บทที่ 2

ทฤษฎี

การกำจัดมูลฝอยโดยวิธีเผา (Incineration)

การเผามูลฝอยในเตาเผามูลฝอยที่ถูกหลักสุขาภิบาล หมายถึง ขบวนการเผาไหม้ของเสียทั้งส่วนที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ซึ่งต้องใช้ความร้อนสูงเพื่อทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ไม่ทำให้เกิดกลิ่นและควันรบกวน รวมทั้งไม่ทำให้เกิดปัญหาทางด้านมลภาวะทางอากาศ (Air Pollution) ผลสุดท้ายที่ได้จากการเผามูลฝอยนอกจากจะสามารถลดปริมาตรของมูลฝอยลงแล้วยังมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ขี้เถ้า และอาจมีแก๊สอื่น ๆ ซึ่งขึ้นกับชนิดของมูลฝอยที่ถูกเผานั้น [2]

บรรทัดฐานในการออกแบบสร้างเตาเผามูลฝอย (Design Criteria) [4]

วัตถุประสงค์ในการออกแบบสร้างเตาเผามูลฝอย คือ

1. สร้างเตาเผามูลฝอยใช้สำหรับเผากำจัดมูลฝอย
2. เพื่อใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เหมาะสมสำหรับการเผาไหม้
3. เพื่อทำให้อากาศและมูลฝอยผสมผสานเข้ากันได้ดีทำให้มูลฝอยถูกเผาไหม้หมดก่อนที่แก๊สจากการเผาไหม้จะออกจากเตาเผามูลฝอยไปก่อน
4. ลดความรุนแรงของแก๊สที่เกิดจากเผาไหม้มูลฝอย
5. เพื่อแยกอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้
6. เพื่อป้องกันสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้สูญหายไป
7. เพื่อเป็นการลดพื้นที่ในการกำจัดมูลฝอย

การเผาไหม้ (Combustion)

การเผาไหม้ หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับสารที่เผาไหม้ได้ (Combustible Element) ของเชื้อเพลิง โดยมีสารเผาไหม้หลัก 3 ชนิด คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน สำหรับกำมะถันขณะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนจะให้ค่าความร้อนน้อยเมื่อ

เทียบกับคาร์บอนและไฮโดรเจน สารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ประกอบไปด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ เขม่า และสารที่เหลือจากการเผาไหม้ เช่น ขี้เถ้า ออกซิเจน ไนโตรเจน เป็นต้น

การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ คือ การเผาไหม้ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นแล้วให้ปริมาณความร้อนเท่ากับค่าความร้อน (Heating Valve) ของเชื้อเพลิง ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) ของธาตุที่เผาไหม้ได้ มีสมการพื้นฐานดังนี้

การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + 97000 \quad \text{kcal/kmol}$$

การเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์

$$C + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO + 29400 \quad \text{kcal/kmol}$$

การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์

$$CO + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO_2 + 67600 \quad \text{kcal/kmol}$$

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O\,(\text{vapor}) + 57600 \quad \text{kcal/kmol}$$

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O\,(\text{liquid}) + 68300 \quad \text{kcal/kmol}$$

$$S + O_2 \rightarrow SO_2 + 80000 \quad \text{kcal/kmol}$$

การเผาไหม้จะไม่ใช้ O_2 ล้วน ๆ เนื่องจากมีราคาแพง แต่จะใช้ O_2 ในอากาศโดยอากาศแห้งที่มีปริมาตร 1 m^3 จะประกอบด้วยออกซิเจน 0.21 m^3 และไฮโดรเจน 0.79 m^3 หรือ พิจารณาโดยมวล อากาศที่มีน้ำหนัก 1 kg จะประกอบด้วยออกซิเจน 0.232 kg และไฮโดรเจน 0.768 kg ดังนั้นสมการการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะเขียนได้เป็น

$$\text{Fuel} + \text{Air}\,(O_2 + N_2) \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2 + \text{Heat}$$

ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้

คุณสมบัติของกระบวนการการเผาไหม้ โดยทั่วไปต้องเกิดการสันดาปของเชื้อเพลิงโดยสามารถสังเกตลักษณะการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ได้ดังนี้

1. มูลฝอยที่สามารถเผาไหม้ได้ในห้องเผาไหม้ต้องถูกสันดาปโดยมีระยะเวลานานเพียงพอเพื่อให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ระยะเวลาในห้องเผาไหม้ขึ้นกับขนาดและความหนาแน่นของมูลฝอยเป็นสำคัญ

2. การป้อนมูลฝอยในห้องเผาไหม้ไม่ควรป้อนลงบนส่วนที่มีการลุกไหม้ของเปลวไฟ

3. ปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าสู่เตาเผาต้องป้อนอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ โดยจริง ๆ แล้วอัตราการไหลของอากาศควรสมดุลกับอัตราการป้อนมูลฝอย

4. อุณหภูมิของการเผาไหม้ภายในเตาเผามูลฝอยต้องสูงกว่าอุณหภูมิจุดติดไฟของมูลฝอย

5. แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ต้องผสมผสานกับเปลวไฟจากหัวเผา

6. ปริมาณอากาศส่วนเกินอาจจะทำให้อุณหภูมิของแก๊สไอเสียลดลง แต่จะทำให้เกิดการผสมผสานกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ซึ่งทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์

เพื่อให้แน่ใจว่าการเผาไหม้สมบูรณ์จึงมีการนำหลัก 3T มาใช้ในการพิจารณาการเผาไหม้ คือ เวลา (Time) อุณหภูมิ (Temperature) และการผสมผสานแบบปั่นป่วน (Turbulence) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ดังนี้

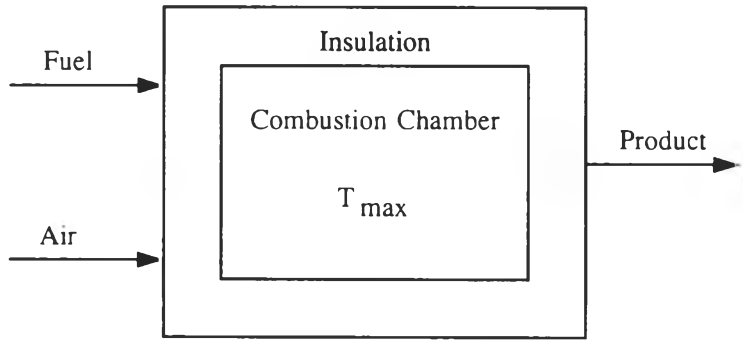
1. **เวลา (Time)** เมื่อมีการป้อนมูลฝอยแห้งลงไปในห้องเผาไหม้ ในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยาการสันดาปต้องการเฉพาะเวลาเพื่อให้เกิดความร้อนเพียงพอสำหรับมูลฝอย เวลาที่ต้องการใช้สำหรับให้เกิดการออกซิไดซ์ของมูลฝอยกับออกซิเจนเพื่อให้มูลฝอยนั้นเกิดการเผาไหม้ ถ้ามูลฝอยนั้นมีชิ้นใหญ่ก็ต้องใช้เวลาในการเผาไหม้นานขึ้น ดังนั้นลักษณะของมูลฝอยก็เป็นส่วนสำคัญในการเผาไหม้ด้วย

