

รายการอ้างอิง

1. อรุณ อัครวโรทัย. การผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะ. สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
2. ปรีดา เข้มเจริญวงศ์. การจัดการขยะมูลฝอย. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2531.
3. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม. รายงานสรุปเรื่อง "เทคนิคการกำจัดมูลฝอยแบบใช้เตาเผาและวิธีฝังกลบ". จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
4. Harry, A. Sorarsan. **Energy Conservation Systems**. Canada: John Wiley & Son, Inc., 1985.
5. โยชิตโกะ ทาคามูระ. เทคนิคการประหยัดพลังงานภาคความร้อน. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2525.
6. Vesilind, P.A., Alan E.R. **Unit Operation in Resource Recovery Engineering**. New Jersey: Prentice-Hall, 1981.
7. John, T. Pfeffer. **Solid Waste Management Engineering**. New Jersey: Prentice-Hall, 1992.
8. Yunus, A. Cengel and Michael A. Boles. **Thermodynamics and Engineering Approach**. McGraw-Hill, 1989.
9. Frank P. Incropera. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. John Wiley & Son, Inc., 1990.
10. Jack DeMacro, Danid J. Keller, Jerold Leckman and James L. Newton. **Municipal Scale Incinerator Design**. Washington D.C., 1969.
11. El-Wakil, M.M. **Power Plant Technology**. USA.: McGraw-Hill, Inc., 1985.
12. Richard, C. Cokey. **Principles and Practices of incineration**. New York: John Wiley, 1969.
13. Ross, R.D. **Industrial Waste Disposal**. Thermal Research & Engineering Corporation Pennsylvania, 1968.
14. Bhide, A.D., Sundarean, B.B. **Solid Waste Management in Developing Countries**. New Delhi, 1983.

15. สุชัย ศศิวิมลพันธ์. เทคโนโลยีไอน้ำ. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2535.
16. Takashi Ikeguchi. **Municipal Solid Waste Incineration**. Japan: Department of Sanitary Engineering, The Institute of Public Health, 1979.
17. Man Telli. **Solid Wastes Origin Collection Processing and Disposal**. New York: John Wiley, 1975.
18. Michael, D. Lagrega, Phillip, L. Buckingham and Jeffrey, C. Evans. **Hazardous Waste Management**. New York: McGraw-Hill, Inc., 1994.
19. ปูนซิเมนต์ไทย, บริษัท. เอกสารประกอบ Catalog อัฐทนไฟ กรุงเทพฯ, 2539.
20. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, 2538.
21. Danen, G.W. **Shell Flow Engineering Handbook**. UK: McGraw-Hill Book Company Limited, 1985.
22. ASME. **Flow Measurement Instruments and Apparatus**. USA: Power Test Codes Committee, 1959.

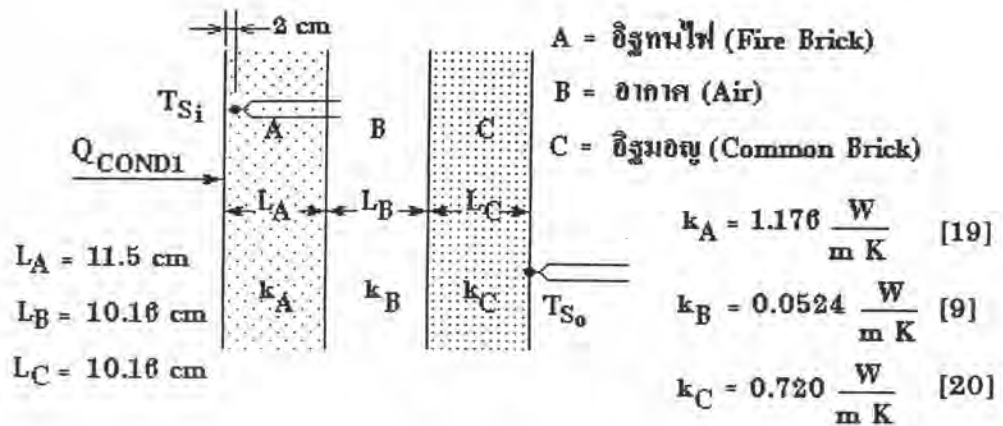
ภาคผนวก

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ

ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลนาที่ที่ 115 ของการทดสอบเผามูลฝอยใบไม้แห้งที่ 25 kg/h และ 80 %EA จากตารางที่ 6.3 มาแสดงเป็นตัวอย่างการคำนวณ

1. ปริมาณความร้อนถ่ายเทผ่านผนังเตาด้านข้างทั้ง 4 ด้าน , Q_{COND1}



จากสมการ

$$Q_{\text{COND1}} = \frac{(\bar{T}_{\text{si}} - \bar{T}_{\text{so}})}{R_{\text{t1}}} A_1$$

เมื่อ

\bar{T}_{si} แทน อุณหภูมิเฉลี่ยผนังด้านในเตาเผา , °C

\bar{T}_{so} แทน อุณหภูมิเฉลี่ยผนังด้านนอกเตาเผา , °C

R_{t1} แทน ความต้านทานความร้อนรวม , $\text{m}^2 \text{K/W}$

A_1 แทน พื้นที่ผนังด้านในเตาเผามูลฝอยทั้ง 4 ด้าน , m^2

แทนค่า

$$\bar{T}_{si} = \frac{T_{si1} + T_{si2} + T_{si3}}{3} = \frac{140.0 + 146.1 + 152.90}{3} = 146.33 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\bar{T}_{so} = \frac{T_{so1} + T_{so2} + T_{so3}}{3} = \frac{31.00 + 31.60 + 31.30}{3} = 31.30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

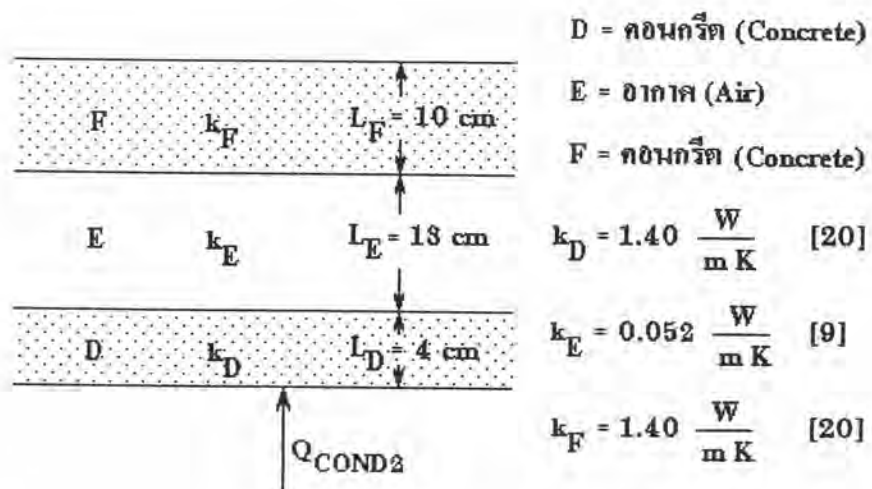
$$R_{t1} = \left(\frac{L_A}{k_A} + \frac{L_B}{k_B} + \frac{L_C}{k_C} \right) = \left(\frac{11.50 \times 10^{-2}}{1.176} + \frac{10.16 \times 10^{-2}}{0.0524} + \frac{10.16 \times 10^{-2}}{0.720} \right) = 2.160 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$$

$$A_1 = (0.8(\text{m}) \times 2.2(\text{m})) (4) = 7.04 \text{ m}^2$$

จะได้ว่า

$$Q_{\text{COND1}} = \frac{(146.33 - 31.30) \text{K}}{2.160 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} \cdot (7.04 \text{ m}^2) \\ = 374.91 \text{ W}$$

2. ปริมาณความร้อนถ่ายเทผ่านผนังด้านบน (หลังคา), Q_{COND2}



จากสมการ

$$Q_{\text{COND2}} = \frac{(T_{si4} - T_{so4})}{R_{t2}} A_2$$

เมื่อ

T_{si4} แทน อุณหภูมิผนังหลังคาคำนในเตาเผา, °C

T_{so4} แทน อุณหภูมิผนังหลังคาคำนนอกเตาเผา, °C

R_{12} แทน ความต้านทานความร้อนรวม, m² K/W

A_2 แทน พื้นที่ผนังหลังคาคำนในเตาเผามูลฝอย, m²

โดยที่

$$R_{12} = \left(\frac{L_D}{k_D} + \frac{L_E}{k_E} + \frac{L_F}{k_F} \right) = \left(\frac{4.0 \times 10^{-2}}{1.4} + \frac{13.0 \times 10^{-2}}{0.0524} + \frac{10.0 \times 10^{-2}}{1.4} \right) = 2.581 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$$

$$A_2 = (0.8 \times 0.8) \text{ m}^2 - \frac{\pi}{4} (10 \times 2.54 \times 10^{-2})^2 \text{ m}^2 = 0.59 \text{ m}^2$$

จะได้ว่า

$$Q_{\text{COND2}} = \frac{(198.50 - 67.40) \text{ K}}{2.581 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}} \cdot (0.59 \text{ m}^2) \\ = 29.97 \text{ W}$$

3. ปริมาณความร้อนถ่ายเทผ่านผนังของปล่องไอเสีย, Q_{COND3}

จากสมการ

$$Q_{\text{COND3}} = \frac{(\bar{T}_{si} - \bar{T}_{so})}{R_{13}}$$

เมื่อ

r_1 แทน รัศมีภายในของปล่องไอเสีย, นิ้ว

r_2 แทน รัศมีภายนอกของปล่องไอเสียรวมกับความหนาของฉนวน, นิ้ว

L แทน ความสูงของปล่องไอเสีย, m

R_{13} แทน ความต้านทานความร้อน, K/W

k แทน ความสามารถในการนำความร้อนของฉนวนใยแก้ว

มีค่าเท่ากับ 0.036 W/m K [20]

โดยที่

$$\begin{aligned}\bar{T}_{si} &= \frac{(T_{si5} + T_{si6})}{2} = \frac{(314.70 + 240.30)}{2} = 277.50 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \bar{T}_{so} &= \frac{(T_{so5} + T_{so6})}{2} = \frac{(250.40 + 84.40)}{2} = 167.40 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ R_{t3} &= \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k} = \frac{\ln\left(\frac{7}{5}\right)}{2\pi(3 \text{ m})\left(0.036 \frac{\text{W}}{\text{m K}}\right)} = 0.4958 \frac{\text{K}}{\text{W}}\end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned}Q_{\text{COND3}} &= \frac{(277.05 - 167.40) \text{ K}}{0.4958 \frac{\text{K}}{\text{W}}} \\ &= 222.07 \text{ W}\end{aligned}$$

4. ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทผ่านผนังเตาเผา หลังคาของเตาเผา และผนังของปล่องไอเสีย ; $Q_{\text{COND TOTAL}}$.

$$\begin{aligned}Q_{\text{COND TOTAL}} &= Q_{\text{COND1}} + Q_{\text{COND2}} + Q_{\text{COND3}} \\ &= 374.78 + 29.97 + 222.07 \\ &= 626.82 \text{ W}\end{aligned}$$

