ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการคำนวณ

ก.1 การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η)

การหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส UD รุ่น UD-275 (รุ่นประหยัดพลังงานประสิทธิภาพสูง) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2312-2549 ซึ่งใช้หลักการ Boiling test สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (ก.1)

$$\eta\ ,(\%) = \left\{ \frac{(m_{water} \times C \times (t_2 - t_1)}{V \times Q} \times \frac{273 + t_g}{298} \times \frac{101.3}{B + P_m - S} \right\} \times 100 \qquad \text{(ก.1)}$$

เมื่อ

m_{water}	คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ	= 8.3 (kg)
C	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำที่ใช้ทดสอบ	= 4.186x10^{-3}(MJ/kg•K)
t_1	คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ	= 26(^{o}C)
t_2	คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ	= 90 (^{o}C)
V	คือ ปริมาณของแก๊สที่ใช้ทดสอบ	= 0.5 (lit/m^3)
Q	คือ LHVแก๊ส LPG ที่ความดัน 101.3 kPa	= 107.700(kJ/m^3)
t_g	คือ อุณหภูมิของแก๊สขณะทดสอบ	= 29(^{o}C)
B	คือ ความดันบรรยากาศขณะทดสอบ	= 101.46(kPa)
P_m	คือ ความดันของแก๊สทดสอบ	= 0.391 (kPa)
S	คือ ความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่t_g^{o}C	= 4.0034(kPa)

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η)

การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η)ของเตาแก๊ส UD รุ่น UD-725 (รุ่นประหยัดประสิทธิภาพสูง) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2312-2549 ซึ่งใช้หลักการ Boiling test ในกรณี Firing rate เท่ากับ 0.5 lit/min ครั้งที่ 1 โดยใช้เตาแก๊สที่ออกแบบหม้อขนาด 32 cm

แทนค่าลงในสมการ (ก.1)

$$\eta, (\%) = \left\{ \frac{(8.3) \times (4.186) \times (90 - 26)}{107700 \times 3373 \times (\frac{0.5}{1000} \div 60)} \times \frac{273 + 29}{298} \times \frac{101.3}{101.46 + 0.391 - 4.0034} \right\} \times 100$$

ดังนั้นจะได้

$$\eta = 77.06\%$$

ก.2 การคำนวณหาค่าการประหยัดพลังงาน (%Energy saving)

การประหยัดพลังงานของเตาแก๊สหุงต้มสามารถหาได้จากสมการที่ (ก.2) คือ

$$\%\,\text{Energy saving} = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2} x100 \qquad \text{(ก.2)}$$

เมื่อ

η_1 คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สแบบมาตรฐาน

η_2 คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของที่ออกแบบโดยใช้วัสดุพรุนขนาด 16 mesh

ตัวอย่างการคำนวณการประหยัดพลังงาน (%Energy saving)

ในกรณี Firing rate เท่ากับ 0.89 kW ครั้งที่ 1 โดยใช้เตาแก๊สแบบมาตรฐาน (Convention burner) หม้อขนาด 32 cm ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 72.72% และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สที่ออกแบบโดยใช้วัสดุพรุนขนาด 16 mesh หม้อขนาด 32 cm มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 77.06%

แทนค่าลงในสมการ

$$\%\ \text{Energy saving} = \frac{77.06 - 72.72}{77.06} x100$$

ดังนั้นจะได้

$$= 5.63\%$$

ก.3 การคำนวณปรับค่าเทียบกับออกซิเจนส่วนเกิน 0% ในพื้นที่ฐานแห้ง (Correction by 0%excess oxygen on dry basic)

เนื่องจากปริมาณมลพิษที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดบางครั้งจะถูกเจือจางด้วยอากาศ เช่น อากาศส่วนเกินจากการเผาไหม้หรืออากาศภายนอก เป็นต้น ทำให้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ขณะเดียวกันถ้ามีการเจือจางด้วยอากาศในปริมาณที่น้อยก็จะมีค่าสูงขึ้นทำให้ไม่สามารถบอกปริมาณที่แน่นอนของมลพิษได้ ทำให้ยากต่อการเปรียบเทียบสมรรถนะการเผาไหม้เพราะคลุมเครือไม่ชัดเจน ดังนั้น จึงต้องมีวิธีการบอกปริมาณมลพิษที่แน่นอนและต้องไม่ขึ้นกับอากาศส่วนเกินแต่อย่างใด ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Exhaust analyzer) ยี่ห้อ Testo รุ่น M350 นำเสนอ

ค่าที่วัดได้โดยปรับค่าเทียบกับออกซิเจนส่วนเกิน 0% ในพื้นฐานแห้ง (Correction by excess oxygen on dry basis)

สูตรโมเลกุลของเชื้อเพลิง คือ C_xH_y

$$N_{mix,dry} = 4.76\left\{\frac{x-(1-X_{o_2,dry})\,y/4}{1-4.76X_{o_2,dry}}\right\}-\frac{y}{4} \qquad \text{(ก.3)}$$

