

บทที่ 2

ทฤษฎี

อุปกรณ์ในการทำให้อากาศสะอาด (Air cleaning device) โดยการลดปริมาณของอนุภาคที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายชนิดแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพและความเหมาะสมที่จะใช้งานแตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปแล้วเราจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ประเภทที่ต้องใช้น้ำเป็นตัวกลาง เช่น เครื่องดักเก็บอนุภาคแบบเปียก (Wet scrubber) และประเภทที่ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการดักเก็บอนุภาค ได้แก่ พวกที่อาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เช่น ไซโคลน (Cyclone) หรือพวกที่ใช้ระบบประจุไฟฟ้า เช่น เครื่องเก็บอนุภาคด้วยการใช้ไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic precipitator) เป็นต้น สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาและออกแบบระบบไซโคลนเพื่อลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้

2.1 กลไกของการแยกอนุภาคด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

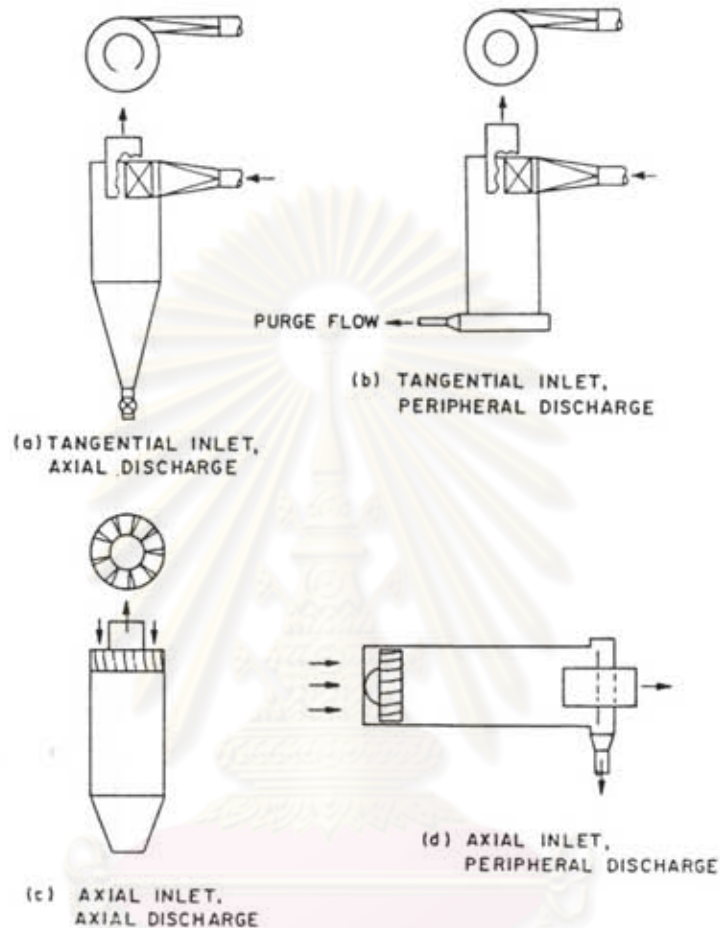
เครื่องแยกอนุภาคด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางหรือไซโคลน มีหลักการโดยอาศัยการหมุนของแก๊สทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อแยกอนุภาคออกจากแก๊สเสีย การหมุนของแก๊สทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ด้วยแรงเฉื่อย (inertia force) เข้าหาผนังของเครื่องแยกแล้วตกลงสู่ที่สำหรับรองรับอนุภาค (hopper) โดยทั่วไปแล้วไซโคลนจะเป็นเครื่องมือที่สำคัญในกระบวนการที่ทำให้อากาศสะอาด การทำให้อากาศสะอาดแบบนี้อากาศจะถูกป้อนเข้าสู่ส่วนบนของเครื่องแยกโดยสามารถไหลเข้าได้ทั้งในแนวเส้นสัมผัส (tangential inlet) หรือไหลเข้าตามแนวแกน (axial inlet) โดยที่ตัวเครื่องแยกจะมีลักษณะเป็นกรวยที่ตั้งเอียงอดแหลมลงที่บริเวณกลางของฝาด้านมีท่อ เรียกว่า ท่อขับ (vortex finder) ติดอยู่ อากาศที่ผ่านเข้าไปช่วงแรกจะเคลื่อนลงไปตามกรวยโดยอนุภาคจะตกลงไปในที่รองรับ (hopper) ด้านล่างแล้วอากาศจึงถูกดูดกลับขึ้นมาตามท่อขับเพื่อปล่อยสู่บรรยากาศ

