# บทที่ 2

# ทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงกลไกการไหลภายในท่อ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การ วิเคราะห์สมการสมดุลย์ทางด้านพลังงาน ตัวแปรที่เกี่ยวข้องและขั้นตอนการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์

## กลไกการไหลภายในท่อ

การเคลื่อนที่ของอากาศในท่อเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายในท่อหรือปล่อง คือ

1. ความดันเริ่มต้นของอากาศในท่อ

2. ความดันสุทธิอันเนื่องจากแรงลอยตัว โดยแรงลอยตัวนี้เกิดจากผลของการเปลี่ยนระดับและความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกท่อ

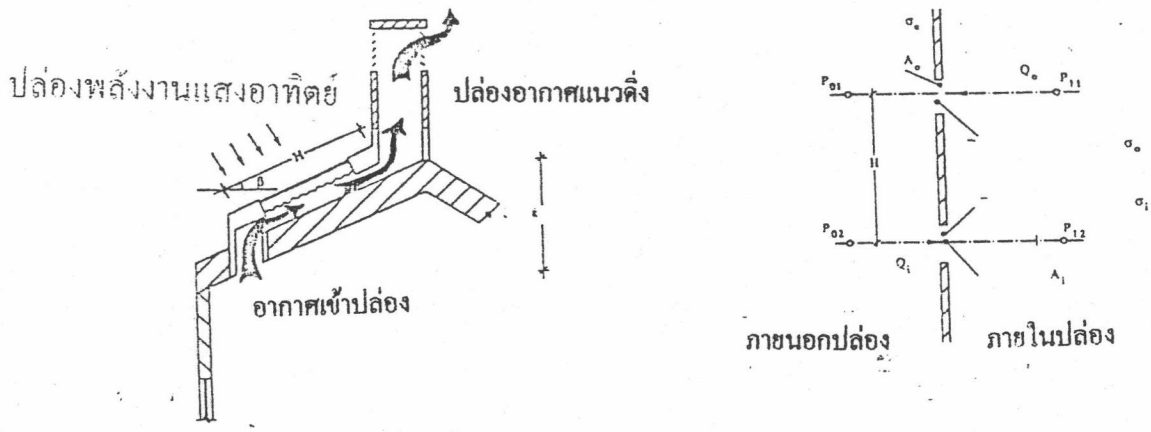
3. ความดันอันเนื่องมาจากพัดลม

4. ความดันลดอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานที่ต้านการไหล ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความเสียดทาน การเปลี่ยนขนาดของท่อให้ใหญ่ขึ้นอย่างกระทันหัน การลดขนาดท่อลงอย่างกระทันหัน มีสิ่งกีดขวางภายในท่อ การไหลเข้าท่อ วาวล์ต่างๆ ท่อโค้ง, ข้อต่อ, ข้องอ และการไหลออกจากท่อโดยทั่วๆไป การไหลของอากาศภายในท่อจะใช้ความดันจากพัดลมเป็นตัวช่วยขับให้อากาศไหลไปได้ จะไม่คำนึงถึงผลจากความดันอันเนื่องมาจากแรงลอยตัวซึ่งมีค่าน้อยมาก แต่การไหลของอากาศภายในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นการไหลของอากาศโดยธรรมชาติอันเป็นผลเนื่องมาจากที่ระดับความสูงเดียวกันเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกปล่อง ก่อให้เกิดแรงลอยตัวช่วยให้อากาศไหลไปได้

## แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์

อัตราการไหลของอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ จะเกิดขึ้นเมื่อมีพลังงานความร้อนตกลงบนผิวปล่องด้านนอก เกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนจากผิวปล่องด้านนอกไปยังผิวปล่องด้านใน ทำให้ผิวปล่องด้านในร้อนขึ้นเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนตาม

ธรรมชาติกับอากาศภายในปล่อง ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในปล่องสูงขึ้น เกิดความดันสุทธิอันเนื่องมาจากแรงลอยตัวซึ่งเกิดขึ้นมาเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ(เกี่ยวข้องกับความหนาแน่น) ระหว่างอากาศภายในและภายนอกปล่อง และความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันภายในและภายนอกปล่อง เมื่ออุณหภูมิภายในปล่องสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกปล่อง อากาศเย็นภายนอกปล่องจะเข้ามาภายในปล่องทางด้านล่าง อากาศร้อนภายในปล่องก็จะลอยตัวขึ้นไปที่สูง การหาอัตราการไหลของอากาศภายในปล่อง ทำได้โดยคำนวณจากสมการเบอร์นูลี่และกฎอนุรักษ์มวล




รูปที่ 2.1 แสดงระบบ,การกระจายความดันและความหนาแน่นอากาศ
ในระบบปล่องพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.1 Croome and Roberts (1981) ได้แสดงค่า

$$Q_o = C_D A_o \left[ 2 \frac{(P_{11} - P_{01})}{\rho_o} \right]^{1/2} \quad (1)$$

และ $$Q_i = C_D A_o \left[ 2 \frac{(P_{02} - P_{12})}{\rho_i} \right]^{1/2} \quad (2)$$

โดย $Q_o$ = ปริมาตรการไหลของอากาศออกจากปล่อง ($m^3/s$)

$Q_i$ = ปริมาตรการไหลของอากาศเข้าปล่อง ($m^3/s$)

$P_{11}$ = ความดันภายในปล่องที่ความสูง H($N/m^2$)

$P_{01}$ = ความดันภายนอกปล่องที่ความสูง H($N/m^2$)

$P_{12}$ = ความดันภายในปล่องที่บริเวณทางเข้า H($N/m^2$)

$P_{02}$ = ความดันภายนอกปล่องที่บริเวณทางเข้า($N/m^2$)

$\rho_0$ = ความหนาแน่นของอากาศที่ออกจากปล่อง ($kg/m^2$)

$\rho_i$ = ความหนาแน่นของอากาศที่เข้าปล่อง ($kg/cm^2$)

$C_D$ = สัมประสิทธิ์การสูญเสียที่ปากทางเข้าและออกปล่อง

จาก $$P_{02} = P_{01} + \rho_e gH \quad (3)$$

$$P_{12} = P_{11} + \overline{\rho} gH \quad (4)$$

(3) - (4) ได้ $$(P_{02} - P_{12}) + (P_{11} - P_{01}) = gH(\rho e - \overline{\rho}) \quad (5)$$

แทนสมการ (1), (2) ลงใน (5) และใช้หลักการอนุรักษมวล

$\dot{m} = \rho_i Q_i = \rho_o Q_o$ ได้

$$\dot{m} = \frac{C_D\left[2gH(\rho_e - \overline{\rho}\right]^{1/2}}{\left(\frac{1}{\rho_i A_i^2} + \frac{1}{\rho_o A_o^2}\right)^{1/2}} \quad (6)$$

โดย $\dot{m}$ = อัตราการไหลภายในปล่อง (kg/s)

$A_i$ = พื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าปล่อง ($m^2$)

$A_o$ = พื้นที่หน้าตัดบริเวณทางออกปล่อง($m^2$)

$\rho e$ = ความหนาแน่นอากาศภายนอกปล่อง ($kg/m^3$)

$\overline{\rho}$ = ความหนาแน่นเฉลี่ยของอากาศภายในปล่อง ($kg/m^3$)

ใช้กฎของกาซ $P = \rho RT$ และให้ $A_r = A_o/A_i$ จะได้

$$Q_o = C_D A_o \left[2\left(\frac{\Delta T}{T_i}\right)gH\right]^{1/2}\left[1 + A_r^2\right]^{-1/2} \quad (7)$$

ถ้าหากปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ทำมุมกับแนวระดับ $\beta$ จะได้

$$Q_o = C_D A_o \left[2\left(\frac{\Delta T}{T_i}\right)gH\sin(\beta)\right]^{1/2}\left[1 + A_r^2\right]^{-1/2} \quad (8)$$

ถ้าหากติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง จะได้

$$Q_o = C_D A_o \left[2\left(\frac{\Delta T}{T_i}\right)g(H\sin(\beta) + HV)\right]^{1/2}\left[1 + A_r^2\right]^{-1/2} \quad (9)$$

คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศจาก

$$\dot{m} = \rho_0 * Q_o \quad (10)$$

$$\dot{m} = \rho_0 * V_o * A_o = \rho_i * V_i * A_i \quad (11)$$

โดย $\Delta T$ = ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ทางด้านเข้าและออกปล่อง (k)

$T_i$ = อุณหภูมิของอากาศบริเวณทางเข้าปล่อง (K)

$T_o$ = อุณหภูมิของอากาศบริเวณทางออกปล่อง ((K)

H = ความสูงปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ (m)

HV = ความสูงปล่องอากาศแนวดิ่ง (m)

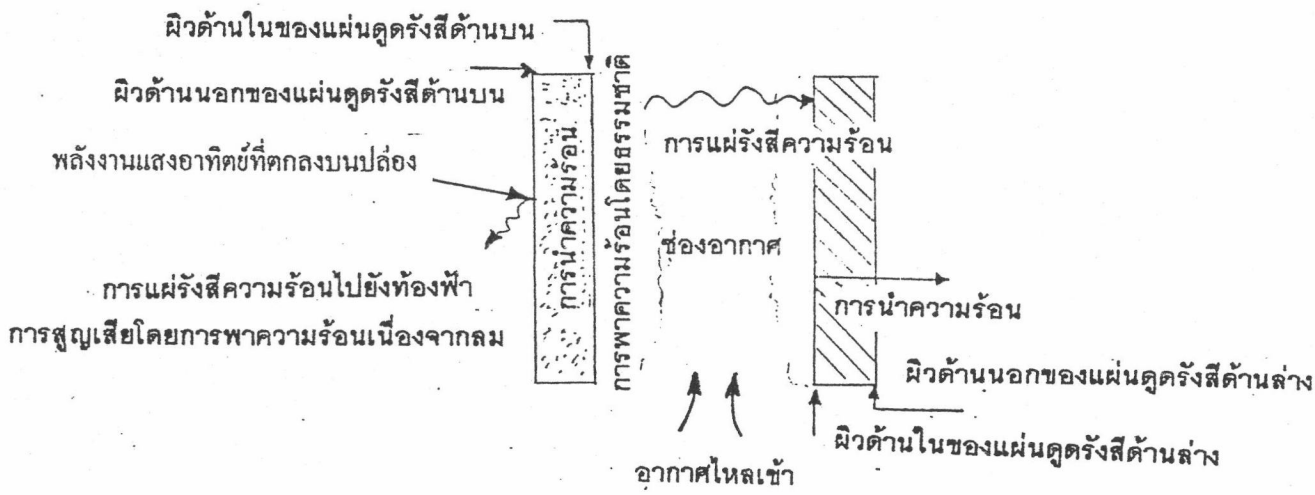
Vi = ความเร็วของอากาศบริเวณทางเข้าปล่อง (m/s)

Vo = ความเร็วของอากาศบริเวณทางออ กปล่อง (m/s)

g = ความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงโลก ($m^2/s$)

<u>การวิเคราะห์สมการสมดุลย์ทางด้านพลังงานของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์</u>

เมื่อมีพลังงานความร้อนตกลงบนปล่อง จะเกิดปรากฏการณ์ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ดังกระบวนการต่อไปนี้




รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการที่เกิดในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์

1. พลังงานความร้อนที่ตกกระทบปล่อง ส่วนหนึ่งจะถูกผิวด้านนอกของแผ่นดูดรังสีด้านบนดูดซับเอาไว้ อีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนออกมา

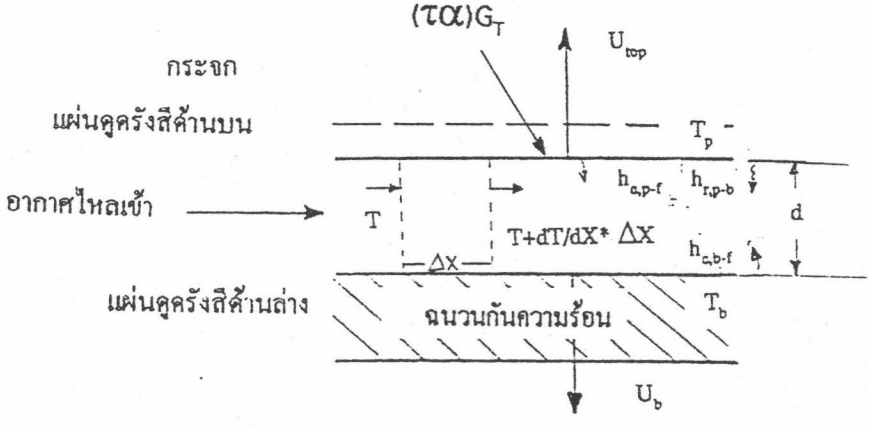
2. เมื่อผิวด้านนอกของแผ่นดูดรังสีด้านบนดูดซับพลังงานความร้อนไว้บางส่วน จะทำให้ผิวด้านนอกของแผ่นดูดรังสีด้านบนมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้เกิดปรากฏการณ์การพาความร้อนอันเนื่องจากลมและการแผ่รังสีความร้อนไปยังท้องฟ้า

3. เกิดการถ่ายเทความร้อนจากผิวด้านนอกของแผ่นดูดรังสีด้านบนไปยังผิวด้านในของแผ่นดูดรังสีด้านบนด้วยการนำความร้อน

4. เกิดการถ่ายเทความร้อนจากผิวด้านในของแผ่นดูดรังสีด้านบนไปยังอากาศภายในปล่องด้วยวิธีการพาความร้อนโดยธรรมชาติทำให้อุณหภูมิอากาศภายในปล่องสูงขึ้น และขณะเดียวกันก็เกิดการแผ่รังสีความร้อนจากผิวด้านในของแผ่นดูดรังสีด้านบนไปยังผิวด้านในของแผ่นดูดรังสีด้านล่าง ทำให้ผิวด้านในของแผ่นดูดรังสีด้านล่างมีอุณหภูมิสูงขึ้น

5. เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในปล่องและอุณหภูมิแวดล้อมภายนอกปล่อง ก่อให้เกิดการถ่ายเทมวลโดยธรรมชาติ

สมการสมดุลย์ทางด้านพลังงานของปล่อง



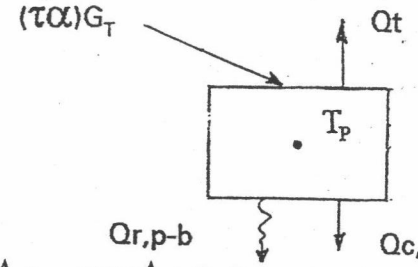

รูปที่ 2.3 แสดงสมดุลย์ทางด้านพลังงานของปล่องที่มีพื้นที่รับแสง ($1^*\Delta x$)

สมมุติฐาน

1. ระบบอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady State)
2. ส่วนประกอบของระบบ(อากาศ,กระจก,แผ่นดูดรังสี) มีอุณหภูมิเพียงค่าเดียว

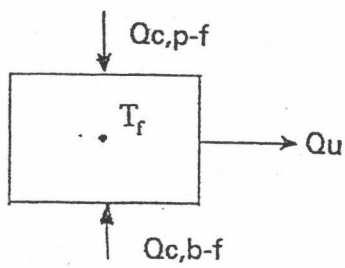
3. ไม่คิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นดูดรังสีด้านบนและด้านล่าง
4. ความร้อนไหลในทิศทางเดียวผ่านกระจกตลอดจนผ่านฉนวน
5. การไหลของอากาศในระบบเป็นการไหลในทิศทางเดียว
6. ปริมาณรังสีที่ตกลงแผ่นรับแสงมีค่าคงที่

สมดุลย์พลังงานของแผ่นดูดรังสีด้านบน ที่มีพื้นที่ $(1*\Delta x)$



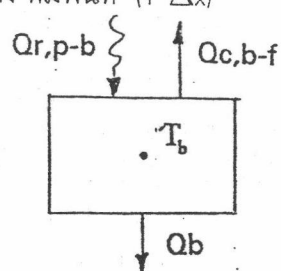

$$(\tau\alpha)G_T\,(1*\Delta x) = U_t(1*\Delta x)\,(T_P-T_a) + h_{c,p-f}\,(1*\Delta x)\,(T_p-T_f) + h_{r,p-b}\,(1*\Delta x)\,(T_p-T_b) \quad (12)$$

