บทที่ 4

การออกแบบและการสร้างเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว

การศึกษาและออกแบบเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว ในบทนี้กล่าวถึง การออกแบบเบื้องต้น และการคำนวณการออกแบบเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว ตามลำดับ

การออกแบบเบื้องต้น

รูปแบบของเตาเผามูลฝอยที่ออกแบบเป็นเตาเผาชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว มีอัตราการป้อนมูลฝอยเข้าเตาไม่เกิน 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยทำการป้อนมูลฝอบด้วยแรงงานคน สำหรับเผามูลฝอยประเภท ใบไม้ และกระดาษ โดยที่มูลฝอยมีความชื้นไม่เกิน 15% มีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ห้องเผาไหม้ (combustion chamber)

มีขนาดปริมาตรภายใน กว้างเท่ากับ 0.8 m ยาวเท่ากับ 0.8 m และสูงเท่ากับ 1.75 m ผนังด้านข้าง 4 ด้านสร้างเป็นผนังวัตถุหลายชั้นซึ่งประกอบไปด้วย อิฐทนไฟ อากาศ และอิฐมอญ ผนังด้านบนสร้างเป็นผนังวัตถุหลายชั้นซึ่งประกอบไปด้วย คอนกรีต อากาศ และเหล็กแผ่นหนา 6 mm พื้นของเตาเผาประกอบไปด้วย อิฐทนไฟ และเหล็กแผ่นหนา 6 mm วางบนคานทำด้วยเหล็กตัว U ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยที่อิฐทนไฟทั้งหมดประสานด้วยปูนซิเมนต์ทนไฟ และเว้นช่องอากาศไว้ประมาณ 10 cm เพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนรอบ ๆ ผนังเตา

2. ประตูป้อนมูลฝอย (charging door)

มีไว้สำหรับป้อนมูลฝอยเข้าเตาเผามูลฝอย สร้างด้วยเหล็กแผ่นหนา 4.5 mm โดยกำหนดให้ขนาดของประตู กว้างเท่ากับ 40 cm และยาวเท่ากับ 30 cm ดังแสดงในรูปที่ 4.4

3. ประตูโกยขี้เถ้า (clean-out door)

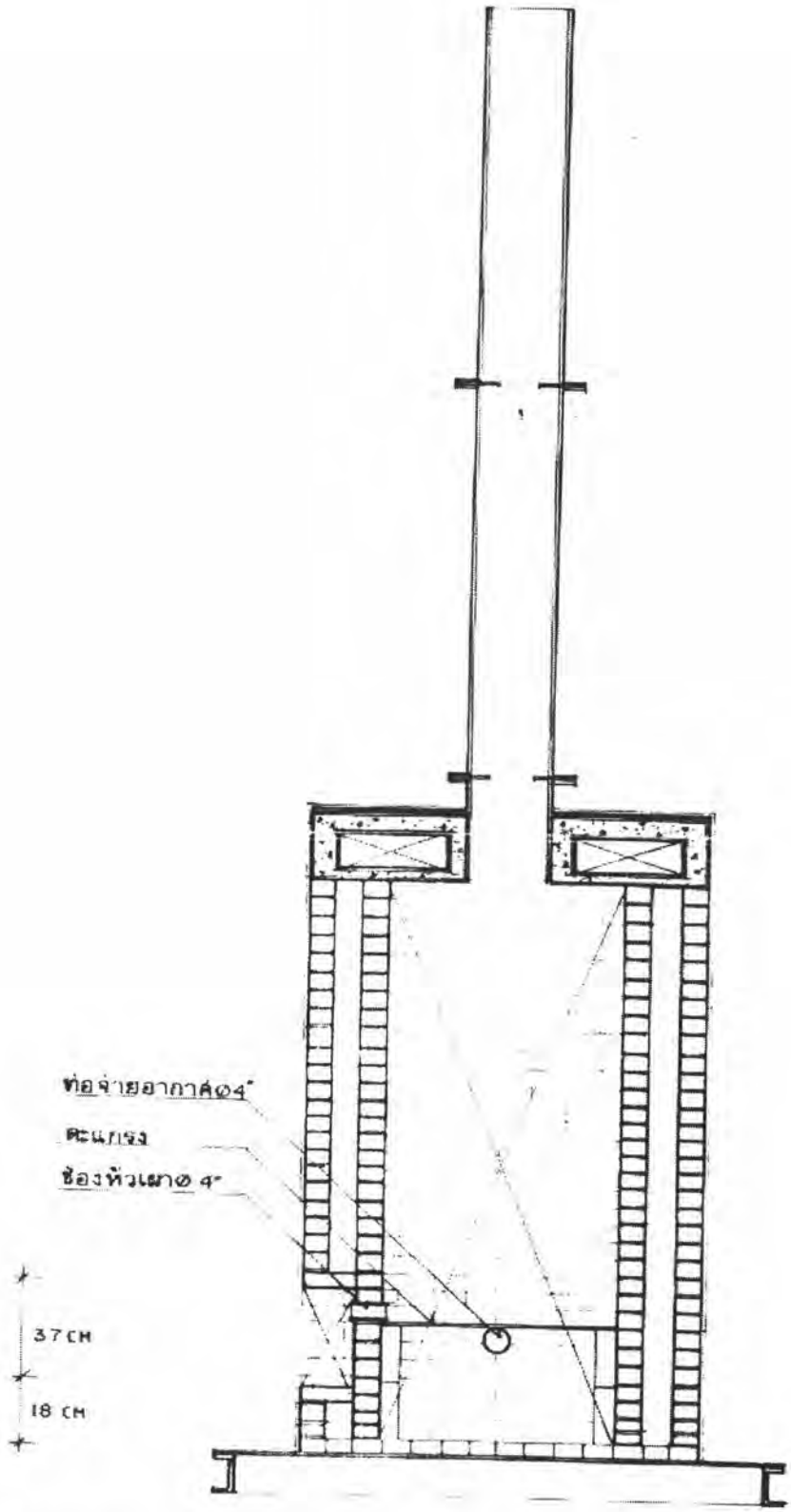
มีไว้สำหรับทำความสะอาดเตาเผาหลังจากเสร็จสิ้นจากการเผามูลฝอย สร้างด้วยเหล็กแผ่น ด้านในประกอบด้วยอิฐทนไฟ โดยกำหนดให้ขนาดของประตู กว้างเท่ากับ 25 cm และยาวเท่ากับ 40 cm ดังแสดงในรูปที่ 4.3