2. **การผสมผสานกันแบบปั่นป่วน (Turbulence)** ทำได้โดยกำหนดให้ทิศทางการไหลของอากาศที่เข้าสู่เตาเผามูลฝอยมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของตะแกรงในของเผาไหม้ เพื่อทำให้การผสมผสานกันระหว่างอากาศกับมูลฝอยเป็นไปอย่างทั่วถึงและเพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ควรจะเกิดการผสมผสานกับอากาศเป็นแบบปั่นป่วน และเพื่อให้มูลฝอยที่ป้อนเข้าสู่เตาเผามูลฝอยเกิดการออกซิไดซ์มากขึ้น การผสมผสานกันแบบปั่นป่วนนี้มีความสำคัญมากสำหรับการเผาไหม้มูลฝอยชนิดแข็ง (Solid Waste)

3. **อุณหภูมิ (Temperature)** เวลาของการผสมผสานกันแบบปั่นป่วนเป็นสิ่งสำคัญในการทำให้อุณหภูมิเข้าสู่ค่าอุณหภูมิอุดมคติภายในขอบเขตพื้นที่ของการเผาไหม้ โดยอุณหภูมิของการเผาไหม้ขึ้นกับคุณสมบัติของเชื้อเพลิง เช่น อุณหภูมิจุดติดไฟ ค่าความชื้นของเชื้อเพลิง โครงสร้างของเตาเผามูลฝอย และปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ในการเผาไหม้

อุณหภูมิของเปลวไฟเมื่อไม่มีการสูญเสียความร้อน (Adiabatic Flame Temperature)

พลังงานเคมีที่ถูกปลดปล่อยออกมาในระหว่างเกิดกระบวนการการเผาไหม้จะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนไปสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้อุณหภูมิของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้เพิ่มขึ้น ในกรณีที่ไม่มีการสูญเสียความร้อนไปยังสิ่งแวดล้อมเลย นั่นคือ Q = O อุณหภูมิของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้จะมีค่าสูงสุดและจะเรียกว่าอุณหภูมินี้ว่า อุณหภูมิเปลวอะเดียเบติก (Adiabatic Flame Temperature) ของสารปฏิกิริยา



รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการการเผาไหม้ในระบบการไหลคงที่

พิจารณารูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นกระบวนการการเผาไหม้ในระบบการไหลคงที่ ดังนั้นสามารถเขียนกฎการสมดุลพลังงานได้ดังนี้

$$Q - W = H_P - H_R$$

หรือ

$$\sum N_p\left(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}_k^o\right) = \sum N_R\left(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}_k^o\right)$$

เมื่อ

H_P = เอนทาลปีของสารผลิตภัณฑ์ (Produets)

H_R = เอนทาลปีของสารปฏิกิริยา (Reactants)

N_P = จำนวนโมเลกุลในองค์ประกอบของสารผลิตภัณฑ์

N_R = จำนวนโมเลกุลในองค์ประกอบของสารปฏิกิริยา

$\bar{h}_f^o$ = เอนทาลปีของการสร้างสารประกอบที่สภาวะอ้างอิง 25 °C , 1 บรรยากาศ

$\bar{h}$ = เอนทาลปีของสารที่สภาวะที่กำหนด

$\bar{h}^o$ = เอนทาลปีของสารที่สภาวะที่อ้างอิง 25 °C , 1 บรรยากาศ

สามารถหาค่า $\bar{h}_f^o$, $\bar{h}$, $\bar{h}^o$ ของสารปฏิกิริยาได้โดยการเปิดตารางเทอร์โมไดนามิกส์ [5] แต่ไม่สามารถหาค่าเอนทาลปีของสารผลิตภัณฑ์ $\bar{h}$ นั้นได้โดยตรงเนื่องจากไม่ทราบค่าอุณหภูมิของสารผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงใช้วิธี Interpolation ในการหาค่าอุณหภูมิของสารผลิตภัณฑ์ที่ถูกต้องด้วยการแทนค่าอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิของเอนทาลปีที่ทราบค่า จากการคำนวณด้วยวิธีนี้จะได้ค่าอุณหภูมิที่ถูกต้อง โดยอุณหภูมิที่คำนวณได้นี้จะขึ้นกับปริมาณอากาศส่วนเกิน

เชื้อเพลิง (Fuel)

เชื้อเพลิง หมายถึง สารที่มีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน และเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วจะให้ความร้อนออกมา เชื้อเพลิงแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. เชื้อเพลิงแข็ง ได้แก่ ถ่านหิน ถ่านโค๊ก ไม้ฟืน ชานอ้อย แกลบ เป็นต้น
2. เชื้อเพลิงเหลว ได้แก่ น้ำมันก๊าด น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา เป็นต้น
3. เชื้อเพลิงแก๊ส ได้แก่ แก๊สธรรมชาติ LPG และโพรดิวเซอร์แก๊ส

องค์ประกอบสำคัญของเชื้อเพลิงทุกชนิด คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน กำมะถัน และความชื้น เนื่องจากคุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อเพลิงขึ้นกับสัดส่วนขององค์ประกอบเหล่านี้ ดังนั้นลักษณะเฉพาะของเชื้อเพลิงที่ดี คือ

1. สามารถเผาไหม้ควบคุมการเผาไหม้ได้
2. มีค่าความร้อนสูง
3. ราคาไม่แพง
4. เมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วให้สารที่เป็นมลพิษในระดับต่ำ

5. ง่ายต่อการลำเลียงขนส่งและเก็บรักษา

6. มีความปลอดภัยทั้งเวลาใช้และเก็บรักษา

มูลฝอย (Solid Waste)

