บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

มีกระบวนการทางอุตสาหกรรมจำนวนมากที่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศแก่สิ่งแวดล้อม มลภาวะที่กล่าวนี้เกิดจากการที่สารปนเปื้อนจากกระบวนการทางอุตสาหกรรมเข้าไปปะปนในอากาศ หากสารปนเปื้อนเหล่านี้มีปริมาณหรือความเข้มข้นมากเกินระดับที่ยอมรับได้ ก็อาจส่งผลต่อสภาวะแวดล้อมในการทำงานและถ้าสารปนเปื้อนเหล่านี้ติดไปกับผลิตภัณฑ์ก็อาจส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์

ดังนั้นจึงต้องทำการลดความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในอากาศให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยเสียก่อน ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายก็คือ การระบายอากาศ (Ventilation) นั่นเอง

โดยทั่วไประบบระบายอากาศที่ใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็นสองชนิด กล่าวคือ ระบบจ่ายอากาศ (Supply System) และระบบดูดอากาศออก (Exhaust System)

2.1 หลักการทั่วไปของระบบระบายอากาศ

2.1.1 อัตราการไหลของอากาศ

การวัดอัตราการไหลในระบบระบายอากาศมักนิยมวัดในลักษณะของการไหลเชิงปริมาตร (Volume flow rate) โดยสามารถหาได้จาก

$$Q = VA\sqrt{2gh} \qquad (2.1)$$

เมื่อ Q = ปริมาณการไหลของอากาศ
A = พื้นที่หน้าตัดของช่องทางการไหล
V = ความเร็วในการไหลของอากาศ

เมื่ออากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วจะทำให้มีความดันเกิดขึ้นซึ่งจะเรียกว่า ความดันเนื่องจากความเร็ว(Velocity Pressure, VP) จากลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลของอากาศและความดันเนื่องจากความเร็วสามารถอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปสมการได้ดังนี้

$$V = \frac{(4005\sqrt{VP})}{60} \qquad (2.2)$$

เมื่อ V = ความเร็วในการไหลของอากาศ

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

h = เฮดของอากาศ

โดยที่ g = 32.2 ft/s^2 และความหนาแน่นของอากาศเท่ากับ 0.075 lb/ft^3 จะได้สมการดังนี้

$$V = 4005\sqrt{VP} \qquad (2.3)$$

เมื่อ V = ความเร็วในการไหลของอากาศ

VP = ความดันเนื่องจากความเร็ว

2.2 ระบบจ่ายอากาศ (Supply System)

ระบบจ่ายอากาศจะถูกนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์สองประการ คือ ประการแรกเพื่อทำให้เกิดความสบายของคนงานที่ทำงานอยู่ในโรงงาน ประการที่สองก็เพื่อจ่ายอากาศเข้ามาแทนที่อากาศที่ถูกระบายออกไป ระบบนี้มักนำมาใช้ในการควบคุมอุณหภูมิในอาคารสำนักงานต่าง ๆ คุณลักษณะที่สำคัญของระบบระบายอากาศชนิดนี้ คือ ต้องใช้อากาศในปริมาณมาก หรืออัตราการไหลมาก

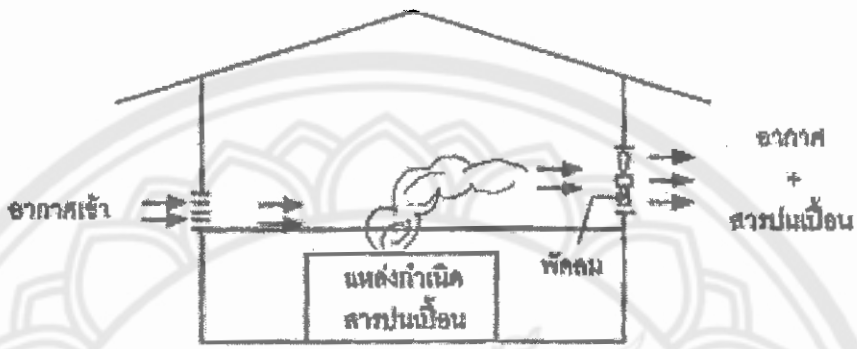
2.3 ระบบดูดอากาศออก (Exhaust System)

ระบบดูดอากาศออกจะเป็นระบบที่นิยมใช้เพื่อการลดความเข้มข้นหรือกำจัดสารปนเปื้อนไม่ให้เข้าไปปะปนกับอากาศในบริเวณทำงานหรือสิ่งแวดล้อม โดยระบบดังกล่าวนี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีกสองชนิด กล่าวคือ ระบบระบายอากาศแบบเจือจาง (Dilution Exhaust Ventilation System) และระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust Ventilation ystem, LEV)

2.3.1 ระบบระบายอากาศแบบเจือจาง

ระบบระบายอากาศลักษณะนี้สามารถใช้ได้ทั้งเพื่อการควบคุมอุณหภูมิหรือความชื้นของอากาศ และควบคุมความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในอากาศภายในบริเวณทำงาน ในกรณีที่ใช้เพื่อควบคุมหรือกำจัดสารปนเปื้อน อากาศจากภายนอกหรืออากาศเติม (Makeup Air) ในปริมาณที่มากพอจะถูกนำมาผสมกับสารปนเปื้อน เพื่อลดความเข้มข้นให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย จากนั้นอากาศที่มีสารปนเปื้อนในปริมาณเจือจางจะไหลออกสู่บรรยากาศโดยอาศัยพัดลมหรือแรงลอยตัวของอากาศ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ระบบระบายอากาศแบบนี้มักทำงานร่วมกับระบบจ่ายอากาศ ทั้งนี้ก็เพื่อนำอากาศมาทดแทนส่วนที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศทดแทนส่วนที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศ ลักษณะของระบบ

ระบายอากาศแบบเจือจางแสดงดังรูปที่ 2.1 โดยปกติแล้วเราสามารถเรียกระบบระบายอากาศแบบเจือจางที่ถูกนำมาใช้เพื่อการควบคุมอุณหภูมิได้อีกชื่อหนึ่งว่า ระบบระบายอากาศทั่วไป (General Ventilation System)



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างของระบบระบายอากาศแบบเจือจาง
ที่มา : ฉัตรชัยและชวลิต, 2546

สำหรับการพิจารณาว่าจะใช้ระบบระบายอากาศแบบเจือจางเมื่อใดนั้น ให้ถือหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

(1) สารปนเปื้อนที่ถูกปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดสู่บริเวณทำงานต้องมีปริมาณสม่ำเสมอ

(2) มีระยะห่างมากพอระหว่างคนงานกับแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อน ทั้งนี้เพื่อให้การเจือจางอยู่ในระดับที่ปลอดภัย

(3) สารปนเปื้อนต้องไม่มีลักษณะเป็นพิษหรือติดไฟได้ง่าย

(4) ไม่มีความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์แยกสารปนเปื้อนออกจากอากาศ (Air cleaning device) ก่อนที่จะปล่อยสู่บรรยากาศ

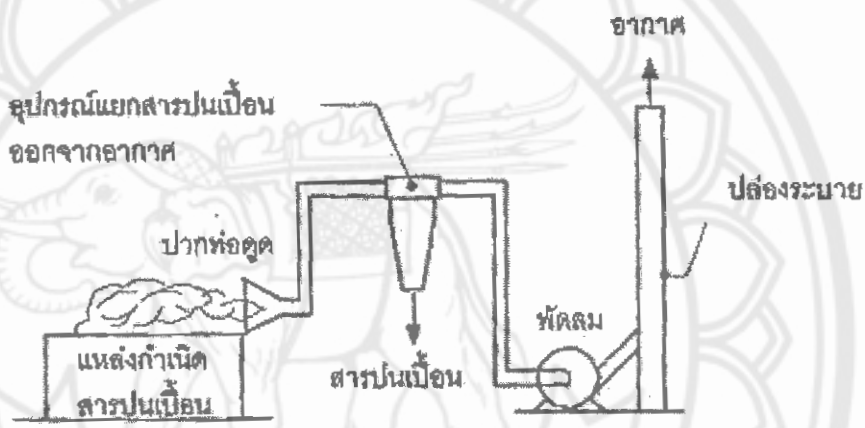
(5) สารปนเปื้อนต้องไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการกัดกร่อนภายในบริเวณทำงาน

2.3.2 ระบบระบายอากาศเฉพาะที่

ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust System) ใช้ในการควบคุมมลพิษในอากาศโดยการจับสารมลพิษที่แหล่งกำเนิด เมื่อเปรียบเทียบกับการระบายอากาศแบบทำให้เจือจาง(Dilution Ventilation) การระบายอากาศแบบทำให้สารพิษเจือจาง จะทำให้สารมลพิษกระจายไปทั่วสถานที่ทำงาน ระบบระบายอากาศเฉพาะที่จะนำสารมลพิษออกจากสถานที่ทำงานโดยใช้ปริมาตรอากาศน้อยกว่าการระบายอากาศแบบทำให้เจือจาง ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานด้วยเนื่องจากโดยทั่วไปแล้วปริมาณสารมล

พิษที่ดักจับได้มีปริมาณมาก ทำให้ต้องมีการกำจัดสารมลพิษออกจากอากาศก่อนที่จะปล่อยอากาศออกจากระบบไป ลักษณะของระบบระบายอากาศเฉพาะที่แสดงดังรูปที่ 2.2

ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ จะทำให้บรรยากาศการทำงานสะอาดและมีสภาวะการทำงานที่ดีขึ้น ก่อนที่จะมีการนำระบบระบายอากาศเฉพาะที่มาติดตั้งเพื่อใช้งานควรจะมีการศึกษามาตรการควบคุมวิธีอื่นๆก่อน เช่นการใช้สารที่มีพิษน้อยกว่าแทนสารที่มีพิษมาก การเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต หรือการแยกกระบวนการผลิตที่อันตรายออกจากบริเวณที่มีคนงานอยู่วิธีเหล่านี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าดังนั้นจึงควรศึกษาก่อนที่จะติดตั้งระบบปรับอากาศเฉพาะที่



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างของระบบระบายอากาศเฉพาะที่
ที่มา : ฉัตรชัยและชวลิต, 2546

โดยการเลือกใช้ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (Local exhaust system) จะนำมาใช้ในการควบคุมสารมลพิษเมื่อ

(1) ไม่มีวิธีการควบคุมอื่นที่มีประสิทธิภาพและได้ผลมากกว่า

(2) มีข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างอากาศ หรือคนงานว่ามีมลพิษในอากาศที่เป็นอันตรายสุขภาพหรืออาจก่อให้เกิดการติดไฟ ทำให้ผลผลิตเสียไป หรือทำให้เกิดปัญหาต่อคนงาน

(3) มีข้อมูลว่าถ้าติดตั้งระบบแล้วจะทำให้ผลผลิตสูงขึ้น สถานที่ทำงานสะอาด คนงานมีสุขภาพอนามัยที่ดีขึ้นและเป็นการปรับปรุงสภาพการทำงาน

(4) มีสารมลพิษออกมาจากแหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ในปริมาณมากและสารมลพิษกระจายไปได้ไกล

(5) แหล่งกำเนิดสารมลพิษอยู่ใกล้กับที่บริเวณคนงานหายใจ

ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust System) ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆดังต่อไปนี้

(1) ปากท่อดูด หรือฮูดรับอากาศ (Hood) ใช้ในการรวบรวมสารมลพิษทางเข้าสู่ระบบระบายอากาศ

(2) ท่อนำอากาศ (Dusts) ใช้ทำหน้าที่นำอากาศ และส่งต่ออากาศที่รวบรวมโดยท่อดูดอากาศผ่านต่อไปเพื่อเข้าสู่ระบบขจัดสารมลพิษหรือปล่อยออกสู่ภายนอก

(3) อุปกรณ์แยกสารปนเปื้อนออกจากอากาศ (Air-cleaning devices) ทำหน้าที่ขจัดมลพิษทางอากาศโดยการแยกหรือกรองสารมลพิษออกจากอากาศให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนปล่อยอากาศออกสู่บรรยากาศ

(4) พัดลมดูดอากาศ (Fan) ทำหน้าที่ในการดูดอากาศ ทำให้เกิดการไหลของอากาศผ่านเข้าไปในระบบบรรยากาศ

(5) ปล่องระบายอากาศ (Stack) ทางออกของอากาศที่ผ่านการขจัดมลพิษแล้วปล่องระบายอากาศเป็นส่วนสุดท้ายของระบบระบายอากาศ

2.4 ปากท่อดูด (Hood)

ปากท่อดูด เป็นส่วนที่ดูดอากาศที่มีสารมลพิษปนเปื้อนอยู่เข้ามาสู่ระบบระบายอากาศท่อดูดอากาศที่ใช้อาจมีรูปร่างต่างๆกัน ซึ่งท่อดูดอากาศเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญเพราะเป็นส่วนแรกที่สารมลพิษจะต้องถูกดูดเข้ามาในปากท่อดูดอากาศ การสร้างปากท่อดูดไม่ว่าจะลงทุนสร้างท่อนำอากาศให้ดีหรือจะใช้พัดลมดูดอากาศใหญ่ขนาดไหน ถ้าสารมลพิษไม่ถูกดูดเข้าไปในท่อดูดอากาศ ระบบระบายอากาศก็จะไม่มีประโยชน์เลย ดังนั้นปากท่อดูดอากาศจึงเป็นส่วนที่สำคัญมาก

2.4.1 ชนิดของปากท่อดูดอากาศ

ปากท่อดูดอากาศที่ใช้กันอยู่ในอุตสาหกรรมจะมีลักษณะรูปร่างอยู่หลายรูปแบบ แต่โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็นสองชนิดใหญ่ๆ กล่าวคือ ท่อดูดอากาศปิดล้อม (Enclosing Hood) และท่อดูดอากาศภายนอก (External Hood) โดยท่อดูดอากาศทั้งสองชนิดจะทำงานด้วยหลักการที่แตกต่างกัน รวมถึงมีความเหมาะสมต่อการใช้งานในลักษณะที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดดังนี้

(1) ท่อดูดอากาศปิดล้อม

ปากท่อดูดชนิดนี้จะติดตั้งในลักษณะครอบแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนทั้งหมดหรือบางส่วนเอาไว้ สารปนเปื้อนจะถูกกักเอาไว้ภายในปากท่อดูด และอาจถูกดูดเข้าสู่ระบบผ่านทางช่องเปิดของปากท่อดูด ข้อดีของปากท่อดูดที่เห็นได้ชัด คือ ปริมาณอากาศที่ใช้จะค่อนข้างน้อย ซึ่งก็หมายถึงการ

ใช้พลังงานน้อยเช่นกัน แต่ว่าปากท่อดูดปิดล้อมไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อดึงสารปนเปื้อนที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ภายนอก(ในกรณีของปากท่อดูดปิดล้อมบางส่วน) ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วของอากาศจะไม่เพียงพอที่จะดึงสารปนเปื้อนเข้าสู่ปากท่อดูดได้ลักษณะเช่นนี้ต้องใช้ปากท่อดูดภายนอก ลักษณะของปากท่อดูดปิดล้อมแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 โดยตัวอย่างของการนำไปใช้งานได้แก่ ปากท่อดูดที่ใช้ในห้องทดลองทางเคมีที่มีลักษณะเป็นตู้ครอบ(Plenum) และมีช่องสำหรับสอดมือเข้าไปปฏิบัติงานดังรูปที่ 2.3(ก) หรือปากท่อดูดซึ่งติดตั้งที่หัวสายพานลำเลียงวัสดุ(Belt conveyer) ดังรูปที่ 2.3 (ข) เป็นต้น

(2) ปากท่อดูดภายนอก

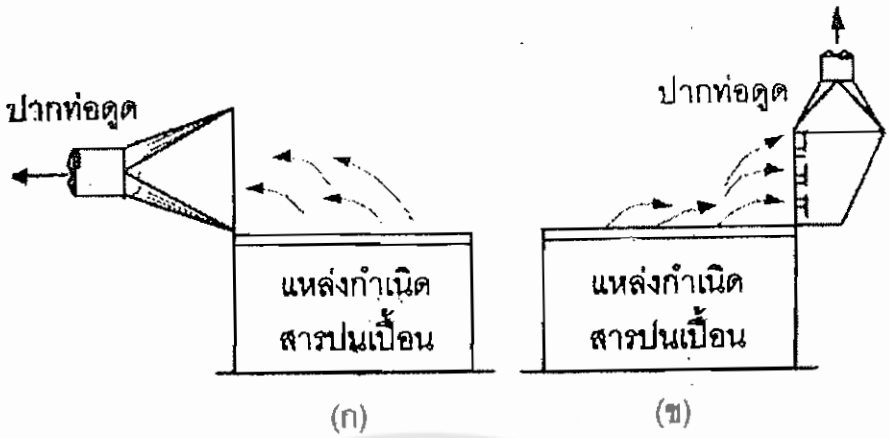
ปากท่อดูดภายนอกจะติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนโดยไม่มีการปิดล้อมแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนดังเช่นปากท่อดูดปิดล้อม สารปนเปื้อนจะถูกดึงให้เข้าสู่ท่อดูดโดยอาศัยความเร็วของอากาศ ซึ่งไหลผ่านปากท่อดูดในปริมาณที่มากพอ

ปากท่อดูดภายนอกนี้มีข้อเสียตรงที่จะใช้ปริมาณอากาศที่ค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับปากท่อดูดปิดล้อม นั่นหมายความว่าต้องใช้พลังงานมากกว่า รวมถึงตำแหน่งของปากท่อดูดก็ไม่สามารถอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนเป็นระยะทางมากๆได้ ถึงแม้ว่าจะมีข้อเสียดังที่กล่าว แต่ปากท่อดูดชนิดนี้ก็ยังถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายสำหรับระบบระบายอากาศเฉพาะที่ โดยลักษณะของปากท่อภายนอกแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.4

