

AIR POLLUTION CONTROL SYSTEM GUIDE BOOK

PART 1

First EDITION

VENTILATION SYSTEM

AND

**AIR POLLUTION CONTROL DEVICE
SELECTION**

แปล และ เรียบเรียง โดย ... เมธี เพชรหมณีโชติ

ENCOTM
ENCO ENGINEERING AND TRADING CO.,LTD.

สารบัญ

เนื้อหา

บทที่

หน่วย และการแปลงหน่วย	1
คำจำกัดความ	2
ฟิสิกส์ของอากาศ	3
มลพิษทางอากาศ	4
ระบบระบายอากาศในอุตสาหกรรม	5
HOOD และการออกแบบ HOOD	6
การหาความดันสูญเสียในระบบท่อลม	7
ขั้นตอนในการออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์บำบัดอากาศ	8
การเลือกใช้อุปกรณ์บำบัดอากาศให้เหมาะสมกับอุตสาหกรรม	9

บทที่ 1

หน่วย และการ แปลงหน่วย

หน่วย (Unit) มีความสำคัญมาก ในการออกแบบระบบ ระบบอากาศ และ อุปกรณ์ บำบัด อากาศ เพราะมีผลต่อขนาด ของระบบ ซึ่งจะส่งผลต่อ เนื่อง ไปถึง ราคา และ ประสิทธิภาพ ของระบบ ไม่ตรงกับความเป็นจริงที่เกิดขึ้น ดังนั้น หน่วย (Unit) จึงเป็น ความรู้พื้นฐาน ที่ใช้ในการ ออกแบบ , กำหนดขนาด , หาจำนวน และ ปริมาณ วัสดุ อุปกรณ์ หน่วยที่ใช้จะมีอยู่ 2 ระบบด้วยกัน คือ ระบบ เมตริก (Metric Unit) และ ระบบ อังกฤษ (U.S. Unit) แต่ในปัจจุบัน ระบบเมตริก ได้ปรับเปลี่ยนเป็นระบบสากล หรือ ระบบ เอสไอ (SI Unit)

ตารางสรุป หน่วยที่ใช้ในแต่ละระบบ

1. หน่วย หลักพื้นฐาน

หน่วย	ตัวแปร ไวยมิตี	ระบบเอสไอ		ระบบอังกฤษ	
		หน่วย	สัญลักษณ์	หน่วย	สัญลักษณ์
ความยาวหรือ ระยะทาง	L	เมตร	m	ฟุต	ft
มวล	M	กิโลกรัม	kg	ปอนด์	lb
เวลา	T	วินาที	s	วินาที	s
กระแสไฟฟ้า	-	แอมแปร์	A	แอมแปร์	A
แรงเคลื่อนไฟฟ้า	-	โวลต์	V	โวลต์	V
อุณหภูมิ	-	องศาเซลเซียส	C	องศาฟาเรนไฮต์	F
อุณหภูมิทางเทอร์โมไดนามิก	-	เคลวิน	K	แรงคิล	R
ความเข้มของการส่องสว่าง	-	แคนเดลา	cd	-	-
จำนวนของสาร	-	โมล	mol	-	-

2. หน่วย อนุพันธ์ เป็นหน่วย ซึ่งมีหน่วยหลักหลายหน่วยมาเกี่ยวเนื่องกัน เช่น หน่วย ความเร็ว เป็น เมตร ต่อ วินาที ซึ่งมีเมตร และวินาที ที่เป็นหน่วยหลัก

ตาราง สรุป หน่วย อนุพันธ์

หน่วย	ตัวแปร ไร้มิติ	ระบบเอสไอ		ระบบอังกฤษ	
		หน่วย	สัญลักษณ์	หน่วย	สัญลักษณ์
พื้นที่	L^2	ตารางเมตร	m^2	ตารางฟุต	ft^2
ปริมาตร	L^3	ลูกบาศก์เมตร	m^3	ลูกบาศก์ฟุต	ft^3
ความเร็ว	MT^{-1}	เมตรต่อวินาที	m/s	ปอนด์	lb
ปริมาตรการไหล	MT^{-3}	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที	m^3/s	ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที	ft^3/s
ความดัน	ML^{-2}	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร	kg/cm^2	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว	lb/in^2
ความหนาแน่นของไหล	ML^{-3}	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	kg/m^3	ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต	lb/ft^3
กำลังงานไฟฟ้า	-	กิโลวัตต์	kW	แรงม้า	Hp

3. คำอุปสรรค (Prefixes) : ซึ่ง ใช้แทนตัวพหุคูณ (decimal multiples and sub-multiples) ใช้เปลี่ยนค่าในหน่วยพื้นฐาน หรือหน่วย อนุพันธ์ ที่มีค่า มาก หรือน้อย เกินไป เป็นตัวเลขคูณด้วยสิบยกกำลัง บวก หรือลบ

ตัวพหุคูณ	คำอุปสรรคใช้แทนตัวพหุคูณ		ตัวพหุคูณ	คำอุปสรรคใช้แทนตัวพหุคูณ	
	ชื่อ	สัญลักษณ์		ชื่อ	สัญลักษณ์
10^{18}	เอกซา (exa)	E	10^{-1}	เดซิ (deci)	d
10^{15}	เพต้า (peta)	P	10^{-2}	เซนติ (centi)	c
10^{12}	เทอร่า (tera)	T	10^{-3}	มิลลิ (milli)	m
10^9	จิกะ (giga)	G	10^{-6}	ไมโคร (micro)	μ
10^6	เมกะ (mega)	M	10^{-9}	นาโน (nano)	n
10^3	กิโล (kilo)	k	10^{-12}	พิโก (pico)	p
			10^{-15}	เฟมโต (femto)	f
			10^{-18}	อัตโต (atto)	a
หน่วย					

การแปลงหน่วย

โดยทั่วไปการคำนวณออกแบบในงาน วิศวกรรม บางครั้งอาจจะมีค่าคงที่ ข้อมูล,กราฟ ,ตาราง และ ข้อมูลอื่นๆ ที่ใช้ในการคำนวณ ที่ให้มาอาจจะให้มาใน ระบบอังกฤษ หรือในบางครั้งเป็นหน่วย SI จึงมีความ จำเป็นต้องมีการแปลงหน่วย จากระบบหนึ่งไปสู่อีกระบบหนึ่ง เพื่อสะดวกในการคำนวณ และใช้ข้อมูลนั้นๆ

ในการแปลงหน่วย จะใช้หลักการ ตัวแปรไร้มิติ ในการแปลงหน่วย โดยหน่วยทุกๆ ไป จะประกอบ ไปด้วย 3 มิติ หลัก ด้วยกันคือ

มิติที่ 1 ความยาว (Length) ใช้สัญลักษณ์ “ L “ เช่น มิลลิเมตร , เมตร , นิ้ว , ฟุต

มิติที่ 2 มวล (Mass) ใช้สัญลักษณ์ “ M “ เช่น กรัม , กิโลกรัม , ปอนด์

มิติที่ 3 เวลา (Time) ใช้สัญลักษณ์ “ T “ เช่น วินาที , นาที , ชั่วโมง

มิติ	ระบบ SI		ระบบ อังกฤษ	
	ค่าคงที่	หน่วย	ค่าคงที่	หน่วย
ระยะทาง	25.4	มิลลิเมตร (mm.)	1	นิ้ว (in.)
	1	เมตร (m.)	3.28	ฟุต (ft)
มวล	1	กิโลกรัม (kg)	2.2	ปอนด์ (lb)
เวลา	-	วินาที (s)	-	วินาที (s)

จากตารางข้างบน เป็นค่าคงที่ พื้นฐาน ที่ใช้ในการแปลงหน่วย ของ ระบบ SI และ ระบบ อังกฤษ ในแต่ ละมิติ

หลักการแปลงหน่วยจะต้อง นำหน่วย และค่าคงที่ที่มากคูณและ หาร โดยตัดหน่วยที่ไม่ต้องการออกจนเหลือ หน่วยที่ต้องการ และค่าคงที่ก็นำมาคูณ หาร กัน

ตัวอย่าง ปริมาณลม 1 CMM มีกี่ CFM

วิธีทำ

$$\text{CMM} = \text{ลูกบาศก์เมตรต่อนาที} = \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$\text{CFM} = \text{ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที} = \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

$$\frac{(1) \text{ m}^3}{\text{min}} \times \frac{(3.28)^3 \text{ ft}^3}{(1)^3 \text{ m}^3} = 35.28 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

บทที่ 2

คำจำกัดความที่สำคัญ

เกี่ยวกับคุณภาพอากาศและการตรวจวัด

TLV (Threshold Limit Value) : ระดับค่าความเข้มข้นของสารเคมีที่มีผลกระทบต่อคน ประกาศ

โดย ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)

TWA (Time-Weighted Average exposure): ความเข้มข้นของสารเคมีเกินกว่าผู้ปฏิบัติงานจะรับได้ในแต่ละรอบของการทำงาน บริเวณที่เปิดโล่ง

LEL (Lower Explosive Limit): ค่าต่ำสุดของการ ติดไฟ หรือ การ ระเบิด ของแก๊ส หรือ ไอ ที่ อุณหภูมิ ปกติ มีหน่วย เปอร์เซ็นต์ของแก๊ส หรือ ไอ ใน อากาศ โดยปริมาตร

Ceiling exposure limit : ค่ามาตรฐาน ของความเข้มข้น ของแก๊ส หรือ ไอ บริเวณที่ทำงาน เปิดโล่ง กำหนด โดย OSHA (Occupational Safety and Health Act)

Odor Detection Threshold : ค่าความเข้มข้น แก๊ส หรือ ไอ ที่เริ่ม ได้กลิ่น

Odor Recognition Threshold : ค่าความเข้มข้น แก๊ส หรือ ไอ ที่ได้กลิ่น จนสามารถ จำกลิ่น ได้

Volatile Organic Compound (VOC) : สารระเหย เกิดจากส่วนประกอบ ของสารอินทรีย์(สิ่งมีชีวิต)

Part Per Million(PPM) : ส่วนในล้านส่วน หน่วยวัด ความเข้มข้น ของมลพิษ

เกี่ยวกับ ระบบระบายอากาศ

Dilution Ventilation Systems : ระบบระบายอากาศ ที่นำอากาศภายนอก เข้ามาเจือจาง

Local Exhaust Ventilation (LEV): ระบบระบาย อากาศที่ดึงอากาศเสียเฉพาะที่

Air Change : จำนวนการนำ อากาศบริสุทธิ์ เข้ามาแทนที่อากาศที่จะทำการระบายออก คิดเป็น จำนวน เท่าของ ปริมาตรห้อง ที่ทำการระบาย

Make-up air : อากาศที่ต้องการเข้า ไป แทนที่ อากาศเสีย ที่ต้องระบายออก

Hood : อุปกรณ์ที่ทำขึ้น เพื่อให้เป็นทางเข้าของอากาศเสีย ในระบบระบาย อากาศ เพื่อควบคุมอากาศเสีย

Damper : ใช้สำหรับปรับ ปริมาณลม ในการกระจายปริมาณลม ของระบบระบายอากาศ

Duct : ท่อสำหรับใช้ลำเลียง อากาศ ที่ แรงดันต่ำ

Differential pressure : ความแตกต่าง ของแรงดัน สถิตย (Static pressure) ระหว่าง 2 ตำแหน่ง

Pressure drop : ความแตกต่าง ของการวัด ที่ 2 ตำแหน่ง ในระบบ ระบายอากาศ รวมทั้ง ความเสียดทาน (Friction) และ การไหลที่ปั่นป่วน (Turbulence)

Pressure loss : พลังงานที่สูญเสียจากระบบระบาย อากาศ ทั้งเกิดจากความเสียดทาน (Friction) และการไหลที่ปั่นป่วน (Turbulence)

Static pressure (SP) : แรงดันที่กระทำในทุกทิศทาง โดยของไหล มี ค่า บวก และ ค่า ลบ

Velocity pressure (VP): แรงดันที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางการไหล ในขณะที่ ของไหลมีการเคลื่อนที่

Total pressure (TP): ผลรวมทางพีชคณิต ระหว่าง Static pressure และ Velocity pressure โดยคำนึงถึงเครื่องหมายที่แสดง

Manometer: เป็นเครื่องมือสำหรับวัดแรงดันโดยทั่วไปจะเป็นหลอดรูปตัว U เดิมของเหลว โดยอ่านค่าแรงดันจากระดับความแตกต่าง ของ ของเหลวในหลอด

Pitot tube : เป็นเครื่องมือสำหรับวัด แรงดันประกอบด้วยท่อ 2 ท่อ ที่สวมกันอยู่ใน เส้นผ่าศูนย์กลางเดียวกัน สามารถวัดได้ ทั้ง Static pressure , Velocity pressure และ Total pressure โดยอ่านค่าแรงดัน จาก Manometer ซึ่งใช้งานร่วมกัน

Standard air density : ความหนาแน่นของอากาศ ที่ สภาวะมาตรฐาน (Standard condition)

Standard condition : ในการระบายอากาศในอุตสาหกรรม จะอยู่ที่ อุณหภูมิ 70 F , 50 % RH และความดันบรรยากาศ 29.92 นิ้วปรอท

Capture velocity : ความเร็วที่ต้องการดึงสิ่งสกปรกเข้าไปใน Hood

Face velocity : ความเร็วในแนวระนาบ ของพื้นที่เปิด Enclosure hood

Slot velocity : ความเร็วที่ช่องเจาะ (Slot) ของ Hood

Transport velocity : ความเร็วในท่อลมที่ต้องการ เพื่อ ป้องกันการตกค้าง ของฝุ่นและอนุภาค

Stack velocity: ความเร็วที่ ปล่องระบาย

System effect : ผลกระทบที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากการติดตั้ง อุปกรณ์ และไฟดัดตั้ง ของระบบ ระบาย อากาศไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

Fan Total Pressure (FTP) : แรงดันสถิตย์รวมของ พัดลม ทั้งด้านดูด (Suction) และ ด้านส่ง (Discharge) เป็น พลังงาน ทั้งหมดที่ต้องการสำหรับ ทำให้อากาศเคลื่อนที่ ในระบบระบายอากาศ

Air horsepower (ap): กำลังที่น้อยที่สุดที่ทำให้อากาศอัดแน่น ด้วย Fan Total Pressure (FTP) เคลื่อนที่ จะแสดงอยู่ในรูป ของกำลังที่ทำให้อากาศผ่านระบบท่อ ที่แต่ละอุณหภูมิ

Brake horsepower (bp): กำลังที่ต้องการจริง ๆ ในการทำงานของพัดลม เพื่อให้ได้ ปริมาณลม และ FTP โดยไม่คำนึงถึง ประสิทธิภาพ ของ พัดลม ถ้ามีการสูญเสียใน พัดลม Brake horsepower จะ เท่ากับ Air horsepowerหาร ด้วย ประสิทธิภาพทางกล (Mechanical efficiency factor)

Shaft horsepower (sp): คือ bp รวมกับกำลังที่ต้องการขับ Loss ที่เกิดขึ้น ลูกปืน , พูลเลย์ , สายพาน ระหว่าง พัดลม และ เพลาของมอเตอร์

Rated horsepower (rp): คือ Nameplate แรงม้า ที่มอเตอร์ ทั่วไปสำหรับเลือกใช้มอเตอร์
เกี่ยวกับ ขบวนการผลิต

Hot process : ขบวนการผลิต ที่มีอุณหภูมิ มากกว่า อุณหภูมิอากาศปกติ

Boiler : หม้อต้มไอน้ำ

Incinerator : เตาเผาขยะ

Hazardous Waste Incinerator : เตาเผาขยะอันตราย

Medical Waste Incinerator: เตาเผาขยะ โรงพยาบาล

Municipal Waste Incinerator: เตาเผาขยะชุมชน

Furnace : เตาหลอม

Aluminium Furnace: เตาหลอมอลูมิเนียม

Open surface tank : ถังเปิดข้างบน ส่วนใหญ่ จะเป็นถังชุบ

Plating process: ขบวนการชุบ

Pickling process : ขบวนการทำความสะอาด โดยวิธีการแช่ในกรด

Dipping process : ขบวนการทำความสะอาด โดยวิธีการ จุ่มในกรด หรือ ด่าง

บทที่ 3

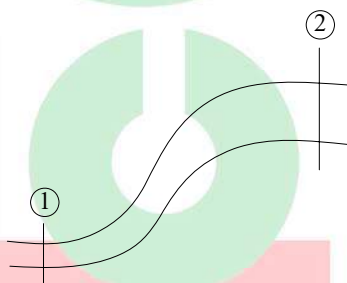
ฟิสิกส์ของอากาศ

กฎการอนุรักษ์มวล (Conservation of mass)

กฎพื้นฐานการไหล ของอากาศ จะพิจารณา สมการ ต่อเนื่อง หรือ กฎการ การอนุรักษ์มวล โดยทั่วไปมวล (m) ของส่วนหนึ่งของระบบ จะมีค่าคงที่ ที่ เวลาหนึ่งๆ (t) ดังนั้น สามารถเขียนเป็น ระบบสมการได้ว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของ มวล เมื่อเทียบกับเวลา แล้วเท่ากับ ศูนย์

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

สำหรับการนำไปใช้ ในการระบายอากาศ ในอุตสาหกรรมนั้น อากาศที่ไหลในท่อนั้นๆ จะเปรียบเสมือนการไหลทิศทางเดียว เราจะใช้คุณสมบัตินี้ ในการเปลี่ยนแปลง พื้นที่หน้าตัดท่อ



จาก รูปที่ 1 เป็นพื้นฐานการไหล ของการไหลแบบ อัดตัวได้ ในทิศทางเดียว เข้าทางเดียวออกทางเดียว เขียน เป็นสมการจะได้

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

ρ = ความหนาแน่น ของของไหล ; lb/ft³

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ ; ft²

V = ความเร็วเฉลี่ยของ ของไหล ; FPM.

ในระบบระบายอากาศอุตสาหกรรม ความดันสมบูรณ์จะมีค่าคงที่ แล้ว ความหนาแน่น ของของไหลก็ขึ้นอยู่กับ ความดันสมบูรณ์ ดังนั้น จะได้ว่า

$$\rho_1 = \rho_2$$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$Q_1 = Q_2$$

เมื่อ $Q = A V$ = อัตราการไหล ; ft³ / min

กฎการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of energy)

เบอร์นูลลี ได้มีการพัฒนา สมการ พลังงานโดยทั่วไป โดยให้ความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงานจลน์ (Kinetic energy) และพลังงานการไหล (Flow energy) และพลังงานศักย์ (Potential energy) สมการนี้สามารถเขียนได้ ในกรณี ที่ ไหล อย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน ของ ของไหล ที่อัดตัวไม่ได้

$$V^2/2g + P/\rho + Z = \text{ค่าคงที่}$$

เมื่อ V = ความเร็ว ; ft / s

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ; ft / s²

P = ความดันสมบูรณ์ ; lb / ft²

ρ = ความหนาแน่น ; lb / ft³

Z = ระดับเหนือจุดอ้างอิง ; ft

ในแต่ละเทอม ของสมการ จะมีหน่วย เป็นความสูงของของไหล (ft of water)

เมื่อ พิจารณา 2 จุด จะได้ว่า

$$\{ (V_2^2 - V_1^2) / 2g \} + \{ (P_2 - P_1) / \rho \} + (Z_2 - Z_1) = 0$$

และถ้า มีการสูญเสีย เกิดขึ้น จากจุด ที่ 1 $\rightarrow$ 2 สามารถเขียนสมการได้ว่า

$$\{ V_1^2 / 2g \} + \{ P_1 / \rho \} + Z_1 = \{ V_2^2 / 2g \} + \{ P_2 / \rho \} + Z_2 + \text{Loss} (1 \rightarrow 2)$$

ความดัน (Pressure)

การไหลของอากาศ ในท่อ จะมีความดัน เกิดขึ้น 3 ชนิด ด้วยกัน คือ

1. Static Pressure (SP)
2. Velocity Pressure (VP)
3. Total Pressure (TP)

ความดัน ทั้ง 3 มีความสัมพันธ์ กัน ดังนี้

$$TP = SP + VP$$

Static pressure (SP) : บางครั้งเรียกว่า “ **Frictional pressure** “ หรือ “ **Resistant Pressure** “ จะมีค่าได้ทั้ง บวก และ ลบ ทิศทางของแรงดัน จะกระทำ ทุกทิศทาง โดยของไหล จะอยู่ได้ทั้ง สภาพ ขยายตัว และ อัดตัว และ ความดัน ยังคงมีอยู่ ถึงแม้ว่าอากาศ ไม่มีการเคลื่อนที่ และใน ขณะที่อากาศเริ่ม เคลื่อนที่ จะเป็นตัวทำให้เกิดความต้านทานในการไหลที่ ผิวท่อ ผลของความต้านทานนี้ จะ จำกัด รูปแบบ ของของไหล

สำหรับ ในระบบ ระบาย อากาศ **Static pressure** จะมีค่าเป็นลบ เมื่อ อยู่ทางด้านดูด ของพัดลม และมีค่าเป็น บวก เมื่ออยู่ทางด้านส่ง ของพัดลม

Velocity pressure (VP) : เป็น ความดัน ที่ทำให้เกิด การเคลื่อนที่ ในทิศทางการไหล จะมีอยู่ ตลอดเวลา ในขณะที่ของไหลมีการเคลื่อนที่ จะมีทิศทางเดียวกับ การเคลื่อนที่ของของไหล และมีค่า เป็น บวก เสมอ ภายใต้อัดตัวยังทำงานอยู่

เป็นไปได้ที่ Velocity pressure (VP) และ Static pressure (SP) มีค่าเท่ากับศูนย์ แต่ทั้งคู่จะไม่เท่ากับศูนย์ในเวลาเดียวกัน

ความสัมพันธ์ ระหว่าง ความเร็วของอากาศ และ Velocity pressure (VP)

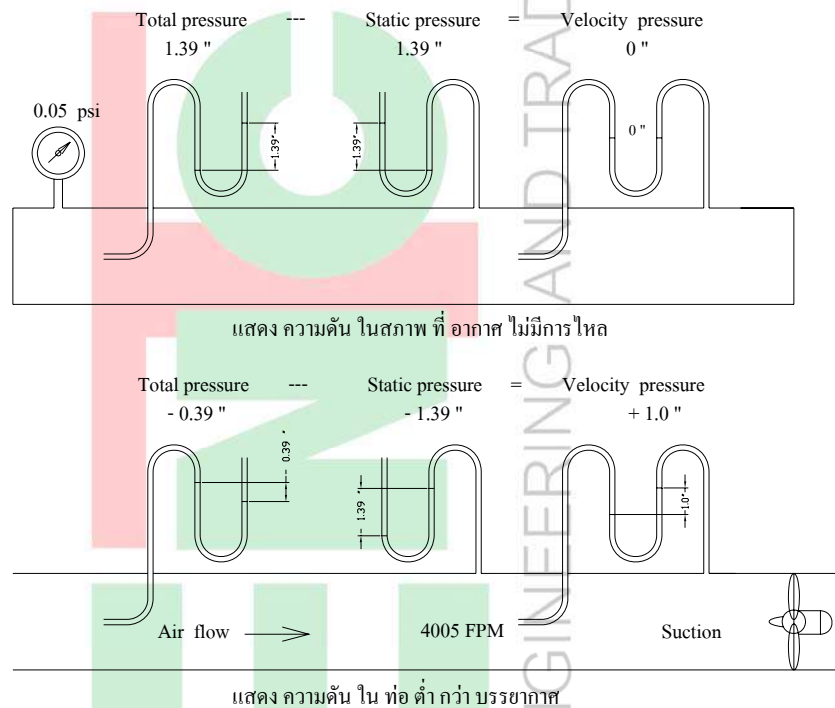
$$V = 4005 \sqrt{VP}$$

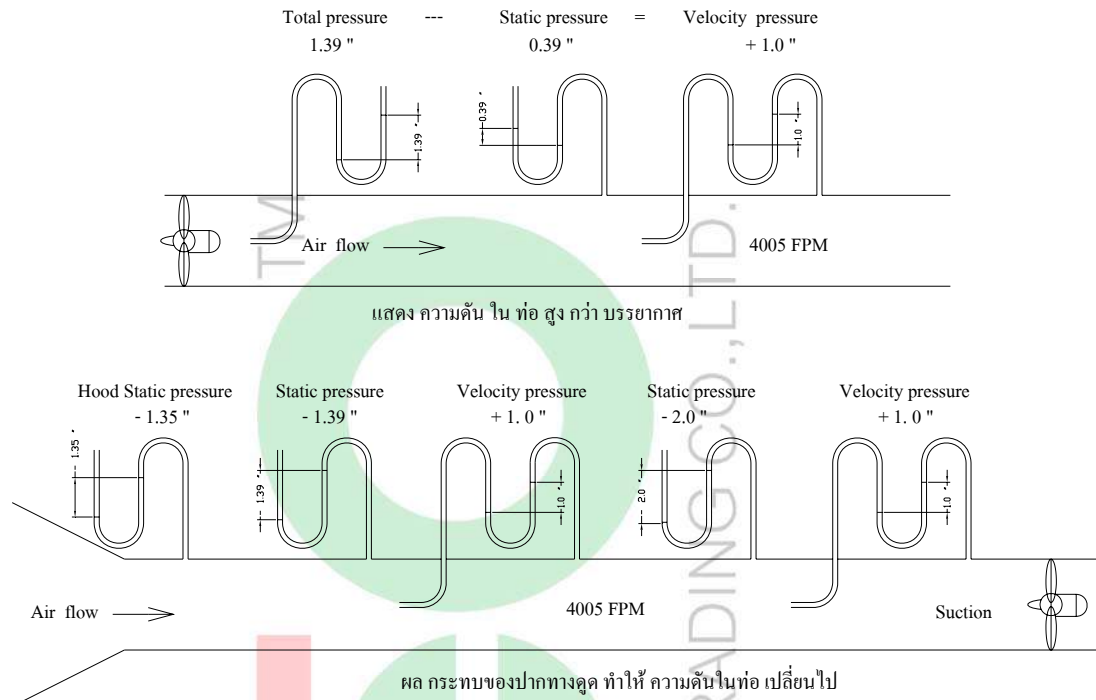
V = ความเร็วการไหล ของ อากาศ ; ft / min

VP = Velocity Pressure ; inch. of water

Total pressure (TP): หมายถึง ความดัน ที่ต้องการ ในการเริ่มต้น และ รักษาการไหล ของการเคลื่อนที่ของอากาศ ที่ไหล ผ่าน ท่อ

ภาพแสดง ความสัมพันธ์ ระหว่าง SP , VP, TP







บทที่ 4

มลพิษทางอากาศ (Air pollution)

มลพิษทางอากาศ หมายถึง การมีสิ่งแปลกปลอมอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างเจือปนอยู่ในอากาศ เป็นระยะเวลาต่อเนื่องในปริมาณสูงกว่าระดับปกติจนทำให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์ เป็นการบั่นทอนสุขภาพอนามัย และพืชพันธุ์ หรือทรัพย์สินอื่นๆ

แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

1. อนุภาคต่าง ๆ (Particulates) ได้แก่ อนุภาคที่ลอยอยู่ในอากาศ
2. ก๊าซและไอต่างๆ (Gas and Vapour) ที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีในกระบวนการเคมีต่างๆ

1. อนุภาคต่างๆ (Particulates)

แบ่งได้เป็น

1.1 อนุภาคที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต (Viable particles) ได้แก่พวกละอองเกสรของพืช จุลินทรีย์ต่างๆ เช่น แบคทีเรีย รา สปอร์ อนุภาคเหล่านี้มักเป็นปัญหาต่อสุขภาพ เช่น โรคหอบหืด

1.2 อนุภาคที่เกิดจากสิ่งไม่มีชีวิต (Nonviable particles) มักเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ และธรรมชาติ ได้แก่

- ฝุ่น (Dust) เป็นอนุภาคของแข็งมีขนาดใหญ่กว่า 5 Micron
- ควีน (Smoke) เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 Micron เกิดจากเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์
- ขี้เถ้า (Ash) เป็นอนุภาคที่เล็กกว่าฝุ่นเป็นสิ่งที่เหลือจากเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และแร่ธาตุๆ
- เขม่า (Soot) เป็นอนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวของอนุภาคเล็กๆของคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์
- ฟูม (Fume) เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากเกิดจากความแน่น (condensation) ของไอ จากปฏิกิริยาบางชนิด ซึ่งขนาดจะเล็กกว่า 1 Micron เช่น ออกไซด์ของโลหะ รวมไปถึงออกไซด์ของตะกั่ว
- ละอองไอ (Mist) มีขนาดตั้งแต่ 500 um ได้แก่อนุภาคที่เป็นของเหลว ซึ่งเกิดจากการควบแน่นของไอหรือก๊าซบางอย่างหรือเกิดจากแยกตัวของของเหลวจากกระบวนการบางอย่าง

2. ก๊าซและไอต่างๆ (Gas and Vapor)

ได้แก่

2.1 ออกไซด์ของคาร์บอน (Carbon oxide ; co x) ที่สำคัญได้แก่

2.1.1 คาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide ; co₂) เป็นองค์ประกอบของอากาศ โดยปกติแล้วไม่นับว่าคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ ปัจจุบัน co₂ เพิ่มขึ้นด้วยอัตราประมาณ 0.7 ฟีเอ็มต่อปี จึงทำให้มีผลกระทบต่ออุณหภูมิโลก ที่เรียกว่า **ปรากฏการณ์เรือนกระจก**

2.2.2 คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide ; co x) เป็นก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เป็นก๊าซที่ไม่มีสี-กลิ่น ไม่เกิดการระคายเคืองแต่มีอันตรายมากถึงชีวิตถ้าได้รับเข้าไปในปริมาณมาก

2.2 ออกไซด์ของซัลเฟอร์ (Sulphur oxide ; SOx) ได้แก่ SO₂ และ SO₃ เกิดจากการเผาไหม้ของซัลเฟอร์หรือเชื้อเพลิงที่มีซัลเฟอร์ปนอยู่ เช่น น้ำมันและถ่านหิน หรือเกิดจากการถลุงโลหะ ที่มีสารซัลเฟอร์

2.3 ออกไซด์ของไนโตรเจน (Nitrogen oxide ; NOx) ได้แก่ NO และ NO₂ ทั้งสองชนิดนี้เกิดจากการเผาไหม้ต่างๆ ที่อุณหภูมิสูงๆ

2.4 ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน และ ไฮโดรเจน เป็นหลัก

2.5 ออกซิแดนท์ (Oxidants) ได้แก่ โอโซน (Ozone ; O₃)

2.6 กลิ่น (Odor) เกิดจากการเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์

การแบ่งขนาด ของ อนุภาค

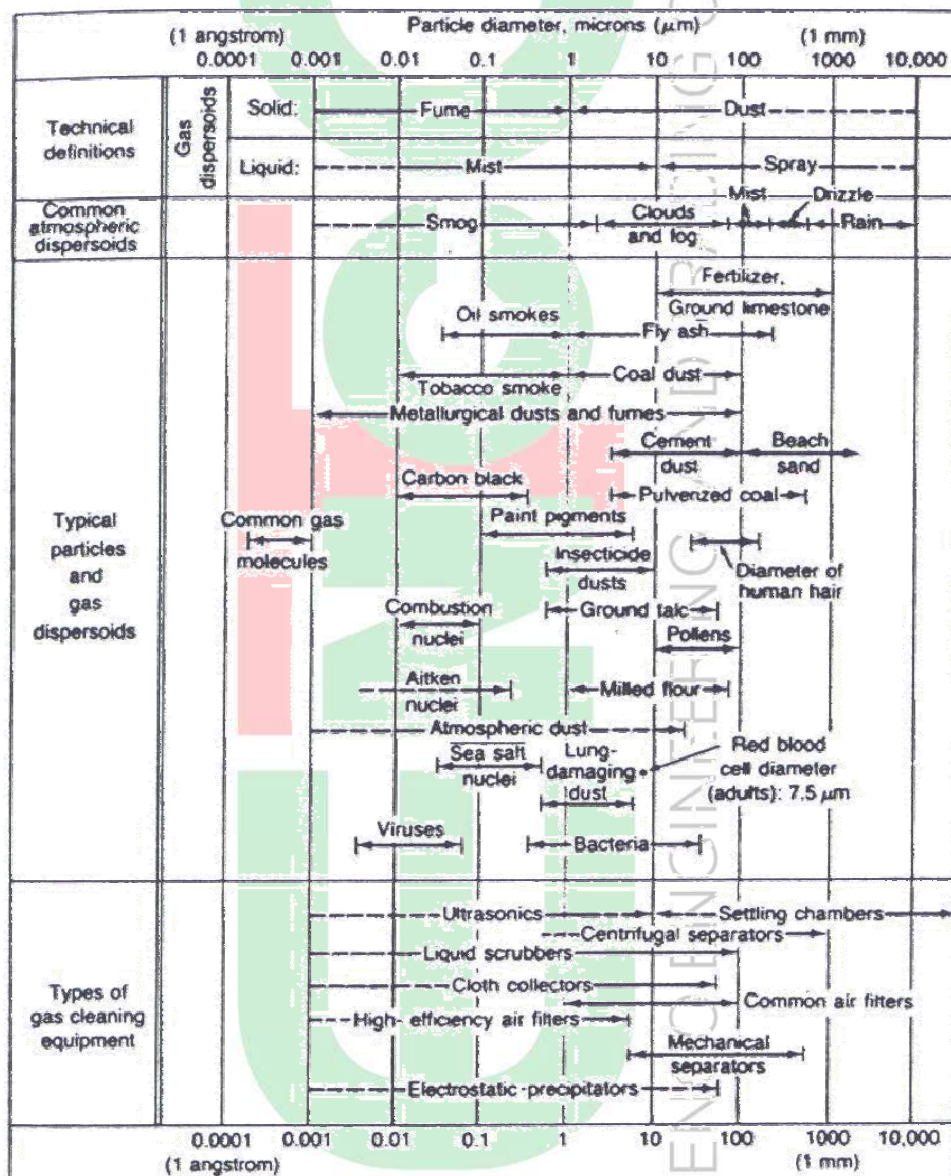


Figure 3.1
Characteristics of particles and particle dispersoids.
(Adapted from Lapple, 1961.)

Table 5-2 Types of Air Contaminants

<i>Airborne Material</i>	<i>Size Range, μm</i>	<i>Characteristics</i>
Dust (Airborne)	0.1–30.0	Generated by pulverization or crushing of solids. Typical examples are rock, metal, wood and coal dust. Particles may be up to 300–400 μm but those above 20–30 μm usually do not remain airborne.
Fumes	0.001–1.0	Small solid particles created by condensation from vapor state, especially volatilized metals as in welding. Fumes tend to coalesce into larger particles as the small fume particles collide.
Mists	0.01–10.0	Suspended liquid particles formed by condensation from gaseous state or by dispersion of liquids. Mists occur above open surface electroplating tanks.
Smokes	0.01–1.0	Aerosol mixture from incomplete combustion of organic matter. This size range does not include fly ash.
Vapors	0.005	Gaseous forms of materials that are liquids or solids at room temperature. Many solvents generate vapors.
Gases	0.0005	Materials that do not usually exist as solids or liquids at room temperature, such as carbon monoxide and ammonia. Under sufficient pressure and/or low temperature they can be changed into liquids or solids.

Source: Reference 11.



Table 2.1 Odorous compounds in wastewater (AIHA, 1989; Moore *et al.*, 1983; and Sullivan, 1969).

Compound name	Formula	Molecular weight	Volatility at 25°C, ppm (v/v)	Detection threshold, ppm (v/v)	Recognition threshold, ppm (v/v)	Odor description
Acetaldehyde	CH ₃ CHO	44	Gas	0.067	0.21	Pungent, fruity
Allyl mercaptan	CH ₂ :CHCH ₂ SH	74		0.000 1	0.001 5	Disagreeable, garlic
Ammonia	NH ₃	17	Gas	17	37	Pungent, irritating
Amyl mercaptan	CH ₃ (CH ₂) ₄ SH	104		0.000 3	—	Unpleasant, putrid
Benzyl mercaptan	C ₆ H ₅ CH ₂ SH	124		0.000 2	0.002 6	Unpleasant, strong
n-Butyl amine	CH ₃ (CH ₂)NH ₂	73	93 000	0.080	1.8	Sour, ammonia
Chlorine	Cl ₂	71	Gas	0.080	0.31	Pungent, suffocating
Dibutyl amine	(C ₄ H ₉) ₂ NH	129	8 000	0.016	—	Fishy
Diisopropyl amine	(C ₃ H ₇) ₂ NH	101		0.13	0.38	Fishy
Dimethyl amine	(CH ₃) ₂ NH	45	Gas	0.34	—	Putrid, fishy
Dimethyl sulfide	(CH ₃) ₂ S	62	830 000	0.001	0.001	Decayed cabbage
Diphenyl sulfide	(C ₆ H ₅) ₂ S	186	100	0.000 1	0.002 1	Unpleasant
Ethyl amine	C ₂ H ₅ NH ₂	45	Gas	0.27	1.7	Ammonialike
Ethyl mercaptan	C ₂ H ₅ SH	62	710 000	0.000 3	0.001	Decayed cabbage
Hydrogen sulfide	H ₂ S	34	Gas	0.000 5	0.004 7	Rotten eggs
Indole	C ₈ H ₇ (CH) ₂ NH	117	360	0.000 1	—	Fecal, nauseating
Methyl amine	CH ₃ NH ₂	31	Gas	4.7	—	Putrid, fishy
Methyl mercaptan	CH ₃ SH	48	Gas	0.000 5	0.001 0	Rotten cabbage
Ozone	O ₃	48	Gas	0.5	—	Pungent, irritating
Phenyl mercaptan	C ₆ H ₅ SH	110	2 000	0.000 3	0.001 5	Putrid, garlic
Propyl mercaptan	C ₃ H ₇ SH	76	220 000	0.000 5	0.020	Unpleasant
Pyridine	C ₅ H ₅ N	79	27 000	0.66	0.74	Pungent, irritating
Skatole	C ₉ H ₉ N	131	200	0.001	0.050	Fecal, nauseating
Sulfur dioxide	SO ₂	64	Gas	2.7	4.4	Pungent, irritating
Thiocresol	CH ₃ C ₆ H ₄ SH	124		0.000 1	—	Skunky, irritating
Trimethyl amine	(CH ₃) ₃ N	59	Gas	0.000 4	—	Pungent, fishy

มลพิษเฉพาะชนิดจากอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ

ชื่อของสาร	สูตรเคมี	อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง
ไฮโดรเจนฟลูออไรด์	HF	อุตสาหกรรมปุ๋ย อุตสาหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมอลูมิเนียม
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	H ₂ S	โรงกลั่นน้ำมัน เชื้อกระดาศ อุตสาหกรรมก๊าซ แอมโมเนีย
ไฮโดรเจนคลอไรด์	HCl	อุตสาหกรรมโซดาไฟ กระบวนการพลาสติก
ไนโตรเจนไดออกไซด์	NO ₂	การผลิตกรดดินประสิว อุตสาหกรรมที่มีการสันดาป
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	SO ₂	การผลิตกรดกำมะถัน น้ำมันเตา โรงงานเชื้อกระดาศ
คลอรีน	Cl ₂	อุตสาหกรรมโซดาไฟ
ซิลิกอนฟลูออไรด์	SiF ₄	อุตสาหกรรมปุ๋ย
ฟอสจีน	COCl ₂	อุตสาหกรรมย้อมสี การสังเคราะห์สารอินทรีย์
คาร์บอนไดซัลไฟด์	CS ₂	การผลิตคาร์บอนไดซัลไฟด์ ตัวทำละลาย การฆ่าเชื้อของพืช
ไฮโดรเจนไซยาไนด์	HCN	การผลิตกรด hydrocyanic , เหล็ก , ก๊าซ และเคมี
แอมโมเนีย	NH ₃	ปุ๋ย การชุบโลหะ เวชภัณฑ์อินทรีย์ และอนินทรีย์ พัมพ์เขียว
ฟอสฟอรัสไตรคลอไรด์	PCl ₃	การผลิตเวชภัณฑ์ ฟอสฟอรัสไดคลอไรด์
ฟอสฟอรัสเพนตะคลอไรด์	PCl ₅	ฟอสฟอรัสไตรคลอไรด์ ฟอสฟอรัสไดออกไซด์
ฟอสฟอรัสเหลือง	P ₄	การถลุงฟอสฟอรัส การผลิตสารประกอบฟอสฟอรัส
chlorosulfuric	HSO ₂ Cl	การผลิตเวชภัณฑ์ การผลิตสีย้อมผ้า chlorosulfuric acid
ฟอร์มัลดีไฮด์	HCHO	การผลิตฟอร์มัลลิน หนัง ยางสังเคราะห์
Acrolein	CH ₂ CHCHO	การผลิต acrylic acid ยางสังเคราะห์
ไฮโดรเจนฟอสไฟด์	PH ₃	การผลิตกรดฟอสฟอริก การผลิตปุ๋ยฟอสฟอริก
เบนซีน	C ₆ H ₆	โรงกลั่นน้ำมัน การผลิตฟอร์มัลลิน สี , ตัวทำละลายอินทรีย์
เมธานอล	CH ₃ O	การผลิตเมธานอล , ฟอร์มัลลิน , สี , ยางสังเคราะห์
นิกเกิลคาร์บอนิก	Ni(CO) ₄	อุตสาหกรรมปิโตรเคมี โรงถลุงนิกเกิล
โบรมีน	Br ₂	สีย้อม เวชภัณฑ์ สารเคมีเกษตร
ฟีนอล	C ₆ H ₅ N	อุตสาหกรรม tar ยา เคมี สี ยางสังเคราะห์

บทที่ 5

ระบบระบายอากาศ ในอุตสาหกรรม

(INDUSTRIAL VENTILATION)

การระบายอากาศในงานอุตสาหกรรมนิยมใช้สำหรับ

1. ลดปริมาณสิ่งสกปรกและเป็นพิษ เป็นภัยที่ผสมอยู่ในอากาศให้อยู่ ในเกณฑ์ มาตรฐาน
2. ให้ภาวะอากาศหรืออุณหภูมิและความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม
3. ให้มีการเคลื่อนไหวของอากาศภายในอาคารพอเพียงที่จะระบายความร้อนจากตัวคนเพื่อความรู้สึกสบาย
4. ป้องกันการติดไฟ และการระเบิด ที่เกิดจาก ความ เข้มข้น ของ มลพิษ

ในอุตสาหกรรม จะใช้ เฟคเตอร์ ทั้งหมดนี้ ในการพิจารณาขั้นตอน ในการออกแบบระบบ แต่โดยทั่วไป การออกแบบระบบ จะควบคุม ให้ความเข้มข้น อยู่ ใน ระดับมาตรฐาน ในบริเวณที่ทำงาน (Working area)

การระบายอากาศอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพจะมีผลให้คนงานในอุตสาหกรรมทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ มีสุขภาพดีและปลอดภัย และจะช่วยป้องกันการสะสมของก๊าซ ไอระเหย และฝุ่นละออง ที่เป็นพิษ ต่อสิ่งมีชีวิต หรือวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ด้วย

วิธีการและระบบระบายอากาศในอุตสาหกรรม

สามารถ แบ่งเป็น 4 ระบบ ใหญ่ๆ คือ

1. **Dilute Ventilation** : ระบบระบายอากาศโดยการดึงอากาศบริสุทธิ์เข้า มาเจือจางจะใช้หลักการ “Air change”
2. **Local Exhaust Ventilation (LEV)**: ระบบระบายอากาศโดยการดึงอากาศเสียเฉพาะที่
3. **Dilute and Local Exhaust Ventilation** : ระบบระบายอากาศ โดยวิธีดึงอากาศเสียเฉพาะที่ และ ดึงอากาศบริสุทธิ์ เข้ามาเจือจาง
4. **Recirculation air Ventilation** : ระบบระบายอากาศโดยการนำอากาศที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วไหลเข้า กลับมาบริเวณที่ทำงาน เพื่อการประหยัดพลังงานในกรณีที่บริเวณที่ทำงานมีการปรับสภาวะอากาศ

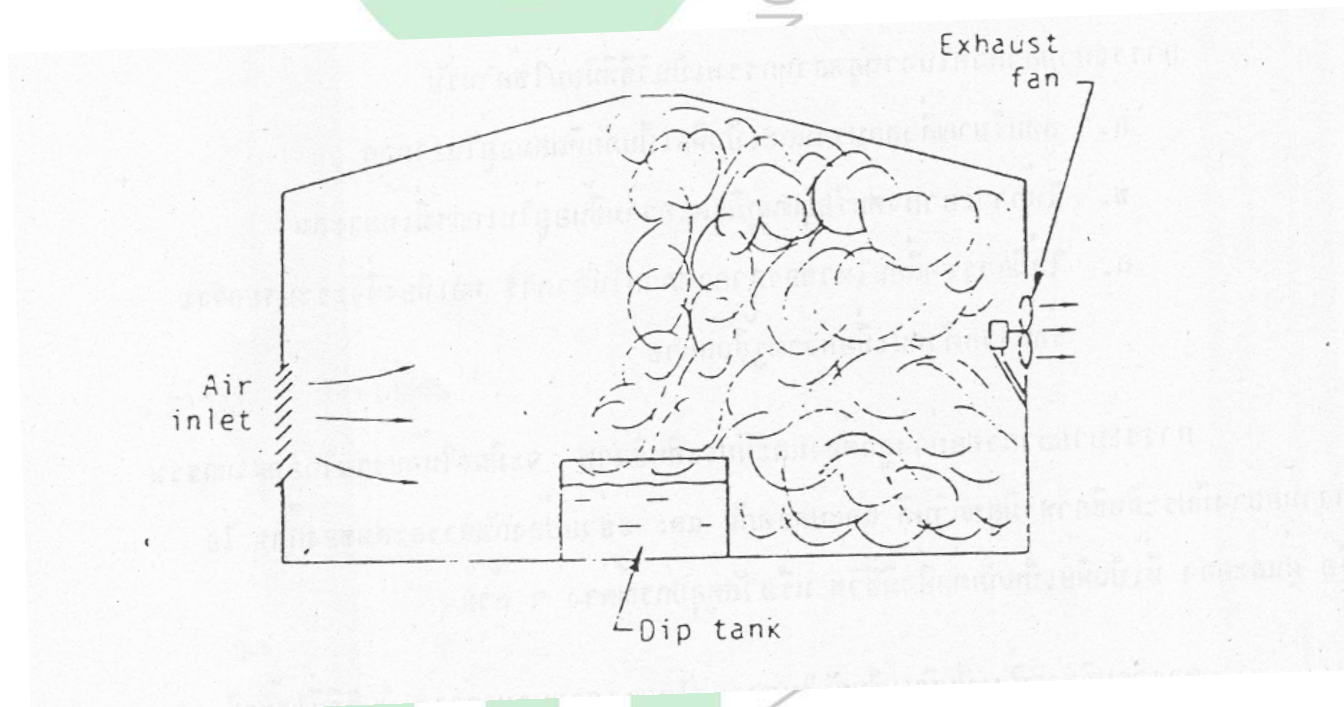
ขั้นตอนการ แก้ปัญหาของการระบาย อากาศในอุตสาหกรรม

สามารถ แบ่งได้ 4 ขั้นตอน ด้วยกันคือ

1. **การปรับปรุงขบวนการ (Process modifications)** : เป็นหนทางแรก ที่จะลด ความเข้มข้น ของมลพิษ โดยวิธีการปรับปรุง หรือ แก้ไข ขบวนการ ผลิต ให้มี ความเข้มข้น ของมลพิษลดลง จนได้ ค่าต่ำกว่า มาตรฐาน ซึ่งถ้าสมมุติว่ามีการแก้ไข ขบวนการผลิต แล้วอาจจะไม่ต้องมีการระบาย อากาศก็ได้
2. **การระบายอากาศเสียเฉพาะจุดที่เกิด (Local Exhaust Ventilation)** : เมื่อ แก้ไขขบวนการผลิตแล้ว แต่ ยัง มีมลพิษออกมาอีก จะ ต้อง มีการใช้ ระบบ LEV เพื่อกำจัด มลพิษที่ยังมีอยู่ ซึ่งจะประหยัดค่าใช้จ่าย และ สามารถ ควบคุม มลพิษได้ตรงตำแหน่งที่เกิด

3. การระบายอากาศของพื้นที่ ที่ทำงาน (*Process building or General working area or Dilution ventilation*): วิธีการ คือ จ่ายอากาศเสียเข้าไป บริเวณ ที่มีพื้นที่ว่าง เพื่อให้อากาศเสียมีความเข้มข้น ลดลง หรือ มีการ จ่าย อากาศ บริสุทธิ์ เข้าไปบริเวณ ที่มีมลพิษ ความเข้มข้นสูง จะใช้ แบบ การไหลตาม ธรรมชาติ หรือ ใช้ พัดลมในการระบายอากาศ
4. ใช้อุปกรณ์ป้องกันเฉพาะบุคคล (*Personal protective equipment*): จะใช้อุปกรณ์ป้องกันเฉพาะบุคคล ที่ ทำงาน และ จะใช้ก็ต่อเมื่อ ใช้ 3 ขั้นตอน ข้างต้นแล้วไม่ได้ผล

ระบบระบายอากาศโดยการดึงอากาศบริสุทธิ์เข้า มาเจือจาง
(*Dilute Ventilation*)



มี 2 หลักการ ด้วยกัน คือ

1. หลักการทางธรรมชาติ (*Natural Ventilation*): โดยอาศัยความแตกต่างของความดันสมบูรณ์ (*Absolute Pressure*) ระหว่างอากาศภายนอก และภายในตัวอาคาร ซึ่งก็เกิดจาก มีการเคลื่อนตัวของอากาศภายนอก ตัวอาคาร ทำให้ ภายนอก (ใกล้เคียง ผิว หลังคาของตัวอาคาร) มีความดันต่ำกว่า ในขณะที่ตัวอาคาร ภายนอก จะลอยตัว สูงขึ้น ในจังหวะนี้ จะทำให้อากาศภายนอก ที่เย็นกว่า ไหล เข้ามาแทนที่ ทำให้อากาศ สามารถ ถ่ายเทซึ่งกัน และ กันได้

วิธีการนี้ จะใช้ได้ผล ในบริเวณที่ๆ มีความเร็วจากลมภายนอก 300 ฟุตต่อวินาที ถ้าความเร็ว ต่ำกว่า

นี้ จะไม่ได้ผล รวมถึงการออกแบบ อาคาร และ การติดตั้ง เครื่องจักร ภายในอาคาร จะต้อง ไม่ขวาง ทิศทางการไหล ของอากาศ แต่ข้อดี ของระบบนี้ คือ ค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาต่ำ ไม่ต้องใช้พลังงาน ไฟฟ้า และ ไม่มีเสียงรบกวน

2. การใช้พัดลมระบายอากาศ (Mechanical Ventilation) : การระบายอากาศแบบนี้ เป็นการนำเอาพัดลมมาเป็นตัวกลาง ในการปรับส่งลม ในปริมาณ ที่จะสามารถ เป็นไปได้ตามสภาวะที่เราต้องการ ซึ่งปริมาณดังกล่าว นี้ เราสามารถ คำนวณหา ได้ด้วยหลักการ ง่ายๆ อยู่ 2 วิธี คือ

2.1 Air Change

หลักการของวิธีการนี้คือ การหาปริมาณอากาศบริสุทธิ์ ที่จะเข้ามาแทนที่ อากาศที่จะทำการระบายออก คิด เป็นจำนวนเท่า ของปริมาณห้อง ที่ทำการระบาย หรือ ได้จาก สูตร

$$CFM = \frac{\text{Room Size (ft}^3\text{)} \times \text{NO. of Air Change / hr.}}{60}$$

60

ค่า Number of Air per Change per hour หรือ frequency of ventilation per hour หาได้จากตาราง

ตารางที่ 1 Air Change Per Hour

Ventilation Schedule

	A	B		A	B
Hotel	Dance hall	8	Photo studio	Darkroom	10
	Dining hall	8		Laboratory	6
	Kitchen	15	School	Cooking room	15
	Halfway	5		Auditorium	6
	Toilet	5		Gymnasium	8
	Lavatory	10		Toilet	12
	Boiler room	20		Library	6
	Laundry	15		Classroom	66
Hospital	Waiting room	10	Theater	Auditorium	6
	Clinic	6		Hallway	6
	Ward	6		Smoking room	12
	Bathroom	5		Toilet	10
	Office	6		Projection booth	20
	Restaurant	8		Workroom	6
	Kitchen	15	Factory	Telephone switchboard room	6
	Gallery	5		Painting room	20
	Toilet	10		Dynamo room and substation	20
	Boiler room	10		Condenser room	15
Operating room	Laundry	15	Restaurant and snack bar	Restaurant	6
	Operating room	15		Kitchen	20
	Disinfecting room	12	Office building	Office	6
	Room for the patients receiving medical treatment for the diseases of respiratory organs	10		Waiting room	10
				Conference room	12
Public toilet		20		Display room	10
Vessel	Passenger room	8		Toilet	10
	Kitchen	15	Rooms where poisonous or inflammable gas is produced		more than 20
Home	Parlor	6			
	Living room	6			
Library	Reading room	6			
A. Type of room		B. Necessary frequency of ventilation per hour			

Air Change Method

Find total volume of space to be ventilated. Determine the required number of air changes per hour.

$$CFM = \text{Bldg. Volume (ft}^3\text{)} / \text{Air Change Frequency}$$

Consult local codes for air change requirements or, in absence of code, refer to "Suggested Air Changes", page 41.

Type of Space	Air Change Frequency (minutes)
Assembly Halls	3-10
Auditoriums	4-15
Bakeries	1-3
Boiler Rooms	2-4
Bowling Alleys	2-8
Dry Cleaners	1-5
Engine Rooms	1-1.5
Factories (General)	1-5
Forges	1-2
Foundries	1-4
Garages	2-10
Generating Rooms	2-5
Glass Plants	1-2
Gymnasiums	2-10
Heat Treat Rooms	0.5-1
Kitchens	1-3
Laundries	2-5
Locker Rooms	2-5
Machine Shops	3-5
Mills (Paper)	2-3
Mills (Textile)	5-15
Packing Houses	2-15
Recreation Rooms	2-8
Residences	2-5
Restaurants	5-10
Retail Stores	3-10
Shops (General)	3-10
Theaters	3-8
Toilets	2-5
Transformer Rooms	1-5
Turbine Rooms	2-6
Warehouses	2-10

2.2 การคำนวณจากภาวะความร้อนโดยตรง (Calculation of Ventilation Base of Heat Gain)

ความร้อนที่เกิดขึ้นและต้องระบายออกไปนั้น เกิดมาทั้งจากภายในและภายนอก อาคาร เช่น จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ หรือความร้อนที่ระบายออกจากมอเตอร์ เป็นต้น ซึ่งมีทั้ง ความร้อน สัมผัส (Sensible Heat) และ ความร้อนแฝง (Latent Heat) โดยสามารถ คำนวณหาจำนวนปริมาณอากาศ ที่ใช้ระบายได้ดังนี้

$$CFM = \frac{\text{Total Sensible Heat (Btu/hr)}}{1.08 \times \text{Temp Rise (F)}}$$

$$CFM = \frac{\text{Total Latent Heat (Btu/hr)}}{0.67 \times \text{Grains of Water / lb dry air}}$$

2.3 การคำนวณจาก indoor air quality requires

Air Quality Method

Designing for acceptable indoor air quality requires that we address:

- Outdoor air quality
- Design of the ventilation systems
- Sources of contaminants
- Proper air filtration
- System operation and maintenance

Determine the number of people occupying the respective building spaces. Find the CFM/person requirements in Ventilation Rates for Acceptable Indoor Air Quality, page 42. Calculate the required outdoor air volume as follows:

$$\text{People} = \text{Occupancy} / 1000 \times \text{Floor Area (ft}^2\text{)}$$

$$CFM = \text{People} \times \text{Outdoor Air Requirement (CFM/person)}$$

Outdoor air quantities can be reduced to lower levels if proper particulate and gaseous air filtration equipment is utilized.

Ventilation Rates for Acceptable Indoor Air Quality†

Space	Outdoor Air Required (CFM/person)	Occupancy (People/1000 ft ²)
Auditoriums	15	150
Ballrooms/Discos	25	100
Bars	30	100
Beauty Shops	25	25
Classrooms	15	50
Conference Rooms	20	50
Correctional Facility Cells	20	20
Dormitory Sleeping Rooms	15	20
Dry Cleaners	30	30
Gambling Casinos	30	120
Game Rooms	25	70
Hardware Stores	15	8
Hospital Operating Rooms	30	20
Hospital Patient Rooms	25	10
Laboratories	20	30
Libraries	15	20
Medical Procedure Rooms	15	20
Office Spaces	20	7
Pharmacies	15	20
Photo Studios	15	10
Physical Therapy	15	20
Restaurant Dining Areas	20	70
Retail Facilities	15	20
Smoking Lounges	60	70
Sporting Spectator Areas	15	150
Supermarkets	15	8
Theaters	15	150

†Adapted from ASHRAE Standard 62-1989 "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality".

ในการหาปริมาณ อากาศที่ต้องการเพื่อใช้ในการ ระบายอากาศ จะต้อง คำนึงถึง สิ่งต่อไปนี้

1. ขนาด ของห้องหรือ อาคาร
2. จำนวนของคนที่อยู่ ในพื้นที่ ที่ทำการระบายอากาศ และกิจกรรม ที่คนเหล่านั้นกระทำ
3. ความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์ และความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสี
4. ความชื้นสัมพัทธ์
5. อุณหภูมิของอากาศภายนอก และ ช่วงของอุณหภูมิแต่ละวัน
6. ชนิด และ ปริมาณ ของไอรระเหย หรือ ฝุ่นละอองจากขบวนการผลิตที่จะกำจัด

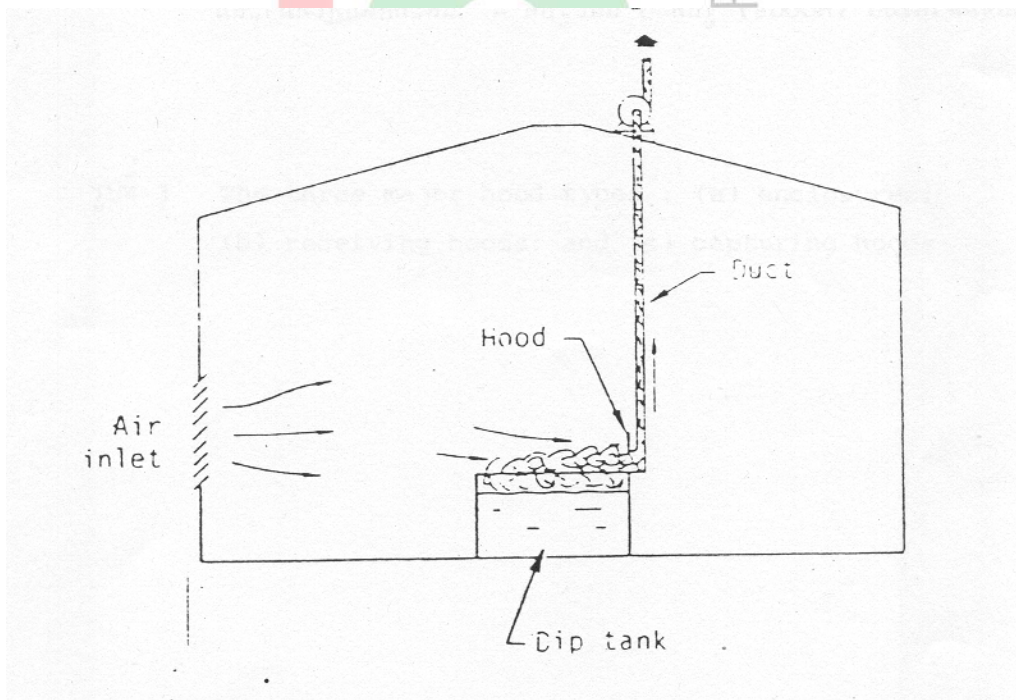
Dilute Ventilation: เหมาะ กับกรณีต่อไปนี้

1. เมื่อ มลพิษเข้ามาภายใน ห้อง ในปริมาณ ไม่มากนัก ในอัตราค่อนข้างคงที่
2. แหล่งปล่อยมลพิษ อยู่ห่าง จากคนงาน หรือ ประกายไฟในกรณีที่เป็นสารติดไฟ และระเบิดได้
3. มลพิษ มีอันตรายไม่มาก ติดไฟและระเบิดได้ยาก
4. ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ เพื่อดักเก็บสิ่งสกปรก ก่อนระบายอากาศ ออกไป
บรรยากาศภายนอก
5. ไม่มีปัญหา เรื่องการกัดกร่อน หรือ อื่นๆจากอากาศ ที่มีมลพิษปนอยู่

ข้อเสีย

1. ต้องใช้ อากาศ จำนวนมากสำหรับทำให้อากาศที่มีมลพิษปนอยู่ เจือจาง
2. ไม่สามารถควบคุม และป้องกันคนงานที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดของมลพิษ ไม่ให้รับพิษภัยได้

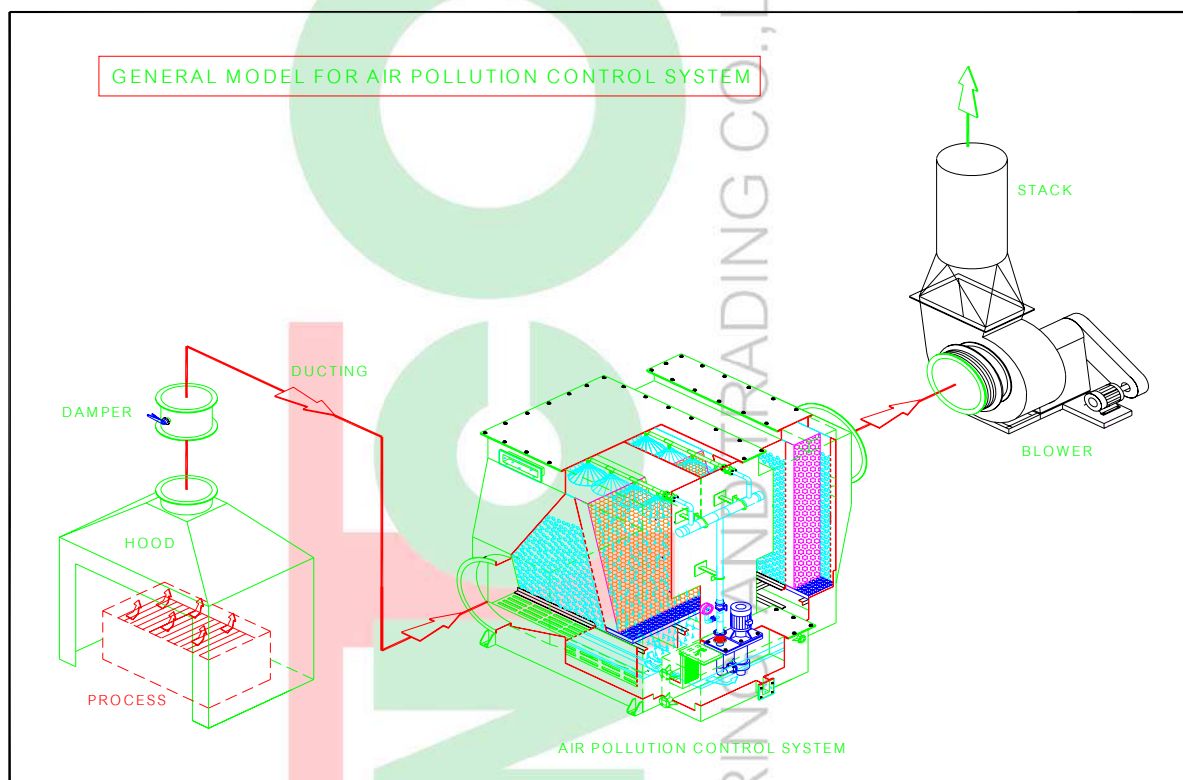
การระบายอากาศเสียเฉพาะจุดที่เกิด (Local Exhaust Ventilation)



ระบบการระบายอากาศ เฉพาะที่ ตามรูปจะกัก มลพิษ ที่แหล่งเกิด ก่อนที่ มลพิษ จะเข้าไปใน
บรรยากาศห้องทำงาน ระบบจะประกอบไปด้วย ส่วนต่างดังนี้

1. ฝาครอบ (Hood) สำหรับกัก มลพิษ
2. วาล์วปรับปริมาณลม (Damper) สำหรับปรับปริมาณลมให้เหมาะสมในแต่ละ ฝาครอบ
3. ท่อลม (Duct) สำหรับให้อากาศที่มีมลพิษไหลไปทิ้ง
4. อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ (Air pollution control equipment) ในกรณีที่จำเป็น สำหรับทำ
ความสะอาด ก่อนระบายทิ้ง

5. พัดลมระบายอากาศ (Fan)
6. ปล่องระบาย ควัน (Stack)



ข้อได้เปรียบ ของ ระบบการระบายอากาศ เฉพาะที่

1. สามารถระบายมลพิษออกไปจากแหล่งที่เกิด แทนที่จะแค่ทำให้เจือจาง
2. ปริมาณอากาศที่ต้องระบายออก น้อยกว่า แบบ **Dilute Ventilation**

ข้อเสียเปรียบ ของ ระบบการระบายอากาศ เฉพาะที่

1. ออกแบบได้ยากกว่า แบบ **Dilute Ventilation**
2. จะต้อง มี ฝาครอบ (Hood) ที่อลมที่เหมาะสม

ความสูงของปล่องโรงงาน

จุดประสงค์ ของปล่อง

1. มลพิษที่ระบายออกจากปล่องจะเจือจางในบรรยากาศ
2. ปล่องโรงงานยิ่งสูง จะยิ่งช่วยในการเจือจาง

ในการ ออกแบบความสูง ของปล่อง มีอยู่ หลาย ทฤษฎี ด้วยกัน

ความสูงที่เหมาะสมเชิงวิศวกรรม (Good Engineering Practice) GEP Height

$$HGEP = Hb + 1.5L$$

Hb = ความสูงของโรงงาน

L = ความสูงของอาคาร , ความกว้างของโรงงานในแนว ขนานกับทิศทางลม หรือ
โครงสร้าง บริเวณใกล้เคียงโรงงาน ที่มีความสูงมากกว่าความสูงของโรงงาน

บทที่ 6

HOOD และการออกแบบ HOOD

การเลือก และการ ออกแบบ HOOD

การออกแบบ HOOD นั้นจะมีความยุ่งยากมาก เนื่องจาก มี สภาพะการทำงาน หรือ สิ่งแวดล้อม ที่แตกต่างกัน ในแต่ละขบวนการ ผลิต และการใช้งาน และถ้า ต้องการให้มีประสิทธิภาพ ในการดูด หรือ ป้องกัน แก๊สเสีย ต่าง ๆ กระจายออก สู่รอบข้าง ของสถานที่ทำงาน ให้ใช้ HOOD แบบ “Encloser”

ในการ ออกแบบ หรือ เลือกใช้ งาน นั้น จะต้องคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ หลายอย่างด้วยกัน เช่น

- ความหนาแน่น ของ อากาศเสีย
- ความเป็นพิษ มากน้อยแค่ไหน
- ความเข้มข้นของมลพิษ
- อุณหภูมิ ของอากาศเสีย
- ความดัน ของอากาศเสีย
- คุณสมบัติจำเพาะอื่นๆ ของมลพิษ

เพื่อ ที่จะได้ออกแบบ HOOD ให้มีประสิทธิภาพดีที่สุด มีปัจจัย หลัก ๆ อยู่ 3 ประการ ในการพิจารณา เลือกใช้ HOOD ดังนี้

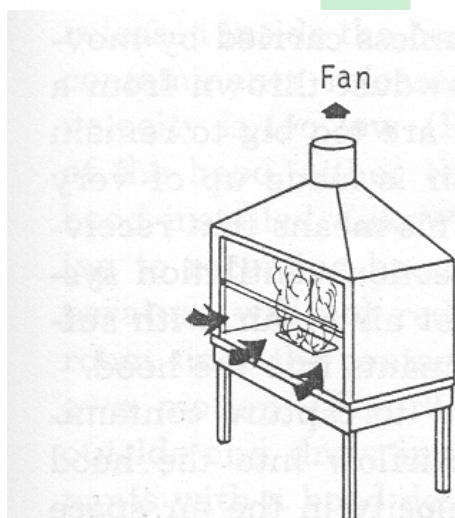
1. จะต้องทราบถึง อัตราการไหล ของอากาศเสีย หรือ ลักษณะ การไหลที่ถูกต้องของอากาศเสีย
2. จะต้องทราบถึง ขบวนการผลิตที่ทำให้เกิด มลพิษ ขึ้นมา
3. จะต้องทราบถึง ลักษณะการทำงานของพนักงาน ที่ปฏิบัติงาน รวมถึง บริเวณรอบๆ ที่ปฏิบัติงาน

ซึ่งความเร็วที่ปากทางเปิดของ HOOD นั้นจะขึ้นอยู่กับ แก๊สเสียที่เกิดขึ้น

ชนิด ของ HOOD

โดยทั่วไปแล้ว จะแบ่งได้ 3 ชนิดใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ

1. Enclosure Hood



(a) Enclosures - contain contaminants released inside the hood

จะควบคุม อากาศเสีย โดยใช้ความเร็ว ที่ปากทาง เปิด เพื่อไม่ให้อากาศเสีย ออกมาภายนอก Hood เป็น Hood ที่มีประสิทธิภาพการดูด ที่ดีที่สุด รวมถึง การใช้ ปริมาณลมน้อย และ พลังงาน ที่ใช้ ก็น้อยด้วย ซึ่ง อาจแยก เป็นชนิด เปิดด้านเดียว (One open side) หรือ เปิด สองด้าน (Two open side) ขึ้นอยู่กับการใช้งาน

การหาปริมาณลมของ Enclosure Hood

ปริมาณ ลม สามารถหาได้จาก ขนาด ของพื้นที่ เปิด (Open area) และ ความเร็วที่ผ่านช่องเปิด (Face velocity)

$$\text{ปริมาณการไหล (Q)} = \text{พื้นที่ เปิด (Open area)} \times \text{ความเร็วที่ผ่านช่องเปิด (Face velocity)}$$

ความเร็ว ของช่องเปิด จะอยู่ในช่วง 50 – 300 ft / min ขึ้นอยู่กับ ขบวนการ ผลิต นั้นๆ สามารถดูได้จาก ACGIH , OSHA

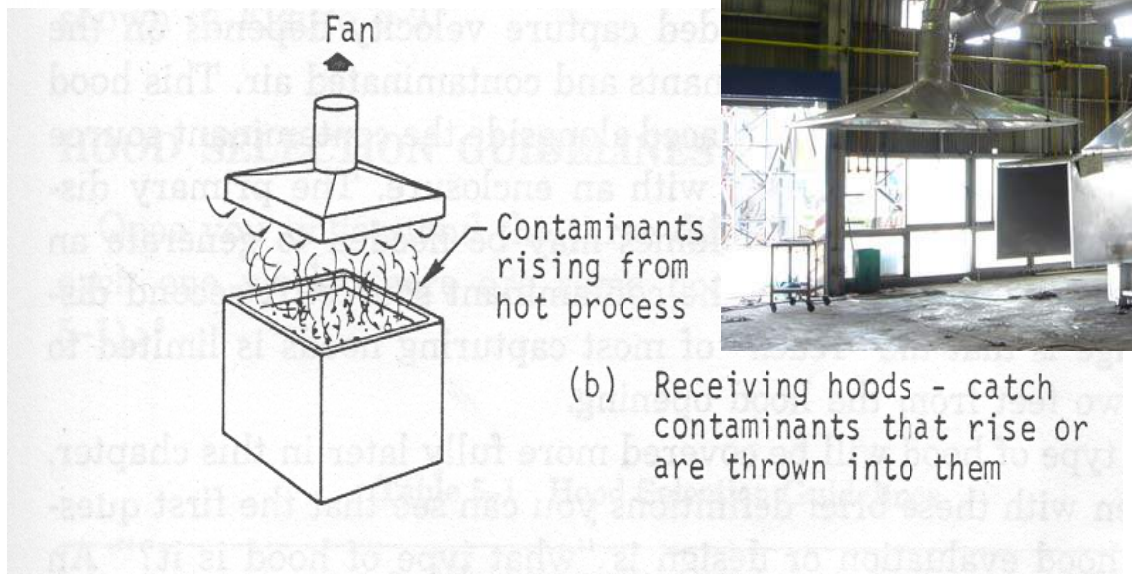
Table 5-6 Face Velocity Guidelines for Enclosures^a

Operation	Face Velocity, ^b ft/min
Welding booth	150
Paint spray booth	100-200
Laboratory hood	100-150
Abrasive blasting room	500
Belt conveyor enclosures	150-200
Bin or hopper enclosure	150-200
Mixer	100-200
Metallizing enclosure	
toxic	200 (with respirator)
nontoxic	125
Melting furnace	150-250 + products of combustion, if any
Swing frame grinder booth	150
Machining toxic materials	300

^aSee OSHA standards for specific chemicals or operation to see if legal standards apply.

^bFace velocity is also expressed as ft³/min of air per ft² of openings into hood or enclosure. Units cancel to yield velocity units (ft/min).

2. Receiving Hood



Receiving hood จะเหมาะสำหรับ ขบวนการผลิต ที่มีแก๊สไอเสียนี้ออกมาซึ่ง ขนาด ของ Hood จะขึ้นอยู่กับ ปริมาณอากาศเสียที่เข้าไปใน Hood

ข้อจำกัดของ Hood ชนิดนี้ คือ แก๊ส , ไอ หรือ ฝุ่นที่มีขนาดเล็ก ที่เป็นพิษ ต่อระบบการหายใจของ คน ที่อยู่รอบๆ ขบวนการผลิต ที่มีระยะไกลจาก Hood จะไม่มีการถูกดูดเข้าไปใน Hood และถ้า บริเวณ รอบๆ มี ลักษณะอากาศ ที่มีการเปลี่ยนแปลง ตลอดเวลา หรือ ไม่นิ่ง จะทำให้ประสิทธิภาพการดูด ลดลง Hood ชนิดนี้ บางทีอาจเรียกว่า “Canopy Hood”

การหาปริมาณลมของ Canopy Hood

สามารถ หา ได้ 2 ลักษณะด้วยกันคือ

Canopy hood ทั่วๆไป (อุณหภูมิปกติ)

$$Q = (1.4)(P)(D)(V)$$

เมื่อ

Q = ปริมาณลม (CFM)

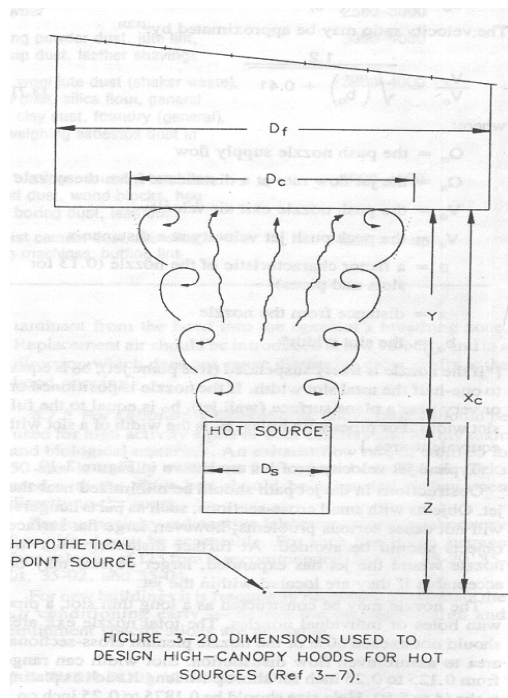
P = ความยาวของเส้นรอบขอบถัง หรือ จุดเกิดมลพิษ (ft)

D = ระยะห่างจากขอบถัง หรือ มลพิษ ในแนวดิ่ง ถึงขอบ hood (ft)

V = ความเร็วที่ Hood อยู่ในช่วง 50 - 500 FPM

Canopy hood ใช้กับขบวนการที่มีอุณหภูมิ (Hot process)

Circular high Canopy hood :



สูตร

$$D_c = 0.5 X_c^{0.88}$$

$$X_c = y + z$$

$$z = (2 D_s)^{1.138}$$

$$V_f = 8 (A_s)^{0.33} (T_h - T_a)^{0.42} / X_c^{0.25}$$

$$D_f = D_c + 0.8 y$$

$$Q_t = V_f \cdot A_c + V_r \cdot (A_f - A_c)$$

เมื่อ :

D_c = Column diameter at hood face, ft.

y = Distance from the process surface to the hood face, ft

z = Distance from the process surface to the hypothetical point source, ft.

D_s = Diameter of hot source, ft.

V_f = Velocity of hot air column at hood face , fpm.

A_s = Area of the hot source, ft²

A_c = Area of the hot air column at the hood face, ft²

T_h = Hot source temp., F

T_a = Ambient temp., F

V_r = The required air velocity through the remaining hood area, fpm.

used 100 – 200 fpm.

A_f = Total area of hood face, ft²

High Canopy rectangular hood : จะคิดปริมาณลม วิธีเดียวกับ Circular hood แต่จะแยกคิดที่ละด้าน โดยพื้นที่ ของ หน้า hood และพื้นที่ ของ Hot source หาได้จาก ด้านกว้าง x ด้านยาว

. **Low Canopy Hood** : ปาก Hood จะอยู่สูงจาก แหล่งเกิด (Source) ไม่เกิน 3 ฟุต ขนาด ของ Hood ใหญ่กว่า แหล่งเกิด (Source) ไม่เกิน 1 ฟุต

Total flow rate for circular low canopy hood หาได้จาก

$$Q_t = 4.7 (D_f)^{2.33} (T_h - T_a)^{0.42}$$

Total flow rate for rectangular low canopy hood หาได้จาก

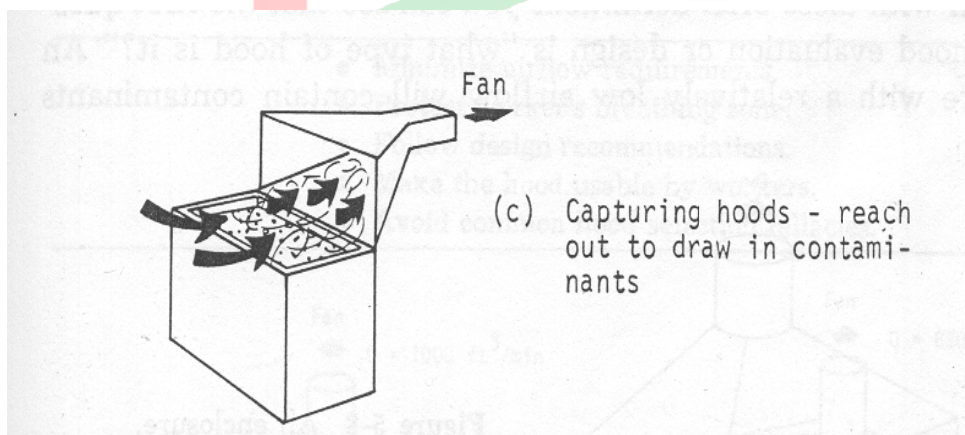
$$Q_t = L \times 6.2 b^{1.33} (T_h - T_a)^{0.42}$$

เมื่อ Q_t = Total hood air flow , cfm. T_h = Hot source temp. , F
 D_f = Diameter of hood , ft. T_a = Ambient temp. , F
 L = Length of rectangular hood , ft
 b = Width of rectangular hood , ft



3. Capturing Hood

Hood ชนิดนี้จะใช้ความเร็วของอากาศ ครอบคลุมและจับยึดสิ่งสกปรกที่ปะปนอยู่ในอากาศที่อยู่ในห้องปฏิบัติการ ความเร็วนี้เรียกว่า “Capture velocity” การไหลของอากาศที่เข้าไปใน Hood จะคำนวณจากสัมประสิทธิ์ ความเร็วการจับยึด (Capture Velocity) ในอากาศบริเวณปากทางดูดของ Hood ความเร็วของการจับยึด จะเป็นอิสระกับ จำนวนและ ทิศทาง ของ ความสกปรก ที่อยู่ในอากาศ



• ข้อจำกัดของ Hood ชนิดนี้คือ

1. ปริมาณอากาศที่ใช้มีมาก เพราะจะต้องให้มีความเร็วของการจับยึดหรือพาของเสีย เข้าไปใน Hood
2. ข้อจำกัดของระยะจากปาก Hood ถึงอากาศเสียที่ต้องการที่จะจับยึด จะไม่เกิน 2 ฟุต

Capturing Hood ปัจจุบันมีอยู่ 4 แบบ คือ

a.) Side –draft capturing Hood

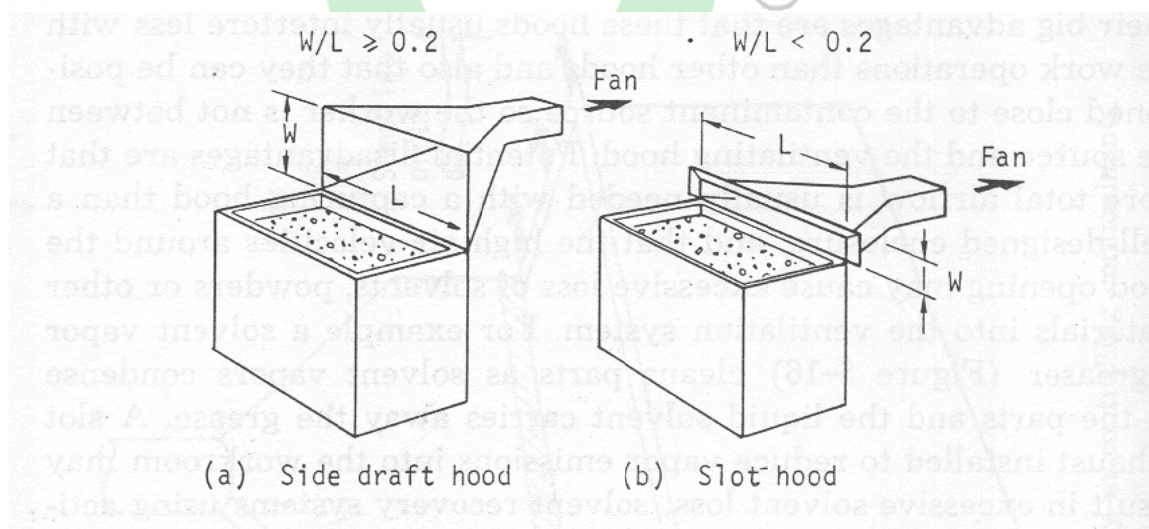
จะมีการใช้กันในงานเชื่อม Hood ชนิดนี้ จะเป็นแบบเคลื่อนที่หรืออยู่กับที่ก็ได้

b.) Slot Hood

จะใช้ระบายอากาศของถังเปิด (open surface tank) ในโรงชุบที่ชุบด้วยไฟฟ้า หรืองานอื่นๆ ที่คล้ายๆกัน ซึ่งถ้ามีความกว้างมากก็จะใช้ Hood อีกตัวเป่าอีกตัวฝั่งหนึ่งถึง เรียกว่า “Push-pull Hood”

ข้อดี พื้นที่ จะใช้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการกระจายกับการกระจายของ อากาศเหนือผิวถัง

ข้อเสีย pressure drop ที่ตรง Slot สูงมากเนื่องจากจะต้องให้ความเร็ว ที่ Slot สูง



c.) Downdraft Hood

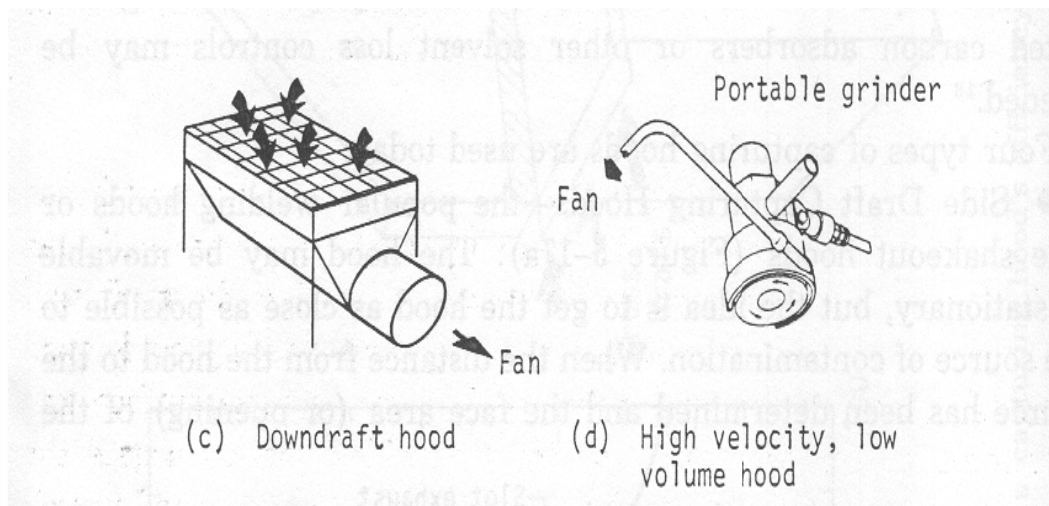
จะมีลักษณะที่คล้ายกับ Side – draft Hood แต่ทิศทางการดูดอยู่ด้านล่างของจุดที่ปฏิบัติงาน Hood แบบนี้จะใช้ได้ดี เมื่อมีการทำงานกับสารจำพวก Solvent ที่มีการปิดได้ขณะทำงานและงานจำพวก การบัดกรี และขัดแต่งต่างๆ ข้อจำกัดของ Hood แบบนี้คือ

1. ชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่จะปิดทางดูดของ Hood
2. อุณหภูมิของชิ้นงานถ้าสูงมากจะทำให้อากาศมีความหนาแน่น ลดลงจะลอยตัวขึ้นจาก Hood ได้

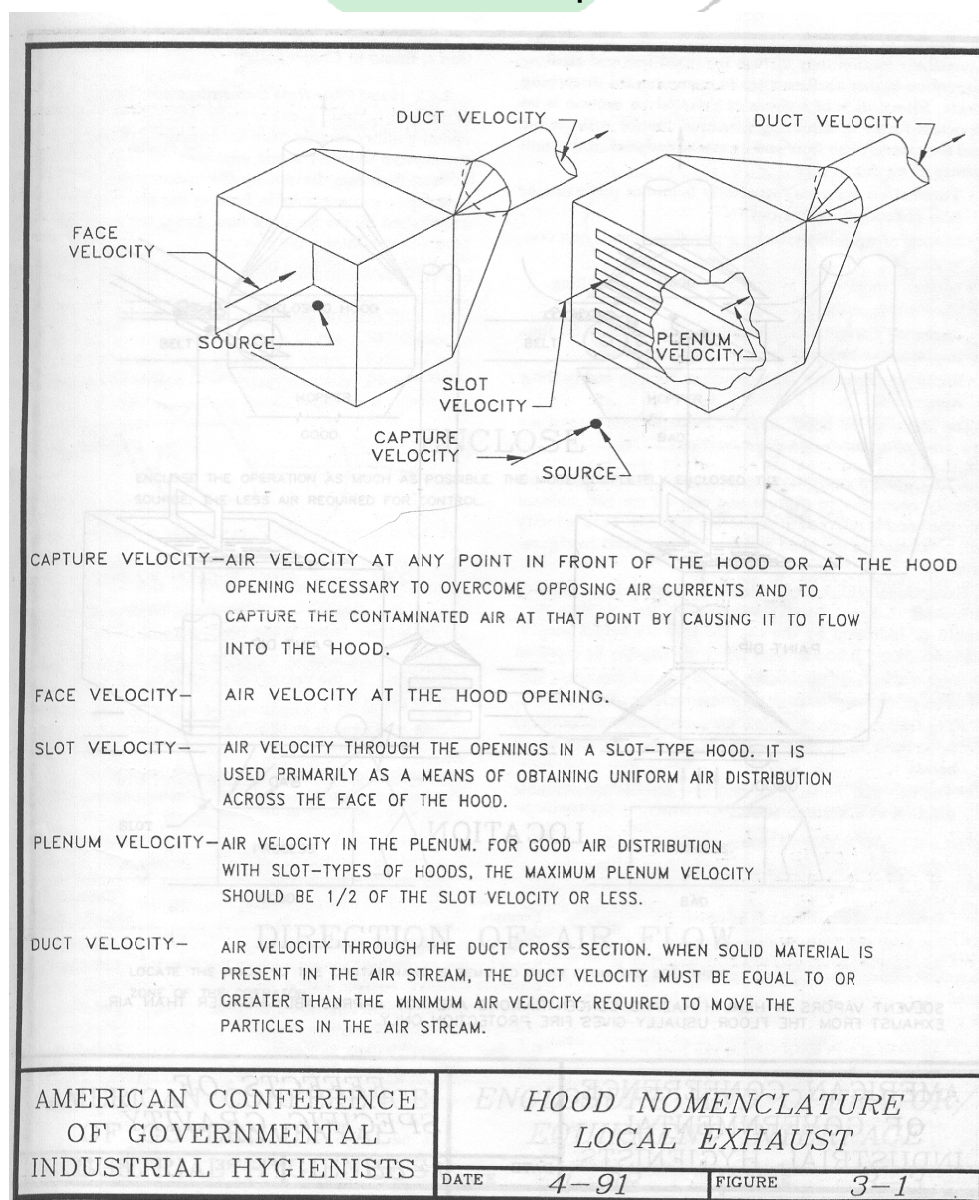
d.) Low Volume , High –Velocity Hood

เป็น Slot Hood ชนิดพิเศษ จะติดอยู่กับเครื่องมือหรือเครื่องจักร จะมีความเร็วที่ปากทางดูดสูง (ความเร็วการพา) อาจสูงถึง 10,000-12,000 ฟุตต่อนาที

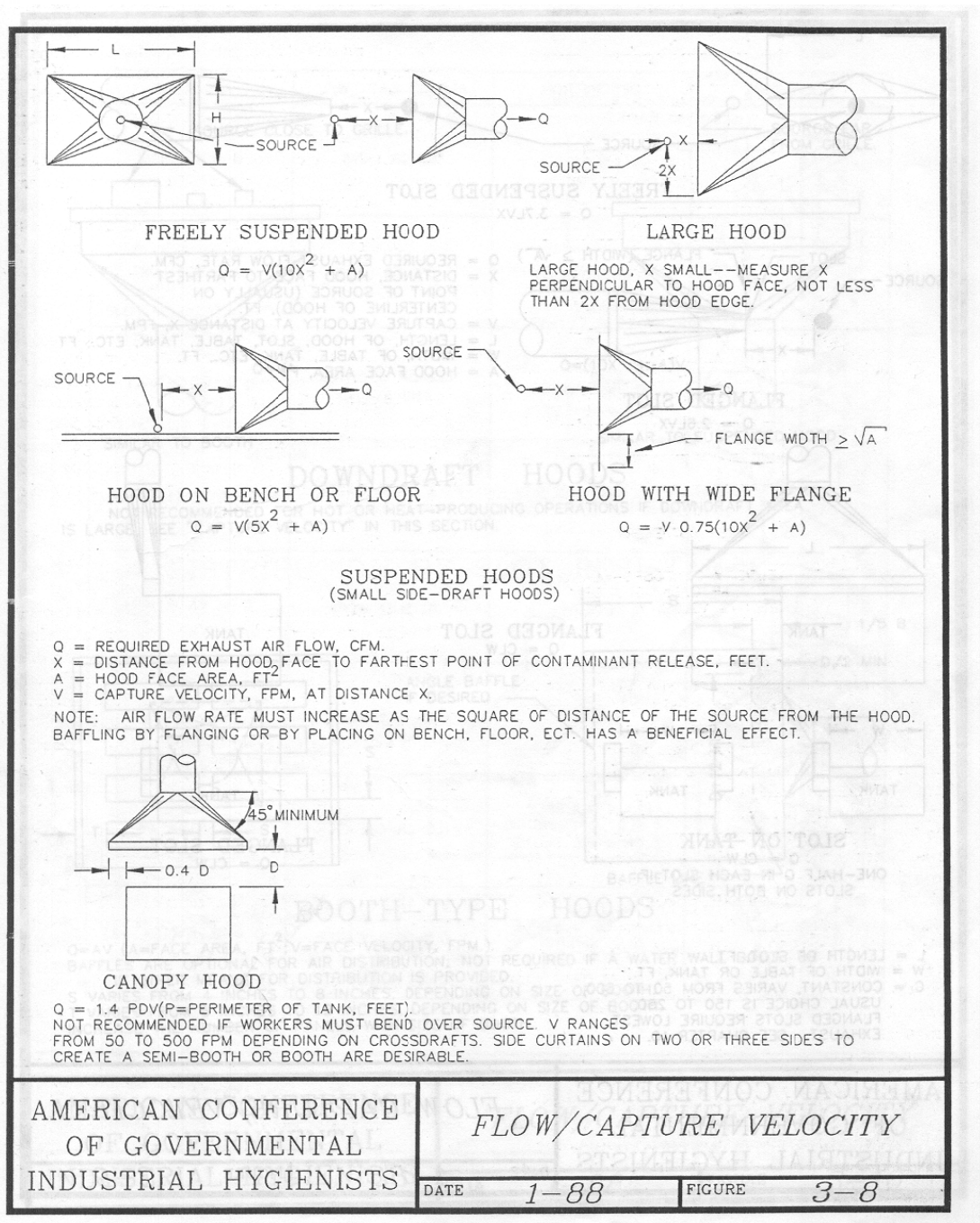
ลักษณะการจับยึด ที่ตรงตำแหน่งที่เกิดจะทำให้ปริมาณลมที่ใช้มีปริมาณน้อย ลักษณะของ Hood จะออกแบบไม่ให้เกาะกั้นขณะปฏิบัติงาน Hood ชนิดนี้จะแรงในการดูดมาก เพราะจะต้องใช้ความเร็วสูง ดังนั้น แรงดันที่ใช้จะอยู่ประมาณ 7-9 ฟุตน้ำ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของ Hood



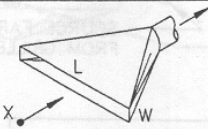
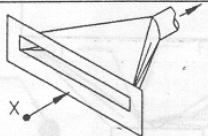
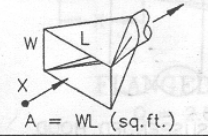
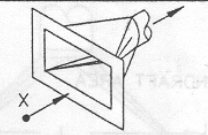
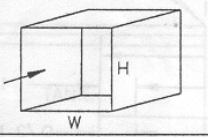
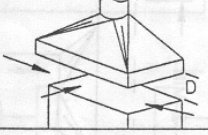
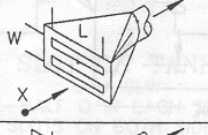
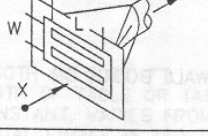
ความเร็วที่ตำแหน่ง ต่างๆ ของ Hood



Capture velocity และ การหาปริมาณลม ของ Hood ชนิด ต่างๆ



สรุป ชนิด ต่างๆ ของ Hood

HOOD TYPE	DESCRIPTION	ASPECT RATIO, W/L	AIR FLOW
	SLOT	0.2 OR LESS	$Q = 3.7 LVX$
	FLANGED SLOT	0.2 OR LESS	$Q = 2.6 LVX$
	PLAIN OPENING	0.2 OR GREATER AND ROUND	$Q = V(10X^2 + A)$
	FLANGED OPENING	0.2 OR GREATER AND ROUND	$Q = 0.75V(10X^2 + A)$
	BOOTH	TO SUIT WORK	$Q = VA = VWH$
	CANOPY	TO SUIT WORK	$Q = 1.4 PVD$ SEE VS-99-03 P = PERIMETER D = HEIGHT ABOVE WORK
	PLAIN MULTIPLE SLOT OPENING 2 OR MORE SLOTS	0.2 OR GREATER	$Q = V(10X^2 + A)$
	FLANGED MULTIPLE SLOT OPENING 2 OR MORE SLOTS	0.2 OR GREATER	$Q = 0.75V(10X^2 + A)$
AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS		HOOD TYPES	
DATE		1-88	FIGURE 3-11

การออกแบบ Hood ในขบวนการผลิต ของ โรงงานอุตสาหกรรม

4.3-67 EXHAUST REQUIREMENTS FOR VARIOUS OPERATIONS

Operation	Exhaust arrangement	Remarks
Abrasive blast rooms	Tight enclosures with air inlets (generally in roof)	For 60-100 fpm downdraft or 100 fpm crossdraft in room
Abrasive blast cabinets	Tight enclosure	For 500 fpm through all openings, and a minimum of 20 air changes per minute
Bagging machines	Booth or enclosure	For 100 fpm through all openings for paper bags; 200 fpm for cloth bags
Belt conveyors	Hoods at transfer points enclosed as much as possible	For belt speeds less than 200 fpm, $V = 350$ cfm/ft belt width with at least 150 fpm through openings. For belt speeds greater than 200 fpm, $V = 500$ cfm/ft belt width with at least 200 fpm through remaining openings
Bucket elevator	Tight casing	For 100 cfm/ft ² of elevator casing cross-section (exhaust near elevator top and also vent at bottom if over 35 ft high)
Foundry screens	Enclosure	Cylindrical-400 fpm through openings; and not less than 100 cfm/ft ² of cross-section; flat deck-200 fpm through openings, and not less than 25 cfm/ft ² of screen area
Foundry shakeout	Enclosure	For 200 fpm through all openings, and not less than 200 cfm/ft ² of grate area with hot castings and 150 cfm/ft ² with cool castings
Foundry shakeout	Side hood (with side shields when possible)	For 400-500 cfm/ft ² grate area with hot castings and 350-400 cfm/ft ² with cool castings
Grinders, disc and portable	Downdraft grilles in bench or floor	For 200-400 fpm through open face, but at least 150 cfm/ft ² of plan working area
Grinders and crushers	Enclosure	For 200 fpm through openings
Mixer	Enclosure	For 100-200 fpm through openings
Packaging machines	Booth	For 50-100 fpm
	Downdraft	For 75-150 fpm
	Enclosure	For 100-400 fpm
Paint spray	Booth	For 100-200 fpm indraft, depending upon size of work, depth of booth, etc.
Rubber rolls (calendars)	Enclosure	For 75-100 fpm through openings
Welding (arc)	Booth	For 100 fpm through openings

Source: *Air Pollution Engineering Manual*, J. Danielson, Ed., U.S. Department of Health, Education, and Welfare, National Center for Air Pollution Control, Cincinnati, O., 1967, p. 31.

การออกแบบ Hood ในขบวนการผลิต ของ โรงงานอุตสาหกรรม

4.3-68 VENTILATION RATES FOR OPEN-SURFACE TANKS

Process	Minimum ventilation rate, cfm/ft ² of hood opening				Minimum ventilation rate, ^a cfm/ft ² of tank area, lateral exhaust (W/L = tank width tank length ratio)					
	Enclosing hood		Canopy hood		W/L 00-0.24		W/L 0.25-0.49		W/L 0.50-1.0	
	One open side	Two open sides	Three open sides	Four open sides	A	B	A	B	A	B
Plating										
Chromium (chromic acid mist)	75	100	125	175	125	175	150	200	175	225
Arsenic (arsine)	65	90	100	150	90	130	110	150	130	170
Hydrogen cyanide	75	100	125	175	125	175	150	200	175	225
Cadmium	75	100	125	175	125	175	150	200	175	225
Anodizing	75	100	125	175	125	175	150	200	175	225
Metal cleaning (pickling)										
Cold acid	65	90	100	150	90	130	110	150	130	170
Hot acid	75	100	125	175	125	175	150	200	175	225
Nitric and sulfuric acids	75	100	125	175	125	175	150	200	175	225
Nitric and hydrofluoric acids	75	100	125	175	125	175	150	200	175	225
Metal cleaning (degreasing)										
Trichloroethylene	75	100	125	175	125	175	150	200	175	225
Ethylene dichloride	75	100	125	175	125	175	150	200	175	225
Carbon tetrachloride	75	100	125	175	125	175	150	200	175	225
Metal cleaning (caustic or electrolytic)										
Not boiling	65	90	100	150	90	130	110	150	130	170
Boiling	75	100	125	175	125	175	150	200	175	225
Bright dip (nitric acid)										
Stripping	75	100	125	175	125	175	150	200	175	225
Concentrated nitric acid	75	100	125	175	125	175	150	200	175	225
Concentrated nitric and sulfuric acids	75	100	125	175	125	175	150	200	175	225
Salt baths (molten salt)										
Salt solution (Parkerise, Bonderise, etc)	50	75	75	125	60	90	75	100	90	110
Not boiling	90	90	100	150	90	130	110	150	130	170
Boiling	75	100	125	175	125	175	150	200	175	225

^aColumn A refers to tank with hood along one side or two parallel sides when one hood is against a wall or a baffle running length of tank and as high as tank is wide; also to tanks with exhaust manifold along center line with W/2 becoming tank width in W/L ratio.

Column B refers to freestanding tank with hood along one side or two parallel sides.

Source: American Air Filter Co., Inc., Louisville, Ky., 1964.

สรุป ความเร็วต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบ ระบายอากาศ

Typical velocities found in industrial operations

Velocity			Location
Miles per Hour (mph)	Meters per Second (m/s)	Feet per Minute (fpm)	
0.03	0.01	3	Settling velocity of heavy respirable particles
0.5	0.2	40	Random air movement in industrial settings
0.6	0.25	50	Minimum capture velocities at emission sources
1.1	0.5	100	Lab fume hood face velocity
1.1	0.5	100	Begin to feel air movement on dry skin (due to pressure; moisture on skin will increase sensitivity)
3	1.5	300	Typical eddy velocities left in wake of person walking briskly
8	3.5	700	Maximum velocity of air blowing on person for an extended time, e.g. 8 hours
8	3.5	700	Average wind velocities

Velocity			Location
Miles per Hour (mph)	Meters per Second (m/s)	Feet per Minute (fpm)	
20	9	1800	Maximum velocity of air blowing on a person for 30 minutes (e.g., for cooling)
23	10	2000	Duct velocities not requiring particle transport
34	15	3000	Stack exit velocity
40	18	3500	Maximum velocity of air blowing on a person for a short time, e.g., 10 minutes at a supplied-air island
45	20	4000	Duct velocities for transport of average industrial dusts
57	25	5000	Duct velocities for transport of heavy industrial dusts

สรุป ความเร็วในท่อ ที่ใช้ในระบบ ระบายอากาศ

4.3-66 RECOMMENDED MINIMUM DUCT VELOCITIES FOR EXHAUST SYSTEMS

Nature of contaminant	Examples	Duct velocity, ft/min
Gases, vapors, smokes, fumes, and very light dusts	All vapors, gases, and smokes; zinc and aluminum oxide fumes; wood, flour, and cotton lint	2 000
Medium-density dry dust	Buffing lint; saw-dust; grain, rubber, and plastic dust	3 000
Average industrial dust	Sandblast and grinding dust, wood shavings, cement dust	4 000
Heavy dusts	Lead, and foundry shakeout dusts; metal turnings	5 000

Source: A.D. Brandt, *Industrial Health Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., New York, N. Y., 1947.



บทที่ 7

ความดันสูญเสียในระบบระบายอากาศ

อัตราเร่ง ของอากาศและความสูญเสียที่ทางเข้าปากดูด

(Acceleration of air and hood entrance losses)

ความดันแตกต่าง ที่ต้องการเพื่อให้อากาศเคลื่อนที่เข้าไปในปากท่อเปิด จะต้องมีความเพียงพอ ที่จะทำให้เกิดอัตราเร่งของอากาศ ทำให้อากาศที่อยู่หนึ่งมีความเร็วในการเคลื่อนที่ และสามารถเอาชนะ Turbulence losses ที่ปากท่อเปิดได้

สำหรับการทำให้เกิดอัตราเร่ง จะต้องการพลังงาน เท่ากับ Velocity pressure (VP) ที่สอดคล้องกับ ความเร็วของอากาศ

ส่วน Turbulence loss ซึ่งมีสาเหตุมาจาก ช่องทางเปิดจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามรูปร่างของปากท่อเปิด ซึ่ง จะสัมพันธ์กับ สัมประสิทธิ์ของทางเข้า (Ce) ดังนั้น ค่า Ce จะแสดงขนาดของ Turbulence losses สำหรับ ปาก ทางดูดที่สมบูรณ์แบบ ในทางทฤษฎี จะไม่เกิด Turbulence losses ซึ่งจะให้ค่า $C_e = 1$

Static Pressure ของปากทางดูด (SPh) เป็นการวัดโดยตรง มีหน่วยเป็น นิ้วของน้ำ ซึ่งประกอบด้วย พลังงาน ที่ทำให้เกิด อัตราเร่ง และ Turbulence losses

จะได้สมการ

$$V = 4005 \cdot C_e \cdot \sqrt{VP}$$

เมื่อ $C_e = 1$ และ $SPh = VP$

จะได้

$$V = 4005 \cdot \sqrt{SPh}$$

จากที่กล่าวมาแล้ว ว่า Static Pressure ของปากทางดูด แสดงได้ครอบคลุม ทั้งอัตราเร่ง และ Turbulence losses (he) ดังสมการต่อไปนี้

$$SPh = VP + he$$

สำหรับ การออกแบบ ค่า ของ การสูญเสีย ความดันตรงทางเข้า (he) ส่วนมากจะระบุให้เป็น Decimal fraction (Fh) ของ Velocity Pressure (VP) ดังนั้น สมการนี้สามารถใช้ได้กับทุก ความเร็วอากาศ

$$he = Fh + VP$$

ความดันสูญเสียในระบบท่อ (Pressure Drop Through Ductwork)

การไหลของอากาศภายในท่อ จะต้องพบกับความต้านทานการไหล เนื่องจาก

1. Friction losses
2. Dynamic (Turbulence) losses

ซึ่ง Friction losses เกิดขึ้นจาก การเสียดสี ของอากาศ กับผนังท่อ ซึ่งมีความต้านทานการไหล ของอากาศ ส่วน Dynamic losses เกิดขึ้นเนื่องจาก การ ไหลปั่นป่วน ของอากาศ (Air turbulence) ในบริเวณที่อากาศ ไหลผ่านท่อ ซึ่งเปลี่ยนทิศทาง หรือ ความเร็ว เมื่อ ไรก็ตาม ที่ท่อเปลี่ยนทิศทาง หรือเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด ผลของ Friction losses และ Dynamic losses เป็นเหตุให้เกิดความดันสูญเสีย (Pressure drop) ขึ้นในขณะที่ ที่อากาศไหลผ่านท่อ

ทฤษฎีของเบอร์นูลลี ที่นำมาใช้กับอากาศ คือ Static Pressure (SP) บวกกับ Velocity Pressure (VP) ที่จุด Upstream ในทิศทางการไหลของอากาศ จะเท่ากับ Static Pressure (SP) บวกกับ Velocity Pressure (VP) ที่จุด Downstream ในทิศทางการไหลของอากาศ บวก กับ Friction และ Dynamic losses

$$SP1 + VP1 = SP2 + VP2 + \text{Losses}$$

Friction losses ทั้งหมด ที่เกิดขึ้นกับท่อแบบกลม จะแปรผันโดยตรง กับ ความยาวท่อ และ แปรผกผัน กับขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ นอกจากนั้นจะแปรผันโดยตรง กับกำลังสองของความเร็วอากาศที่ไหลผ่านท่อ ส่วน Dynamic losses จะขึ้นอยู่กับ

1. จำนวนและรูปแบบ ของข้องอ (Elbows)
2. ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศที่ไหลภายในท่อ

ดังนั้น เพื่อที่จะเอาชนะความต้านทานในระบบท่อ จึงจำเป็นต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการรักษาความดัน ที่แตกต่าง ระหว่างจุดปลายทั้งสอง ของระบบ โดยการใช้พัดลม ซึ่งพัดลม จะจ่ายอากาศที่ Static pressure (SP) มากเพียงพอ กับการเอาชนะความต้านทาน ของระบบ ท่อ

ดังนั้น หัวใจสำคัญ คือ การคำนวณ หาคความดันสูญเสีย ที่เกิดขึ้นทั้งหมด เพื่อ กำหนด ขนาดของพัดลม และ มอเตอร์ ให้เหมาะสม โดยความสูญเสีย ทั้ง 2 ประเภท มีรายละเอียด ดังนี้

1. Friction losses : การไหลของอากาศ จะมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ การไหลแบบราบเรียบ และ การไหลแบบปั่นป่วน

การไหลแบบราบเรียบเกิดขึ้นเมื่ออากาศ ไหลอยู่ในท่อตรงและมีความเร็วต่ำกว่า ความเร็ววิกฤติ ซึ่ง ขึ้นอยู่กับท่อ แต่ละท่อไป ในการหา Friction losses จะพิจารณา ให้อากาศ ไหลเป็นแบบ ราบเรียบเท่านั้น และหาได้ดังนี้

$$Re = (\rho v d) / \mu = v d / \nu$$

เมื่อ	Re คือ Reynolds number	(ไม่มี หน่วย)
	ρ คือ ความหนาแน่น	(lb / ft ³)
	v คือ ความเร็วของอากาศ	(FPM)
	d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ	(ft)
	μ คือ ความหนืดอากาศ	(lb / ft. min)
	ν คือ ความหนืดจลน์อากาศ	(ft ² / min)
	ส่วน losses ในท่อตรงนั้นหาได้จากสูตรดังนี้	

$$h_f = f(L/d) \cdot (v^2/2g)$$

h_f คือ ความดันสูญเสีย (inches Wg.)

f คือ Darcy Friction Factor (ไม่มี หน่วย)

(หาได้จาก Moody Diagram)

L คือ ความยาวของท่อ (ft)

2. Dynamic Losses : เกิดขึ้น เมื่อการไหลของอากาศ เป็นแบบปั่นป่วน เมื่ออากาศ ไหลผ่าน ข้อต่อ ลักษณะต่างๆ ได้แก่ ปากทางดูด (hood) , ท่องอ (elbows) , ท่อขยาย (expansions) , ท่อลด (contractions) , ท่อแยก (branch entries) , หมวกปิดทางออก (caps) ความดันสูญเสียเหล่านี้จะแปรเปลี่ยนตามขนาด และรูปร่าง ในระบบระบายอากาศ ส่วนใหญ่ จะเป็น Dynamic losses โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.1 ปากท่อดูด (hood) : จะขึ้นอยู่กับ ลักษณะ ของ hood โดยดูจาก ACGIH

2.2 ข้องอ หรือ ข้อโค้ง (elbows) :

$$\text{Loss} = k_{90^\circ} (\Theta / 90^\circ) V^2 / 2g \quad (\text{inches Wg.})$$

k_{90° = ค่า loss factor ที่โค้งมุม 90°

Θ = มุมของข้อโค้ง

2.3 ท่อขยาย (expansions) :

ท่อขยาย ในทันที (Sudden expansions)

$$\text{Loss} = (1 - A_1/A_2)^2 \cdot V_1^2 / 2g \quad (\text{inches Wg.})$$

ท่อขยาย เป็นมุมเรียว

$$\text{Loss} = k \cdot V^2 / 2g \quad (\text{inches Wg.})$$

2.4 ท่อลด (Contractions) :

$$\text{Loss} = k \cdot V^2 / 2g \quad (\text{inches Wg.})$$

2.5 ท่อแยก (Branch entries) :

$$\text{Loss} = k \cdot V^2 / 2g \quad (\text{inches Wg.})$$

หมวกปิดทางออก (Caps) :

$$\text{Loss} = k \cdot V^2 / 2g \quad (\text{inches Wg.})$$

ค่า k ดูได้จาก ACGIH

การหา ความดันสูญเสียในระบบท่อลม โดยใช้ กราฟ Ducting Design

ในการคำนวณหา ความดันสูญเสีย (pressure loss) ของระบบ ท่อลม โดยวิธีการนี้ จะต้องมีอุปกรณ์ช่วย ดังนี้

1. กราฟ DUCTING DESIGN
2. ตาราง เทียบเท่า ความยาวท่อตรง
3. ตาราง แปลงความเร็ว เป็น Velocity pressure
4. ตาราง คำนวณ Pressure loss
5. ตาราง Transport Velocity

ในการคำนวณ Pressure loss นอกจาก จะต้องเตรียม อุปกรณ์ ช่วย ทั้ง 5 ข้อ ข้างต้นแล้ว จะต้องเตรียม สิ่งต่อไปนี้ เพิ่มเติม

1. แผนการเดินทางท่อลมทั้งหมด (Single line Diagram) ถ้าสามารถเขียนเป็นภาพ ไอโซเมตริก ได้ จะสามารถ มองเห็น แนวเดินท่อ และอุปกรณ์ ต่างๆ ใน ระบบท่อลมได้ ครอบคลุม
2. กำหนด ปริมาณลมที่ปลายท่อจุดทุกจุด ในระบบท่อ
3. กำหนด ความยาวท่อในแต่ละช่วงที่มีการเพิ่ม ปริมาณลม
4. กำหนด ความเร็วในท่อ ขึ้นอยู่กับ ประเภทของ แก๊สเสีย (Exhaust) ที่ไหล ผ่านท่อ ซึ่งสามารถดูได้จาก ตาราง TRANSPORT VELOCITY
5. กำหนดจุด ต่างๆ ในระบบท่อลม โดยเริ่มจากจุด ที่ห่าง จาก พัดลม มากที่สุด โดยวัดจากแนวติดตั้งท่อ

ข้อควรระวัง

1. ในกรณีที่ Hood ของแต่ละจุดที่ดูด เป็น Hood ที่ เป็นแบบ หรือชนิดเดียวกัน สามารถ คำนวณ ความดันสูญเสีย จากจุดที่อยู่ ห่างจากพัดลมมากที่สุดได้เลย
2. ในกรณีที่ Hood ของแต่ละจุดที่ดูด เป็น Hood ที่ เป็นแบบ หรือชนิดเดียวกัน แต่มี ข้องอ และท่อขยาย มากกว่า ท่อสาขา ที่ไกลที่สุด ให้คิด ความดันสูญเสียเปรียบเทียบกับ
3. ในกรณีที่ Hood ในแต่ละจุดไม่เหมือนกัน ให้ คิด ความดันสูญเสีย ของแนวท่อ ที่มี Hood ชนิด Slot Hood และ Capturing Hood เปรียบเทียบด้วย

ส่วน ประกอบ กราฟ DUCTING DESIGN จะประกอบ ด้วย เส้น กราฟ 4 เส้น ด้วยกันคือ

เส้นที่ 1 จะเป็นเส้นบอก ค่าปริมาณลม เป็น “ CFM “ จะอยู่ในแนวนอนของกราฟ มีค่าแสดงปริมาณลม อยู่ทางด้านซ้ายของ กราฟ

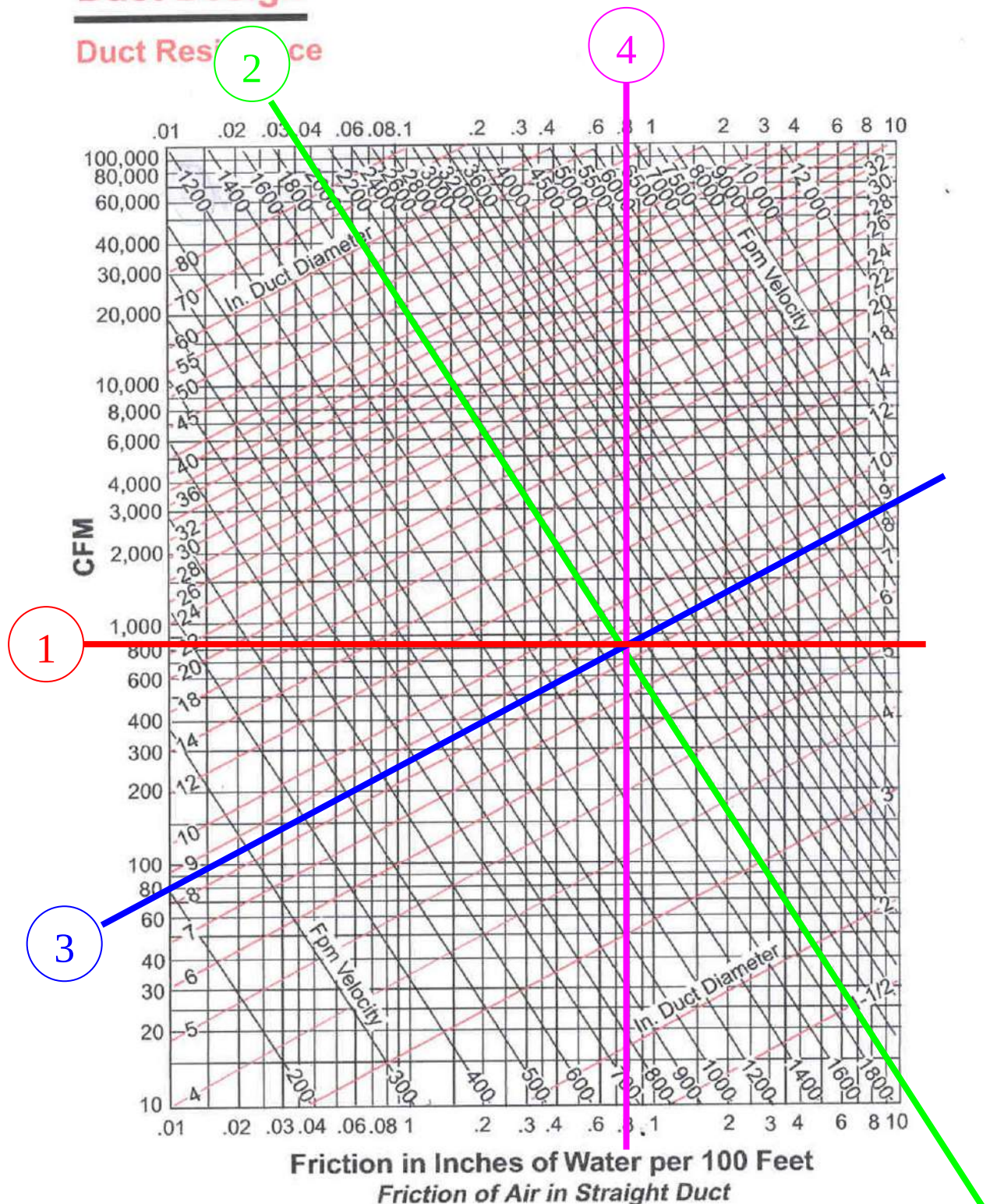
เส้นที่ 2 จะเป็นเส้นบอกค่าความเร็ว ในท่อลม มีหน่วยเป็น “ FPM “ จะเป็นเส้น ที่เฉียง จากมุมล่างขวาของกราฟ ไปมุมบน ซ้าย ของกราฟ

เส้นที่ 3 จะเป็นเส้นบอกขนาดของท่อ มีหน่วยเป็น “ นิ้ว “ จะเป็นเส้นเฉียง เริ่มจากซ้าย เียงขึ้นไปด้านขวา

เส้นที่ 4 จะเป็นเส้นบอก ค่า ความเสียดทานสูญเสีย (Friction loss) มีหน่วย เป็น นิ้วน้ำ ต่อ ความยาวท่อตรง 100 ฟุต

Duct Design

Duct Resistance



จาก กราฟ Ducting Design สามารถอธิบายได้ว่า

ปริมาณลมจำนวน 1000 CFM ไหลผ่านท่อด้วยความเร็ว 2000 FPM ใช้ท่อลม ขนาด 9 นิ้ว จะมีความดันสูญเสียในท่อตรง 0.7 นิ้วน้ำต่อความยาวท่อตรง 100 ฟุต และ ถ้าท่อมีความยาว 200 ฟุต จะมีความดันสูญเสียเท่ากับ 1.4 นิ้วน้ำ เป็นต้น

ดังนั้น ในการใช้กราฟ นี้ จะต้องแปลง อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบท่อ ให้เป็นความยาวของท่อตรง เพื่อให้สามารถใช้กราฟนี้ ในการหา ความดันสูญเสียในระบบท่อลมได้ ตามตารางข้างล่าง เป็นการเทียบ ข้ออ และ ตามทาง ที่ขนาดต่างๆ ให้เป็นความยาวท่อตรง หน่วยเป็น ฟุต

Table 7. AIR FLOW RESISTANCE CAUSED BY ELBOWS AND BRANCH ENTRIES
EXPRESSED AS EQUIVALENT FEET OF STRAIGHT DUCT
(Adapted from Industrial Ventilation, 1956)

Diameter of duct, in.	90° Elbow Throat radius (R)						60° Elbow Throat radius (R)			45° Elbow Throat radius (R)			Branch entry Angle of entry (θ)		
	1.0 D			1.5 D			1.0 D			1.5 D			45°		
	1.0 D	1.5 D	2.0 D	1.0 D	1.5 D	2.0 D	1.0 D	1.5 D	2.0 D	1.0 D	1.5 D	2.0 D	45°	30°	15°
3	5	4	3	4	3	2	2	1	1	3	2	1			
4	7	5	4	5	4	3	4	3	2	5	3	1			
5	9	6	5	7	5	4	5	4	3	6	4	2			
6	11	7	6	8	5	4	6	4	3	7	5	2			
7	12	9	7	9	6	5	7	5	4	9	6	3			
8	14	10	8	11	7	6	8	5	4	11	7	3			
9	17	12	10	12	9	7	9	6	5	12	8	4			
10	20	13	11	14	10	8	10	7	6	14	9	4			
11	23	16	13	17	12	10	11	8	6	15	10	5			
12	25	17	14	20	13	11	12	9	7	18	11	5			
14	30	21	17	23	16	13	14	10	8	21	13	6			
16	36	24	20	27	18	15	17	12	10	25	15	8			
18	41	28	23	32	22	18	20	13	11	28	18	9			
20	46	32	26	36	24	20	23	16	13	32	20	10			
22	53	37	30	39	27	22	27	18	15	36	23	11			
24	59	40	33	44	30	25	30	20	16	40	25	13			
26	64	44	36	48	33	27	32	22	18	44	28	14			
28	71	49	40	52	35	29	35	24	20	47	30	15			
30	75	51	42	55	38	31	37	26	21	51	32	16			
36	92	63	52	68	46	38	46	32	26	-	-	-			
40	105	72	59	75	51	42	52	35	29	-	-	-			
48	130	89	73	91	62	51	64	44	36	-	-	-			

ลำดับขั้นตอน ในการคำนวณ ความดันสูญเสีย ในระบบท่อลม

จัดทำ แนวเดินท่อลม พร้อมกำหนด หรือ ระบุ...

- กำหนด ปริมาณลมในแต่ละจุด ได้ จากการออกแบบ Hood หรือ ลูกค้านำกำหนดให้มา
- กำหนด จุดรวม ของปริมาณลม ในระบบท่อ โดยเริ่มจากปลายท่อที่ไกลจากพัดลม มากที่สุด
- กำหนด สามทางขยาย ตามจุดที่มีการเพิ่มปริมาณลม ของ ท่อเมน
- ระบุความยาวของท่อลม ตาม แนวการติดตั้งจริงๆ ในแต่ละช่วง ที่ปริมาณลมเพิ่มขึ้น
- บันทึกค่าต่างๆ ในแต่ละช่วงที่กำหนด ลงใน “ **ตารางคำนวณความดันสูญเสีย** “ โดยเริ่มจาก จุดที่ไกลสุด ของระบบท่อลม

รายการที่จะต้องบันทึก ลงใน ตารางคำนวณ ความดันสูญเสีย มีดังนี้

1. **ตำแหน่งท่อ** หมายถึง ช่วงระหว่างจากจุดหนึ่ง ไปถึงอีกจุดหนึ่ง พิจารณาในช่วงที่มีปริมาณลม ที่เท่ากัน
2. **ปริมาณลม** หมายถึง ปริมาณลมที่ไหลผ่านท่อลม ในช่วงที่พิจารณามีหน่วยเป็น ลูกบาศก์ฟุต ต่อนาที (CFM)
3. **ขนาดท่อ** หมายถึง ขนาดท่อ ในช่วงที่ พิจารณา มีหน่วยเป็น นิ้ว
4. **ความยาวท่อ** หมายถึง ความยาว ของท่อ ตามแนวติดตั้งท่อ มีหน่วย เป็น ฟุต
5. **ข้องอ 90** ให้ระบุจำนวน ของ ข้องอ 90 ในช่วงที่ พิจารณา ความยาวเทียบเท่า ของข้องอสามารถ เปิดดูค่า ได้จาก ตารางเทียบเท่า ความยาวของท่อตรง โดยดูจาก ขนาด ความโตของท่อ ในแถวซ้ายสุดของ ตาราง และค่าความยาวเทียบเท่าในตาราง มีหน่วยเป็น ฟุต
6. **สามทางขยาย** ให้ระบุจำนวน ของ สามทางขยาย ในช่วงที่ ผ่านมาจนถึงจุดที่พิจารณา โดยเลือก ขนาดท่อ ในด้านที่โตกว่า มาพิจารณา
7. **รวมความยาวเทียบเท่าทั้งหมด** หมายถึง ความยาวเทียบเท่าทั้งหมด ของข้องอ 90 และ สามทางขยาย **โดยวิธีการ** นำ จำนวนขึ้น ของข้องอ 90 หรือ สามทางขยาย คูณ กับ ความยาวเทียบเท่า ที่เปิดได้จากตาราง ในแต่ละอุปกรณ์ รวมกัน มีหน่วยเป็น ฟุต
8. **รวมความยาวของท่อตรงทั้งหมด** หมายถึง รวม ความยาวท่อตรง ตามแนวติดตั้งท่อ กับ ความยาวเทียบเท่าของอุปกรณ์ทั้งหมด มีหน่วยเป็น ฟุต
9. **ความดันสูญเสีย** หมายถึง ความดันสูญเสีย ที่ หาได้จาก กราฟ **Ducting Design** ขึ้นอยู่กับ ปริมาณลม และ ความเร็วในท่อลม มี หน่วยเป็น นิ้วน้ำ ต่อ ความยาวท่อตรง 100 ฟุต
10. **ความดันสูญเสียทั้งหมด** หมายถึง ความดันสูญเสีย ที่เกิดขึ้น ใน แต่ละช่วง ของท่อลม โดยการ นำ ค่าความดันสูญเสีย ต่อ ความยาวท่อตรง 100 ฟุต คูณ กับความยาวท่อตรงทั้งหมดหาร ด้วย 100 จะเป็นค่า ความดันสูญเสีย ของระบบท่อในช่วงนั้นๆ มีหน่วยเป็น นิ้วน้ำ

เมื่อบันทึกค่า และ คิดคำนวณ ความดันสูญเสีย หหมดทุกช่วงแล้ว ให้รวมความดันสูญเสียทั้งหมด ของทุกช่วงที่มีการต่อ อนุกรมกัน ผลรวมทั้งหมดจะเป็นความดันสูญเสีย ในท่อลมที่เกิดขึ้นทั้งหมด

หลังจากได้ ความดันสูญเสีย ในท่อลมแล้ว ขั้นต่อไป เป็นการหาขนาดมอเตอร์ที่ใช้ขับพัดลมของระบบนี้ ซึ่งจะต้องรวม ความดันสูญเสียอื่นๆอีก ที่มีอยู่ในระบบ ดังนี้

ความดันสูญเสียในระบบมีดังนี้

1. ความดันสูญเสียที่ Hood ขึ้นอยู่กับชนิด ของ Hood นั้นๆ โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 0.5 – 2 นิ้วน้ำ
2. ความดันสูญเสียในระบบท่อนับจาก Hood จนถึงพัดลม คำนวณจาก กราฟ Ducting Design
3. ความดันสูญเสียที่เกิดจาก อุปกรณ์ บำบัดอากาศ เช่น Wet scrubber , Carbon adsorber เป็นต้น
4. ความดันสูญเสียอื่นๆ เช่น ทางเข้า และ ทางออก พัดลม , ปล่องระบายควัน เป็นต้น

เมื่อรวมความดันสูญเสีย ของระบบทั้งหมด แล้ว ในขั้นต่อไป เราจะหาขนาดมอเตอร์ที่ใช้ขับพัดลม ของระบบ โดยนำค่าความดันสูญเสีย ของระบบ มาคำนวณหา โดยใช้ สูตร ดังนี้

หา Shaft horsepower

$$sp = \frac{FTP \times Q \times Kdl \times d}{f \times ME}$$

หา ขนาดมอเตอร์ ที่ใช้ ขับพัดลม

$$rp = 1.33 \times sp$$

เมื่อ sp = Shaft horsepower ; hp

FTP = Fan total pressure , ให้ใช้ ค่าความดันสูญเสียทั้งหมดของระบบ ; in Wg.

Q = Volume flow rate ; CFM

Kdl = 1.1 มอเตอร์ ใหญ่กว่า 2 hp , ขับด้วย พูลเลย์

= 1.3 มอเตอร์ 2 hp ลงมา , ขับด้วย พูลเลย์

= 1.05 ขับโดยตรง

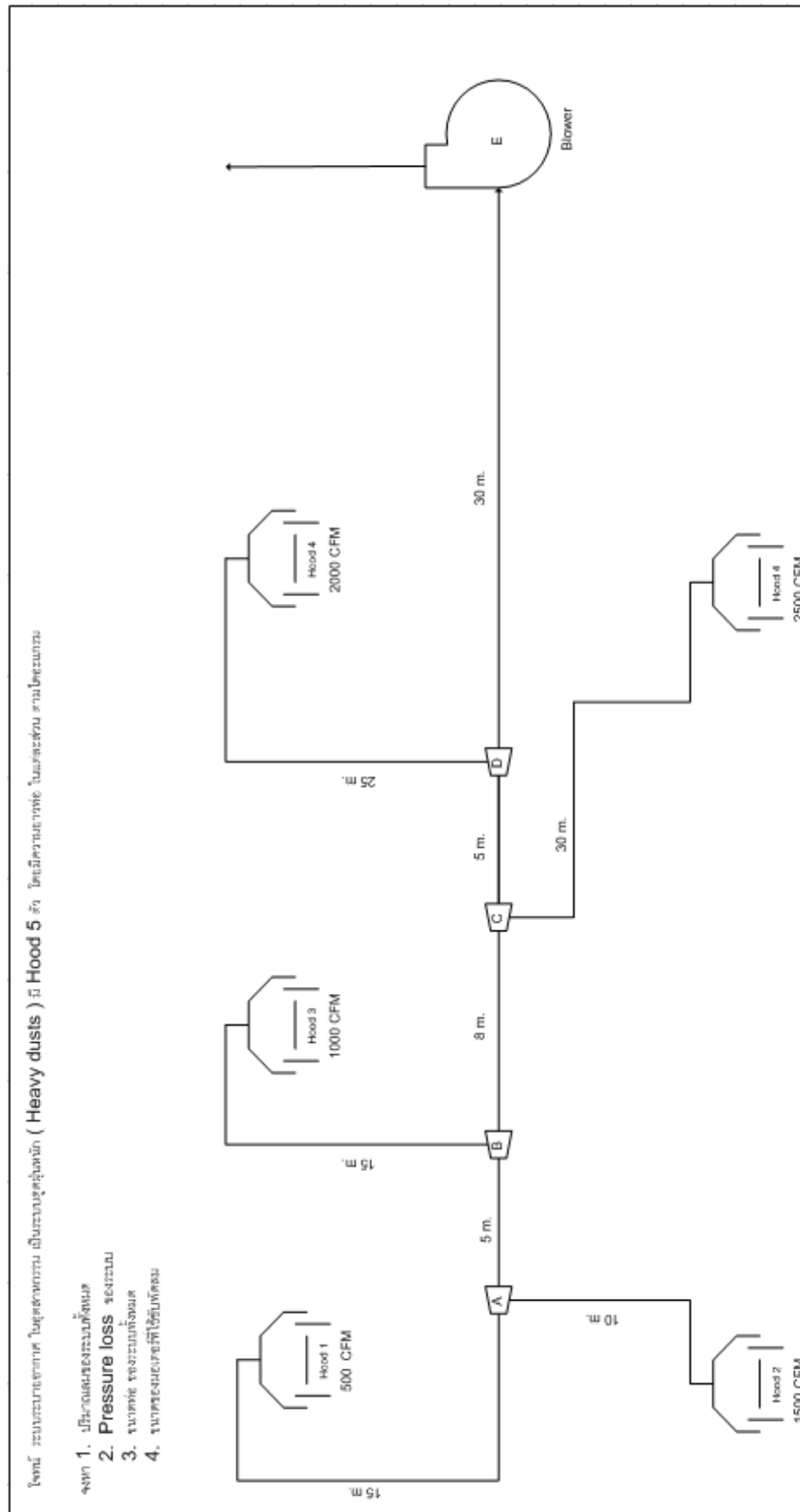
d = density correction factor = 1 ที่ STP ; Unitless

f = Unitless factor = 6356

ME = Mechanical efficiency factor , ถ้า ไม่ทราบ ให้ใช้ ค่า 0.6

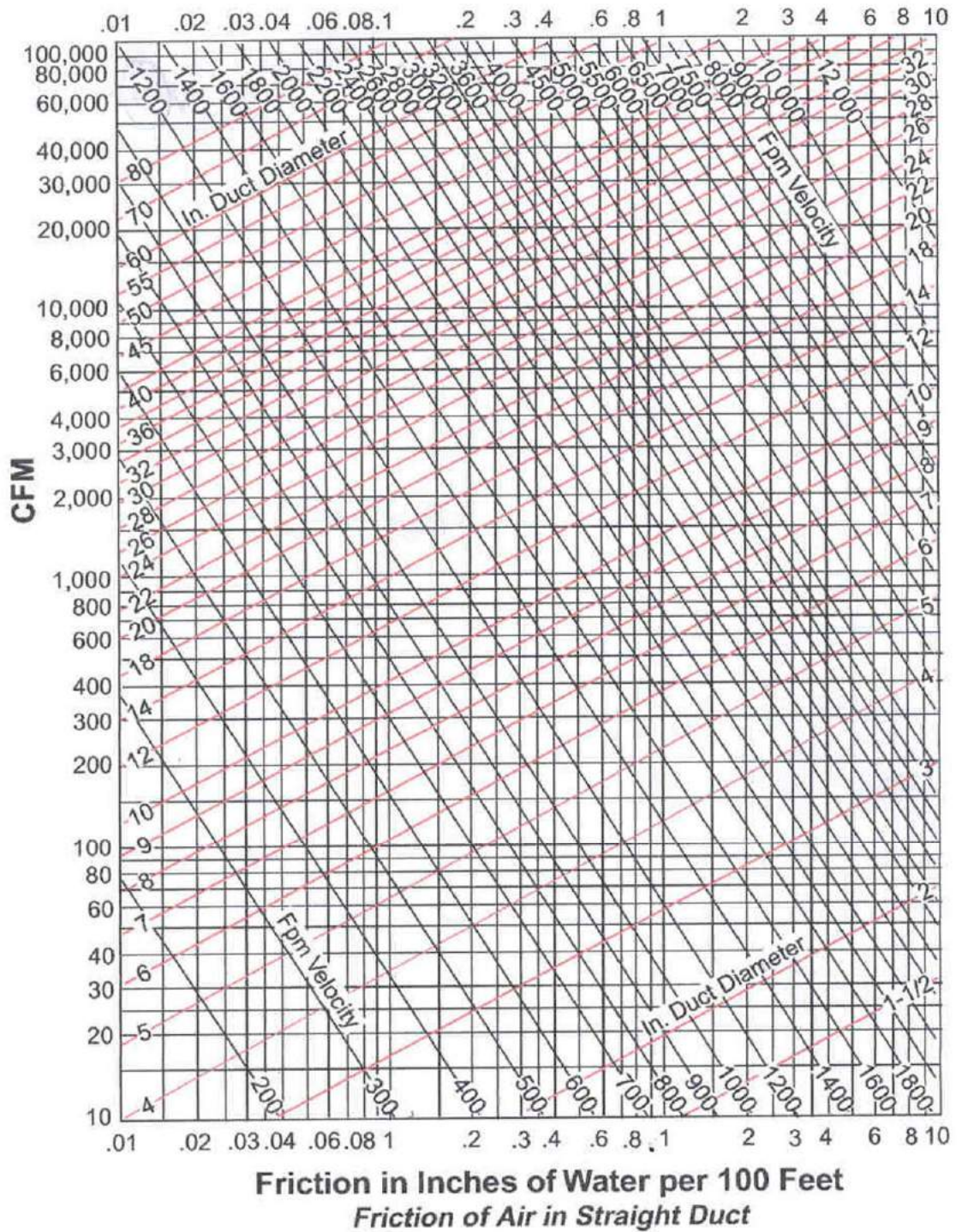
rp = Rated horsepower , ขนาดมอเตอร์ที่ใช้งาน ; hp

ตารางคำนวณความดันสูญเสีย										
ตำแหน่งท่อ	ปริมาณลม	ขนาดท่อ	ความยาว	ข้ออ 90		สามทางขยาย		รวมความยาวเทียบเท่าทั้งหมด	รวมความยาวท่อตรงทั้งหมด	ความดันสูญเสียทั้งหมด
				จำนวน	ความยาวเทียบเท่า	จำนวน	ความยาวเทียบเท่า			
	CFM	นิ้ว	ฟุต	ขึ้น	ฟุต	ขึ้น	ฟุต	ฟุต	ฟุต	นิ้ว/100 ฟุตท่อตรง
Pressure drop ทั้งหมด										
แรงม้าเพลลา (Shaft horsepower) , Shp										Horsepower
แรงม้ามอเตอร์ (Rated horsepower) , Rhp										hp



Duct Design

Duct Resistance



Scrubbing Velocities for Dry Particles in Round Ducts*

Non-specific materials

	Velocity	
	fpm	mps
Very fine, very light dusts	2000	10
Fine dusts and powders	3000	15
Medium industrial dusts	3500	18
Coarse dusts	4000 - 4500	20-23
Heavy dusts	5000	25

Specific materials

	Velocity			Velocity	
	fpm	mps		fpm	mps
Abrasive blasting dust	4000	20	Limestone dust	3500	18
Aluminum dust, coarse	4000	20	Lint	2000	10
Barrel filling and dumping	4000	20	Magnesium dust, coarse	4500	23
Belt conveyors	3500	18	Metal fumes	2500	13
Bins and hoppers	3500	18	Metal turnings	5000	25
Brass turnings	4000	20	Metalizing booth	3500	18
Bucket elevators	3500	18	Paper dust	3500	18
Cast iron boring dust	4000	20	Plastics buffing dust	4000	20
Ceramics, glaze spraying	2500	13	Rubber dust, fine	2500	13
other operations	3500	18	coarse	4000	20
Carbon black	3500	18	Sandblast dust	4000	20
Clay	3500	18	Sander dust	3000	15
Coal, fine powder	4000	20	Silica dust	4000	20
Cork, ground	2500	13	Soap dust	3000	15
Cotton dust	3000	15	Soapstone dust	3500	18
Flour dust	2500	13	Soldering and tinning	2500	13
Foundry, general	4000	20	Tailpipe exhaust	3000	15
tumbling mills	5000	25	Wood dust: flour	2500	13
Grain dust	3000	15	light dry sawdust	2500	13
Grinding, general	4000	20	shavings	3500	18
Lead dust	4500	23	heavy chips	4000	20
Lead dust with chips	5000	25	Wool	3000	15
Leather dust	3500	18	Zinc oxide fumes	2500	13

* "Scrubbing" velocities are those velocities with sufficient turbulence to lift particles off the duct surface as settling occurs; also, "transport" velocity; also, "target" velocity.

For wet and sticky materials, provide cleanouts, sloping ducts, and drains for periodic cleanout. For air with no industrial particles, duct velocities of 1800-2000 fpm (9-10 mps) are considered optimum, considering initial and operating costs, noise control, and naturally-occurring dust transport. Sources: 1,2,8,11

D. Jeff Burton



TABLE 12. Transport Velocities for Different Materials

Material, Operation, or Industry	Minimum Transport Velocity	
	m/s	fpm
Abrasive blasting	17.8–20.3	3500–4000
Aluminum dust, coarse	20.3	4000
Asbestos carding	15.2	3000
Bakelite molding powder dust	12.7	2500
Barrel filling or dumping	17.8–20.3	3500–4000
Belt conveyors	17.8	3500
Bins and hoppers	17.8	3500
Brass turnings	20.3	4000
Bucket elevators	17.8	3500
Buffing and polishing		
Dry	15.2–17.8	3000–3500
Sticky	17.8–22.9	3500–4500
Cast iron boring dust	22.9	4000
Ceramics, general		
Glaze spraying	12.7	2500
Brushing	17.8	3500
Fettling	17.8	3500
Dry pan mixing	17.8	3500
Dry press	17.8	3500
Sagger filling	17.8	3500
Clay dust	17.8	3500
Coal (powdered) dust	20.3	4000
Cocoa dust	15.2	3000
Cork (ground) dust	12.7	2500
Cotton dust	15.2	3000
Crushers	15.2	3000 or higher
Flour dust	12.7	2500
Foundry, general	17.8	3500
Sand mixer	17.8–20.3	3500–4000
Shake-out	17.8–20.3	3500–4000
Swing grinding booth exhaust	15.2	3000
Tumbling mills	20.3–25.4	4000–5000
Grain dust	12.7–15.2	2500–3000
Grinding, general	17.8–22.9	3500–4500
Portable hand grinding	17.8	3500
Jute		
Dust	12.7–15.2	2500–3000
Lint	15.2	3000
Dust shaker waste	16.3	3200
Pickerstock	15.2	3000
Lead dust	20.3	4000
with small chips	25.4	5000
Leather dust	17.8	3500
Limestone dust	17.8	3500
Lint	10.2	2000
Magnesium dust, coarse	20.3	4000
Metal turnings	20.3–25.4	4000–5000
Packaging, weighing, etc.	15.2	3000
Downdraft grille	17.8	3500
Pharmaceutical coating pans	15.2	3000
Plastics dust (buffing)	19.3	3800
Plating	10.1	2000
Rubber dust		
Fine	12.7	2500
Coarse	22.9	4000
Screens		
Cylindrical	17.8	3500
Flat deck	17.8	3500
Silica dust	17.8–22.9	3500–4500
Soap dust	15.2	3000

Soapstone dust	17.8	3500
Soldering and tinning	12.7	2500
Spray painting	10.1	2000
Starch dust	15.2	3000
Stone cutting and finishing	17.8	3500
Tobacco dust	17.8	3500
Woodworking		
Wood flour, light dry sawdust and shavings	12.7	2500
Heavy shavings, damp sawdust	17.8	3500
Heavy wood chips, waste, green shavings	20.3	4000
Hog waste	15.2	3000
Wool	15.2	3000
Zinc oxide fume	10.1	2000

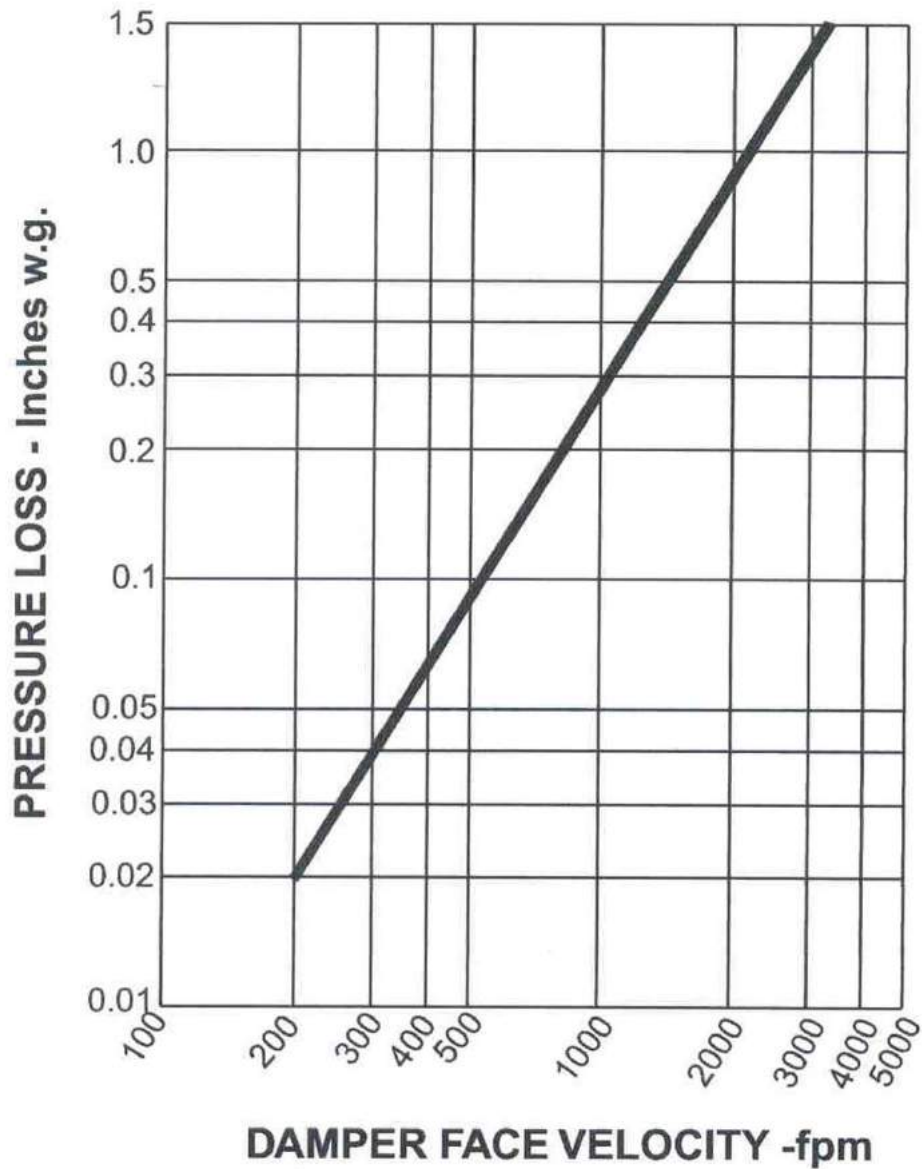
Material	Minimum Transport Velocity	
	m/s	fpm
Very fine, light dusts	10.2	2000
Fine, dry dusts and powders	15.2	3000
Average industrial dusts	17.8	3500
Coarse dusts	20.3–22.9	4000–4500
Heavy or moist dust loading	22.9 and up	4500 and up

Source: Reference 2.

ENCO ENGINEERING AND TRADING CO., LTD.

Duct Design

Damper Pressure Drop

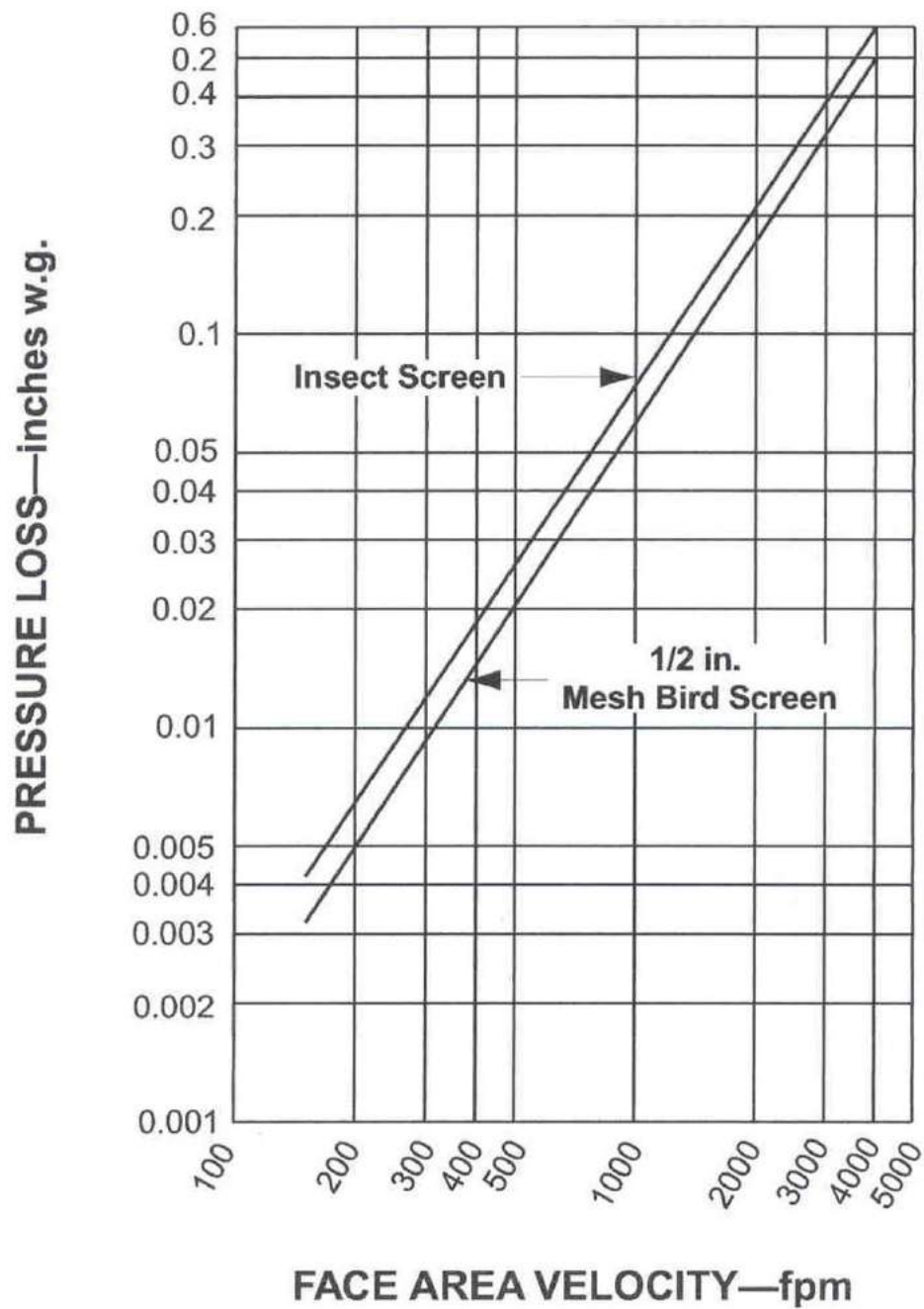


$$V \text{ (Velocity)} = \frac{\text{CFM}}{\text{Sq. Ft. Damper Area}}$$

Adapted from HVAC Systems Duct Design, Third Edition, 1990,
Sheet Metal & Air Conditioning Contractor's National Association.

Duct Design

Screen Pressure Drop



Adapted from HVAC Systems Duct Design, Third Edition, 1990,
Sheet Metal & Air Conditioning Contractor's National Association.

Duct Design

Velocity and Velocity Pressure Relationships

Velocity (fpm)	Velocity Pressure (in wg)	Velocity (fpm)	Velocity Pressure (in wg)
300	0.0056	3500	0.7637
400	0.0097	3600	0.8079
500	0.0155	3700	0.8534
600	0.0224	3800	0.9002
700	0.0305	3900	0.9482
800	0.0399	4000	0.9975
900	0.0504	4100	1.0480
1000	0.0623	4200	1.0997
1100	0.0754	4300	1.1527
1200	0.0897	4400	1.2069
1300	0.1053	4500	1.2624
1400	0.1221	4600	1.3191
1500	0.1402	4700	1.3771
1600	0.1596	4800	1.4364
1700	0.1801	4900	1.4968
1800	0.2019	5000	1.5586
1900	0.2250	5100	1.6215
2000	0.2493	5200	1.6857
2100	0.2749	5300	1.7512
2200	0.3017	5400	1.8179
2300	0.3297	5500	1.8859
2400	0.3591	5600	1.9551
2500	0.3896	5700	2.0256
2600	0.4214	5800	2.0972
2700	0.4544	5900	2.1701
2800	0.4887	6000	2.2443
2900	0.5243	6100	2.3198
3000	0.5610	6200	2.3965
3100	0.5991	6300	2.4744
3200	0.6384	6400	2.5536
3300	0.6789	6500	2.6340
3400	0.7206	6600	2.7157

For calculation of velocity pressures at velocities other than those listed above: $P_v = (V/4005)^2$

For calculation of velocities when velocity pressures are known:

$$V = 4005 \sqrt{P_v}$$

Duct Design

Typical Design Velocities for HVAC Components*

Intake Louvers	Velocity (FPM)
• 7000 cfm and greater	400
Exhaust Louvers	
• 5000 cfm and greater	500
Panel Filters	
• Viscous Impingement	200 to 800
• Dry-Type, Pleated Media:	
• Low Efficiency	350
• Medium Efficiency	500
• High Efficiency	500
• HEPA	250
Renewable Media Filters	
• Moving-Curtain Viscous Impingement	500
• Moving-Curtain Dry-Media	200
Electronic Air Cleaners	
• Ionizing-Plate-Type	300 to 500
• Charged-Media Non-ionizing	250
• Charged-Media Ionizing	150 to 350
	500 to 600
Steam and Hot Water Coils	200 min. 1500 max
Electric Coils	
• Open Wire	Refer to Mfg. Data
• Finned Tubular	Refer to Mfg. Data
Dehumidifying Coils	500 to 600
Spray-Type Air Washers	300 to 600
Cell-Type Air Washers	Refer to Mfg. Data
High-Velocity, Spray-Type Air Washers	1200 to 1800

*Adapted from ASHRAE "Pocket Guide", 1993

Table 7. AIR FLOW RESISTANCE CAUSED BY ELBOWS AND BRANCH ENTRIES
EXPRESSED AS EQUIVALENT FEET OF STRAIGHT DUCT
(Adapted from Industrial Ventilation, 1956)

Diameter of duct, in.	90° Elbow Throat radius (R)			60° Elbow Throat radius (R)			45° Elbow Throat radius (R)			Branch entry Angle of entry (θ)		
	1.0 D	1.5 D	2.0 D	1.0 D	1.5 D	2.0 D	1.0 D	1.5 D	2.0 D	45°	30°	15°
3	5	4	3	4	3	2	2	1	1	3	2	1
4	7	5	4	5	4	3	4	3	2	5	3	1
5	9	6	5	7	5	4	5	4	3	6	4	2
6	11	7	6	8	5	4	6	4	3	7	5	2
7	12	9	7	9	6	5	7	5	4	9	6	3
8	14	10	8	11	7	6	8	5	4	11	7	3
9	17	12	10	12	9	7	9	6	5	12	8	4
10	20	13	11	14	10	8	10	7	6	14	9	4
11	23	16	13	17	12	10	11	8	6	15	10	5
12	25	17	14	20	13	11	12	9	7	18	11	5
14	30	21	17	23	16	13	14	10	8	21	13	6
16	36	24	20	27	18	15	17	12	10	25	15	8
18	41	28	23	32	22	18	20	13	11	28	18	9
20	46	32	26	36	24	20	23	16	13	32	20	10
22	53	37	30	39	27	22	27	18	15	36	23	11
24	59	40	33	44	30	25	30	20	16	40	25	13
26	64	44	36	48	33	27	32	22	18	44	28	14
28	71	49	40	52	35	29	35	24	20	47	30	15
30	75	51	42	55	38	31	37	26	21	51	32	16
36	92	63	52	68	46	38	46	32	26	-	-	-
40	105	72	59	75	51	42	52	35	29	-	-	-
48	130	89	73	91	62	51	64	44	36	-	-	-



Table 4-3 Ventilation System Pressure Losses

<i>Type of Loss</i>	<i>Typical Magnitude, Inches of Water</i>	<i>Reason</i>
Acceleration loss	0.25–1.5	Energy needed to accelerate air to duct velocity
Hood entry loss	0.1–2.0	Turbulence as air enters hood and ducts
Duct friction loss	1.0–5.0 per 100 ft of duct	Friction as air moves through duct
Turbulence Losses		Turbulence as air changes direction or velocity
Elbow	0.1–0.3 per 90° elbow	
Branch entry	0.1–0.3 per 45° entry	
Enlargements and contractions	0.1–0.5 per enlargement or contraction	
Air cleaners	0.5–10	Friction and turbulence

Table 4-2 Typical Pressure Losses From Air Cleaners

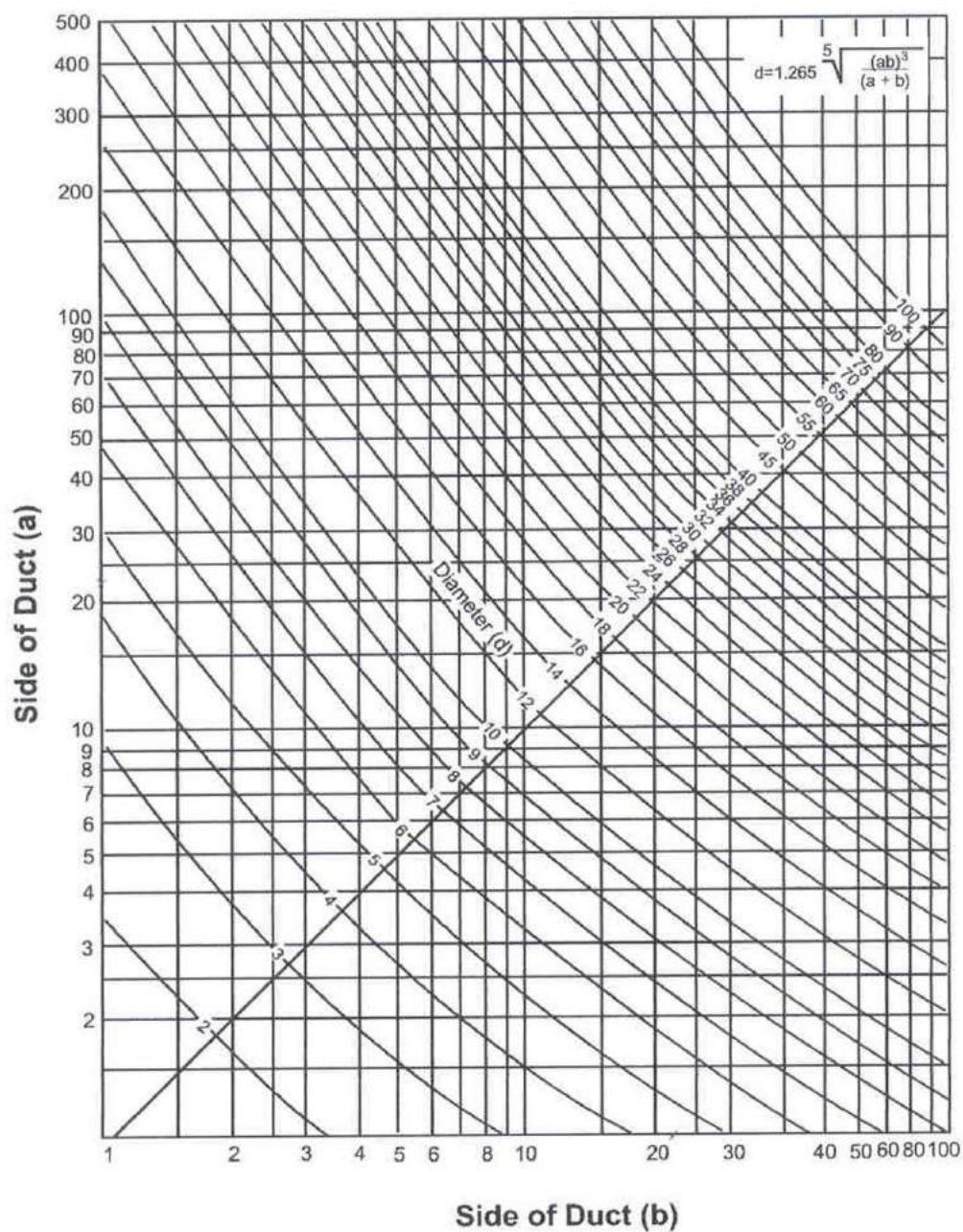
<i>Type</i>	<i>Pressure Loss,^a Inches of Water</i>
Filter	3–8
Cyclone	1–6
Electrostatic precipitator	0.5–1
Scrubber	
Packed tower	1–3
Wet centrifugal or venturi collector	2–6
Carbon adsorption bed ^b	1–10

^aActual pressure loss is highly dependent on collection efficiency.

^bDepends on carbon pore size and air velocity through bed.

Duct Design

Rectangular Equivalent of Round Ducts



Duct Design

Recommended Metal Gauges for Duct

Rectangular Duct			Round Duct		
Greatest Dimension	U.S. ga.	B&S ga.	Diameter	Galv. Steel U.S. ga.	Aluminum B&S ga.
to 30 in.	24	22	to 8 in.	24	22
31-60	22	20	9-24	22	20
61-90	20	18	25-48	20	18
91-up	18	16	49-72	18	16

Wind Driven Rain Louvers†

A new category of product has emerged recently called a wind-driven rain louver. These are architectural louvers designed to reject moisture that are tested and evaluated under simulated wind driven rain conditions. Since these are relatively new products, several different test standards have emerged to evaluate the performance of these products under severe wind and rain weather conditions. In addition, manufacturers have developed their own standards to help evaluate the rain resistance of their products. Specifying engineers should become familiar with the differences in various rain and pressure drop test standards to correctly evaluate each manufacturer's claims. Four test standards are detailed below:

	Dade Co. Test	Power Plant Test	AMCA 500 Test*	HEVAC Test
Wind Velocity m/s (mph)	16-50 (35 - 110)	22 (50)	0	13.5 (30)
Rain Fall Rate mm/h (in./h)	220 (8.8)	38-280 (1.5 to 10.9)	100 (4)	75 (3)
Wet Wall Water Flow Rate L/s (gpm)	0	0	0.08 (1.25)	0
Airflow Through Louder m/s (fpm)	0	6.35 (1,250) Free Area Velocity	6.35 (1,250) Free Area Velocity	3.6 (700) Free Core Area Velocity

†Table from AMCA Supplement to ASHRAE Journal, September 1998.

*AMCA Louver Engineering Committee at this writing is currently updating AMCA 500-L to allow testing of varying sizes, wind speed, and rainfall intensity and is developing a Certified Ratings Program for this product category.

Duct Design

U.S. Sheet Metal Gauges

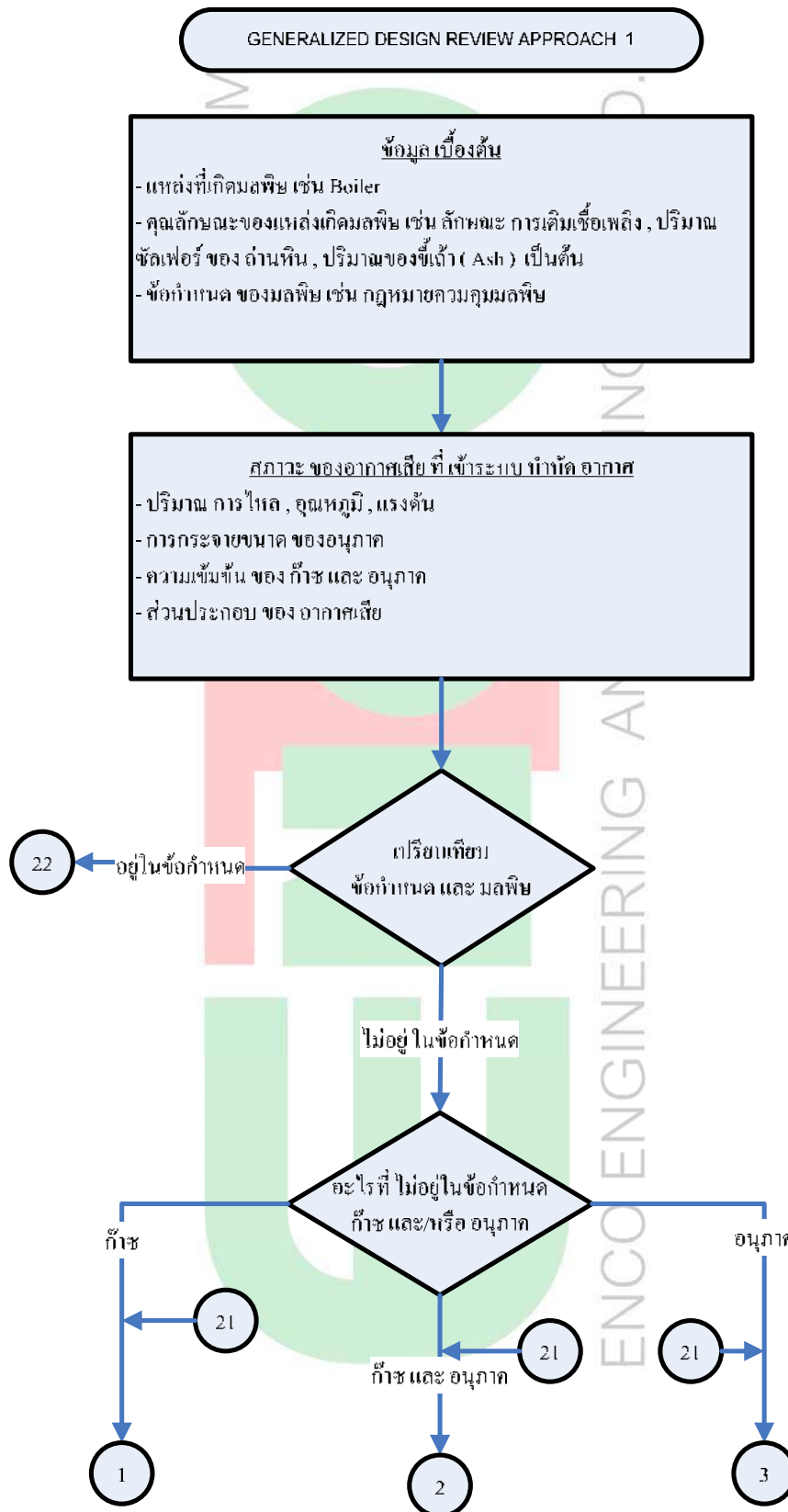
Gauge No.	Steel (Manuf. Std. Ga.)		Galvanized (Manuf. Std. Ga.)	
	Thick. in.	Lb./ft. ²	Thick.in.	Lb./ft. ²
26	.0179	.750	.0217	.906
24	.0239	1.00	.0276	1.156
22	.0299	1.25	.0336	1.406
20	.0359	1.50	.0396	1.656
18	.0478	2.00	.0516	2.156
16	.0598	2.50	.0635	2.656
14	.0747	3.125	.0785	3.281
12	.1046	4.375	.1084	4.531
10	.1345	5.625	.1382	5.781
8	.1644	6.875	.1681	7.031
7	.1793	7.50	—	—

Gauge No.	Mill Std. Thick Aluminum*		Stainless Steel (U.S. Standard Gauge)	
	Thick. in.	Lb./ft. ²	Thick.in.	Lb./ft. ²
26	.020	.282	.0188	.7875
24	.025	.353	.0250	1.050
22	.032	.452	.0312	1.313
20	.040	.564	.0375	1.575
18	.050	.706	.050	2.100
16	.064	.889	.062	2.625
14	.080	1.13	.078	3.281
12	.100	1.41	.109	4.594
10	.125	1.76	.141	5.906
8	.160	2.26	.172	7.218
7	.190	2.68	.188	7.752

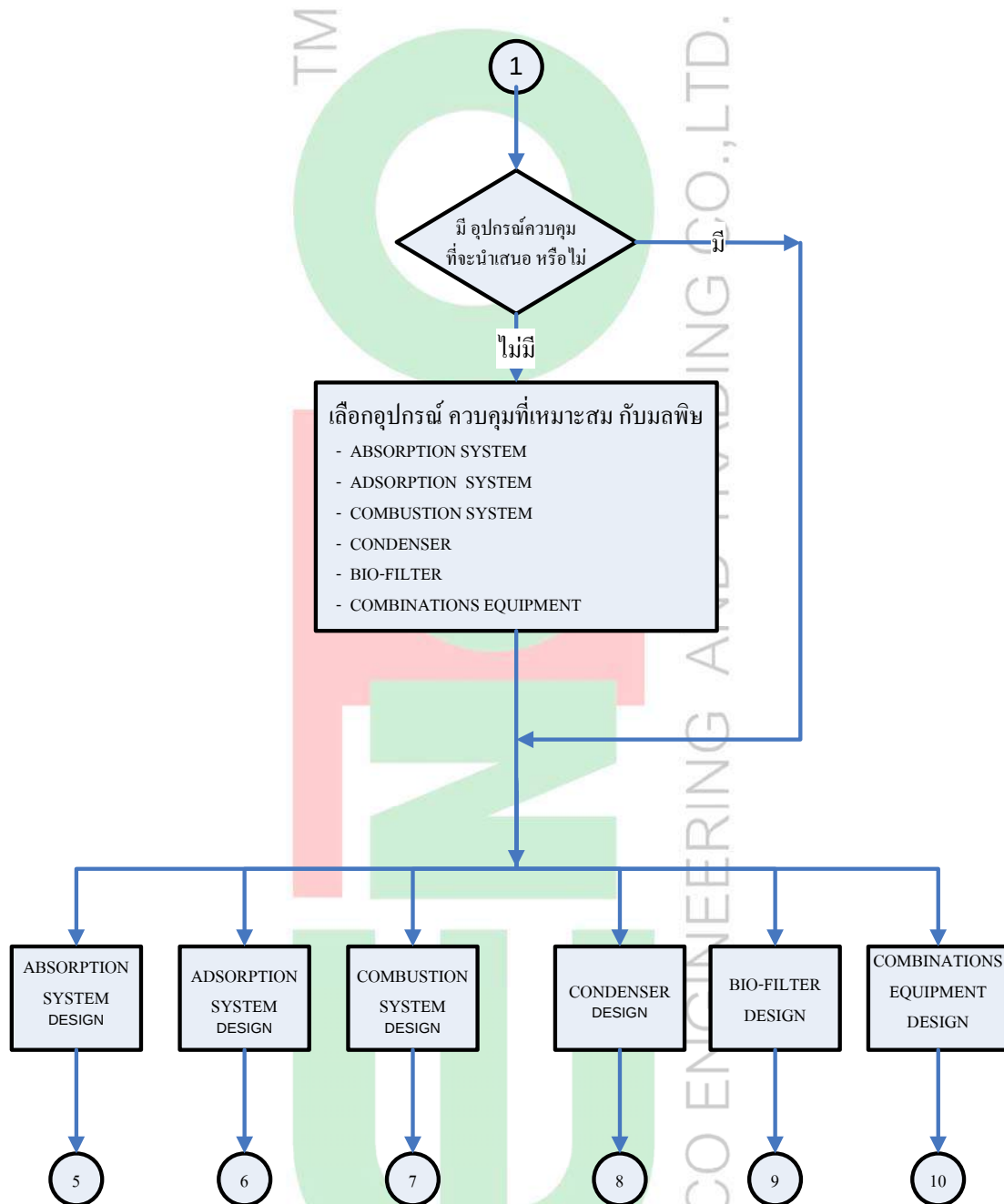
*Aluminum is specified and purchased by material thickness rather than gauge.

บทที่ 8

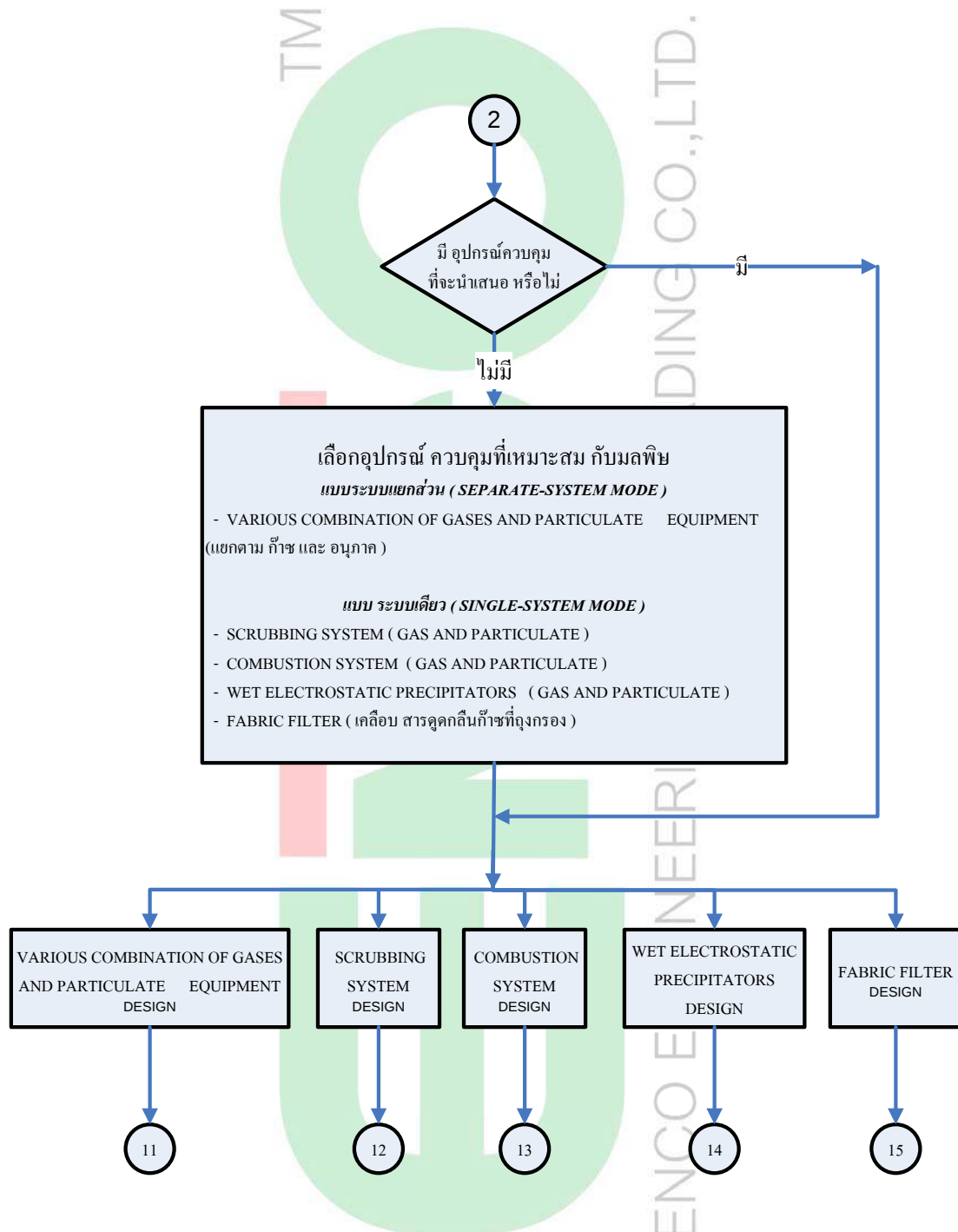
ขั้นตอนการออกแบบ และ เลือกใช้อุปกรณ์บำบัดอากาศ



