บทที่ 3

ทฤษฎีการออกแบบเตาเผามูลฝอย

การศึกษาและออกแบบเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว ในบทนี้ได้กล่าวถึง การเผามูลฝอยในเตาเผามูลฝอย เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้ในเตาเผามูลฝอย คุณสมบัติของมูลฝอย ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของมูลฝอย หลักการออกแบบเตาเผามูลฝอย ลักษณะและส่วนประกอบสำคัญของเตาเผามูลฝอย ตะแกรงของเตาเผามูลฝอย ปล่องไอเสีย อุณหภูมิของแก๊สไอเสียในเตาเผามูลฝอย เชื้อเพลิงช่วยในการเผาไหม้ ปริมาณความร้อนของแก๊สไอเสียที่ออกจากปล่องไอเสีย ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของแก๊สไอเสีย ประสิทธิภาพของเตาเผามูลฝอย และสมดุลความร้อนของเตาเผามูลฝอย ตามลำดับ

การเผาไหม้มูลฝอยในเตาเผามูลฝอย [10]

การเผาไหม้มูลฝอยในเตาเป็นการเผาไหม้มูลฝอยที่มีการควบคุมกระบวนการเผาไหม้เพื่อที่จะเผาของเสียที่จะเผาไหม้ได้ ทั้งส่วนที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ผลสุดท้ายจากการเผามูลฝอยจะได้แก๊สไอเสีย (flue gas) และเศษจากการเผาไหม้ (residue) จากที่กล่าวมาดังนั้น การเผามูลฝอยในเตาก็คือ กระบวนการกำจัดมูลฝอย (disposal of solid waste) เพราะว่ามูลฝอยได้เปลี่ยนสภาพเป็นแก๊สไอเสียลอยสู่บรรยากาศ และเศษจากการเผาไหม้ อย่างไรก็ตามจะต้องมีการกำจัดและควบคุมแก๊สไอเสีย เพราะแก๊สไอเสียนี้จะประกอบไปด้วยอนุภาค (particulate) ส่วนเศษจากการเผาไหม้ในเตาคือ ขี้เถ้าและเศษของมูลฝอยที่เผาไหม้ไม่หมด

จุดเด่นของการเผามูลฝอยในเตาเผามีหลายอย่าง เช่น ประหยัดพื้นที่ ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งมูลฝอย มูลฝอยจะถูกลดน้ำหนักและปริมาตรลง เศษจากการเผาไหม้สามารถนำไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ (landfill) โดยไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ การออกแบบเตาเผามูลฝอยจะต้องคำนึงถึงการทำงานของเตาเผาซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดและปริมาณของมูลฝอย

การเผามูลฝอยในเตาเป็นวิธีกำจัดมูลฝอยที่มีประสิทธิภาพดีวิธีหนึ่ง ซึ่งสามารถเผาทำลายมูลฝอยลงได้ร้อยละ 85 ถึง 90 โดยอาศัยลักษณะคุณสมบัติของมูลฝอยที่สามารถติดไฟได้ภายในเตาเผา มีอากาศและเชื้อเพลิงช่วยเสริมภายใต้อุณหภูมิ ความดันที่เหมาะสมซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบ และ

ขนาดของเตาเผามูลฝอยแต่ละประเภท โดยทั่วไปจะมีอุณหภูมิในการเผาไหม้ในเตาประมาณ 600°C ถึง 1,000 °C

เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้ในเตาเผามูลฝอย

การเผาไหม้ของมูลฝอย ปฏิกริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นจะต้องเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์มวลและการอนุรักษ์พลังงาน แต่ประสิทธิภาพของการเผาไหม้จะดีหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับจำนวนมูลฝอยที่ใส่เข้าไปในเตาเผาว่าเผาไหม้หมดหรือไม่ ถ้ามูลฝอยที่ใส่เข้าไปในเตาเผาแล้วถูกเผาไหม้ได้หมดก็แสดงว่าประสิทธิภาพของการเผาไหม้เป็น 100 เปอร์เซ็นต์หรือการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ การเผาไหม้ของมูลฝอยจะสมบูรณ์ได้ก็ต้องขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่อไปนี้

