บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

ในการดำเนินการจัดสร้างระบบเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงนี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อที่จะลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

1. วิธีการการออกแบบ
2. วิธีการการคำนวณ
3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

3.1 วิธีการการออกแบบ

ในการออกแบบและการคำนวณเพื่อสร้างระบบเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงต้องคำนึงถึง

3.1.1 ต้องทราบว่าเครื่องดักอนุภาคจะไปบำบัดแก๊สไอเสียของระบบอะไร (ในที่นี้คือเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว ดูรูปที่ 3.6)

3.1.2 ต้องทราบว่าระบบที่จะนำมาบำบัดแก๊สไอเสียจะต้องมีองค์ประกอบอะไรบ้าง

3.1.3 ขอบเขตความสามารถในการดักเก็บอนุภาคว่าสามารถเก็บอนุภาคได้ขนาดไหน (โดยประมาณ 50 ไมครอนขึ้นไป)

3.1.4 วิธีการทำงานของเครื่องแยกอนุภาคโดยแรงโน้มถ่วงมีดังนี้

3.1.4.1 การดูดแก๊สและอนุภาค

การใช้ระบบเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงเพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ที่สร้างขึ้นนี้จะใช้ในงานไปพร้อมกับการทำงานของเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว โดยที่ผนังด้านในของเตาเผาถูกสร้างขึ้นด้วยอิฐทนไฟและคอนกรีตทนไฟชนิด SK 30 SP - 25 ส่วนผนังด้านนอกบุด้วยฉนวนทนความร้อนชนิด silica-fiber หนา 5 มิลลิเมตร กับเหล็กแผ่นชุบสังกะสี (Galvanized steel sheet) หนา 1 มิลลิเมตร ที่ความสูงของเตา 1.53 เมตร ดังภาคผนวก ค แสดงการออกแบบเตาเผาชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว (Single-chamber incinerator) สำหรับแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้จะถูกดูดเข้าสู่กระบวนการดักเก็บอนุภาคด้วยเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงโดยใช้พัดลมดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal fan) ที่มีแรงดันสูงเป็นอุปกรณ์หลักในการทำงานซึ่งจะดูดอากาศที่บริเวณทางออกของระบบเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง พัดลมดูดอากาศที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นพัดลมดูดอากาศแบบเหวี่ยงชนิด BCF – 2 ½ A สามารถดูดอากาศได้มากที่สุด = 60 m^3/min สร้างความดันได้มากที่สุดประมาณ 250 mm.H_2O ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าและสามารถต่อไฟฟ้า 3 เฟสเข้ากับขั้วต่อไฟฟ้าของมอเตอร์ได้แบบต่อตรง ทั้งนี้พัดลมที่จะใช้ในการดูดแก๊สเข้าสู่ระบบควรจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. พัดลมควรมีอัตราการดูดอากาศสอดคล้องกับค่าอัตราการไหลของแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้
2.แก๊สที่ถูกดูดเข้าสู่ระบบควรมีความเร็วสูงมากพอที่จะสามารถพาอนุภาคเข้ามาพร้อมกับการไหลของแก๊ส
3. พัดลมควรจะมีแรงดันมากพอที่จะเอาชนะแรงเสียดทานและแรงดันต่าง ๆ จากระบบท่อและระบบเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงได้

3.1.4.2 การดักเก็บอนุภาคด้วยเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง

ในขณะที่พัดลมดูดอากาศทำงานนั้นแก๊สที่ถูกดูดจะมีความเร็วค่าหนึ่งซึ่งมากพอที่จะทำให้อนุภาคสามารถเคลื่อนที่มาพร้อมกับแก๊สได้ และอนุภาคที่ถูกดูดมากับแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้นั้นมีหลายขนาดปะปนกัน การไหลของแก๊สที่เกิดขึ้นจะมีการเปลี่ยนทิศทางไปตามรูปร่างของท่อและรูปทรงของเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง อนุภาคจะวิ่งเข้าสู่ระบบเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรง

โน้มถ่วง อนุภาคบางส่วนจะตกลงสู่ถาดที่รองรับ (Tray) แต่ละชั้นโดยอาศัยหลักแรงโน้มถ่วง เพื่อแยกอนุภาคออกจากแก๊สนั้นและด้วยน้ำหนักของตัวอนุภาคเอง ทั้งนี้การดักเก็บอนุภาคจะมีปริมาณมากหรือน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงด้วย ในการวิจัยครั้งนี้ได้พิจารณาเลือกใช้การออกแบบเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงชนิดมีถาดหลายชั้นภายใน ดังรูปที่ 3.1 ขนาดความยาวถาดเท่ากับ 1.0 เมตร ห้องดักอนุภาคมีความกว้างเท่ากับ 0.20 เมตร และมีความสูงเท่ากับ 0.50 เมตร จำนวนชั้นของถาดในห้องดักอนุภาคมี 25 ชั้น, 20 ชั้นและ 15 ชั้น ระยะห่างระหว่างถาดคือ 0.02, 0.025, 0.033 เมตร ตามลำดับ ภายในเครื่องดักอนุภาคติดแผ่นกระจายแก๊สแบบแผ่นเจาะรูพรุน ขนาดรู 2 mm. ความถี่รู 8 ช่องต่อ $cm.^2$

