

บทที่ 4

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น มีการกำหนดตัวแปรและค่าคงที่ในลักษณะต่าง ๆ ส่วนการทดสอบนั้นจะกำหนดสมมุติฐาน ค่าคงที่และตัวแปรดังนี้

4.1 สมมุติฐาน

- แผลงทำงานภายใต้สภาวะคงตัว
- การไหลภายในท่อเป็นการไหลแบบ uniform
- เป็นการถ่ายเทความร้อนใน 1 มิติ
- ไม่คิด temperature gradient รอบ ๆ tube
- ผลกระทบของฝุ่นและความสกปรกไม่มีผล (ไม่นำมาคิด)

4.2 ค่าคงที่ (parameters)

- Specific heat of fluid (C_f)
- Emissivity (ϵ)
- Absorptivity ของ cover system (α)
- Stefan Boltzmann (σ)
- พื้นที่ของตัว collector (A_c)
- flow rate ของ น้ำใน manifold (m_f)
- ความเร็วลม (V)

4.3 ตัวแปร (Independent variable)

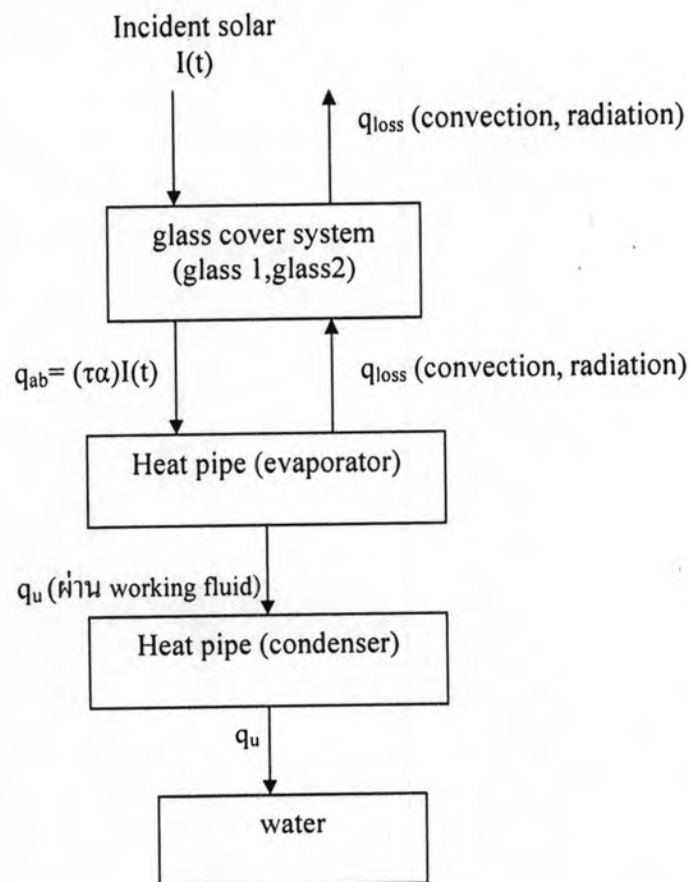
- Transmissivity ของ cover system (τ)
- Diffuse reflectance (ρ_d)
- มุมต่าง ๆ เช่นมุมเอียงของแผง (β) มุม surface azimuth (γ) เป็นต้น
- ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่บริเวณใด ๆ ($I(t)$)
- อุณหภูมิโดยรอบ (T_a)
- อุณหภูมิของ glass 2 (T_{g2})
- อุณหภูมิ fluid ขาเข้าที่ manifold ($T_{f,i}$)

4.4 ตัวแปร (Dependent variable)

- อุณหภูมิของ heat pipe (T_{hp})
- อุณหภูมิของ glass 1 (T_{g1})
- อุณหภูมิของ glass 2 (T_{g2})
- อุณหภูมิ fluid ขาออกที่ manifold ($T_{f,o}$)
- อุณหภูมิผนังภายนอกส่วน evaporator ($T_{p,e}$)
- อุณหภูมิผนังภายนอกส่วน condenser ($T_{p,c}$)
- อุณหภูมิก๊าซที่ evaporator ($T_{v,e}$)
- อุณหภูมิก๊าซที่ condenser ($T_{v,c}$)
- อุณหภูมิท่อของไหลใช้งานที่ evaporator ($T_{pw,e}$)
- อุณหภูมิท่อของไหลใช้งานที่ condenser ($T_{pw,c}$)

4.5 แผนภาพการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 4.1 ได้แสดงแผนภาพการถ่ายเทความร้อนดังนี้



รูปที่ 4.1 แผนภาพการถ่ายเทความร้อน

4.6 เส้นทางการไหลของความร้อน

รูปที่ 4.2 และ 4.3 ได้แสดงเส้นทางการไหลของความร้อนและส่วนขยายของฮีตไปป์โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้ :

A \longrightarrow B : ความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (W)

$$q_{ab} = (\tau\alpha)I(t)A_{hp} \quad (4.1)$$

B \longrightarrow D : ความร้อนสูญเสีย (W)

$$q_L = U_L(T_{hp}-T_a)A_{hp} \quad (4.2)$$

ความร้อนที่เข้าสู่ฮีตไปป์ (W): B \longrightarrow E

$$q_u = (f(\tau\alpha)I(t) - U_L(T_{hp}-T_a))A_{hp} \quad (4.3)$$

โดย

$$U_L = \frac{1}{\frac{1}{\frac{NuK}{L} + \frac{\varepsilon_{hp}g_1\sigma[(T_{hp})^4 - (T_{g1})^4]}{T_{hp} - T_{g1}}} + \frac{1}{\frac{NuK}{L} + \frac{\varepsilon_{g1g2}\sigma[(T_{g1})^4 - (T_{g2})^4]}{T_{g1} - T_{g2}}} + \frac{1}{5.7 + 3.8V}}$$

$$Nu = 1 + 1.44\left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta}\right]^+ \left(1 - \frac{\sin(1.8\beta)^{1.6}1708}{Ra \cos \beta}\right) + \left[\left\{\frac{Ra \cos \beta}{5830}\right\}^{1/3} - 1\right]^+$$

สมการ energy balance

B \longrightarrow C : ความร้อนที่ radiation และ convection จาก glass 1 ไป glass 2 เท่ากับความร้อนที่ convective จาก glass 2 ไป ambient

$$h_2(T_{g1} - T_{g2})A_{hp} = h_3(T_{g2} - T_a)A_{hp} \quad (4.4)$$

โดย $h_3 = 5.7 + 3.8V$

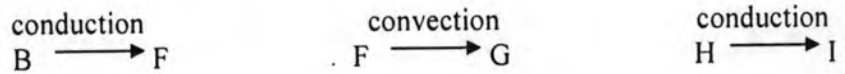
$$h_2 = \frac{NuK}{L} + \frac{\varepsilon_{g1g2}\sigma[(T_{g1})^4 - (T_{g2})^4]}{T_{g1} - T_{g2}}$$

$$h_1 = \frac{NuK}{L} + \frac{\varepsilon_{hp}g_1\sigma[(T_{hp})^4 - (T_{g1})^4]}{T_{hp} - T_{g1}}$$

C → D : ความร้อนที่ radiative และ convective จากพื้นผิว heat pipe ไป glass 1 เท่ากับ ความร้อนที่ convective และ radiative จาก glass 1 ไป glass 2

$$h_1(T_{hp} - T_{g1})A_{hp} = h_2(T_{g1} - T_{g2})A_{hp} \quad (4.5)$$

B → G : ถ่ายเทจากพื้นผิว heat pipe ผ่าน evaporator, condenser และเข้าสู่ น้ำ



$$q_u = A_p(T_{p,e} - T_{p,c}) \left[\frac{\pi r_o^2 \ln(r_o/r_i)}{2\pi L_e k_p} + \frac{\pi r_o^2 \ln(r_i/r_v)}{2\pi L_e k_l} + \frac{\pi r_o^2 T_v F_v \left(\frac{L_e}{6} + L_a + \frac{L_c}{6}\right)}{\rho_v \lambda} + \frac{\pi r_o^2 \ln(r_i/r_v)}{2\pi L_c k_l} + \frac{\pi r_o^2 \ln(r_o/r_i)}{2\pi L_c k_p} \right]^{-1} \quad (4.6)$$

โดย $F_v = \frac{(f_v \text{Re}_v)\mu_v}{2A_v r_{h,v}^2 \rho_v \lambda}$, $(f_v \text{Re}_v) = 16$ และ k_l คือ thermal conductivity ของไหลใช้งาน (W/m K)