2.1.1 ลักษณะการไหลของแก๊สในไซโคลน

ส่วนสำคัญสำหรับโครงสร้างของไซโคลน คือ ทางเข้าของแก๊สที่จะทำให้แก๊สเกิดการหมุนวน (vortex), ทางออกของแก๊สในแนวแกน (axial outlet) และที่รองรับอนุภาค (hopper) บริเวณส่วนล่างของไซโคลน ดังรูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการไหลเข้าและออกในแบบต่าง ๆ ของแก๊สในไซโคลน โดยในรูป (a) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลน (tangential inlet), อนุภาคออกในแนวแกน (axial discharge) รูป (b) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลน (tangential inlet), อนุภาคออกในแนวเส้นรอบวง (peripheral discharge) รูป (c) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวแกน (axial inlet), อนุภาคออกในแนวแกน (axial discharge) รูป (d) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวแกน (axial inlet), อนุภาคออกในแนวเส้นรอบวง (peripheral discharge) สำหรับลักษณะการไหลของแก๊สในไซโคลนที่ใช้สำหรับออกแบบระบบในครั้งนี้ เป็นลักษณะการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลน (tangential inlet), อนุภาคออกในแนวแกน (axial discharge) แก๊สที่ไหลเข้าในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลนใกล้ด้านบนของตัวทรงกระบอกจะทำให้เกิดการหมุนวน (vortex) หรือการไหลเวียนแบบเกลียวระหว่างผนังของตัวไซโคลนกับผนังของท่อทางออกของแก๊สในลักษณะที่หมุนวนลงข้างล่าง การหมุนวนของแก๊สที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นการหมุนวนแบบกึ่งอิสระ (semi-free vortex) ซึ่งจะหมุนวนและเคลื่อนลงจนต่ำกว่าผนังของท่อทางออกของแก๊ส แต่เมื่อไปถึงบริเวณหนึ่งใกล้กับด้านล่างของกรวย แก๊สที่หมุนวนนี้จะกลับทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวแกนโดยยังคงไว้ซึ่งการไหลหมุนวน (vortex) นั่นคือ จะเปลี่ยนเป็นการหมุนวนแบบบังคับ (main vortex) ซึ่งเปรียบเสมือนการหมุนตัวของของแข็งในช่วงประมาณครึ่งหนึ่งของรัศมีที่มีบริเวณท่อทางออกของแก๊สกับแกนกลางของทางออก แก๊สที่เกิดการหมุนวนด้านใน (inner vortex) เป็นบริเวณที่มีความดันต่ำและมีชื่อเรียกว่า แกน (core) ดังรูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการเกิดการหมุนวน (vortex) และการไหลวน (eddy flow) ของแก๊สภายในไซโคลนแบบที่มีการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส (tangential inlet), อนุภาคออกในแนวแกน (axial discharge) ความเร็วของแก๊สที่หมุนวนภายในไซโคลนโดยทั่วไปจะเป็นความเร็วในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลน; (v_T) ดังสมการ ⁽¹⁾

