



## เอกสารอ้างอิง

1. วุจติ พันธุนาวิน. Research and Development of Solar Energy in Thailand. กรุงเทพมหานคร : สสท. - สจ.ช. , 2521. (การสัมมนาวิชาการเรื่อง Solar Energy and Application ธันวาคม 2521).
2. John A. Duffie , and William A. Beckman. Solar Energy Thermal Processes. pp.183. New York : John Wiley & Sons, Inc. , 1974.
3. ปรีชา จงวัฒนา. การกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ โดยใช้ขบวนการความร้อน. กรุงเทพมหานคร : สสท. - สจ.ช. , 2521. (การสัมมนาวิชาการเรื่อง Solar Energy and Application ธันวาคม 2521).
4. ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์. การพัฒนาพลังงานทดแทนในสหรัฐอเมริกา. กรุงเทพมหานคร : สจ.ช. , 2523. (เอกสารเผยแพร่ 2523).
5. Isao Ishikawa. Solar Thermal Power Generation. กรุงเทพมหานคร : สสท. - สจ.ช. 2523. (การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 2 เรื่อง พลังงานหมุนเวียน และการประยุกต์ กุมภาพันธ์ 2523).
6. บัญชา กิตติศักดิ์ดำรง และภาคภูมิ จันทระภูติผลากร. เครื่องหุงต้มด้วยแสงอาทิตย์แบบแผงรับแสงแผ่นราบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจ.ช., 2523.
7. สุวรรณ พันธุ์ม่วง และ สุรินทร์ ชัยยืน. ตัวรวมแสงอาทิตย์แบบรางรวมแสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจ.ช. , 2523.
8. เกรียงไกร ดำรงรัตน์ , กรรชิต วิเศษสมภักษ์ , ธนิต เหล่าตระกูล , บุญพงษ์ กิจวัฒนาชัย และ ไชย์มัน จรรยาจักรกุล. รางรวมแสงพาราโบลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจ.ช. , 2524.
9. จินตนา เข้มเจริญวงศ์. ตัวรับแสงแบบรางพาราโบลาที่ใช้อะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นผิวสะท้อนแสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานและวัสดุ สจ.ช. , 2525.
10. Cobble, M.H. Theoretical concentrations for solar furnaces. Solar Energy. Vol. 5. No. 2. pp. 61. , 1961.
11. A.A.M. Sayigh. Solar Energy Engineering. Academic Press. New York, 1977.

12. Donald Rapp. *Solar Energy*. Mc Graw-Hill Book Company. New York , 1978.
13. สุรสิทธิ์ ประสารปราน. ระบบทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ที่มีตัวรับรังสีแบบฮีทไปป์-  
เทอร์มัลไดโอด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานและ  
วัสดุ สจ.ธ. , 2530.
14. วุฒิชัย กปิลกาญจน์. กลไกและพลศาสตร์ของเครื่องจักรกล. บทที่ 2. หน้า 6.  
กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ , 2528.
15. พิเชษฐ์ ลิ้มสุวรรณ และ สมเจตน์ ทองคำวงศ์. การเลือกผิวสะท้อนแสง.  
กรุงเทพมหานคร : สจ.ธ. , 2523. (โครงการวิจัย โรงไฟฟ้าพลังงาน  
แสงอาทิตย์ ระบบกระจายตัวรับแสงรายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 1 มิถุนายน  
2523).
16. อนันต์ เจริญถาวรสุข , ธวัชชัย ศรีศิลป์โสภณ และ เชิดพงษ์ คำนุทธศิลป์. การศึกษา  
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สจ.ธ. , 2532.
17. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล. การส่งถ่ายพลังงานความร้อนโดยการเปลี่ยนวัฏภาค.  
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.
18. Frank P. Incropera, and David P. Dewitt. *Fundamentals of heat and mass transfer*.  
3rd ed. pp. 135. NewYork : John Wiley & sons, Inc. , 1990.
19. ส. วงศ์เสงี่ยม พินิจพัฒนา. ปฏิทินทางศาสนาอิสลาม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์  
ส. วงศ์เสงี่ยม, 2538.
20. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. อนุกรมพลังงานนอกแบบและการใช้พลังงานอย่างมี-  
ประสิทธิภาพ. เล่ม 1. การแผ่รังสีดวงอาทิตย์และตัวรับรังสี. กรุงเทพมหานคร:  
สจ.ธ. , 2531.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างการคำนวณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ตัวอย่างการคำนวณ

กล่าวถึงรายละเอียดในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ จากตารางที่ 17 แสดงผลการทดลอง  
หุงต้มของวันที่ 16 พฤษภาคม 2538

ทดลองหุงข้าว น้ำหนัก 1.4 kg. (ข้าว 3 ถ้วยตวง = 0.48 kg + น้ำ 5 ถ้วยตวง)

ทำไข่ต้ม (ใช้ไข่ทั้งหมด 6 ใบ)

ไข่ต้ม 4 ใบ

เวลาที่เริ่มหมุนรวมแสง 9.00 น. นำข้าวไปหุงต้มเวลา 11.00 น.

ข้าวเริ่มสุกเวลา 13.30 น. รวมเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที (โดยไม่ต้องเสริมไฟฟ้า)

การห่ออัตราการใช้พลังงานความร้อนในการหุงต้ม, ( $Q_u$ )

พลังงานที่ใช้ในการหุงต้มได้มาจากตัวรับแสง แบบรางพาราโบลิก ตัวอย่างการหา  
อัตราการใช้พลังงาน ความร้อนในช่วงเวลา 11.00 น. - 11.30 น. พิจารณาตารางที่ 4 ของวันที่ 16  
พฤษภาคม 2538 จะได้

$$\text{ค่าการแผ่รังสีรวม } (I_G) = 769.99 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{รังสีกระจาย } (I_d) = 181.81 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{รังสีตรง } (I_b) = 588.18 \text{ W/m}^2.$$

$$\cos \theta_z = 0.949$$

และ  $\cos \theta_1 = 0.905$

เพราะฉะนั้นจะได้ค่าการแผ่รังสีตรงที่ตกตั้งฉากกับ aperture plane ( $I_{bn}$ ) =  $I_b (\cos \theta_1 / \cos \theta_z)$

จะได้ รังสีตรง ( $I_{bn}$ ) = 560.91 W/m<sup>2</sup>. (รายละเอียดการคำนวณแสดงไว้แล้วในบทที่ 4)

จากสมการ  $Q_u = I_{bn} \rho \gamma (\tau \alpha)_c A_a - U_L A_r (T_r - T_{sur})^{1.2}$ , W.

โดย  $I_{bn}$  - ค่าการแผ่รังสีตรงที่ตกตั้งฉากกับ aperture plane ณ เวลาที่พิจารณา, W/m<sup>2</sup>.

$$= 560.91 \text{ W/m}^2. (11.00 \text{ น.} - 11.30 \text{ น.})$$

$\rho$  - สภาพการสะท้อนของผิวสะท้อนแสง (แผ่นสแตนเลสขัดมัน) = 0.70

$\gamma$  - Intercept Factor = 1

$(\tau \alpha)_c$  - ผลคูณประสิทธิภาพของสภาพส่งผ่านและดูดกลืนรังสีของท่อแก้ว และท่อรับแสง  
(heat pipe)

$$= 1.02 \tau \alpha^{[18]} = 1.02 \times (0.88) \times (0.86) = 0.77$$

$$A_a - \text{พ.ท. ของรางพาราโบลิก} = (1.048-0.075) \times 1.2 = 1.17 \text{ m}^2.$$

$$A_r - \text{พ.ท. ผิวของท่อรับแสง (heat pipe)} \pi DL = \pi \times 0.0283 \times 1.2 = 0.107 \text{ m}^2.$$

$$T_r - \text{อุณหภูมิเฉลี่ยบนท่อรับแสง} = 148 \text{ }^\circ\text{C} = 421.15 \text{ K}$$

$$T_{\text{sur}} - \text{อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม} = 35.2 \text{ }^\circ\text{C} = 308.35 \text{ K}$$

$$U_L - \text{สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนจากผิวท่อรับแสง, W/m}^2\cdot\text{K.}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{h_{rg} + h_{r_1}} + \frac{1}{(h_{r_2} + h_{gs}) \frac{A_2}{A_1}}}$$

โดย  $h_{rg}$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีจากท่อรับแสงไปยังท่อแก้ว

$$= \frac{\sigma(T_r^2 + T_g^2)(T_r + T_g)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2} \left(\frac{r_1}{r_2}\right)}, \text{ W/m}^2\cdot\text{K.}$$

จาก  $\sigma$  - Stefan-boltzmann const.  $= 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^4.$

$T_g$  - อุณหภูมิเฉลี่ยบนท่อแก้ว Pyrex  $= 75 \text{ }^\circ\text{C.} = 348.15 \text{ K.}$

$\epsilon_1$  - Emittance of the receiver.  $= 0.98^{[18]}$  (ท่อทาสีดำด้าน)

$\epsilon_2$  - Emittance of the transparent envelope.  $= 0.82^{[18]}$  (ท่อแก้ว pyrex)

$r_1$  - รัศมีของท่อรับแสง (heat pipe)  $= \frac{0.0283}{2} = 0.0142 \text{ m.}$

$r_2$  - รัศมีของท่อแก้ว  $= \frac{0.075}{2} = 0.0375 \text{ m.}$

แทนค่าทั้งหมดจะได้

$$h_{rg} = \frac{(5.67 \times 10^{-8})(421.15^2 + 348.15^2)(421.15 + 348.15)}{\frac{1}{0.98} + \frac{(1-0.82)}{0.82} \left(\frac{0.0142}{0.0375}\right)}$$

$$= 11.80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K.}$$

โดย  $h_{gs}$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีจากท่อแก้วสู่สิ่งแวดล้อม

$$= \sigma \epsilon_2 (T_g^2 + T_{\text{sur}}^2)(T_g + T_{\text{sur}}), \text{ W/m}^2\cdot\text{K.}$$

แทนค่าทั้งหมดจะได้

$$h_{gs} = (5.67 \times 10^{-8})(0.82)(348.15^2 + 308.35^2)(348.15 + 308.35)$$

$$= 6.60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K.}$$

โดย  $h_{r_1}$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาตามธรรมชาติ (natural หรือ free convection) ระหว่างท่อรับแสงกับท่อแก้ว : Free convection flow in the annular space between long concentric cylinders.[18]

จาก  $q = h_{r_1} A (T_r - T_g) = h_{r_1} 2\pi r_1 L (T_r - T_g)$

จะได้  $\frac{q}{L} = q' = 2\pi r_1 h_{r_1} (T_r - T_g)$

เพราะฉะนั้น

$$h_{r_1} = \frac{q'}{2\pi r_1 (T_r - T_g)}, \text{ W/m}^2\cdot\text{K.} \quad (26)$$

ซึ่ง  $q' = \frac{2\pi k_{\text{eff}}}{\ln(D_o/D_i)} (T_r - T_g), \text{ W/m.} \quad (27)$

$$\frac{k_{\text{eff}}}{k} = 0.386 \left( \frac{\text{Pr}}{0.861 + \text{Pr}} \right)^{1/4} (\text{Ra}_c^*)^{1/4} \quad (28)$$

$$\text{Ra}_c^* = \frac{[\ln(D_o/D_i)]^4}{L_i^3 (D_i^{-3/5} + D_o^{-3/5})^5} (\text{Ra}_{i,i}) \quad (29)$$

และ  $\text{Ra}_{L_i} = \frac{g\beta(T_r - T_g)L_i^3}{\nu\alpha} \quad (30)$

จากสมการ (28) จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อ  $10^2 \leq \text{Ra}_c^* \leq 10^7$  และสำหรับ  $\text{Ra}_c^* < 100$  จะได้  $k_{\text{eff}} \cong k$

Properties : Table A.4[18], air  $[T = (T_r + T_g)/2 = 384.65 \text{ K.}]$

$$k = 32.63 \times 10^{-3} \text{ W/m}\cdot\text{K.} \quad \alpha = 35.72 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.} \quad \beta = T^{-1} = 2.5998 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}.$$

$$\nu = 24.72 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.} \quad \text{Pr} = 0.6931$$

จากสมการ (30)

$g$  - Gravitational acceleration (sea level) = 9.80 m./s<sup>2</sup>.

$L_i$  - Air gap หรือ ช่องว่างระหว่าง inner cylinder (ท่อ heat pipe) กับ outer cylinder (ท่อแก้ว pyrex) =  $r_2 - r_1 = 0.0233 \text{ m.}$

แทนค่าทั้งหมดจะได้

$$\begin{aligned} Ra_{L_i} &= \frac{(9.80)(2.5998 \times 10^{-3})(421.15 - 348.15)(0.0233)^3}{(24.72 \times 10^{-6})(35.72 \times 10^{-6})} \\ &= 26644 \end{aligned}$$

จากสมการ (29)

$D_o$  - ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อแก้ว pyrex = 0.075 m.

$D_i$  - ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ heat pipe = 0.0283 m.

แทนค่าทั้งหมดจะได้

$$\begin{aligned} Ra_c^* &= \frac{[\ln(0.075/0.0283)]^4 (26644)}{(0.0233)^3 [(0.0283)^{-3/5} + (0.075)^{-3/5}]^5} \\ &= 4704 \end{aligned}$$

จากสมการ (28) แทนค่าทั้งหมดจะได้

$$\begin{aligned} k_{eff} &= 0.386 \left( \frac{0.6931}{0.861 + 0.6931} \right)^{1/4} (4704)^{1/4} (32.63 \times 10^{-3}) \\ &= 0.0852 \text{ W/m.K.} \end{aligned}$$

จากสมการ (27) แทนค่าทั้งหมดจะได้

$$\begin{aligned} q' &= \frac{2\pi(0.0852)(421.15 - 348.15)}{\ln(0.075/0.0283)} \\ &= 40.10 \text{ W/m.} \end{aligned}$$

จากสมการ (26) แทนค่าทั้งหมดจะได้

$$\begin{aligned} h_{fi} &= \frac{40.10}{2\pi(0.0142)(421.15 - 348.15)} \\ &= 6.16 \text{ W/m}^2\text{.K.} \end{aligned}$$

โดย  $h_c$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาแบบบังคับ (Force convection) จากท่อแก้วสู่สิ่งแวดล้อม : Force convection external flow (the cylinder in cross flow)[18]

ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา (บางนา กรุงเทพฯ) มีค่าความเร็วลมในช่วงวันและเวลาที่ทำการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ทั้งหมด 6 ครั้ง ปรากฏว่ามีค่าความเร็วลมสูงสุดเท่ากับ 5 m/s. จึงใช้ค่าดังกล่าวนี้เป็นค่าความเร็วลมที่พัดผ่านขณะทำการทดลอง

จากสมการของ Zhukauskas[18] สามารถหา Nusselt number (Nu) ได้ดังนี้

$$Nu_D = C Re_D^m Pr^n \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{1/4} \quad (31)$$

$$\left[ \begin{array}{l} 0.7 < Pr < 500 \\ 1 < Re_D < 10^6 \end{array} \right]$$

โดยคุณสมบัติของอากาศทั้งหมดเปิดตาราง A.4[18] ที่มีอุณหภูมิเท่ากับ  $T_{sur}$ , ยกเว้นค่า  $Pr_s$  เปิดตาราง A.4 ที่มีอุณหภูมิเท่ากับ  $T_g$ . ส่วนค่า C และ m หาได้จากตาราง 7.4 หน้า 382[18] เช่น ถ้ามีค่า Reynold's number ( $Re_D$ ) อยู่ระหว่าง  $10^3 - 2 \times 10^5$  จะได้  $C = 0.26$  และ  $m = 0.6$  ; ถ้า  $Pr \leq 10$  จะได้  $n = 0.37$  และถ้า  $Pr > 10$  จะได้  $n = 0.36$

Properties : Table A.4[18], air ( $T_{sur} = 308.35K.$ ) และ  $V = 5m/s., D = 0.075 m.$

$$\nu = 16.73 \times 10^{-6} m^2/s. \quad k = 26.92 \times 10^{-3} W/m.K. \quad Pr = 0.7058$$

และที่  $T_g = 348.15 K.$  จาก table A.4 จะได้  $Pr = 0.7003 = Pr_s$

สามารถหา Reynold's Number ( $Re_D$ )[18]ได้จาก

$$Re_D = \frac{VD}{\nu} = \frac{(5)(0.075)}{16.73 \times 10^{-6}} = 22415$$

จาก Table 7.4 หน้า 382[18] มีค่า  $C = 0.26$ ,  $m = 0.6$  และ  $Pr < 10$  จึงได้  $n = 0.37$

จากสมการ (31) แทนค่าทั้งหมดจะได้

$$Nu_D = (0.26)(22415)^{0.6} (0.7058)^{0.37} \left( \frac{0.7058}{0.7003} \right)^{1/4}$$

$$= 93.36$$



และสามารถหา  $h_{r_2}$  ได้ดังนี้

$$h_{r_2} = \frac{Nu_D \cdot k}{D} = \frac{(93.36)(26.92 \times 10^{-3})}{0.075} = 33.51 \text{ W./m}^2\text{.K.}$$

แทนค่า  $h_{rg}, h_{gs}, h_{r_1}, h_{r_2}$  และ  $\frac{A_2}{A_1} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{0.0375}{0.0142}$  ลงในสมการของ  $U_L$  จะได้

$$U_L = \frac{1}{\frac{1}{11.80 + 6.16} + \frac{1}{(33.51 + 6.60) \left[ \frac{0.0375}{0.0142} \right]}} = 15.36 \text{ W/m}^2\text{.K.}$$

เพราะฉะนั้นสามารถหาอัตราการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในการหุงต้ม ในช่วงเวลา 11.00 น. - 11.30 น. โดยแทนค่า  $I_{bn}, \rho, \gamma, (\tau\alpha)_c, A_a, U_L, A_r, T_r$  และ  $T_{sur}$  ลงในสมการของ  $Q_u$  จะได้

$$Q_u = [(560.91)(0.70)(1)(0.77)(1.17)] - [(15.36)(0.107)(421.15 - 308.35)] \\ = 168.34 \text{ W.}$$

ในช่วงเวลา 30 นาที (11.00 น.-11.30 น.)

