

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

เราสามารถพิจารณาลักษณะการค้ำน้ำซุงของหม้อก๋วยเตี๋ยวให้เป็นปริมาตรควบคุม ซึ่งเราให้ความสนใจที่จะวิเคราะห์ อาศัยกฎการอนุรักษ์พลังงานหรือกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Q_{c.v.} - W_{c.v.} + \sum m_i h_i + \frac{v_i^2}{2} + gZ_i - \sum m_e h_e + \frac{v_e^2}{2} + gZ_e \\ = m_2 u_2 + \frac{v_2^2}{2} + gZ_2 - m_1 u_1 + \frac{v_1^2}{2} + gZ_1 \end{aligned} \quad \text{c.v.}$$
$$Q_{c.v.} - W_{c.v.} + \sum E_{in} - \sum E_{out} = \frac{dE_{c.v.}}{dt} \quad (2.1)$$

โดยที่  $Q_{c.v.}$  = อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ป้อนให้กับปริมาตรควบคุม มีหน่วยเป็น W

$W_{c.v.}$  = งานที่ป้อนให้กับปริมาตรควบคุม ในที่นี้เท่ากับศูนย์ มีหน่วยเป็น W

$\sum E_{in}$  = อัตราของพลังงานไหลเข้าปริมาตรควบคุม ในที่นี้เท่ากับศูนย์ มีหน่วยเป็น W

$\sum E_{out}$  = อัตราของพลังงานไหลออกปริมาตรควบคุม มีหน่วยเป็น W

$\frac{dE_{c.v.}}{dt}$  = อัตราของการเปลี่ยนแปลงพลังงานในปริมาตรควบคุม มีหน่วยเป็น W

ซึ่งความร้อนที่เข้าออกปริมาตรควบคุม มีทั้งการนำและการพาความร้อน

## 2.1 การนำความร้อน

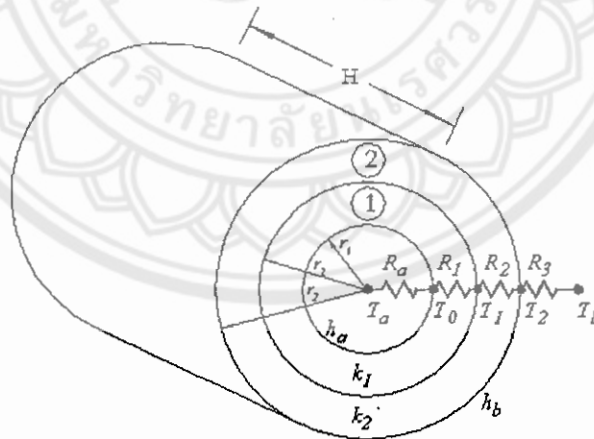
อัตราการเคลื่อนที่ของความจะขึ้นอยู่กับการนำความร้อนของสารที่เป็นตัวกลาง มีหน่วยเป็น  $W/(m \cdot C)$  สารที่มีความสามารถในการนำความร้อนสูง เช่น โลหะ จะมีค่าของ  $k$  สูง ส่วนสารที่มีความสามารถในการนำความร้อนต่ำ เช่น สารจำพวกอโลหะ ก็จะมีค่า  $k$  ต่ำ

สมการที่ใช้สำหรับคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำคือ

$$Q = \frac{kA}{L} \Delta T \quad (2.2)$$

โดยที่  $Q$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำตลอดพื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็น  $W$   
 $k$  คือ ค่าการนำความร้อน มีหน่วยเป็น  $W/(m \cdot ^\circ C)$   
 $L$  คือ ความหนาของผนัง มีหน่วยเป็น  $m$   
 $A$  คือ พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน มีหน่วยเป็น  $m^2$   
 $\Delta T$  คือ ผลต่างของอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น  $^\circ C$

การถ่ายเทความร้อนของผนังหลายชั้น



รูปที่ 2.1 ผนังหลายชั้นรูปทรงกระบอกที่มีแกนร่วมกัน

(ที่มา : Heat Transfer , A Basic Approach , M.Necati OZISIK)