$$v_T = v_{Tp} \left(\frac{R}{r} \right)^\gamma \quad (2.1)$$

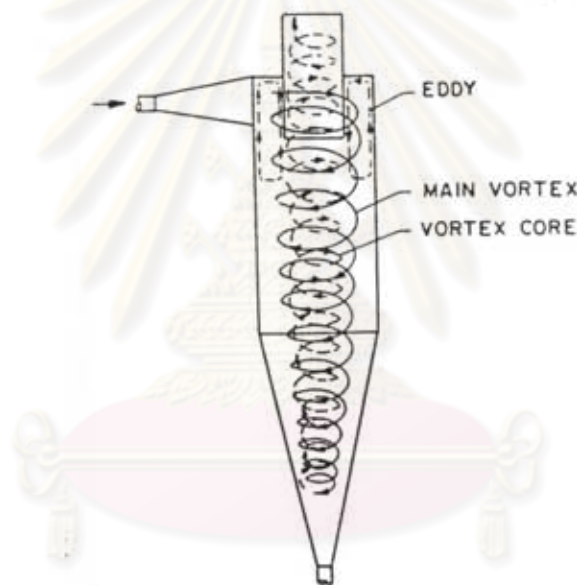
- เมื่อ v_T = ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับอนุภาค ที่รัศมี r ; m/s
 v_{Tp} = ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลน ที่รัศมี R ; m/s
 R = รัศมีของไซโคลน; m
 r = รัศมีการหมุนวนของอนุภาค; m
 γ = vortex exponent; ไม่มีหน่วย



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการไหลเข้าของแก๊สและทางออกของอนุภาคในแบบต่างๆ ของไซโคลน⁽¹⁾

- (a) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส (tangential inlet), อนุภาคออกในแนวแกน (axial discharge)
- (b) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส (tangential inlet), อนุภาคออกจากเส้นรอบวง (peripheral discharge)
- (c) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวแกน (axial inlet), อนุภาคออกในแนวแกน (axial discharge)
- (d) แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวแกน (axial inlet), อนุภาคออกจากเส้นรอบวง (peripheral discharge)

ในกรณีของแก๊สที่มีการหมุนวนแบบอิสระ (free vortex) จะไม่มีการสูญเสียความดัน หรือกรณีที่ของไหลนั้นเป็น ideal gas, γ จะมีค่าเท่ากับ 1 ส่วนในกรณีของแก๊สที่มีการหมุนวนแบบกึ่งอิสระ (semi-free vortex) หรือกรณีที่ของไหลนั้นเป็น real gas, γ จะมีค่าอยู่ในช่วง $0.5 < \gamma < 1$ นอกจากจะเกิดการหมุนวนของแก๊สแล้วยังมีการไหลขึ้นของแก๊สเลียบผนังส่วนบนของทรงกระบอกของไซโคลน แก๊สที่ไหลเลียบผนังขึ้นมาจะพาเอาอนุภาคติดไปด้วย โดยจะไหลตัดเข้าด้านในแล้วไหลลงเลียบผนังด้านนอกของท่อทางออกของแก๊ส การไหลนี้จะเรียกว่า การไหลวน (Eddy flow) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ระหว่างที่แก๊สไหลเลียบลงผ่านขอบล่างของท่อทางออก อนุภาคอาจติดไปกับแก๊สที่ไหลออกจากไซโคลนได้ ถ้าท่อทางออกของแก๊สยังยื่นลึกเข้าไปในทรงกระบอกมากเท่าไรก็จะเกิดการไหลวน (Eddy flow) ที่รุนแรงมากขึ้น ซึ่งจะมีผลกระทบต่อแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของอนุภาคและประสิทธิภาพการเก็บอนุภาคด้วย



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการเกิดการหมุนวน (vortex) และการไหลวน (eddy flow) ของแก๊สภายในไซโคลนแบบที่มีการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส (tangential inlet), อนุภาคออกในแนวแกน (axial discharge) ⁽²⁾

2.1.2 การแยกอนุภาคในแก๊สที่เกิดการหมุนวน

อนุภาคจะถูกแยกออกจากแก๊สด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งขับเคลื่อนอนุภาคผ่านเส้นทางการไหลของกระแสแก๊สไปยังผนังของไซโคลน แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของอนุภาค; (G) แสดงได้ดังสมการ

$$G = \frac{mv_T^2}{r} \quad (2.2)$$

เมื่อ G = แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของอนุภาค ; N
 m = มวลของอนุภาค ; kg

เมื่อกำหนดให้ความเร็วของอนุภาคในแนวเส้นสัมผัสที่รัศมี r มีค่าเท่ากับความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสและให้มวลของอนุภาคเป็นทรงกลม จะได้ว่า

$$m = \rho_p \left(\frac{d_p^3 \pi}{6} \right) \quad (2.3)$$

เมื่อ ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาค ; kg/m³
 d_p = เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค ; m

