บทที่ 4

การคำนวณออกแบบระบบเตาเผาซ้ำ

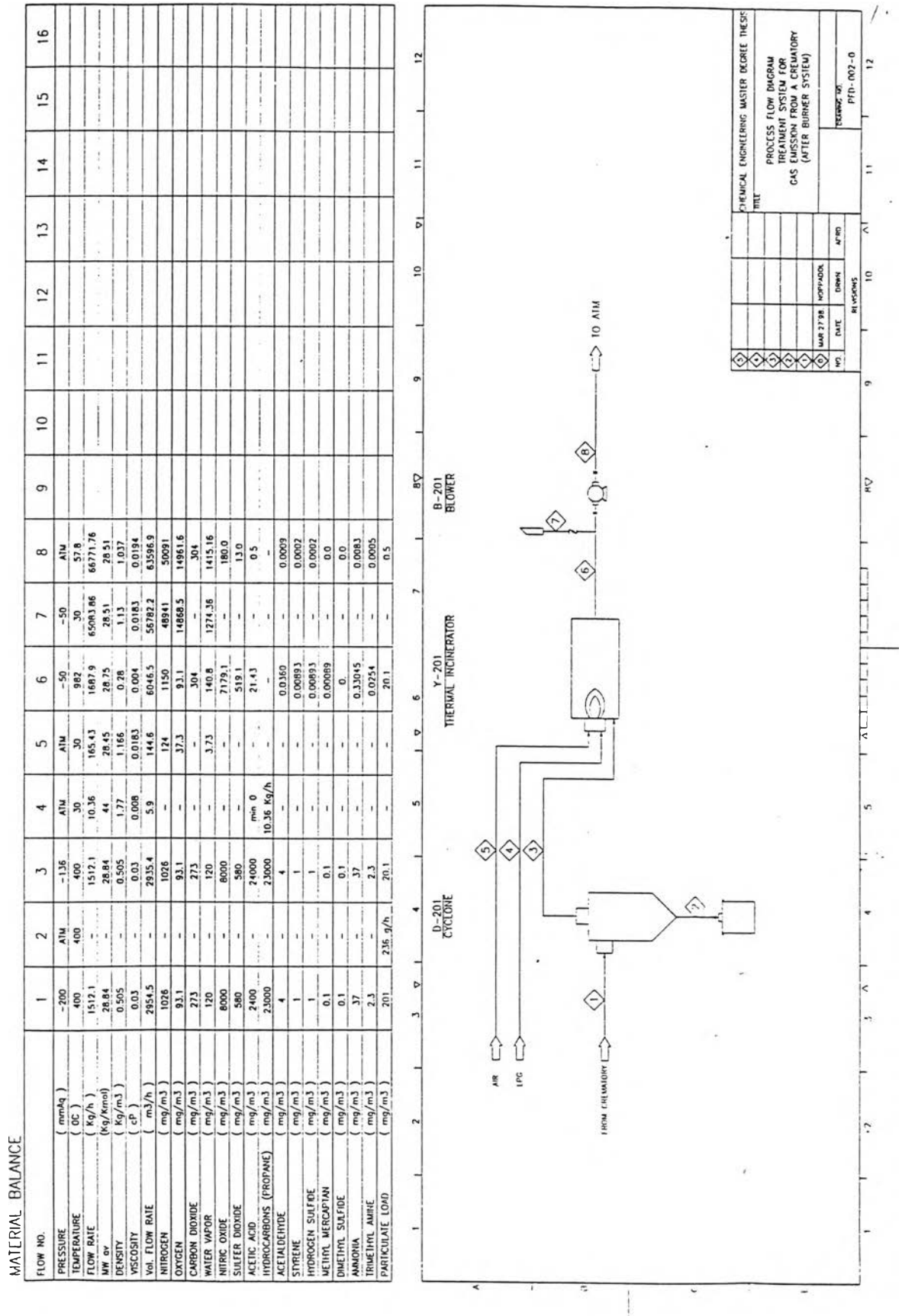
4.1) <u>คำอธิบายกระบวนการของระบบบำบัด</u>

ก๊าซทิ้งจากเตาเผาศพซึ่งมีสารมลพิษและสารกลิ่นเหม็นเจือปน จะไหลออกจากเตาด้วยอัตราการไหลเฉลี่ย 2958 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 400 องศาเซลเซียส จะทำการแยกอนุภาคฝุ่นออกจากกระแสของก๊าซทิ้งก่อนด้วย cyclone ก๊าซทิ้งจะถูกทำการเผาไหม้ซ้ำภายในเตาเผาซ้ำ ก๊าซมลพิษและก๊าซกลิ่นเหม็นจะถูกเปลี่ยนรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำด้วยปฏิกริยาออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิประมาณ 982 องศาเซลเซียสด้วยเวลาสัมผัสเฉลี่ย 1.5 วินาที (เวลาสัมผัส fast path เท่ากับ 0.75 วินาที) ภายในเตาเผา ก๊าซทิ้งจะถูกป้อนเข้าสู่เตาเผาซ้ำ ถูกให้ความร้อนจากหัวเผาซึ่งใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิง เติมอากาศเข้าเตาเผาเพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์ เตาเผาถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซกลิ่นเหม็นซึ่งมีไนโตรเจนและซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เมื่อทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นแล้วอาจผลิตก๊าซไนโตรเจนออกไซด์และซัลเออร์ไดออกไซด์ขึ้นรวมกับที่มีอยู่แล้วในก๊าซทิ้งขาเข้า จึงต้องเจือจางด้วยอากาศดีเพื่อให้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมลพิษที่วัดได้ที่ปลายปล่องมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด

4.2) แผนผังการไหลของระบบบำบัดของระบบบำบัดแบบ After Burning

MATERIAL BALANCE

FLOW NO.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PRESSURE	(mmAq)	-200	ATM	-136	ATM	ATM	-50	-50	ATM								
TEMPERATURE	(OC)	400	400	400	30	30	982	30	57.8								
FLOW RATE	(Kg/h)	1512.1	-	1512.1	10.36	165.43	1687.9	65083.86	66771.76								
MW av	(Kg/Kmol)	28.84	-	28.84	44	28.45	28.75	28.51	28.51								
DENSITY	(Kg/m3)	0.505	-	0.505	1.77	1.166	0.28	1.13	1.037								
VISCOSITY	(cP)	0.03	-	0.03	0.008	0.0183	0.004	0.0183	0.0194								
Vol. FLOW RATE	(m3/h)	2954.5	-	2935.4	5.9	144.6	6046.5	56782.2	63596.9								
NITROGEN	(mg/m3)	1026	-	1026	-	124	1150	48941	50091								
OXYGEN	(mg/m3)	93.1	-	93.1	-	37.3	93.1	14868.5	14961.6								
CARBON DIOXIDE	(mg/m3)	273	-	273	-	-	304	-	304								
WATER VAPOR	(mg/m3)	120	-	120	-	3.73	140.8	1274.36	1415.16								
NITRIC OXIDE	(mg/m3)	8000	-	8000	-	-	7179.1	-	180.0								
SULFER DIOXIDE	(mg/m3)	580	-	580	-	-	519.1	-	13.0								
ACETIC ACID	(mg/m3)	2400	-	24000	min 0	-	21.43	-	0.5								
HYDROCARBONS (PROPANE)	(mg/m3)	23000	-	23000	10.36 Kg/h	-	-	-	-								
ACETALDEHYDE	(mg/m3)	4	-	4	-	-	0.0360	-	0.0009								
STYRENE	(mg/m3)	1	-	1	-	-	0.00893	-	0.0002								
HYDROGEN SULFIDE	(mg/m3)	1	-	1	-	-	0.00893	-	0.0002								
METHYL MERCAPTAN	(mg/m3)	0.1	-	0.1	-	-	0.00089	-	0.0								
DIMETHYL SULFIDE	(mg/m3)	0.1	-	0.1	-	-	0.	-	0.0								
AMMONIA	(mg/m3)	37	-	37	-	-	0.33045	-	0.0083								
TRIMETHYL AMINE	(mg/m3)	2.3	-	2.3	-	-	0.0254	-	0.0005								
PARTICULATE LOAD	(mg/m3)	201	236 g/h	20.1	-	-	20.1	-	0.5								



4.3) สมดุลมวลสาร

สายการไหลที่ 1 เหมือนกับสายที่ 1 ของ บทที่ 3.3

สายการไหลที่ 2 เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นของไซโคลนที่ออกแบบไว้เท่ากับ 92.9%

ปริมาณฝุ่นที่ถูกกำจัดออก = (1176.4 Nm^3/h) x (201 x 10^{-3} $/m^3$) x (0.929)

= 220 g/h

สายการไหลที่ 3 องค์ประกอบของก๊าซคงที่ ปริมาณฝุ่นจะลดลงเหลือ

= (201 x 10^{-3} g/m^3) x (1-0.929) x (1176.4 Nm^3/h)

=16.8 g/h

สายการไหลที่ 4,5 ปริมาณของก๊าซที่ต้องการเผาซ้ำ, เอนธาลปี ตามภาคผนวก ช เท่ากับ

N_2 = 36.7 kmol/h, 422804 KJ/h

H_2O = 6.67 kmol/h , 91701 KJ/h

CO_2 = 6.20 kmol/h , 111282 KJ/h

O_2 = 2.92 kmol/h , 35257 KJ/h

จากสมการการเผาไหม้ ก๊าซเชื้อเพลิง 1 kmol ให้พลังงาน 2212989 KJ และต้องการ O_2 5 kmol ตามทฤษฎี (30% อากาศเกินพอ)

สายการไหลที่ 6 จากอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ต้องการ ต้องทำการ trial and error ระหว่างปริมาณของก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้ ปริมาณก๊าซทิ้งที่เกิดขึ้น และ เอนธาลปีของก๊าซขาออก พบว่า ปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงที่ต้องการ คือ 0.2355 kmol/h (0.2355x44 kg/h = 10.36 kg/h)

สำหรับองค์ประกอบที่มีความเข้มข้นสูง จะเป็นไปตามสมการการเผาไหม้ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ฎ ส่วนองค์ประกอบของก๊าซกลิ่นเหม็น และก๊าซมลพิษ จะถูกกำจัดด้วยปฏิกิริยาการเผาไหม้

ที่ประสิทธิภาพ 99 % ที่อุณหภูมิ 982 ^{o}C ตามรายละเอียดในภาคผนวก ฏ

สายการไหลที่ 7, 8 เนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซกลิ่นเหม็น หรือก๊าซมลพิษบางชนิดยังเกินมาตรฐานที่อ้างอิง เช่น SO_2 ซึ่งไม่สามารถสลายได้ด้วยปฏิกิริยาการเผาไหม้ จึงทำการเจือจางด้วยอากาศดี ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ ในที่นี้จะลดความเข้มข้นของ NO ให้ไม่เกิน 180 ppm เพราะว่า

มวลของ NO ก่อนผสม = มวลของ NO หลังผสม

$7179.1 \times (6046.5\ m^3/h) \times (273/(273 + 982)) = 80 \times (V_2\ m^3/h) \times (273/(273+T_2))$

$$V_2(273+T_2) = 192.16$$

เนื่องจากปริมาตรการไหลของอากาศหลังการผสม และอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับปริมาตรการไหลของอากาศดี จากการ Trial Error พบว่าอัตราการไหลจริงของก๊าซทิ้ง 63596.9 m^3/h ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซกลิ่นเหม็นมีค่าตามกำหนด และอุณหภูมิของก๊าซขาออกเท่ากับ 57.8^{o}C

4.4) การคำนวณออกแบบอุปกรณ์ในระบบ

4.4.1) การคำนวณออกแบบขนาดเตาเผาซ้ำ

จุดประสงค์ : หาขนาดของเตาเผาที่ประสิทธิภาพมากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์

สมมติฐาน : อุณหภูมิการเผาไหม้เพื่อทำให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นอย่างสมบูรณ์เท่ากับ 982 องศาเซลเซียส

fast path residence time เท่ากับ 0.5 เท่าของเวลาสัมผัสเฉลี่ยเวลาที่ต้องการที่น้อยที่สุดที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นอย่างสมบูรณ์เท่ากับ 0.75 วินาที mean residence time เท่ากับ 0.75 = $\frac{1.5\ \text{วินาที}}{0.5}$

วิธีการ : ตาม EPA (16)

การคำนวณ

1) หาปริมาณการใช้ก๊าซเชื้อเพลิง (LPG)

อัตราการไหลของก๊าซทิ้งจากเมรุ = 1176.4 Nm^3/h

อุณหภูมิของก๊าซทิ้งจากเมรุ = 400 ^{o}C

อุณหภูมิการเผาไหม้ที่ต้องการ = 982.2 ^{o}C

ความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง = 50295.2 KJ/Kg

จากภาคผนวก ฎ พบว่าปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงที่ต้องการเท่ากับ 6.29 mol/h หรือเท่ากับ 5.3 Nm^3/h

2) คำนวณปริมาตรเตาเผาซ้ำ

อัตราการไหลของก๊าซทิ้งจากเมรุ = 1176.4 Nm^3/h

อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง = 5.3 Nm^3/h

ปริมาณการสูญเสียความร้อน (12) = 3 %

อัตราการไหลของอากาศ = 140.9 Nm^3/h

ปริมาณก๊าซรวม = 1322.7 Nm^3/h

เวลาสัมผัสเฉลี่ย = 1.5 sec

จากสมการ คำนวณปริมาตรของเตาเผาได้

= (1322.7x(982.2+273)/(400+273)/3600x1.5) m^3

= 3.40 m^3

4.4.2) การคำนวณหาขนาดของไซโคลน (D-201)