การวิเคราะห์แก๊สไอเสีย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (flue gas analysis) ยี่ห้อ Testo รุ่น 350 ซึ่งสามารถตรวจวิเคราะห์แก๊สไอเสียแห้งได้แก่ O_2 CO_2 CO SO_x จากการหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของแก๊สต่าง ๆ โดยเริ่มเฉลี่ยตั้งแต่หน้าที่แรกที่ป้อนมูลฝอยจนถึงหน้าที่ที่ 115 จะได้ว่า

NO_x วัดไม่พบ

$$O_2 = 11.98 \%Vol$$

$$CO_2 = 10.69 \%Vol$$

$$CO = 1729.17 \text{ ppm} = \left(\frac{1729.17}{10^6} \right) \cdot 100 = 0.137 \%Vol$$

$$N_2 = (100 - O_2 - CO_2 - CO) = 77.15 \%Vol$$

ปริมาณน้ำในแก๊สไอเสีย (ไม่คิดไอน้ำในอากาศ) สามารถหาได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของไฮโดรเจน ที่มีอยู่ในมูลฝอย สำหรับไบโม่แห้ง จะมีน้ำ H₂O เท่ากับ 5.936 %Vol

เพราะฉะนั้น

$$\%CO_2 + \%O_2 + \%CO + \%N_2 + \%H_2O = 100$$

$$100 - \%H_2O = \%CO_2 + \%O_2 + \%CO + \%N_2$$

$$100 - 5.936 = 94.07\%$$

จะได้ว่า wet flue gas จะประกอบด้วย 94.07% ของ dry flue gas ดังแสดงในตารางที่ A1

ตารางที่ A1 แสดงค่าที่ได้จากการทำ flue gas analysis

แก๊ส		Wet Analysis % by volume
CO ₂	(10.69/100)(94.07/100)	= 10.05 %
CO	(0.173/100)(94.07/100)	= 0.16 %
O ₂	(11.98/100)(94.07/100)	= 11.26 %
N ₂	(77.15/100)(94.07/100)	= 72.57 %
H ₂ O		= 5.936 %
		รวม 100 %

ดังนั้นจึงสามารถหา relative mass ของ flue gas ได้ดังแสดงในตารางที่ A2

ตารางที่ A2 แสดงค่า relative mass (425.3°C , 1 บรรยากาศ) ของ flue gas

Wet Analysis	Molecular Mass kg/kmol	Relative Mass kg/kmol	% Mass
CO ₂	0.1005 x 44	= 4.42200	15.01
CO	0.0016 x 28	= 0.04480	0.15
O ₂	0.1126 x 32	= 3.60320	12.23
N ₂	0.7257 x 28	= 20.31960	68.98
H ₂ O	0.0593 x 18	= 1.06740	3.62
		รวม 29.45700	100

จาก Avagadro's hypothesis ที่อุณหภูมิ 0°C ความดัน 0.1 MPa แก๊สทุกชนิดจะมี ปริมาตรเท่ากับ 22.4 m^3 เพราะฉะนั้นที่อุณหภูมิของ flue gas, T_{g4} เท่ากับ 425.3°C สามารถคำนวณปริมาตรของแก๊สที่อุณหภูมินี้ได้

$$V_{g(425^{\circ}\text{C}, 0.1 \text{ MPa})} = \frac{22.4 \times (425.3 + 273)}{273}$$

$$= 57.30 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}$$

ดังนั้นความหนาแน่นของแก๊สจะได้

$$\rho_g = \frac{M_g}{V_g}$$

เมื่อ

M_g แทน น้ำหนักโมเลกุลของแก๊ส, kg/kmol

V_g แทน ปริมาตรของแก๊ส, m^3/kmol

เพราะฉะนั้น

$$\rho_g = \frac{29.457}{57.30} = 0.514 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของแก๊สไอเสีย

ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของแก๊สไอเสีย คำนวณได้จากการแทนค่าอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย T_{g4} และส่วนประกอบของแก๊สไอเสียในสมการ [17]

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

เมื่อ

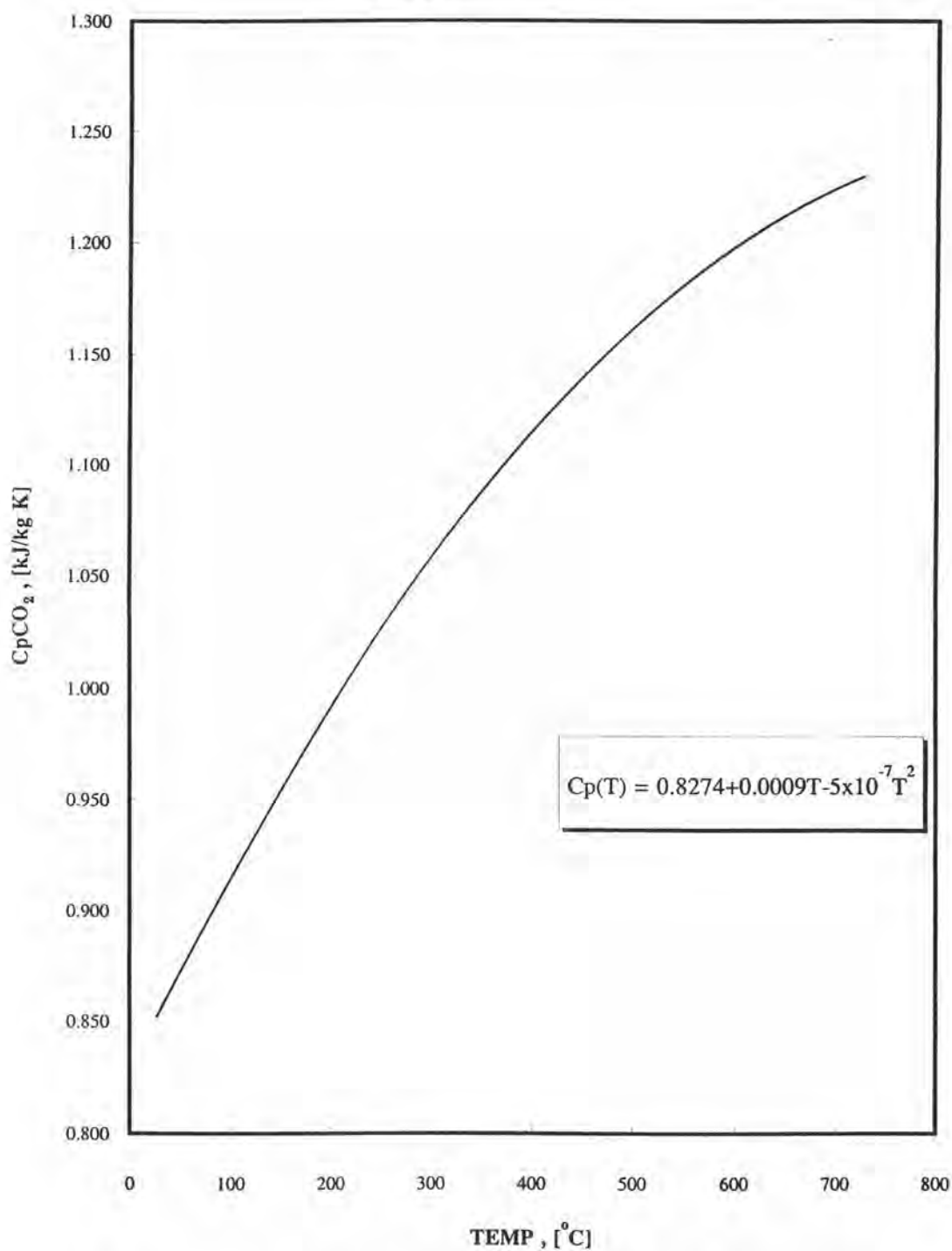
$\% \text{CO}_2, \% \text{O}_2, \% \text{CO}, \% \text{H}_2\text{O}$ และ $\% \text{N}_2$ แทน ส่วนประกอบของแก๊สไอเสียเป็นเปอร์เซ็นต์โดยมวล
 $c_{p_{\text{CO}_2}}, c_{p_{\text{O}_2}}, c_{p_{\text{CO}}}, c_{p_{\text{H}_2\text{O}}}$ และ $c_{p_{\text{N}_2}}$ แทน ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของแก๊สต่าง ๆ

ดังนั้นที่อุณหภูมิของแก๊สไอเสีย T_{g4} เท่ากับ $425.3 \text{ }^\circ\text{C}$ สามารถหาค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของแก๊สต่าง ๆ ได้จากรูปที่ A1 ถึงรูปที่ A5 ดังนี้ [8]

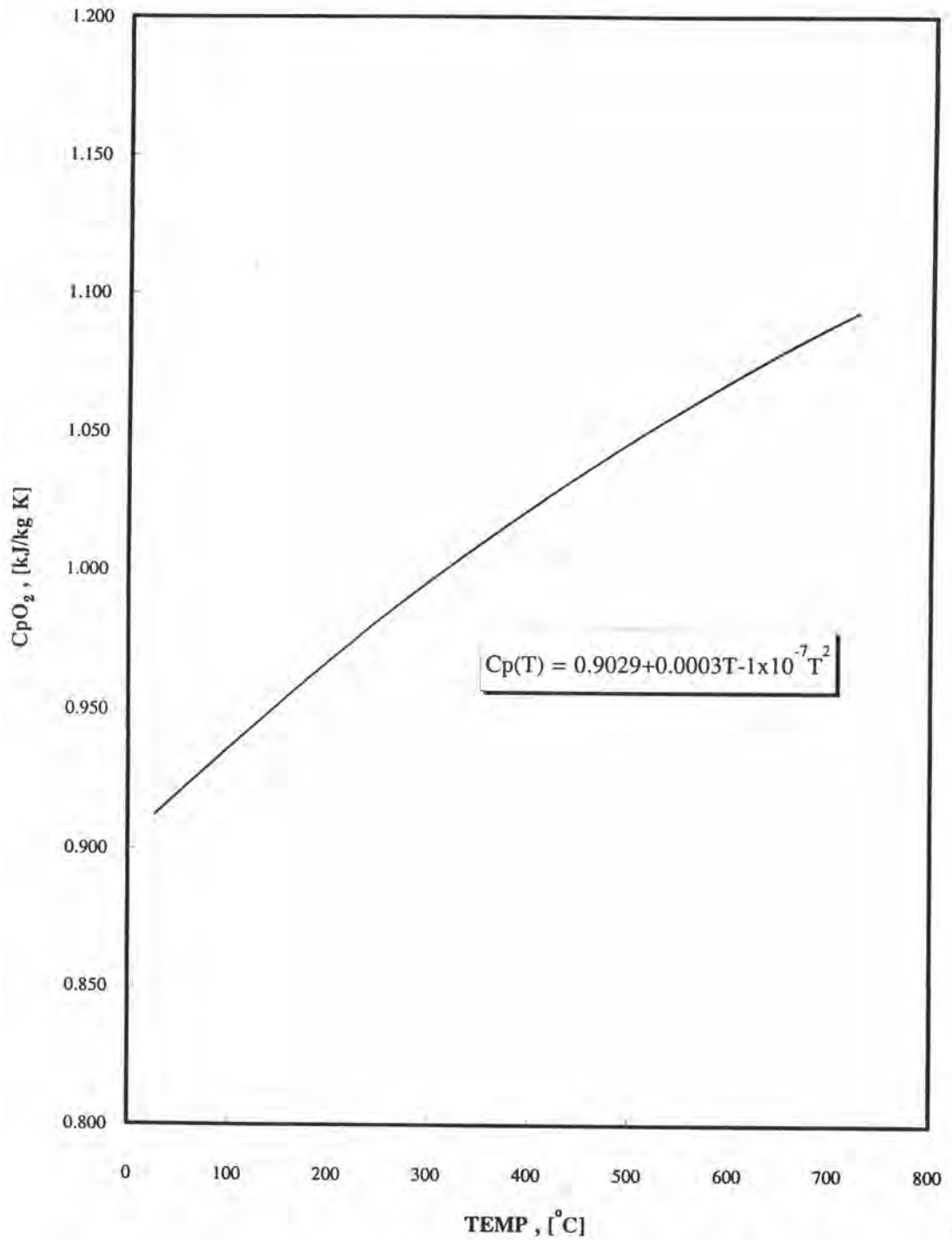
$$\begin{aligned} c_{p_{\text{CO}_2}} &= 1.1197 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \\ c_{p_{\text{O}_2}} &= 1.0124 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \\ c_{p_{\text{CO}}} &= 1.1157 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \\ c_{p_{\text{N}_2}} &= 1.0943 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \\ c_{p_{\text{H}_2\text{O}}} &= 2.1517 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \end{aligned}$$