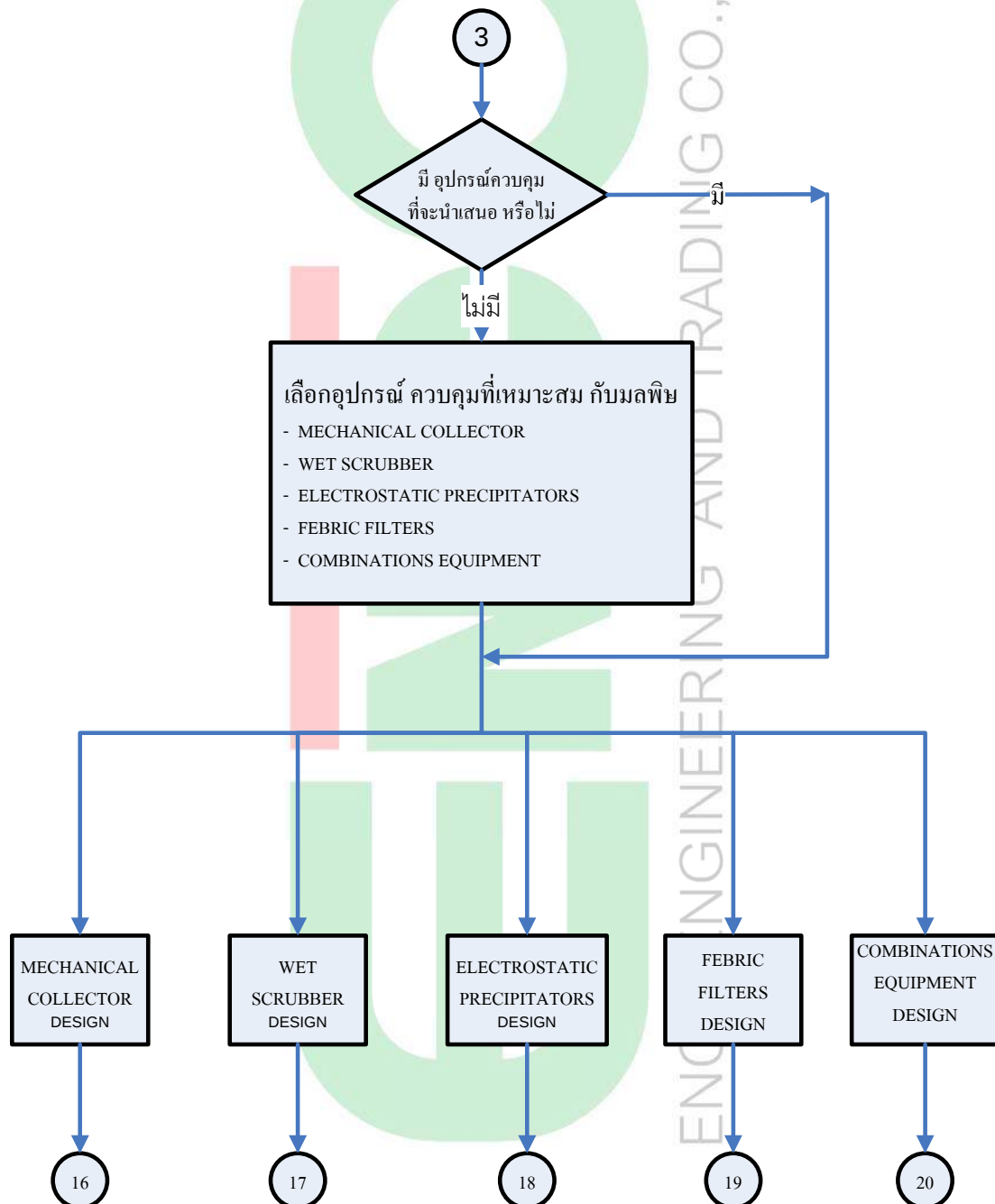
GENERALIZED DESIGN REVIEW APPROACH 2

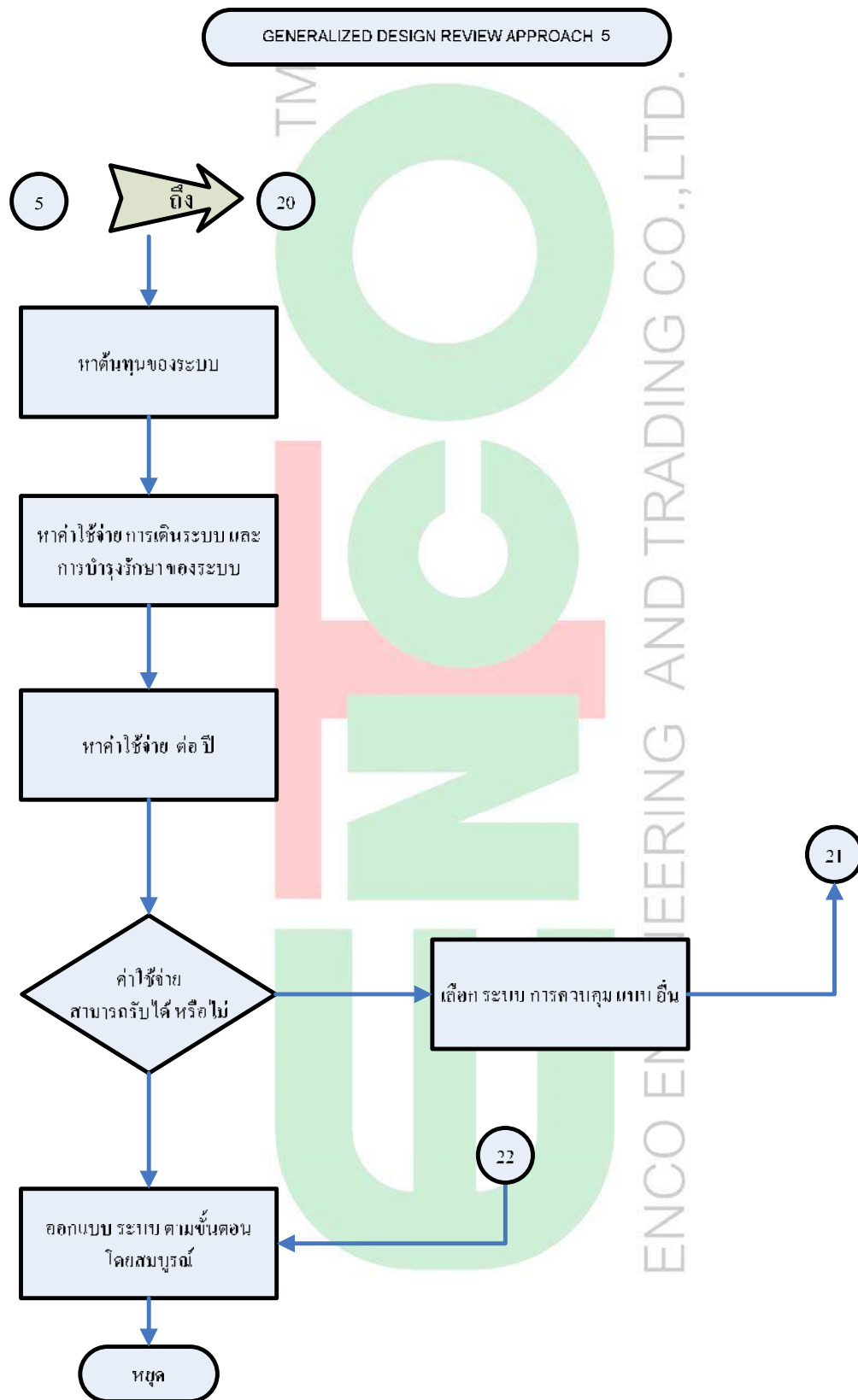


GENERALIZED DESIGN REVIEW APPROACH 3

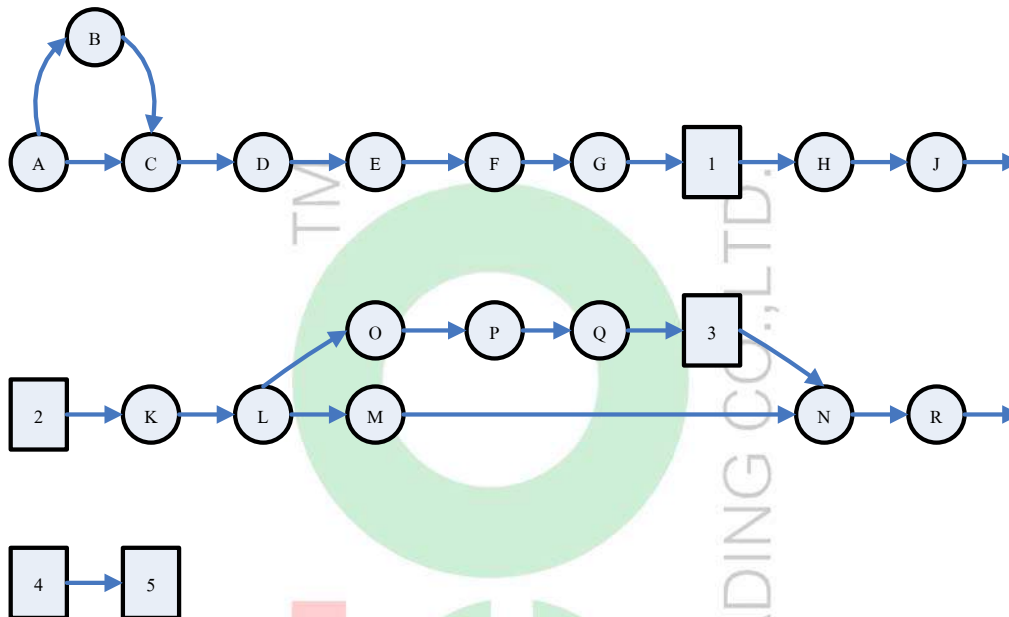


GENERALIZED DESIGN REVIEW APPROACH 4





COMPLIANCE ACTIVITY AND SCHEDULE CHART



- 1 วัน สุดท้ายของการเสนอตั้งงบประมาณของตัวแทนจำหน่าย
- 2 วัน เสร็จสัญญาอุปกรณ์ควบคุม ของผู้ชนะ
- 3 วัน เริ่มต้น ของ งานโครงสร้าง และ งานติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม
- 4 วัน ที่ งานโครงสร้าง และงานติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม สมบูรณ์
- 5 วัน ที่ยอมให้ได้ ในการติดตั้งที่สมบูรณ์ของระบบ

- A - C สืบหาข้อมูลเบื้องต้น
- A - B ทดสอบแหล่งกำเนิด ถ้าจำเป็น
- C - D ประเมินอุปกรณ์ที่เลือกใช้
- D - E ประมาณค่าใช้จ่าย ทั้งหมด ของโครงการ
- E - F เตรียม วางแบบเบื้องต้น
- กำหนด แผนการทำงาน ให้กับตัวแทนจำหน่าย
- F - G ตรวจสอบ และ อนุมัติ ตัวแทนจำหน่าย
- G - 1 แผนงาน และ รายละเอียด ขั้นสุดท้าย
- 1 - H จัดหา วัสดุ อุปกรณ์ควบคุม
- H - J หา ราคา วัสดุ อุปกรณ์ควบคุม
- J - 2 ทำสัญญา กับผู้ชนะ การ ประมูล
- 2 - K ผู้ขาย เตรียม แบบส่วน ประกอบ ต่างๆ
- K - L ตรวจสอบ และ อนุมัติ แบบส่วน ประกอบ ต่างๆ
- L - M ผู้ขาย เตรียม แบบ สำหรับ การผลิต
- M - N ผลิต อุปกรณ์ควบคุม
- L - O เตรียม แบบ ทางด้านวิศวกรรม
- O - P จัดหาการประมาณงานโครงสร้าง,ฐานราก
- P - Q หา ราคา วัสดุ งานโครงสร้าง,ฐานราก
- Q - 3 ทำสัญญา กับผู้ชนะ การ ประมูล
- 3 - N เริ่มงาน โครงสร้าง,ฐานราก
- N - R ติดตั้ง อุปกรณ์ควบคุม
- R - 4 ติดตั้ง อุปกรณ์ควบคุม โครงสร้าง สมบูรณ์ (ต่อเข้า ระบบ)
- 4 - 5 เริ่ม เดินระบบ , ทดสอบระบบ , ทดสอบแหล่งเกิดมลพิษ

การออกแบบและเลือกใช้ระบบบำบัดให้เหมาะสมกับมลพิษ

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและเลือกใช้ระบบ

- ชนิดของมลพิษ : ฝุ่น , ก๊าซ , พุ่ม
- ความเข้มข้นของมลพิษ (Concentration)
- ปริมาณมลพิษที่ระบายออกจากปล่อง (Emission Load)
- อัตราการไหลของก๊าซ
- อุณหภูมิ (T), ความดัน (P) , ความชื้นสัมพัทธ์ (RH)
- ความหนาแน่น
- ความเข้มข้นต่ำสุดที่จุดระเบิดเองได้ (LEL)
- ค่าความเป็นกรด, ด่าง ของมลพิษ
- คุณสมบัติทางเคมี อื่นๆ ของมลพิษ

Data needed for designing air-pollution control systems

Table VI

Physical form (gas, liquid, solid)
Flowrate of stream
Concentration of material to be collected
Particle size distribution
Variations in flow or concentration
(extent and time)
Physical properties
(solubility, resistivity, ease of handling)
Chemical properties
(reactivity, corrosivity, toxicity)
Temperature and pressure of stream

Table 5-2 Types of Air Contaminants

Airborne Material	Size Range, μm	Characteristics
Dust (Airborne)	0.1–30.0	Generated by pulverization or crushing of solids. Typical examples are rock, metal, wood and coal dust. Particles may be up to 300–400 μm but those above 20–30 μm usually do not remain airborne.
Fumes	0.001–1.0	Small solid particles created by condensation from vapor state, especially volatilized metals as in welding. Fumes tend to coalesce into larger particles as the small fume particles collide.
Mists	0.01–10.0	Suspended liquid particles formed by condensation from gaseous state or by dispersion of liquids. Mists occur above open surface electroplating tanks.
Smokes	0.01–1.0	Aerosol mixture from incomplete combustion of organic matter. This size range does not include fly ash.
Vapors	0.005	Gaseous forms of materials that are liquids or solids at room temperature. Many solvents generate vapors.
Gases	0.0005	Materials that do not usually exist as solids or liquids at room temperature, such as carbon monoxide and ammonia. Under sufficient pressure and/or low temperature they can be changed into liquids or solids.

Source: Reference 11.

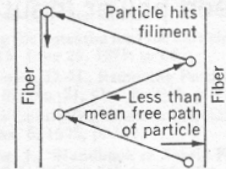


หลักการ การจับฝุ่น

Methods For Particulate Collection—Table I

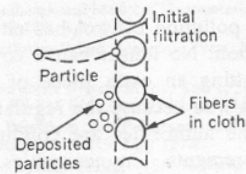
Brownian Separator

The Brownian Separator removes low-viscosity liquid particulates in the particle size range from 0.01 to 0.05 microns. This patented device consists of filaments, usually glass, arranged so that the space between them is less than the mean free path of the particle to be collected. Thus, the particle cannot escape; it must collide with one of the filaments where it is captured. Eventually, liquid builds up on the filaments and runs down to a collection point.



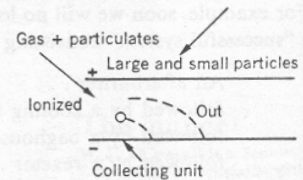
Filtration

The panel filter or baghouse will remove solid particles down to the 0.1 micron level. The panel-type filter is limited to relatively light dust loadings because cleaning is time-consuming and costly. The baghouse, on the other hand, can be used with heavy grain loadings. These units are made up of a large number of cylindrical bag filters, which may be cleaned automatically to provide continuous operation. The baghouse should not be used for oily, hygroscopic or explosive dusts. Gas temperature is limited by the composition of the filter medium.



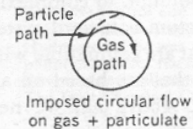
Electrostatic Precipitator

In this common collecting device, a high voltage is imposed on a relatively slow-moving gas stream. Charged particles are attracted to the grounded electrode, where they are periodically removed by rapping, vibration or washing. Conventional precipitators are quite bulky because of low air velocities. They have the advantage of providing dry collection, generally down to the 0.2 to 0.5 micron range. Theoretically there is no minimum limit to the size of particles that can be collected.



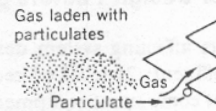
Centrifugal Collectors

Available in a number of different designs, cyclone separators rely on centrifugal force to drive particles to the wall of the chamber where they drop out of the gas stream into a collector. They are useful for relatively coarse separations. A large-diameter cyclone will remove particles 15 microns and larger. Small-diameter units, usually connected in parallel, are effective down to the 10-micron range.



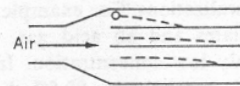
Inertial Separators

A variety of dry mechanical collectors are based on inertial impaction of particles on baffles arranged in the gas stream. Because there is a practical limit on how closely together the baffles can be placed, these devices are best for separations above 20 microns. However, some new designs can achieve 5 to 8 micron separations.



Gravity Settling

The oldest and simplest means of particle separation is the gravity settling chamber, in which particles fall onto collecting plates. These are useful for removing coarse dusts above 40 microns, and may be placed ahead of other separation equipment.

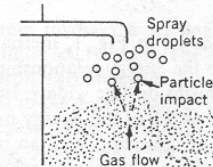


หลักการ การจับฝุ่นและแก๊ส

Equipment For Removing Gases and Dusts—Table II

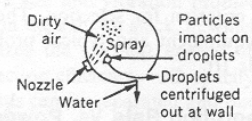
Spray Towers

In spray towers the gas stream passes at low velocity through water sprays created by pressure nozzles. These units are simple but only moderately effective. They will remove particles down to the 10 to 20 micron range and absorb very soluble gases.



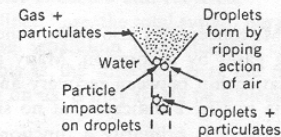
Wet Cyclones

In this version of the cyclone separator, swirling gas flows through water sprays. Droplets containing dusts and absorbed gas are separated by centrifugal force and collected at the bottom of the chamber. Wet cyclones are more effective than spray towers. They will absorb fairly soluble gases and remove dusts down to the 3 to 5 micron range.



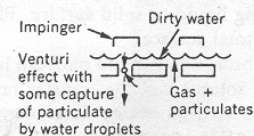
Venturi Collectors

The venturi design relies on high gas velocities on the order of 100 to 500 ft./sec. through a constriction where water is added. The impact breaks the water into droplets, with the fineness of spray determined by gas velocity. Venturis collect particles to the 0.1 micron level and recover soluble gases.



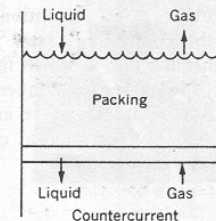
Perforated Impingement Trays

Here, gas flows through small orifices at 40 to 80 ft./sec. and hits a liquid layer to form spray. The liquid captures particles and gases and is collected on impingement baffles. Performance is relatively good with particle collection possible down to 1 micron and absorption of fairly soluble gases.



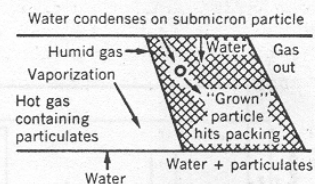
Packed Towers

Packed towers were primarily created for gas absorption. With some new designs, they can also be used for dust removal. Gas-liquid flow may be concurrent, cocurrent or crossflow. Two kinds of mass and particulate transfer are possible, depending on the packing. Extended surface packings provide absorption by spreading the liquid surface, and collect particles by cyclonic action. Recovery is limited to 10-micron sizes and larger. With filament packing, absorption by surface renewal is twice as effective and particles to 3 microns are separated by inertial impact. A cross-flow tower gives the highest solids handling capability with the lowest pressure drop.



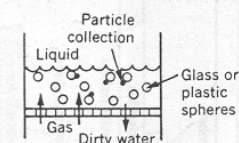
Nucleation Scrubber

This process grows submicron particles, down to 0.01 micron, by condensation. It collects grown particles on filament-type packing by inertial impact at low energy. At the same time, absorption occurs as in a conventional cross-flow packed tower.



Turbulent Contactor

With this device gas flows through spherical packing made up of 0.5 to 2-in. balls, which oscillate or bounce in liquid. Particles down to the 1 to 5 micron range collect by baffle impact on the spheres. Gases will absorb in the turbulent liquid and absorption efficiency will depend on the number of stages.



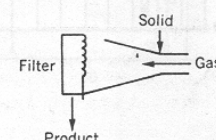
Wet Filters

This is an open filter whose efficiency is improved by spraying with water. Its absorption ability is limited to those gases that are very soluble.



Chromatographic Recovery

The chromatographic unit (proprietary) contains inexpensive extended surface solids with a mono-to-termolecular coating of an active reagent. Thus the solute gas need only diffuse to the surface of the solid where it reacts either by ionic or molecular reaction. Where the reaction is ionic, the absorption is generally irreversible. Where the reaction is molecular, the absorption can be reversible and the solute gas can be stripped off essentially pure.



กลไก การจับฝุ่น ของอุปกรณ์บำบัดอากาศ

4.3-2 FORCES INFLUENCING SMALL PARTICLE COLLECTION IN AIR POLLUTION CONTROL DEVICES

Class of air pollution control device	Force or mechanism	Particle diameter, micrometers ^a
Settling chamber	Gravity	50
Cyclone		
Large diameter	Centrifugal + impaction	25
Small diameter	Centrifugal + impaction	> 5
Mechanical cent. rotor	Centrifugal + impaction	> 5
Scrubber		
Simple spray tower	Impaction + direct interception	25
Packed tower	Impaction + direct interception	5
Wet cyclone	Impaction + direct interception + centrifugal	5
Inertial-power driven	Impaction + direct interception + centrifugal	5
Self-induced spray	Impaction + direct interception	5
Venturi	Impaction + direct interception	< 1
Filter		
High velocity impingement	Impaction + direct interception	10
Spun glass prefilters	Impaction + direct interception	5
Deep fiber bed	Impaction + direct interception + diffusion	1
High efficiency cellulose-asbestos or all glass superfine fiber	Impaction + direct interception + diffusion	< 1
Plastic fiber-superfine	Impaction + direct interception + diffusion + electrostatic	0.1
Cellulose ester membrane	Impaction + direct interception + diffusion + electrostatic	0.01
Bag or screen woven fabric	Impaction + direct interception + diffusion	< 1
Reverse-jet felt	Impaction + direct interception + diffusion	< 1
Electrostatic precipitator		
Single stage high voltage	Electrostatic	< 1
Two stage low voltage	Electrostatic	< 1

^aMinimum particle size collected at approximately 90% efficiency under usual operating conditions.

Source: *Air Pollution Manual*, Part II, *Control Equipment*, American Industrial Hygiene Association, Detroit, Mich., 1968.



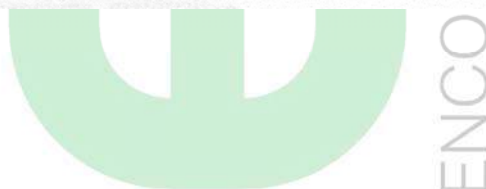
ประสิทธิภาพการจับฝุ่น ของอุปกรณ์บำบัดอากาศ

4.3-3 COLLECTION EFFICIENCY
OF PARTICULATE CONTROL EQUIPMENT^{1,2}

Collector type	Overall	Efficiency, % Particle size, micrometers				
		0-5	5-10	10-20	20-44	>44
Baffled settling chamber	58.6	7.5	22	43	80	90
Simple cyclone	65.3	12	33	57	82	91
Long-cone cyclone	84.2	40	79	92	95	97
Multiple cyclone, 12 in. diameter	74.2	25	54	74	95	98
Multiple cyclone, 6 in. diameter	93.8	63	95	98	99.5	100
Irrigated long-cone cyclone	91.0	63	93	96	98.5	100
Electrostatic precipitator	97.0	72	94.5	97	99.5	100
Irrigated electrostatic precipitator	99.0	97	99	99.5	100	100
Spray tower	94.5	90	96	98	100	100
Self-induced spray scrubber	93.6	85	96	98	100	100
Disintegrator scrubber	98.5	93	98	99	100	100
Venturi scrubber, 30 in. pressure drop	99.5	99	99.5	100	100	100
Wet impingement scrubber	97.9	96	98.5	99	100	100
Baghouse	99.7	99.5	100	100	100	100

REFERENCES

1. C.J. Stairmand, "The Design and Performance of Modern Gas Cleaning Equipment," *J. Inst. Fuel*, Vol. 29, 1956.
2. C.J. Stairmand, "Removal of Grit, Dust, and Fume from Exhaust Gases from Chemical Engineering Processes," *Chem. Eng.*, December 1965, p. 310.

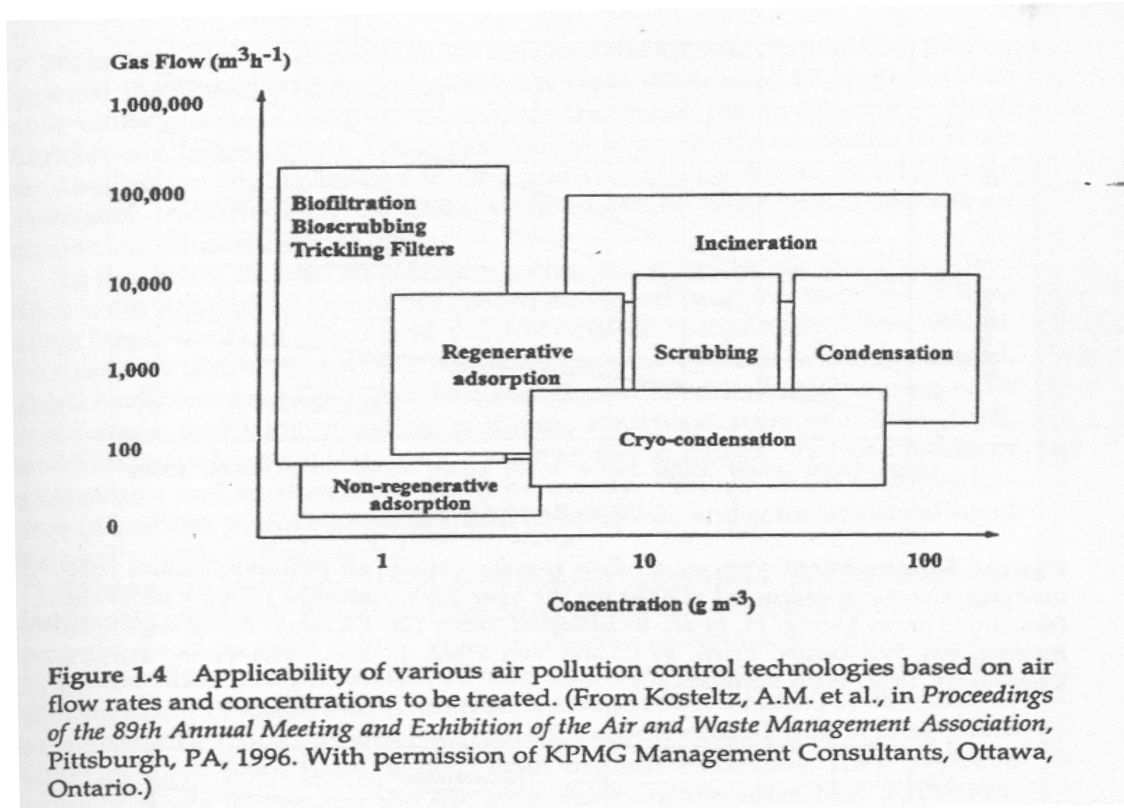


ข้อจำกัดของอุปกรณ์บำบัดอากาศ

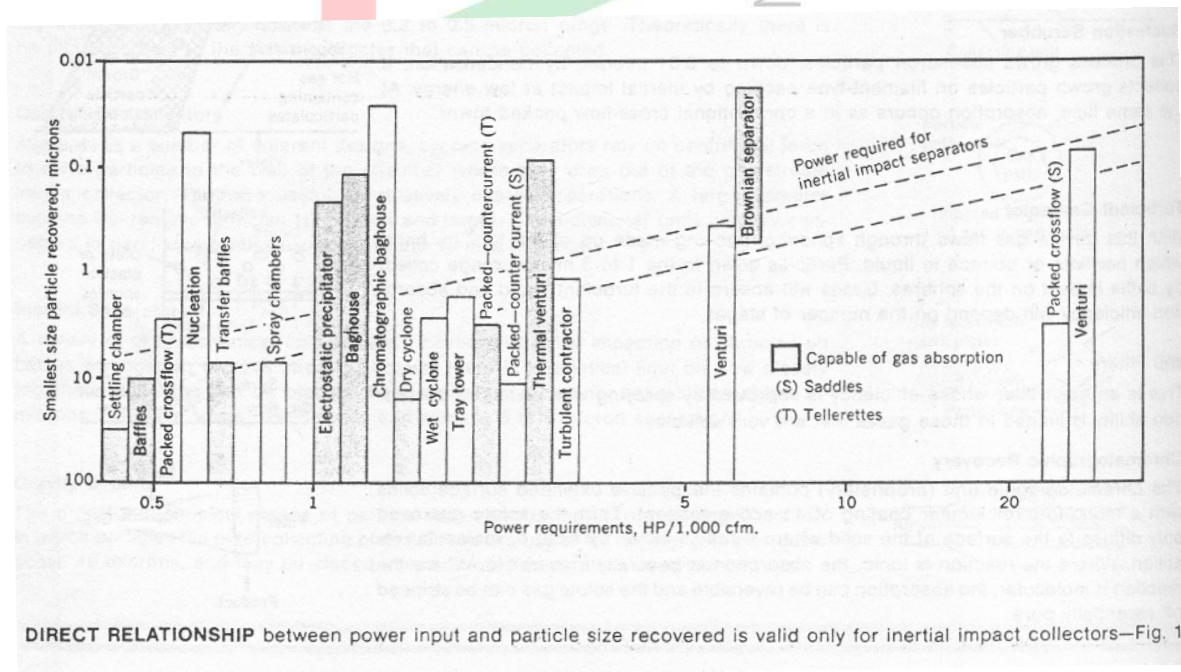
Limitations of Collection Equipment—Table III	
Equipment	Disadvantage
Settling chamber	Size
Baffle chamber	Reentrainment and dust buildup
Packed crossflow (T)	Irrigation minima
Packed crossflow (S)	Plugging
Nucleation	Irrigation minima
Precipitator	Size and maintenance
Baghouse	Bag life
Chromatographic baghouse	Bag life
Dry cyclone	Plugging with damp conditions
Wet cyclone	Plugged nozzles and misting
Packed countercurrent	Plugging
Thermal venturi	Erosion, minimum gas temp. 1,200 F.
Venturi	Mist carryover
Brownian separator	Cannot handle solids



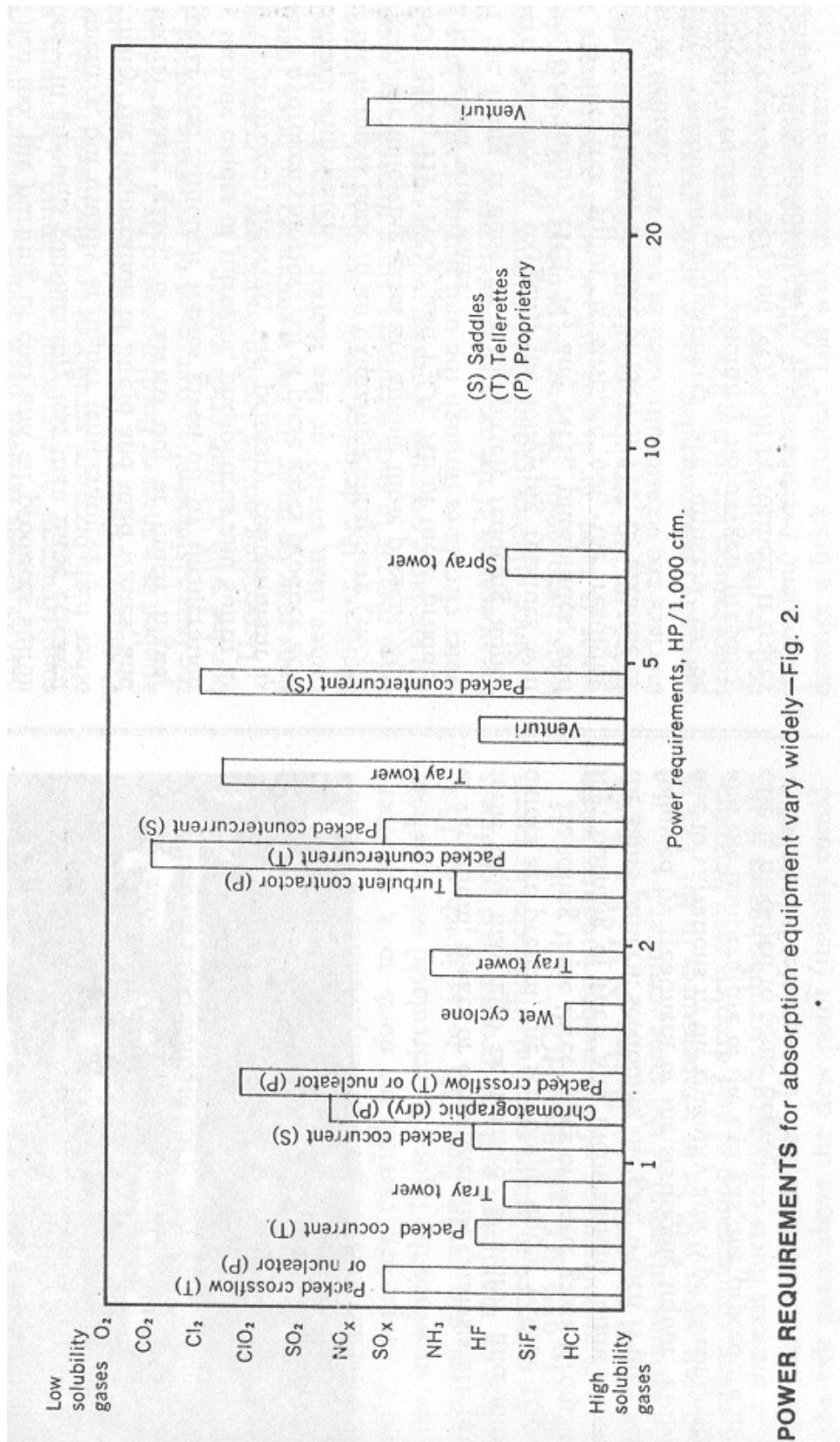
ตารางเปรียบเทียบระบบบำบัด อากาศ ตามความเข้มข้น และ ปริมาณลม



ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของฝุ่น กับกำลังที่ ใ้ให้กับระบบบำบัดอากาศ



กำลังที่ต้องการสำหรับอุปกรณ์ดูดซับแก๊ส



ตารางเปรียบเทียบระบบบำบัด อากาศ

Quick comparison guide for several air-pollution control systems					
Table VII					
Control	Capital cost	Operating cost	Normal Gas flow	Particle size	Concentration
Baghouse	Medium	Medium	Any	Any	Any
Carbon adsorber	High	Low	Any	—	Low-medium
Disposable filter	Low	High	Low	Any	Low
Electrostatic precipitator	High	Low	High	Fine	Low-medium
Incinerator	Low	High	Low-medium	—	Medium-high
Packed tower	Low	Low	Low-medium	—	Any
Thick fiber bed	High	Medium	Low-medium	Fine	Low-medium
Thin fiber bed	High	High	Low-medium	Fine	Low-medium
Venturi scrubber	Low	High	Low-medium	Medium	Any

ตารางการเลือก ระบบบำบัด อากาศ ให้เหมาะสมกับ มลพิษ

Table 9-3

(Key: Normal emissions contain particles of mixed sizes. The chart efficiencies are based on the number of particles collected in all sizes on a percentage basis. Gas absorption efficiencies are based on a percent by weight of the gases collected. E = 95%; G = 85 to 95%; F = 50 to 85%; NR = not recommended.)

Types of wet scrubbers	Gas absorption		Mists under 10 µm	Entrained liquids over 10 µm	Dusts above 5 µm	
	High solubility	Low solubility			Low loading	High loading
Cross flow (HRP)	E	G	G	E	E	NR
Countercurrent packed tower (VCP)	E	E	G	E	G	NR
Wet cyclone (VWC)	G	NR	NR	E	G	G
Air washers (VAW)	NR	NR	F	G	F	NR
Cocurrent packed tower	G	F	F	E	G	NR
Parallel flow	G	F	F	E	G	NR
Spray towers	C	NR	NR	C	F	F
Spray chambers	F	NR	F	F	F	F
Combination scrubbers (VWC and HRP)	E	G	G	E	B	E
Jets	F	NR	F	E	E	G
Venturis	F	NR	F	E	E	E

บทที่ 9

การ เลือกใช้อุปกรณ์บำบัดอากาศ ให้เหมาะสม กับ อุตสาหกรรม

ตารางเปรียบเทียบ ข้อดี ข้อเสีย ของระบบ บำบัดอากาศ

1. ไซโคลน (CYCLONE)

ข้อดี	ข้อเสีย
1. โครงสร้างราคาถูก	1. ประสิทธิภาพ ในการจับอนุภาคต่ำ โดยเฉพาะขนาดที่เล็กกว่า 10 ไมครอน
2. การบำรุงรักษาง่าย, ใช้คนน้อย	2. ไม่เหมาะกับฝุ่นที่ติดแน่น
3. ข้อจำกัด เรื่อง อุณหภูมิ และ แรงดัน ขึ้น กับ การเลือกใช้ วัสดุที่เหมาะสม	
4. Pressure drop ต่ำ จะอยู่ในช่วง 2 – 6 in.Wg	
5. เป็นการกำจัดแบบแห้ง สามารถทำได้สะดวก	
6. ต้องการพื้นที่ ในการติดตั้งน้อย	

2. Wet scrubber

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ไม่มีมลพิษ ชั้นที่ 2	1. จะทำให้เกิดน้ำเสีย
2. ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งน้อย	2. ฝุ่นที่จับได้จะเปียก
3. มีความสามารถ ในการจับฝุ่นและแก๊ส (โดยเฉพาะ ที่เป็นยางเหนียว)	3. ปัญหา การกัดกร่อน จะมีมากกว่า แบบแห้ง
4. มีความสามารถในการจับแก๊ส ที่มี อุณหภูมิ และ ความชื้นสูง	4. จะเกิด Plume และละอองน้ำ ออกที่ปล่อง
5. ต้นทุนต่ำ (ถ้าไม่ต้องการ ระบบบำบัดน้ำเสีย)	5. Pressure drop และ กำลังม้าที่ต้องการ อาจจะสูง
6. สำหรับบาง Process ที่มี แรงดันอยู่แล้ว Pressure drop ของระบบจึงไม่จำเป็น	6. มีการจับตัว เป็นก้อน ของฝุ่น ตรงบริเวณ ที่ เปียก บ้าง แห้ง บ้าง จะทำให้เกิดปัญหาได้
7. สามารถ มีประสิทธิภาพในการจับสูง สำหรับฝุ่น ขนาด เล็ก (แต่ต้องเพิ่ม Pressure drop)	7. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง

3. Electrostatic Precipitators

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีประสิทธิภาพสูงในการจับฝุ่น (ทั้ง หยาบ และละเอียด โดยเทียบกับค่าใช้จ่าย และ พลังงานที่ใช้ต่ำ)	1. ต้นทุนสูง
2. เป็นการจับแบบแห้งง่ายต่อการ กำจัดฝุ่น	2. มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง สภาพของแก๊ส (อนุภาค , อัตราการไหล, อุณหภูมิ, ส่วนประกอบของอนุภาคและแก๊ส , ปริมาณอนุภาค ที่เข้าระบบ)
3. ออกแบบให้มีการทำงานต่อเนื่อง ด้วย ความต้องการดูแลรักษาน้อย	3. มีความยากลำบากในการปรับแต่งระบบ ในกรณีความต้านทาน สูง หรือ ต่ำ เกินไป
4. Pressure drop ต่ำ (โดยทั่วไปประมาณ 0.5 in.Wg)	4. ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งมาก
5. ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ ต่ำ	5. มีอันตรายที่เกิดจากการติดไฟได้เอง เมื่อ แก๊ส หรือ ฝุ่นสามารถเผาไหม้ได้
6. ความสามารถในการทำงานที่แรงดันสูง (ถึง 150 psi) และ สูญญากาศ (Vacuum)	6. จะต้องมีความระมัดระวัง เป็นพิเศษ เพื่อป้องกันอันตราย จากไฟฟ้าแรงสูง
7. มีความสามารถที่จะทำงานที่อุณหภูมิสูง (ถึง 1,300 F)	7. จะเกิด “ โอโซน “ จากการชาร์ต ประจุลบ ของตัวนำไฟฟ้า กับแก๊ส ที่มีประจุไฟฟ้า
8. ที่อัตราการไหลหลายๆ จะเห็นผลประโยชน์ได้ชัดเจน	8. ต้องการเครื่องป้องกันส่วนบุคคลในการบำรุงรักษา

4. Filter system

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีประสิทธิภาพในการจับสูง (ทั้ง ฝุ่นหยาบ และละเอียด	1. อุณหภูมิของแก๊สต้องไม่เกิน 550 F
2. มีการ ตอบสนอง ต่อการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส ประสิทธิภาพ และ Pressure drop ไม่มีผลกระทบต่อระบบ เมื่อฝุ่นเข้ามามากขึ้น โดยทำความสะอาดถุงกรองให้ต่อเนื่องขึ้น	2. ต้องทำความสะอาดถุงกรอง ที่แน่นอน เพื่อป้องกันการรั่ว ของถุงกรอง ร่องลงจากการนำฝุ่นออกจาก ระบบ
3. อากาศที่ออกจากระบบ ในบาง กรณี อาจจะวนกลับมาใช้ใหม่ เพื่อประหยัดพลังงาน	3. ความเข้มข้นของฝุ่น บางชนิดอาจจะทำให้เกิดการลุกไหม้ หรือ เกิดระเบิด ได้ ถ้าเกิดมี สะเก็ดไฟ หรือประกายไฟ โดย อุบัติเหตุ กรองสามารถลุกไหม้ติดไฟได้
4. ฝุ่นที่จับได้ สามารถนำมาใช้ใหม่ในภายหลังได้	4. ต้องการการดูแลบำรุงรักษามาก (ในการเปลี่ยนถุงกรอง)
5. ไม่มีปัญหาเรื่องน้ำเสีย	5. อายุ ของถุงกรอง อาจจะสั้น ถ้าแก๊สที่เข้ามา มีอุณหภูมิสูง และ มีความเป็นกรด และด่าง

ข้อดี	ข้อเสีย
6. ไม่เกิดปัญหา การกัดกร่อน และสนิม ของ ส่วนประกอบ ต่างๆ	6. วัสดุอุปกรณ์ ทำจากธรรมชาติ , การกลั่นตัวของ ความชื้น , การเกาะติดแน่น ของส่วนประกอบ บางอย่าง ที่รวมตัว กันเป็นก้อน จะทำให้ เกิดการอุดตัน ที่กรอง หรือต้องการทำความสะอาดเป็นพิเศษ
7. ไม่มี อันตรายจากไฟฟ้า แรงสูง การบำรุงรักษา และ การซ่อม ในการจับฝุ่น ที่สามารถติดไฟฟ้าได้	7. ในการเปลี่ยนอุปกรณ์ อาจจะต้องใช้ อุปกรณ์ ป้องกันส่วนบุคคล เกี่ยวกับระบบการหายใจ สำหรับช่าง บำรุงรักษา
8. สามารถเลือกใช้ถุงกรอง Fibrous หรือ Granular filter (precoating) สำหรับการจับ ควั่น และฝุ่นที่มี ขนาดเล็ก	8. ต้องการ Pressure drop ปานกลาง โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 4 – 10 in. Wg
9. จำนวนของถุงกรอง สามารถปรับเปลี่ยนได้ตาม ปริมาณลม และลักษณะการติดตั้ง	
10. การใช้งานระบบไม่ซับซ้อน	

5. Absorption system (Packed and Plate columns)

ข้อดี	ข้อเสีย
1. Pressure drop ต่ำ	1. จะทำให้เกิดน้ำเสีย
2. โดยทั่วไปใช้ FRP จึงป้องกันการกัดกร่อนในขณะใช้งาน และ บริเวณทำงาน	2. ฝุ่นที่จับได้จะเปียก
3. มีความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพ ในการ แลกเปลี่ยนมวล (Mass transfer) ได้ตามต้องการ	3. การรวมตัวของฝุ่น จะทำให้เกิดการอุดตัน ที่ Packing และ ที่ Plate
4. สามารถ เพิ่มความสูง หรือชนิด ของ Packing หรือ จำนวนของ Plate เพื่อให้ได้ Mass transfer ตาม ต้องการ โดยไม่ต้องซื้ออุปกรณ์ตัวใหม่	
5. ต้นทุนต่ำ	4. เมื่อโครงสร้างทำด้วย FRP จะไวต่ออุณหภูมิ
6. ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งน้อย	5. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา สูง
7. สามารถจับได้ทั้งอนุภาค และ แก๊ส	

6. Adsorption system

ข้อดี	ข้อเสีย
1. สามารถนำแก๊สที่จับได้ กลับมาใช้ใหม่ได้	1. ผลิตภัณฑ์ ที่นำกลับมาใช้ใหม่ จะต้องนำ เข้าจากต่างประเทศ และมีขั้นตอน ยุ่งยากในการใช้งาน
2. การจับมีประสิทธิภาพดีมาก และตอบสนอง สำหรับการเปลี่ยนแปลงขบวนการผลิต	2. ความสามารถในการดูดซับ ของระบบ ในกรณีที่มีการเพิ่มรอบของการใช้งาน
3. ไม่มีสารเคมีที่เป็นของเสีย เมื่อมีการนำกลับมาใช้ใหม่	3. ระบบการดูดซับต้องการไอน้ำ หรือ สุญญากาศ ในการ Regeneration
4. ระบบ สามารถออกแบบให้ทำงานแบบอัตโนมัติได้ ทำให้ผู้ใช้งานไม่ต้องสัมผัส กับแก๊ส	4. ต้นทุนสูง
5. สามารถกำจัด แก๊ส หรือ ไอสกปรก ถึงแม้ว่ามีปริมาณน้อยๆ	5. จะต้องมีการดักฝุ่น ออกจากแก๊สก่อนที่จะเข้าระบบ เพราะจะทำให้เกิดการอุดตัน ที่ bed
	6. จะต้องมีการลดอุณหภูมิของแก๊สก่อน เข้าระบบ โดยทั่วไป อุณหภูมิการทำงานอยู่ในช่วง ต่ำกว่า 120 F
	7. ต้องการไอน้ำมากในกรณี ที่ต้องดูดกลืน สารไฮโดรคาร์บอน

7. Combustion system

ข้อดี	ข้อเสีย
1. การใช้งานสะดวก	1. ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบสูง
2. มีความสามารถที่จะเตรียม รองรับ แก๊ส หรือ ความร้อน ในรูปแบบอื่น ที่เข้ามา	2. มีขีดความสามารถ ในการย้อนกลับ จะทำให้เกิดอันตราย ในการระเบิดได้
3. มีความสามารถสูงในการกำจัด ส่วนประกอบ สารอินทรีย์	3. ตัวเร่งปฏิกิริยา มีพิษ (กรณีใช้ เตาเผา ชนิดที่เร่งปฏิกิริยา)
	4. ในกรณี ที่มีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

8. Condensers

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ผลผลิต ที่นำกลับมาใช้ใหม่ จะบริสุทธิ์ (ในกรณีที่ ใช้ Condenser ที่ ไม่สัมผัสโดยตรง)	1. ประสิทธิภาพ การกำจัดแก๊สสกปรก ต่ำ (ขึ้นอยู่กับ แก๊สสกปรก)
2. น้ำที่ใช้ระบายความร้อน สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ ได้ หลังจาก ระบายความร้อนออกไปแล้ว (ในกรณีที่ ใช้ Condenser ที่ ไม่สัมผัสโดยตรง)	2. ความต้องการระบายความร้อนอาจจะมาก

9. Bio-Filtration

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ต้นทุน และ ค่าใช้จ่าย ในการเดินระบบ ต่ำ	1. ต้องการพื้นที่มาก
2. ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสารมลพิษทางอากาศ ทั่วๆไปรวมถึงสารประกอบจำพวก VOC และ Inorganic Compounds	2. ไม่สามารถบำบัดสารมลพิษบางชนิดได้ เช่น - สารพิษที่มีความเข้มข้นสูง - สารประกอบเคมีที่ย่อยสลายยากและเป็นพิษต่อ Microorganisms - ปริมาณมลพิษทางอากาศที่เข้ามาแบบไม่คงที่
3. Pressure drop ต่ำ	3. จะมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อมีความเข้มข้นสูง
4. ไม่มี ของเสียที่เหลือจากการจับแก๊ส	4. การควบคุมความชื้น และค่า pH มีการควบคุมยาก
5. เป็นวิธีการทางธรรมชาติที่ปลอดภัย และเป็นมิตรต่อ สิ่งแวดล้อม ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน	5. อนุภาคจะทำให้เกิดการอุดตัน
6. เป็นเทคโนโลยีที่ง่ายต่อการดูแลรักษาใช้การเคมี จำนวนน้อยในการปรับสภาพ pH เพื่อให้มี ประสิทธิภาพที่สูงในการกำจัดสารมลพิษในอากาศ	6. ใช้เวลาไม่คงที่ ในการปรับตัวของจุลชีพ (microorganisms) ให้เข้ากับสภาวะในการกำจัดสาร มลพิษแต่ละชนิด
	7. ตัวกลางจะมีการเสื่อมอายุ

ระบบ บำบัดอากาศ แยกตามอุตสาหกรรม ต่างๆ

TABLE 2-10 Control techniques applicable to unit processes at important emission sources.

Industry	Process of Operation	Air Contaminants Emitted	Control Techniques
Aluminum reduction plants	Materials handling: buckets and belt conveyor or pneumatic conveyor	Particulates (dust)	Exhaust systems and baghouse
	Anode and cathode electrode preparation		
	Cathode: baking	Hydrocarbon emissions from binder	Exhaust systems and mechanical collectors
	Anode: grinding and blending	Particulates (dust)	
Asphalt batch plants	Baking	Particulates (dust), CO, SO ₂ , hydrocarbons, and fluorides	High-efficiency cyclone, electrostatic precipitators, scrubbers, catalytic combustion or incinerators, flares, baghouse
	Pot charging	Particulates (dust), CO, HF, SO ₂ , CF ₄ , and hydrocarbons	High-efficiency cyclone, baghouse, spray towers, floating-bed scrubber, electrostatic precipitators, chemisorption, wet electrostatic precipitators
	Metal casting	Cl ₂ , HCl, CO, and particulates (dust)	Exhaust systems and scrubbers
	Materials handling, storage and classifiers: elevators, chutes, vibrating screens	Particulates (dust)	Local exhaust systems with a cyclone precleaner and a scrubber or baghouse
	Drying: rotary oil- or gas-fired	Particulates and smoke	Proper combustion controls, fuel-oil preheating where required; local exhaust system, cyclone and a scrubber or baghouse

ระบบ บำบัดอากาศ แยกตามอุตสาหกรรม ต่างๆ

Cement plants	Truck traffic Quarrying: primary crusher, secondary storage Dry processes: materials handling, air separator (hot-air furnace) Grinding Pneumatic, conveying and storage Wet process: materials handling, grinding, storage Kiln operations Rotary kiln Clinker cooling: materials handling Grinding and packaging: air separator, grinding, pneumatic conveying, materials handling, packaging Materials handling: conveyors, elevators, chutes Sizing: crushing, screening, classifying De-dusting Storing coal in piles	Dust Particulates (dust) Particulates (dust) Particulates (dust) Particulates (dust) Wet materials, no dust Particulates (dust), CO, SO _x , NO _x , hydrocarbons, aldehydes, ketones Particulates (dust) Particulates (dust) Particulates (dust) Particulates (dust) Particulates (dust) Particulates (dust) Blowing particulates (dust)	Wetting down truck routes Wetting, exhaust systems with mechanical collectors Local exhaust system and mechanical collectors and baghouse Local exhaust system with cyclones and baghouse Electrostatic precipitators and baghouses, scrubber, flare Local exhaust system and mechanical collectors Local exhaust systems and mechanical collectors Local exhaust systems and cyclones Local exhaust systems and cyclones Local exhaust system, cyclone precleaners, and baghouse Wetting, plastic spray covering
---------------	--	--	--

ระบบ บำบัดอากาศ แยกตามอุตสาหกรรม ต่างๆ

TABLE 2-10 (continued)

Industry	Process of Operation	Air Contaminants Emitted	Control Techniques
Coke plants	Refuse piles	H ₂ S, particulates, and smoke from burning storage piles	Digging out fire, pumping water onto fire area, blanket with incombustible material
	Coal drying: rotary, screen, suspension, fluid bed, cascade	Dust, smoke, particulates, sulfur oxides, H ₂ S	Exhaust systems with cyclones and venturi scrubbers
	By-product ovens charging	Smoke, particulates (dust)	Pipeline charging, careful charging techniques; portable hooding and scrubber or baghouses
	Pushing	Smoke, particulates (dust), SO ₂	Minimize green coke pushing, scrubbers and baghouses
	Quenching	Smoke, particulates (dust and mists), phenols, and ammonia	Baffles and spray tower
Fertilizer industry (chemical)	By-product processing	CO, H ₂ S, methane, ammonia, H ₂ , phenols, hydrogen cyanide, N ₂ , benzene, xylene, etc. Particulates (dust)	Electrostatic precipitator, scrubber, flaring
	Material storage (coal and coke)	Particulates (dust)	Wetting, plastic spray, fire-prevention techniques
	Phosphate fertilizers: crushing, grinding, and calcining	Particulates (dust)	Exhaust system, scrubber, cyclone, baghouse
	Hydrolysis of P ₂ O ₅	PH ₃ , P ₂ O ₅ , H ₃ PO ₄ mist	Scrubbers, flare
	Acidulation and curing	HF, SiF ₄	Scrubbers
	Granulation	Particulates (dust) (product recovery)	Exhaust system, scrubber, or baghouse
	Ammoniation	NH ₃ , NH ₄ Cl, SiF ₄ , HF	Cyclone, electrostatic precipitator, baghouse, high-energy scrubber
	Nitric acid acidulation	NO _x , gaseous fluoride compounds	Scrubber, addition of urea
	Superphosphate storage	Particulates (dust)	Exhaust system, cyclone, or baghouse

ระบบ บำบัดอากาศ แยกตามอุตสาหกรรม ต่างๆ

		NH ₃ , NO _x NH ₄ , NO ₃	Scrubber
Foundries Iron	Ammonium nitrate reactor		Proper operation control, scrubbers
	Prilling tower		
	Melting (cupola): Charging Melting Pouring Bottom drop	Smoke and particulates Smoke and particulates, fume Oil, mist, CO Smoke and particulates	Closed top with exhaust system, CO afterburner, gas-cooling device and scrubbers baghouse or electrostatic precipitator, wetting to extinguish fire
	Melting Charging Melting Pouring	Smoke particulates, oil mist Zinc oxide fume, particulates, smoke zinc oxide Fume, lead oxide fume	Low-zinc-content red brass: use good combustion controls and slag cover; high-zinc-content brass: use good combustion controls, local exhaust system, and baghouse or scrubber
Aluminum	Melting: charging, melting, pouring	Smoke and particulates	Charge clean material (no paint or grease); proper operation should be required; no air pollution control equipment if no fluxes are used and degassing is not required; dirty charge requires exhaust system with scrubbers and baghouses
Zinc	Melting charging	Smoke and particulates	Exhaust system with cyclone and baghouse; charge clean material (no paint or grease)
	Melting pouring	Zinc oxide fume Oil mist and hydrocarbons from die-casting machines Particulates (dust), smoke, organic vapors Particulates (dust)	Careful skimming of dross Use low-smoking die-casting lubricants
	Sand handling shake-out		
	Magnetic pulley, conveyors and elevators, rotary cooler, screening, crusher mixer		Exhaust system, cyclone, and baghouse

ระบบ บำบัดอากาศ แยกตามอุตสาหกรรม ต่างๆ

Process of Operation	Air Contaminants Emitted	Control Techniques
Coke-making ovens	Organic acids, aldehydes, smoke, hydrocarbons	Use of binders that will allow ovens to operate at less than 400°F or exhaust systems and afterburners
Hot-dip galvanizing tank kettle; dipping material into the molten zinc; dusting flux onto the surface of the molten zinc	Fumes, particulates (liquid), vapors: NH_4Cl , ZnO , ZnCl_2 , Zn , NH_3 , oil, and carbon	Close-fitting hoods with high indraft velocities (in some cases the hood may not be able to be close to the kettle, so that the in-draft velocity must be very high), baghouses, electrostatic precipitators
Digesters: batch and continuous	Mercaptans, methanol (odors)	Condensers and use of lime kiln, hog fuel boiler, or furnaces as afterburners
Multiple-effect evaporators	H_2S , other odors	Caustic-scrubbing and thermal oxidation of noncondensibles
Recovery furnace	H_2S , mercaptans, organic sulfides, and disulfides	Paper combustion controls for fluctuating load and unrestricted primary and secondary air flow to furnace and scrubber or electrostatic precipitator
Weak and strong black liquor oxidation	H_2S	Packed tower and cyclone
Smelt tanks	Particulates (mist or dust)	Demisters, venturi, packed tower, or impingement-type scrubbers
Lime kiln	Particulates (dust), H_2S	Venturi scrubbers
Single-chamber incinerators	Particulates, smoke, volatiles, CO , SO_x , ammonia, organic acids, aldehydes, NO_x , hydrocarbons, odors, HCl	
Flue-fed		Settling chambers, scrubbers, afterburner, bypass flue, ash cleanout

ระบบ บำบัดอากาศ แยกตามอุตสาหกรรม ต่างๆ

Multiple-chamber incinerators: retort, inline	Particulates, smoke, and combustion contaminants	Operating at rated capacity, using auxiliary fuel as specified and good maintenance, including timely cleanout of ash
Flue-fed	Particulates, smoke, and combustion contaminants	Use of charging gates and automatic controls for draft
Wood waste	Particulates, smoke, and combustion contaminants	Continuous-feed systems; operate at design load and excess air; limit charging of oily material
Municipal incinerators: 50–100 tons/day	Particulates, smoke, volatiles, CO, ammonia, organic acids, aldehydes, NO _x , hydrocarbons, SO _x , hydrogen chloride, odors	Preparation of materials, including weighing, grinding, shredding; control of tipping area, furnace design with proper automatic controls; proper startup techniques; maintenance of design operating temperatures; use of electrostatic precipitators, scrubbers and baghouses; proper ash cleanout
Pathological incinerators	Odors, hydrocarbons	Proper charging
Wood waste and industrial waste	Particulates, smoke, and combustion contaminants	Modified fuel feed, auxiliary fuel and dryer systems
Box type	Particulates, smoke, and combustion contaminants	Allow proper startup, charge material slowly, don't overload
Roasting	SO ₂ , particulates, fume	Exhaust system, settling chambers, cyclones or scrubbers and electrostatic precipitators for dust and fumes and sulfuric acid plant for SO ₂
Reverberatory furnace	Smoke, particulates, fume, SO ₂	Exhaust system, settling chambers, cyclones or scrubbers and electrostatic precipitators for dust and fumes and sulfuric acid plant for SO ₂

ระบบ บำบัดอากาศ แยกตามอุตสาหกรรม ต่างๆ

TABLE 2-10 (continued)

Industry	Process of Operation	Air Contaminants Emitted	Control Techniques
Lead	Converters: charging, slag skim, pouring, air or oxygen blow	Smoke, fume, SO ₂	Exhaust system, settling chambers, cyclones or scrubbers, electrostatic precipitators for dust and fumes and sulfonic acid plant for SO ₂
	Sintering	SO ₂ , particulates, smoke	Exhaust system, cyclones and baghouse or precipitators for dust and fumes, sulfonic acid plant for SO ₂
	Blast furnace	SO ₂ , CO, particulates, lead oxide, zinc oxide	Exhaust system, settling chambers, afterburner and cooling device, cyclone, and baghouse
	Dross reverberatory furnace Refining kettles	SO ₂ , particulates, fume SO ₂ , particulates	Exhaust system, settling chambers, cyclone and cooling device, baghouse Local exhaust system, cooling device, baghouse or precipitator
Cadmium	Roasters, slag, fuming furnaces, deleading kilns Roasting	Particulates Particulates (dust) and SO ₂	Local exhaust system, baghouse or precipitator Exhaust system, humidifier, cyclone scrubber, electrostatic precipitator, and acid plant
Zinc	Sintering	Particulates (dust) and SO ₂	Exhaust system, humidifier, electrostatic precipitator and acid plant
	Calcining	Zinc oxide fume, particulates, SO ₂ , CO	Exhaust system, baghouse
	Retorts: electric arc		

ระบบ บำบัดอากาศ แยกตามอุตสาหกรรม ต่างๆ

Nonferrous smelters, secondary	Blast furnaces and cupolas—recover metal from scrap and slag Reverberatory furnaces	Dust, fumes, particulates, oil vapor, smoke, CO	Exhaust systems, cooling devices, CO burners and baghouses or precipitators
	Crucible furnaces Sweat furnaces	Dust, fumes, particulates, smoke, gaseous fluxing materials <i>See</i> Nonferrous smelters Smoke, particulates, fumes	Exhaust systems and baghouses, or precipitators or venturi scrubbers
	Wire reclamation and autobody burning Resin manufacturing: closed reaction vessel	Smoke, particulates Acrolein, other aldehydes and fatty acids (odors); phthalic anhydride (subl.)	Precleaning metal and exhaust systems with afterburner and baghouse Scrubbers and afterburners
Paint and varnish manufacturing	Varnish cooking—open or closed vessels	Ketones, fatty acids, formic acids, acetic acid, glycerine, acrolein, other aldehydes, phenols and terpenes; from tall oils, hydrogen sulfide, alkyl sulfide, butyl mercaptan, and thiophene (odors)	Exhaust systems with scrubbers and fume burners
	Solvent thinning	Olefins, branched chain aromatics and ketones (odors), solvents Odors	Exhaust system with scrubbers and fume burners
Rendering plants	Feedstock storage and housekeeping		Quick processing, washdown of all concrete surfaces, pave dirt roads, proper sewer maintenance, packed towers
	Cookers and percolators	SO ₂ , mercaptans, ammonia, odors	Exhaust system, condenser, scrubber, or incinerator
	Grinding	Particulates (dust)	Exhaust system and scrubber

ระบบ บำบัดอากาศ แยกตามอุตสาหกรรม ต่างๆ

TABLE 2-10 (continued)

Industry	Process of Operation	Air Contaminants Emitted	Control Techniques
Roofing plants (asphalt saturators)	Felt or paper saturators: spray section, asphalt tank, wet looper	Asphalt vapors and particulates (liquid)	Exhaust system with high inlet velocity at hoods (>200 ft/min) with either spray scrubbers, baghouses, or two-stage low-voltage electrostatic precipitators
Steel mills	Crushed rock or other minerals handling	Particulates (dust)	Local exhaust system, cyclone or multiple cyclones
	Blast furnaces: charging, pouring	CO, fumes, smoke, Particulates (dust)	Good maintenance, seal leaks; use of higher ratio of pelletized or sintered ore; CO burned in waste heat boilers, stoves or coke ovens; cyclone, scrubber, electrostatic precipitator, or venturi scrubber
	Electric steel furnaces: charging, pouring, oxygen blow	Fumes, smoke, particulates (dust), CO	Segregate dirty scrap; proper hooding, baghouses, venturi scrubbers, or electrostatic precipitator
	Open-hearth furnaces: oxygen blow, pouring	Fumes, smoke, SO _x , particulates, (dust), CO, NO _x	Proper hooding, settling chambers, waste-heat boiler, baghouse, electrostatic precipitator, or venturi scrubber
	Basic oxygen furnaces: oxygen blowing	Fumes, smoke, CO, particulates, (dust)	Proper hooding (capture emissions and dilute CO), scrubbers, or electrostatic precipitator
	Raw material storage	Particulates (dust)	Wetting or application of plastic spray
	Pelletizing	Particulates (dust)	Proper hooding, cyclone, baghouse
	Sintering	Smoke, particulates (dust), SO ₂ , NO _x	Proper hooding, cyclones, venturi scrubbers, baghouse, or precipitator



References

1. **ACGIH** , “ *INDUSTRIAL VENTILATION A Manual of Recommended Practice* “ , 22 nd Edition , 1995
2. **Henry J. McDermott** , “ *HANDBOOK OF VENTILATION FOR CONTAMINANT CONTROL (Including OSHA Requirements)* “ , 1977
3. **D. JEFF BURTON , PE , CSP , CIH** , “ *INDUSTRIAL VENTILATION* “ , 1995
4. **LOREN COOK COMPANY** , “ *ENGINEERING COOK BOOK A HANDBOOK for the Mechanical Design* “ 2 nd Edition , 1999
5. **Richard G. Bond , M.S., MPH , Conrad P. Straub, Ph.D** , “ *HANDBOOK of ENVIRONMENTAL CONTROL VOLUME 1 : AIR POLLUTION* “ , 1974
6. **Anthony J. Buonicore , Wayne T. Davis** , “ *AIR POLLUTION ENGINEERING MANUAL* “ , 1992
7. **Vincent Cavaseno** , “ *INDUSTRIAL AIR POLLUTION ENGINEERING* “ , 1980
8. **Water Environment Federation and American Society of Civil Engineers** , “ *Odor Control in Wastewater Treatment Plants* “ , 1995

