

รายการอ้างอิง

1. สถาบันวิจัยพลังงานและภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. การศึกษาทดลองมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงด้วยระบบเผาไหม้สมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร: 2528.
2. สุวรรณ แสงเพชร. การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแก๊วมันสำปะหลัง. ใน การบรรยายพิเศษของ IEEE Thailand Section ร่วมกับศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง. 22 ธันวาคม 2541 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
3. สุวรรณ แสงเพชร. พลังงานจากชีวมวลมันสำปะหลัง ในการสัมมนาวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า. 24 พฤศจิกายน 2542 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
4. สุวรรณ แสงเพชร. การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแก๊วมันสำปะหลัง. ใน สารานุกรมเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้า. 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 หลกัชนาสันต์. หลักการถนอมและแปรรูปผักผลไม้เบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2518
8. เศรษฐการ เศรษฐการรุณย์. การออกแบบ สร้างและทดสอบหัวเผาที่ใช้แก๊วมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
9. โยชิฮิโกะ ทาคามุระ. เทคนิคการประหยัดพลังงานภาคความร้อน. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2523
10. มนต์รี พิรุณเกษตร. เทอร์โมความร้อนประยุกต์. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2539.

11. Yunus A. Cengel, and Micgael A. Boles. Thermodynamics: An Engineering Approach. 2nd ed. New Jersey: McGraw-Hill, 1994.
12. วีระศักดิ์ ศักดิ์ศิริรัตน์. การผลิตเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โครงการผลิตสื่อตีพิมพ์ทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยความช่วยเหลือจากสถานทูตคานาดาประจำประเทศไทย, 2529.
13. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการควบคุมหม้อไอน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: 2538.
14. สุรัชชัย ศศิวิมลพันธุ์. 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, 1973.
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. (n.p.): 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. Pottet 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. สุวรรณีย์ แสงเพชร. พลังงานไฟฟ้า พลังงานกล และไบโอเมธานอลจากมันสำปะหลัง. วารสารพลังงาน สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีที่ 3 (2539): 1 – 39.
26. สุวิทย์ บุญขวนิชกุล. เชื้อเพลิงจากมันสำปะหลัง. วารสารพลังงาน สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีที่ 3 (2539): 40 – 50.

27. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตปทุมธานี. การศึกษาการใช้เหง้ามันสำปะหลังมาเป็น
ก๊าซเชื้อเพลิงในเตาไฟ Gasifier ในการเผามูลฝอย. โครงการศึกษาวิจัย ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, 2543.
28. จีรวุฒิ จิตตโสภณ. การออกแบบหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
29. วิวัฒน์ คณิตะพานิชกุล. อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริม
เทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2525.
30. Perry, P.H. Chemical Engineer's Handbook. 5th ed. (n.p.): McGraw – Hill Book Col.,
1984.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณเกี่ยวกับระบบกำเนิดไอน้ำที่ใช้ชั้นเหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

ตัวอย่างการคำนวณ

ในส่วนนี้แสดงการคำนวณโดยเอาข้อมูลการทดลองที่ 120%EA มาแสดงเป็นตัวอย่างการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองตั้งแต่วันที่ 60 ถึงวันที่ 280 ซึ่งในที่สุดแล้วจะนำไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ โดยจะแสดงรายละเอียดการคำนวณในหัวข้อต่างๆ เช่น ปริมาณอากาศที่ต้องใช้ในการเผาไหม้ ปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ความร้อนที่สูญเสียไปในทางต่างๆ อัตราการผลิตไอน้ำ ประสิทธิภาพของระบบกำเนิดไอน้ำ และสมดุลพลังงานของระบบกำเนิดไอน้ำที่ใช้ชั้นเหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น

ข้อมูลเฉลี่ยของผลการทดลองที่ 120%EA เป็นดังนี้

| อุณหภูมิของแก๊สร้อน | | | |
|---|---|---|--|
| $T_{g1} = 339.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ | $T_{g2} = 212.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ | $T_{g3} = 134.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ | $T_{g4} = 57.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ |

| อุณหภูมิผนังเตาเผาไหม้ | | | |
|---|---|---|---|
| ด้านหน้า | | ด้านข้าง | |
| $T_{si} = 174.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ | $T_{so} = 107.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ | $T_{si} = 220.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ | $T_{so} = 206.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ |

| ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สไอเสีย | | | | |
|---------------------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| $\text{O}_2 = 16.86\%$ | $\text{CO}_2 = 4.75\%$ | $\text{CO} = 2222 \text{ ppm}$ | $\text{NO} = 104 \text{ ppm}$ | $\text{SO}_2 = 7 \text{ ppm}$ |

| Pressure gage | อัตราการผลิตไอน้ำ | อัตราการป้อนเชื้อเพลิง |
|----------------------|-------------------|------------------------|
| 46 psi หรือ 3.17 bar | 32 kg/hr | 10 kg/hr |

ปริมาณอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้

ปริมาณอากาศเชิงทฤษฎีที่ใช้ในการเผาไหม้ หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} A_0 &= \frac{1}{0.232} \left[\frac{1}{12} \times 32 \times c + \frac{1}{2} \times \frac{32}{2} \times \left(h - \frac{o}{8} \right) + \frac{1}{32} \times s \right] \\ &= \frac{1}{0.232} \left[\frac{1}{12} \times 32 \times 0.422 + \frac{1}{2} \times \frac{32}{2} \times \left(0.069 - \frac{0.439}{8} \right) + \frac{1}{32} \times 0.0014 \right] \\ &= 5.344 \text{ kg}_{\text{air}} / \text{kg}_{\text{fuel}} \end{aligned}$$

หรือ

$$\begin{aligned} A_0 &= \frac{1}{0.21} \left[\frac{1}{12} \times 22.4 \times c + \frac{1}{2} \times \frac{22.4}{2} \times \left(h - \frac{o}{8} \right) + \frac{1}{32} \times 22.4 \times s \right] \\ &= \frac{1}{0.21} \left[\frac{1}{12} \times 22.4 \times 0.422 + \frac{1}{2} \times \frac{22.4}{2} \times \left(0.069 - \frac{0.439}{8} \right) + \frac{1}{32} \times 22.4 \times 0.0014 \right] \\ &= 4.132 \text{ m}_{\text{air}}^3 / \text{kg}_{\text{fuel}} \end{aligned}$$

ในการเผาไหม้จริงนั้นต้องใช้ปริมาณอากาศที่มากกว่าอากาศทางทฤษฎี หากใช้ปริมาณอากาศที่ 120%EA ดังนั้นปริมาณอากาศที่ต้องใช้จริงหาได้ดังนี้

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

ดังนั้น

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

$$1.2 = m - 1$$

$$m = 2.2$$

จะได้

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

ปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้

ปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดจากการใช้ปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี หาได้จากสมการ