สมการที่ 4.6 แบ่งย่อยเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

B → E : evaporator ผ่านผนังท่อ

$$T_{p,e} - T_{pw,e} = \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi L_e k_p} q_u \quad (4.7)$$

E → F : evaporator ผ่าน wick

$$T_{pw,e} - T_{wv,e} = \frac{\ln(r_i/r_v)}{2\pi L_e k_l} q_u \quad (4.8)$$

F → G : ผ่าน evaporator ส่วนก๊าซ

$$T_{v,e} - T_{v,c} = \frac{T_v F_v \left(\frac{L_e}{6} + L_a + \frac{L_c}{6}\right)}{\rho_v \lambda} q_u \quad (4.9)$$

G \longrightarrow H : ช่วงการควบแน่น

$$T_{wv,c} - T_{pw,c} = \frac{\ln(r_i / r_v)}{2\pi L_c k_l} q_u \quad (4.10)$$

H \longrightarrow I : ผนังท่อช่วงการควบแน่น

$$T_{pw,c} - T_{p,c} = \frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi L_c k_p} q_u \quad (4.11)$$

I \longrightarrow น้ำ : ความร้อนจาก condenser ถ่ายเทสู่น้ำ

$$q_{conv} = h_{hm}(T_c - T_{f,i}) \quad (4.12)$$

4.7 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

4.7.1 ส่วนโปรแกรม

ตัวที่ทราบค่าได้แก่ $T_a, T_{f,i}, T_{g2}$ (สมมุติให้), $\tau, \alpha, I(t), \epsilon_{eff}, \epsilon_{g1}, \epsilon_{g2}$

1. คำนวณค่า T_{g1} จากสมการ energy balance สมการ 4.4

$$h_2(T_{g1} - T_{g2}) = h_3(T_{g2} - T_a)$$

โดย $h_3 = 5.7 + 3.8V$

2. เมื่อได้ค่า T_{g1} คำนวณค่า T_{hp} จากสมการ energy balance ในสมการ 4.5

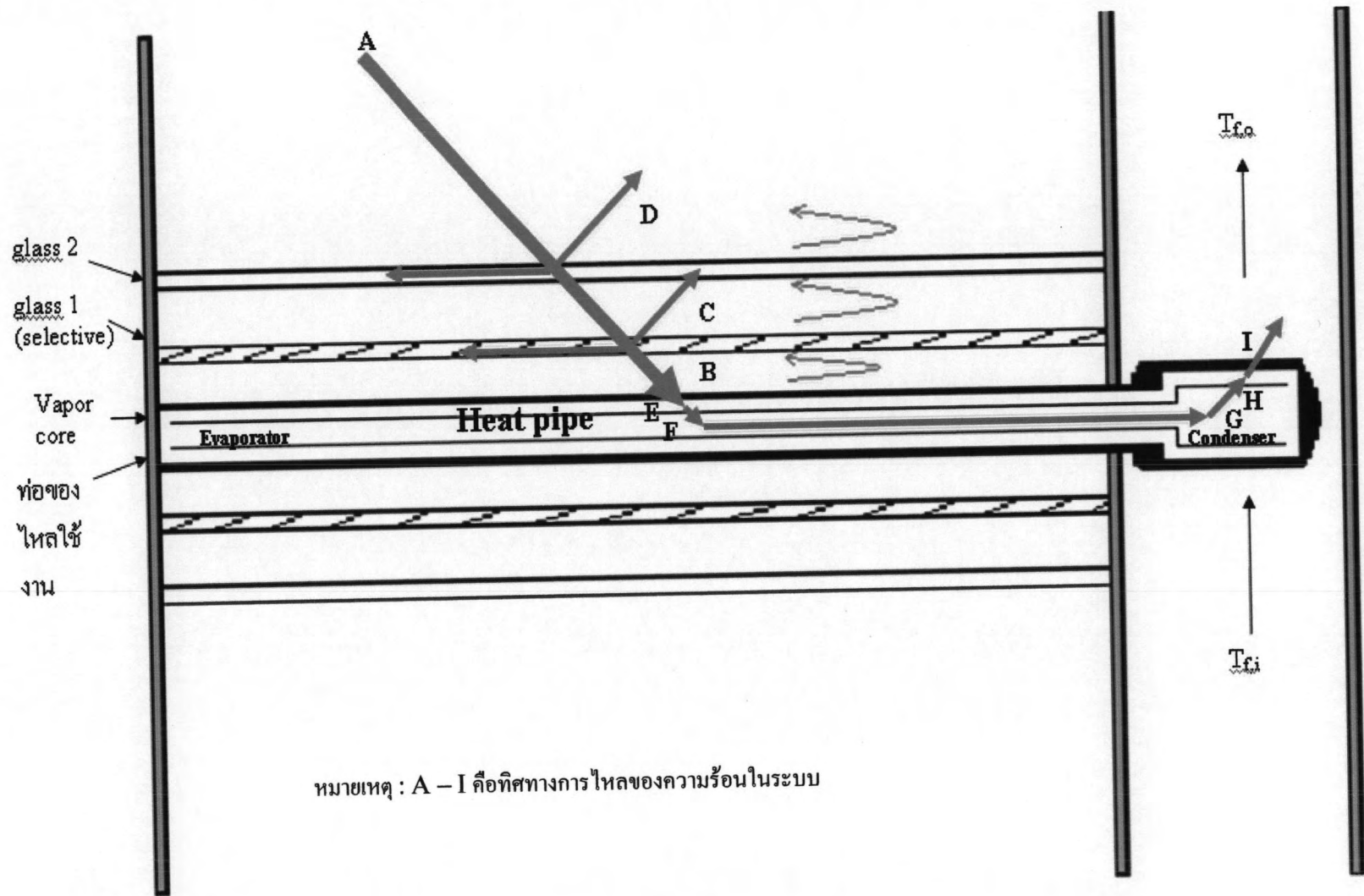
$$h_1(T_{hp} - T_{g1}) = h_2(T_{g1} - T_{g2})$$

3. เมื่อได้ค่า T_{hp} กับ T_{g1} แล้วนำมาคำนวณหาค่า q_u จากสมการ 4.1

$$q_u = (f(\tau\alpha)I(t) - U_L(T_{hp} - T_a)) A_{hp}$$

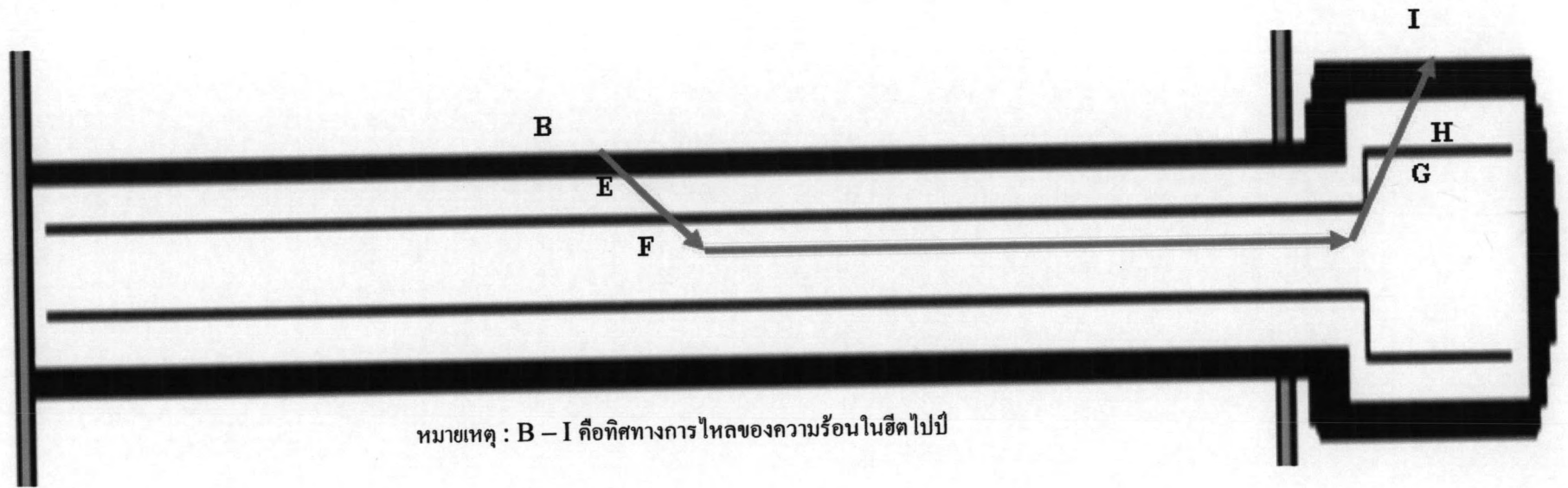
โดยค่า $(\tau\alpha)$ คำนวณจากสมการ

$$\cos\theta_i = (\cos\phi\cos\beta + \sin\phi\sin\beta\cos\gamma)\cos\delta\cos\omega + \cos\delta\sin\omega\sin\beta\sin\gamma + \sin\delta(\sin\phi\cos\beta - \cos\phi\sin\beta\cos\gamma)$$



