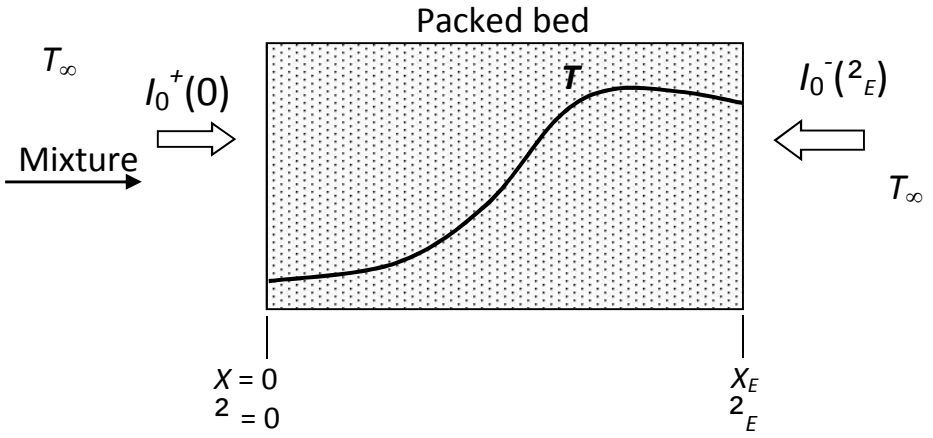
ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนของเตา APMB

สมมติฐานในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนจากเตาไปยังภาชนะมีการถ่ายเทความร้อนเพียงสองโหมด คือ การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยการถ่ายเทความร้อนของ CB กำหนดให้มีเฉพาะการพาความร้อนเท่านั้น ส่วน SPMB จะมีการถ่ายเทความร้อนทั้งสองโหมด และประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่คำนวณได้ของ SPMB สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน คือ ประสิทธิภาพการแผ่รังสี (radiation efficiency, η_{rad}) และประสิทธิการพาความร้อน (convective efficiency, η_{conv}) ซึ่งรูปที่ ค.1 แสดงโมเดลอย่างง่ายที่ให้ในการคำนวณ



รูปที่ ค.1 โมเดลอย่างง่ายที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนที่ปากเตา (η_E)

การคำนวณประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนที่ปากทางออกของ APMB มีสมมติฐานดังนี้

1. การคำนวณเป็นแบบ 1 มิติ
2. ไม่คิดการแผ่รังสีจากแก๊สเนื่องจากมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับการแผ่รังสีจากวัสดุพรุน
3. ระบบเป็นแอเดียแบติกและจุดที่พิจารณาอยู่ในสภาวะ Local Thermal Equilibium
4. สมบัติเชิงฟิสิกส์ของของแข็งมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

จากวิธีการหา $\eta_{rad,\ loss}$ สามารถนำไปหาค่า output radiation efficiency (η_{rad}) ที่ทางออกของ APMB ($\zeta = \zeta_E$)ได้เช่นกัน ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\eta_{th} = \eta_{rad} + \eta_{conv} \qquad \text{(ค1)}$$

ตามสมการที่ ค1 ข้างต้นเราทราบ η_{th} จากการทดลองดังนั้นจะต้องคำนวณ η_{rad} ตามสมการข้างล่าง เพื่อจะสามารถคำนวณ η_{conv} ต่อไป

$$\eta_{rad} = \frac{\text{Output radiation at exit of APMB}}{\text{Input thermal power}} = \frac{\left|q^n(\zeta_E)\right| F_{1\to j} A}{FR} x100 \qquad \text{(ค2)}$$

เมื่อ

$$q^n(\zeta_E) = 2\pi[I^+(\zeta_E) - I^-(\zeta_E)] \qquad \text{(ค3)}$$

โดยที่ I^+ และ I^- เป็นความเข้มการแผ่รังสีที่ไปในทิศทางต้นน้ำและท้ายน้ำตามลำดับ

$$I^+(\zeta_E) = I_0{}^+(0)E_3(\zeta_E) + \int_0^{\zeta_E} I_b[T(\zeta')]E_2(\zeta_E - \zeta')d\zeta' \qquad \text{(ค4)}$$

$$I^-(\zeta_E) = I_0{}^-(\zeta_E) = \frac{\sigma T_\infty{}^4}{\pi} \qquad \text{(ค5)}$$

