



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การควบคุมปริมาณไอระเหยของน้ำมันก๊าดในกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานด้วยระบบระบายอากาศเฉพาะที่

Control of Kerosene Vapor Amount in Surface Treatment Process Using Local Exhaust Ventilation

นามผู้วิจัย นางสาวกฤษณา ศุภจิตรานนท์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทยา หาญสุกัลักษณ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรัญ นัฏรमानพ, D.Eng.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนนต์ วงษ์เกษม, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การควบคุมปริมาณไอระเหยของน้ำมันก๊าดในกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน
ด้วยระบบระบายอากาศเฉพาะที่

Control of Kerosene Vapor Amount in Surface Treatment Process
Using Local Exhaust Ventilation

โดย

นางสาวกฤษฎา สุภจิตรานนท์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

พ.ศ. 2551

กฤษณา ศุภจิตรานนท์ 2551: การควบคุมปริมาณไอระเหยของน้ำมันก๊าดในกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานด้วยระบบระบายอากาศเฉพาะที่ วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นันทิยา หาญสุกัลักษณ์, Ph.D. 141 หน้า

โรงงานที่มีกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานแห่งหนึ่งได้ใช้น้ำมันก๊าดทำความสะอาดผิวชิ้นงานเบื้องต้นเพื่อให้คราบน้ำมันเหนียวมีความนิ่ม ผลการตรวจวัดปริมาณไอระเหยของน้ำมันก๊าดบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานในช่วง 3 ปีที่ผ่านมา พบว่ามีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน NIOSH (100 mg/m³) จึงอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาวได้ เช่น ระบบทางเดินหายใจและระบบประสาท ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการควบคุมปริมาณไอระเหยของสารดังกล่าวให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย โดยการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับบ่อที่มีน้ำมันก๊าดขนาด 1.64 × 3.94 ฟุต โดยใช้มาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001) ซึ่งจะช่วยควบคุมปริมาณไอระเหยในพื้นที่ทำงานได้ โดยพบว่า ต้องใช้hoodอากาศแบบช่องแคบ (Slot Hood) และติดตั้งด้านเดียว ผู้วิจัยได้ศึกษาการวางอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศและพัดลมไว้ 2 รูปแบบ คือ วางอุปกรณ์ทั้งสองบนพื้นราบและบนฐานรองรับที่สูงจากพื้น 7 เมตร ซึ่งรูปแบบที่ 2 นี้ ทำเพื่อช่วยลดจำนวนข้อต่อและความยาวท่อนำอากาศ ผลการคำนวณได้ว่า การวางอุปกรณ์ในรูปแบบที่ 2 มีค่าผลต่างของการสูญเสียความดันระหว่างทางเข้าและทางออกในระบบน้อยกว่า ส่งผลให้ค่ากำลังขับของพัดลมมีขนาดเล็กกว่าเพียงเล็กน้อย ซึ่งในการติดตั้งจริงสามารถใช้พัดลมรุ่นเดียวกันได้ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง พบว่า รูปแบบที่มีการวางอุปกรณ์บนฐานรองรับที่สูง 7 เมตร มีค่าใช้จ่ายมากกว่า การวางอุปกรณ์บนพื้นราบ เนื่องจากค่าใช้จ่ายของการสร้างฐานรองรับมีค่าสูง

Kritsana Suphachitranon 2008: Control of Kerosene Vapor Amount in Surface Treatment Process Using Local Exhaust Ventilation. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor Nanthiya Hansupaluk, Ph.D. 141 pages.

In a precleaning process employed in a manufacturer, specialized for surface treatment, kerosene is used to soften grease coated on small metal parts. Kerosene vapor concentration in the workplace during the past three years was found to be higher than the NIOSH TLV, 100 mg/m^3 , which could have long term effects on the respiratory tract and nervous system. As a result, this work focused on designing a local ventilation system to control kerosene concentration in the work area. The installation position of an air –cleaning device and a fan, on the ground or on a platform which was 7 meters above the ground level, was also a factor included in the design. According to American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001), a slot hood was suitable for a 1.64ft-by- 3.94ft tank containing liquid kerosene utilized in the manufacturer. Based on calculations, it was found that the total pressure loss difference between the inlet and the outlet of the ventilation system when both an air –cleaning device and a fan were placed on the platform was lower than that when both equipments were on the ground level, which resulted in the smaller fan size for the former. The difference in the sizes of the fan was however too small and thus the same fan could be applied to both ventilation systems. Placing both equipments on the platform might help reducing the number of fittings, the duct length, and the fan size, but due to the cost of building a platform and a ladder the total expense was still more expensive than that when installing both equipments on the ground level.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทยา หาญสุกัลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการวางแผน ให้คำปรึกษา แนะนำ และชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขในข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ประกอบ สุรพัฒน์วารณ ประธานกรรมการในการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์จัญญ์ฉัตรมานพ และ อาจารย์พิพัฒน์ พิเชษฐพงษ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์เพื่อความสำเร็จยิ่งขึ้นในเนื้อหาข้อมูล

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมความปลอดภัยที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกเสมอมา

ขอขอบคุณ ผู้บังคับขาที่ได้ให้โอกาส เพื่อร่วมงาน และทุกๆท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่ได้ช่วยเหลือให้คำปรึกษาด้วยดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ มารดาและครอบครัว ซึ่งให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดเวลาในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ท้ายที่สุดนี้ประโยชน์ได้อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขอมอบแด่มารดา ครอบครัว คณาจารย์ และผู้ให้การสนับสนุนทุกท่าน ที่ได้เมตตาสั่งสอน ให้กำลังใจ และช่วยเหลือสนับสนุนการศึกษามาโดยตลอด

กฤษฎณา สุภจิตรานนท์
ตุลาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	57
อุปกรณ์	57
วิธีการ	59
ผลและวิจารณ์	63
สรุปและข้อเสนอแนะ	75
สรุป	75
ข้อเสนอแนะ	75
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	76
ภาคผนวก	78
ภาคผนวก ก การคำนวณระบบระบายอากาศเฉพาะที่ที่ติดตั้งบริเวณบ่อน้ำมันก๊าด	79
ภาคผนวก ข การคำนวณระบบระบายอากาศเฉพาะที่ที่ติดตั้งบริเวณบ่อกรดที่ใช้	
ปัจจุบัน	109
ภาคผนวก ค มาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial	
Hygienists (2001) สำหรับ Open Surface Tanks	137
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	141

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	หลักการป้องกันและควบคุมสารพิษในอุตสาหกรรมเคมี	7
2	ค่าความเร็วด้านหน้าท่อดูดอากาศที่แนะนำให้ใช้กับกิจกรรมประเภทต่างๆ	20
3	ค่าความเร็วจับยึดที่จำแนกตามลักษณะการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน	26
4	ความเร็วลมต่ำสุดในท่อสำหรับสารปนเปื้อนลักษณะต่างๆ	34
5	ค่าคงที่สำหรับวัสดุที่ใช้ทำท่อ	36
6	เปรียบเทียบข้อดี - ข้อเสีย ของพัดลมชนิดแรงเหวี่ยง	44
7	ค่าประสิทธิภาพเชิงกลของพัดลม โดยประมาณสำหรับพัดลมชนิดต่างๆ	47
8	พลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนอากาศผ่านอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ	52
9	ปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันก๊าดในบรรยากาศบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานในช่วงปี 2548 ถึง 2550	63
10	พารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2	71
11	เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของบ่อกรดที่ติดตั้งในปัจจุบัน กับผลที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน ACGIH (2001)	72
12	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับบ่อน้ำมันก๊าดรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2	74
ตารางผนวกที่		
ก1	ผลการคำนวณค่าต่างๆ ของระบบระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณบ่อน้ำมันก๊าดตามรูปแบบที่ 1	82
ก2	ผลการคำนวณค่าต่างๆ ของระบบระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณบ่อน้ำมันก๊าดตามรูปแบบที่ 2	95
ข1	แสดงขั้นตอนการคำนวณหาค่า Q และ ค่า BHP ของระบบระบายอากาศเฉพาะที่	111

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข2	ค่าความเร็วจับยึดที่ได้จากการตรวจวัด และค่าอัตราการไหลของอากาศ	112
ข3	ผลการคำนวณค่าต่างๆของระบบระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณบ่อกรดตาม มาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001) ช่วงท่อ A-B,C-E,D-E,E-B	113
ข4	ผลการคำนวณค่าต่างๆของระบบระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณบ่อกรด ตาม มาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001) ช่วงท่อ B-F,F-G	115
ค1	การจำแนกประเภทอันตรายของสารเคมี	139
ค2	การจำแนกอัตราการเกิดแก๊ส ไอ และละอองไอ	139
ค3	ความเร็วควบคุมต่ำสุดสำหรับสถานที่ที่ไม่มีการรบกวน	140
ค4	อัตราการไหลของอากาศสำหรับบ่อที่มีท่อดูดอากาศด้านข้าง cfm/ft^2	140

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการกลั่นน้ำมัน	5
2	ส่วนประกอบของระบบระบายอากาศเฉพาะที่	14
3	ระบบระบายอากาศเฉพาะที่อย่างง่าย	15
4	แสดง SP VP และ TP	18
5	ตัวอย่างท่อดูดอากาศชนิดปิดล้อม	20
6	ตัวอย่าง Canopy หรือ Receiving Hood	22
7	Capturing Hood ชนิดต่างๆ	23
8	ระบบระบายอากาศแบบปลัก-ดึง โดยการติดตั้งพัดลมและท่อดูดอากาศ ในทิศตรงข้ามกัน	24
9	รูปแบบของความเร็วที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของท่อดูดอากาศ	26
10	อัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าท่อดูดอากาศชนิดต่างๆ	28
11	การติดตั้งช่องแคบที่ด้านหน้าท่อดูดอากาศ	29
12	การสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อดูดอากาศ	31
13	แฟกเตอร์การสูญเสียของท่อเหลี่ยมหน้าตัดวงกลม	38
14	แฟกเตอร์การสูญเสียของท่อเหลี่ยมหน้าตัดสี่เหลี่ยม	39
15	การสูญเสียความดันจลน์ของอากาศเมื่อไหลผ่านท่อแยก	40
16	การต่อท่อแยกเข้ากับท่อหลัก	41
17	การต่อท่อแยกเข้ากับท่อหลักในลักษณะสมมาตร	41
18	ความดันสถิตที่ได้คืนเมื่ออากาศไหลผ่านท่อขยาย	42
19	การสูญเสียความดันของอากาศเมื่อไหลผ่านท่อลด	43
20	ชนิดพัดลมแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	44
21	ชนิดพัดลมแบบไหลตามแนวแกน	45
22	แสดงความเข้มข้นของสารที่ลดลงหลังจากผ่านการดูดซับ	49
23	การแบ่งพื้นที่ของหน้าส่วนดูดออกเป็นพื้นที่ย่อยและกำหนดจุด ศูนย์กลางของพื้นที่ย่อย	53
24	ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างอากาศของปล่องที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลม	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ	57
26	เครื่องวัดความเร็วลม Testo 435	58
27	เครื่องวัดความดัน ความเร็ว และความชื้นของลม (Isokenetic)	58
28	แผนผังของอาคารผลิต ภายในอาคารประกอบด้วยกระบวนการเตรียม ผิวชิ้นงาน	59
29	ขั้นตอนการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่	61
30	ตำแหน่งและการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของบ่อกรดไนตริก (HNO ₃) และบ่อ กรดไฮโดรคลอริก (HCl 1 และ 2)	62
31	มาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001) สำหรับ Open Surface Tanks	66
32	การติดตั้ง Slot Hood ที่บ่อน้ำมันก๊าด	66
33	ตำแหน่งการวางระบบท่อและอุปกรณ์ของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ สำหรับบ่อน้ำมันก๊าด	68
34	รูปแบบการวางท่อและอุปกรณ์ของระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับ บ่อน้ำมันก๊าด	69
35	แบบบันไดและพื้นรองรับอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศและพัดลมที่ อยู่สูงจากพื้น 7 เมตร	70
ภาพผนวกที่		
ก1	ออกแบบวางอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศและพัดลมในแนวระดับ พื้นดิน	81
ก2	ออกแบบวางอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศและพัดลมสูงกว่าระดับ พื้นดิน	95
ข1	ลักษณะของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ที่ติดตั้งบริเวณบ่อกรด จำนวน 3 บ่อ	110

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่

หน้า

ก1	มาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001) สำหรับ Open Surface Tanks	138
----	--	-----

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	พื้นที่หน้าตัดของท่อดูดอากาศ (ตารางฟุต)
A_{face}	=	พื้นที่ใช้ในการคำนวณผล
BHP	=	แรงม้า
cfm	=	ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
C_e	=	แฟกเตอร์ความสูญเสียทางเข้าสู่
fpm	=	ฟุตต่อนาที
FSP	=	เป็นความดันสถิตของพัดลม (in.wg)
FTP	=	เป็นความดันรวมของพัดลม (in.wg)
F_h	=	แฟกเตอร์ความดันสูญเสียเมื่ออากาศไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ (ไม่มีหน่วย)
h_e	=	ความดันสูญเสียจากการที่อากาศไหลผ่านเข้าสู่ท่อดูดอากาศ
inch	=	นิ้ว
in.wg	=	นิ้วน้ำ
ME	=	เป็นค่าประสิทธิภาพเชิงของพัดลมใช้ค่าระหว่าง 0.50 ถึง 0.65
Q	=	อัตราการไหลของอากาศ (cfm)
Q_{Total}	=	อัตราการไหลของอากาศรวมทั้งหมด (cfm)
SP_h	=	ความดันสถิต (in.wg)
$SP_{\text{in.let}}$	=	ความดันสถิตก่อนเข้าพัดลม (in.wg)
SP_{outlet}	=	ความดันสถิตหลังออกจากพัดลม (in.wg)
V	=	ความเร็วของอากาศ (ฟุตต่อนาที)
VP_d	=	ความดันเนื่องจากความเร็ว (in.wg)
VP_h	=	ความดันเนื่องจากความเร็วที่สูงสุด (in.wg)
VP_s	=	ความดันเนื่องจากความเร็วที่ Slot (in.wg)

การควบคุมปริมาณไอระเหยของน้ำมันก๊าดในกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน ด้วยระบบระบายอากาศเฉพาะที่

Control of Kerosene Vapor Amount in Surface Treatment Process Using Local Exhaust Ventilation

คำนำ

ชิ้นส่วนยานยนต์ก่อนนำไปประกอบเป็นรถนั้นต้องผ่านโรงงานเฉพาะที่จัดการเกี่ยวกับการเตรียมผิวของชิ้นส่วนยานยนต์ (Surface Treatment) โดยขั้นตอนแรกของการเคลือบผิวชิ้นงานเป็นการทำความสะอาดผิวภายนอกก่อนเข้าสู่กระบวนการอื่นต่อไป โดยทั่วไปนิยมใช้น้ำร้อน แต่ของเหลวนี้ไม่สามารถช่วยขจัดคราบน้ำมันเหนียว เช่น จารบี น้ำมันมะพร้าว น้ำมันกันสนิม ที่ติดมากับชิ้นงานได้ จึงใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการขจัดคราบแทนทำให้ขั้นตอนการทำความสะอาดแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการใช้ตัวทำละลายที่ทำให้คราบเหนียวนี้ขุ่นขึ้นแล้วจึงล้างผิวชิ้นงานด้วยตัวสารล้างเฉพาะ เพื่อกำจัดคราบเหนียวทั้งหมดออกจากชิ้นงาน

น้ำมันก๊าดเป็นตัวทำละลายชนิดหนึ่งที่สามารถทำให้คราบเหนียวนี้ขุ่นได้ โดยถูกจัดให้อยู่ใน Hazardous Substance List โดย ACGIH DOT NIOSH IARC และ NFPA โดยสารนี้เป็นอันตรายต่อสุขภาพพนักงาน สามารถเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจและผิวหนัง โดยเมื่อสัมผัสสารจะเกิดอาการระคายเคือง เป็นผื่นคัน หากสูดดมเข้าไปจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองบริเวณทางเดินหายใจ มีผลต่อระบบประสาท ทำให้มีเมื่อย คลื่นไส้ ปวดหัว และอาจหมดสติได้ เมื่อได้รับสารนี้ในระยะเวลาอันอาจส่งผลต่อได้ (The Shell Company of Thailand, 1996)

ในช่วงระยะเวลา 3-4 ปีที่ผ่านมาโรงงานที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมผิวชิ้นส่วนยานยนต์นี้ได้บันทึกปริมาณน้ำมันก๊าดในบรรยากาศ ที่ความสูงจากพื้น 1.5 เมตร ใกล้กับบ่อที่บรรจุสารดังกล่าว โดยพบว่าความเข้มข้นของสารนี้ในบรรยากาศมีค่าสูงเกินกว่า 100 mg/m^3 ตามค่ามาตรฐานของ NIOSH (2005) ซึ่งอาจส่งผลอันตรายต่อสุขภาพของพนักงานในระยะยาวได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาแนวทางในการควบคุมปริมาณไอระเหยของน้ำมันก๊าด โดยการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ตามมาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ที่นิยมใช้ในงานทั่วไป
รวมทั้งงานที่เกี่ยวข้องกับบ่อชุมชนนี้ด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับบ่อน้ำมันก๊าดในกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานที่อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศและพัดลม (1) วางบนพื้นราบและ (2) วางบนฐานรองรับสูงจากพื้น 7 เมตร
2. เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ทั้งสองรูปแบบ

ขอบเขตการวิจัย

การออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ให้เป็นตามมาตรฐานของ American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในปัจจุบัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. โรงงานมีแนวทางในการควบคุมปริมาณไอระเหยของตัวทำละลายที่เหมาะสม
2. พนักงานมีสุขภาพที่ดีขึ้น ปฏิบัติงานอย่างปลอดภัย
3. ภาพลักษณ์โรงงานดีขึ้น

การตรวจเอกสาร

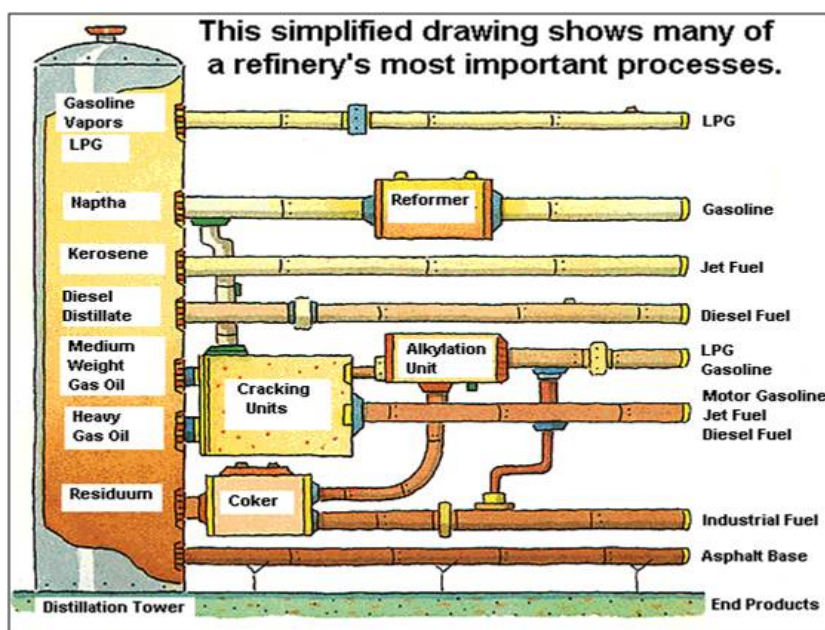
1. กระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน (Surface Treatment)

กระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน คือ การทำความสะอาดชิ้นงานให้ปราศจากสนิมหรือคราบไขมันต่างๆ ก่อนการนำชิ้นงานไปเคลือบด้วยสังกะสีฟอสเฟต หรือแมงกานีสฟอสเฟต ซึ่งเป็นการเคลือบเพื่อป้องกันการเกิดสนิม เพิ่มการทนต่อการกัดกร่อน ช่วยป้องกันการสึกหรอสำหรับชิ้นงานที่มีการเสียดสี ช่วยในการหล่อลื่นลดแรงเสียดทาน และใช้สำหรับรองพื้นเพื่อการพ่นสี

การทำความสะอาดผิวชิ้นงานที่มีคราบไขมันประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การล้างทำความสะอาดผิวเบื้องต้น (Pre-cleaning) และการล้างคราบไขมัน (Degreasing) โดยทำความสะอาดผิวเบื้องต้น เป็นการทำให้คราบไขมัน (จารบี น้ำมันมะพร้าว น้ำมันกันสนิม ฯลฯ) นิ่มด้วยตัวทำละลาย เช่น น้ำมันก๊าด ซึ่งคราบไขมันนี้เกิดจากไขมันที่ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ใช้เคลือบชิ้นงานเพื่อป้องกันสนิมที่เกิดจากการเสียดสีขณะขนส่งชิ้นงานมายังโรงงานเตรียมผิวชิ้นงานนี้ สำหรับขั้นตอนการล้างคราบไขมันเป็นการกำจัดคราบไขมันที่นิ่มแล้วออกด้วยการใช้ด่าง ซึ่งถ้าปราศจากขั้นตอนการทำความสะอาดผิวเบื้องต้นแล้ว คราบไขมันเหล่านี้จะไม่สามารถกำจัดออกจากชิ้นงานได้ด้วยด่างเพียงอย่างเดียว