4. ตะแกรงเตาเผา (grates)

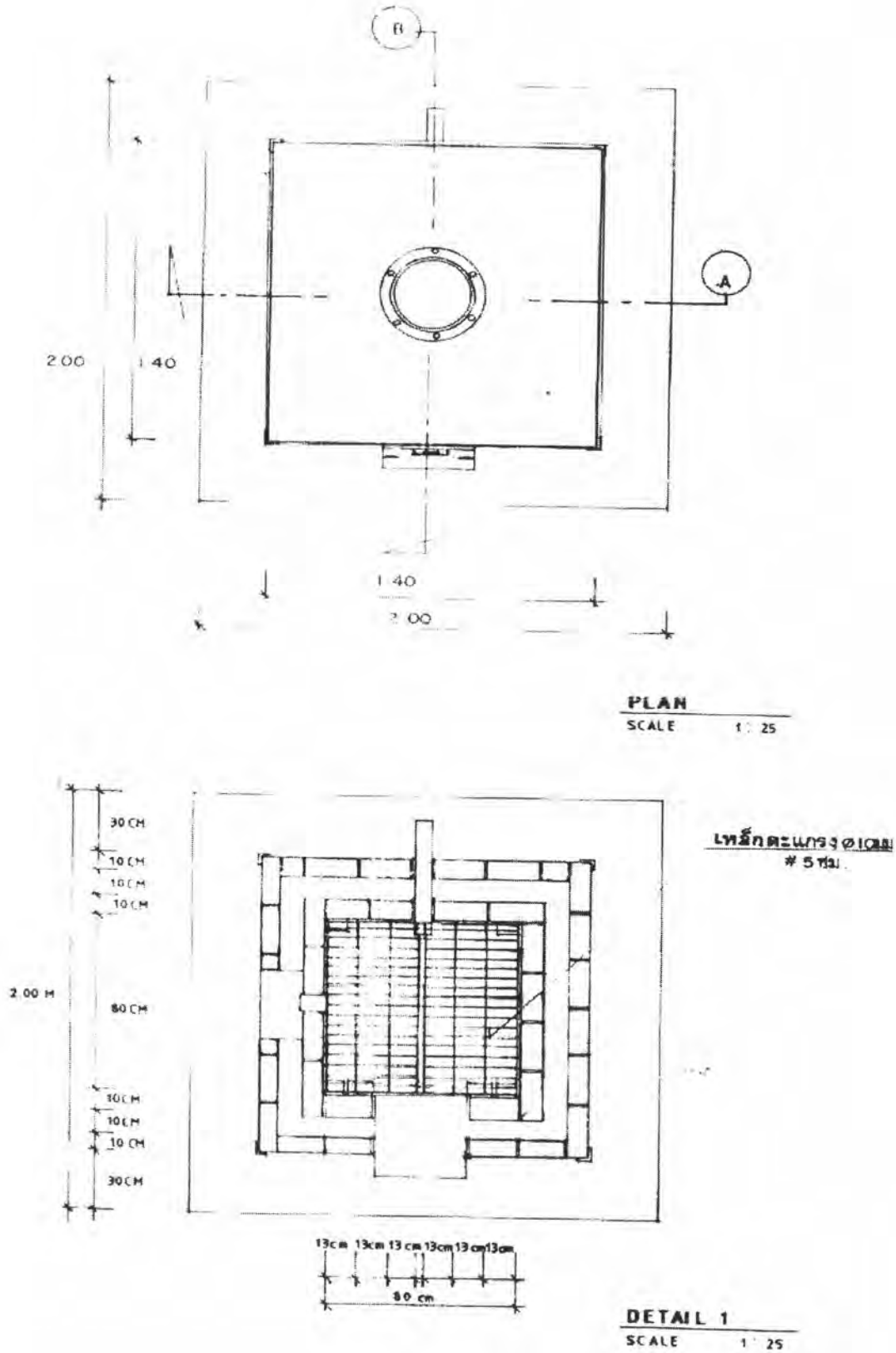
มีไว้สำหรับรองรับมูลฝอยในห้องเผาไหม้และให้ขี้เถ้าจากการเผาไหม้ร่วงลงสู่ด้านล่างของห้องเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 สร้างด้วยเหล็กเพลาดำมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 10 mm ออกแบบเป็น 2 ส่วน และแต่ละส่วนมีขนาด 39x78 cm ติดตั้งสูงจากพื้นเตาเท่ากับ 46 cm

5. ปล่องไอเสีย (stack)