1. เวลา (Time) ต้องมีเวลาเพียงพอให้มูลฝอยเกิดการสันดาปอย่างสมบูรณ์ มูลฝอยแต่ละชนิดจะใช้เวลาไม่เท่ากันในการทำปฏิกริยาทางเคมีกับอากาศเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

2. ความปั่นป่วน (Turbulence) ระหว่างอากาศและมูลฝอยที่เหมาะสมจะทำให้การเผาไหม้ของมูลฝอยด้วยปริมาณอากาศตามทฤษฎีเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ แต่ถ้าเชื้อเพลิงกับออกซิเจนผสมเข้ากันได้ไม่ดีจะต้องใช้อากาศมากกว่าตามทฤษฎี

3. อุณหภูมิ (Temperature) จะต้องใช้อุณหภูมิให้เหมาะแก่การเผาไหม้ การรวมตัวกันทางเคมีของเชื้อเพลิงแข็งกับอากาศนั้นจะขึ้นอยู่โดยตรงกับอุณหภูมิจุดติดไฟ (ignition temperature) ถ้าอุณหภูมิสูงไม่ถึงจุดติดไฟมูลฝอยก็จะไม่ลุกไหม้ อุณหภูมิต่ำสุดที่สารจะติดไฟได้ในอากาศก็คือ 400 °C สำหรับคาร์บอน 580 °C สำหรับไฮโดรเจน และ 610 °C สำหรับคาร์บอนมอนนอกไซด์ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิจุดติดไฟมาก ๆ ก็จะทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นรวดเร็วแต่อาจเกิดแก๊สไอเสียเพิ่มขึ้น เช่น NO_x ดังนั้นในการเผามูลฝอยจะต้องควบคุมอุณหภูมิของการเผาไหม้ของมูลฝอยให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดมลภาวะทางอากาศ

คุณสมบัติของมูลฝอย

คุณสมบัติที่สำคัญของมูลฝอยมีดังนี้

คุณสมบัติของมูลฝอยทางด้านฟิสิกส์

1. ความหนาแน่น หมายถึง มวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของมูลฝอยโดยไม่มีการอัดและบีบมูลฝอยให้ผิดไปจากธรรมดา

2. ส่วนประกอบของมูลฝอย หมายถึง มูลฝอยที่สามารถแยกออกได้เป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้ เช่น ผักและเศษอาหาร (gabage) กระดาษ (paper) ใบไม้และหญ้า (leave and grass) พลาสติก (plastic) ยาง (rubber) ผ้า (clothes) แก้ว (glass) โลหะ (metal) หินและกระเบื้อง (stone and ceramic) และอื่น ๆ จากการรู้ข้อมูลทางฟิสิกส์เหล่านี้ทำให้ผู้วิเคราะห์สามารถนำไปใช้ในการเลือกวิธีการกำจัดมูลฝอย

3. ความชื้น (moisture content) คือ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในมูลฝอยโดยธรรมชาติ

คุณสมบัติของมูลฝอยทางด้านเคมี

คุณสมบัติของมูลฝอยทางด้านเคมี ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบของมูลฝอย โดยทั่วไปประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก ๆ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน กำมะถัน และขี้เถ้าบิน ดังแสดงในตารางที่ 3.1

I17293011

ตารางที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอย [7]

Component	%by weight (dry basis)					
	Carbon	Hydrogen	Oxygen	Nitrogen	Sulfur	Ash
Food wastes	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5.0
Paper	43.5	6.0	44.0	0.3	0.2	6.0
Cardboard	44.0	5.9	44.6	0.3	0.2	5.0
Plastic	60.0	7.2	22.8	-	-	10.0
Textiles	55.0	6.6	31.2	4.6	0.15	2.5
Rubber	78.0	10.0	-	2.0	-	10.0
Leather	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0
Garden Trimmings	47.8	6.0	38.0	3.4	0.3	4.5
wood	49.5	6.0	42.7	0.2	0.1	1.5
Dirt,ashes,brick, etc.	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0
Ripe tree leaves*	52.15	6.11	30.34	6.99	0.16	4.25

*Mantell C.L., "Solid Waste Origin Collection Processing and Disposal", New York, John Wiley, 1975.

ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของมูลฝอย [11]

ค่าความร้อนสูง (higher heating value) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้และผลจากการเผาไหม้จะเหลือน้ำในสภาวะของเหลว ค่าความร้อนสูงหาได้จากการใช้อุปกรณ์ทดสอบที่เรียกว่า bomb calorimeter หรือสามารถหาได้จากสมการของ Dulong แต่จะต้องทราบองค์ประกอบของมูลฝอยซึ่งอาจจะทราบได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีแล้วจึงแทนลงไปในสมการเพื่อหาค่าความร้อนสูงของมูลฝอยได้ดังนี้

$$HHV = 33.7\,m_C + 144.0\left(m_H - \frac{m_O}{8}\right) + 9.4\,m_S$$

เมื่อ

HHV แทน ค่าความร้อนสูงของมูลฝอย , $MJ/kg_{มูลฝอย}$

m_C แทน มวลของคาร์บอนในมูลฝอย , $kg/kg_{มูลฝอย}$

m_H แทน มวลของไฮโดรเจนในมูลฝอย , $kg/kg_{มูลฝอย}$

m_O แทน มวลของออกซิเจนในมูลฝอย , $kg/kg_{มูลฝอย}$

m_S แทน มวลของกำมะถันในมูลฝอย , $kg/kg_{มูลฝอย}$

ค่าความร้อนต่ำ (lower heating value) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ และผลจากการเผาไหม้จะให้น้ำอยู่ในสถานะไอ (vapor) ปริมาณความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้น้ำให้กลายเป็นไอนี้เรียกว่า ปริมาณความร้อนแฝง ดังนั้น ค่าความร้อนต่ำสามารถหาได้จากสมการ

$$LHV = HHV - m_w h_{fg25^oC}$$
$$LHV = HHV - 9\,m_H h_{fg25^oC}$$

เมื่อ

LHV แทน ค่าความร้อนต่ำของมูลฝอย , $MJ/kg_{มูลฝอย}$

m_w แทน มวลของไอน้ำที่ได้จากการเผาไหม้ไฮโดรเจนในมูลฝอย , $kg/kg_{มูลฝอย}$

m_H แทน มวลของไฮโดรเจนในมูลฝอย , $kg/kg_{มูลฝอย}$

h_{fg25^oC} แทน ค่าความร้อนแฝงของน้ำที่อุณหภูมิ 25 °C , kJ/kg

เนื่องจากการเผาไหม้ไฮโดรเจน 1 กิโลกรัม กับออกซิเจน 8 กิโลกรัม จะได้น้ำเท่ากับ 9 กิโลกรัม เพราะฉะนั้น $9\,m_H$ ก็คือจำนวนน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ไฮโดรเจนในมูลฝอย

กรณีเมื่อมูลฝอยมีความชื้นปนอยู่ด้วย เช่น ความชื้นที่มีอยู่ในตัวมูลฝอยเอง (inherent moisture) ความชื้นที่ติดอยู่ภายนอก (attached moisture) ดังนั้นจึงสามารถหาค่าความร้อนต่ำได้จากสมการ

$$LHV = HHV - \left(9\,m_H + m_W\right) h_{fg25^oC}$$

เมื่อ

m_W แทน มวลของความชื้นในมูลฝอย , $kg/kg_{มูลฝอย}$

ค่าความร้อนจะมีประโยชน์ในการพิจารณาถึงความเหมาะสมที่จะกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีการเผาหรือไม่ ทั้งนี้เพราะมูลฝอยที่มีค่าความร้อนต่ำกว่า 3,349 kJ/kg [12] หากจะกำจัดด้วยวิธีเผาจะต้องใช้เชื้อเพลิงช่วยในการเผาไหม้ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ควรจะพิจารณากำจัดด้วยวิธีการอื่นที่เหมาะสมกว่า

<u>หลักการออกแบบเตาเผามูลฝอย</u> [13]