จะได้  $Q_u = \frac{168.34 \times 30 \times 60}{1000} = 303.01 \text{ kJ.}$

ในช่วงเวลาอื่นที่เหลือสามารถคำนวณได้ตามวิธีข้างต้น

การหาพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากหม้อหุงต้มสู่บรรยากาศ, ( $Q_{loss}$ )

พิจารณาในช่วงเวลา 11.00 น. - 11.30 น. ในตารางที่ 17 (16 พฤษภาคม 2538)

จากสมการ  $Q_{loss} = h_c A (T_{sf} - T_{sur})^{1.181} \quad (32)$

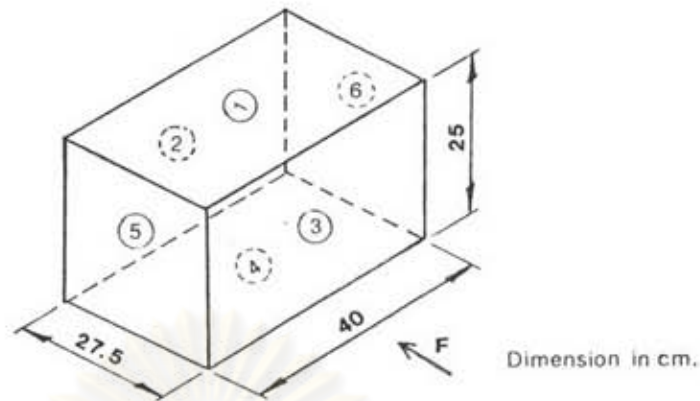
โดย  $Q_{loss}$  - ปริมาณความร้อนที่สูญเสียจาก Pot ให้กับสิ่งแวดล้อม, W.

$h_c$  - The convection heat transfer coefficient., W/m<sup>2</sup>.K.

$A$  - พื้นที่ผิวผนังด้านนอกแต่ละด้านของ pot., m<sup>2</sup>. (ดูรูปที่ 38)

$T_{sf}$  - อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกแต่ละด้านของ pot., °C.

$T_{sur}$  - อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม, °C.



รูปที่ 38 แสดง dimension ของ cooking pot.

จากรูป 38 จะได้พื้นที่ด้านบน (1) และด้านล่าง (4) = 0.11 m<sup>2</sup>  
 พื้นที่ด้านหน้า (3) และด้านหลัง (2) = 0.10 m<sup>2</sup>  
 พื้นที่ด้านข้างซ้าย (5) และด้านข้างขวา (6) = 0.069 m<sup>2</sup>

จากตารางที่ 11 (16 พฤษภาคม 2538)

ในช่วงเวลา 11.00 น. - 11.30 น. จะได้อุณหภูมิผิวผนังด้านนอกแต่ละด้านดังนี้

ด้านบน (1)	$= \frac{36+36}{2} = 36 \text{ }^{\circ}\text{C.}$	ด้านล่าง (4)	$= \frac{38+40}{2} = 39 \text{ }^{\circ}\text{C.}$
ด้านหน้า (3)	$= \frac{36+38}{2} = 37 \text{ }^{\circ}\text{C.}$	ด้านหลัง (2)	$= \frac{37+39}{2} = 38 \text{ }^{\circ}\text{C.}$
ด้านข้างซ้าย (5)	$= \frac{37+39}{2} = 38 \text{ }^{\circ}\text{C.}$	ด้านข้างขวา (6)	$= \frac{36+39}{2} = 38 \text{ }^{\circ}\text{C.}$

จากตารางที่ 17 ในช่วงเวลา 11.00 น. - 11.30 น. ( $T_{sur} = 35.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )

หา  $h_c$  (The convection heat transfer coefficient.) ; W/m<sup>2</sup>.K. ของแต่ละด้านดังนี้

เป็นกรณี force convection (external flow) : The flat-plate in parallel flow.  
 ต้องการค่า  $h_c$  มากที่สุดโดยพิจารณาจากทิศทางของลมที่พัดผ่านขนานกับด้านที่มี dimension น้อยที่สุดของแต่ละพื้นที่ผิวที่กำลังพิจารณา และค่าความเร็วลมที่พัดผ่านหม้อหุงต้มในขณะที่ทำการทดลองใช้  $V = 5\text{m/s}$ . ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

Assumptions :

1. Steady-state conditions.
2. Negligible radiation effects.

พิจารณาพื้นที่ผิวด้านบน (1) : อุณหภูมิที่ผิวเท่ากับ  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ .,  $T_{\text{sur}} = 35.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .,  
 $L = 27.5 \times 10^{-2}\text{ m}$ .

Properties : Table A. 4[18], air ( $T_f = \frac{36 + 35.2}{2} = 35.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . หรือ  $308.75\text{ K}$ )

$$\nu = 16.770 \times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}. \quad k = 26.948 \times 10^{-3}\text{ W/m.K}. \quad \text{Pr} = 0.70578$$

ใช้ค่า Reynold's number (Re)[18] ถ้าน้อยกว่า  $5 \times 10^5$  เป็น laminar flow. For a plate of unit width (L).

$$\begin{aligned} \text{จาก } \text{Re}_L &= \frac{V \cdot L}{\nu} \\ &= \frac{5\text{ m/s} \times 27.5 \times 10^{-2}\text{ m}}{16.770 \times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 81992 < 5 \times 10^5 \therefore \text{ เป็น laminar flow.} \end{aligned}$$

หา Nusselt number (Nu)[18] สำหรับ laminar flow.

$$\begin{aligned} \text{จาก } \text{Nu}_L &= 0.664 \text{Re}_L^{1/2} \text{Pr}^{1/3} \quad 0.6 \leq \text{Pr} \leq 50 \\ &= 0.664(81992)^{1/2} (0.70578)^{1/3} \\ &= 169.28 \end{aligned}$$

ดังนั้น The convection heat transfer coefficient ( $h_c$ ) จะมีค่าเท่ากับ

$$h_c = \frac{\text{Nu}_L k}{L} = \frac{169.28 \times 26.948 \times 10^{-3}\text{ W/m.K.}}{27.5 \times 10^{-2}\text{ m}} = 16.59\text{ W/m}^2.\text{K.}$$

แทนค่าในสมการ (32) จะได้

$$Q_{\text{loss}} \text{ ด้านบน (1)} = \frac{16.59 \times 0.11 \times (36 - 35.2) \times 30 \times 60}{1000} = 2.63\text{ kJ.}$$

พิจารณาพื้นที่ผิวด้านหลัง (2) : อุณหภูมิที่ผิวเท่ากับ  $38^{\circ}\text{C}$ .,  $T_{\text{sur}} = 35.2^{\circ}\text{C}$ .,

$$L = 25 \times 10^{-2} \text{ m.}$$

Properties : Table A. 4<sup>[18]</sup>, air ( $T_f = \frac{38 + 35.2}{2} = 36.6^{\circ}\text{C}$ . หรือ  $309.75 \text{ K}$ )

$$\nu = 16.871 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.} \quad k = 27.022 \times 10^{-3} \text{ W/m.K.} \quad \text{Pr} = 0.70564$$

เช็คค่า Reynold's number (Re)<sup>[18]</sup> ถ้าน้อยกว่า  $5 \times 10^5$  เป็น laminar flow. For a plate of unit width (L).

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{Re}_L &= \frac{V \cdot L}{\nu} \\ &= \frac{5 \text{ m/s} \times 25 \times 10^{-2} \text{ m}}{16.871 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 74092 < 5 \times 10^5 \therefore \text{เป็น laminar flow.} \end{aligned}$$

หาค่า Nusselt number (Nu)<sup>[18]</sup> สำหรับ laminar flow.

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{Nu}_L &= 0.664 \text{Re}_L^{1/2} \text{Pr}^{1/3} \quad 0.6 \leq \text{Pr} \leq 50 \\ &= 0.664(74092)^{1/2} (0.70564)^{1/3} \\ &= 160.91 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และ} \quad h_c &= \frac{\text{Nu}_L k}{L} \\ &= \frac{160.91 \times 27.022 \times 10^{-3} \text{ W/m.K.}}{25 \times 10^{-2} \text{ m}} \\ &= 17.39 \text{ W/m}^2\text{.K.} \end{aligned}$$

แทนค่าในสมการ (32) จะได้

$$Q_{\text{loss}} \text{ ด้านหลัง (2)} = \frac{17.39 \times 0.10 \times (38 - 35.2) \times 30 \times 60}{1000} = 8.76 \text{ kJ.}$$

พิจารณาพื้นที่ผิวด้านหน้า (3) : อุณหภูมิที่ผิวเท่ากับ  $37^{\circ}\text{C}$ .,  $T_{\text{sur}} = 35.2^{\circ}\text{C}$ .,

$$L = 25 \times 10^{-2} \text{ m.}$$

Properties : Table A. 4<sup>[18]</sup>, air ( $T_f = \frac{37 + 35.2}{2} = 36.1^{\circ}\text{C}$ . หรือ  $309.25 \text{ K}$ )

$$\nu = 16.821 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.} \quad k = 26.985 \times 10^{-3} \text{ W/m.K.} \quad \text{Pr} = 0.70571$$

เช็คค่า Reynold's number (Re)<sup>[18]</sup> ถ้าน้อยกว่า  $5 \times 10^5$  เป็น laminar flow. For a plate of unit width (L).

จาก  $Re_L = \frac{V \cdot L}{\nu}$

$$= \frac{5 \text{ m/s} \times 25 \times 10^{-2} \text{ m}}{16.821 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= 74312 < 5 \times 10^5 \therefore \text{เป็น laminar flow.}$$

หา Nusselt number (Nu)<sup>[18]</sup> สำหรับ laminar flow.

จาก  $Nu_L = 0.664 Re_L^{1/2} Pr^{1/3} \quad 0.6 \leq Pr \leq 50$

$$= 0.664 (74312)^{1/2} (0.70571)^{1/3}$$

$$= 161.15$$

และ  $h_c = \frac{Nu_L k}{L}$

$$= \frac{161.15 \times 26.985 \times 10^{-3} \text{ W/m.K.}}{25 \times 10^{-2} \text{ m}}$$

$$= 17.39 \text{ W/m}^2\text{.K.}$$

แทนค่าในสมการ (32) จะได้

$$Q_{\text{loss}} \text{ ด้านหน้า (3)} = \frac{17.39 \times 0.10 \times (37 - 35.2) \times 30 \times 60}{1000} = 5.63 \text{ kJ.}$$

พิจารณาพื้นที่ผิวด้านล่าง (4) : อุณหภูมิที่ผิวเท่ากับ  $39^\circ\text{C.}$ ,  $T_{\text{sur}} = 35.2^\circ\text{C.}$ ,

$$L = 27.5 \times 10^{-2} \text{ m.}$$

Properties : Table A. 4<sup>[18]</sup>, air ( $T_f = \frac{39 + 35.2}{2} = 37.1^\circ\text{C.}$  หรือ  $310.25 \text{ K}$ )

$$\nu = 16.921 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.} \quad k = 27.059 \times 10^{-3} \text{ W/m.K.} \quad Pr = 0.70557$$

ใช้ค่า Reynold's number (Re)<sup>[18]</sup> ถ้าน้อยกว่า  $5 \times 10^5$  เป็น laminar flow. For a plate of unit width (L).

จาก  $Re_L = \frac{V \cdot L}{\nu}$

$$= \frac{5 \text{ m/s} \times 27.5 \times 10^{-2} \text{ m}}{16.921 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= 81260 < 5 \times 10^5 \therefore \text{เป็น laminar flow.}$$

หา Nusselt number ( $Nu$ ) [18] สำหรับ laminar flow.

$$\begin{aligned} \text{จาก } Nu_L &= 0.664 Re_L^{1/2} Pr^{1/3} \quad 0.6 \leq Pr \leq 50 \\ &= 0.664 (81260)^{1/2} (0.70557)^{1/3} \\ &= 168.51 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และ } h_c &= \frac{Nu_L k}{L} \\ &= \frac{168.51 \times 27.059 \times 10^{-3} \text{ W/m.K.}}{27.5 \times 10^{-2} \text{ m}} \\ &= 16.58 \text{ W/m}^2\text{.K.} \end{aligned}$$

แทนค่าในสมการ (32) จะได้

$$Q_{\text{loss}} \text{ ด้านล่าง (4)} = \frac{16.58 \times 0.11 \times (39 - 35.2) \times 30 \times 60}{1000} = 12.47 \text{ kJ.}$$

พิจารณาพื้นที่ผิวด้านข้างซ้าย (5) และด้านข้างขวา (6) : อุณหภูมิที่ผิวเท่ากับ  $38^\circ\text{C}$ . ทั้ง 2 ด้าน,  $T_{\text{sur}} = 35.2^\circ\text{C}$ ,  $L = 25 \times 10^{-2} \text{ m}$ . จะได้ Properties เช่นเดียวกับพื้นที่ผิวด้านหลัง (2) เพราะฉะนั้นจะได้

$$h_c \text{ ของพื้นที่ผิวด้านข้างซ้าย (5)} = h_c \text{ ของพื้นที่ผิวด้านข้างขวา (6)} = h_c \text{ ของพื้นที่ผิวด้านหลัง (2)} = 17.39 \text{ W/m}^2\text{.K.}$$

แทนค่าในสมการ (32) จะได้

$$Q_{\text{loss}} \text{ ด้านข้างซ้าย (5)} = \frac{17.39 \times 0.069 \times (38 - 35.2) \times 30 \times 60}{1000} = 6.05 \text{ kJ.}$$

$$Q_{\text{loss}} \text{ ด้านข้างขวา (6)} = \frac{17.39 \times 0.069 \times (38 - 35.2) \times 30 \times 60}{1000} = 6.05 \text{ kJ.}$$

เพราะฉะนั้นจะได้  $Q_{\text{loss}}$  ในช่วงเวลาดังกล่าว จากการเฉลี่ยค่าทั้งหมดทั้ง 6 ด้านคือ

$$\begin{aligned} Q_{\text{loss}} &= \frac{2.63 + 8.76 + 5.63 + 12.47 + 6.05 + 6.05}{6} \\ &= 6.93 \text{ kJ.} \end{aligned}$$

ในช่วงเวลาที่เหลือสามารถคำนวณได้ตามวิธีข้างต้น

การหาประสิทธิภาพของวงจรรวมแสงแบบพาราโบลิก ( $\eta_a$ ) และหม้อหุงต้ม ( $\eta_p$ )

พิจารณาจากช่วงเวลา 11.00 น. - 11.30 น. ในตารางที่ 17 (16 พฤษภาคม 2538)

จากสมการ 
$$\eta_a = \frac{Q_u}{I_{bn} \times A_a}$$

โดย 
$$\begin{aligned} Q_u &= 168.34 \text{ W. หรือ } 303.01 \text{ kJ.} \\ I_{bn} &= 560.91 \text{ W/m}^2. \\ A_a &= 1.17 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

แทนค่าจะได้ 
$$\eta_a = \frac{168.34}{560.91 \times 1.17} = 0.26$$

และประสิทธิภาพของหม้อหุงต้ม ( $\eta_p$ ) สามารถหาได้จาก

$$\eta_p = \frac{Q_u - Q_{loss}}{Q_u}$$

โดย 
$$\begin{aligned} Q_u &= 303.01 \text{ kJ.} \\ Q_{loss} &= 6.93 \text{ kJ.} \end{aligned}$$

แทนค่าจะได้ 
$$\eta_p = \frac{303.01 - 6.93}{303.01} = 0.98$$

ช่วงเวลาที่เหลือสามารถคำนวณได้ตามวิธีข้างต้น

สรุปการหุงต้มในครั้งนี้ ใช้พลังงานความร้อนในการหุงข้าวทั้งสิ้น ตั้งแต่เวลา 11.00 น.-

13.30 น.

รวมพลังงานที่ใช้หุงต้มทั้งหมด  $Q_u = 1,626.47 \text{ kJ.}$

รวมพลังงานที่สูญเสียจาก Pot สูบบรรยากาศ  $Q_{loss} = 140.31 \text{ kJ.}$

ประสิทธิภาพของวงจรรวมแสงเฉลี่ย  $\eta_{avr} = 26\%$

ประสิทธิภาพของหม้อหุงต้มเฉลี่ย  $\eta_{pavr} = 91\%$

การทดลองครั้งนี้สามารถหุงข้าว, ทำไข่มุนและไข่มต้มได้โดยไม่ต้องเสรมไฟฟ้า



ภาคผนวก ข.