(ก) ปากท่อดูดใช้กับตู้ครอบ

(ข) ปากท่อดูดที่ติดตั้งกับสายพานลำเลียง

รูปที่ 2.3 ลักษณะของปากท่อดูดปิดล้อม
ที่มา : ฉัตรชัย และชวลิต, 2546



รูปที่ 2.4 ลักษณะของปากท่อดูดภายนอก
ที่มา : ฉัตรชัย และชวลิต, 2546

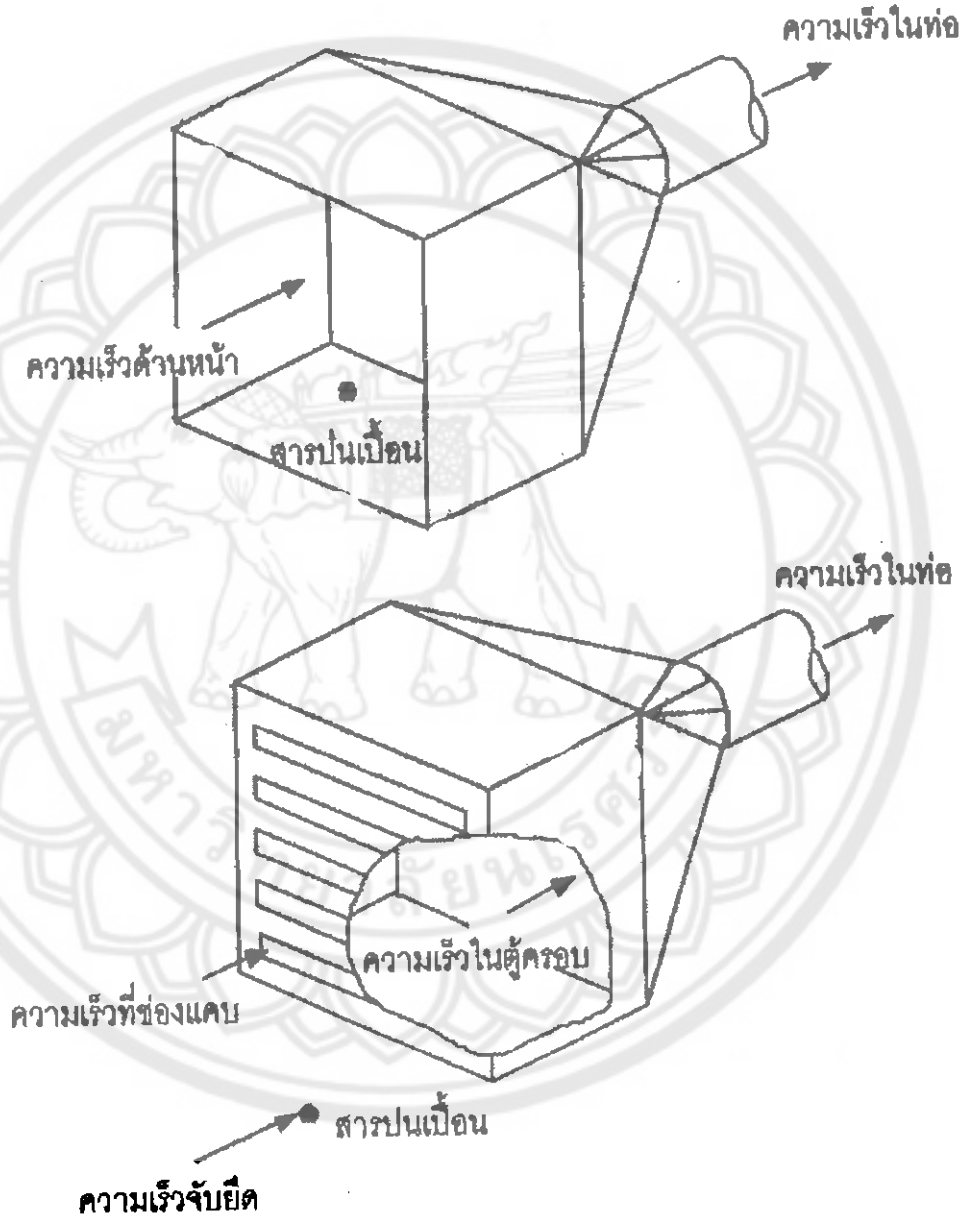
ปากท่อดูดภายนอกอาจติดตั้งได้หลายรูปแบบ รวมถึงมีลักษณะของช่องทางเข้าได้หลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละแบบก็เหมาะสมกับลักษณะงานที่แตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น ปากท่อดูดภายนอกแบบดูดด้านข้าง (Side Draft Hood) ปากท่อดูดแบบดูดลง (Down Draft Hood) หรือ ปากท่อดูดแบบช่องแคบ (Slot Hood) เป็นต้น

ในกรณีของสารปนเปื้อนที่มีขนาดใหญ่และมีการแพร่กระจายไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งที่แน่นอน เช่นฝุ่นหรือเศษโลหะที่เกิดจากกระบวนการเจียระไน ซึ่งมีพลังงานจลน์ค่อนข้างมาก การใช้ปากท่อดูดภายนอกที่ติดตั้งในลักษณะดังกล่าวตอนต้นอาจไม่สามารถดึงสารปนเปื้อนให้เข้าสู่ปากท่อดูดได้ หรือถ้าได้ก็ต้องใช้อากาศในปริมาณมาก ทั้งนี้เนื่องจากสารปนเปื้อนมีมวลมาก วิธีการที่ดีกว่าสำหรับกรณีนี้คือ การติดตั้งปากท่อดูดให้อยู่ในแนวการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน เพื่อที่สารปนเปื้อนจะได้เคลื่อนที่เข้าสู่ปากท่อดูดด้วยตัวมันเองซึ่งก็ส่งผลให้ปริมาณอากาศที่ใช้มีค่าลดลง โดยทั่วไปเราเรียกปากท่อดูดที่ติดตั้งในลักษณะข้างต้นนี้ว่า ปากท่อดูดรับ (Receiving Hood)

ปากท่อดูดรับจะนำมาใช้บ่อยในกรณีที่สารปนเปื้อนเกิดการแพร่กระจายในทิศทางที่ลอยขึ้นสู่ด้านบน เช่น ในกระบวนการชุบโลหะที่ไอโลหะซึ่งมีอุณหภูมิสูงจะลอยขึ้นด้านบนด้วยแรงลอยตัวอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยปากท่อรับซึ่งมีลักษณะเป็นฝาครอบ (Canopy Hood) จะถูกติดตั้งอยู่ด้านบนของแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อน เพื่อให้สารปนเปื้อนอุณหภูมิสูงลอยเข้าท่อดูดด้วยตัวมันเองซึ่งก็ส่งผลให้ปริมาณอากาศที่ใช้ลดน้อยลง

2.4.2 รูปแบบของความเร็วที่เกี่ยวข้องกับปากท่อดูด

เนื่องจากปากท่อดูดมีลักษณะแตกต่างกันมากมายดังที่กล่าวในหัวข้อที่ผ่านมา ดังนั้นการทราบถึงรูปแบบและนิยามของความเร็วของอากาศ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการทำงานของปากท่อดูดจึงเป็นสิ่งสำคัญ ดังรูปที่ 2.5 ได้แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของความเร็วรูปแบบต่าง ๆ สำหรับปากท่อดูดปิดล้อม (รูปบน) และปากท่อดูดภายนอก (รูปล่าง) ซึ่งความเร็วแต่ละรูปแบบจะมีนิยามดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.5 รูปแบบของความเร็วที่เกี่ยวข้องกับการของปากท่อดูดทำงาน

ที่มา : ฉัตรชัย และชวลิต, 2546

(1) ความเร็วด้านหน้า (Face Velocity, V_f)

คือ ความเร็วของอากาศที่ช่องเปิดของปากท่อดูดที่มีค่ามากพอสำหรับการดึงสารปนเปื้อนที่อยู่ภายในปากท่อดูดปิดล้อมให้เข้าสู่ระบบท่อได้ โดยความเร็วด้านหน้านี้จะมีความสำคัญเฉพาะกับการออกแบบปากท่อดูดปิดล้อมเท่านั้น

(2) ความเร็วที่ช่องแคบ (Slot Velocity, V_s)

คือ ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านช่องแคบ (Slot) โดยช่องแคบจะมีลักษณะเป็นช่องเปิดปากเรียบที่มีอัตราส่วนของความกว้างต่อความยาวหรืออัตราส่วนด้าน (Aspect Ratio) ของช่องเปิดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.2 สำหรับวัตถุประสงค์ของการใช้ปากท่อดูดแบบช่องแคบนี้ก็เพื่อต้องการให้อากาศที่ไหลผ่านด้านหน้าของปากท่อดูดมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ (Uniform Distribution)

(3) ความเร็วในตู้ครอบ (Plenum Velocity)

คือ ความเร็วของอากาศภายในตู้ครอบ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ความเร็วในตู้ครอบสูงสุดสำหรับปากท่อดูดแบบช่องแคบควรมีค่าเป็นครึ่งหนึ่ง (หรือน้อยกว่า) ของความเร็วที่ช่องแคบ ทั้งนี้ก็เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของอากาศที่ดี

(4) ความเร็วในท่อ (Duct Velocity, V_d)

คือ ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านหน้าตัดท่อในกรณีที่มีสารปนเปื้อนในรูปอนุภาคของแข็ง เช่น ฝุ่นหรือเศษโลหะปะปนมากับอากาศ ความเร็วในท่อต้องมีค่าเท่ากับ หรือมากกว่าความเร็วต่ำสุดที่ต้องการ สำหรับการพาสารปนเปื้อนดังกล่าวให้ไหลไปพร้อมกับอากาศได้โดยไม่เกิดการตกค้างในระบบ

(5) ความเร็วจับยึด (Capture Velocity)

ความเร็วจับยึด คือ ความเร็วของอากาศบริเวณด้านหน้าปากท่อดูดที่ใช้สำหรับดึงสารปนเปื้อนที่อยู่ภายนอกให้เข้าสู่ปากท่อดูด ซึ่งจะต้องมีค่ามากพอด้วยเหตุนี้ ความเร็วจับยึดจึงเป็นตัวกำหนดอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านปากท่อดูดรวมถึงรูปร่างของปากท่อดูดด้วย โดยค่าของความเร็วจับยึดที่ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบปากท่อดูดสามารถดูได้จากตารางที่ 2.1

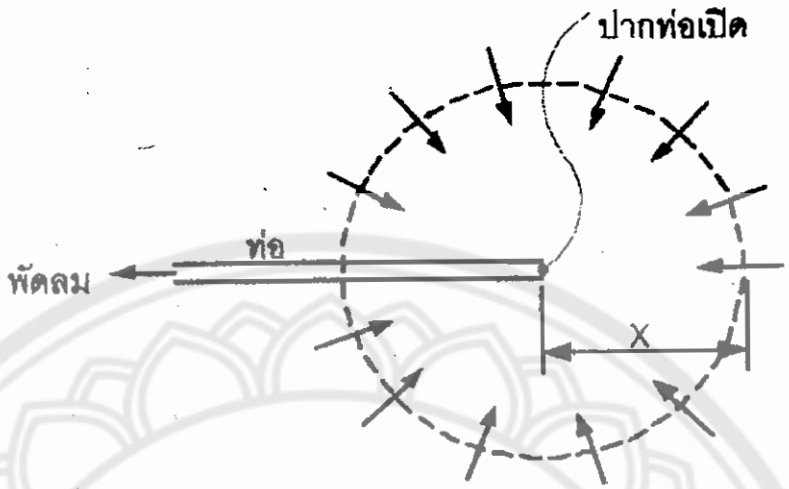
ตารางที่ 2.1 ความเร็วจับยึดจำแนกตามลักษณะการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน

ลักษณะการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน	ตัวอย่าง	ความเร็วจับยึด (fpm)
แพร่กระจายโดยธรรมชาติสู่อากาศภายนอกที่อยู่นิ่ง	การระเหยของไอจากถังชุบ	50-100
แพร่กระจายด้วยความเร็วสู่อากาศภายนอกที่เคลื่อนที่เล็กน้อย	การเติมวัสดุเป็นช่วงการขนถ่ายวัสดุที่ความเร็วต่ำ การเชื่อมและการชุบโลหะ	100-200
แพร่กระจายด้วยการกระตุ้นให้เข้าสู่บริเวณที่อากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง	การพ่นสีในคอกกั้น การเติมวัสดุลงถัง การจ่ายวัสดุออก การโม่	200-500
แพร่กระจายด้วยความเร็วเริ่มต้นสูงเข้าสู่บริเวณอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมาก	การบด การดกของวัสดุจากที่สูงกระทบวัตถุแข็ง	500-2000

ที่มา : ฉัตรชัย และชวลิต, 2546

ด้วยเหตุที่ความเร็วจับยึดในตารางที่ 2.1 จะแสดงในลักษณะของช่วงความเร็ว กล่าวคือ จะมีค่าต่ำและค่าสูงในลักษณะการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน ดังนั้นการพิจารณาว่าจะใช้ค่าความเร็วจับยึดในช่วงใดสำหรับการออกแบบปากท่อดูด ให้พิจารณาจากองค์ประกอบอื่นที่ส่งผลต่อการทำงานของปากท่อดูดด้วย กล่าวคือ

หากอากาศในสิ่งแวดล้อมซึ่งอยู่รอบปากท่อดูดมีความเร็วไม่มาก หรือส่งเสริมให้สารปนเปื้อนไหลเข้าปากท่อดูดได้ง่าย สารปนเปื้อนไม่มีลักษณะเป็นพิษ มีอัตราการผลิตต่ำและกระบวนการเกิดขึ้นเป็นช่วง ๆ รวมถึงปากท่อดูดมีขนาดใหญ่ซึ่งอากาศไหลผ่านในปริมาณมาก เราสามารถเลือกใช้ความเร็วจับยึดในช่วงค่าต่ำได้ แต่ถ้าการไหลของอากาศในสิ่งแวดล้อมมีลักษณะปั่นป่วน หรือไม่ส่งเสริมให้สารปนเปื้อนไหลเข้าปากท่อดูดได้ง่าย สารปนเปื้อนมีลักษณะเป็นพิษ มีอัตราการผลิตสูงและกระบวนการเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมถึงปากท่อดูดที่ใช้มีขนาดเล็ก เราควรเลือกใช้ความเร็ว ความเร็วจับยึดในช่วงค่าสูง เพื่อเป็นการรับประกันว่าสารปนเปื้อนจะถูกดึงเข้าสู่ปากท่อดูดได้



รูปที่ 2.6 อาณาบริเวณที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของความเร็วจับยึด
ที่มา : ฉัตรชัย และชวลิต, 2546

2.4.3 อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านปากท่อดูด

พิจารณาการไหลของอากาศเข้าสู่ปากท่อดูดภายนอกแบบปากท่อเปิดดังรูปที่ 2.6 ซึ่งโดยทฤษฎีแล้ว แรงดูดจากพัดลมจะพยายามดึงอากาศจากภายนอก (และสารปนเปื้อน) ให้เข้าสู่ปากท่อเปิดในทุกทิศทาง โดยเราอาจจินตนาการให้อาณาบริเวณที่ความเร็วจับยึดมีค่ามากพอที่จะดึงอากาศเข้าสู่ปากท่อเปิดได้ (Capture Zone) มีลักษณะเป็นทรงกลม (เส้นประ) โดยสารปนเปื้อนที่อยู่ภายนอกก็จะเล็ดลอดออกสู่สิ่งแวดล้อม หากอาณาบริเวณดังกล่าวมีรัศมีเท่ากับ X อากาศที่ไหลเข้าสู่ปากท่อเปิดก็จะต้องไหลผ่านพื้นผิวของอาณาบริเวณที่มีรัศมีเท่ากับ X ด้วย ซึ่งก็คือ พื้นผิวทรงกลม ($A = 4\pi X^2$) นั่นเอง ดังนั้นเราจึงสามารถหาความเร็วจับยึด (V) ที่จุดใด ๆ บนพื้นผิวทรงกลมที่จินตนาการขึ้นมานี้ได้จากความสัมพันธ์ $V = Q / A$ โดยอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่อาณาบริเวณนี้ (Q) จะมีค่าเป็น

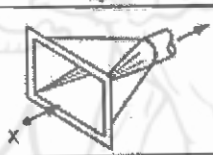
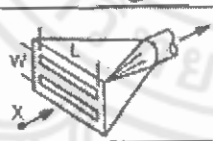
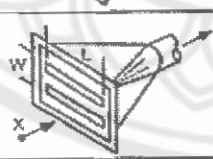
$$Q = AV = 4\pi X^2 V = 12.57 V X^2 \qquad (2.4)$$

จะเห็นได้ว่า ความเร็วจับยึดจะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างปากท่อเปิดกับตำแหน่งของสารปนเปื้อน (X) กล่าวคือ ความเร็วจับยึดจะมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างปากท่อเปิดและสารปนเปื้อนเพิ่มขึ้น หรือกล่าวง่าย ๆ ว่าสารปนเปื้อนเพิ่มขึ้น หรือกล่าวง่าย ๆ ว่าสารปนเปื้อนอยู่ห่างจากปากท่อเปิดมาก ๆ ก็จะไม่สามารถถูกดูดเข้ามาได้ ด้วยเหตุนี้เราจึงควรติดตั้งปากท่อดูดภายนอกให้อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ อัตราการไหลของอากาศในสมการข้างต้นเป็นเพียงอัตราการไหลทางทฤษฎีเท่านั้น โดยในทางปฏิบัติแล้ว จุดที่อากาศและสารปน

เปื้อนไหลเข้าสู่ระบบระบายอากาศจะมีลักษณะแตกต่างจากในรูปที่ 2.6 โดยจะมีรูปร่างตามชนิดของปากท่อดูดซึ่งส่งผลให้พื้นผิวของการไหลไม่ได้เป็นทรงกลมตามทฤษฎี

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศและความเร็วจับยึดของปากท่อดูดชนิดต่าง ๆ สามารถดูได้จากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อัตราการไหลของอากาศที่เข้าปากท่อดูด

ชนิดของปากท่อดูด	อัตราส่วนด้าน, W/L	อัตราการไหลของอากาศ
ช่องแคบ (slot)	0.2 หรือน้อยกว่า	Q = 3.7LVX
ช่องแคบ มีหน้าแปลน	0.2 หรือน้อยกว่า	Q = 2.6LVX
ปากเรียบ (plain opening)	0.2 หรือมากกว่า (ทั้งหน้าตัดวงกลมและสี่เหลี่ยม)	Q = V(10X² + A) A = WL (สี่เหลี่ยม) = πD²/4 (วงกลม)
ปากเรียบ มีหน้าแปลน 	0.2 หรือมากกว่า (ทั้งหน้าตัดวงกลมและสี่เหลี่ยม)	Q = 0.75V(10X² + A) = WL (สี่เหลี่ยม) = πD²/4 (วงกลม)
ฝาครอบ (canopy)	ตามความเหมาะสมของงาน	Q = 1.4PVD P = ความยาวเส้นรอบปากท่อดูด D = ความสูงของปากท่อดูดเหนือแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อน
ช่องแคบหลายช่อง (multiple slot) 	0.2 หรือมากกว่า	Q = V(10X² + A)
ช่องแคบหลายช่อง มีหน้าแปลน 	0.2 หรือมากกว่า	Q = 0.75V(10X² + A)

ที่มา : ฉัตรชัย และชวลิต,2546

2.4.4 การกระจายของอากาศในปากท่อดูด

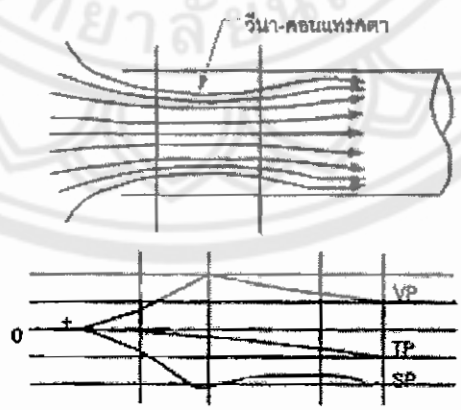
ปากท่อดูดแบบช่องแคบได้ถูกนำมาใช้เพื่อทำให้อากาศภายนอกไหลเข้าสู่ปากท่อดูด ด้วยการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งส่งผลให้ความเร็วจับยึดของอากาศในตำแหน่งที่ห่างจากปากท่อดูดมีค่ามากพอที่จะดึงสารปนเปื้อนเข้าสู่ปากท่อดูดได้ อย่างไรก็ตาม การไหลของอากาศผ่านปากท่อดูดแบบ