นำสมการที่ (2.1) และ (2.3) แทนค่าลงในสมการที่ (2.2) ดังนั้นจะได้

$$G = \frac{\left(\frac{\pi}{6} \right) \rho_p d_p^3 v_{Tp}^2 R^{2\gamma}}{r^{(2\gamma+1)}} \quad (2.4)$$

เมื่ออนุภาคถูกทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อใช้แยกอนุภาคนั้นออกจากแก๊สที่เกิดการหมุนวน ขณะเดียวกันอนุภาคก็จะมีแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาคผ่านกระแสแก๊สไปยังผนังของไซโคลนด้วย ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการโดยใช้กฎของสโตกส์ (Stoke's law) ดังนี้

$$F = 3\pi\mu d_p \bar{u}_r \quad (2.5)$$

เมื่อ F = แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาคในแนวรัศมี ; N
 μ = ความหนืดของแก๊ส ; Pa.s
 \bar{u}_r = ความเร็วของแก๊สสัมผัสกับอนุภาคในแนวรัศมี ; m/s

จากสมการที่ (2.4) และ (2.5) จะเห็นได้ว่า แรงที่ใช้แยกอนุภาคจะเพิ่มขึ้นตามเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคยกกำลังสาม แต่แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาคไปยังผนังไซโคลอนจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค ดังนั้นไซโคลอนจะสามารถแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ได้ดี อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ที่วิ่งไปยังผนังไซโคลอนจะตกลงเลียบผนังด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกไปยังที่รองรับ (hopper) ด้านล่างของไซโคลอน ในทางปฏิบัติอนุภาคที่วิ่งเข้าตัวไซโคลอนจะกระจายตลอดเต็มพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าของไซโคลอน เพราะฉะนั้นรัศมีของการหมุนวน ความเร็วในแนวเส้นสัมผัส และระยะห่างจากผนังไซโคลอนของอนุภาคที่เข้ามาจะมีค่าต่าง ๆ กัน ด้วยเหตุนี้ไซโคลอนจึงเป็นเครื่องคัดขนาด (classifier) ของอนุภาค ในช่วงขนาดของอนุภาค 5 - 25 μm

เมื่อกำหนดให้ความเร็วของอนุภาคในแนวรัศมีมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นความเร็วของแก๊สสัมผัสกับอนุภาคในแนวรัศมี ; (\bar{u}_r) จะมีค่าเท่ากับความเร็วเฉลี่ยของแก๊สในแนวรัศมี ดังสมการ

$$\bar{u}_r = \frac{Q}{2\pi r_{\max} (H - S)} \quad (2.6)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลของแก๊สเชิงปริมาตร ; m^3/s
 H = ความยาวทั้งหมดของไซโคลอน ; m
 S = ความยาวของท่อทางออกของแก๊ส ; m

นำสมการที่ (2.6) แทนลงในสมการที่ (2.5) จะได้

$$F = \frac{3d_p \mu Q}{2r_{\max} (H - S)} \quad (2.7)$$

พิจารณาความเร็วสูงสุดของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังไซโคลอนมีค่าสูงสุด ; $(v_{T\max})$ ที่รัศมีการหมุนวนของอนุภาคที่ยาวที่สุดของอนุภาค ; (r_{\max}) ดังนั้นขนาดของอนุภาคก็ต้องพิจารณาที่ขนาดตัด (cut size) ของอนุภาคด้วย จากสมการที่ (2.2) และ (2.7) พิจารณาตามหลักการสมดุลของแรงกล่าวคือ Centrifugal force ; $(G) = \text{Drag force ; } (F)$ จะได้

$$mv_{Tmax}^2 = \frac{3d_{50}\mu Q}{2(H-s)} \quad (2.8)$$

เมื่อ d_{50} = ขนาดตัดหรือขนาดของอนุภาคที่ไซโคลนมีประสิทธิภาพในการเก็บ 50% ; m.