ดังนั้น

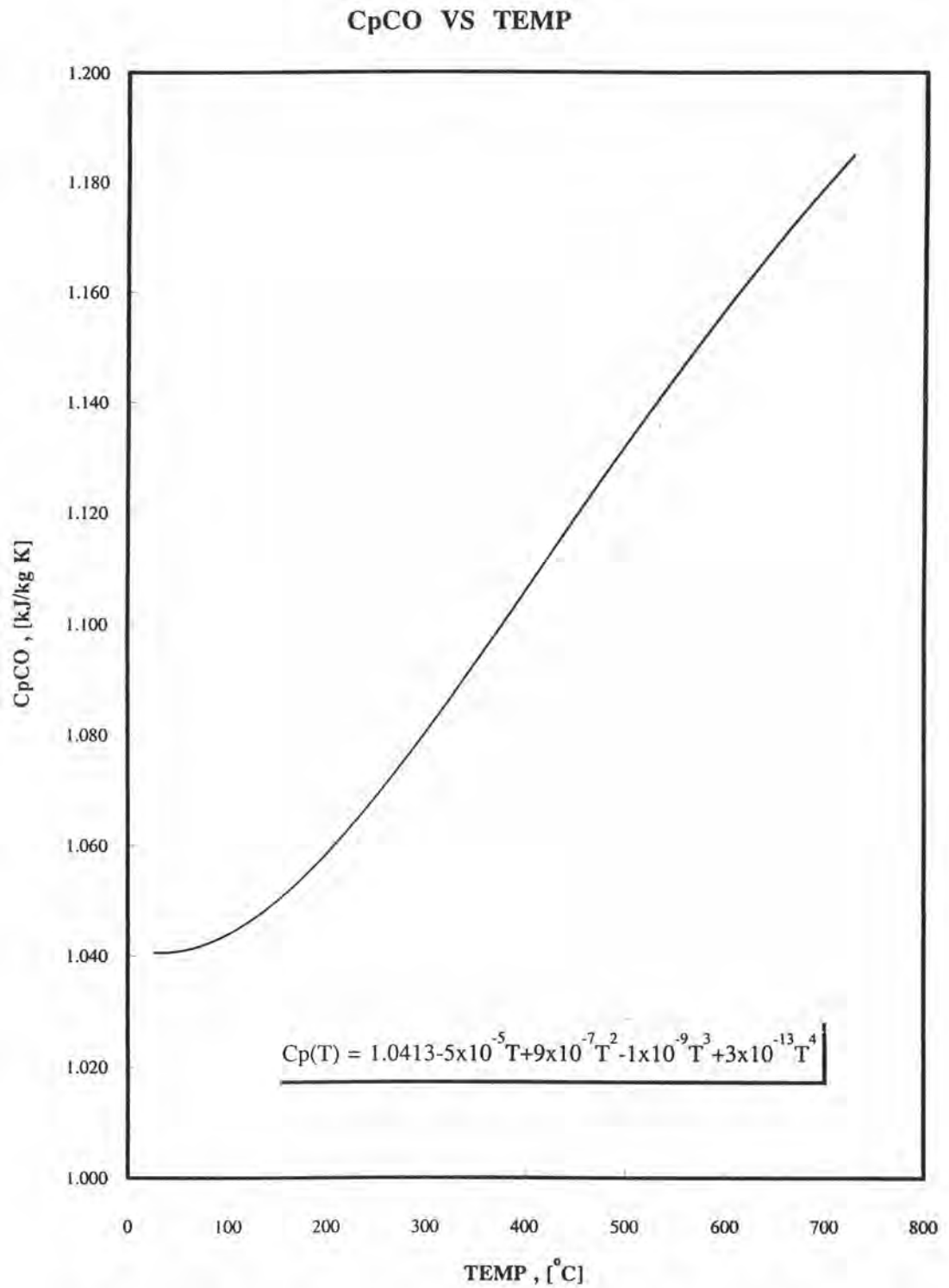
$$\begin{aligned}
 \bar{c}_{p_g} &= \left[1.1197 \cdot \left(\frac{15.01}{100} \right) + 1.0124 \cdot \left(\frac{12.23}{100} \right) + 1.1157 \cdot \left(\frac{0.15}{100} \right) + 2.1517 \cdot \left(\frac{3.62}{100} \right) + \dots \right. \\
 &\quad \left. \dots + 1.0943 \cdot \left(\frac{68.98}{100} \right) \right] \\
 &= 0.1681 + 0.1238 + 0.0017 + 0.0779 + 0.7548 \\
 &= 1.1263 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}
 \end{aligned}$$

CpCO₂ VS TEMP

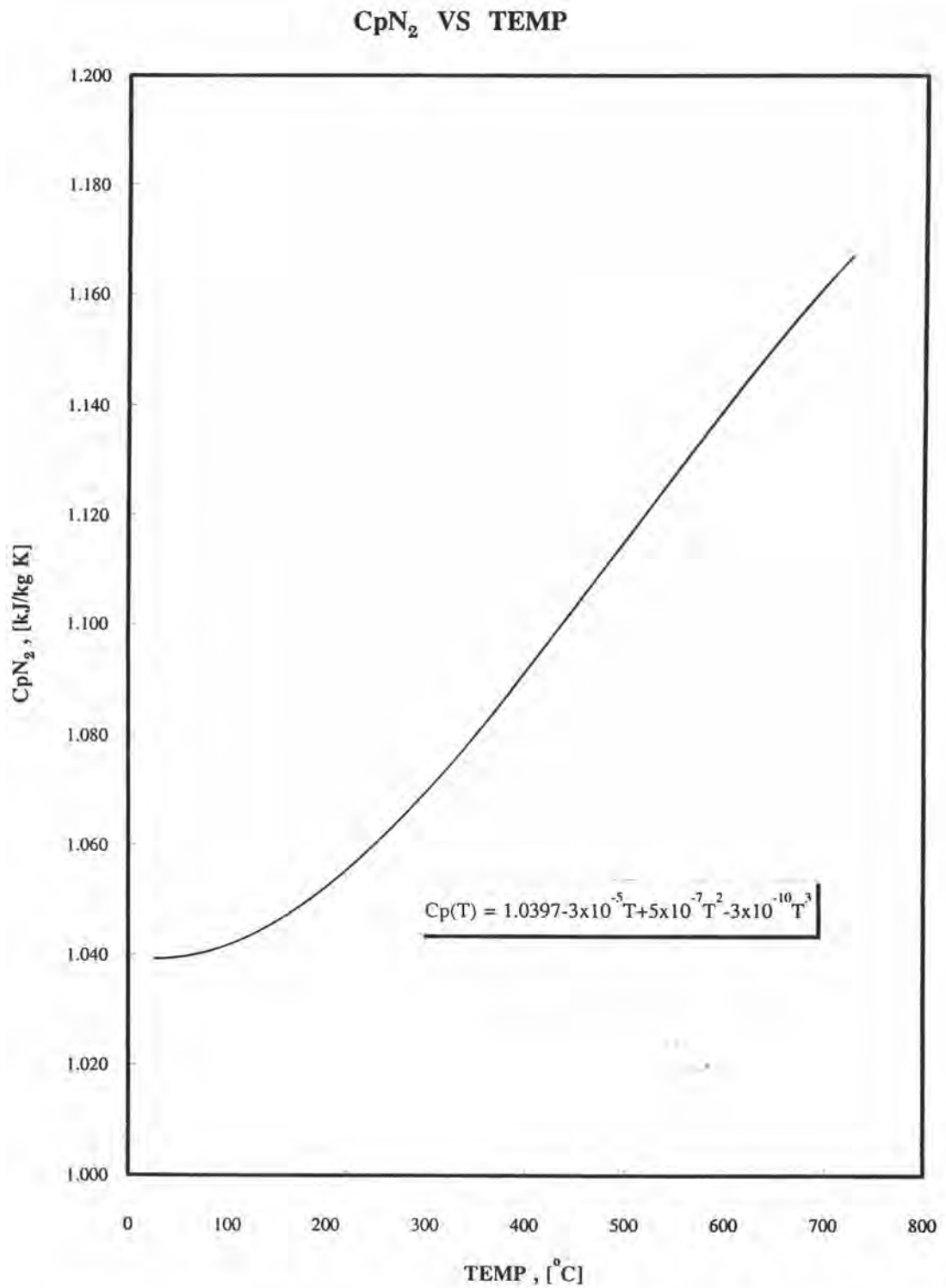
รูปที่ A1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย

CpO₂ VS TEMP

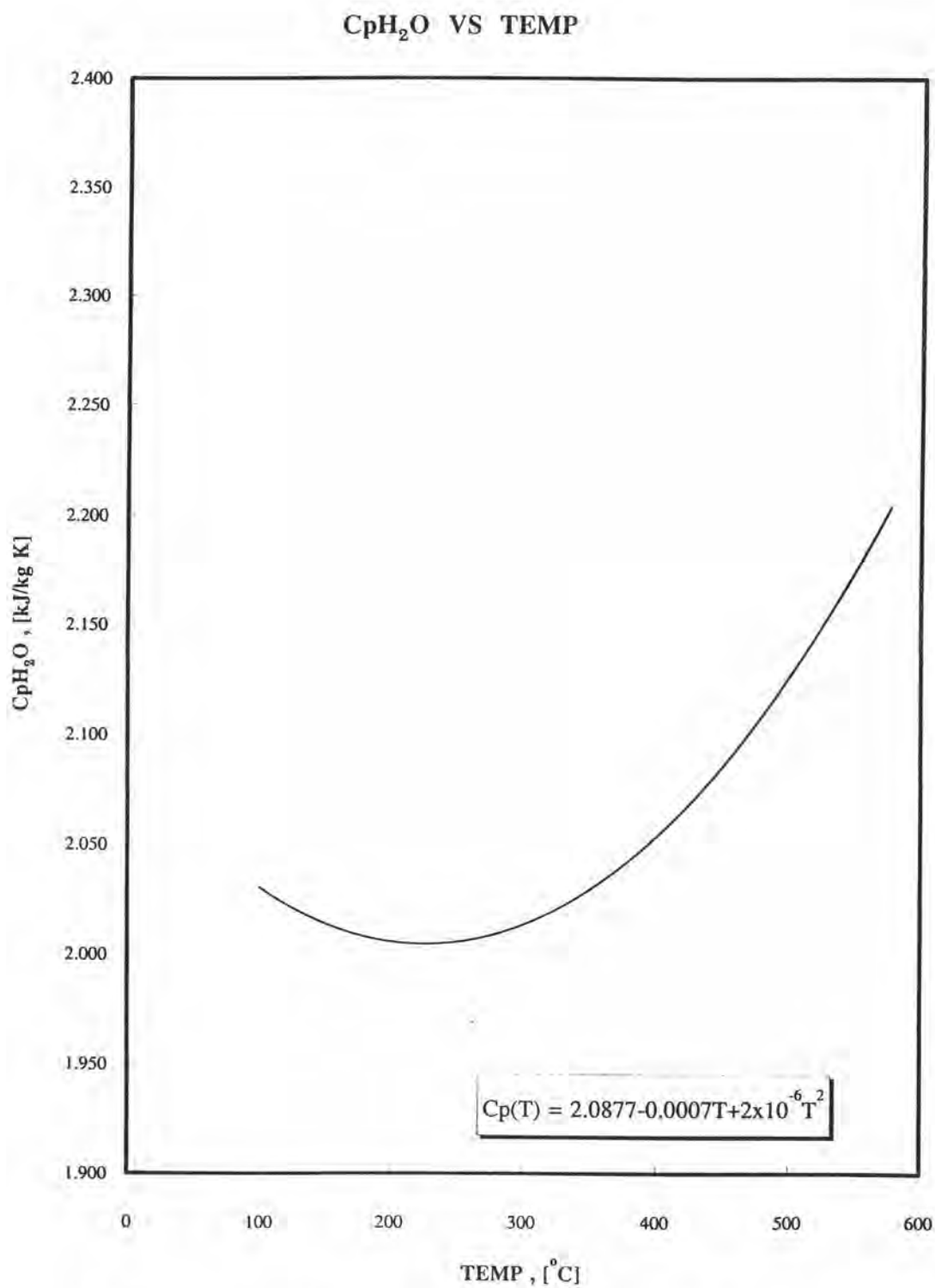
รูปที่ A2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของแก๊ส ออกซิเจนกับอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย



รูปที่ A3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กับอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย



รูปที่ A4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของแก๊สไนโตรเจนกับอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย



รูปที่ A5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของน้ำ กับอุณหภูมิของแก๊สไอเสี่ย

การคำนวณอัตราการไหลโดยมวลของแก๊สไอเสีย , m_{ag}

จากสมการ

$$m_{ag} = \frac{CA\sqrt{2\rho_g\rho_wgh_g}}{\sqrt{1-\beta^4}}$$

เมื่อ

- d แทน เส้นผ่าศูนย์กลางของ orifice , m
- D แทน เส้นผ่าศูนย์กลางของปล่องไอเสีย , m
- ρ_g แทน ความหนาแน่นของแก๊สไอเสีย , kg/m^3
- ρ_w แทน ความหนาแน่นของน้ำ , kg/m^3
- Δh_w แทน ความสูงของน้ำในมาโนมิเตอร์ , mm
- A แทน พื้นที่หน้าตัดของ orifice , m^2

โดยที่ $\beta = \frac{d}{D} = \frac{5}{10} = 0.5$ และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลได้จากสมการ [21]

$$C = 0.5959 + 0.0312\beta^{2.1} - 0.184\beta^8 + 0.0029\beta^{2.5}\left[\frac{10^6}{Re}\right]^{0.75} + \left[\frac{2.286}{D}\right]\beta^4(1-\beta^4)^{-1} - \dots - \left[\frac{0.85598}{D}\right]\beta^3$$

จากการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณพบว่า C มีค่าเท่ากับ 0.784 เพราะฉะนั้น

$$m_{ag} = \frac{(0.784) \cdot \frac{\pi}{4} \left(\frac{5 \times 2.54}{100}\right)^2 \text{ m}^2 \cdot \sqrt{2 \left(0.514 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \left(8 \times 10^{-3} \text{ m}\right)}}{\sqrt{1-0.5^4}}$$

$$= 0.0920 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

ปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกจากปล่องไอเสีย

$$\begin{aligned} Q_{\text{FLUE GAS}} &= m_{\text{ag}} \bar{c}_{p_g} (T_{g4} - T_a) \\ &= 0.0920 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1.1263 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (425.30 - 29.50) \text{K} \\ &= 41.0 \text{ kW} \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผา (thermal efficiency)

$$\eta_{\text{THERMAL}} = \frac{Q_{\text{FLUE GAS}}}{Q_{\text{LHV}}} \times 100$$

เมื่อ

$Q_{\text{FLUE GAS}}$ แทน พลังงานความร้อนที่ปล่อยออกจากปล่องไอเสีย, kW
 Q_{LHV} แทน ค่าความร้อนต่ำของมูลฝอยและเชื้อเพลิง, kW

โดยที่

$$Q_{\text{LHV}} = \frac{\dot{m}_{\text{FEED}} \times \text{LHV}}{3.6}$$

เมื่อ

LHV แทน ค่าความร้อนต่ำของมูลฝอย, MJ/kg

\dot{m}_{FEED} แทน อัตราการป้อนมูลฝอย, kg/h

ซึ่งเป็นค่าที่หาได้จากการทดสอบหาค่าความร้อนด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า bomb calorimeter หรือการใช้สมการของ Dulong ค่าความร้อนต่ำของกระดาษและใบไม้แห้งมีค่าเท่ากับ 18.88 MJ/kg และ 13.92 MJ/kg ตามลำดับ

ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผามูลฝอยที่อัตราการป้อนเท่ากับ 25 kg/h และที่ 0 %EA ของมูลฝอยใบไม้แห้งคำนวณได้ $Q_{\text{FLUE GAS MAX}}$ เท่ากับ 37.92 kW จะได้ว่า

$$\eta_{\text{THERMAL}} = \frac{3.6(41.0 \text{ kW})}{25 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 18.88 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} \times 100 = 31.27\%$$

ตารางที่ A3 แสดงน้ำหนักเชื้อเพลิงสำหรับการเผาผลาญไบโอมแห่งของเตาเผาผลาญที่อัตราการป้อนเท่ากับ 25 kg/h

%EA	\dot{m}_{FEED} (kg/h)	t_{FEED} (h)	W_{ASH} (kg)
0	25	1.833	3.8
40	25	1.833	3.3
80	25	1.833	2.5
120	25	1.833	2.2
130	25	1.833	1.6

ตารางที่ A4 แสดงน้ำหนักเชื้อเพลิงสำหรับการเผาผลาญไบโอมแห่งของเตาเผาผลาญที่อัตราการป้อนเท่ากับ 50 kg/h

%EA	\dot{m}_{FEED} (kg/h)	t_{FEED} (h)	W_{ASH} (kg)
0	50	1.833	15.4
40	50	1.833	13.7
80	50	1.833	12.2
120	-	-	-
130	-	-	-

ตารางที่ A5 แสดงน้ำหนักเชื้อเพลิงสำหรับการเผาผลาญกระดาษของเตาเผาผลาญที่อัตราการป้อนเท่ากับ 25 kg/h

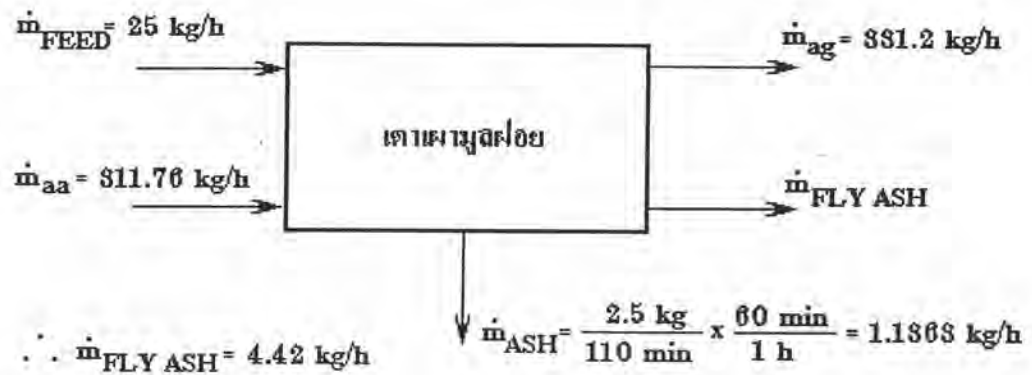
%EA	\dot{m}_{FEED} (kg/h)	t_{FEED} (h)	W_{ASH} (kg)
0	25	1.5	5.4
40	25	2.33	6.8
80	25	1.5	3.7
120	25	1.5	2.8
130	25	2.0	3.2

ตารางที่ A6 แสดงน้ำหนักเชื้อเพลิงสำหรับการเผาผลาญกระดาษของเตาเผาผลาญที่อัตราการป้อนเท่ากับ 50 kg/h

%EA	\dot{m}_{FEED} (kg/h)	t_{FEED} (h)	W_{ASH} (kg)
0	50	1.0	10.3
40	-	-	-
80	50	1.33	11.6
120	-	-	-
130	50	1.33	10.5

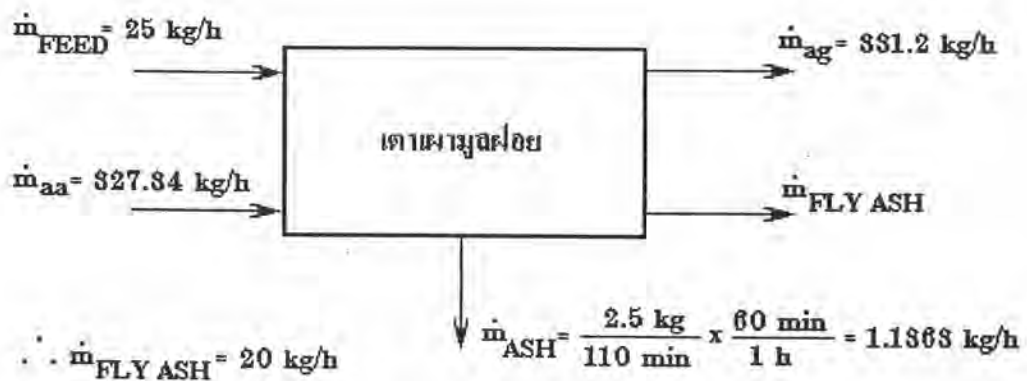
สมดุลมวลของเตาเผามูลฝอย

เผามูลฝอยใบไม้แห้งที่ 80%EA



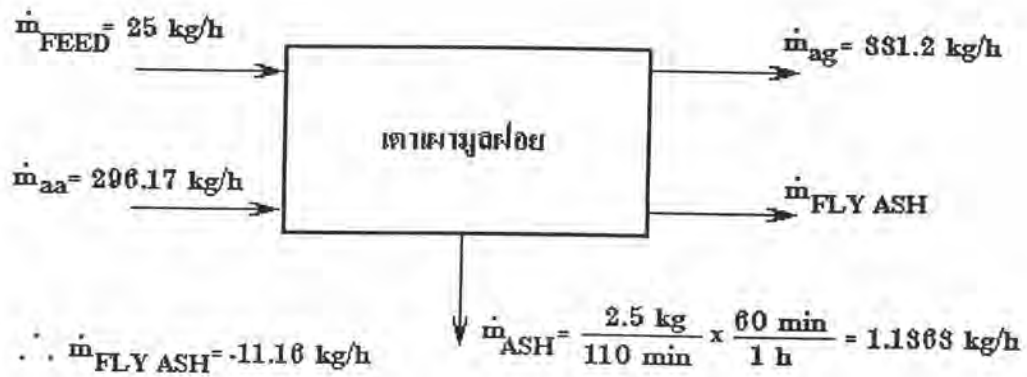
1. กรณีอ่าน m_{aa} ผิดพลาดไป +5%

$$\dot{m}_{\text{aa}} = 311.76 + \left(\frac{311.76 \times 5}{100} \right) = 327.34 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



