

รายการอ้างอิง

1. สถาบันวิจัยพลังงาน และ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. การศึกษาทดลองมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงด้วยระบบเผาไหม้สมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร: 2538.
2. สุวรรณ แสงเพชร. การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเหง้ามันสำปะหลัง. ใน การบรรยายพิเศษของ IEEE Thailand Section ร่วมกับศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง. 22 ธันวาคม 2541 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
3. สุวรรณ แสงเพชร. พลังงานจากชีวมวลมันสำปะหลัง. ใน การสัมมนาวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า. 24 พฤศจิกายน 2542 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
4. สุวรรณ แสงเพชร. การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเหง้ามันสำปะหลัง. ใน สารนํ้ารู้เกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้า. หน้า 27-48. กรุงเทพมหานคร: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542. (โครงการเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เนื่องในโอกาสพระราชพิธีมหามงคลเฉลิมพระชนมพรรษา 6 รอบ 5 ธันวาคม 2542).
5. วีระยุทธ ทองส่งแสง. การศึกษาและออกแบบเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
6. นรินทร์ ทองศิริ. เทคโนโลยีอาหารนม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: นำอักษรการพิมพ์, 2528.
7. วิชัย หฤทัยชนาสนันต์. หลักการถนอมและแปรรูปผักและผลไม้เบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2518.
8. เศรษฐการ เศรษฐการุณย์. การออกแบบ สร้างและทดสอบหัวเผาที่ใช้แก๊สมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
9. โยชิโกะ ทาคามูระ. เทคนิคการประหยัดพลังงานภาคความร้อน. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2523.
10. มนต์รี พิรุณเกษตร. เทอร์โมความร้อนประยุกต์. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2539.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

11. Yunus A. Cengel, and Michael A. Boles. Thermodynamics: An Engineering Approach. 2nd ed. New Jersey: McGraw-Hill, 1994.
12. วีระศักดิ์ ตักดีศิริรัตน์. การผลิตเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โครงการผลิตสื่อดี พิมพ์ทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยความช่วยเหลือจาก สถานทูตแคนาดาประจำประเทศไทย, 2529.
13. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการควบคุมหม้อไอน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 4 . กรุงเทพมหานคร: 2538.
14. สุชัย ศติวิมลพันธุ์. เทคโนโลยีไอน้ำ. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2523.
15. Carl D. Shields. Boiler Types, Characteristic and Functions. New York: McGraw-Hill, 1961.
16. Sadik Kakac. Boilers, Evaporators and Condensers. New York: John Wiley & Sons, 1991.
17. Terrell Croft. Steam Boilers. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1937.
18. Frank P. Incropera, and David P. De Witt. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1990.
19. Holman J. P. Heat Transfer. 7th ed: McGraw-Hill, 1992.
20. Mechanical Engineering Handbook. 6th ed: McGraw-Hill, 1992.
21. ASME. Flow Measurement Instruments and Apparatus. USA: Power Test Codes Committee, 1995.
22. Merle C. Potter, and David C. Wiggert. Mechanics of Fluids. New Jersey: Prentice-Hall, 1991.
23. Edgar Macnaughton. Elementary Steam Power Engineering. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1948.
24. Ferdinand P. Beer, and E. Russell Johnston, JR. Mechanics of Materials. 2nd ed. McGraw-Hill, 1992.
25. สุวรรณ แสงเพชร. พลังงานไฟฟ้า พลังงานกล และไบโอเมธานอลจากมันสำปะหลัง. วารสารพลังงาน สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีที่ 3 (2539): 1-39.
26. สุวิทย์ บุญยวานิชกุล. เชื้อเพลิงจากมันสำปะหลัง. วารสารพลังงาน สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีที่ 3 (2539): 40-50.

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณเกี่ยวกับหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

ตัวอย่างการคำนวณ

ในส่วนนี้แสดงการคำนวณโดยเอาข้อมูลการทดลองที่ 120%EA มาเป็นตัวอย่างการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 50 ถึงวันที่ 155 ซึ่งโดยที่สุดแล้วจะไปคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ แต่จะแสดงการคำนวณในหัวข้อต่างๆ เช่น ปริมาณอากาศที่ต้องใช้ ปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้น ความร้อนที่สูญเสียไปในทางต่างๆ และอัตราการผลิตไอน้ำ เป็นต้น

ข้อมูลเฉลี่ยของผลการทดลองที่ 120%EA เป็นดังนี้

อุณหภูมิของแก๊สร้อน; $T_{g1} = 469.5^{\circ}\text{C}$, $T_{g2} = 306.6^{\circ}\text{C}$, $T_{g3} = 187.1^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิผนังหม้อไอน้ำ ด้านหน้า; $T_{s1} = 326.8^{\circ}\text{C}$, $T_{s2} = 229.5^{\circ}\text{C}$

ด้านหลัง; $T_{s3} = 402.6^{\circ}\text{C}$, $T_{s4} = 387.7^{\circ}\text{C}$

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สไอเสีย; $\text{O}_2 = 16.4\%$, $\text{CO}_2 = 4.5\%$, $\text{CO} = 3075 \text{ ppm}$,

$\text{NO} = 104 \text{ ppm}$, $\text{SO}_2 = 7 \text{ ppm}$, pressure gage = 0.93 kg/cm^2

อัตราการผลิตไอน้ำ เท่ากับ 55 kg/hr อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 20 kg/hr

ปริมาณอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้

$$\begin{aligned} A_o &= \frac{1}{0.232} \left[\frac{1}{12} \times 32 \times c + \frac{1}{2} \times \frac{32}{2} \times \left(h - \frac{o}{8} \right) + \frac{1}{32} \times s \right] \\ &= \frac{1}{0.232} \left[\frac{1}{12} \times 32 \times 0.422 + \frac{1}{2} \times \frac{32}{2} \times \left(0.069 - \frac{0.439}{8} \right) + \frac{1}{32} \times 0.0014 \right] \\ &= 5.344 \text{ kg}_{\text{air}} / \text{kg}_{\text{fuel}} \end{aligned}$$

หรือ

$$\begin{aligned} A_o &= \frac{1}{0.21} \left[\frac{1}{12} \times 22.4 \times c + \frac{1}{2} \times \frac{22.4}{2} \times \left(h - \frac{o}{8} \right) + \frac{1}{32} \times 22.4 \times s \right] \\ &= \frac{1}{0.21} \left[\frac{1}{12} \times 22.4 \times 0.422 + \frac{1}{2} \times \frac{22.4}{2} \times \left(0.069 - \frac{0.439}{8} \right) + \frac{1}{32} \times 22.4 \times 0.0014 \right] \\ &= 4.132 \text{ m}_{\text{air}}^3 / \text{kg}_{\text{fuel}} \end{aligned}$$

ในการเผาไหม้จริงนั้นต้องใช้ปริมาณอากาศที่มากกว่าอากาศทางทฤษฎี หากใช้ปริมาณอากาศที่ 120%EA ดังนั้นปริมาณอากาศที่ต้องใช้จริงหาได้ดังนี้

$$\%EA = (m-1) \times 100\%$$

ดังนั้น

$$120\% = (m-1) \times 100\%$$

$$1.2 = m-1$$

$$m = 2.2$$

จะได้

$$\begin{aligned} A &= mA_0 \\ &= 2.2 \times 5.344 = 11.7568 \text{ kg}_{\text{air}} / \text{kg}_{\text{fuel}} \\ &= 2.2 \times 4.132 = 9.0904 \text{ m}^3_{\text{air}} / \text{kg}_{\text{fuel}} \end{aligned}$$

ปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้

ปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดจากการใช้ปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} G_0 &= (1-0.232)A_0 + \frac{44}{12} \times c + \frac{18}{2} \times h + \frac{64}{32} \times s + w + n \\ &= (1-0.232) \times 5.344 + \frac{44}{12} \times 0.422 + \frac{18}{2} \times 0.069 + \frac{64}{32} \times 0.0014 + 0.091 + 0.01 \\ &= 6.376 \text{ kg} / \text{kg}_{\text{fuel}} \end{aligned}$$