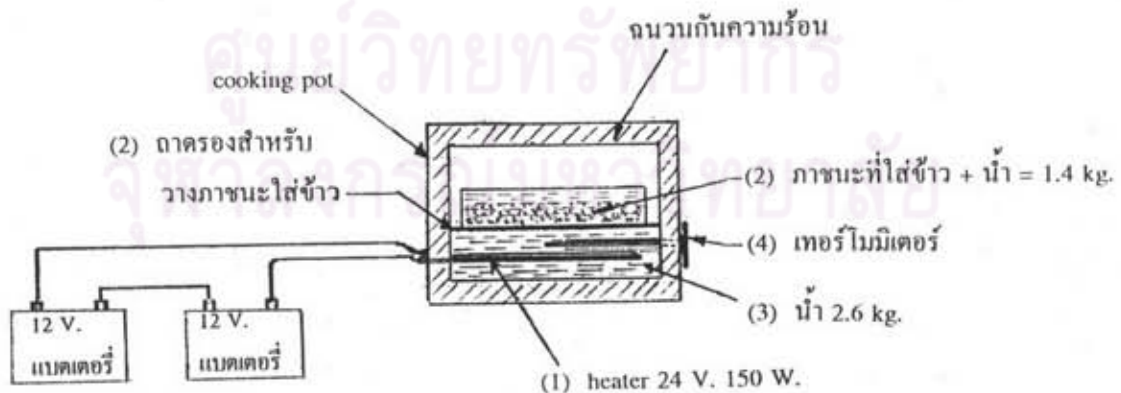
การออกแบบและกำหนดขนาดแผงรับแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



**การออกแบบพื้นที่โรงพาราโบลิค**

เริ่มจากเราต้องการหุงข้าวขนาดรับประทาน 3 คน (ปริมาณข้าว 3 ถ้วยตวง (0.48 kg) + น้ำ 5 ถ้วยตวง รวมกันแล้วมีน้ำหนักทั้งหมด 1.4 kg.) จึงเริ่มทำการออกแบบส่วนที่เป็น Cooking Pot. ขึ้นมาในลักษณะเดียวกับซึ่งหุงข้าวคือใช้แผ่นสแตนเลสมาขึ้นรูปเป็นกล่องสี่เหลี่ยมขนาดพอเหมาะที่จะวางภาชนะใส่ข้าวหุงตามจำนวนดังกล่าวได้ ทำเป็นกล่องไล่ระดับเหมือนชั้นบันได ส่วนช่องว่างระหว่างผิวด้านนอกกับด้านในจะหุ้มด้วยฉนวนใยแก้ว (Glass Wool) สำหรับกันความร้อนไม่ให้สูญเสียออกสู่ภายนอก ดังรูปที่ 15 (ขนาดที่ออกแบบแสดงไว้ในภาคผนวก จ.) และในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดไว้ว่าถ้ามีการเสริมด้วยไฟฟ้าในกรณีที่ไม่เพียงพอจะต้องเป็นไฟกระแสตรง (DC.) จากแบตเตอรี่ จึงเลือกใช้ Heater ที่ใช้กับไฟ (DC.) Volt. ต่ำ ๆ 12 V. หรือ 24 V. ตามปกติแล้ว Heater จะใช้กับไฟกระแสสลับ (AC) Volt สูง ๆ เช่น 110 V., 220 V. ที่ใช้กับ Volt. ต่ำ ๆ มีน้อย เพราะต้องใช้ลวดความต้านทานที่เล็กมากและได้รับความช่วยเหลือจากร้านไอเจริณีสเตอร์ทำให้ต่ำสุด 24 V. 150 W. ก็ต้องใช้ไฟจากแบตเตอรี่ 2 ลูกนั่นเอง จึงเลือกใช้ Heater 24 Volt 150 W. คิดในส่วนล่างของ Pot. ดังรูป (หมายเลข 1.) หลังจากนั้นจึงทดลองหุงข้าวโดยเตรียมภาชนะใส่ข้าวปริมาณดังกล่าววางบนที่รองรับ ดังรูป (หมายเลข 2.) และใส่น้ำลงในส่วนล่าง (หมายเลข 3.) ของหม้อหุงต้มประมาณ 2,600 cc. ติดเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของน้ำในส่วนนี้ ดังรูป (หมายเลข 4.) เนื่องจาก Pot. นี้ไม่มีระบบตัดไฟเมื่อข้าวสุก จึงใช้วิธีทดลองเปิดฝาหม้อดู ทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง (จะต้องเปิดและปิดอย่างรวดเร็วป้องกันการสูญเสียความร้อน) ปรากฏว่า ใช้เวลาหุงข้าวสุกโดยใช้ Heater จากไฟแบตเตอรี่ 2 ชั่วโมง 30 นาที อ่านอุณหภูมิใน Pot. สูงสุดได้เท่ากับ 92°C ดังตารางที่ 19



รูปที่ 39 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองหุงข้าวโดยไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

จาก Heater 24 V. 150 W. หุงข้าวสุก 2 ชั่วโมง 30 นาที พลังงานความร้อนที่ทำให้ข้าวสุกตามต้องการจึงเท่ากับ

$$Q_u = \frac{(2.5 \times 150 \times 60 \times 60)}{1000} = 1,350 \text{ kJ.}$$

ตารางที่ 19 แสดงผลการทดลองหุงข้าวด้วยเบคเตอรี

เวลา (นาที)	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $^{\circ}\text{C}$ )	อุณหภูมิภายใน Pot. ( $^{\circ}\text{C}$ )
30	27.2	45
60	28.5	58
90	30.2	73
120	31.9	89
150	31.2	92

ดังนั้นพลังงานความร้อนที่ทำให้ข้าวสุกตามต้องการเท่ากับ 1,350 kJ. เพื่อความสะดวกในการคำนวณ สมมุติให้อัตราการใช้พลังงานความร้อนแต่ละชั่วโมงมีค่าคงที่

ดังนั้น อัตราการใช้พลังงานต่อชั่วโมง มีค่าเท่ากับ

$$= \frac{\text{พลังงานที่ต้องการทั้งหมด}}{\text{เวลาในการหุงทั้งหมด}}$$

$$= \frac{1,350 \text{ kJ}}{150 \text{ นาที}} = 9.0 \text{ kJ/min}$$

หลังจากนั้นจึง ไปออกแบบขนาดแผงรับแสงอาทิตย์ที่สามารถหุงข้าวสุกโดยใช้เวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมงครึ่ง หรือให้อัตราการใช้พลังงานเท่ากับ 9 kJ. ต่อ 1 นาที ดังกล่าว เพราะฉะนั้นการหุงข้าวโดยแสงอาทิตย์จะต้องใช้พลังงานจำนวนเท่ากับ

$$(9.0 \text{ kJ/min}) \times (150 \text{ นาที}) = 1,350 \text{ kJ.}$$

จากความต้องการพลังงานแสงอาทิตย์ในการหุงข้าว 1 ครั้ง (อย่างน้อย 2 ชั่วโมง 30 นาที) มีค่าเท่ากับ 1,350 kJ. หรือ  $\frac{1350 \times 1000}{2.5 \times 60 \times 60} = 150 \text{ W.}$

สำหรับรังสีตรงที่ตกตั้งฉากกับพื้นที่ของแผงรวมแสงเฉลี่ยที่วัดในกรุงเทพมหานคร จะมีค่าประมาณวันละ  $452.23 \text{ W/m}^2$  โดยเฉลี่ยมาจาก 3 วัน (22 มีนาคม, 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม) จากข้อมูล สจธ. จะได้รังสีรวม ( $I_G$ ), รังสีกระจาย ( $I_d$ ) และค่า correction factor คังตารางที่ 20 โดย  $I_b = I_G - I_d$ , โดย  $I_d'$  คือ  $I_d \times \text{correction factor}$  จะได้  $I_b$  ในแนว horizontal surface หลังจากนั้นสามารถหารังสีตรงที่ตกตั้งฉากกับพื้นที่ของแผงรวมแสง  $I_{bn}$  ได้ จากสมการ  $I_{bn} = I_b (\cos \theta_i / \cos \theta_z)$  คังตัวอย่างการคำนวณหน้า 49

ในที่นี้ค่ารังสีตรงที่ต้องการนำไปใช้ออกแบบพื้นที่รางพาราโบลิก จะได้จากการเฉลี่ยค่ารังสีตรงในช่วงเวลาที่มีความเข้มของแสงอาทิตย์สูงคือ ช่วงเวลา 11.00 น. - 14.00 น. ของทั้ง 3 วัน คังตารางที่ 20 (กรุงเทพมหานคร,  $\phi = 14$  องศาเหนือ)

ตารางที่ 20 แสดงค่าเฉลี่ยของรังสีตรงที่ตกตั้งฉากกับ aperture plane

วันที่	Solar noon	Declination (degree)	Correction factor	Time Type	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	ค่าเฉลี่ย รังสีตรง, $\text{W/m}^2$
					12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	
22 มี.ค.	12.26	0	1.20	G	744.44	625.00	619.44	514.02
				d	109.97	84.88	100.78	
				d'	131.96	101.86	120.94	
				b	612.48	523.14	498.50	
				$\cos \theta_z$	0.903	0.964	0.960	
				$\cos \theta_i$	0.822	0.931	0.923	
				bn	557.54	505.23	479.29	
21 มิ.ย.	12.20	23.45	1.16	G	708.33	672.22	716.67	485.13
				d	183.23	147.84	178.23	
				d'	212.55	171.49	206.75	
				b	495.78	500.73	509.92	
				$\cos \theta_z$	0.933	0.983	0.973	
				$\cos \theta_i$	0.875	0.968	0.949	
				bn	464.96	493.09	497.34	
21 ธ.ค.	12.17	-23.45	1.11	G	838.89	786.11	650.00	357.55
				d	271.74	287.22	241.39	
				d'	301.63	318.81	267.94	
				b	537.26	467.30	382.06	
				$\cos \theta_z$	0.744	0.791	0.778	
				$\cos \theta_i$	0.559	0.627	0.608	
				bn	403.67	370.41	298.58	

หมายเหตุ  $G = I_G$     $d = I_d$     $d' = I_d'$     $b = I_b$    และ  $bn = I_{bn}$

จากตารางที่ 20 จะได้  $I_{bn(aver)} = \frac{514.02 + 485.13 + 357.55}{3} = 452.23 \text{ W/m}^2$

เพราะเหตุว่ารังสีตรงขึ้นอยู่กับมุมฤดูกาล (Declination angle),  $\delta$  โดยเป็นค่าของมุมที่วัด ณ จุดศูนย์กลางของโลก อันเกิดจากรังสีตรงกระทำกับระนาบศูนย์สูตรของโลก มุมนี้เป็นผลจากการที่แกนของโลกเอียงทำมุม  $23.45^\circ$  มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตลอดปี ตามวงโคจรของโลก มีมุมเท่ากับ  $+23.45^\circ$  ในวันที่ 21 มิถุนายน (ซีกโลกเหนือเป็นฤดูร้อน, ซีกโลกใต้เป็นฤดูหนาว), มีมุมเท่ากับ  $-23.45^\circ$  ในวันที่ 21 ธันวาคม (ซีกโลกเหนือเป็นฤดูหนาว, ซีกโลกใต้เป็นฤดูร้อน) ทั้ง 2 วันดังกล่าวจุดบนทางโคจรของโลกและการเอียงของแกนหมุนของโลกจะมีผลต่อแสงอาทิตย์บนโลกมากที่สุด และมีมุมเท่ากับ  $0^\circ$  ในวันที่ 22 มีนาคม โดยจุดบนทางโคจรของโลกและการเอียงของแกนหมุนของโลกไม่มีผลต่อแสงอาทิตย์บนโลก

ที่มุม Declination  $23.45^\circ$  โลกจะโคจรในระยะห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุด และจะโคจรเข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด ที่มุม Declination มีค่า  $0^\circ$

ค่ามุม Declination ของวันต่าง ๆ ในรอบปีหาได้จาก

$$\delta = 23.45 \sin \left[ 360 \frac{284 + n}{365} \right]$$

โดย  $n$  คือ อันดับวันที่นับจากต้นปี (วันที่ในรอบปี) มาถึงวันที่สังเกต

การสำรวจผลงานวิจัยที่ผ่านมาประสิทธิภาพของรางรวมแสงมีค่าประมาณ 30-45% จึงสมมติให้ประสิทธิภาพของรางรวมแสงพาราโบลิกมีค่าประมาณ 30% (ประเมินขั้นต่ำสุด)

$$\text{จาก ประสิทธิภาพของรางรวมแสง} = \frac{\text{จำนวนพลังงานที่ต้องการ}}{\text{ความเข้มของแสงอาทิตย์} \times \text{พื้นที่ของรางรวมแสง}}$$

เพราะฉะนั้น พื้นที่รางรวมแสงพาราโบลิก ( $A_s$ ) =  $\frac{150 \text{ W.}}{452.23 \text{ W/m}^2 \times 0.3}$   
=  $1.11 \text{ m}^2$

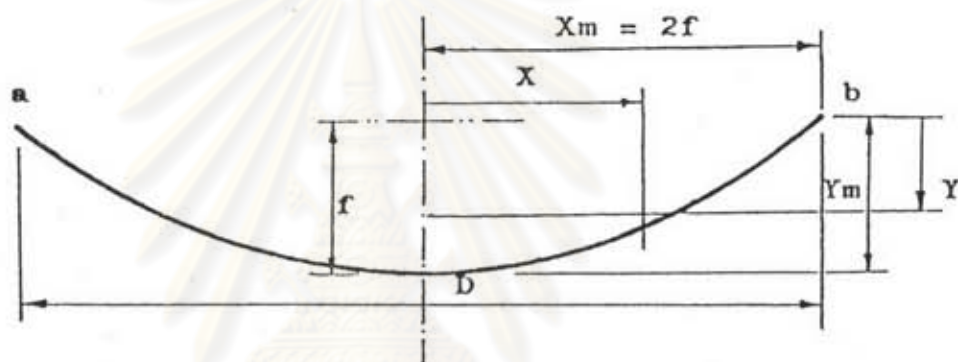
แต่  $A_s$  = พื้นที่ของรางพาราโบลิกที่รับแสงโดยตรง,  $\text{m}^2$ .

จะได้  $1.11 \text{ m}^2 = (\text{ความกว้าง} - \phi \text{ ของท่อแก้ว}) \times \text{ความยาวของราง} \quad (33)$

### การคำนวณหาขนาดของรางพาราโบลิก

เริ่มจากเราทราบอยู่แล้วว่าแผ่นสแตนเลสที่มาทำเป็นรางรวมแสงพาราโบลิกแต่ละแผ่น มีขนาดที่แน่นอนคือ  $1.20 \times 2.40$  m. จึงนำความกว้างของแผ่นสแตนเลส 1.20 m. ไปหาความกว้างของรางพาราโบลิก, ขนาดของท่อรับแสง, ระยะโฟกัส, ความเข้มของการรวมแสง ( $C_R$ ) ดังต่อไปนี้

#### 1. ความยาวโฟกัสของรางพาราโบลิก



รูปที่ 40 แสดงตำแหน่งจุดอ้างอิงต่าง ๆ บนโค้งพาราโบลิก

จากสมการ (7) ของทฤษฎีการรวมแสง

$$Y_m = \frac{X_m^2}{4f} \quad (34)$$

จากสมการเส้นรอบรูป,  $S$  จะได้ว่า

$$S = \int_{x=a}^{x=b} \sqrt{1 + \left(\frac{dY}{dX}\right)^2} \cdot dX \quad (35)$$

diff. สมการ (34) ;  $\left(\frac{dY_m}{dX_m}\right) = \frac{X_m}{2f}$

และ 
$$\left(\frac{dY_m}{dX_m}\right)^2 = \frac{1}{4f^2} X_m^2 \quad (36)$$

จากสมการ (14) ของทฤษฎีการรวมแสง เมื่อพาราโบลามี Rim Angle = 90 องศา

$$D = 4f$$

จากรูปที่ 40  $D = 2X_m$

เพราะฉะนั้น  $4f = 2X_m$

หรือ  $X_m = 2f$

แทนค่าสมการ (36) ลงในสมการ (35)

จะได้ 
$$S = 2 \int_{X_m=0}^{X_m=2f} \sqrt{1 + \frac{1}{4f^2} X_m^2} \cdot dX_m$$

$$S = \frac{1}{f} \int_{X_m=0}^{X_m=2f} \sqrt{4f^2 + X_m^2} \cdot dX_m$$

$$S = \frac{1}{f} \left[ \frac{X_m \sqrt{X_m^2 + 4f^2}}{2} + \frac{4f^2}{2} \ln(X_m + \sqrt{X_m^2 + 4f^2}) \right] \Bigg|_{X_m=0}^{X_m=2f}$$

$$S = \sqrt{8}f + 2f \ln(2f + \sqrt{8}f) - 2f \ln(2f)$$

แต่ S เป็นความยาวเส้นโค้งของพาราโบลา ซึ่งมีความยาวเท่ากับความกว้างของแผ่นสแตนเลส 120 cm.)

เพราะฉะนั้น  $120 = \sqrt{8}f + 2f[\ln(4.8284f) - \ln(2f)]$

โดยการ iteration จะได้ว่า

$$\text{ระยะความยาวโฟกัส (f)} = 26.14 \text{ cm.}$$

แต่รางรับแสงชุดนี้ เลือกใช้ระยะโฟกัส = 26.20 cm.

## 2. ขนาดความกว้างของราง

จากสมการ (14) ของทฤษฎีการรวมแสง จะได้ว่า

$$\text{ความกว้างของรางพาราโบลิก} = 4 \text{ เท่าของความยาวโฟกัส}$$

$$= 4 \times 26.20 \text{ cm.}$$

$$= 104.8 \text{ cm.}$$

### 3. ขนาดของท่อรับแสง

จากหัวข้อที่ 4 ของทฤษฎีการรวมแสง จะได้ว่า "ขนาดของท่อรับแสงที่เล็กที่สุดเท่ากับ 0.0186 เท่าของระยะความยาวโฟกัส"

เพราะฉะนั้น ขนาดของท่อรับแสงของรางชุดนี้ ในทางทฤษฎี

$$= 0.0186 \times 26.20$$

$$= 0.48732 \text{ cm.}$$

ในทางปฏิบัติได้เลือกใช้ท่อขนาดที่มีความเหมาะสมซึ่งเท่ากับ 2.83 cm.

(เหตุผลดูหัวข้อที่ 4 บทที่ 3)

ดังนั้น ขนาดของท่อจึงโตกว่าทางทฤษฎี ประมาณ 5.81 เท่า

หลังจากได้ขนาดของท่อรับแสงซึ่งเท่ากับ 2.83 cm แล้ว จึงไปเลือกขนาดของท่อแก้ว Pyrex ที่สามารถจะสวมครอบท่อรับแสงได้เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนโดยการพาของลม ได้ขนาดที่เหมาะสมและมีจำหน่าย (เพราะท่อแก้ว Pyrex เป็นสินค้าที่ต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ) เท่ากับ 75 mm. OD. และ 70 mm. ID. หนา 2.5 mm.

จากสมการ (33)  $1.11 \text{ m}^2 = (\text{ความกว้างของราง} - \phi \text{ ของท่อแก้ว}) \times \text{ความยาวของราง}$

แทนค่า  $1.11 \text{ m}^2 = (1.048 \text{ m} - 0.075 \text{ m}) \times \text{ความยาวของราง}$

$$\text{จะได้ ความยาวของราง} = \frac{1.11}{(1.048 - 0.075)} = 1.14 \text{ m.}$$

ในการวิจัยครั้งนี้จึงเลือกความยาวของรางเท่ากับ 1.20 m.

### 4. ความเข้มของการรวมแสง

จากสมการ (1) ของทฤษฎีการรวมแสง

$$\text{ความเข้มของการรวมแสง } (C_R) = \frac{A_m}{A_i} = \frac{DL}{\pi dL}$$

โดยที่

$$D = 104.8 \text{ cm.}$$

$$L = 120 \text{ cm.}$$

$$d = 2.83 \text{ cm.}$$

เพราะฉะนั้น

$$C_R = \frac{104.8 \times 120}{\pi \times 2.83 \times 120}$$

$$= 11.7876$$

แต่จากหัวข้อที่ 3 ของทฤษฎีการรวมแสง จะได้ว่า


"ความเข้มสูงสุดของการรวมแสงทางทฤษฎีเท่ากับ 68.3"

ดังนั้น ความเข้มสูงสุดของการรวมแสงของรางชุดนี้ น้อยกว่าทางทฤษฎีประมาณ 5.79 เท่า



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก ก.