จุดประสงค์ : เพื่อคำนวณหาขนาดของไซโคลนเพื่อใช้ในการดักจับฝุ่น

สมมติฐาน : อนุภาคฝุ่นมีความหนาแน่น 700 kg/m^3 ความเข้มข้นของฝุ่นเท่ากับ 201 mg/m^3 ตามข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ(3) และขนาดของอนุภาคฝุ่นมีการกระจายตัวดังนี้ ขนาด 0 ถึง 44 μm ประมาณ 80% ขนาด 44 ถึง 63 μm ประมาณ 10% 63 ถึง 105 μm ประมาณ 5% และขนาด 105 ถึง 149 ประมาณ 5%

วิธีการ : ตาม stairmand standard design(21)

การคำนวณ

จากพารามิเตอร์ $Q/D^2 = 16500$, $D = (\ (2954.5/16500)\ )x1000 = 423mm.$ (4.1)

จากพารามิเตอร์ $a/D = 0.75$, $a = = (0.75x423) = 317$ mm. (4.2)

จากพารามิเตอร์ $b/d = 0.375$, $b = (0.375x423) = 159$ mm. (4.3)

จากพารามิเตอร์ $D_c/D = 0.75$, $D_c = (0.75x423) = 317$ mm (4.4)

จากพารามิเตอร์ $S/D = 0.875$, $S = (0.875x423) = 370$ mm. (4.5)

จากพารามิเตอร์ $h/D = 1.5$, $h = (1.5x423) = 635$ mm. (4.6)

จากพารามิเตอร์ $H/D = 4$, $H = (4x423) = 1693$ mm. (4.7)

จากพารามิเตอร์ $B/D = 0.375$, $B = (0.375x423) = 159$ mm. (4.8)

การคำนวณความดันลด

จากพารามิเตอร์ $\Delta H = 7.2$

ความเร็วของก๊าซที่ทางเข้า v_i; $(2954.5/(317 \times 159/10^6)) = 16.3$ m/s

ความดันลด , $\Delta P = \frac{1}{2} \rho v_i^2 . \Delta H = \frac{1}{2} \times 0.505 \times (16.3)^2 \times 7.2 = 483$ Pa (4.9)

= 49.2 mmAq

การคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น

จาก $EFF = 1\text{-}exP\ (-2(C\Psi)^{1/(2n+2)})$ (4.10)

โดยที่ $n_{283} = 0.67\ D^{0.14} = 0.67(0.423)^{0.14} = 0.594$ (4.11)

ที่ 400 °C $$\frac{1-n_{283}}{1-n_{673}} = \left(\frac{T_{283}}{T_{673}}\right)^{0.3}$$ (4.12)

$$\Psi = \frac{d^2 \rho_p v_l (n+1)}{18\ \mu D}$$ (4.13)

$$\Psi/d^2 = \frac{(700).(16.3).(0.4735+1)}{18\ (3\times10^{-5})\ (0.423)} = 7.36\times10^7$$

เพราะฉะนั้นสมการการทำนายประสิทธิภาพการจัดฝุ่นของไซโคลนเท่ากับ

$$\eta = 1\text{-}exp\ (-2\ ((50.4(7.36\times10^7 d^2)^{(\frac{1}{2}(0.4735+1))}$$

ที่ขนาด 0 ถึง 44 μm ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของฝุ่น เท่ากับ 22 μm

ที่ขนาด 44 ถึง 63 μm ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของฝุ่น เท่ากับ 53.5 μm

ที่ขนาด 63 ถึง 105 μm ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของฝุ่น เท่ากับ 84 μm

ที่ขนาด 105 ถึง 149 μm ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของฝุ่น เท่ากับ 127 μm

เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นที่แต่ละขนาดเฉลี่ยของอนุภาคฝุ่นเท่ากับ และค่ารวมเท่ากับ

η_{22} = 0.912742 , η_{22} x Fraction = 0.91274 x 0.8 = 0.73019

$\eta_{53.5}$ = 0.98841 , $\eta_{53.5}$ x Fraction = 0.98841 x 0.1 = 0.09884

η_{84} = 0.997653 , η_{84} x Fraction = 0.997653 x 0.05 = 0.04988

η_{127} = 0.99967 , η_{127} x Fraction = 0.99967 x 0.05 = 0.04998

ประสิทธิภาพรวมเท่ากับ (0.73019)+(0.09884)+(0.04988)+(0.04998)=0.92890

4.4.3) การคำนวณขนาดของพัดลม

อัตราการไหลที่ต้องการ = 63596.9 m^3/h = 63596.9 x (273.15/330.95)

= 52490 Nm^3/h

ความดันสูญเสียทั้งหมด = 200 mm Aq (ตามการคำนวณภาคผนวก ฒ)

จากข้อมูลของผู้ผลิตพบว่า ขนาดของพัดลมที่ได้ เป็นไปตามข้อมูลของผู้ผลิต National (26)

ขนาดของมอเตอร์ = 75 Kw