พิจารณาผนังหลายชั้นรูปทรงกระบอกที่มีแกนร่วมกัน ดังรูปที่ 2.1 ของไหลร้อนที่มีอุณหภูมิ  $T_u$  ไหลภายในท่อ และความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ผนังท่อด้วยสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

$h_a$  ที่ผิวด้านนอกท่อ มีของไหลอุณหภูมิค่า  $T_b$  และมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน  $h_b$  อัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิ  $Q$  จากของไหลร้อนสู่ของไหลเย็นตลอดความยาวท่อ  $H$  เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Q = \frac{T_a - T_0}{R_a} = \frac{T_0 - T_1}{R_1} = \frac{T_1 - T_2}{R_2} = \frac{T_2 - T_b}{R_b} \quad (2.3)$$

เมื่อความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนหาได้จาก

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{1}{2\pi r_0 H h_a} & R_1 &= \frac{1}{2\pi H k_1} \ln \frac{r_1}{r_0} \\ R_2 &= \frac{1}{2\pi H k_2} \ln \frac{r_2}{r_1} & R_b &= \frac{1}{2\pi H h_b} \end{aligned} \quad (2.4)$$

เราสามารถเขียนสมการที่ (2.4) ให้อยู่ในรูปของความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนได้ดังนี้ คือ

$$Q = \frac{T_a - T_b}{R} W \quad (2.5)$$

โดยที่

$$R = R_a + R_1 + R_2 + R_b \quad (2.6)$$

เมื่อ  $R$  คือ ความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนสุทธิในแนวทางการถ่ายเทความร้อนจาก  $T_a$  ถึง  $T_b$

## 2.2 การพาความร้อนตามธรรมชาติ

การเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพาตามธรรมชาติ คือการเคลื่อนที่ของความร้อน ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลไม่ถูกทำให้เคลื่อนไหวโดยกลไกภายนอก

ปริมาณความร้อนของการพาความร้อน

$$q = h(T_h - T_c) \quad (2.7)$$

โดยที่ $q$	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของของแข็งที่สัมผัสกับของไหล
$h$	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน มีหน่วยเป็น $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
$T_h$	คือ อุณหภูมิที่ร้อนกว่า (ของของไหลหรือพื้นผิวของของแข็ง)
$T_c$	คือ อุณหภูมิที่เย็นกว่า (ของของไหลหรือพื้นผิวของของแข็ง)

ส่วนอัตราการถ่ายเทความร้อนจากของไหลไปยังของไหลสามารถคำนวณหาได้จากสูตรดังนี้

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T \quad (2.8)$$

โดยที่ $Q$	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน มีหน่วยเป็น $W$
$\dot{m}$	คือ อัตราการไหลของของไหล มีหน่วยเป็น $kg/s$
$C_p$	คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ มีหน่วยเป็น $kJ/(kg \cdot ^\circ C)$
$\Delta T$	คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหล มีหน่วยเป็น $^\circ C$

นอกจากนี้การพาความร้อนแต่ละแบบยังมีตัวแปรที่สำคัญในแต่ละสมการอีก ด้วยเหตุนี้จึงมีการกำหนดช่วงในการใช้สมการในแต่ละแบบ ซึ่งตัวแปรที่นำไปใช้เลือกช่วงก็คือ ตัวเลขเรย์เลย์ ตัวเลขคิงส์ตันนี้จะบอกได้ว่าเป็นการถ่ายเทความร้อนอยู่ในช่วงการไหลแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วน และกำหนดการใช้สมการการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนตามธรรมชาติให้ถูกต้องเหมาะสม

ตัวเลขกราชอฟแสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนระหว่างแรงลอยตัวกับแรงหนืดที่กระทำบนของเหลว ในบางครั้ง ตัวแปรไร้มิติที่สัมพันธ์กัน เราเรียกว่า ตัวเลขเรย์เลย์ สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Ra = Gr Pr = \frac{g\beta L^3 (T_w - T_\infty)}{\nu^2} Pr = \frac{g\beta L^3 (T_w - T_\infty)}{\nu \alpha} \quad (2.9)$$

