# บทที่ 3
# การออกแบบชุดให้ความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบในบทนี้ กล่าวถึงส่วนสำคัญหลัก 2 ส่วนคือ

1. การออกแบบจานรับแสง ได้แก่

- การหา $\dot{Q}_{useful}$ กล่าวถึงการหากำลังงานใช้งาน
- การหา $A_{app}$ กล่าวถึงการหาพื้นที่ผิวสะท้อนแสง
- การออกแบบความยาวโฟกัส กล่าวถึงความยาวโฟกัส,ลักษณะและคุณสมบัติของจานสะท้อนแสง
- การออกแบบโครงสร้างความแข็งแรง กล่าวถึงความแข็งแรงของโครงสร้าง
- การออกแบบแผ่นสะท้อนแสง กล่าวถึงการออกแบบขนาดของแผ่นสะท้อนแสง

2. ช่องเก็บแสง ได้แก่

- การหาขนาดและรูปทรงช่องเก็บแสง กล่าวถึงการคำนวณหาขนาดและรูปทรงของช่องเก็บแสง

## 3.1 จานรับแสง(Concentrator)

### 3.1.1 การหา $\dot{Q}_{useful}$

$\dot{Q}_{useful}$ หมายถึง กำลังความร้อนที่ให้กับเครื่องยนต์สเตอริงเพื่อผลิตกำลังเพลาให้ได้เท่ากับกำลังเพลาที่ได้จากมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ซึ่งค่า $\dot{Q}_{useful}$ นี้ได้มาจากจานสะท้อนแสงอาทิตย์

เงื่อนไข

1. ต้องการกำลังเพลาเท่ากับกำลังเพลาที่ได้จากมอเตอร์ 1 แรงม้า
2. ประสิทธิภาพของมอเตอร์ ($\eta_{มอเตอร์}$) เท่ากับ 70%[1]
3. ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอริง ($\eta_{สเตอริง}$) เท่ากับ 30% [2]

---

(1) ข้อมูลการออกแบบจากwww.acbangmod.com/acdownload/dowfile/motor27update.ppt ช่วงการออกแบบของมอเตอร์ควรออกแบบให้ใช้งานที่ 60-80 %

(2) จากหนังสือSolar Thermal Electricity Generation ของ J.I. Ajona and others

การคำนวณ แบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 หา $\dot{Q}_{\text{มอเตอร์}}$

โดยที่

มอเตอร์ 1 แรงม้ามีค่าเท่ากับ 0.746 kW

ดังนั้น

กำลังเพลาที่ได้ออกมาจากมอเตอร์ตัวนี้คือ

$$\dot{Q}_{\text{มอเตอร์}} = 0.746 \times \eta_{\text{มอเตอร์}}$$
$$= 0.746 \times 0.7$$
$$= 0.522 \text{ kW}$$

ตอนที่ 2 หา $\dot{Q}_{useful}$

$$\dot{Q}_{useful} = \dot{Q}_{\text{มอเตอร์}} / \eta_{\text{สเตอริง}}$$
$$= 0.522/0.3$$
$$= 1.74 \text{ kW}$$

**3.1.2 การหา $A_{app}$**

ในการศึกษาเรื่อง The collection of solar energy จากหนังสือSolar Thermal Electricity Generation ของ J.I. Ajona and others พบว่า $\dot{Q}_{useful}$ มีความสัมพันธ์กับ $A_{app}$ ดังสมการ(2.1) คือ

$$\dot{Q}_{useful} = I_{b,n} A_{app} E(\cos\theta_i)\ \rho\ \phi\ \tau\ \alpha\ - A_{rec}[h(T_{rec}-T_{amb}) + \sigma\varepsilon(T^4_{rec}-T^4_{amb})]$$

โดยมีค่าคงที่ดังนี้

$I_{b,n}$ = 878.9 $W/m^2$ จากหนังสือ Educative Paraboloid Concentrator , C.A.Estrada, C.A.Perez and others.

