

## บทที่ 3

### ทฤษฎี

#### 3.1 บทนำ

ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ดักจับฝุ่นในอากาศ ต้องอาศัยหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่อง โดยประกอบด้วยทฤษฎีและหลักการต่างๆ เช่น ลักษณะการไหลเข้าของแก๊สและโครงสร้างซึ่งจะกล่าวต่อไปนี้

#### 3.2 การแยกอนุภาคด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง [3]

เครื่องแยกอนุภาคด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางหรือไซโคลน มีหลักการโดยการอาศัยหลักการหมุนของแก๊สทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อแยกอนุภาคออกจากแก๊ส การหมุนของแก๊สทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ด้วยแรงเฉื่อย (Inertia Force) เข้าหาผนังของเครื่องแยกหรือไซโคลน แล้วตกสู่ที่สำหรับรองรับอนุภาค (Hopper) โดยทั่วไปแล้วไซโคลนจะเป็นเครื่องที่สำคัญ ในกระบวนการที่ทำให้อากาศสะอาด การทำให้อากาศสะอาดแบบนี้อากาศจะถูกป้อนเข้าส่วนบนของเครื่องแยกโดยสามารถไหลเข้าได้ทั้งในแนวเส้นสัมผัส (Tangential inlet) หรือไหลเข้าตามแนวแกน (Axial inlet) โดยที่ตัวเครื่องแยกจะมีลักษณะเป็นกรวยที่ตั้งเอียงลงที่บริเวณกลางของฝาบนมีท่อเรียกว่า ท่อจับ (Vortex finder) ติดอยู่ โดยอากาศที่ไหลผ่านเข้าไปช่วงแรกจะเคลื่อนลงไปตามกรวยโดยอนุภาคจะตกลงไปในที่รองรับด้านล่างแล้วอากาศจึงถูกดูดขึ้นมาตามท่อจับเพื่อปล่อยสู่บรรยากาศ

#### 3.3 การไหลเข้าของแก๊สในไซโคลน [4]

ส่วนสำคัญสำหรับโครงสร้างของไซโคลน คือ ทางเข้าของแก๊สที่จะทำให้เกิดการหมุนวน (Vortex) ทางออกของแก๊สในแนวแกน (Axial outlet) และที่รองรับอนุภาค (Hopper) บริเวณด้านล่างของไซโคลนแสดงลักษณะการไหลเข้าและไหลออกในแบบต่างๆของแก๊สในไซโคลนโดย รูป (3.1a) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของถังไซโคลน (Tangential inlet) อนุภาคออกในแนวแกน (Axial discharge) รูป (3.1b) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังถังไซโคลน (Tangential inlet) อนุภาคออกในแนวเส้นรอบวง (Peripheral discharge) รูป (3.1c) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวแกน (Axial inlet) อนุภาคในแนวแกน (Axial discharge) รูป (3.1d) แสดงการไหลของแก๊สในแนวแกน (Axial inlet) อนุภาคในแนวเส้นรอบวง (Peripheral discharge) สำหรับลักษณะการไหลแก๊สในไซโคลนที่ใช้สำหรับออกแบบ

โดยเฉพาะลักษณะการไหลเข้าของแก๊สแนวเส้นสัมผัสกับผนังไซโคลน (Tangential inlet) อนุภาคออกในแนวแกน (Axial discharge) แก๊สที่ไหลเข้าในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลนใกล้

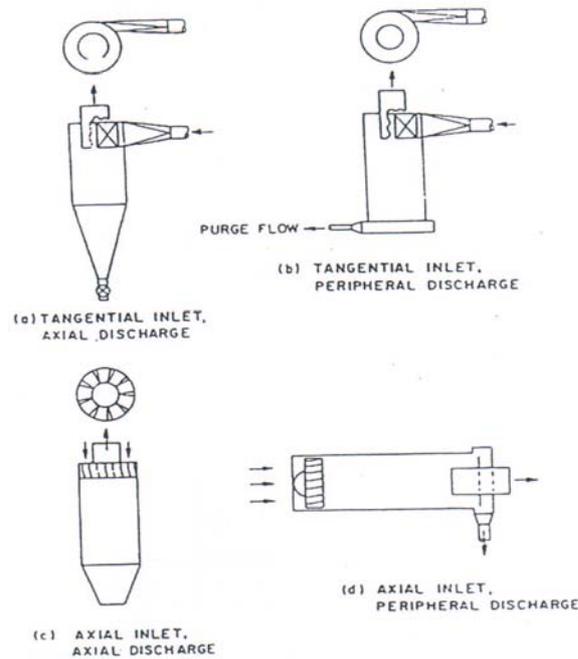
ด้านบนของทรงกระบอกจะทำให้เกิดการหมุนวน (Vortex) หรือการไหลเวียนแบบเกลียวระหว่างผนังของตัวไซโคลนกับผนังของท่อทางออกของแก๊สในลักษณะที่หมุนวนลงข้างล่าง การหมุนวนของแก๊สที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นการหมุนวนกึ่งอิสระซึ่งจะหมุนวนและเคลื่อนลงต่ำกว่าผนังของท่อทางออกของแก๊ส แต่เมื่อไปถึงบริเวณหนึ่งใกล้กับด้านล่างของกรวยแก๊สที่หมุนวนนี้จะกลับทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวแกน โดยยังคงไว้ซึ่งการไหลหมุนวนนั้นคือจะเปลี่ยนการหมุนวนแบบบังคับ ซึ่งจะเปรียบเสมือนการหมุนตัวของของแข็งในช่วงประมาณครึ่งหนึ่งของรัศมีที่บริเวณท่อทางออกของแก๊สกับแกนกลางของทางออกแก๊สที่เกิดการหมุนวนด้านใน (Inner vortex) เป็นบริเวณที่มีความดันต่ำและมีชื่อเรียกว่าแกน (Core) แสดงลักษณะการเกิดการหมุนวนและการไหลวน (Eddy flow) ของแก๊สภายในไซโคลนแบบที่มีการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส (Tangential inlet) อนุภาคออกในแนวแกน (Axial discharge) ความเร็วของแก๊สที่หมุนวนภายในไซโคลนโดยทั่วไปจะเป็นความเร็วในแนวเส้นสัมผัสกับผนังไซโคลน ( $V_T$ ) ดังสมการ