การพาความร้อนแบบธรรมชาติสำหรับหม้อไอน้ำเตี้ย สามารถวิเคราะห์การพิจารณาการให้ความร้อนด้านล่างและการส่งผ่านความร้อนด้านข้าง ดังนี้

2.2.1 การวิเคราะห์ปัญหาการพาความร้อนตามธรรมชาติบนผนังราบซึ่งอยู่ในแนวตั้งแบบอูณหภูมิพื้นผิวผนังสม่ำเสมอ

การวิเคราะห์ในเรื่องการพาความร้อนตามธรรมชาติสำหรับหม้อไอน้ำเตี้ย เราสามารถพิจารณาได้เป็นสภาวะแบบอูณหภูมิพื้นผิวผนังสม่ำเสมอ เขียนความสัมพันธ์ของตัวเลขนัสเซลท์โดยเฉลี่ยในรูปของสมการ

$$Nu_m = c(Gr_L \cdot Pr)^n = cRa_L^n \quad (2.10)$$

โดยที่  $L$  คือความสูงของผนัง และค่า  $Gr_L$  และ  $Nu_m$  หาได้จากสมการ

$$Nu_m = \frac{h_m L}{k} \quad Gr_L = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad (2.11)$$

ส่วนค่าสัมประสิทธิ์  $c$  และสัญลักษ์ณ์  $n$  หาได้จากตาราง 2.1 และเนื่องจากอูณหภูมิของของไหลในบวาคาร์เรียเลอร์ไม่คงที่ คุณสมบัติของของไหลจึงควรจะหาจากอูณหภูมิเฉลี่ยของของไหลในบวาคาร์เรียเลอร์ ซึ่งหาได้ดังนี้

$$T_f = \frac{1}{2}(T_w + T_\infty) \quad (2.12)$$

โดยที่  $T_f$  เรียกว่า อูณหภูมิฟิล์ม (film temperature)

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่  $c$  และสัญลักษ์ณ์  $n$

Type of flow	Range of $Gr_L Pr$	$c$	$n$
Laminar	$10^4$ to $10^9$	0.59	$\frac{1}{4}$
Turbulent	$10^9$ to $10^{13}$	0.10	$\frac{1}{3}$

(ที่มา : Heat Transfer , A Basic Approach , M.Necati OZISIK)

### 2.2.2 การพาความร้อนตามธรรมชาติบนผนังรูปทรงกระบอกในแนวตั้ง

ตัวเลขนัสเซิลต์โดยเฉลี่ยสำหรับการพาความร้อนตามธรรมชาติบนผนังรูปทรงกระบอกในแนวตั้งคล้ายคลึงกับผนังราบซึ่งอยู่ในแนวตั้ง ถ้าความหนาของบาวคาร์เลเยอร์ของอุณหภูมิเล็กกว่ารัศมีของทรงกระบอกนั้นมาก กล่าวคือ ถ้าอิทธิพลความโค้งมีค่าเล็กน้อย เพราะฉะนั้น ตัวเลขนัสเซิลต์โดยเฉลี่ยจะหาได้จากสมการความสัมพันธ์ของผนังราบซึ่งอยู่ในแนวตั้ง โดยที่สัมประสิทธิ์  $c$  และ  $n$  หาได้จากตาราง 2.1 สำหรับกรณีนี้ ระยะ  $L$  ในคำจำกัดความของตัวเลขกราชอฟและตัวเลขเรย์เลย์แทนได้ด้วยความสูงของทรงกระบอก