$\sigma$ = $5.6697 \times 10^{-8}$ $W/(m^2 \cdot K^4)$ จากหนังสือ Heat Transfer , A Basic Approach , M.Neeati Ozisik

และมีเงื่อนไขดังนี้

$CR_g = A_{app}/A_{rec}$ = 45/1 ขึ้นอยู่กับการออกแบบโดยอ้างอิงจากหนังสือ B S Magal.Solar Power Engineering. Bombay : Mcgraw-Hill, 1990

E = 0.95 โดยกำหนดอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ที่ไม่โดนบังแสงต่อพื้นที่ผิวสะท้อนแสงทั้งหมด 95%

$\varepsilon$ = 0.19 ค่า $\varepsilon$ อยู่ในช่วง 0.1-1 จากหนังสือ B S Magal.Solar Power Engineering. Bombay : Mcgraw-Hill, 1990

$\dot{Q}_{useful}$ = 1.74 kW ได้จากการคำนวณในหัวข้อ 3.1

$T_{amb}$ = 301.15 K ค่า $T_{amb}$ อยู่ในช่วง 21-36 °C จากhttp://weather.com.com/weath ของจังหวัดพิษณุโลก

$T_{rec}$ = 623.15 K อุณหภูมิดูดซับของช่องเก็บแสงอยู่ในช่วง 300 – 350°C จากหนังสือ B S Magal.Solar Power Engineering. Bombay : Mcgraw-Hill, 1990

h = 200 W/m$^2$-K เป็นสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนซึ่งมาจากการพาและการนำความร้อนระหว่างอากาศกับอลูมิเนียมอยู่ในช่วง 116-243 W/m$^2$-K จาก http://www.matweb.com

$\alpha$ = 0.98 โดยกำหนดประสิทธิภาพการดูดซับของช่องเก็บแสง 98%

$\tau$ = 0.98 โดยกำหนดประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนระหว่างช่องเก็บแสงกับตัวดูดซับความร้อน 98%

$\theta_i$ = 0 องศา โดยกำหนดให้มุมของจานรับแสงมีทิศตั้งฉากกับดวงอาทิตย์

$\rho$ = 0.90 เป็นคุณสมบัติของแผ่นสะท้อนแสง จาก แผนก Solar Cell บริษัทแสงมิตรไล้ท์ติ้ง จำกัด

$\phi$ = 0.90 โดยกำหนดให้แสงสะท้อนเข้าช่องเก็บแสง 90%

การแทนค่า

$$-1.74\times10^{3} = [878.9\times45\,A_{rec}\times\cos0^{\circ}\times0.90\times0.9\times0.98\times0.98] - A_{rec}[(200\times(623.15-301.15)) + (5.6697\times10^{-8}\times0.19\times(623.15^{4}-301.15^{4}))]$$

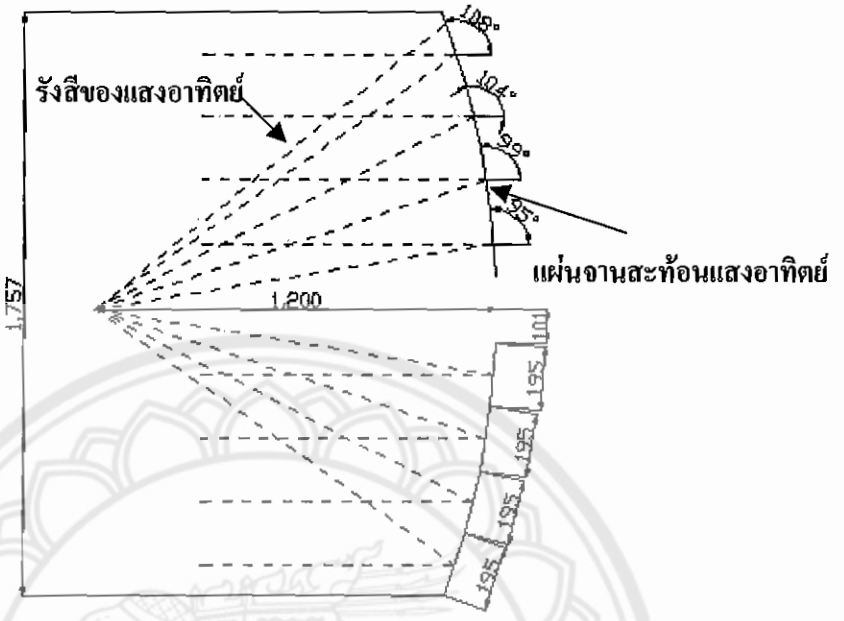
$$A_{rec} = 0.047 \ m^2$$

$$\therefore A_{app} = 45\,A_{rec}$$

$$= 45\times0.047 = 2.13 \ m^2$$

สรุปได้ว่า ต้องใช้พื้นที่ผิวสะท้อนแสงเท่ากับ 0.047 m$^2$ และพื้นที่รับแสงของช่องเก็บแสงเท่ากับ 2.13 m$^2$ ถึงจะได้กำลังทางความร้อนที่ได้จากช่องเก็บแสงเท่ากับ 1.74 kW