หรือ

$$\begin{aligned} G_0 &= (1-0.21)A_0 + \frac{22.4}{12} \times c + \frac{22.4}{2} \times h + \frac{22.4}{32} \times s + \frac{22.4}{18} \times w + \frac{22.4}{28} \times n \\ &= (1-0.21) \times 4.132 + \frac{22.4}{12} \times 0.422 + \frac{22.4}{2} \times 0.069 + \frac{22.4}{32} \times 0.0014 + \\ &= \frac{22.4}{18} \times 0.091 + \frac{22.4}{28} \times 0.01 \\ &= 4.947 \text{ m}^3 / \text{kg}_{\text{fuel}} \end{aligned}$$

สำหรับแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นจากปริมาณอากาศที่ใช้จริงที่ 120%EA หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 G &= 0.232 \times (m-1)A_0 + (1-0.232) \times mA_0 + \frac{44}{12} \times c + \frac{18}{2} \times h + \\
 &\quad \frac{64}{32} \times s + w + n \\
 &= 0.232 \times (2.2-1) \times 5.344 + (1-0.232) \times 2.2 \times 5.344 + \frac{44}{12} \times 0.422 + \\
 &= \frac{18}{2} \times 0.069 + \frac{64}{32} \times 0.0014 + 0.091 + 0.01 \\
 &= 12.789 \text{ kg/kg}_{\text{fuel}}
 \end{aligned}$$

หรือ

$$\begin{aligned}
 G &= 0.21 \times (m-1)A_0 + (1-0.21) \times mA_0 + \frac{22.4}{12} \times c + \frac{22.4}{2} \times h + \\
 &\quad \frac{22.4}{32} \times s + \frac{22.4}{18} \times w + \frac{22.4}{28} \times n \\
 &= 0.21 \times (2.2-1) \times 4.132 + (1-0.21) \times 2.2 \times 4.132 + \frac{22.4}{12} \times 0.422 + \\
 &= \frac{22.4}{2} \times 0.069 + \frac{22.4}{32} \times 0.0014 + \frac{22.4}{18} \times 0.091 + \frac{22.4}{28} \times 0.01 \\
 &= 9.905 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{fuel}}
 \end{aligned}$$

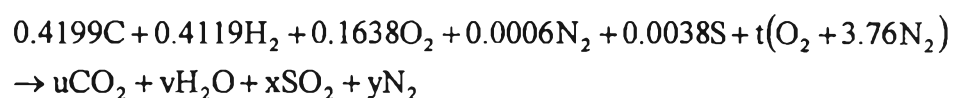
ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของแก๊สร้อน

เนื่องจากเหง้ามันสำปะหลังมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ C = 42.2%, H₂ = 6.9%, N₂ = 1%, S = 0.14% by weight ทำเป็น mole fraction

ตารางที่ ก.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเหง้ามันสำปะหลังและการคำนวณ mole fraction

	Mass fraction	mole	Mole fraction
C	0.422	$0.422/12 = 0.03517$	$0.03517/0.083753=0.4199$
H ₂	0.069	$0.069/2 = 0.0345$	$0.0345/0.083753 = 0.4119$
O ₂	0.439	$0.439/32 = 0.01372$	$0.01372/0.083753 = 0.1638$
N ₂	0.0014	$0.0014/28 = 0.00005$	$0.00005/0.083753 = 0.0006$
S	0.01	$0.01/32 = 0.000313$	$0.000313/0.083753 = 0.0038$
รวม		$= 0.083753$	$= 1.0000$

จากสมการการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ (0%EA)



เมื่อทำการดุลสมการจะได้ค่าต่างๆดังนี้

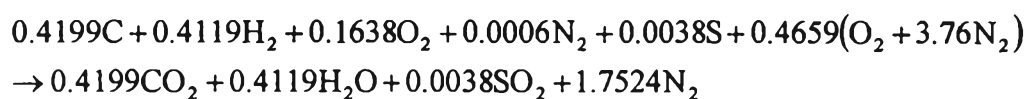
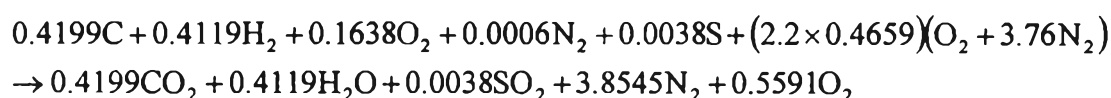
$$t = 0.4659$$

$$u = 0.4199$$

$$v = 0.4119$$

$$x = 0.0038$$

$$y = 1.7524$$

สมการการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์(0%EA)สมการการเผาไหม้ที่ 120%EA จะได้

โดยที่แก๊สไอเสียประกอบด้วย

$$0.4199CO_2 + 0.4119H_2O + 0.0038SO_2 + 3.8545N_2 + 0.5591O_2$$

เพราะฉะนั้นปริมาณน้ำที่มีอยู่ในแก๊สไอเสีย = $0.4119 / (0.4199 + 0.4119 + 0.0038 + 3.8545 + 0.5591)$

$$= 7.85\%$$

การวิเคราะห์แก๊สไอเสียเปียก by volume

จากการคำนวณหาปริมาณน้ำที่มีในแก๊สไอเสียของข้อมูลพบว่ามีค่าปริมาณน้ำเท่ากับ 7.85% ดังนั้นองค์ประกอบของแก๊สไอเสียเปียกคือ

$$100\% = \%CO_2 + \%O_2 + \%H_2O + \%NO + \%SO_2 + \%N_2 + \%CO_2$$

เนื่องจากเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย สามารถตรวจวิเคราะห์แก๊สไอเสียแห้ง (% by volume) ได้ดังนี้

NO _x	วัดไม่พบ		
O ₂	=	16.7%	
CO ₂	=	4.2%	
CO	=	3403 ppm	= 0.3403%
NO	=	95 ppm	= 0.0095%
SO ₂	=	7 ppm	= 0.0007%
N ₂	=	100 - O ₂ - CO ₂ - CO - NO - SO ₂	= 78.75%

เมื่อลบปริมาณน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ออก จะได้แก๊สไอเสียแห้ง

$$100\% - 7.85\% = \%CO_2 + \%O_2 + \%NO + \%SO_2 + \%N_2 + \%CO$$

$$92.15\% = \%CO_2 + \%O_2 + \%NO + \%SO_2 + \%N_2 + \%CO$$

นั่นคือ แก๊สไอเสียเปียกจะมีแก๊สไอเสียแห้งอยู่เท่ากับ 92.15% เพราะฉะนั้นองค์ประกอบของแก๊สไอเสียเปียก คัดจากแก๊สไอเสียแห้งที่อ่านจากเครื่องวิเคราะห์แก๊ส คือ

$$O_2 = 16.7 \times 0.9215 = 15.389 \% \text{by volume}$$

$$CO_2 = 4.2 \times 0.9215 = 3.870 \% \text{by volume}$$

$$CO = 0.3403 \times 0.9215 = 0.3136 \% \text{by volume}$$

$$NO = 0.0095 \times 0.9215 = 0.00875 \% \text{by volume}$$

$$SO_2 = 0.0007 \times 0.9215 = 0.000645 \% \text{by volume}$$

$$N_2 = 78.75 \times 0.9215 = 72.568 \% \text{by volume}$$

$$H_2O = 7.85 \% \text{by volume}$$

ตารางที่ ก.2 แสดงคำนวณหาค่า Relative Mass ของแก๊สไอเสียเปียก

องค์ประกอบของ แก๊สไอเสีย	Relative molecular Mass kg/kmol	Mass fraction	%Mass
CO ₂	0.0387 x 44 = 1.7028	0.05985	5.985
O ₂	0.15389 x 32 = 4.9245	0.1731	17.31
CO	0.003136 x 28 = 0.08781	0.003086	0.3086
NO	0.0000875 x 30 = 0.002625	0.00009227	0.009227
SO ₂	0.00000645 x 64 = 0.0004128	0.00001451	0.001451
N ₂	0.72568 x 28 = 20.319	0.7142	71.42
H ₂ O	0.0785 x 18 = 1.413	0.04967	4.967
รวม	= 28.4501	1	100.00