หมายเหตุ : A - I คือทิศทางการไหลของความร้อนในระบบ

รูปที่ 4.2 เส้นทางกรไหลความร้อน



รูปที่ 4.3 ส่วนขยายของชีดไปป์

หลังจากได้ค่า θ_i แล้วจะได้ค่า τ, ρ_d (ในโปรแกรมจะคำนวณให้โดยอัตโนมัติโดย fit curve ในกราฟ ก.) และหลังจากนั้นหาค่า τ, ρ_d จากสูตร ($f(\tau\alpha)$ คือ transmissivity absorptivity product)

$$f(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha)\rho_d]^n = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_d}$$

โดย

$$U_L = \frac{1}{\frac{1}{\frac{NuK}{L} + \frac{\varepsilon_{hpg1}\sigma[(T_{hp})^4 - (T_{g1})^4]}{T_{hp} - T_{g1}}} + \frac{1}{\frac{NuK}{L} + \frac{\varepsilon_{g1g2}\sigma[(T_{g1})^4 - (T_{g2})^4]}{T_{g1} - T_{g2}}} + \frac{1}{5.7 + 3.8V}}$$

โดย $\varepsilon_{hpg1} = \left[\frac{1}{\varepsilon_{hp}} + \frac{1}{\varepsilon_{g1}} - 1 \right]^{-1}$, $\varepsilon_{g1g2} = \left[\frac{1}{\varepsilon_{g1}} + \frac{1}{\varepsilon_{g2}} - 1 \right]^{-1}$

4. เมื่อได้ค่า q_u, T_{hp}, T_{g1} แล้วนำมาคำนวณหาค่าอุณหภูมิในส่วนต่าง ๆ ของฮีตไปป์โดย $T_{p,e}$ นั้นจะเท่ากับ T_{hp} ที่หาได้จากข้อ 2 เนื่องจากเป็นจุดเดียวกัน
5. หาค่า $T_{p,c}$ โดยคำนวณสมการตั้งแต่ 4.7 ถึง 4.11 โดยเริ่มจากสมการ 4.7

5.1 คำนวณค่า $T_{pw,e}$

$$T_{p,e} - T_{pw,e} = \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi L_e k_p} q_u$$

5.2 คำนวณค่า $T_{wv,e}$

$$T_{pw,e} - T_{wv,e} = \frac{\ln(r_i/r_v)}{2\pi L_e k_l} q_u$$

5.3 คำนวณค่า $T_{v,c}$

$$T_{v,e} - T_{v,c} = \frac{T_v F_v \left(\frac{L_e}{6} + L_a + \frac{L_c}{6} \right)}{\rho_v \lambda} q_u \quad (T_{wv,e} = T_{v,e}, T_{wv,c} = T_{v,c}) \quad (T_v \text{ สมมติให้เท่ากับ } T_{v,e})$$

5.4 คำนวณค่า $T_{pw,c}$

$$T_{wv,c} - T_{pw,c} = \frac{\ln(r_i/r_v)}{2\pi L_c k_l} q_u$$

5.5 คำนวณค่า $T_{p,c}$

$$T_{pw,c} - T_{p,c} = \frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi L_c k_p} q_u$$

6. คำนวณหาค่าความร้อนที่ถ่ายเทสู่น้ำ (W)

$$q_{conv} = h_{hm}(T_c - T_{f,i})A_{cond}$$

$$\text{โดย } h_{hm} = 0.224 \left(\frac{k_f}{d_o}\right) \text{Re}_{f,c}^{0.6} \text{Pr}_{f,c}^{1/3}$$

หลังจากนั้นตรวจสอบว่าค่าความร้อนที่ถ่ายเทสู่อากาศไปอยู่ในข้อ 3 และความร้อนถ่ายเทสู่น้ำในข้อ 6 และเท่ากันหรือไม่ ถ้ายังไม่เท่ากัน ให้ทดลองเปลี่ยนค่าอุณหภูมิ glass 2 ไปเรื่อย ๆ (trial and error) แล้วทำซ้ำข้อ 1-6 ใหม่จนได้ค่าความร้อนเท่ากัน

7. คำนวณซ้ำข้อ 1-6 ไปเรื่อย ๆ โดยในแต่ละรอบให้คำนวณโดยใช้ค่าต่าง ๆ ของความเข้มแสง $I(t)$ อุณหภูมิ ambient (T_a), อุณหภูมิ glass 2 (T_{g2}) ที่เวลาต่าง ๆ กัน

8. จากการคำนวณทั้งหมดจะได้ค่า $q_u, T_{hp}, T_{g1}, T_{p,e}, T_{p,c}, T_{pw,e}, T_{v,c}, T_{v,e}, T_{pw,c}$ ที่เวลาต่าง ๆ เป็นพื้นฐานสำหรับการคำนวณค่าอื่น ๆ เช่น ค่าประสิทธิภาพ ($\eta = \frac{q_u}{I(t)A_c}$) และปริมาณน้ำร้อนเป็น

ตัน

9. หลังจากนั้นจึงเข้าสู่ระบบถังน้ำ

4.7.2 ระบบถังน้ำ (reservoir)

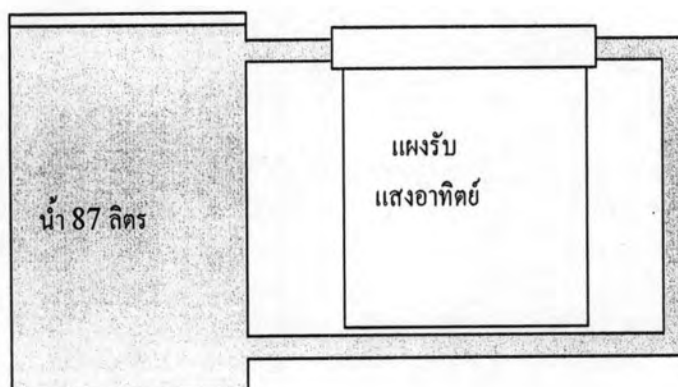
ถังน้ำมีความจุ 87 ลิตร แผลงทำงานตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 16.00 น. รวม 8 ชั่วโมง สมมติให้น้ำไหลผ่านแผงชั่วโมงละ 25 ลิตร ทั้งนี้มีขั้นตอนการคำนวณในช่วงเวลาต่าง ๆ ดังนี้

1. เวลาเริ่มต้น 8.00 น. ถึง 9.00 น.

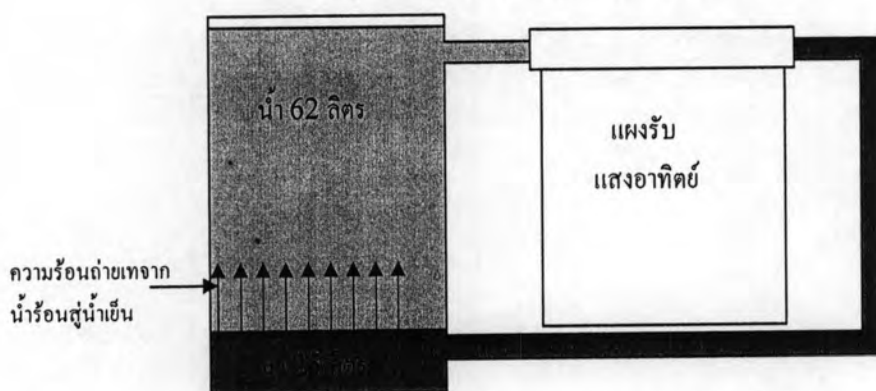
สูตร $q_u = mC_f(T_{f,o} - T_{f,i})$ (แปลง q เป็นหน่วย J ก่อนแทนค่าในสูตร)

โดยค่า q_u ได้มาจากการคำนวณในส่วนของ flat plate ที่ช่วงเวลา 8.00 – 9.00 น. $T_{f,i}$ หาได้จากการวัด (วัดจากอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำในถัง) หลังจากนั้นคำนวณค่า $T_{f,o}$ จากสูตร หลังจากนั้นหาอุณหภูมิน้ำในถังรวมจากสูตรการถ่ายเทความร้อนจากน้ำ 25 ลิตรสู่ 62 ลิตร $T_{w,เริ่มต้น}$ ซึ่งสมมติให้เท่ากับ $T_{f,i}$ รูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงแผนผังเริ่มการทดลอง (8.00 น.) และเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง (9.00 น.)

$$\begin{aligned} q_{25} &= q_{62} \\ mC_f\Delta T &= mC_f\Delta T \\ mC_f(T_{f,o} - T_w) &= mC_f(T_w - T_{w,เริ่มต้น}) \end{aligned}$$



รูปที่ 4.4 แสดงแผงขณะเริ่มการทดลอง



รูปที่ 4.5 แผงขณะที่การทดลองผ่านไปได้ 1 ชั่วโมง

2. ช่วงเวลา 9.00-10.00 น.