หลักการการทำงานของท่อความร้อน (Heat pipe) แบบมีวิกต์ (Wick) [17]

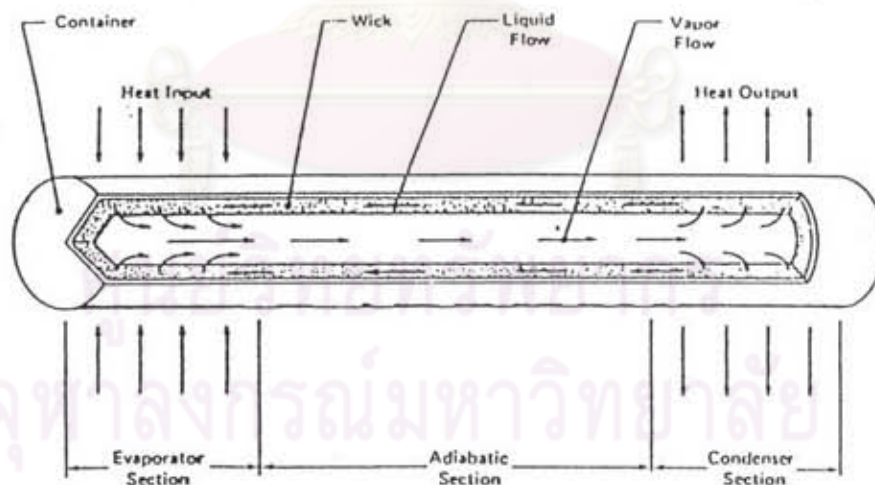
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Heat Pipe ท่อความร้อน

Heat pipe ประกอบด้วยท่อปิดสนิทที่ภายใน เป็นสุญญากาศและบรรจุด้วยของเหลวใช้งาน ที่ผนังด้านในของท่อจะมีวิกส์ (Wick)

หลักการการทำงานของฮีทไปป์

คือ ที่ช่วงการระเหยของท่อฮีทไปป์ ความร้อนจะไหลจากแหล่งให้ความร้อนผ่านผนังท่อไปยังวิกส์ เพื่อไประเหยของเหลวใช้งานภายใต้สภาวะสุญญากาศ ของเหลวใช้งานจะระเหยกลายเป็นไอได้โดยง่าย และไอที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วไปตามท่อ ไปยังช่วงการควบแน่นโดยผ่านช่วงกั้นกลางระหว่างช่วงระเหยและช่วงการควบแน่น ซึ่งในช่วงนี้จะไม่มีการรับความร้อน หรือคายความร้อนให้กับระบบภายนอก ที่ช่วงการควบแน่น ไอของของเหลวใช้งานจะควบแน่นกลับไปเป็นของเหลว และความร้อนแฝงที่ถูกคายออกจะไหลออกจากท่อไปสู่แหล่งรับความร้อน ของเหลวควบแน่นจะไหลกลับไปยังช่วงการระเหยโดยแรงตอร์ซิวของวิกส์



รูปที่ 41 ส่วนประกอบและการวิเคราะห์การทำงานในฮีทไปป์

### โครงสร้าง

รูปที่ 41 แสดงโครงสร้างของ Heat Pipe จากรูปนี้ Heat pipe ประกอบด้วยภาชนะบรรจุ (Container), วิกส์ (Wick), ของไหลใช้งาน (Working Fluid) ซึ่งเป็ยกเต็มช่องว่างในวิกส์ และช่องว่างสำหรับไอไหล ถ้ามองตามความยาวในแนวนอน Heat pipe จะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง

คือ ช่วงการระเหย ช่วงการควบแน่น และช่วง Adiabatic (ไม่มีการรับหรือคายความร้อน) ซึ่งกันระหว่างช่วงการควบแน่นและช่วงการระเหย

Heat Pipe ทำขึ้นได้โดยการติดวิกต์ให้แนบชิดกับผนังในของภาชนะ จากนั้นใช้ปั๊มสุญญากาศดึงอากาศภายในภาชนะออก แล้วเติมของเหลวใช้งานในปริมาณเหมาะสม (20% ของปริมาตรท่อ) ก่อนปิดผนึก รูปร่างของภาชนะส่วนใหญ่จะเป็นรูปทรงกระบอกแต่ก็มีการสร้างรูปร่างต่าง ๆ ตามความเหมาะสมกับการใช้งาน

ในการออกแบบ Heat Pipe ก่อนอื่นต้องเลือกของเหลวใช้งานที่เหมาะสมที่สุดกับช่วงอุณหภูมิใช้งาน ต่อไปก็เลือกวัสดุวิกต์และภาชนะ ในการเลือกวัสดุนี้ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของวัสดุภาชนะกับสิ่งแวดล้อมภายนอก และความเข้ากันได้ระหว่างวิกต์, ภาชนะ และของไหลใช้งาน ถ้าเลือกชนิดของวัสดุไม่ถูกต้องอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีบ้าง การผุกร่อนบ้าง และเกิดก๊าซขึ้นบ้าง ทำให้สมรรถนะของ Heat Pipe ตกต่ำลงได้ การเลือกวัสดุผิดเช่นนี้เรียกว่า "ความเข้ากันได้ไม่ดี" (Incompatibility)

จากตารางที่ 1 ได้แสดงช่วงอุณหภูมิใช้งานของของไหลใช้งานแต่ละชนิด และความเข้ากันได้กับวัสดุวิกต์ และภาชนะดังนี้

ของเหลว ใช้งาน	วัสดุวิกต์และภาชนะ				ช่วงอุณหภูมิใช้งาน (°C)								
	ทองแดง	อลูมิเนียม	สแตนเลส	นิกเกิล	-100	0	100	200	300	400	500	600	700
แอมโมเนีย	×	○	○	○	[Bar chart showing operating range from -100 to 100°C]								
ฟรียอน		○			[Bar chart showing operating range from 0 to 100°C]								
อะเซโตน	○	○	○	○	[Bar chart showing operating range from 0 to 200°C]								
เมทานอล	○	×	×	○	[Bar chart showing operating range from 0 to 200°C]								
น้ำ	○	×	×	○	[Bar chart showing operating range from 100 to 200°C]								
Dowtherm A (300)	○		○	○	[Bar chart showing operating range from 200 to 300°C]								
ปรอท			○	×	[Bar chart showing operating range from 300 to 600°C]								
โซเดียม			○	○	[Bar chart showing operating range from 500 to 1200°C]								

○ เข้ากันได้    × เข้ากันไม่ได้



## 1. ของไหลใช้งาน (Working Fluid)

ตารางที่ 1 สามารถใช้เลือกของไหลใช้งานที่สามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิที่  
ต้องการของ Heat Pipe.

ต่อไปนี้เป็นคุณสมบัติที่ของไหลใช้งานที่ดีพึงมี

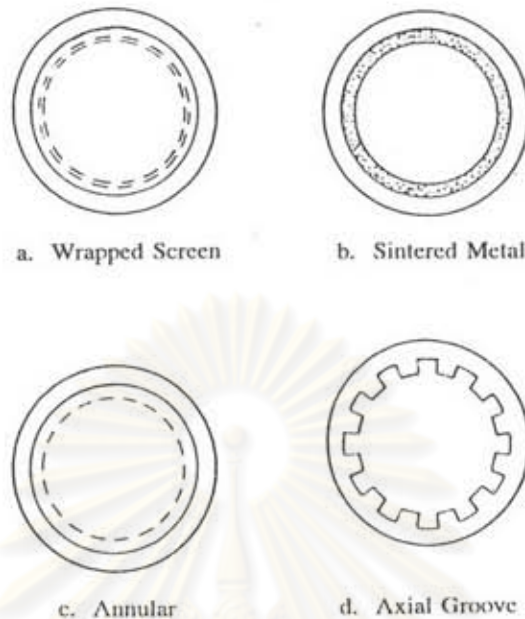
- (1) เข้ากันได้ดีกับวัสดุwickและภาชนะ
- (2) มีเสถียรภาพเชิงความร้อนสูง
- (3) เปิดกั้ทั้งตัวwick และผนังภาชนะได้ดี
- (4) ความดันไอภายในช่วงอุณหภูมิใช้งานมีค่าที่เหมาะสม
- (5) มีค่าความร้อนแฝงในการระเหย (ความแน่น) สูง
- (6) มีค่าการนำความร้อนสูง
- (7) มีความหนืดน้อยไม่ว่าจะอยู่ในสถานะของเหลว หรือเมื่อระเหยกลายเป็นไอแล้ว
- (8) มีแรงดึงผิวสูง
- (9) จุดแข็งตัว หรือจุดหลอมเหลวมีค่าเหมาะสม

อนึ่ง เลื่อนใจที่ว่าของเหลวใช้งานมีแรงดึงผิวสูงนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็นที่สุด เหตุที่  
เป็นเช่นนั้นเพราะ Heat Pipe จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อแรงที่อู้ซึมสามารถเอาชนะแรงโน้มถ่วงได้  
เท่านั้น

เรานิยมใช้น้ำเป็นของเหลวใช้งานในช่วงอุณหภูมิห้องถึง 200°C, เมทธานอล  
หรืออน, แอมโมเนียม ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง และโลหะเหลว เช่น ปรอท, โซเดียม  
ในช่วงอุณหภูมิสูงมาก ๆ สำหรับอุณหภูมิในช่วงกั้กลางระหว่างน้ำและโลหะเหลวนั้น ก็อาจใช้  
ของเหลวอินทรีย์ เช่น Dowtherm A (300)

## 2. Wick (Wick)

ของที่ใช้ทำหน้าที่เป็นwick มีรูปแบบ รูปร่าง และวัสดุชนิดต่าง ๆ (ดูรูปที่ 42) จะมี  
wickแบบเนื้อที่สม่ำเสมอ ดังเช่นตาข่ายโลหะ, วัสดุพูน (แบบฟองน้ำ), เส้นใย, Sintered Metal  
เป็นต้น นอกจากนี้ก็มีการเจาะร่องเล็ก ๆ บนผนังในของภาชนะเพื่อให้ทำหน้าที่เป็นwickอีกด้วย  
เช่น Grooved Wick



รูปที่ 42 แสดงตัวอย่างของ Wick แบบต่าง ๆ ที่นิยมใช้กัน

หน้าที่ของวิกค์ คือการสร้างแรงดันต่อรูเข็ม เพื่อดันของเหลวใช้งานจากช่วงการควบแน่นกลับขึ้นไปช่วงการระเหย และการกระจายของเหลวใช้งานทั่วเส้นรอบวงของผนังในช่วงการระเหย (นั่นคือช่วงรับความร้อน) ของ Heat Pipe อย่างทั่วถึง

อนึ่ง ความดันต่อรูเข็มสูงสุดที่วิกค์สร้างขึ้นได้นั้น จะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของรูเปิดในวิกค์เล็กลง ความต้านทานต่อการไหลของของเหลวใช้งานภายในวิกค์จะสูงขึ้น ทำให้มีผลกระทบต่อสมรรถนะของ Heat Pipe ในทางตรงข้ามถ้าสามารถคิดค้นเส้นทางไหลของของเหลวใช้งานที่มีความต้านทานการไหลน้อย ก็จะสามารถเพิ่มสมรรถนะของ Heat Pipe ได้

ต่อไปนี้เป็นคุณสมบัติที่วิกค์พึงมี

- (1) แปรรูปได้ง่าย
- (2) เปียกของเหลวใช้งานได้ดี
- (3) ขนาดรูเปิดเล็ก
- (4) มีอัตราส่วนว่าง (Void Fraction) มาก
- (5) เข้ากันได้ดีกับของเหลวใช้งาน

### 3. ภาชนะ (Container)

ต่อไปนี้เป็นคุณสมบัติที่ภาชนะพึงมี


- (1) มีความเข้ากันได้ดีกับของไหลใช้งาน และสิ่งแวดล้อมภายนอก
- (2) มีความแข็งแรง (Strength) สูง กับทั้งมีน้ำหนักเบาด้วย
- (3) มีค่าการนำความร้อนสูง
- (4) แปรขึ้นรูปได้ง่าย, เชื่อมได้ง่าย (Weldability), แปรเปลี่ยนรูปโดยเครื่องจักรได้ดี (Machineability), โกงงอได้ดี (Flexibility)
- (5) เปียกของเหลวใช้งานได้ดี

ภาชนะทำขึ้นโดยการเชื่อมหมวกปิด (End Cap), ท่อเติม (Filling Tube) เข้ากับตัวท่อ โดยตัวท่อหมวกปิดและท่อเติมจะใช้วัสดุชนิดเดียวกัน พื้นที่หน้าตัดของภาชนะอาจออกแบบให้เป็นรูปกลม รูปสี่เหลี่ยม เป็นต้น ขึ้นกับความเหมาะสม อนึ่งเพื่อให้การติดเข้ากับตัวอุปกรณ์ทำงานได้ง่ายขึ้น ภาชนะอาจมีหน้าแปลน (flange) ติดอยู่หรือเป็นรูปโกงงอ เป็นต้น ของไหลใช้งานจะเติมเข้าทางท่อเติม จากนั้นจะบีบท่อเติมจนแบนและเชื่อมปิด

**ลักษณะเด่น**

Heat Pipe มีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ดีเลิศกว่าสมรรถนะที่เคยพบเห็นในการนำความร้อนผ่านของแข็ง ลักษณะเด่นของ Heat Pipe มีดังต่อไปนี้

- (1) "สภาพการนำความร้อนมีค่าสูงมาก"
- (2) "มีความสม่ำเสมอ (เท่ากัน) ของอุณหภูมิผิว" ในระหว่างที่ทำงานอุณหภูมิผิวของช่วงการควบแน่นของ Heat Pipe จะเท่ากัน ถ้าหากว่าจุดใดจุดหนึ่งเกิดมีอุณหภูมิต่ำลงที่บริเวณนั้นจะเกิดการควบแน่นของไอเพิ่มขึ้นทำให้คงอุณหภูมิให้เท่ากันตลอดได้
- (3) "การตอบสนองเชิงความร้อน (Thermal Response) ดี" เนื่องจากการส่งความร้อนเกิดขึ้นในรูปของความร้อนแฝง การตอบสนองเชิงความร้อนจึงดี และสามารถรับการเปลี่ยนแปลงของแหล่งความร้อนได้อย่างรวดเร็ว
- (4) "สามารถแยกช่วงการรับความร้อนและช่วงการคายความร้อนให้ออกห่างได้" เนื่องจาก Heat Pipe สามารถส่งความร้อนปริมาณสูงไปไกล ๆ ได้ ดังนั้นจึงได้เปรียบในการส่งความร้อนออกจากตำแหน่งที่ดึงความร้อนได้ยาก เช่นจากที่แคบมาก ๆ
- (5) "โครงสร้างง่าย ๆ น้ำหนักเบา และรูปร่างกะทัดรัด"
- (6) "ไม่ต้องทำการบำรุงรักษา (Maintenance Free)" เนื่องจากไม่ได้ใช้ปัมในการส่งถ่ายความร้อน ดังนั้นความดีในการบำรุงรักษาจึงน้อย ความเชื่อถือได้ (Reliability) จึงสูง และไม่มีเสียงดัง (Noise)
- (7) "ถ้าใช้ความระมัดระวังในการเลือกของเหลวใช้งาน และวัสดุภาชนะ จะสามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง และอายุใช้งานยาว"



ภาคผนวก ง.

ปฏิทินแสดงเวลาคงอาทิตย์ขึ้น, Solar noon และคงอาทิตย์ตก  
ของภาคกลางในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2538 [19]

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## มกราคม

วันที่	ตะวันขึ้น	Solar noon	ตะวันตก
	น.	น.	น.
1	06.42	12.22	18.00
2	06.42	12.23	18.01
3	06.42	12.23	18.02
4	06.42	12.23	18.02
5	06.43	12.24	18.03
6	06.43	12.24	18.03
7	06.44	12.25	18.04
8	06.44	12.25	18.04
9	06.45	12.26	18.05
10	06.45	12.26	18.05
11	06.45	12.26	18.06
12	06.45	12.26	18.06
13	06.46	12.27	18.07
14	06.46	12.27	18.07
15	06.46	12.28	18.08
16	06.46	12.28	18.08
17	06.46	12.29	18.10
18	06.46	12.29	18.11
19	06.46	12.29	18.11
20	06.46	12.30	18.12
21	06.46	12.30	18.12
22	06.46	12.30	18.13
23	06.46	12.30	18.13
24	06.47	12.31	18.14
25	06.47	12.31	18.14
26	06.47	12.31	18.14
27	06.47	12.31	18.14
28	06.47	12.31	18.15
29	06.47	12.31	18.15
30	06.46	12.32	18.16
31	06.46	12.32	18.16

## กุมภาพันธ์

วันที่	ตะวันขึ้น	Solar noon	ตะวันตก
	น.	น.	น.
1	06.45	12.32	18.17
2	06.45	12.32	18.18
3	06.45	12.32	18.18
4	06.45	12.33	18.19
5	06.45	12.33	18.19
6	06.45	12.33	18.20
7	06.45	12.33	18.20
8	06.44	12.33	18.20
9	06.44	12.33	18.20
10	06.43	12.33	18.21
11	06.43	12.33	18.21
12	06.42	12.33	18.22
13	06.42	12.33	18.22
14	06.42	12.33	18.22
15	06.41	12.33	18.23
16	06.41	12.33	18.23
17	06.41	12.33	18.23
18	06.40	12.33	18.24
19	06.40	12.33	18.24
20	06.39	12.33	18.24
21	06.39	12.33	18.24
22	06.38	12.33	18.25
23	06.38	12.33	18.25
24	06.37	12.32	18.25
25	06.37	12.32	18.25
26	06.36	12.32	18.26
27	06.36	12.32	18.26
28	06.35	12.31	18.26



## มีนาคม

วันที่	ตะวันขึ้น น.	Solar noon น.	ตะวันตก น.
1	06.35	12.31	18.27
2	06.35	12.31	18.27
3	06.35	12.31	18.27
4	06.33	12.30	18.27
5	06.33	12.30	18.27
6	06.32	12.30	18.27
7	06.32	12.30	18.27
8	06.31	12.29	18.28
9	06.31	12.29	18.28
10	06.29	12.29	18.28
11	06.29	12.29	18.28
12	06.27	12.28	18.28
13	06.27	12.28	18.28
14	06.26	12.28	18.29
15	06.26	12.28	18.29
16	06.24	12.27	18.29
17	06.24	12.27	18.29
18	06.24	12.27	18.29
19	06.23	12.27	18.29
20	06.23	12.27	18.29
21	06.21	12.26	18.29
22	06.21	12.26	18.29
23	06.20	12.25	18.29
24	06.20	12.25	18.29
25	06.19	12.24	18.30
26	06.19	12.24	18.30
27	06.17	12.24	18.30
28	06.17	12.24	18.30
29	06.16	12.23	18.30
30	06.16	12.23	18.30
31	06.15	12.23	18.30

## เมษายน

วันที่	ตะวันขึ้น น.	Solar noon น.	ตะวันตก น.
1	06.14	12.22	18.30
2	06.14	12.22	18.30
3	06.12	12.22	18.30
4	06.12	12.22	18.30
5	06.11	12.21	18.30
6	06.11	12.21	18.30
7	06.10	12.20	18.30
8	06.10	12.20	18.30
9	06.09	12.20	18.30
10	06.09	12.20	18.30
11	06.07	12.20	18.31
12	06.07	12.20	18.31
13	06.07	12.19	18.31
14	06.05	12.18	18.31
15	06.05	12.18	18.31
16	06.05	12.18	18.31
17	06.04	12.18	18.32
18	06.04	12.18	18.32
19	06.02	12.17	18.33
20	06.02	12.17	18.33
21	06.01	12.17	18.33
22	06.01	12.17	18.33
23	06.00	12.17	18.33
24	06.00	12.17	18.33
25	05.59	12.16	18.33
26	05.59	12.16	18.33
27	05.58	12.16	18.34
28	05.58	12.16	18.34
29	05.57	12.16	18.35
30	05.56	12.15	18.35