คุณสมบัติสำคัญของมูลฝอยมีดังนี้

1. ค่าความชื้น (Moisture Content) มีความสำคัญต่อกระบวนการการเผาไหม้ ถ้ามูลฝอยมีความชื้นมากจะทำให้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มีค่าน้อยลง เนื่องจากต้องใช้ความร้อนส่วนหนึ่งไปใช้ในการเผาความชื้นในมูลฝอย ค่าความชื้นของมูลฝอยสามารถหาได้จากสมการ

$$M(\%) = \frac{w - d}{d} \times 100$$

เมื่อ

$M(\%)$ = ค่าความชื้น , %

w = มวลของมูลฝอยเปียก , g

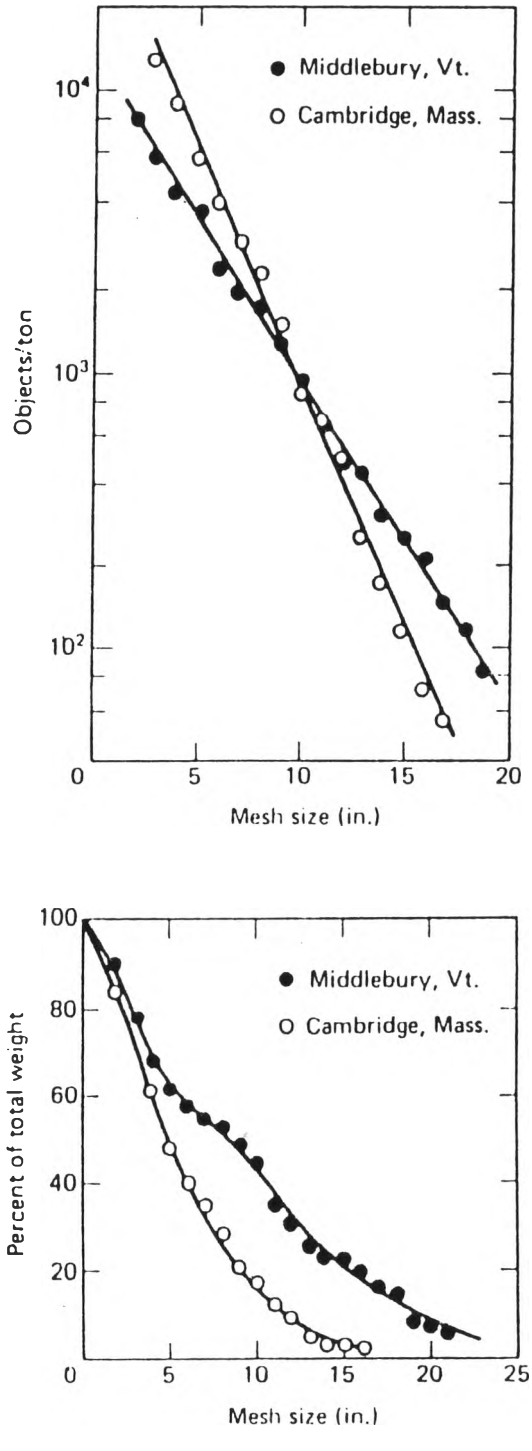
d = มวลของมูลฝอยแห้ง , g

วิธีหาค่ามวลของมูลฝอยแห้งทำได้โดยนำมูลฝอยที่ต้องการหาค่าความชื้นไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 77°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยวิธีนี้จะทำให้น้ำที่อยู่ในมูลฝอยระเหยกลายเป็นไอหมด จากนั้นนำมูลฝอยในเตาอบมาชั่งน้ำหนักจะได้มวลของมูลฝอยแห้ง

2. ขนาดของมูลฝอย (Paiticle Size) ได้มีการศึกษาขนาดของมูลฝอยในประเทศอังกฤษ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

<u>ส่วนประกอบของมูลฝอย</u> (Composition By Materials)

ส่วนประกอบของมูลฝอยในแต่ละประเทศจะขึ้นกับลักษณะการดำรงชีวิต อาชีพ และลักษณะของภูมิประเทศซึ่งแตกต่างกัน ถ้าทราบส่วนประกอบของมูลฝอยแล้วจะช่วยให้สามารถตัดสินใจได้ว่าจะกำจัดมูลฝอยชนิดใดได้อย่างเหมาะสม ตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของมูลฝอยในประเทศต่าง ๆ [6] ดังนี้



รูปที่ 2.2 แสดงขนาดของมูลฝอยในประเทศอังกฤษ

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของมูลฝอยในประเทศต่าง ๆ

	Paper	Organics	Garbage and Metal	Glass	Plastics	Other
United Kingdom (av.)	28	13	7	8	-	54
Stevenage, U.K.	33	14	7	10	4	-
France (av.)	30	24	4	4	-	38
Holland (av.)	23	50	3	13	5	-
West Germany (av.)	20	21	5	10	-	44
West Germany (av.)	28	15	7	9	3	-
Sweden (av.)	55	12	6	15	-	12
Stockholm, Sweden	45	17	6	7	9	-
Spain (av.)	21	45	3	4	-	27
Rome, Italy	18	50	3	4	4	-
Poland (av.)	6	40	1	2	-	51
Auckland, New Zealand	28	48	6	7	-	11
Australia (av.)	23	10	10	16	-	-
Sydney, Australia	38	13	11	18	-	-
Vienna, Australia	35	24	10	9	6	-
Prague, Czechoslovakia	13	42	6	7	4	-
Sofia, Bulgaria	10	54	2	2	2	-

ค่าความหนาแน่นของมูลฝอย (Density)

คือ น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของมูลฝอย ซึ่งส่วนใหญ่ค่าความหนาแน่นของมูลฝอยจะมีผลต่อการฝังกลบและการเผาในเตาเผามูลฝอย จากการศึกษาพบว่า [6] มูลฝอยในประเทศต่าง ๆ มีค่าความหนาแน่นขึ้นกับค่าความถ่วงจำเพาะของมูลฝอยนั้นดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความหนาแน่นและค่าความถ่วงจำเพาะของมูลฝอยในต่างประเทศ

	Specific Gravity	lb/ft^3
Aluminum	2.70	168
Steel	7.70	480
Glass	2.50	156
Paper	0.70-1.15	44 - 72
Cardboard	0.69	43
Wood	0.60	37
Plastics		
Polyethylene	0.94	59
ABS	1.03	64
Acrylic	1.18	64
Polypropylene	0.90	56
Polystyrene	1.05	65
PVC	1.25	78

องค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอย (Chemical Compositions)

องค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยมีองค์ประกอบหลักคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน กำมะถัน และขี้เถ้า ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 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.