การคำนวณหาค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของแก๊สไอเสีย

จาก Avogadro's hypothesis ที่อุณหภูมิ 0°C ความดัน 0.1 Mpa แก๊สใดๆ 1 mole จะมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 m³ เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} \rho_{\text{gas},0^{\circ}\text{C},0.1\text{MPa}} &= \frac{\text{RelativeMolecularMass}}{22.4} \\ &= \frac{28.4501}{22.4} = 1.2701 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

ที่อุณหภูมิของแก๊สร้อนเฉลี่ย เท่ากับ 187.1°C สามารถหาความหนาแน่นของแก๊สร้อนนี้ได้จากสมการ

$$\rho_{\text{gas},T} = (\rho_{\text{gas},0^{\circ}\text{C},0.1\text{MPa}}) \times \frac{T_0}{T} \times \frac{(10363 + h_s)}{10363} \times \frac{B}{760}$$

โดยที่ $T_0 = 273 \text{ K}$

$h_s = \text{static pressure } 2.6 \text{ mmWG}$

$B = \text{barometric pressure } 760 \text{ mmHg}$

$10363 = \text{standard pressure } \text{ mmWG}$

$T = \text{gas temperature } \text{ K}$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \rho_{\text{gas},T} &= 1.2701 \times \frac{273}{460.1} \times \frac{(10363 + 2.6)}{10363} \times 1 \\ &= 0.7538 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของแก๊สไอเสีย

ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของแก๊สไอเสีย คำนวณได้จากการแทนค่าอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย และส่วนประกอบของแก๊สไอเสีย แต่เนื่องจาก NO และ SO₂ มีค่าเปอร์เซ็นต์โดยมวลต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบตัวอื่นๆ ดังนั้นผลของ NO และ SO₂ จึงไม่นำมาคิด จะได้

$$\bar{c}_{p,g} = \left[c_{p,\text{CO}_2} \frac{\%\text{CO}_2}{100} + c_{p,\text{O}_2} \frac{\%\text{O}_2}{100} + c_{p,\text{CO}} \frac{\%\text{CO}}{100} + c_{p,\text{N}_2} \frac{\%\text{N}_2}{100} + c_{p,\text{H}_2\text{O}} \frac{\%\text{H}_2\text{O}}{100} \right]$$

ที่อุณหภูมิของแก๊สไอเสียเท่ากับ 460.1K หาค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของแก๊สต่างๆ ได้ดังนี้

$$c_{p,CO_2} = 0.989 \text{ kJ/kgK}$$

$$c_{p,O_2} = 0.959 \text{ kJ/kgK}$$

$$c_{p,CO} = 1.057 \text{ kJ/kgK}$$

$$c_{p,N_2} = 1.051 \text{ kJ/kgK}$$

$$c_{p,H_2O} = 1.981 \text{ kJ/kgK}$$

ดังนั้น ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของแก๊สไอเสีย ได้เป็น

$$\begin{aligned} \bar{c}_{p,g} &= \left(0.989 \times \frac{5.985}{100} + 0.959 \times \frac{17.31}{100} + 1.057 \times \frac{0.3086}{100} + 1.051 \times \frac{71.42}{100} + 1.981 \times \frac{4.967}{100} \right) \\ \bar{c}_{p,g} &= 1.077 \text{ kJ/kgK} \end{aligned}$$

สมดุลพลังงานในหม้อไอน้ำ

1 ความร้อนที่ถูกดูดกลืนโดยน้ำในหม้อไอน้ำ

$$Q_{\text{steam}} = \frac{\dot{m}_s (h_s - h_w)}{\dot{m}_f}$$

พิจารณา ไอน้ำ; $T = 121.4^\circ\text{C} \rightarrow h_s = 2704.75 \text{ kJ/kg}$

น้ำป้อน; $T = 25^\circ\text{C} \rightarrow h_w = 104.89 \text{ kJ/kg}$

แทนค่าในสมการ ได้เท่ากับ

$$\begin{aligned} Q_{\text{steam}} &= \frac{55 \times (2704.75 - 104.89)}{20} \\ &= 7149.62 \text{ kJ/kg}_{\text{fuel}} \end{aligned}$$

2 ความร้อนสูญเสียเนื่องจากแก๊สไอเสียออกทางปล่องควัน

$$Q_{\text{stack}} = m_g \bar{c}_{p,g} (T_{g3} - T_a)$$

พิจารณา แก๊สไอเสียที่ 120%EA; $T_{g3} = 187.1^\circ\text{C}$, $m_g = 12.789 \text{ kg/kg}_{\text{fuel}}$.

$$\bar{c}_{p,g} = 1.077 \text{ kJ/kg K}$$

บรรยากาศ; $T_a = 29^\circ\text{C}$

แทนค่าในสมการ ได้เท่ากับ

$$\begin{aligned} Q_{\text{stack}} &= 12.789 \times 1.077 \times (187.1 - 29) \\ &= 2175.13 \text{ kJ/kg}_{\text{fuel}} \end{aligned}$$

3 ความร้อนสูญเสียเนื่องจากเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

$$Q_{\text{Loss}} = \left(\frac{\text{CO}}{\text{CO} + \text{CO}_2} \right) m_v (23560)$$

พิจารณาแก๊สไอเสีย; $\text{CO} = 3075 \text{ ppm} \rightarrow \text{CO} = 0.3075 \text{ mol/100 mol dry gas}$

$\text{CO}_2 = 4.5\% \rightarrow \text{CO}_2 = 4.5 \text{ mol/100 mol dry gas}$

แทนค่าในสมการ ได้เท่ากับ

$$\begin{aligned} Q_{\text{Loss}} &= \left(\frac{0.3075}{4.5 + 0.3075} \right) \times 0.422 \times 23560 \\ &= 635.94 \text{ kJ/kg}_{\text{fuel}} \end{aligned}$$

4 ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังหม้อไอน้ำแรงดันต่ำ

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังของหม้อไอน้ำ สามารถหาได้จากสมการการนำความร้อน คือ

$$Q_{\text{cond}} = \frac{(T_{si} - T_{so})}{R} A$$

โดยที่ T_{si} = อุณหภูมิที่ผิวด้านในของผนังหม้อไอน้ำ K

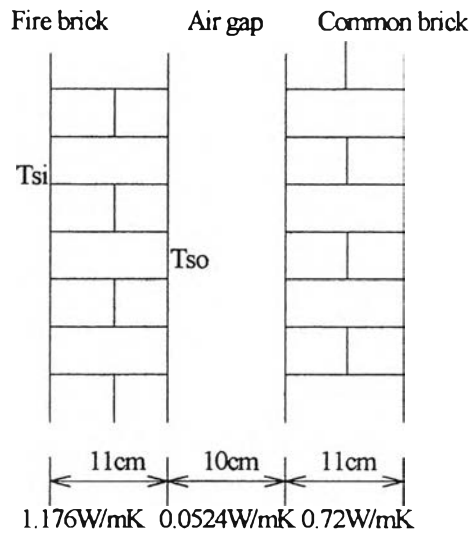
T_{so} = อุณหภูมิที่ผิวด้านนอกของผนังหม้อไอน้ำ K

A = พื้นที่การถ่ายเทความร้อน m^2

R = ค่าความต้านทานความร้อนของผนัง m^2/KW

4.1 ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังด้านข้างของหม้อไอน้ำทั้งสองด้าน

ลักษณะของผนังหม้อไอน้ำด้านข้าง



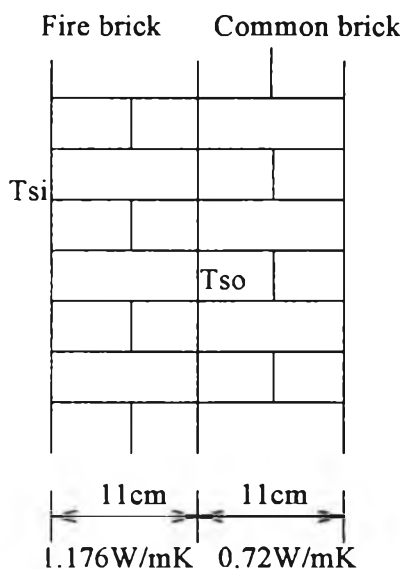
โดยที่มีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนของผนังด้านข้างหนึ่งด้าน $A = 1.0946 \text{ m}^2$ ดังนั้นสามารถหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังด้านข้างทั้งสองด้าน ได้