ช่องแคบนี้ จะทำให้เกิดการสูญเสียความดันค่อนข้างมาก นั่นหมายความว่าต้องใช้พลังงานที่มากขึ้นในการทำให้อากาศไหลผ่านช่องแคบ โดยทั่วไปปากท่อดูดแบบนี้จะประกอบอยู่กับตู้ครอบ ซึ่งควรมีความลึกมาก ๆ ทั้งนี้ก็เพื่อให้อากาศไหลผ่านช่องแคบมีความเร็วสูงกว่าความเร็วของอากาศในตู้ครอบมาก ๆ

โดยปกติ ความเร็วสูงสุดของอากาศในตู้ครอบ ควรจะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วอากาศที่ไหลผ่านช่องแคบ (V_s) สำหรับการออกแบบปากท่อดูดแบบช่องแคบส่วนใหญ่ที่ต้องการให้มีการกระจายตัวของอากาศที่ดี และมีการสูญเสียความดันไม่มากนัก ความเร็วที่ช่องแคบจะมีค่าประมาณ 200 fpm ในขณะที่ความเร็วในตู้ครอบมีค่าประมาณ 1,000 fpm ในกรณีที่ตู้ครอบมีขนาดใหญ่และมีความลึกมาก ความเร็วที่ช่องแคบสามารถมีค่าต่ำถึง 1,000 ได้ในขณะที่ความเร็วในตู้ครอบมีค่า 500 fpm

ในบางกรณีอาจมีการติดตั้งแผ่นบังคับทิศทางการไหลของอากาศ (Splitter Vane) ภายในตู้ครอบแทนการใช้ปากท่อดูดแบบช่องแคบ แต่วิธีการดังกล่าวอาจทำให้เกิดปัญหาการกัดก่อนและการกัดเซาะ รวมถึงอาจทำให้เกิดการสะสมตัวของสารปนเปื้อนภายในตู้ครอบได้

สำหรับปากท่อดูดที่มีหน้าตัดวงกลม (Round Hood) หรือสี่เหลี่ยม (Rectangular Hood) การกระจายตัวของอากาศสามารถทำได้ด้วยการติดตั้งปากท่อดูดอีกอันหนึ่งที่มีลักษณะเรียวลงทีละน้อย (Taper) หรือมีลักษณะเป็นกรวย (Cone) ไว้ที่ด้านบนก่อนถึงท่อ ในกรณีที่ปากท่อดูดแบบนี้ครอบคลุมพื้นที่ดูด (แหล่งกำเนิดสารปนเปื้อน) ที่มีความยาวมากดัง เช่น ปากท่อดูดที่ใช้ดูดฝุ่นบนสายพานลำเลียงที่จุดเปลี่ยนถ่าย (Transfer Point) เราอาจจัดให้มีจุดระบายอากาศออก (ปากท่อดูดที่มีลักษณะเป็นกรวย) หลายจุดได้



รูปที่ 2.7 การไหลของอากาศผ่านวีนา-คอนแทรกตา

ที่มา : American Conference Governmental Industrial Hygienists, 1970

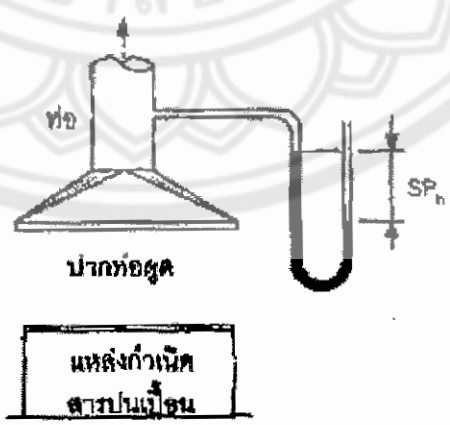
2.4.5 การสูญเสียความดันที่ปากท่อดูด

การสูญเสียความดันที่ปากท่อดูดจะเกิดขึ้นจากสาเหตุสองประการ กล่าวคือ การสูญเสียจากความเร่ง (Acceleration Loss) และการสูญเสียที่ทางเข้าปากท่อดูด (Hood Entry Loss)

การสูญเสียความดันเนื่องจากความเร่งจะเกิดจากการเร่งให้อากาศภายนอกปากท่อดูดที่มีสภาพหยุดนิ่ง (ความดันจลน์เท่ากับศูนย์) ไหลเข้าสู่ระบบท่อด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของอากาศภายในท่อ ซึ่งการสูญเสียความดันในลักษณะนี้ก็คือ การสูญเสียความดันจลน์นั่นเอง โดยค่าความดันสูญเสียนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศภายในท่อ จะเห็นได้ว่า ถึงแม้จะไม่มีความเสียดทานในระบบท่อ แต่การสูญเสียความดันอันเนื่องจากความเร่งก็ยังคงเกิดขึ้นเสมอ

สำหรับการสูญเสียความดันที่ทางเข้าปากท่อดูดจะเกิดขึ้นจากการที่อากาศซึ่งไหลเข้าสู่ปากท่อดูดถูกทำให้เกิดความปั่นป่วน ความปั่นป่วนดังกล่าวนี้จะทำให้ความดันจลน์ของอากาศบางส่วนแปรเปลี่ยนไปเป็นความร้อน และสูญเสียออกจากระบบ (อากาศ) การสูญเสียความดันในลักษณะนี้สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.7

อากาศจากภายนอกที่ถูกดูดให้เข้าสู่ปากท่อดูดจะถูกเร่งให้มีความเร็วสูงขึ้น และจะมีความเร็วสูงสุดในบริเวณที่เส้นผ่าศูนย์กลางของกระแสการไหลของอากาศมีค่าต่ำที่สุด โดยเราเรียกบริเวณที่อากาศไหลไม่เต็มหน้าตัดท่อ จะเห็นได้ว่าความดันจลน์ของอากาศที่วีนา-คอนแทรกตาจะมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ความดันสถิตมีค่าลดลงและเมื่ออากาศไหลผ่านวีนา-คอนแทรกตาไปแล้ว ความเร็วของมันจะค่อย ๆ ลดลง รวมถึงอากาศก็จะไหลกระจายจนเต็มหน้าตัดท่อ ความเร็วของอากาศที่ลดลงนี้เป็นผลมาจากความปั่นป่วนของการไหลซึ่งเกิดขึ้นที่วีนา-คอนแทรกตา ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานบางส่วนไป



รูปที่ 2.8 การวัดความดันสถิตของปากท่อดูด

ที่มา : ฉัตรชัย และชวลิต, 2546

การสูญเสียความดันที่ทางเข้าปากท่อดูด ซึ่งแทนด้วย h_e สามารถแสดงได้ในรูปของแฟกเดอร์การสูญเสียที่ทางเข้า (Hood Entry Loss Factor, F_h) โดยค่าการสูญเสียความดันดังกล่าว ซึ่งมีหน่วยเป็น in wg จะหาได้โดยการคูณแฟกเดอร์การสูญเสียที่ทางเข้า (F_h) เข้ากับความดันจลน์ของอากาศ (VP) การวัดความดันสูญเสียลักษณะนี้จะบอกให้เราทราบว่ามีความดันสูญเสียไปเท่าใดเมื่อเทียบกับความดันจลน์ของอากาศ จากที่กล่าวมาจึงสามารถเขียนการสูญเสียความดันที่ทางเข้าปากท่อดูดได้เป็น

$$h_e = F_h VP \qquad (2.5)$$

แฟกเดอร์การสูญเสียที่ทางเข้าหาได้จากการทดลองสำหรับลักษณะปากท่อดูดหลาย ๆ รูปแบบ โดยสามารถดูได้จากตารางที่ 2.4

ความดันสถิตของปากท่อดูด

การที่ปากท่อดูดจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ สามารถดึงสารปนเปื้อนให้เข้าสู่ปากท่อดูดได้นั้น พัดลมต้องสามารถสร้างความดันสถิต หรือแรงดูดภายในท่อใกล้กับปากท่อดูดได้ในปริมาณมากพอที่จะเอาชนะการสูญเสียความดันที่ทางเข้าปากท่อดูด และการสูญเสียความดัน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความเร่ง ในขณะเดียวกันพัดลมก็ต้องดึงอากาศในปริมาณที่ถูกต้องเข้าสู่ปากท่อดูดได้ด้วย โดยเราจะเรียกความดันสถิตที่ถูกสร้างโดยพัดลมเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวนี้ว่า ความดันสถิตของปากท่อดูด (Hood Static Pressure, SP_h) ดังนั้น

$$SP_h = h_{ed} + VP_d \qquad (2.6)$$

เมื่อ SP_h = ความดันสถิตของปากท่อดูด

h_{ed} = ความดันสูญเสียที่ทางเข้าปากท่อดูด

VP_d = ความดันจลน์ของอากาศในท่อ

การวัดความดันสถิตของปากท่อดูดสามารถทำได้อย่างง่าย โดยการติดตั้งมานอมิเตอร์เข้ากับท่อในตำแหน่งที่ใกล้ปากท่อดูดดังรูปที่ 2.8 โดยค่าที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์ก็คือ ค่าความดันสถิตของปากท่อดูดนั่นเอง การวัดความดันสถิตของปากท่อดูดจะช่วยให้เราสามารถตรวจสอบปริมาณอากาศที่ไหลเข้าสู่ปากท่อดูดในระหว่างที่ระบบทำงานว่ามีปริมาณตามที่ออกแบบไว้หรือไม่

ในกรณีที่ใช้ปากท่อดูดผสม (Compound Hood) อันหมายถึง ปากท่อดูดซึ่งมีจุดที่ทำให้เกิดการสูญเสียความดันที่ปากทางข้ามากกว่าหนึ่งจุด การหาความดันสูญเสียที่ปากท่อดูดลักษณะนี้จำเป็นต้องพิจารณาทีละจุด จากนั้นจึงนำค่าการสูญเสียความดันที่หาได้มารวมกันเป็นความดันสูญเสียที่ปากท่อดูดรวม ตัวอย่างของปากท่อดูดผสม ได้แก่ ปากท่อดูดแบบช่องแคบ หรือ ปากท่อดูดแบบช่องแคบ หรือช่องเปิดหลายช่อง (multiple slot hood) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5 (รูปล่าง) โดยการไหลของอากาศเข้าสู่ปากท่อดูดดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียความดันขึ้นสองช่วง ช่วงแรกจะเกิดจากการที่อากาศภายนอก ซึ่งไหลผ่านช่องแคบเข้าสู่ตู้ครอบถูกเร่งให้มีความเร็วสูงขึ้นเท่ากับความเร็วที่ช่องแคบ ($h_{es} = F_h VP_s$) ส่วนช่วงที่สองจะเกิดจากการที่อากาศในตู้ครอบถูกเร่งให้ไหลผ่านส่วนที่เป็นกรวยเข้าสู่ท่อ จนมีความเร็วสูงขึ้นเท่ากับความเร็วในท่อ ($h_{cd} = F_h V_{pd}$) จากที่กล่าวมาจึงสามารถหาความดันสถิตของปากท่อดูดผสมได้จาก

$$SP_h = h_{es} + h_{cd} + VP_d \qquad (2.7)$$

การสูญเสียความดันที่ทางเข้าปากท่อดูดยังสามารถแสดงได้อีกลักษณะหนึ่งโดยอาศัย สัมประสิทธิ์ของทางเข้า (Coefficient of Entry, C_e) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลจริงของอากาศที่เข้าสู่ปากท่อดูด (Q_{actual}) และอัตราการไหลตามทฤษฎีของอากาศซึ่งไม่มีการสูญเสียเกิดขึ้น (Q_{max}) โดยจากสมการ (2.6) จะได้ว่า

$$Q_{actual} = 4{,}005A\sqrt{VP_{d\,(actual)}}$$

และ

$$Q_{max} = 4{,}005A\sqrt{VP_{d\,(max)}}$$

ในทางปฏิบัติ $VP_{d(actual)} = VP_d$ และ $VP_{d(max)}$ จะเกิดขึ้นเมื่อไม่มีการสูญเสียเกิดขึ้นที่ทางปากท่อดูดหรือ $F_h = 0$ โดยจากสมการ (2.5) จะได้ความดันสถิตของปากท่อดูด คือ $SP_h = VP_{d(max)}$ จะเห็นว่า ความดันสถิตของปากท่อดูดที่พัดลมสร้างได้ทั้งหมด จะถูกใช้เพื่อเร่งอากาศภายนอกปากท่อดูดให้มีความดันจลน์สูงขึ้นมากกว่ากรณีที่มีการสูญเสียเกิดขึ้นที่ทางเข้าปากท่อดูด โดยจากนิยามของสัมประสิทธิ์ของทางเข้า ที่กล่าวตอนต้น จะได้ว่า

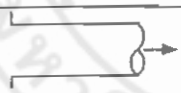
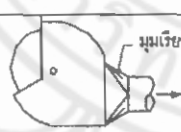
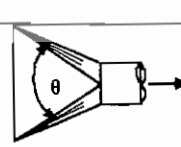
$$C_e = \frac{\sqrt{VP_{d\,(actual)}}}{\sqrt{VP_{d\,(max)}}} = \frac{\sqrt{VP_d}}{SP_h} \qquad (2.8)$$

จะเห็นได้ว่า เราสามารถหาสัมประสิทธิ์ของทางเข้าปากท่อดูด หรือ C_e ได้จากการวัดความดันจลน์ของอากาศในท่อและวัดความดันสถิตของปากท่อดูด โดยเมื่อทราบค่า C_e เราจะหาอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ปากท่อดูด (Q = AV)ได้ทันที โดยอาศัยความสัมพันธ์ $Q = 4{,}005A\sqrt{VP_{d\,(actual)}}$ และสมการ (2.8) นั่นคือ

$$Q = 4{,}005AC_e\sqrt{SP_h} \qquad (2.9)$$

สมการ (2.9) จะมีประโยชน์มากสำหรับการตรวจสอบการทำงานของปากท่อดูด ว่าสามารถดึงอากาศเข้าสู่ปากท่อดูดในปริมาณตามที่ออกแบบไว้ได้หรือไม่ ทั้งนี้ก็เนื่องจากเราสามารถวัดความดันสถิต (SP_h) ได้ง่ายอยู่แล้ว สำหรับค่า C_e ของปากท่อดูดแบบต่าง ๆ ซึ่งหามาจากการทดลอง สามารถดูได้จากตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สัมประสิทธิ์การสูญเสียที่ทางเข้า

ลักษณะทางเข้าของปากท่อดูด	สัมประสิทธิ์การสูญเสียที่ทางเข้า (F_h)	สัมประสิทธิ์ของทางเข้า (C_e)
ปากเรียบ ไม่มีหน้าแปลน (unflanged)	0.93	0.72
ปากเรียบ มีหน้าแปลน (flanged) 	0.49	0.82
ล้อหินเจียระไน (grinding hood) 	0.65 (ต่อตรงโดยไม่มีมุมเรียว)	0.78
	0.40 (ต่อโดยมีมุมเรียวหรือกรวย)	0.85
ปากระฆัง (bell mouth)	0.04	0.98
ร่องแคบ (slot) หรือออริฟิซ (orifice)	1.78	0.60
กรวย (cone or taper) 		

θ, องศา	สัมประสิทธิ์การสูญเสียที่ปากทางเข้า, F_h							
	15	30	45	60	90	120	150	180
หน้าตัดวงกลม	0.15	0.08	0.06	0.08	0.15	0.26	0.40	0.50
หน้าตัดสี่เหลี่ยม	0.25	0.16	0.15	0.17	0.25	0.35	0.48	0.50

ที่มา : ฉัตรชัย และชวลิต, 2546

2.5 ท่อนำอากาศ (Ducts)

เมื่อฝุ่นละอองถูกดูดเข้าไปที่ปากท่อดูดแล้วจะส่งอากาศไปที่ท่อนำอากาศซึ่งทำหน้าที่ส่งอากาศออกจากปากท่อดูดไปที่อุปกรณ์เก็บรวบรวมฝุ่น เมื่ออากาศผ่านปากท่อดูดจะมีการใช้พลังงานเพื่อต้านแรงเสียดทาน เมื่อทราบปริมาณลมที่ต้องใช้จากปากท่อดูดตามจุดต่างๆที่ต้องการ สิ่งที่ต้องทำตามมาก็คือ การคำนวณหาท่อนำอากาศ อากาศที่ไหลมาตามท่อนำอากาศต้องอาศัยกำลังจากพัดลมในการดูดอากาศ ซึ่งกำลังของพัดลมที่เลือกนั้นจะพิจารณาจากความสูญเสียความดันเนื่องจากความเสียดทานในท่อนำอากาศ และตามข้อต่อ ข้อเลี้ยวเป็นต้น ในการควบคุมปริมาณลมตามจุดจ่ายต่างๆ จะควบคุมให้ได้ปริมาณตามต้องการโดยการติดตั้งแดมเปอร์ (Damper) สำหรับความเร็วลมในท่อนำอากาศที่เหมาะสมกับมลพิษชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.4

2.5.1 ความหมายของความเร็วอากาศในท่อนำอากาศ

ความเร็วของอากาศในท่อนำอากาศ (Duct Velocity) ที่ควรทราบความหมายมีดังนี้

(1) ความดันสถิต (Static Pressure, SP)

เป็นความดันสถิตที่เกิดขึ้นที่เกิดขึ้นจากพัดลมและพลังงานในระบบ ความดันสถิตนี้จะเกิดขึ้นเท่าเทียมกันในทุกทิศทุกทาง ความดันสถิตนี้อาจเป็นค่าบวกหรือลบก็ได้ ความดันสถิตจะเปลี่ยนเป็นความดันเนื่องจากความเร็ว (Velocity Pressure) และทำให้เกิดความร้อนในรูปของแรงเสียดทานและการสูญเสียแบบอื่นๆ

(2) ความดันเนื่องจากความเร็ว (Velocity Pressure, VP)

เป็นความดันที่เกิดจากการไหลของอากาศ มีทิศทางเดียวกับการไหลของอากาศและมีค่าเป็นบวกเสมอ ทำให้อากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่กำหนด ความดันเนื่องจากความเร็วเกิดจากการเปลี่ยนความดันสถิตให้เป็นการเคลื่อนที่ของอากาศในท่อ

(3) ความดันรวม (Total Pressure, TP)

เป็นผลรวมของความดันสถิตและความดันเนื่องจากความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อ ความดันรวมจะวัดในทิศทางการไหลของอากาศ