ค่า optical thickness ζ และ ค่า absorbtion coefficient α ของ packed bed สามารถหาได้จากสมการที่ (ค6) และสมการ (ค7) ตามลำดับ

$$\zeta = \alpha x \qquad \text{(ค6)}$$

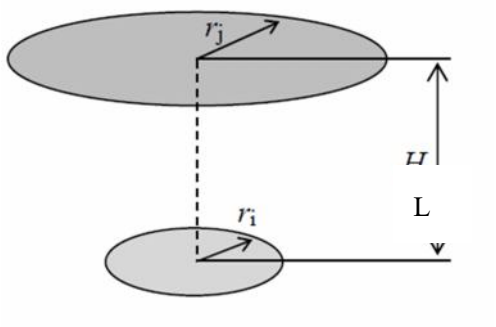
$$\alpha = \varepsilon_{R,eff} \cdot n_p \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \qquad \text{(ค7)}$$

เมื่อ $\varepsilon_{R,eff}$ คือ an effectiveness emissivity of the packed bed **[19]** ดังแสดงในสมการ (ค8)

$$\varepsilon_{R,eff} = \left\{\frac{(1+\varepsilon_{R,s})}{2} + \frac{(1-\varepsilon_{R,s})}{2}\left[\varepsilon(0.6902 + 0.3803\varepsilon_{R,s}) - 1\right]\right\} \pm \varepsilon(1-\varepsilon_{R,s})(0.3451 + 0.1902\varepsilon_{R,s}) \qquad \text{(ค8)}$$

เมื่อค่า emissivity of a solid sphere $\varepsilon_{R,s} = 0.932$ **[20]**

และ $F_{1\to j}$ คือค่า view factor สามารถทำนายได้สมการต่อไปนี้



รูปที่ ค.2 โมเดลของ view factor ที่ใช้ในการคำนวณ

$$F_{1\to j}=\frac{1}{2}\left[s-\left[s^2-4\left(\frac{r_j}{r_i}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}\right] \qquad (ค9)$$

$$s=1+\frac{1+R_j^2}{R_i^2} \qquad (ค10)$$

$$R_i = \frac{r_i}{L} \qquad (ค11)$$

$$R_j = \frac{r_j}{L} \qquad (ค12)$$

ตัวอย่างในการคำนวณที่ค่า FR เท่ากับ 21 kW

T_∞	307 K
$\frac{T_\infty}{E_2}$	0.606114535421024
$\frac{E_2}{E_3}$	0.366693488535263
σ	0.0000000567 W/m^2 K^4
$\frac{\sigma}{I_b}$	267.46 W/m^2
$\frac{\sigma}{I_b+E_3}$	98.07755295 W/m^2
$\frac{I_b}{I_b+E_3}$	160.255122 W/m^2
$\int_0^{E} I_b[T(2')]E_2(2_E-2')d2'$	5.14x10 W/m^2
K	71

ข้อมูลจากตารางข้างต้นเมื่อแทนค่าลงไปในสมการจะได้ดังนี้

$I^{+}(2_{E})$ = 98.07755295 W/m^2 + 5.1 x10^4 W/m^2

= 5.1 x10^4 W/m^2

$I^{-}(2_{E})$ = (0.0000000567W/m^2K^4 x 307^4 K) /3.14

= 160.255122 W/m^2

$q^{n}(2_{E})$ = 2 x 3.14 x (5.14x10^4 W/m^2 - 160.255122 W/m^2)

= 3.22 x 10^5 W/m^2

□□□□□□□□ view factor เมื่อภาชนะใส่น้ำมีขนาด 90 cm □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ แหวนถูกเปลี่ยนให้เป็นวงกลมโดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 cm จะสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$S = 1 + \left(\frac{1+3.6^2}{0.6^2}\right) = 37.8333$$

$$R_i = \frac{7.5}{12.5} = 0.6$$

$$R_j = \frac{45}{12.5} = 3.6$$

$$F_{1\to j} = \frac{1}{2}\left[37.8333 - \left[37.8333^2 - 4\left(\frac{45}{7.5}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}\right] = 0.549$$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณประสิทธิภาพการแผ่รังสีได้ดังนี้

$$¦_{rad} = \left(\frac{3.22x10^5 W/m^2 x 0.549 x 0.0255 m^2}{21x10^3 W}\right)x100 = 23.40633\%$$

□□□ $¦_{conv}$ = 51.53 – 23.40633 = 28.13 %

87

ตัวอย่างการคำนวณหามิติของเตาเผาวัสดุพรุนแบบวงแหวน

สำหรับส่วนของการ Design มิติของเตาเผาวัสดุพรุนแบบวงแหวนจะใช้การคำนวณที่ 69 kW เนื่องจากเป็น FR สูงสุดที่เตา CB-KB10 ทำงานได้

1. ทำการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเตา D_e) จากสมการ

$$D_e = \sqrt{0.15^2 + D_i^2}$$

เมื่อกำหนด D_i ขนาด).05 mm $D_e = \sqrt{0.15^2 + 0.05^2} = 0.158\ mm.$

2. กำหนดอัตราการไหลของ_PG (Q) มีค่า).00348 m^3/s และความเร็วของ_PG (V) จากสมการ

$$V = \frac{Q}{A}$$

เมื่อ A มีขนาด).01764318 m^2 $V = \frac{0.00348}{0.01764318} = 0.19724331\,\frac{m}{s}$

3. [illegible] Reynold Number (Re) [illegible]

$$Re = \frac{\rho V d}{\mu}$$

เมื่อ ρ มีค่า..164 kg/m^3 , V มีค่า).19724331 m/s , d มีค่า).15 mm. และ μ มีค่า).00001872 kg/m.s

$$Re = \frac{1.164 \times 0.19724331 \times 0.15}{0.00001872} = 183.967314$$

4. คำนวณหาค่าคงที่ (K_1) จากสมการ

$$K_1 = \frac{150}{3.5Re}$$

เมื่อ Re [illegible]ีค่า.83.967314 $K_1 = \frac{150}{3.5 \times 183.96731} = 0.23296064$

5. คำนวณหาค่าความพรุนเฉลี่ย ($\bar{\epsilon}$) จ[illegible]

$$\bar{\epsilon} = \frac{\text{ผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟระหว่างความพรุนกับรัศมี}}{r_e - r_i}$$

[illegible]พื้นที่ใต้กราฟสามารถใช้สมการ 2 [illegible]

$$\bar{\epsilon}_{wi} = \frac{1}{A_{wi}} \int_{r_i}^{r_i+d} \epsilon(r) 2\pi r \, dr$$

[illegible]

$$\bar{\epsilon}_{we} = \frac{1}{A_{we}} \int_{r_e-d}^{r_e} \epsilon(r) 2\pi r \, dr$$

เมื่อ $\epsilon(r) = \epsilon_\infty \left[1 + c_1 e^{-\frac{c_2(r-r_i)}{d}}\right], \qquad r_i \le r \le \frac{r_e+r_i}{2}$

[illegible]

$$\epsilon(r) = \epsilon_\infty \left[1 + c_1 e^{-\frac{c_2(r_e-r)}{d}}\right], \qquad \frac{r_e+r_i}{2} \le r \le r_e$$

เมื่อ ϵ_∞ มีค่า 0.3517 [illegible] c_1 [illegible] c_2 [illegible]

$$c_1 = \frac{1}{\epsilon_\infty} - 1 = \frac{1}{0.3517} - 1$$

[illegible] $c_2 = \frac{2c_1\epsilon_\infty d\left[1-e^{-\frac{c_2(r_e-r_i)}{2d}}\right]}{(\bar{\epsilon}-\epsilon_\infty)(r_e-r_i)} = \frac{2(1.8433)(0.3517)(0.015)[1-e^{-\frac{6.7007(0.079-0.025)}{2(0.015)}}]}{(0.4055-0.3517)(0.079-0.025)}$

หลังจากแทนค่าต่างๆลงไปในสมการเพื่อหา c_1 [illegible] c_2 [illegible] c_1 [illegible] c_2 [illegible]

$c_1 = 1.843332386$ [illegible] $c_2 = 6.700736475$

และเมื่อแทนค่าต่างๆจะได้พื้นที่ใต้กราฟมีค่า 0.021894763

เพราะฉะนั้นค่าความพรุนเฉลี่ย ($\bar{\epsilon}$) มี

$$\bar{\epsilon} = \frac{0.021894763}{0.079 - 0.025} = 0.405458579$$

6. Correction factor ($\hat{C}$) จากสมการ

$$C = \frac{\bar{v}_{wi} A_{wi}}{\bar{v} A_b} + \frac{\bar{v}_t}{\bar{v}} \frac{A_t}{A_b} + \frac{\bar{v}_{we} A_{we}}{\bar{v} A_b}$$

เมื่อ

$$\frac{\bar{v}_{wi}}{\bar{v}} = -K_1(1 - \bar{\epsilon}_{wi}) M_{wi} + \left[K_1^2 (1 - \bar{\epsilon}_{wi})^2 M_{wi}^2 + K_2 \frac{\bar{\epsilon}_{wi}^3}{M_{wi}(1 - \bar{\epsilon}_{wi})} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= -0.23296(1 - 0.4483)1.2324 + [0.23296^2(1 - 0.4483)^2 1.2324^2 + (11.3903) \frac{0.4483^3}{1.2324(1 - 0.4483)}]^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{\bar{v}_{we}}{\bar{v}} = -K_1(1 - \bar{\epsilon}_{we}) M_{we} + \left[K_1^2 (1 - \bar{\epsilon}_{we})^2 M_{we}^2 + K_2 \frac{\bar{\epsilon}_{we}^3}{M_{we}(1 - \bar{\epsilon}_{we})} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= -0.23296(1 - 0.4816)1.3552 + [0.23296^2(1 - 0.4816)^2 1.3552^2 + (11.3903) \frac{0.4816^3}{1.3552(1 - 0.4816)}]^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{\bar{v}_t}{\bar{v}} = -K_1(1 - \bar{\epsilon}_t) + \left[K_1^2 (1 - \bar{\epsilon}_t)^2 + K_2 \frac{\bar{\epsilon}_t^3}{1 - \bar{\epsilon}_t} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$A_{wi} = \pi\left[(r_i + d)^2 - r_i^2\right] = \pi[(0.025 + 0.015)^2 - 0.025^2]$$

$$A_{we} = \pi[r_e^2 - (r_e - d)^2] = \pi[0.079^2 - (0.079 - 0.015)^2]$$

$$A_t = \pi[(r_e - d)^2 - (r_i + d)^2] = \pi[(0.079 - 0.015)^2 - (0.025 + 0.015)^2]$$

$$A_b = \pi\left[r_e^2 - r_i^2\right] = [0.079^2 - 0.025^2]$$

□□□ $M_{wi} = 1 + \frac{D_i}{6(D_i+d)(1-\bar{\epsilon}_{wi})} = 1 + \frac{0.05}{6(0.05+0.015)(1-0.4483)}$

$M_{we} = 1 + \frac{D_e}{6(D_e-d)(1-\bar{\epsilon}_{we})} = 1 + \frac{0.158}{6(0.158-0.015)(1-0.4816)}$

$K_2 = [1 + 2K_1(1-\bar{\epsilon})]\frac{(1-\bar{\epsilon})}{\bar{\epsilon}^3} = [1 + 2(0.23296)(1-0.4055)]\frac{(1-0.4055)}{0.4055^3}$

ทำการ□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□เพื่อคำนวณหา Correction factor จะได้ค่าต่างๆดังนี้

$\frac{\bar{v}_{wi}}{\bar{v}} = 1.080582922$

$\frac{\bar{v}_{we}}{\bar{v}} = 1.033679748$

$\frac{\bar{v}_t}{\bar{v}} = 0.743554224$

$A_{wi} = 0.003063053\ m^2$

$A_{we} = 0.006738716\ m^2$

$A_t = 0.007841415\ m^2$

$A_b = 0.01764318\ m^2$

$M_{wi} = 1.232401753$

$M_{we} = 1.355241449$

$K_2 = 11.39034197$

และ□□□□□□□□□□□□□□□□□□Correction factor (C) □□□

$$c = \frac{(1.0805)(0.0031)}{0.0176} + \frac{(0.7436)(0.0078)}{0.0176} + \frac{(1.0337)(0.0067)}{0.0176}$$

C = 0.912877983

7. คำนวณหาค่าตัวแปร a และ b จากสมการ

$$a = 150\frac{\mu(1-\bar{\epsilon})^2}{d^2\bar{\epsilon}^3} = 150\frac{(1.87\times10^{-5})(1-0.4055)^2}{(0.015^2)(0.4055^3)}$$

$$b = \sqrt{1.75\frac{\rho}{d}\left(\frac{1-\bar{\epsilon}}{\bar{\epsilon}^3}\right)} = \sqrt{(1.75)(\frac{1.164}{0.015})(\frac{1-0.4055}{0.4055^3})}$$

แทนค่าตัวแปรต่างๆ ลงในสมการเพื่อหาค่า a และ b ได้ดังนี้

a = 66.18191625

b = 34.80336231

8. นำค่าที่ได้ไปหาความยาวของชั้นตัวกรอง (L) จากสมการ

$$\frac{\Delta P}{L} = a(CV) + b^2(CV)^2$$

เมื่อ ΔP มีค่าเท่ากับ 9.59886 Pa

$$\frac{9.59886}{L} = (66.18191625\times0.912877983\times0.19724331) + (34.80336231\times0.912877983\times0.19724331)^2$$

L = 0.1874 m