สูตรโมเลกุลเฉลี่ยแอลพีจี คือ $C_{3.5}H_9$

ตัวอย่างการคำนวณปรับค่าเทียบกับออกซิเจนส่วนเกิน 0% ในพื้นที่ฐานแห้ง

ในกรณีFiring rate เท่ากับ 3.59 kW หม้อขนาด 32 cm ของเตาแก๊สแบบมาตรฐาน (Convention burner) แก้ไขความเข้มข้นของ CO เท่ากับ 13 ppm (หลักอ้างอิงแห้ง) ที่ 19.81% O_2 ให้มาอยู่ที่ CO @ 0% O_2 ดังนั้น ที่ 19.81 % O_2 ได้

$$N_{mix,dry} = 4.76\left\{\frac{3.5-(1-0.1981)\,9/4}{1-4.76(0.1981)}\right\}-\frac{9}{4}$$

$$= 440.36$$

$$N_{mix,dry}\,0\% = 4.76\left\{\frac{3.5-(1-0)\,9/4}{1-4.76(0)}\right\}-\frac{9}{4}$$

$$= 25.12$$

เนื่องจากปริมาณที่แท้จริงของ CO คงที่เสมอไม่ว่าวัด O_2 ส่วนเกินที่ระดับกี่ % ก็ตามได้

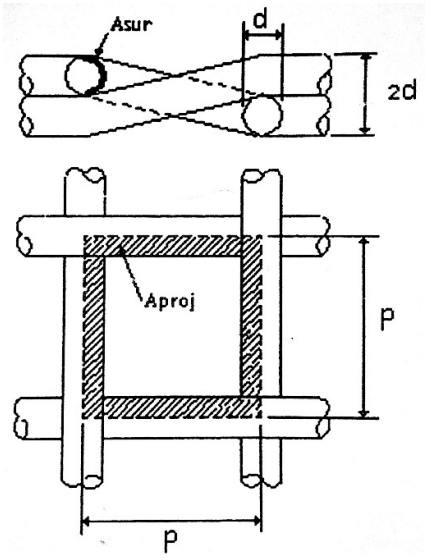
$$X_{co}\,0\%O_2 = 13\,ppm\left\{\frac{440.36}{25.12}\right\}$$

$$= 228 \text{ ppm}$$

ดังนั้นจะได้ปริมาณ CO เท่ากับ 228 ppm (corrected to 0% O_2)

ก.4 คุณสมบัติของตาข่ายสแตนเลส

1) การแปลงค่าความถี่ของตาข่ายสแตนเลสให้เป็นค่าความพรุน (Porosity) ตาข่ายสแตนเลสมีลักษณะการประสานและมีรูปร่าง ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 ลักษณะของตาข่ายสแตนเลส

เมื่อ

d = Diameter of Wire (m)

p = Pitch (M)

A_{proj} = Project Area per Unit Volume (m^2/m^3)

$$= \frac{P^2-(p-d)^2}{p\times p\times 2d}$$

$$= \frac{2p-d}{2p^2} \qquad \text{(ก.4)}$$

A_{sur} = Surface Area per Unit Volume(m^2/m^3)

$$= \frac{2\pi dp}{p\times p\times 2d}$$

$$= \frac{\pi}{d} \qquad \text{(ก.5)}$$

$$f_v = \frac{\pi\frac{d^2}{2}\times p\times 2}{p\times p\times 2d} \ (m^3/m^3)$$

$$= \frac{\pi d}{4p}$$

$$\text{Porosity} = 1 - f_v \qquad (ก.6)$$

ตารางที่ ก.1 ค่า Absorption Coefficient และ ค่า Optical Thickness ที่ Emissivity ต่างๆ

Mesh/inch	Diameter	Pitch (m)	A_{proj} (m^2/m^3)	A_{sur} (m^2/m^3)	f_v	Porosity
10	$0.6*10^{-3}$	$2.54*10^{-3}$	347.20	1236	0.186	0.815
12	$0.6*10^{-3}$	$2.12*10^{-3}$	405.48	1484	0.222	0.778
14	$0.6*10^{-3}$	$1.81*10^{-3}$	460.01	1731	0.259	0.740
16	$0.5*10^{-3}$	$1.59*10^{-3}$	530.59	1978	0.247	0.753
18	$0.45*10^{-3}$	1.41*10	595.70	2226	0.251	0.750

2) ตัวอย่างการคำนวณ (คิดที่ตาข่ายสแตนเลสขนาด 16 mesh/inch)

คิดเป็น ต่อความ 1 เมตร ได้ $= \frac{16\text{mesh}}{\text{in}} \times \frac{39.37}{\text{m}}$

$= 629.92$ (mesh/m)

$P = \frac{1}{629.92} = 1.588 \times 10^{-3}$ (m/mesh)