ค่าความร้อนของมูลฝอย (Heating Value of Solid Waste)

คือ ปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อมูลฝอยถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ที่กระบวนการการไหลคงที่และสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้กลับสู่สภาวะเริ่มต้น โดยค่าความร้อนของมูลฝอยจะเท่ากับค่าสัมบูรณ์ของเอนทาลปีของการเผาไหม้ดังสมการ

$$HV = \left| h_o \right| \quad , \quad \frac{kg}{kg_{rf}}$$

ค่าความร้อนของมูลฝอย มี 2 ลักษณะ คือ ค่าความร้อนสูงของมูลฝอย (HHV) และค่าความร้อนต่ำของมูลฝอย (LHV) โดยขึ้นกับสถานะของน้ำในสารผลิตภัณฑ์ ดังนี้

HHV = ค่าความร้อนสูงของมูลฝอยซึ่งน้ำอยู่ในสภาวะของของเหลว , MJ/kg_{rf}

LHV = ค่าความร้อนต่ำของมูลฝอยซึ่งน้ำอยู่ในสภาวะของไอ , MJ/kg_{rf}

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$HHV = LHV + H\left|\bar{h}_{fg}\right|H_2O \quad , \quad \frac{MJ}{kg_{rf}}$$

เมื่อ

N = จำนวนโมลของน้ำในสารผลิตภัณฑ์

$\bar{h}_{fg}$ = ค่าเอนทาลปีของการกลายเป็นไอของน้ำที่ 25°C , 1 บรรยากาศ , kg_{rf}

และจากสมการของ Dulong [8] สามารถหาค่าความร้อนสูงของมูลฝอยได้ดังนี้

$$HHV = 0.338C + 1.44\left(H - \frac{O}{8}\right) \quad , \quad \frac{MJ}{kg_{rf}}$$

เมื่อ

C = เปอร์เซ็นต์โดยมวลของคาร์บอนในมูลฝอย

H = เปอร์เซ็นต์โดยมวลของไฮโดรเจนในมูลฝอย

O = เปอร์เซ็นต์โดยมวลของออกซิเจนในมูลฝอย

อากาศสำหรับการเผาไหม้

ในการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะใช้ออกซิเจนจากอากาศเข้าทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง โดยแสดงองค์ประกอบของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ไว้ในดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้

องค์ประกอบของอากาศ	% องค์ประกอบ	
ออกซิเจน	21	21
ไนโตรเจน	79	77
O_2/N_2	1 : 3.76	1 : 0.35

หอสมุดกลาง ...
ศูนย์วิทยทรัพยากร ...

ปริมาณอากาศทฤษฎี (Theoretical Air)

ปริมาณอากาศน้อยที่สุดที่ต้องการสำหรับทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ คือปริมาณอากาศต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของเชื้อเพลิง คำนวณได้จากการรวมปริมาณอากาศที่องค์ประกอบของมูลฝอยแต่ละตัวต้องการดังนี้

ปริมาณอากาศทางทฤษฎีโดยมวล $\left(m_{t_a}\right)$

$$m_{t_a} = \frac{1}{0.232}\left(\frac{1}{12}\left(32\,m_C\right) + \frac{32}{4}\left(m_H - \frac{m_O}{8}\right) + \frac{1}{32}\left(m_S\right)\right)$$

$$= 11.49\,m_C + 34.5\left(m_H - \frac{m_O}{8}\right) + 4.3\,m_S \quad , \quad \frac{kg_a}{kg_{rf}}$$

ปริมาณอากาศทางทฤษฎีโดยปริมาตร $\left(V_{t_a}\right)$

$$V_{t_a} = \frac{1}{0.21}\left(\frac{1}{0.21}\left(224\,m_C\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{224}{2}\right)\left(m_H - \frac{m_O}{8}\right) + \frac{1}{32}\left(224\,m_S\right)\right)$$

$$= 8.89\,m_C + 26.7\left(m_H - \frac{m_O}{8}\right) + 3.33\,m_S \quad , \quad \frac{m_a^3}{kg_{rf}}$$

เมื่อ

m_C = มวลของคาร์บอนในมูลฝอย , $\frac{kg}{kg_{rf}}$

m_H = มวลของไฮโดรเจนในมูลฝอย , $\frac{kg}{kg_{rf}}$

m_O = มวลของออกซิเจนในมูลฝอย , $\frac{kg}{kg_{rf}}$

m_S = มวลของซัลเฟอร์ในมูลฝอย , $\frac{kg}{kg_{rf}}$

ปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess Air, %EA)

ในทางปฏิบัติการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ต้องการใช้ปริมาณอากาศมากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี (Theoretical Air) เพื่อที่จะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยคำนวณหาปริมาณอากาศส่วนเกินได้จาก

ปริมาณอากาศส่วนเกินโดยมวล

$$\%EA = \frac{m_{a_a} - m_{t_a}}{m_{t_a}} \times 100$$

ปริมาณอากาศส่วนเกินโดยปริมาตร

$$\%EA = \frac{V_{a_a} - V_{t_a}}{V_{t_a}} \times 100$$

เมื่อ

m_{a_a} = ปริมาณอากาศที่ใช้จริงโดยมวล , $\frac{kg_a}{kg_{rf}}$

V_{a_a} = ปริมาณอากาศที่ใช้จริงโดยปริมาตร , $\frac{m_a^3}{kg_{rf}}$

อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง (AF-Ratio)

คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของอากาศต่อมวลของเชื้อเพลิงในระหว่างการเผาไหม้ โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงทางทฤษฎี (AF_{theo}) และอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงจริง (AF_{ac}) และสามารถแสดง AF_{theo} ได้ดังสมการ

$$AF_{theo} = \frac{\text{มวลของอากาศทางทฤษฎี}}{\text{มวลของเชื้อเพลิง}}$$

ในภาวะอากาศทางทฤษฎี (Theoretical Air) การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์เป็นไปได้ยาก เนื่องจากการผสมผสานกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะบริเวณใกล้กับผนังของห้องเผาไหม้และภาระความร้อนยังเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ทำให้ความต้องการปริมาณอากาศกับเชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย และอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จริงมีความชื้นเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงในภาวะที่มีปริมาณอากาศดังสมการ

$$AF_{ac} = \%EA \times AF_{theo}$$

การวิเคราะห์แก๊สไอเสียทางทฤษฎี (Flue Gas Analysis)

ผลจากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะได้แก๊สอุณหภูมิสูง ก่อนที่แก๊สร้อนจะไหลออกทางปล่องไอเสียจะเกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ระหว่างทางก่อนและจะเรียกแก๊สร้อนนี้ว่า แก๊สไอเสียซึ่งประกอบไปด้วย CO_2 , H_2O , SO_2 ซึ่งเกิดจากการสันดาปของเชื้อเพลิงและออกซิเจน (O_2) ที่มีอยู่ในอากาศส่วนเกิน รวมถึงไนโตรเจน (N_2) ที่มีอยู่ในอากาศด้วย ดังนั้นโดยทั่วไปแก๊สไอเสียจะมีไอน้ำปนอยู่ด้วย แต่ถ้าพิจารณาแก๊สไอเสียที่ไม่มีไอน้ำในอยู่จะเรียกว่าแก๊สไอเสียแห้ง (Dry Flue Gas) สามารถคำนวณได้จากองค์ประกอบของเชื้อเพลิงและอัตราส่วนของอากาศดังนี้

ปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดจากอากาศทางทฤษฎีโดยมวลที่ $0^{\circ}C$ ความดัน 1 บรรยากาศ

$$m_{t_a} = (1 - 0.232)\, m_{a_a} + \left(\frac{44}{12}\right) m_C + \left(\frac{18}{2}\right) m_H + \left(\frac{64}{32}\right) m_S + m_w + m_N \quad , \quad \frac{kg_a}{kg_{rf}}$$

ปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดจากอากาศทางทฤษฎีโดยปริมาตรที่ $0^{\circ}C$ ความดัน 1 บรรยากาศ

$$V_{t_a} = (1 - 0.21)\, V_{a_a} + \left(\frac{22.4}{12}\right) m_C + \left(\frac{22.4}{2}\right) m_H + \left(\frac{22.4}{32}\right) m_S + \left(\frac{22.4}{18}\right) m_w + \left(\frac{22.4}{28}\right) m_N \quad , \quad \frac{m^3_{ex}}{kg_{rf}}$$

ปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดจากอากาศส่วนเกินโดยมวลที่ $0^{\circ}C$ ความดัน 1 บรรยากาศ

$$m_g = \left(\frac{\%EA}{100}\right) m_{t_a} + (1 - 0.232)\, m_{a_a} + \left(\frac{44}{12}\right) m_C + \left(\frac{18}{2}\right) m_H + \left(\frac{64}{32}\right) m_S + m_w + m_N \quad , \quad \frac{kg_{ex}}{kg_{rf}}$$

ปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดจากอากาศส่วนเกินโดยปริมาตรที่ $0^{\circ}C$ ความดัน 1 บรรยากาศ

$$V_g = \left(\frac{\%EA}{100}\right) V_{t_a} + (1 - 0.21)\, V_{a_a} + \left(\frac{22.4}{12}\right) m_C + \left(\frac{22.4}{2}\right) m_H + \left(\frac{22.4}{32}\right) m_S + \left(\frac{22.4}{18}\right) m_w + \ldots$$
$$\ldots + \left(\frac{22.4}{28}\right) m_N \quad , \quad \frac{m^3_{ex}}{kg_{rf}}$$

เมื่อ

M_C = มวลของคาร์บอนในเชื้อเพลิง , $\frac{kg}{kg_{rf}}$

m_H = มวลของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง , $\frac{kg}{kg_{rf}}$

m_S = มวลของซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิง , $\frac{kg}{kg_{rf}}$

m_w = มวลของความชื้นในเชื้อเพลิง , $\frac{kg}{kg_{rf}}$

m_N = มวลของไนโตรเจนในเชื้อเพลิง , $\frac{kg}{kg_{rf}}$

ความจุความร้อน (Heat Capacity)

คือปริมาณความร้อนที่วัสดุต้องการใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นหนึ่งองศา โดยค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) เป็นอัตราส่วนของความจุความร้อนของสารกับความจุความร้อนของน้ำที่มีน้ำหนักเท่ากัน สามารถเขียนสมการของความจุความร้อนได้ดังนี้

$$c = \frac{dq}{dT}$$

เมื่อ

c = ความจุความร้อน , $J/^{\circ}C$

dq = ความร้อนที่เติมเข้าไปเพื่อเปลี่ยนอุณหภูมิ dT

โดยถ้าสารถูกทำให้ร้อนขึ้นโดยมีปริมาตรคงที่ นั่นคือ dq = dv ดังนั้นสามารถนิยามความจุความร้อนที่ปริมาตรคงที่ว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

$$c_V = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_V$$

ถ้าสามารถทำให้สารร้อนที่ความดันคงที่ นั่นคือ dq = du + PdV และ dH = du + PdV สำหรับกระบวนการความดันคงที่ ดังนั้นสามารถนิยามความจุความร้อนที่ความดันคงที่ได้ว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงของเอนทาลปีเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

$$c_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P$$

ความจุความร้อนของแก๊สอุดมคติโดยทั่วไปเป็นฟังก์ชั่นกับอุณหภูมิ โดยเป็นสมการอนุกรมกำลังกับอุณหภูมิดังแสดงในภาคผนวก ค

ทฤษฎีการออกแบบเตาเผามูลฝอยชนิดสองห้องเผาไหม้

การออกแบบห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber)

เตาเผามูลฝอยชนิดสองห้องเผาไหม้ประกอบด้วยห้องเผาไหม้ที่หนึ่งใช้สำหรับเผามูลฝอย และห้องเผาไหม้ที่สองใช้สำหรับเผาแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้มูลฝอยในห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง ดังนั้นห้องเผาไหม้จึงหมายถึง อาณาเขตหรือบริเวณที่มีการเผาไหม้ของมูลฝอยมีลักษณะเป็นห้องสี่เหลี่ยม และจากการศึกษาข้อมูลของเตาเผามูลฝอยโดยทั่วไป [6] พบว่า อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนมีค่าเท่ากับ 4.6×10^5 ถึง 9.2×10^5 kJ/(m^3-h) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ

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

เมื่อ

$\left(Q_R\right)_V$ = อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนต่อปริมาตร , MJ/ m^3-h

Q_{NET} = พลังงานความร้อนสุทธิจากการเผามูลฝอย , MJ/h

V = ปริมาตรภายในห้องเผาไหม้ , m^3

พลังงานความร้อนสุทธิจากการเผามูลฝอย (Q_{NET})

คือพลังงานความร้อนทั้งหมดที่เกิดจากการเผามูลฝอยลบด้วยพลังงานความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้มูลฝอย ดังสมการ

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

เมื่อ

Q_{TOTAL} = พลังงานความร้อนทั้งหมดจากการเผามูลฝอย , MJ/h

Q_{LOSS} = พลังงานความร้อนสูญเสียจากการเผามูลฝอย , MJ/h

พลังงานความร้อนทั้งหมดที่เกิดจากการเผามูลฝอย (Q_{TOTAL})

พลังงานความร้อนทั้งหมดที่เกิดจากการเผามูลฝอยและเชื้อเพลิงที่ใช้ช่วยในการเผาไหม้ คำนวณได้จากสมการ

$$Q_{TOTAL} = \dot{m}_{dry}\, HHV + \dot{m}_f\, HHV_f$$

เมื่อ

$\dot{m}_{dry}$ = อัตราการป้อนมูลฝอยแห้ง , kg/h

$\dot{m}_f$ = อัตราการใช้เชื้อเพลิงของหัวเผา , kg/h

HHV = ค่าความร้อนสูงของมูลฝอย , MJ/kg

HHV_f = ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง , MJ/kg

พลังงานความร้อนสูญเสีย (Q_{LOSS})

