND  $Ech$  is SP Then Output is LP

If  $E$  is LP AND  $Ech$  is LP Then Output is LP

สามารถเขียนอยู่ในรูปของตารางได้ดังนี้

| $E \backslash Ech$ | LN | SN | SE | SP | LP |
|--------------------|----|----|----|----|----|
| LN                 | LN | LN | LN | LN | MN |
| SN                 | LN | MN | MN | SN | SN |
| SE                 | SN | SE | SE | SE | SP |
| SP                 | SP | SP | SP | MP | LP |
| LP                 | MP | LP | LP | LP | LP |

ตาราง 4.2 แสดงกฎการควบคุมของตัวควบคุมอุณหภูมิแบบฟัซซี่

#### 5. การหาเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ของค่าเอาต์พุต จะเห็นว่าค่าอินพุตหนึ่งค่าอาจเป็นสมาชิกของหลายฟัซซี่เซต แต่ละฟัซซี่เซตของอินพุตก็จะได้ค่าเอาต์พุตออกมาค่าหนึ่งทำให้ค่าอินพุตแต่ละค่าอาจได้ค่าเอาต์พุตออกมาหลายๆ ค่า ดังนั้นจำเป็นต้องทำการหาค่าเอาต์พุตที่แท้จริงออกมา ซึ่งสามารถหาได้จากสูตรซึ่งจะใช้กรรมวิธีการหาค่าศูนย์กลางเนื้อหาค่าเซนทรอยด์ โดยหาได้จากสูตร

$$Y = \frac{\sum (\mu_n y_n)}{\sum \mu_n} \quad (4.13)$$

หลังจากที่ได้ทำการคำนวณและพิจารณาความเป็นไปได้ทุกๆ กรณี ที่สามารถเกิดขึ้นได้ จะได้ผลลัพธ์โดยเขียนเป็นตาราง 4.3

|                    |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $E \backslash Ech$ | -5  | -4  | -3  | -2   | -1   | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
| -5                 | -3  | -3  | -3  | -3   | -3   | -3   | -3   | -3   | -2   | -2   | -2   |
| -4                 | -3  | -3  | -3  | -3   | -3   | -3   | -3   | -3   | -2   | -2   | -2   |
| -3                 | -3  | -3  | -3  | -2.5 | -2.5 | -2.5 | -2   | -2   | -1.5 | -1.5 | -1.5 |
| -2                 | -3  | -3  | -3  | -2   | -2   | -2   | -1   | -1   | -1   | -1   | -1   |
| -1                 | -2  | -2  | -2  | -1.5 | -1   | -1   | -0.5 | -0.5 | 0    | 0    | 0    |
| 0                  | -1  | -1  | -1  | -1   | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    |
| 1                  | 0   | 0   | 0   | 0    | 0.5  | 0.5  | 1    | 1    | 2    | 2    | 2    |
| 2                  | 1   | 1   | 1   | 1    | 1    | 2    | 2    | 2    | 3    | 3    | 3    |
| 3                  | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 2    | 2    | 2.5  | 2.5  | 2.5  | 3    | 3    | 3    |
| 4                  | 2   | 2   | 2   | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    |
| 5                  | 2   | 2   | 2   | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    |

ตาราง 4.3 แสดงตารางเอาต์พุตของตัวควบคุมอุณหภูมิแบบพีชชีลอจิก

ค่าเอาต์พุตที่ได้นี้ ยังไม่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมอุณหภูมิตัวรวมรังสีอาทิตย์ได้โดยตรง จึงต้องนำมาผ่านกระบวนการเปลี่ยนพีชชีเอาต์พุต ซึ่งเป็นกระบวนการกลับกันกับการหาค่าพีชชีอินพุต โดยการนำการพีชชีอินพุตไปเปรียบเทียบกับตารางเอาต์พุตเพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงของจำนวนกระจกรับรังสีอาทิตย์

| เอาต์พุตของตัวควบคุมอุณหภูมิ | จำนวนของกระจกรับรังสี |
|------------------------------|-----------------------|
| [2.01, 3.00]                 | 3                     |
| [1.01, 2.00]                 | 2                     |
| [0.01, 1.00]                 | 1                     |
| 0                            | 0                     |
| [-1.00, -0.01]               | -1                    |
| [-2.00, -1.01]               | -2                    |
| [-3.00, -2.01]               | -3                    |

ตาราง 4.4 แสดงค่าความสัมพันธ์ของเอาต์พุตกับค่าการเปลี่ยนแปลงจำนวนกระจกรับรังสี