การคำนวณคล้าย ๆ กับช่วง 8.00 น. ถึง 9.00 น. โดยนำค่า q_u ที่ได้จากการคำนวณในส่วน flat plate ในช่วง 9.00-10.00 น. $T_{f,i}$ จะเท่ากับ $T_{w,เริ่มต้น}$ ในช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 9.00 น. หลังจากนั้นให้คำนวณค่า $T_{f,o}$ จากสูตรดังนี้

$$q_u = m_f C_f (T_{f,o} - T_{f,i}) / A_{ap}$$

เมื่อได้ค่า $T_{f,o}$ แล้วนำมาคำนวณหาค่าอุณหภูมิน้ำในถัง

$$Q_{25} = Q_{62}$$

$$m C_f \Delta T = m C_f \Delta T$$

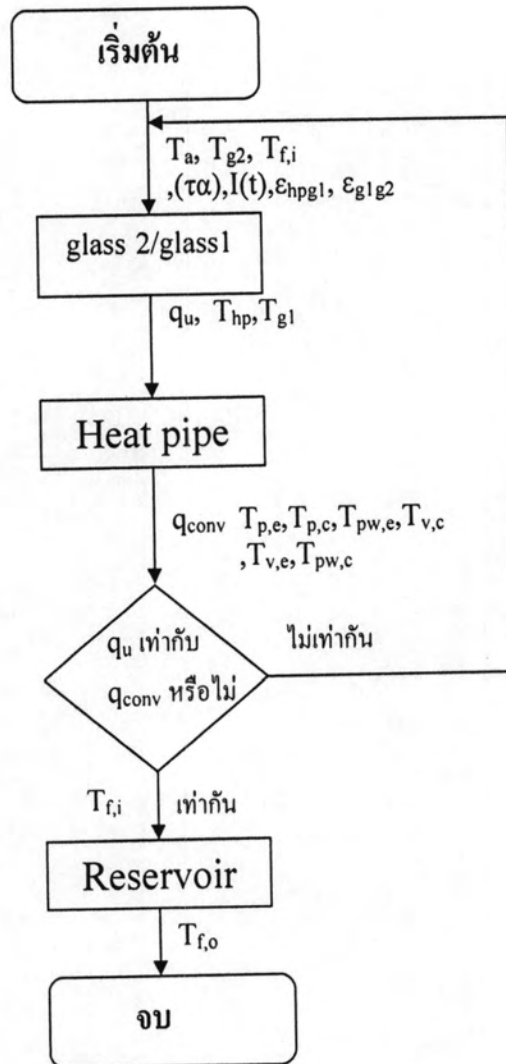
$$m C_f (T_{f,o} - T_w) = m C_f (T_w - T_{w,เริ่มต้น})$$

โดย $T_{w,เริ่มต้น}$ สมมุติให้มีค่าเท่ากับ $T_{f,i}$

3. จำนวนไปเรื่อย ๆ ในแต่ละช่วงเวลา 10.00 น.-11.00 น. ไปจนถึง 15.00 น. ถึง 17.00 น.

4.8 สรุปการคำนวณ

รูปที่ 4.6 แสดงแผนผังสรุปผลการคำนวณทั้งหมดดังนี้



รูปที่ 4.6 สรุปแผนผังการคำนวณทั้งหมด

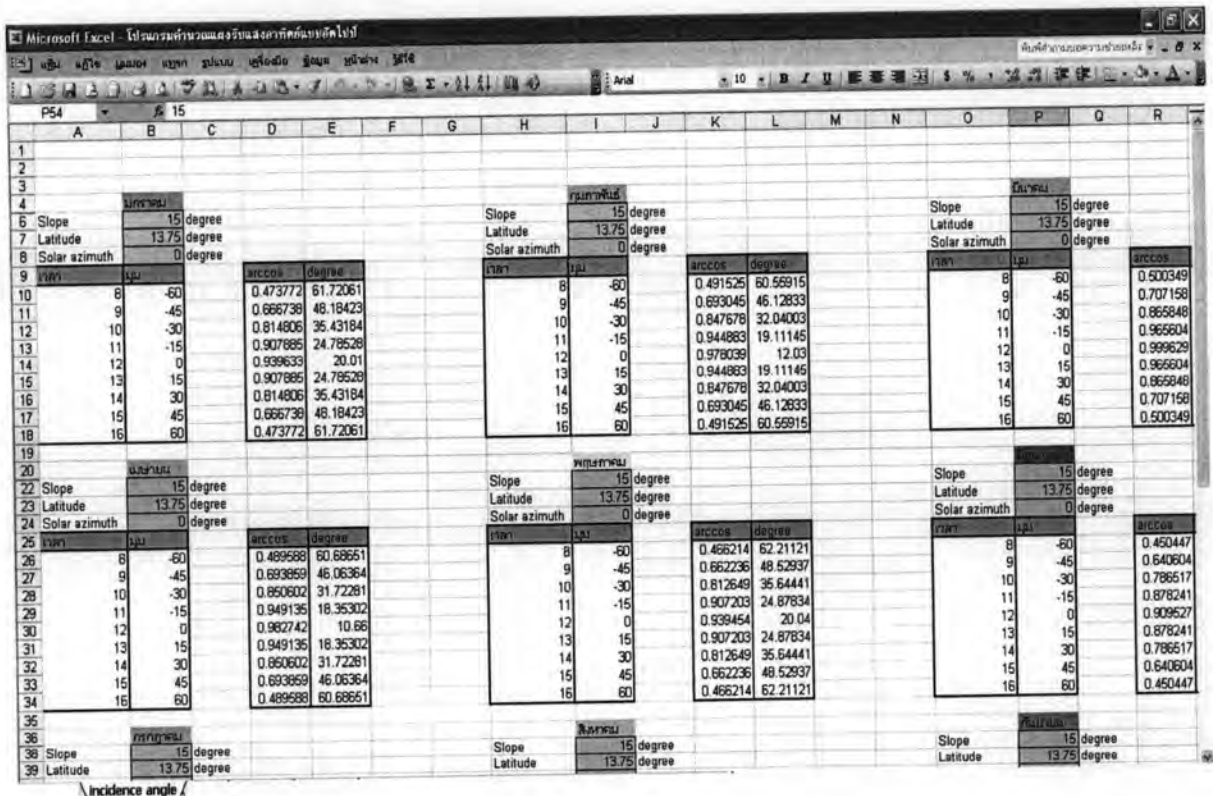
4.9 โปรแกรม Microsoft excel

ได้นำวิธีการคำนวณมาสร้างเป็นโปรแกรมการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Microsoft excel ซึ่ง Microsoft excel นี้เป็นโปรแกรมการคำนวณตารางทั่วไปหรือที่เรียกว่าเป็นโปรแกรม spreadsheet เป็นโปรแกรมที่นิยมใช้จัดเก็บข้อมูลเกี่ยวกับตัวเลขที่มีจำนวนมากเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หรือคำนวณผลโดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ตั้งแต่ขั้นพื้นฐานจนถึงขั้นซับซ้อน เช่นคะแนน การสอบของนักเรียน บัญชีเงินเดือนของพนักงาน หรือข้อมูลรายรับรายจ่ายของบริษัท เป็นต้น

4.10 โปรแกรมการคำนวณในงานวิจัย

โปรแกรมที่ใช้คำนวณคือ Microsoft excel ซึ่งการคำนวณนั้นจะแบ่งออกเป็น 4 แผ่นงานได้แก่

1. Incidence angle (รูปที่ 4.7) เป็นแผ่นงานที่ใช้ป้อนค่าข้อมูลในส่วนของมุมต่าง ๆ ที่โลกทำกับดวงอาทิตย์ซึ่งได้แก่มุม latitude (ϕ), declination (δ), hour angle (ω), solar azimuth angle (γ), slope(β) เพื่อหาค่ามุม incidence angle

