บทที่ 3

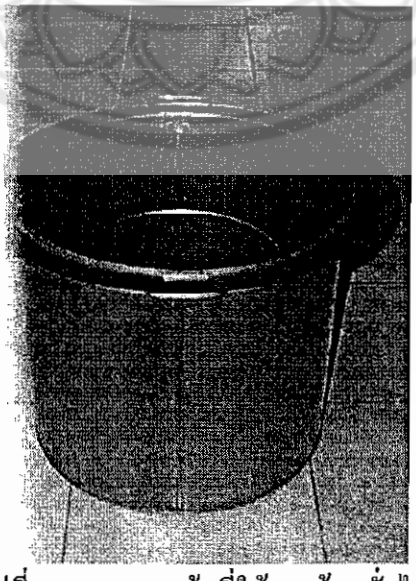
การออกแบบ

ในบทนี้จะพูดถึง ความร้อนที่หม้อก๋วยเตี๋ยวแบบทั่วไปได้รับและนำผลจากการวิเคราะห์มาออกแบบหม้อก๋วยเตี๋ยวซึ่งในการออกแบบหม้อก๋วยเตี๋ยวนั้นเราได้ทำเป็น 3 ขั้นดอนดังนี้

- ขั้นแรก จะทำการวิเคราะห์หาความร้อนที่เข้าหม้อและประสิทธิภาพของหม้อแบบทั่วไป
- ขั้นที่สอง จากการวิเคราะห์ความร้อนของหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบทั่วไปจึงทำการออกแบบหม้อก๋วยเตี๋ยวขึ้นมา 2 แบบ
- ขั้นที่สาม เมื่อทำการออกแบบเสร็จแล้ววิเคราะห์ราคาและประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยวที่ได้ออกแบบแล้วเลือกหม้อก๋วยเตี๋ยวที่ดีที่สุดมาทำการสร้าง

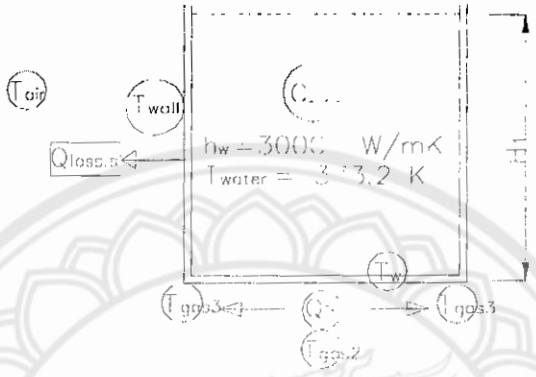
3.1 การวิเคราะห์หม้อก๋วยเตี๋ยวแบบทั่วไป

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของหม้อก๋วยเตี๋ยวที่ใช้ขายก๋วยเตี๋ยวและมีขายอยู่ทั่วไปตามท้องตลาดนั้นมีรูปร่างลักษณะเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38.5 เซนติเมตร ความสูงหม้อ 33.5 เซนติเมตร ที่ขอบด้านบนมีแผ่นที่เรียกว่าปีกสำหรับยึดกับรถขายก๋วยเตี๋ยวและมีจำนวนช่องใช้งาน 3 ช่อง ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดง หม้อที่ใช้ตามร้านทั่วไป

ในการพิจารณาปริมาณความร้อนที่หม้อก๋วยเตี๋ยวแบบทั่วไปจะได้รับนั้น เราพิจารณาปริมาณความร้อนที่หม้อก๋วยเตี๋ยวจะได้รับคือ Q_{in} และความร้อนที่สูญเสียไปทางด้านข้างหม้อคือ $Q_{loss.s}$สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงปริมาณความร้อนของหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบทั่วไป($Q_{c.v}$)ซึ่งประกอบด้วยปริมาณความร้อนที่เข้าสู่หม้อ(Q_{in})และปริมาณความร้อนสูญเสียออกจากหม้อ($Q_{loss.s}$)

จากรูปที่ 3.2 เราสามารถหาปริมาณความร้อนที่หม้อก๋วยเตี๋ยวได้รับจากสมการพลังงานโดยคิดเป็นปริมาตรควบคุม(control volume) คือ

$$Q_{c.v} + W_{c.v} = (dE/dt) + \sum E_{out}$$

สำหรับหม้อก๋วยเตี๋ยวถือว่าไม่มีงานเกิดขึ้นดังนั้นสมการข้างบนจะเป็น

$$Q_{c.v} = (dE/dt) + \sum E_{out}$$

$$Q_{in} - Q_{loss.s} = (dE/dt) + \sum E_{out}$$

โดยที่ $Q_{in} = h_g \cdot A \cdot (T_{gas2} - T_{w1})$

$$Q_{loss.s} := \frac{T_{water} - T_{air}}{\frac{\ln \frac{r_{w2}}{r_{w1}}}{(2\ \pi\ H_1\ k_s)} + \frac{1}{h_s\ A_s}}$$

เมื่อได้ความร้อนของหม้อก๋วยเตี๋ยวแล้ว สามารถหาประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยวจากสมการ

$$\eta_{o,p} = \frac{Q_{in} - Q_{loss.s}}{Q_f}$$

โดยที่ $Q_f = m_f \cdot LHV_{C3H8}$

ในการคำนวณเรากำหนดค่าต่างๆ ให้มีค่าคงที่ตลอดการคำนวณดังนี้

กำหนดให้ สภาวะที่ใช้ คิดเป็นสภาวะคงตัว-การไหลคงตัว

T_{water}=373.2 K	T_{air}=300 K
H_l =0.335 m	L_s=0.001 m
d =0.385 m	k_s=17.2 W/m·K
$A_s=\pi dH_l$	A_s=0.405 m^2
$A_g=\pi(d^2/2)$	A_g=0.116 m^2
$r_{w1}=d/2$	r_{w1}=0.193 m
$r_{w2}= r_1+L_s$	r_{w2}=0.194 m

จากการสำรวจการใช้ก๊าซหุงต้มของร้านก๋วยเตี๋ยวโดยทั่วไปแล้วมีอัตราการใช้เท่าๆกันเราจึงหาค่าเฉลี่ยออกมาได้ m_f=10× 10^{-5}kg/s และไม่คิดค่าการแผ่รังสีความร้อน เพราะเมื่อคิดเทียบกับการพาความร้อนและการนำความร้อนแล้วมีค่าน้อยมาก และเพื่อให้ง่ายในการคำนวณเราจึงไม่คิดการแผ่รังสีของความร้อน

การหาความร้อนจากการเผาไหม้ก๊าซ

LPG สำหรับปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ก๊าซ LPG เราได้เขียนสมการการเผาไหม้ทางเคมี ของ LPG เพื่อจะหาสัดส่วนมวลของอากาศต่อมวลของเชื้อเพลิงดังนี้

C_3H_8	+	$5(O_2+3.76N_2)$	$\rightarrow$	$3CO_2$	+	$4H_2O$	+	$5(3.776N_2)$
1โมล		5โมล		3โมล		4โมล		18.81โมล
44kg		686.5kg		132kg		72kg		526.68kg

ในที่นี้เราจะคิดเป็นการเผาไหม้ สมบูรณ์

เราจะได้สัดส่วนมวลของอากาศต่อมวลของเชื้อเพลิง คือ $m_a = 15.6\ m_f$

สำหรับการหาปริมาณความร้อน Q_f โดยที่ค่า $LHV_{C3H8} = 50{,}380.92$ kJ/kg

จากสมการที่ (2.25)

$$Q_f = m_f \cdot LHV_{C3H8}$$

$$Q_f = (10 \times 10^{-5})(50380.92)$$

$$Q_f = 5038 \text{ W}$$

ต่อไป เราจะทำการคำนวณหาอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่สัมผัสก้นหม้อก่อนเดี๋ยวได้จากสมการ ที่ (2.9)

$$\eta_{comb} \cdot Q_f = m_a \cdot c_{p,C3H8} \cdot (T_{gas2} - T_{air})$$

โดยที่ $m_a = 15.6 m_f$, $c_{p,C3H8} = 1.769$ kJ/(kg·K) , $\eta_{comb} = 0.7$

$$T_{gas2} := T_{air} + \frac{\eta_{comb}\ m_f\ LHV_{C3H8}}{m_a\ C_{p.C3H8}}$$

$$T_{gas2} := 300 + \frac{(0.7)\ (50380.92)}{(1769)\ \left(1.56\ 10^{-3}\right)}$$

เราจะได้ $T_{gas2} = 1639$ K

<u>การหาปริมาณความร้อนที่หม้อก๋วยเตี๋ยวได้รับ(Q_{in})</u>

เมื่อเราทราบอุณหภูมิที่ก๊าซร้อนสัมผัสกับก้นหม้อแล้ว เราสามารถปริมาณความร้อนสุทธิที่เข้าสู่หม้อก๋วยเตี๋ยว จากสมการที่ (2.7)

$$Q_{in} = h_g A(T_{gas2}-T_{w1})$$

แต่ในที่นี้เรายังไม่ทราบค่าของ h_g และ T_{w1} ดังนั้นในขั้นแรกเราจะสมมติค่า T_{w1} ก่อนเพื่อนำไปหาค่า h_g และ Q_{in} ตามลำดับ (แล้วนำค่า Q_{in} และ h_g ที่ได้ไปหาค่า T_{w1} เพื่อนำไปรีเช็คกับค่า T_{w1}ที่สมมติไว้เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องที่สุด) ซึ่งในการหาค่าต่างๆนั้นเราจะนำค่า T_{w1} ไปหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ย T_f ระหว่าง T_{w1} กับ T_{gas2} แล้วนำ ไปเปิดตารางคุณสมบัติของก๊าซที่อุณหภูมิ T_f เพื่อนำค่าคุณสมบัติต่างๆไปหาตัวเลขกราชอฟจากสมการที่ (2.12) แล้วหาค่าตัวเลขนัสเซลท์เพื่อที่จะนำไปใช้ในการหา h_g และ Q_{in} ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