การออกแบบเตาเผามูลฝอยให้ถูกต้องและมีประสิทธิ-ภาพในการเผามากที่สุด และไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประหยัด จะต้องคำนึงถึงปัจจัย ข้อมูลและหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. คุณสมบัติของมูลฝอยที่สามารถเผาได้โดยใช้เตาเผา เช่น คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมี
2. ปริมาณของมูลฝอย ทำให้สามารถกำหนดขนาดของเตาเผามูลฝอยได้
3. ค่าความร้อน (heating value) ของมูลฝอยที่ต้องการเผา
4. สถานที่ตั้งของเตาเผามูลฝอย
5. การจัดเตรียมพื้นที่ในการกำจัดเศษที่เหลือจากการเผาไหม้ (residue) โดยวิธีการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (sanitary landfill)

<u>ลักษณะและส่วนประกอบที่สำคัญของเตาเผามูลฝอย</u>

ห้องเผาไหม้ หมายถึง บริเวณที่มีการเผาไหม้มูลฝอย มีการออกแบบเหมือนกับเตาทั่ว ๆ ไปคือ มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม ผนังของห้องเผาไหม้มักทำด้วยอิฐทนไฟเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนไหลออกไปภายนอกเตาทางด้านข้างของเตา อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนมีความสัมพันธ์กับปริมาตรของห้องเผาไหม้ซึ่งได้จากการศึกษาเตาเผามูลฝอย [6] มีค่า 4.6×10^5 ถึง 9.2×10^5 kJ/(m^3-h) หรือหาจากสูตร

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

เมื่อ

$\left(Q_R\right)_V$ แทน อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนต่อปริมาตร , $MJ/m^3\text{-}h$

Q_{NET} แทน พลังงานความร้อนสุทธิจากการเผามูลฝอย , MJ/h

V แทน ปริมาตรภายในห้องเผาไหม้ , m^3

ค่าความร้อนสุทธิ Q_{NET} หาได้ดังนี้

$$Q_{NET} = Q_{TOTAL} - Q_{LOSS}$$

เมื่อ

Q_{TOTAL} แทน พลังงานความร้อนทั้งหมด , MJ/h

Q_{LOSS} แทน พลังงานความร้อนที่สูญเสีย , MJ/h

$$Q_{TOTAL} = \dot{m}_{FEED}\, NHV + \dot{m}_f\, NHV_f$$

เมื่อ

$\dot{m}_{FEED}$ แทน อัตราการเผามูลฝอย , $kg_{มูลฝอย}/h$

NHV แทน ค่าความร้อนของมูลฝอย , MJ/kg

$\dot{m}_f$ แทน อัตราการป้อนเชื้อเพลิง , kg/h

NHV_f แทน ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง , MJ/kg

พลังงานความร้อนที่สูญเสีย Q_{LOSS} มีดังนี้

1. Q_{LOSS} จากการระเหยน้ำในมูลฝอย , Q_{H_2O} คือ

$$Q_{H_2O} = m_w \left(h_{fg25^oC}\right) \dot{m}_{FEED}$$

เมื่อ

m_W แทน มวลของน้ำหรือความชื้นในมูลฝอย , $kg_{น้ำ}/kg_{มูลฝอย}$

h_{fg25^oC} แทน ค่าความร้อนแฝงของน้ำที่อุณหภูมิ 25°C , kJ/kg

$\dot{m}_{FEED}$ แทน อัตราการเผามูลฝอย , $kg_{มูลฝอย}/h$

2. Q_{LOSS} จากการระเหยน้ำที่เกิดจากการสันดาปไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง , Q_{H_2} หาจากสมการเคมีดังนี้

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

เนื่องจากไฮโดรเจน 1 กิโลกรัมรวมกับออกซิเจน 8 กิโลกรัม จะได้น้ำ 9 กิโลกรัม ดังนั้น ความร้อนสูญเสียที่เกิดจาก H_2 ส่วนนี้ก็คือ

$$Q_{H_2} = 9\left(m_H\right)\dot{m}_{FEED}\left(h_{fg25^oC}\right) + 9\left(m_{Hf}\right)\dot{m}_f\left(h_{fg25^oC}\right)$$