สำหรับของไหลที่มีตัวเลขแพรนเดิลเท่ากับ 0.7 หรือมากกว่านั้น ผนังรูปทรงกระบอกในแนวตั้งก็สามารถพิจารณาคล้ายกับผนังราบในแนวตั้ง เมื่อ

$$\frac{d}{L} \geq \frac{35}{Gr_L^{1/4}} \quad (2.13)$$

โดยที่  $d$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอก

### 2.2.3 การวิเคราะห์ปัญหาการพาความร้อนตามธรรมชาติบนผนังราบซึ่งอยู่ในแนวนอนแบบอุณหภูมิพื้นผิวผนังสม่ำเสมอ

ตัวเลขนัสเซิลต์โดยเฉลี่ยสำหรับการพาความร้อนตามธรรมชาติบนผนังราบซึ่งอยู่ในแนวนอน ไม่ว่าจะเป็นผนังราบแบบคว่ำหรือหงาย (facing up or down) หรือพื้นผิวผนังมีอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าของไหลโดยรอบ เราสามารถพิจารณาห่อถ้วยเดียวได้ แบบอุณหภูมิพื้นผิวผนังสม่ำเสมอ

ตัวเลขนัสเซิลต์โดยเฉลี่ยสำหรับการพาความร้อนตามธรรมชาติบนผนังราบซึ่งอยู่ในแนวนอน เขียนความสัมพันธ์ในรูปสมการได้ดังนี้

$$Nu_m = c(GrPr)^n \quad (2.14)$$

โดยที่  $Gr_L$  และ  $Nu_m$  หาได้จากสมการที่ (2.12) ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์  $c$  และสัญลัษณ์  $n$  สามารถหาได้จากตาราง 2.2 ความยาวบังคับลักษณะ  $L$  สำหรับแผ่นผนังนั้น ถ้าเป็นแผ่นรูปเหลี่ยม ให้ค่า  $L$  คือระยะด้านของผนังนั้น สำหรับแผ่นผนังที่เป็นวงกลม ให้ใช้ค่า  $0.9D$  แทนค่า  $L$  เมื่อ  $D$  คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นผนังนั้น ได้แนะนำว่า สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน ค่า  $Nu_m$  ขึ้นอยู่

กับความยาวบ่งลักษณะ  $L$  และสำหรับกรณีผนังราบที่อุณหภูมิของผนังด้านบนมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของของไหล (hot surface facing down) หรือ ผนังราบด้านล่างมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของของไหล (cold surface facing up) การไหลแบบปั่นป่วนจะไม่ก่อตัวขึ้นเมื่อค่ายังไม่ถึง  $Gr_L Pr \cong 3 \times 10^{10}$

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่  $c$  และสัญลัษณ์  $n$  สำหรับการพาความร้อนตามธรรมชาติบนผนังราบ แนวนอนแบบอุณหภูมิพื้นผิวผนังสม่ำเสมอ

Orientation of plate	Range of $Gr_L Pr$	$c$	$n$	Flow regime
Hot surface facing up or cold surface facing down	$10^5$ to $2 \times 10^7$	0.54	$\frac{1}{4}$	Laminar
	$2 \times 10^7$ to $3 \times 10^{10}$	0.14	$\frac{1}{3}$	Turbulent
Hot surface facing down or cold surface facing up	$3 \times 10^{10}$ to $3 \times 10^{10}$	0.27	$\frac{1}{4}$	Laminar
			$\frac{1}{4}$	

(ที่มา : Heat Transfer , A Basic Approach , M.Necati OZISIK)

## 2.3 การสันดาป

การสันดาป คือ ปฏิกิริยาเคมีชนิดหนึ่ง ซึ่งปล่อยพลังงานความร้อนออกมาพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ปฏิกิริยานี้เป็นการรวมตัวระหว่างออกซิเจนกับธาตุหลักที่สำคัญอีกสามชนิด ที่พบในสารเชื้อเพลิงโดยทั่วไป ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน ซึ่งออกซิเจนจะเข้าร่วมตัวแล้วเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์