$A_{proj} = \frac{2p - d}{2p^2}$

$= \frac{2(1.588\times10^{-3}) - (0.5\times10^{-3})}{2(1.588\times10^{-3})^2}$

$= 530.585\ (m^2/m^3)$

$$A_{sur} = \frac{\pi}{p}$$

$$= \frac{\pi}{1.588 \times 10^{-3}} = 1978.33 \ (m^2/m^3)$$

$$f_v = \frac{\pi d}{4p}$$

$$= \frac{\pi \times (0.5 \times 10^{-3})}{4 \times (1.588 \times 10^{-3})}$$

$$= 0.2473 \ (m^3/m^3)$$

$$\text{Porosity} = 1 - f_v$$

$$= 1 - 0.2473$$

3) การคำนวณหาค่า Absorption Coefficient (K) และค่า Optical Thickness (τ)

กรณีที่กำหนดให้วัสดุพรุนมีเนื้อเป็นของแข็งทรงกลมเล็กๆ กระจายอยู่ในหนึ่งหน่วยปริมาตร จะใช้สูตรคำนวณคือ

$$K = \varepsilon n \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \qquad \text{(ก.7)}$$

K = Absorption Coefficient (m^{-1})

N = Number Density

D = Diameter

ε = Emissivity

ในกรณีอื่นๆ เช่น วัสดุพรุนเป็นตาข่ายสแตนเลส จะใช้สูตรคำนวณคือ

$$K = \varepsilon A_{proj} \qquad \text{(ก.8)}$$

$$\tau = k\ell \ (m^{-1})$$

$$= \varepsilon A_{proj}$$

τ = Optical Thickness

ℓ = ความหนาของมุ้งลวด

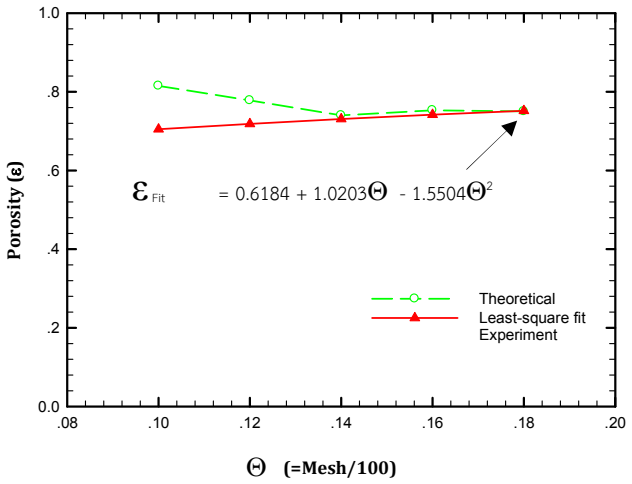
ในการทดลองอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้ใช้ตาข่ายสแตนเลสขนาด 14, 16, 18 mpi หนา 1 mm แทนค่าต่างๆ คำนวณหาค่า Optical Thickness ได้ (กรณี 16 mpi)

$$\tau = \varepsilon \times 530.585 \times 0.001$$
$$= 0.53\varepsilon$$

ตารางที่ ก.2 ค่าความพรุน (Porosity) ของตาข่ายสแตนเลส

ε	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
K	312.47	416.63	520.79	624.94	729.10	833.26	937.41	1041.57
τ	3.12	4.16	5.20	6.25	7.29	8.33	9.37	10.41

4) อิทธิพลของเมชต่อความพรุน [8]



รูปที่ ก.2 การเปรียบเทียบค่าความพรุนที่ได้จากวิธีต่างๆ [8]

รูปที่ ก.2 แสดงผลการเปรียบเทียบการหาค่าความพรุน (τ) ของวัสดุพรุนชนิดตาข่ายสแตนเลส โดยกราฟส้นประพร้อมสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมจะเป็นค่าความพรุนที่ได้จากสมการ ก.6 ส่วนกราฟเส้นทึบเป็นการหาความพรุนจากสมการอย่างง่าย (สมการที่ ก.10) ซึ่งสร้างมาจากแนวโน้มของการทดลองและสัญลักษณ์วงกลมทึบเป็นความพนรุนที่ได้จากการทดลอง โดยหาจากอัตราส่วนระหว่างผลต่างปริมาตรรูปทรงภายนอกทั้งหมดของวัสดุพรุน (V_T) กับปริมาตรน้ำล้นหรือแทนถูกแทนที่ด้วยเนื้อวัสดุ

(V_P) ต่อปริมาตรปริมาตรรูปทรงภายนอกทั้งหมด ซึ่งอธิบายเพิ่มเติมไว้ในสมการ ก.9 จากการเปรียบเทียบพบว่าค่าความพรุนสามารถคำนวณได้อย่างสะดวก เพียงแค่ทราบจำนวนเมสของตาข่าย

$$\varepsilon_{Exp} = \frac{V_T - V_P}{V_T} \qquad \text{(ก.9)}$$

$$\varepsilon_{Fit} = 0.6184 + 1.0203\Theta - 1.5504\Theta^2 \qquad \text{(ก.10)}$$