2. น้ำมันก๊าด

น้ำมันก๊าดเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยเป็นของผสมระหว่างพาราฟิน แนฟธา และ อะโรมาติกส์ ทำให้มีจุดเดือดอยู่ในช่วง 150-300 องศาเซลเซียส (วาสนา และคณะ, 2549)



ภาพที่ 1 กระบวนการกลั่นน้ำมัน

ที่มา: Thaigooview (2006)

มันก๊าดแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้เพื่อให้ความร้อนและแสงสว่าง และประเภทที่ใช้กับเครื่องยนต์หรือเครื่องบิน น้ำมันก๊าดที่มีคุณภาพดี จะให้ค่าความร้อนสูง ให้แสงสว่างมาก มีจุดควัน (Smoke Point) สูง และไม่มีกลิ่นเหม็น สำหรับน้ำมันก๊าดที่ใช้ทำความสะอาดผิวเบื้องต้น ในกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานนี้ เป็นน้ำมันก๊าดประเภทที่ให้ความร้อนและแสงสว่าง เพราะมีราคาถูกกว่า และไม่จำเป็นต้องใช้น้ำมันก๊าดที่มีความบริสุทธิ์หรือคุณภาพที่ใช้ในเครื่องยนต์

เอกสารข้อมูลความปลอดภัย (MSDS) ของ The Shell Company of Thailand (1996) ได้ระบุว่า น้ำมันก๊าดมีจุดเดือดตั้งแต่ 150-300 องศา มีจุดวาบไฟมากกว่า 38 องศาเซลเซียส ความดันไอน้อยกว่า 0.1 kPa ที่ 40 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของไอมากกว่า 5 ซึ่งหนักกว่าอากาศ (อากาศ = 1) น้ำมันก๊าดมีลักษณะเป็นของเหลวใสสีฟ้า มีกลิ่นเฉพาะ มีความเสถียรในการเกิดปฏิกิริยา ไม่มีฤทธิ์กัดกร่อน น้ำมันก๊าดสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทางผิวหนัง ตา ปาก และทางเดินหายใจ เมื่อสัมผัส จะเกิดอาการระคายเคืองที่ผิวหนัง ตา และระบบทางเดินหายใจ หากสัมผัสถูกทางผิวหนังอย่างต่อเนื่องและสัมผัสเป็นเวลานานๆ ก็อาจเป็นสาเหตุของการเกิดผิวหนังอักเสบได้ เมื่อสัมผัสไอระเหย หรือละออง (Mist) เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจในปริมาณที่เกินกว่ากำหนด อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ มีผลระคายเคืองต่อตา ระบบทางเดินหายใจส่วนบน หมดสติและอาจถึงแก่ชีวิตได้

ค่าความเข้มข้นของไอสารเคมีเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงาน โดยที่คนงานเกือบทั้งหมดอาจสัมผัสซ้ำๆ วันแล้ววันเล่าโดยไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ (TLV) ได้ระบุไว้ในเอกสารของ NIOSH, ACGIH, The Shell Company of Thailand โดย National Institute for Occupational Safety and Health (2005) หรือ NIOSH ซึ่งเป็นองค์กรสากลที่ทำการศึกษาวิจัยทางด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย รวมทั้งการตรวจสอบอันตรายทางด้านต่างๆ และให้คำแนะนำในการออกข้อกำหนดกฎหมาย ได้กำหนดให้น้ำมันก๊าดเป็นสารไวไฟ ประเภท Class II Combustible Liquid มีจุดวาบไฟ (Flash Point) มากกว่า 38 องศาเซลเซียส และต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส และได้กำหนดค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงาน 10 ชั่วโมงต่อวัน โดยที่คนงานเกือบทั้งหมดอาจสัมผัสซ้ำๆ วันแล้ววันเล่าโดยปราศจากผลกระทบต่อสุขภาพ (TLV) ไว้ที่ 100 mg/m^3 ในขณะที่ American Conference of Governmental Industrial Hygienists หรือ ACGIH เป็นองค์กรสากลที่ก่อตั้งโดยกลุ่มนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมที่ทำงานในภาครัฐ เพื่อ แลกเปลี่ยนประสบการณ์และความคิดเห็นทางด้านสุขศาสตร์อุตสาหกรรมรวมทั้งปรับมาตรฐานและเทคนิคในการดูแลสุขภาพของคนงานในโรงงานอุตสาหกรรม พัฒนาระบบบริหารจัดการเพื่อปกป้องสุขภาพอนามัยของคนงาน ACGIH เป็นหน่วยงานที่มีประโยชน์มากต่อการปรับปรุงการให้บริการทางด้านสุขภาพอนามัยของคนงานในอุตสาหกรรม คณะกรรมการทางด้าน Industrial Ventilation และ Threshold Limit Value (TLV) ของ ACGIH มีชื่อเสียงไปทั่วโลก โดยทำหน้าที่กำหนดค่า TLV และมีการปรับค่าเหล่านี้ทุกปีเพื่อความเหมาะสม (พรพิมล, 2543) ACGIH (2004) ได้กำหนดค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน โดยที่คนงานเกือบทั้งหมดอาจสัมผัสซ้ำๆ วันแล้ววันเล่าโดยปราศจากผลกระทบต่อสุขภาพ (TLV-TWA) ไว้ที่ 200 mg/m^3 ในขณะที่ The Shell Company of Thailand (1996) ได้กำหนดค่า TLV-TWA ไว้สูงถึง 525 mg/m^3

หากค่าความเข้มข้นของไอสารเคมีในบรรยากาศมีค่ามากกว่ามาตรฐานเหล่านี้ก็จะเกิดอันตรายต่อผู้ที่สัมผัสได้ การที่จะควบคุมให้ความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศการทำงานไม่เกินค่ามาตรฐานนั้น ทำได้หลายวิธีโดยด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยที่ใช้ควบคุมป้องกันอันตรายได้แบ่งวิธีออกเป็น 3 วิธีการหลัก ได้แก่ การควบคุมที่ต้นตอหรือแหล่งกำเนิด (Source) การควบคุมที่ทางผ่าน (Path) และการควบคุมที่ตัวบุคคล (Receiver) การเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและสถานการณ์ และต้องมั่นใจว่าเทคนิคที่เลือกใช้ไม่ก่อให้เกิดอันตรายอย่างอื่นขึ้นมาแทนหรือเป็นอันตรายมากกว่าปัญหาเดิม ตารางที่ 1 ได้สรุปหลักการป้องกันและควบคุมสารเคมีไว้แล้ว โดยวิธีที่ 1-6 เป็นการควบคุมที่แหล่งกำเนิด วิธีที่ 7-9 เป็นการควบคุมที่ทางผ่านและวิธีที่ 10 เป็นการควบคุมที่ตัวบุคคล

ตารางที่ 1 หลักการป้องกันและควบคุมสารพิษในอุตสาหกรรมเคมี

วิธีการและคำอธิบาย	ตัวอย่าง
1.การแทนที่ (Substitution) หมายถึง การใช้สารเคมี และ/หรือ อุปกรณ์ที่เสี่ยงอันตรายน้อยกว่าแทน	- การใช้ผนึกกันรั่ว (Seals) ในเครื่องสูบเครื่องกล (Mechanical pump) แทนการใช้วัสดุอัดกันรั่ว (Packing) - การใช้ท่อเชื่อม (Welded pipe) แทนการใช้แปลนเชื่อมต่อท่อ - การใช้ตัวทำลายซึ่งมีสมบัติความเป็นพิษน้อยกว่า - การใช้เกจเชิงกล (Mechanical gauges) แทนเกจปรอท (Mercury gauges) - การใช้สารเคมีที่มีจุดวาบไฟ หรือจุดเดือดที่สูงขึ้น - การใช้น้ำแทนน้ำมันเป็นของเหลวในการถ่ายโอนความร้อน
2.การทำให้ลดน้อยลง (Attenuation) หมายถึง การใช้สารเคมีภายใต้สภาวะซึ่งทำให้สารมีความเสี่ยงอันตรายน้อยลง	- การใช้สภาวะสุญญากาศเพื่อลดจุดเดือดให้ต่ำลง - การลดอุณหภูมิและความดันดำเนินการให้ต่ำลง - การทำให้ถังเก็บ (Storage vessels) เย็น - การละลายสารเคมีที่เป็นอันตรายในตัวทำลายที่ปลอดภัย - การดำเนินปฏิกิริยาในสภาวะซึ่งไม่ทำให้เกิด Runaway reaction

ตารางที่ 1 (ต่อ)

วิธีการและคำอธิบาย	ตัวอย่าง
2.การทำให้ลดน้อยลง (Attenuation) หมายถึง การใช้สารเคมีภายใต้สภาวะซึ่งทำให้สารมีความเสี่ยงอันตรายน้อยลง	- การใช้สภาวะสุญญากาศเพื่อลดจุดเดือดให้ต่ำลง - การลดอุณหภูมิและความดันดำเนินการให้ต่ำลง - การทำให้ถังเก็บ (Storage vessels) เย็น - การละลายสารเคมีที่เป็นอันตรายในตัวทำละลายที่ปลอดภัย - การดำเนินปฏิกิริยาในสภาวะซึ่งไม่ทำให้เกิด Runaway reaction
3.การแยกออก (Isolation) หมายถึง การแยกอุปกรณ์ และ/หรือ แหล่งกำเนิดที่เสี่ยงอันตรายให้ห่างออกจากส่วนอื่นๆ	- การแยกห้องควบคุมให้ห่างออกจากส่วนกระบวนการ - การแยกห้องเครื่องสูบลูกออกจากห้องอื่นๆ - การสร้างกำแพงหรือให้มีอุปกรณ์กันเสียงดัง
4.การทำให้เข้มข้นขึ้น (Intensification) หมายถึง วิธีการใดๆ เพื่อลดปริมาณสารเคมี	- การเปลี่ยนจากแบบปฏิกรณ์แบบวงวนขนาดใหญ่เป็นปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องที่เล็กลง - การลดปริมาณสารคงคลัง (Storage inventory) ให้น้อยลง - ปรับปรุงวิธีการควบคุมเพื่อลดปริมาณคงคลังของ Hazardous intermediate chemicals - ลดความล่าช้าต่างๆ ในกระบวนการ
5.การปิดล้อม (Enclosures) หมายถึง การปิดล้อมห้องหรืออุปกรณ์ รวมถึงเทคนิคการทำให้อยู่ภายใต้สภาวะความดันเนกาทีฟ (Negative pressure)	- การกั้นห้อง ท่อระบายน้ำ ท่อระบายอากาศ และอื่นๆในทำนองเดียวกันให้สนิทแน่น - การติดตั้งเครื่องมือวิเคราะห์เพื่อตรวจวัด

ตารางที่ 1 (ต่อ)

วิธีการและคำอธิบาย	ตัวอย่าง
6.การระบายอากาศเฉพาะที่ (Local ventilation) หมายถึง การกำจัดสารให้อยู่ในพื้นที่หนึ่งและระบายออก	- ติดตั้งท่อดูดอากาศที่ได้รับการออกแบบอย่างถูกต้องเหมาะสม - มีการติดตั้งท่อดูดอากาศ ทั้งในกระบวนการเดิมสารและถ่ายสาร - การให้มีระบบระบายอากาศบริเวณของถังเก็บสาร - การใช้ระบบถ่ายอากาศออกเฉพาะที่ ณ ตำแหน่งที่มีการชักตัวอย่าง - การรักษาให้ระบบถ่ายอากาศออกมีความดันเนกาทีฟ
7.การระบายอากาศให้เจือจาง (Dilution ventilation) หมายถึง การออกแบบระบบระบายอากาศเพื่อควบคุมให้มีปริมาณสารพิษอยู่ในระดับต่ำ	- การออกแบบห้องเก็บของใช้ส่วนตัว (Locker rooms) ใหม่มีการระบายอากาศที่ดี และมีบริเวณโดยเฉพาะสำหรับวางชุดที่เปื้อนสาร - การออกแบบระบบระบายอากาศเพื่อแยกส่วนกระบวนการออกจากห้องอื่นๆ และสำนักงาน
8.การดูดซึมด้วยของเหลว (Wet method) หมายถึง การใช้ของเหลวจับฝุ่นในอากาศ	- การทำความสะอาดถังด้วยสารเคมีแทนการพ่นด้วยทราย - ใช้วิธีการสเปรย์น้ำเพื่อทำความสะอาด - การหมั่นทำความสะอาดพื้นบริเวณทำงานบ่อยๆ

ตารางที่ 1 (ต่อ)

วิธีการและคำอธิบาย	ตัวอย่าง
9.การดูแลงานสถานที่ให้ดี (Good housekeeping) หมายถึง การเก็บกวาดสารพิษและฝุ่นไม่ให้แพร่หรือฟุ้งกระจาย	- การทำเช็กรอบถังเก็บสารและเครื่องสูบ - การเดินท่อน้ำและท่อไอน้ำไว้เพื่อใช้ในการทำความสะอาดพื้น - การเดินท่อต่างๆ เพื่อใช้ในการชะล้าง (Flushing) และการทำความสะอาด
10.การป้องกันส่วนบุคคล (Personal protection) เป็นมาตรการป้องกันด่านสุดท้าย	- การใช้แว่นตาและกะบังหน้านิรภัย - การใช้กะบัง (Aprons) ปกป้องแขน - การสวมเครื่องช่วยหายใจ เมื่อสถานที่นั้นๆ มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนน้อยกว่าร้อยละ 19.5

ที่มา: ชันทอง (2549)

3. ระบบระบายอากาศ

ระบบระบายอากาศถือเป็นวิธีการควบคุมสารพิษที่ต้นตอหรือแหล่งกำเนิด (ตารางที่ 1) โดยระบบระบายอากาศใช้ควบคุมความเข้มข้นของสารเคมีในพื้นที่การทำงาน ทั้งสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและที่เป็นอันตรายทางกายภาพ (เช่น การระเบิด เพลิงไหม้) นอกจากนั้นระบบระบายอากาศยังช่วยลดความร้อนที่เป็นสาเหตุของความเมื่อยล้า ความรู้สึกรีดอัดไม่สบายของคนตลอดจนควบคุมปัญหาเรื่องกลิ่น ความชื้นและคุณภาพอากาศในอาคาร (พรพิมล, 2543)

วันทนีย์ (2549) สรุปว่าระบบระบายอากาศประกอบด้วยสองระบบคือ ระบบส่งอากาศ (Supply System) และระบบระบายอากาศออก (Exhaust System) โดยระบบส่งอากาศ ถูกนำมาใช้เพื่อสองวัตถุประสงค์ คือ เพื่อทำให้บรรยากาศและสิ่งแวดล้อมในการทำงานดีขึ้น และเพื่อชดเชยอากาศที่ถูกดูดเข้าสู่ระบบระบายอากาศ ระบบระบายอากาศออกนี้ ทำหน้าที่นำอากาศที่มีสารปนเปื้อนซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตออกไปจากสิ่งแวดล้อมในการทำงาน แบ่งได้เป็นสองประเภทคือ ระบบระบายอากาศทั่วไปหรือการระบายอากาศเพื่อเจือจาง (General Ventilation หรือ Dilution

Ventilation) และระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Ventilation) ซึ่งในการจัดระบบระบายอากาศออกนี้จะต้องพิจารณาทั้งสองระบบไปพร้อมๆ กัน

3.1 ระบบระบายอากาศแบบทั่วไป

แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ การระบายอากาศโดยวิธีกล (Mechanism Ventilation) และการระบายอากาศแบบธรรมชาติ (Natural Ventilation) การระบายอากาศโดยวิธีกล เป็นวิธีการระบายอากาศที่ต้องอาศัยอุปกรณ์หรือเครื่องกล เช่น พัดลมช่วยให้อากาศเคลื่อนไหว หมุนเวียน ในขณะที่การระบายอากาศแบบธรรมชาติจะอาศัยธรรมชาติทำให้เกิดความดันบรรยากาศที่แตกต่างกัน ในสองพื้นที่ อากาศจะเคลื่อนที่จากที่ที่มีความดันบรรยากาศสูงไปยังที่ที่มีความดันบรรยากาศต่ำ

ข้อจำกัดของการระบายอากาศแบบทั่วไป

เนื่องจากการระบายอากาศแบบทั่วไปในอุตสาหกรรมมีวัตถุประสงค์หลัก คือ เจือจางสารปนเปื้อนและระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ในขณะที่อากาศผสมผสานเข้ากับสารปนเปื้อนนั่นอาจทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของสารได้ และอาจพาความร้อนไปยังผู้ปฏิบัติงานได้ จึงทำให้การระบายอากาศแบบนี้มีข้อจำกัด ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการควบคุมความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในอากาศในสิ่งแวดล้อมการทำงาน จึงควรใช้การระบายอากาศแบบทั่วไปในกรณีต่อไปนี้เท่านั้น

- 1) สารปนเปื้อนถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมการทำงานในปริมาณที่น้อยด้วยอัตราที่ค่อนข้างคงที่หรือมีรูปแบบที่แน่นอน
- 2) ระยะทางระหว่างแหล่งที่ปล่อยสารปนเปื้อนและคน หรือแหล่งสารปนเปื้อนและแหล่งความร้อนห่างกันเพียงพอที่จะทำให้ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนเจือจางลงถึงระดับที่ไม่เป็นอันตราย ณ จุดที่คนหรือแหล่งความร้อนอยู่
- 3) สารปนเปื้อนมีความเป็นพิษต่ำ หรือติดไฟยาก

4) สารปนเปื้อนนั้นไม่ต้องผ่านเครื่องทำความสะอาดก่อนที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกหรือชุมชน

5) สารปนเปื้อนนั้นไม่ก่อกวนหรือไม่ทำให้เกิดปัญหาใด ๆ ในสถานประกอบการเมื่อถูกทำให้เจือจางแล้ว

6) สารปนเปื้อนไม่อยู่ในรูปของอนุภาค และ

7) อากาศที่นำเข้ามาต้องไม่เคลื่อนที่ผ่านแหล่งความร้อนก่อนถึงตัวผู้ปฏิบัติงาน และแหล่งความร้อนถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมโดยวิธีอื่นที่ไม่ใช่การแผ่รังสี เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนไม่สามารถควบคุมได้โดยการระบายอากาศ

นอกจากข้อจำกัดที่กล่าวมาแล้ว การระบายอากาศแบบทั่วไปมีจุดอ่อน คือ เป็นการทำให้สารปนเปื้อนเจือจางไปเท่านั้น มิได้กำจัดให้หมดไปจากสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในบริเวณรอบๆ แหล่งสารปนเปื้อนอาจมีความเข้มข้นของสารสูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ จึงทำให้การควบคุมการสัมผัสสารปนเปื้อนของพนักงานค่อนข้างลำบาก อย่างไรก็ตาม การระบายอากาศแบบทั่วไปมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการระบายอากาศเฉพาะที่ และหากควบคุมการถ่ายเทอากาศได้อย่างเหมาะสมแล้ว จะสามารถควบคุมความเข้มข้นของสารปนเปื้อนให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน

หลักการของการระบายอากาศแบบทั่วไป

หลักการของการระบายอากาศแบบทั่วไปหรือเจือจางสารปนเปื้อน มีดังนี้

1) อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่พื้นที่หรือห้องที่มีสารปนเปื้อนต้องสามารถเจือจางสารปนเปื้อนให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

2) ติดตั้งช่องระบายอากาศออกให้อยู่ใกล้แหล่งของสารปนเปื้อนมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

3) ช่องอากาศเข้าและช่องระบายอากาศออกต้องอยู่ในตำแหน่งที่อากาศสามารถไหลผ่านพื้นที่ที่ถูกปนเปื้อน และผู้ปฏิบัติงานต้องอยู่ระหว่างช่องอากาศเข้าและแหล่งของสารปนเปื้อน

4) อากาศที่เข้ามาเจือจางสารปนเปื้อนต้องมีปริมาณมากพอและไหลเข้าอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงควรใช้เครื่องกล เช่น พัดลมช่วยในการไหลเวียนของอากาศแทนการไหลเวียนของอากาศตามธรรมชาติ

5) อากาศที่ระบายออกจากพื้นที่ทำงานแล้วต้องไม่ถูกนำกลับเข้าสู่อาคารหรืออยู่ที่ทิศทางที่อากาศไม่สามารถไหลกลับเข้าอาคาร

3.2 ระบบระบายอากาศเฉพาะที่

ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ เป็นการออกแบบมาเพื่อรวบรวมสารปนเปื้อนที่แหล่งหรือในกระบวนการผลิต ก่อนที่สารจะฟุ้งกระจายหรือระเหยขึ้นสู่อากาศในระดับหายใจของผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้น ระบบระบายอากาศเฉพาะที่จึงมีมาตรการควบคุมสารปนเปื้อนที่แหล่งที่มีประสิทธิภาพสูง และประหยัดพลังงานเนื่องจากมีอัตราการไหลออกสู่ภายนอกต่ำ จึงใช้พลังงานในการเคลื่อนที่อากาศต่ำ เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วปริมาณสารมลพิษที่ดักจับได้มีปริมาณมาก จึงต้องกำจัดสารมลพิษออกจากอากาศก่อนปล่อยออกจากระบบไป ดังนั้น ระบบระบายอากาศเฉพาะที่สามารถทำให้บรรยากาศการทำงานสะอาดและมีสภาวะการทำงานที่ดีขึ้น (พรพิมล, 2543)