สมมติให้ $T_{w1} = 376.9$ K

จากสมการที่ (2.13) จะได้ว่า

$$T_f = \frac{(T_{w1}+T_{gas2})}{2}$$

$$T_f = \frac{376.9+1,639}{2}$$

$$T_f = 1008 \text{ K}$$

จากนั้น เปิดตารางคุณสมบัติของก๊าซตามตารางในภาคผนวก ค.ที่ $T_f = 1008$ K เราจะได้ค่าดังนี้

$\rho = 0.352$ kg/m^3 $k = 0.068$ W/(m·K)

$c_p = 1.142$ J/(kgK) $\alpha = 1.568 \times 10^{-4}$ m^2/s

$\mu = 4.154 \times 10^{-5}$ kg/(m·s) Pr = 0.0.694

$\nu = 117.966 \times 10^{-6}$ m^2/s

โดยที่ $\beta = 1 / T_f$ $\beta = 0.000992$

$L_g = A / P$ $(A = (\pi d^2) / 4 , P = 0.9d , d = 0.385 \text{ m})$

นำคุณสมบัติของก๊าซข้างต้นมาหาตัวเลขกราชอฟจากสมการที่ (2.12)

$$Gr_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{gas2} - T_{w1}) \cdot L_g^3}{\nu^2}$$

$$Gr_L := \frac{(9.807)\ (0.000992)\ (1639 - 376.9)\ (0.336)^3}{(117.996\ 10^{-6})}$$

เราจะได้ $Gr_L = 3.347 \quad 10^7$

และค่า $Gr_L \cdot Pr = 2.323 \quad 10^7$

ในกรณีนี้ เราพิจารณาว่าที่ก้นหม้อเป็นการพาความร้อนตามธรรมชาติบนผนังราบในแนวนอน และเป็นแบบอุณหภูมิพื้นผิวผนังสม่ำเสมอ และเป็นการไหลแบบราบเรียบจากตารางที่ 2.2 เราจะได้ค่า $c = 0.54 , n = 1 / 4$ นำมาแทนในสมการที่ (2.12)

$$N_{um} = (h_g L_g) / k = c(Gr_L \cdot Pr)^n$$

$$N_{um} = (h_g L_g) / k = 0.54(Gr_L \cdot Pr)^{1/4}$$

$$h_g = (0.068 / 0.336)(0.54)(2.323 \times 10^7)^{1/4}$$

$$= 8.117 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

เพราะฉะนั้นค่า $Q_{in} = 1115 \text{ W}$

จากนั้น เราจะนำค่า Q_{in} ที่ได้มาแทนลงในสมการที่ (2.6) เพื่อทำการเช็คค่า T_{w1} ที่เรากำหนดมาในตอนแรกว่าถูกต้องหรือไม่ ดังนี้

จาก $$Q_{in} = \frac{T_{w.re} - T_{water}}{R}$$

โดยที่ $Q_{in} = 1115 \text{ W}$

$$R = \frac{L_s}{k_s \ A_g} + \frac{1}{h_w \ A_g}$$

ดังนั้น

$$T_{w.re} := Q_{in} \quad \frac{L_s}{k_s \ A_g} + \frac{1}{h_w \ A_g} \quad + T_{water}$$

$$T_{w.re} = 376.9 \text{ K}$$

เพราะฉะนั้น

$$\frac{T_{w.re} - T_{w1}}{T_{w1}} = 0$$

การหาความร้อนที่สูญเสียไปทางผิวด้านข้างของหม้อก๋วยเตี๋ยว($Q_{loss.s}$)

จากนั้นเราจะทำการหาปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปทางด้านผิวข้างของหม้อก๋วยเตี๋ยวโดยหาจากสมการที่ (2.6)

$$Q_{loss.s} := \frac{T_{water} - T_{air}}{\ln \frac{r_{w2}}{r_{w1}} + \frac{1}{h_s \ A_s}}$$

โดยกำหนดให้ T_{water}=373.2 K

T_{air}=300 K $\qquad$ $T_{room}=T_{air}$

H_1=0.335 m $\qquad$ L_s=0.001m

d =0.385 m $\qquad$ k_s=17.2 W/m·K

$A_s=\pi dH_1$ $\qquad$ A_s=0.405 m^2

$r_{w1}=d/2$ $\qquad$ r_{w1}=0.193 m

$r_{w2}= r_1+L_s$ $\qquad$ r_{w2}=0.194 m

จากนั้นทำการหา T_f โดย

$$T_f = \frac{T_{water} + T_{room}}{2}$$

$$T_f = \frac{(373.2+300)}{2}$$

จะได้ $T_f = 336.6\ K$

จากนั้น เปิดตารางคุณสมบัติของก๊าซที่ $T_f = 336.6$ K เราจะได้ค่าดังนี้

$Pr = 0.7$ $k_{air} = 0.029\ W/(m\cdot K)$

$\nu = 19.709 \times 10^{-6}\ m^2/s$ $g = 9.807\ m\text{-}s^2$

นำคุณสมบัติของก๊าซมาหาค่าตัวเลขกราชอฟจากสมการ (2.12)

โดย $\beta = 1/T_f$ $\beta = 2.971 \times 10^{3}\ K^{-1}$

$$Gr_L = \frac{g\cdot\beta\cdot(T_{water}-T_{room})\cdot H_1^{\,3}}{\nu^2}$$

$$Gr_L := \frac{(9.807)\ (0.00297)\ (373.2-300)\ (0.335)^3}{(19.709\ 10^{-6})^2}$$

จะได้ $Gr_L = 2.064 \times 10^{8}\ K^{-1}$

และ $Gr_L \cdot Pr = 1.445 \times 10^{8}$

ในกรณีนี้ เราพิจารณาว่าที่ผิวด้านข้างของหม้อคิดเป็นแบบ vertical cylinder โดยเป็น การไหลแบบราบเรียบ (Lamina Flow) เราจะได้ค่า c = 0.59 , n = 1 / 4 นำมาแทนในสมการที่ (2.12)

$$N_{um} = (h_s.H_1) / k_s = 0.59(GrL\cdot Pr)^{1/4}$$

$$h_s = (0.029 / 0.335)(0.59)(1.445 \times 10^{8})^{1/4}$$

$$= 5.6\ W/(m^2\cdot K)$$

เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (2.4) โดยคิดที่ผนังเป็นทั้งการนำความร้อนและการพาความร้อน โดยความร้อนจากน้ำผ่านผนังแสตนเลสเป็นการนำความร้อนและความร้อนจากผนังด้านนอกจนถึงอุณหภูมิของอากาศจะเป็นการพาความร้อนจะได้

$$Q_{loss.s} = 166.03 \text{ W}$$

จาก Q_{in} และ $Q_{loss.s}$ ที่คำนวณได้ เราจะใช้ในการหาประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยว จากสมการที่ (2.18)

$$\eta_{o,p} = \frac{Q_{in} - Q_{loss}}{m_f \cdot LHV_{C3H8}}$$

$$\eta_{o,p} = \frac{1115-166.03}{5038}$$

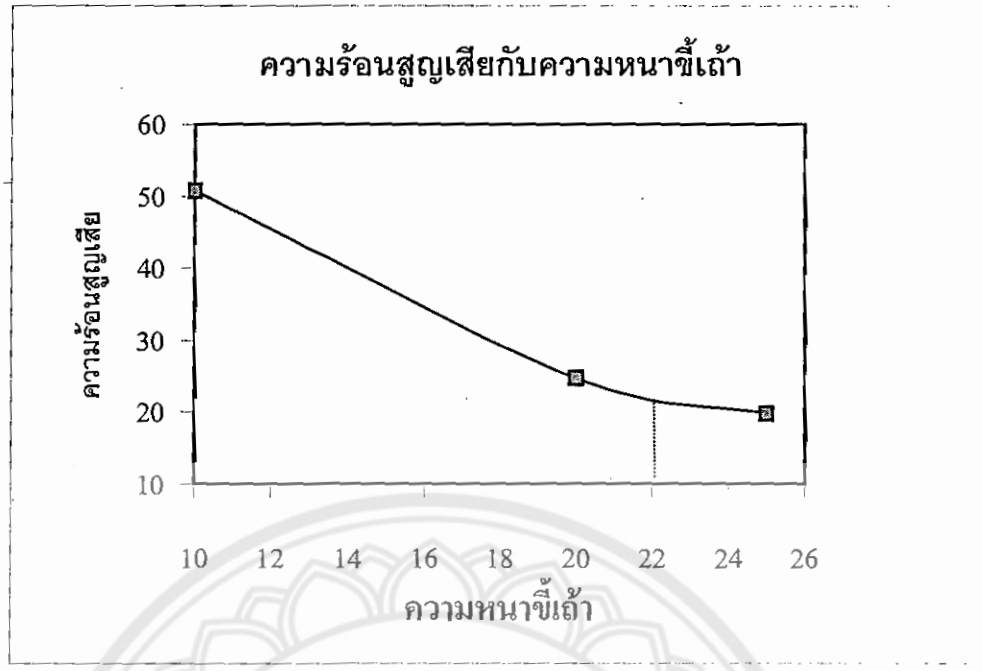
$$\eta_{o,p} = 0.188$$

เราจะได้ประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบธรรมดาเป็น 18.8 %