$$V_T = V_{Tp} (R / r)^\gamma \quad (3.1)$$

เมื่อ

$V_T$	=	ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับอนุภาค ที่รัศมี $r$ ; m/s
$V_{Tp}$	=	ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลน ที่รัศมี $R$ ; m/s
$R$	=	รัศมีของไซโคลน; m
$r$	=	รัศมีการหมุนวนของอนุภาค; m
$\gamma$	=	vortex exponent; ไม่มีหน่วย

ในกรณีของแก๊สที่มีการหมุนวนแบบอิสระ (Free vortex) จะไม่มีการสูญเสียความดัน หรือ กรณีที่ของไหลนั้นเป็น ideal gas,  $\gamma$  จะมีค่าเท่ากับ 1 ส่วนในกรณีของแก๊สที่มีการหมุนวนแบบกึ่งอิสระ (Semi free vortex) หรือกรณีการไหลนั้นเป็น real gas,  $\gamma$  จะมีค่าอยู่ในช่วง  $0.5 \leq \gamma \leq 1$  นอกจากนั้น จะเกิดการหมุนวนของแก๊สแล้วยังมีการไหลขึ้นของแก๊สเลียบผนังส่วนบนของทรงกระบอกของไซโคลน แก๊สที่ไหลเลียบผนังขึ้นมานี้จะพาเอาอนุภาคติดไปด้วย โดยจะไหลเข้าด้านในแล้วไหลลงเลียบผนังด้านนอกของท่อทางออกของแก๊ส การไหลนี้เรียกว่า การไหลวน (Eddy flow) ระหว่างที่แก๊สไหลเลียบลงผ่านขอบล่างของท่อทางออก อนุภาคอาจจะติดไปกับแก๊สที่ไหลออกมาจากไซโคลนได้ ถ้าท่อทางของแก๊สยิ่งลึกเข้าไปในทรงกระบอกมากเท่าไรก็จะเกิดการไหลวน (Eddy flow) ที่รุนแรงมากขึ้นซึ่งจะมีผลกระทบต่อแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของอนุภาคและประสิทธิภาพการเก็บอนุภาคด้วย



รูปที่ (3.1) แสดงลักษณะการทางเข้าของแก๊สและทางออกของอนุภาคในแบบต่างๆของไซโคลน

รูปที่ (3.1a) ไหลเข้าในแนวแกนเส้นสัมผัส (Tangential inlet) และ ไหลออกในแนวแกน (Axial discharge)

รูปที่ (3.1b) ไหลเข้าในแนวแกน (Tangential inlet) และ ไหลออกแนวรอบวง (Peripheral discharge)

รูปที่ (3.1c) ไหลเข้าในแนวแกน (Axial inlet) และ ไหลออกแนวแกนรอบวง (Axial discharge)

รูปที่ (3.1d) ไหลเข้าในแนวแกน (Axial inlet) และ ไหลออกแนวเส้นรอบวง (Peripheral discharge)

### 3.4 การแยกอนุภาคในแก๊สที่เกิดการหมุนวน[4]

อนุภาคจะถูกแยกออกจากแก๊สด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งขับเคลื่อนอนุภาค : (G) แสดงได้ดังสมการ

$$G = \frac{mV_T^2}{r} \quad (3.2)$$

เมื่อ

$$G = \text{แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของอนุภาค; N}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \text{มวลของอนุภาค; kg} \\
 V_T &= \text{ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับอนุภาคที่รัศมี } r; \text{ m/s} \\
 r &= \text{รัศมีการหมุนวนของอนุภาค; m}
 \end{aligned}$$

เมื่อกำหนดให้ความเร็วของอนุภาคในแนวเส้นสัมผัสที่รัศมี  $r$  มีค่าเท่ากับ ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส และให้มวลของอนุภาคเป็นทรงกลม จะได้ว่า

$$m = \rho_p \left[ \frac{d_p^3 \pi}{6} \right] \quad (3.3)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 \rho_p &= \text{ความหนาแน่นของอนุภาค; } kg/m^3 \\
 d_p &= \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค; m}
 \end{aligned}$$