ตารางที่ 2.4 ความเร็วลมต่ำสุดของอากาศในท่อนำอากาศที่เหมาะสมกับมลพิษชนิดต่างๆ

Nature of Contaminant	Examples	Design Velocity
Vapors,gases,smoke	All vapors gages and smoke	Any desired velocity (economic optimum velocity usually 1000-1200 fpm)
Fumes	Zinc and aluminum oxide fumes	1400-2000
Very fine light dust	Cotton lint, wood flour, litho powder	2000-2500
Dry Dusts and powders	Finc rubber dust, bakelite molding powder dust, jute lint, cotton dust, shavings(light), soap dust, leather shavings	2500-3500
Average industrial dust	Sawdust (heavy and wet), grinding dust, buffing lint (dry), wool jute dust (shaker waste), coffee beans, shoe dust, granite dust silica flour, general material handling, brick cutting, clay dust, foundry (general), limestone dust, packaging and weighing asbestos dust in textile industries	3500-4000
Heave dusts	Metal turnings, foundry tumbling barrels and shakeout, sand blast dust, wood blocks hog waste, blass turnings, cast iron boring dust, lead dust	4000-4500
Heave or moist dusts	Lead dust with small chips, moist cement dust, asbestos chunks from transite pipe cutting machines, buffing lint (sticky), quick-lime dust	4500 and up

ที่มา : American Conference Governmental Industrial Hygienists, 1970

2.5.2 ความสูญเสียเนื่องจากความดันในท่อ

วิธีการคำนวณความสูญเนื่องจากความดันสามารถทำได้โดยวิธี Velocity Pressure Method หรือวิธี Equivalent Foot Method ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

(1) Velocity Pressure Method

เป็นวิธีที่นิยมใช้เพราะเป็นวิธีการคำนวณที่รวดเร็วและครอบคลุมในส่วนต่างๆของระบบท่อ ข้อต่อ ข้องอและความสูญเสียความดันที่ปากท่อดูด การคำนวณสามารถทำได้โดยนำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อแต่ละจุดคูณกับความเร็วเนื่องจากความดันในจุดนั้น โดยสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับปากท่อดูด ท่อตรง ข้องอ ทางเข้าของท่อแยกสามารถดูได้จาก ตารางที่ 2.3 รูปที่ ข.1 รูปที่ ข.2 รูปที่ ข.3 รูปที่ ข.4 และรูปที่ ข.5 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในท่อของวิธีนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$H_f = 0.0307\left(\frac{V^{0.532}}{Q^{0.612}}\right) \qquad (2.10)$$

วิธีการคำนวณมีขั้นตอนดังนี้

- หาความเร็วจริงในการไหลของอากาศโดยนำปริมาณการไหลของอากาศหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของท่อที่เลือก จากนั้นหาค่าปรับแก้ความดันเนื่องจากความเร็วในท่อจากกราฟที่ ค.1 และกราฟที่ ค.2 หรือสมการที่ (2.3)
- หาแรงเสียดทานของปากท่อดูดจากสมการที่ (2.5), (2.6) และ (2.7)
- นำสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่คำนวณได้จากสมการที่ (2.10) คูณกับความยาวของท่อที่ออกแบบ
- คำนวณหาแรงเสียดทานในส่วนประกอบต่างๆเช่น ข้องอ ข้อต่อ จากรูปที่ ข.1, ข.2, ข.3, ข.4 และรูปที่ ข.5 จากนั้นหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของส่วนประกอบของท่อแต่ละชนิดแล้วนำมาคูณกับจำนวนของข้อต่อต่างๆ
- นำสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้ข้างต้นรวมกันแล้วนำมาคูณกับความดันเนื่องจากความเร็ว (VP) ในท่อ จะได้เป็นความสูญเสียจริงในหน่วยนิ้วน้ำ
- นำความสูญเสียจริงที่ได้จากการคำนวนข้างต้นบวกด้วยความเสียดทานของปากท่อดูดและความเสียดทานของระบบเก็บรวบรวมฝุ่นที่เลือกใช้ ก็จะได้เป็นความดันสถิตของระบบกำจัดฝุ่นที่ออกแบบ

(2) Equivalent Foot Method

เป็นวิธีที่คล้ายกับวิธี Velocity Pressure Method ในสองขั้นตอนแรกของการคำนวณ สำหรับข้อแตกต่างคือในวิธีนี้ การคำนวณหาแรงเสียดทานในท่อ ข้อต่อ ข้องอและส่วนประกอบต่างๆ สามารถทำได้โดยนำข้อต่อ ข้องอและส่วนประกอบต่างๆมาปรับเป็นระยะเทียบเป็นความยาวสมมูลของท่อตรง และเทียบเป็นแรงเสียดทานของท่อตรง ซึ่งความยาวสมมูลของท่อตรงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อในขนาดแสดงในรูปที่ ข.4 การหาแรงเสียดทานทำได้โดยการนำสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจากกราฟที่ ค.1 และกราฟที่ ค.2 คูณกับความยาวที่ปรับเป็นความยาวสมมูลของท่อแล้วหารด้วย 100

2.5.3 การกระจายการไหลของอากาศ

การไหลของอากาศในท่อจะมีแรงต้านทานเกิดขึ้นจากการเสียดสีกับผิวท่อและส่วนประกอบต่างๆ เช่น ข้องอ ข้อลด ในการออกแบบถ้าไม่มีการเตรียมอุปกรณ์สำหรับกระจายการไหลของอากาศ การกระจายของอากาศตามธรรมชาติก็จะเกิดขึ้น ปริมาณการไหลของอากาศในท่อแยกและปากท่อดูดจะมีการแบ่งการไหลของอากาศด้วยตัวของมันเองตามแรงต้านทานในท่อ ซึ่งถ้าหากเกิดการกระจายการไหลของอากาศตามธรรมชาติอาจจะทำให้ความเร็วจับยึดในปากท่อดูดที่ออกแบบมีค่าเปลี่ยนแปลงทำให้ไม่สามารถดึงสารปนเปื้อนหรือฝุ่นละอองเข้าปากท่อดูดได้ โดยการกระจายการไหลของอากาศสามารถทำได้ 2 วิธีดังนี้

(1) Balancing Method

การสูญเสียเนื่องจากความดันของท่อแยกในแต่ละจุดสามารถคำนวณได้จากข้อมูลในการออกแบบและความยาวของท่อจากปากท่อดูดถึงจุดเชื่อมต่อในจุดต่อไป โดยปกติที่จุดเชื่อมต่อแต่ละจุดความดันสถิต (SP) จะเท่ากัน แต่ถ้าอัตราส่วนของความดันสถิตในจุดแยกที่มีค่ามากหารด้วยความดันสถิตในจุดแยกที่มีค่าน้อย ผลลัพธ์ที่ได้มีค่ามากกว่า 1.2 ในท่อแยกที่มีความดันสถิตน้อยจะต้องมีการออกแบบท่อใหม่ด้วยการเพิ่มความสูญเสียเนื่องจากความดัน โดยปกติท่อจะมีขนาดเล็กลงซึ่งทำให้ความเร็วการไหลของอากาศในท่อเพิ่มขึ้น เมื่อความดันสถิตของท่อแยกไม่สมดุลสามารถทำให้สมดุลได้โดยการเพิ่มความเร็วในการไหลของอากาศ ในการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{coor} = Q_{design}\sqrt{\frac{SP_{gov}}{SP_{duct}}} \qquad (2.11)$$

ถ้าอัตราส่วนของความดันสถิตในจุดแยกที่มีค่ามากต่อความดันสถิตในจุดแยกที่มีค่าน้อย มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.05 ก็อาจไม่ต้องออกแบบท่อใหม่

(2) Blast Gate Method

การคำนวณเหมือนกับวิธี Balacced Method แต่ในการปรับอัตราการไหลจะไม่มีการออกแบบท่อใหม่ จะทำการปรับโดยการติดตั้งประตูกั้นลมหรือแดมเปอร์หลังจากการติดตั้งระบบกำจัดฝุ่นเสร็จแล้ว

สำหรับการเลือกใช้วิธีการกระจายการไหลของอากาศนั้นโดยปกติวิธี Balance Method จะใช้กับระบบที่มีสารปนเปื้อนมีพิษและไม่สามารถปรับอัตราการไหลของอากาศได้อีก ส่วนวิธี Blast Gate Method จะใช้กับระบบที่ต้องการปรับอัตราการไหลระหว่างการปฏิบัติงาน

เมื่อมีการออกแบบขนาดท่อใหม่หรือมีการติดแดมเปอร์ในท่อแยกจะทำให้ความดันเนื่องจากความเร็วเพิ่มขึ้นในท่อแยกท่อใดท่อหนึ่ง โดยความดันเนื่องจากความเร็วที่เพิ่มขึ้นสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$VP_r = \left[\frac{(Q_1 + Q_2)}{4005(A_1 + A_2)}\right]^2 \qquad (2.12)$$

2.6 การเก็บรวบรวมฝุ่น

เมื่อปริมาณของฝุ่น (มวลสารอนุภาค) ที่เกิดจากแหล่งผลิตมีปริมาณมากซึ่งอาจติดไปกับผลิตภัณฑ์เมื่อถึงมือผู้บริโภคจะส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์หรือมีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมในการทำงานของพนักงาน เรามีความจำเป็นที่ต้องเลือกใช้วิธีการเก็บรวบรวมฝุ่นที่เหมาะสม

ในเครื่องมือกำจัดอนุภาคทุกชนิด จะต้องอาศัยกลไกหรือแรงในการแยกอนุภาคออกจากกระแสก๊าซ กลไกในการจับอนุภาคมี 6 อย่างด้วยกันได้แก่

1. การแยกโดยแรงถ่วง (Gravity)
2. การแยกโดยแรงเหวี่ยง (Centrifugal Force)
3. การกระทบเนื่องจากความเฉื่อย (Inertial Impaction)
4. การสกัดกั้นโดยตรง (Direct Interception)
5. การแพร่ (Diffecsion)
6. การแยกโดยแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force)

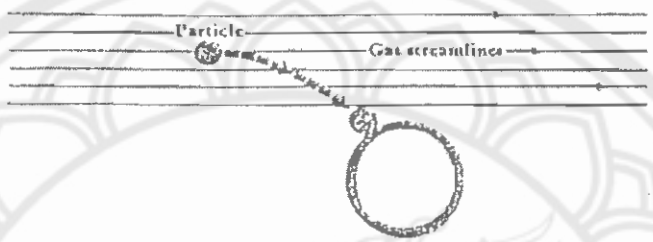
สำหรับกลไกในการจับอนุภาคในลักษณะต่างๆแสดงในรูปที่ 2.9

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

4700138

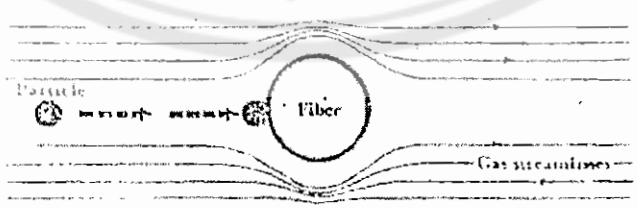
2.6.1 การแยกโดยแรงถ่วง (Gravity)

เป็นกลไกที่ง่ายที่สุด อนุภาคขนาดใหญ่จะเคลื่อนเข้ามาในกระแสก๊าซ และถูกจับเนื่องจากแรงถ่วง มักใช้แรงถ่วงสำหรับแยกอนุภาคในเครื่องมือที่ง่ายๆ เช่น ถังตกอนุภาค (Settling Chambe เครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงโน้มถ่วง แบ่งออกได้เป็นประเภทห้องตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง (Gavity Stting Camber) และประเภทห้องตกตะกอนแบบหลายชั้น (Multi-stage Sttling Camber)



ก. แรงถ่วง

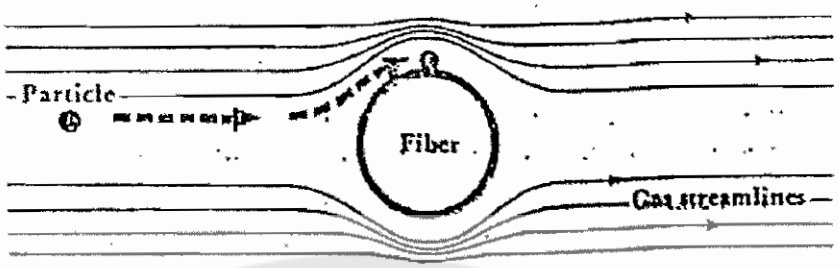
ข. แรงเหวี่ยง



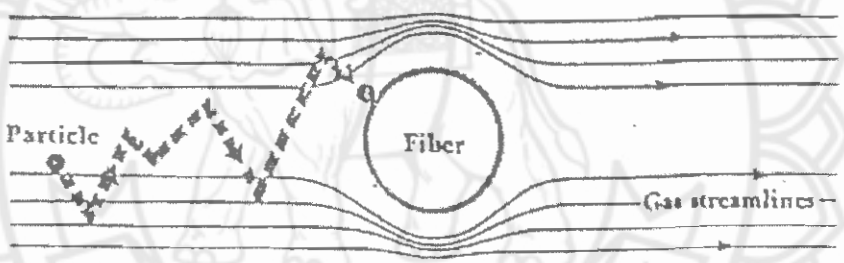
ค. การกระทบ

รูปที่ 2.9 กลไกในการจับอนุภาคในลักษณะต่างๆ

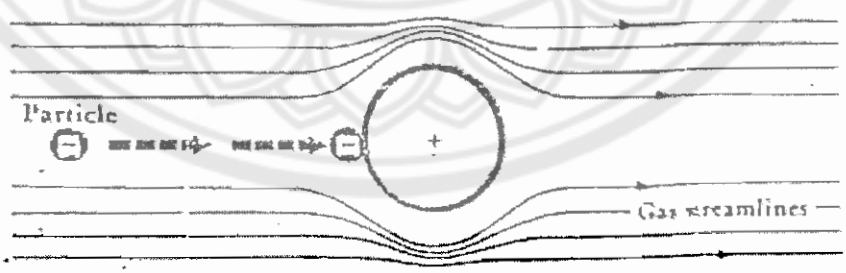
ที่มา : คานาโอกะและวิวัฒน์, 2535



ง. การสกัดกั้นโดยตรง



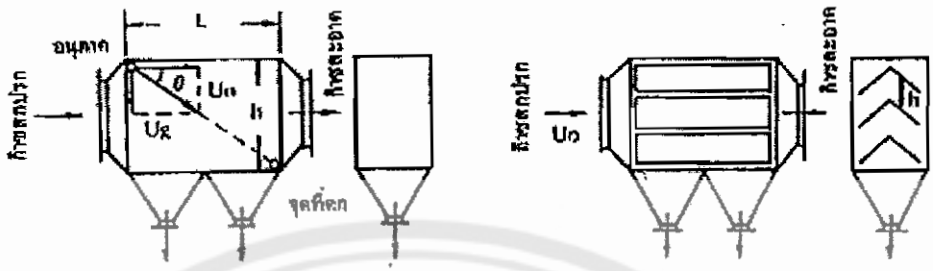
จ. การแพร่



ฉ. แรงไฟฟ้าสถิต

รูปที่ 2.9(ต่อ) กลไกในการจับอนุภาคในลักษณะต่างๆ

ที่มา : คานาโอกะและวิวัฒน์, 2535



(a) ห้องตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง (b) ห้องตกตะกอนแบบหลายชั้น

รูปที่ 2.10 เครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงโน้มถ่วง
ที่มา : คานาโอกะและวิวัฒน์, 2535

ลักษณะสมบัติของเครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงโน้มถ่วง มีดังต่อไปนี้

- ถ้าความเร็วของก๊าซยิ่งช้า จะเก็บอนุภาคที่ละเอียดขึ้นได้
- ถ้าห้องตกตะกอนยิ่งยาวและยิ่งสูงประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นจะยิ่งสูง
- ถ้าการไหลของก๊าซภายในห้องตกตะกอนยิ่งมีความเร็วสม่ำเสมอ ประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นจะยิ่งสูง นั่นคือ ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อเกิดการผสมของก๊าซในระหว่างที่ไหลอยู่

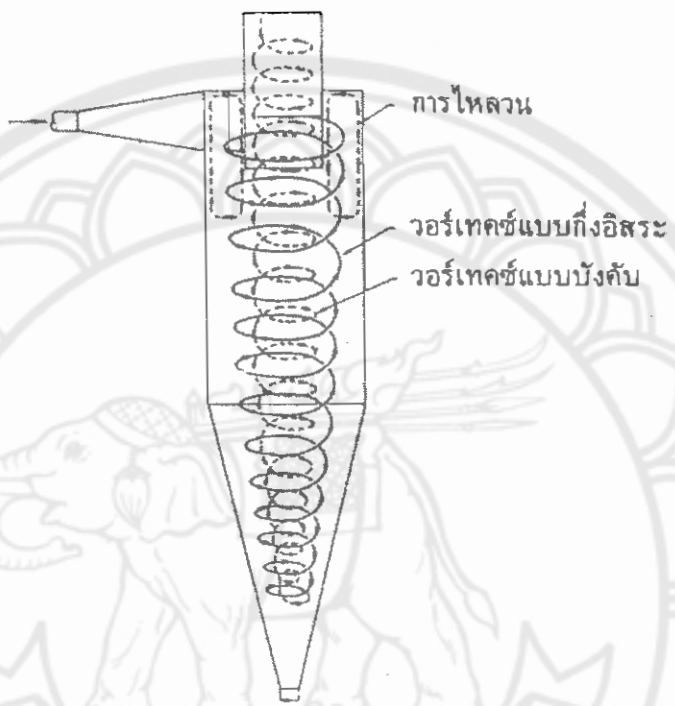
2.6.2 การแยกโดยแรงเหวี่ยง (Centrifugal Force)

การแยกโดยแรงเหวี่ยงใช้ในไซโคลน โดยให้กระแสก๊าซหมุนวนภายในไซโคลน ทำให้เกิดแรงเหวี่ยงอนุภาคไปยังผนังของเครื่องเนื่องจากโมเมนตัม อนุภาคจะสูญเสียพลังงานจลน์ที่นั่น และแยกออกจากกระแสก๊าซ แล้วอนุภาคได้รับแรงถ่วงเคลื่อนที่ลงสู่ถังพัก ทั้งแรงถ่วงและแรงเหวี่ยง เป็นแรงที่ใช้แยกอนุภาคในไซโคลน

ไซโคลน (Cyclone)

ไซโคลนเป็นเครื่องมือสำหรับแยกอนุภาคออกจากอากาศโดยใช้แรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสอากาศหมุนวน (Vortex) จึงสามารถแยกอนุภาคออกจากอากาศได้ การเกิด

กระแสวนทำได้โดยการให้อากาศไหลเข้าสู่ไวโคลนในแนวสัมผัส หรือแนวแกนโดยผ่าน Vanes รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะทั่วไปของวอร์เทคและการไหลวนในไซโคลนธรรมดา



รูปที่ 2.11 ลักษณะทั่วไปของวอร์เทคและการไหลวนในไซโคลนธรรมดา
ที่มา : วงศ์พันธ์, นิตยาและธีระ, 2540

กลไกการจับอนุภาค (Collection Mechanisms)

กลไกที่ใช้เก็บอนุภาคในไซโคลนมี 2 อย่างคือ

- แรงหนีศูนย์กลางหรือแรงเหวี่ยง ซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสอากาศมีการหมุน ทำให้อนุภาคถูกเหวี่ยงไปยังผนังของไซโคลน
- แรงถ่วง คือ เมื่ออนุภาคเคลื่อนถึงผนังของไซโคลนแล้ว อนุภาคที่หนักจะได้รับแรงถ่วงทำให้อนุภาคตกลงไปที่ถังพักข้างล่าง