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{cond, 2sides}} &= \frac{(402.6 - 387.7)}{0.11} \times (2 \times 1.0946) \\
 &= \frac{1.176}{1.176} \times 348.73 \text{ W} \\
 &= 348.73 \text{ W}
 \end{aligned}$$

4.2 ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังเตาเผาไหม้ด้านหน้า และด้านหลัง

กำหนดให้ว่า อุณหภูมิที่ผิวของผนังด้านหลังมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่ผิวของผนังด้านหน้า

ลักษณะของผนังหม้อไอน้ำด้านหน้าและด้านหลัง



ซึ่งผนังด้านหน้ามีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.53 m^2 และผนังด้านหลังมีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.40 m^2 ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังหม้อไอน้ำทั้งสองด้านสามารถหาได้ ดังนี้

ผนังด้านหน้า

$$\begin{aligned} Q_{\text{cond, front}} &= \frac{(326.8 - 229.5)}{0.11} \times 0.53 \\ &= \frac{1.176}{551.40} \text{ W} \end{aligned}$$

ผนังด้านหลัง

$$\begin{aligned} Q_{\text{cond, front}} &= \frac{(326.8 - 229.5)}{0.11} \times 0.40 \\ &= \frac{1.176}{416.05} \text{ W} \end{aligned}$$

ดังนั้น

- ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังด้านข้างทั้งสองด้าน = 348.73 W
- ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังด้านหน้า = 551.40 W
- ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังด้านหลัง = 416.05 W
- รวม = 1316.18 W
- คิดเป็น 236.91 kJ/kg_{fuel}

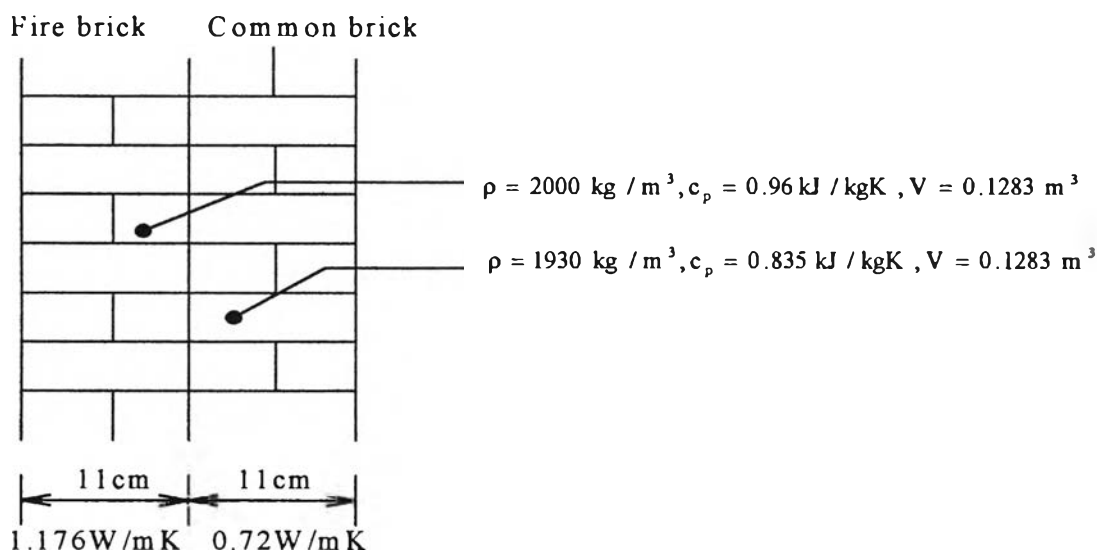
5 ความร้อนสูญเสียเนื่องจากผนังหม้อไอน้ำดูดซับความร้อนไว้

ปริมาณความร้อนที่ผนังหม้อไอน้ำดูดซับ สามารถหาได้จากสมการ

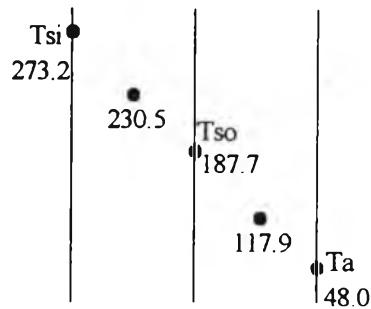
$$Q_{abs} = Mc_{p,w} \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

- โดยที่ M = มวลของผนังหม้อไอน้ำในชั้นที่พิจารณา kg
- c_{p,w} = ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุที่ใช้ทำผนัง kJ/kg K
- ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิในช่วงเวลาที่คำนวณ K
- Δt = ช่วงเวลาที่คำนวณ s

5.1 ความร้อนที่ผนังด้านหน้าหม้อไอน้ำดูดซับไว้



หน้าที่ 50



จากกฎของฟูริเยร์จะได้ว่า

$$q = \frac{T_{si} - T_{so}}{R_{fb}} = \frac{T_{so} - T_a}{R_{cb}}$$

$$q = \frac{273.2 - 187.7}{0.09354} = 914.05 \text{ W/m}^2$$

$$T_a = T_{so} - qR_{cb} = 187.7 - 914.05 \times 0.1528$$

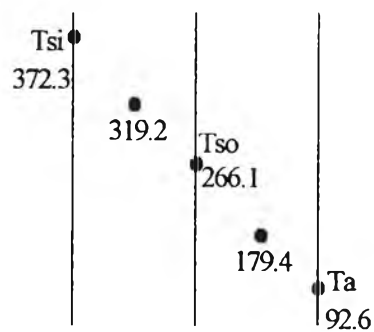
$$T_a = 48.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

และอุณหภูมิที่กึ่งกลางภายในผนังแต่ละชั้นหาได้ดังนี้

ที่ผนังอิฐทนไฟ(fire brick) เท่ากับ $(273.2 + 187.7)/2 = 230.5^\circ\text{C}$

ที่ผนังอิฐธรรมดา(common brick) เท่ากับ $(187.7 + 48.0)/2 = 117.9^\circ\text{C}$

หน้าที่ 155



จะได้

$$q = \frac{T_{si} - T_{so}}{R_{fb}} = \frac{T_{so} - T_a}{R_{cb}}$$

$$q = \frac{372.3 - 266.1}{0.09354} = 1135.34 \text{ W/m}^2$$

$$T_a = T_{so} - qR_{cb} = 266.1 - 1135.34 \times 0.1528$$

$$T_a = 92.6 \text{ }^\circ\text{C}$$

อุณหภูมิที่กลางผนังอิฐทนไฟเท่ากับ $(372.3 + 266.1)/2 = 319.2^\circ\text{C}$

อุณหภูมิที่กลางผนังอิฐธรรมดาเท่ากับ $(266.1 + 92.6)/2 = 179.4^\circ\text{C}$

ดังนั้นความร้อนที่ถูกดูดซับโดย

ผนังอิฐทนไฟ

$$Q_{abs} = (2000 \times 0.1283) \times 0.96 \times \frac{(319.2 - 230.5)}{(155 - 50) \times 60}$$