## พฤษภาคม

วันที่	ตะวันขึ้น น.	Solar noon น.	ตะวันตก น.
1	05.56	12.15	18.35
2	05.55	12.15	18.35
3	05.55	12.15	18.35
4	05.55	12.15	18.35
5	05.55	12.15	18.35
6	05.54	12.15	18.36
7	05.54	12.15	18.36
8	05.53	12.15	18.36
9	05.53	12.15	18.36
10	05.52	12.15	18.37
11	05.52	12.15	18.37
12	05.52	12.15	18.37
13	05.51	12.14	18.38
14	05.51	12.14	18.38
15	05.51	12.14	18.38
16	05.51	12.14	18.38
17	05.51	12.14	18.38
18	05.51	12.15	18.38
19	05.51	12.15	18.38
20	05.50	12.15	18.39
21	05.50	12.15	18.39
22	05.49	12.15	18.40
23	05.49	12.15	18.40
24	05.49	12.15	18.40
25	05.49	12.15	18.40
26	05.49	12.15	18.41
27	05.49	12.15	18.41
28	05.49	12.15	18.42
29	05.49	12.15	18.42
30	05.49	12.15	18.42
31	05.49	12.16	18.43

## มิถุนายน

วันที่	ตะวันขึ้น น.	Solar noon น.	ตะวันตก น.
1	05.49	12.16	18.43
2	05.49	12.16	18.44
3	05.49	12.16	18.44
4	05.49	12.16	18.44
5	05.49	12.16	18.44
6	05.49	12.17	18.45
7	05.49	12.17	18.45
8	05.49	12.17	18.46
9	05.49	12.17	18.46
10	05.49	12.17	18.46
11	05.49	12.17	18.46
12	05.49	12.18	18.47
13	05.49	12.18	18.47
14	05.49	12.18	18.47
15	05.49	12.18	18.48
16	05.49	12.18	18.48
17	05.50	12.19	18.48
18	05.50	12.19	18.48
19	05.50	12.19	18.48
20	05.50	12.19	18.48
21	05.51	12.20	18.49
22	05.51	12.20	18.49
23	05.51	12.20	18.49
24	05.51	12.20	18.49
25	05.51	12.21	18.50
26	05.51	12.21	18.50
27	05.52	12.21	18.50
28	05.52	12.21	18.50
29	05.52	12.21	18.50
30	05.53	12.22	18.50

## กรกฎาคม

วันที่	ตะวันขึ้น น.	Solar noon น.	ตะวันตก น.
1	05.53	12.22	18.50
2	05.53	12.22	18.50
3	05.53	12.22	18.50
4	05.54	12.22	18.50
5	05.54	12.22	18.50
6	05.55	12.23	18.50
7	05.55	12.23	18.50
8	05.55	12.23	18.50
9	05.55	12.23	18.50
10	05.55	12.23	18.50
11	05.56	12.24	18.51
12	05.57	12.24	18.51
13	05.57	12.24	18.51
14	05.57	12.24	18.51
15	05.57	12.24	18.51
16	05.57	12.24	18.51
17	05.57	12.24	18.51
18	05.58	12.24	18.50
19	05.58	12.24	18.50
20	05.58	12.25	18.49
21	05.58	12.25	18.49
22	05.59	12.25	18.49
23	05.59	12.25	18.49
24	06.00	12.25	18.48
25	06.00	12.25	18.48
26	06.01	12.25	18.48
27	06.01	12.25	18.48
28	06.01	12.25	18.48
29	06.01	12.25	18.47
30	06.01	12.25	18.47
31	06.01	12.25	18.47

## สิงหาคม

วันที่	ตะวันขึ้น น.	Solar noon น.	ตะวันตก น.
1	06.01	12.25	18.47
2	06.02	12.24	18.46
3	06.02	12.24	18.46
4	06.03	12.24	18.45
5	06.03	12.24	18.45
6	06.03	12.24	18.44
7	06.03	12.24	18.44
8	06.03	12.24	18.44
9	06.03	12.24	18.43
10	06.04	12.24	18.43
11	06.04	12.24	18.43
12	06.04	12.23	18.42
13	06.04	12.23	18.42
14	06.05	12.23	18.40
15	06.05	12.23	18.40
16	06.05	12.22	18.40
17	06.05	12.22	18.40
18	06.05	12.22	18.39
19	06.05	12.22	18.39
20	06.05	12.22	18.38
21	06.05	12.22	18.38
22	06.05	12.21	18.36
23	06.05	12.21	18.36
24	06.06	12.21	18.35
25	06.06	12.20	18.34
26	06.06	12.20	18.34
27	06.06	12.20	18.33
28	06.06	12.20	18.33
29	06.06	12.19	18.32
30	06.06	12.19	18.32
31	06.06	12.18	18.30

## กันยายน

วันที่	ตะวันขึ้น	Solar noon	ตะวันตก
	น.	น.	น.
1	06.06	12.18	18.30
2	06.06	12.18	18.29
3	06.06	12.18	18.29
4	06.07	12.17	18.28
5	06.07	12.17	18.28
6	06.07	12.17	18.26
7	06.07	12.17	18.26
8	06.06	12.16	18.25
9	06.07	12.16	18.24
10	06.07	12.16	18.24
11	06.07	12.15	18.23
12	06.07	12.15	18.23
13	06.07	12.14	18.21
14	06.07	12.14	18.21
15	06.07	12.14	18.19
16	06.07	12.14	18.19
17	06.07	12.13	18.18
18	06.07	12.13	18.18
19	06.07	12.12	18.17
20	06.07	12.12	18.17
21	06.07	12.12	18.15
22	06.07	12.12	18.15
23	06.07	12.11	18.14
24	06.07	12.10	18.13
25	06.07	12.10	18.13
26	06.07	12.10	18.12
27	06.07	12.10	18.12
28	06.07	12.09	18.10
29	06.07	12.09	18.10
30	06.07	12.08	18.08

## ตุลาคม

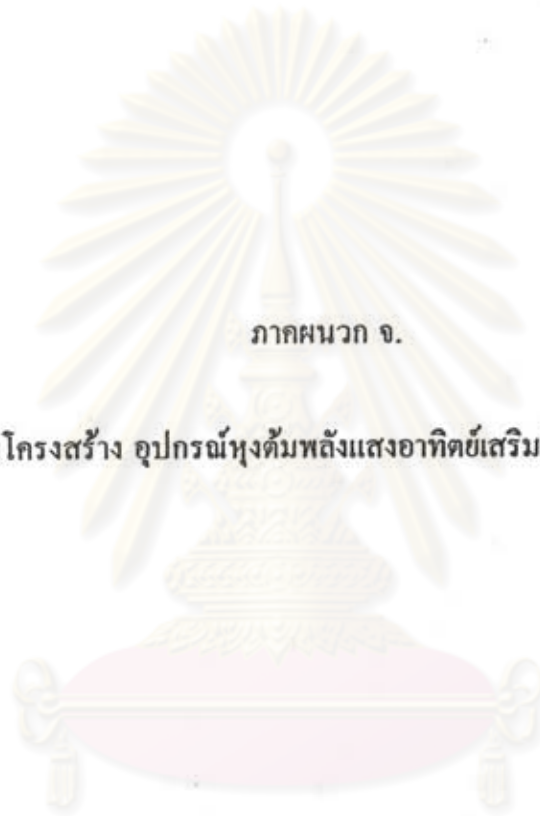
วันที่	ตะวันขึ้น	Solar noon	ตะวันตก
	น.	น.	น.
1	06.07	12.08	18.08
2	06.07	12.08	18.07
3	06.07	12.08	18.07
4	06.08	12.07	18.06
5	06.08	12.07	18.06
6	06.08	12.07	18.05
7	06.08	12.07	18.05
8	06.08	12.06	18.03
9	06.08	12.06	18.03
10	06.09	12.06	18.02
11	06.09	12.05	18.02
12	06.09	12.05	18.02
13	06.09	12.05	18.00
14	06.09	12.05	18.00
15	06.09	12.04	17.59
16	06.09	12.04	17.59
17	06.10	12.04	17.58
18	06.10	12.04	17.57
19	06.10	12.03	17.57
20	06.10	12.03	17.57
21	06.10	12.04	17.56
22	06.10	12.03	17.55
23	06.10	12.03	17.54
24	06.11	12.03	17.54
25	06.11	12.03	17.53
26	06.11	12.03	17.53
27	06.12	12.02	17.53
28	06.12	12.02	17.52
29	06.12	12.02	17.52
30	06.12	12.02	17.52
31	06.12	12.02	17.51

## พฤษภาคม

วันที่	ตะวันขึ้น	Solar noon	ตะวันตก
	น.	น.	น.
1	06.12	12.02	17.51
2	06.13	12.02	17.50
3	06.13	12.02	17.50
4	06.14	12.02	17.49
5	06.14	12.02	17.49
6	06.15	12.02	17.49
7	06.15	12.02	17.48
8	06.15	12.02	17.48
9	06.16	12.02	17.48
10	06.16	12.03	17.48
11	06.16	12.03	17.48
12	06.17	12.03	17.48
13	06.17	12.03	17.47
14	06.18	12.03	17.47
15	06.18	12.03	17.47
16	06.19	12.03	17.47
17	06.19	12.03	17.47
18	06.20	12.04	17.48
19	06.20	12.04	17.47
20	06.20	12.04	17.47
21	06.20	12.04	17.47
22	06.20	12.04	17.47
23	06.21	12.05	17.47
24	06.21	12.05	17.47
25	06.22	12.05	17.47
26	06.22	12.05	17.47
27	06.24	12.06	17.48
28	06.24	12.06	17.48
29	06.25	12.07	17.48
30	06.25	12.07	17.48

## ธันวาคม

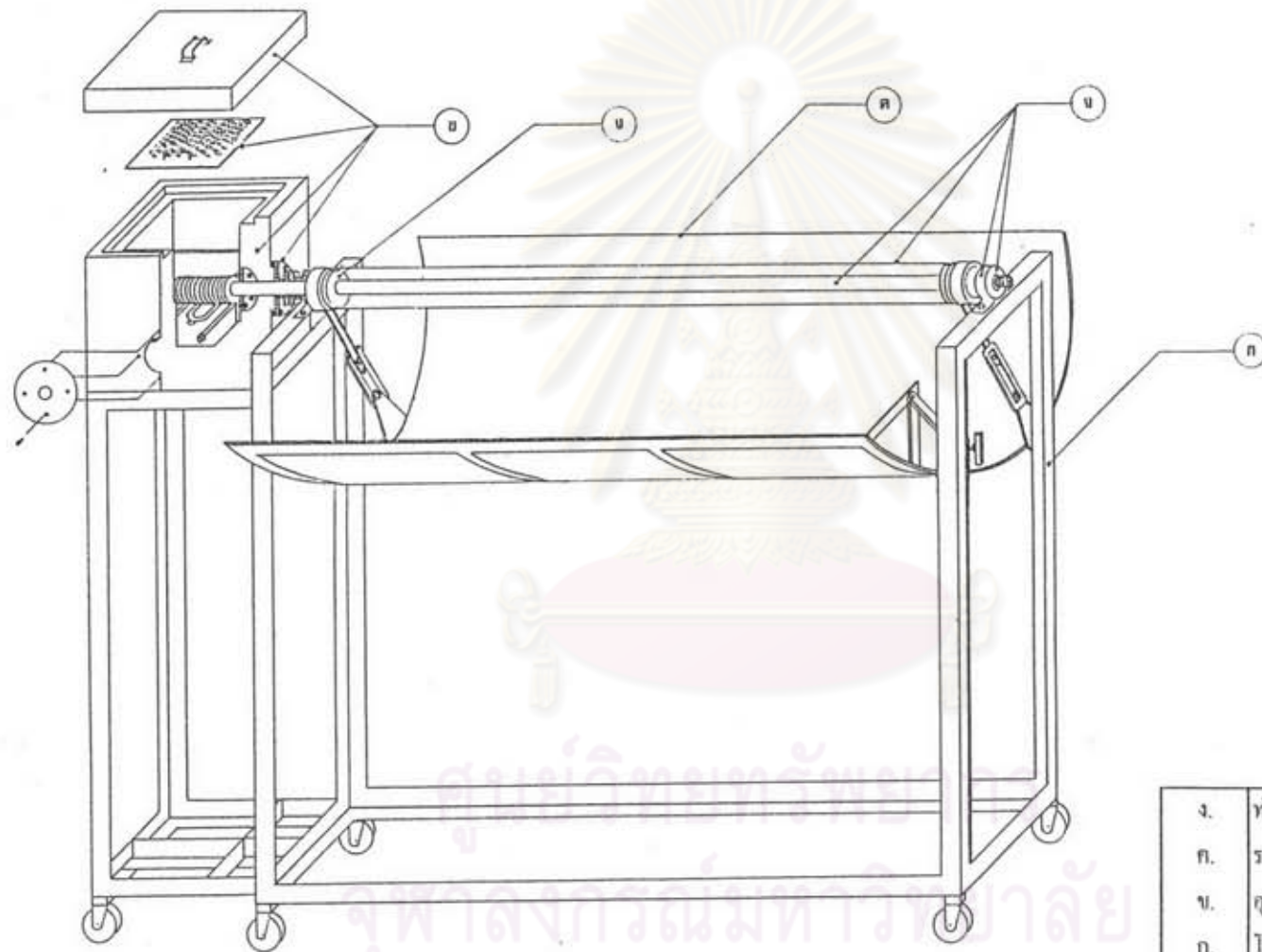
วันที่	ตะวันขึ้น	Solar noon	ตะวันตก
	น.	น.	น.
1	06.26	12.07	17.48
2	06.26	12.07	17.48
3	06.27	12.08	17.48
4	06.27	12.08	17.48
5	06.27	12.08	17.48
6	06.28	12.09	17.49
7	06.28	12.09	17.49
8	06.29	12.10	17.49
9	06.29	12.10	17.49
10	06.30	12.11	17.50
11	06.30	12.11	17.50
12	06.32	12.12	17.51
13	06.32	12.12	17.51
14	06.34	12.13	17.51
15	06.34	12.13	17.51
16	06.35	12.14	17.52
17	06.35	12.14	17.52
18	06.36	12.15	17.53
19	06.36	12.16	17.53
20	06.36	12.16	17.53
21	06.37	12.17	17.54
22	06.37	12.17	17.54
23	06.38	12.18	17.56
24	06.38	12.18	17.56
25	06.39	12.19	17.57
26	06.39	12.19	17.57
27	06.40	12.20	17.58
28	06.40	12.20	17.58
29	06.41	12.21	17.59
30	06.41	12.21	17.59
31	06.42	12.22	18.00



ภาคผนวก จ.

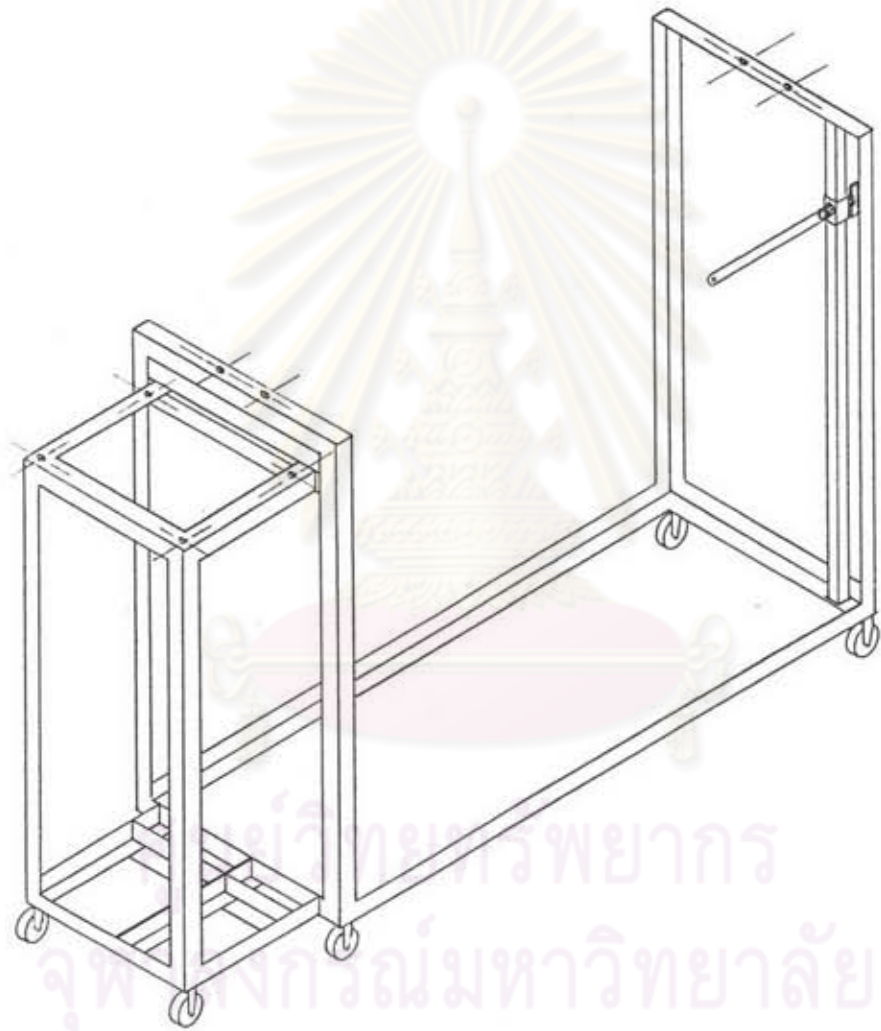
แบบโครงสร้าง อุปกรณ์หุงต้มพลังแสงอาทิตย์เสริมด้วยพลังไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



มิติ : ซม.