นำสมการที่ (3.1) และ (3.3) แทนค่าลงในสมการที่ (3.2) ดังนั้นจะได้

$$G = \frac{(\pi/6) \rho_p d_p^3 V_{TP}^2 R^{2\gamma}}{r^{(2\gamma+1)}} \quad (3.4)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 \rho_p &= \text{ความหนาแน่นของอนุภาค; } kg/m^3 \\
 d_p &= \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค; m} \\
 V_{TP} &= \text{ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลอนที่รัศมี } R; \\
 \text{m/s} & \\
 R &= \text{รัศมีของไซโคลอน; m} \\
 r &= \text{รัศมีการหมุนวนของอนุภาค; m}
 \end{aligned}$$

เมื่ออนุภาคทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อไ้แยกอนุภาคนั้นออกจากแก๊สที่เกิดการหมุนวนขณะเดียวกับอนุภาคก็จะมีแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาคผ่านกระแสแก๊สไปยังผนังไซโคลอนด้วย ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการ โดยใช้ กฎสโตกส์ (Stoke's law) ดังนี้

$$F = 3\pi\mu d_p \overline{u}_r \quad (3.5)$$

เมื่อ

$$F = \text{แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาคในแนวรัศมี; N}$$

$$\begin{aligned}\mu &= \text{ความหนืดของแก๊ส; Pa.s} \\ \overline{u_r} &= \text{ความเร็วของแก๊สสัมพัทธ์กับอนุภาคในแนวรัศมี; m/s}\end{aligned}$$

จากสมการจะเห็นว่าแรงที่ใช้แยกอนุภาคจะเพิ่มขึ้นตามเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคยกกำลังสอง แต่แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาคไปยังผนังไซโคลอนจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค ดังนั้นไซโคลอนจะสามารถแยกอนุภาคขนาดใหญ่ได้ดี อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ที่วิ่งไปยังผนังไซโคลอนจะตกลงเลียบผนังด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกไปยังที่รองรับ (Hopper) ด้านล่างของไซโคลอน ในทางปฏิบัติ แก๊สที่วิ่งเข้าตัวไซโคลอนจะกระจายตลอดเต็มพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าไซโคลอน เพราะฉะนั้นรัศมีที่ไหลวน ความเร็วในแนวเส้นสัมผัส และระยะห่างจากผนังไซโคลอนของอนุภาคที่เข้ามาจะมีค่าต่าง ๆ กัน ด้วยเหตุนี้ไซโคลอนจึงเป็นเครื่องคัดขนาด (Classifier) ของอนุภาคในช่วงขนาดของอนุภาค  $5 - 25 \mu\text{m}$

เมื่อกำหนดให้ความเร็วของอนุภาคในแนวรัศมีมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นความเร็วของแก๊สสัมพัทธ์กับอนุภาคในแนวรัศมี;  $\overline{u_r}$  จะมีค่าเท่ากับความเร็วเฉลี่ยของแก๊สในแนวรัศมี ดังสมการ

$$\overline{u_r} = \frac{Q}{2\pi r_{\max}(H - S)} \quad (3.6)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}\overline{u_r} &= \text{ความเร็วของแก๊สสัมพัทธ์กับอนุภาคในแนวรัศมี; m/s} \\ Q &= \text{อัตราการไหลของแก๊สเชิงปริมาตร; } m^3 / s \\ H &= \text{ความยาวทั้งหมดของไซโคลอน; m} \\ S &= \text{ความยาวของท่อทางออกของแก๊ส; m}\end{aligned}$$

นำสมการที่ (3.6) แทนลงในสมการที่ (3.5) ไปจะได้

$$F = \frac{3d_p \mu Q}{2r_{\max}(H - S)} \quad (3.7)$$

พิจารณาความเร็วสูงสุดของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังไซโคลอนมีค่าสูงสุด;  $(V_{T \max})$  ที่รัศมีการหมุนวนของอนุภาคที่ยาวที่สุดของอนุภาค;  $(r_{\max})$  ดังนั้นขนาดของอนุภาคก็จะต้องพิจารณาที่ขนาดตัด (Cut size) ของอนุภาคด้วยจากสมการ (3.2) และ (3.7) พิจารณาตามหลักสมมูลของแรงกล่าวคือ Centrifugal force;  $(G) = (F)$  จะได้

$$mvT_{\max}^2 = \frac{3d_{50}\mu Q}{2(H-S)} \quad (3.8)$$

เมื่อ  $d_{50}$  = ขนาดตัดหรือขนาดอนุภาคที่ใช้ไซโคลนมีประสิทธิภาพในการเก็บ 50 %; m ตามมาตรฐานออกแบบของ Stairmand กำหนดให้ความยาวของรัศมีในการหมุนวนของอนุภาคมากที่สุด; ( $r_{\max}$ ) มีค่าเท่ากับ  $D_e/4$ ; ความเร็วของแก๊สบริเวณทางเข้าไซโคลน; ( $V_i$ ) มีค่าเท่ากับ ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังไซโคลน; ( $V_{Tp}$ ) และ vortex exponent ( $\gamma$ ) มีค่าเท่ากับ 0.5 ดังสมการ

$$r_{\max} = \frac{D_e}{4} \quad (3.9)$$

เมื่อ

$$D_e = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อตรงทางออกของแก๊ส; m}$$

ดังนั้นเมื่อนำสมการที่ (3.9) แทนค่าลงในสมการ (3.1) จะได้

$$(V_{T_{\max}})^2 \left(\frac{D_e}{4}\right) = V_i^2 \left(\frac{D}{2}\right) \quad (3.10)$$