เมื่อ

m_H แทน มวลของไฮโดรเจนในมูลฝอย , $kg_H/kg_{มูลฝอย}$

m_{Hf} แทน มวลของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง , $kg_H/kg_{เชื้อเพลิง}$

$\dot{m}_{FEED}$ แทน อัตราการเผามูลฝอย , $kg_{มูลฝอย}/h$

$\dot{m}_f$ แทน อัตราการป้อนเชื้อเพลิง , $kg_{เชื้อเพลิง}/h$

h_{fg25^oC} แทน เอนทาลปีของการระเหยน้ำให้เป็นไอที่ 25°C ความดันบรรยากาศ

3. Q_{LOSS} จากการแผ่รังสีจากเตาเผาไปสิ่งแวดล้อม Q_R โดยทั่วไปจะสมมติให้มีค่าประมาณ 20% ของ Q_{TOTAL} [7] ดังนั้น

$$Q_{LOSS} = Q_{H2O} + Q_{H_2} + Q_R$$

ตะแกรงของเตาเผามูลฝอย (incinerator grate)

ตะแกรงในเตาเผามูลฝอยทำหน้าที่รองรับมูลฝอยและช่วยให้อากาศไหลผ่านขึ้นไปยังด้านบนของเตา ส่วนขี้เถ้าจะตกลงมาทางข้างล่างของเตา อัตราการป้อนมูลฝอยเข้าเตาต่อหน่วยพื้นที่ของตะแกรง เราเรียกว่า ภาระของตะแกรง (grate loading) [12] หาได้จากสมการ

$$LG = 10 \log \dot{m}_{FEED}$$

เมื่อ

LG แทน ภาระของตะแกรง , lb/ft^2-h

$\dot{m}_{FEED}$ แทน อัตราการเผามูลฝอย , lb/h

พื้นที่ของตะแกรง A_G ในห้องเผาไหม้หาได้จากสมการ

$$A_G = \frac{\dot{m}_{FEED}}{LG}$$

สำหรับเตาเผาขนาดเล็ก [6] จะมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ตะแกรง $(Q_R)_A$ เท่ากับ 1362.72 $MJ/(m^2$-h) ดังนั้นพื้นที่ตะแกรงอาจหาได้จากสมการ

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

ความสูงของห้องเผาไหม้หาจากสมการ $H_C = \frac{V}{A_G}$

ปล่องไอเสีย (Stack)

ปล่องไอเสียทำหน้าที่นำแก๊สไอเสียและอนุภาคออกจากเตาเผาสู่บรรยากาศ โดยเตาเผาทั่วไปจะมีความต้องการกระแสลมเร่งตามธรรมชาติ [14] ประมาณ 3-6 mm ของน้ำ ตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดกระแสลมเร่งตามธรรมชาติก็คือ

1. ความสูงของปล่องไอเสีย
2. ความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศและแก๊สไอเสีย

กระแสลมเร่งตามธรรมชาติ (15) หาได้จากสมการ

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

เมื่อ

D_t แทน กระแสลมเร่งตามธรรมชาติ , $mm_{น้ำ}$

P_b แทน ความดันบรรยากาศ , $mm_{ปรอท}$

T_g แทน อุณหภูมิของแก๊สไอเสียในปล่อง , K

T_a แทน อุณหภูมิของบรรยากาศ , K

h แทน ค่าความสูงของปล่องไอเสียจากระดับตะแกรง , m

ρ_w แทน ความหนาแน่นของน้ำ , 1,000 kg/m^3

ดังนั้นความสูงของปล่องไอเสียหาได้จากสมการ

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

สำหรับเตาเผามูลฝอยทั่ว ๆ ไป [15] ความเร็วของแก๊สไอเสียที่ผ่านปล่องไอเสียจะน้อยกว่า 10 m/s ถ้าไม่คิดแรงเสียดทานที่ผิวปล่อง จะสามารถหาพื้นที่หน้าตัดของปล่องไอเสีย A_S ได้จากสมการ