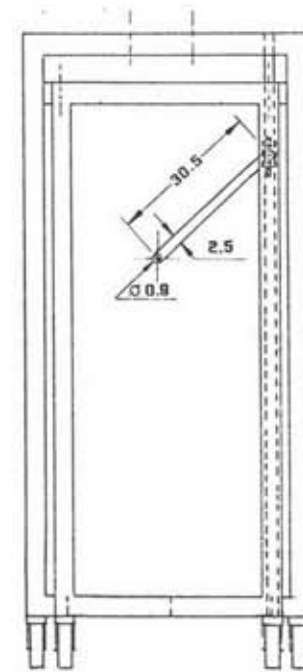
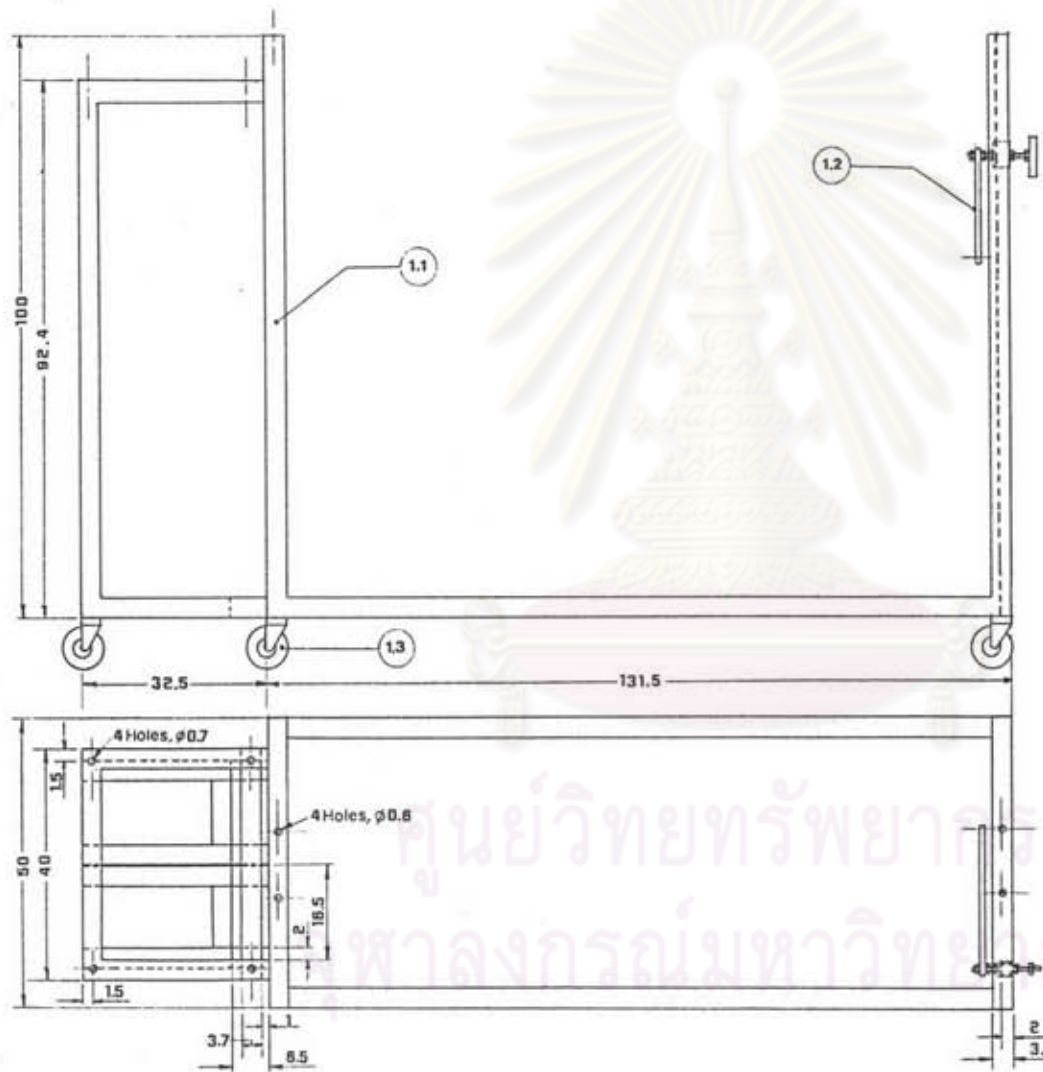
ง.	ท่อรับแสงและอุปกรณ์ยึดท่อรับแสง
ค.	รางสะท้อนแสงพาราโบลิก
ข.	อุปกรณ์พุ่งตั้ง
ก.	โครงสร้างอุปกรณ์พุ่งตั้ง
ชิ้นส่วน	ชื่อ
อุปกรณ์พุ่งตั้งหลังแสงอาทิตย์เสริมด้วยพลังงานไฟฟ้า	



มิติ : ซม.

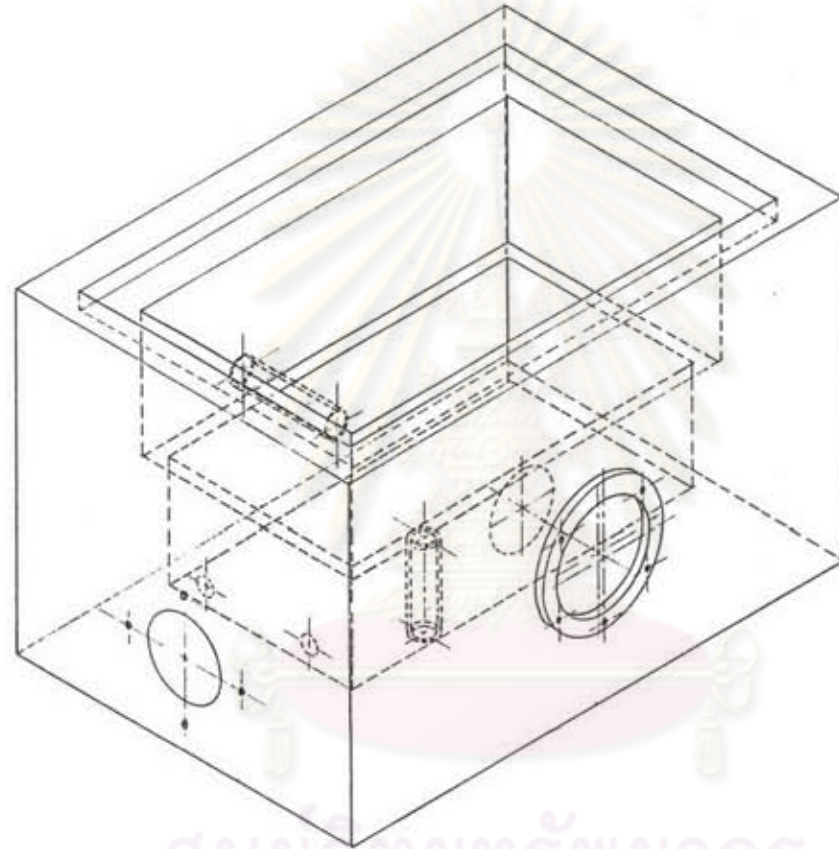
โครงรับอุปกรณ์หุงต้ม	ก.
----------------------	----





มิติ : ซม.

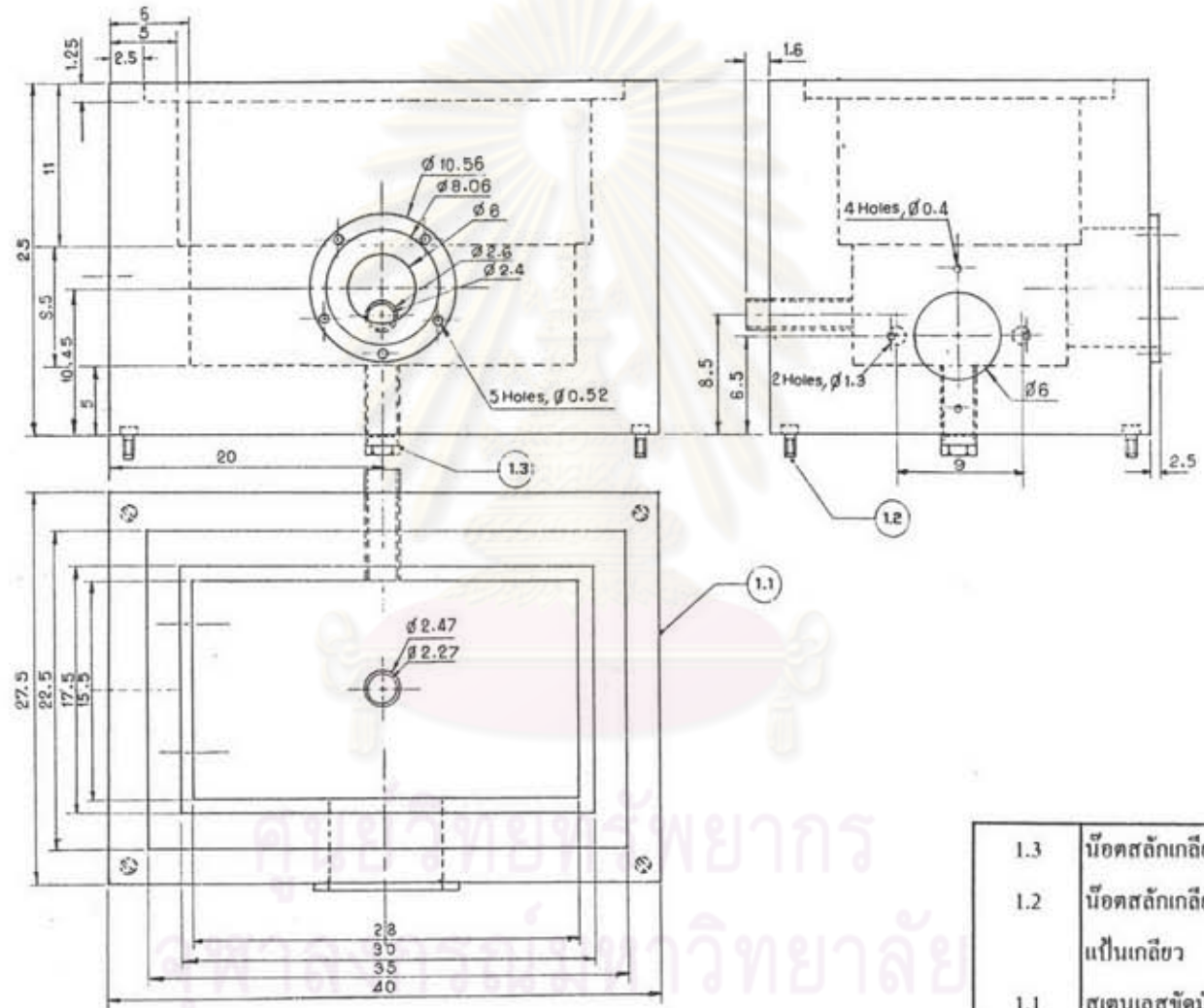
1.3	ล้อ	∅ 7 cm.
1.2	แท่งเหล็กแบน	หนา 1 mm.
1.1	เหล็กฉาก	หนา 3 mm.
หมายเลข	ชนิดวัสดุ	ขนาด
โครงรับอุปกรณ์หุงต้ม		ก.-1



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

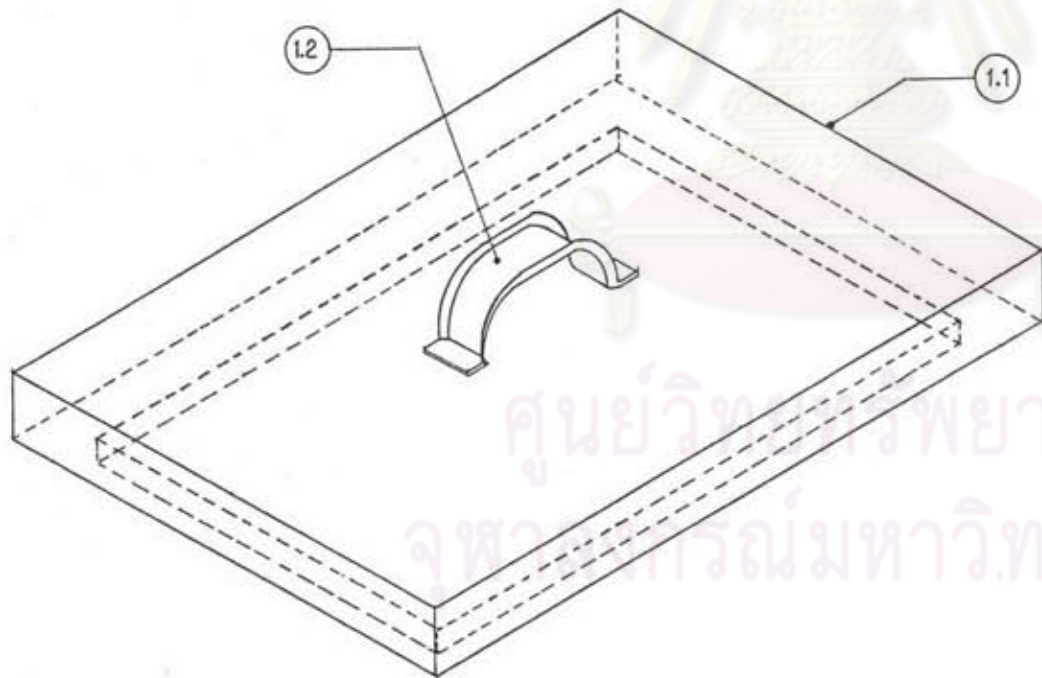
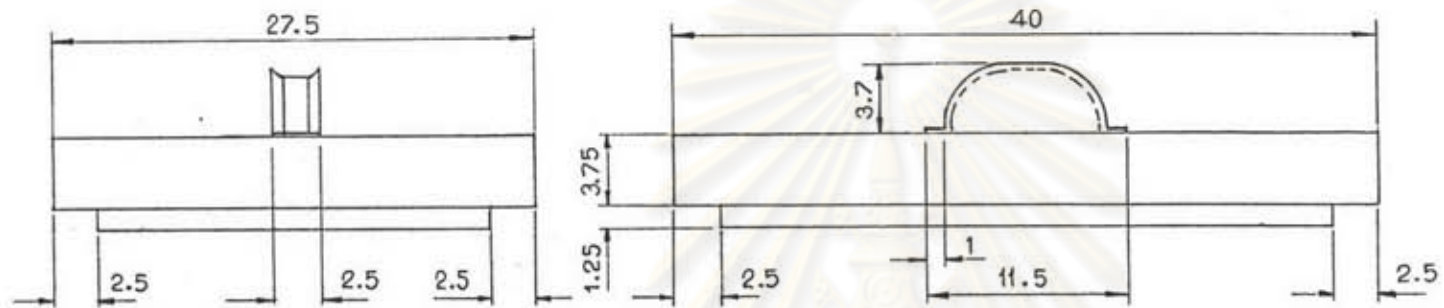
มิติ : ซม.

อุปกรณ์หุ่ด้ม	ข.
---------------	----



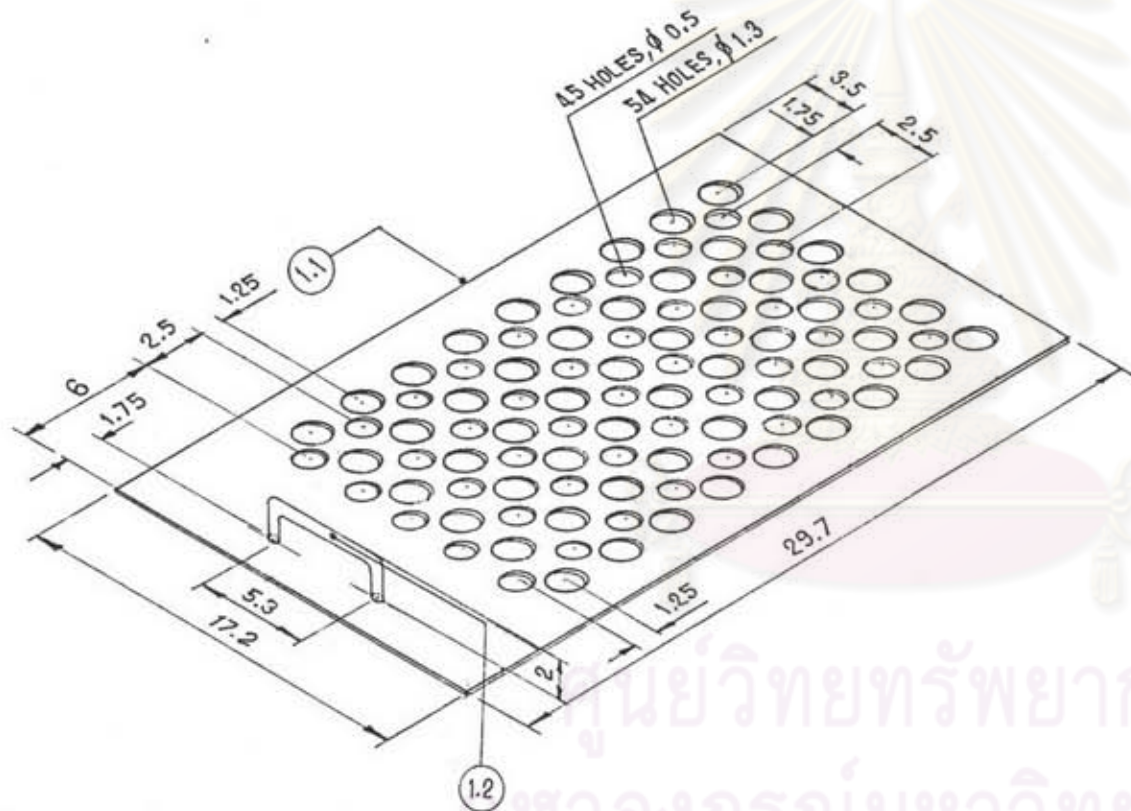
มิติ : ซม.

1.3	น็อตสลักเกลียว	1" x 1/2"
1.2	น็อตสลักเกลียวและ แป้นเกลียว	3/8" x 1 1/2"
1.1	สแตนเลสขัดมัน	หนา 1 mm.
หมายเลข	ชนิดวัสดุ	ขนาด
อุปกรณ์ทั้งหมด		ข.-1



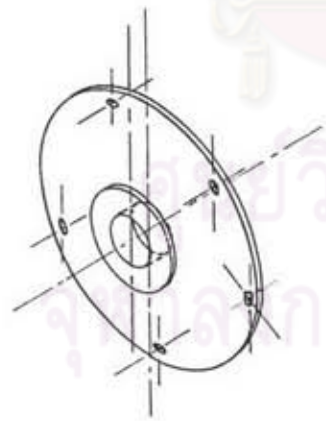
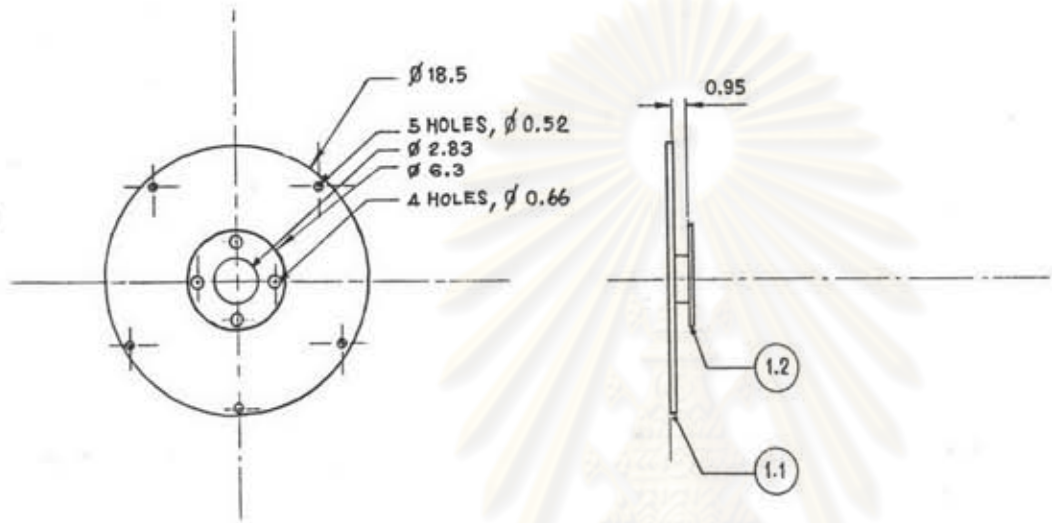
มิติ : ซม.