พลังงานความร้อนส่วนใหญ่จะสูญเสียไปกับการแผ่รังสีความร้อนและการถ่ายเทโดยการนำความร้อนจากเตาเผาไปสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 20% ของพลังงานความร้อนทั้งหมด [9] และสามารถคำนวณความร้อนสูญเสียจากกระบวนการเผาไหม้ได้ดังนี้

1. พลังงานความร้อนสูญเสียจากการระเหยน้ำในมูลฝอย (Q_{H_2O})

$$Q_{H_2O} = \dot{m}_w\, h_{fg_{25^oC}} \quad , \frac{MJ}{h}$$

เมื่อ

$\dot{m}_w$ = อัตราของน้ำในมูลฝอย , $\frac{MJ}{h}$

$h_{fg_{25^oC}}$ = ค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำที่อุณหภูมิ $25^{\circ}C$, $\frac{kJ}{kg}$

2. พลังงานความร้อนสูญเสียจากการระเหยน้ำที่เกิดการเผาไหม้ไฮโดรเจนในมูลฝอยหรือเชื้อเพลิง (Q_{H_2}) จากสมการการเผาไหม้ของ H_2 พบว่า ไฮโดรเจน 1 kg รวมกับออกซิเจน 8 kg จะเผาไหม้ได้น้ำ 9 kg ดังนั้นสามารถหาค่าพลังงานความร้อนสูญเสียได้ดังนี้

$$Q_{H_2} = 9\, m_H\, \dot{m}_{dry}\, h_{fg_{25^oC}} + 9\, m_{H_f}\, \dot{m}_f\, h_{fg_{25^oC}} \quad , \frac{MJ}{h}$$

เมื่อ

m_H = มวลของไฮโดรเจนในมูลฝอย , kg/kg_{rf}

m_{H_f} = มวลของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง , kg/kg_{rf}

$\dot{m}_{dry}$ = อัตราการป้อนมูลฝอย , kg/h

$\dot{m}_f$ = อัตราการใช้เชื้อเพลิงของหัวเผา , kg/h

$h_{fg_{25^oC}}$ = ค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำที่อุณหภูมิ $25^{\circ}C$ kJ/kg

3. พลังงานความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสีและการถ่ายเทความร้อน (Q_R) [9]

$$Q_R = 20\%\left(Q_{TOTAL}\right) \quad , \frac{MJ}{h}$$

ดังนั้นพลังงานความร้อนสูญเสียทั้งหมดจากการเผาไหม้ในเตาเผามูลฝอยคือ

$$Q_{LOSS} = Q_{H_2} + Q_{H_2O} + Q_R$$

ตะแกรงเผามูลฝอย (Incinerator Grate)

ในห้องเผาไหม้ที่หนึ่งได้ติดตั้งตะแกรงเผามูลฝอยไว้เพื่อรองรับมูลฝอยและเพื่อให้อากาศจากด้านล่างของตะแกรงเผามูลฝอยไหลเข้าผสมผสานกับมูลฝอย และเพื่อให้ขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ตกลงสู่ด้านล่างของตะแกรงเผามูลฝอย สามารถคำนวณหาขนาดของตะแกรงเผามูลฝอยได้จากค่าภาระของตะแกรงเผามูลฝอย (Grate Loading) [10] ดังนี้

$$LG = 10\log\left(\dot{m}\right)$$

เมื่อ

LG = ภาระของตะแกรงเผามูลฝอย , $\frac{lb}{ft^2 - h}$

$\dot{m}$ = อัตราการป้อนมูลฝอย , $\frac{lb}{h}$

ค่าภาระของตะแกรงเผามูลฝอย (LG) เป็นค่าความสัมพันธ์ของอัตราการป้อนมูลฝอยต่อพื้นที่ของตะแกรงเผามูลฝอย [10] สามารถหาค่าพื้นที่ของตะแกรงเผามูลฝอย (A_G) ได้จาก

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

เมื่อ

A_G = พื้นที่ของตะแกรงเผามูลฝอย , ft^2

$\dot{m}$ = อัตราการป้อนมูลฝอย , $\frac{ft}{h}$

LG = ภาระของตะแกรงเผามูลฝอย , $\frac{lb}{ft^2 - h}$

ความสูงของห้องเผาไหม้

เมื่อสามารถหาค่าปริมาตรของห้องเผาไหม้ (V) และพื้นที่ของตะแกรง (A_G) ได้ก็สามารถหาค่าความสูงของห้องเผาไหม้เหนือระดับตะแกรงได้จากสมการ

$$H = \frac{V}{A_G}$$

เมื่อ

H = ความสูงของห้องเผาไหม้ , m

V = ปริมาตรในห้องเผาไหม้ , m^3

A_G = พื้นที่ของตะแกรงเผามูลฝอย , m^2

Flame Port Area

คือช่องที่เจาะถึงกันระหว่างผนังของห้องเผาไหม้ที่หนึ่งและห้องผสมควัน เพื่อให้แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ที่หนึ่งไหลเข้าสู่ห้องผสมควัน ขนาดของ Flame Port คำนวณได้จากสมการความต่อเนื่องโดยมีค่าความเร็วแก๊สมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ Flame Port เท่ากับ 17 m/s [10] ดังนั้น

$$Q_g\left(600^\circ C\right) = A_{FP} V_{FP}$$

เมื่อ

Q_g = อัตราการไหลโดยปริมาตรของแก๊สไอเสียที่อุณหภูมิ 600°C , $\frac{m^3}{s}$

A_{FP} = พื้นที่ของ Flame Port , m^2

V_{FP} = ความเร็วแก๊สมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ Flame Port ที่อุณหภูมิ 600°C , $\frac{m}{s}$

ห้องผสมควัน (Mixing Chamber)

คือห้องที่ทำให้แก๊สไอเสียซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของมูลฝอยภายในห้องเผาไหม้ที่หนึ่งผสมผสานเข้ากับอากาศได้มากยิ่งขึ้นหรือเป็นห้องที่ทำให้อนุภาคและเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ตกตะกอนแล้วจึงทำการเผาไหม้แก๊สร้อนภายในห้องเผาไหม้ที่สองต่อไป โดยกำหนดค่าความเร็วแก๊สมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบห้องผสมควันเท่ากับ 7.5 m/s [10] และอุณหภูมิภายในห้องผสมควันเท่ากับ 550°C สามารถหาขนาดของห้องผสมควันได้จากสมการความต่อเนื่อง

$$Q_g\left(550^\circ C\right) = A_M V_M$$

เมื่อ

Q_g = อัตราการไหลโดยปริมาตรของแก๊สไอเสียที่อุณหภูมิ 550°C , $\frac{m^3}{s}$

A_M = พื้นที่ของห้องเติมอากาศ , m^2

V_M = ความเร็วแก๊สมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบห้องเติมอากาศที่อุณหภูมิ 550°C , $\frac{m}{s}$