### 3.1.3 การออกแบบความยาวโฟกัส

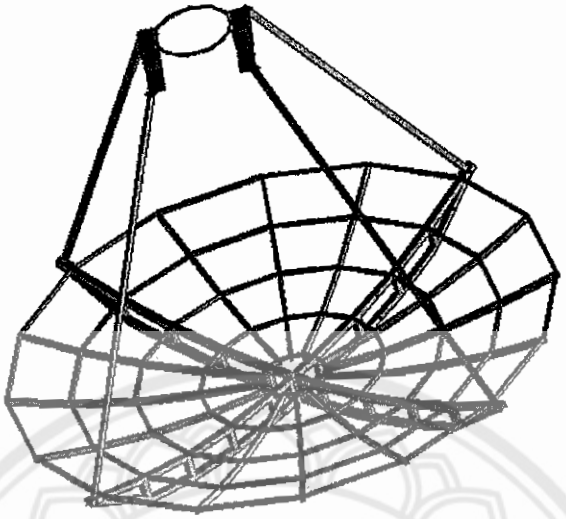



**รูปที่ 3.1** แสดงรูปแบบการรวมแสงอาทิตย์ของจานสะท้อนแสง

จากรูปที่ 3.1 จะได้

1. ระยะความยาวโฟกัสจากจุดกึ่งกลางจานสะท้อนแสง ถึง จุดโฟกัส เท่ากับ 1,200 มิลลิเมตร
2. เส้นผ่านศูนย์กลางของจานเท่ากับ 1,757 มิลลิเมตร
3. มุมเอียงของแผ่นสะท้อนแสง จากแผ่นด้านในออกมายังแผ่นด้านนอกเท่ากับ 95°, 99°, 104°, 108° ตามลำดับ
4. ความยาวของแผ่นสะท้อนแสงเท่ากับ 195 มิลลิเมตร

**3.1.4 การออกแบบโครงสร้างความแข็งแรง**



**รูปที่ 3.2** แสดงลักษณะของโครงจานสะท้อนแสงอาทิตย์

**3.1.4.1 การหามวลรวมของโครงจานสะท้อนแสงอาทิตย์**

**เงื่อนไข**

แบ่งโครงจานสะท้อนแสงอาทิตย์ออกเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน แสดงดังรูปที่ 3.3

เลือก เหล็กกล่องที่มีคุณสมบัติดังนี้

1. พื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 12.5 mm×12.5 mm
2. ความหนา 1.6 mm
3. มวลต่อความยาวเท่ากับ 0.53 kg/m
4. พื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.66 $cm^2$

**จากสูตร**

$$W = w \cdot L$$

**โดยที่**

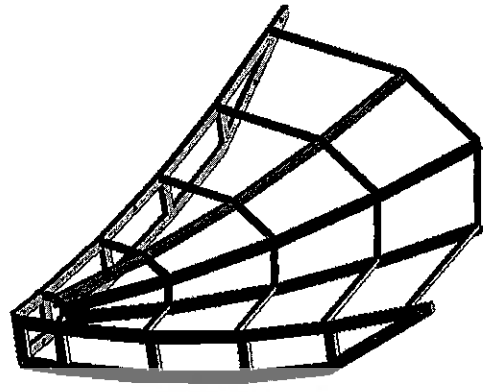
L = ความยาวของเหล็กกล่อง (m)

w = มวลต่อความยาวของเหล็กกล่อง (kg/m)

W = มวลของเหล็กกล่อง (kg)