ตามมาตรฐานการออกแบบของ Stairmand⁽¹⁾ กำหนดให้ ความยาวของรัศมีในการหมุนวนของอนุภาคมากที่สุด; (r_{max}) มีค่าเท่ากับ $D_e/4$; ความเร็วของแก๊สบริเวณทางเข้าไซโคลน; (v_i) มีค่าเท่ากับความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังไซโคลน; (v_{Tp}) และ vortex exponent (γ) มีค่าเท่ากับ 0.5 ดังสมการ

$$r_{max} = \left(\frac{D_e}{4}\right) \quad (2.9)$$

เมื่อ D_e = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อตรงทางออกของแก๊ส ; m

ดังนั้นเมื่อนำสมการที่ (2.9) แทนค่าลงในสมการที่ (2.1) จะได้

$$\left(v_{Tmax}\right)^2 \left(\frac{D_e}{4}\right) = v_i^2 \left(\frac{D}{2}\right) \quad (2.10)$$

เมื่อ v_i = ความเร็วของแก๊สบริเวณทางเข้าไซโคลน ; m/s

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของไซโคลน ; m

เมื่อกำหนดให้อนุภาคในแก๊สเป็นทรงกลม ดังนั้นจากสมการที่ (2.8) และ (2.10) จะได้

$$d_{50} = \frac{3}{v_i \phi} \sqrt{\frac{\mu D_e Q}{2\pi D \rho_p (H-s)}} \quad (2.11)$$

โดยที่ ϕ = friction loss factor ; ไม่มีหน่วย

$$= \frac{-\sqrt{D_o/2(D-b)} + \sqrt{[D_o/2(D-b)] + (4\Gamma A/ab)}}{2\Gamma A/ab} \quad (2.12)$$

A = พื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมดของแก๊สในไซโคลน ; m^2

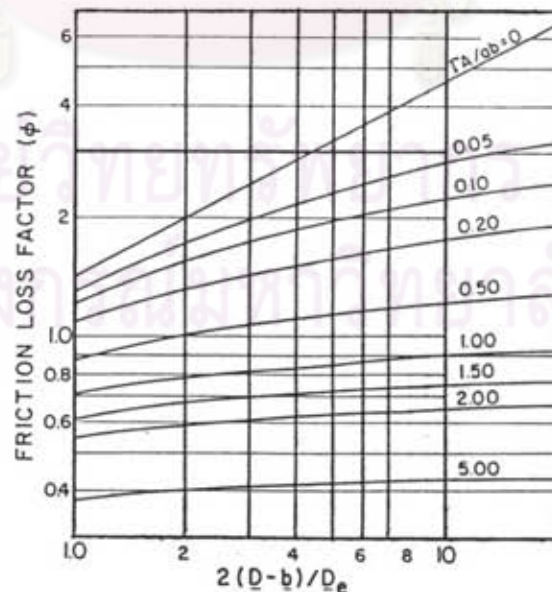
$$= \frac{\pi}{4}(D^2 - D_o^2) + \pi Dh + \pi D_o S + \frac{\pi}{2}(D+B) \left[(H-h)^2 + \left(\frac{D-B}{2}\right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.13)$$