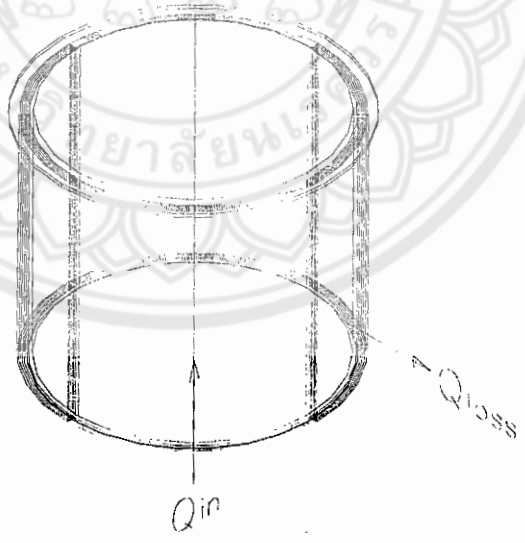
จากการวิเคราะห์ความร้อนของหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบทั่วไปแล้วพบว่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงมีค่าสูงแต่หม้อก๋วยเตี๋ยวได้รับความร้อนเหล่านั้นไปไม่มาก และยังมีความร้อนอีกส่วนหนึ่งสูญเสียไปในขณะที่ต้ม เราจึงออกแบบหม้อก๋วยเตี๋ยวขึ้นมา 2 แบบ คือแบบแรกจะทำการลดความร้อนที่สูญเสียไปในขณะต้ม โดยการหุ้มฉนวน และแบบที่สองคือการเพิ่มปริมาณความร้อนให้เข้าหม้อก๋วยเตี๋ยวได้มากขึ้น โดยการเพิ่มพื้นที่รับความร้อนทางด้านข้างหม้อก๋วยเตี๋ยวด้วยการทำปล่องครอบซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

3.2 การวิเคราะห์หม้อก๋วยเตี๋ยวแบบหุ้มฉนวน

สำหรับหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบหุ้มฉนวนนี้เราได้เลือกที่จะใช้ขี้เถ้าทำเป็นฉนวนเนื่องจากขี้เถ้าเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายตามท้องถิ่น โดยการทำเป็นฉนวนนี้จะต้องใช้สแตนเลสหุ้มอีกชั้นหนึ่ง ความสูงของฉนวนจะมีค่าเท่ากับความสูงของหม้อก๋วยเตี๋ยวคือ 33.5 เซนติเมตรและใช้ขี้เถ้าหนา 22 มิลลิเมตร เนื่องจากเป็นความหนาที่อัตราการถ่ายเทความร้อน ดังแสดงไว้ในกราฟที่ 3.1

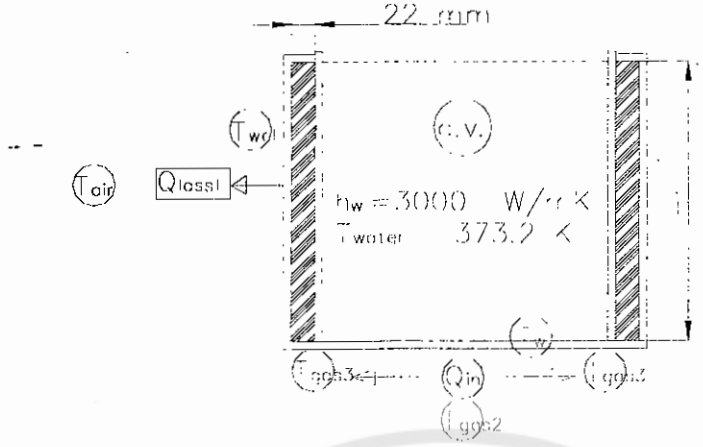


กราฟที่ 3.1 ความร้อนที่สูญเสียในแต่ละความหนาของขี้เถ้า



รูปที่ 3.3 แสดงหม้อก๋วยเตี๋ยวที่มีการใส่ฉนวนด้านข้างด้วยขี้เถ้า

สำนักหอสมุด
26 พ.ย. 2546
4740006
ป
TJ
163.3
ท2497
2544



รูปที่ 3.4 แสดงปริมาณความร้อนของหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบหุ้มฉนวน($Q_{c.v}$)ซึ่งประกอบ**ด้วยปริมาณ**ความร้อนที่เข้าสู่หม้อ(Q_{in})และปริมาณความร้อนสูญเสียออกจากหม้อ(Q_{lossl})

จากรูปที่3.3และ 3.4 พิจารณาเช่นเดียวกับหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบทั่วไป สามารถหาปริมาณ**ความร้อนที่หม้อก๋วย**เตี๋ยวได้รับจากสมการพลังงาน โดยคิดเป็นปริมาตรควบคุม(control volume)

$$Q_{c.v} + W_{c.v} = (dE/dt) + \sum E_{out}$$

สำหรับหม้อก๋วยเตี๋ยวถือว่าไม่มีงานเกิดขึ้นดังนั้นสมการข้างบนจะเป็น

$$Q_{c.v} = (dE/dt) + \sum E_{out}$$

$$Q_{in} - Q_{lossl} = (dE/dt) + \sum E_{out}$$

ซึ่งความร้อนที่สูญเสียไปทางด้านข้างหม้อ(Q_{lossl})จะมีค่าน้อยกว่าหม้อก๋วยเตี๋**ยวแบบทั่วไป จะทำให้มีประสิทธิภาพของหม้อตีขึ้น** โดยสมการนี้จะไม่คิดในส่วนของการแผ่รังสี**ความร้อนที่เกิดขึ้นเพราะมีค่าน้อย สำหรับการหาปริมาณความร้อนและประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบหุ้มฉนวนนั้นจะมีวิธีการคิดเหมือนกับการหาปริมาณความร้อนและประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบทั่วไปคือคิดเป็นการไหลคงตัว สภาวะคงตัว จะแตกต่างกันเพียงแค่ค่า Q_{lossl} ที่สูญเสียไปทางด้านข้างหม้อเท่านั้น จากการคำนวณในหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบทั่วไปจะได้**

$$Q_f = 5038 \text{ W}$$

$$Q_{in} = 1115 \text{ W}$$

<u>การหาปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปทางผิวด้านข้างของหม้อก๋วยเตี๋ยวที่มีฉนวนหุ้ม(Q_{lossl})</u>

เราจะทำการหาปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปทางด้านผิวข้างของหม้อก๋วยเตี๋ยวที่มีฉนวนหุ้มโดยกำหนดให้ฉนวนหนา 22 mm ทำด้วยขี้เถ้ามีสภาพการนำความร้อน เท่ากับ 0.03 W/m·K สามารถหาได้จากสมการที่(2.6)โดยสมมติค่า T_{wall}ขึ้นมาค่าหนึ่งเพื่อที่จะทำการหา Q_{lossl}แล้วนำค่า Q_{lossl}มาหาค่า T_{wall} เพื่อที่จะนำค่าไปรีเช็คกับค่าที่สมมติขึ้นว่าตรงกันหรือไม่ถ้าตรงกันแสดงว่าค่าที่สมมติขึ้นถูกต้อง ซึ่งมีวิธีการคิดดังนี้

จากสมการ

$$Q_{loss1} := \frac{T_{wall} - T_{air}}{\frac{\ln\frac{r_{w2}}{r_{w1}}}{(2\ \pi\ H_1\ k_s)} + \frac{\ln\frac{r_3}{r_{w2}}}{(2\ \pi\ H_1\ k_{ash})} + \frac{\ln\frac{r_4}{r_3}}{(2\ \pi\ H_1\ k_s)} + \frac{1}{h\ A}}$$

กำหนดให้ T_{wall}=336.61 K , T_{air}=300 K , T_{room}=T_{air}

กำหนดให้ความหนาของขี้เถ้าที่ใช้ทำฉนวนเป็น L_a=0.022 m

กำหนดให้ L_a=0.022 m k_{ash}=0.03 W/m·K

H_1 =0.335 m L_s=1x10^{-3}m

d =0.385 m k_s=17.2 W/m·K

$A_s=\pi\cdot d\cdot H_1$ A_s=0.405 m^2

r_{w1} =d/2 r_{w1}=0.193 m

r_{w2} = r_{w1}+L_s r_{w2}=0.194 m

r_3 = r_{w2} +L_a r_3=0.215 m

r_4 = r_3+L_s r_4=0.216 m

ขั้นแรกหา T_f โดย $T_f = \frac{T_{wall}+T_{room}}{2}$

$$T_f = \frac{336.61 + 300.00}{2}$$

$$T_f = 318.305\ K$$

หลังจากได้ T_f เรานำอุณหภูมินี้ไปเปิด ตารางคุณสมบัติของอากาศตามตารางใน ภาคผนวก ค. ได้ค่าดังนี้

$\nu = 18.14 \times 10^{-6}\ m^2/s$ $\quad Pr = 0.704348$

$g = 9.087\ m\text{-}s^{-2}$

จากนั้นหาค่าตัวเลขกราชอฟจากสมการที่ (2.10)

$$Gr_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{wall} - T_{room}) \cdot H_1^{\,3}}{\nu^2}$$

$$Gr_L := \frac{(9.807) \cdot (0.003142) \cdot (336.61 - 300) \cdot (0.335)^3}{(18.14 \cdot 10^{-6})^2}$$

โดย $\beta = 1/T_f$ $\quad \beta = 3.142 \times 10^{-3}\ K^{-1}$

จะได้ $Gr_L = 1.289 \times 10^{8}\ K^{-1}$

และค่า $Gr_L \cdot Pr = 9.077 \times 10^{7}$

ในกรณีนี้ เราพิจารณาว่าที่ผิวด้านข้างของหม้อก๋วยเตี๋ยวที่มีฉนวนหุ้มคิดเป็นแบบ vertical cylinder โดยเป็น การไหลแบบราบเรียบ (Lamina Flow) เราจะได้ค่า e = 0.59 , n = 1 / 4

นำค่า c , n และ ค่า GrL·Pr ไปหาค่าตัวเลขนัสเซลท์(Nusselt Number)จากสมการที่(2.9)

$$N_{um} = c \cdot (GrL \cdot Pr)^n$$

$$N_{um} = (0.59)(9.077 \times 10^{7})^{1/4}$$

$$N_{um} = 57.588$$

นำค่า N_{um} มาหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากสมการ(2.10)จะได้

$$h = \frac{N_{um} \cdot k_s}{H_1}$$

$$h = \frac{(57.588)(17.2)}{0.335}$$

จะได้ $h = 2957\ W/m^2 \cdot K$

นำค่าที่คำนวณมาได้ทั้งหมดไปแทนลงในสมการที่(2.4)