หลักการทำงาน

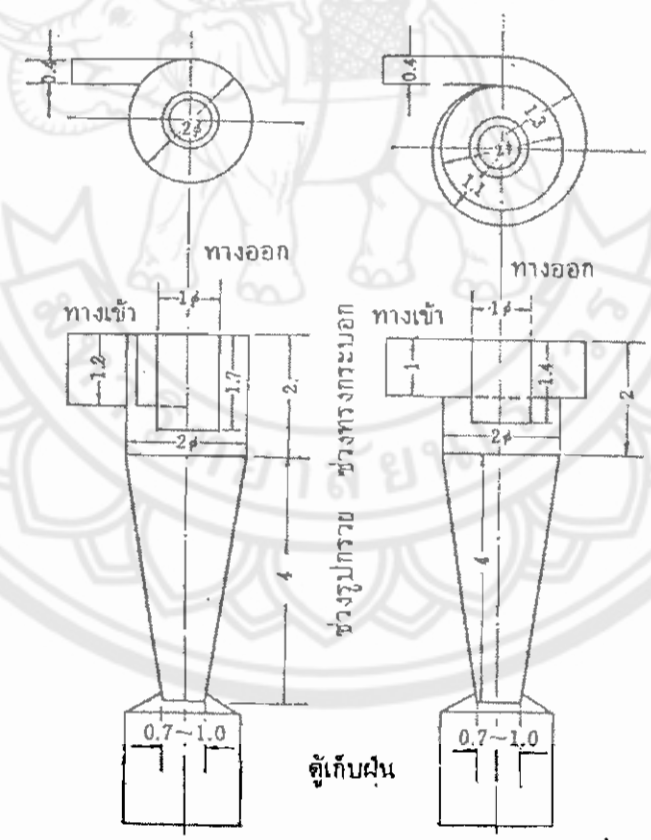
ไซโคลนประกอบด้วยส่วนรูปทรงกระบอก และมีปลายเป็นรูปโคน (รูปที่) อากาศเคลื่อนเข้าสู่ไซโคลนในแนวสัมผัสมี่ใกล้ส่วนบนของเครื่องมือด้วยความเร็วประมาณ 30 เมตรต่อวินาที เมื่อ

อากาศผ่านเข้ามาในไซโคลนก็จะเกิดกระแสวน (เรียกว่า main vortex) ขึ้น ซึ่งทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางเหวี่ยงอนุภาคไปยังผนังไซโคลนกระแสวนนี้จะเคลื่อนที่ลงจนถึงจุดหนึ่งที่อยู่เกือบปลายโคลน อากาศจะหมุนกลับเป็นกระแสวนที่เล็กกว่าเดิม (เรียกว่า core vortex) และเคลื่อนที่ขึ้นไปตามตัวไซโคลน จนออกไปทางท่อออกที่อยู่ส่วนบนของไซโคลน

ชนิดของไซโคลน

ไซโคลนแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆตามวิธีการให้อากาศเข้าสู่เครื่องเพื่อให้เกิดการหมุนวน คือ

- ไซโคลนที่อากาศไหลเข้าในแนวสัมผัส (tangential entry cyclone)
- ไซโคลนที่อากาศไหลเข้าตามแนวตามแนวแกน (axial entry)



(a) แบบไหลเข้าในแนวสัมผัส (b) แบบมีห้องวงแหวนเพื่อให้ไหลวนเข้าตลอดเส้นรอบวง

รูปที่ 2.12 ลักษณะของไซโคลนแบบไหลเข้าในแนวสัมผัส

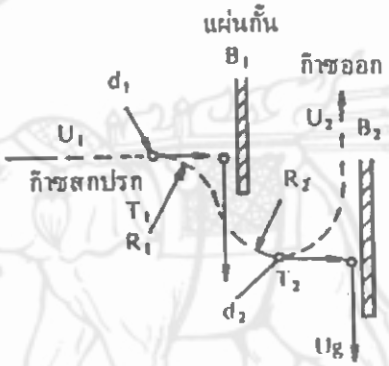
ที่มา : วงศ์พันธ์, นิดยาและธีระ, 2540

2.6.3 การกระทบเนื่องจากความเฉื่อย (Inertial Impaction)

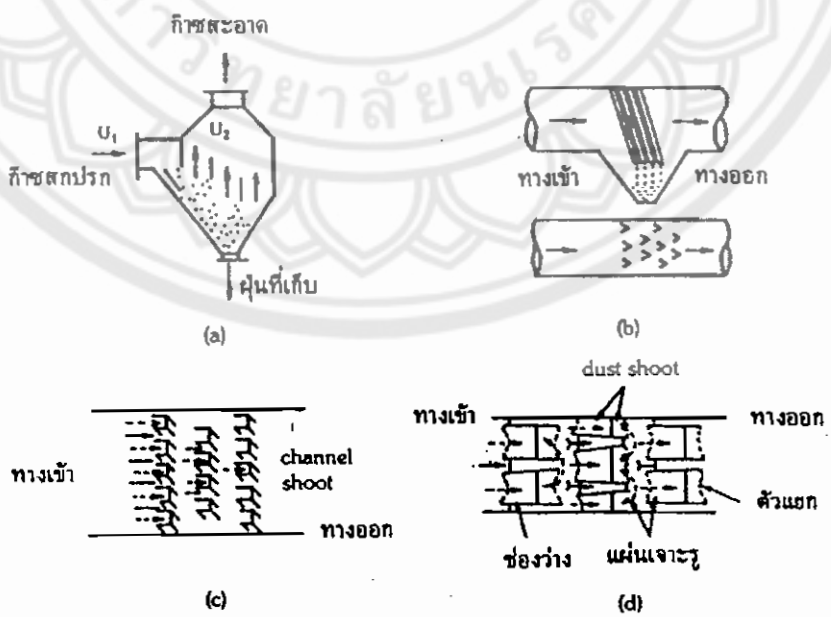
(1) กลไกของการเก็บฝุ่น

เมื่อกระแสก๊าซเกิดการเปลี่ยนทิศทางการไหลอย่างกระทันหัน อนุภาคที่มีความเฉื่อยมากจะไม่สามารถเปลี่ยนเส้นโคจรตามเส้นการไหลของก๊าซได้ทัน เครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงเฉื่อย (inertial dust collector) เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการนี้ในการเก็บฝุ่น

รูปที่ 2.13 แสดงกลไกของการแยกอนุภาคเมื่อก๊าซสกปรกไหลตั้งฉากกับแผ่นกั้น (baffle plates) สองแผ่นในเครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงเฉื่อย



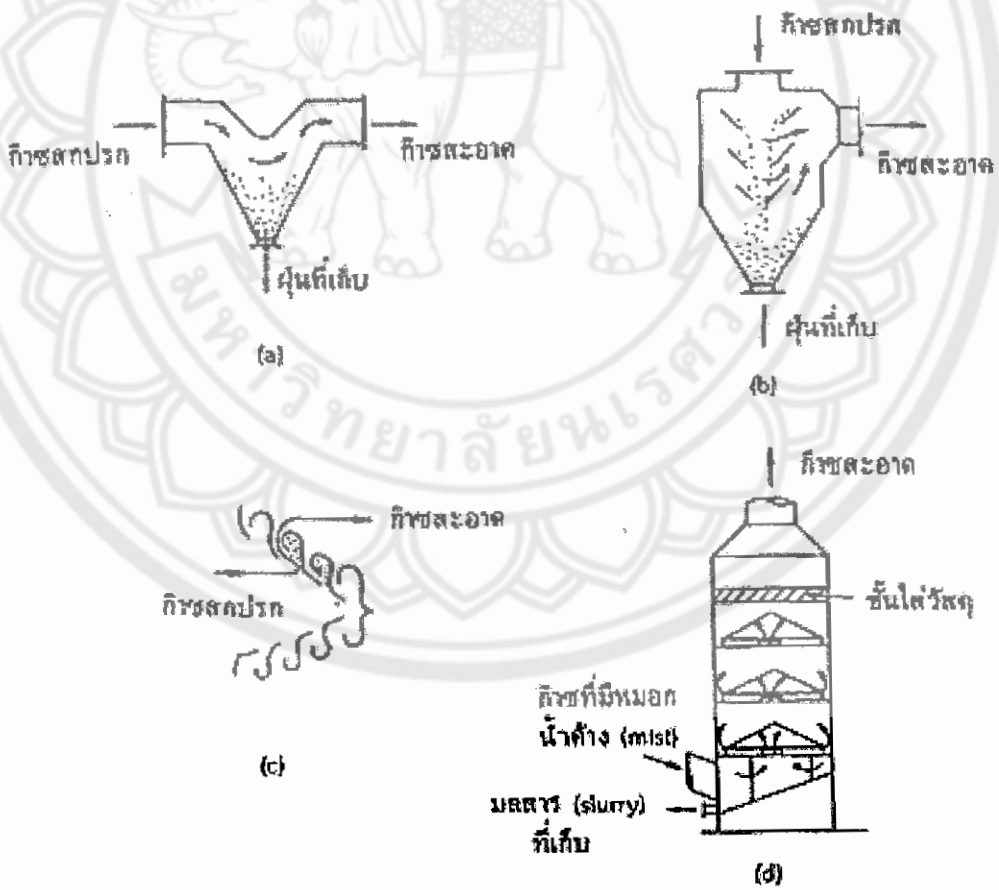
รูปที่ 2.13 กลไกการแยกอนุภาคโดยการชนและการเปลี่ยนทิศทางไหลของก๊าซ
ที่มา : คานาโอกะและวิวัฒน์, 2535



รูป 2.14 ตัวอย่างของเครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงเฉื่อย ชนิดไหลกระทบ
ที่มา : คานาโอกะและวิวัฒน์, 2535

รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างของเครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงเฉื่อยชนิดไหลกระทบ (impact type) ใน รูปที่ 2.14 แผ่นกั้นของแบบชั้นเดียว (single-stage) (a) และของแบบหลายชั้น (multi-stage) (b) แชนแนล (channel) ของแบบ (c) และหัวฉีด (nozzle) ของแบบ (d) ซึ่งมีชื่อเรียกว่าแบบแรนดอม (random) ต่างก็ถูกวางเยื้องกัน (zigzag) ในทางผ่านของก๊าซ เมื่อก๊าซไหลปะทะกับแผ่นกั้น แชนแนล หรือหัวฉีดเหล่านี้ ฝุ่นที่มีอยู่ในกระแสก๊าซจะถูกแยกออก โดยทั่วไป ความดันสูญเสียของแบบหลายชั้นและแบบแรนดอม จะมีค่าสูงกว่าของแบบชั้นเดียว อนึ่ง ถ้าความดันสูญเสียมีค่ายิ่งมาก ประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นจะยิ่งสูง

ในกรณีที่ใช้แบบแรนดอมในการกำจัดเขม่าและควัน เครื่องเก็บฝุ่นมีแนวโน้มที่จะเต็มเพียบด้วยขี้เถ้าเนื่องจากการเกาะติดบนผิวเก็บฝุ่น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องกำจัดฝุ่นที่เกาะออกโดยการเคาะ หรือการใช้มาตรการทำนองเดียวกัน



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างของเครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงเฉื่อย ชนิดไหลวก

ที่มา : คานาโอกะและวิวัฒน์, 2535

รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างของเครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงเฉื่อยชนิดไหลวก (reverse type) เช่น แบบท่องอ (a) แบบบานเกล็ด (louver type) (b) แบบกระเป๋า (pocket type) และ(c) แบบหลายแผ่นกั้น (multi-baffle type) ในสามแบบแรก ทิศทางการไหลของก๊าซจะวกเปลี่ยน เพื่อแยกอนุภาคที่มีความเฉื่อยสูง ส่วนแบบ (d) ซึ่งมีแผ่นกั้นรูปตัว V หลายชั้นภายในหอว่างเปล่า จะใช้จับหมอกน้ำค้าง (mist) เป็นส่วนใหญ่ ในกรณีที่ต้องการกำจัดหมอกน้ำค้างละเอียด ซึ่งมีขนาดของหยดเท่ากับ 1 ไมครอนหรือเล็กกว่า โดยปกติจะติดตั้งชั้นวัสดุ (packed layer) ไว้หน้าทางออกของก๊าซสะอาด

ลักษณะสมบัติทั่วไปของเครื่องเก็บฝุ่นแบบแรงเฉื่อย มีดังนี้

(1) ในกรณีของชนิดไหลกระทบ ความเร็วของก๊าซก่อนหน้าการชนพอดีจะมีค่าสูงมาก ถ้าความเร็วของก๊าซสะอาดที่ออกของเครื่องมีค่ายิ่งน้อย ปริมาณของฝุ่นที่หนีตามออกไปจะยิ่งน้อย และประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นจะยิ่งสูง

(2) ในกรณีของชนิดไหลวก ถ้ารัศมีของการไหลวกของก๊าซที่แผ่นเบนทิศทางมีค่ายิ่งน้อย จะเก็บฝุ่นได้ขนาดละเอียดขึ้น อนึ่ง ถ้าจำนวนของแผ่นเบนทิศทางมียิ่งมาก ความดันสูญเสียจะมียิ่งมาก และประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นจะมียิ่งสูง

2.6.4 เครื่องแบบถุงกรองและสครับเบอร์

ในเครื่องแบบถุงกรองและสครับเบอร์ จะมีกลไกที่ใช้ช่วยจับอนุภาคสาม กลไก คือ การกระทบการสกัดกั้นโดยตรง และการแพร่ ในระบบถุงกรองวัตถุที่เป็นเป้า (Target) หรือตัวรับ (Receptor) สำหรับอนุภาคคือเส้นใย ส่วนในสครับเบอร์วัตถุที่เป็นเป้า คือ หยดน้ำซึ่งพ่นสู่กระแสก๊าซ

เครื่องเก็บฝุ่นแบบถุงกรอง (Fabric Filters)

การกรองเป็นวิธีการแยกอนุภาคออกจากกระแสก๊าซที่เก่าแก่ และใช้แพร่หลายมากวิธีหนึ่ง โดยทั่วไปเครื่องกรองคือโครงสร้างที่เป็นรูพรุน ประกอบด้วยสารที่เป็นเม็ดเล็กหรือเส้นใย ซึ่งจะกักกันอนุภาคไว้และให้ก๊าซไหลผ่านช่องว่างของเครื่องกรอง เครื่องกรองในปัจจุบันสามารถกำจัดอนุภาคต่างๆ ที่มีขนาดต่างๆกันตั้งแต่มองไม่เห็นจนถึงขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน โดยเสียค่าใช้จ่ายไม่มาก

สำหรับถุงกรองโดยปกติทำด้วยผ้าทอ (Woven Fabric) หรือ ผ้าสักหลาด (Felted Fabric) ชั้นฝุ่นที่สะสมอยู่บนผ้ากรองนี้จะช่วยกรองอนุภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผ้ากรองแบบถุงนี้ต้องทำความสะอาดเป็นครั้งคราว

กลไกในการจับอนุภาค

เมื่ออนุภาคเคลื่อนเข้าหาผ้ากรอง อนุภาคจะถูกจับเนื่องจากกลไกหลายอย่างได้แก่ การสกัดกั้น การกระทบ การแพร่ การดกตะกอนด้วยแรงไฟฟ้า ความร้อนหรือแรงถ่วงและการลอดผ่าน (Sieving) ซึ่งเป็นกลไกที่อนุภาคถูกกัก เพราะมีขนาดใหญ่เกินที่จะลอดผ่านช่องว่างได้

กลไกสำคัญที่สุดในการจับอนุภาคด้วยเส้นใยคือ การสกัดกั้น การกระทบ และการแพร่ ส่วนแรงถ่วงและแรงเนื่องจากความร้อนมีผลน้อย และแรงไฟฟ้าอาจมีความสำคัญหรือไม่ก็ได้ แต่ไม่มีกลไกการลอดผ่าน สำหรับเครื่องกรองแบบถุงนั้นส่วนใหญ่การจับอนุภาคเกิดขึ้นในมวลของอนุภาคที่สะสมเป็นเค้กอยู่บนและในผ้ากรอง นั่นคือกลไกหลักในการจับอนุภาค (การสกัดกั้น การกระทบ และการแพร่) จะมีผลในช่วงเวลาอันสั้นในระหว่างการกรองของแต่ละวงจรเท่านั้น เมื่อมีเค้กสะสมขึ้นการลอดผ่านจะเป็นกลไกที่สำคัญที่สุด

2.6.5 เครื่องสัมผัสหรือเครื่องเก็บแบบเปียก (Scrubbers or Wet Collectors)

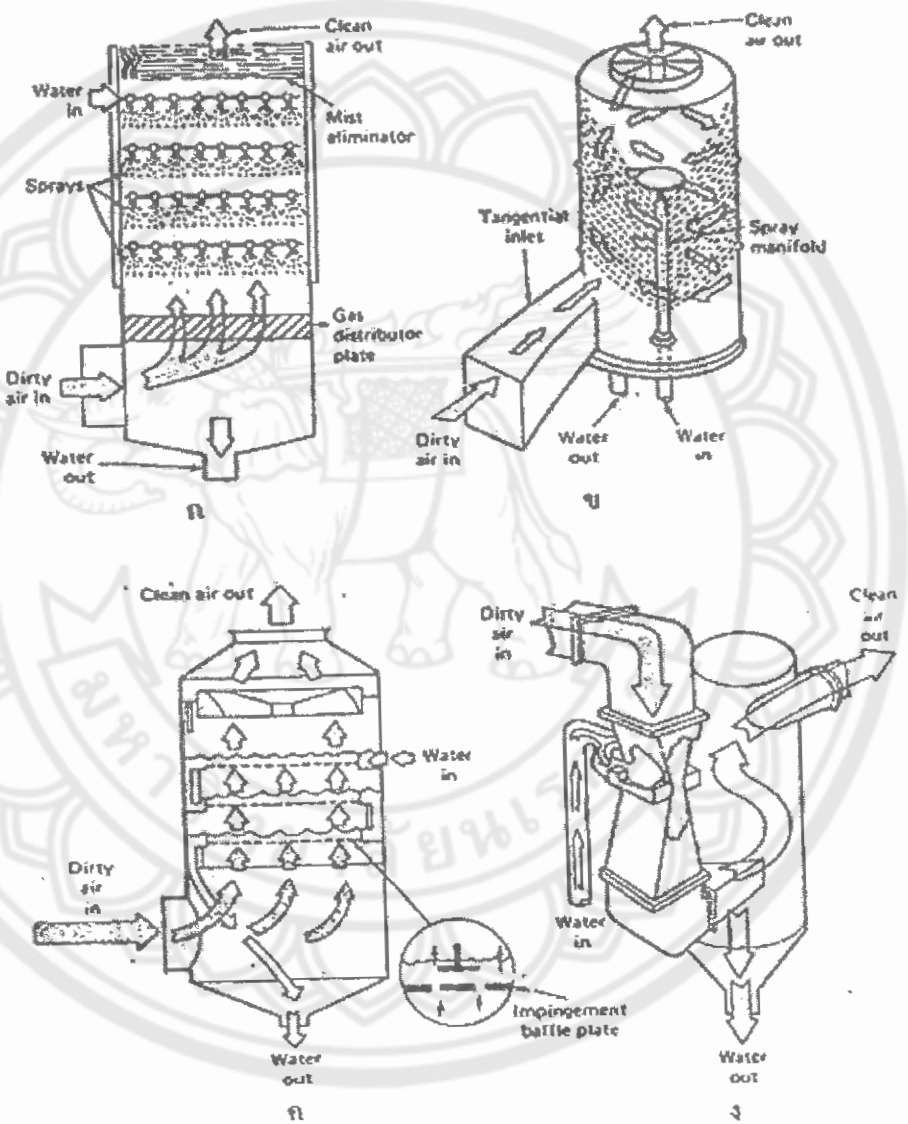
ในเครื่องเก็บแบบเปียกใช้ของเหลวซึ่งโดยปกติแล้วเป็นน้ำเป็นตัวจับอนุภาคหรือฝุ่น และเพิ่มขนาดของละอองไอ (Aerosols) ในกรณีทั้งสองนี้จะทำให้ขนาดมลสารเพิ่มขึ้นและช่วยให้การแยกมลสารจากกรแสก๊าซง่ายขึ้น ของเหลวหรือน้ำจะถูกฉีดให้เป็นละอองเพื่อช่วยให้การสัมผัสระหว่างอนุภาคกับน้ำดีขึ้น สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่ ๆ จะมีการแยกที่เกิดจากแรงถ่วงของโลกบ้าง ส่วนอนุภาคเล็ก ๆ ก็จะมีการแยกเนื่องจากแรงที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตหรือแรงที่เกิดจากแรงถ่วงของโลกบ้าง ส่วนอนุภาคเล็ก ๆ ก็จะมีการแยกเนื่องจากแรงที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตหรือแรงที่เกิดจากความร้อนด้วย เครื่องเก็บแบบเปียกนี้สามารถแยกอนุภาคเล็ก ๆ ที่เป็นของแข็งและของเหลวที่มีขนาดระหว่าง 0.1 ไมโครเมตร ถึง 20 ไมโครเมตร ได้ดีและมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแห้งเพราะอนุภาคเล็ก ๆ จะมีน้อยเพราะอนุภาคจะเปียกและถูกกักไว้ในชั้นของของเหลว (liquid film)