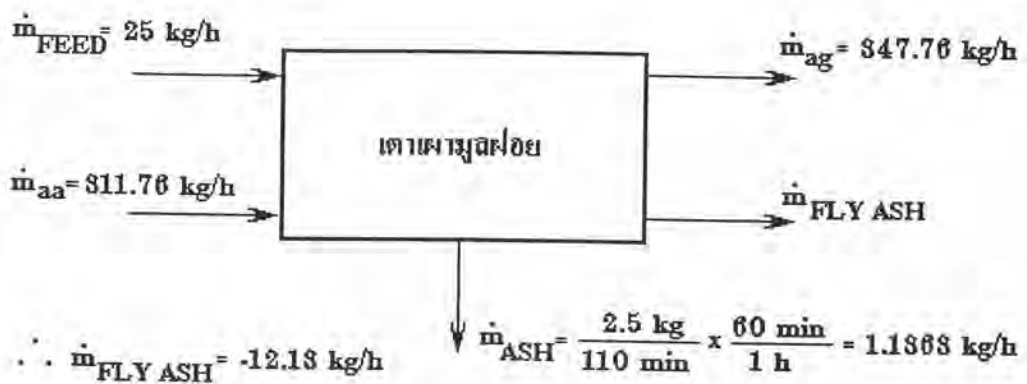
2. กรณีอ่าน m_{aa} ผิดพลาดไป -5%

$$\dot{m}_{aa} = 311.76 - \left(\frac{311.76 \times 5}{100} \right) = 269.17 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



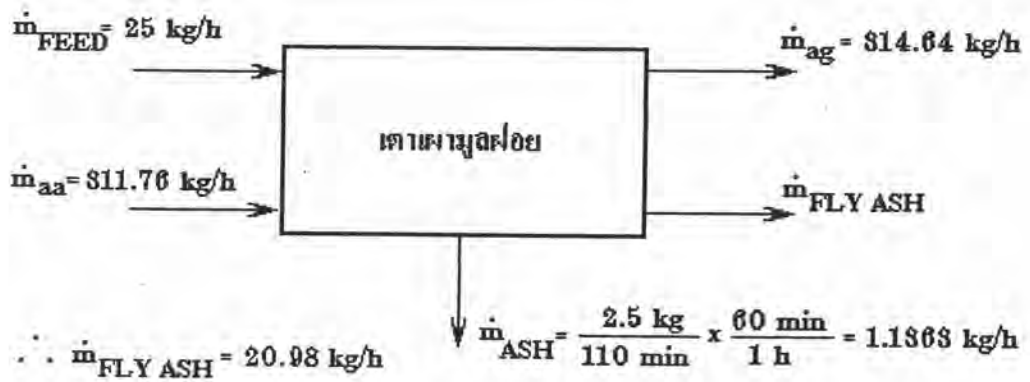
3. กรณีอ่าน m_{ag} ผิดพลาดไป +5%

$$\dot{m}_{ag} = 331.2 + \left(\frac{331.2 \times 5}{100} \right) = 347.76 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

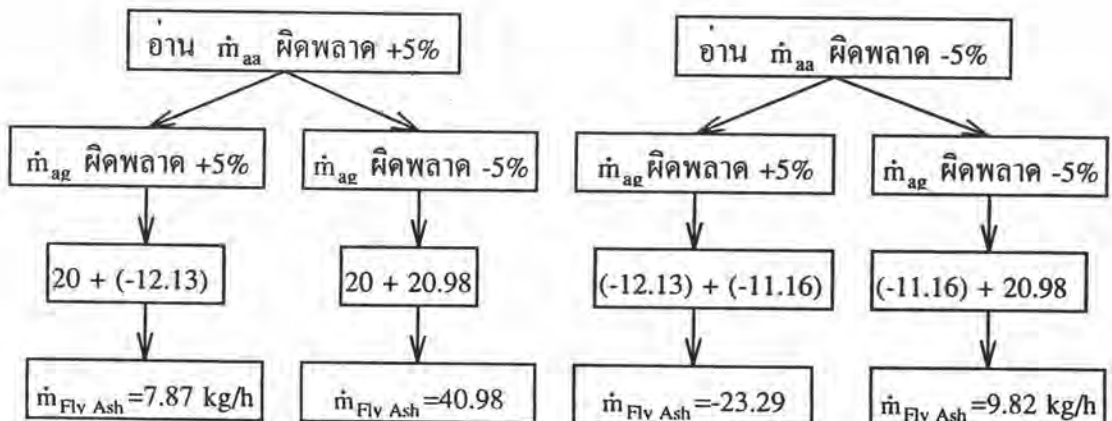


4. กรณีอ่าน \dot{m}_{ag} ผิดพลาดไป -5%

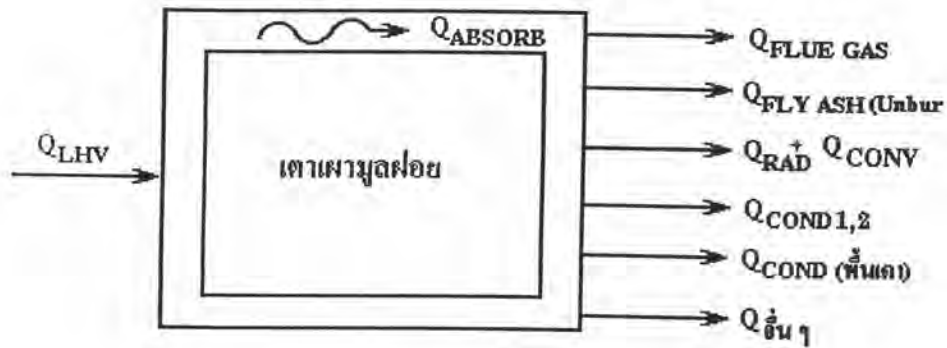
$$\dot{m}_{ag} = 331.2 - \left(\frac{331.2 \times 5}{100} \right) = 314.64 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$



ความผิดพลาด	$\dot{m}_{Fly Ash}$ (kg/h)
อ่าน \dot{m}_{aa} ผิดพลาด +5%	20
อ่าน \dot{m}_{aa} ผิดพลาด -5%	-11.16
อ่าน \dot{m}_{ag} ผิดพลาด +5%	-12.13
อ่าน \dot{m}_{ag} ผิดพลาด -5%	20.98



สมดุลพลังงานความร้อน



$$Q_{in} = Q_{out}$$

ความร้อนเข้า, Q_{input}

$$\begin{aligned} Q_{LHV} &= Q_{HHV} - Q_{H_2} \\ &= \left(\frac{HHV \times \dot{m}_{FEED}}{3.6} \right) - \left(\frac{9 \dot{m}_{H_2} \bar{h}_{fg250C} \dot{m}_{FEED}}{100 \times 3600} \right) \\ &= \left(\frac{20.23 \times 25}{3.6} \right) - \left(9 \times \frac{6.11}{100} \times \frac{2442.3 \times 25}{3600} \right) \\ &= 140.48 - 9.326 \end{aligned}$$

$$\therefore Q_{LHV} = 131.15 \text{ kW}$$

ความร้อนออก, Q_{output} (80%EA, 25 kg/h)

$$Q_{FLUE GAS} = 41.0 \text{ kW}$$

$$Q_{COND1,2} = 0.37478 + 0.02997 = 0.4048 \text{ kW}$$

$$Q_{FLY ASH (Unburn)} = \frac{\dot{m}_{FLY ASH} \times (32,750)}{3600}, \text{ kW}$$

ใช้ $\dot{m}_{FLY ASH}$ กรณีอ่าน \dot{m}_{aa} ผิดพลาด +5% และอ่าน \dot{m}_{ag} ผิดพลาด +5% จะใช้ $\dot{m}_{FLY ASH}$ เท่ากับ 7.87 kg/h

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{FLY ASH}} &= 7.87 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \\ 32,750 &= \text{ค่าความร้อนของธาตุคาร์บอน} , \text{ kW} \\ &= \frac{7.87 \times 32,750}{3,600} \\ &= 71.59 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{\text{RAD}} + Q_{\text{CONV}} &= \dot{m}_{\text{ag}} \bar{c}_{\text{pg}} (T_{\text{g3}} - T_{\text{g4}}) + Q_{\text{COND3}} \\ &= 0.0920 \times 1.1263 (437.20 - 425.3) \\ &= 1.233 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$Q_{\text{COND}} (\text{พื้นเตา}) = \left(\frac{T_{\text{Si}} - T_{\text{So}}}{R} \right) A_{\text{พื้นเตา}}$$

$$R = \left(\frac{L}{k} \right)_{\text{อิฐทนไฟ}} + \left(\frac{L}{k} \right)_{\text{แผ่นเหล็ก}}$$

$L_{\text{อิฐทนไฟ}}$ แทน ความหนาของอิฐทนไฟ = 7 cm

$L_{\text{แผ่นเหล็ก}}$ แทน ความหนาของแผ่นเหล็ก = 5 cm

$$T_{\text{Si}} \approx T_{\text{Si1}} = 140^\circ \text{C} , T_{\text{So}} \approx T_{\text{So1}} = 29.5^\circ \text{C}$$

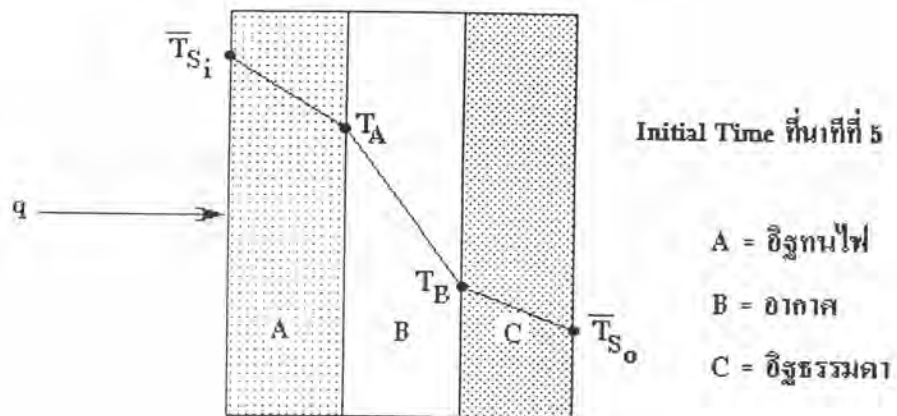
$$\begin{aligned}\therefore Q_{\text{COND}} (\text{พื้นเตา}) &= \frac{(140 - 29.5)(0.8 \times 0.8)}{\left(\frac{7 \times 10^{-2}}{1.176} \right) + \left(\frac{5 \times 10^{-3}}{48.5} \right)} \\ &= \frac{110.5 \times 0.64}{0.06} = 1178.66 \text{ W} \\ &= 1.17866 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$Q_{\text{ABSORB}} = M c_p \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right)$$