จะได้ $Q_{lossl} = 22.4222\ W$

นำค่า Q_{lossl} ที่ได้ไปหาค่า T_{wall} จากสมการ

$$T_{wall} := T_{water} - Q_{lossl} \left(\frac{\ln \frac{r_{w2}}{r_{w1}}}{(2\ \pi\ H_1\ k_s)} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_{w2}}}{(2\ \pi\ H_1\ k_{ash})} + \frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{(2\ \pi\ H_1\ k_s)} \right)$$

$$T_{wall} := 373.2 - 22.4222 \left(\frac{\ln \frac{0.194}{0.193}}{2\pi\ (0.335)\ (17.2)} + \frac{\ln \frac{0.215}{0.194}}{2\pi\ (0.335)\ (0.03)} + \frac{\ln \frac{0.2155}{0.215}}{2\pi\ (0.335)\ (17.2)} \right)$$

นำ T_{wall} ที่ได้ไปทำการrecheck ค่าที่สมมติขึ้นแล้ว จะได้ค่าที่ถูกต้องคือ

Q_{lossl}=24.66304 W T_{wall}=336.61 K

จากนั้นนำค่า Q_{in} และ Q_{lossl} ไปหาค่าประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยวดังนี้

$$\eta_{o,p} = \frac{Q_{in} - Q_{lossl}}{m_f \cdot LHV_{C3H8}}$$

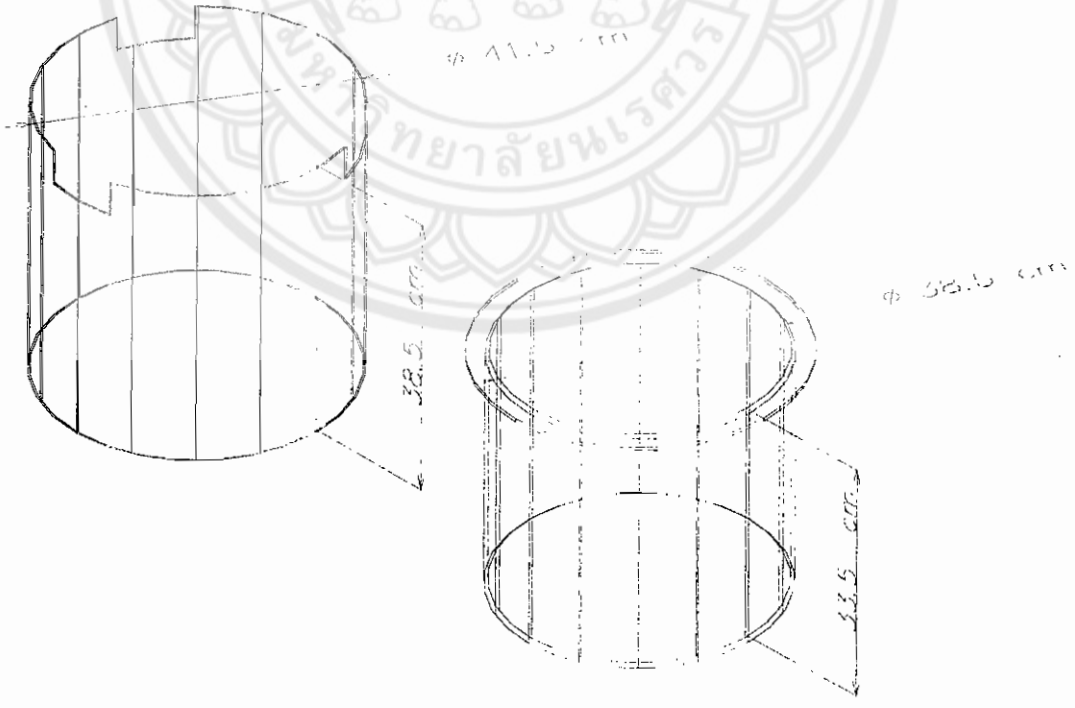
$$\eta_{o,p} = \frac{1{,}115\text{-}22.4222}{5{,}038}$$

$$\eta_{o,p} = 0.216$$

จะได้ประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบหุ้มฉนวนเท่ากับ 21.60 %

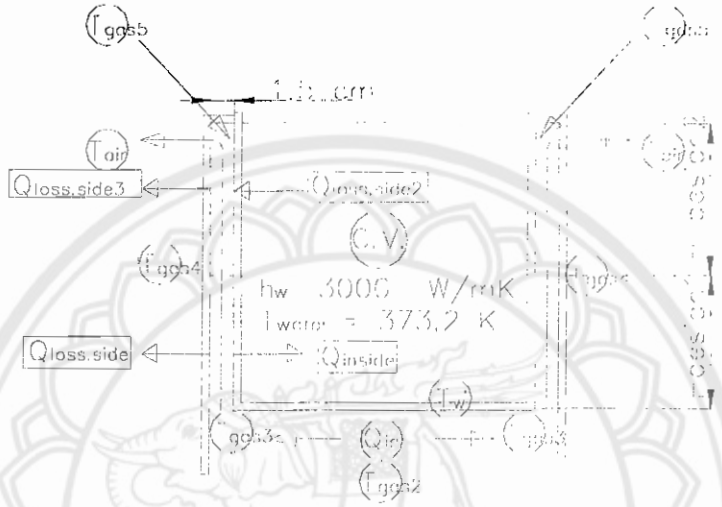
3.3 การวิเคราะห์หม้อก๋วยเตี๋ยวแบบมีปล่องเพิ่มพื้นที่รับความร้อนทางด้านข้าง

จากการวิเคราะห์แล้วเห็นว่าหม้อก๋วยเตี๋ยวได้รับความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไปไม่หมด มีส่วนหนึ่งที่ไม่ได้เข้าหม้อก๋วยเตี๋ยว เราจึงออกแบบให้มีปล่องด้านข้างโดยให้ความสูงของสแตนเลสที่ใช้ทำปล่องมีค่าเท่ากับ 38.5 เซนติเมตรซึ่งจะมีส่วนที่เกินลงไปข้างล่าง 5 เซนติเมตรเพราะถ้าใช้ความสูงในส่วนที่เกินไปมากกว่านี้จะไม่สามารถตั้งหม้อบนเตาได้และข้างบนของปล่องจะมีช่องให้ก๊าซร้อนวิ่งออก 2 เซนติเมตร มีค่าความกว้างของปล่องเท่ากับ 15 มิลลิเมตรเพราะเป็นค่าที่มีความเหมาะสมที่สุดจากการลองใช้ค่าความกว้างต่างๆกันแล้วเปรียบเทียบราคาดูปรากฏว่าที่ความกว้าง15 มิลลิเมตรนี้เหมาะสมที่สุด ลักษณะของหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบมีปล่องเพิ่มพื้นที่รับความร้อนทางด้านข้างแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.5 แสดงรูปแบบของปล่องที่ใช้สวมกับหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบทั่วไป

ก๋วยเตี๋ยวแบบมีปล่องจะแตกต่างกับหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบทั่วไปคือจะมีจะมีความร้อนเข้าทางด้านข้างเนื่องมาจากก๊าซร้อนที่เข้าไปในปล่อง ความร้อนที่เข้าปล่องนี้จะมาจากความร้อนที่เหลือจากส่วนที่เข้าทางก้นหม้อก๋วยเตี๋ยวโดยคิดว่าความร้อนที่ไม่ได้เข้าที่ก้นหม้อจะเข้าไปในปล่องทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การเคลื่อนตัวของก๊าซร้อนภายในปล่อง

จากรูปที่3.6 เราคิดว่าก๊าซร้อนที่วิ่งออกจากก้นหม้อเข้าไปในปล่องจนหมด และได้แบ่งความร้อนในปล่องเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกคือส่วนที่ในปล่องมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง T_{gas3} จนถึง T_{gas4} จะมีความสูงเท่ากับ $H_{design1}$ ซึ่งเป็นส่วนที่มีความร้อนเข้าสู่หม้อก๋วยเตี๋ยวเพิ่มขึ้น และอีกส่วนหนึ่งคือส่วนที่ก๊าซมีอุณหภูมิในช่วง T_{gas4} จนถึง T_{assume} ที่เราสมมติขึ้นว่ามีอุณหภูมิเท่ากับ T_{gas5}จะมีความสูงเท่ากับ $H_{design2}$ เป็นส่วนที่อุณหภูมิภายในปล่องมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำที่ต้มในหม้อซึ่งจะกลายเป็นฉนวนและจะไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่หม้อก๋วยเตี๋ยว โดยในช่วงที่มีอุณหภูมิเท่ากับ T_{gas4} นั้นจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของน้ำที่ต้มในหม้อก๋วยเตี๋ยว เราสามารถหาปริมาณความร้อนที่หม้อก๋วยเตี๋ยวได้รับ โดยคิดเป็นปริมาตรควบคุมจากสมการพลังงานคือ