**การแทนค่า**

**ข้อสังเกต** โดยคิดที่ 1 ใน 4 ของโครงจานสะท้อนแสงอาทิตย์(แต่ละส่วนสมมาตรกัน)



**รูปที่ 3.3** แสดง ¼ ของโครงจานสะท้อนแสงอาทิตย์

เหล็กกล่องที่มีL = 334 mm ; $W_{1,ย่อย}$ = 0.334×0.53

= 0.177 kg

มีจำนวน 4 อัน ; $W_{1,รวม}$ = 4×0.177

= 0.708 kg

เหล็กกล่องที่มีL =260 mm ; $W_{2,ย่อย}$ = 0.26×0.53

= 0.1378 kg

มีจำนวน 4 อัน ; $W_{2,รวม}$ = 4×0.1378

= 0.5512 kg

เหล็กกล่องที่มีL =184 mm ; $W_{3,ย่อย}$ = 0.184×0.53

= 0.09752 kg

มีจำนวน 4 อัน ; $W_{3,รวม}$ = 4×.09752

= 0.39 kg

เหล็กกล่องที่มีL =107 mm ; $W_{4,ย่อย}$ = 0.107×0.53

= 0.05671 kg

มีจำนวน 4 อัน ; $W_{4,รวม}$ = 4×.05671

= 0.2268 kg

เหล็กกล่องที่มีL =37 mm ; $W_{5,ย่อย}$ = 0.037×0.53

= 0.0196 kg

มีจำนวน 4 อัน ; $W_{5,รวม}$ = 4×0.0196

= 0.0784 kg

เหล็กกล่องที่มีL =200 mm ; $W_{6,ย่อย}$ = 0.2×0.53

= 0.106 kg

มีจำนวน 18 อัน ; $W_{6,รวม}$ = 18×0.106

= 1.908 kg

เหล็กกล่องที่มีL =255 mm ; $W_{7,ย่อย}$ = 0.255×0.53

= 0.13515 kg

มีจำนวน 2 อัน ; $W_{7,รวม}$ = 2×0.13515

= 0.2703 kg

เหล็กกล่องที่มีL =85 mm ; $W_{8,ย่อย}$ = 0.085×0.53

= 0.04505 kg

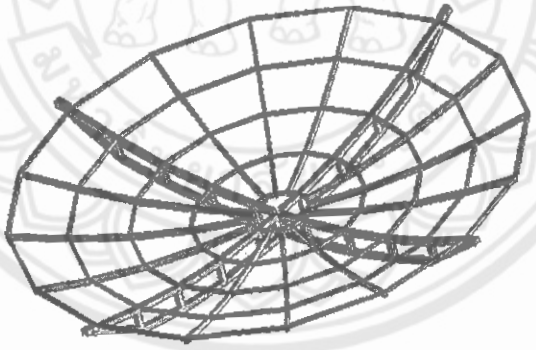
มีจำนวน 2 อัน ; $W_{8,รวม}$ = 2×0.04505

= 0.0901 kg

∴ มวลรวมของโครงจาน 1 ใน 4 คือ $W_{1,รวม}+W_{2,รวม}+W_{3,รวม}\ldots+W_{8,รวม}$ = 4.2228 kg

แสดงว่า มวลรวมของโครงจาน ( มี 4 ส่วน แต่ไม่รวมก้าน Receiver) แสดงดังรูปที่ 3.4 คือ

4×4.2228 = 16.8912 kg



**รูปที่ 3.4** แสดงโครงจาน ( มี 4 ส่วน แต่ไม่รวมก้าน Receiver)

ก้าน Receiver มีL =1310 mm ; $W_{ก้าน\ Receiver,\ ย่อย}$ = 1.31×0.53

= 0.6943 kg

มีจำนวน 4 อัน ; $W_{ก้าน\ Receiver,\ รวม}$ = 4×0.6943

= 2.7772 kg

∴ มวลรวมของโครงจานทั้งหมด (รวมก้าน Receiver) แสดงดังรูปที่ 3.2 คือ

$W_{ก้าน\ Receiver,\ รวม}+W_{1,รวม}+W_{2,รวม}+W_{3,รวม}\ldots+W_{8,รวม}$ = 19.6684 kg ≈ 20 kg

**3.1.4.2 การคำนวณที่เกี่ยวกับขารับ 3 ขา**

แบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 หาขนาดของน็อต 3 ตัวตรงขารับ