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

หรือ

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

สำหรับแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นจากปริมาณอากาศที่ใช้จริงที่ 120%EA หาได้ดังนี้

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

หรือ

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

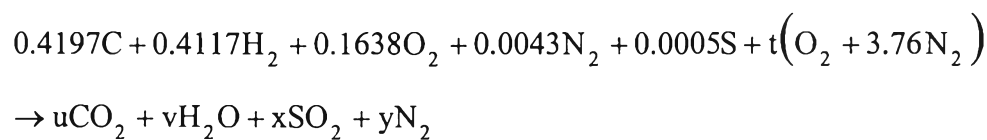
ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของแก๊สร้อน

เนื่องจากเหง้ำมันสำปะหลังมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ $C = 42.2\%$, $H_2 = 6.9\%$, $O_2 = 43.9\%$, $N_2 = 1\%$, $S = 0.14\%$ by weight ทำเป็น mole fraction

ตารางที่ 1ก แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเหง้ำมันสำปะหลังและการคำนวณ mole fraction

| | Mass fraction | mole | Mole fraction |
|----------------|---------------|--------------------------|--------------------------------|
| C | 0.422 | $0.422/12 = 0.03517$ | $0.03517/0.083791 = 0.4197$ |
| H ₂ | 0.069 | $0.069/2 = 0.0345$ | $0.0345/0.083791 = 0.4117$ |
| O ₂ | 0.439 | $0.439/32 = 0.01372$ | $0.01372/0.083791 = 0.1638$ |
| N ₂ | 0.01 | $0.01/28 = 0.000357$ | $0.000357/0.083791 = 0.0043$ |
| S | 0.0014 | $0.0014/32 = 0.00004375$ | $0.00004375/0.083791 = 0.0005$ |
| รวม | | $= 0.083791$ | $= 1.0000$ |

จากสมการการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ (0%EA)



เมื่อทำการดุลสมการจะได้ค่าตัวแปรต่างๆ ได้ดังนี้

$$t = 0.4623$$

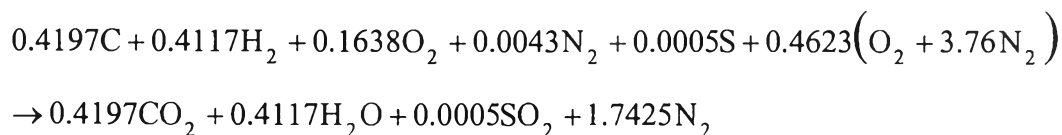
$$u = 0.4197$$

$$v = 0.4117$$

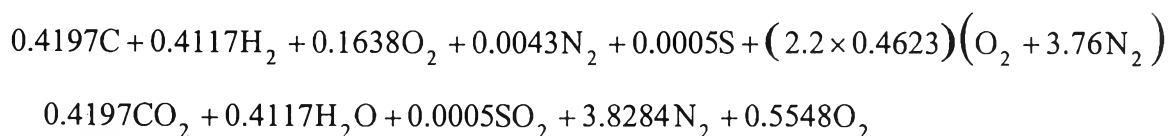
$$x = 0.0005$$

$$y = 1.7425$$

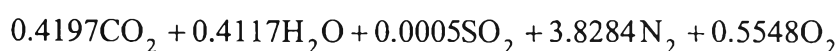
สมการการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์(0%EA)



สมการการเผาไหม้ที่ 120%EA จะได้



โดยที่แก๊สไอเสียประกอบด้วย



$$\text{เพราะฉะนั้นปริมาณน้ำที่มีอยู่ในแก๊สไอเสีย} = 0.4117 / (0.4197 + 0.4117 + 0.0005 + 3.8284 + 0.5548)$$

$$= 7.89\%$$

การวิเคราะห์แก๊สไอเสียเปียก by volume

จากการคำนวณหาปริมาณน้ำที่มีในแก๊สไอเสียสำหรับการเผาไหม้ที่ 120%EA ของข้อมูลข้างต้นพบว่ามีความชื้นเท่ากับ 7.85% ดังนั้นองค์ประกอบของแก๊สไอเสียเปียกคือ

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

เนื่องจากเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย สามารถตรวจวิเคราะห์แก๊สไอเสียแห้ง (% by volume) ได้
ดังนี้

| | | | |
|-----------------|----------|--|-----------|
| NO _x | วัดไม่พบ | | |
| O ₂ | = | 16.7% | |
| CO ₂ | = | 4.3% | |
| CO | = | 2265 ppm | = 0.2265% |
| NO | = | 95 ppm | = 0.0095% |
| SO ₂ | = | 7 ppm | = 0.0007% |
| N ₂ | = | 100 - O ₂ - CO ₂ - CO - NO - SO ₂ | = 78.76% |

เมื่อลบปริมาณน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ออก จะได้ปริมาณแก๊สไอเสียแห้ง

$$100\% - 7.89\% = \%CO_2 + \%O_2 + \%NO + \%SO_2 + \%N_2 + \%CO$$

$$92.11\% = \%CO_2 + \%O_2 + \%NO + \%SO_2 + \%N_2 + \%CO$$

นั่นคือ แก๊สไอเสียเปียกจะมีแก๊สไอเสียแห้งอยู่เท่ากับ 92.11% เพราะฉะนั้นองค์ประกอบของแก๊สไอเสียเปียก คัดจากแก๊สไอเสียแห้งที่อ่านจากเครื่องวิเคราะห์แก๊ส คือ

$$\begin{aligned} \text{O}_2 &= 16.7 \times 0.9211 = 15.382 \% \text{by volume} \\ \text{CO}_2 &= 4.3 \times 0.9211 = 3.961 \% \text{by volume} \\ \text{CO} &= 0.2265 \times 0.9211 = 0.2086 \% \text{by volume} \\ \text{NO} &= 0.0095 \times 0.9211 = 0.00875 \% \text{by volume} \\ \text{SO}_2 &= 0.0007 \times 0.9211 = 0.000645 \% \text{by volume} \\ \text{N}_2 &= 78.76 \times 0.9211 = 72.546 \% \text{by volume} \\ \text{H}_2\text{O} &= 7.89 \% \text{by volume} \end{aligned}$$

ตารางที่ 2ก แสดงการคำนวณหาค่า Relative Mass ของแก๊สไอเสียเปียก

| องค์ประกอบของ แก๊สไอเสีย | Relative molecular Mass kg/kmol | Mass fraction | %Mass |
|-----------------------------|------------------------------------|---------------|----------|
| CO ₂ | 0.0396 x 44 = 1.7424 | 0.06118 | 6.118 |
| O ₂ | 0.15382 x 32 = 4.9222 | 0.1728 | 17.28 |
| CO | 0.002806 x 28 = 0.07857 | 0.002759 | 0.2759 |
| NO | 0.0000875 x 30 = 0.002625 | 0.00009217 | 0.009217 |
| SO ₂ | 0.00000645 x 64 = 0.0004128 | 0.00001449 | 0.001449 |
| N ₂ | 0.72546 x 28 = 20.313 | 0.7133 | 71.33 |
| H ₂ O | 0.0789 x 18 = 1.420 | 0.04986 | 4.986 |
| รวม | = 28.4792 | 1 | 100.00 |