เมื่อ

- Q_{ABSORB} แทน พลังงานความร้อนที่ดูดซับโดยผนังด้านต่าง ๆ ของเตาเผามูลฝอย
- M แทน มวลของผนัง , kg
- c_p แทน ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุ
- ΔT แทน ผลต่างของอุณหภูมิที่เวลาที่ใช้คำนวณหา Q_{ABSORB}
- Δt แทน ผลต่างของเวลาที่ใช้คำนวณหา Q_{ABSORB}
- Q_{ABSORB1} แทน พลังงานความร้อนที่ดูดซับโดยผนังด้านข้างทั้ง 4 ด้าน

ผนังด้านข้าง



$$R_A = 0.09778 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_B = 1.9389 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_C = 0.1411 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}_{Si} &= \frac{T_{Si1} + T_{Si2} + T_{Si3}}{3} \\ &= \frac{94.8 + 100 + 104.5}{3} \\ &= 99.77 \text{ }^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}_{So} &= \frac{T_{So1} + T_{So2} + T_{So3}}{3} \\ &= \frac{29.3 + 29.8 + 29.6}{3} \\ &= 29.57 \text{ }^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

จาก

$$q = \frac{\bar{T}_{Si} - \bar{T}_{So}}{\sum R_T} \quad (1)$$

$$\sum R_T = R_A + R_B + R_C$$

$$\therefore q = \frac{\bar{T}_{Si} - T_A}{R_A} = \frac{T_A - T_B}{R_B} = \frac{T_B - \bar{T}_{So}}{R_C} \quad (2)$$

จากสมการ (1) จะได้

$$q = \frac{\bar{T}_{Si} - \bar{T}_{So}}{R_T} = \frac{99.77 - 29.57}{2.177} = 32.5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

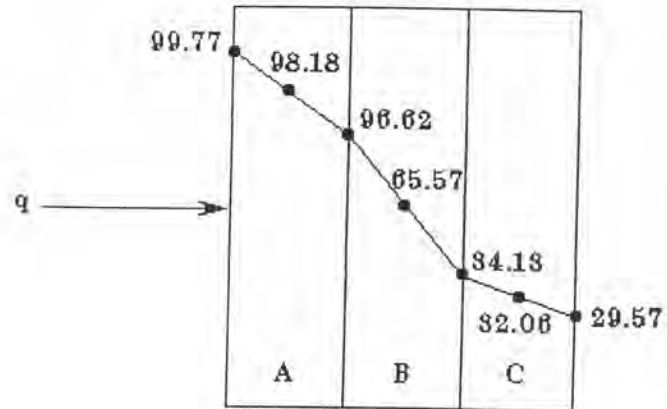
จากสมการ (2) จะได้

$$\begin{aligned}T_A &= \bar{T}_{Si} - (R_A q) \\ &= 99.77 - (0.09778 \times 32.5) \\ &= 96.62 \text{ }^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

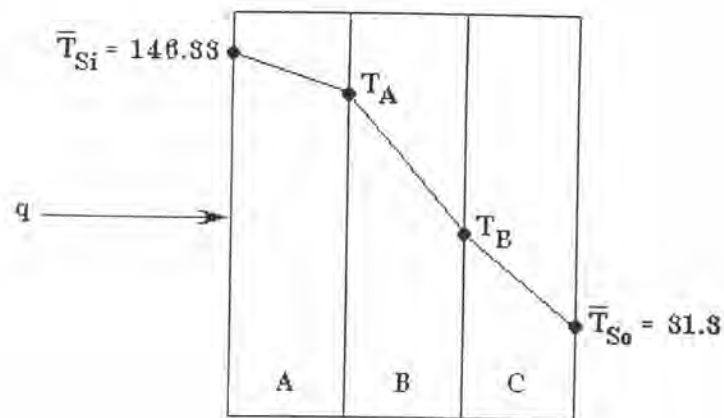
และ

$$\begin{aligned}T_B &= T_A - (R_B q) \\ &= 96.62 - (1.9389 \times 32.23) \\ &= 34.13 \text{ }^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นประมาณอุณหภูมิที่กึ่งกลางของวัสดุแต่ละชั้นจะได้ดังนี้



หาที่สุดท้ายที่หน้าที 115



จากสมการ (1)

$$q = \frac{(146.33 - 31.3)}{2.177} = 52.84 \text{ W}$$

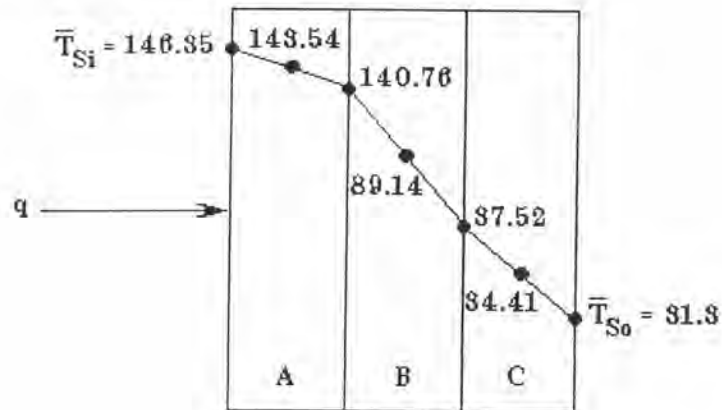
จากสมการ (2)

$$T_A = 146.33 - (0.09778) \times 52.84 = 140.76 \text{ } ^\circ\text{C}$$

และ

$$T_B = 140.76 - (1.9389) \times 52.84 = 37.52 \text{ } ^\circ\text{C}$$

เพราะฉะนั้นประมาณอุณหภูมิที่กึ่งกลางของวัสดุแต่ละชั้นจะได้ดังนี้



$$Q_{\text{ABSORB}_A} = M c_p \frac{\Delta T}{\Delta t} = \rho V c_p \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

เมื่อ

ρ_A แทน $2,000 \text{ kg/m}^3$

c_{pA} แทน 0.96 kJ/kg K

V แทน ปริมาตรของอิฐทนไฟจากแบบก่อสร้าง เท่ากับ 0.796 m^3

ΔT แทน ผลต่างของอุณหภูมิที่กึ่งกลางในช่วงเวลาหา Q_{ABSORB}

Δt แทน ช่วงเวลาที่คำนวณหา Q_{ABSORB}

$$\Delta t = (115 - 5) = 110 \text{ min} \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 6600 \text{ s}$$

เพราะฉะนั้น

$$Q_{\text{ABSORB}_A} = (2000 \times 0.796)(0.96) \frac{(143.54 - 98.18)}{6600} = 10.5 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{ABSORB}_B} = \rho V c_p \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

เมื่อ

$\rho_B = 1.17 \text{ kg/m}^3$, $c_{pB} = 1.007 \text{ kJ/kg K}$

ปริมาตรอากาศทั้งหมดจากแบบก่อสร้างเท่ากับ 0.972 m^3

เพราะฉะนั้น
$$Q_{\text{ABSORB}_B} = (1.17 \times 0.972) \times 1.007 \frac{(89.14 - 65.37)}{6600} = 4.12 \times 10^{-3} \text{ kW}$$

$$Q_{\text{ABSORB}_C} = \rho V c_p \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

เมื่อ $\rho_C = 1930 \text{ kg/m}^3$, $C_{p\text{อิฐธรรมดา}} = 0.835 \text{ kJ/kg K}$

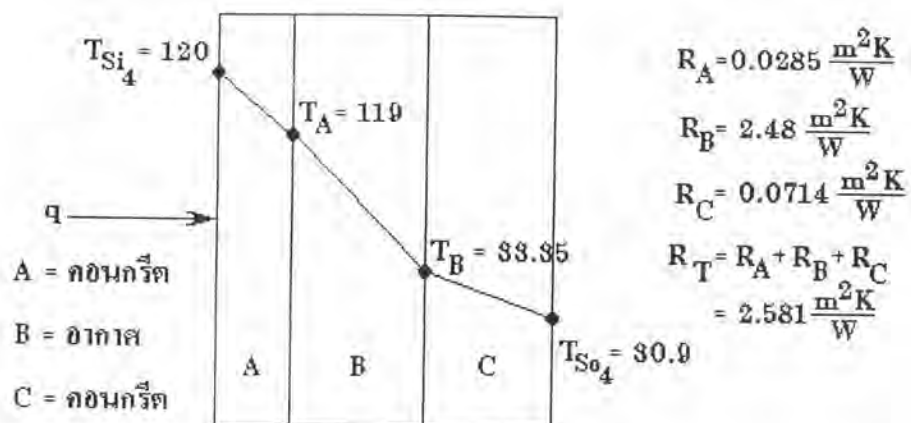
ปริมาตรของอิฐธรรมดาเท่ากับ 1.148 m^3

$$Q_{\text{ABSORB}_C} = (1930)(1.148)(0.835) \frac{(34.41 - 32.06)}{6600} = 0.659 \text{ kW}$$

เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} Q_{\text{ABSORB}_1} &= Q_{\text{ABSORB}_A} + Q_{\text{ABSORB}_B} + Q_{\text{ABSORB}_C} \\ &= 10.5 \text{ kW} + 4.08 \times 10^{-3} \text{ kW} + 0.659 \text{ kW} \\ &= 11.16 \text{ kW} \end{aligned}$$

พลังงานความร้อนที่ดูดซับโดยผนังเตาด้านบน Q_{ABSORB_2}



เริ่มต้นหน้าที่ 5 จากสมการ (1)

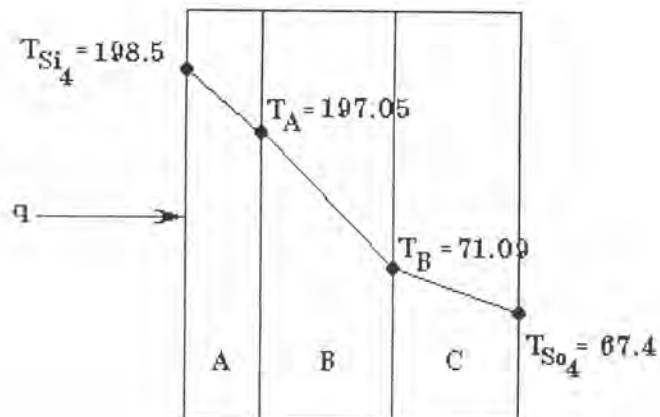
$$q = \frac{(T_{Si_4} - T_{So_4})}{R_T} = \frac{(120 - 30.9)}{2.581} = 34.52 \frac{W}{m^2}$$

จากสมการ (2) จะได้

$$T_A = 120 - (0.0285)(34.52) = 119 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_B = 119 - (2.48)(34.52) = 33.35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

หน้าที่สุดท้ายหน้าที่ที่ 115



$$V_A = 0.0235 \text{ m}^3$$

$$V_B = 0.0766 \text{ m}^3$$

$$V_C = 0.05894 \text{ m}^3$$

จากสมการ (1)

$$q = \frac{(198.5 - 67.40)}{2.581} = 50.74 \frac{W}{m^2}$$

จากสมการ (2)

$$T_A = 198.50 - (0.0285)(50.79) = 197.05 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_B = 197.05 - (2.48)(50.79) = 71.09 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{ABSORB}_A} = \rho V c_p \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