สมดุลย์พลังงานของอากาศ ที่มีปริมาตร $(d*1*\Delta x)$




$$\left(\frac{\dot{m}}{W}\right)C_P\left(\frac{dT_f}{dx}\Delta x\right) = h_{c,p-f}(1*\Delta x)(T_P - T_f) + h_{c,b-f}(1\Delta x)(T_b - T_f) \quad (13)$$

สมดุลย์พลังงานของแผ่นดูดรังสีด้านล่าง ที่มีพื้นที่ $(1*\Delta x)$




$$h_{r,p-b}\,(1*\Delta x)\,(T_p-T_a) = h_{c,b-f}\,(1*\Delta x)\,(T_b-T_f) + Ub(1*\Delta x)\,(T_b-T_a) \quad (14)$$

เพราะว่า $Ub << U_t$ จาก (14) จะได้

$$Tb = \frac{h_{r,p-b}\,T_p + h_{c,b-f}\,T_f}{h_{r,p-b} + h_{c,b-f}} \qquad (15)$$

แทน (15) ลงใน (12) จะได้

$$Ta(U_L+h) = (\tau\alpha)G_T + U_L T_a + hT_f \qquad (16)$$

โดย

$$h = h_{c,p-f} + \frac{1}{(1/h_{c,b-f}) + (1/h_{c,p-b})} \qquad (17)$$

แทน (15) ลงใน (13) จะได้

$$hT_P = \left(\frac{\dot{m}}{w}\right) Cp\,\frac{dT_f}{dx} + hT_f \qquad (18)$$

จาก (16) และ (18) จะได้ $\left(\frac{\dot{m}}{w}\right) C_P \frac{d}{dx} T_f = F'\left[(\tau\varepsilon)G_T - U_L(T_f - T_a\right]$

โดย $F' = \frac{1/U_L}{(1/U_L) + (1/h)} = \frac{h}{h + U_L}$ (19)

ที่ x = 0 $T_f = T_{f,in}$

$$T_f(x) = \left(\frac{(\tau\alpha)G_T}{U_L} + T_a\right) -$$

$\therefore$

$$\frac{1}{U_c}\left[(\tau\alpha)G_T - U_L(T_{f,in} - T_a)\right]\exp\left[-\frac{U_L F'}{(\dot{m}/w)Cp}.x\right] \qquad (20)$$

ที่ x = L $T_f = T_{f,out}$

$$T_{f,out} = T_{f,in} + \frac{1}{U_L}\left[(\tau\alpha)G_T - U_L(T_{f,in} - Ta)\right]\left[1 - \exp\left(-\frac{AcU_L F'}{\dot{m}\,Cp}\right)\right] \qquad (21)$$

ถ้า $T_{f,in} = T_a$ จะได้

$$T(x) = \left(\frac{(\tau\alpha)G_T}{U_L} + T_a\right) - \left[\frac{(\tau\alpha)G_T}{U_L}\exp\left(-\frac{U_L F'}{(\dot{m}/w)Cp}.x\right)\right] \qquad (22)$$

$$T_{f,out} = Ta + \frac{(\tau\alpha)G_T}{U_L}\left[1-\exp\left(-\frac{AcU_LF'}{\dot{m}Cp}\right)\right] \quad (23)$$

หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจาก

$$\bar{T}_f = \frac{1}{L}\int_o^L T_f(x)dx$$

$$= \frac{1}{L}\int_o^L\left[T_a+(\tau\alpha)\frac{G_T}{U_L}\left(1-\exp(\frac{U_LF'wx}{\dot{m}Cp})\right)\right]dx$$

$$= \frac{1}{L}\left[(Ta)(x)+(\tau\alpha)\frac{G_Tx}{U_L}+(\tau\alpha)\frac{G_T}{U_L}\left(\frac{\dot{m}Cp}{U_LF'W}\right)\exp\left(-\frac{U_LF'wx}{\dot{m}Cp}\right)\right]_O^L$$