การคำนวณหาค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของแก๊สไอเสีย

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

$$\begin{aligned} \rho_{\text{gas},0^{\circ}\text{C},0.1\text{MPa}} &= \frac{\text{RelativeMolecularMass}}{22.4} \\ &= \frac{28.4792}{22.4} = 1.2714 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

ที่อุณหภูมิของแก๊สร้อนเฉลี่ย เท่ากับ 134.2 °C สามารถคำนวณหาความหนาแน่นของแก๊สร้อนนี้ได้จากสมการ

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

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

$$\begin{aligned} \rho_{\text{gas},T} &= 1.2701 \times \frac{273}{407.2} \times \frac{(10363 + 2.6)}{10363} \times 1 \\ &= 0.8517 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$



ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของแก๊สไอเสีย

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

$$\bar{c}_{p,g} = \left[c_{p,CO_2} \frac{\%CO_2}{100} + c_{p,O_2} \frac{\%O_2}{100} + c_{p,CO} \frac{\%CO}{100} + c_{p,N_2} \frac{\%N_2}{100} + c_{p,H_2O} \frac{\%H_2O}{100} \right]$$

ที่อุณหภูมิของแก๊สไอเสียเท่ากับ 407.2 K หาค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของแก๊สต่างๆ ได้ดังนี้

$$c_{p,CO_2} = 0.945 \text{ kJ/kgK}$$

$$c_{p,O_2} = 0.943 \text{ kJ/kgK}$$

$$c_{p,CO} = 1.048 \text{ kJ/kgK}$$

$$c_{p,N_2} = 1.045 \text{ kJ/kgK}$$

$$c_{p,H_2O} = 1.961 \text{ kJ/kgK}$$

ดังนั้น ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของแก๊สไอเสียจะได้เป็น

$$\bar{c}_{p,g} = \left(0.945 \times \frac{6.118}{100} + 0.943 \times \frac{17.28}{100} + 1.048 \times \frac{0.2759}{100} + 1.045 \times \frac{71.33}{100} + 1.961 \times \frac{4.986}{100} \right)$$
$$\bar{c}_{p,g} = 1.067 \text{ kJ/kgK}$$

สมดุลพลังงานในหม้อไอน้ำ

1. ความร้อนที่ถูกดูดกลืนโดยน้ำในหม้อไอน้ำ

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

พิจารณา ไอน้ำ; $T = 135.5 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow h_s = 2727.96 \text{ kJ/kg}$

น้ำป้อน; $T = 27 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow h_w = 113.25 \text{ kJ/kg}$

แทนค่าในสมการ ได้เท่ากับ

$$\begin{aligned} Q_{\text{steam}} &= \frac{32 \times (2727.96 - 113.25)}{10} \\ &= 8367.07 \text{ kJ/kg}_{\text{fuel}} \end{aligned}$$

2. ความร้อนสูญเสียเนื่องจากแก๊สไอเสียออกทางปล่องควัน

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

พิจารณา แก๊สไอเสียที่ 120%EA; $T_{g3} = 57.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $m_g = 12.789 \text{ kg/kg}_{\text{fuel}}$, $\bar{c}_{p,g} = 1.067 \text{ kJ/kg K}$,

อุณหภูมิบรรยากาศ; $T_a = 32.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

แทนค่าในสมการ ได้เท่ากับ

$$\begin{aligned} Q_{\text{stack}} &= 12.789 \times 1.067 \times (57.1 - 32.5) \\ &= 335.69 \text{ kJ/kg}_{\text{fuel}} \end{aligned}$$

3. ความร้อนสูญเสียเนื่องจากเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

$$Q_{\text{Loss5}} = \left(\frac{\text{CO}}{\text{CO} + \text{CO}_2} \right) m_c (23560)$$

พิจารณาแก๊สไอเสีย; $\text{CO} = 2222 \text{ ppm} \rightarrow \text{CO} = 0.2222 \text{ mol}/100 \text{ mol dry gas}$

$\text{CO}_2 = 4.75\% \rightarrow \text{CO}_2 = 4.75 \text{ mol}/100 \text{ mol dry gas}$

แทนค่าในสมการ ได้เท่ากับ

$$\begin{aligned} Q_{\text{Loss5}} &= \left(\frac{0.2222}{4.75 + 0.2222} \right) \times 0.422 \times 23560 \\ &= 444.31 \text{ kJ}/\text{kg}_{\text{fuel}} \end{aligned}$$

4. ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเตาเผาไหม้

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังของเตาเผาไหม้ทั้งหมด สามารถหาได้จากสมการการนำความร้อน (Conduction heat equation) คือ

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

โดยที่ T_{si} = อุณหภูมิที่ผิวด้านในของผนังเตาเผาไหม้ K

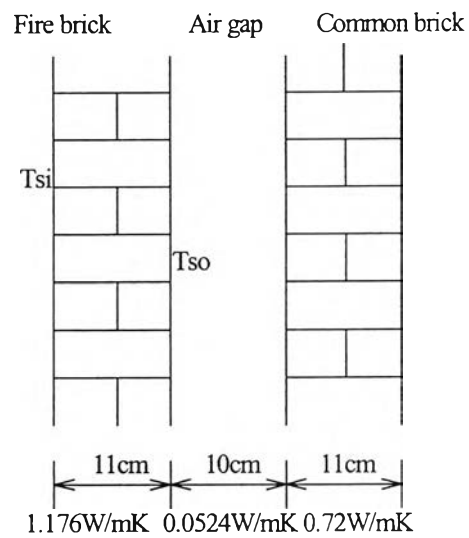
T_{so} = อุณหภูมิที่ผิวด้านนอกของผนังเตาเผาไหม้ K

A = พื้นที่การถ่ายเทความร้อน m^2

R = ค่าความต้านทานความร้อนของผนัง $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

4.1 ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังด้านข้างของเตาเผาไหม้ทั้งสองด้าน

ลักษณะของผนังเตาเผาไหม้ด้านข้าง



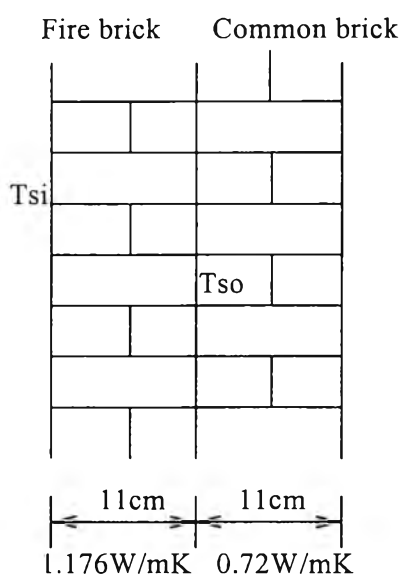
โดยที่มีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนของผนังด้านข้างหนึ่งด้าน $A = 1.0946 \text{ m}^2$ ดังนั้นสามารถหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังเตาเผาไหม้ด้านข้างทั้งสองด้านได้ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{cond,2sides}} &= \frac{(220.1 - 206.3)}{0.11} \times (2 \times 1.0946) \\
 &= \frac{1.176}{322.98 \text{ W}}
 \end{aligned}$$

4.2 ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังเตาเผาใหม่ด้านหน้าและด้านหลัง

กำหนดให้ว่า อุณหภูมิที่ผิวของผนังเตาเผาใหม่ด้านหลังมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่ผิวของผนังเตาเผาใหม่ด้านหน้า

ลักษณะของผนังเตาเผาใหม่ด้านหน้าและด้านหลัง



ซึ่งผนังเตาเผาใหม่ด้านหน้ามีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.53 m^2 และผนังเตาเผาใหม่ด้านหลังมีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.40 m^2 ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังเตาเผาใหม่ทั้งสองด้านสามารถหาได้ ดังนี้

ผนังเตาเผาใหม่ด้านหน้า

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{cond, front}} &= \frac{(174.1 - 107.4)}{0.11} \times 0.53 \\
 &= \frac{1.176}{377.93} \text{ W}
 \end{aligned}$$

ผนังเตาเผาใหม่ด้านหลัง

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{cond, rear}} &= \frac{(174.1 - 107.4)}{0.11} \times 0.40 \\
 &= \frac{1.176}{285.23} \text{ W}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

| | |
|--|------------------------------|
| - ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังด้านข้างทั้งสองด้าน | = 322.98 W |
| - ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังด้านหน้า | = 377.93 W |
| - ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังด้านหลัง | = 285.23 W |
| รวม | = 986.14 W |
| คิดเป็น | 355.01 kJ/kg _{fuel} |

5. ความร้อนสูญเสียเนื่องจากผนังเตาเผาใหม่ดูดซับความร้อนไว้

ปริมาณความร้อนที่ผนังเตาเผาใหม่ดูดซับ สามารถหาได้จากสมการ

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

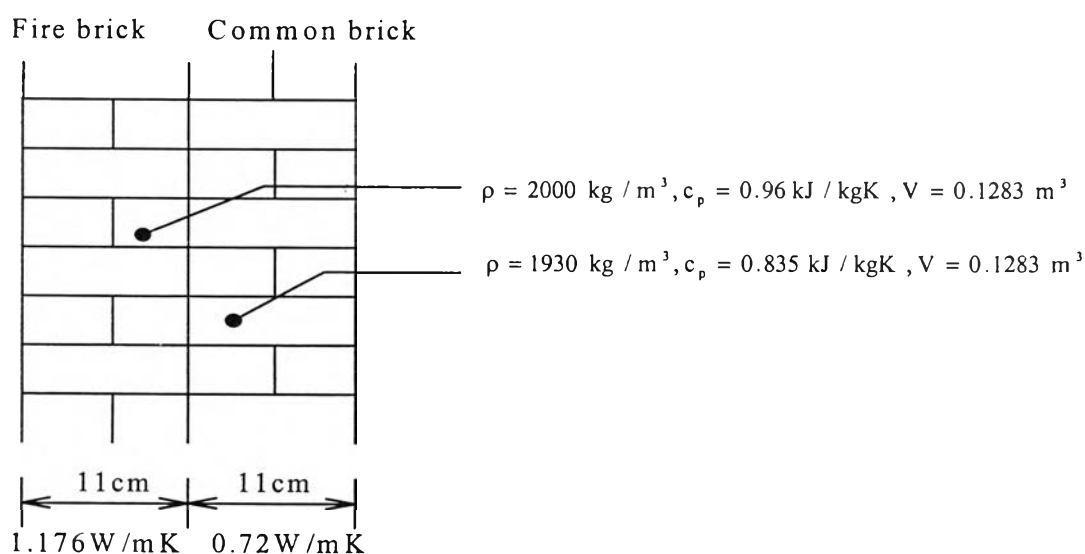
โดยที่ M = มวลของผนังหม้อไอน้ำในชั้นที่พิจารณา kg

$c_{p,w}$ = ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุที่ใช้ทำผนัง kJ/kg K

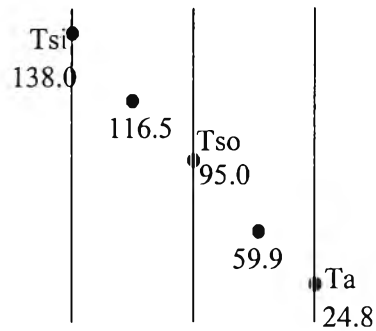
ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิในช่วงเวลาที่คำนวณ K

Δt = ช่วงเวลาที่คำนวณ s

5.1 ความร้อนที่ผนังด้านหน้าเตาเผาใหม่ดูดซับไว้



นาที่ที่ 60



จากกฎของฟูรีเยร์จะได้ว่า

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

$$q = \frac{138.0 - 95.0}{0.09354} = 459.70 \text{ W/m}^2$$

$$T_a = T_{so} - qR_{cb} = 95.0 - 459.70 \times 0.1528$$

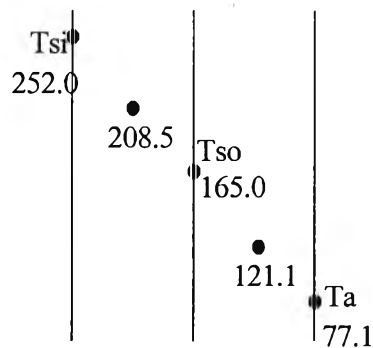
$$T_a = 24.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

และอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางภายในผนังแต่ละชั้นหาได้ ดังนี้

ที่ผนังอิฐทนไฟ (fire brick) เท่ากับ $(138.0 + 95.0)/2 = 116.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

ที่ผนังอิฐธรรมดา (common brick) เท่ากับ $(95.0 + 24.8)/2 = 59.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$

นาที่ที่ 350



จะได้

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

$$q = \frac{252.0 - 165.0}{0.09354} = 940.13 \text{ W/m}^2$$

$$T_a = T_{so} - qR_{cb} = 165.0 - 940.13 \times 0.1528$$

$$T_a = 77.1 \text{ }^\circ\text{C}$$

อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางผนังอิฐทนไฟเท่ากับ $(252.0 + 165.0)/2 = 208.5 \text{ }^\circ\text{C}$

อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางผนังอิฐธรรมดาเท่ากับ $(165.0 + 77.1)/2 = 121.1 \text{ }^\circ\text{C}$

ดังนั้นความร้อนที่ถูกดูดซับโดย

ผนังอิฐทนไฟ

$$Q_{abs} = (2000 \times 0.1283) \times 0.96 \times \frac{(208.5 - 116.5)}{(350 - 60) \times 60}$$

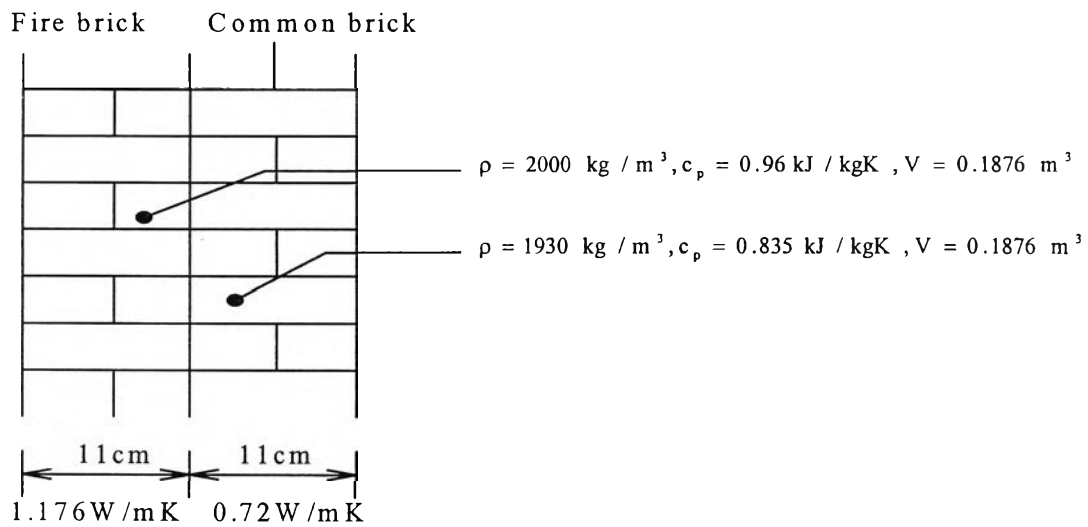
$$= 1.302 \text{ kW}$$

ผนังอิฐธรรมดา

$$Q_{abs} = (1930 \times 0.1283) \times 0.835 \times \frac{(121.1 - 59.9)}{(350 - 60) \times 60}$$

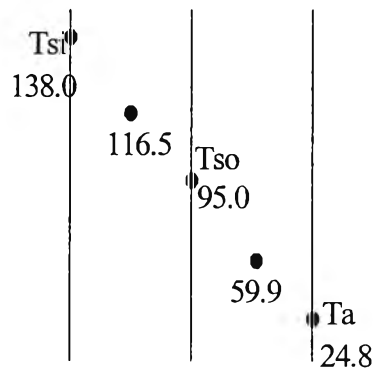
$$= 0.727 \text{ kW}$$

5.2 ความร้อนที่ผนังด้านหลังเตาเผาไหม้ดูดซับไว้



เนื่องจากกำหนดให้ว่า อุณหภูมิที่ผิวของผนังเตาเผาไหม้ด้านหลังมีอุณหภูมิเท่ากับกับอุณหภูมิที่ผิวของผนังเตาเผาไหม้ด้านหน้า ดังนั้น

นาทีที่ 60



จากกฎของฟูริเยร์จะได้ว่า

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

$$q = \frac{138.0 - 95.0}{0.09354} = 459.70 \text{ W/m}^2$$

$$T_a = T_{so} - qR_{cb} = 95.0 - 459.70 \times 0.1528$$

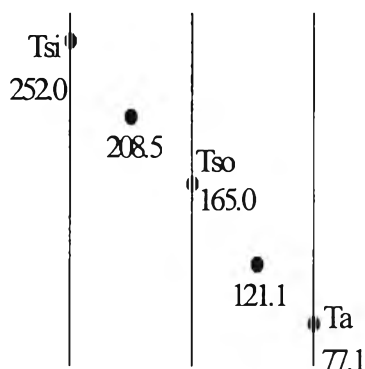
$$T_a = 24.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

และอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางภายในผนังแต่ละชั้นหาได้ ดังนี้

ที่ผนังอิฐทนไฟ (fire brick) เท่ากับ $(138.0 + 95.0)/2 = 116.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

ที่ผนังอิฐธรรมดา (common brick) เท่ากับ $(95.0 + 24.8)/2 = 59.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$

นาที่ที่ 350



จะได้

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

$$q = \frac{252.0 - 165.0}{0.09354} = 940.13 \text{ W/m}^2$$

$$T_a = T_{so} - qR_{cb} = 165.0 - 940.13 \times 0.1528$$

$$T_a = 77.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางผนังอิฐทนไฟเท่ากับ $(252.0 + 165.0)/2 = 208.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางผนังอิฐธรรมดาเท่ากับ $(165.0 + 77.1)/2 = 121.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

ดังนั้นความร้อนที่ถูกดูดซับโดย

ผนังอิฐทนไฟ

$$Q_{abs} = (2000 \times 0.1876) \times 0.96 \times \frac{(208.5 - 116.5)}{(350 - 60) \times 60}$$

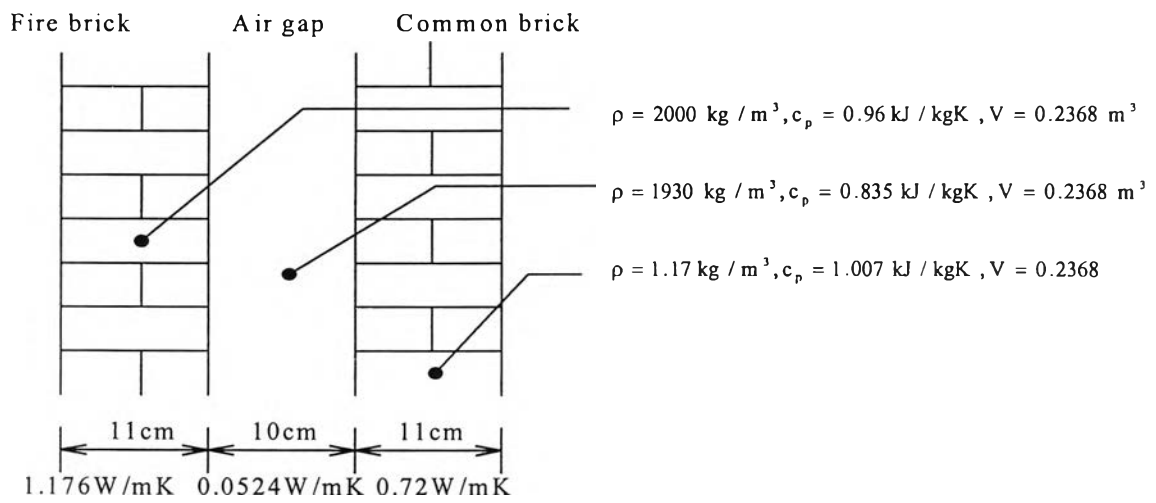
$$= 1.904 \text{ kW}$$

ผนังอิฐธรรมดา

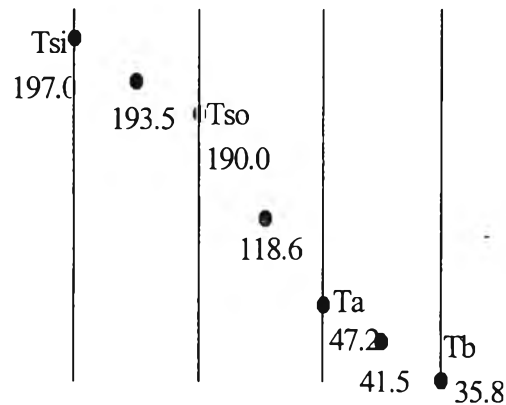
$$Q_{abs} = (1930 \times 0.1876) \times 0.835 \times \frac{(121.1 - 59.9)}{(350 - 60) \times 60}$$

$$= 1.063 \text{ kW}$$

5.3 ความร้อนที่ผนังด้านข้างทั้งสองด้านของเตาเผาไหม้ดูดซับไว้



นาฬิกาที่ 60



จะได้

$$q = \frac{T_{si} - T_{so}}{R_{fb}} = \frac{197.0 - 190.0}{0.09354} = 74.83 \text{ W/m}^2$$

$$T_a = T_{so} - qR_{ag} = 190.0 - (74.83 \times 1.908) = 47.2^\circ\text{C}$$

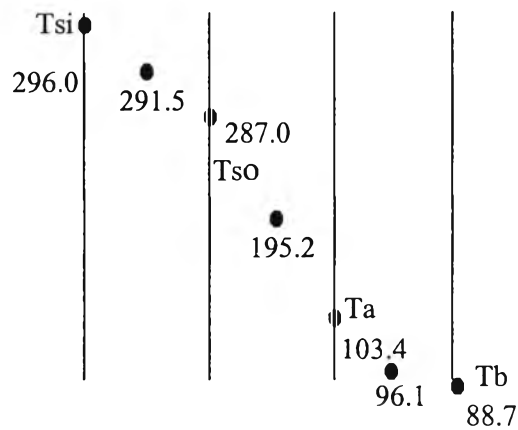
$$T_b = T_a - qR_{cb} = 47.2 - (74.83 \times 0.1528) = 35.8^\circ\text{C}$$

อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของผนังอิฐทนไฟเท่ากับ $(197.0 + 190.0)/2 = 193.5^\circ\text{C}$

อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของช่องอากาศเท่ากับ $(190.0 + 47.2)/2 = 118.6^\circ\text{C}$

อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของผนังอิฐธรรมดาเท่ากับ $(47.2 + 35.8)/2 = 41.5^\circ\text{C}$

นาที่ที่ 350



จะได้

$$q = \frac{T_{si} - T_{so}}{R_{fb}} = \frac{296.3 - 287.0}{0.09354} = 96.22 \text{ W/m}^2$$

$$T_a = T_{so} - qR_{ag} = 287.0 - (96.22 \times 1.908) = 103.4^\circ\text{C}$$

$$T_b = T_a - qR_{cb} = 103.4 - (96.22 \times 0.1528) = 88.7^\circ\text{C}$$

อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของผนังอิฐทนไฟเท่ากับ $(296.0 + 287.0)/2 = 291.5^\circ\text{C}$

อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของช่องอากาศเท่ากับ $(287.0 + 103.4)/2 = 195.2^\circ\text{C}$

อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของผนังอิฐธรรมดาเท่ากับ $(103.4 + 88.7)/2 = 96.1^\circ\text{C}$

ดังนั้นความร้อนที่ถูกดูดซับโดย

ผนังอิฐทนไฟ ที่ผนังด้านข้างทั้งสองด้าน

$$Q_{abs} = \left[(2000 \times 0.2368) \times 0.96 \times \frac{(291.5 - 193.5)}{(350 - 60) \times 60} \right] \times 2$$

$$= 2.561 \times 2$$

$$= 5.121 \text{ W}$$

ช่องว่างอากาศ ที่ผนังด้านข้างทั้งสองด้าน

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{abs}} &= \left[(1.17 \times 0.2368) \times 1.007 \times \frac{(195.2 - 118.6)}{(350 - 60) \times 60} \right] \times 2 \\
 &= 0.001228 \times 2 \\
 &= 0.002456 \text{ W}
 \end{aligned}$$

ผนังอิฐธรรมดา ที่ผนังด้านข้างทั้งสองด้าน

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{abs}} &= \left[(1930 \times 0.2368) \times 0.835 \times \frac{(96.1 - 41.5)}{(350 - 60) \times 60} \right] \times 2 \\
 &= 1.197 \times 2 \\
 &= 2.395 \text{ W}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่

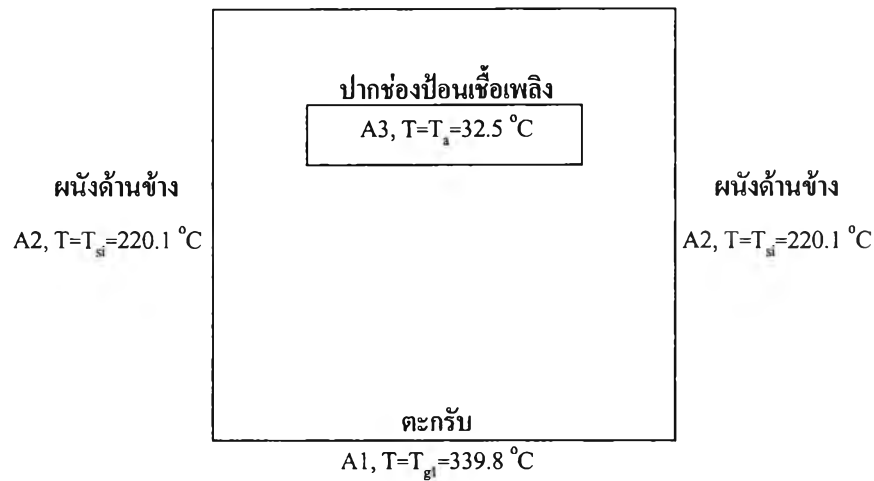
- ผนังหม้อไอน้ำด้านหน้าดูดซับไว้ = 1.302 + 0.727 = 2.029 kW
- ผนังหม้อไอน้ำด้านหลังดูดซับไว้ = 1.904 + 1.063 = 2.967 kW
- ผนังหม้อไอน้ำด้านข้างทั้งสองด้านดูดซับไว้ = 5.121 + 0.002456 + 2.395 = 7.518 kW

รวม = 12.514 kW

คิดเป็น 4505.04 kJ/kg_{fuel}

6. ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อน

ความร้อนที่สูญเสียทางนี้เกิดขึ้นเนื่องมาจาก การแผ่รังสีความร้อนจากผนังด้านข้างทั้งสองด้าน และจากเชื้อเพลิงที่เผาไหม้อยู่บนตะแกรง ออกมาทางช่องป้อนเชื้อเพลิง กำหนดให้อุณหภูมิที่บนตะแกรง เท่ากับอุณหภูมิ T_{g1} (อุณหภูมิห้องเผาไหม้) สำหรับอุณหภูมิของช่องป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับอุณหภูมิ บรรยากาศและผนังทุกด้านมีพฤติกรรมเป็นแบบวัตถุดำ (black body)



พิจารณาที่ช่องป้อนเชื้อเพลิง (A_3);

จากสมการสมดุลพลังงาน

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

ดังนั้น

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

โดยที่ Q_{rad} = ความร้อนจากการแผ่รังสี W

A = พื้นที่ผิวที่แผ่รังสี m^2

F = องค์ประกอบเชิงมุม (view factor)

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

พิจารณาที่ 120%EA แทนค่า $A_1 = 0.56 \text{ m} \times 0.50 \text{ m}$, $A_2 = 0.40 \text{ m} \times 0.56 \text{ m}$, $F_{13} = 0.06$, $F_{23} = 0.17$,

$T_1 = 339.8 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_2 = 220.1 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_3 = 32.5 \text{ }^\circ\text{C}$

ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} Q_{\text{rad}} &= (0.50 \times 0.56) \times 0.06 \times (5.670 \times 10^{-8}) \times [612.8^4 - 305.5^4] + \\ &= 2 \times (0.40 \times 0.56) \times 0.17 \times (5.670 \times 10^{-8}) \times [493.1^4 - 305.5^4] \\ Q_{\text{rad}} &= 343.72 \text{ W} \end{aligned}$$

หรือ

$$Q_{\text{rad}} = 123.74 \text{ kJ/kg}_{\text{fuel}}$$

นอกจากปริมาณความร้อนสูญเสียที่แสดงการคำนวณมาทั้งหมดนี้ ยังมีความร้อนสูญเสียทางอื่นๆ อีกเช่น ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนจากผนังด้านนอกของหม้อไอน้ำออกไปสู่สิ่งแวดล้อม ความร้อนสูญเสียเนื่องจากผนังด้านในและด้านล่างของหม้อไอน้ำที่ดูดซับความร้อนไว้ รวมทั้งความร้อนสูญเสียเนื่องจากการนำความร้อนจากปากช่องป้อนเชื้อเพลิงไปสู่อุปกรณ์ป้อนเชื้อเพลิง แต่ไม่สามารถที่จะคำนวณออกมาเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุการณ์ที่ไม่สามารถติดตั้งเครื่องมือวัดในจุดนั้นได้ และการที่ไม่มีเครื่องมือวัดที่เหมาะสมสำหรับการที่จะนำไปใช้ในการวัดปริมาณใดๆ ที่ต้องการ ดังนั้นการสูญเสียความร้อนในทางดังกล่าวนี้ ให้จัดอยู่ในหัวข้อความร้อนสูญเสียเนื่องจากสาเหตุอื่นๆ

การคำนวณหาค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงแข็งน้ำมันสำปะหลัง

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

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแบ่งออกเป็น ค่าความร้อนสูง (HHV) และค่าความร้อนต่ำ (LHV) กรณีวิเคราะห์โดยมีไอน้ำในสารที่ได้จากการเผาไหม้ควบแน่นจะได้ค่าความร้อนสูง และถ้าไอน้ำในสารที่ได้จากการเผาไหม้ระเหย จะได้ค่าความร้อนต่ำจากสมการ

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

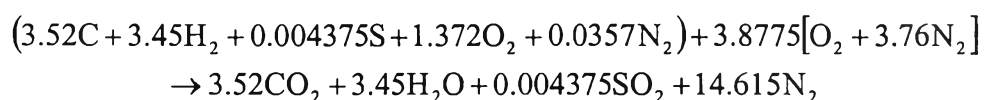
โดยที่ m_{H_2} คือมวลของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม และ h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการระเหยหรือการควบแน่นของไอน้ำที่ความดันย่อยในสารที่ได้จากการเผาไหม้

เนื่องจากผลการวิเคราะห์เชื้อเพลิงแข็งน้ำมันสำปะหลังได้ HHV = 16.61 MJ/kg หรือ 3967 cal/g ประกอบด้วย C = 42.2%, H₂ = 6.9%, O₂ = 43.9%, S = 0.14%, N₂ = .1% ดังนั้นเศษส่วนโดยโมลในแต่ละองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็งน้ำมันสำปะหลัง

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

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

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

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

ประสิทธิภาพของระบบกำเนิดไอน้ำที่ใช้หินแข็งมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

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

แทนค่าความร้อนที่ถูกดูดกลืนโดยน้ำในตัวหม้อไอน้ำ (Q_{steam}) เท่ากับ $8367.07 \text{ kJ/kg}_{\text{fuel}}$ และค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงแข็งมันสำปะหลัง (LHV) เท่ากับ $15.14 \text{ MJ/kg}_{\text{fuel}}$ ดังนั้นประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้หินแข็งมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงที่ 120%EA โดยมีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 10 kg/hr ได้เป็น

$$\begin{aligned} \eta_B &= \frac{8367.07}{15.14 \times 10^3} \times 100 \\ &= 55.27\% \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการอบแห้งของอุปกรณ์ลดความชื้นเชื้อเพลิงเห้ง
มันสำปะหลัง

$$\eta_{\text{dryer}} = \frac{Q_{\text{used in drying process}}}{Q_{\text{potential of flue gas in drying}}} \times 100$$

แทนค่าความร้อนที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง ($Q_{\text{used in drying process}}$) เท่ากับ 1052.10 kJ/kg_{fuel}
คำนวณได้จากสมการ

$$Q_{\text{used in drying process}} = (12.789 \text{ kJ/kg}_{\text{fuel}}) \times (1.067 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \times (134.2 - 57.1^{\circ}\text{C})$$

และค่าศักยภาพของความร้อนจากแก๊สไอเสียในการอบแห้ง ($Q_{\text{potential of flue gas in drying}}$) เท่ากับ 1387.79
kJ/kg_{fuel} คำนวณได้จากสมการ

$$Q_{\text{potential of flue gas in drying}} = (12.789 \text{ kJ/kg}_{\text{fuel}}) \times (1.067 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \times (134.2 - 32.5^{\circ}\text{C})$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการอบแห้งของอุปกรณ์ลดความชื้น
เชื้อเพลิงเห้งมันสำปะหลัง ที่ 120%EA คือ

$$\begin{aligned} \eta_{\text{dryer}} &= \frac{1052.10}{1387.79} \times 100 \\ &= 75.81\% \end{aligned}$$

การคำนวณปริมาณความร้อนที่ใช้สำหรับลดความชื้นในเชื้อเพลิงแห้งน้ำมันสำปะหลัง

จากข้อมูลผลการทดลองที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 120%EA สามารถลดค่าความชื้นของเชื้อเพลิงแห้งน้ำมันสำปะหลังลงได้เท่ากับ 18.26% มาตรฐานเปียก (ข้อมูลจากตารางที่ 7.7) คิดเป็นพลังงานความร้อนที่ต้องใช้สำหรับการอบแห้งเชื้อเพลิงแห้งน้ำมันสำปะหลังได้ ดังนี้

$$Q = Q_{\text{สำหรับอุ่นน้ำจาก } 32.5^{\circ}\text{C ถึง } 100^{\circ}\text{C}} + Q_{\text{สำหรับระเหยน้ำที่ } 100^{\circ}\text{C}}$$

หรือ

$$Q = \% \text{wb} \times \left\{ (h_{f@100^{\circ}\text{C}} - h_{f@32.5^{\circ}\text{C}}) + (h_{fg@100^{\circ}\text{C}}) \right\}$$

สำหรับแห้งน้ำมันสำปะหลังที่มีความชื้นลดลง 18.26% มาตรฐานเปียก จำนวน 1 กิโลกรัม

$$\begin{aligned} \text{ความร้อนในการอุ่นน้ำจาก } 32.5^{\circ}\text{C ถึง } 100^{\circ}\text{C} &= 0.1826 \times 4.186 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \times (100 - 32.5^{\circ}\text{C}) \\ &= 51.6 \text{ kJ/kg}_{\text{fuel}} \end{aligned}$$

$$\text{ความร้อนในการระเหยน้ำ} = 0.1826 \times 2501 \text{ kJ/kg} = 456.7 \text{ kJ/kg}_{\text{fuel}}$$

$$\text{ความร้อนที่ใช้ในการลดความชื้น} = 508.3 \text{ kJ/kg}_{\text{fuel}}$$

ดังนั้น สำหรับการทดลองที่ค่าปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 120%EA ปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงแห้งน้ำมันสำปะหลังใช้ในการลดความชื้นลง 18.26% wb คือ 508.3 kJ/kg_{fuel}

จากค่าความร้อนที่อุปกรณ์ลดความชื้นเชื้อเพลิงแห้งน้ำมันสำปะหลังใช้ในกระบวนการอบแห้งเท่ากับ 1052.10 kJ/kg_{fuel} และค่าความร้อนที่เชื้อเพลิงแห้งน้ำมันสำปะหลังใช้ในการลดความชื้นลง 18.26% wb เท่ากับ 508.3 kJ/kg_{fuel} สามารถนำมาคำนวณหาค่าความร้อนสูญเสียจากอุปกรณ์ลดความชื้นเชื้อเพลิงแห้งน้ำมันสำปะหลังได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความร้อนสูญเสียจากอุปกรณ์ลดความชื้น} \\ \text{เชื้อเพลิงแห้งน้ำมันสำปะหลัง} &= 1052.10 - 508.3 = 543.8 \text{ kJ/kg}_{\text{fuel}} \end{aligned}$$

ความร้อนสูญเสียจากอุปกรณ์ลดความชื้นเชื้อเพลิงเหง้ำมันสำปะหลัง เกิดขึ้นเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนจากตัวอุปกรณ์ลดความชื้นเชื้อเพลิงเหง้ำมันสำปะหลัง ความร้อนที่ผนังของอุปกรณ์ลดความชื้นเชื้อเพลิงเหง้ำมันสำปะหลังดูดซับความร้อน และความร้อนสูญเสียเนื่องจากการนำความร้อนผ่านผนังปล่องควัน เป็นต้น

ภาคผนวก ข

ผลการตรวจวิเคราะห์ทางเคมีเหง้ามันสำปะหลัง



ที่ วว 0504/ 669

ถึง นายจิรวุฒิ จิตตโสภณ

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

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 25 ธันวาคม 2541

กอง เคมี

โทร. 2461387-95 ต่อ 265

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

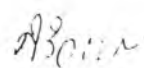
21 มกราคม 2542

รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง เครื่องหมาย หมายเลข
ตรา ๗๗
ตามที่อยู่ส่งเรียก 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

 (นางศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข)
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

ภาคผนวก ก

คุณสมบัติทางอุณหพลวัตของแก๊สต่างๆ ที่ความดันบรรยากาศ

ตารางที่ 1ก แสดงคุณสมบัติทางอุณหพลวัตของแก๊สต่างๆ ที่ความดันบรรยากาศ

| 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 | 0.9950 | 1.009 | 350 | 0.06924 | 14.43 |
| 400 | 0.8711 | 1.014 | 400 | 0.06059 | 14.48 |
| 450 | 0.7740 | 1.021 | 450 | 0.05386 | 14.50 |
| 500 | 0.6964 | 1.030 | 500 | 0.04848 | 14.52 |
| 550 | 0.6329 | 1.040 | 550 | 0.04407 | 14.53 |
| 600 | 0.5804 | 1.051 | 600 | 0.04040 | 14.55 |
| 650 | 0.5356 | 1.063 | 700 | 0.03463 | 14.61 |
| 700 | 0.4975 | 1.075 | 800 | 0.03030 | 14.70 |
| 750 | 0.4643 | 1.087 | 900 | 0.02694 | 14.83 |
| 800 | 0.4354 | 1.099 | 1000 | 0.02424 | 14.99 |
| 850 | 0.4097 | 1.110 | 1100 | 0.02204 | 15.17 |
| 900 | 0.3868 | 1.121 | 1200 | 0.02020 | 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 | 1.230 | 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 2ค แสดงคุณสมบัติทางอุณหพลวัตของแก๊สต่างๆ ที่ความดันบรรยากาศ

| 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 | 0.830 | 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 | 1.10 | 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 3ค แสดงคุณสมบัติทางอุณหพลวัตของแก๊สต่างๆ ที่ความดันบรรยากาศ

| 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 | 1.930 | 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 | 1.220 | 800 | 0.4810 | 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 | 0.2960 | 1.125 |



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจตุพล ปัทมวิชัยพร เกิดเมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน 2518 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปีการศึกษา 2541 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2545