เมื่อ a = ความสูงที่ทางเข้าของไซโคลน ; m

b = ความกว้างที่ทางเข้าของไซโคลน ; m

Γ = ค่าคงที่การเสียดทาน = 0.005 (สำหรับแก๊สในไซโคลน) ; ไม่มีหน่วย

หรืออาจพิจารณาค่า friction loss factor จากรูปที่ 2.3 ก็ได้

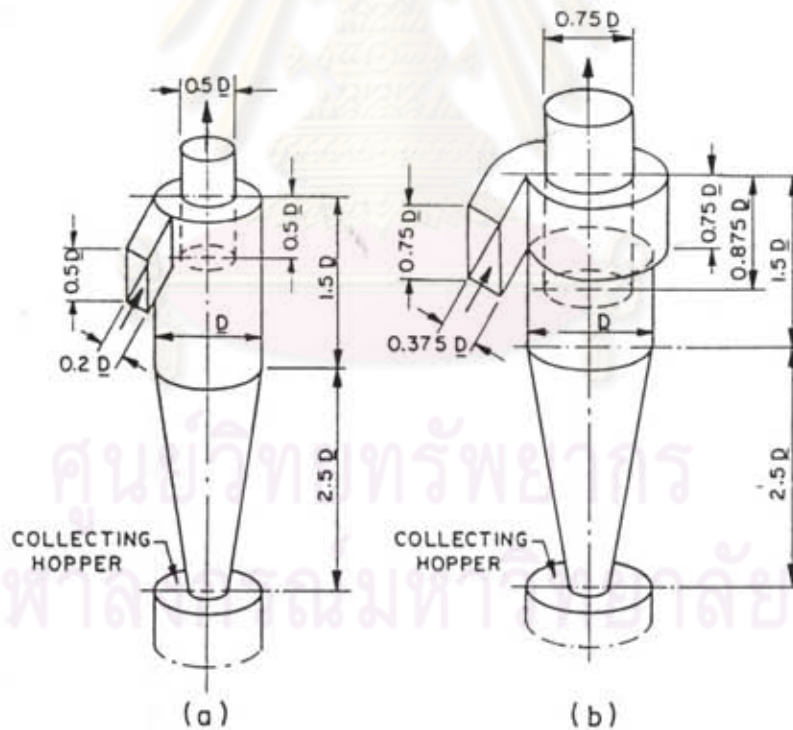


รูปที่ 2.3 กราฟแสดงค่า friction loss factor, (ϕ) ของไซโคลนขนาดต่างๆ ⁽¹⁾

2.2 ลักษณะการไหลของแก๊ส

2.2.1 แบบไหลเข้าในแนวเส้นสัมผัสกับผนังไซโคลน (Tangential inlet type)

ตั้งรูปที่ 2.4 แสดงสัดส่วนมาตรฐานการออกแบบของไซโคลนแบบทางเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังไซโคลน (Tangential inlet type) โดยแสดงเป็นจำนวนเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของไซโคลน ซึ่ง Stairmand ได้แบ่งไซโคลนแบบนี้ออกเป็น 2 ชนิด คือ (a) ชนิด High efficiency, medium throughput และ (b) ชนิด Medium efficiency, high throughput ทั้งนี้ความเร็วของแก๊สที่บริเวณทางเข้าจะมีค่าอยู่ช่วงหนึ่งที่เหมาะสม โดยที่ความเร็วของแก๊สขาเข้านี้จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลนด้วย ซึ่งถ้าใช้ความเร็วของแก๊สขาเข้าไซโคลนสูงกว่ามาตรฐานการออกแบบมากเกินไปก็จะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลนหรืออาจทำให้เกิดความเสียหายต่อไซโคลนได้