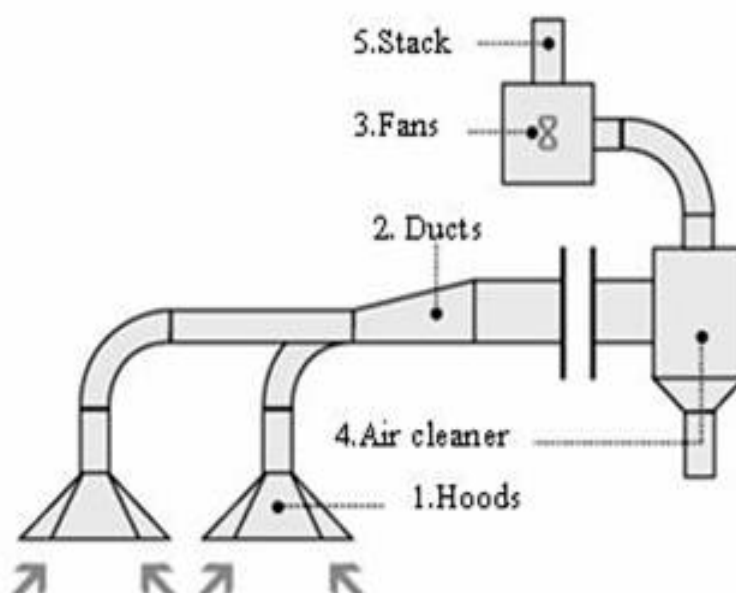
การเลือกใช้ระบบระบายอากาศเฉพาะที่

ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust Systems) จะนำมาใช้ในการควบคุมสารมลพิษ เมื่อ

- ไม่มีวิธีการควบคุมอื่นที่มีประสิทธิภาพและได้ผลมากกว่า
- มีข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างอากาศ หรือคนงานว่ามีมลพิษในอากาศที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพหรืออาจก่อให้เกิดการติดไฟ ทำให้ผลผลิตเสียไป หรือทำให้เกิดปัญหาต่อคนงาน

- มีข้อมูลสรุปว่าถ้าติดตั้งระบบแล้วจะทำให้ผลผลิตสูงขึ้น สถานที่ทำงานสะอาด คนงานมีสุขอนามัยที่ดีขึ้นและเป็นการปรับปรุงสภาพการทำงาน
- มีสารมลพิษออกมาจากแหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ในปริมาณมากและสารมลพิษกระจายไปได้ไกล
- แหล่งกำเนิดสารมลพิษอยู่ใกล้กับบริเวณที่คนงานหายใจ

ภาพที่ 2 แสดงองค์ประกอบสำคัญของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งมีทั้งสิ้น 5 ส่วน ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของระบบระบายอากาศเฉพาะที่

ที่มา: พรพิมล (2543)

3.2.1 ท่อดูดอากาศ (Hood) ใช้ในการรวบรวมสารปนเปื้อนให้เข้าสู่ระบบระบายอากาศ

3.2.2 ท่อนำอากาศ (Ducts) ใช้ทำหน้าที่นำอากาศและส่งต่ออากาศที่รวบรวมโดยท่อดูดอากาศผ่านต่อไปเพื่อเข้าสู่ระบบขจัดสารมลพิษหรือปล่อยออกสู่ภายนอก

3.2.3 พัดลม(Fan) ทำหน้าที่ในการดูดอากาศ ทำให้เกิดการไหลของอากาศผ่านเข้าไปในระบบระบายอากาศ

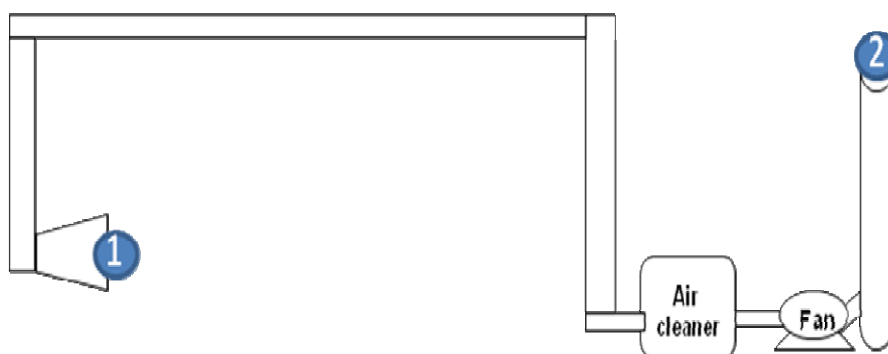
3.2.4 อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ (Air -Cleaning Device) ทำหน้าที่ในการจัดสารปนเปื้อนโดยการแยกหรือกรองออกจากอากาศให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนปล่อยอากาศออกสู่บรรยากาศ

3.2.5 ปล่องระบายอากาศ (Stack) เป็นทางออกของอากาศที่ผ่านการจัดสารปนเปื้อนออกแล้ว ซึ่งปล่องระบายอากาศเป็นส่วนสุดท้ายของระบบระบายอากาศ

ก่อนจะกล่าวถึงรายละเอียดของทั้ง 5 ส่วนประกอบ นี้ ขอกล่าวถึงกฎการอนุรักษ์พลังงานซึ่งเป็นหลักการที่สำคัญในระบบระบายอากาศเฉพาะที่

กฎการอนุรักษ์พลังงาน

สำหรับการไหลของอากาศจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง ระดับของพลังงานรวมทั้งสองจุดต้องเท่ากัน ดังนั้นหากพิจารณาในรูปของความดันของระบบระบายอากาศเฉพาะที่อย่างง่าย ดังแสดงในภาพที่ 3 สามารถเขียนกฎการอนุรักษ์พลังงานระหว่างจุดสองจุดในระบบ คือ จุดที่ 1 บริเวณหน้าท่อดูดอากาศ และ จุดที่ 2 บริเวณทางออกของปล่องระบายอากาศ ได้ดังสมการที่ (1)



ภาพที่ 3 ระบบระบายอากาศเฉพาะที่อย่างง่าย

$$TP_1 + FTP = TP_2 \quad (1)$$

เมื่อ

TP_1 คือ ความดันรวมที่จุด 1 (in.wg) ซึ่งเป็นทางเข้าของระบบระบายอากาศเฉพาะที่

TP_2 คือ ความดันรวมที่จุด 2 (in.wg) ซึ่งเป็นทางออกของระบบระบายอากาศเฉพาะที่

FTP คือ ความดันรวมของพัดลม (in.wg)

โดย $TP = SP + VP$ ซึ่ง SP คือ ความดันสถิต (Static Pressure) และ VP คือ ความดันจลน์ (Velocity Pressure) ดังนั้น ได้ว่า ความดันรวมที่จุด 1 และ 2 มีค่าเป็น

$$TP_1 = SP_1 + VP_1 \quad (2)$$

$$TP_2 = SP_2 + VP_2 \quad (3)$$

ตามลำดับ โดยที่ ความดันสถิตที่จุด 1 (SP_1) มีหน่วยเป็น in.wg โดยเป็นผลรวมของความดันสถิตที่เกิดขึ้นในท่อดูดอากาศ (SP_{hood}) ความดันสถิตที่เกิดขึ้นในท่อเลี้ยว ท่อแยก ท่อลด ท่อขยาย ($SP_{ท่อเลี้ยว, ท่อแยก, ท่อลด, ท่อขยาย}$) และความดันสถิตที่เกิดจากการไหลของอากาศผ่านอุปกรณ์อื่นๆ ($SP_{อื่นๆ}$)

$$SP_1 = SP_{hood} + SP_{ท่อ,ท่อเลี้ยว,ท่อแยก,ท่อลด,ท่อขยาย} + SP_{อื่นๆ} \quad (4)$$

ในขณะที่ความดันสถิตที่จุด 2 (SP_2) มีหน่วยเป็น in.wg และสามารถหาจาก

$$SP_2 = SP_{ท่อ,ท่อเลี้ยว,ท่อแยก,ท่อลด,ท่อขยาย} \quad (\text{in.wg}) \quad (5)$$

ความดันจลน์ที่จุด 1 และ 2 หาได้จากสมการเดียวกัน คือ

$$VP = \left(\frac{V}{4005} \right)^2 \quad (6)$$

โดย V จะถูกแทนที่ด้วย V_1 และ V_2 สำหรับความเร็วลม (fpm) ที่จุด 1 และ 2 ตามลำดับ
ค่า VP ที่ได้มีหน่วยเป็น in.wg

ทั้ง SP VP และ TP ในสมการที่ 1-4 เกี่ยวข้องกับความดันของการไหล มีความหมายเป็น
ดังนี้

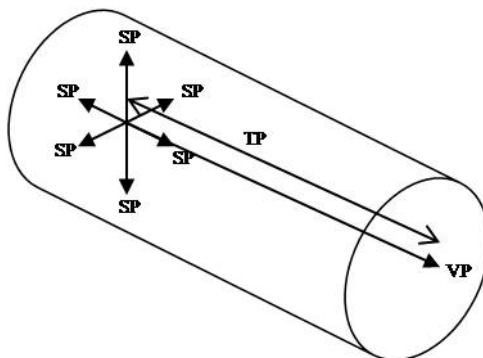
1. ความดันสถิต (Static pressure, SP) คือ แรงที่อัดหรือกระจายอากาศเพื่อเอาชนะ
แรงเสียดทานภายในท่อลม และสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$SP = \text{ความดันเกจ} + \text{ความดันบรรยากาศ} \quad (7)$$

2. ความดันจลน์ (Velocity pressure, VP) คือ ความดันที่ต้องการเพื่อทำให้อากาศที่อยู่
นิ่งมีความเร่งจนกระทั่งมีความเร็วระดับหนึ่ง และเป็นสัดส่วนกับพลังงานกลของกระแสอากาศ
ดังนั้นความดันนี้จะมีเฉพาะในสถานะที่อากาศมีการเคลื่อนไหวนั่น และมักจะมีทิศทางเดียวกับการ
ไหลของอากาศ

3. ความดันรวม (Total pressure, TP) คือผลรวมของความดันสถิต และความดันจลน์
ซึ่งเป็นค่าความดันที่ใช้ในการเริ่มต้นและรักษาระดับการไหลของอากาศ

โดยลักษณะของความดันรวม ความดันสถิตและความดันจลน์แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดง SP VP และ TP

ที่มา: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

นอกจากกฎการอนุรักษ์พลังงานแล้ว การออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ต้องใช้หลักการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass) ด้วย ดังนั้นสามารถสรุปหลักการสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบ ได้ดังนี้

1. ความแตกต่างกันของความดันทำให้อากาศไหลผ่าน (เข้า-ออก) ระบบระบายอากาศ
2. ความดันรวมในระบบระบายอากาศมีองค์ประกอบสองประการ คือ
 - 2.1 ความดันจลน์ ซึ่งเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของอากาศและเกิดในทิศทางของการไหล
 - 2.2 ความดันสถิตหรือแรงดูดซึ่งทำให้อากาศเริ่มเคลื่อนที่ และดำรงสภาพการเคลื่อนที่นั้นไว้
3. จากกฎของความดันสถิตสามารถเปลี่ยนไปเป็นความดันจลน์ได้ และในทำนองเดียวกันความดันจลน์ก็สามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นความดันสถิตได้เช่นกัน
4. ขนาดของความต้านทานการไหลของอากาศเนื่องจากแรงเสียดทาน และจากการไหลวนของลมในท่อนั้นขึ้นอยู่กับกำลังสองของความเร็วลมในท่อ ดังนั้นความต้านทานการไหล

ดังกล่าวนี้จึงสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของความดันจลน์ในท่อลมนั้นได้ ซึ่งนิยมเรียกกันว่า “ความดันสูญเสีย” หรือ “ความดันตก” (Pressure drop)

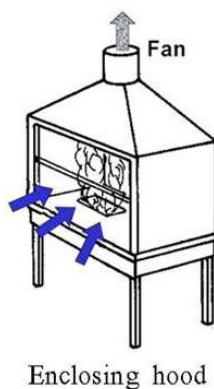
5. ความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นตลอดทั้งระบบนั้นจะเท่ากับพลังงานซึ่งจะต้องใส่เข้าไปในระบบโดยการทำงานของพัดลม เพื่อให้ให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านระบบระบายอากาศได้ตามความประสงค์

6. ขนาดของพัดลมที่ต้องการเพื่อให้ระบบทำงานได้ตามวัตถุประสงค์นั้น สามารถคำนวณได้จากปริมาณลมที่กำหนดให้ไหลผ่านระบบระบายอากาศ และ ความดันสูญเสียซึ่งเกิดขึ้นในระบบระบายอากาศ

3.2.1 ท่อดูดอากาศ (Hood)

ท่อดูดอากาศ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรวบรวมสารปนเปื้อนให้เข้าสู่ระบบระบายอากาศในอัตราที่ต้องการ รูปร่างของท่อดูดอากาศ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) ท่อดูดอากาศปิดล้อม (Enclosing Hood) หมายถึง ท่อดูดอากาศที่ปิดครอบแหล่งกำเนิดของสารปนเปื้อนหรือกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดสารปนเปื้อนไว้ทั้งหมดหรือบางส่วน ดังตัวอย่างแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งลักษณะของท่อดูดอากาศจะทำให้สารปนเปื้อนสะสมอยู่ภายในท่อดูดอากาศ มีประสิทธิภาพในการควบคุมสูง ปริมาณลมที่พาสารปนเปื้อนออกจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่ระบบระบายอากาศมีไม่มากนัก ทำให้ง่ายต่อการนำสารปนเปื้อนเข้าสู่ระบบเนื่องจากไม่ถูกรบกวนด้วยกระแสลมหน้าท่อดูดอากาศ ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง อย่างไรก็ตามความเร็วด้านหน้าท่อดูดอากาศ (Face Velocity) ควรออกแบบให้ได้ตามที่กำหนดไว้ เพราะถ้าความเร็วต่ำเกินไปสารปนเปื้อนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอาจออกมาจากช่องเปิดของท่อดูดอากาศ และเข้ามาปนเปื้อนในบริเวณพื้นที่ทำงานได้ ทั้งนี้หากกระบวนการผลิตไม่มีข้อจำกัดในเรื่องการติดตั้งหรือไม่ขัดขวางการทำงาน ควรพิจารณาเลือกใช้ท่อดูดอากาศประเภทนี้



ภาพที่ 5 ตัวอย่างตู้ดูดอากาศชนิดปิดล้อม

ที่มา: พรพิมล (2543)

สิ่งที่สำคัญที่สุดประการหนึ่งในการพิจารณาออกแบบตู้ดูดอากาศประเภทนี้คือ ความเร็วลมที่ผ่านช่องเปิดของตู้ดูดอากาศเข้าสู่ตัวตู้ดูดอากาศที่เรียกว่า “ความเร็วด้านหน้าตู้ดูดอากาศ” (Face Velocity) ตัวอย่างของความเร็วด้านหน้าตู้ดูดอากาศที่แนะนำให้ใช้สำหรับการควบคุมมลพิษจากตู้ดูดอากาศซึ่งใช้กับกิจกรรมประเภทต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความเร็วด้านหน้าตู้ดูดอากาศที่แนะนำให้ใช้กับกิจกรรมประเภทต่างๆ

ลักษณะงาน	ความเร็วด้านหน้าตู้ดูดอากาศ (ฟุตต่อนาที)
ห้องเชื่อมโลหะ (welding booth)	150
ห้องพ่นสี (paint spray booth)	100 – 200
ตู้ควันห้องปฏิบัติการ (laboratory hood)	100 – 150
สายพานลำเลียงวัสดุ	100 - 200
ถังเก็บหรือกรวยจ่ายวัสดุ(bin or hopper enclosure)	150 – 200
เครื่องผสม (mixer)	150 – 200
เตาหลอมโลหะ (รวมไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้)	150 - 250

ที่มา: นัตรชัย (2550)

2) ท่อดูดอากาศภายนอก (Exterior Hood) หมายถึง ท่อดูดอากาศที่ติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับแหล่งของสารปนเปื้อนโดยไม่ปิดคลุมแหล่ง แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

2.1) Canopy หรือ Receiving Hood เป็นท่อดูดอากาศ ที่ลักษณะการปล่อยสารปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดมีความเร็วต้นสูงและมีทิศทางการเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง โดยจะติดตั้งในทิศทางการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนโดยหันช่องเปิดของท่อดูดอากาศ รับสารปนเปื้อนเข้าสู่ท่อดูดอากาศ ทำให้สารปนเปื้อนที่เกิดขึ้นถูกดูดเข้าสู่ท่อดูดอากาศได้ดีขึ้น มีการรองรับสารปนเปื้อนที่เคลื่อนที่เข้าใกล้ในระยะที่แรงดูดของพัดลมส่งผ่านท่อดูดอากาศสามารถดูดอากาศและสารปนเปื้อนเข้าไปได้ ดังแสดงในภาพที่ 6 นิยมใช้ในกระบวนการผลิตที่มีความร้อนและสารปนเปื้อนลอยขึ้นสู่ระยะที่ท่อดูดอากาศสามารถดูดได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานมาก รวมถึงผู้ปฏิบัติงานไม่ได้ทำงานในบริเวณที่เป็นทางผ่านของสารจากแหล่งไปยังท่อดูดอากาศ เช่น บริเวณเตาหลอม หม้อต้มหรือต้ม เป็นต้น ท่อดูดอากาศแบบนี้เป็นท่อที่ใช้ประโยชน์ได้น้อย เนื่องจากความเร็วลมจะลดลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังสองของระยะทางระหว่างท่อดูดอากาศแบบ Canopy และแหล่งของสารมลพิษ และต้องใช้ปริมาณอากาศจำนวนมาก อีกทั้งยังอาจถูกรบกวนโดยการเคลื่อนไหวของอากาศในห้อง และผู้ปฏิบัติงานจะต้องทำงานอยู่ใต้ท่อดูดอากาศระหว่างจุดที่ปล่อยสารมลพิษ และท่อดูดอากาศ ทำให้สารปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดสามารถผ่านไปยังระบบการหายใจของผู้ปฏิบัติงานได้ง่าย ท่อดูดอากาศประเภทนี้มี 2 ชนิด คือ

2.1.1) High Canopy เป็นท่อที่มีการออกแบบและติดตั้งให้อยู่ในระดับสูงเพื่อไม่ให้กีดขวางการทำงาน

2.1.2) Low Canopy เป็นท่อที่มีระยะห่างระหว่างแหล่งสารปนเปื้อนกับท่อดูดอากาศน้อยกว่าความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของแหล่งสารปนเปื้อนหรือน้อยกว่า 3 ฟุต



ภาพที่ 6 ตัวอย่าง Canopy หรือ Receiving Hood

ที่มา: วันทนีย์ (2549)

2.2) Capturing Hood เป็นท่อที่ส่งแรงดูดออกไปเพื่อนำสารปนเปื้อนและอากาศเข้าสู่ท่อดูดอากาศ ใช้กับแหล่งกำเนิดที่สารปนเปื้อนอยู่นอกท่อดูด โดยส่วนที่มีการปล่อยสารปนเปื้อนอยู่ในตำแหน่งที่ห่างออกไปนอกท่อดูดอากาศ ทั้งนี้ท่อดูดอากาศ ประเภทนี้จะต้องมีแรงดูดมากพอที่ทำให้สารปนเปื้อนที่ปล่อยออกมาเคลื่อนที่เข้าสู่ท่อดูดอากาศ ซึ่งความเร็วบริเวณที่สารปนเปื้อนถูกปล่อยออกมา เรียกว่า ความเร็วจับ (Capture Velocity) โดยค่าความเร็วจับจะต้องได้ตามที่กำหนดไว้เพื่อลดปริมาณลมที่ใช้ในการดูดจับสารปนเปื้อนเข้าสู่ท่อดูดอากาศ และต้องพยายามลดระยะห่างระหว่างจุดที่สารปนเปื้อนถูกปล่อยออกมาและท่อดูดอากาศ (Hood) ให้สั้นที่สุดในการติดตั้งเมื่อต่อท่อดูดอากาศ เข้าไปที่พัดลมดูดอากาศแล้ว อากาศจะถูกดูดเข้ามาจากทุกทิศทางไปที่ช่องเปิดของท่อดูดอากาศ ลักษณะของท่อดูดอากาศ ประเภทนี้มี 4 ชนิด คือ

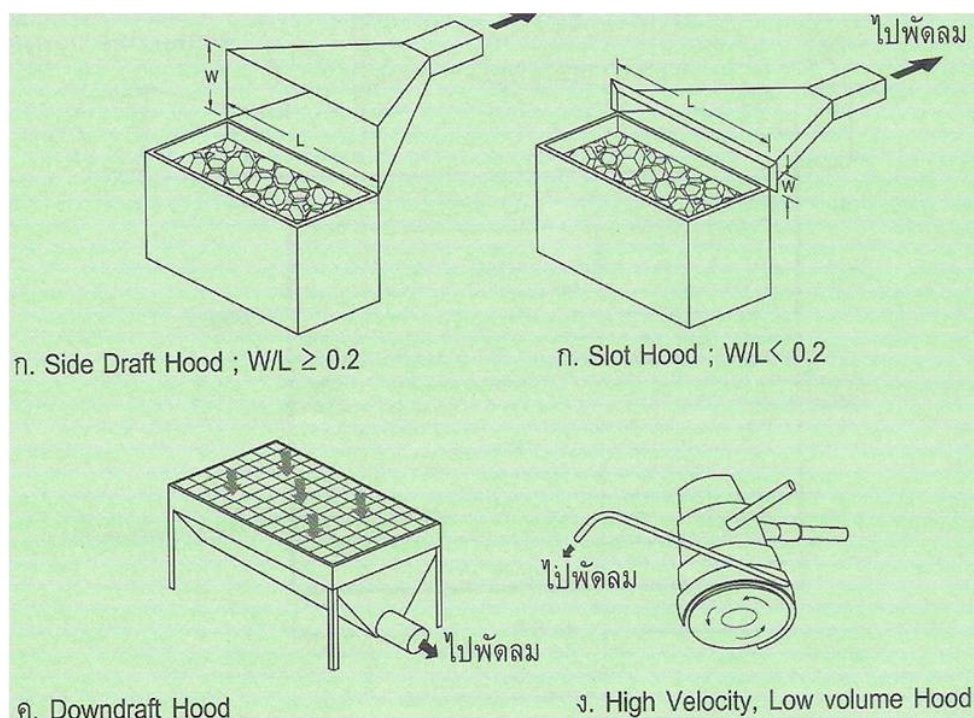
2.2.1) ท่อดูดอากาศแบบดูดด้านข้าง (Side Draft) เป็นท่อที่มีการออกแบบการติดตั้งอยู่ด้านข้างของแหล่งสารปนเปื้อน ใช้ในกระบวนการดูดสารปนเปื้อนจำพวกก๊าซหรือไอระเหย ซึ่งลอยขึ้นจากแหล่งกำเนิดอย่างช้าๆ และถูกดูดเข้าสู่ระบบก่อนที่จะลอยขึ้นสู่บรรยากาศรอบๆ หรือระดับหายใจของผู้ปฏิบัติงาน เช่น ถังชุบโลหะ หรือในกระบวนการผลิตที่ผู้ปฏิบัติงานจะต้องมีการยืนใกล้ชิดกับแหล่งสารปนเปื้อน

2.2.2) ท่อดูดอากาศแบบช่องแคบ (Slot Hood) เป็นท่อที่มีสัดส่วนของด้านกว้าง (W) ต่อด้านยาว (L) น้อยกว่า 0.2

2.2.3) ท่อดูดอากาศแบบดูดลง (Downward Hood) เป็นท่อที่ติดตั้งอยู่บริเวณด้านล่างของแหล่งสารปนเปื้อนเพื่อรองรับและดูดสารปนเปื้อนเข้าสู่ระบบ ใช้กับสารปนเปื้อนที่เป็นอนุภาคและมีแนวโน้มตกลงสู่ด้านล่าง

2.2.4) Low Volume, High Velocity Hood เป็นท่อที่ดูดอากาศเข้าไปในปริมาณน้อยแต่ด้วยความเร็วสูง ใช้ในการดูดสารปนเปื้อนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดขนาดเล็กและเคลื่อนตัวโดยใช้ความเร็ว

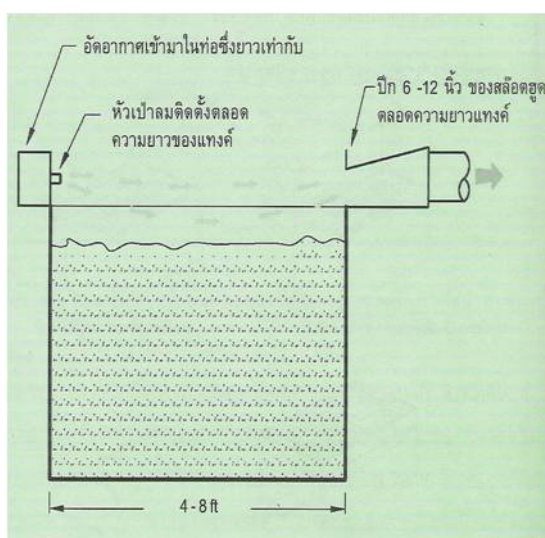
ตัวอย่างท่อดูดอากาศชนิด Capturing Hood ดังแสดงในภาพที่ 7 โดย L และ W คือ ความยาวและความกว้างของช่องเปิดของท่อดูดอากาศตามลำดับ



ภาพที่ 7 Capturing Hood ชนิดต่างๆ

ที่มา: วันทนีย์ (2549)

2.3) ระบบผลัก-ดึง (Push-Pull System) เป็นท่อดูดอากาศที่อาศัยหลักการเป่าและการดูดของพัดลม ดังแสดงในภาพที่ 8 อากาศจากด้านตรงข้ามกับท่อดูดอากาศจะถูกเป่าออกมาเพื่อส่งสารปนเปื้อนให้เคลื่อนที่เข้าใกล้ท่อดูดอากาศในระยเวลาที่ท่อดูดอากาศสามารถดูดสารปนเปื้อนเข้าสู่ระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้พลังงานน้อย การเป่าอากาศเพื่อส่งสารปนเปื้อนเข้าสู่ท่อดูดอากาศ คือ ด้วยพลังงานที่ใช้ทำกันสามารถควบคุมทิศทางของลำอากาศที่เป่าออกไปได้ในระยะทางที่ไกลกว่าการดูด กล่าวคือหลักการดูดและเป่าจะใช้พลังงานน้อยกว่าการดูดเพียงอย่างเดียว และมีประสิทธิภาพในการนำสารปนเปื้อนเข้าสู่ระบบได้ดีกว่า



ภาพที่ 8 ระบบระบายอากาศแบบผลัก-ดึง เป็นการติดตั้งพัดลมและท่อดูดอากาศในทิศตรงข้ามกัน

ที่มา: วันทนีย์ (2549)

รูปแบบความเร็วที่เกี่ยวข้องกับท่อดูดอากาศ

เนื่องจากท่อดูดอากาศมีลักษณะแตกต่างกันมากมาย ดังนั้น การทราบถึงรูปแบบและนิยามของความเร็วของอากาศที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของท่อดูดอากาศจึงเป็นสิ่งสำคัญดังแสดงในภาพที่ 9 ซึ่งความเร็วแต่ละรูปแบบจะมีนิยามดังต่อไปนี้

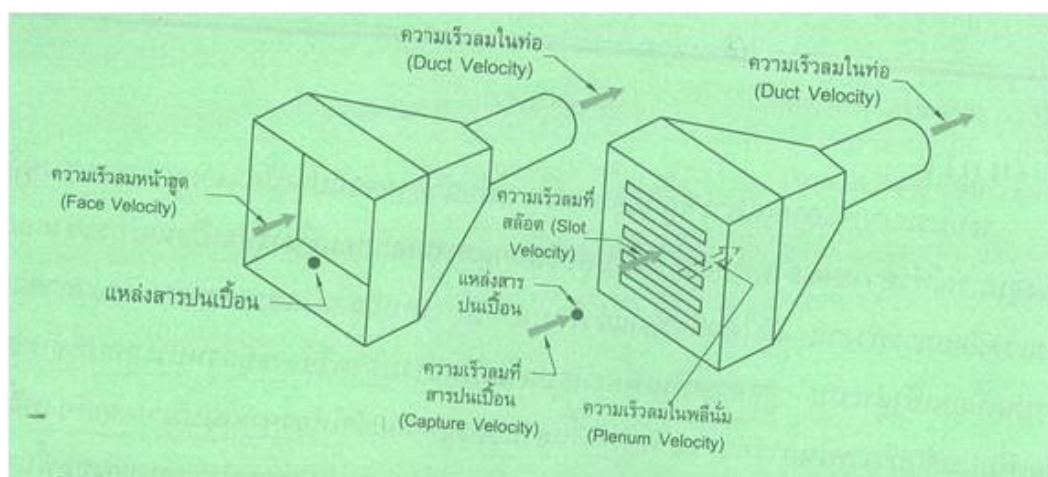
ความเร็วด้านหน้าท่อดูดอากาศ (Face Velocity : V_{face}) คือ ความเร็วของอากาศที่ช่องเปิดของท่อดูดอากาศที่มีค่ามากพอสำหรับการดึงสารปนเปื้อนที่อยู่ภายในท่อดูดอากาศปิดล้อมให้เข้าสู่ระบบท่อได้ โดยความเร็วด้านหน้าจะมีความสำคัญต่อการออกแบบท่อดูดอากาศปิดล้อม

ความเร็วจับยึด (Capture Velocity) คือ ความเร็วของอากาศที่จุดใดๆ ที่บริเวณด้านหน้าท่อดูดอากาศหรือบริเวณช่องเปิดของท่อดูดอากาศซึ่งมีค่ามากพอสำหรับการดึงสารปนเปื้อนซึ่งอยู่นอกท่อดูดอากาศให้เข้าสู่ระบบได้ โดยความเร็วจับยึดจะมีความสำคัญต่อการออกแบบท่อดูดอากาศภายนอก

ความเร็วที่ช่องแคบ (Slot Velocity : V_s) คือ ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านช่องแคบ (Slot) โดยช่องแคบจะมีลักษณะเป็นช่องเปิดปากเรียบที่มีอัตราส่วนของความกว้างต่อความยาวหรืออัตราส่วนด้าน (Aspect Ratio) ของช่องเปิดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.2 สำหรับวัตถุประสงค์ของการใช้ท่อดูดอากาศแบบช่องแคบนี้ก็เพื่อต้องการให้อากาศที่ไหลผ่านด้านหน้าของท่อดูดอากาศมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ (Uniform Distribution)

ความเร็วในกล่องลม (Plenum Velocity) คือ ความเร็วของอากาศภายในกล่องลมโดยทั่วไปแล้ว ค่าสูงสุดของความเร็วในกล่องลมสำหรับท่อดูดอากาศที่มีการติดตั้งช่องแคบควรมีค่าเป็นครึ่งหนึ่ง (หรือน้อยกว่า) ของความเร็วที่ช่องแคบ ทั้งนี้ก็เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของอากาศที่ดี

ความเร็วในท่อ (Duct Velocity : V_d) คือ ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านหน้าตัดท่อในกรณีที่มีสารปนเปื้อนในรูปของอนุภาคของแข็ง (ฝุ่น) ปะปนมากับอากาศ ความเร็วในท่อต้องมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าความเร็วต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการพาสารปนเปื้อนให้ไหลไปพร้อมกับอากาศได้โดยไม่เกิดการตกค้างในระบบ



ภาพที่ 9 รูปแบบของความเร็วที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของท่อดูดอากาศ

ที่มา: วันทนีย์ (2549)

วันทนีย์ (2549) กล่าวว่า การออกแบบท่อดูดอากาศ ต้องคำนึงถึงรูปร่าง ขนาด จุด ที่ติดตั้ง และอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ท่อดูดอากาศ โดยปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ ได้แก่

1) ความเร็วจับยึดขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ท่อดูดอากาศ และ รูปร่างของท่อดูดอากาศ ค่าความเร็วจับยึดสำหรับการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิด แต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความเร็วจับยึดที่จำแนกตามลักษณะการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน

ลักษณะการแพร่กระจายของ สารปนเปื้อน	ตัวอย่าง	ค่าความเร็วจับยึด	
		เมตร/วินาที	ฟุต/นาที
1. แพร่กระจายโดยธรรมชาติสู่ อากาศภายนอกที่อยู่นิ่ง	การระเหยของไอจากถังชุบ	0.25-0.5	50-100
2. แพร่กระจายด้วยความเร็วต่ำ สู่อากาศภายนอกที่เคลื่อนที่ เล็กน้อย	การเติมวัสดุเป็นช่วง การขนถ่าย วัสดุที่ความเร็วต่ำ การเชื่อมและ การชุบโลหะ	0.5-1.0	100-200

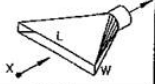
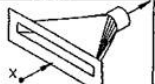
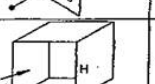
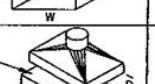
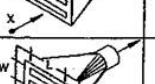
ตารางที่ 3 (ต่อ)

ลักษณะการแพร่กระจายของ สารปนเปื้อน	ตัวอย่าง	ค่าความเร็วจับยึด	
		เมตร/วินาที	ฟุต/นาที
3. แพร่กระจายด้วยการถูก กระตุ้นให้เข้าสู่บริเวณที่อากาศ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง	การพ่นสีในคอกกั้น การเติมวัสดุ ลงถัง การจ่ายวัสดุออก การไม่	1.0-2.5	200-500
4. แพร่กระจายด้วยความเร็ว เริ่มต้นสูงเข้าสู่บริเวณที่อากาศ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมาก	การรด การตกของวัสดุจากที่สูง กระทบวัตถุแข็ง	2.5-10.0	500-2000
ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเลือกใช้งานของช่วงความเร็วลมที่จุดใดๆ			
เลือกความเร็วจับยึดช่วงต่ำ		เลือกความเร็วจับยึดช่วงสูง	
1. กระแสอากาศในห้องต่ำหรือง่ายต่อการดูด		1. กระแสอากาศในห้องถูกรบกวนมาก	
2. สารปนเปื้อนไม่มีพิษ หรือมีพิษน้อย		2. สารปนเปื้อนมีปริมาณสูง	
3. ใช้งานเป็นช่วงๆ ผลผลิตต่ำ		3. ผลผลิตสูง ใช้งานมาก	
4. ท่อดูดอากาศขนาดใหญ่ มวลอากาศเคลื่อนที่มาก		4. ท่อดูดอากาศ ขนาดเล็กควบคุมเฉพาะจุด	

ที่มา: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

2) อัตราการไหลของอากาศเข้าที่ดูดอากาศ (Hood Flow Rate, Q) มีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของท่อดูดอากาศ ดังนี้

2.1) ท่อดูดอากาศภายนอก ค่าอัตราการไหลของอากาศเข้าที่ดูดอากาศ คำนวณจากรูปทรงเรขาคณิตของท่อดูดอากาศ ได้แก่ ขอบเขตของปีกท่อดูดอากาศ (Flange) หรือ แผ่นกั้นด้านข้างของท่อดูดอากาศ (Baffles) หรือผนังที่อยู่ใกล้กับท่อดูดอากาศ โดยจุดกำเนิดของสารปนเปื้อน (X) อยู่บนพื้นผิวของรูปทรงเรขาคณิตนั้น ภาพที่ 10 ได้แสดงการหาอัตราการไหลของอากาศสำหรับท่อดูดอากาศชนิดต่างๆ

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 FIG. 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 4-96

FIGURE 3-11

ภาพที่ 10 อัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าท่อดูดอากาศชนิดต่างๆ

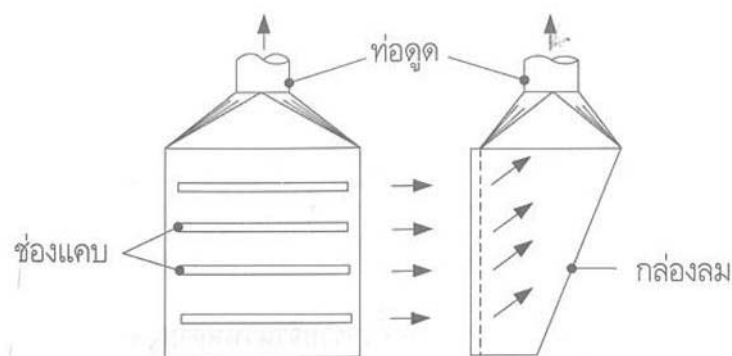
ที่มา: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

2.2) ท่อดูดอากาศปิดล้อม ค่าอัตราการไหลของอากาศเข้าท่อดูดอากาศ

คำนวณจากความเร็วลมที่พื้นที่หน้าตัดของช่องเปิดของท่อดูดอากาศ หรือ ความเร็วจับยึด คูณกับพื้นที่หน้าตัดของช่องเปิดท่อดูดอากาศ (A)

3) ผลกระทบจากปีกและแผ่นกั้น (Effects of Flanges and Baffles) ปีก (Flange) คือ แผ่นวัสดุที่ติดอยู่ที่ขอบด้านหน้าของท่อดูดอากาศ เพื่อป้องกันไม่ให้ลมจากด้านหลังของท่อดูดอากาศเคลื่อนที่เข้าไป และ แผ่นกั้น (Baffle) คือ แผ่นวัสดุที่ติดตั้งไว้เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศทางด้านข้างและด้านหน้าของท่อดูดอากาศที่ไม่ปนเปื้อนเคลื่อนที่เข้าไป

4) การกระจายตัวของอากาศ (Air Distribution) การควบคุมให้อากาศที่ถูกดูดเข้ามาในท่อดูดอากาศกระจายตัวโดยการเพิ่มช่องแคบ (Slot) เข้าไปที่ด้านหน้าของท่อดูดอากาศ ดังภาพที่ 11 โดยที่ ช่องต้องมีอัตราความกว้างต่อความยาว (W/L) = 0.2 หรือน้อยกว่า โดยทั่วไปหน้าที่หลักของ slot คือทำให้อากาศเคลื่อนที่เข้าและกระจายตัวอย่างเป็นระเบียบ



ภาพที่ 11 การติดตั้งช่องแคบที่ด้านหน้าท่อดูดอากาศ

ที่มา: นัตรชัย (2550)

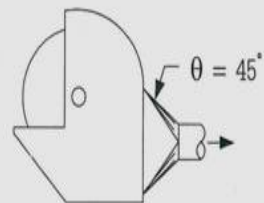
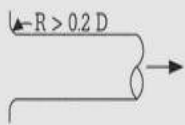
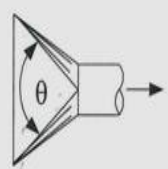
5) ผลกระทบจากตำแหน่งที่พนักงานอยู่ (Worker Position Effect) วัตถุประสงค์ของการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ คือ ควบคุมการฟุ้งกระจายของสารปนเปื้อนเข้าสู่อากาศ ดังนั้นระบบระบายอากาศจึงถูกออกแบบมาเพื่อติดตั้งในจุดที่ใกล้กับแหล่งกำเนิดของสารปนเปื้อนมากที่สุด และควรคำนึงถึงจุดที่คนงานต้องยืนทำงานอย่างปลอดภัยด้วย

ความดันสูญเสียที่ท่อดูดอากาศ

การสูญเสียความดันที่ท่อดูดอากาศเกิดขึ้นจากสาเหตุ 2 ประการ ได้แก่

1) ความดันสูญเสียเนื่องจากความเร่ง (Acceleration loss) อากาศจะต้องถูกเร่งจากสภาพที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำไว้ทิศทางที่แน่นอนซึ่งเป็นสภาพที่เป็นอยู่โดยทั่วไปภายในสถานประกอบการ ให้มีความเร็วเพิ่มขึ้นจนเท่ากับความเร็วลมในท่อที่กำหนดไว้ ถ้าหากว่าอากาศในห้องไม่มีการเคลื่อนที่ไหลเลยขณะนั้น ความดันเนื่องจากความเร็วหรือพลังงานจลน์ของอากาศนั้นจะเป็นศูนย์ และเมื่อใดที่อากาศดังกล่าวเคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในระบบระบายอากาศมันจะมีความดันเนื่องจากความเร็วซึ่งจะมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วลมในท่อ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการทำให้อากาศเกิดความเร่งดังกล่าวข้างต้นจะต้องใช้พลังงานไปเท่ากับ 1 ความดันเนื่องจากความเร็ว

2) ความดันสูญเสียจากการที่อากาศไหลผ่านเข้าสู่ท่อดูดอากาศ ในขณะที่อากาศถูกเร่งให้มีความเร็วและไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศของระบบระบายอากาศนั้น รูปลักษณะของท่อดูดอากาศจะทำให้เกิดการไหลวนของอากาศซึ่งการไหลวนของอากาศนี้จะเปลี่ยนความดันเนื่องจากความเร็วให้กลายเป็นความร้อน และด้วยเหตุนี้พลังงานที่เป็นประโยชน์เพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ของอากาศส่วนหนึ่งจะสูญหายไปจากระบบระบายอากาศ การสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อดูดอากาศนั้นขึ้นอยู่กับรูปร่างของท่อดูดอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 12

ลักษณะทางเข้าของหัวดูด	การสูญเสียความดันที่ทางเข้าหัวดูด (h_e)																																			
ปากเรียบ ไม่มีหน้าแปลน (unflanged) 	$0.93VP_d$ ($F_h = 0.93$)																																			
ปากเรียบ มีหน้าแปลน (flanged) 	$0.49VP_d$ ($F_h = 0.49$)																																			
ล้อหินเจียรไน (grinding hood) 	$0.65VP_d$ (ต่อท่อดูดโดยไม่ใช้กรวย, $F_h = 0.65$)																																			
	$0.40VP_d$ (ต่อท่อดูดโดยใช้กรวย, $F_h = 0.40$)																																			
ปากกระฉิ่ง (bell mouth) 	$0.04VP_d$ ($F_h = 0.04$)																																			
ช่องแคบ (slot) 	$1.78VP_s$ ($F_h = 1.78$)																																			
กรวย (cone) 	<table><tr><th rowspan="2">θ (องศา)</th><th colspan="8">แฟกเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้า (F_h)</th></tr><tr><th>15</th><th>30</th><th>45</th><th>60</th><th>90</th><th>120</th><th>150</th><th>180</th></tr><tr><td>หน้าตัดวงกลม</td><td>0.15</td><td>0.08</td><td>0.06</td><td>0.08</td><td>0.15</td><td>0.26</td><td>0.40</td><td>0.50</td></tr><tr><td>หน้าตัดสี่เหลี่ยม</td><td>0.25</td><td>0.16</td><td>0.15</td><td>0.17</td><td>0.25</td><td>0.35</td><td>0.48</td><td>0.50</td></tr></table> หมายเหตุ : มุม 180° หมายถึง การต่อท่อดูดโดยไม่ใช้กรวย	θ (องศา)	แฟกเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้า (F_h)								15	30	45	60	90	120	150	180	หน้าตัดวงกลม	0.15	0.08	0.06	0.08	0.15	0.26	0.40	0.50	หน้าตัดสี่เหลี่ยม	0.25	0.16	0.15	0.17	0.25	0.35	0.48	0.50
θ (องศา)	แฟกเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้า (F_h)																																			
	15	30	45	60	90	120	150	180																												
หน้าตัดวงกลม	0.15	0.08	0.06	0.08	0.15	0.26	0.40	0.50																												
หน้าตัดสี่เหลี่ยม	0.25	0.16	0.15	0.17	0.25	0.35	0.48	0.50																												

ภาพที่ 12 การสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อดูดอากาศ

ที่มา: นัตรชัย (2550)

ความดันสูญเสียจากการที่อากาศไหลผ่านเข้าสู่ท่อดูดอากาศ (Hood Entry Loss, h_e) คำนวณได้จากสมการ

$$h_e = F_h \times VP \quad (8)$$

เมื่อ F_h คือ แฟกเตอร์ความดันสูญเสียเมื่ออากาศไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ (ไม่มีหน่วย)

ความดันสถิตของท่อดูดอากาศ

ความดันสถิตท่อดูดอากาศ (Hood Static Pressure) เพื่อที่จะให้ท่อดูดอากาศสามารถทำงานได้สมบูรณ์ไว้นั้น พัดลมที่ใช้งานจะต้องสามารถสร้างแรงดูดหรือความดันสถิตขึ้นในท่อ ตรงส่วนที่ใกล้กับท่อดูดอากาศให้มากพอที่จะเอาชนะความดันสูญเสียเนื่องจากความเร่งและความดันสูญเสียเมื่ออากาศไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศได้และในขณะเดียวกันยังสามารถทำให้อากาศในปริมาณที่กำหนดเคลื่อนที่เข้าสู่ท่อดูดอากาศนั้นได้ด้วย ความดันนี้สามารถวัดได้โดยตรงด้วยการใช้mano-มิเตอร์น้ำและคำนวณได้ (ฉัตรชัย, 2550)

ในกรณีท่อดูดอย่างง่ายซึ่งความเร็วที่ด้านหน้าหัวดูดมีค่าไม่เกิน 1,000 fpm ความดันสถิตของท่อดูดอากาศคำนวณได้จากสมการ

$$SP_h = h_{ed} + VP_d \quad (9)$$

เมื่อ SP_h = ความดันสถิตของชุด หน่วยเป็น in.wg

h_{ed} = ความดันสูญเสียที่ทางเข้าท่อดูดอากาศ หน่วยเป็น in.wg

VP_d = ความดันจลน์ของอากาศในท่อ หน่วยเป็น in.wg

ในกรณีที่ใช้ท่อดูดอากาศผสม ซึ่งหมายถึง ท่อดูดอากาศที่มีจุดที่ทำให้เกิดการสูญเสียความดันที่ปากทางเข้ามากกว่าหนึ่งจุด การหาความดันสูญเสียที่ท่อดูดอากาศจำเป็นต้องพิจารณาทีละจุด จากนั้นจึงนำค่าการสูญเสียความดันที่หาได้มารวมกันเป็นความดันสูญเสียรวมที่ท่อดูดอากาศ ตัวอย่างของท่อดูดผสม ได้แก่ ท่อดูดแบบช่องแคบทั้งที่เป็นช่องแคบช่องเดียวและ

ช่องแคบหลายช่อง (Multiple slot hood) ท่อดูดอากาศลักษณะนี้นิยมนำไปใช้กับหลายประเภท เช่น งานชุบผิวโลหะ เป็นต้น

การไหลของของอากาศเข้าสู่ท่อดูดอากาศจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน หรือสูญเสียความดันสองช่วง ช่วงแรกจะเกิดจากการที่อากาศภายนอกถูกเร่งให้มีความเร็วสูงขึ้น เท่ากับความเร็วที่ช่องแคบ ($h_{es} = F_h \times VP_s$) ส่วนช่วงที่ 2 เกิดจากการที่อากาศในกล่องลมถูกเร่งให้ไหลผ่านส่วนที่เป็นกรวยเข้าสู่ท่อจนมีความเร็วสูงเท่ากับความเร็วในท่อ ($h_{ed} = F_h \times VP_d$) ซึ่งสามารถหาความดันสถิตของท่อดูดผสม ได้ดังนี้

$$SP_h = h_{es} + h_{ed} + VP_d \quad (10)$$

ความดันสถิตของท่อดูดผสมตามสมการ (10) จะใช้กรณีที่ความเร็วของอากาศในท่อกว้างกว่าความเร็วของอากาศที่ช่องแคบ ($V_d > V_s$) เท่านั้น ซึ่งพบได้บ่อย จะเห็นว่าการสูญเสียความดันอันเนื่องจากการเร่งให้อากาศมีความเร็วเพิ่มขึ้นเท่ากับความเร็วในท่อ (VP_d)

ในกรณีที่ความเร็วของอากาศที่ช่องแคบมีค่ามากกว่าความเร็วของอากาศในท่อ ($V_s > V_d$) ความดันสถิตของท่อดูดผสมจะหาได้จาก

$$SP_h = h_{es} + h_{ed} + VP_s \quad (11)$$

เมื่อ VP_s คือ ความดันจลน์ของอากาศที่ช่องแคบ หน่วยเป็น in.wg

3.2.2 ท่อนำอากาศ (Duct)

ท่อนำอากาศ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการนำอากาศและส่งต่ออากาศที่รวบรวมโดยท่อดูดอากาศ ผ่านต่อไปเพื่อเข้าสู่ระบบกำจัดสารมลพิษหรือระบายออกสู่ภายนอก ท่อที่ใช้ในระบบระบายอากาศเฉพาะจุดมักเป็นท่อตัดหน้ากลม (Round duct) เนื่องจากทำให้การกระจายความเร็วเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งหน้าตัด ซึ่งส่งผลให้ไม่เกิดการตกค้างของสารปนเปื้อนในระบบท่อ รวมทั้งยังทนทานต่อความดันสถิตของอากาศได้สูงกว่าท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยม

ระบบท่อโดยทั่วไปมี 2 ประเภท คือ ระบบแทปเปอร์ (Tapered System) เป็นระบบที่ท่อนำอากาศหลักมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ เพื่อรองรับอากาศจากท่อสาขาและคงความเร็วลมต่ำสุดภายในท่อไว้ และระบบพลินัม (Plenum System) ซึ่งเป็นระบบที่ท่อหลักมีขนาดใหญ่และความเร็วลมในท่อหลักต่ำ อนุภาคและกระแสน้ำอากาศจึงตกสะสมอยู่ในท่อหลัก โดยท่อหลักจะทำหน้าที่เป็นเส้นทางนำอากาศจากท่อสาขาต่างๆ ไปยังพัดลมหรืออุปกรณ์ทำความสะอาดที่มีความดันสูญเสียต่ำ จึงทำให้พลังงานที่ต้องการสำหรับระบบต่ำ และช่วยให้เกิดความสมดุลในทุกท่อสาขา

เนื่องจากการไหลของอากาศในท่อนำอากาศก่อให้เกิดแรงเสียดทานซึ่งมีผลต่อการลดลงของความดันรวม จึงต้องมีการคำนวณปริมาณอากาศต่อวินาทีที่สามารถกำจัดสารปนเปื้อนออกจากพื้นที่การทำงาน เพื่อจะได้จัดทำขนาดของพัดลมและมอเตอร์ที่เหมาะสม ใช้กำลังไฟฟ้าน้อย และให้ความเร็วลมที่ใช้เหมาะสมที่ไม่ทำให้สารปนเปื้อนติดค้างตามท่อ ตารางที่ 4 แสดงความเร็วลมต่ำสุดในท่อที่ควรใช้กับสารปนเปื้อนชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4 ความเร็วลมต่ำสุดในท่อสำหรับสารปนเปื้อนลักษณะต่างๆ

ลักษณะสารปนเปื้อน	ตัวอย่าง	ความเร็วลม	
		ฟุต/นาที่	เมตร/วินาที
ไอรระเหย ก๊าซ คลื่น	ไอรระเหย ก๊าซ คลื่นทุกชนิด	1000-2000	5-10
ฝุ่น	ฝุ่นโลหะจากการเชื่อม	2000-2500	10-13
ฝุ่นที่มีขนาดเล็กมากๆ	เส้นใยฝ้ายขนาดเล็ก ฝุ่นละเอียดจากไม้	2500-3000	12-15
ฝุ่นและผงแห้ง	ฝุ่นยางละเอียด ฝุ่นผงจากปอ ฝุ่นฝ้าย	3000-4000	15-20
ฝุ่นจากอุตสาหกรรมโดยเฉลี่ย	ฝุ่นจากการเจียร ฝุ่นจากการขัด ฝุ่นจากเส้นใยปอ ผงกาแฟ ฝุ่นแกรนิต ผงซิลิกา ฝุ่นจากการเคลื่อนย้ายสิ่งของ ฝุ่นจากการตัดอิฐ ฝุ่นหินปูน อนุภาคจากการหล่อโลหะ	3500-4000	18-20
ฝุ่นหนัก	ฝุ่นจากการเลื่อยไม้ ฝุ่นทรายจากการขัดโลหะ ฝุ่นตะกั่ว ฝุ่นจากการทำงานกลึงโลหะหรือทองเหลือง ฝุ่นจากการเจาะเหล็กหล่อ	4000-4500	20-23

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ลักษณะสารปนเปื้อน	ตัวอย่าง	ความเร็วลม	
		ฟุต/นาที	เมตร/วินาที
ฝุ่นหนักและชื้น	ฝุ่นโลหะขนาดใหญ่จากการขัดโลหะ ฝุ่นซีเมนต์ที่มีความชื้น แอสเบสตอสที่ เกาะกัน เป็นก้อน ฝุ่นปูนขาว ผงวัสดุที่มีความ เหนียว ซึ่งเกิดจากการขัด	>4500	>23

ที่มา: พรพิมล (2543)

ท่อนำอากาศในระบบระบายอากาศเฉพาะที่มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำท่อ เช่น เหล็กเคลือบสังกะสี เหล็กดำ พีวีซี เหล็กสเตนเลส หรือ อะลูมิเนียม อีกทั้งในระบบท่อนำอากาศมีขนาดความยาวในแต่ละช่วงท่อต่างกัน รวมถึงมี ท่อลด ท่อขยาย ท่อเลี้ยว ท่อแยก แตกต่างกันไปตามตำแหน่งที่ติดตั้ง ซึ่งความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นในท่อลักษณะดังกล่าวนี้ทั้งหมดนี้ต้องนำมาพิจารณาทั้งหมด

ความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน

เนื่องจากอากาศเป็นของไหลที่มีความหนืด ดังนั้นการไหลของอากาศผ่านระบบท่อจึงต้องมีความต้านทานเกิดขึ้นเสมอ โดยความต้านทานนี้จะอยู่ในรูปของความฝืดหรือความเสียดทานระหว่างอากาศและผิวด้านในของท่อ ความต้านทานที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้พลังงานของอากาศที่ไหลในท่อซึ่งอยู่ในรูปความดันสถิตมีค่าลดลง ด้วยเหตุนี้จึงต้องป้อนพลังงานให้แก่อากาศในระบบท่อเพื่อเอาชนะความต้านทานดังกล่าวซึ่งทำได้โดยอาศัยพัดลม โดยทั่วไประบบระบายอากาศที่ถูกออกแบบให้มีความต้านทานในระบบท่อน้อยจะใช้พัดลมที่มีขนาดเล็กกว่าระบบที่มีความต้านทานมาก (ฉัตรชัย, 2550)

ค่าการสูญเสียสามารถหาได้จากสมการ Darcy Weisbach

$$h_L = H_f \times L \times VP \quad (12)$$

เมื่อ

H_L คือ ความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน หน่วยเป็น in.wg

L คือ ความยาวของท่อ หน่วยเป็น ft

VP คือ ความดันจลน์ของอากาศในท่อ หน่วยเป็น in.wg

H_f คือ แฟกเตอร์ความเสียดทาน

ค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานของอากาศที่ภาวะมาตรฐานซึ่งไหลผ่านท่อที่ทำจากวัสดุชนิดต่างๆ สามารถหาได้จากสมการ

$$H_f = \frac{12f}{D} = \frac{aV^b}{Q^c} \quad (13)$$

เมื่อ

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ หน่วยเป็น ft

a, b และ c คือ ค่าคงที่ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของวัสดุที่นำมาทำท่อ โดยสามารถดูได้จากตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าคงที่สำหรับวัสดุที่ใช้ทำท่อ

วัสดุที่ใช้ทำท่อ	a	b	c
เหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี (Galvanized sheet steel)	0.0307	0.533	0.612
อะลูมิเนียม (aluminium) เหล็กสแตนเลส (stainless steel) เหล็กดำ (black iron) และพีวีซี (PVC)	0.0425	0.465	0.602
ท่อเหล็ก (ท่ออ่อน)	0.0189	0.604	0.639

ที่มา: วันทนีย์ (2549)

ในกรณีที่เป็ท่อเหลี่ยม ยังคงหาการสูญเสียความดันอันเนื่องจากการเสียดทานในท่อโดยอาศัยแผนภาพ หรือตารางที่กลมได้ เพียงแต่ต้องหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (Equivalent diameter : D_{eqv}) ของท่อน้ำัดสี่เหลี่ยมก่อนซึ่งทำได้โดยอาศัยสมการดังต่อไปนี้

$$D_{eqv} = \frac{1.3(A \times B)^{0.625}}{(A + B)^{0.25}} \quad (14)$$

เมื่อ

D_{eqv} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าสำหรับท่อน้ำัดสี่เหลี่ยม หน่วยเป็น นิ้ว
A และ B คือ ความยาวด้าน A และ B ของท่อน้ำัดสี่เหลี่ยม หน่วยเป็น นิ้ว

ความดันสูญเสียเนื่องจากการปั่นป่วนในการไหล

การสูญเสียความดันลักษณะนี้เกิดจากอากาศภายในท่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วและทิศทาง เช่น การไหลผ่านท่อเลี้ยว (Elbow) การไหลผ่านท่อแยก (Branch) หรือการไหลของอากาศผ่านท่อที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด (ท่อลดหรือท่อขยาย) เป็นต้น (ฉัตรชัย, 2550)

การสูญเสียความดันเนื่องจากการปั่นป่วนในการไหลสามารถแสดงได้ด้วยแฟกเตอร์การสูญเสีย (Loss Factor: F) ซึ่งค่าการสูญเสียความดันในกรณีนี้จะหาได้โดยการคูณแฟกเตอร์การสูญเสียเข้ากับความดันจลน์ของอากาศในท่อ ดังสมการ

$$h_L = F \times VP \quad (15)$$

สำหรับค่าของแฟกเตอร์การสูญเสียจะมีค่าแตกต่างกันตามลักษณะการไหลของอากาศผ่านอุปกรณ์ต่างๆ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

แฟกเตอร์ความดันสูญเสียจากการที่อากาศไหลเข้าสู่ท่อเลี้ยว

ท่อเลี้ยวหรือท่อที่มีลักษณะโค้งจะทำให้อากาศที่ไหลเกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางซึ่งย่อมส่งผลให้เกิดการสูญเสียความดัน โดยกระแสอากาศที่ไหลผ่านท่อเลี้ยวจะเกิดการบิดเป็นเกลียว

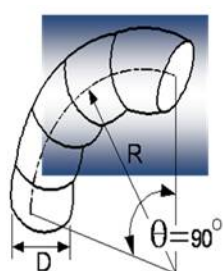
หรือกันหอยและถูกเหวี่ยงไปกระทบที่บริเวณขอบนอกของท่อ ส่งผลให้อากาศมีความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งก็ทำให้ความเสียดทานที่เกิดกับอากาศเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

สำหรับท่อเลี้ยวที่มีหน้าตัดวงกลม (Round Elbow) ค่าการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อเลี้ยวนี้จะขึ้นอยู่กับ

- 1) ความเร็วของอากาศในท่อและรัศมีความโค้งของท่อเลี้ยวเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (R/D)
- 2) โครงสร้างของท่อเลี้ยวด้วย เช่น ท่อเลี้ยวผิวเรียบ ท่อเลี้ยวที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายชิ้น (3-5 ชิ้น) รวมถึงมุมโค้งของท่อเลี้ยว

แฟกเตอร์การสูญเสียความดันของท่อเลี้ยว 90 องศา ซึ่งมีหน้าตัดวงกลม ซึ่งแฟกเตอร์การสูญเสียจะมีค่าลดลง หากอัตราส่วน R/D เพิ่มมากขึ้น และในกรณีที่อัตราส่วน R/D มีค่าเท่ากัน ท่อเลี้ยวที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนน้อยชิ้น จะมีแฟกเตอร์การสูญเสียมากกว่า เมื่อเทียบกับท่อเลี้ยวที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนมากขึ้นกว่า หรือท่อเลี้ยวผิวเรียบ

ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียของท่อเลี้ยวที่มีมุมโค้งเป็น 60 องศา จะมีแฟกเตอร์การสูญเสียเป็น 2 ใน 3 ของท่อเลี้ยว 90 องศา (0.67 เท่า) หรือท่อเลี้ยว 45 องศา จะมีแฟกเตอร์การสูญเสียเป็นครึ่งหนึ่งของท่อเลี้ยว 90 องศา (0.5 เท่า) ค่าแฟกเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 13



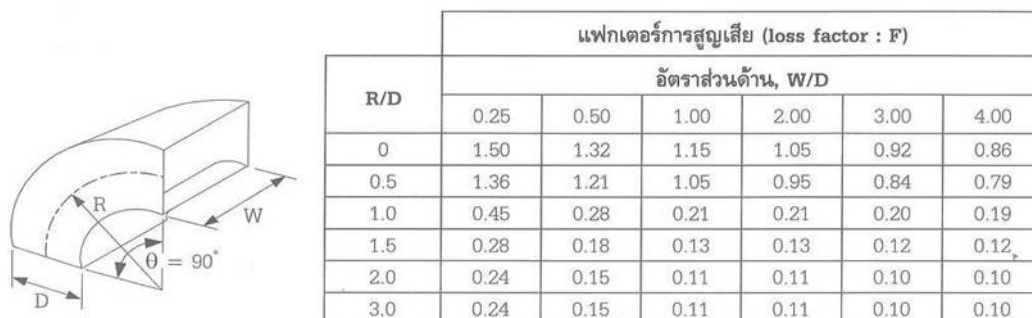
R/D	แฟกเตอร์การสูญเสีย (Loss factor, F)					
	0.50	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5
ผิวเรียบ	0.71	0.33	0.22	0.15	0.13	0.12
5-ชิ้น	--	0.46	0.33	0.24	0.19	0.17
4-ชิ้น	--	0.50	0.37	0.27	0.24	0.23
3-ชิ้น	0.90	0.54	0.42	0.34	0.33	0.33

ท่อเลี้ยว 60 องศา → 0.67F
 ท่อเลี้ยว 45 องศา → 0.50F
 ท่อเลี้ยว 30 องศา → 0.33F

ภาพที่ 13 แฟกเตอร์การสูญเสียของท่อเลี้ยวหน้าตัดวงกลม

ที่มา: ฉัตรชัย (2550)

สำหรับท่อเลี้ยวหน้าตัดสี่เหลี่ยม (Rectangular Elbow) ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของรัศมีความโค้งกับขนาดความยาวด้านของหน้าตัดในแนวรัศมี (R/D) และยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนด้านของหน้าตัด (W/D) ในทางปฏิบัติควรหลีกเลี่ยงการใช้ท่อเลี้ยวหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่มีอัตราส่วน W/D และ R/D น้อยกว่า 1 ค่าแฟกเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 14



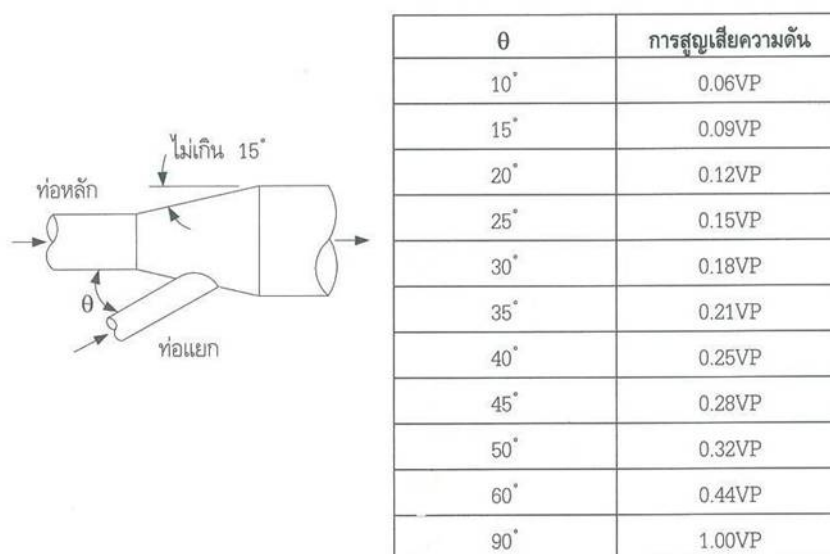
ภาพที่ 14 แฟกเตอร์การสูญเสียของท่อเลี้ยวหน้าตัดสี่เหลี่ยม

ที่มา: นัตรชัย (2550)

แฟกเตอร์ความดันสูญเสียจากการที่อากาศไหลเข้าสู่ท่อแยก

ระบบระบายอากาศขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนมากมักประกอบด้วยท่อดูดอากาศจำนวนมากซึ่งเชื่อมต่อเข้ากับท่อหลัก (Main Duct) ด้วยท่อแยก (ท่อสาขา) โดยอากาศจากท่อแยกจะถูกดูดไปรวมกับอากาศในท่อหลัก ส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนในการไหลอันเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างความเร็วของอากาศทั้งสองกระแส (ท่อหลักและท่อแยก) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการสูญเสียความดันของอากาศมักพิจารณาให้เกิดขึ้นเฉพาะที่ท่อแยกเท่านั้น

การสูญเสียความดันที่ท่อแยกนี้จะมีค่ามากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับมุมเชื่อมต่อระหว่างท่อแยกกับท่อรวมต่อเชื่อมดังกล่าวนี้นควรอยู่ในช่วง 30 - 45 องศา หากมุมเชื่อมต่อมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดนี้จะส่งผลให้การสูญเสียความดันมีค่าน้อยตามไปด้วย สำหรับค่าการสูญเสียความดันของอากาศเมื่อไหลผ่านท่อแยกที่มุมเชื่อมต่อค่าต่างๆ โดยความดันจลน์ (VP) ที่ดังแสดงในภาพที่ 15 จะเป็นการสูญเสียความดันจลน์ของอากาศเมื่อไหลผ่านท่อแยก

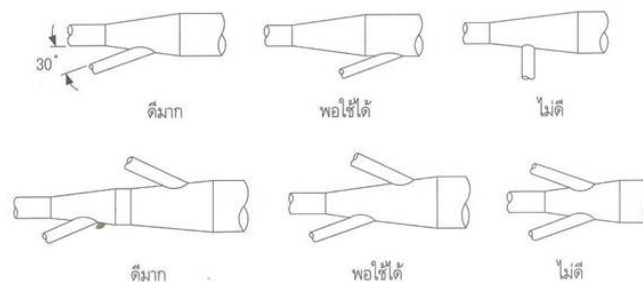


ภาพที่ 15 การสูญเสียความดันจลน์ของอากาศเมื่อไหลผ่านท่อแยก

ที่มา: นัตรชัย (2550)

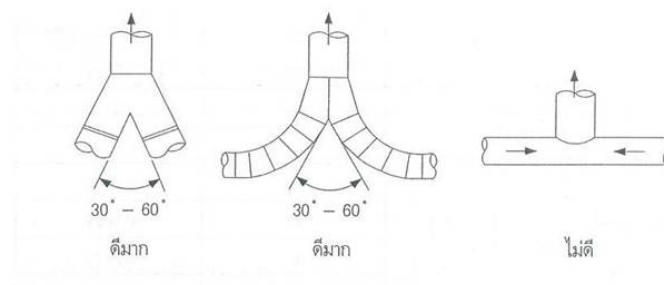
ท่อแยกควรเชื่อมต่อเข้ากับท่อหลักในจุดที่เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหลักค่อยๆ เพิ่มขึ้นหรือขยายขึ้นทีละน้อย โดยมุมขยายสูงสุดไม่ควรมีค่าเกิน 15 องศา ทั้งนี้เพื่อรักษาระดับความเร็วของอากาศในท่อให้คงที่ รวมถึงให้มีความปั่นป่วนในการไหลเกิดขึ้นน้อยที่สุดด้วย หากไม่ทำก็จะทำให้ความเร็วของอากาศในท่อหลักมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดความเสียดทานและมีความปั่นป่วนในการไหลเพิ่มขึ้น การต่อท่อแยกเข้ากับท่อหลักหลายลักษณะทั้งการเชื่อมต่อที่ดีและไม่ดีซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบท่อได้ดังแสดงในภาพที่ 16

ในกรณีที่อากาศจากท่อแยกจำนวนสองท่อไหลเข้าท่อหลักในทิศทางสมมาตรกัน มุมรวมของท่อแยกควรมีค่าอยู่ระหว่าง 30 – 60 องศา โดยการต่อท่อแยกภาพแบบนี้เข้ากับท่อหลักทั้งลักษณะที่ดีและไม่ดีได้ดังแสดงภาพ 17



ภาพที่ 16 การต่อท่อแยกเข้ากับท่อหลัก

ที่มา: นิตรชัย (2550)



ภาพที่ 17 การต่อท่อแยกเข้ากับท่อหลักในลักษณะสมมาตร

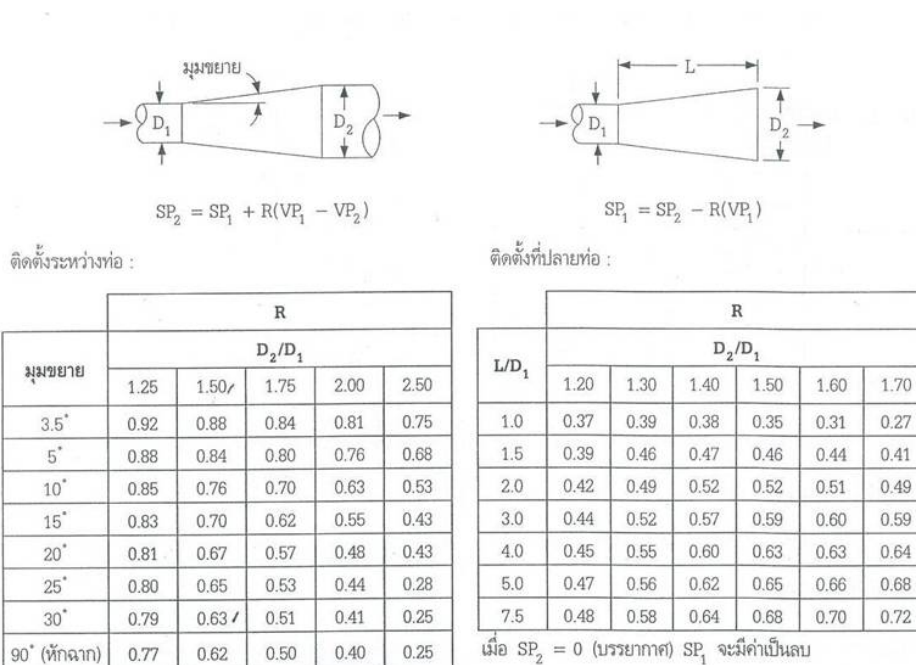
ที่มา: นิตรชัย (2550)

แฟกเตอร์ความดันสูญเสียจากการที่อากาศไหลเข้าสู่ท่อขยายและทอลด

1) ท่อขยาย (Expansion) มักใช้ในกรณีที่จุดเชื่อมต่อท่อที่ต้องการมีขนาดใหญ่กว่าท่อเดิมหรือนำมาใช้ในการลดความเร็วของอากาศที่บริเวณท่อแยกซึ่งจะช่วยให้ความต้านทานในระบบลดลงได้ พื้นที่หน้าตัดท่อสำหรับท่อขยายไม่ควรเพิ่มขึ้นแบบทันทีทันใด (Abrupt Expansion) เพราะจะทำให้เกิดความปั่นป่วนในการไหลที่บริเวณหน้าตัดท่อที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความดันค่อนข้างมาก

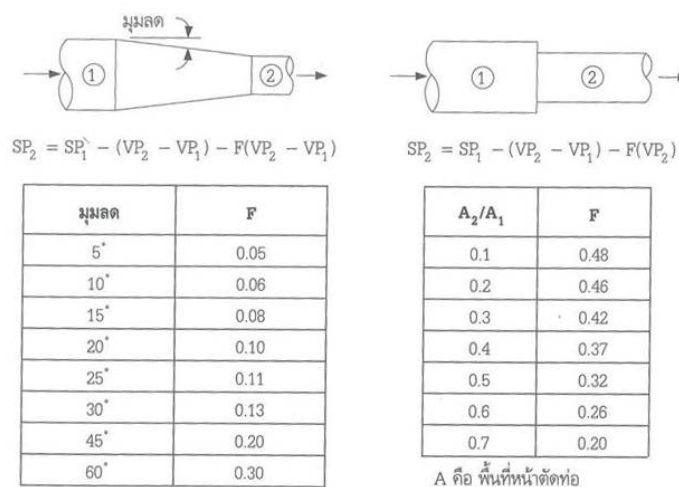
2) ท่อลด (Contraction) ใช้ในกรณีที่ต้องมีการลดขนาดของท่อเพื่อต่อเข้ากับอุปกรณ์ในระบบหรือใช้ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความเร็วของอากาศที่ทางออกของปล่องระบายเพื่อให้อากาศสามารถไหลออกจากปล่องระบายได้ในระยะทางที่ต้องการ ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งท่อลดที่มีการลดลงของพื้นที่หน้าตัดท่ออย่างทันทีทันใด ซึ่งจะก่อให้เกิดการสูญเสียความดันได้ค่อนข้างมาก การสูญเสียความดันนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของมุมลด หากพื้นที่หน้าตัดท่อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การสูญเสียความดันก็จะยิ่งมาก

ปริมาณพลังงานที่สูญเสียไปนี้หาได้จาก แฟกเตอร์การสูญเสีย คูณกับ ความดันจลน์ของอากาศในส่วนของท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็กกว่าการที่ระบบระบายอากาศจะให้ความดันสถิตกลับคืนมาหรือไม่นั้นก็ขึ้นอยู่กับว่าความดันจลน์ของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง หากความดันจลน์ของอากาศลดลง ระบบก็จะได้รับความดันสถิตกลับคืนในกรณีของท่อขยายเท่านั้น ส่วนการไหลของอากาศผ่านท่อลดจะมีแต่ทำให้เกิดการสูญเสียความดันเท่านั้น ความดันสถิตที่อากาศได้คืนเมื่อไหลผ่านท่อขยายจะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับมุมขยายและอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อออกและท่อเข้า โดยสามารถแสดงการได้ความดันสถิตกลับคืนด้วยแฟกเตอร์การได้คืน (Regain Factor: R) ดังแสดงตามภาพที่ 18 และ 19



ภาพที่ 18 ความดันสถิตที่ได้คืนเมื่ออากาศไหลผ่านท่อขยาย

ที่มา: นัตรชัย (2550)



ภาพที่ 19 การสูญเสียความดันของอากาศเมื่อไหลผ่านท่อลด

ที่มา: นิตรชัย (2550)

3.2.3 พัดลม (Fan)

พัดลม ทำหน้าที่ในการดูดอากาศ ทำให้เกิดการไหลของอากาศผ่านไปในระบบระบายอากาศ เนื่องจากการไหลของอากาศในระบบระบายอากาศจะมีความสัมพันธ์กับความต้านทานในระบบอันเกิดจากความเสียดทานกับปริมาณอากาศที่ไหลผ่านระบบ แต่การที่อากาศจะเอาชนะความต้านในระบบและไหลได้ในปริมาณที่ต้องการ อากาศจำเป็นต้องได้รับพลังงานจากภายนอกในรูปของความดันซึ่งเกิดจากการทำงานของพัดลม

วันทนี (2549) กล่าวว่า พัดลมที่ใช้ในระบบระบายอากาศในอุตสาหกรรม มี 2 ประเภท คือแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Fan) และแบบไหลตามแนวแกน (Axial Fan) หลักการทำงานของพัดลมแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

1) แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ประกอบด้วยใบพัดของพัดลมหมุนอยู่ในส่วนที่ติดตั้งใบพัด (Casing) อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่พัดลมตามแนวแกนของพัดลม และถูกเหวี่ยงออกตามแนวรัศมีของใบพัด การหมุนของใบพัดมีทิศทางไปยังทางออกของอากาศ พัดลมชนิดนี้แบ่งเป็น 3 ชนิดตามรูปร่างและลักษณะของใบพัด ได้แก่ แบบซี่ใบพัดหน้าตรง (Radial Blade Fans) แบบซี่

ใบพัดโค้งหน้า (Forward Curve Blade Fans) และ แบบซี่ใบพัดเอียงหลัง (Backward Inclined Blade Fans) ดังภาพที่ 20

Radial Blade Fan



Forward Curve Fan



Backward Curve Fan



ภาพที่ 20 ชนิดพัดลมแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

ที่มา: วันทนีย์ (2549)

ซึ่งพัดลมแรงเหวี่ยงแต่ละชนิดมีข้อดี-ข้อเสียที่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบข้อดี - ข้อเสีย ของพัดลมชนิดแรงเหวี่ยง

ชนิดพัดลมแรงเหวี่ยง	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบซี่ใบพัดหน้าตรง (Radial blade)	ใบพัดแบน มีระยะห่างกัน ใช้สำหรับระบบฝุ่นหรืออนุภาค	มีประสิทธิภาพต่ำสุด โครงสร้างหนัก ราคาแพง
แบบซี่ใบพัดโค้งหน้า (Forward curved blade)	ดูดอากาศปริมาณมาก เสียงดังไม่มาก ใช้ในระบบจ่ายอากาศในระบบระบายอากาศแบบเจือจาง	ใช้พลังงานมาก

ตารางที่ 6 (ต่อ)

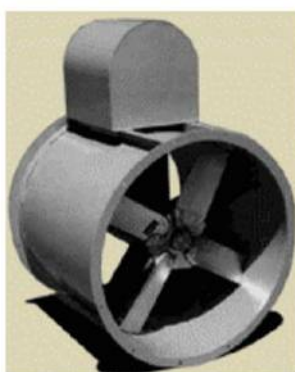
ชนิดพัดลมแรงเหวี่ยง	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบซี่ใบพัดเอียงหลัง (Backward inclined blade)	มีประสิทธิภาพมาก หากกำลัง สถิตต่ำกว่าที่คำนวณไว้ พลังงานที่ใช้จะไม่เพิ่มขึ้น	ราคาแพง

ที่มา: วันทนีย์ (2549)

2) แบบไหลตามแนวแกน (Axial Fan) ลักษณะการทำงานคือทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ได้ในทิศทางตามแนวแกนของพัดลมด้วยการเพิ่มความเร็วของอากาศจากการหมุนของใบพัดและเหนี่ยวนำให้เกิดการเคลื่อนที่เพียงอย่างเดียวโดยไม่ได้อาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมาช่วยอย่างแบบแรก ด้วยลักษณะดังกล่าวนี้เองทำให้ความดันสถิตที่ได้จากพัดลมประเภทนี้มีค่าต่ำกว่าแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ปริมาณลมเท่าๆ กัน โดยพัดลมประเภทนี้ยังสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังแสดงในภาพที่ 21



Propeller Axial Fan



Tube Axial Fan



Vane Axial Fan

ภาพที่ 21 ชนิดพัดลมแบบไหลตามแนวแกน

ที่มา: วันทนีย์ (2549)

ในการคำนวณกำลังแรงของพัดลมจะใช้ค่าความดันสถิตของพัดลม (Fan Static Pressure, FSP) มีหน่วยเป็น นิ้วน้ำ (in.wg.) หรือความดันรวมของพัดลม (Fan Total Pressure, FTP) มีหน่วยเป็น in.wg

ค่าความดันสถิตที่พัดลมต้องสร้างขึ้นเพื่อลำเลียงอากาศในปริมาณที่ต้องการให้ไหลผ่านระบบได้เป็นหลัก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (16)

$$FSP = SP_{outlet} - SP_{inlet} - VP_{inlet} \quad (16)$$

โดย SP_{inlet} คือ SP ที่ทางเข้าของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (จุด 1 ในภาพที่ 3)

SP_{outlet} คือ SP ที่ทางออกของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (จุด 2 ในภาพที่ 3)

VP_{inlet} คือ VP ที่ทางเข้าของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (จุด 1 ในภาพที่ 3)

เนื่องจาก SP_{inlet} เป็นความดันสถิตที่คำนวณมาจากท่อ ข้อง ฯลฯ ที่อยู่ก่อนทางเข้าของพัดลมจึงมีลักษณะของสูญญากาศจึงทำให้ค่านี้ติดลบเสมอ ส่วนค่า SP_{outlet} คำนวณจากส่วนท่อที่ต่อจากพัดลมจะมีค่าเป็นบวกเสมอ ดังนั้น $SP_{outlet} - SP_{inlet}$ มีค่าเป็นบวกเสมอ ส่วน VP_{inlet} ก็มีค่าเป็นบวกเช่นกัน

สำหรับความดันรวมของพัดลม (Fan Total Pressure: FTP) มีหน่วยเป็นนิ้วน้ำ (in.wg.) เป็นความดันรวมของอากาศที่เพิ่ม เมื่ออากาศไหลผ่านพัดลม คำนวณได้จากสมการที่ (1) หรือ (17) นี้

$$FTP = TP_{outlet} - TP_{inlet} \quad (17)$$

โดย TP_{outlet} และ TP_{inlet} เป็นค่าเดียวกันกับ TP1 TP2 ตามลำดับที่แสดงในภาพที่ 3

กำลังม้าของพัดลม (Brake Horse Power , BHP)

คำนวณได้จากสมการที่ (18)

$$BHP = \frac{Q \times (FTP)}{6,356 \times ME} \quad (18)$$

ค่า ME (Mechanical Efficiency) เป็นค่าประสิทธิภาพเชิงกลของพัดลม สามารถหาได้จากผู้ผลิต แต่ถ้าผู้ผลิตไม่ได้ให้ค่า ME อาจประมาณค่าได้จากตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าประสิทธิภาพเชิงกลของพัดลม โดยประมาณสำหรับพัดลมชนิดต่างๆ

ชนิดพัดลม	ค่าประสิทธิภาพเชิงกลของพัดลม (ME)
แบบซี่ใบพัดหน้าตรง (Radial Blade Fans)	0.65
แบบซี่ใบพัดโค้งหน้า (Forward Curve Blade Fans) และ แบบซี่ใบพัดเอียงหลัง (Backward Inclined Blade Fans)	0.70
แบบไหลตามแนวแกน (Axial Fan)	0.75

ที่มา: วันทนีย์ (2549)

3.2.4 อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ (Air-Cleaning Device)

อุปกรณ์ทำความสะอาดทำหน้าที่ในการกรองหรือดักสารปนเปื้อนในอากาศจากระบบออกก่อนปล่อยออกสู่ภายนอก แบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศสำหรับสารปนเปื้อนที่เป็นอนุภาค และ สำหรับสารปนเปื้อนที่เป็นก๊าซและไอระเหย (วันทนีย์, 2549)

อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศสำหรับสารปนเปื้อนที่เป็นอนุภาค แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ อุปกรณ์กรองอากาศ (Air Filter) ซึ่งใช้ในกรณีความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศต่ำ และอุปกรณ์ดักฝุ่น (Duct Collectors) ที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมซึ่งมีฝุ่นปริมาณมากเกิดขึ้น ส่วนอุปกรณ์ทำความสะอาดสารปนเปื้อนที่เป็นก๊าซและไอระเหย นิยมใช้เทคนิคการดูดซับ (Adsorption) การดูดซึม (Absorption) หรือการเผาด้วยความร้อนสูง (การทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน) โดยในที่นี้จะขอกล่าวรายละเอียดเฉพาะ การดูดซับ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่นิยมใช้สำหรับกำจัดไอสารเคมี (นพภาพร, 2547)

การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ เป็นกระบวนการซึ่งก๊าซและไอระเหยยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวของวัสดุที่เป็นของแข็งและมีรูพรุนจำนวนมาก โมเลกุลของก๊าซที่ถูกดูดซับ เรียกว่า Adsorbate ในขณะที่ของแข็งที่ทำการดูดซับก๊าซ เรียกว่า Adsorbent ซึ่งจะเป็นก้อนของแข็งที่มีลักษณะรูพรุน (นพภาพร, 2547)

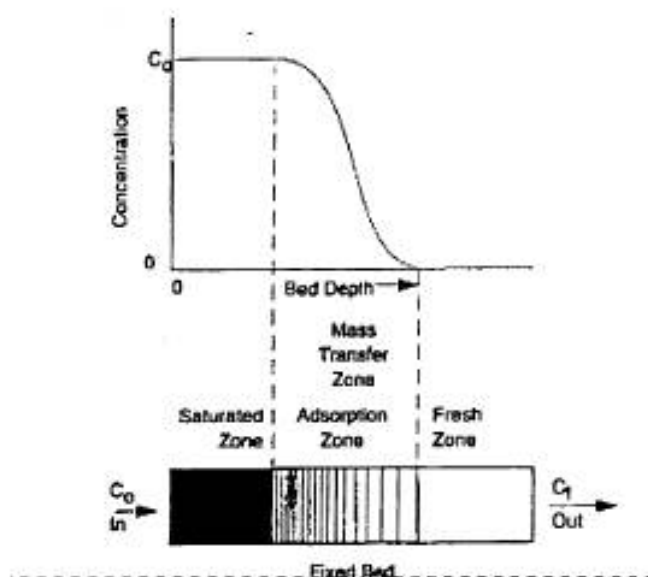
กระบวนการดูดซับเมื่อดำเนินไประยะหนึ่งผิวของสารดูดซับจะอิ่มตัวด้วยสารที่ถูกดูดซับ ดังนั้นเพื่อให้กระบวนการดูดซับดำเนินต่อไปจะต้องไล่สารที่ถูกดูดซับออกจากสารดูดซับ ซึ่งเรียกว่า กระบวนการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) ขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพเริ่มจากการเพิ่มอุณหภูมิที่ชั้นของสารดูดซับซึ่งทำให้สารที่ถูกดูดซับระเหยและหลุดออกจากสารดูดซับ จากนั้นจึงผ่านสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งมีความเข้มข้นสูงเข้าไปในระบบควบแน่น ในขั้นตอนนี้จะลดอุณหภูมิลงจนถึงจุดกลั่นตัวของสารที่ถูกดูดซับเหล่านั้นและทำให้สารที่ถูกดูดซับระเหยกลายเป็นของเหลว ซึ่งสามารถนำสารที่ถูกดูดซับไปใช้ใหม่ได้หรือกำจัดด้วยวิธีที่เหมาะสม ทำให้เสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการกำจัดสารโดยใช้ระบบควบแน่นโดยตรง