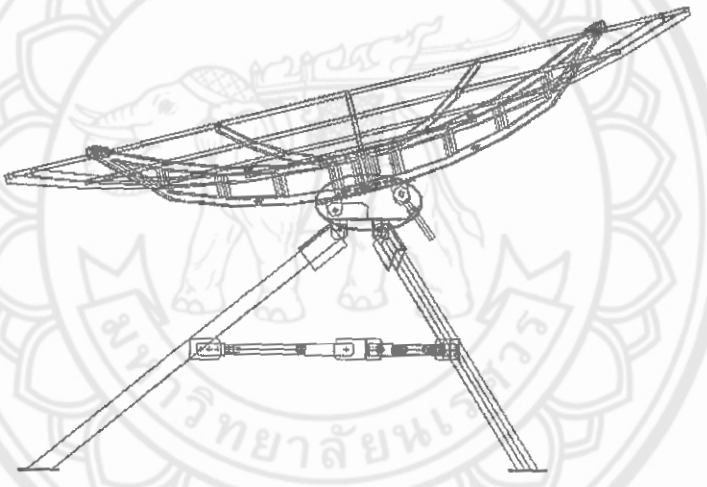
จะได้ น็อตขนาด M1.6 และ มีความยาวเกลียวในชิ้นงานไม่ควรน้อยกว่า 8 mm (การคำนวณอยู่ในภาคผนวก ง.)

ส่วนที่ 2 ขารับ 3 ขา

จะได้เหล็กกล่อง Carbon Steel และเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนชุบแข็งได้ AISI 1020C ที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.627 $mm^2$ (การคำนวณอยู่ในภาคผนวก จ.)

**3.1.4.3 ตัวปรับจาน**

แสดงดังรูปที่ 3.5



**รูปที่ 3.5** แสดงน็อตตรงบริเวณตัวปรับจาน (ในวงรี)

จะได้ น็อตขนาด M2 และ มีความยาวเกลียวในชิ้นงานไม่ควรน้อยกว่า 8 mm (การคำนวณอยู่ในภาคผนวก จ.)

**ในทางปฏิบัติจริง**

ขารับ 3 ขา เลือกใช้เป็นเหล็กกล่องที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 50 mm × 25 mm, พื้นที่หน้าตัด 2.232 $cm^2$ และความหนา 2.3 mm เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพงานจริง

น็อต 3 ตัวตรงขารับ เลือกใช้ M8 แบบเกลียวธรรมดา เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพงานจริง

น็อต 2 ตัวตรงบริเวณตัวปรับจาน(สำหรับเป็นแกนหมุน) เลือกใช้ M8 แบบเกลียวธรรมดา เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพงานจริง

ส่วนเพาเวอร์สกรูหรือน็อตตัวปรับจาน เลือกใช้ M10 เพื่อความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

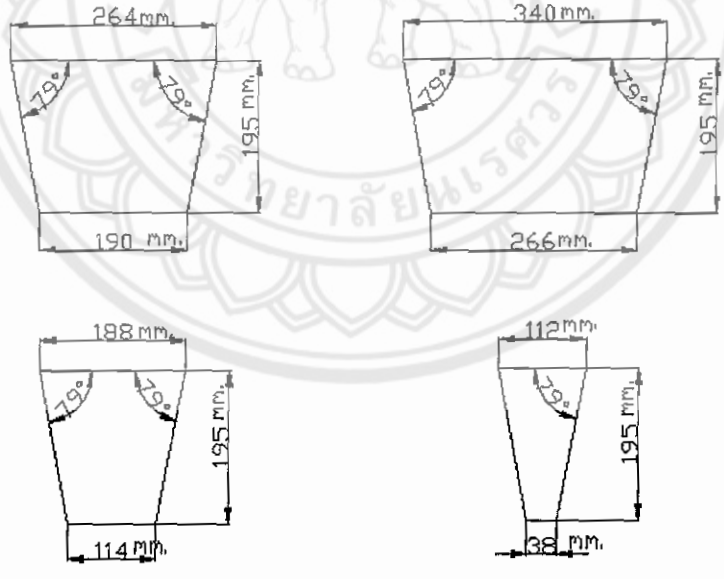
น็อตที่ใช้จับยึดให้แผ่นสะท้อนแสงติดกับโครงจาน เลือกใช้ M6 เป็นแบบเกลียวธรรมดา และแบบหางปลา เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน

แผ่นรองรับแผ่นสะท้อนแสง เลือกใช้แผ่นอะลูมิเนียมชุบสังกะสีหนา 0.9 mm เพื่อให้เหมาะสมต่อสภาพงานจริง แล้วใช้หมุดย้ำเป็นตัวยึดติดแผ่นสะท้อนแสงให้ติดกับแผ่นอะลูมิเนียมชุบสังกะสี