Curtain Wall Port Area

คือผนังที่กั้นระหว่างห้องผสมควันกับห้องเผาไหม้ที่สอง โดยเจาะเป็นช่องถึงกันเพื่อให้แก๊สไอเสียที่ได้ผสมผสานเข้ากับอากาศแล้วไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่สอง และกำหนดค่าความเร็วแก๊สมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ Curtain Wall Port ที่อุณหภูมิ 550°C เท่ากับ 6 m/s [10] จากสมการความต่อเนื่องสามารถหาขนาดของ Curtain Wall Port ได้

$$Q_g\left(550^\circ C\right) = A_{CP} V_{CP}$$

เมื่อ

Q_g = อัตราการไหลโดยปริมาตรของแก๊สไอเสียที่อุณหภูมิ 550°C , $\frac{m^3}{s}$

A_{CP} = พื้นที่ของ Curtain Wall Port , m^2

V_{CP} = ความเร็วแก๊สมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ Curtain Wall Port ที่อุณหภูมิ 550°C, $\frac{m}{s}$

ห้องเผาไหม้ที่สอง

คือ ห้องเผาไหม้ที่ใช้สำหรับเผาควันหรือแก๊สร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของมูลฝอยในห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง โดยกำหนดค่าความเร็วแก๊สมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบห้องเผาไหม้ที่สองที่อุณหภูมิ 500°C เท่ากับ 2 m/s [10] ดังนั้นจากสมการความต่อเนื่องจะได้

$$Q_g\left(500^\circ C\right) = A_2 V_2$$

เมื่อ

Q_g = อัตราการไหลโดยปริมาตรของแก๊สไอเสียที่อุณหภูมิ 500°C , $\frac{m^3}{s}$

A_2 = พื้นที่ของห้องเผาไหม้ที่สอง , m^2

V_2 = ความเร็วแก๊สมาตรฐานในการออกแบบห้องเผาไหม้ที่สองที่อุณหภูมิ 500°C , $\frac{m}{s}$

ปล่องไอเสีย (Stack)

ความสูงของปล่องไอเสียจากระดับตะแกรงขึ้นกับกระแสลมเร่งตามธรรมชาติ ซึ่งเตาเผามูลฝอยโดยทั่วไป [1] มีกระแสลมเร่งตามธรรมชาติประมาณ 3 - 6 mm_{H_2O} ดังนั้นสามารถหาความสูงของปล่องไอเสีย [11] ได้จากสมการดังนี้

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

เมื่อ

T_a = อุณหภูมิของอากาศภายนอกเตาเผามูลฝอย , K

T_g = อุณหภูมิของแก๊สไอเสีย , K

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 1000 kg/m^3

D_t = กระแสลมเร่งตามธรรมชาติของเตาเผามูลฝอย , m

P_b = ความดันบรรยากาศ , mm_{Hg}

ดังนั้นสามารถหาขนาดของพื้นที่หน้าตัดของปล่องไอเสียได้จากสมการความต่อเนื่อง เมื่อความเร็วแก๊สไอเสียมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบปล่องไอเสีย [10] มีค่า 10 m/s นั่นคือ

$$Q_g = A_g V_g$$

เพราะฉะนั้น

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

เมื่อ

Q_g = อัตราการไหลโดยปริมาตรของแก๊สไอเสีย , m^3/s

A_g = พื้นที่หน้าตัดของปล่องไอเสีย , m^2

V_g = ความเร็วแก๊สไอเสียมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบปล่องไอเสียมีค่าเท่ากับ 10 m/s

ปริมาณความร้อนต่าง ๆ [12]

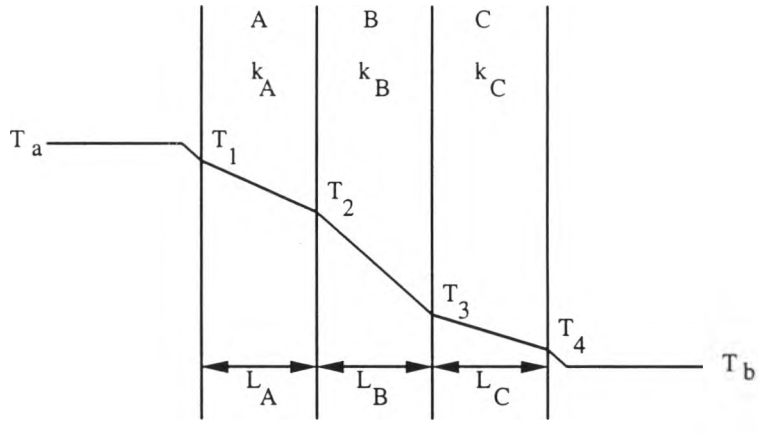
1. ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังของเตาเผามูลฝอย เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำ โดยฟลักซ์ความร้อนของตัวกลางในทิศทางใดจะเป็นสัดส่วนตรงกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของตัวกลางในทิศทางนั้น

$$q(x) = -k \frac{dT(x)}{dx} \quad , \quad \frac{W}{m^2}$$

เมื่อ

k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวกลางในทิศทาง x , $\frac{W}{m\ K}$

สำหรับการนำความร้อนผ่านผนังเตาเผามูลฝอยจะเป็นแบบหนึ่งมิติในสภาวะสม่ำเสมอ เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนแบบนำความร้อนผ่านตัวกลางหลายชั้น (Composite Medium) สามารถใช้กฎของฟูริเยร์นิยามสมการการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเตาเผามูลฝอยได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 แสดงการถ่ายเทความร้อนแบบการนำผ่านผนังหลายชั้น

$$Q_{COND} = \frac{T_1 - T_2}{R_A} = \frac{T_2 - T_3}{R_B} = \frac{T_3 - T_4}{R_C} \quad , \ W$$

และสามารถนิยามค่าความต้านทานความร้อนได้ดังนี้คือ

$$R_A = \frac{L_A}{A_A k_A} \quad , \quad R_B = \frac{L_B}{A_B k_B} \quad , \quad R_C = \frac{L_C}{A_C k_C} \quad , \ \frac{m^2 K}{W}$$