ระบบการดูดซับมี 2 ชนิด คือ ระบบดูดซับแบบ Nonregenerable ใช้ Carbon Canisters เป็นอุปกรณ์ดูดซับ และระบบดูดซับแบบ Regenerable เช่น Fixed Bed System ในกระบวนการของการดูดซับนั้นสารจะถูกจับอยู่บนผิวของของแข็งที่มีความพรุนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นสารดูดซับที่ใช้มากที่สุดสำหรับอากาศทั้งที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ำเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำ ลักษณะการดูดซับนั้นมี 2 แบบคือ การดูดซับทางกายภาพ ที่พิจารณาถึงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวล และการดูดซับทางเคมี ที่ใช้การสร้างพันธะทางเคมีระหว่างโมเลกุลของสารดูดซับและสารที่ถูกดูดซับ การดูดซับทางกายภาพสามารถเปลี่ยนสารดูดซับกลับสู่สภาพเดิมได้ ส่วนการดูดซับทางเคมีใช้วิธีการรวมโดยพันธะเคมี เมื่อมีการดูดซับทางเคมีจะยากต่อการกลับสู่สภาพเดิม หรือยากต่อการนำกลับมาใช้ใหม่

การดูดซับเกิดขึ้นอย่างเป็นขั้นตอน ในขั้นแรกเกิดการแพร่กระจายของโมเลกุลของก๊าซและไอเข้าสู่ผิวของสารดูดซับ ในขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของมวลสารจะเคลื่อนที่จากพื้นที่เล็กๆ ของผิวออกไปยังโพรงช่องว่างภายในของสารดูดซับ ขั้นตอนที่ 3 โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะเกาะติดที่ผิวในโพรงช่องว่าง โดยปกติทั่วไปข้อมูลที่แสดงถึงความจุในการดูดซับของสารดูดซับคือ Adsorption Isotherm ซึ่งหมายถึง เส้นกราฟแสดงความสามารถของสารดูดซับกับความเข้มข้นที่

วัดในรูปความดันย่อยของสารที่ถูกดูดซับที่อุณหภูมิหนึ่ง ความจุของสารดูดซับปกติแสดงให้อยู่ในรูปร้อยละโดยน้ำหนักหรือเป็นกรัมของไอสารที่ถูกดูดซับต่อ 100 กรัมของสารดูดซับ

การจัดเรียงสารดูดซับที่ดี ก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการกำจัดสารมลพิษ ทำให้อากาศที่ปนเปื้อนสารมลพิษ เปลี่ยนเป็นอากาศที่สะอาดเมื่อผ่านสารดูดซับ (ดังภาพที่ 22) ตำแหน่งที่เข้าสู่คอลัมน์สารดูดซับจะเป็นตำแหน่งที่สัมผัสอากาศที่มีมลพิษอย่าง ต่อเนื่อง เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่ง ส่วนที่สัมผัสกับสารมลพิษจะไม่ถูกดูดซับ โดยตำแหน่งที่ดูดซับสารก่อนหน้านี้ ดังนั้นสารมลพิษจะมีมากบริเวณทางเข้าเป็นตำแหน่งแรก หลังจากนั้นอาณาเขตจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ



ภาพที่ 22 แสดงความเข้มข้นของสารที่ลดลงหลังจากผ่านการดูดซับ

ที่มา: นพภาพร (2547)

สารดูดซับส่วนใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรม คือ Activated Carbon, Silica Gel, Activated Alumina (Alumina Oxide) และ Zeolites (Molecular Sieves) สารดูดซับมีคุณสมบัติในการดูดซับขึ้นกับธรรมชาติของสารที่นำมาผลิตและขั้นตอนการผลิต คุณสมบัตินี้รวมถึงพื้นที่ผิวของสารดูดซับ รูปร่างและขนาดของช่องว่าง ปริมาตรของช่องว่าง คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในการดูดซับของสารดูดซับคือ ประจุไฟฟ้าที่ผิวสัมผัส ถ้าสารดูดซับมีประจุไฟฟ้าจะทำให้ไอน้ำสามารถเกาะและรบกวนกระบวนการดูดซับ เนื่องด้วยความชื้นพบได้ทั่วไปในอากาศ ดังนั้นการใช้สารดูดซับที่มีประจุที่ผิวจึงมักใช้ไม่ได้ผลสำหรับระบบการควบคุมมลพิษอากาศ สำหรับ Activated

Carbon เป็นสารดูดซับที่ไม่มีประจุจึงไม่ถูกรบกวนโดยไอ้ในกระบวนการดูดซึม จึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์ คือ วัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูง สามารถดูดซับสารเคมีจากก๊าซและของเหลวได้ดี ใช้กันมากในการกำจัดไอสารระเหยอินทรีย์ และสามารถใส่ประโยชน์ได้หลายด้าน โดยอาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ ถ่านกัมมันต์ผลิตจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไม้, ชี้อย, กระดูกสัตว์และกากน้ำตาล ซึ่งแต่ละอย่างก็จะให้คุณสมบัติในการดูดซับที่ต่างกัน ผ่านกระบวนการถ่านกัมมันต์ คือ การนำวัตถุดิบข้างต้นไปเผาที่สภาวะไม่มีอากาศหรือผ่านก๊าซเฉื่อยเข้าไป จากนั้นจะนำผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส เพื่อให้ถ่านเกิดรูพรุนขึ้น และมีพื้นที่ผิวภายในสูง โดยถ่านกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก (80 – 90 %) และมีธาตุอื่นที่มีองค์ประกอบคือ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน โดยจะมีปริมาณเล็กน้อยเท่านั้นขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีอยู่ในวัตถุดิบ และอาจเกิดขึ้นได้อีกในขั้นตอนการผลิต

ชนิดของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้อุตสาหกรรมมีหลายชนิด ซึ่งมีความต้องการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ภัทรันถน (2547) กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งตามลักษณะทางกายภาพโดยอาศัยขนาดได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบแรก คือ ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด (Granular Activated Carbon: GAC) มี 2 ลักษณะ คือ ถ่านเม็ดแบบกลม ซึ่งผลิตโดยการบดอัดถ่านให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ และถ่านแบบแท่ง ซึ่งผลิตโดยการอัดผงถ่านให้เป็นเส้นยาวแล้วตัดตามขนาดที่ต้องการ ปกติถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดมีขนาดอยู่ในช่วง 0.2 – 5 มม. ใช้ได้กับของเหลวและก๊าซ แบบที่ 2 คือ ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powder Activated Carbon: PAC) ซึ่งละเอียดเหมือนผงแป้ง โดยจะบดเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้น ปกติถ่านกัมมันต์แบบผงมีขนาดเล็กกว่า 0.18 มม. โดยส่วนใหญ่ใช้กับของเหลว

ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

1) ประเภทใช้กับของเหลว (Liquid Phase Carbon) อุตสาหกรรมที่นำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในสารละลายหรือในของเหลวได้แก่

- ก) อุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลบริสุทธิ์ขึ้น
- ข) อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสีแล้ว ยังใช้ในการแยกเอสบูและเปอร์ออกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันได้ด้วย
- ค) อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นและฟอกสีผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งดีกว่าการใช้สารเคมีชนิดอื่นเพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร
- ง) อุตสาหกรรมเคมีและยา ถ่านกัมมันต์ใช้ในการผลิตสารเคมีและยาหลายชนิด
- จ) อุตสาหกรรมเครื่องดัดแปลงแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการทำให้เครื่องดื่มที่ได้มีรสชาติดีขึ้น
- ฉ) อุตสาหกรรมการทำน้ำให้บริสุทธิ์ โดยใช้เป็นตัวดูดกลิ่นและฟอกสี
- ช) อุตสาหกรรมการแยกสารที่ต้องการเช่น การแยกทองหลังการสกัดจากแร่ด้วยวิธีไซยาไนด์ การแยกไอโอดีนออกจากน้ำเกลือที่เกิดในหลุมน้ำมัน (Petroleum Oil – Well Brine) ตลอดจนการผลิตวิตามินและฮอร์โมนอีกหลายชนิด

2) ประเภทที่ใช้ในการดูดก๊าซและไอ (Gas Phase Carbon) ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไปนี้

- ก) อุตสาหกรรมทำน้ำอากาศป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้กันในวงการทหารและที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้ เพราะถ่านกัมมันต์สามารถจะดูดซับก๊าซพิษและไอของสารอินทรีย์ได้

ข) การนำไอสารระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ ถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอสารระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และจะคายออกที่ความดันของไอระเหยต่ำๆ

ค) อุตสาหกรรมปรับอากาศ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดก๊าซพิษในอากาศต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และอะเซทิลีน

ง) อุตสาหกรรมบุหรี โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นกั้นกรองบุหรี

ความดันสูญเสียเนื่องจากการไหลของอากาศผ่านอุปกรณ์ทำความสะอาด

อุปกรณ์ทำความสะอาดทำหน้าที่กรองหรือขจัดสารปนเปื้อนในอากาศซึ่งห่อหุ้มอากาศดูดออกจากแหล่ง เพื่อให้อากาศมีคุณภาพในระดับที่ยอมรับได้ก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก ระบบต้องใช้พลังงานผลักดันให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์นี้ด้วย ซึ่งพลังงานที่ต้องการนี้ขึ้นกับชนิดของอุปกรณ์ทำความสะอาด ดังตารางที่ 8 แสดงค่าพลังงานโดยประมาณที่ต้องการสำหรับอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศชนิดต่างๆ ในหน่วยพาสคาลส์

ตารางที่ 8 พลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนอากาศผ่านอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ

อุปกรณ์	พาสคาลส์ (Pa)
Bag Filter	700 – 2,000
Cyclone	250 – 1,500
Electrostatic Precipitator	125 - 250
Scrubber	
- Packed tower	250 - 750
- Wet centrifugal or venture collector	500 – 1,500
Carbon adsorber	250 - 2500

ที่มา: วันทนีย์ (2549)

3.2.5 ปล่องระบายอากาศ (Stack)

ปล่องระบายอากาศ (Stack) เป็นส่วนสุดท้ายของระบบระบายอากาศ เป็นทางออกของอากาศที่ผ่านการกำจัดสารปนเปื้อนออกแล้ว โดยวัตถุประสงค์ของการนำปล่องระบายอากาศมาใช้ก็เพื่อนำอากาศสะอาด (หรืออากาศปนเปื้อน) ที่ถูกดูดเข้าสู่ระบบระบายอากาศเฉพาะจุดออกไปทิ้งภายนอกตัวอาคาร หรือโรงงาน โดยอากาศที่ปล่อยออกจากปล่องระบายอากาศต้องสามารถแพร่กระจายไปได้ระยะทางมากพอที่จะไม่ก่อให้เกิดความรำคาญและส่งผลกระทบต่อผู้คนหรือสิ่งแวดล้อมในบริเวณใกล้เคียง (ฉัตรชัย, 2550)

4. การตรวจวัดความเร็วลมที่ท่อดูดอากาศและในท่อนำอากาศของระบายอากาศเฉพาะที่

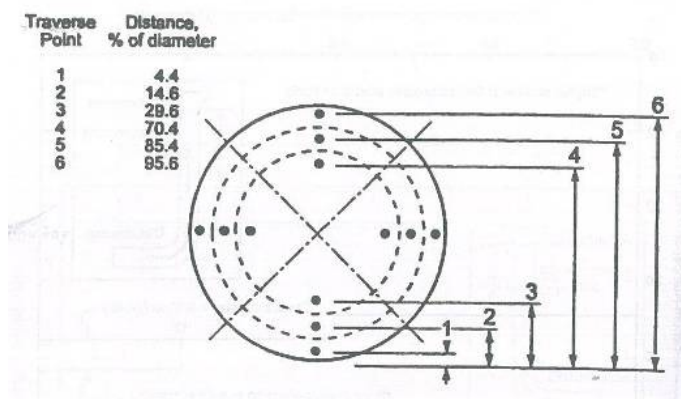
4.1 การวัดความเร็วที่ท่อดูดอากาศ

กำหนดจุดวัดที่บริเวณต่างๆ ที่หน้าของส่วนดูด (Hood face) หรือที่หน้าแผงของเครื่องเป่าอากาศ (Supply Air) ทั้งนี้โดยการแบ่งพื้นที่ของหน้าส่วนดูดหรือหน้าแผงของเครื่องเป่าอากาศออกเป็นพื้นที่ย่อย ซึ่งกระทำได้โดยการใช้ไม้บรรทัดหรือเทปที่กำหนดส่วนต่างๆ ของด้านกว้างและด้านยาวของส่วนดูด ความยาวของส่วนต่างๆ หรือระหว่างจุดศูนย์กลางของพื้นที่ย่อยที่อยู่ติดกันนั้นไม่ควรเกิน 6 นิ้ว แสดงตามภาพที่ 23 และ 24



ภาพที่ 23 การแบ่งพื้นที่ของหน้าส่วนดูดออกเป็นพื้นที่ย่อยและกำหนดจุดศูนย์กลางของพื้นที่ย่อยเป็นจุดความเร็วลม

ที่มา: ชัยยุทธ และคณะ (2544)



ภาพที่ 24 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างอากาศของปล่องที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลม

ที่มา: ชัยยุทธ และคณะ (2544)

4.2 การวัดความเร็วในท่อนำอากาศ

โดยปกติเมื่อระบบระบายอากาศได้ถูกติดตั้งเรียบร้อยแล้ว จะมีการเจาะเพื่อทำช่องไว้ที่ท่อระบายอากาศ ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะใช้เป็นช่องสำหรับตรวจวัดความเร็วลมในท่อระบายอากาศ ในกรณีที่ไม่มีการเตรียมช่องดังกล่าวไว้ผู้ที่ทำการตรวจวัดหรือผู้ที่เกี่ยวข้องจะต้องเจาะท่อระบายอากาศเพื่อทำช่องดังกล่าว ตำแหน่งของช่องที่ท่อระบายอากาศสำหรับตรวจวัดความเร็วลมสามารถกำหนดได้ดังนี้

4.2.1 เมื่อพิจารณาดำเนินการของส่วนจุดเป็นหลัก ตำแหน่งของช่องเพื่อตรวจวัดความเร็วลมต้องอยู่ห่างจากส่วนจุดเป็นระยะทาง 3 ถึง 6 เท่า ของความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อตรง

4.2.2 เมื่อพิจารณาดำเนินการเปลี่ยนทิศทางของท่อระบายอากาศเป็นหลัก กรณีนี้ ตำแหน่งของช่องที่ท่อระบายอากาศเพื่อใช้ตรวจวัดความเร็วลมต้องอยู่ห่างจากตำแหน่งการเปลี่ยนทิศทางของท่อ เช่น ที่รอยโค้งไปทางต้นลม (Upstream of Air) เป็นระยะทาง 2-3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบายอากาศ

วิธีการตรวจวัดความเร็วในท่อนำอากาศ ทำได้ดังนี้

1. เปิดช่องที่ได้เจาะไว้เพื่อใช้สำหรับตรวจวัดความเร็วลมในท่อระบายอากาศ
2. ดำเนินการตรวจวัดความเร็วลม โดยการเสียบส่วนรับการเคลื่อนไหวของอากาศ (Sensor) เข้าไปในช่องและใช้ส่วนรับการเคลื่อนไหวของอากาศนี้อยู่ในตำแหน่งที่สัมผัสกับทิศทางการเคลื่อนไหวของอากาศได้เต็มที่ที่สุด ทั้งนี้โดยพิจารณาตัวเลขที่ค่อนข้างคงที่โดยวัดไว้ประมาณนาทีที่เหมาะสม
3. ในกรณีที่ท่อระบายอากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-6 นิ้ว ค่าความเร็วลมที่ได้จากการวัดตามแนวขวางของท่อควรมีจำนวน 6 ค่า ทั้งนี้โดยการกำหนดจุดวัด 6 จุดห่างกันด้วยระยะทางที่เหมาะสม
4. นำค่าความเร็วลมที่ได้ (6 หรือ 10 ค่า) มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของค่าความเร็วลมในท่อระบายอากาศ
5. หลังจากตรวจวัดความเร็วลมในท่อระบายอากาศเรียบร้อยแล้วจะต้องปิดช่องที่ใช้ตรวจวัดนี้ให้สนิทเหมือนเดิม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุรชาติ (2547) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการระบายก๊าซอันตรายในห้องปฏิบัติการเคมี โดยศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการประเมินประสิทธิภาพ เช่น ความดันสถิต ความดันเนื่องจากความเร็ว อัตราการไหล ความเร็วของอากาศในท่อ ผลการวิเคราะห์พบว่า ระบบท่อที่มีการใช้งานอยู่ต้องการพัดลมที่มีกำลังขับ 1 BHP และสามารถสร้างความเร็วในการจับอนุภาคที่ 150 fpm ณ ที่ท่อดูดอากาศจับ ในสภาวะดังกล่าวระบบระบายอากาศสามารถทำงานได้อย่างเพียงพอ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบพัดลมที่ติดตั้งอยู่ ณ ปัจจุบัน ซึ่งมีขนาด 2.7 BHP และสามารถสร้างความเร็วในการจับอนุภาคที่ 267 fpm ณ ที่ท่อดูดอากาศจับ พบว่า ระบบพัดลมดังกล่าวมีการออกแบบเกินความจำเป็น และมีขนาดใหญ่เกินมาตรฐานตามทฤษฎีอยู่ 170 % ถึงแม้ว่าการออกแบบเกินความจำเป็นนี้ไม่มีปัญหาในแง่การระบายก๊าซอันตราย แต่ระบบจะใช้พลังงานไฟฟ้าเกินความจำเป็น อีกทั้งยังอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อการสมดุลการไหลของอากาศในกรณีที่ห้องปฏิบัติการนั้นมีการปรับอากาศด้วย

ปิยมาส (2550) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณที่มีการบัดกรีด้วย ลวดตะกั่วในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้ายานยนต์ โดยการประเมินคุณภาพของอากาศ และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (เฉพาะจุดที่พนักงานได้ ร้องเรียน) โดยปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของอากาศคือ ความเร็วในการจับอนุภาคที่หน้าระบบ ระบายอากาศและกำลังขับของพัดลม จากการวัดและวิเคราะห์พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในพื้นที่ ทำงานและใกล้เคียง มีค่าต่ำกว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงานปกติ (8 ชั่วโมงต่อวัน) นอกจากนี้ยังพบว่าความเร็วในการจับอนุภาคที่หน้าระบบระบายอากาศและขนาดกำลังขับพัดลม ณ สภาวะที่ใช้งาน มีค่า 257 fpm และ 0.4 hp ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าที่มาตรฐาน ACGIH ได้กำหนดไว้ สำหรับระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในงานบัดกรี นั่นคือ ระบบระบายอากาศทำงานดี และสามารถที่จะควบคุมปริมาณของตะกั่วได้ตลอดระยะเวลาการทำงาน

รุ่งทิพย์ (2539) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ สำหรับงานเชื่อม โลหะด้วยไฟฟ้า โดยทำการศึกษาความเร็วลมหน้าท่อดูด (Face velocity) 3 ระดับ 50, 150 และ 200 ฟุตต่อนาที ท่อดูด(Hood) ออกแบบสร้างและทดลอง 4 ชนิด ได้แก่ ท่อดูดไม่ติดปีก, ท่อดูดติดปีก 90 องศา, ท่อดูดติดปีก 60 องศา, ท่อดูดติดปีก 45 องศา โดยเก็บข้อมูลเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดเก็บปริมาณฟุ้งโลหะ ที่ระดับหายใจในสภาวะต่างๆ ผลการทดสอบ พบว่า ความเร็วลมหน้า ท่อดูด 200 ฟุตต่อนาที มีปริมาณฟุ้งโลหะที่ระดับหายใจต่ำที่สุด และที่ความเร็วหน้าท่อดูด 50 ฟุต ต่อนาที มีปริมาณฟุ้งโลหะ สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) และจากการเปรียบเทียบตาม ชนิดของท่อดูด พบว่า ท่อดูดที่ติดปีก 90 องศา จะมีปริมาณฟุ้งโลหะที่ระดับหายใจต่ำที่สุด ส่วนท่อดูด ที่ไม่ติดปีก จะมีปริมาณฟุ้งโลหะสูงสุด ที่ความเร็วลมหน้าท่อดูด 50 ฟุตต่อนาที แต่เมื่อมีการเพิ่ม ความเร็วหน้าท่อดูดเป็น 150 และ 200 ฟุตต่อนาที ท่อดูดที่ติดปีก 60 องศา หรือ 45 องศา จะมี ปริมาณฟุ้งโลหะต่ำสุด ส่วนท่อดูดที่ไม่ติดปีก จะมีปริมาณฟุ้งโลหะสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($P<0.001$)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. บ่อขนาด กว้าง 1.64 ฟุต ยาว 3.94 ฟุต ลึก 3.28 ฟุต มีพื้นที่ผิวบ่อ 6.38 ตารางฟุต มีอัตราส่วนความกว้างต่อความยาว เท่ากับ 0.42 บรรจุน้ำมันก๊าด 400 ลิตร
2. น้ำมันก๊าดชนิดให้แสงสว่างตามครัวเรือนหรือในอุตสาหกรรมที่ต้องการเชื้อเพลิงที่สะอาด ได้จาก The Shell Company of Thailand (1996)
3. ปัมป์เก็บตัวอย่างอากาศ Personal Pump ยี่ห้อ SKC รุ่น AirLite Sample Pump ผลิตจากประเทศ สหรัฐอเมริกา ดังแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ปัมป์เก็บตัวอย่างอากาศ