ข้อดีที่สำคัญของเครื่องเก็บแบบเปียกก็คือมีหลายแบบ ทำให้สามารถเลือกเครื่องที่เหมาะกับปัญหาที่พิจารณา ข้อเสียของเครื่องก็คือมีความดันลดสูง ดังนั้น จึงต้องการพลังงานมาก นอกจากนี้ก็ต้องขนถ่ายและทิ้งของเหลวที่ผ่านการสัมผัสซึ่งมีปริมาณมาก

2.6.6 แบบของเครื่องสัมผัสแบบเปียก

เครื่องสัมผัสแบบเปียกมีหลายแบบ ในรูปที่ 2.16 แสดงเครื่องสัมผัสแบบที่ใช้กันโดยทั่วไป 4 แบบ คือ (ก) spray tower (ข) cyclone spray tower (ค) impingement scrubber (ง) venturi scrubber ใน 4 แบบนี้ spay tower เป็นแบบที่ง่ายที่สุด ในเครื่องสัมผัสแบบนี้น้ำจะถูกฉีดออก

มาจากหัวฉีดเป็นฝอยเพื่อให้น้ำสัมผัสกับอนุภาคที่ติดมากับก๊าซได้ดี ทิศทางการไหลของน้ำและก๊าซอาจเป็นแบบทวนกระแส (Counter-Current) ตามกระแส (Cocurrent) หรือตัดกระแส (Cross flow) การไหลแบบทวนกระแสเป็นแบบที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 2.16 เครื่องเก็บแบบเปียก (ก) spray tower (ข) cyclone spray tower (ง) impingement scrubber (จ) venturi scrubber

ที่มา : คานาโอกะและวิวัฒน์, 2535

2.6.7 เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitators)

เครื่องตกตะกอนโดยใช้ไฟฟ้าสถิตโดยปกติแล้ว ใช้ทำความสะอาดก๊าซที่มีปริมาตรการไหลสูง เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตนี้ใช้มากในการแยกขี้เถ้าจากก๊าซที่ปล่อยออกมาจากโรงจักรไฟฟ้า (Power Plant) และใช้เก็บอนุภาคและละอองกรดในอุตสาหกรรมสารเคมีและโลหะ

หลักการทำงาน

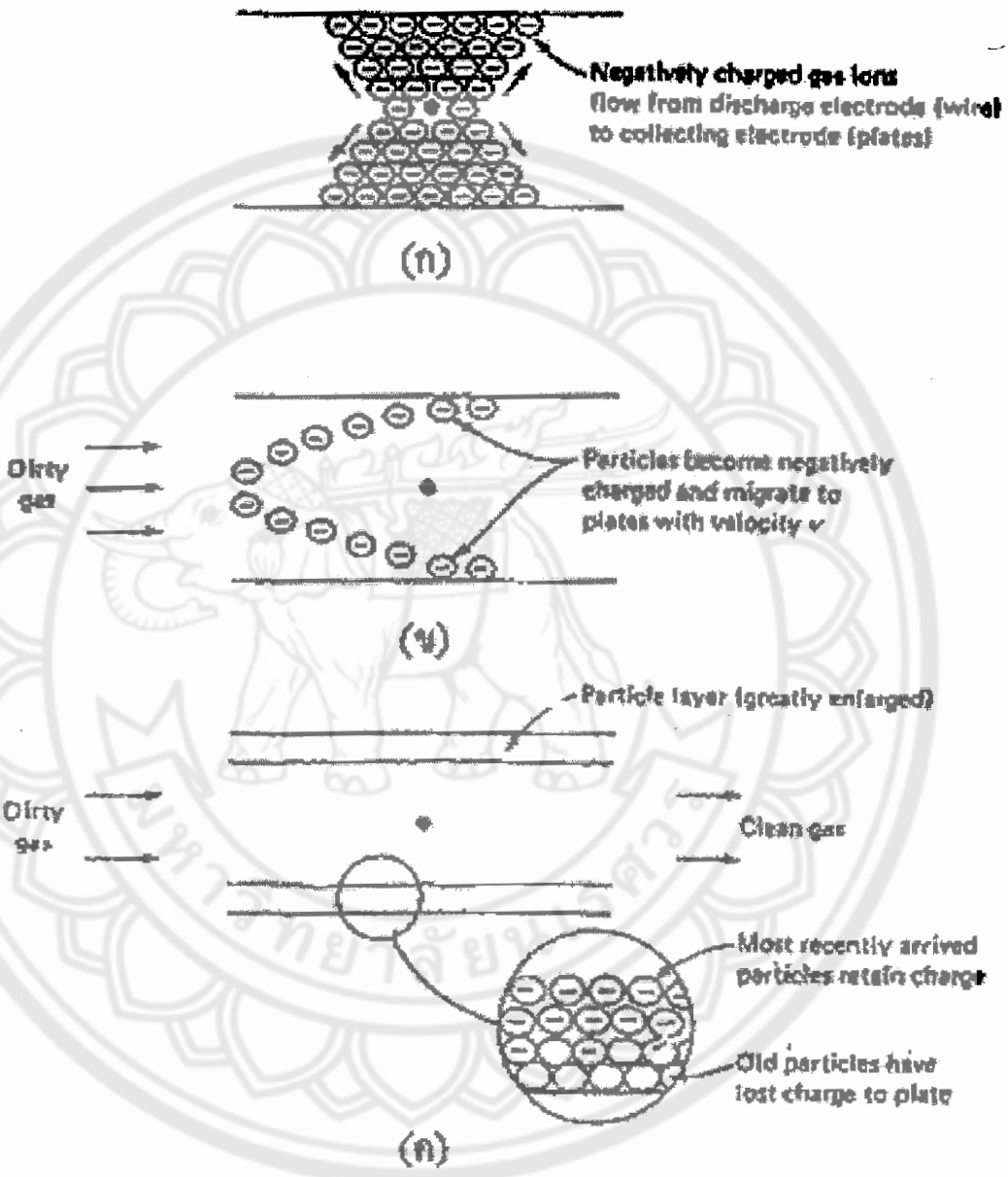
ขั้นตอนในการแยกอนุภาคออกจากกระแสก๊าซโดยใช้ไฟฟ้าสถิตพอแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้น คือ

(1) การเติมประจุให้อนุภาค

(2) การเก็บอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าบนผิวเก็บที่มีศักย์ (Potential) เท่ากับพื้นดิน

(3) การแยกอนุภาคที่ทับถมบนผิวเก็บ (Collecting Electrode)

เครื่องตกตะกอนโดยใช้ไฟฟ้าสถิตได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.17 ในการทำงานก๊าซไหลทางแนวนอนผ่านแถวของแผ่นขั้วไฟฟ้า (electrode) ที่ขนานกัน ตรงกลางระหว่างแผ่นขั้ว ไฟฟ้าแต่ละชุดนั้นจะมีเส้นลวดที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงซึ่งหุ้มฉนวนไว้ เมื่อความต่างศักย์ระหว่างเส้นลวดถ่ายประจุ (Discharging Electrode) มีค่ามากพอ ก๊าซที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้านั้นจะแตกตัวเป็นไอออน (Ions) แล้วเคลื่อนที่ไปสู่แผ่นเก็บที่มีศักย์เท่ากับพื้นดิน การเคลื่อนที่ของไอออนของก๊าซเช่นนี้เรียกว่า electric wind ส่วนมากเส้นลวดถ่ายประจุนี้จะมีศักย์ไฟฟ้าประมาณ 20 ถึง 100 kv ต่ำกว่าศักย์ไฟฟ้าของพื้นดิน (Ground Potential) ที่มีความต่างศักย์นี้อีเลคตรอน (Electron) จะถูกปล่อยออกจากเส้นลวด จะกระทบแล้วติดอยู่กับโมเลกุลของก๊าซที่มีอยู่ใกล้ ๆ การที่โมเลกุลของก๊าซเป็นจำนวนมากแตกตัวเป็นไอออนอยู่รอบ ๆ เส้นลวดนี้ ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Corona ซึ่งจะเห็นเป็นสีน้ำเงินรอบ ๆ เส้นลวด ไอออนที่มีประจุลบจะเคลื่อนที่ไปสู่แผ่นเก็บ ขณะเคลื่อนที่ไอออนจะชนกับอนุภาคแล้วทำให้อนุภาคนั้นมีประจุลบ เนื่องจากไอออนของก๊าซมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคที่เล็กที่สุดมากและมีจำนวนมาก อนุภาคทั้งหมดที่ผ่านจะถูกทำให้เกิดประจุไฟฟ้าแบบลบ อนุภาคที่มีประจุลบนี้จะเคลื่อนไปสู่แผ่นเก็บแล้วถูกยึดอยู่ที่แผ่นเก็บด้วยแรงดูดไฟฟ้าสถิต อนุภาคจะจับกันเป็นชั้นบนแผ่นเก็บจะค่อย ๆ ถ่ายประจุไปสู่แผ่นเก็บ เมื่อชั้นอนุภาคทับถมขึ้นเรื่อย ๆ ประจุของอนุภาคที่เก็บใหม่จะต้องถ่ายผ่านชั้นของอนุภาคเก่าซึ่งมีความต้านทาน ความต้านทานของชั้นฝุ่นนี้เรียกว่า Dust Resistivity ขณะที่ความหนาของชั้นอนุภาคเพิ่มขึ้น อนุภาคที่อยู่ใกล้แผ่นเก็บมากที่สุดจะเสียประจุไปเกือบทั้งหมดทำให้แรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างแผ่นเก็บกับอนุภาคเหล่านี้อ่อนลง แต่อย่างไรก็ดี อนุภาคใหม่ที่อยู่ด้านนอกของชั้นอนุภาคยังมีประจุไฟฟ้าเต็มอยู่ และเนื่องจากความเป็นฉนวนของชั้นอนุภาคนี้ทำให้อนุภาคใหม่ไม่อาจถ่ายประจุได้ทันที ดังนั้น จึงช่วยในการยึดชั้นอนุภาคทั้งหมดกับแผ่นเก็บ ขั้นสุดท้ายชั้นอนุภาคก็จะถูกทำให้หลุดออกโดยการเคาะแล้วหล่นลงไปในถังเก็บ



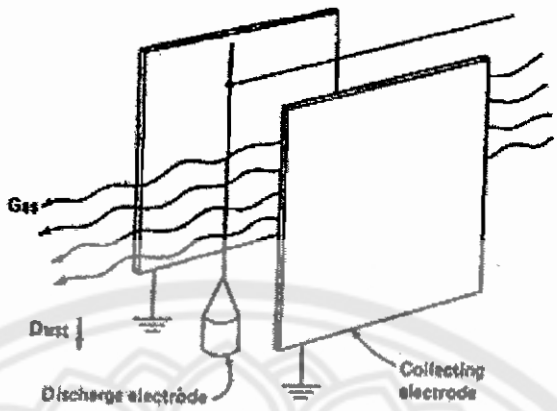
รูปที่ 2.17 กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าสถิต

(ก) การเกิดของ irons ของก๊าซ

(ข) อนุภาคถูกทำให้เกิดประจุแล้วเคลื่อนที่เข้าหาแผ่นเก็บ

(ง) ชั้นของอนุภาคที่ทับถมขึ้นบนแผ่นเก็บ

ที่มา : คานาโอกะและวิวัฒน์, 2535



รูปที่ 2.18 หลักการทำงานของเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต

ที่มา : คานาโอกะและวิวัฒน์, 2535

ตารางที่ 2.5 สรุปวิธีการที่ใช้ในการควบคุมการปล่อยอนุภาค

เครื่องมือ	ขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุด[1] (ไมโครเมตร)	ประสิทธิภาพ[2] (%)	ข้อดี	ข้อเสีย
เครื่องตกตะกอนด้วยแรงถ่วงของโลก	> 50	< 50	1. แรงดันลดต่ำ 2.ง่ายต่อการออกแบบและบำรุงรักษา	1. ต้องการเนื้อที่มาก 2.ประสิทธิภาพการเก็บต่ำ
ไซโคลน	5-25	50-90	1. ง่ายต่อการออกแบบและบำรุงรักษา 2. ต้องการพื้นที่น้อย 3.การทิ้งฝุ่นที่เก็บได้เป็นไปอย่างต่อเนื่องและเป็นแบบแห้ง 4. แรงดันลดมีขนาดต่ำถึงปานกลาง 5. รับอนุภาคขนาดใหญ่ได้	1. ต้องการที่ว่างทางสูงมาก 2. ประสิทธิภาพการเก็บอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ต่ำ 3.ไวต่อการเปลี่ยนปริมาณบรรทุกฝุ่นและอัตราไหล

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) สรุปวิธีการที่ใช้ในการควบคุมการปล่อยอนุภาค

เครื่องมือ	ขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุด[1] (ไมโครเมตร)	ประสิทธิภาพ[2] (%)	ข้อดี	ข้อเสีย
			6. รับปริมาณบรรทุกฝุ่นได้สูง 7. ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ	
เครื่องเก็บแบบเปียก หอฉีดน้ำ ไซโคลน อิมพินจ์เมนท์ เวนจูรี่	> 10 > 2.5 > 2.5 > 2.5	< 80 < 80 < 80 < 99	1. การดูดซึมก๊าซและการแยกอนุภาคเกิดขึ้นพร้อมกัน 2. สามารถทำความสะอาดและทำให้อุณหภูมิสูงและชื้นเย็นลง 3. สามารถเก็บคืนและทำให้เป็นกลางพวกก๊าซและละอองที่กัดกร่อน 4. ลดการเสี่ยงต่อการแตกกระจายของฝุ่น 5. สามารถแปรประสิทธิภาพได้	1. มีปัญหาการกัดกร่อน การสึกกร่อน 2. เพิ่มค่าใช้จ่ายสำหรับขจัดน้ำเสียและการนำกลับมาใช้อีก 3. การเก็บอนุภาคขนาดเล็กมีประสิทธิภาพต่ำ 4. กระแสออกจะมีของเหลวติดออกไปด้วย 5. ลดการพยุงและระยะลอยขึ้นของพลูม 6. ไอน้ำทำให้เห็นพลูมในบางสภาพของบรรยากาศ

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) สรุปวิธีการที่ใช้ในการควบคุมการปล่อยอนุภาค

เครื่องมือ	ขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุด[1] (ไมโครเมตร)	ประสิทธิภาพ[2] (%)	ข้อดี	ข้อเสีย
เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต	> 1	95-99	1. ประสิทธิภาพสูงถึง 99 + 2. สามารถเก็บอนุภาคขนาดเล็กมาก ๆ ได้ 3. อาจเก็บอนุภาคได้ทั้งแบบเปียกและแห้ง 4. แรงดันลดและกำลังงานที่ต้องการน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องเก็บแบบอื่นที่มีประสิทธิภาพสูง 5. การบำรุงรักษาแบบธรรมดาเว้นแต่ใช้กับสารที่กัดกร่อนหรือเหนียวหนืด 6. มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่น้อยมาก 7. ทำงานที่อุณหภูมิสูงได้ (300 ถึง 450°ซ.)	1. ค่าลงทุนเริ่มต้นสูง 2. ไวต่อการเปลี่ยนปริมาณบรรทุกฝุ่นและอัตราไหล 3. ความต้านทานจำเพาะของสารบางชนิดทำให้การเก็บไม่ประหยัด 4. ต้องมีมาตรการรักษาความปลอดภัยจากไฟฟ้าแรงสูง 5. ประสิทธิภาพการเก็บอาจเสื่อมตามลำดับ

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) สรุปวิธีการที่ใช้ในการควบคุมการปล่อยอนุภาค

เครื่องมือ	ขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุด[1] (ไมโครเมตร)	ประสิทธิภาพ[2] (%)	ข้อดี	ข้อเสีย
เครื่องกรองใย	< 1	> 99	1. อาจเก็บแบบแห้งได้ 2. เมื่อประสิทธิภาพการทำงานลดลงสังเกตได้ง่าย 3. เก็บอนุภาคขนาดเล็กได้ 4. ประสิทธิภาพสูงได้	1. ไวต่อความเร็วของการกรอง 2. ก๊าซที่มีอุณหภูมิสูงจะต้องทำให้เย็นลงเหลือ 100 ถึง 450°ซ. 3. ความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการทำงาน 4. เส้นใยอาจถูกสารเคมีกัดกร่อน