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

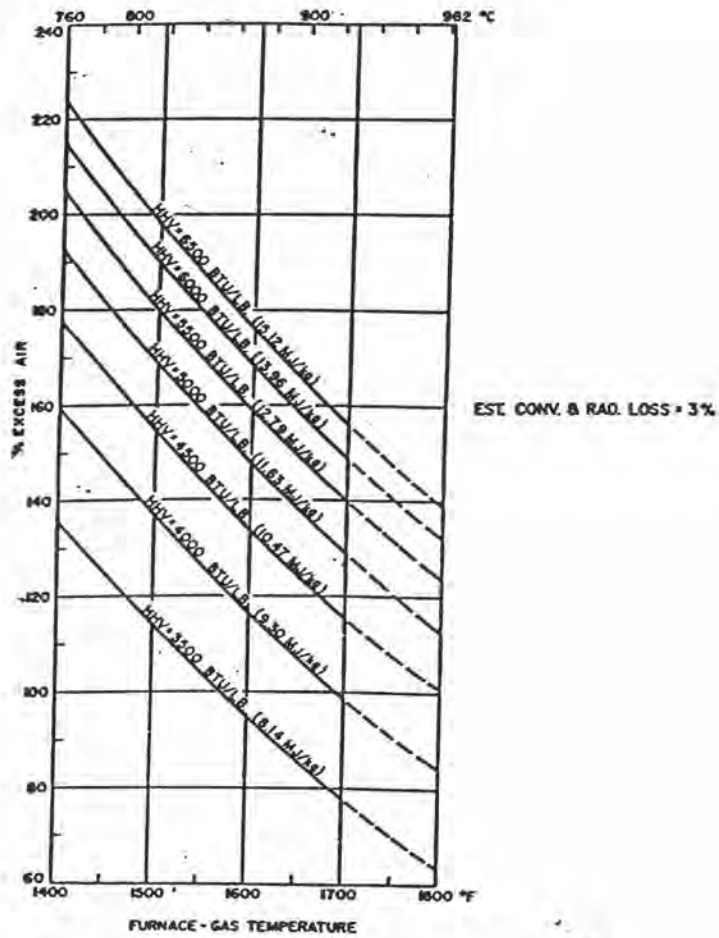
เมื่อ

Q_g แทน อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สไอเสีย , m^3/s

V_g แทน ความเร็วของแก๊สไอเสียที่ไหลผ่านปล่อง , m/s

อุณหภูมิของแก๊สภายในเตาเผามูลฝอย

อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบเตาเผามูลฝอย โดยทั่วไปจะมีค่า [6] ประมาณ 600°C ถึง 1,000°C เพื่อกำจัดปัญหาเรื่องกลิ่นและควันเราสามารถควบคุมอุณหภูมิของแก๊สไอเสียได้โดยอาศัยปริมาณอากาศส่วนเกิน ซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิของแก๊สไอเสียเพื่อป้องกันการเกิดอันตรายต่อเตาในกรณีอุณหภูมิสูงเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Furnace Temperature กับ Excess Air and HHV

เชื้อเพลิงช่วยในการเผาไหม้ (auxiliary fuels)

เชื้อเพลิงช่วยจะถูกนำมาใช้ในการเผามูลฝอยในเตาเผามูลฝอยในกรณีต่าง ๆ ดังนี้

1. การเริ่มทำงานของเตาเผา เพื่อไล่ความชื้นในเตาเผามูลฝอย
2. ช่วยส่งเสริมในการเผาไหม้มูลฝอยเปียก หรือมูลฝอยที่มีค่าความร้อนไม่เพียงพอ
3. เพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น
4. เพื่อเพิ่มปริมาณความร้อนให้กับอุปกรณ์การนำความร้อนนำไปใช้ประโยชน์สำหรับในกรณีที่มีค่าความร้อนของมูลฝอยไม่เพียงพอ