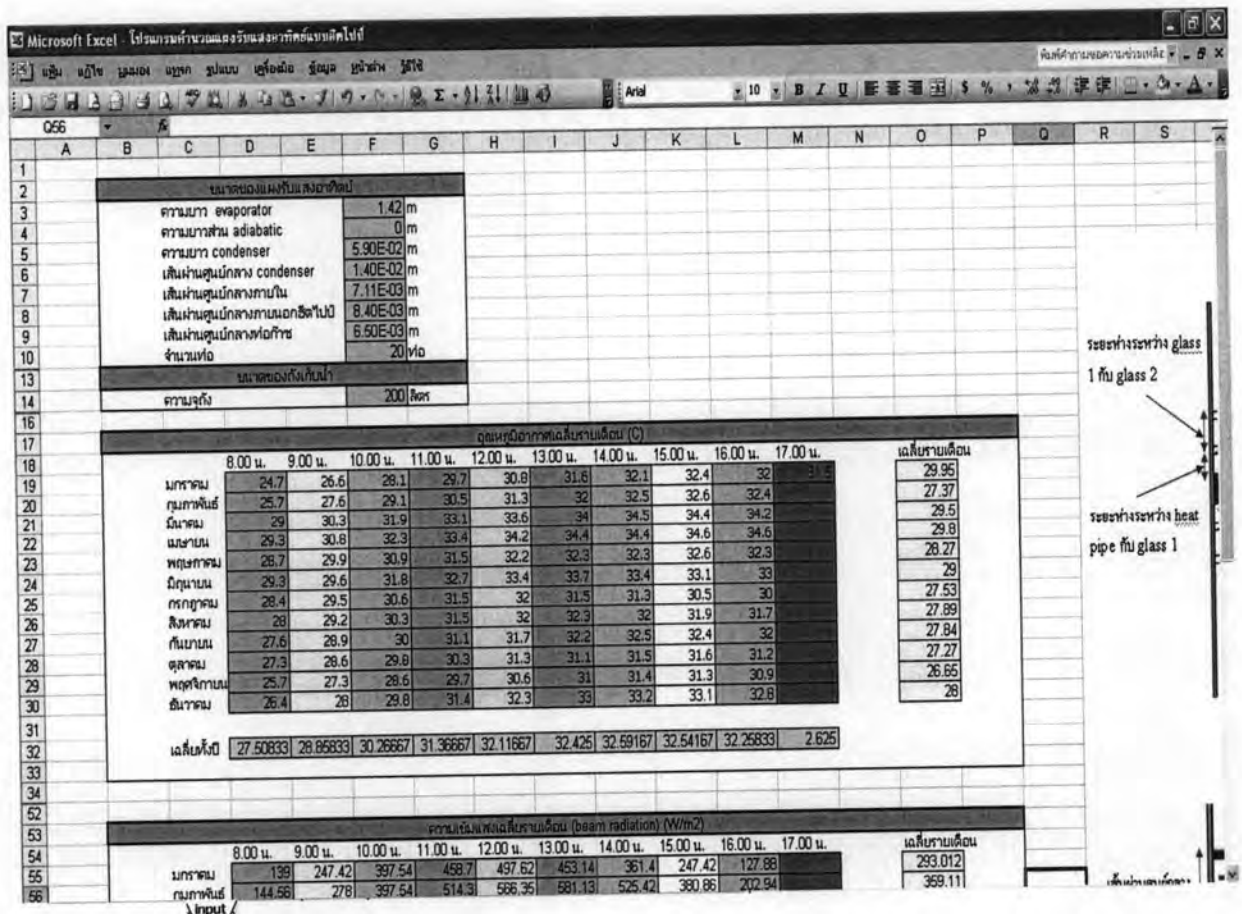


รูปที่ 4.7 แผ่นงาน incidence angle

2. Input (รูปที่ 4.8) เป็นแผ่นงานที่ใช้ป้อนค่าที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณซึ่งได้แก่ :

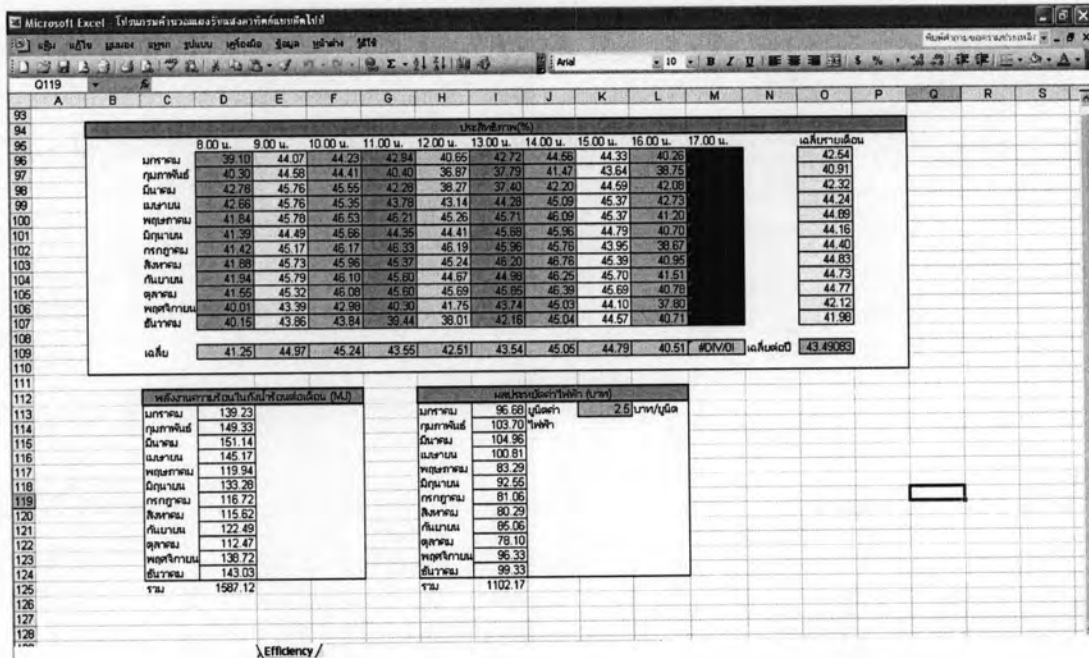
- 2.1 คุณลักษณะฮีตไปป์เช่น ความยาวคอนเดนเซอร์ อีเวพอเรเตอร์ และรัศมี เป็นต้น
- 2.2 ขนาดความจุถังน้ำ
- 2.3 อุณหภูมิอากาศโคจรอบ (ambient)
- 2.4 ความเข้มแสง (beam radiation และ diffuse radiation)
- 2.5 ความเร็วลม
- 2.6 คุณลักษณะของแผงเช่นพื้นที่รับแสง พื้นที่ผิวฮีตไปป์ ค่า emissivity, absorbtivity, transmissivity และ diffuse reflectivity เป็นต้น

นอกจากนี้ในแผ่นงานนี้ยังมี diagram ของแผงว่าส่วนต่าง ๆ ที่บันทึกนั้นคือส่วนไหนของแผง