ที่มา : วงศ์พันธ์, นิตยาและธีระ, 2540

หมายเหตุ 1 ประสิทธิภาพการเก็บ 90%

2 คิดในหน่วยของมวล

2.7 พัดลมที่ใช้ในระบบระบายอากาศ

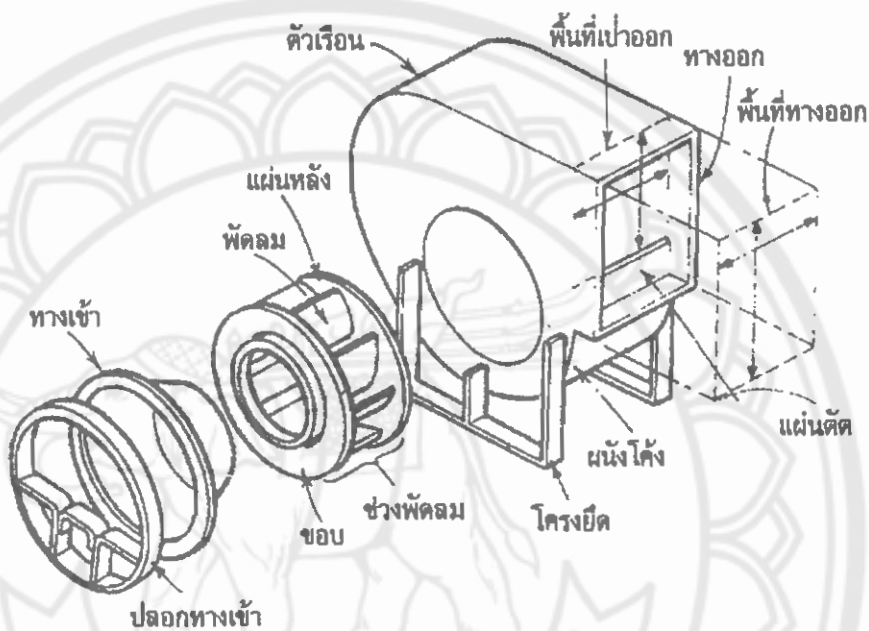
2.7.1 การจำแนกประเภทของพัดลม

การประยุกต์ใช้งานพัดลมในการทำให้อากาศเคลื่อนที่ 99 เปอร์เซ็นต์ใช้พัดลมอยู่สามชนิดพื้นฐานคือ แบบตามแนวแกน (Axial) แบบแรงหวี่ยง (Centrifugal) และแบบใบจักร (Propeller) โดยแต่ละชนิดมีความสามารถที่แตกต่างกัน ในด้านการให้กำเนิดความดัน ปริมาตรของก๊าซที่ถูกขนถ่าย ระดับการควบคุมที่เป็นไปได้ และความด้านทานต่อการสึกหรอและกัดกร่อนในบางกรณี คุณลักษณะเหล่านี้คาบเกี่ยวกัน และการเลือกแต่ละครั้งต้องตัดสินใจระหว่างพัดลมสองชนิด

(1) พัดลมแบบแรงเหวี่ยง

ทำงานด้วยการบังคับให้อากาศหมุนเข้าไปในตัวเรือนพัดลมในลักษณะดูดเข้าไปตามแนวแกน จากนั้นเหวี่ยงออกตามแนวใบของพัดลม เป็นผลให้เกิดเป็นมวลอากาศหมุนที่ก่อให้เกิดความดันใน

การเคลื่อนที่กระแสอากาศ (รูปที่ 2.19 แสดงชิ้นส่วนและตัวเรือนที่มีลักษณะคล้ายหอยโข่งของพัดลมชนิดนี้) และเพื่อที่จะบังคับกระแสอากาศไม่ให้กระจัดกระจายและไปในทิศทางที่ต้องการ ตัวเรือนของพัดลมชนิดนี้ จึงมีความสำคัญในการออกแบบ



รูปที่ 2.19 ชิ้นส่วนและโครงสร้างของพัดลมแบบแรงเหวี่ยง

ที่มา : ตระการ, 2546

โดยทั่วไป พัดลมแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Fan) ที่มีวงล้อที่กว้าง แต่ขนาดเล็ก ผลิตปริมาตรกระแสอากาศจำนวนมาก ณ ความดันสถิตย์ต่ำ (ความเร็วจำเพาะสูง) ส่วนพัดลมที่มีวงล้อแคบขนาดใหญ่ให้ปริมาตรอากาศออกมาน้อย ณ ความดันสถิตที่ค่อนข้างต่ำ (ความเร็วจำเพาะต่ำ) สำหรับชนิดที่ง่ายที่สุดของใบพัดลม คือ ตรง (แบน) ตามแนวรัศมี และเพื่อการใช้งานไปตามลักษณะที่ต้องการให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ได้มีการดัดแปลงลักษณะใบให้แตกต่างออกไป ได้แก่ ชนิดใบความหนาคงที่ คือ ใบตรงเอียงไปด้านหลัง ใบโค้งหลัง ใบปลายโค้งหรือตรงเอียงไปด้านหลังแล้วโค้งหน้า และใบเว้าตามแนวรัศมี สำหรับกรณีที่ต้องการประสิทธิภาพให้สูงขึ้นอีก สามารถกระทำได้ด้วยการใช้ใบรูปทรงแอร์ฟอยล์โค้งหลัง ที่ให้กระแสไหลที่ราบเรียบไม่มีการปั่นป่วน สุดท้าย คือ ใบชนิดโค้งหน้าซึ่งใช้ในการใช้งานกับการขนถ่ายอากาศที่สะดวก

- ใบตรงเอียงไปด้านหลัง (Backward-inclined Blade)

ใช้สำหรับขนถ่ายอากาศที่ไม่สกปรก เช่น ในการใช้งานเป็นพัดลมเป่าอากาศของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยตลอดช่วงการทำงานความดันสถิตลดลงขณะที่กระแสการไหลเพิ่มขึ้น (สาเหตุด้วยการเปิดแดมเปอร์ที่ควบคุม หรือลดความต้านทานของระบบ) อย่างไรก็ตาม ณ อัตราการไหลที่ต่ำกว่าช่วงการทำงานที่ออกแบบไว้ กระแสอากาศอาจเบี่ยงเบนออกจากพื้นผิวของใบ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดย่านที่ไม่เสถียรภาพ ดังแสดงด้วยการเว้าในเส้นกราฟทางด้านซ้ายของความดันสูงสุด (รูปที่ 2.20) ดังนั้นพัดลมไม่ควรนำมาใช้งานในย่านนี้เพราะประสิทธิภาพต่ำ และมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดความดันกระเพื่อม

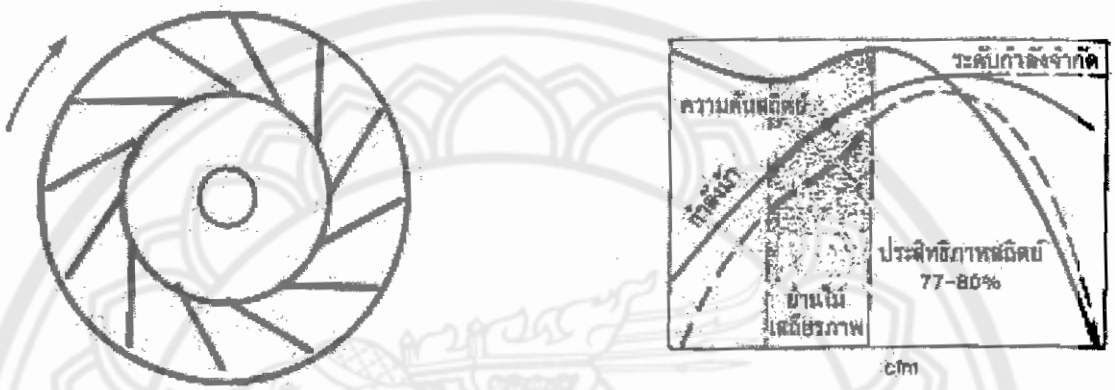
รูปที่ 2.20 รูปแบบและกราฟแสดงคุณลักษณะของพัดลมชนิดใบตรงเอียงไปด้านหลัง
ที่มา : ตระการ, 2546

นอกจากนี้ในรูปที่ 2.20 จะสังเกตเห็นว่ากำลังม้าที่ใช้ขับพัดลมนี้เพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดบริเวณความดันสูงสุด และแล้วลดลง ลักษณะนี้ทำให้พัดลมชนิดใบตรงเอียงไปด้านหลัง ถ้ามอเตอร์ถูกขับออกแบบให้ใช้งานสำหรับกำลังม้าที่สูงสุด ซึ่งทำให้พัดลมไม่อยู่ในสภาพภาระเกินกำหนด ด้วยการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ได้คาดคิดในความต้านทานของระบบ ลักษณะนี้มีคุณค่าเป็นพิเศษถ้ามอเตอร์ได้รับการกำหนดขนาด และสั่งซื้อสำหรับพัดลม ก่อนที่ความต้านทานของระบบทราบค่าอย่างถูกต้อง

- ใบโค้งหลัง (Backward-curved Blade)

ปกติแล้วพัดลมชนิดนี้นิยมใช้กันมากกว่าชนิดใบตรงเอียงไปด้านหลัง เนื่องจากให้กระแสการไหลที่ราบเรียบกว่า และมีโครงสร้างที่ค่อนข้างแข็งแรงกว่า สำหรับกราฟคุณลักษณะจะคล้ายคลึงกับชนิดใบตรงเอียงไปด้านหลัง แต่ย่านที่ไม่เสถียรภาพมีลักษณะเด่นน้อยกว่า ดังนั้นพัดลมนี้

สามารถนำมาใช้งานได้ตลอดช่วงกระแสการไหลอย่างเต็มที่จากจุดที่เปิดกว้างถึงปิดสนิท (ดูรูปที่ 2.21 ประกอบ)

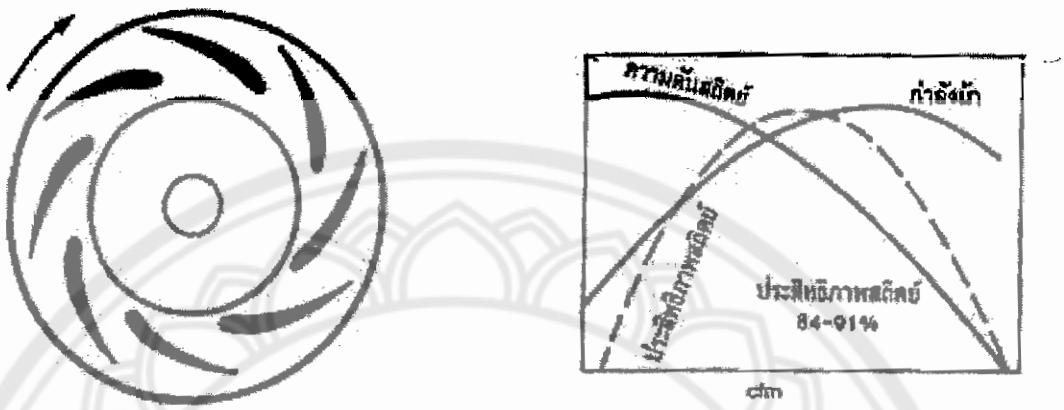


รูปที่ 2.21 รูปแบบและกราฟแสดงคุณลักษณะของพัดลมชนิดใบโค้งหลัง
ที่มา : ตระการ, 2546

โดยทั่วไป พัดลมชนิดใบโค้งหลังมีความเร็วจำเพาะที่สูงในทุกขนาดและทุกรูปทรง ซึ่งหมายความว่าในการให้กำหนดความดันที่ต้องการ จำเป็นต้องใช้ความเร็วที่สูงด้วย แต่ในทางกลับกันหมายความว่า วงล้อมีความต้านทานต่ำต่อการเสียดสีจากอนุภาคในกระแสอากาศ อย่างไรก็ตามในการใช้งานในหลาย ๆ กรณีที่มีอนุภาคฝุ่นผงไม่เป็นปัญหา วงล้อลักษณะนี้มีการประยุกต์ใช้ได้กว่างโดยที่ประสิทธิภาพสถิตย์ค่อนข้างสูงระหว่าง 77% ถึง 80%

- ใบแอร์ฟอยล์กลวง (Hollow Airfoil Blade)

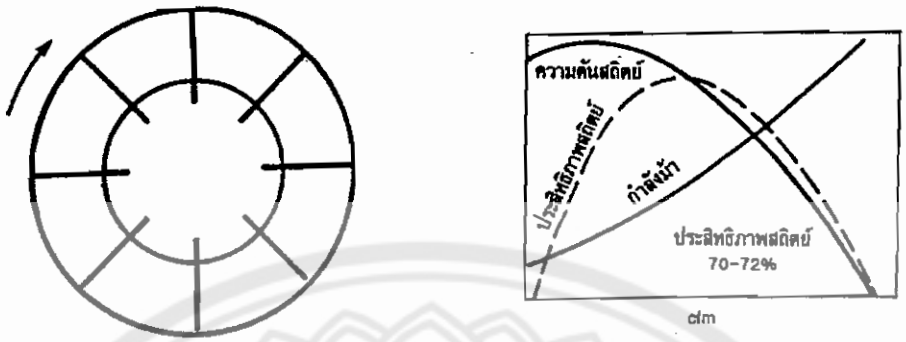
ปัจจุบันนำมาประยุกต์ใช้งานในหลาย ๆ กรณี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของพัดลม โดยลักษณะใบมีลักษณะคล้ายปีกเครื่องบิน ซึ่งช่วยให้การไหลของกระแสอากาศราบเรียบอย่างมาก และทำให้ประสิทธิภาพสูงถึง 91% อย่างไรก็ตามเนื่องจากใบแอร์ฟอยล์ต้องสร้างขึ้นจากแผ่นเหล็กกล้านำมาประกอบเป็นรูปทรงแอร์ฟอยล์ ซึ่งค่อนข้างซับซ้อนกว่าใบชนิดอื่น ๆ จึงทำให้มีราคาแพงมาก นอกจากนี้การซ่อมแซมหรือปรับปรุงใหม่จะมีค่าใช้จ่ายสูงด้วย ดังนั้นใบพัดชนิดนี้จึงใช้งานเฉพาะกับก๊าซที่สะอาดและไม่มีสภาพขัดสี สำหรับการทำงาน มีเสถียรภาพตลอดช่วงอย่างสมบูรณ์ (ดูรูปที่ 2.22) รวมทั้งระดับเสียงค่อนข้างต่ำและสามารถนำมาใช้งาน ณ ความเร็วสูงได้



รูปที่ 2.22 รูปแบบและกราฟแสดงคุณลักษณะของพัดลมชนิดใบแอร์ฟอยล์
ที่มา : ตระการ, 2546

- ใบตรงตามแนวรัศมี (Radial Blade)

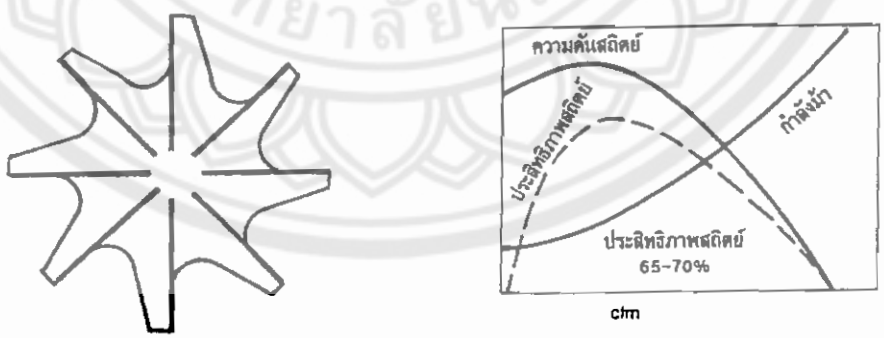
พัดลมชนิดนี้ผลิตกระแสอากาศออกมาในลักษณะการไหลที่ราบเรียบ ซึ่งเป็นผลให้อนุภาคในกระแสก๊าซหันเหออกไปจากพื้นผิวใบ จึงทำให้พัดลมชนิดนี้มีความต้านทานต่อการขัดสีสูงสุด รวมทั้งเนื่องจากใบที่แบนไปตามแนวรัศมี ทำให้กระแสก๊าซตรงออกจากดุมพัดลม มีผลให้พัดลมมีความเร็วจำเพาะต่ำ ซึ่งหมายความว่าพัดลมวิ่งด้วยความเร็วรอบต่ำกว่าพัดลมชนิดใบเอียงไปทางด้านหลังทั้งหมด (แต่เร็วกว่าชนิดใบโค้งหน้า) ที่ให้กำเนิดความดันที่เท่ากัน อันช่วยทำให้พัดลมชนิดนี้เพิ่มความต้านทานต่อการขัดสีได้สูงขึ้นด้วย ดังนั้น พัดลมชนิดนี้จึงใช้สำหรับเคลื่อนย้ายขนถ่ายฝุ่นหรือเศษวัสดุขนาดเล็กได้ดี อย่างไรก็ตามเนื่องจากประสิทธิภาพของพัดลมชนิดนี้ต่ำเพียง 70-72% จึงมีการใช้งานกับภาระที่มีอนุภาคของแข็งปะปนกับกระแสก๊าซจำนวนมากเท่านั้น ซึ่งพัดลมชนิดอื่นไม่เหมาะสมในการใช้งาน เช่น ในกรณีการหมุนเวียน ก๊าซ สันดาป และอากาศขั้นต้นร้อนในเครื่องกำเนิดไอน้ำ รูปที่ 2.23 แสงครูปแบบและกราฟคุณลักษณะของพัดชนิดใบครงตามแนวรัศมีนี้



รูปที่ 2.23 รูปแบบและกราฟคุณลักษณะของพัดลมชนิดใบตรงตามแนวรัศมี
ที่มา : ตระการ, 2546

- ใบเว้าตามแนวรัศมี (Open Radial Blade)

พัดลมชนิดนี้กำหนดคุณลักษณะเป็นพิเศษสำหรับการใช้งานที่มีการขัดสีอย่างรุนแรง เช่น ในกรณีการขนถ่ายขี้เถ้า หรือการขนถ่ายถ่านหินผง หรือวัสดุผง ลักษณะใบมีลักษณะคล้ายใบพายที่ไม่มีแผ่นกลางและมักไม่มีแผ่นข้าง มีโครงสร้างที่แข็งแรงทนต่อการสึกหรอสูง แต่ยังมีการสึกหรอสูงมากเนื่องจากผงของแข็งที่มาขัดสี อย่างไรก็ตามใบสามารถถอดเปลี่ยนทดแทนได้ง่าย สำหรับประสิทธิภาพของพัดลมชนิดนี้จัดว่าต่ำสุด คือเพียง 65-70% รูปที่ 2.24 แสดงรูปแบบและกราฟลักษณะของพัดลมชนิดนี้



รูปที่ 2.24 รูปแบบและกราฟแสดงคุณลักษณะของพัดลมชนิดใบเว้าตามแนวรัศมี
ที่มา : ตระการ, 2546

- ใบปลายโค้ง (Radial-tip Blade)

หรือบางครั้งตู้จักกันในนามใบเอียงไปด้านหลังโค้งหน้า (Backward Inclined, for Ward Curved) นั้นเป็นพัดลมที่ชดเชยพัดลมชนิดใบตรงตามแนวรัศมีที่มีประสิทธิภาพต่ำ โดยพัดลมใบชนิดนี้ให้มุมปะทะที่ต่ำที่ขอบด้านในหรือขอบนำ ซึ่งทำให้กรแสก๊าซเคลื่อนไปตามรูปใบด้วยกระแสปั่นป่วนน้อยที่สุด โดยขอบหางหรือขอบนอกของใบมีลักษณะโค้งขึ้นเกือบจะเป็นทิศทางตามแนวแกน ทำให้พัดลมมีความเร็วจำเพาะต่ำ และดังนั้นมีความต้านทานต่อการขัดสีที่ดี ในด้านการใช้งานมีเสถียรภาพตลอดช่วงของการทำงานและมีประสิทธิภาพสูงประมาณ 78-83% (ดูรูปที่ 2.25)