เชื้อเพลิงโดยทั่วไปจะใช้น้ำมันหรือแก๊ส โดยใช้หัวเผา (burner) และความสามารถของหัวเผาในการเผาไหม้มูลฝอยจะอยู่ในรูปของพลังงานต่อจำนวนความชื้น สำหรับเตาเผามูลฝอยความสามารถของหัวเผา [12] โดยทั่วไปประมาณ 6,963 ถึง 23,210 kJ/kg ของความชื้นในมูลฝอย

ปริมาณความร้อนของแก๊สไอเสียที่ออกจากปล่องไอเสีย

$$Q_{\text{FLUE GAS}} = \dot{m}_{ag} \overline{C}_{Pg} \left(T_{g4} - T_a \right)$$

เมื่อ

$\dot{m}_{ag}$ แทน อัตราการไหลของแก๊สไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้โดยใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน , kg/s

$\overline{C}_{Pg}$ แทน ความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของแก๊สไอเสีย , kJ/kg K

T_{g4} แทน อุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่ทางออกของปล่องไอเสีย , K

T_a แทน อุณหภูมิของอากาศที่เข้าเตาเผา , K

ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของแก๊สไอเสีย [17]

ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของแก๊สไอเสีย สามารถคำนวณอุณหภูมิของแก๊สไอเสียและส่วนประกอบของแก๊สไอเสียได้จากสมการ

$$\overline{C}_{P_g} = \left[C_P \frac{CO_2}{100} + C_P \frac{O_2}{100} + C_P \frac{N_2}{100} + C_P \frac{H_2O}{100} \right]$$

เมื่อ

C_p แทน ค่าความร้อนจำเพาะของแก๊สแต่ละชนิดที่อุณหภูมิของแก๊สไอเสีย, kJ/kg K

CO_2, O_2, N_2, H_2O แทน เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแก๊สแต่ละชนิดที่ประกอบอยู่ในแก๊สไอเสีย

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผามูลฝอย

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผามูลฝอย (thermal efficiency , $\eta_{THERMAL}$) หมายถึง อัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกจากปล่องไอเสียต่อพลังงานความร้อนที่เกิดจากค่าความร้อนต่ำ (LHV) ของมูลฝอยและของเชื้อเพลิง ในกรณีที่ไม่ใช้เชื้อเพลิงช่วยในการเผาไหม้ สามารถคำนวณได้จากสมการ

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

เมื่อ

$\eta_{THERMAL}$ แทน ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผามูลฝอย , %

$Q_{FLUE\ GAS}$ แทน พลังงานความร้อนที่ปล่อยออกจากปล่องไอเสีย , kW

Q_{LHV} แทน ค่าความร้อนต่ำของมูลฝอย , kW

โดยที่

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

เนื่องจากค่า LHV จากการทดสอบจะมีหน่วยเป็น MJ/kg ดังนั้นจึงต้องคูณด้วยอัตราการเผามูลฝอย ดังนั้นสมการประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผามูลฝอยก็จะได้เป็นสมการ

$$\eta_{THERMAL} = \frac{3.6 Q_{FLUE\ GAS}}{\dot{m}_{FEED}\, Q_{LHV}} x100$$

เมื่อ

$\dot{m}_{FEED}$ แทน อัตราการป้อนมูลฝอย , $kg_{มูลฝอย}/h$

สมดุลความร้อนของเตาเผามูลฝอย

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน (Law of Conservation of Energy)

$$\dot{E}_m + \dot{E}_g = \dot{E}_{out} + \dot{E}_{st}$$

1. $\dot{E}_{in}$ คือพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผามูลฝอย ได้แก่ความร้อนเนื่องจากค่าความร้อนต่ำของมูลฝอย , Q_{LHV}

2. $\dot{E}_{out}$ คือพลังงานความร้อนที่ออกจากเตา ได้แก่
   - 2.1 ความร้อนที่ปล่อยออกมากับแก๊สไอเสีย , $Q_{FLUE\ GAS}$
   - 2.2 ความร้อนถ่ายเทผ่านผนังด้านต่าง ๆ ของเตาเผามูลฝอย , $Q_{COND1,2}$
   - 2.3 ความร้อนที่ถ่ายเทโดยการนำผ่านผนังด้านล่าง , $Q_{COND\ (พื้นเตา)}$
   - 2.4 ความร้อนที่ถ่ายเทโดยการแผ่รังสีและการพาออกจากปล่อง , $Q_{RAD} + Q_{CONV}$
   - 2.5 ความร้อนที่ออกไปเป็นขี้เถ้าลอย , $Q_{FLY\ ASH\ (Unborn)}$
   - 2.6 ความร้อนอื่น ๆ , $Q_{อื่นๆ}$