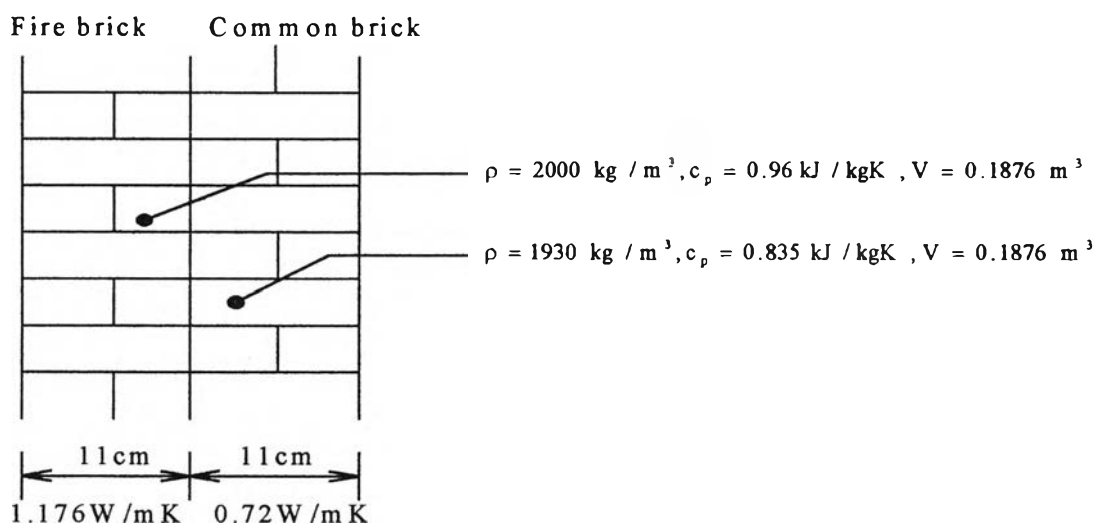
$$= 3.468 \text{ kW}$$

ผนังอิฐธรรมดา

$$Q_{abs} = (1930 \times 0.1283) \times 0.835 \times \frac{(179.4 - 117.9)}{(155 - 50) \times 60}$$

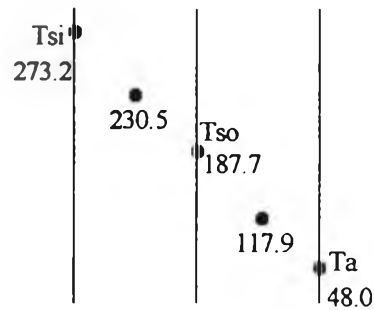
$$= 2.018 \text{ kW}$$

5.2 ความร้อนที่ผนังด้านหลังหม้อไอน้ำดูดซับไว้



เนื่องจากกำหนดให้ว่า อุณหภูมิที่ผิวของผนังด้านหลังมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่ผิวของผนังด้านหน้า ดังนั้น

หน้าที่ที่ 50



จากกฎของฟูริเยร์จะได้ว่า

$$q = \frac{T_{si} - T_{so}}{R_{fb}} = \frac{T_{so} - T_a}{R_{cb}}$$

$$q = \frac{273.2 - 187.7}{0.09354} = 914.05 \text{ W/m}^2$$

$$T_a = T_{so} - qR_{cb} = 187.7 - 914.05 \times 0.1528$$

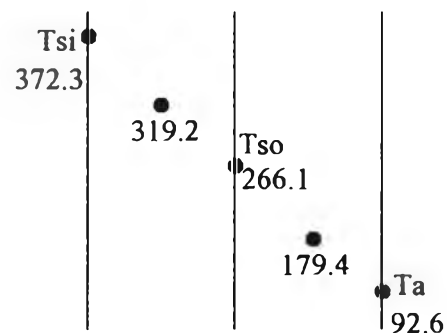
$$T_a = 48.0 \text{ }^\circ\text{C}$$

และอุณหภูมิที่กึ่งกลางภายในผนังแต่ละชั้นหาได้ดังนี้

ที่ผนังอิฐทนไฟ (fire brick) เท่ากับ $(273.2 + 187.7)/2 = 230.5 \text{ }^\circ\text{C}$

ที่ผนังอิฐธรรมดา (common brick) เท่ากับ $(187.7 + 48.0)/2 = 117.9 \text{ }^\circ\text{C}$

หน้าที่ที่ 155



จะได้

$$q = \frac{T_{si} - T_{so}}{R_{fb}} = \frac{T_{so} - T_a}{R_{cb}}$$

$$q = \frac{372.3 - 266.1}{0.09354} = 1135.34 \text{ W/m}^2$$

$$T_a = T_{so} - qR_{cb} = 266.1 - 1135.34 \times 0.1528$$

$$T_a = 92.6 \text{ }^\circ\text{C}$$

อุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังอิฐทนไฟเท่ากับ $(372.3 + 266.1)/2 = 319.2^\circ\text{C}$

อุณหภูมิที่กึ่งกลางผนังอิฐธรรมดาเท่ากับ $(266.1 + 92.6)/2 = 179.4^\circ\text{C}$

ดังนั้นความร้อนที่ถูกดูดซับโดย

ผนังอิฐทนไฟ

$$Q_{abs} = (2000 \times 0.1876) \times 0.96 \times \frac{(319.2 - 230.5)}{(155 - 50) \times 60}$$

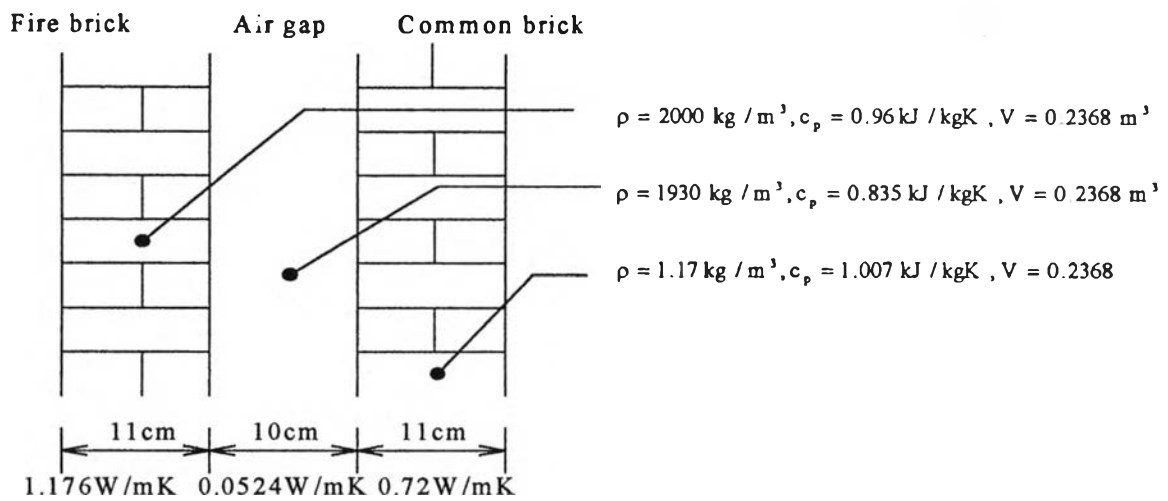
$$= 5.071 \text{ kW}$$

ผนังอิฐธรรมดา

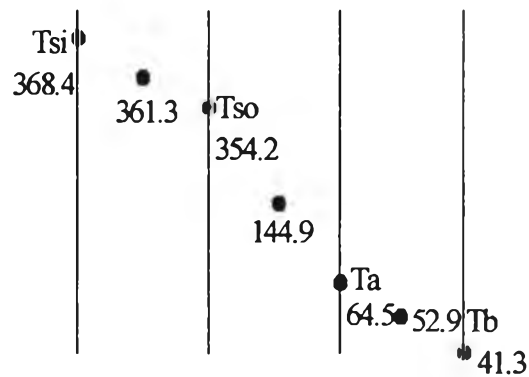
$$Q_{abs} = (1930 \times 0.1876) \times 0.835 \times \frac{(179.4 - 117.9)}{(155 - 50) \times 60}$$

$$= 2.951 \text{ kW}$$

5.3 ความร้อนที่ผนังด้านข้างทั้งสองด้านหม้อไอน้ำดูดซับไว้



หน้าที่ที่ 50



จะได้

$$q = \frac{T_{si} - T_{so}}{R_{fb}} = \frac{368.4 - 354.2}{0.09354} = 151.81 \text{ W/m}^2$$

$$T_a = T_{so} - qR_{ag} = 354.2 - (151.81 \times 1.908) = 64.5^\circ\text{C}$$

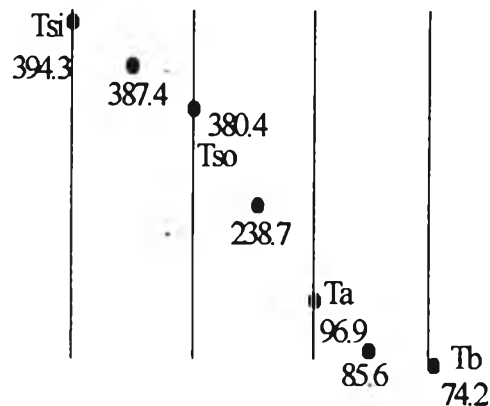
$$T_b = T_a - qR_{cb} = 64.5 - (151.81 \times 0.1528) = 41.3^\circ\text{C}$$