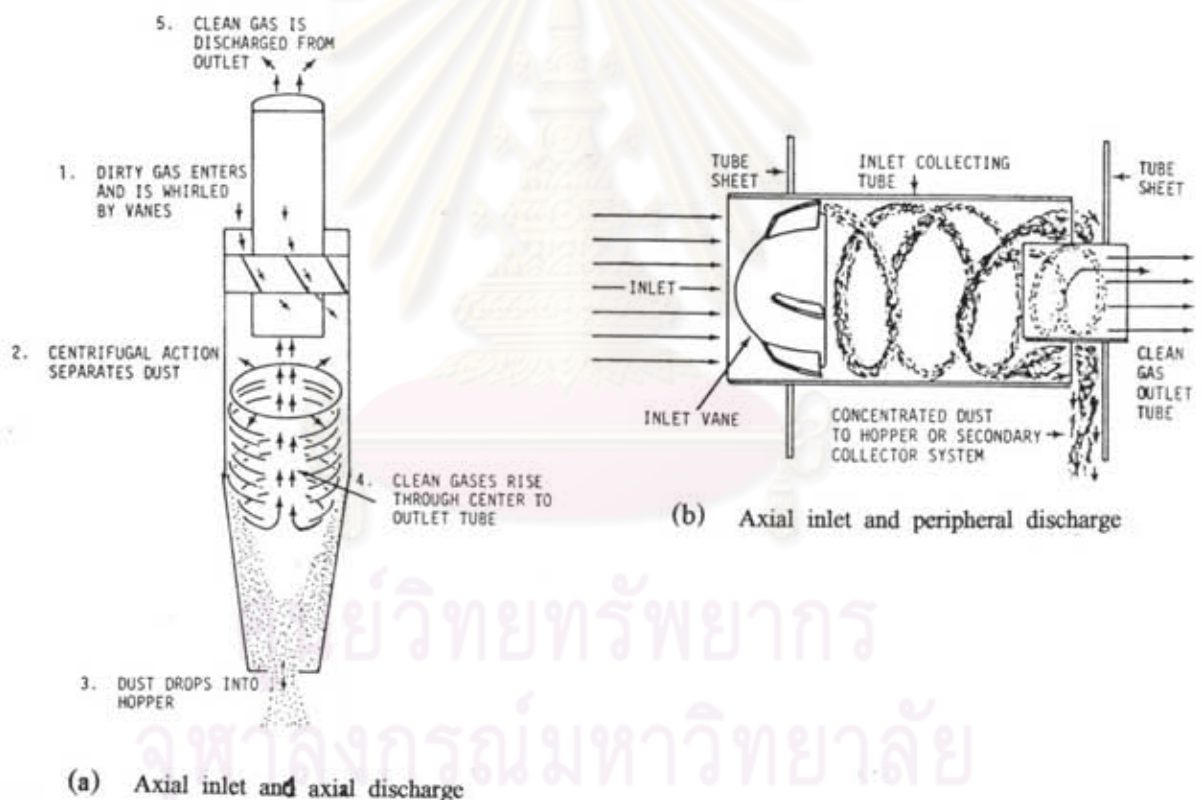


รูปที่ 2.4 แสดงสัดส่วนมาตรฐานการออกแบบของไซโคลนแบบทางเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส (Tangential inlet) ⁽³⁾

- (a) High efficiency, medium throughput
- (b) Medium efficiency, high throughput

2.2.2 แบบไหลเข้าในแนวแกน (Axial inlet type)

ดังรูปที่ 2.5 แสดงถึงไซโคลนแบบทางเข้าของแก๊สในแนวแกน (Axial inlet type) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ (a) ชนิดที่อนุภาคออกในแนวแกน (Axial discharge) และ (b) ชนิดที่อนุภาคออกในแนวเส้นรอบวง (Peripheral discharge) ในปัจจุบันไซโคลนแบบแก๊สไหลเข้าในแนวแกนนี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป เพราะเนื่องจากจะต้องมีการออกแบบใบพัด (Vane) ให้มีมุมและจำนวนของใบพัดที่เหมาะสมกับงานนั้นรวมทั้งต้องมีการบำรุงรักษาที่ดีและต้องระวังการเกิดการสะสมของอนุภาคที่บริเวณใบพัด ซึ่งอาจทำให้ไซโคลนนั้นมีประสิทธิภาพการทำงานต่ำลงหรืออาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อไซโคลนได้



รูปที่ 2.5 แสดงไซโคลนแบบทางเข้าของแก๊สในแนวแกน (Axial inlet) ⁽²⁾

(a) ชนิดที่อนุภาคออกในแนวแกน (Axial discharge)

(b) ชนิดที่อนุภาคออกในแนวเส้นรอบวง (Peripheral discharge)

2.3 ความดันสูญเสียในไซโคลน (Pressure loss in Cyclone)

ความดันสูญเสียในไซโคลน อาจเกิดได้จากอิทธิพลต่าง ๆ ดังนี้

1. การสูญเสียเนื่องจากการขยายตัวหรือการอัดตัวของแก๊สขณะผ่านเข้าสู่ไซโคลน
2. การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานที่ผนังของไซโคลน
3. การสูญเสียเนื่องจากพลังงานจลน์ของการหมุน (kinetic energy of rotation) ในการเกิดกระแสมวน (vortex)
4. การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในช่องทางออกของแก๊ส
5. การสูญเสียเนื่องจากการลดลงของพื้นที่หน้าตัดขณะที่แก๊สผ่านช่องทางออก
6. การสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนพลังงานการหมุน (rotation energy) เป็นพลังงานความดัน (pressure energy) ในช่องทางออก

การสูญเสียความดันของไซโคลนเนื่องจากการเปลี่ยนพลังงานการหมุนเป็นพลังงานความดันในช่องทางออก; (ΔP) จะเป็นการสูญเสียหลักของไซโคลน สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าความดันสูญเสียของไซโคลนสำหรับการออกแบบตามมาตรฐานของไซโคลนด้วยวิธีของ Stairmand มีดังนี้ ⁽¹⁾

$$\Delta P = \frac{P_g}{2g\rho_1} \left(v_i^2 \left\{ 1 + 2\phi^2 \left[\frac{2(D-b)}{D_o} - 1 \right] \right\} + 2v_o^2 \right) \quad (2.14)$$