เหล็กกล่องแต่ละขนาดที่ประกอบขึ้นเป็นโครงจานแต่ละส่วน (1 ใน 4 ส่วนของโครงจาน) ยึดติดโดยวิธีการเชื่อมด้วยไฟฟ้าทั้งหมด แล้วโครงจานที่แยกออกเป็น 4 ส่วนทำให้ยึดติดกันเป็นโครงจานได้ โดยใช้น็อต M6 แบบเกลียวธรรมดา เพื่อให้เหมาะสมกับเหล็กกล่อง

**3.1.5 การออกแบบแผ่นสะท้อนแสง**

ในหัวข้อนี้เราได้พื้นที่ของแผ่นสะท้อนแสง จากสมการ(2.1)แล้ว ดังนั้นเราจึงแบ่งขนาดของแผ่นสะท้อนแสงออกเป็น 4 ขนาด แสดงดังรูปที่ 3.6 และแต่ละขนาดมีจำนวน 16 แผ่น เพื่อให้เหมาะสมกับรูปร่างของโครงจานและมีพื้นที่เท่ากับพื้นที่ของแผ่นสะท้อนแสง ที่ได้จากสมการ(2.1)




**รูปที่ 3.6** แสดงขนาดของแผ่นสะท้อนแสง

### 3.2 ช่องเก็บแสง(Receiver)

#### 3.2.1 การหาขนาดและรูปทรงของช่องเก็บแสง

รูปทรงของช่องเก็บแสง เป็นพาราโบลอยด์ และวัสดุที่ใช้ทำช่องเก็บแสง คือ เหล็กกล้าคาร์บอน

เงื่อนไข

1. พื้นที่ผิวสัมผัสของช่องเก็บแสง เป็นส่วนของทรงกลม
2. มีพื้นที่ผิวสัมผัสเท่ากับ $A_{rec}$ ที่คำนวณได้
3. มีความกว้างของส่วนของทรงกลมเท่ากับ 20 cm

รูปที่ 3.7 แสดงช่องเก็บแสง

ความสัมพันธ์ระหว่าง S,H และ R ของส่วนของทรงกลม มีสูตรดังนี้

$$A = \frac{\pi}{4}(S^2+4H^2) \qquad \text{.....(1)}$$

$$A = \pi \cdot 2 \cdot R \cdot H \qquad \text{.....(2)}$$

โดยที่

A = พื้นที่ผิวของส่วนของทรงกลม ($cm^2$)

S = ความกว้างของส่วนของทรงกลม (cm)

H = ความสูงของส่วนของทรงกลม (cm)

R = รัศมีของส่วนของทรงกลม (cm)

ป
TJ
811
ท849ร
2545

สำนักหอสมุด
26 พ.ย. 2546
4740031

ค่าคงที่มีดังนี้

$A = 0.047 \ m^2$ หรือ $470 \ cm^2$

$S = 20 \ cm$

จากสมการ (1)

การแทนค่า

$$470 = \frac{\pi}{4}(20^2 + 4H^2)$$

$$H^2 = 49.6$$

$$H = 7.04 \ cm$$

จากสมการ (2)

การแทนค่า

$$470 = \pi \cdot 2 \cdot R \cdot 7.04$$

$$R = 10.625 \ cm$$

**สรุป** ต้องใช้ส่วนของทรงกลมที่มีรัศมีของส่วนของทรงกลม 10.625 cm, ความสูงของส่วนของทรงกลม 7.04 cm และมีความกว้างของส่วนของทรงกลม 20 cm ถึงจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 0.047 $m^2$ หรือ 470 $cm^2$

### 3.3 สรุปการออกแบบ

ต้นแบบชุดให้ความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นมีรายละเอียดดังนี้

| | |
|---|---|
| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจาน | 1757 mm |
| พื้นที่ผิวสะท้อนแสง | 2.13 $m^2$ |
| พื้นที่ช่องเก็บแสง | 0.047 $m^2$ |
| ความยาวโฟกัส | 1200 mm |
| มุมขอบ | 39° |
| ไม่มีระบบติดตามดวงอาทิตย์ | |
| มุมเอียง | 17° หันหน้าจานไปทางทิศใต้ |
| ค่าการสะท้อนแสง | 96 % |
| วัสดุที่ใช้ทำช่องเก็บแสง | เหล็กกล้าคาร์บอน |
| วัสดุที่ใช้ทำแผ่นสะท้อนแสง | อลูมินัม อะโนไดซ์ |