เมื่อ

$$V_i = \text{ความเร็วของแก๊สบริเวณทางเข้าไซโคลน; m/s}$$

$$D = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของไซโคลน; m}$$

เมื่อกำหนดให้อนุภาคในแก๊สเป็นทรงกลม ดังนั้นจากสมการจะได้ที่ (3.8) และ (3.10) จะได้

$$d_{50} = \frac{3}{V_i \phi} \sqrt{\frac{\mu D_e Q}{2\pi D \rho_p (H-S)}} \quad (3.11)$$

โดยที่

$$\phi = \text{friction loss factor: ไม่มีหน่วย}$$

$$\phi = \frac{\sqrt{D_e/2(D-b) + \sqrt{[D_e/2(D-b)]^2 + (4GA/ab)}}}{2GA/ab} \quad (3.12)$$

$$A = \text{พื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมดของแก๊สในไซโคลน; m}^2$$

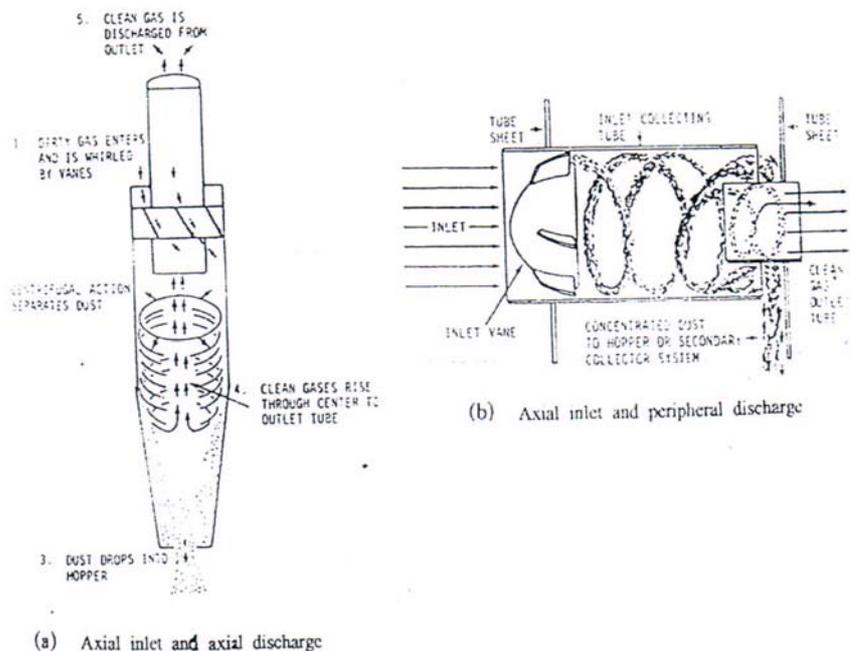
$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - D_e^2) + \pi Dh + \pi D_e S + \frac{\pi}{S}(D+b) \left[ (H-h)^2 + \left( \frac{D-b}{2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.13)$$

เมื่อ

- a = ความสูงที่ทางเข้าของไซโคลน; m  
 b = ความกว้างที่ทางเข้าของไซโคลน; m  
 $\Gamma$  = ค่าคงที่การเสียดทาน = 0.005 (สำหรับแก๊สในไซโคลน)

### 3.5 แบบการไหลเข้าในแนวแกน (Axial type) [1]

ดังรูปแสดง 3.2 ไซโคลนแบบทางเข้าของแก๊สในแนวแกน (Axial type) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ รูป (3.2a) ชนิดที่อนุภาคในแนวแกน และ รูป (3.2b) ชนิดที่อนุภาคออกในแนวเส้นรอบวง (Peripheral discharge) ในปัจจุบันไซโคลนแบบแก๊สไหลเข้าในแนวแกนนี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป เพราะเนื่องจากต้องออกแบบใบพัด (Vane) ให้มีมุมและจำนวนของใบพัดที่เหมาะสมกับงานนั้นทั้งต้องมีการบำรุงรักษาที่ดีและต้องระวังการเกิดการสะสมของอนุภาค ที่บริเวณใบพัด ซึ่งอาจทำให้ไซโคลนนั้นมีประสิทธิภาพการทำงานต่ำลงหรืออาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อไซโคลน



รูปที่ 3.2 แสดงการไหลเข้าในแนวแกน (Axial type)

### 3.6 ความดันสูญเสียในไซโคลน (Pressure loss in Cyclone)

ความดันสูญเสียในไซโคลน อาจเกิดได้จากอิทธิพลต่างๆดังนี้

- (3.6.1) การสูญเสียเนื่องจากการขยายตัวหรือการอัดตัวของแก๊สขณะผ่านไซโคลน
- (3.6.2) การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานที่ผนังของไซโคลน
- (3.6.3) การสูญเสียเนื่องจากพลังงานจลน์ของการหมุน(Kinetic energy of rotation) ในการเกิดกระแสหมุนวน (Vortex)
- (3.6.4) การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อทางออกของแก๊ส
- (3.6.5) การสูญเสียเนื่องจากการลดลงของพื้นที่หน้าตัดขณะที่แก๊สผ่านท่อทางออก
- (3.6.6) การสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนพลังงานการหมุน(Rotation energy) เป็นพลังงานความดัน (Pressure energy) ในท่อทางออก