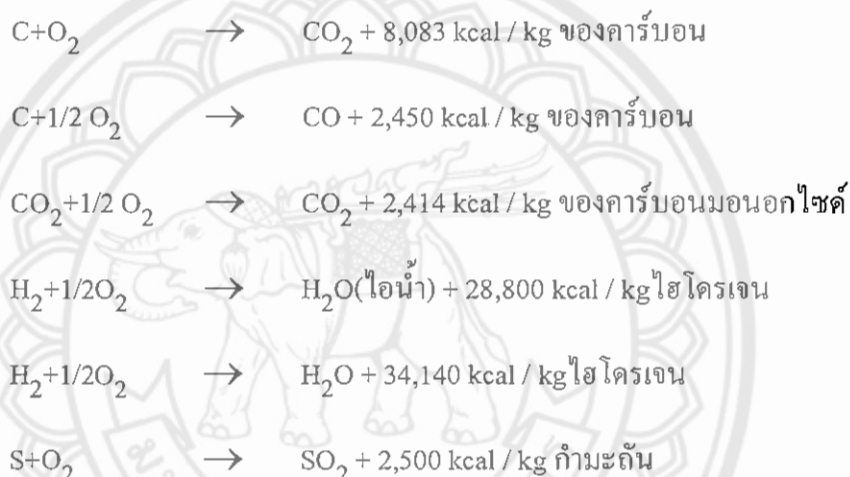
### 2.3.1 ปฏิกิริยาการสันดาป

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนจะใช้เวลาช้าที่สุดและเกิดยากกว่าของไฮโดรเจนและกำมะถัน จุดติดไฟ คือ  $407^{\circ}C$  โดยปกติในการสันดาปโดยทั่วไปมักจะสมมติว่าไฮโดรเจนและกำมะถันจะเผาไหม้หมดก่อนคาร์บอน ซึ่งจะค่อยๆทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ในขั้นแรกจะเกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์จากนั้นจึงรวมตัวกับออกซิเจนต่อไปอีกกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ฉะนั้นในการสันดาปของเชื้อเพลิงแข็งถ้าปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ ท้ายที่สุดจะสมมติว่าองค์ประกอบที่เหลืออยู่คือ คาร์บอนที่ไม่ถูกเผาไปอย่างเดียว

ถ้าสำหรับเชื้อเพลิงของเหลวและก๊าซมักจะมียอดประกอบเป็นสารชนิดต่างๆ ตัวอย่างเช่นสารไฮโดรคาร์บอนซึ่งอยู่ในรูปของเหลวและก๊าซเช่นกัน ฉะนั้นจะสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ด้วยความเร็วมากกว่าคาร์บอนซึ่งมีค่าเป็นของแข็งมาก

เชื้อเพลิงแข็งนั้น มียอดประกอบส่วนใหญ่คือคาร์บอนคงที่ ฉะนั้นเมื่อเผาไหม้สารระเหยง่ายและกำมะถันจะทำปฏิกิริยาไปจนหมดก่อน เหลือให้คาร์บอนเผาไหม้ไปเรื่อยๆ จะถึงจุดสมบูรณ์หรือไม่ขึ้นกับปริมาณอากาศและเวลาทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปพบว่ามีส่วนของคาร์บอนหลงเหลืออยู่กับเถ้าด้วยเสมอ

ตัวอย่างปฏิกิริยาการสันดาปและพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกมาของสารที่อยู่ในเชื้อเพลิงต่างๆ ไปมีดังต่อไปนี้



### 2.3.2 ปริมาณอากาศสำหรับการสันดาป

การสันดาปอย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิง จะเกิดขึ้นได้เมื่อมีปริมาณของออกซิเจนหรืออากาศเพียงพอที่จะทำให้สารในเชื้อเพลิงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้จนหมดสิ้นพอดี ปริมาณอากาศดังกล่าวเรียกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี อัตราส่วนระหว่างมวลของอากาศทางทฤษฎีกับมวลเชื้อเพลิง เรียกว่า Stoichiometric Ratio

ในการสันดาปเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ของการใช้งาน จะไม่ใช้ออกซิเจนล้วนๆ เพราะสิ้นเปลือง จะใช้อากาศซึ่งหาได้ง่ายในราคาที่ถูกลงมาใช้สันดาปเชื้อเพลิง ในบรรยากาศของพื้นผิวโลกอากาศจะประกอบด้วยสารหลายชนิด แต่ที่เป็นตัวประกอบที่สำคัญได้แก่ ออกซิเจนกับไนโตรเจน ถ้าตัดสารประกอบอื่นๆ ที่มีปริมาณน้อยออกไป อากาศจะประกอบด้วยดังนี้