โดยที่ $v_o =$ ความเร็วของแก๊สในช่องทางออกของไซโคลน ; m/s

$$= \frac{4Q}{\pi D_o^2} \quad (2.15)$$

เมื่อ $\Delta P =$ ความดันสูญเสียในไซโคลน ; m

$\rho_g =$ ความหนาแน่นของแก๊สที่ผ่านไซโคลน ; kg/m³

$\rho_1 =$ ความหนาแน่นของของเหลวที่ใช้ในมานอมิเตอร์รูปตัว U ; kg/m³

$Q =$ อัตราการไหลของแก๊ส ; m³/s

$g =$ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ; m/s²

จากสมการที่ (2.14) จะประกอบไปด้วย ความดันสูญเสียที่บริเวณทางเข้าของไซโคลน, ความดันสูญเสียภายในไซโคลน และความดันสูญเสียที่บริเวณทางออกของไซโคลน สำหรับค่า friction loss factor; (ϕ) สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (2.12) หรือสามารถอ่านค่าได้จากรูปที่ 2.3

2.4 ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน (Efficiency of Cyclone)

ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน หมายถึง อัตราส่วนของอนุภาคที่ไซโคลนสามารถดักเก็บไว้ได้ต่ออนุภาคทั้งหมดที่ผ่านเข้ามาในไซโคลน โดยตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน ได้แก่ ความเร็วของแก๊สที่บริเวณทางเข้าของไซโคลน, การกระจายขนาดของอนุภาค, อุณหภูมิของแก๊ส เป็นต้น สำหรับสมการที่นิยมใช้ในการทำนายค่าประสิทธิภาพการดักเก็บอนุภาคของไซโคลน คือ สมการของ Leith and Licht ซึ่งสามารถใช้ได้กับทุกมาตรฐานการออกแบบของไซโคลน โดยสมการจะอยู่ในรูป ⁽¹⁾

$$\eta = 1 - \exp\left[-2(C\psi)^{1/(2\gamma+2)}\right] \quad (2.16)$$

โดยที่ $C =$ cyclone geometric parameter

$$= \frac{\pi D^2}{ab} \left\{ \begin{aligned} &2 \left[1 - \left(\frac{D_e}{D} \right)^2 \right] \left[\left(\frac{s}{D} - \frac{a}{2D} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{s+l-h}{D} \right) \left[1 + \frac{d}{D} + \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right] \right] \\ &+ \frac{h}{D} - \left(\frac{D_e}{D} \right)^2 \frac{l}{D} - \frac{s}{D} \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$

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

$$\frac{d}{D} = \frac{D - (D-B) \left[(s+l-h)/(H-h) \right]}{D}$$

γ = cyclone vortex exponent

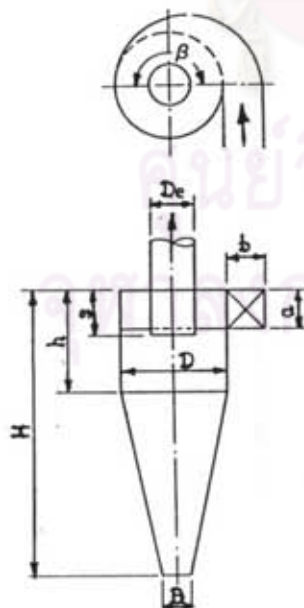
$$= 1 - \left[1 - \frac{(39.4D)^{0.14}}{2.5} \right] \left(\frac{T}{283} \right)^{0.3} \quad (2.18)$$

ψ = cyclone inertia parameter

$$= \frac{\rho_p d_p^2 v_i}{18\mu D} (\gamma + 1) \quad (2.19)$$

- เมื่อ T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของแก๊สที่ทางเข้าไซโคลน ; K
 B = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางที่บริเวณทางออกของอนุภาค ; m
 h = ความยาวทรงกระบอกของไซโคลน ; m

ตารางที่ 2.1 แสดงสัดส่วนมาตรฐานการออกแบบไซโคลนค่าต่าง ๆ เป็นจำนวนเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของไซโคลน



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_c	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