$$Q_{c.v} + W_{c.v} = (dE/dt) + \Sigma E_{out}$$

สำหรับหม้อก๋วยเตี๋ยวถือว่าไม่มีงานเกิดขึ้นดังนั้นสมการข้างบนจะเป็น

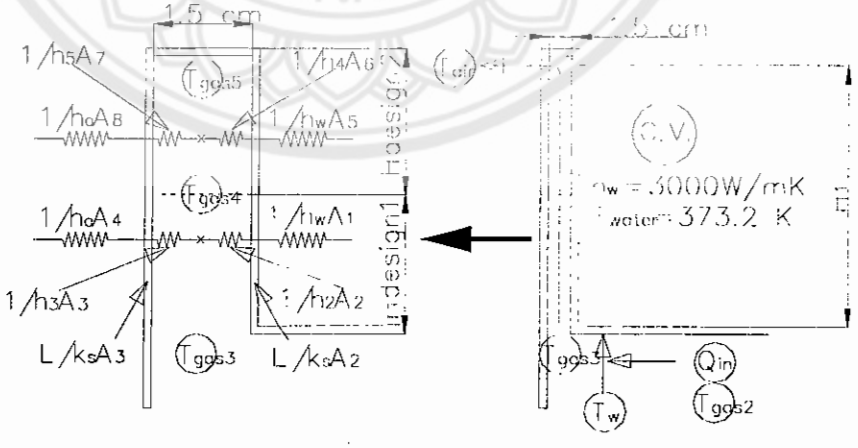
$$Q_{c.v} = (dE/dt) + \sum E_{out}$$

$$Q_{in} + Q_{inside} - Q_{loss.side2} = (dE/dt) + \sum E_{out}$$

การหาปริมาณความร้อนและประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยวนั้นเราจะทำการหา T_{gas3} ก่อนเพื่อที่จะหาความร้อนในช่วงความสูง $H_{design1}$ ซึ่งจะมีความร้อนที่เข้าสู่หม้อทางด้านข้างและความร้อนที่สูญเสียออกจากปล่องไปสู่อากาศเพื่อนำความร้อนทั้งสองมาหาอุณหภูมิ T_{gas4} เมื่อได้อุณหภูมิ T_{gas4} แล้วจึงทำการหาความร้อนในช่วงความสูง $H_{design2}$ เมื่อได้ความร้อนในช่วงนี้แล้วทำการหาจึงทำการหา T_{gas5} ว่าเท่ากับ T_{assume} ที่เราสมมติขึ้นหรือไม่ถ้าไม่ตรงก็ทำการรีเช็คใหม่เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแล้วจึงหาประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยวจากสมการ

$$\eta_{o,p} = \frac{Q_{in} + Q_{inside} - Q_{loss.side2}}{m_f \cdot LHV_{C3H8}}$$

ซึ่งมีวิธีการคำนวณหาค่าต่างๆเหมือนกับหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบทั่วไปดังนี้



รูปที่ 3.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ในแต่ละจุดภายในปล่อง

จากหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบทั่วไปจะได้

ปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้ก๊าซ LPG $Q_f = 5038$ W

อุณหภูมิที่ก้นหม้อก๋วยเตี๋ยวคือ $T_{gas2} = 1639$ K

ปริมาณความร้อนที่เข้าทางก้นหม้อคือ $Q_{in}=1115$ W

ซึ่งหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบมีปล่องเพิ่มพื้นที่รับความร้อนทางด้านข้างมีความร้อนที่ไม่ได้เข้าที่ก้นหม้อก๋วยเตี๋ยวและ เป็นส่วนที่สูญเสียไปซึ่งเป็นส่วนที่วิ่งจากอุณหภูมิ (T_{gas2})ออกไปทางด้านข้างที่อุณหภูมิ(T_{gas3})เพื่อง่ายในการคำนวณเราจะคิดว่าความร้อนที่วิ่งออกจากก้นหม้อก๋วยเตี๋ยว วิ่งเข้าไปในปล่องจนหมด จากค่า Q_{in} ที่ได้จากหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบทั่วไป เราสามารถนำ Q_{in} นี้มาหาค่า T_{gas3} ได้

โดย c_p ที่อุณหภูมิ T_{gas2}=1639 K มีค่าเท่ากับ $c_{p,Tgas2}$= 1.222 kJ/kg·K

เราสามารถคำนวณหา T_{gas3} ได้จาก Q_{in} ดังสมการ

$$Q_{in} = m_a \cdot c_{p,Tgas2} \cdot (T_{gas2} - T_{gas3})$$

$$1.115 \times 10^3 = (15.6)(10.0\times10^{-5})(1222)(1639 - T_{gas3})$$

$$T_{gas3} = 1{,}639 - \frac{(1.115 \times 10^3)}{(15.6)(10.0\times10^{-5})(1222)}$$

จะได้ $T_{gas3} = 1054$ K

จากนั้นเราจะทำการหาความร้อนที่เข้าทางด้านข้างหม้อก๋วยเตี๋ยวโดยก่อนที่ทำการหาความร้อนภายในปล่องเราจะกำหนดค่าความสูงขึ้นมาค่าหนึ่งคือ $H_{design1}$ ซึ่งเป็นความสูงในช่วง T_{gas3} กับT_{gas4} โดยสมมติให้T_{gas4} มีอุณหภูมิเท่ากับ T_{water} แล้วทำการหาค่าต่างๆเพื่อที่จะไปหาค่า

T_{gas4} ใหม่ว่าตรงกับที่สมมติไว้หรือไม่ถ้าไม่ตรงก็ปรับค่า $H_{design1}$ ใหม่เพื่อให้ได้ค่า T_{gas4} ที่ตรงกับ T_{water} แล้วทำการหาค่าต่างๆใหม่จะได้ค่าที่ถูกต้องซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

<u>การหาความร้อนที่เข้าสู่หม้อทางด้านข้าง(Q_{inside})</u>

สมมติให้ความสูงของปล่องช่วงที่มีอุณหภูมิระหว่าง T_{gas4} กับ T_{gas3}

มีค่าเท่ากับ $H_{design} = 0.24$ m

ค่าความกว้างของปล่องที่ออกแบบเท่ากับ $D_{design} = 0.015$ m

ค่าความหนาของสแตนเลส $L_s = 0.001$ m

ค่าสภาพการนำความร้อนของสแตนเลส $k_s = 17.2$ W/m·K

เส้นผ่านศูนย์กลางของหม้อก๋วยเตี๋ยว $d = 0.385$ m

ก่อนอื่นกำหนด h_2 ก่อนและกำหนดให้อุณหภูมิตรงกลางปล่องมีค่าเท่ากับ T_{mean1} เพื่อที่จะหาค่า Q_{inside} แล้วนำค่าQ_{inside}มาทำการหาค่า T_{w2} เพื่อหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยไปเปิดค่าคุณสมบัติของอากาศเพื่อหา h_2 แล้วนำมาrecheck กับค่า h_2 ที่กำหนดขึ้นและกำหนดให้ T_{mean1} คืออุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง T_{gas4} กับ T_{gas3}

กำหนดให้ T_{gas4}มีค่าเท่ากับ T_{water}

จะได้ $$T_{mean1} = \frac{T_{water}+T_{gas3}}{2}$$

$$T_{mean1} = \frac{373.2+1,054}{2} \qquad T_{mean1} = 713.778 \text{ K}$$

กำหนดให้ $h_2 = 7.844$ W/m^2·K $\qquad T_{water} = 373.2$K

$r_{w1} = d/2 \qquad r_{w1} = 0.193$m

$r_{w2} = r_{w1}+L_s \qquad r_{w2} = 0.194$m

$A_1 = 2 \cdot \pi \cdot r_{w1} \cdot H_{design}$ $\quad A_1 = 0.290 m^2$

$A_2 = 2 \cdot \pi \cdot r_{w2} \cdot H_{design}$ $\quad A_2 = 0.292 m^2$

กำหนดให้ค่าความต้านทานรวมของการถ่ายเทความร้อนทางด้านข้างของหม้อก๋วยเตี๋ยว เป็น R_{inside} จากสมการที่(2.5)จะได้ว่า

$$R_{inside} := \frac{1}{h_2 \ A_2} + \frac{\ln \frac{r_{w2}}{r_{w1}}}{2 \ \pi \ k_s \ H_{design}} + \frac{1}{h_w \ A_1}$$

$$R_{inside} := \frac{1}{(7.844) \ (0.292)} + \frac{\ln \frac{0.194}{0.193}}{2\pi \ (17.2) \ . (0.240)} + \frac{1}{(3000) \ (0.290)}$$

$$R_{inside} = 0.438 \ s^3 \cdot K \cdot kg \cdot m^{-2}$$

$$Q_{inside} := \frac{T_{mean1} - T_{water}}{R_{inside}}$$

$$Q_{inside} = \frac{713.778 - 373.2}{0.438}$$

$$Q_{inside} = 777.1193 \ W$$

จากนั้นเราก็นำค่าQ_{inside} ที่ได้ มาหาค่า T_{w2} จากสมการที่(2.6)

$$Q_{inside} := \frac{T_{w2} - T_{water}}{\frac{\ln \frac{r_{w2}}{r_{w1}}}{2 \ \pi \ k_s \ H_{design}} + \frac{1}{h_w \ A_1}}$$

$$T_{w2} := Q_{inside} \ \left(\frac{\ln \frac{r_{w2}}{r_{w1}}}{2\pi \ k_s \ H_{design}} + \frac{1}{h_w \ A_1} \right) + T_{water}$$

$$T_{w2} := 777.1993 \frac{\ln \frac{0.194}{0.193}}{2\pi\ (17.2)\ (0.24)} + \frac{1}{(3000)\ (0.29)} + 373.2$$

จะได้ $T_{w2} = 374.248$ K

นำค่าอุณหภูมิ T_{w2} ที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ T_{mean1} จะได้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย T_f ดังสมการที่(2.11)

$$T_f = \frac{T_{w2}+T_{mean1}}{2}$$

$$T_f = \frac{374.248 + 713.778}{2}$$

$$T_f = 544.013 \text{ K}$$

นำค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้ไปเปิดคุณสมบัติของอากาศตามตารางคุณสมบัติในภาคผนวก ค. จะได้ค่าต่างๆดังนี้

$\rho = 0.65$ kg/m^3 $\quad c_p = 1.038$ kJ/kg·K

$\mu = 2.827\times10^{-5}$ kg/m·s $\quad k = 0.043$ W/m·K

$\alpha = 0.642\times10^{-4}$ m^2/s $\quad Pr = 0.68$

$\nu = 43.567\times10^{-6}$ m^2/s

$\beta = 1/T_f$ $\quad \beta = 0.001838$

จากค่าคุณสมบัติต่างๆที่ได้เราสามารถหาตัวเลขกราชอฟได้จากสมการที่ (2.10)

$$Gr_L = \frac{g\cdot\beta\cdot(T_{mean1}-T_{w2})\cdot H_{design}^3}{\nu^2}$$

$$Gr_L := \frac{(9.807)\ (0.001838)\ (713.778-374.248)\ (0.24)^3}{(43.567\ 10^{-6})^2}$$

$$Gr_L = 4.458\times10^7$$

$$Gr_L\cdot Pr = 3.031\times10^7$$

ในกรณีนี้ เราพิจารณาว่าที่ผิวด้านข้างของหม้อก๋วยเตี๋ยวคิดเป็นแบบ vertical cylinder โดยเป็น การไหลแบบราบเรียบ (Lamina Flow) เราจะได้ค่า c = 0.59 , n = 1 / 4

นำค่า c , n และ ค่า $Gr_L \cdot Pr$ ไปหาค่าตัวเลขนัสเซลท์(Nusselt Number)จากสมการที่(2.9)

$$N_{um} = c \cdot (Gr_L \cdot Pr)^n$$

$$N_{um} = (0.59)(3.031 \times 10^7)^{1/4}$$

$$N_{um} = 43.778$$

เมื่อได้ค่า N_{um} แล้วเราจะนำไปหาค่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อน h_2 จากสมการที่ (2.10)

$$h_2 = \frac{N_{um} \cdot k}{H_{design}}$$

$$h_2 = \frac{(43.778)(0.043)}{0.240}$$

$$h_2 = 7.844 \ W/m^2 \cdot K$$

จากนั้นนำค่า h_2 ที่ได้ไปทำการ recheck กับค่า Q_{inside} เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดเมื่อทำการrecheckค่า h_2 กับ Q_{inside} เรียบร้อยแล้วจะได้ค่าที่ถูกต้องคือ

$$Q_{inside} = 777.119 \ W$$

$$h_2 = 7.844 \ W/m^2 \cdot K$$

<u>การหาความร้อนที่สูญเสียไปทางด้านข้างของปล่องออกไปสู่อากาศ($Q_{loss.side}$)</u>

ต่อไปพิจารณาในส่วนที่มีการสูญเสียความร้อนออกไปด้านข้างของปล่องโดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนh_3 ขึ้นมาเพื่อที่จะหาความร้อนที่สูญเสียไปเป็น $Q_{loss.side}$ แล้วนำค่ามา recheck กับค่าh_3 ที่กำหนดขึ้นเพื่อหาค่าที่ถูกต้องซึ่งค่าต่างๆที่กำหนดขึ้นมีดังนี้

สมมติให้ความสูงของปล่องช่วงที่มีอุณหภูมิระหว่าง T_{gas4} กับ T_{gas3}

มีค่าเท่ากับ $H_{design} = 0.240$ m

ค่าความกว้างของปล่องที่ออกแบบเท่ากับ $D_{design} = 0.015$ m

ค่าความหนาของสแตนเลส $L_s = 0.001$ m

ค่าสภาพการนำความร้อนของสแตนเลส $k_s = 17.2$ W/m·K

เส้นผ่านศูนย์กลางของหม้อก๋วยเตี๋ยว $d = 0.385$ m

กำหนดให้ $h_3 = 6.458$ W/m^2·K

$T_{mean1} = 903.471$ K $\quad T_{air} = 300$ K

$T_{water} = 373.2$K $\quad h_3 = 6.581$ W/m^2·K

$r_{w1} = d/2$ $\quad r_{w1} = 0.193$m

$r_{w2} = r_{w1} + L_s$ $\quad r_{w2} = 0.194$m

$r_{w3} = r_{w2} + D_{design}$ $\quad r_{w3} = 0.208$ m

$r_{w4} = r_{w3} + L_s$ $\quad r_{w4} = 0.209$ m

$A_1 = 2 \cdot \pi \cdot r_{w1} \cdot H_{design}$ $\quad A_1 = 0.290$m^2

$A_2 = 2 \cdot \pi \cdot r_{w2} \cdot H_{design}$ $\quad A_2 = 0.292$m^2

$A_3 = 2 \cdot \pi \cdot r_{w3} \cdot H_{design}$ $\quad A_3 = 0.314$ m^2

$A_4 = 2 \cdot \pi \cdot r_{w4} \cdot H_{design}$ $\quad A_4 = 0.316$m^2

กำหนดให้ค่าความต้านทานรวมของการถ่ายเทความร้อนออกทางด้านข้างของปล่องหม้อก๋วยเตี๋ยว เป็น $R_{loss.side}$ จากสมการที่ (2.5)

$$R_{loss.side} := \frac{1}{h_3 \; A_3} + \frac{\ln \frac{r_{w4}}{r_{w3}}}{2 \; \pi \; k_s \; H_{design}} + \frac{1}{h_a \; A_4}$$

$$R_{loss.side} := \frac{1}{(6.458) \; (0.314)} + \frac{\ln \frac{0.21}{0.208}}{2\pi \; (17.2) \; (0.240)} + \frac{1}{(5) \; (0.316)}$$

$$R_{loss.side} = 1.126 \; s^3 \cdot K \cdot kg \cdot m^{-2}$$

จากสมการที่ (2.6)

$$Q_{loss.side} := \frac{T_{mean1} - T_{air}}{R_{loss.side}}$$

$$Q_{loss.side} = \frac{713.778 - 300}{1.126}$$

จะได้ $Q_{loss.side} = 367.555 W$

จากนั้นเราก็นำค่า $Q_{loss.side}$ ที่ได้ มาหาค่า T_{w3} จากสมการที่(2.6)

$$Q_{loss.side} := \frac{T_{w3} - T_{air}}{\frac{\ln \frac{r_{w4}}{r_{w3}}}{2 \; \pi \; k_s \; H_{design}} + \frac{1}{h_a \; A_4}}$$

$$T_{w3} := Q_{loss.side} \left(\frac{\ln \frac{r_{w4}}{r_{w3}}}{2\pi \; k_s \; H_{design}} + \frac{1}{h_a \; A_4} \right) + T_{air}$$

$$T_{w3} := 367.555 \quad \frac{\ln \frac{0.210}{0.208}}{2\pi \ (17.2) \ (0.240)} + \frac{1}{(5) \ (0.316)} + 300$$

จะได้ $T_{w3} = 532.757\ K$

หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T_f) ระหว่างอุณหภูมิที่T_{w3}กับอุณหภูมิมี่ T_{mean1}จากสมการที่(2.11)

$$T_f = \frac{T_{w3}+T_{mean1}}{2}$$

$$T_f = \frac{532.757 + 713.778}{2}$$

$$T_f = 623.267\ K$$

นำค่าอุณหภูมิที่ T_f ไปเปิดค่าคุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิT_fในตารางคุณสมบัติในภาคผนวก ค.

จะได้ค่าคุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิ T_f ดังนี้

$\rho = 0.567\ kg/m^3$ $\quad c_p = 1.059\ kJ/kg{\cdot}K$

$\mu = 3.092 \times 10^{-5}\ kg/m{\cdot}s$ $\quad k = 0.048\ W/m{\cdot}K$

$\alpha = 0.801 \times 10^{-4}\ m^2/s$ $\quad Pr = 0.681$

$\nu = 54.674 \times 10^{-6}\ m^2/s$

$\beta = 1/T_f$ $\quad \beta = 0.001604$

จากค่าคุณสมบัติต่างๆที่ได้เราสามารถหาตัวเลขกราชอฟได้จากสมการที่(2.10)

$$Gr_L = \frac{g{\cdot}\beta{\cdot}(T_{mean1}-T_{w3}){\cdot}H_{design}^{\ 3}}{\nu^2}$$

$$Gr_L := \frac{(9.807) \ (0.001604) \ (713.778 - 532.757) \ (0.240)^3}{(54.674 \ 10^{-6})^2}$$

$$Gr_L = 1.317 \times 10^7$$

$$Gr_L{\cdot}Pr = 8.97 \times 10^6$$

ในกรณีนี้ เราพิจารณาว่าที่ผิวด้านข้างปล่องของหม้อก๋วยเตี๋ยวคิดเป็นแบบ vertical plate และเป็น การไหลแบบราบเรียบ (Lamina Flow) เราจะได้ค่า c= 0.59 , n = 1 / 4

นำค่า c , n และ ค่า $Gr_L Pr$ ไปหาค่าตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number) จากสมการที่(2.9)

$$N_{um} = c\cdot(Gr_L\cdot Pr)^n$$

$$N_{um} = (0.59)(8.97\times 10^6)^{1/4}$$

$$N_{um} = 32.289$$

เมื่อได้ค่า Nu_m แล้วเราจะนำไปหาค่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อน h_3 จากสมการที่ (2.10)

$$h_3 = \frac{N_{um}\cdot k}{H_{design}}$$

$$h_3 = \frac{(32.289)(0.048)}{0.240}$$

$$h_3 = 6.458\ W/m^2\cdot K$$

นำค่า h_3 ที่ได้ไปrecheck กับค่า h_3 ที่กำหนดไว้ เพื่อได้ค่า h_3 และค่า $Q_{loss.side}$ ที่ถูกต้อง