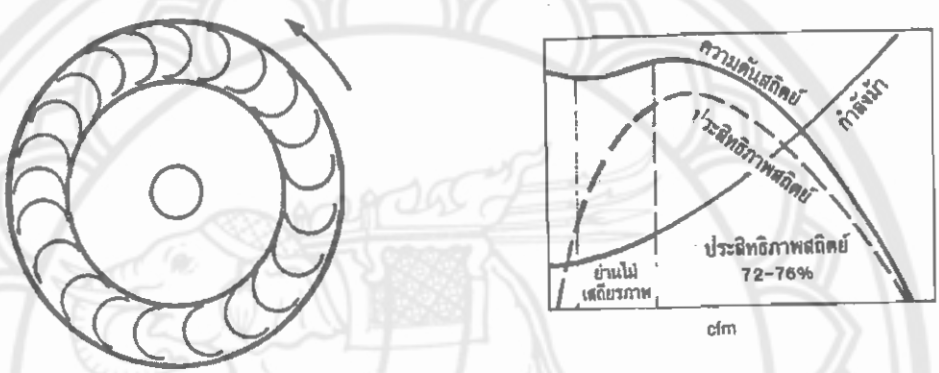
สำหรับคุณลักษณะของพัดลมชนิดนี้ มีคุณลักษณะหลายประการของพัดลมชนิดใบตรงเอียงไปด้านหลัง รวมทั้งประสิทธิภาพที่สูง และกำลังม้าที่จำกัดตัวเอง โดยปกติถือว่าเป็นพัดลมที่ใช้ขนถ่ายกระแสก๊าซที่มีภาระฝุ่นปานกลาง โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้เป็นพัดลมดูดก๊าซออก ซึ่งต้องการความดันจำเพาะสูงและความเร็วจำเพาะต่ำ

รูปที่ 2.25 รูปแบบและกราฟ แสดงคุณลักษณะของพัดลมชนิดใบปลายโค้ง
ที่มา : ตระการ, 2546

- ใบโค้งหน้า (Forward-Curved Blade)

จากลักษณะการติดตั้งทำให้มักเรียกกันว่า โรเตอร์กรงกระรอก (squirrel-cage rotor) ให้ประสิทธิภาพของพัดลมต่ำถึงปานกลาง (72-76%) แต่ความสามารถในการขนถ่ายในปริมาตรที่สูงสำหรับขนาดของพัดลม และเนื่องจากใบมีลักษณะโค้งหน้า ทำให้ฝุ่นผงด่าง ๆ จากกระแสก๊าซที่

สกปรกสะสมอยู่ตามรอยเว้าของใบได้ง่าย ดังนั้นจึงสามารถใช้ได้ดีสำหรับขนถ่ายอากาศที่สะอาดเท่านั้น สำหรับกราฟคุณลักษณะ (ดูรูปที่ 2.26) มีย่านไม่เสถียรภาพที่พัดลมไม่สามารถทำงานได้ที่ชัดเจนมาก โดยทั่วไปจึงมีใช้งานน้อยในระบบเครื่องกำเนิดไอน้ำ แต่มีใช้งานอยู่ทั่วไปในอุปกรณ์ขนถ่ายอากาศที่มีขนาดเล็ก



รูปที่ 2.26 รูปแบบและกราฟคุณแสดงลักษณะของพัดลมชนิดใบโค้งหน้า
ที่มา : ตระการ, 2546

(2) พัดลมแบบใบจักร

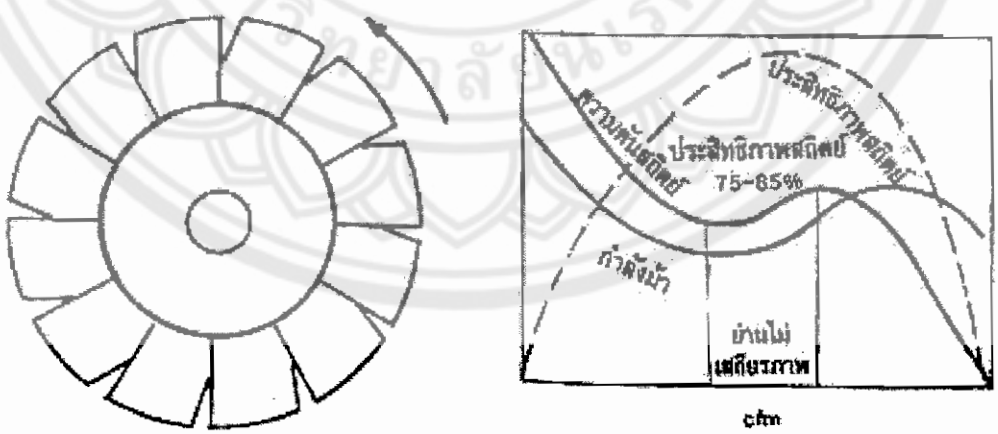
พัดลมแบบใบจักรจะเคลื่อนย้ายอากาศ โดยไม่มีการก่อให้เกิดความดันเด่นชัด และเป็นไปในลักษณะง่ายๆ ด้วยมุมเอียงของใบพัดที่หมุนตัดอากาศ ส่วนการติดตั้งเป็นระบบพัดลมไม่จำเป็นต้องมีเรือนพัดลม เนื่องจากมีผลน้อยมาก หรือแทบไม่มีในการควบคุมการไหลของอากาศ พัดลมชนิดนี้เหมาะที่จะใช้กับการระบายอากาศที่สะอาดเป็นหลัก ซึ่งพบเห็นเป็นพัดลมระบายอากาศทั่วไป

พัดลมใบจักร (Propeller) เป็นพัดลมที่มีความดันต่ำ แต่ปริมาตรสูงเป็นจุดสำคัญ พัดลมแบบใบจักรโดยมาก เป็นรูปแบบง่าย ราคาต่ำ แต่สำหรับการใช้งานของหอระบายความร้อน ความต้องการกำลังและขนาดของพัดลมมีสูงมาก และความถูกต้องทางวิศวกรรมนับเป็นสิ่งสำคัญ รูปที่ 2.27 แสดงรูปแบบของพัดลมชนิดนี้

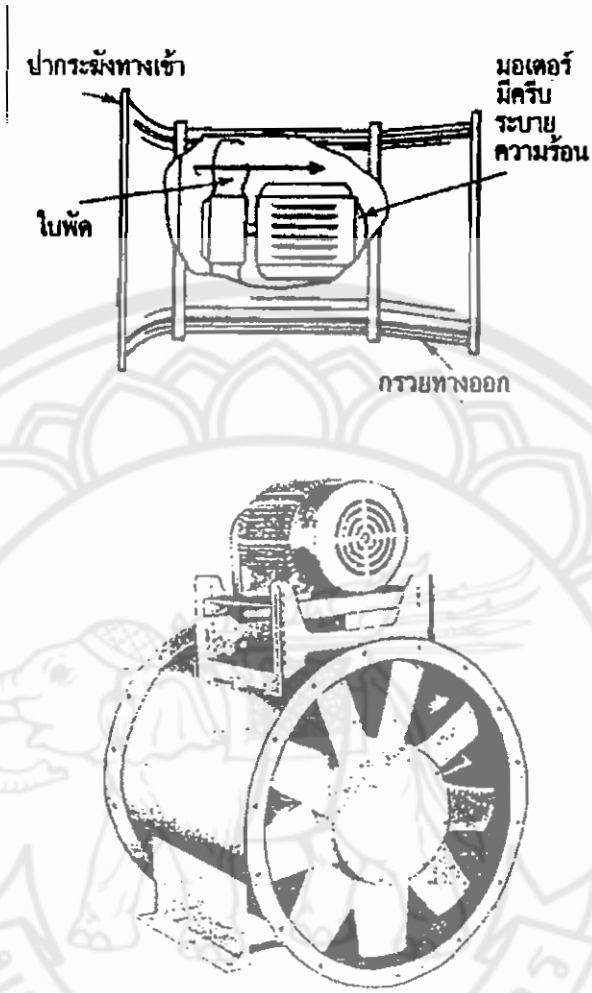
รูปที่ 2.27 รูปแบบพัดลมแบบใบจักร
ที่มา : ตระการ, 2546

(3) พัดลมแบบตามแนวแกน

พัดลมชนิดนี้ คือ พัดลมแบบใบจักร หรือโพรเพลเลอร์ที่ติดตั้งอย่างมิดชิดในตัวถัง หรือตัวเรือนรูปทรงกระบอก หรือท่อ จึงเรียกว่าทิวแอกเซียล (tube axial) โดยในท่อ ความดันจลน์บางส่วนที่ก่อตัวขึ้นด้วยแรงกระแทกของใบต่อกระแสอากาศถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นความดันสถิตย์ ดังนั้นถ้าใบที่มีลักษณะตรงถูกนำมาติดตั้งในท่อ ความดันจลน์หมุนวนถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นความดันสถิตด้วย ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 2.28 รูปแบบและกราฟแสดงคุณลักษณะของพัดลมแบบตามแนวแกน
ที่มา : ตระการ, 2546



รูปที่ 2.29 ชิ้นส่วนและโครงสร้างของพัดลมแบบตามแนวแกน
ที่มา : ตระการ, 2546

สำหรับความดันที่เกิดขึ้นของพัดลมตามแนวแกน เป็นไปตามกฎของพัดลม เช่นเดียวกับที่ใช้กับพัดลมแบบแรงเหวี่ยง แต่จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางดุมใบพัดต่อเส้นผ่าศูนย์กลางปลายใบด้วย (อัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางดุมใบพัดต่อเส้นผ่าศูนย์กลางปลายใบยิ่งสูง ความดันยิ่งเพิ่มสูงขึ้น) สำหรับพัดลมแบบใบจักรธรรมดา (ไม่มีตัวถัง) ส่วนของใบชิดกับดุมใบถูกสวมครอบเข้าด้วยกันและเคลื่อนที่ ณ ความเร็วที่ต่ำลง เป็นผลให้ก๊าซนั้นมีแนวโน้มที่จะเกิดการหมุนวนผ่านศูนย์กลางของพัดลม ในความเป็นจริงทั้งความดันสถิต และประสิทธิภาพของพัดลม สามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการติดตั้งดุมใบครอบ ตลอดวงล้อของพัดลม ส่วนพัดลมตามแนวแกนสำหรับการใช้งานกับโรงจักรต้นกำลังได้รับการออกแบบให้มีอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางดุมใบต่อเส้นผ่าศูนย์กลางปลายใบสูง

ในแง่ของคุณลักษณะเชิงสมรรถนะของพัดลมแบบตามแนวแกน มีรูปแบบที่เด่นชัดของพื้นที่ความไม่เสถียรภาพของเครื่องที่ทำให้เครื่องเดินเครื่องอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ทางด้านซ้ายของจุดความดันสูงสุด (รูปที่ 11) ลักษณะเช่นนี้เป็นสาเหตุเนื่องจากใบพัดลมที่เสียอาการทรงตัว เช่นเดียวกับการเสียอาการทรงตัวของปีกเครื่องบิน ฉะนั้นถ้าพัดลมมีการใช้งานในย่านนี้ (เช่น จากสาเหตุการปิดกั้นการไหลโดยไม่ได้ตั้งใจ) พัดลมยังคงดำเนินการเพิ่มพลังงานเข้าไปในก๊าซโดยที่ไม่มีการก่อให้เกิดการไหลที่เด่นชัด และทำให้ตัวเรือนพัดลมเกิดความร้อนขึ้นสูงอย่างรวดเร็วภายใต้สภาวะดังกล่าว

ย่านเสียอาการทรงตัว (stall) นี้ รวมทั้งการที่ก่อให้เกิดความดันที่ค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 20 นิ้วน้ำสูงสุด) ของพัดลมแบบตามแนวแกนขั้นตอนเดียว และจากการที่ใบพัดลมทำจากการหล่อหรือขึ้นรูปด้วยเครื่องจักร คาดว่าสึกหรอได้มากจากอนุภาคฝุ่นในกระแสก๊าซ และการซ่อมแซมทำได้ยาก และมีราคาแพงกว่าพัดลมแบบแรงเหวี่ยง จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้ในโรงจักรต้นกำลังมากนัก

ปัญหาโดยทั่วไปเกี่ยวกับย่านเสียอาการทรงตัวนี้ จะเกิดขึ้นกับพัดลมเป่าอากาศสองตัวที่ทำงานในลักษณะขนานกัน ถ้าพัดลมตัวหนึ่งใช้งานในตอนแรก ที่ภาระของเตาเผาต่ำ จะเป็นไปไม่ได้เลยที่ทำให้พัดลมตัวที่สองมีอัตราเร็วสูงขึ้นผ่านย่านเสียอาการทรางตัวนี้ โดยไม่ลดภาระของพัดลมตัวแรกลง

จากการที่ในปัจจุบัน ใบกังหันแบบตามแนวแกนสามารถควบคุมการไหลด้วยการปรับมุมบิดได้ (varible-pitch blade) แลการที่กระแสก๊าซมีอนุภาคฝุ่นที่ลดลงจากการเอาใจใส่เรื่องการควบคุมมลภาวะอากาศ รวมทั้งการที่เป็นพัดลมที่สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าแบบแรงเหวี่ยง ทำให้การใช้งานพัดลมแบบนี้ในวงการอุตสาหกรรม และด้านการผลิตกำลังมีมากขึ้น

2.7.2 ทฤษฎีพื้นฐานในการคำนวณสมรรถนะของพัดลม

ในการทำให้อากาศเคลื่อนที่ก่อตัวเป็นกระแสอากาศของพัดลม เกิดขึ้นจากการที่พัดลมหมุนด้วยความเร็ว และทำให้ความดันระหว่างทางเข้าและทางออกของพัดลมเกิดความแตกต่างของความดัน ความดันก่อตัวขึ้นโดยพัดลม โดยปกตินิยมวัดเป็นนิ้วน้ำ มากกว่าจะวัดเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว (หรือปาสคาลในหน่วย SI) โดยวัดออกมาเป็นผลต่างความดันระหว่างทางเข้าและทางออกของพัดลม

(1) ความดันสถิตย์ (Static Pressure)

คือ แรงต่อหน่วยพื้นที่ที่กระทำต่อผนังโดยของไหลที่อยู่ใกล้เคียง โดยของไหลที่อยู่ในลักษณะหยุดนิ่งเมื่อเทียบกับผนัง ดังนั้นขณะที่พัดลมหมุน แต่ได้ปิดทางออกของพัตลมให้สนิท ด้วย

แผ่นกั้นหรือแดมเปอร์ (damper) ซึ่งทำให้กระแสอากาศที่เกิดขึ้นไม่สามารถไหลต่อไปได้ ความดันทั้งหมดที่ก่อตัวขึ้นคือความดันสถิตย์ และสามารถวัดค่าออกมาได้ด้วยมาโนมิเตอร์ (manometer) หรือมาตรวัดความดัน (pressure gage)

(2) ความดันจลน์ (Velocity Pressure)

คือ ความดันของไหลที่มีอยู่ในขณะที่ของไหลมีการเคลื่อนที่ ดังนั้นขณะที่พัดลมหมุนเมื่อแผ่นกั้นเปิดออก และอากาศสามารถไหลผ่านไปได้ ทั้งความดันสถิตและความดันจลน์มีการก่อตัวขึ้น สำหรับความดันจลน์โดยปกติวัดออกมาเป็นพลังงานจลน์ในกระแสอากาศที่กำลังเคลื่อนที่ โดยวัดด้วยพิทอตทิวบ์ (pitot tube) ที่จุดต้นกระแส (upstream) และบันทึกค่าจริงในลักษณะผลต่างระหว่างความดันสถิต และความดันที่เกิดขึ้น โดยกระแสอากาศที่กระทบปลายของพิทอตทิวบ์

(3) ความดันรวม (Total Pressure)

คือ ผลรวมของความดันสถิต และความดันจลน์ โดยในระบบหนึ่ง ๆ ความดันรวมที่เกิดขึ้นของระบบจะมีค่าคงที่ ดังนั้น ถ้าไม่คิดผลกระทบของความร้อน ความเสียดทานของของไหลและงานอื่นใด สำหรับของไหลที่ไม่อัดตัว (ในระบบพัดลมจะพิจารณาของไหลในลักษณะเป็นของไหลไม่อัดตัว เนื่องจากมีผลต่อการคำนวณที่สามารถตัดทิ้งได้)

(4) กำลังของมอเตอร์ขับพัดลม

กำลังของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนพัดลมให้ได้ปริมาตรของกระแสอากาศ และความดันสถิตย์ตกคร่อมระหว่างพัดลมตามต้องการอาจหาได้จากสมการระบบทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่มีการไหลคงตัว เมื่อพิจารณาว่า ผลต่างความดันสถิตคร่อมพัดลม มีค่าน้อย และการไหลของกระแสอากาศหรือก๊าซเป็นชนิดไม่อัดตัว หรือปริมาตรจำเพาะ (υ) หรือความหนาแน่น (ρ) คงที่จะได้

$$W = \frac{m\upsilon\Delta P}{\eta_m} \qquad (2.12)$$

W = กำลังของมอเตอร์

m = อัตรามวลการไหลของอากาศ

υ = ปริมาตรจำเพาะของอากาศ

ΔP = ผลต่างความดันสถิตคร่อมพัดลม

η_m = ประสิทธิภาพของมอเตอร์ขับพัดลม

กรณีที่คิด กำลังของพัดลม เป็นกำลังม้าในเทอมของอัตราปริมาตรการไหลของอากาศหรือก๊าซ Q (ft^3/min หรือ cfm) และ ΔP เป็นนิ้วของน้ำได้

$$W = \frac{Q\Delta P}{6356\eta_m} \quad (2.13)$$

(5) ความดันสถิตของพัดลม

ความดันสถิตของพัดลมสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Fan SP} = SP_o - SP_i - VP_i \quad (2.14)$$

$$\text{Fan TP} = \text{Fan SP} + VP_o \quad (2.15)$$

ตารางที่ 2.6 คุณลักษณะการทำงานของพัดลมบางชนิด

ชนิดของพัดลม	ใบโค้งหน้า	ใบโค้งหลัง	ใบตรงตามแนวรัศมี	ตามแนวแกน
ขนาดของใบ	เล็ก	ปานกลาง	ปานกลาง	ทุกขนาด
ประสิทธิภาพเชิงกล	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง	ค่อนข้างสูง
เสถียรภาพ	ต่ำ	ดี	ดี	ต่ำ
ความเร็วพัดลม	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง-สูง
ความเร็วปลายใบ	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	-
ความต้านทานต่อการขัดสี	ต่ำ	ปานกลาง	ดี	ต่ำ
ระดับเสียง	**ต่ำ**	**ปานกลาง**	**สูง**	**ปานกลาง**

ที่มา : ตระการ, 2546