อุณหภูมิที่กึ่งกลางของผนังอิฐทนไฟเท่ากับ $(368.4 + 354.2)/2 = 361.3^\circ\text{C}$

อุณหภูมิที่กึ่งกลางของช่องอากาศเท่ากับ $(354.2 + 64.5)/2 = 144.6^\circ\text{C}$

อุณหภูมิที่กึ่งกลางของผนังอิฐธรรมดาเท่ากับ $(64.5 + 41.3)/2 = 52.9^\circ\text{C}$

หน้าที่ 155



จะได้

$$q = \frac{T_{si} - T_{so}}{R_{fb}} = \frac{394.3 - 380.4}{0.09354} = 148.60 \text{ W/m}^2$$

$$T_a = T_{so} - qR_{ag} = 380.4 - (148.60 \times 1.908) = 96.9^\circ\text{C}$$

$$T_b = T_a - qR_{cb} = 96.9 - (148.60 \times 0.1528) = 74.2^\circ\text{C}$$

อุณหภูมิที่กึ่งกลางของผนังอิฐทนไฟเท่ากับ $(394.3 + 380.4)/2 = 387.4^\circ\text{C}$

อุณหภูมิที่กึ่งกลางของช่องอากาศเท่ากับ $(380.4 + 96.9)/2 = 238.7^\circ\text{C}$

อุณหภูมิที่กึ่งกลางของผนังอิฐธรรมดาเท่ากับ $(96.9 + 74.2)/2 = 85.6^\circ\text{C}$

ดังนั้นความร้อนที่ถูกดูดซับโดย

ผนังอิฐทนไฟ ที่ผนังด้านข้างทั้งสองด้าน

$$Q_{abs} = \left[(2000 \times 0.2368) \times 0.96 \times \frac{(387.4 - 361.3)}{(155 - 50) \times 60} \right] \times 2$$

$$= 1.884 \times 2$$

$$= 3.768 \text{ W}$$

ช่องว่างอากาศ ที่ผนังด้านข้างทั้งสองด้าน

$$Q_{abs} = \left[(1.17 \times 0.2368) \times 1.007 \times \frac{(238.7 - 144.9)}{(155 - 50) \times 60} \right] \times 2$$

$$= 0.004154 \times 2$$

$$= 0.008308 \text{ W}$$

ผนังอิฐธรรมดา ที่ผนังด้านข้างทั้งสองด้าน

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{abs}} &= \left[(1930 \times 0.2368) \times 0.835 \times \frac{(85.6 - 52.9)}{(155 - 50) \times 60} \right] \times 2 \\
 &= 1.981 \times 2 \\
 &= 3.962 \text{ W}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่

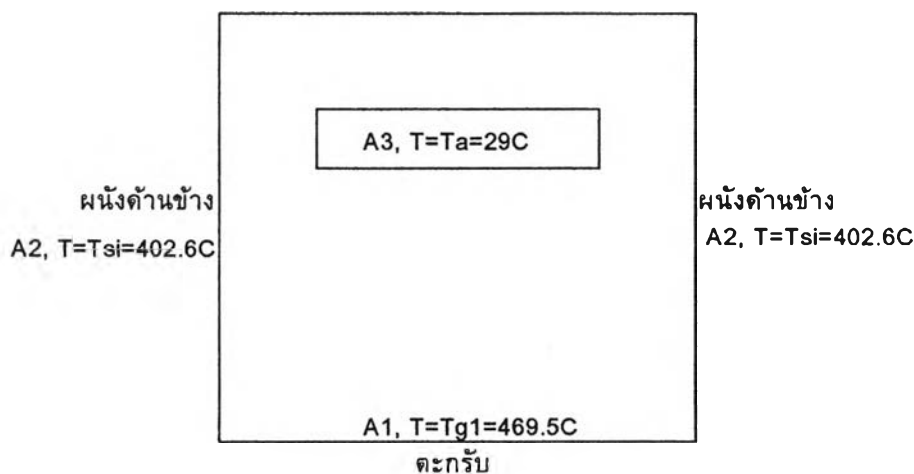
- ผนังหม้อไอน้ำด้านหน้าดูดซับไว้ = $3.468 + 2.018 = 5.486 \text{ kW}$
- ผนังหม้อไอน้ำด้านหลังดูดซับไว้ = $5.071 + 2.951 = 8.022 \text{ kW}$
- ผนังหม้อไอน้ำด้านข้างทั้งสองด้านดูดซับไว้ = $3.768 + 0.008308 + 3.962$
= 7.738 kW

รวม = 21.246 kW

คิดเป็น $3824.28 \text{ kJ/kg}_{\text{fuel}}$

6 ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อน

ความร้อนที่สูญเสียทางนี้เนื่องมาจาก การแผ่รังสีความร้อนจากผนังด้านข้างทั้งสองด้านและจากเชื้อเพลิงที่เผาไหม้อยู่บนตะแกรง ออกมาทางช่องป้อนเชื้อเพลิง กำหนดให้อุณหภูมิที่บนตะแกรงเท่ากับอุณหภูมิ T_g สำหรับอุณหภูมิของช่องป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับอุณหภูมิบรรยากาศและผนังทุกด้านมีพฤติกรรมเป็นแบบวัตถุดำ (black body)



พิจารณาที่ช่องป้อนเชื้อเพลิง (A_3);

จากสมการสมดุลพลังงาน

$$Q_{rad} = Q_{13} + 2 \times Q_{23}$$

ดังนั้น

$$Q_{rad} = A_1 F_{13} \sigma (T_1^4 - T_3^4) + 2 \times A_2 F_{23} \sigma (T_2^4 - T_3^4)$$

โดยที่ Q_{rad} = ความร้อนจากการแผ่รังสี W/m^2

A = พื้นที่ผิวที่แผ่รังสี m^2

F = องค์กรประกอบเชิงมุม (view factor)

$\sigma = 5.670 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$

พิจารณาที่ 120% EA แทนค่า $A_1 = 0.56m \times 0.50m$, $A_2 = 0.40m \times 0.56m$, $F_{13} = 0.06$,

$F_{23} = 0.17$, $T_1 = 469.5^\circ C$, $T_2 = 402.6^\circ C$, $T_3 = 29^\circ C$

ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} Q_{rad} &= (0.50 \times 0.56) \times 0.06 \times (5.670 \times 10^{-8}) \times [742.5^4 - 302^4] + \\ & 2 \times (0.40 \times 0.56) \times 0.17 \times (5.670 \times 10^{-8}) \times [675.6^4 - 302^4] \\ Q_{rad} &= 1145.32 W \end{aligned}$$

หรือ

$$Q_{rad} = 206.16 \text{ kJ/kg}_{fuel}$$

นอกจากปริมาณความร้อนสูญเสียที่แสดงการคำนวณมาทั้งหมดนี้ ยังมีความร้อนสูญเสียทางอื่นๆอีกเช่น ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนจากผนังด้านนอกของหม้อไอน้ำสู่สิ่งแวดล้อม และความร้อนสูญเสียเนื่องจากผนังด้านในและด้านล่างของหม้อไอน้ำที่ดูดซับความร้อนไว้ แต่ไม่สามารถที่จะคำนวณออกมาเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุการณ์ที่ไม่สามารถติดตั้งเครื่องมือวัดในจุดนั้นได้ และการที่ไม่มีเครื่องมือวัดที่เหมาะสมในการที่จะนำไปใช้งานวัดปริมาณใดๆที่ต้องการ ดังนั้นการสูญเสียความร้อนทางดังกล่าวนี้ ให้จัดอยู่ในหัวข้อ ความร้อนสูญเสียเนื่องจากสาเหตุอื่นๆ

การคำนวณหาค่าความร้อนต่ำของเหง้ำมันสำปะหลัง

ค่าความร้อน คือ ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ภายใต้การทำให้สารที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิง เย็นตัวลงถึงอุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศและเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็น kJ/kg หรือ MJ/kg_{fuel}

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแบ่งออกเป็น ค่าความร้อนสูง (HHV) และค่าความร้อนต่ำ (LHV) กรณีวิเคราะห์โดยมีไอน้ำในสารที่ได้จากการเผาไหม้ควบแน่นจะได้ค่าความร้อนสูง และถ้าไอน้ำในสารที่ได้จากการเผาไหม้ระเหย จะได้ค่าความร้อนต่ำ จากสมการ

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 9m_{\text{H}_2} h_{\text{fg}}$$

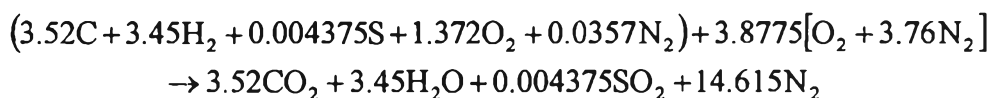
โดยที่ m_{H_2} คือมวลของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม และ h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการระเหยหรือควบแน่นของไอน้ำที่ความดันย่อยในสารที่ได้จากการเผาไหม้

เนื่องจากผลการวิเคราะห์เชื้อเพลิงเหง้ำมันสำปะหลัง ได้ HHV = 16.61 MJ/kg หรือ 3967 cal/g ประกอบด้วย C = 42.2%, H₂ = 6.9%, O₂ = 43.9%, S = 0.14%, N₂ = 1% ดังนั้นเศษส่วนโดยโมลในแต่ละองค์ประกอบของเชื้อเพลิงเหง้ำมันสำปะหลัง

$$\frac{42.2}{12} \text{C} + \frac{6.9}{2} \text{H}_2 + \frac{0.14}{32} \text{S} + \frac{43.9}{32} \text{O}_2 + \frac{1}{28} \text{N}_2$$

$$3.52\text{C} + 3.45\text{H}_2 + 0.004375\text{S} + 1.372\text{O}_2 + 0.0357\text{N}_2$$

สมการการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์



ความดันย่อยของไอน้ำในสารที่ได้จากการเผาไหม้

$$P_v = \frac{(3.45 \times 101.325)}{(3.52 + 3.45 + 0.004375 + 14.615)}$$

$$= 16.19 \text{ kPa}$$

จากตารางไอน้ำอิ่มตัวที่ 16.19 kPa จะได้ $h_{fg} = 2369.58 \text{ kJ/kg}$
เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} \text{LHV} &= \text{HHV} - 9m_{\text{H}_2} h_{fg} \\ &= 16.61 \times 10^3 - 9 \times 0.069 \times 2369.58 \\ &= 15.1384 \text{ MJ/kg}_{\text{fuel}} \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ำมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

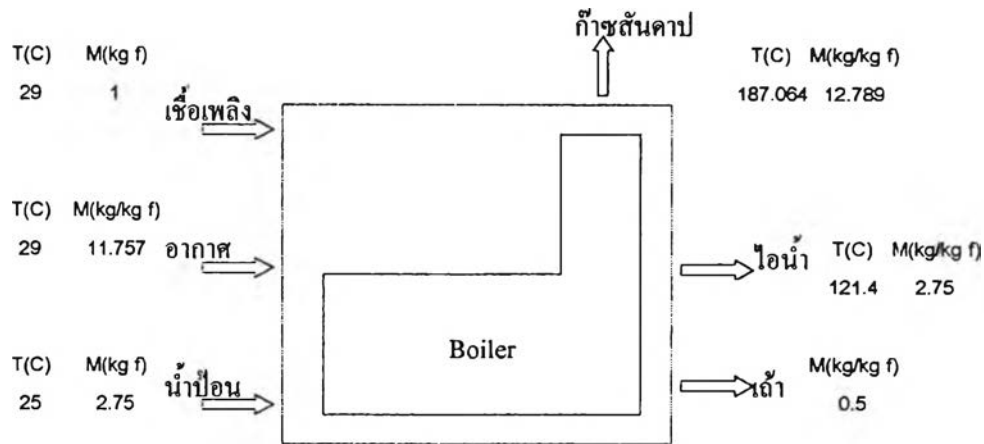
$$\eta = \frac{Q_{\text{steam}}}{\text{LHV}} \times 100$$

แทนค่า ความร้อนที่ถูกดูดกลืนโดยน้ำในตัวหม้อไอน้ำ (Q_{steam}) เท่ากับ 7149.62 kJ/kg_{fuel} และค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงเหง้ำมันสำปะหลัง (LHV) เท่ากับ 15.14 MJ/kg_{fuel} ดังนั้นประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ำมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงที่ 120%EA โดยมีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 20 kg/hr ได้เป็น

$$\begin{aligned} \eta_B &= \frac{7149.62}{15.14 \times 10^3} \times 100 \\ &= 47.22\% \end{aligned}$$

รูปที่ ก.1 สมดุลมวลของหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ำมันล่าปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

ที่การทดลอง 120% EA



$$\%error = 3.43\%$$

รูปแสดงสมดุลมวลของหม้อไอน้ำนี้ แสดงปริมาณมวลสารที่เข้าสู่หม้อไอน้ำ ซึ่งประกอบด้วยเชื้อเพลิง อากาศที่เข้าทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ และน้ำที่ป้อนเข้าสู่ตัวหม้อไอน้ำ และปริมาณมวลสารที่ออกจากหม้อไอน้ำ ซึ่งประกอบด้วย แก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ ไอน้ำที่ผลิตได้และขี้เถ้าที่เหลือ โดยเน้นที่สมดุลมวลทั้งระบบของหม้อไอน้ำ ไม่ได้เน้นการทำสมดุลมวลขององค์ประกอบของแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้

ตารางที่ ก.3 สมดุลพลังงานความร้อนของหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

ที่การทดลอง 120%EA

ความร้อนเข้า	$\text{kJ/kg}_{\text{fuel}}$	%	ความร้อนออก		$\text{kJ/kg}_{\text{fuel}}$	%
ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง	15138.4	100	ความร้อนออกยังผล	ความร้อนที่ถูกดูดกลืนโดยน้ำในหม้อไอน้ำ	7149.62	47.23
				รวมย่อย	7149.62	47.23
			ความร้อนสูญเสีย	ความร้อนสูญเสียเนื่องจากแก๊สเสียออกทางปล่องควัน	2175.13	14.37
				ความร้อนสูญเสียเนื่องจากเผาไหม้ไม่สมบูรณ์	635.94	4.20
				ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการนำความร้อนผ่านผนังหม้อไอน้ำ	236.91	1.56
				ความร้อนสูญเสียเนื่องจากผนังดูดซับความร้อน	3824.28	25.26
				ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการแผ่รังสี		
				ความร้อนออกมามาทางช่องป้อนเชื้อเพลิง	206.16	1.36
				ความร้อนสูญเสียจากสาเหตุอื่นๆ	910.36	6.02
			รวมย่อย	7988.78	52.77	
รวม	15138.4	100	รวม	15138.4	100	

ภาคผนวก ข

ผลการตรวจวิเคราะห์ทางเคมีเหง้ามันสำปะหลัง



ที่ วว 0504/ 669

ถึง นายจิรวุฒิ จิตตโสภณ

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ วัตถุตัวอย่าง ตาม คำสั่ง
ลงวันที่ 25 ธันวาคม 2541 เลขรับ 5592 วันที่ 25 ธันวาคม 2541

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 25 ธันวาคม 2541

กอง เคมี
โทร. 2461387-95 ต่อ 265



รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย	หมายเลข
	ตรา ๖๗๖	
ตามและผู้ส่งเรียก	ที่ระบุตัวอย่าง	ปฏิบัติการ
เหง้ามันสำปะหลัง	-	TZ.648