$$= \frac{1}{L}\left[(Ta)(L)+(\tau\alpha)\frac{G_TL}{U_L}+\left(\frac{\dot{m}Cp}{U_LF'w}\right)\left((\tau\alpha)\frac{G_T}{U_L}\right)\exp\left(-\frac{U_LF'A_c}{\dot{m}Cp}\right)\right]$$

$$-\left(\frac{\dot{m}Cp}{U_LF'W}\right)\left((\tau\alpha)\frac{G_T}{U_L}\right)$$

$$\bar{T}_f = Ta+(\tau\alpha)\frac{G_T}{U_L}-\left[\left(\frac{\dot{m}Cp}{U_LF'A_c}\right)\left((\tau\alpha)\frac{G_T}{U_L}\right)\right]\left\{1-\exp\left(-\frac{U_LF'Ac}{\dot{m}Cp}-\right\}\right) \quad (24)$$

โดย $A_C$ = พื้นที่รับแสงของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ ($m^2$)

$W$ = ความกว้างปล่องพลังงานแสงอาทิตย์(m)

$L$ = ความยาวปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ (m)

$d$ = ขนาดช่องอากาศภายในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ (m)

$G_T$ = ความเข้มแสงที่ตกลงบนปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ ($w/m^2$)

$\tau\alpha$ = ค่า Tramsmissivity - absorptivity

$T_a$ = อุณหภูมิแวดล้อม ($^oC$)

$T_p$ = อุณหภูมิแผ่นดูดรังสีด้านบน ($^oC$)

$T_b$ = อุณหภูมิแผ่นดูดรังสีด้านล่าง ($^oC$)

$T_f$ = อุณหภูมิของอากาศภายในปล่อง ($^oC$)

$T_{f,in}$ = อุณหภูมิของอากาศด้านเข้าปล่อง x = 0 ($^oC$)

$T_{f,out}$ = อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากปล่อง x = L ($^oC$)

$\dot{m}$ = อัตราการไหลของอากาศภายในปล่อง (kg/s)

$U_t$ = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบน ($w/m^{2o}C$)

$U_b$ = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านล่าง ($w/m^{2o}C$)

$U_L$ = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม ($w/m^{2o}C$)

$h_{c,p-f}$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนจากแผ่นดูดรังสีด้านบนไปยังอากาศ ($w/m^{2o}C$)

$h_{c,b-f}$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนจากแผ่นดูดรังสีด้านล่างไปยังอากาศ ($w/m^{2o}C$)

$h_{r,p-b}$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่ความร้อนจากแผ่นดูดรังสีด้านบนไปยังด้านล่าง ($w/m^{2o}C$)

<u>สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน</u>

1. สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบน ($U_t$)

Hotel and Woertz (1942) และ Klein (1976) ได้แสดงสมการการหาค่า สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบน ($U_t$)

$$U_t = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{T_{pm}}\left[\frac{T_{pm}-T_a}{N+f}\right]^e} + \frac{1}{h_w} \right\}^{-1} + \frac{\sigma\left(T_{pm}+T_a\right)\left(T_{pm}^2+T_a\right)}{(\varepsilon_p + 0.00591Nh_w)+2N+f-\frac{1}{\varepsilon_g}+0.133\varepsilon_p-N} \quad (25)$$

โดย N = จำนวนชั้นกระจก

f = $(1+0.089\ h_w-0.1166\ h_w\varepsilon p)(1+0.07866N)$

C = 520 (1-0.000051$\beta^2$) สำหรับ $0^\circ<\beta<70^\circ$

ที่ $70^\circ<\beta<90^\circ$ ใช้ $\beta = 70^\circ$

e = $0.430(1-100/T_{pm})$

$\beta$ = มุมเอียงของแผงรับรังสีกระทำกับแนวราบ

$\varepsilon g$ = ค่าการแผ่รังสีความร้อน(emittance)ของกระจก

$\varepsilon p$ = ค่าการแผ่รังสีความร้อน(emittance)ของแผ่นดูดรังสี

Ta = อุณหภูมิแวดล้อม (K)

Tpm = อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดรังสี (K)

$h_w$ = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลม ($w/m^{2o}C$)

2. สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านล่าง (Ub)

$$Ub = \frac{k_i}{L_i} \qquad (26)$$

โดย $k_i$ = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน ($w/m^oC$)