การสูญเสียความดันของไซโคลน เนื่องจากการเปลี่ยนพลังงานการหมุนเป็นพลังงานความดันในท่อทางออก; ( $\Delta P$ ) จะเป็นการสูญเสียหลักของไซโคลน สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าความดันสูญเสียของไซโคลน สำหรับการออกแบบตามมาตรฐานของไซโคลนด้วยวิธีของ Stairmand มีดังนี้

$$\Delta P = \frac{\rho_g}{2gp_1} \left( V_i^2 \left\{ 1 + 2\phi^2 \left[ \frac{2(D-b)}{D_e} - 1 \right] \right\} + 2V_e^2 \right) \quad (3.14)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} V_e &= \text{ความเร็วของแก๊สในท่อทางออกของไซโคลน; m/s} \\ V_e &= \frac{4Q}{\pi D_e^2} \end{aligned} \quad (3.15)$$

เมื่อ

$\Delta P$	=	ความดันสูญเสียในไซโคลน; m
$\rho_g$	=	ความหนาแน่นของแก๊สที่ผ่านไซโคลน; $kg / m^3$
$\rho_i$	=	ความหนาแน่นของของเหลวที่ใช้ในมานอมิเตอร์รูปตัวU; $kg / m^3$
Q	=	อัตราการไหลของแก๊ส; $m^3 / s$
G	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก; $m / s^2$
$V_i$	=	ความเร็วของแก๊สบริเวณทางเข้าไซโคลน; $m / s$
$D_e$	=	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของท่อตรงทางออกของแก๊ส; m
D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของไซโคลน; m
b	=	ความกว้างที่ทางเข้าของไซโคลน; m

### 3.7 ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน (Efficiency of cyclone)[1]

ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน หมายถึง อัตราส่วนของอนุภาคที่ไซโคลนสามารถดักเก็บไว้ได้ต่ออนุภาคทั้งหมดที่ผ่านเข้ามาในไซโคลน โดยตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน ได้แก่ ความเร็วของแก๊สที่บริเวณทางเข้าไซโคลน, การกระจายขนาดของอนุภาค, อุณหภูมิของแก๊ส เป็นต้น สำหรับสมการที่นิยมใช้ในการทำนายค่าประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคของไซโคลนคือสมการของ Leith and Licht ซึ่งสามารถใช้ได้กับทุกมาตรฐานการออกแบบของไซโคลนโดยสมการจะอยู่ในรูป

$$\eta = 1 - \exp[-2(c\phi)^{1/(2\gamma+2)}] \quad (3.16)$$

โดยที่

$$C = \text{cyclone geometric parameter}$$

$$\frac{\pi D^2}{ab} \left\{ 2 \left[ 1 - \left( \frac{D_e}{D} \right)^2 \right] \left( \frac{s}{D} - \frac{a}{2D} \right) + \frac{1}{3} \left( \frac{s+l-h}{D} \right) \left[ 1 + \frac{d}{D} + \left( \frac{d}{D} \right)^2 \right] + \frac{h}{D} - \left( \frac{D_e}{D} \right)^2 \frac{l}{D} - \frac{s}{D} \right\} \quad (3.17)$$

เมื่อ

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

$$\frac{d}{D} = \frac{D - (D - B)[(s + 1 - h)(H - h)]}{D}$$

$$\gamma = 1 - \left[ 1 - \frac{(39.4D)^{0.14}}{2.5} \right] \left( \frac{T}{283} \right)^{0.3} \quad (3.18)$$

$$\phi = \frac{\rho_p d^2 V_i}{18 \mu d} (\gamma + 1) \quad (3.19)$$

$\phi$  = cyclone inertia parameter

$\gamma$  = cyclone vortex exponent

เมื่อ

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของแก๊สที่ทางเข้าไซโคลน; K

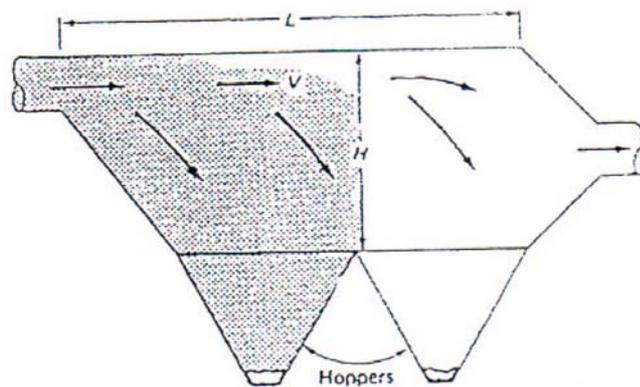
b = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางที่บริเวณทางออกของอนุภาค; m

h = ความยาวทรงกระบอกของไซโคลน; m

$a$	=	ความสูงที่ทางเข้าของไซโคลน; m
$D_c$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อตรงทางออกของแก๊ส; m
$D$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลน; m
$s$	=	ความยาวของท่อทางออกของแก๊ส; m