Moisture, %	9.1
Ash, %	5.9
Volatile matter, %	63.1
Fixed carbon, %	21.9
Carbon, %	42.2
Hydrogen, %	6.9
Nitrogen, %	1.0
Sulphur, %	0.14
Oxygen, %	43.9
Calorific Value, cal/g	3967

หมายเหตุ: ใช้สภาพของตัวอย่างตามที่ได้รับเป็นเกณฑ์สำหรับการคำนวณผลการวิเคราะห์นี้

ศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข
(นางศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข)
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

รายงานผลการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ วัตถุตัวอย่างที่ได้รับตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ
เป็นเอกสารของวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรือขายของ

ภาคผนวก ค

คุณสมบัติทางอุณหพลวัตของแก๊สต่าง ๆ ที่ความดันบรรยากาศ

ตารางที่ ค.1 แสดงคุณสมบัติทางอุณหพลวัตของแก๊สที่ความดันบรรยากาศ

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg K)	T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg K)
Air			Hydrogen		
100	3.5562	1.032	100	0.24255	11.23
150	2.3364	1.012	150	0.16156	12.6
200	1.7458	1.007	200	0.12115	13.54
250	1.3947	1.006	250	0.09693	14.06
300	1.1614	1.007	300	0.08078	14.31
350	0.995	1.009	350	0.06924	14.43
400	0.8711	1.014	400	0.06059	14.48
450	0.774	1.021	450	0.05386	14.5
500	0.6964	1.03	500	0.04848	14.52
550	0.6329	1.04	550	0.04407	14.53
600	0.5804	1.051	600	0.0404	14.55
650	0.5356	1.063	700	0.03463	14.61
700	0.4975	1.075	800	0.0303	14.7
750	0.4643	1.087	900	0.02694	14.83
800	0.4354	1.099	1000	0.02424	14.99
850	0.4097	1.11	1100	0.02204	15.17
900	0.3868	1.121	1200	0.0202	15.37
950	0.3666	1.131	1300	0.01865	15.59
1000	0.3482	1.141	1400	0.01732	15.81
1100	0.3166	1.159	1500	0.01616	16.02
1200	0.2902	1.175	1600	0.0152	16.28
1300	0.2679	1.189	1700	0.0143	16.58
1400	0.2488	1.207	1800	0.0135	16.96
1500	0.2322	1.23	1900	0.0128	17.49
1600	0.2177	1.248	2000	0.0121	18.25
1700	0.2049	1.267			
1800	0.1935	1.286			
1900	0.1833	1.307			
2000	0.1741	1.337			

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) แสดงคุณสมบัติทางอุณหพลวัตของแก๊สที่ความดันบรรยากาศ

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg K)	T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg K)
Carbon Dioxide			Carbon Monoxide		
280	1.9022	0.83	200	1.6888	1.045
300	1.7730	0.851	220	1.5341	1.044
320	1.6609	0.872	240	1.4055	1.043
340	1.5618	0.891	260	1.2967	1.043
360	1.4743	0.908	280	1.2038	1.042
380	1.3961	0.926	300	1.1233	1.043
400	1.3257	0.942	320	1.0529	1.043
450	1.1782	0.981	340	0.9909	1.044
500	1.0594	1.02	360	0.9357	1.045
550	0.9625	1.05	380	0.8864	1.047
600	0.8826	1.08	400	0.8421	1.049
650	0.8143	1.1	450	0.7483	1.055
700	0.7564	1.13	500	0.67352	1.065
750	0.7057	1.15	550	0.61226	1.076
800	0.6614	1.17	600	0.56126	1.088
			650	0.51806	1.101
			700	0.48102	1.114
			750	0.44899	1.127
			800	0.42095	1.140

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) แสดงคุณสมบัติทางอุณหพลวัตของแก๊สที่ความดันบรรยากาศ

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg K)	T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg K)
Nitrogen			Oxygen		
100	3.4388	1.070	100	3.945	0.962
150	2.2594	1.050	150	2.585	0.921
200	1.6883	1.043	200	1.93	0.915
250	1.3488	1.042	250	1.542	0.915
300	1.1233	1.041	300	1.284	0.920
350	0.9625	1.042	350	1.100	0.929
400	0.8425	1.045	400	0.962	0.942
450	0.7485	1.050	450	0.8554	0.956
500	0.6739	1.056	500	0.7698	0.972
550	0.6124	1.065	550	0.6998	0.988
600	0.5615	1.075	600	0.6414	1.003
700	0.4812	1.098	700	0.5498	1.031
800	0.4211	1.22	800	0.481	1.054
900	0.3743	1.146	900	0.4275	1.074
1000	0.3368	1.167	1000	0.3848	1.090
1100	0.3062	1.187	1100	0.3498	1.103
1200	0.2807	1.204	1200	0.3206	1.115
1300	0.2591	1.219	1300	0.296	1.125

ภาคผนวก ง

หลักเกณฑ์หอมอาหาร

หลักการถนอมอาหาร

Pasteurization คือ วิธีการถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำมุ่งทำลายแบคทีเรียพวกไม่สร้างสปอร์และก่อให้เกิดโรค ขบวนการ Pasteurization มี 2 ระบบ

- ระบบช้า LTLT (Low Temperature Long Time)

อุณหภูมิ 60°C นาน 30 นาที

- ระบบเร็ว HTST (High Temperature Short Time)

อุณหภูมิ 72°C นาน 15 วินาที

น้ำผลไม้ชนิดต่าง ๆ นิยม Pasteurise ที่อุณหภูมิ 76.7-93.3°C

นาน 3 นาที

Sterilization คือ วิธีการถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงในระดับน้ำเดือดหรือสูงกว่า เพื่อทำลายจุลินทรีย์รวมทั้งสปอร์

ถ้าอุณหภูมิ 115°C ใช้เวลา 12 นาที

ถ้าอุณหภูมิ 120°C ใช้เวลา 4 นาที

การผลิตอาหารสำเร็จรูป

ผักและผลไม้กระป๋อง จะพบเฉพาะขั้นตอนการฆ่าเชื้อที่มีไอน้ำ หรือน้ำร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง

- ผักบรรจุกระป๋องในน้ำเกลือ ผักส่วนใหญ่ใช้อุณหภูมิ 115-120°C

ความดัน 12-15 psi เวลา 20-60 นาที

- ผลไม้บรรจุกระป๋องในน้ำเชื่อม นิยมใช้อุณหภูมิ 100°C

เป็นเวลา 20-25 นาที

การถนอมอาหารโดยการทำให้แห้ง

เครื่องทำให้แห้งมีหลายประเภท และแต่ละประเภทใช้พลังงานความร้อนในรูปที่ต่างกันไป

-เครื่องทำให้แห้งโดยใช้ลมร้อนพัดผ่านอาหาร ได้แก่ Spray Dryer

อุณหภูมิโดยทั่วไปของลมที่เข้า 180-250°C

อุณหภูมิโดยทั่วไปของลมที่ออก 85-95°C

-เครื่องทำให้แห้งโดยใช้ไอน้ำ ได้แก่ Drum Dryer

โดยทั่วไปใช้อุณหภูมิไม่เกิน 130°C

การคั่วเมล็ดกาแฟ (roasting)

การคั่วเมล็ดกาแฟทางอุตสาหกรรมจะใช้อากาศที่ทำให้ร้อนโดยก๊าซหุงต้ม ในขั้นแรกเป็นการคั่วที่อุณหภูมิต่ำเพื่อระเหยน้ำในเมล็ด หลังจากนั้นใช้อุณหภูมิสูง 200-250°C เป็นเวลา 5-30 นาที เพื่อคั่วเมล็ดกาแฟให้มีกลิ่นตามต้องการ

การอบเมล็ดโกโก้

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบปกติจะอยู่ระหว่าง 150-160°C ใช้เวลา 15-30 นาที

ประวัติผู้เขียน

นาย จิรวุฒิ จิตตโสภณ เกิดวันที่ 1 มีนาคม 2519 จ.ยะลา สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540