$L_i$ = ความหนาของฉนวน(m)

3. สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านข้าง ($U_e$)

$$U_e = \frac{(UA)edge}{Ac} \qquad (27)$$

โดย (U)edge = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนโดยการนำจากด้านข้าง($w/m^{2o}C$)

(A)edge = พื้นที่ด้านข้างของปล่อง ($m^2$)

$A_C$ = พื้นที่รับแสงของปล่อง ($m^2$)

4. สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม ($U_L$)

$$U_L = U_t + U_b + U_e \qquad (28)$$

5. สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อนเนื่องจากลม

-McAdams (1964) และ Duffie&Beckman (1980) ได้ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลมและสรุปเป็นสมการดังนี้

$$h_w = 5.7 + 3.8u_w \quad (29)$$

โดย $h_w$ = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลม ($w/m^{2o}C$)

$u_w$ = ความเร็วลม (m/s)

<u>สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน</u> ($h_{r,p-b}$)

$$h_{r,p-b} = \sigma \frac{(T_p^2 + T_b^2)(T_p + T_b)}{(1/\varepsilon_p) + (1/\varepsilon_b) - 1} \quad (30)$$

ถ้า $T_p$ และ Tb แตกต่างกันไม่มาก จะได้

$$4T_f^3 = (T_p^2 + T_b^2)(T_p + T_b)$$

โดย $T_p$ = อุณหภูมิของแผ่นดูดรังสีด้านบน (K)

$T_f$ = อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในแผง (K)

$T_b$ = อุณหภูมิของแผ่นดูดรังสีด้านล่าง (K)

$\varepsilon p$ = ค่าการแผ่รังสีความร้อน( emittance) ของแผ่นดูดรังสีด้านบน

$\varepsilon b$ = ค่าการแผ่รังสีความร้อน(emittance) ของแผ่นดูดรังสีด้านล่าง

$\sigma$ = ค่าคงที่ Stefan-Boltzman

= $5.6697 \times 10^{-8}$ $w/m^2.k^4$

**<u>สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน</u>**

Tabor (1958) และ Holland et al (1976) ได้ค้นคว้าและสรุปผลโดยรวมค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในหมู่ของ Nusselt Number (Nu) และ Raleigh Number (Ra) สำหรับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เอียงแบบต่าง ๆ โดยที่

$$Nu = hL/k \quad (31)$$

$$Gr = g\beta\Delta T L^3/\upsilon^2 \quad (32)$$

$$Ra = g\beta\Delta T L^3/\upsilon\alpha \quad (33)$$

$$Pr = \upsilon/\alpha \quad (34)$$

$$Re = VD/\upsilon \quad (35)$$

โดย $h$ = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($w/m^{2o}C$)

$L$ = ระยะห่างระหว่างแผ่นที่เกิดการถ่ายเทความร้อนทั้งสอง (m)

$l$ = ระยะระหว่างแผ่นที่ถ่ายเทความร้อนทั้งสอง (mm)

$k$ = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นดูดรังสี ($w/m^{2o}C$)

$g$ = ความเร่งสู่ศูนย์กลางของโลก ($m/s^2$)

$V$ = ความเร็ว (m/s)

$D$ = เส้นผ่าศูนย์กลางเทียบเท่า (m)

$\beta$ = สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ ซึ่งมีค่า 1/T เมื่อเป็น Ideal Gas ($k^{-1}$)

$\Delta T$ = อุณหภูมิแตกต่างระหว่างแผ่นที่ถ่ายเทความร้อนทั้งสอง ($^oC$)

$\upsilon$ = ความหนืดจลนศาสตร์ (Kinematic Viscosity) ($m^2/s$)

$\alpha$ = ค่าการแผ่กระจายความร้อน (Thermal Diffusivity) ($m^2/s$)

$Gr$ = ตัวเลขแกรชอฟ (Grashof number)

$Ra$ = ตัวเลขเรย์เลจฮ์ (Rayleigh number)

$Re$ = ตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number)

$Pr$ = ตัวเลขแพรนเติล (Prandtl number)

$Nu$ = ตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt number)

คุณสมบัติของไหลจะคิดที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศที่ไหลผ่านเข้าและออก

1. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติจากแผ่นดูดรังสีไปยังอากาศ ($H_{c,p-f}$, $h_{c,\ b-f}$)

Kays (1966) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu และ Re ของสมการการไหลแบบอลวนที่พัฒนาเต็มที่ ( fully developed turbulent flow) สำหรับใช้กับ solar air heater ที่แผงด้านหนึ่งรับความร้อน อีกด้านหนึ่งหุ้มฉนวน

$$Nu = 0.0158\ Re^{0.8} \quad (36)$$

Duffie and Beckman (1991) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu และ Re ของสมการการไหลแบบราบเรียบ(laminar flow) สำหรับใช้กับ solar air heater ที่แผงด้านหนึ่งรับความร้อน อีกด้านหนึ่งหุ้มฉนวน

$$Nu = 4.9+((Re*Pr*D/2)^{1.2}/(1+0.0909(Re*Pr*D/2)^{0.7}*Pr^{0.7})) \quad (37)$$

2. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยพาความร้อนแบบธรรมชาติระหว่างแผ่นขนานที่ปิดล้อม

Tabor (1958) และ Holland et al (1976) ได้ค้นคว้าและสรุปผลความสัมพันธ์ระหว่าง Nusselt Number และ Raleigh Number สำหรับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่เอียงทำมุมตั้งแต่ 0-75° คือ

$$Nu = 1+1.44[1-(1708/Racos\ \theta)]^{+}\ (1-1708*(sin1.8\theta)^{1.6}/Racos\theta) + [(Racos\theta/5830)^{1/3}-1]^{+} \quad (38)$$

ในวงเล็บปีกกาใช้เฉพาะค่าบวก (ถ้ามีค่าเป็นลบให้แทนค่าด้วยศูนย์)

<u>ขั้นตอนการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์</u>

1). ใส่ค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

2). สมมุติอัตราการไหลของอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์($m_d$) = 0.02 kg/s

3). สมมุติอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดรังสี($T_{pm}$) = 90 oC
สมมุติอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในปล่อง($T_{fm}$) = 75 oC

4). โดยใช้ $T_{fm}$ และ $T_{pm}$ จากข้อ 3 อัตราการไหลของอากาศ($m_d$) จากข้อ 2 และสมการที่ 14,16,22-27,33-34 คำนวณ $U_t$ ,$U_b$, $U_L$, $h_r$, $h_c$, $h$, $F'$

5). นำ $m_d$ จากข้อ 2 $U_L$, $F'$ จากข้อ 4 $G_T$,$T_a$ จากข้อ 1 คำนวณค่า $T_{fm,ใหม่}$

6). นำ $F'$,$h$,$U_L$ จากข้อ 4 $G_T$,$T_a$ จากข้อ 1 คำนวณค่า $T_{pm,ใหม่}$

7). เปรียบเทียบค่า $T_{fm,ใหม่}$ และ $T_{pm,ใหม่}$ ถ้าไม่เท่ากับที่สมมุติ ให้ใช้ค่า $T_{fm,ใหม่}$ และ $T_{pm,ใหม่}$ แทนค่าสมมุติในข้อ 3 แล้วเริ่มคำนวณจากข้อ 4 ใหม่ ถ้าได้ค่า $T_{fm,ใหม่}$ และ $T_{pm,ใหม่}$ เท่ากับที่สมมุติในข้อ 3 คำนวณค่า $T_{f,out}$ จากสมการ 20 นำค่า $T_{f,out}$ ไปหาค่า $\rho_{f,out}$ และคำนวณค่า $m_{d,ใหม่}$ จากสมการ 7

8). เปรียบเทียบค่า $m_{d,ใหม่}$ ถ้าไม่เท่ากับที่สมมุติ ให้ใช้ค่า $m_{d,ใหม่}$ แทนค่าสมมุติในข้อ 2 แล้วเริ่มคำนวณจากข้อ 3 ใหม่ ถ้าได้ค่า $m_{d,ใหม่}$ เท่ากับที่สมมุติในข้อ 2 แสดงว่า $m_d$ $T_{fm}$ และ$T_{pm}$ ถูกต้อง