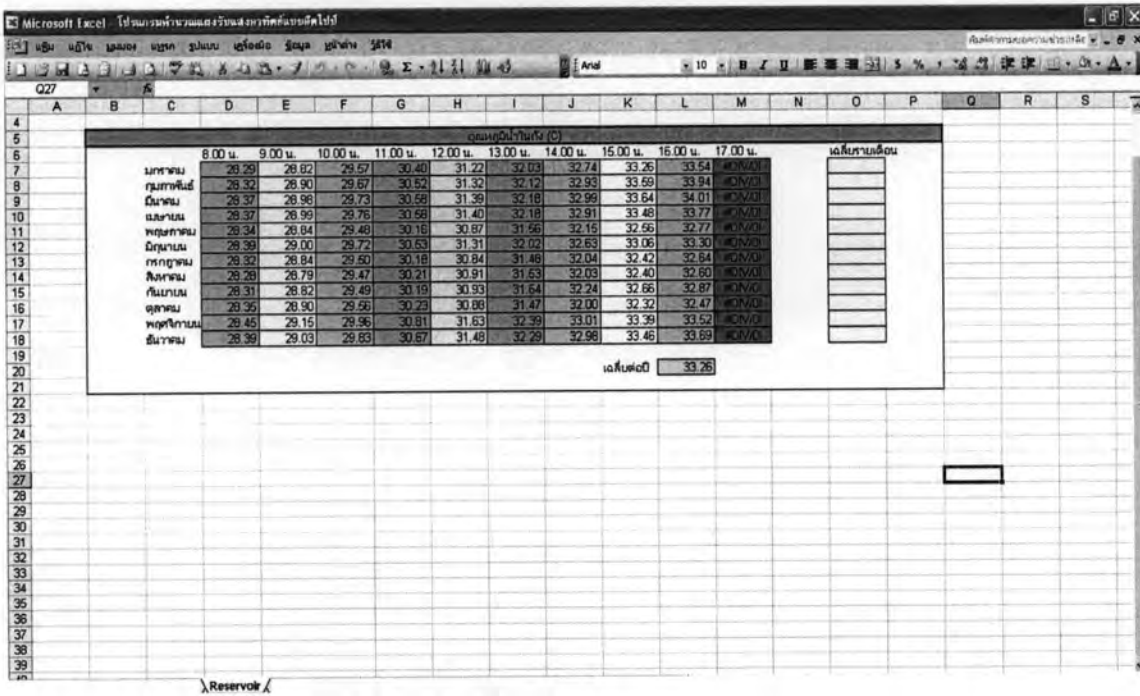
รูปที่ 4.8 แผ่นงาน input

3. Efficiency (รูปที่ 4.9) เป็นแผนงานที่แสดงประสิทธิภาพของแผงอุณหภูมิส่วนต่าง ๆ ของแผง ที่เวลาต่าง ๆ และพลังงานในถึงน้ำร้อนและผลประหยัดค่าไฟฟ้า



รูปที่ 4.9 แผนงาน Efficiency

4. Reservoir เป็นแผนงานที่แสดงอุณหภูมิในถึงที่เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 4.10 แผ่นงาน Reservoir

4.9.1 การใช้งานโปรแกรม มีขั้นตอนดังนี้

1. เริ่มจากแผ่นงาน incidence angle ให้ป้อนค่ามุมต่าง ๆ ได้แก่มุม latitude (ϕ), declination (δ), solar azimuth angle (γ) และ slope(β) เพื่อหาค่ามุม incidence angle ในช่องสี่เหลี่ยม โดยแต่ละตารางจะมีชื่อเดือนกำกับอยู่ด้านบน (รูปที่ 4.11)

		กุมภาพันธ์	
Slope		15	degree
Latitude		13.75	degree
Solar azimuth		0	degree
เวลา	มุม		
8	-60	arccos	degree
9	-45	0.491525	60.55915
10	-30	0.693045	46.12833
11	-15	0.847678	32.04003
12	0	0.944883	19.11145
13	15	0.978039	12.03
14	30	0.944883	19.11145
15	45	0.847678	32.04003
16	60	0.693045	46.12833
		0.491525	60.55915

รูปที่ 4.11 ตารางป้อนค่ามุมในแผ่นงาน incidence angle โดย degree คือมุม incidence angle

2. หลังจากนั้นไปที่แผ่นงาน input ให้ป้อนค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณได้แก่ขนาดของแผงรับแสงอาทิตย์ ขนาดความจุถังน้ำ อุณหภูมิอากาศโดยรอบ ความเข้มแสง (total radiation) คุณลักษณะต่างของแผง ความเร็วลมและอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น (รูปที่ 4.12-4.18)

ขนาดของแผงรับแสงอาทิตย์	
ความยาว evaporator	1.42 m
ความยาวส่วน adiabatic	0 m
ความยาว condenser	5.90E-02 m
เส้นผ่านศูนย์กลางกลาง condenser	1.40E-02 m
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	7.11E-03 m
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกซีตไปป์	8.40E-03 m
เส้นผ่านศูนย์กลางท่อก๊าซ	6.50E-03 m
จำนวนท่อ	20 ท่อ
ขนาดของถังเก็บน้ำ	
ความจุถัง	200 ลิตร

รูปที่ 4.12 ตารางป้อนค่าคุณลักษณะของฮีตไปป์และขนาดของถังเก็บน้ำ

	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน (C)										เฉลี่ยรายเดือน
	8.00 น.	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	17.00 น.	
มกราคม	24.7	26.6	28.1	29.7	30.8	31.6	32.1	32.4	32	31.8	29.95
กุมภาพันธ์	25.7	27.6	29.1	30.5	31.3	32	32.5	32.6	32.4		27.37
มีนาคม	29	30.3	31.9	33.1	33.6	34	34.5	34.4	34.2		29.5
เมษายน	29.3	30.8	32.3	33.4	34.2	34.4	34.4	34.6	34.6		29.8
พฤษภาคม	28.7	29.9	30.9	31.5	32.2	32.3	32.3	32.6	32.3		28.27
มิถุนายน	29.3	29.6	31.8	32.7	33.4	33.7	33.4	33.1	33		29
กรกฎาคม	28.4	29.5	30.6	31.5	32	31.5	31.3	30.5	30		27.53
สิงหาคม	28	29.2	30.3	31.5	32	32.3	32	31.9	31.7		27.89
กันยายน	27.6	28.9	30	31.1	31.7	32.2	32.5	32.4	32		27.84
ตุลาคม	27.3	28.6	29.8	30.3	31.3	31.1	31.5	31.6	31.2		27.27
พฤศจิกายน	25.7	27.3	28.6	29.7	30.6	31	31.4	31.3	30.9		26.65
ธันวาคม	26.4	28	29.8	31.4	32.3	33	33.2	33.1	32.8		28
เฉลี่ยทั้งปี	27.50833	28.85833	30.26667	31.36667	32.11667	32.425	32.59167	32.54167	32.25833	2.625	

รูปที่ 4.13 ตารางป้อนค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน

ความเข้มแสงเฉลี่ยรายเดือน (beam radiation) (W/m ²)											
	8.00 น.	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	17.00 น.	เฉลี่ยรายเดือน
มกราคม	139	247.42	397.54	458.7	497.62	453.14	361.4	247.42	127.88		293.012
กุมภาพันธ์	144.56	278	397.54	514.3	566.35	581.13	525.42	380.86	202.94		359.11
มีนาคม	158.46	283.56	369.74	469.82	564.28	565.15	511.52	369.74	205.72		349.799
เมษายน	191.82	314.14	414.22	475.38	500.4	467.04	422.56	322.48	161.24		326.928
พฤษภาคม	197.38	266.88	314.14	325.26	341.94	336.38	266.34	183.48	77.84		232.964
มิถุนายน	219.62	336.38	397.54	458.7	453.14	397.54	347.5	233.52	119.54		296.348
กรกฎาคม	130.66	236.3	269.66	281.32	258.54	266.34	269.66	155.68	86.18		195.434
สิงหาคม	113.98	208.5	319.7	311.36	260.78	214.06	158.46	127.88	63.94		179.866
กันยายน	116.76	216.84	283.56	278	311.36	266.34	239.08	152.9	69.5		195.434
ตุลาคม	141.78	214.06	239.08	239.08	230.74	216.84	191.82	100.08	47.26		162.074
พฤศจิกายน	239.08	366.96	464.26	511.52	458.7	391.98	300.24	164.02	47.26		294.402
ธันวาคม	197.38	347.5	464.26	564.34	562.5838	492.06	353.06	233.52	100.08		331.4784
เฉลี่ย	165.8733	276.3783	360.9367	405.6483	418.8695	390.6667	330.5883	222.6317	109.115	0	

รูปที่ 4.14 ตารางป้อนค่าความเข้มแสงเฉลี่ยรายเดือน (beam radiation)

ความเข้มแสงเฉลี่ยรายเดือน (diffuse radiation) (W/m ²)											
	8.00 น.	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	17.00 น.	เฉลี่ยรายเดือน
มกราคม	113.57	163.43	204.98	218.83	221.6	216.06	196.67	160.66	102.49		159.829
กุมภาพันธ์	138.5	196.67	235.45	249.3	220.5009	187.8179	182.82	155.12	116.34		168.2519
มีนาคม	166.2	221.6	263.15	265.31	238.7919	232.68	216.06	177.28	130.19		193.1262
เมษายน	160.66	218.83	260.38	263.15	246.53	224.37	216.06	174.51	119.11		188.36
พฤษภาคม	141.27	182.82	249.3	268.69	265.31	268.69	235.45	185.59	130.19		194.731
มิถุนายน	188.36	229.91	257.61	265.31	274.23	238.22	199.44	168.97	130.19		197.224
กรกฎาคม	188.36	240.99	310.24	324.09	318.55	274.23	235.45	196.67	149.58		223.816
สิงหาคม	160.66	232.68	277	332.4	329.63	321.32	263.15	196.67	130.19		224.37
กันยายน	166.2	216.06	279.77	313.01	326.86	329.63	257.61	202.21	132.96		222.431
ตุลาคม	166.2	238.22	299.16	315.78	301.93	274.23	235.45	163.43	91.41		208.581
พฤศจิกายน	141.27	188.36	207.75	232.68	249.3	227.14	191.13	144.04	74.79		165.646
ธันวาคม	116.34	146.81	160.66	166.2	174.51	182.82	171.74	138.5	85.87		134.345
เฉลี่ย	153.9658	206.365	250.4542	271.2292	265.6452	248.1007	216.7525	171.9708	116.1092	0	