3.1.4.3 <u>การนำอนุภาคออกจากถาด</u>

หลังจากที่แก๊สที่มีอนุภาคผ่านเข้าสู่เครื่องแยกอนุภาคแล้วอนุภาคส่วนหนึ่งที่มีขนาดแตกต่างกันจะตกลงสู่ถาดแต่ละชั้นเนื่องจากแรงโน้มถ่วง และอนุภาคบางส่วนที่เครื่องดักอนุภาคไม่สามารถดักเก็บได้จะถูกดูดไปกับแก๊สเพื่อผ่านแผ่นกรองก่อนที่จะปล่อยแก๊สนั้นออกสู่บรรยากาศ อนุภาคที่เครื่องดักอนุภาคดักเก็บได้จะนำไปทำการวิเคราะห์หาการกระจายขนาดของอนุภาคและภาคผนวก จ แสดงการหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง

3.1.4.4 <u>การเก็บอนุภาคด้วยเครื่องมือตรวจวัดฝุ่น</u>

เนื่องจากแก๊สที่ออกมาจากเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงนั้นยังมีอนุภาคบางส่วนที่เครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงไม่สามารถดักเก็บได้ซึ่งมีช่วงขนาดต่าง ๆ กันปะปนอยู่ ดังนั้นก่อนที่จะปล่อยแก๊สนั้นออกสู่บรรยากาศ เราจะอาศัยเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นเก็บอนุภาคที่ผ่านออกมา ตรงบริเวณทางออกของเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง เมื่อแก๊สที่ออกจากเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงผ่านเข้าไปเครื่องมือตรวจวัดฝุ่น อนุภาคจะถูกเก็บไว้ที่แผ่นกรองเพื่อนำไปใช้ทำการวิเคราะห์หาน้ำหนักของอนุภาคที่ไม่ถูกเก็บสะสมและความเข้มข้นของอนุภาคในแก๊สที่ออกสู่บรรยากาศนั้น

3.2 วิธีการคำนวณ

การคำนวณเพื่อการออกแบบระบบเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงได้พิจารณาระบบออกเป็นช่วงต่าง ๆ ได้ดังนี้

3.2.1 ระบบท่อจากเตาเผามูลฝอย

จากปล่องไฟ (stack) ของเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 260.0 มิลลิเมตร (ประมาณ 10 นิ้ว) จะมีท่อลดขนาด (reducer) จากเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้วเป็น 6 นิ้ว จำนวน 1 ตัว และท่อลดขนาดจากเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว เป็น 5 นิ้ว อีก 1 ตัว เป็นตัวเชื่อมต่อกับท่อกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 126 มิลลิเมตร (ประมาณ 5 นิ้ว) ที่บริเวณก่อนทางเข้าเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง

โดยพิจารณาอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการควบคุมการแพร่กระจายของอนุภาคที่บริเวณฝาครอบปล่องไฟ (hood) ต่อกับท่อลดขนาด (reducer) เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว ซึ่งคิดเป็นพื้นที่หน้าตัดได้ 0.05 ตารางเมตร โดยใช้ตารางที่ ฉ - 1 พิจารณาเลือกค่าความเร็วจับ (capture velocity) เท่ากับ 5.0 m/s ดังนั้น

จาก $Q = vA$

$= (5.0 \times 0.05)$

$= 0.25 \quad m^3/s$

และจากตารางที่ ฉ - 2 พิจารณาเลือกความเร็วภายในท่อก่อนทางเข้าเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง = 20.0 m/s ดังนั้นเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อบริเวณก่อนทางเข้าเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ; Di จะมีค่าเท่ากับ

จาก $Q = v_i A_i$

$A_i = (0.25 / 20.0)$

$= 0.0125 \quad m^2$

จากสมการ $D_i^2 = (4 \times A_i)/\pi$

เมื่อ D_i = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อบริเวณทางเข้าเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ; m

v_i = ความเร็วของอากาศบริเวณทางเข้าเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ; m/s

A_i = พื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ; m^2

$$D_i^2 = (4 \times 0.0103)/\pi$$

$$D_i = 126 \text{ mm.}$$

3.2.2 <u>ระบบท่อในระบบเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง</u>

เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้สูงกว่าจุดทำงานที่ได้ออกแบบไว้จึงต้องพิจารณาให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้นจากจุดทำงานเดิม 20 % ดังนั้น

$$Q = (1.2 \times 0.25)$$

$$= 0.30 \text{ } m^3/s$$

เมื่ออัตราการไหลของอากาศมีค่าเท่ากับ 0.30 m^3/s ดังนั้นความเร็วของอากาศบริเวณทางเข้าและออกจากเครื่องแยกอนุภาคมีค่าเท่ากับ

จาก $v = Q/A_i$

$= (0.30/0.0125)$

$= 24$ m/s

จากตารางที่ ฉ - 3 พิจารณาความเร็วของอากาศให้อยู่ในรูปความดันเนื่องจากความเร็ว (Velocity Pressure) ดังนั้นจะได้ $(VP)_i = (VP)_e = 35.2$ mm.H_2O

เนื่องจากระบบท่อทางเข้าเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงเป็นท่อกลมซึ่งเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ : D_i = 126 มิลลิเมตร ความเร็วทางเข้าและออกจากเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ; $v_i = v_o$ = 24 m/s

จากรูปที่ ฉ - 2 จะได้ค่าการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานภายในท่อ (friction loss inside duct ; f_d) เท่ากับ 7 ($mm.H_2O$)/m ที่ความยาวของท่อตรงประมาณ 7 เมตร ดังนั้นความดันสูญเสียภายในท่อตรงของเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ; (h_f) มีค่าเท่ากับ

$$(h_f) = (7 \times 7)$$
$$= 49 \quad mm.H_2O$$

จากตารางที่ ฉ - 4 พิจารณาข้องอ (round elbow) ที่ค่า (R/D) = 0.70 จะมีค่าการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน (friction loss in elbow ; f_{el}) เท่ากับ 0.55$(VP)_i$ ดังนั้นความดันสูญเสียในข้องอ 3 ตัวก่อนทางเข้าเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ; (h_{el})$_i$ มีค่าเท่ากับ

$$(h_{el}) = 3 \times (0.55 \times 35.2)$$
$$= 58.1 \quad mm.H_2O$$

3.2.3 <u>เครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง</u>

จากทฤษฎีการออกแบบห้องดักอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (ห้องดักอนุภาคชนิดมีถาดภายใน) สามารถคำนวณหาค่าค่างๆได้ดังนี้

ถ้าเราสมมุติการออกแบบที่สภาวะ 27 ^oc อนุภาคมีความหนาแน่น 1 g/cm^3 และต้องการห้องดักอนุภาคที่สามารถดักอนุภาคที่มีขนาด 55 ไมครอนได้ 100 % โดยต้องการให้ห้องดักอนุภาคมีความกว้างประมาณ 0.20 เมตร และสูงไม่เกิน 0.50 เมตร

ดังนั้น จาก $Q = 0.30 \ m^3/s$

ถ้าภายในห้องดักอนุภาคประกอบไปด้วยถาดรองรับอนุภาคจำนวน(n) 15 ชั้น จะได้

$$Q = q \times n$$

ดังนั้นอัตราการไหลโดยเฉลี่ยในแต่ละช่องว่างระหว่างถาดมีค่าเป็น

$$q_n = Q/n$$
$$= 0.30/15$$
$$= 0.02 \ m^3/s$$

จาก $q_n = v_n \times A_n$

เมื่อ A_n คือ พื้นที่หน้าตัดระหว่างชั้นถาด (ระยะระหว่างถาดแต่ละชั้นเท่ากับ 0.033 เมตร)

ดังนั้นอัตราการไหลของแก๊สโดยเฉลี่ยในแต่ละช่องว่างระหว่างถาดมีค่าเป็น

$$v_n = q_n / A_n$$
$$= 0.02 / (0.033 \times 0.30)$$
$$= 2.02 \ m/s$$

จากค่าเรย์โนล์ของการไหลระหว่างช่องถาด

$$Re = v_n D_h \rho_g / \mu_g$$
$$= 2.02 \times 0.0567 \times 1.18 / 1.80 \times 10^{-5}$$
$$= 7508.3$$

ดังนั้นสามารถพิจารณาการไหลในช่องระหว่างถาดเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

จากสมการ (2.19) เมื่อ $\eta = 100\ \%$, $d_p = 55\ \mu m$

$$d_p^2 = 18\mu_g Q / nWLg(\rho_p - \rho_g)$$

$\therefore$ $$L = 18 \times 1.81 \times 10^{-5} \times 0.3/15 \times 0.2 \times (55 \times 10^{-6})^2 \times 9.81 \times (1000 - 1.18)$$
$$= 1.09 \ m.$$

ดังนั้นถาดที่จะเลือกใช้มีความยาวประมาณ 1 เมตร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าความดันสูญเสียภายในห้องดักอนุภาคคำนวณได้จากสมการ ดังนี้ [9]

$$D_{eq.f} = 1.30(W x \Delta H)^{0.625}/(W+\Delta H)^{0.25}$$

$$= 1.30x(0.2*0.033)^{0.625}/(0.2+0.033)^{0.25}$$

$$= 0.060 \text{ m.} = 60 \text{ mm.}$$

$$q_n = 0.30/15 = 0.02 \quad m^3/s$$

จากค่าที่ทราบเราสามารถหาค่าการสูญเสียในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้จากรูปที่ ฉ-2

f_n = 1.5 $mm.H_2O$ ต่อ ความยาวท่อ 1 เมตร

ดังนั้นในช่องระหว่างถาดยาว 1 เมตรจะมีค่าความดันสูญเสียเท่ากับ

ΔP_n = 1.5 $mm.H_2O$

ประมาณค่าความดันสูญเสียของทั้งระบบห้องดักอนุภาคโดยแรงโน้มถ่วงมีค่าประมาณ

$$(\Delta P)_{total} = (VP)_i + (h_f) + (h_e) + \Delta P_n + (VP)_e$$

$$= 35.2 + 49 + 58.1 + 1.5 + 35.2$$

$$= 179.1 \quad mm.H_2O$$

3.2.4 <u>ระบบพัดลม</u>

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้พัดลมดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugai fan) จากค่าอัตราไหล (Q) และค่าความดันสูญเสียรวม ; $(\Delta P)_{total}$ ของระบบ จะสามารถหาขนาดของมอเตอร์ที่ต้องการใช้ในการขับพัดลมได้จาก

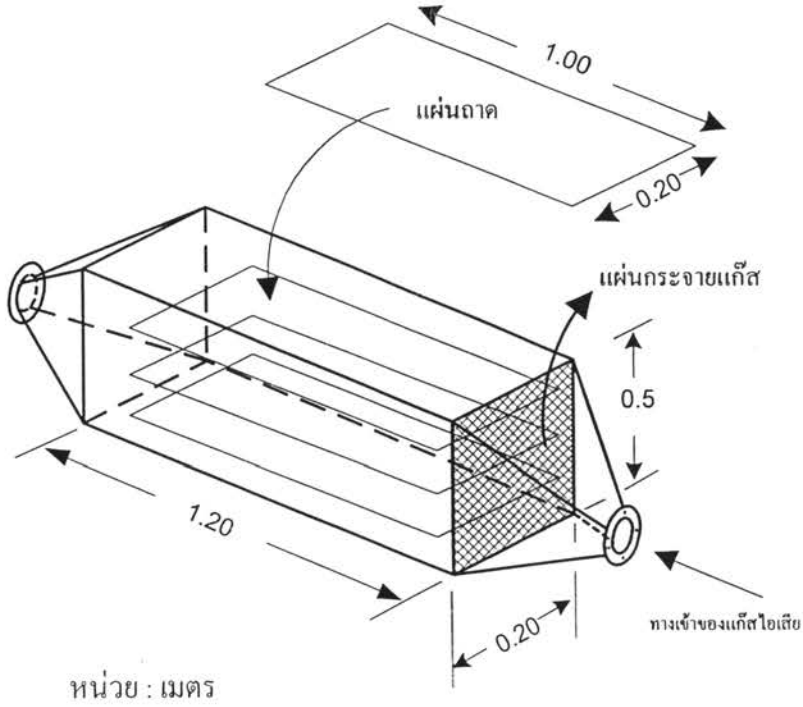
$$(\text{power})_{motor} = \rho g Q(\Delta P)_{total} / \eta_{ov}$$

เมื่อ η_{ov} = Overall Efficiency ของพัดลม = 70 %

ดังนั้น $(\text{power})_{motor}$ = 1000x9.81x0.30x0.179 / (0.70x746)

= 1.00 แรงม้า

พิจารณาเลือกใช้มอเตอร์ของพัดลมขนาด 1.0 แรงม้าขึ้นไป



รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองที่ใช้สามารถแยกออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ระบบที่ใช้ในการทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลต่าง ๆ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

3.3.1 ระบบที่ใช้ในการทดลอง

ระบบที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ เตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว, ตัวเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง, ระบบวัดอุณหภูมิ, ระบบวัดอัตราการไหล, พัดลมดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยง และระบบกรองอากาศ

3.3.1.1 เตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว

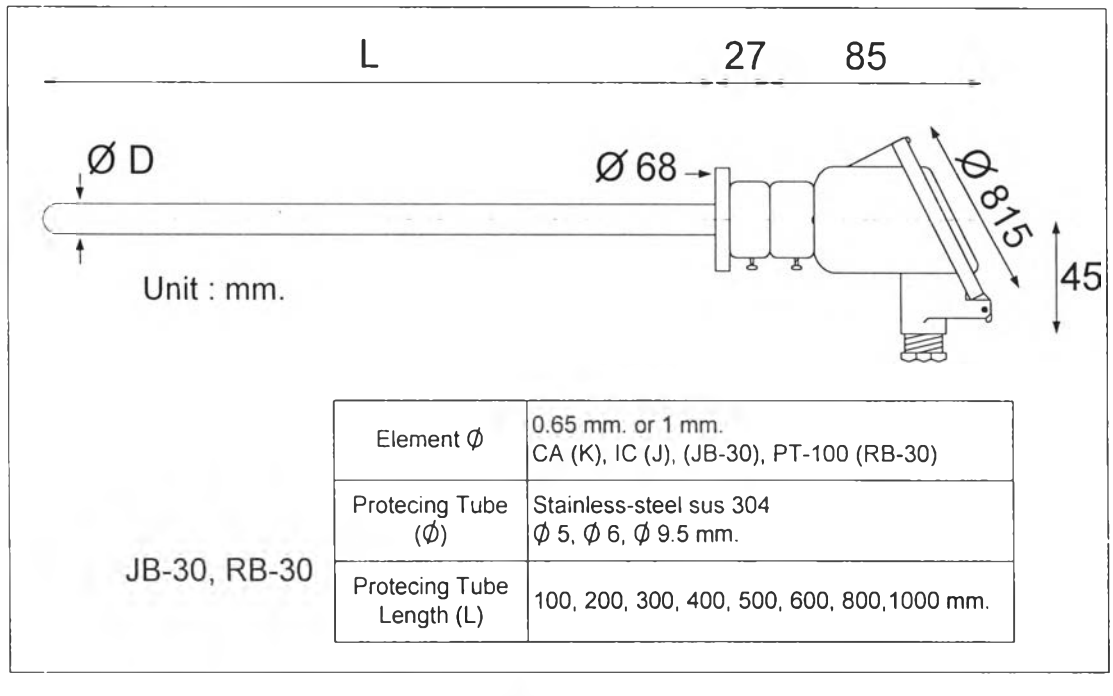
เตาเผามีลักษณะห้องเผาไหม้เป็นรูปทรงกระบอก ประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ ห้องเผาไหม้มูลฝอย (combustion chamber) สร้างจากคอนกรีตทนไฟชนิด SK30 SP-25 มีค่า Thermal conductivity ที่อุณหภูมิไม่เกิน 1000 C = 1.4 W/(m.K) พื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.557 ตารางเมตร ความสูง 1.53 เมตร ซึ่งผนังด้านนอกของเตาเผาโดยรอบบุด้วยฉนวนทนความร้อน ชนิด silica-fiber มีค่า Thermal conductivity ที่อุณหภูมิไม่เกิน $1000^{o}C$ = 0.06 W/(m.K) หนา 5 เซนติเมตร คิดเป็นพื้นที่ได้ 6.70 ตารางเมตรและเหล็กแผ่นชุบสังกะสี (Galvanize steel sheet) หนา 1 มิลลิเมตร คิดเป็นพื้นที่ 8.10 ตารางเมตร ส่วนผนังด้านบนของเตาเผาจะถูกปิดด้วยฝาครอบ (hood) ซึ่งทำจากเหล็กแผ่น (steel plate) รูปสี่เหลี่ยมคางหมู หนา 3.2 มิลลิเมตร ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.332 ตารางเมตร จำนวน 4 แผ่นมาประกอบกันโดยแต่ละแผ่นทำมุม 45^{o} กับแนวระดับ นอกจากนี้ยังใช้เหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร มาทำเป็นตะแกรง (grate) ขนาดพื้นที่หน้าตัด (0.01 x 20) ตารางเมตร ไว้ในเตาเผาเพื่อแบ่งส่วนเป็นห้องเผาไหม้มูลฝอยกับห้องเก็บขี้เถ้าซึ่งห้องเก็บขี้เถ้ามีความสูง 0.25 เมตร จากพื้นเตาเผา ดังภาคผนวก ค แสดงการออกแบบเตาเผาชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว

3.3.1.2 <u>เครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง</u>

เครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงเป็นอุปกรณ์หลักในการลดปริมาณอนุภาคในแก๊สไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้สำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งต่ออยู่กับเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว (Single – chamber incinerrator) ดังรายละเอียดการคำนวณจากหัวข้อที่ผ่านมา

3.3.1.3 <u>ระบบวัดอุณหภูมิ</u>

เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิที่บริเวณต่างๆในระบบเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง สำหรับงานวิจัยนี้ คือ เทอร์โมคับเปิ้ล ชนิด K (Chromel - Alumel) รุ่น JB - 30, RB – 30 ขนาดปลอก 9.5 mm. ความยาวแกน 100 mm. จำนวน 9 อัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ต่อเข้ากับเครื่องอ่านอุณหภูมิชนิดตัวเลข (Digital thermometer) ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง 0 - 800 ^{o}C โดยในระบบนี้จะวัดอุณหภูมิของแก๊สทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ดังนี้



JB-30, RB-30

Element Ø	0.65 mm. or 1 mm. CA (K), IC (J), (JB-30), PT-100 (RB-30)
Protecing Tube (Ø)	Stainless-steel sus 304 Ø 5, Ø 6, Ø 9.5 mm.
Protecing Tube Length (L)	100, 200, 300, 400, 500, 600, 800,1000 mm.

รูปที่ 3.2 แสดงเทอร์โมคับเปิ้ลชนิด K (แบบ Chromel - Alumel)

1) บริเวณทางเข้าของเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง 1 ตำแหน่ง (รูปที่ ช-3 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้ง T_1)

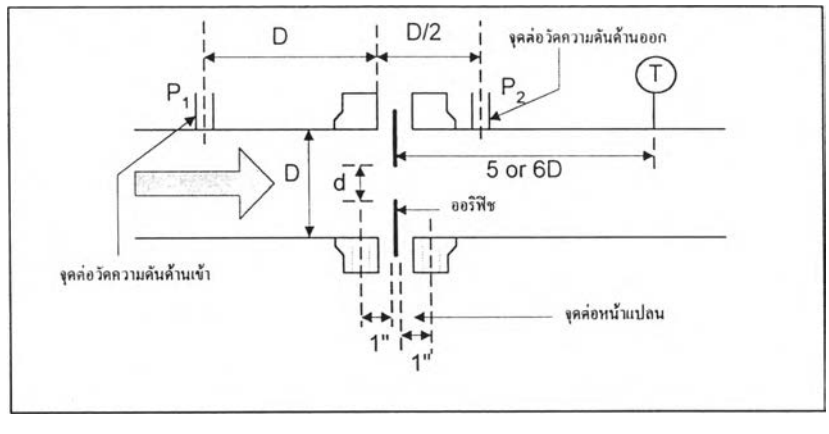
2) บริเวณทางออกของเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง 1 ตำแหน่ง (รูปที่ ช-4 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้ง T_8)

3) บริเวณภายในของเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง 6 ตำแหน่ง (รูปที่ ช-9 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้ง T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7)

4) บริเวณปล่องควันทางออก 1 ตำแหน่ง (รูปที่ ช-5 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้ง T_9)

3.3.1.4 <u>ระบบวัดอัตราไหล</u>

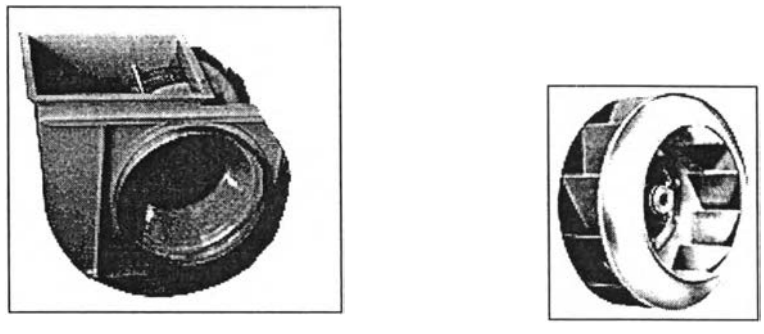
ในการวัดอัตราการไหลของแก๊สที่ทางเข้าและทางออกของเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงได้ใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออริฟิช (Orifice plate) ของสถาบันมาตรฐานประเทศญี่ปุ่น (Japanese Institute Standard, JIS Z 8762-1969) โดยกล่าวว่า ความดันลดที่ผ่านแผ่นออริฟิชนี้จะสามารถอ่านได้จากมานอมิเตอร์ รูปตัว U ในรูปของความสูงแตกต่างของระดับของของเหลวที่บรรจุอยู่ในมานอมิเตอร์เพื่อนำไปคำนวณหาค่าอัตราการไหลของแก๊สเป็นหน่วยมวลต่อเวลาได้ ดังภาคผนวก ก แสดงการหาอัตราการไหลของแก๊ส สำหรับที่บริเวณทางเข้าและออกของเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงใช้แผ่นออริฟิชที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ; d_i = 56 มิลลิเมตร ต่อเข้ากับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ; D_i = 126 มิลลิเมตร (ประมาณ 5 นิ้ว) โดยต่อจุดวัดเข้ากับมานอมิเตอร์ที่ตำแหน่ง D, D/2 ดังรูปที่ 3.3 แสดงระบบวัดอัตราการไหลโดยใช้แผ่นออริฟิช ชนิด D, D/2 tapping



รูปที่ 3.3 แสดงระบบวัดอัตราการไหลโดยใช้แผ่นออริฟิช ชนิด D, D/2 tapping

3.3.1.5 พัดลมดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยง

พัดลมดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal fan) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับดูดแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้จากเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยวเข้าสู่ระบบเครื่องแยกอนุภาคโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง พัดลมดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยงที่นำมาใช้นี้เป็นพัดลมชนิด BCF-2 ½ A สามารถดูดอากาศได้มากที่สุด = 60 m^3/min สร้างความดันได้มากที่สุดประมาณ 250 mm.H_2O ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า และสามารถต่อไฟฟ้า 3 เฟส เข้ากับขั้วต่อไฟฟ้าของมอเตอร์ได้แบบต่อตรง



รูปที่ 3.4 แสดงพัดลมดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยง

3.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล

3.3.2.1 เครื่องมือวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค (MASTERSIZER) ตั้งอยู่ ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

- ส่วนป้อนตัวอย่างของอนุภาคที่ต้องการวัดการกระจายขนาด
- ส่วนกำเนิดแสงและวัดการตกกระทบของแสงบนอนุภาค
- ส่วนประมวลผลและแสดงผล
- ส่วนคำนวณผลด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นส่วนที่รับข้อมูลจากส่วนประมวลผลมาแสดงโดยใช้โปรแกรมซอฟแวร์ที่มีชื่อว่า “Malvern Mastersizer” เพื่อช่วยในการคำนวณและแสดงผลให้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการใช้เครื่องมือนี้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

3.3.2.2 <u>เครื่องมือเก็บตัวอย่างอนุภาค</u> (Stack sampling) ใช้เก็บตัวอย่างอนุภาคตรงบริเวณทางออกจากระบบเพื่อนำไปวิเคราะห์หาน้ำหนักของอนุภาคและความเข้มข้นของอนุภาคในแก๊สที่ออกสู่บรรยากาศ มีส่วนประกอบหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

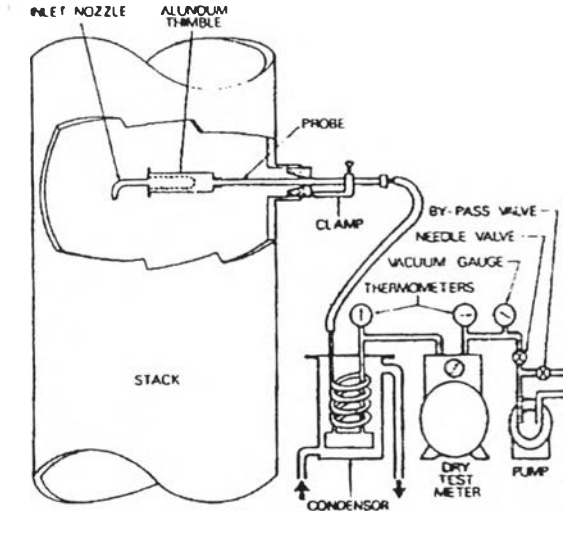
-ทางเข้า และ ท่อนำส่งตัวอย่าง

-ส่วนเก็บตัวอย่าง เป็นกระดาษกรองชนิดพิเศษ

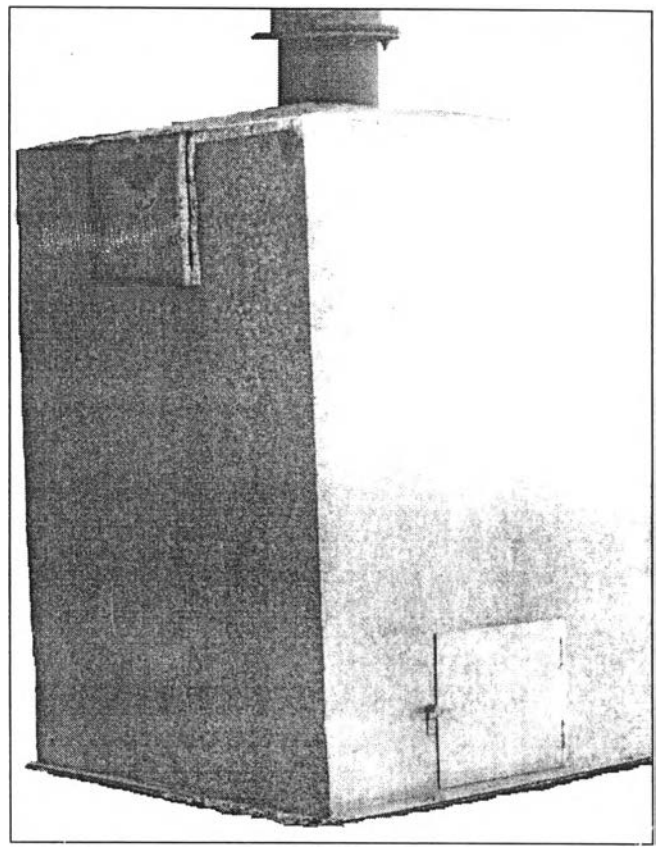
-ส่วนวัดความเร็วของแก๊ส ใช้ Pitot tube วัดความเร็วของแก๊สตามตำแหน่งต่างๆบนหน้าตัดปล่องควันทั้งหมด 4 จุด (แต่ละจุดคือจุดศูนย์ถ่วงของส่วนแบ่งพื้นที่หน้าตัดปล่อง) ค่าความเร็วอ่านจากมาโนมิเตอร์แบบเอียง เวลาที่ใช้ในการตรวจวัด 5 นาทีต่อ 1 จุด เมื่อทราบความเร็วแก๊สไอเสียแล้วให้ทำการปรับความเร็วแก๊สที่เข้าสู่ท่อนำส่งตัวอย่างให้ได้อัตราการไหลที่เป็น Isokinetic