1.2	หูจับสำหรับมือสแตนเลส	2.5x11.5x3.7 cm.
1.1	ฝาหม้อสแตนเลส	27.5 x 40 cm.
หมายเลข	ชนิดวัสดุ	ขนาด
อุปกรณ์หุ้งค้บ		ข.-2



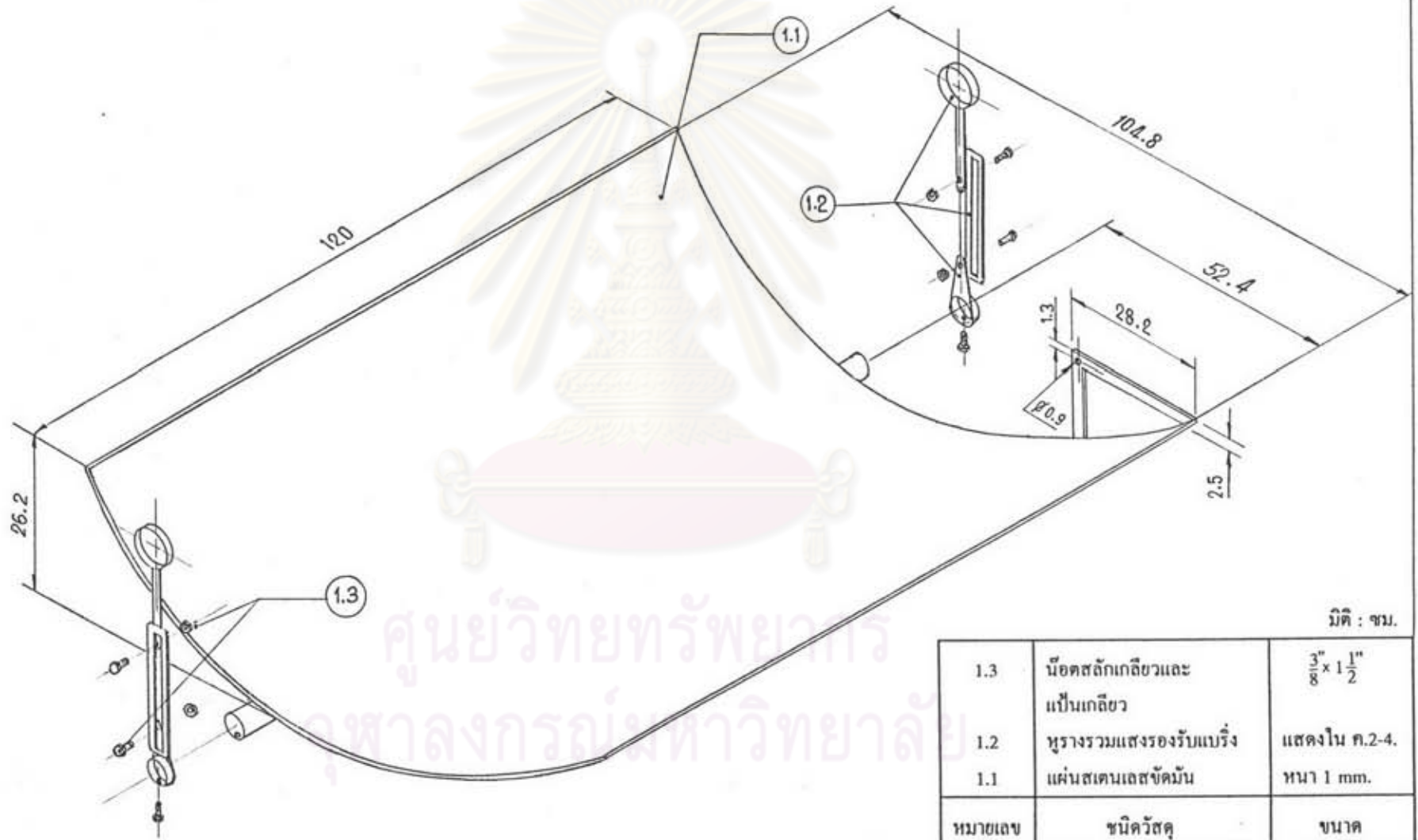
มิติ : ซม.

1.2	หูจับสเตนเลสกลมตัน	∅ 5 mm.
1.1	ถาดรองรับภาชนะ (สเตนเลส)	หนา 1.5 mm.
หมายเลข	ชนิดวัสดุ	ขนาด
	อุปกรณ์หุงต้ม	ข.-3



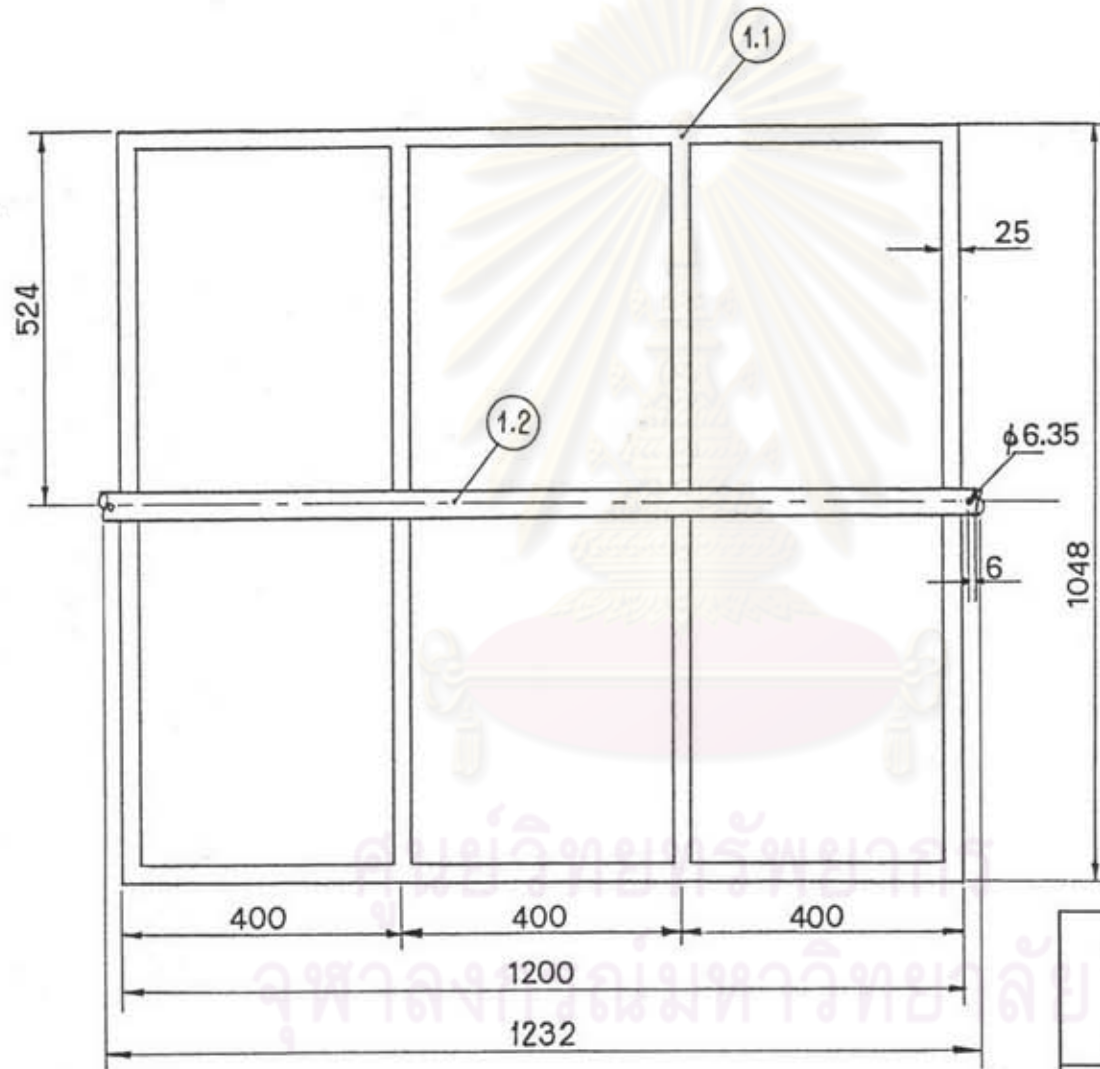
มิติ : ซม.

1.2	หน้าแปลนห้อยหุ้ม สเตนเลส	หนา 0.5 mm.
1.1	หน้าแปลนห้อยหุ้ม สเตนเลส	หนา 3 mm.
หมายเลข	ชนิดวัสดุ	ขนาด
	อุปกรณ์ห้อยหุ้ม	ข.-4



มิติ : ซม.

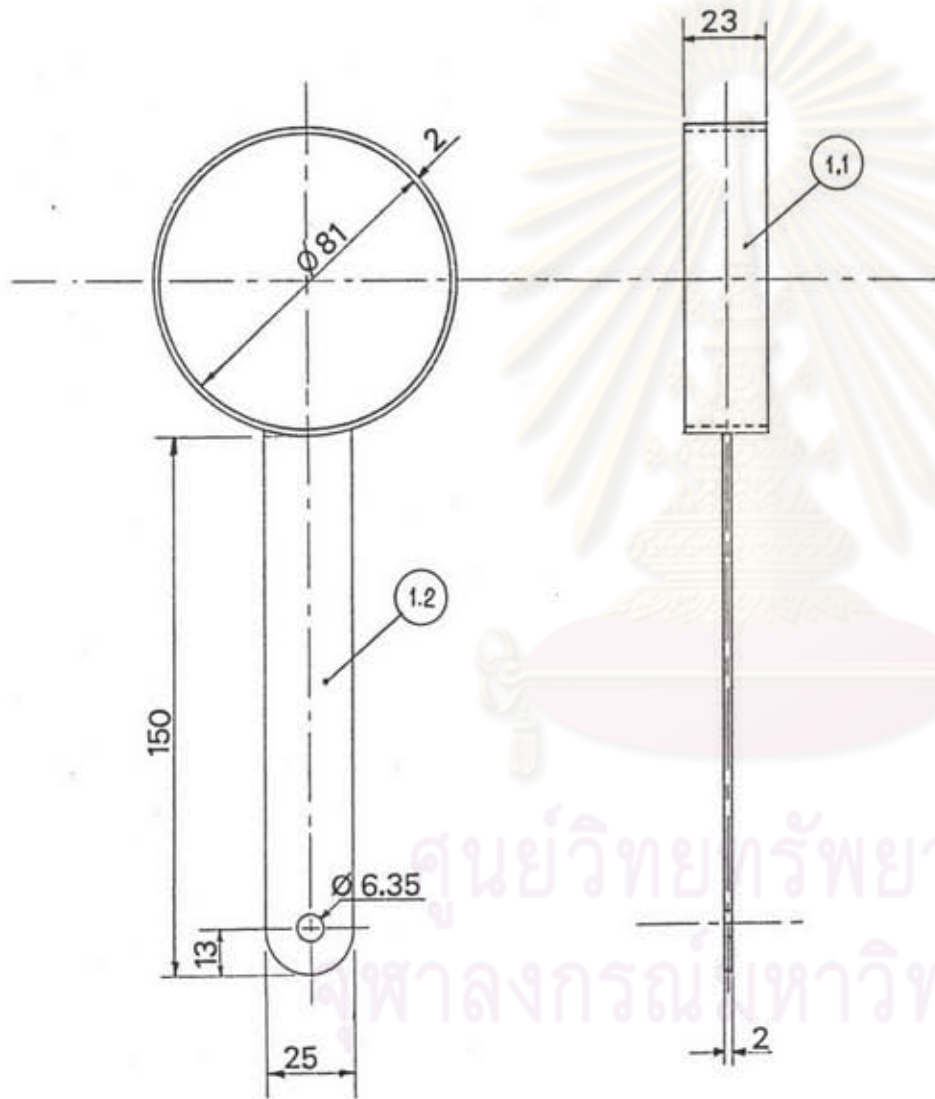
1.3	น็อตสลักเกลียวและ แป้นเกลียว	$\frac{3}{8} \times 1 \frac{1}{2}$
1.2	หุรางรวมแสงรองรับแบร็ง	แสดงใน ก.2-4.
1.1	แผ่นสเตนเลสขัดมัน	หนา 1 mm.
หมายเลข	ชนิดวัสดุ	ขนาด
ร่างสะท้อนแสงทาราโบลีค		ก.



มิติ : มม.

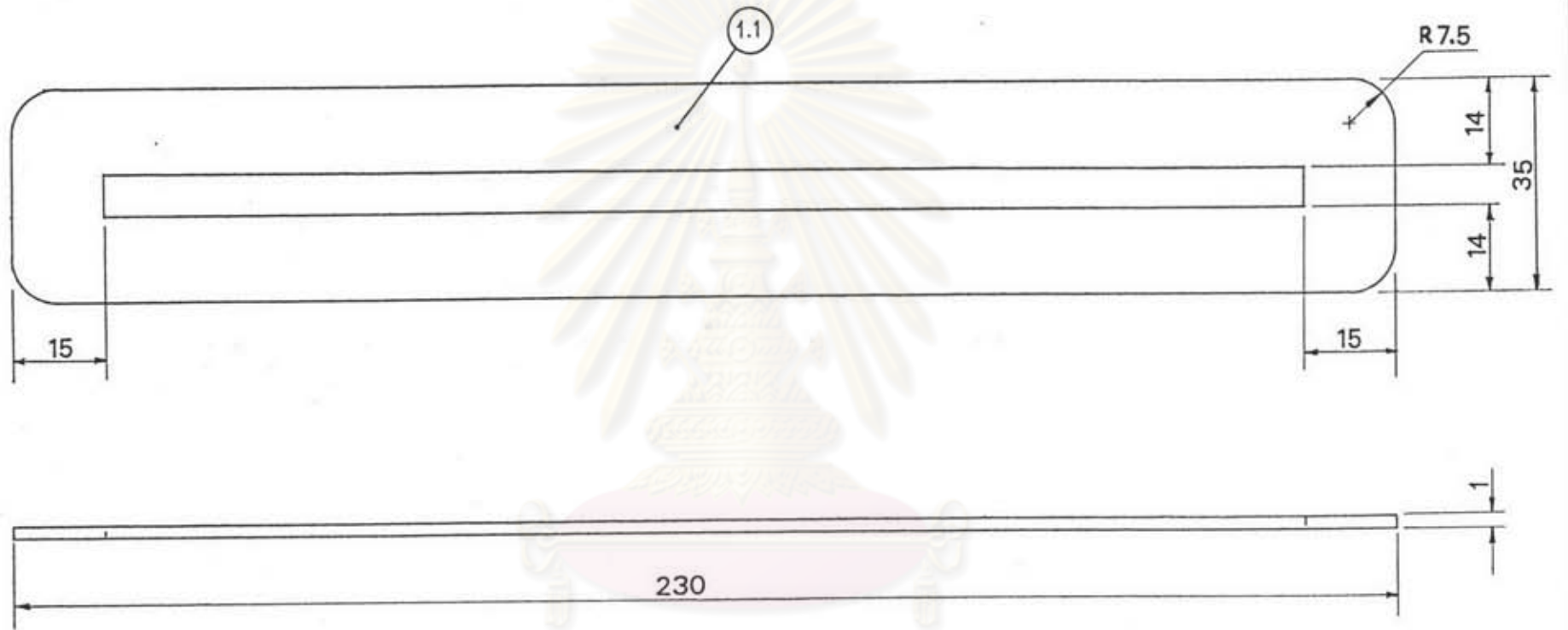
1.2	ท่อสแตนเลส	Ø 31.75 mm. หนา 1.5 mm.
1.1	สแตนเลสเส้น	หนา 3 mm.
หมายเลข	ชนิดวัสดุ	ขนาด
ภาพด้านหลัง รางสะท้อนแสงพาราโบลิค		ค.-1





มิติ : มม.