เมื่อ $\rho_A = 2000 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 0.88 \text{ kg/K W}$ จะได้ว่า

$$Q_{\text{ABSORB}_A} = \frac{2000 \times 0.0235 \times 0.88}{6600} \left(\frac{198.5 - 197.05}{2} - \frac{120 + 119}{2} \right) = 0.49 \text{ kW}$$

เมื่อ $\rho_B = 1.17 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 1.007 \text{ kJ/kg K}$ จะได้ว่า

$$Q_{\text{ABSORB}_B} = \frac{1.17 \times 0.0766 \times 1.007}{6600} \left(\frac{197.05 - 71.09}{2} - \frac{119 + 33.35}{2} \right) = 7.91 \times 10^{-4} \text{ kW}$$

และ

$$Q_{\text{ABSORB}_C} = \frac{2000 \times 0.0589 \times 0.88}{6600} \left(\frac{71.09 - 67.40}{2} - \frac{33.35 + 30.95}{2} \right) = 0.582 \text{ kW}$$

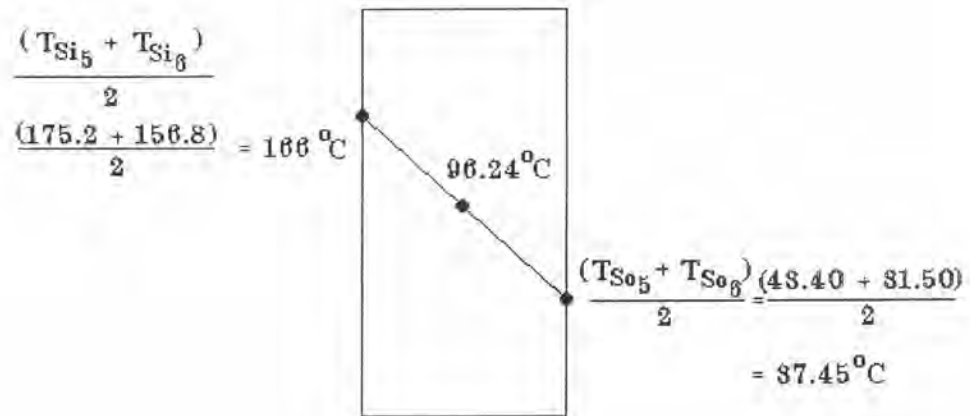
เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} Q_{\text{ABSORB}_2} &= Q_{\text{ABSORB}_A} + Q_{\text{ABSORB}_B} + Q_{\text{ABSORB}_C} \\ &= 0.49 + 7.91 \times 10^{-4} + 0.582 \\ &= 1.07 \text{ kW} \end{aligned}$$

พลังงานความร้อนที่ดูดซับโดยผนังของปล่องไอเสีย , Q_{ABSORB_3}

เนื่องจากเหล็กแผ่นของปล่องไอเสียมีความหนา 3 mm ดังนั้นอุณหภูมิ T_{Si_5} , T_{Si_6} ก็คืออุณหภูมิผนังด้านในของฉนวนที่หุ้มปล่องไอเสีย

นาทีเริ่มต้นที่นาทีที่ 5

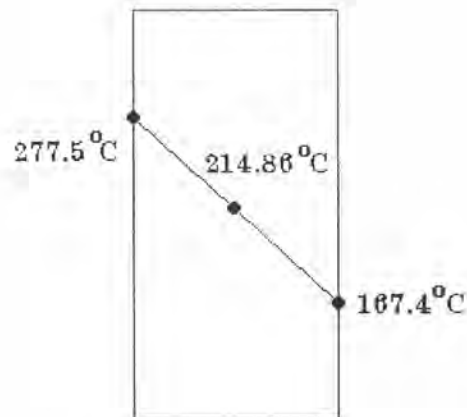


$$V_{\text{ไอน้ำ}} = 0.12 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{ไอน้ำ}} = 48 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{p\text{ไอน้ำ}} = 0.795 \text{ kJ/kg K}$$

นาทีสุดท้ายที่นาทีที่ 115



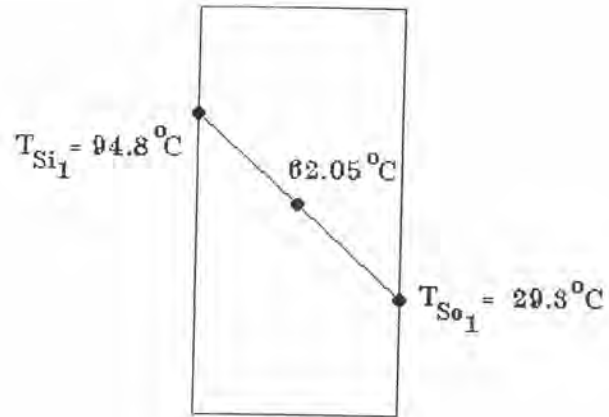
$$Q_{\text{ABSORB}_3} = \rho V c_p \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

$$= \frac{48 \times 0.12 \times 0.795}{6600} (214.86 - 96.24)$$

$$= 0.0823 \text{ kW}$$

พลังงานความร้อนดูดซับโดยผนังเตาด้านล่าง, Q_{ABSORB_4}

นาทีเริ่มต้นที่นาทีที่ 5

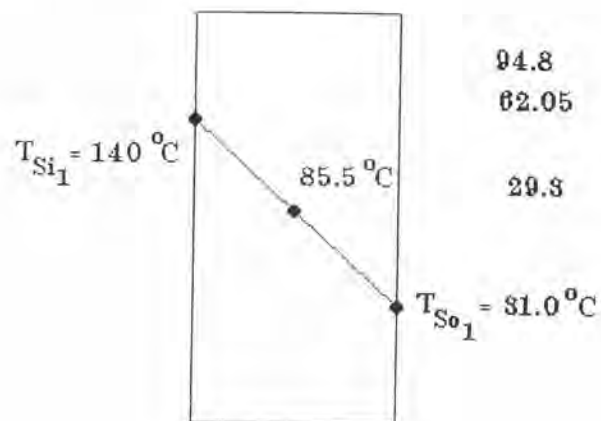


$$V_{\text{อิฐทนไฟ}} = 0.0448 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{อิฐทนไฟ}} = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{p\text{อิฐทนไฟ}} = 0.76 \text{ kJ/kg K}$$

นาทีสุดท้ายที่นาทีที่ 115



$$Q_{\text{ABSORB}_4} = \rho V c_p \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

$$= \frac{2000 \times 0.0448 \times 0.96}{6600} (88.5 - 62.05)$$

$$= 0.30 \text{ kW}$$

เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} Q_{\text{ABSORB}} &= Q_{\text{ABSORB}_1} + Q_{\text{ABSORB}_2} + Q_{\text{ABSORB}_3} + Q_{\text{ABSORB}_4} \\ &= 11.163 + 1.07 + 0.0823 + 0.30 \\ &= 12.61 \text{ KW} \end{aligned}$$

Q_{INPUT}	Q_{OUTPUT}	kW	%
$Q_{\text{LHV}} = 131.15 \text{ kW}$	$Q_{\text{FLUE GAS}}$	41.0	31.26
	Q_{ABSORB}	12.61	9.61
	$Q_{\text{FLY ASH (Unburn)}}$	71.59	54.58
	$Q_{\text{RAD+CONV}}$	1.233	0.94
	$Q_{\text{COND1,2}}$	0.4048	0.30
	$Q_{\text{COND (พื้นเตา)}}$	1.178	0.89
	$Q_{\text{LOSS(อื่นๆ)}}$	3.134	2.38

กรณีใช้ $\dot{m}_{\text{FLY ASH}}$ ที่อ่าน \dot{m}_{aa} และ \dot{m}_{ag} ถูกตองจะได้ $\dot{m}_{\text{FLY ASH}} = 4.42 \text{ kg/h}$

$$\begin{aligned} Q_{\text{FLY ASH (Unburn)}} &= \frac{\dot{m}_{\text{FLY ASH}} \times 32,750}{3600} \\ &= \frac{4.42 \times 32,750}{3600} \\ &= 40.20 \text{ kW} \end{aligned}$$

Q_{INPUT}	Q_{OUTPUT}	kW	%
$Q_{\text{LHV}} = 131.15 \text{ kW}$	$Q_{\text{FLUE GAS}}$	41.0	31.26
	Q_{ABSORB}	12.61	9.61
	$Q_{\text{FLY ASH (Unburn)}}$	40.20	40.65
	$Q_{\text{RAD+CONV}}$	1.233	0.94
	$Q_{\text{COND1,2}}$	0.4048	0.30
	$Q_{\text{COND (พื้นเตา)}}$	1.178	0.89
	$Q_{\text{LOSS(อื่นๆ)}}$	34.52	26.32

การคำนวณหาปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดสอบ

การคำนวณหาปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้มูลฝอย โดยอาศัยผลการสันดาปขององค์ประกอบของธาตุในมูลฝอยแต่ละตัว ดังสมการ

$$m_{\text{a}} = 11.49 m_{\text{C}} + 34.5 \left(m_{\text{H}} - \frac{m_{\text{O}}}{8} \right) + 4.3 m_{\text{S}}$$

สำหรับมูลฝอยประเภทใบไม้แห้งและกระดาษมีองค์ประกอบที่สำคัญในหน่วยน้ำหนักของมูลฝอย ดังแสดงในตารางที่ A7

ตารางที่ A7 แสดงองค์ประกอบที่สำคัญในหน่วยน้ำหนักของมูลฝอยใบไม้แห้งและกระดาษ

ธาตุองค์ประกอบ	ใบไม้แห้ง (kg/kg _{มูลฝอย})	กระดาษ (kg/kg _{มูลฝอย})
m_C	0.5215	0.435
m_H	0.0611	0.06
m_O	0.3034	0.44
m_N	0.0699	0.0699
m_S	0.001	0.002

ดังนั้นจะได้ว่า

$$m_{I_a} = 6.79 \frac{\text{kg}}{\text{kg}_{\text{มูลฝอย}}} \quad (\text{ใบไม้แห้ง})$$

$$m_{I_a} = 5.18 \frac{\text{kg}}{\text{kg}_{\text{มูลฝอย}}} \quad (\text{กระดาษ})$$

ปริมาณอากาศที่ใช้จริง

$$m_{a_s} = \left(\frac{\%EA}{100} + 1 \right) m_{I_a}$$

เนื่องจากการทดสอบจะใช้ปริมาณอากาศที่ %EA หลาย ๆ ค่า และใช้อัตราการป้อนมูลฝอย 25 kg/h และ 50 kg/h

กำหนดให้ความหนาแน่นของอากาศ $\rho_{a_{25^\circ C}} = 1.17073 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

เพราะฉะนั้นสามารถหาอัตราการไหลของอากาศได้จาก

$$Q_a = \frac{m_{a_s} m_{\text{feed}}}{3600 \rho_{a_{25^\circ C}}}$$

แทน m_{a_0} ในสมการของ Q_a จะได้ว่า

$$Q_a = \left(\frac{\%EA}{100} + 1 \right) m_{i_a} \left(\frac{m_{feed}}{3600 \rho_{a_{25^\circ C}}} \right)$$

ปริมาณอากาศที่ใช้จริงสำหรับมูลฝอยใบไม้แห้งและกระดาษได้แสดงไว้ในตารางที่ A8

ตารางที่ A8 แสดงปริมาณอากาศที่ใช้จริงสำหรับมูลฝอยใบไม้แห้งและกระดาษ

%EA	ใบไม้ 25 kg/h		ใบไม้ 50 kg/h		กระดาษ 25 kg/h		กระดาษ 50 kg/h	
	Q_a (m ³ /s)	Q_a (m ³ /min)	Q_a (m ³ /s)	Q_a (m ³ /min)	Q_a (m ³ /s)	Q_a (m ³ /min)	Q_a (m ³ /s)	Q_a (m ³ /min)
0	0.0403	2.418	0.0806	4.836	0.0307	1.842	0.0614	3.686
40	0.0564	3.384	0.1128	6.768	0.0430	2.580	0.0860	5.160
80	0.0725	4.350	0.1451	8.706	0.0552	3.312	0.1105	6.630
120	0.0886	5.316	0.1773	10.638	0.0675	4.050	0.1350	8.100
160	0.1048	6.288	0.2096	12.576	0.0798	4.788	0.1597	9.582

การคำนวณและการออกแบบอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ [22]

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้ orifice เป็นอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศที่จะจ่ายเข้าสู่เตาเผาให้เป็นไปตามปริมาณ %EA ต่าง ๆ จากการคำนวณหาปริมาณอากาศจากสมการการเผาไหม้ดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ การทดสอบที่ปริมาณ %EA ต่าง ๆ ได้กำหนดให้ Q_a มีค่าไม่เกิน 14 m³/min ซึ่งจะใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 4 นิ้ว ดังนั้นจากสมการ

$$Q_a = A V_a$$

และ

$$A = \frac{\pi}{4} \left(\frac{4 \times 2.54}{100} \right)^2 = 8.1073 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$Q_a = \left(14 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 0.233 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

เพราะฉะนั้น

$$V_a = \frac{0.233}{8.1073 \times 10^{-3}} = 28.74 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

หาค่า Re

$$Re = \frac{\rho_a V_a D}{\mu_a}$$

โดยที่

$$\rho_a = 1.20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu_a = 18.17 \times 10^{-6} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

$$D = \frac{4(2.54)}{100} = 0.1016 \text{ m}$$

เพราะฉะนั้น

$$Re = \frac{\left(1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot \left(28.74 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \cdot (0.1016 \text{ m})}{\left(18.17 \times 10^{-6} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right)} = 192844.29$$

จากมาตรฐานของ ASME ที่ค่า Re เท่ากับ 192844.29 และที่ β เท่ากับ 0.8 เลือกเปิดตารางที่ orifice taps (D, D/2 pressure tapping) สำหรับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อเท่ากับ 4 นิ้ว จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การไหล k เท่ากับ 0.815

เมื่อ

$$k = \frac{C_d}{\sqrt{1 - \beta^4}}$$

เพราะฉะนั้น

$$Q_a = k A \sqrt{2 \frac{\rho_w}{\rho} g \Delta h_w}$$

เมื่อ

$$A_{\text{ORIFICE}} \text{ แทน พื้นที่ของแผ่น orifice เท่ากับ } \frac{\pi}{4} d^2$$

$$\beta \text{ แทน } \frac{d}{D}$$

เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} Q_a &= 0.815 \cdot \frac{\pi}{4} (0.8 \times 0.1016)^2 \text{ m}^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \left(\frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \right) \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\Delta h_w}{100} \cdot \left(\frac{60 \text{ sec}}{1 \text{ min}} \right)} \\ &= 0.2536 \sqrt{163.5 \Delta h_w} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \end{aligned}$$

จะได้ความสัมพันธ์

$$\Delta h_w = 6.1162 \times 10^{-3} \left[\frac{Q_a}{0.2536} \right]^2$$

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวทำให้สามารถควบคุมปริมาณอากาศที่เข้าเตาเผาให้เป็นไปตาม %EA ต่างๆ ได้โดยทำการปรับอัตราการไหลของอากาศเทียบกับความสูงของน้ำ h_w ในนาโนมิเตอร์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ A9

ตารางที่ A9 แสดงปริมาณอากาศที่แท้จริงสำหรับมวลฝอยใบไม้แห้งและกระดาษเทียบเป็นความสูงของน้ำ (ที่อุณหภูมิอากาศ 25 °C)

% EA	ใบไม้ 25 kg/h		ใบไม้ 50 kg/h		กระดาษ 25 kg/h		กระดาษ 50 kg/h	
	Q_a (m ³ /min)	Δh_w (cm)	Q_a (m ³ /min)	Δh_w (cm)	Q_a (m ³ /min)	Δh_w (cm)	Q_a (m ³ /min)	Δh_w (cm)
0	2.418	0.55	4.836	2.22	1.842	0.32	3.686	1.29
40	3.384	1.08	6.768	4.35	2.580	0.63	5.160	2.53
80	4.350	1.79	8.706	7.20	3.312	1.04	6.630	4.18
120	5.316	2.68	10.638	10.76	4.050	1.55	8.100	6.24
160	6.288	3.76	12.576	15.04	4.788	2.18	9.582	8.73

ปริมาณอากาศจริงที่ให้มีหน่วยเป็น kg/s และสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$m_{a,a} = \left(\frac{\%EA}{100} + 1 \right) (m_{i,a}) \left(\frac{\dot{m}_{FEED}}{3600} \right)$$

ตารางที่ A10 แสดงปริมาณอากาศจริงมีหน่วยเป็น kg/s

%EA	$m_{a,a}$ (kg/s)		$m_{a,a}$ (kg/s)	
	ใบไม้ 25 kg/h	ใบไม้ 50 kg/h	กระดาษ 25 kg/h	กระดาษ 50 kg/h
0	0.0481	0.0962	0.0379	0.0758
40	0.0673	0.1347	0.0530	-
80	0.0866	0.1731	0.0682	0.1363
120	0.1058	-	0.0834	-
160	0.1251	-	0.0985	0.1970

การคำนวณอัตราการไหลของแก๊สไอเสีย

อัตราการไหลของแก๊สไอเสียคำนวณได้จากองค์ประกอบของมูลฝอยและ %EA ที่ใช้ตามสมการ

$$m_{g_e} = \left(m_{i_g} + (m_m - 1) m_{i_a} \right) \left(\frac{\dot{m}_{FEED}}{3600} \right), \quad \text{kg/s}$$

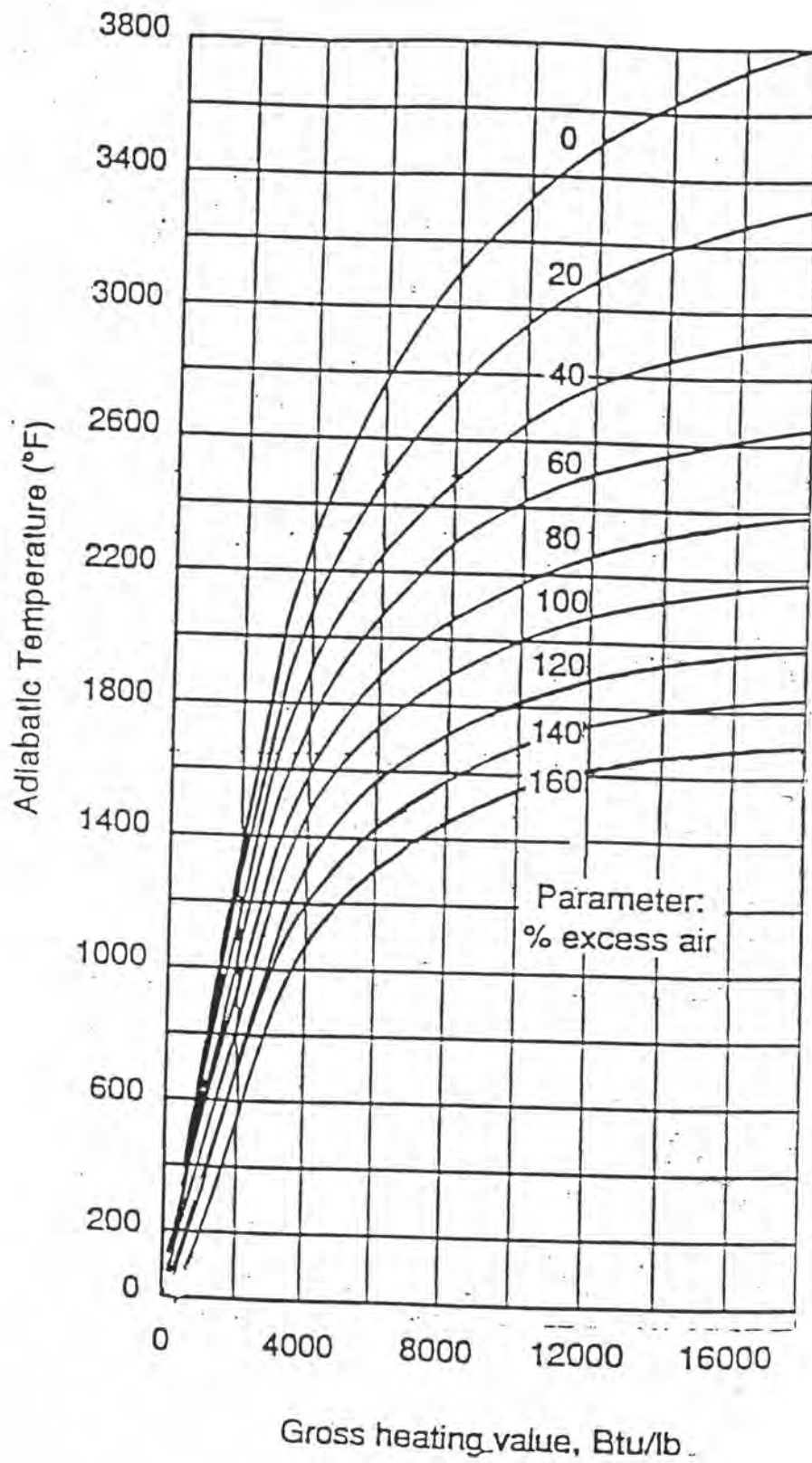
โดยที่

$$m_{i_g} = (1 - 0.232) m_{i_a} + 3.76 m_C + 9 m_H + 2 m_S + m_W + m_N, \quad \text{kg/kg}_{\text{มูลฝอย}}$$

$$m_m = \frac{m_{a_a}}{m_{i_a}}$$

ตารางที่ A11 แสดงค่าอัตราการไหลของแก๊สไอเสียของมูลฝอยไบโม่แห้งและกระดาษที่คำนวณได้ตาม %EA ต่าง ๆ

%EA	m_{i_g} (kg/s)		m_{g_e} (kg/s)	
	ไบโม่ 25 kg/h	ไบโม่ 50 kg/h	กระดาษ 25 kg/h	กระดาษ 50 kg/h
0	0.0545	0.1090	0.0467	0.0934
40	0.0737	0.1475	0.0618	-
80	0.0930	0.1861	0.0770	0.1540
120	0.1122	-	0.0922	-
160	0.1315	-	0.1073	0.2147



รูปที่ A6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเปลวอะเดียเบติกกับค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง [18]

ประวัติผู้เขียน

นายวิระยุทธ ทองสงแสง เกิดวันที่ 21 มกราคม 2506 ที่ อ.เชียรใหญ่ จ.นครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ในปีการศึกษา 2535 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2536 ปัจจุบันเป็นพนักงานองค์การของรัฐ ที่การสื่อสารแห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร