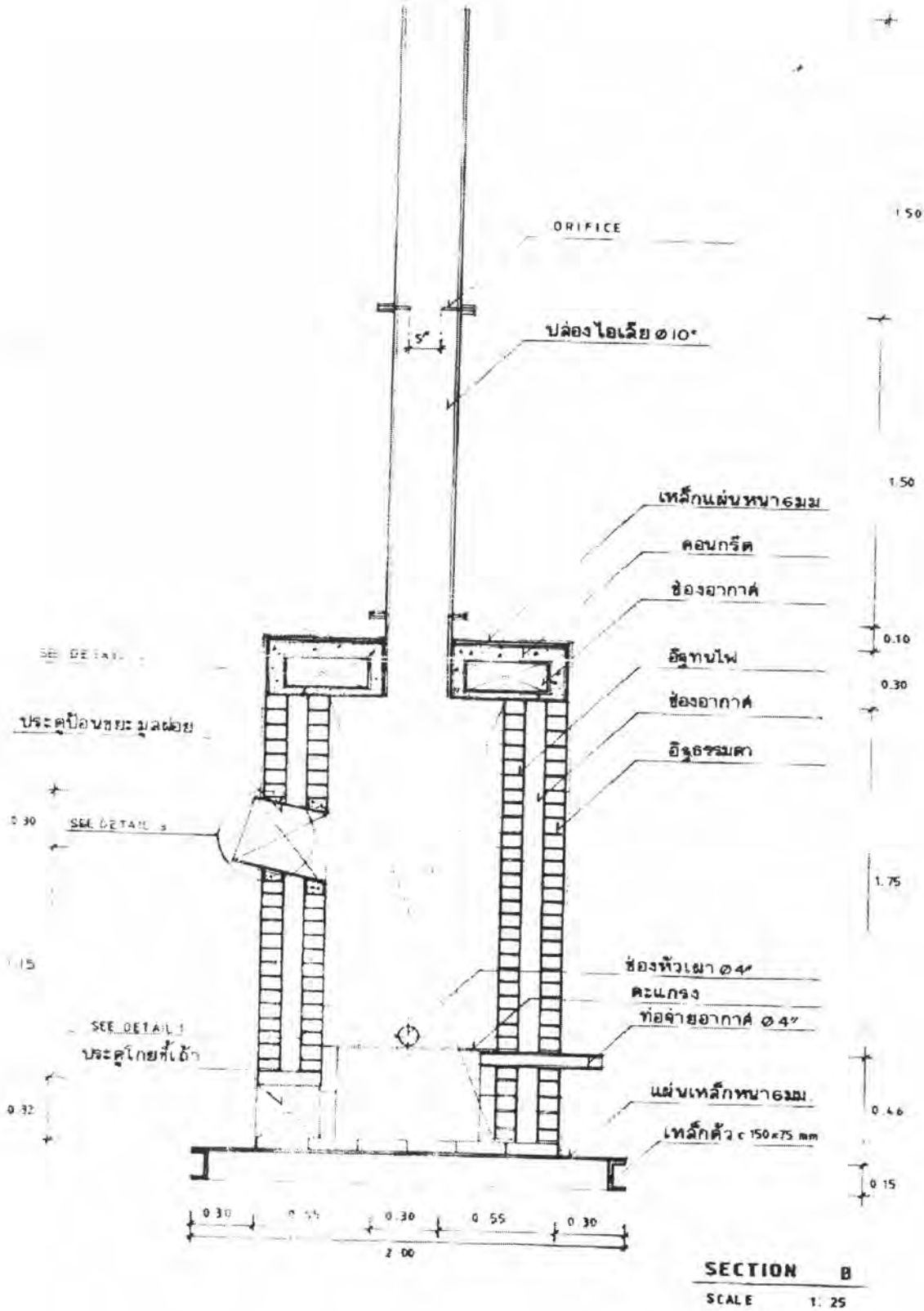
สร้างจากเหล็กแผ่นหนา 3 mm ม้วนให้เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 10 นิ้ว สูงเท่ากับ 3 m และหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนใยแก้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.3



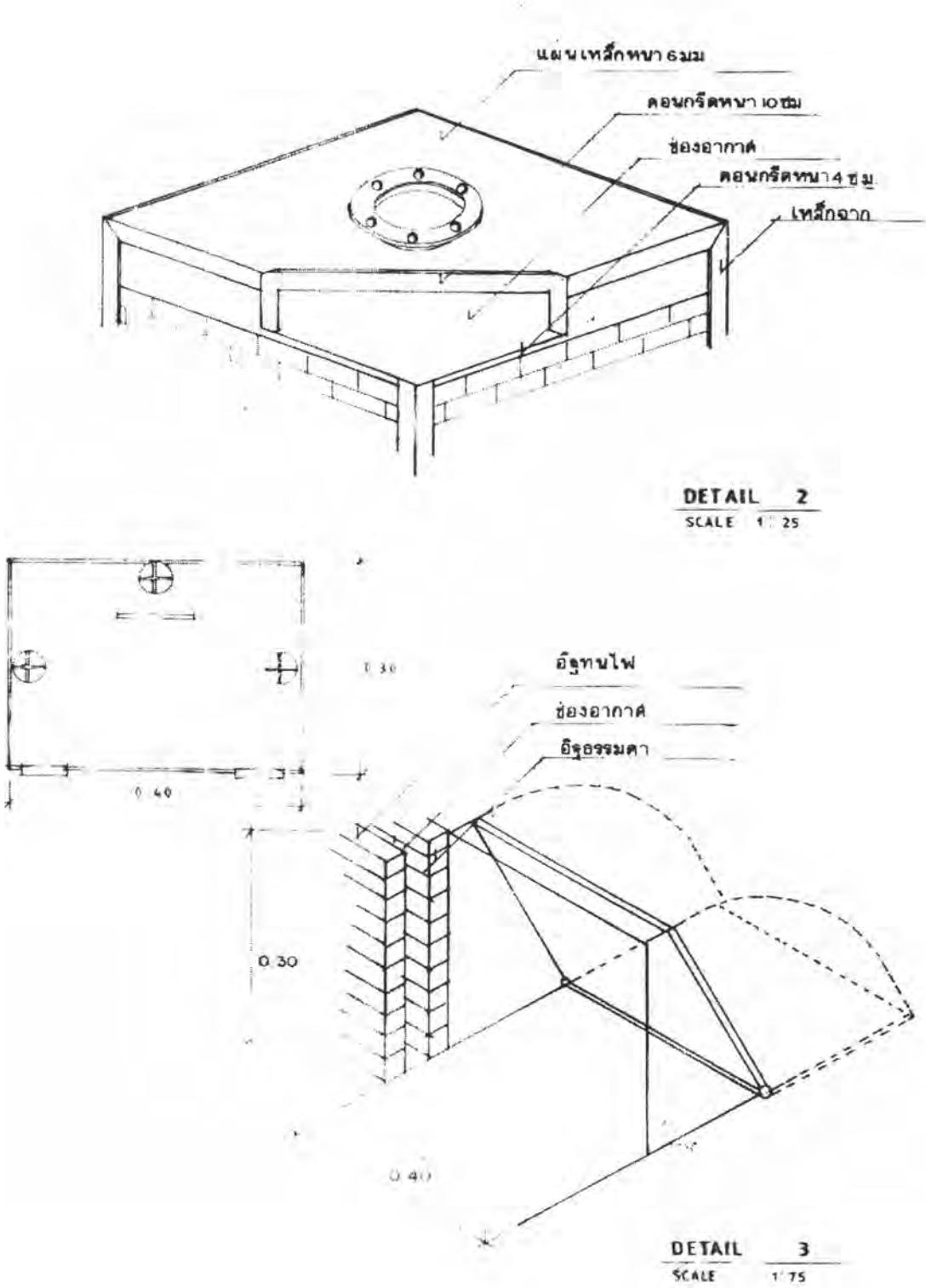
รูปที่ 4.1 แสดงภาพตัดด้านหน้า (Section A) และรายละเอียดภายในเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว



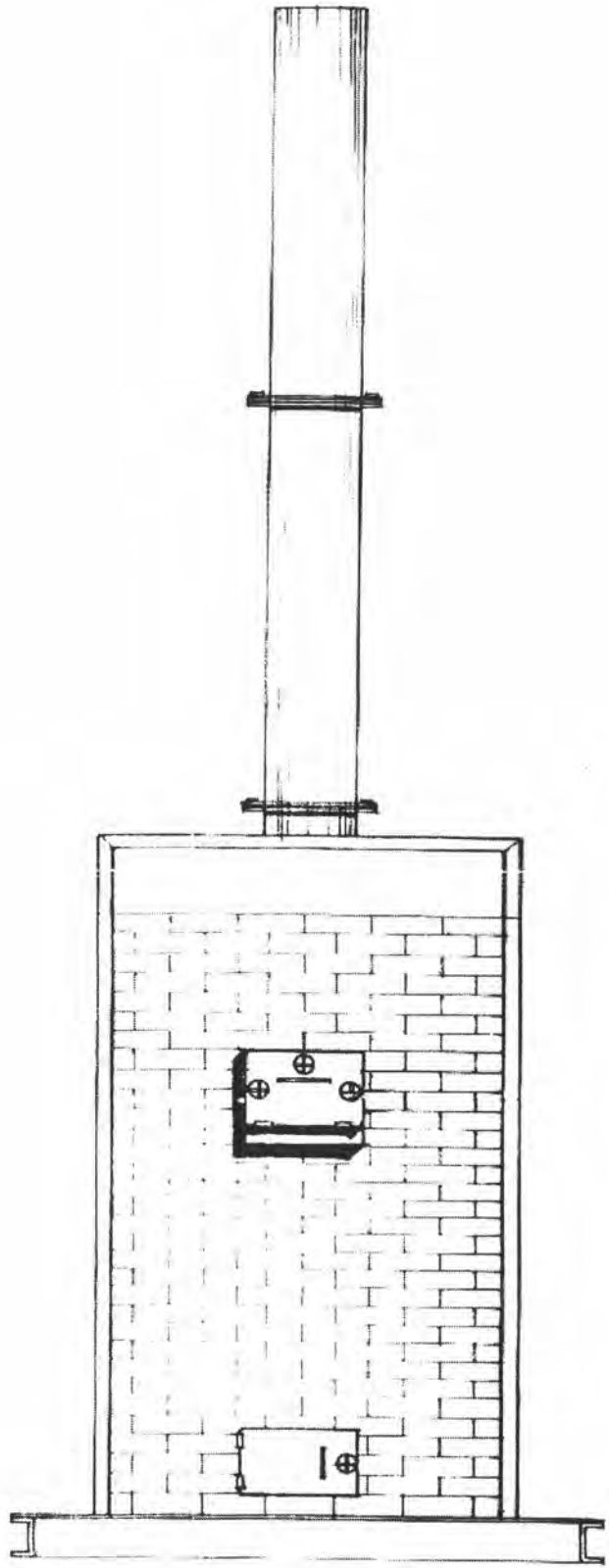
รูปที่ 4.2 แสดงตะแกรงเตาเผามูลฝอย



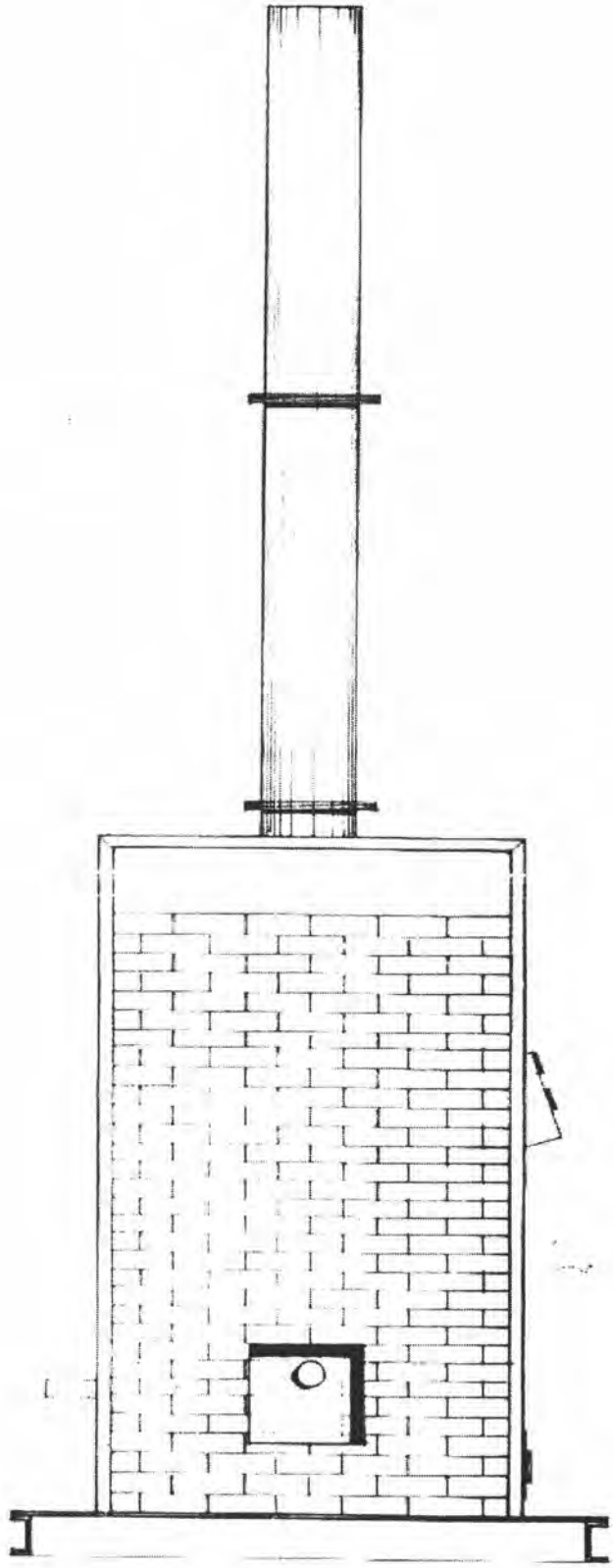
รูปที่ 4.3 แสดงภาพตัดด้านข้าง (Section B) ของเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว



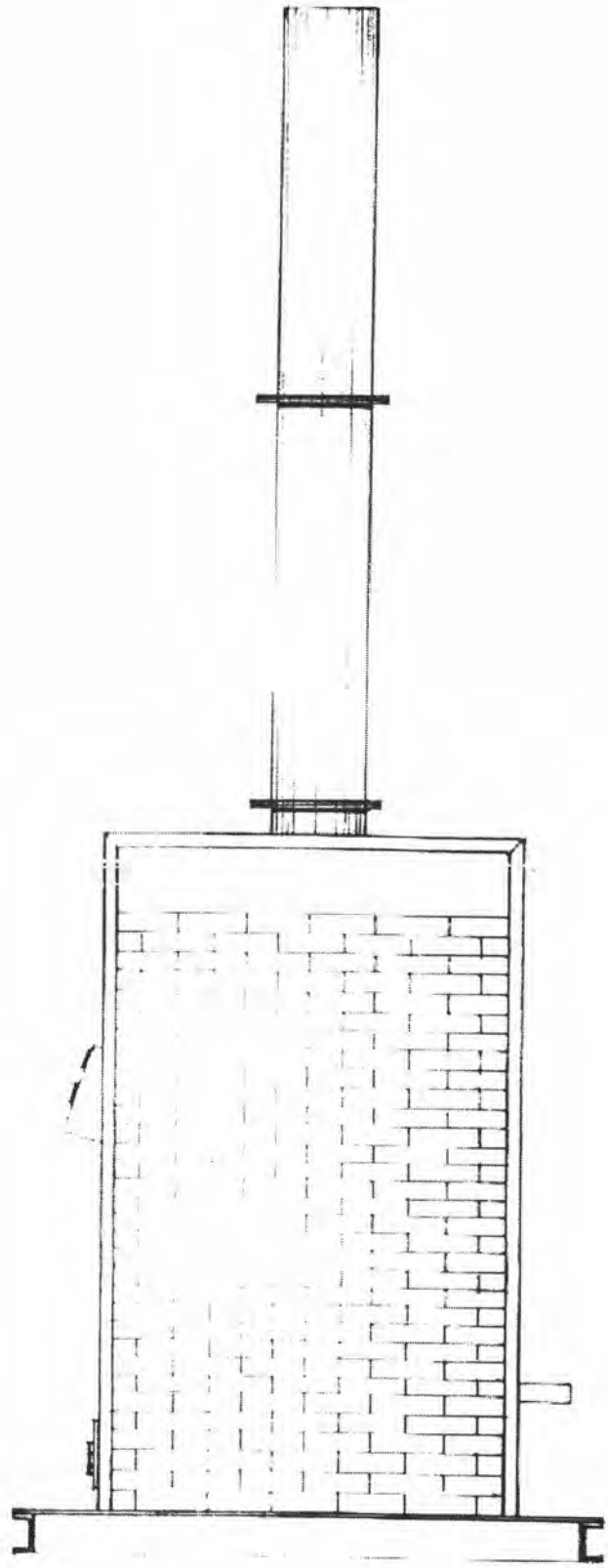
รูปที่ 4.4 แสดงภาพตัดด้านบนและประตูป้อนมูลฝอยของเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว



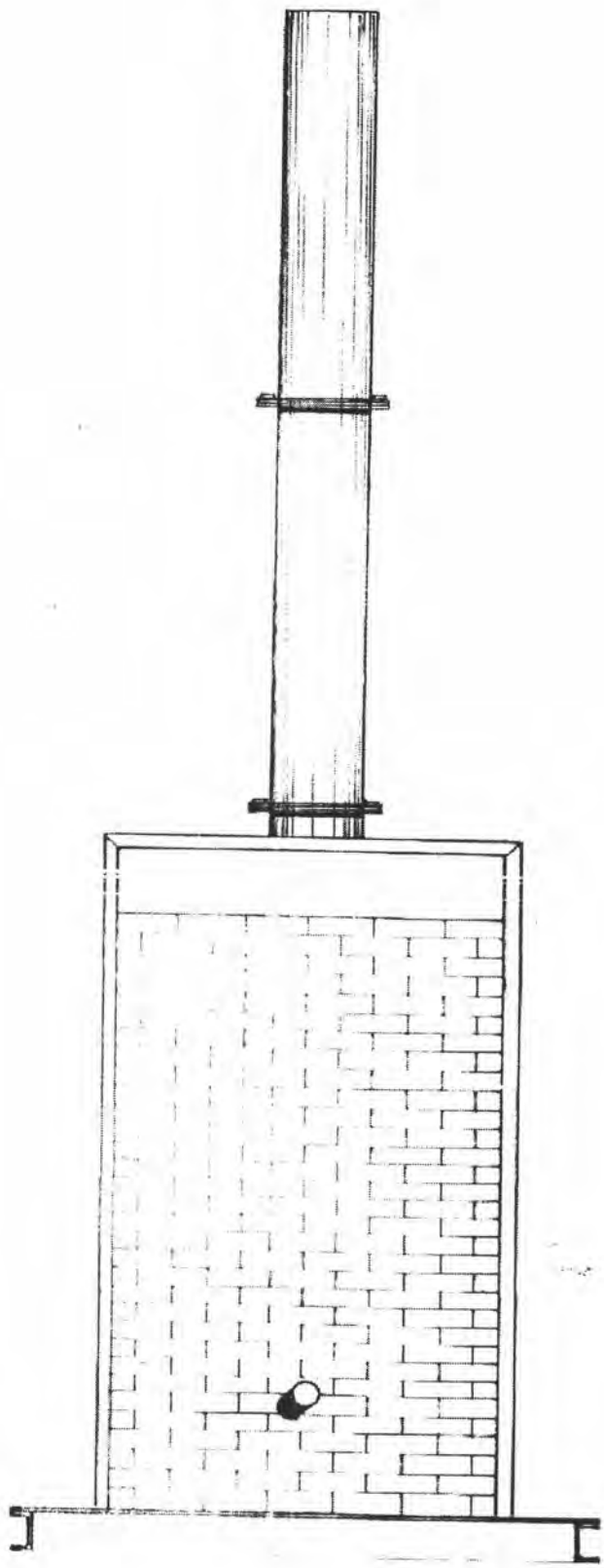
รูปที่ 4.5 แสดงภาพด้านหน้าของเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว



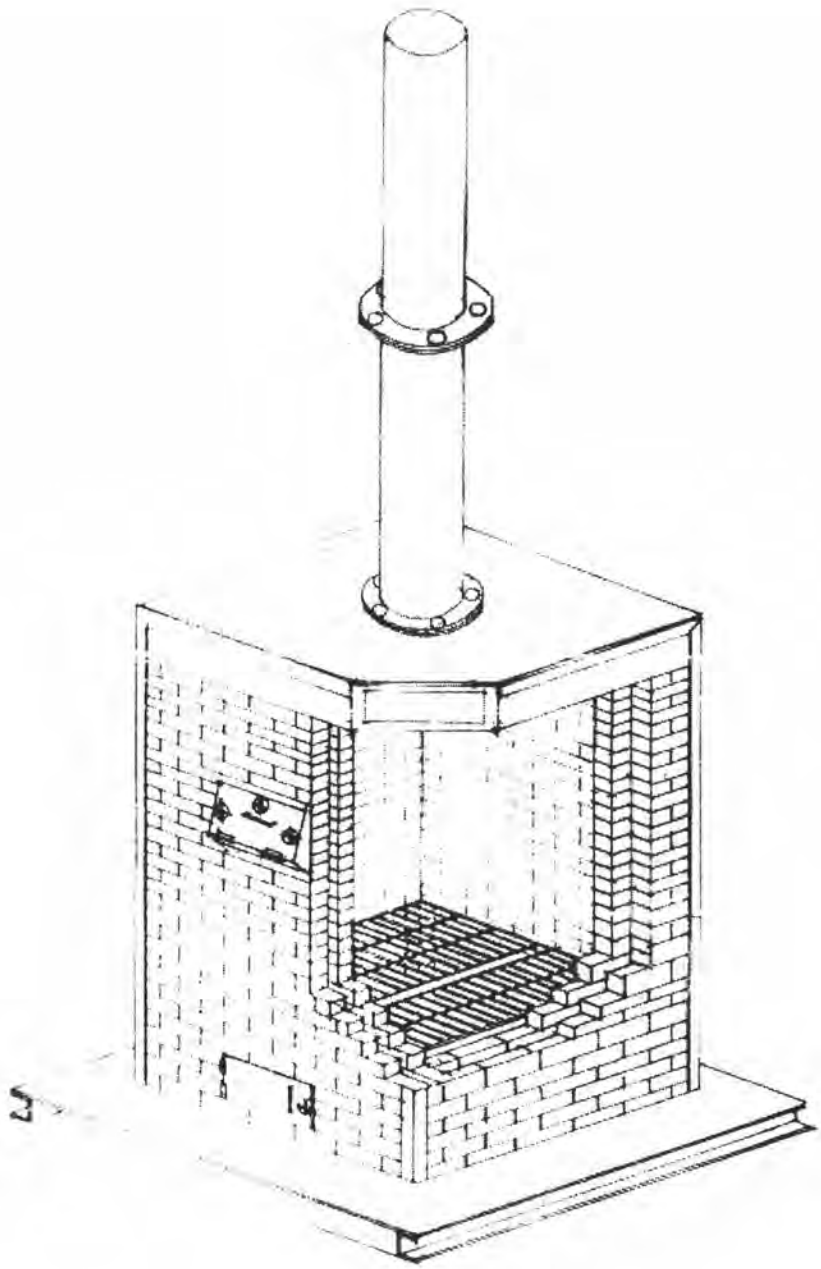
รูปที่ 4.6 แสดงภาพด้านข้าง (ซ้าย) ของเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว



รูปที่ 4.7 แสดงภาพด้านข้าง (ขวา) ของเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว



รูปที่ 4.8 แสดงภาพด้านหลังของเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว



รูปที่ 4.9 แสดงภาพรวมของเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว

การคำนวณการออกแบบเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว [12]

เตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยวที่ทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นเตาเผามูลฝอยประเภทใบไม้และกระดาษ มีขนาด 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การออกแบบห้องเผาไหม้จะต้องคำนึงถึงส่วนประกอบของมูลฝอย ค่าความร้อนของมูลฝอย และค่าใช้จ่ายในการสร้างและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการใช้งาน

ส่วนประกอบของมูลฝอย

จากการศึกษาพบว่า มูลฝอยที่นำมาเผาในเตาเผามีค่าความชื้นไม่เกิน 15% ดังนั้นปริมาณมูลฝอย 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จึงประกอบไปด้วย

มูลฝอยแห้ง (dry refuse) , $\dot{m}_{dry} = 50\frac{kg}{h}(0.85) = 42.5\ \frac{kg}{h}$

ความชื้น (moisture) , $\dot{m}_{w} = 50\frac{kg}{h}(0.15) = 7.5\ \frac{kg}{h}$

ค่าความร้อนต่ำของมูลฝอย

สามารถหาได้จากสมการของ Dulong

$$LHV = HHV - 9\, m_H h_{fg,25^oC}$$

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความร้อนสูงของมูลฝอยประเภทต่าง ๆ

ชนิดของมูลฝอย	ค่าความร้อนสูง (MJ/kg)
ไม้ (wood)	17.65
หญ้า , ใบไม้ (garden trimmings)	17.93
กระดาษ (paper)	15.40
พลาสติก (plastic)	26.48
ใบไม้ (tree leaves)	20.92

จะเห็นได้ว่ามูลฝอยประเภทพลาสติกจะให้ค่าความร้อนสูงมากกว่ามูลฝอยประเภทอื่นที่กล่าวมา ในการออกแบบครั้งนี้จึงเลือกใช้ค่าความร้อนสูงของพลาสติกเป็นเกณฑ์

ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดจากการเผามูลฝอย (gross heat of combustion)

$$Q_{TOTAL} = \dot{m}_{dry} HHV$$
$$= 42.5 \frac{kg}{h} \cdot (26.48) \frac{MJ}{kg} = 1125.4 \frac{MJ}{h}$$

ปริมาณความร้อนที่สูญเสีย (heat losses)

1. ปริมาณความร้อนที่สูญเสียในการระเหยน้ำหรือความชื้นในมูลฝอย , Q_{H2O}

$$Q_{H2O} = \dot{m}_w h_{fg_{25^oC}}$$
$$= 7.5 \frac{kg}{h} \cdot (2442.3) \frac{kJ}{kg} = 18.31 \frac{MJ}{h}$$

2. ปริมาณความร้อนที่สูญเสียในการระเหยน้ำจากการเผาไฮโดรเจน , Q_{H2}

m_{H2} แทน มวลของไฮโดรเจนในมูลฝอย $kg_{H2} / kg_{มูลฝอย}$ ในกรณีของพลาสติกมีค่าเท่ากับ $0.072 \frac{kg_{H2}}{kg_{มูลฝอย}}$

$$Q_{H2} = 9 m_{H2} h_{fg_{25^oC}} \dot{m}_{dry}$$
$$= 9 \frac{kg_{H2O}}{kg_{H2}} \cdot (0.072) \frac{kg_{H2}}{kg_{มูลฝอย}} \cdot (2442.3) \frac{kJ}{kg_{H2O}} \cdot (42.5) \frac{kg_{มูลฝอย}}{h} = 67.26 \frac{MJ}{h}$$

3. ปริมาณความร้อนที่สูญเสียในการแผ่รังสีและอื่น ๆ ประมาณ 20% ของปริมาณที่เกิดขึ้น [7]

$$Q_R = 0.2 Q_{TOTAL}$$
$$= 0.2(1125.4) \frac{MJ}{h} = 225.08 \frac{MJ}{h}$$

ปริมาณความร้อนสุทธิ

$$Q_{NET} = Q_{TOTAL.} - Q_{H2O} - Q_{H_2} - Q_R$$
$$= 1125.4\frac{MJ}{h} - 18.31\frac{MJ}{h} - 67.26\frac{MJ}{h} - 225.08\frac{MJ}{h} = 814.75\frac{MJ}{h}$$

ปริมาตรห้องเผาไหม้ของเตาเผา

$$V = \frac{Q_{NET}}{(Q_R)_v}$$

$(Q_R)_v$ แทนอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนในเตาเผามูลฝอย ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ [6] ค่า $(Q_R)_v$ เท่ากับ $920\frac{MJ}{m^3 \cdot h}$ ดังนั้น

$$V = \frac{814.75\frac{MJ}{h}}{920\frac{MJ}{m^3 \cdot h}} = 0.88\ m^3$$

พื้นที่ของตะแกรงในห้องเผาไหม้

$$A_G = \frac{Q_{NET}}{(Q_R)_A}$$

$(Q_R)_A$ แทนอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนของเตาเผามูลฝอย ซึ่งโดยทั่วไปใช้ [6] ค่า $(Q_R)_A$ เท่ากับ $1362.72\frac{MJ}{m^2 \cdot h}$ ดังนั้น

$$A_G = \frac{814.75\frac{MJ}{h}}{1362.72\frac{MJ}{m^2 \cdot h}} = 0.60\ m^2$$

ความสูงของห้องเผาไหม้

$$H_C = \frac{V}{A_G} = \frac{0.88\,m^3}{0.60\,m^2} \approx 1.5\ m$$

ถ้าให้พื้นที่ของตะแกรงเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ก็จะสามารถกำหนดขนาดของห้องเผาไหม้ได้ดังนี้คือ กว้างเท่ากับ 0.8 m ยาวเท่ากับ 0.8 m และสูงเท่ากับ 1.5 m

ความสูงของปล่องไอเสีย

$$h = \frac{T_a T_g \rho_w D_t}{464.5 P_b \left(T_g - T_a\right)}$$

เมื่อ

T_a แทน อุณหภูมิของอากาศและกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 298 K

T_g แทน อุณหภูมิของแก๊สไอเสียและกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 873 K [6]

ρ_w แทน ความหนาแน่นของน้ำ , kg/m^3

D_t แทน กระแสลมเร่งตามทฤษฎีและกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3.5 $mm_{น้ำ}$ [14]

P_b แทน ความดันบรรยากาศ , $mm_{ปรอท}$

h แทน ความสูงของปล่องจากระดับตะแกรง , m

ดังนั้น

$$h = \frac{298\ K \cdot 873\ K \cdot 1000\,\frac{kg}{m^3} \cdot 3.5\ mm_{น้ำ}}{464.5 \cdot \left(760\ mm_{ปรอท}\right) \cdot \left(873\ K - 298\ K\right)} = 4.48\ m$$

เพราะฉะนั้นความสูงของปล่องไอเสียจากฝาเตาเผาคือ $4.48 - (1.5 + 0.2)$ เท่ากับ 2.78 m หรือประมาณ 3 m

ปริมาณอากาศที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้

การเผาไหม้พลาสติกที่ประกอบด้วยคาร์บอนเท่ากับ 60% ไฮโดรเจนเท่ากับ 7.2% ออกซิเจนเท่ากับ 22.8% และขี้เถ้า (ash) เท่ากับ 10% โดยมวล หาได้ดังนี้

1. ปริมาณอากาศทางทฤษฎี (theoretical air)

$$V_{ta} = 8.89\, m_C + 26.7\left(m_H - \frac{m_O}{8}\right) + 3.33\, m_S$$

$$= 8.89(0.6) + 26.7\left(0.072 + \frac{0.228}{8}\right) + 3.33(0) = 6.495 \frac{m^3_{\text{อากาศ}}}{kg_{\text{มูลฝอย}}}$$

หรือ

$$m_{ta} = 11.49\, m_C + 34.5\left(m_H - \frac{m_O}{8}\right) + 4.3\, m_S$$

$$= 11.49(0.60) + 34.5\left(0.072 - \frac{0.228}{8}\right) + 4.3(0) = 8.394 \frac{kg_{\text{อากาศ}}}{kg_{\text{มูลฝอย}}}$$

2. ปริมาณอากาศที่ใช้จริง (actual air) ในการออกแบบครั้งนี้ใช้อากาศส่วนเกินเท่ากับ 300%

$$V_{aa} = \frac{\%EA\, V_{ta}}{100} + V_{ta}$$

$$= \frac{300(6.495)}{100} + 6.495 = 26.0 \frac{m^3_{\text{อากาศ}}}{kg_{\text{มูลฝอย}}}$$

หรือ

$$m_{aa} = \frac{\%EA\, m_{ta}}{100} + m_{ta}$$

$$= \frac{300(8.394)}{100} + 8.394 = 33.579 \frac{kg_{\text{อากาศ}}}{kg_{\text{มูลฝอย}}}$$

ปริมาณแก๊สไอเสีย

1. ปริมาณแก๊สไอเสียทางทฤษฎี

$$V_{tg} = (1 - 0.21)\, V_{ta} + 1.867\, m_C + 11.2\, m_H + 0.7\, m_S + 1.244\, m_W + 0.8\, m_N$$

$$= (1 - 0.21)(6.495) + 1.867(0.60) + 11.2(0.072) + 0.7(0) + 1.244(0) + 0.8(0)$$

$$= 7.064 \frac{m^3}{kg_{\text{มูลฝอย}}}$$

หรือ

$$m_{tg} = (1 - 0.232)\, m_{ta} + 3.67\, m_C + 9\, m_H + 2\, m_S + m_W + m_N$$

$$= (1 - 0.232)(8.394) + 3.67(0.60) + 9(0.072) + 2(0) + (0) + (0)$$

$$= 9.301 \frac{kg_{\text{แก๊สไอเสีย}}}{kg_{\text{มูลฝอย}}}$$

2. ปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน

$$V_{ag} = V_{tg} + (m_v - 1)\, V_{ta}$$

$$m_{ag} = m_{tg} + (m_m - 1)\, m_{ta}$$

เมื่อ

$$m_v = \frac{V_{aa}}{V_{ta}} = \frac{26}{6.5} = 4$$

$$m_m = \frac{m_{aa}}{m_{ta}} = \frac{33.6}{8.4} = 4$$

เพราะฉะนั้น

$$V_{ag} = 7.064 + (4 - 1)\, 6.5 = 26.56 \frac{m^3_{\text{แก๊สไอเสีย}}}{kg_{\text{มูลฝอย}}}$$

$$m_{ag} = 9.301 + (4 - 1)\, 8.4 = 34.5 \frac{kg_{\text{แก๊สไอเสีย}}}{kg_{\text{มูลฝอย}}}$$

อัตราการป้อนอากาศเข้าเตาเผามูลฝอย

ในการเผาไหม้มูลฝอย 1 kg จะใช้อากาศทางทฤษฎีเท่ากับ 6.5 $m^3/kg_{มูลฝอย}$ ถ้ากำหนดให้อากาศส่วนเกินเท่ากับ 300%

$$Q_{a_a} = \dot{m}_{dry} V_{a_a}$$

$$= 42.5 \frac{kg_{มูลฝอย}}{h} \cdot (26) \frac{m^3}{kg_{มูลฝอย}} = 1105 \frac{m^3}{h}$$

เปลี่ยนปริมาตรของอากาศที่อุณหภูมิ 0 °C ความดันบรรยากาศ 1 atm เป็นอากาศเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 25 °C ดังนั้นจะได้

$$Q_A = 1105\left(\frac{298}{273}\right) \quad \frac{m^3}{h}$$

$$= \frac{1206.19}{(60)(60)} = 0.335 \quad \frac{m^3}{s}$$

เมื่อ

Q_{a_a} แทน อัตราการป้อนอากาศที่อุณหภูมิ 0 °C , 1 บรรยากาศ ; m^3/h

Q_A แทน อัตราการป้อนอากาศที่อุณหภูมิ 25 °C , 1 บรรยากาศ ; m^3/h

อัตราการไหลของแก๊สไอเสีย (Q_g)

ปริมาณแก๊สไอเสียที่ 300 %EA มีค่าเท่ากับ $26.56 \frac{m^3}{kg_{มูลฝอย}}$ ดังนั้น

ปริมาณมูลฝอย $42.5 \frac{kg}{h}$ จะเกิดแก๊สไอเสีย $= 42.5 \frac{kg_{มูลฝอย}}{h} \cdot \left(26.56 \frac{m^3}{kg_{มูลฝอย}}\right) = 1128.8 \frac{m^3}{h}$

ความชื้น 7.5 kg จะเกิดไอน้ำ $= 7.5 \frac{kg_{น้ำ}}{h} \cdot \frac{22.4}{18} \frac{m^3}{kg_{น้ำ}} = 9.33 \frac{m^3}{h}$

ดังนั้น $Q_g = 1128.8 + 9.33 = 1138.13 \frac{m^3}{h} = 0.31 \frac{m^3}{s}$

สมมติอุณหภูมิของแก๊สไอเสียในเตาเท่ากับ 600 °C เพราะฉะนั้น

$$Q_g = 0.31\left(\frac{600 + 273}{273}\right) = 0.99\frac{m^3}{s} = 59.4\frac{m^3}{min}$$

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของปล่องไอเสีย

จากสมการ

$$Q_g = A_S V_g$$

จากข้อกำหนดความเร็วของแก๊สไอเสียที่ผ่านปล่องไอเสียจะต้องไม่เกิน 10 m/s (13) ดังนั้น

$$A_S = \frac{Q_g}{V_g}$$

เมื่อ

A_S แทน พื้นที่หน้าตัดของปล่องไอเสีย $\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)$

ดังนั้น

$$D = \sqrt{\frac{4Q_g}{V_g\pi}}$$

$$= \sqrt{\frac{4(0.99)}{10\pi}}$$

$$= 0.355 \text{ m} = 35.5 \text{ cm}$$

เพราะฉะนั้นผู้วิจัยจึงเลือกออกแบบให้เส้นผ่าศูนย์กลางของปล่องไอเสียเท่ากับ 30 cm หรือประมาณเท่ากับ 10 นิ้ว