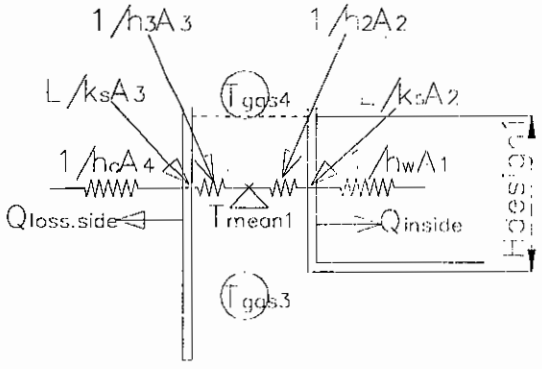
จะได้ $Q_{loss.side}$= 367.55W

h_3 = 6.458 $W/m^2\cdot K$

จากค่า T_{mean1} ที่ได้เท่ากับ 713.77 K สามารถหาค่า c_p ที่ T_{mean1} จะได้

$c_{p,Tmean1}$= 1.077 kJ/kg·K

ดังนั้นเราจึงสามารถหาอุณหภูมิ T_{gas4} ซึ่งเป็นอุณหภูมิภายในปล่องส่วนที่มีอุณหภูมิใกล้กับอุณหภูมิของน้ำเดือดภายในหม้อต้มก๋วยเตี๋ยวในรูปที่3.8



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของความร้อนในช่วงความสูง $H_{design1}$

จากรูปที่ 3.8 สามารถหา T_{gas4} ได้จากสมการที่(2.9)

$$Q_{inside}+Q_{loss.side} = m_a \cdot c_{p,Tmean1}(T_{gas3}-T_{gas4})$$

$$777.119+ 367.55 = (1.56\times 10^{-3})(1,077)(1054- T_{gas4})$$

$$T_{gas4} = 373.025\ K$$

จาก T_{gas4} ที่ได้นำไป recheck กับค่าT_{water}ว่าตรงกันหรือไม่ถ้าไม่ตรงปรับค่า$H_{design1}$ จนกว่าจะได้ค่า T_{gas4} ตรงกับ T_{water} ซึ่งจะได้ค่าที่ถูกต้องคือ

$$T_{gas4} = 373.025\ K$$

ต่อไปพิจารณาในส่วนที่อุณหภูมิภายในปล่องที่มีค่าตั้งแต่ T_{gas4} จนถึงอุณหภูมิที่ก๊าซร้อนออกจากปล่อง T_{gas5} โดยกำหนด $T_{gas5}= T_{assume}$ เพื่อทำการหาความร้อนที่สูญเสียจากหม้อสู่ปล่องและความร้อนที่สูญเสียจากปล่องสู่อากาศในช่วงความสูงจาก T_{gas4} ถึง T_{gas5} แล้วนำความร้อนที่ได้ไปหา T_{gas5} เพื่อนำไป recheck กับ T_{assume} ที่สมสติขึ้นว่าตรงกันหรือไม่ปรับค่าจนได้ $T_{gas5}= T_{assume}$ แล้วนำไปหาค่าต่างๆใหม่

<u>การหาความร้อนที่สูญเสียจากหม้อสู่ปล่องในส่วนที่มีอุณหภูมิตั้งแต่T_{gas4} จนถึงอุณหภูมิT_{gas5}</u>

โดยสมมติให้ อุณหภูมิในส่วนที่มีอุณหภูมิของก๊าซร้อนออกจากปล่องเป็น

$T_{gas5}=T_{assume}=359.5$ K

ความสูงของปล่องในส่วนที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ T_{gas4} ถึง T_{gas5} เป็น $H_{design2}=0.075$ m

เนื่องจากต้องทำช่องให้ก๊าซร้อนวิ่งออก เป็นระยะ 0.02 m

ดังนั้นค่าความสูงของปล่องที่ได้ออกแบบทั้งหมดเป็น $H_{design}+H_{design2}=0.315$ m

ความกว้างของปล่องด้านข้างเท่ากับ $D_{design}=0.015$ m

ความหนาของสแตนเลส $L_s=0.001$ m

ค่าสภาพการนำความร้อนของสแตนเลส $k_s=17.2$ W/m·K

โดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h_4 ขึ้นมาเพื่อที่จะหาความร้อนที่สูญเสียไปเป็น $Q_{loss.side2}$ แล้วนำค่ามา recheck กับค่า h_4 ที่กำหนดขึ้นเพื่อหาค่าที่ถูกต้อง

กำหนดให้ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในปล่องระหว่างค่า T_{gas4} กับ T_{assume} เป็น T_{mean2} ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$T_{mean2}=\frac{T_{assume}+T_{gas4}}{2}$$

$$T_{mean2}=\frac{359.5+373.025}{2}$$

$$T_{mean2}=366.257 \text{ K}$$

กำหนดให้ $h_4=4.376$ W/m^2·K

$T_{assume}=359.5$ K $\qquad$ $T_{mean2}=366.257$K

$T_{water}=373.2$K $\qquad$ $h_4=4.376$ W/m^2·K

$r_{w1}=d/2$ $\qquad$ $r_{w1}=0.193$m

$r_{w2} = r_{w1} + L_s$ $\quad r_{w2} = 0.194\text{m}$

$A_5 = 2 \cdot \pi \cdot r_{w1} \cdot H_{design2}$ $\quad A_5 = 0.091\text{m}^2$

$A_6 = 2 \cdot \pi \cdot r_{w2} \cdot H_{design2}$ $\quad A_6 = 0.091\text{m}^2$

กำหนดให้ค่าความต้านทานรวมของการถ่ายเทความร้อนออกทางด้านข้างของปล่องหม้อก๋วยเตี๋ยว ในส่วนที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ T_{gas4} จนถึง T_{assume} เป็น $R_{loss.side2}$ จากสมการที่(2.5) จะได้

$$R_{loss.side2} := \frac{1}{h_4 \ A_5} + \frac{\ln\left(\frac{r_{w2}}{r_{w1}}\right)}{2 \ \pi \ k_s \ H_{design2}} + \frac{1}{h_w \ A_6}$$

$$R_{loss.side2} := \frac{1}{(4.376)\ (0.091)} + \frac{\ln\left(\frac{r_{w2}}{r_{w1}}\right)}{2 \ \pi \ (17.2)\ (0.075)} + \frac{1}{(3000)\ (0.091)}$$

$$R_{loss.side2} = 2.51\ s^3 \cdot K \cdot kg^{-1} \cdot m^{-2}$$

จากค่า $R_{loss.side2}$ ที่ได้นำไปหา $Q_{loss.side2}$ จากสมการที่ (2.6)

$$Q_{loss.side2} = \frac{T_{water} - T_{mean2}}{R_{loss.side2}}$$

$$Q_{loss.side2} = \frac{373.2 - 366.257}{2.51}$$

จะได้ $Q_{loss.side2} = 2.758\ \text{W}$

จากนั้นเราก็นำค่า$Q_{loss.side2}$ ที่ได้ มาหาค่า T_{w4} จากสมการที่(2.6)

$$Q_{loss.side2} := \frac{T_{w4} - T_{water}}{\frac{\ln \frac{r_{w2}}{r_{w1}}}{2\ \pi\ k_s\ H_{design2}} + \frac{1}{h_w\ A_5}}$$

$$T_{w4} := Q_{loss.side2} \left(\frac{\ln \frac{r_{w2}}{r_{w1}}}{2\pi\ k_s\ H_{design2}} + \frac{1}{h_w\ A_6} \right) + T_{water}$$

$$T_{w4} := 2.758 \left(\frac{\ln \frac{0.194}{0.193}}{2\pi\ (17.2)\ (0.075)} + \frac{1}{(3000)\ (0.091)} \right) + 373.2$$

$$T_{w4} = 373.212\ K$$

หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T_f) ระหว่างอุณหภูมิที่T_{w4}กับอุณหภูมิที่ T_{mean2}จากสมการที่(2.11)

$$T_f = \frac{T_{w4}+T_{mean2}}{2}$$

$$T_f = \frac{373.212+366.257}{2}$$

T_f=369.74K

นำค่าอุณหภูมิที่ T_f ไปเปิดค่าคุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิT_fในตารางคุณสมบัติในภาคผนวก ค. จะได้ค่าคุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิ T_f ดังนี้

ρ=0.954 kg/m^3	c_p= 1.011kJ/kg·K
μ=2.155×10^{-5} kg/m·s	k = 0.031W/m·K
α=0.328×10^{-4}m^2/s	Pr = 0.694

$\nu = 22.79 \times 10^{-6}\ m^2/s$

$\beta = 1/T_f$ $\beta = 0.00275$

จากค่าคุณสมบัติต่างๆที่ได้เราสามารถหาตัวเลขกราชอฟได้จากสมการที่(2.10)

$$Gr_L = g \cdot \beta \cdot (T_{w4} - T_{mean2}) \cdot H_{design2}^{3} \over \nu^2$$

$$Gr_L := \frac{(9.807)\ (0.00270)\ (373.212 - 366.275)\ (0.075)^3}{(22.79\ 10^{-6})^2}$$

$Gr_L = 1.494 \times 10^5$

$Gr_L \cdot Pr = 1.037 \times 10^5$

ในกรณีนี้ เราพิจารณาว่าที่ผิวด้านข้างปล่องของหม้อก๋วยเตี๋ยวคิดเป็นแบบ vertical plate และเป็น การไหลแบบราบเรียบ (Lamina Flow) เราจะได้ค่า c= 0.59 , n = 1 / 4

นำค่า c , n และ ค่า $Gr_L.Pr$ ไปหาค่าตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number) จากสมการที่(2.9)

$N_{um} = c \cdot (Gr_L \cdot Pr)^{n}$

$N_{um} = (0.59)(1.037 \times 10^5)^{1/4}$

$N_{um} = 10.59$

เมื่อได้ค่า Nu_mแล้วเราจะนำไปหาค่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อน h_4ดังสมการที่(2.10)

$$h_4 = \frac{N_{um} \cdot k}{H_{design2}}$$

$$h_4 = \frac{(10.59)(0.031)}{0.075}$$

$h_4 = 4.376\ W/m^2 \cdot K$

นำค่า h_4ที่ได้ไปrecheck กับค่า h_4 ที่กำหนดไว้ เพื่อให้ได้ค่า h_4 และค่า $Q_{loss.side2}$ที่ถูกต้อง จะได้