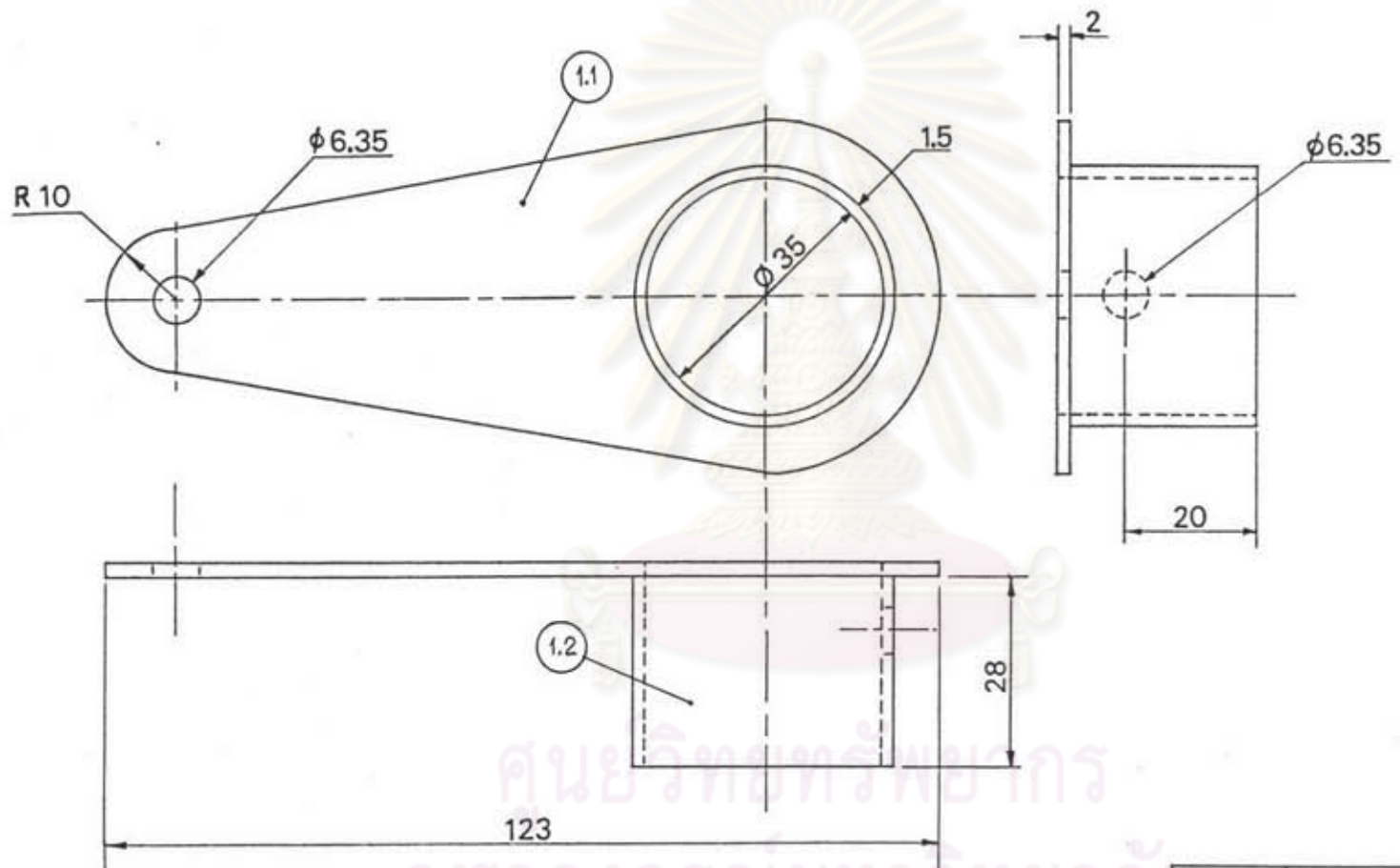
1.2	สแตนเลสเส้น	หนา 2 mm.
1.1	สแตนเลสเส้น	หนา 2 mm.
หมายเลข	ชนิดวัสดุ	ขนาด
รูปร่างรวมแสงรองรับแปรง		ค.-2



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มิติ : มม.

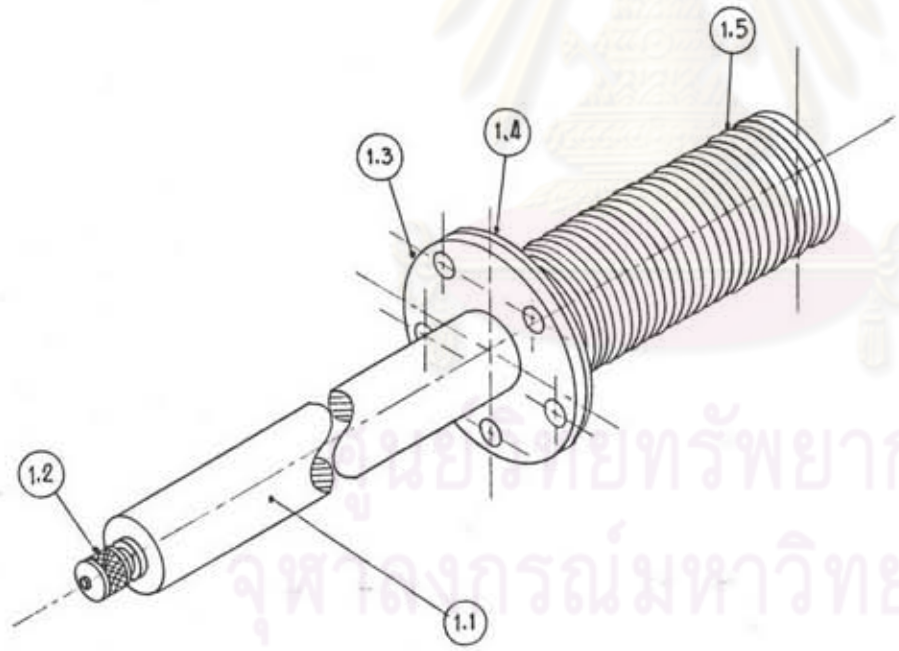
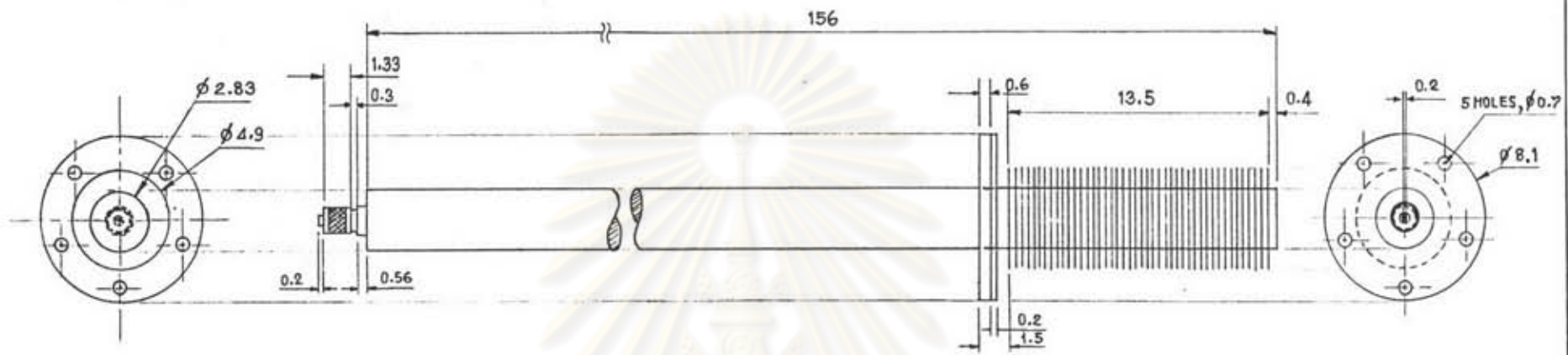
1.1	แผ่นสเตนเลส	หนา 1 mm.
หมายเลข	ชนิดวัสดุ	ขนาด
ทุกรวมแสงรองรับแบร์ริง		ก.-3



ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

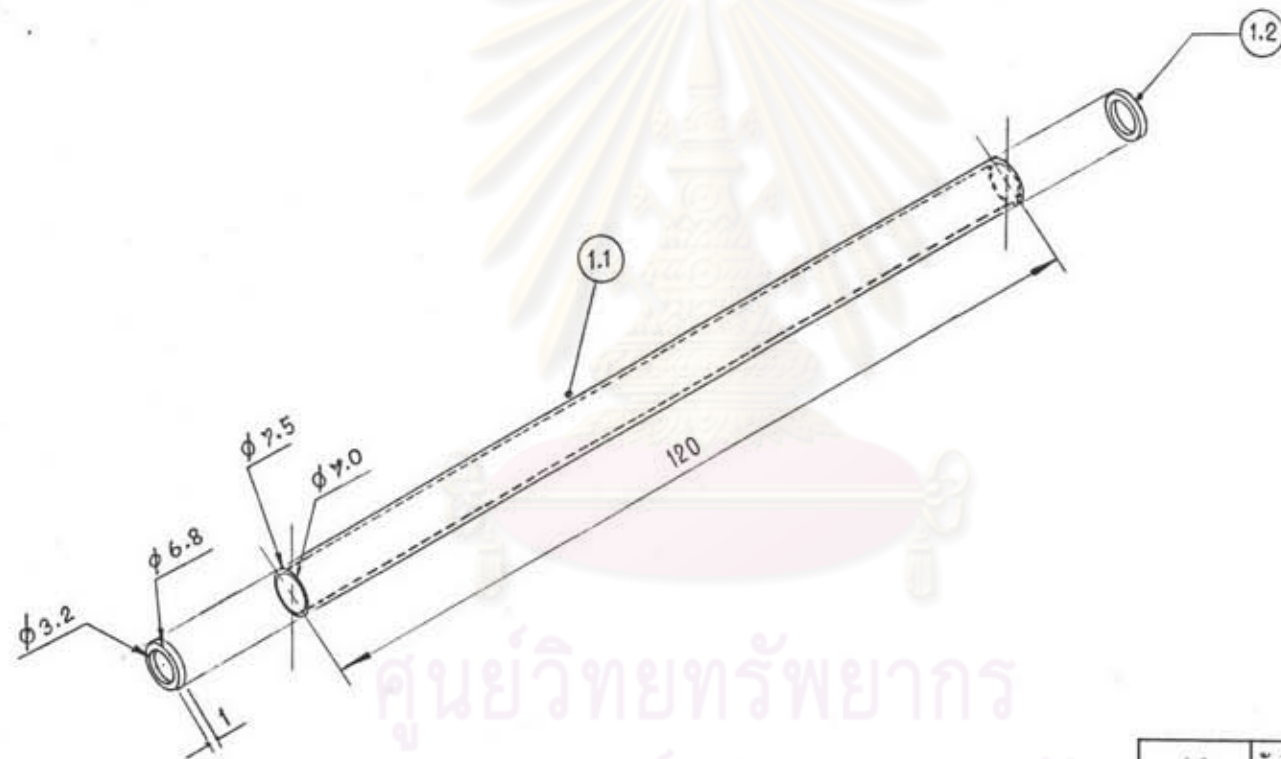
มิติ : มม.

1.2	ท่อสเตนเลส	$\phi 38$ มม.
1.1	แผ่นสเตนเลส	หนา 2 มม.
หมายเลข	ชนิดวัสดุ	ขนาด
ใบจากรวมแสงรองรับแรง		ก.-4



มิติ : ซม.

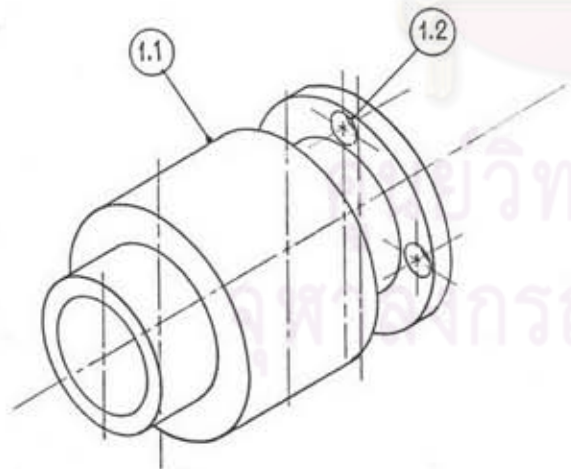
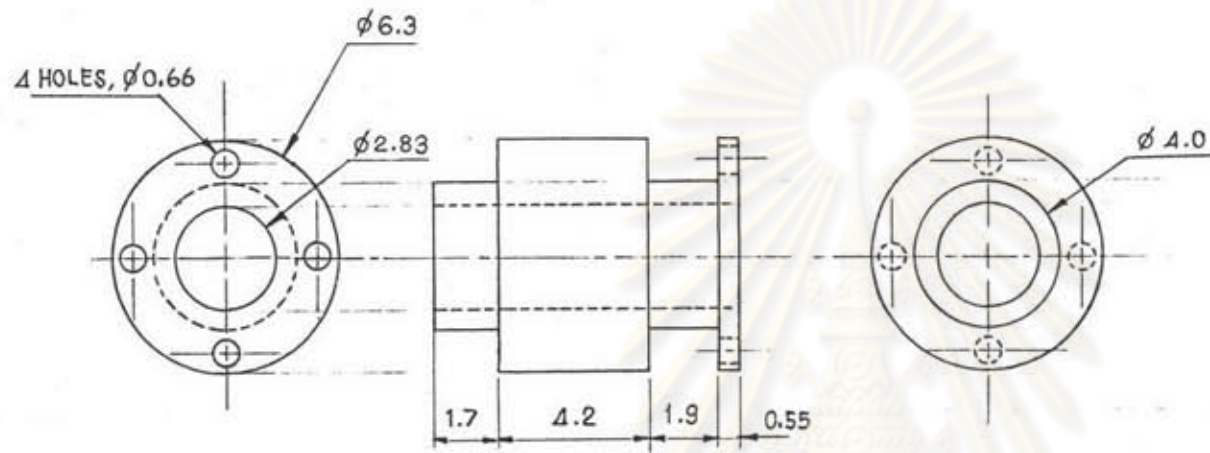
1.5	ก๊อ (สแตนเลส) ห้างกัน แต่ดะวง 0.2 cm.	Ø 4.9 cm.
1.4	แผ่นขางกันซีบ	หนา 2 mm.
1.3	หน้าแปลน (แผ่นเหล็ก)	หนา 6 mm.
1.2	หัว Valve Compressor (ทองเหลือง)	Ø 1.3 cm.
1.1	ท่อทองแดง	Ø 2.83 cm.
หมายเลข	ชนิดวัสดุ	ขนาด
ท่อรับแสงและอุปกรณ์ยึดท่อรับแสง		ง.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

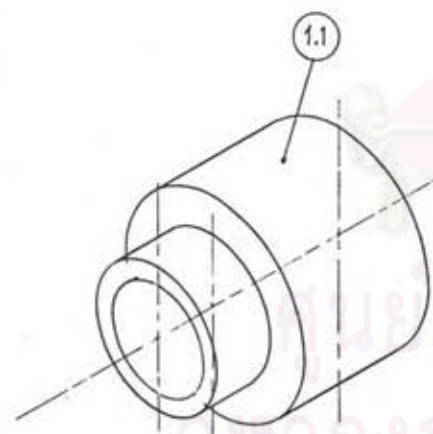
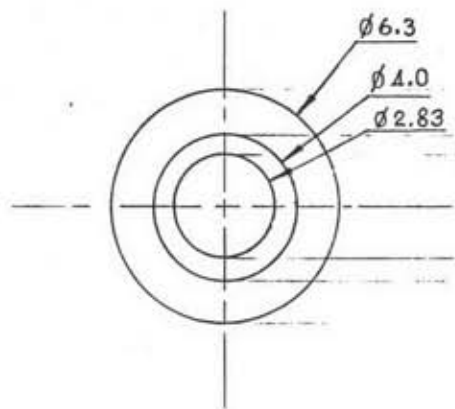
มิติ : ซม.

1.2	ตัวยึดท่อแก้วกับ ท่อรับแสง (พลาสติก)	หนา 1 cm.
1.1	ท่อแก้ว Pyrex	$\phi$ 75 mm.
หมายเลข	ชนิดวัสดุ	ขนาด
ท่อรับแสงและอุปกรณ์ยึดท่อรับแสง		จ.-1



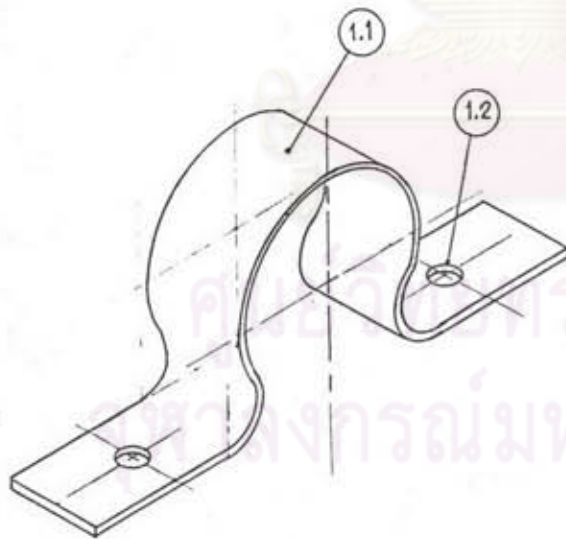
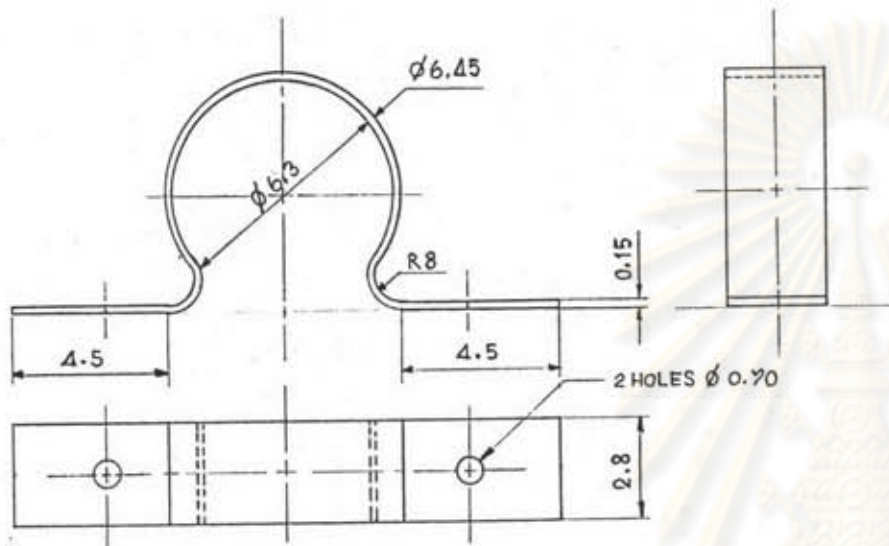
มิติ : ซม.

1.2	น็อตสลักเกลียวและ แป้นเกลียว	$\frac{1}{4} \times 1"$
1.1	ชุดรองรับแบร็งด้านซ้าย (แท่งเหล็ก)	-
หมายเลข	ชนิดวัสดุ	ขนาด
ท่อรับแสงและอุปกรณ์ยึดท่อรับแสง		จ-2



มิติ : ซม.

1.1	ชุดรองรับแปรงด้านขวา (แม่เหล็ก)	-
หมายเลข	ชนิดวัสดุ	ขนาด
ท่อรับแสงและอุปกรณ์ยึดท่อรับแสง		จ.-3



มิติ : ซม.

1.2	น๊อตสลักเกลียวและ แป้นเกลียว	$\frac{1}{4} \times 1"$
1.1	หูยึดชุดรองรับแรงรับซ้าย และขวา กับ โครงรับ อุปกรณ์หุงต้ม	-
หมายเลข	ชนิดวัสดุ	ขนาด
ท่อรับแสงและอุปกรณ์ยึดท่อรับแสง		ง.-4





## ประวัติผู้เขียน

นายนิพนธ์ ชินชูศักดิ์ เกิดวันที่ 11 พฤษภาคม พ.ศ. 2511 ที่อำเภอเมือง จังหวัดอุทัยธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ในปีการศึกษา 2534 และ เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2535



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย