

การศึกษาและการออกแบบไซโคลน
เพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้

STUDY AND DESIGN OF A CYCLONE
FOR PARTICULATE REDUCTION IN FLUE GAS

สมศรี จรุงเรือง และ เบญจวรรณ โชคพิพัฒน์ผล

Somsri Chongrungreong and Benjawan Chokpipatpol

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท กรุงเทพฯ 10330

Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering,

Chulalongkorn University, Phayathai Road, Bangkok 10330

บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาและการออกแบบไซโคลนเพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ ไซโคลนที่จัดสร้างขึ้นเป็นชนิดแก๊สไหลเข้าในแนวสัมผัสและอนุภาคออกในแนวแกนแบบ high efficiency, medium throughput รูปร่างและขนาดของไซโคลนถูกกำหนดตามสมมติฐานของ Stairmand ส่วนสมรรถนะของไซโคลนประเมินด้วยวิธีของ Leith and Licht จากการศึกษาครั้งนี้จะเห็นว่า อัตราการไหลของแก๊สร้อนเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อความดันสูญเสีย อุณหภูมิขาเข้าเฉลี่ยของแก๊สร้อน และประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน

ABSTRACT

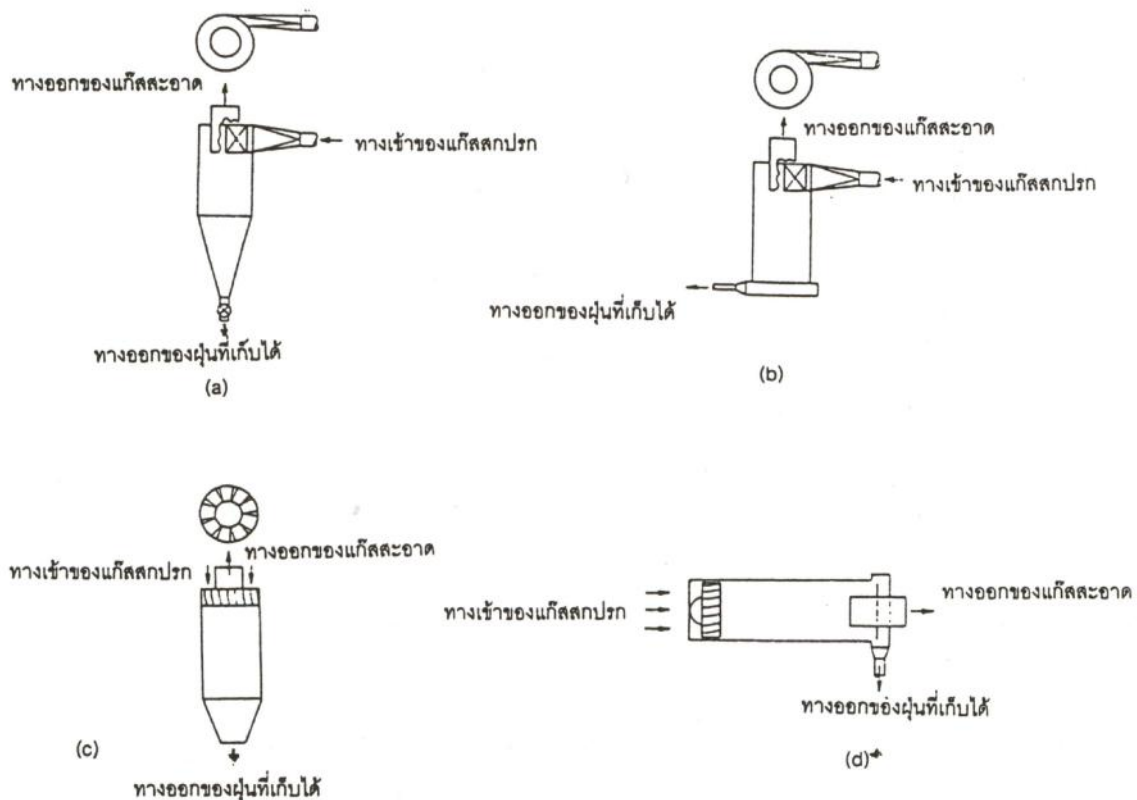
The purpose of this research work is to study and design a cyclone for particulate reduction in flue gas. The cyclone model is of the tangential inlet and axial discharge type; high efficiency, medium throughput pattern. The shapes and dimensions are designed by following the hypothesis of Stairmand and the cyclone's performance can be evaluated from an approach developed by Leith and Licht. From the study, it can be seen that the hot gas flow rate is an important parameter affecting the pressure loss, the average inlet gas temperature and the cyclone's efficiency.

บทนำ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำให้อากาศสะอาดที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพและความเหมาะสมที่จะใช้งานแตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปแล้วเราจะแบ่งอุปกรณ์ดังกล่าวออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ดังนี้ ประเภทที่ต้องใช้ของเหลวเป็นตัวกลาง เช่น เครื่องดักเก็บอนุภาคแบบเปียก (Wet scrubber) และประเภทที่ไม่ต้องใช้ของเหลวเป็นตัวกลางในการดักเก็บอนุภาค เช่น เครื่องดักเก็บอนุภาคแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางหรือไซโคลน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพราะว่ามีต้นทุนในการสร้างต่ำ และมีการบำรุงรักษาง่าย ในการวิจัยนี้จะกล่าวถึงระบบไซโคลนที่ใช้ในการลดปริมาณอนุภาค

ในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้

ไซโคลนมีหลักการทำงาน โดยอาศัยการหมุนของแก๊สทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อแยกอนุภาคออกจากแก๊สเสีย การหมุนของแก๊สทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ด้วยแรงเฉื่อย เข้าหาผนังของเครื่องแยกแล้วตกสู่ที่สำหรับรองรับอนุภาค แก๊สที่ถูกป้อนเข้าไซโคลนสามารถไหลเข้าได้ทั้งในแนวสัมผัส หรือไหลเข้าตามแนวแกนโดยที่ตัวเครื่องแยกจะมีลักษณะเป็นกรวยที่ตั้งเอียงอดแหลมลง ที่บริเวณกลางของฝาดบนมีท่อเรียกว่าท่อขับติดอยู่ แก๊สที่ผ่านเข้าไปในช่วงแรกจะเคลื่อนลงไปตามกรวยโดยอนุภาคจะตกลงไปในที่รองรับด้านล่าง แล้วอากาศที่สะอาดจะถูกดูดกลับขึ้นไปตามท่อเพื่อปล่อยออกสู่บรรยากาศ



รูปที่ 1 แสดงลักษณะการไหลเข้าและออกในแบบต่างๆ ของแก๊สในไซโคลน⁽¹⁾

- (a) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส อนุภาคออกในแนวแกน
- (b) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส อนุภาคออกจากเส้นรอบวง
- (c) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวแกน อนุภาคออกในแนวแกน
- (d) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวแกน อนุภาคออกจากเส้นรอบวง

ส่วนสำคัญสำหรับโครงสร้างไซโคลน คือ ทางไหลเข้าของแก๊สที่จะทำให้แก๊สเกิดการหมุนวน ทางออกของแก๊สและที่รองรับอนุภาคในบริเวณส่วนล่างของไซโคลน รูปที่ 1 แสดงลักษณะการไหลเข้าและออกของแก๊สในไซโคลนแบบต่างๆ รูป (a) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส อนุภาคออกในแนวแกน รูป (b) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส อนุภาคออกจากเส้นรอบวง รูป (c) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวแกน อนุภาคออกในแนวแกน รูป (d) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวแกน อนุภาคออกจากเส้นรอบวง

สำหรับไซโคลนที่ใช้ในครั้งนี้เป็นไซโคลนที่ออกแบบตามสมมติฐานของ Stairmand ซึ่งมีลักษณะการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลน

ในการวิจัยครั้งนี้เลือกศึกษาไซโคลนที่ให้ประสิทธิภาพสูงและสร้างง่าย เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างจึงเลือกไซโคลนแบบ (a)

การคำนวณการออกแบบไซโคลน

การหาขนาดของไซโคลนให้สามารถเก็บอนุภาคที่ปนอยู่ในแก๊สไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ของเตาเผาชนิดห้องเผาไหม้เดียวนั้นทำการออกแบบจากสภาวะขาเข้าไซโคลน(แก๊สไอเสียที่ออกจากปล่องของเตาเผาชนิดห้องเผาไหม้เดียว) ในการวิจัยนี้ได้ออกแบบขนาดของไซโคลนโดยคำนึงถึงอัตราการไหล อุณหภูมิ และความเร็วเฉลี่ยของแก๊สไอเสียขาเข้าไซโคลน

เตาเผาชนิดห้องเผาไหม้เดียวที่ใช้ในการศึกษาและออกแบบไซโคลนจะมีปล่องไอเสียที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 cm มีพื้นที่หน้าตัด 0.05 m² และมีอัตราการไหลของแก๊สไอเสียเท่ากับ 0.3 m³/s ความเร็วของแก๊สไอเสียที่จะเข้าสู่ไซโคลนควรจะอยู่ระหว่าง 15-28 m/s⁽²⁾ ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ต่อกับท่อที่เข้าไซโคลน (D_i) m คำนวณได้จาก

$$Q = v_i A_i \quad (1)$$

$$A_i = \frac{Q}{v_i} \quad (2)$$

$$A_i = \frac{\pi D_i^2}{4} \quad (3)$$

เมื่อ

$$Q = \text{อัตราการไหลของแก๊สไอเสีย m}^3/\text{s}$$

$$A_i = \text{พื้นที่หน้าตัดของท่อที่ต่อกับท่อที่จะเข้าไซโคลน m}^2$$

$$v_i = \text{ความเร็วของแก๊สไอเสียขาเข้าไซโคลน m/s}$$

ตารางที่ 1 ตามสมมติฐานการออกแบบของ Stairmand ชนิดแก๊สไหลเข้าในแนวสัมผัสและอนุภาคออกในแนวแกน (high efficiency, medium throughput) จะแสดงสัดส่วนการออกแบบไซโคลนที่มีค่าต่างๆ เป็นจำนวนเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลน (D) และมีพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ต่อกับท่อที่จะเข้าไซโคลนมีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดของท่อบริเวณเข้าไซโคลน

$$A_i = a \times b \quad (4)$$

เมื่อ

$$a = \text{ความสูงของท่อทางเข้าไซโคลน m}$$

$$b = \text{ความกว้างของท่อทางเข้าไซโคลน m}$$

ส่วนประกอบของระบบที่ใช้ในการทดลอง

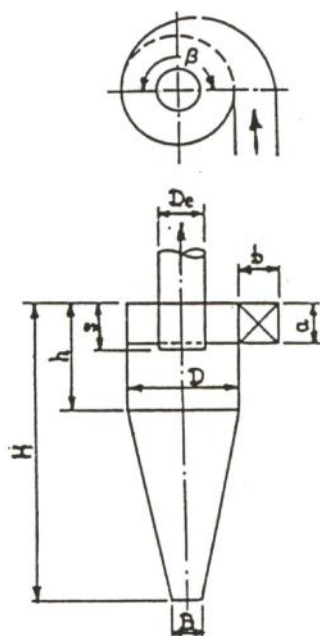
รูปที่ 2 จะแสดงส่วนประกอบของระบบดังนี้

1. เตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดียว (Single-chamber incinerator) เตาเผานี้มีห้องเผาไหม้เป็นรูปทรงกระบอก สร้างจากอิฐทนไฟชนิด SK30SP-25 (ค่าสภาพนำความร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 1000 °C เท่ากับ 1.4 W/m.K) และคอนกรีต พื้นที่หน้าตัดของตะแกรงเท่ากับ 0.56 m² ความสูงของห้องเผาไหม้ 1.53 m ผนังด้านนอกของเตาโดยรอบด้วยฉนวนทนความร้อนชนิด Silica-fiber (ค่าสภาพนำความร้อน

ร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 1000°C เท่ากับ $0.06\text{ W/m}\cdot\text{K}$) หนา 5 cm และเหล็กแผ่นชุบสังกะสีหนา 1 mm ความสูงของห้องเก็บชี้ไถ่เท่ากับ 0.025 m ด้านบนของห้องเผาไหม้ถูกปิดด้วยฝาครอบที่ทำด้วยเหล็กแผ่น 4 แผ่น มาประกอบกันโดยแต่ละแผ่นทำมุม 45° กับแนวระดับและมีท่อต่อเข้ากับไซโคลน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ลดปริมาณอนุภาคของแก๊สไอเสียก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ

2. ไซโคลน (Cyclone) เป็นอุปกรณ์หลักในระบบ ที่ จะทำการศึกษาและวิจัยเพื่อหาประสิทธิภาพ มีสัดส่วน

ตารางที่ 1 แสดงสัดส่วนของไซโคลน⁽³⁾



ต่างๆ ตามตารางที่ 1 ดังนี้

D	$= 32\text{ cm}$
a	$= 16\text{ cm}$
b	$= 6.4\text{ cm}$
S	$= 16\text{ cm}$
D_e	$= 16\text{ cm}$
h	$= 48\text{ cm}$
H	$= 128\text{ cm}$
B	$= 12\text{ cm}$

Symbol	Nomenclature	High efficiency		Conventional	
		Stairmand (1951)	Swift (1969)	Lapple (1967)	Swift (1969)
D	Body diameter	1.0	1.0	1.0	1.0
a	Inlet length	0.5	0.44	0.5	0.5
b	Inlet width	0.2	0.21	0.25	0.25
S	Outlet length	0.5	0.5	0.625	0.6
D_e	Outlet diameter	0.5	0.4	0.5	0.5
h	Cylinder length	1.5	1.4	2.0	1.75
$H-h$	Cone length	2.5	2.5	2.0	2.0
H	Overall height	4.0	3.9	4.0	3.75
B	Bottom diameter	0.375	0.4	0.25	0.4
G	Configuration factor	551.3	699.2	402.9	381.8

3. พัดลมดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยง พัดลมชนิดนี้ใช้สำหรับดูดแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้จากเตาเผามูลฝอยเข้าสู่ระบบไซโคลนเพื่อลดจำนวนอนุภาคก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ

4. ระบบวัดอุณหภูมิ ในการวิจัยนี้ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Chromel-alumel) รุ่น JB-10, RB-10 ต่อเข้ากับเครื่องอ่านอุณหภูมิชนิดตัวเลข (Digital thermometer) ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง $0-1200^{\circ}\text{C}$ โดยจะวัดอุณหภูมิของแก๊ส 3 ตำแหน่งคือ บริเวณทางเข้าไซโคลน บริเวณทางออกไซโคลน และ

บริเวณก่อนออกสู่บรรยากาศ

5. ระบบวัดอัตราการไหล ใช้ชุดออร์ฟิซวัดอัตราการไหลของแก๊สที่ทางเข้าและทางออกไซโคลน โดยจะนำชุดออร์ฟิซประกอบเข้ากับมาโนมิเตอร์ สำหรับอ่านค่าความดันที่อยู่ในรูปความแตกต่างความสูงของน้ำ

6. ระบบกรองอากาศ

- แผ่นกรอง ใช้สำหรับดักอนุภาค (ขนาด $10\text{ }\mu\text{m}$) ที่ออกจากพัดลมดูดอากาศก่อนออกสู่บรรยากาศ

- ถังกรอง ใช้สำหรับดักเก็บอนุภาคที่ออกจากระบบของไซโคลนก่อนออกสู่บรรยากาศ

7. เครื่อง Mastersizer ใช้สำหรับหาค่าการกระจายของอนุภาคที่ไซโคลนสามารถดักเก็บได้

การหาประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน

ในการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของไซโคลน จำเป็นจะต้องหาค่าประสิทธิภาพย่อยในแต่ละช่วงขนาดของอนุภาค เช่น 5-10 μm มีชื่อเรียกว่าประสิทธิภาพย่อย (fraction or grade efficiency) สำหรับอนุภาคที่ช่วงขนาด i หาสัดส่วนมวล แล้วจึงหาประสิทธิภาพรวม

1. การหาประสิทธิภาพรวม (Overall efficiency) ของไซโคลนที่สภาวะต่าง ๆ โดยการวิเคราะห์จากการกระจายของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาดของอนุภาคกับประสิทธิภาพย่อยในแต่ละช่วงขนาด ได้ดังนี้

$$\eta_T = \sum_{i=1}^n m_i \eta_i \quad (5)$$

เมื่อ

η_T = ประสิทธิภาพการทำงานรวมของไซโคลน%

η_i = ประสิทธิภาพย่อย %

m_i = สัดส่วนมวล

= ปริมาณของอนุภาคที่ไซโคลนดักเก็บได้ใน

ช่วงขนาด i ของอนุภาค

ปริมาณของอนุภาคทั้งหมดที่ทางเข้าไซโคลน

2. การหาประสิทธิภาพย่อย (Grade or fraction efficiency) ของไซโคลนสามารถคำนวณได้ดังนี้

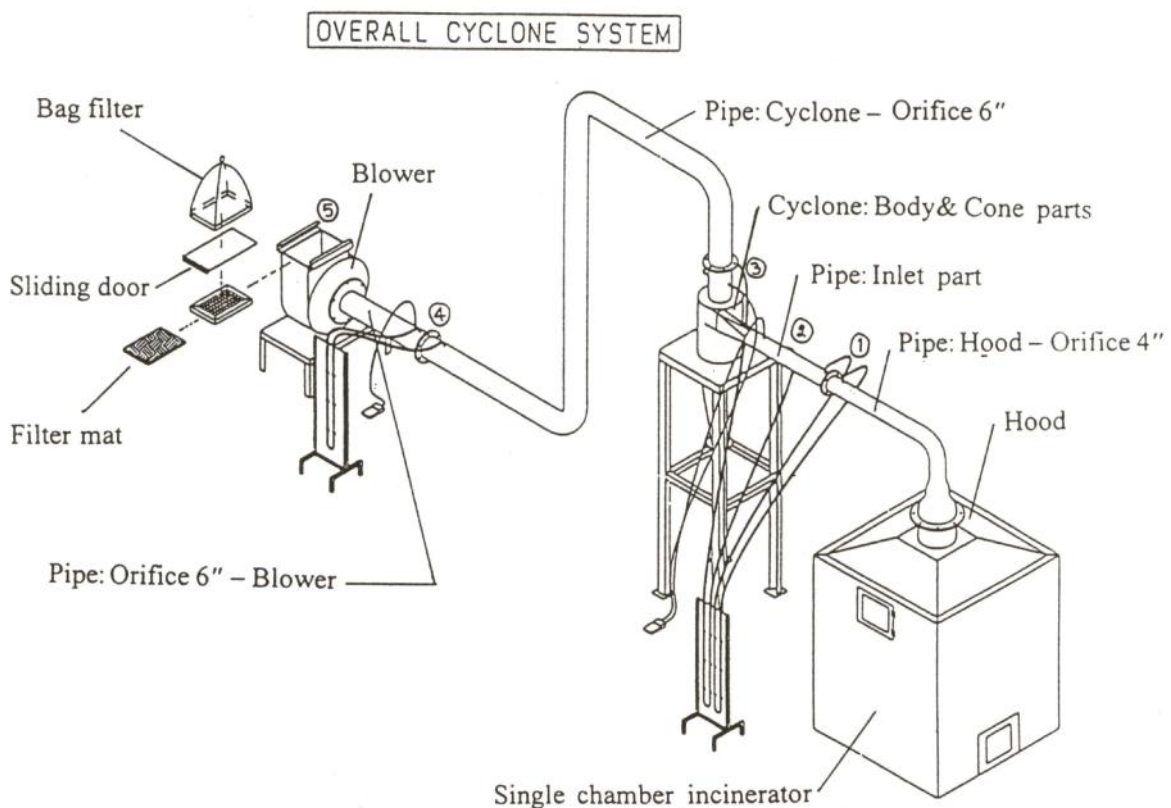
2.1 สมการของ Leith and Licht⁽⁴⁾

$$\eta_i = 1 - \exp \left[-2(C\psi)^{\frac{1}{(2\gamma + 2)}} \right] \quad (6)$$

โดยที่

η_i = ประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคของไซโคลน

C = Cyclone geometric parameter



รูปที่ 2 แสดงลักษณะทั่วไปของระบบที่ใช้ในการทดลอง

$$C = \frac{\pi D^2}{ab} \left\{ 2 \left[1 - \left(\frac{D_e}{D} \right)^2 \right] \left[\frac{S}{D} - \frac{a}{2D} \right] + \frac{1}{3} \left[\frac{S+l-h}{D} \right] \left[1 + \frac{d}{D} + \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right] + \frac{h}{D} - \left(\frac{D_e}{D} \right)^2 \frac{l}{D} - \frac{S}{D} \right\} \quad (7)$$

เมื่อ

$$\frac{l}{D} = 2.3 \frac{D_e}{D} \left(\frac{D^2}{ab} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

$$\frac{d}{D} = \frac{D - (D-B)[(S+l-h)/(H-h)]}{D} \quad (9)$$

γ = Cyclone vortex exponent

$$= 1 - \left[1 - \frac{(39.4D)^{0.14}}{2.5} \right] \left[\frac{T}{283} \right]^{0.3} \quad (10)$$

เมื่อ

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของแก๊สที่เข้าไซโคลน K

ψ = Cyclone inertia parameter

$$= \frac{\rho_p d_p^2 v_i}{18\mu D} (\gamma + 1) \quad (11)$$

เมื่อ

ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาค kg/m^3

d_p = ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคในช่วงขนาด $i \mu m$

μ = ความหนืดของแก๊สไอเสียที่อุณหภูมิเข้าไซโคลน $N / m \cdot s$

2.2 การหาประสิทธิภาพย่อยของไซโคลนจาก

สมการ

$$\eta_i = \left(\frac{W_c}{W_i} \times 100 \right) \quad (12)$$

เมื่อ

η_i = ประสิทธิภาพย่อยในการดักเก็บอนุภาคของไซโคลนในช่วงขนาด i ของอนุภาค %

W_c = มวลของอนุภาคที่ดักเก็บได้ด้วยไซโคลนในช่วงขนาด i ของอนุภาค kg

W_i = มวลของอนุภาคที่ทางเข้าของไซโคลนในช่วงขนาด i ของอนุภาค kg

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำแผ่นออริฟิซ (Orifice plate) มาติดตั้งและนำสายยางมาต่อเข้ากับมาโนมิเตอร์รูปตัวยูบรรจุน้ำที่จุดวัดที่ 1 และ 4 เพื่อวัดค่าอัตราการไหลของแก๊สร้อนที่บริเวณทางเข้าของไซโคลนและบริเวณทางออกสู่บรรยากาศดังรูปที่ 2

2. นำสายยางมาต่อเข้ากับมาโนมิเตอร์รูปตัวยูบรรจุน้ำที่จุดวัดที่ 2 และ 3 เพื่อวัดค่าความดันสูญเสียในไซโคลน

3. ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่งทางเข้าของไซโคลนทางออกของไซโคลน และทางออกสู่บรรยากาศ เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิชนิดตัวเลข (Digital thermometer)

4. ติดตั้งแผ่นกรอง (Filter mat) และถุงกรอง (Bag filter) ที่จุดวัดที่ 5 บริเวณทางออกของพัดลมดูดอากาศเพื่อเก็บอนุภาคบางส่วนที่ไซโคลนไม่สามารถเก็บได้

5. เริ่มทำการเผามูลฝอยประเภทใบไม้แห้ง กิ่งไม้แห้งในอัตราการป้อนมูลฝอย 25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยทำการป้อนมูลฝอยทุกๆ 3 นาที ครั้งละ 2.5 กิโลกรัมจนครบ 1 ชั่วโมง

6. นำอนุภาคที่ตกอยู่ในที่รองรับของไซโคลนไปทำการวิเคราะห์หาการกระจายของอนุภาคด้วยเครื่อง Mastersizer

7. เปลี่ยนค่าอัตราการไหลของแก๊สร้อน 5 ค่า คือ 0.866 kg/s, 0.722 kg/s, 0.554 kg/s, 0.487 kg/s, 0.399 kg/s สำหรับมูลฝอยประเภทใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง และ 0.711 kg/s, 0.624 kg/s, 0.568 kg/s, 0.536 kg/s, 0.476 kg/s, สำหรับมูลฝอยประเภทกระดาษ

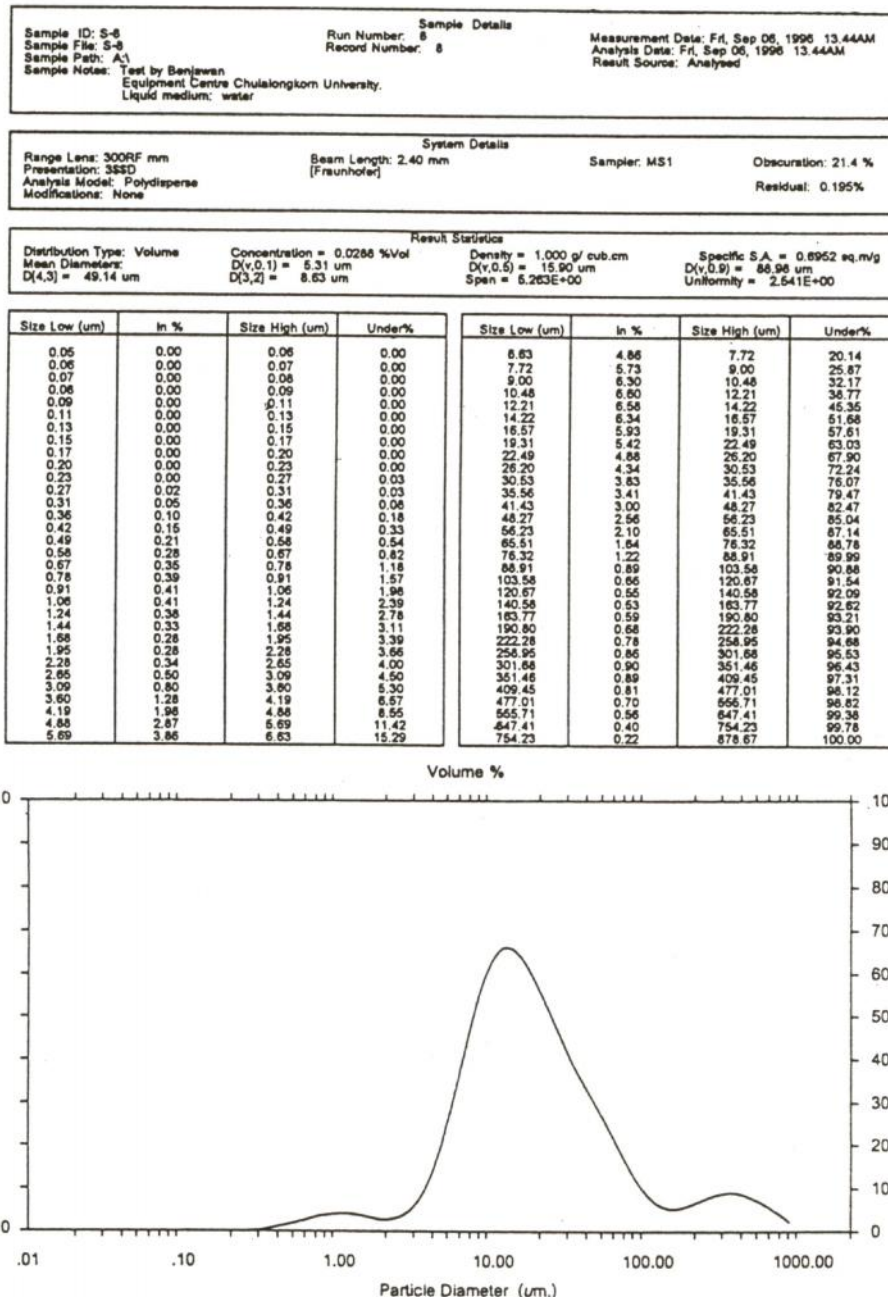
8. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนชนิดของมูลฝอยเป็นประเภทกระดาษ

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับหาการกระจายของอนุภาคที่ไซโคลนสามารถดักเก็บได้ในสภาวะต่างๆ มีชื่อว่า Mastersizer ซึ่งในเครื่องประกอบไปด้วยระบบหลักๆ ดังนี้

1. ส่วนป้อนตัวอย่างของอนุภาคที่ต้องการวัดการกระจายขนาด (Small Volume Sample Presentation Unit)
2. ส่วนกำเนิดแสงและวัดการตกกระทบของแสงบนอนุภาค (Mastersizer Optical Measurement Unit)
3. ส่วนประมวลผลและแสดงผล (Computer System)
4. ส่วนคำนวณผลด้วยคอมพิวเตอร์ (Malvern

Operating Software) เป็นส่วนที่รับข้อมูลจากส่วนประมวลผลมาแสดง โดยใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่า Malvern Mastersizer เพื่อช่วยในการคำนวณและแสดงผลให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

การแสดงผลการวิเคราะห์ผลการกระจายขนาดของอนุภาค จะแสดงผลทั้งทางจอภาพและทางเครื่องพิมพ์ ดังตัวอย่างในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์การกระจายของอนุภาค สำหรับการเผาผลาญย่อยประเภทกระดาษ ที่อัตรา
การไหลเชิงมวลเท่ากับ 0.568 kg/s

ผลการทดลอง

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองการเผาผลาญ

ประเภทใบไม้แห้ง กิ่งไม้แห้งและมูลฝอยประเภท
กระดาษสำหรับอัตราการไหลต่างๆ

ประเภทมูลฝอย	อัตราการไหล เชิงมวล : kg/s	อุณหภูมิเข้า ไซโคลน : °C	ความดันสูญเสีย : kPa	ประสิทธิภาพของ ไซโคลน : % (สมการ(12))	ประสิทธิภาพของ ไซโคลน : % (Leith and Licht)
ใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง	0.866	224.5	270.27	89.07	90.50
	0.722	243.5	258.02	82.15	84.70
	0.554	335.4	236.79	94.27	96.34
	0.487	346.2	190.25	87.12	91.24
	0.399	377.2	171.47	85.33	92.06
กระดาษ	0.711	294.2	255.57	88.26	91.79
	0.624	310.6	235.16	78.88	87.16
	0.568	334.2	214.74	91.22	96.26
	0.536	350.0	198.41	83.73	90.82
	0.476	376.1	173.92	80.96	91.08

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าค่าอัตราการไหลเชิงมวล
ต่างๆ มีผลต่อประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคของ
ไซโคลนโดยจากผลการทดลองจะเห็นว่า สำหรับการ
เผาผลาญประเภทใบไม้แห้ง กิ่งไม้แห้ง อัตราการไหล
เชิงมวลของแก๊สเท่ากับ 0.554 kg/s อุณหภูมิเฉลี่ย
เข้าไซโคลนเท่ากับ 335.4 °C ไซโคลนดักเก็บอนุภาคได้

ดีที่สุด คิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานได้ 94.27 %
โดยมีความดันสูญเสียในไซโคลนเท่ากับ 236.79 kPa

ส่วนการเผาผลาญประเภทกระดาษ ด้วยอัตรา
การไหลเชิงมวลของแก๊สเท่ากับ 0.568 kg/s อุณหภูมิ
เฉลี่ยเข้าไซโคลนเท่ากับ 334.2 °C ไซโคลนดักเก็บ
อนุภาคได้ดีที่สุด คิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานได้
91.22 % โดยมีความดันสูญเสียในไซโคลน 214.74
kPa

ขนาดของอนุภาคที่เล็กที่สุดที่สามารถดักเก็บได้ด้วยไซโคลนขนาด 32 cm

ประเภทมูลฝอย	อัตราการไหล (kg/s)	d_{min} (μm)
ใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง	0.866	0.15
	0.722	0.15
	0.554	0.15
	0.487	0.15
	0.399	0.15

ประเภทมูลฝอย	อัตราการไหล (kg/s)	d_{min} (μm)
กระดาษ	0.711	0.20
	0.624	0.23
	0.568	0.27
	0.536	0.23
	0.476	0.20

แนวทางที่จะออกแบบไซโคลนให้เหมาะสมกับงานควรคำนึงถึงสภาวะเข้าไซโคลนได้แก่ อุณหภูมิเข้า อัตราการไหลเชิงปริมาตร คุณสมบัติของฝุ่นได้แก่ การกระจายของฝุ่น ความหนาแน่นจริงของฝุ่น ตลอดจนความต้องการของลักษณะของการใช้งานว่าต้องการให้ไซโคลนมีประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นมากน้อยเพียงใด (แต่ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดในการออกแบบไซโคลน) เพื่อให้มีการออกแบบไซโคลนได้ตามต้องการ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและทุนจากบริษัท โบอิง คอมเมอร์เชียล จำกัดที่ได้ให้การสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Stern, Arthur C., ed. Air Pollution, Vol. III. Academic Press, New York (1962).
2. Kalen, B. and Zenz, F.A., "Theoretical-Empirical Approach to Saltation Velocity in Cyclone Design" AIChE Symp. Ser. 1974.
3. Dulline, F.A.L. *Introduction to Industrial Gas Cleaning*. Sandiago, California : Academic Press INC., 1989.
4. Leith, D., and Licht, W. "Collection Efficiency of Cyclone Type Particle Collector, A New Approach." AIChE Symp. Ser. 1972.