$Q_{loss.side2} = 2.758$ W

$h_4 = 4.376$ W/m^2·K

<u>การหาความร้อนที่สูญเสียจากปล่องสู่อากาศในส่วนที่มีอุณหภูมิตั้งแต่T_{gas4} จนถึงอุณหภูมิT_{gas5}</u>

ต่อไปพิจารณาในส่วนที่ความร้อนสูญเสียออกจากปล่องไปสู่อากาศในส่วนที่เป็นความสูงของช่วงที่อุณหภูมิภายในปล่องมีค่าตั้งแต่ T_{gas4} จนถึงอุณหภูมิที่อุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากปล่อง

สมมติให้ อุณหภูมิในส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณภูมิของน้ำภายในหม้อเป็นT_{assume} = 359.5 K

ความสูงของปล่องในส่วนที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ T_{gas4} ถึง T_{assume} เป็น $H_{design2}$ = 0.075 m

ดังนั้นค่าความสูงของปล่องที่ได้ออกแบบทั้งหมดเป็น $H_{design}+H_{design2}$ = 0.315 m

ความกว้างของปล่องด้านข้างเท่ากับ D_{design} = 0.015 m

ความหนาของสแตนเลส L_s = 0.001 m

ค่าสภาพการนำความร้อนของสแตนเลส k_s = 17.2 W/m·K

กำหนดให้

$h_5 = 14.185$ W/m^2·K $\quad$ $h_a = 5$ W/m^2·K

$r_{w3} = r_{w2}+D_{design}$ $\quad$ $r_{w3} = 0.208$m

$r_{w4} = r_{w3}+L_s$ $\quad$ $r_{w4} = 0.210$m

$A_7 = 2\cdot\pi\cdot r_{w3}\cdot H_{design2}$ $\quad$ $A_7 = 0.098$m^2

$A_8 = 2\cdot\pi\cdot r_{w4}\cdot H_{design2}$ $\quad$ $A_8 = 0.099$m^2

กำหนดให้ค่าความต้านทานรวมของการถ่ายเทความร้อนออกทางด้านข้างของปล่องหม้อก๋วยเตี๋ยวออกสู่บรรยากาศในส่วนที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ T_{gas4} จนถึง T_{assume} เป็น $R_{loss.side3}$ จากสมการที่ (2.5) จะได้

$$R_{loss.side3} := \frac{1}{h_5 \; A_7} + \frac{\ln\left(\frac{r_{w4}}{r_{w3}}\right)}{2 \; \pi \; k_s \; H_{design2}} + \frac{1}{h_a \; A_8}$$

$$R_{loss.side} := \frac{1}{(14.185) \; (0.098)} + \frac{\ln\left(\frac{0.21}{0.208}\right)}{2 \; \pi \; (17.2) \; (0.075)} + \frac{1}{(5) \; (0.099)}$$

$$R_{loss.side3} = 2.74 \; s^3 \cdot K \cdot kg^{-1} \cdot m^{-2}$$

$$Q_{loss.side3} = \frac{T_{mean2} - T_{air}}{R_{loss.side3}}$$

$$Q_{loss.side3} = \frac{366.275 - 300}{2.74}$$

$$Q_{loss.side3} = 24.153 \; W$$

จากนั้นเราก็นำค่า $Q_{loss.side3}$ ที่ได้ มาหาค่า T_{w5} จากสมการที่(2.6)

$$Q_{loss.side3} := \frac{T_{w5} - T_{air}}{\frac{\ln\left(\frac{r_{w4}}{r_{w3}}\right)}{2 \; \pi \; k_s \; H_{design2}} + \frac{1}{h_a \; A_8}}$$

$$T_{w5} := Q_{loss.side3} \left(\frac{\ln \frac{r_{w4}}{r_{w3}}}{2\pi \; k_s \; H_{design2}} + \frac{1}{h_a \; A_8} \right) + T_{air}$$

$$T_{w5} := 24.153 \left(\frac{\ln \frac{0.21}{0.208}}{2\pi \; (17.2) \; (0.075)} + \frac{1}{(5) \; (0.099)} \right) + 300$$

$$T_{w5} = 348.945K$$

หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T_f) ระหว่างอุณหภูมิที่T_{w5}กับอุณหภูมิที่ T_{mean2}จากสมการที่(2.11)

$$T_f = \frac{T_{w5}+T_{mean2}}{2}$$

$$T_f = \frac{348.945+366.275}{2}$$

$$T_f = 357.61 \; K$$

นำค่าอุณหภูมิที่ T_f ไปเปิดค่าคุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิT_fในตารางคุณสมบัติในภาคผนวก ค. จะได้ค่าคุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิ T_f ดังนี้

$\rho = 0.98 \; kg/m^3$	$c_p = 1.01 \; kJ/kg \cdot K$
$\mu = 2.107 \times 10^{-5} \; kg/m \cdot s$	$k = 0.077 \; W/m \cdot K$
$\alpha = 0.31 \times 10^{-4} \; m^2/s$	$Pr = 0.696$
$\nu = 21.541 \times 10^{-6} \; m^2/s$	
$\beta = 1/T_f$	$\beta = 0.0022796$

จากค่าคุณสมบัติต่างๆที่ได้เราสามารถหาตัวเลขกราชอฟได้จากสมการที่(2.10)

$$Gr_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{mean2} - T_{w5}) \cdot H_{design2}^{3}}{\nu^2}$$

$$Gr_L := \frac{(9.807)\ (0.002796)\ (366.275 - 348.945)\ (0.075)^3}{(21.541\ 10^{-6})^2}$$

$$Gr_L = 4.321 \times 10^5$$

$$Gr_L \cdot Pr = 3.007 \times 10^5$$

ในกรณีนี้ เราพิจารณาว่าที่ผิวด้านข้างปล่องของหม้อก๋วยเตี๋ยวคิดเป็นแบบ vertical plate และเป็น การไหลแบบราบเรียบ (Lamina Flow) เราจะได้ค่า c= 0.59 , n = 1 / 4

นำค่า c , n และ ค่า $Gr_L \cdot Pr$ ไปหาค่าตัวเลขนัสเซลท์(Nusselt Number)จากสมการที่(2.9)

$$N_{um} = c(Gr_L \cdot Pr)^{n}$$

$$N_{um} = (0.59)(3.457 \times 10^5)^{1/4}$$

$$N_{um} = 13.816$$

เมื่อได้ค่า N_{um} แล้วเราจะนำไปหาค่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อน h_5 ดังสมการที่(2.10)

$$h_5 = \frac{N_{um.} \cdot k}{H_{design2}}$$

$$h_5 = \frac{(13.816)(0.077)}{0.075}$$

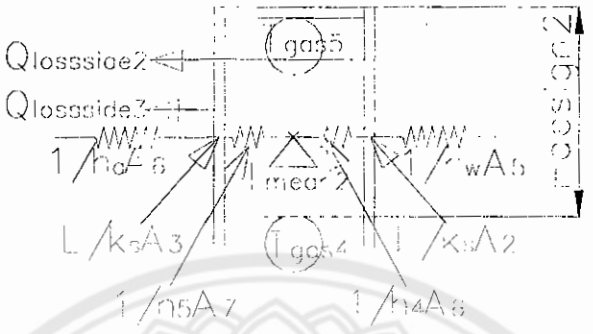
$$h_5 = 14.185\ W/m^2 \cdot K$$

นำค่า h_5 ที่ได้ไปrecheck กับค่า h_5 ที่กำหนดไว้ เพื่อให้ได้ค่า h_5 และค่า $Q_{loss.side3}$ ที่ถูกต้อง จะได้

$$Q_{loss.side3} = 24.153\ W$$

$$h_5 = 14.185\ W/m^2 \cdot K$$

นำค่า $Q_{loss.side2}$และ $Q_{loss.side3}$ ไปหาค่า T_{gas5} แล้วเช็คดูว่าตรงกับ T_{assume}ที่กำหนดขึ้นหรือไม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของความร้อนในช่วงความสูง $H_{design2}$

จากรูปที่ 3.8 สามารถหา T_{gas4} ได้จากสมการที่(2.9)

$$Q_{loss.side2}+Q_{loss.side3} = m_a \cdot c_{p,Tmean2}(T_{gas4}-T_{gas5})$$

$$2.758+(-24.153) = (1.56\times 10^{-3})(1\,011)(T_{gas5}-373.05)$$

จะได้ T_{gas5} =359.5 K

จากนั้นนำค่า Q_{in} ,Q_{inside}และ $Q_{loss.side2}$ ไปหาค่าประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบที่มีปล่อง จากสมการที่ (2.25)ดังนี้

$$\eta_{o,p} = \frac{Q_{in}+Q_{inside}-Q_{loss.side2}}{m_f \cdot LHV_{C3H8}}$$

$$\eta_{o,p} = \frac{1{,}115+777.119-3.507}{5{,}038}$$

$$\eta_{o,p} = 0.375$$

จะได้ประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบมีปล่องเพิ่มพื้นที่รับความร้อนทางด้านข้างเท่ากับ 37.5%

3.4 การเลือกหม้อก๋วยเตี๋ยวที่ออกแบบมาสร้าง

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยวที่ออกแบบทั้งสองแบบคือ

ประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบหุ้มฉนวน = 21.6%

ประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบมีปล่องเพิ่มพื้นที่รับความร้อน = 37.5%

จากประสิทธิภาพและความร้อนที่ได้ หม้อแบบหุ้มฉนวนไม่ควรที่จะนำมาสร้างเพราะความร้อนที่สูญเสียไปของหม้อแบบหุ้มฉนวนมีน้อย ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของหม้อก๋วยเตี๋ยว แต่ปริมาณความร้อนที่หม้อได้รับจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของหม้อสูงขึ้นมากกว่า และจากการให้ช่างประมาณราคาในการสร้างแล้วพบว่าหม้อที่ออกแบบทั้งสองมีราคาประมาณ 1200 บาทเท่ากัน เราจึงตัดสินใจเลือกสร้างหม้อแบบมีปล่อง