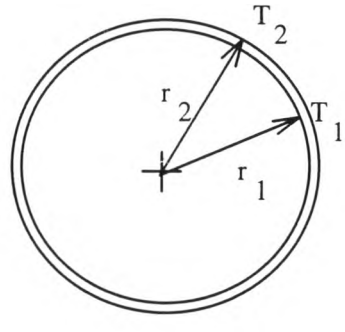
เมื่อ A คือ พื้นที่ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน , m^2

ดังนั้นสามารถเขียนสมการการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้ง 3 ชั้นได้เป็น

$$Q_{COND} = \frac{T_1 - T_4}{R_{TOTAL}}$$

เมื่อ $R_{TOTAL} = R_A + R_B + R_C$

2. ปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังของปล่องไอเสีย



รูปที่ 2.4 แสดงการถ่ายเทความร้อนแบบการนำผ่านผนังของปล่องไอเสีย

การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของปล่องไอเสียเป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังแบบการนำความร้อนตามแนวรัศมีของรูปทรงกระบอก สามารถเขียนสมการการนำความร้อนได้ดังนี้

$$q(r) = -k \frac{dT(r)}{dr} \quad , \ \frac{W}{m^2}$$

และจากกฎของฟูริเยร์สามารถเขียนสมการการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของปล่องไอเสียได้ดังนี้

$$Q_{COND} = \frac{T_1 - T_2}{R}$$

โดย

$$R = \frac{\ln\left(r_2 / r_1\right)}{2\pi L k}$$

เมื่อ L = ความยาวของปล่องไอเสีย , m

k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของปล่องไอเสีย , W/m K

r_1 = รัศมีภายในของปล่องไอเสีย , m

r_2 = รัศมีภายนอกของปล่องไอเสีย , m

T_1 = อุณหภูมิผิวภายในของปล่องไอเสีย , K

T_2 = อุณหภูมิผิวภายนอกของปล่องไอเสีย , K

3. ปริมาณความร้อนที่ดูดซับภายในผนังของเตาเผามูลฝอย คำนวณได้จากสมการ

$$Q_{ABSORB} = M c_P \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

เมื่อ

M = มวลของผนังเตาเผามูลฝอย พื้นเตาเผามูลฝอย และปล่องไอเสีย , kg

c_P = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ , kJ/kg K

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิของวัสดุในช่วงเวลานั้น ๆ , K

Δt = ผลต่างของเวลาในช่วงเวลานั้น ๆ , s

4. ปริมาณความร้อนจากมวลของแก๊สไอเสียคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{FLUE\ GAS} = m_g c_P \left(T_g - T_a\right) \quad , W$$

เมื่อ

m_g = อัตราการไหลโดยมวลของแก๊สไอเสีย , kg/s

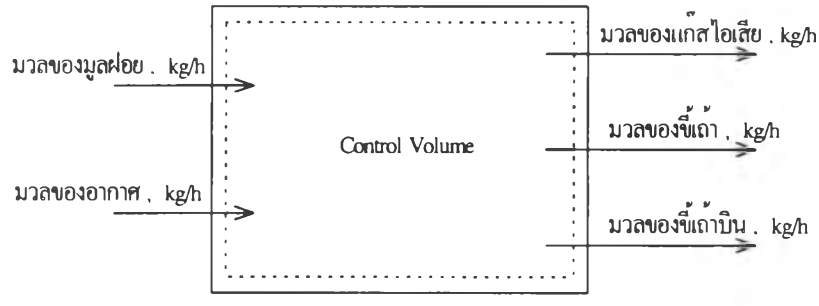
c_P = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของแก๊สไอเสีย , kJ/kg K

T_g = อุณหภูมิของแก๊สไอเสีย , K

T_a = อุณหภูมิของอากาศภายนอกเตาเผามูลฝอย , K

สมดุลมวล (Mass Balance)

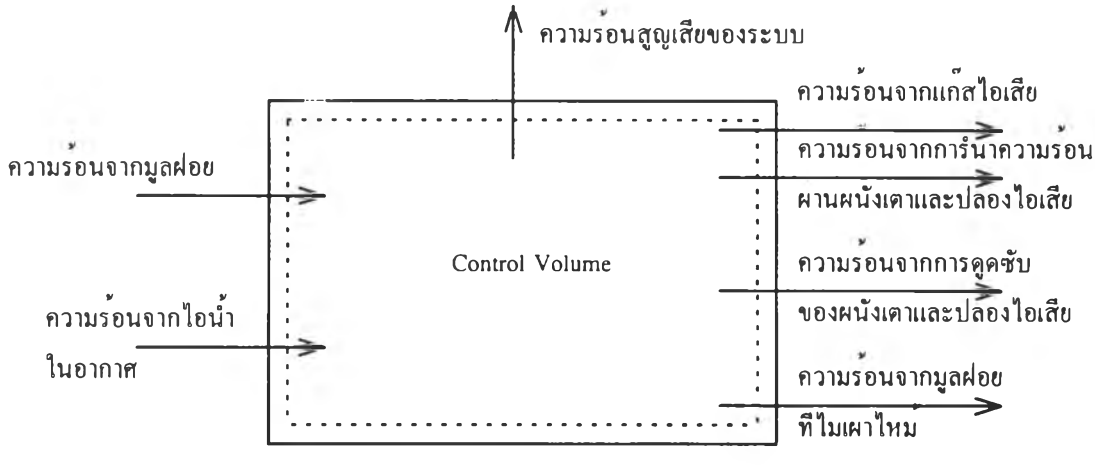
คือการวิเคราะห์มวลเข้าและออกจากระบบของเตาเผามูลฝอยดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดง Mass Balance ของเตาเผามูลฝอย

สมดุลความร้อน (Heat Balance) [13]

คือการวิเคราะห์ความร้อนที่เข้าและออกจากระบบเตาเผามูลฝอย เพื่อให้สามารถเพิ่มปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้นและลดปริมาณความร้อนสูญเสียให้น้อยลง และเพื่อศึกษาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผามูลฝอย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดง Heat Balance ของเตาเผามูลฝอย

สมรรถนะของเตาเผามูลฝอย

ในทางวิศวกรรมจะใช้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) เป็นตัวชี้บอกสมรรถนะของเตาเผามูลฝอย โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผามูลฝอย คือ การเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกทางปล่องไอเสียกับปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงหรือมูลฝอย ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\eta_{th} = \left(\frac{Q_{FLUE\ GAS}}{Q_{LHV}} \right) \times 100$$

เมื่อ

η_{th} = ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผามูลฝอย , %

$Q_{FLUE\ GAS}$ = ปริมาณความร้อนจากแก๊สไอเสียที่ปล่อยออกทางปล่องไอเสีย , W

Q_{LHV} = ค่าความร้อนต่ำของมูลฝอย , W

I17537836