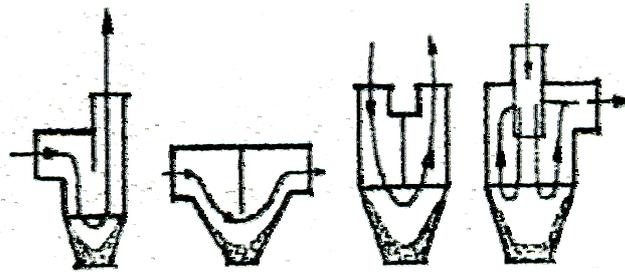
### 3.8 เครื่องเก็บฝุ่นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน[2]

3.8.1 เครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงโน้มถ่วง (Gravitational dust collector) เป็นอุปกรณ์สำหรับแยกและเก็บอนุภาคฝุ่น โดยอาศัยการตกตัวอย่างธรรมชาติของอนุภาคเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ถ้าความเร็วของอากาศซึ่งซ้าก็จะสามารถเก็บอนุภาคที่มีขนาดละเอียดขึ้นได้ โดยทั่วไปความเร็วอากาศที่ใช้จะเป็น 1-2 m/sec. ขนาดของอนุภาคที่จับได้ในทางปฏิบัติจะโตกว่า 10 ไมครอน และมีความดันสูญเสียของเครื่องประมาณ 5-10 mm  $H_2O$  ดังรูปที่ 3.3



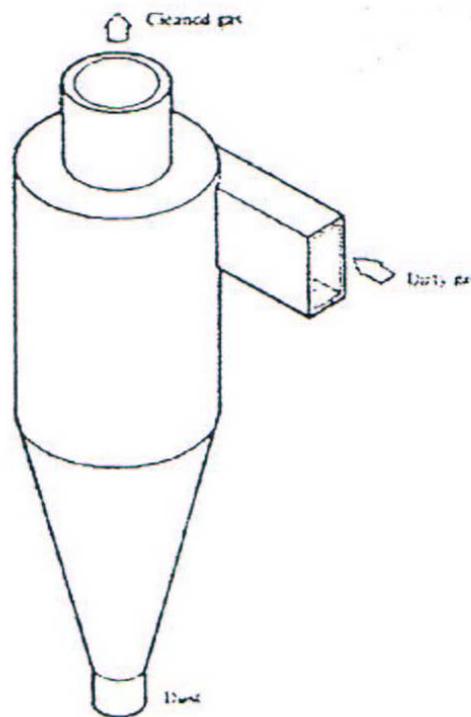
รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงโน้มถ่วง

3.8.2 เครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงเฉื่อย (Inertial dust collector) ในเครื่องนี้จะมีแผ่น (baffle plate) ติดตั้งอยู่ มีหลักการการทำงานคือ เมื่อกระแสก๊าซเกิดการเปลี่ยนทิศทางการไหลอย่างกะทันหัน อนุภาคที่มีความเฉื่อยมาก จะไม่สามารถเปลี่ยนเส้นโคจรตามการไหลของก๊าซได้ทันและตกลงสู่ด้านล่างของเครื่องเก็บฝุ่น ขนาดที่เล็กที่สุดที่จับอนุภาคได้คือ 20-30 ไมครอน และมีความดันสูญเสียสูงสุดประมาณ 100 mm $H_2O$  จึงมักใช้เครื่องชนิดนี้เป็นปฐมภูมิสำหรับกำจัดอนุภาคหยาบออกล่วงหน้า ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงเฉื่อย

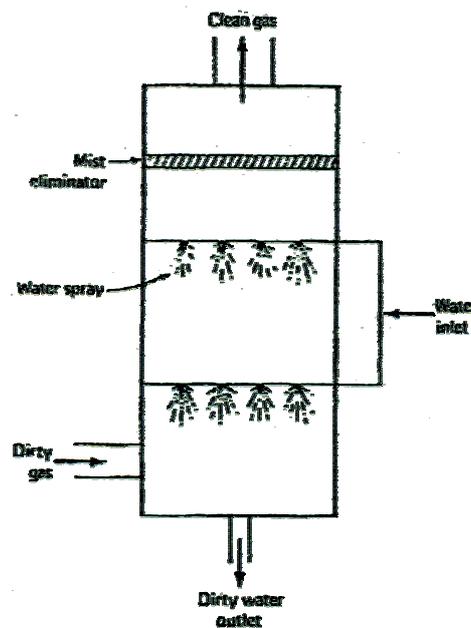
3.8.3 เครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal dust collector) ใช้แรงหนีศูนย์กลางเป็นกลไกหลักในการเก็บอนุภาค โดยอากาศสกปรกจะถูกทำให้เกิดการไหลหมุนวนในเครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงหนีศูนย์กลาง เพื่อแยกอนุภาคออกจากกระแสก๊าซ โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลางที่กระทำต่ออนุภาคที่มีความเฉื่อยและโมเมนตัม เครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงหนีศูนย์กลางแบ่งได้ 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ แบบไซโคลน และแบบหมุน โดยทั่วไปจะนิยมใช้แบบไซโคลน cyclone มีโครงสร้างที่ง่ายและมีราคาถูก สามารถจับอนุภาคได้ดีเมื่อขนาดอนุภาคมีค่ามากขึ้นนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมในฐานะเครื่องเก็บฝุ่นตัวเดียว หรือในฐานะเครื่องเก็บฝุ่นด้านหน้าของถุงกรองหรือเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตย์ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงหนีศูนย์กลาง

3.8.4 เครื่องเก็บฝุ่นแบบสครับแบบเปียก (Liquid scrubbing) เป็นการกำจัดมลสารทั้งในสถานะก๊าซ ไอ และอนุภาคออกจากก๊าซทิ้งโดยอาศัยหยดของเหลว หรือฟิล์มของเหลว การทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การเก็บมลสารด้วยของเหลวที่ใช้สครับ และการแยกของเหลวที่ใช้สครับออกจากกระแสก๊าซ เนื่องจากใช้ของเหลวเป็นตัวกลางในการเก็บมลสาร จึงสามารถใช้บำบัดก๊าซที่มีอุณหภูมิสูงได้

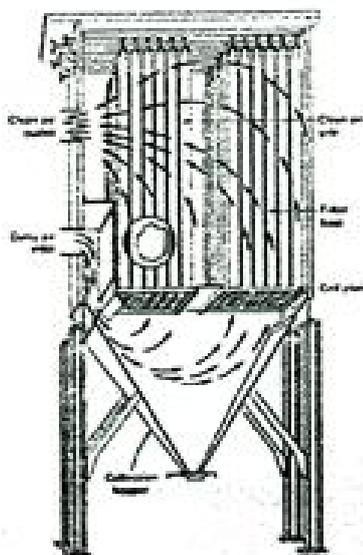
กลไกที่มีบทบาทในการจับอนุภาคในเครื่องสครับเบอร์มีตั้งแต่ การกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Impact by inertia) การสกัดกั้น (Interception) การแพร่ (Diffusion) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ ส่วนกลไกของการถ่ายเทมวลระหว่างก๊าซและของเหลวคือ การแพร่ของมลสารที่มีความเข้มข้นสูงไปยังที่ที่มีความเข้มข้นต่ำมลสารก๊าซที่แพร่ไปถึงหยดหรือฟิล์มของเหลวจะถูกดูดกลืนเชิงเคมีโดยของเหลวอย่างรวดเร็วถ้าเลือกใช้ของเหลวที่เหมาะสมกับมลสารที่ต้องการกำจัด ดังนั้นกลไกของการแพร่จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารก๊าซในเครื่องสครับเบอร์



รูปที่ 3.6 แสดงเครื่องเก็บฝุ่นแบบสครับเบอร์แบบเปียก

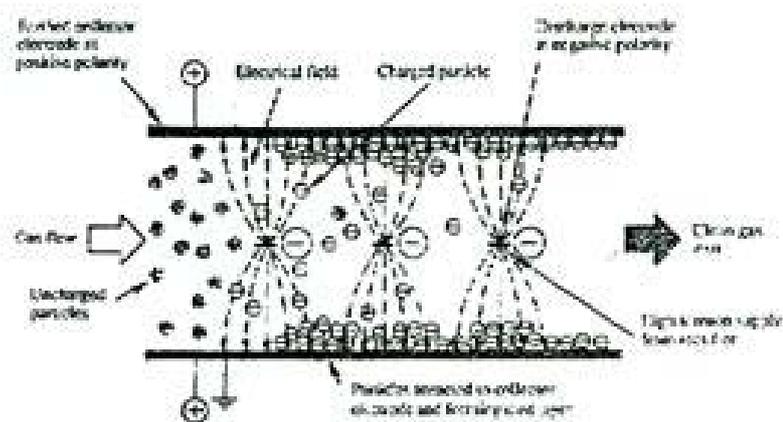
3.8.5 เครื่องเก็บฝุ่นแบบถุงกรอง (Bag filter) การกรองเป็นวิธีการกำจัดอนุภาคออกจากก๊าซที่มีประสิทธิภาพ และคุ้มค่าทางเศรษฐกิจที่สุดวิธีหนึ่ง นอกจากนี้การกรองยังเป็นวิธีหนึ่งในจำนวนเพียงไม่กี่วิธีที่สามารถบรรดุมাত্রฐานปล่อยออกของสารอนุภาคในงานควบคุมมลภาวะทางอากาศในอุตสาหกรรมอีกด้วย เครื่องกรองยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือเครื่องกรองแบบผ้า (Fabric or cloth filter) เครื่องกรองแบบเนื้อลึกหรือชั้น (In - depth or bed filter) ตัวแทนที่พบเห็น

ทั่วไปของเครื่องแบบแรกคือ ถุงกรอง(Bag filter) หรือบ้านถุงกรอง(Bag house) โดยทั่วไปจะใช้บำบัดก๊าซ หรืออากาศสกปรกที่มีความเข้มข้นของฝุ่นในย่าน  $1 \text{ g}/\text{m}^3$  ส่วนตัวแทนของเครื่องกรองแบบที่สอง คือ ชั้นเส้นใย กระดาษกรอง และในบางครั้งใช้ความหนาของก้อนวัสดุ โดยทั่วไปจะใช้กับความเข้มข้นของอนุภาคที่มีค่าน้อยกว่าเป็นหลายร้อยเท่าคือ ในย่านความเข้มข้นอนุภาค  $1 \text{ mg}/\text{m}^3$  ตัวกลางที่ใช้กรองก๊าซจะทำจากเส้นใยสานรวมก้อนหรือเนื้อพรุน ผ้าทอ สักหลาด ชั้นใย่วน และ กระดาษล้วนทำมาจากเส้นใยทั้งสิ้น ชั้นอัดวัสดุแน่นทำจากการอัดเศษ หรือชิ้นเล็กจำนวนมาก เพื่อกรองก๊าซอมฝุ่นที่ไหลผ่าน ชั้นอัดวัสดุจะมีโครงสร้างแข็งแรง ซึ่งภายในมีทางทะลุผ่านจำนวนมากมหาศาล วัสดุกรองมีทั้งที่หาได้จากธรรมชาติและจากที่สังเคราะห์ขึ้น



รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องกรองฝุ่นแบบถุงกรอง

3.8.6 เครื่องเก็บฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic precipitator) โดยเครื่องเก็บฝุ่นประเภทนี้อาศัยการดึงดูดระหว่างซึ่งกันและกันของไฟฟ้าสถิตย์ ระหว่างฝุ่นละอองและขั้วไฟฟ้าที่มีประจุตรงข้ามกันซึ่งเครื่องเก็บฝุ่นประเภทนี้สามารถใช้ได้ดีกับแก๊สที่มีอัตราการไหล  $100 - 4,000,000$  ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที และอุณหภูมิสูงถึง  $650$  องศาเซลเซียส ใช้พลังงานน้อย โดยขนาดอนุภาคที่ดักจับได้ประมาณ  $0.05 - 200$  ไมครอนและมีความดันสูญเสียประมาณ  $2.5 - 15 \text{ mm H}_2\text{O}$  ซึ่งรูปแบบทั่วไปที่ใช้มีอยู่ 2 ลักษณะคือ แบบแรกใช้การวางเส้นลวดไฟฟ้าตามแนวแกนภายในท่อ แบบที่สองติดตั้งเส้นลวดไฟฟ้าตรงกลางระหว่างคู่ขนาน โดยแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้อยู่ระหว่าง  $40 - 50$  กิโลโวลต์และความเร็วของแก๊สประมาณ  $0.3 - 3$  เมตรต่อวินาที

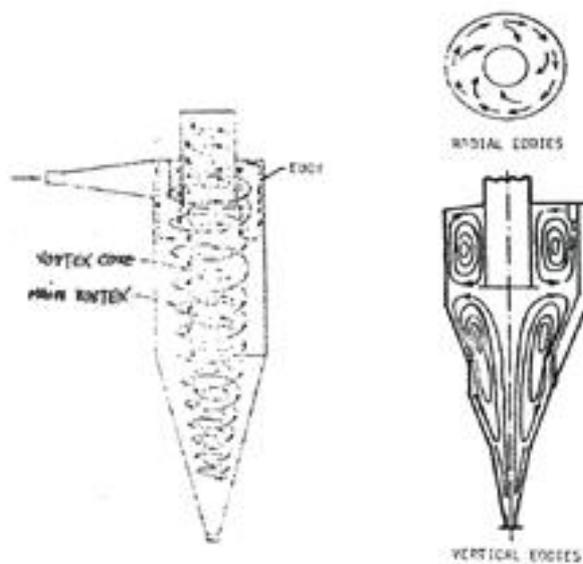


รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องกรองฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์

### 3.9 เครื่องเก็บฝุ่นที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องเก็บฝุ่นที่ใช้ในการทดลองนี้ได้ใช้เครื่องเก็บฝุ่น โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลางแบบไซโคลน ซึ่งหลักการทำงานดังนี้คือ เมื่ออากาศที่มีฝุ่นละอองไหลเข้ามาในตัวไซโคลน จะเกิดแรงหนีศูนย์กลาง การหมุนของอากาศ เพื่อให้ฝุ่นละอองนั้นถูกเหวี่ยงออกมาชนกับผนังของไซโคลน และค่อยเลื้อยลงมาที่เก็บฝุ่นด้านล่าง หลังจากนั้นอากาศที่บำบัดแล้วจะหมุนกลับขึ้นสู่ด้านบนของไซโคลนและระบายออกสู่บรรยากาศภายนอก

ลักษณะการไหลของอากาศในไซโคลน มีทั้งการไหลแบบวอร์เทค (vortex flow) และการไหลแบบเอ็ดดี้ (eddy flow) โดยการไหลแบบวอร์เทค จะมีลักษณะการไหลแบบเกลียว ซึ่งเป็นกลไกที่สำคัญในการเก็บฝุ่น โดยอากาศที่ไหลเข้ามาจะอยู่ที่เกลียวด้านนอก(main vortex) เมื่ออากาศไหลลงไปจนถึงด้านล่างของไซโคลน อากาศก็จะไหลวนกลับขึ้นด้านบนซึ่งจะอยู่ที่เกลียวใน (vortex core) และระบายออกสู่บรรยากาศ ส่วนการไหลแบบเอ็ดดี้จะมี 2 แบบ คือการไหลแบบเอ็ดดี้ในแนวตั้ง และการไหลแบบเอ็ดดี้ในแนวรัศมี (radial eddies) ซึ่งการไหลแบบเอ็ดดี้ จะเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศที่เคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลางของไซโคลน ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่ตรงกันข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค ซึ่งการไหลแบบเอ็ดดี้จะทำให้เกิดผลเสียต่อประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นของไซโคลน



รูปที่ 3.9 แสดงการไหลภายในไซโคลน