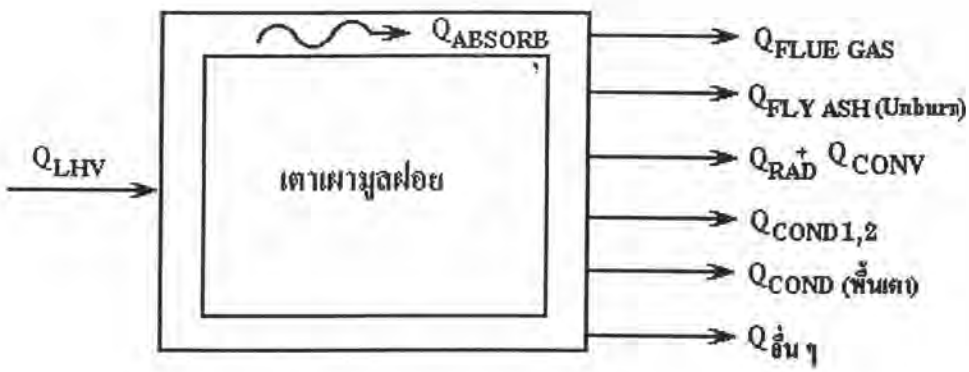
พลังงานความร้อนที่ออกไปเป็นขี้เถ้าลอย , $Q_{FLY\ ASH}$

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

เมื่อ

$\dot{m}_{FLY\ ASH}$ แทน อัตราการเกิดขี้เถ้าลอย , kg/h

32,750 แทน ค่าความร้อนของธาตุคาร์บอน , kJ/kg



รูปที่ 3.2 แสดงสมดุลพลังงานความร้อนของเตาเผามูลฝอย

พลังงานความร้อนที่สูญเสียโดยแผ่รังสีผ่านปล่องไอเสียและพาออกจากปล่อง, $Q_{RAD}+Q_{CONV}$

$$Q_{RAD} + Q_{conv} = \dot{m}_{ag}\,\overline{C}_{pg}(T_{g3} - T_{g4}) + \frac{1}{R_{t3}}\left[\frac{(T_{si5} + T_{si6})}{2} - \frac{(T_{so5} + T_{so6})}{2}\right]$$

เมื่อ

$\dot{m}_{ag}$ แทน อัตราการไหลของแก๊สไอเสีย , kg/s

$\overline{C}_{pg}$ แทน ค่าความร้อนจำเพาะของแก๊สไอเสีย , kJ/kg K

T_{g3} แทน อุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่เข้าสู่ปล่องไอเสีย , K

T_{g4} แทน อุณหภูมิที่ออกจาปล่องไอเสีย ,K

R_{t3} แทน ความต้านทานความร้อนผ่านผนังปล่องไอเสีย , K/W

พลังงานความร้อนที่สูญเสียไม่สามารถหาได้ , $Q_{อื่นๆ}$

$Q_{อื่นๆ}$ หมายถึง พลังงานความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น ผลการทดลองจะคลาดเคลื่อนเนื่องจากการอ่านเครื่องมือวัด และการทดลองเป็น unsteady condition

3. พลังงานความร้อนที่สะสมไว้ในเตา ได้แก่

พลังงานความร้อนที่ถูกดูดซับโดยผนังเตาเผามูลฝอย , Q_{ABSORB}

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

เมื่อ

M แทน มวลของผนังเตาเผามูลฝอย , kg

c_p แทน ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุ , kJ/kg K

ΔT แทน ผลต่างของอุณหภูมิ , K

Δt แทน ช่วงเวลาที่ใช้คำนวณหา Q_{ABSORB} , s