โดยมวลอากาศประกอบด้วย	ออกซิเจน 23%    ไนโตรเจน 77%
โดยปริมาตรอากาศประกอบด้วย	ออกซิเจน 21%    ไนโตรเจน 79%



ตัวอย่างแสดงการหาอากาศในการสันดาปมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ให้สมบูรณ์

$\text{CH}_4$	+	$2(\text{O}_2+79/21\text{N}_2)$	$\rightarrow$	$\text{CO}_2$	+	$2\text{H}_2\text{O}$	+	$2(79/21)\text{N}_2$
1 โมล		2 โมล		1 โมล		2 โมล		7.52 โมล
16kg		$2(32+105.3)\text{kg}$		44kg		36kg		210.6kg
16kg		274.6kg		44kg		36kg		210.6kg

จากสมการดังกล่าว จะสามารถคำนวณได้ว่าถ้าต้องการสันดาปให้มีเทนมวล 16 กิโลกรัม ต้องใช้มวลอากาศ 274.6 กิโลกรัม หรือมีเทนมวล 1 กิโลกรัม ต้องใช้อากาศประมาณ 17.2 กิโลกรัม จึงจะทำให้เกิดการสันดาปมีเทนได้อย่างสมบูรณ์

การคำนวณหาปริมาณอากาศ สำหรับการสันดาปเชื้อเพลิงให้สมบูรณ์ นอกจากการใช้การสมดุลย์สมการดังกล่าวแล้ว ยังสามารถใช้สูตรในการคำนวณหาปริมาณอากาศที่ใช้สันดาปเชื้อเพลิงให้สมบูรณ์ได้ ดังนี้

$$\frac{\text{มวลของอากาศ} = 11.466 (\text{C}) + 34.224 (\text{H}_2) + 4.302 (\text{S}) - 4.310 (\text{O}_2)}{\text{มวลของเชื้อเพลิง}} \quad (2.15)$$

$\text{C}, \text{H}_2, \text{S}, \text{O}_2$  = สัดส่วนโดยมวลขององค์ประกอบในมวลของเชื้อเพลิง

## 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของก๊าซ LPG

2.4.1 คุณสมบัติของก๊าซ LPG ที่สำคัญและเกี่ยวข้องถึงความปลอดภัยต่อการนำไปใช้งานมีดังนี้

2.4.1.1 สี ก๊าซ LPG จะไม่มีสี

2.4.1.2 ความเป็นพิษ ก๊าซชนิดนี้จะไม่เป็นพิษ เมื่อนำไปเผาไหม้สมบูรณ์จะไม่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์หรือก๊าซพิษ

2.4.1.3 กลิ่น เป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่น

2.4.1.4 น้ำหนัก เป็นก๊าซที่เบากว่าน้ำและหนักกว่าอากาศ

2.4.1.5 จุดเดือด สำหรับ LPG ชนิดโพรเพน ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) มีจุดเดือดประมาณ  $-42.07^\circ\text{C}$

ตารางที่ 2.4 Typical values of the convection heat transfer coefficient  $h$

Type of flow	$h, W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
<i>Free convection, <math>\Delta T = 25^\circ C</math></i>	
• 0.25-m vertical plate in:	
Atmospheric air	5
Engine oil	37
Water	440
• 0.02-m-OD* horizontal cylinder in:	
Atmospheric air	8
Engine oil	62
Water	741
* 0.02-m-diameter sphere in:	
Atmospheric air	9
Engine oil	60
Water	606
<i>Forced convection</i>	
• Atmospheric air at $25^\circ C$ with $U_\infty = 10$ m/s over a flat plate:	
$L = 0.1$ m	39
$L = 0.5$ m	17
• Flow at 5 m/s across 1-cm-OD cylinder of:	
Atmospheric air	85
Engine oil	1,800
• Water at 1 kg/s inside 2.5-cm-ID† tube	10,500
<i>Boiling of water at 1 atm</i>	
• Pool boiling in a container	3,000
• Pool boiling at peak heat flux	35,000
• Film boiling	300
<i>Condensation of steam at 1 atm</i>	
• Film condensation on horizontal tubes	9,000–25,000
• Film condensation on vertical surfaces	4,000–11,000
• Dropwise condensation	60,000–120,000

\* OD = outer diameter.

† ID = inner diameter.

(ที่มา : Heat Transfer , A Basic Approach , M.Necati OZISIK)

## 2.6 ประสิทธิภาพเตาสำหรับหุงต้ม

### 2.6.1 Partial Efficiency

เมื่อใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้ม จะเผาไหม้แล้วให้ความร้อนมา ซึ่งจะมีบางส่วนที่ส่งผ่านมายังหม้อ และอาหารที่อยู่ในหม้อก็จะได้รับความร้อนที่ผ่านหม้อมาเพียงบางส่วน ที่เหลือก็จะ เป็นความร้อนที่สูญเสีย

ตามปกติแล้วเชื้อเพลิงชีวเคมี (biomass) จะกักเก็บพลังงานไว้ในตัวมัน ซึ่งจะปลดปล่อยพลังงานออกมาเมื่อเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ แต่ในความเป็นจริงแล้ว มันไม่เกิดการเผาไหม้ที่

สมบูรณ์ ซึ่งเป็นผลให้ความร้อนที่ได้น้อยกว่าพลังงานที่มันกักเก็บไว้ เราเรียกอัตราส่วนทั้งสองของปริมาณความร้อนนี้ว่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (combustion efficiency) ;  $\eta_{\text{comb}}$

$$\eta_{\text{comb}} = \frac{\text{ความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้ต่อหนึ่งหน่วยเวลา}}{\text{พลังงานภายในของเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยเวลา}} \quad (2.16)$$

### 2.6.2 Overall Efficiency

partial efficiency นั้นมีประโยชน์มากในการใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพหม้อ ซึ่งใช้บอกว่าระบบส่วนใดที่มีประสิทธิภาพไม่ดีและต้องทำการปรับปรุงอย่างไรก็ดี การเรียนรู้ระบบทีละส่วนตามสมการข้างต้นเป็นขั้นตอนที่ยุ่ยาก อีกทั้งยังปฏิบัติไม่ได้เมื่อเป็นการทำอาหารในสถานที่จริง เพราะการทดสอบ partial efficiency นั้นต้องทำในสภาวะห้องทดลอง ดังนั้นเราจะใช้ overall efficiency

overall efficiency หาได้จากอัตราส่วนระหว่างความร้อนสุทธิที่หม้อได้รับกับพลังงานภายในของเชื้อเพลิง ;  $\eta_{o,p}$

$$\eta_{o,p} = \frac{\text{ความร้อนสุทธิที่หม้อได้รับต่อหนึ่งหน่วยเวลา}}{\text{พลังงานภายในของเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยเวลา}}$$

$$\eta_{o,p} = \frac{\text{อัตราความร้อนที่ถ่ายเทผ่านปริมาตรควบคุมซึ่งทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอ}}{\text{พลังงานภายในของเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยเวลา}}$$

$$= \frac{Q_{\text{in}} - Q_{\text{loss}}}{m_f \text{LHV}_{\text{C}_3\text{H}_8}} = \frac{\Delta m \cdot (h_g - h_f)}{m_f \text{LHV}_{\text{C}_3\text{H}_8}} \quad (2.17)$$

โดยที่  $m_f$  คือ มวลเชื้อเพลิงที่ใช้

LHV คือ ค่าความร้อนต่ำของชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้

$\Delta m$  คือ ผลต่างของมวลน้ำที่สภาวะเริ่มต้นและมวลน้ำที่สภาวะสุดท้าย

$h_f, h_g$  คือ เอนทาลปีของน้ำที่อุณหภูมิ  $100^\circ\text{C}$

### 2.6.3 ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้

เราสามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้ จากสมการ

$$Q = \eta_{\text{comb}} \cdot m_f \cdot \text{LHV} \quad (2.18)$$