รูปที่ 4.15 ตารางป้อนค่าความเข้มแสงเฉลี่ยรายเดือน (diffuse radiation)

ความเร็วลมในแนวตั้งฉากกับแผง (m/s)
1

รูปที่ 4.16 ตารางป้อนค่าความเร็วลม

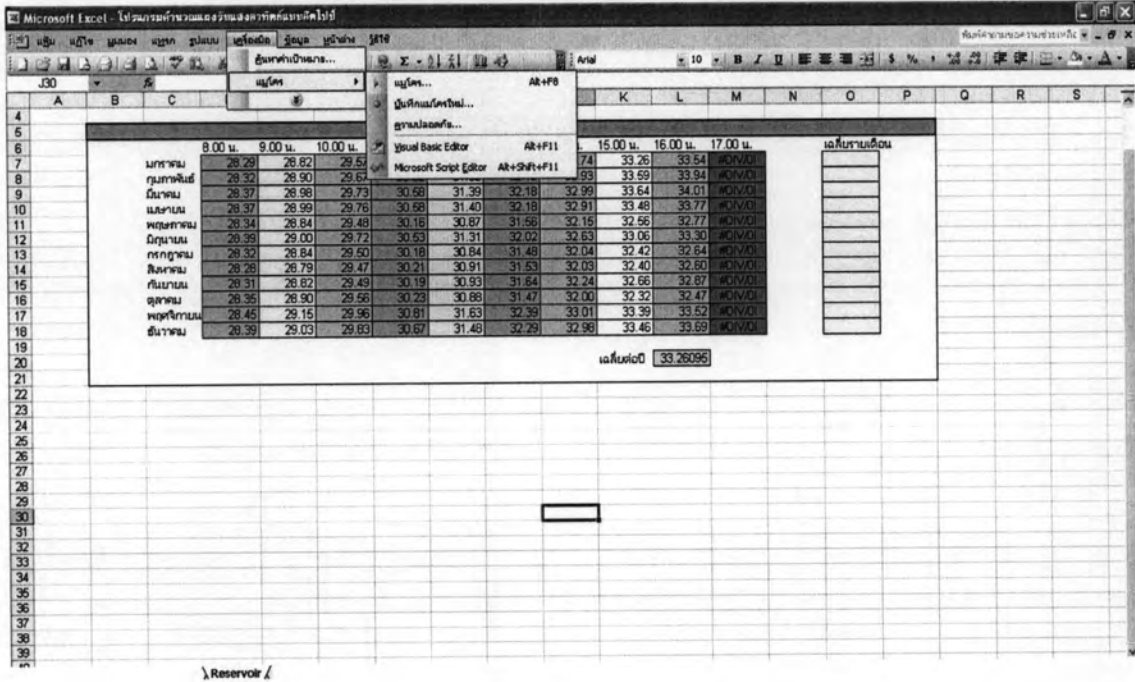
อุณหภูมิน้ำเข้า (C)	
	8.00 น.
มกราคม	28
กุมภาพันธ์	28
มีนาคม	28
เมษายน	28
พฤษภาคม	28
มิถุนายน	28
กรกฎาคม	28
สิงหาคม	28
กันยายน	28
ตุลาคม	28
พฤศจิกายน	28
ธันวาคม	28

รูปที่ 4.17 ตารางบันทึกค่าอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น

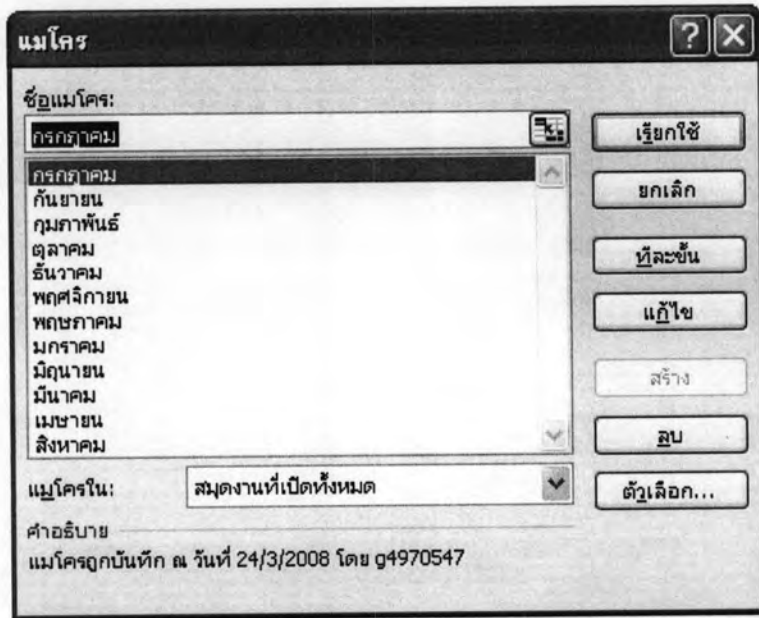
คุณลักษณะของแผง	
absorptivity	8.90E-01
emission ของ heat pipe	1.70E-01
emission ของ glass 1	0.085
emission ของ glass 2	0.085
effective emissivity (hpg1)	0.060071
effective emissivity (g1g2)	0.044386
thermal conductivity ของแผง	372 W/mK
thermal conductivity ของวีก	0 W/mK
wick porosity	1
พื้นที่รับแสง	0.5825 ตารางเมตร
ระยะห่างระหว่าง ผิวน้ำติดไปกับ glass1	3.30E-03 m
ระยะห่างระหว่าง glass1 กับ glass2	3.50E-03 m
ความเร็วที่น้ำไหล	1.95E-01 m/s

รูปที่ 4.18 ตารางป้อนค่าคุณลักษณะของแผง

3. ใช้แมโครเพื่อคำนวณหาค่าอุณหภูมิที่แผงทำได้สูงสุด ประสิทธิภาพของระบบ พลังงานที่ถ่ายเทสู่น้ำ ผลประหยัดค่าไฟฟ้าโดยเลือกที่เมนูเครื่องมือ แล้วตามด้วยแมโครหรือกด Alt+F8 (รูปที่ 4.19-4.20)



รูปที่ 4.19 การเรียกใช้แมโคร



รูปที่ 4.20 แมโคร

4. เลือกเดือนที่ต้องการคำนวณแล้วคลิกที่ปุ่มเรียกใช้ โปรแกรมจะทำงาน โดยอัตโนมัติในแต่ละเดือน
5. หากต้องการดูข้อมูลทั้งปีให้ทำซ้ำข้อ 3-4 จนครบทุกเดือน
6. ดูผลการคำนวณในแผ่นงาน efficiency และ reservoir (รูปที่ 4.21) ซึ่งได้แก่ ประสิทธิภาพของแผงที่เวลาต่าง ๆ พลังงานความร้อนในถังน้ำร้อน (รูปที่ 4.23) อุณหภูมิน้ำในถังที่เวลาต่าง ๆ (รูปที่ 4.22) และผลประหยัดค่าไฟฟ้า ซึ่งผลประหยัดค่าไฟฟ้าคือการเปรียบเทียบระหว่างใช้เครื่องทำน้ำอุ่นทำน้ำร้อนกับใช้แผงทำน้ำร้อน (รูป 4.24) โดยสามารถเปลี่ยนค่าหน่วยไฟฟ้าได้