-ส่วนเคลื่อนย้ายอากาศ ใช้ปั๊มในการดูดแก๊สให้ไหลผ่านส่วนเก็บตัวอย่างมีวาวล์ปรับควบคุมอัตราการไหล

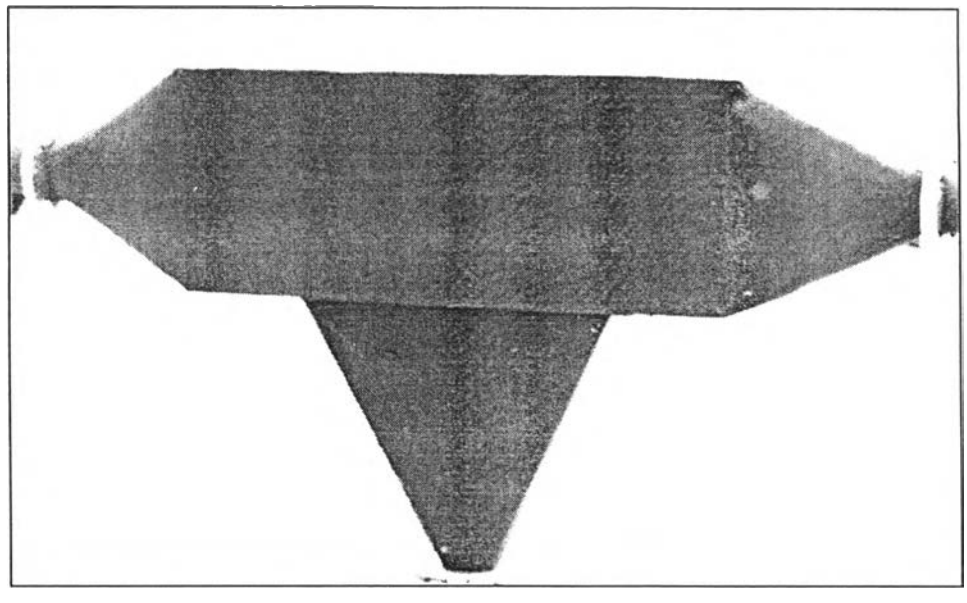
ตัวอย่างอนุภาคที่เก็บได้จะถูกนำส่งไปที่ห้องวิจัยภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยมหิดลเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป ผู้วิจัยไม่สามารถทำการตรวจวัดได้ทุกการทดลอง เนื่องจากปัญหาค่าใช้จ่ายสำหรับกระดาษกรองในแต่ละการทดลองมีราคาค่อนข้างสูง และอุปกรณ์ตรวจวัดนี้ใช้ในการตรวจสอบตามสถานที่ต่างๆอยู่เสมอจึงมีข้อจำกัดมากในเรื่องของเวลาทำให้ผู้วิจัยไม่สามารถใช้วิธีนี้ในการตรวจสอบได้ในทุกการทดลอง



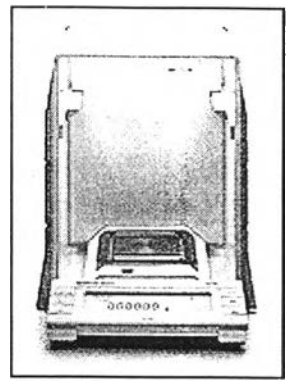
รูปที่ 3.5 แสดงระบบเก็บตัวอย่างอนุภาค



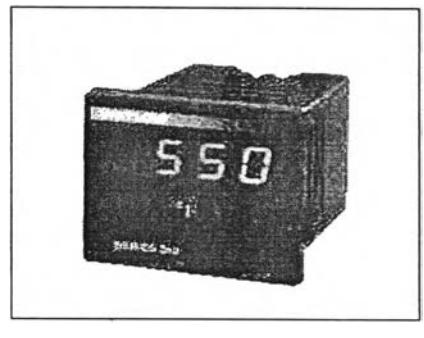
รูปที่ 3.6 แสดงเตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยวที่ใช้ในการทดลอง

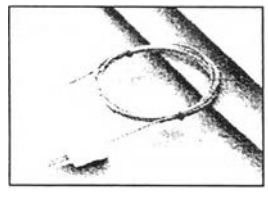


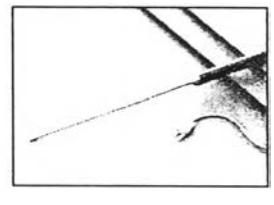
รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องแยกอนุภาคที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องชั่งมวล METTLER AT261 DELTARANGE







รูปที่ 3.9 แสดงเทอร์โมคับเปิ้ลและเครื่องอ่านอุณหภูมิ