	อุณหภูมิในถัง (C)										เฉลี่ยรายเดือน
	8.00 น.	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	17.00 น.	
มกราคม	28.29	28.82	29.57	30.40	31.22	32.03	32.74	33.26	33.54	#DIV/0!	
กุมภาพันธ์	28.32	28.90	29.67	30.52	31.32	32.12	32.93	33.59	33.94	#DIV/0!	
มีนาคม	28.37	28.98	29.73	30.58	31.39	32.18	32.99	33.64	34.01	#DIV/0!	
เมษายน	28.37	28.99	29.76	30.58	31.40	32.18	32.91	33.48	33.77	#DIV/0!	
พฤษภาคม	28.34	28.84	29.48	30.16	30.87	31.56	32.15	32.56	32.77	#DIV/0!	
มิถุนายน	28.39	29.00	29.72	30.53	31.31	32.02	32.63	33.06	33.30	#DIV/0!	
กรกฎาคม	28.32	28.84	29.50	30.18	30.84	31.48	32.04	32.42	32.64	#DIV/0!	
สิงหาคม	28.28	28.79	29.47	30.21	30.91	31.53	32.03	32.40	32.60	#DIV/0!	
กันยายน	28.31	28.82	29.49	30.19	30.93	31.64	32.24	32.66	32.87	#DIV/0!	
ตุลาคม	28.35	28.90	29.56	30.23	30.88	31.47	32.00	32.32	32.47	#DIV/0!	
พฤศจิกายน	28.45	29.15	29.96	30.81	31.63	32.39	33.01	33.39	33.52	#DIV/0!	
ธันวาคม	28.39	29.03	29.83	30.67	31.48	32.29	32.98	33.46	33.69	#DIV/0!	
เฉลี่ย											เฉลี่ยต่อปี 33.26

รูปที่ 4.21 การแสดงผลอุณหภูมิในถังในแผ่นงาน reservoir

	ประสิทธิภาพ(%)										เฉลี่ยรายเดือน
	8.00 น.	9.00 น.	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.	15.00 น.	16.00 น.	17.00 น.	
มกราคม	39.10	44.07	44.23	42.94	40.65	42.72	44.56	44.33	40.26		42.54
กุมภาพันธ์	40.30	44.58	44.41	40.40	36.87	37.79	41.47	43.64	38.75		40.91
มีนาคม	42.78	45.76	45.55	42.28	38.27	37.40	42.20	44.59	42.08		42.32
เมษายน	42.66	45.76	45.35	43.78	43.14	44.28	45.09	45.37	42.73		44.24
พฤษภาคม	41.84	45.78	46.53	46.21	45.26	45.71	46.09	45.37	41.20		44.89
มิถุนายน	41.39	44.49	45.66	44.35	44.41	45.68	45.96	44.79	40.70		44.16
กรกฎาคม	41.42	45.17	46.17	46.33	46.19	45.96	45.76	43.95	38.67		44.40
สิงหาคม	41.88	45.73	45.96	45.37	45.24	46.20	46.76	45.39	40.95		44.83
กันยายน	41.94	45.79	46.10	45.60	44.67	44.98	46.25	45.70	41.51		44.73
ตุลาคม	41.55	45.32	46.08	45.60	45.69	45.85	46.39	45.69	40.78		44.77
พฤศจิกายน	40.01	43.39	42.98	40.30	41.75	43.74	45.03	44.10	37.80		42.12
ธันวาคม	40.15	43.86	43.84	39.44	38.01	42.16	45.04	44.57	40.71		41.98
เฉลี่ย	41.25	44.97	45.24	43.55	42.51	43.54	45.05	44.79	40.51	#DIV/0!	เฉลี่ยต่อปี 43.49083

รูปที่ 4.22 การแสดงผลประสิทธิภาพของแผงแผ่นงาน efficiency

พลังงานความร้อนในถังน้ำร้อนต่อเดือน (MJ)	
มกราคม	139.23
กุมภาพันธ์	149.33
มีนาคม	151.14
เมษายน	145.17
พฤษภาคม	119.94
มิถุนายน	133.28
กรกฎาคม	116.72
สิงหาคม	115.62
กันยายน	122.49
ตุลาคม	112.47
พฤศจิกายน	138.72
ธันวาคม	143.03

รูปที่ 4.23 การแสดงผลพลังงานที่ถ่ายเทสู่น้ำผ่านงาน efficiency

ผลประหยัดค่าไฟฟ้า (บาท)		
มกราคม	96.68	ยูนิตค่า ไฟฟ้า 2.5 บาท/ยูนิต
กุมภาพันธ์	103.70	
มีนาคม	104.96	
เมษายน	100.81	
พฤษภาคม	83.29	
มิถุนายน	92.55	
กรกฎาคม	81.06	
สิงหาคม	80.29	
กันยายน	85.06	
ตุลาคม	78.10	
พฤศจิกายน	96.33	
ธันวาคม	99.33	

รูปที่ 4.24 การแสดงผลผลประหยัดค่าไฟฟ้า

4.10.2 สรุปการใช้งานโปรแกรม

การใช้งานโปรแกรมนั้น ค่าที่ผู้ใช้ต้องบันทึกได้แก่ ค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (ambient) ความเข้มแสง คุณลักษณะของฮีตไปป์ (เช่นรัศมี,ความยาว) คุณลักษณะของแผง (เช่นพื้นที่รับแสง emissivity และ absorptivity ของ glass กับของฮีตไปป์) ค่าที่ได้ ได้แก่ อุณหภูมิน้ำที่ทำได้ ประสิทธิภาพ และพลังงานความร้อนในถังน้ำร้อน

4.11 การตรวจสอบโปรแกรม

การทดสอบโปรแกรมได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ส่วนสมการ flat plate และสมการ heat pipe โดยใช้ข้อมูลการทดลองจริง (วิวัฒน์, 2526) ,(Tiwari ,2004) ตารางที่ 4.1 ได้แสดงการทดสอบโปรแกรมในส่วนสมการ heat pipe ตารางที่ 4.2 ได้แสดงข้อมูลทดสอบที่ใช้ทดสอบโปรแกรมในส่วนสมการ flat plate กราฟที่ 4.1 และ กราฟที่ 4.2 ได้แสดงการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลการทดลองและการคำนวณในส่วนสมการ flat plate

ข้อมูลเกี่ยวกับฮีตไปป์ (วิวัฒน์, 2526)

วัสดุที่ใช้ทำท่อฮีตไปป์	ทองแดง
ความยาวท่อฮีตไปป์	300 มิลลิเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ	8 มิลลิเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ	6.4 มิลลิเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางที่ไอไหลผ่าน	5.6 มิลลิเมตร
ความหนาของท่อ	0.8 มิลลิเมตร
วัสดุที่ใช้ทำวิก	ทองเหลือง
รูปร่างของวิก	ตาข่าย
ความหนาของวิก	0.396 มิลลิเมตร
ความยาวช่วงการระเหย	90 มิลลิเมตร
ความยาวช่วงกั้นกลาง(adiabatic)	100 มิลลิเมตร
ความยาวช่วงการควบแน่น	110 มิลลิเมตร
ของเหลวใช้งาน	น้ำ
มุมเอียงของฮีตไปป์	0 องศา

ตารางที่ 4.1 การทดสอบโปรแกรมในส่วนของสมการ heat pipe

ตัวแปร	จากการคำนวณ (°C) (วิวัฒน์, 2526)	จากโปรแกรม (°C) (วรเดช, 2551)	% ต่างต่าง
$T_{p,e}$	55.10	55.10	-
$T_{pw,e}$	55.06	55.05	0.02
$T_{wv,e}$	47.90	48.73	1.78
$T_{v,c}$	47.88	48.73	1.78
$T_{pw,c}$	42.03	42.41	0.91
$T_{p,c}$	42.00	42.37	0.89

ข้อมูลที่ใช้ทดสอบโปรแกรมในส่วนสมการ flat plate (Tiwari,2004) (เป็น single glass cover)

ระยะห่างระหว่าง absorber ไปยังส่วน cover	0.025 m
Emittance ของ absorber (ϵ_p)	0.95
Glass cover emittance (ϵ_g)	0.88
มุมเอียงของแผง	45 องศา
Wind heat transfer coefficient (h_{2c})	10 W/m ² K
Ambient air temperature (T_a)	16 °C
อุณหภูมิ plate เหล็ก (T_p)	100 °C

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบการคำนวณสมการ flat plate

รายการที่เปรียบเทียบ	จากการคำนวณของ Tiwari, 2004	จากการคำนวณด้วย โปรแกรมของวรเดช 2551	% ต่าง
U_L (W/m ² K)	6.76	6.82	0.88

$$\text{หมายเหตุ : } U_L = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2}}$$

โดย U_L คือ over all heat loss coefficient h_1 คือสัมประสิทธิ์การพาและแผ่รังสีความร้อนจากตัว plate ไปยังส่วน cover h_2 คือสัมประสิทธิ์การพาและแผ่รังสีความร้อนจาก cover ไปยัง ambient