4. Sorbent tube ที่ใช้เก็บตัวอย่างอากาศ ยี่ห้อ SKC ชนิด Anasorb CSC, Coconut Charcoal, size 6 x 70 mm charcoal

5. เครื่องวัดความเร็วลมมัลติฟังก์ชัน ยี่ห้อ Testo รุ่น Testo 435 ผลิตจากประเทศเยอรมัน
 ดังแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 เครื่องวัดความเร็วลม Testo 435

6. เครื่องวัดความดัน ความเร็ว และความชื้นของลม (Isokenetic) ผลิตจากประเทศ
 เยอรมันดังแสดงในภาพที่ 27



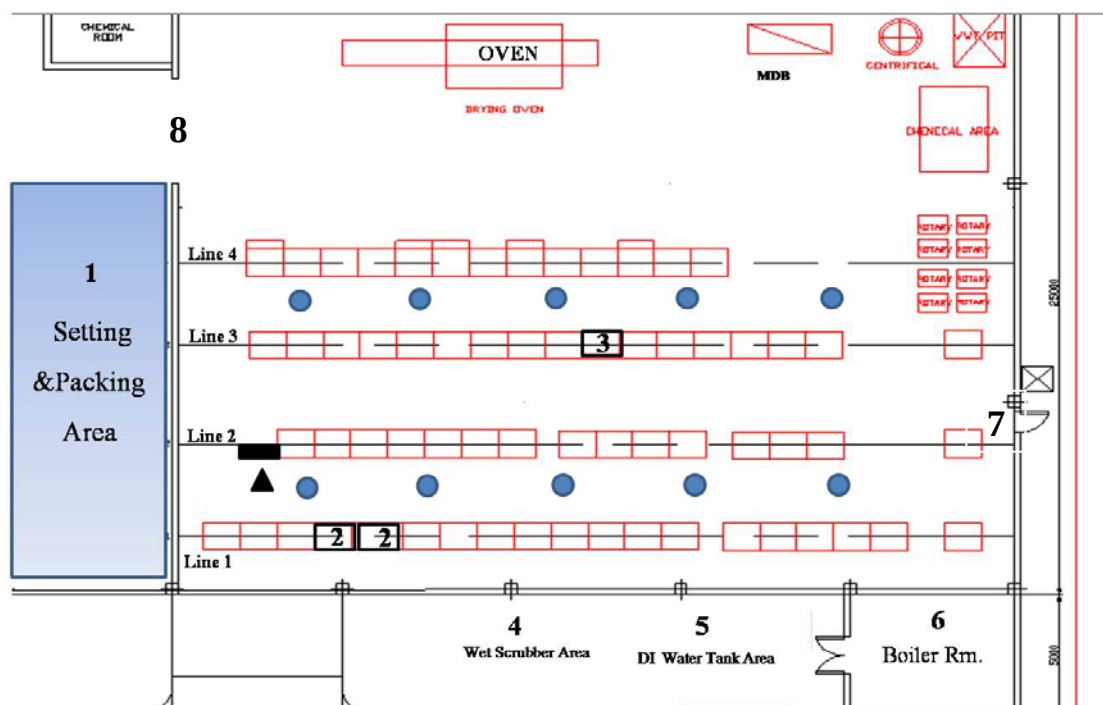
ภาพที่ 27 เครื่องวัดความดัน ความเร็ว และความชื้นของลม (Isokenetic)

ที่มา: บริษัท Pentacle Pollutech

วิธีการ

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศ ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นน้ำมันก๊าดในบรรยากาศบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน โดยเก็บข้อมูลในรอบ 3 ปีที่ผ่านมา

ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างอากาศในอาคารผลิตเพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของน้ำมันก๊าด แสดงดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 แผนผังของอาคารผลิต ภายในอาคารประกอบด้วยกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน

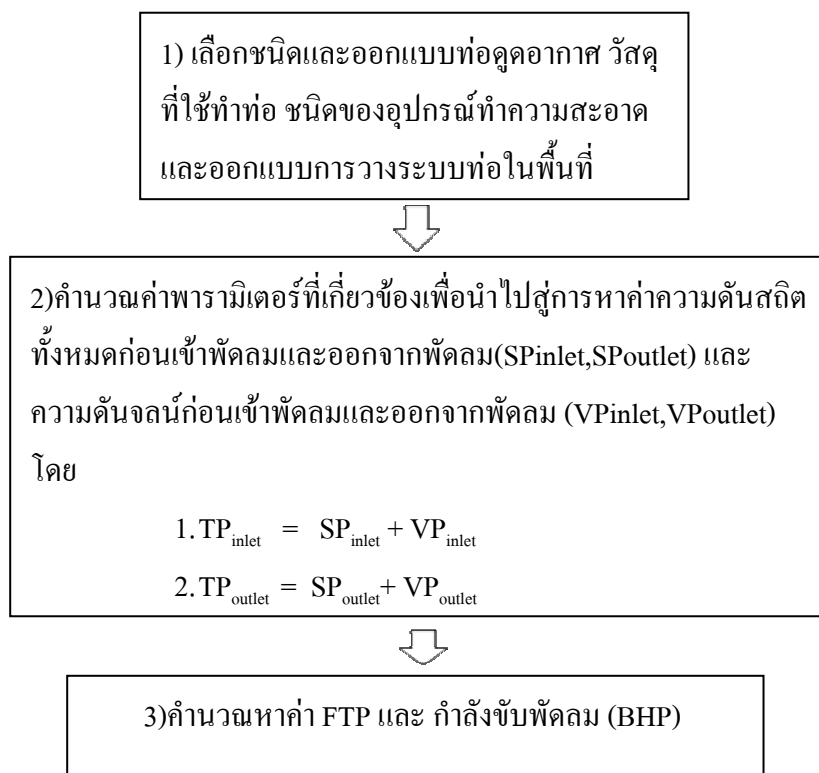
สัญลักษณ์สามเหลี่ยมทึบ แสดงตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของน้ำมันก๊าดโดยติดตั้งห่างจากบ่อ 0.3 เมตร สูงจากพื้น 1.5 เมตร อยู่ในตำแหน่งที่พนักงานปฏิบัติงาน สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมทึบ แสดงตำแหน่งของบ่อน้ำมันก๊าด ซึ่งตั้งอยู่ใน Line 2 สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมขอบสีดำเข้มหมายเลข 2 และ 3 แสดงตำแหน่งบ่อกรดไฮโดรคลอริก และ บ่อไนตริก ตามลำดับ อาคารการผลิตเป็นอาคารชั้นเดียว มีทางเข้าออก 2 ทาง คือ หมายเลขที่ 7 และ 8 ในอาคารนี้มีระบบระบายอากาศเฉพาะที่ติดตั้งเฉพาะที่ติดตั้งเหนือบ่อกรดทั้ง 3 บ่อเท่านั้นและมีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ กล่าวคือ มีลูกหมุนระบายอากาศติดตั้งบนหลังคาจำนวน 10 จุด

(สัญลักษณ์วงกลมทึบ) พนักงานที่ปฏิบัติงานในทั้ง 4 line มี 5-7 คน ทำงานวันละ 10 ชั่วโมง
 นับรวมเวลาทำงานล่วงเวลา โดยจะเดินปฏิบัติงานระหว่าง Line1 กับ Line 2 ประมาณ 3-4 คน และ
 ระหว่าง Line 3 กับ Line 4 ประมาณ 2-3 คน ทั้งนี้จำนวนคนอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับปริมาณ
 งานที่สั่งผลิต นอกจากนี้พนักงานต้องสวมหน้ากากป้องกันไอระเหยชนิดใส่กรองคู่

การเก็บตัวอย่างอากาศเป็นไปตามมาตรฐานของ NIOSH Method หมายเลข 1550
 โดยใช้อัตราการชักตัวอย่างที่ 0.20 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมงวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Gas
 Chromatography ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-17A ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น โดยเก็บตัวอย่างอากาศ
 ในช่วงพนักงานปฏิบัติการล้างชิ้นงานจริง

2. ออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับบ่อน้ำมันก๊าดในกระบวนการ Surface
 Treatment โดยอาศัยมาตรฐานของ American Conference of Governmental Industrial Hygienists
 (2001)

การออกแบบระบบเป็นดังภาพที่ 29 โดยขั้นตอนการออกแบบเริ่มต้นจากการเลือกชนิด
 ท่อดูดอากาศ วัสดุที่ใช้ทำท่อดูดอากาศและท่อนำอากาศ ชนิดของอุปกรณ์ทำความสะอาด และชนิด
 ของพัดลมโดยพิจารณาจากคุณสมบัติของสารปนเปื้อน จากนั้นทำการคำนวณพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง
 ได้แก่ อัตราการไหลของอากาศในท่อดูดอากาศและท่อนำอากาศ ความเร็วต่ำสุดของอากาศที่ต้องการ
 ในท่อนำอากาศ แฟกเตอร์ความสูญเสียที่ทางเข้าของอากาศ พื้นที่หน้าตัดของท่อ และขนาดเส้นผ่าน
 ศูนย์กลางท่อเพื่อใช้เลือกขนาดท่อที่มีขายในเชิงพาณิชย์ หากไม่มีขนาดตามที่คำนวณสามารถเลือก
 ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าที่คำนวณได้ ค่าการสูญเสียความดันทุกกรณีที่เกิดขึ้นในช่วงท่อ
 ค่าความดันสถิตสะสมของระบบ เมื่อได้ค่าต่างๆ แล้วนำไปคำนวณหาความดันรวมของพัดลม
 ซึ่งนำไปใช้หาค่ากำลังขับของพัดลมที่เหมาะสมซึ่งเป็นลำดับสุดท้ายของการออกแบบระบบระบาย
 อากาศเฉพาะที่

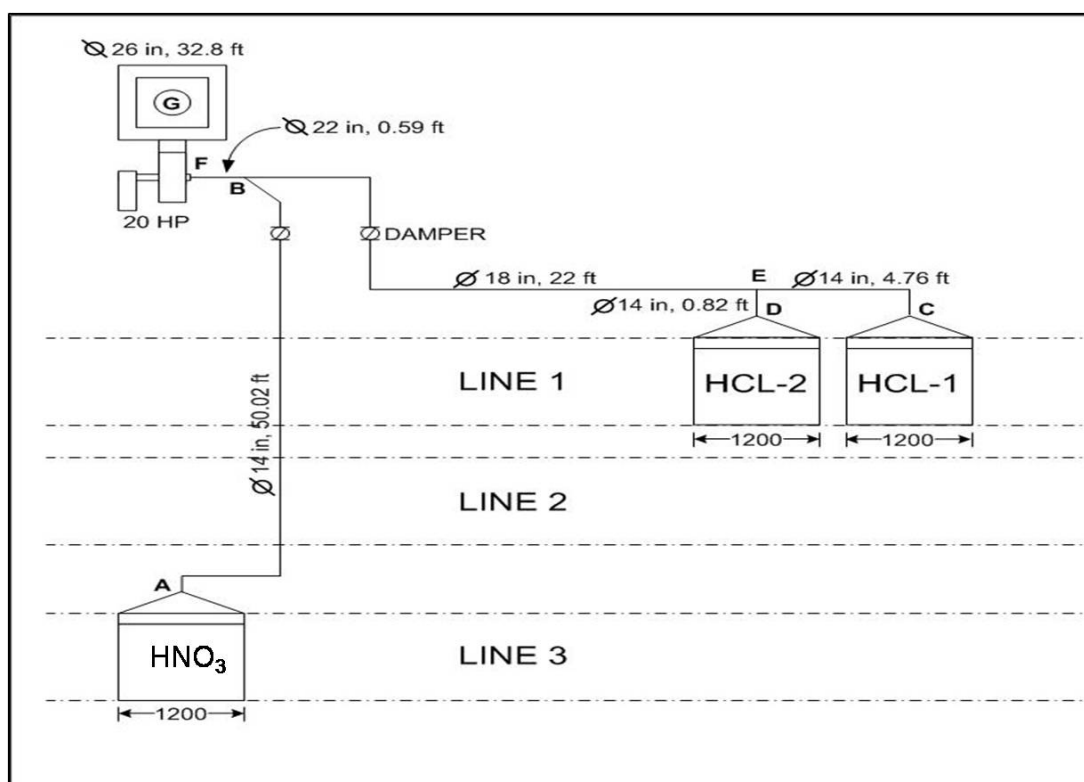


ภาพที่ 29 ขั้นตอนการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่

3. การทดสอบความถูกต้องของวิธีการออกแบบระบบระบายอากาศที่ทำในข้อ 2 โดยการคำนวณหาขนาดกำลังของพัดลมที่ควรใช้กับบ่อกรดทั้ง 3 บ่อ ตามวิธีการของ American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001) แล้วนำไปเปรียบเทียบกับขนาดพัดลมที่ใช้จริง

ตำแหน่งและการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของบ่อกรดเป็นดังแสดงในภาพที่ 30 โดยจะมีท่อดูดอากาศที่ด้านข้างของแต่ละบ่อกรด โดยทั้งสามท่อดูดอากาศนี้จะต่อเข้ากับพัดลมตัวเดียวกันที่มีกำลังขับพัดลมสูงสุด 20 hp การประเมินความถูกต้องของการคำนวณสำหรับการออกแบบระบบระบายอากาศตาม American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001) ของงานวิจัยนี้ทำโดยเปรียบเทียบค่า ค่าความดันสถิตที่ทางเข้า ความดันจลน์ที่ทางเข้า ความดันรวมที่ทางเข้า ความดันรวมของพัดลม และขนาดกำลังขับของพัดลมที่ใช้จริงในระบบระบายอากาศเฉพาะที่ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน กับ ค่าที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001) ซึ่งต้องคำนวณหาค่า อัตราการไหล ความดันรวม และ

ขนาดกำลังพัดลม โดยการคำนวณค่าเหล่านี้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข โดยระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของบ่อกรดทั้ง3นี้ได้ออกแบบตาม ACGIH และประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศดังกล่าวได้ยืนยันด้วยการตรวจวัดความเข้มข้นของไอกรดไนตริก(HNO_3) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่ต้องต่ำกว่า 5 และ 7 mg/m^3 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของ NIOSH (2005)



ภาพที่ 30 ตำแหน่งและการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของบ่อกรดไนตริก (HNO_3) และบ่อกรดไฮโดรคลอริก (HCL 1 และ 2) Line 1, 2 และ 3 แสดงตำแหน่งของบ่อต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 28 A-G เป็นการแบ่งช่วงพิจารณาสำหรับคำนวณค่าความดันสถิต กำลังขับพัดลมสูงสุด คือ 20 hp

4. ประเมินค่าใช้จ่ายของการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับบ่อน้ำมันก๊าด

ผลและวิจารณ์

1. ความเข้มข้นของน้ำมันก๊าดในบรรยากาศบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน

ตารางที่ 9 แสดงถึงผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของน้ำมันก๊าดในบรรยากาศบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานที่ความสูงจากพื้น 1.5 เมตร ใกล้กับบ่อที่บรรจุสารดังกล่าวในช่วงปี 2548 – ปี 2550

ตารางที่ 9 ปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันก๊าดในบรรยากาศบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน ในช่วงปี 2548 ถึง 2550

ครั้งที่ตรวจวัด/ ปีที่ตรวจวัด	ความเข้มข้นของ น้ำมันก๊าดที่วัดได้ (mg/m ³)	ความเข้มข้นมาตรฐานของน้ำมันก๊าด (mg/m ³)		
		NIOSH	ACGIH	SHELL
		100	200	526
ครั้งที่ 1 /2548	59.93	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
ครั้งที่ 2 /2548	102.91	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
ครั้งที่ 1/2549	137.86	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
ครั้งที่ 2/2549	351.59	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
ครั้งที่ 1/2550	183.35	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
ครั้งที่ 2/2550	119.39	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

หมายเหตุ ผ่าน = ความเข้มข้นของน้ำมันก๊าดที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นมาตรฐานของน้ำมันก๊าด

ไม่ผ่าน = ความเข้มข้นของน้ำมันก๊าดที่วัดได้มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นมาตรฐานของน้ำมันก๊าด

โดยพบว่าผลการตรวจวัดปริมาณน้ำมันก๊าดในบรรยากาศบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน ดังภาพที่ 29 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ ACGIH (2004) และมาตรฐานของผู้ผลิต The Shell Company of Thailand (1996) ยกเว้นผลการตรวจวัดในครั้งที่ 2/2549 ที่มีค่าสูงถึง 351.59 mg/m³ ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ ACGIH (2004) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ NIOSH พบว่า ผลการตรวจวัดตั้งแต่

ครั้งที่ 2/2548 จนถึง ครั้งที่ 2/2550 มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยค่ามาตรฐานของ NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards หมายเลข 2005-149 ได้กำหนดค่า TLV-TWA ของน้ำมันก๊าดไว้ที่ 100 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

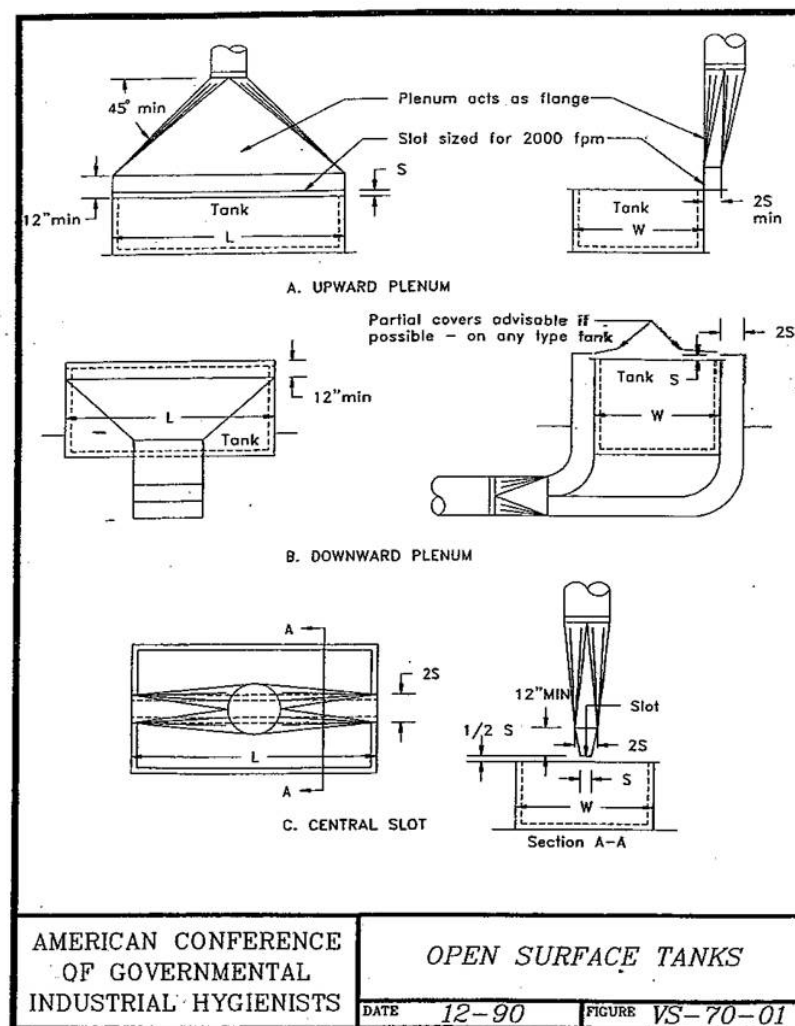
จากการศึกษาถึงอันตรายของน้ำมันก๊าดที่มีผลต่อสุขภาพจากเอกสารข้อมูลความปลอดภัยของน้ำมันก๊าดจากผู้ผลิต The Shell Company of Thailand (1996) พบว่า น้ำมันก๊าดสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทางตา ผิวหนัง การกลืนกินและการหายใจ เมื่อเข้าตาจะทำให้เกิดการระคายเคือง ตาแดง น้ำตาไหลและมองเห็นไม่ชัด หากสัมผัสถูกทางผิวหนังอย่างต่อเนื่องและสัมผัสเป็นเวลานานๆ ก็อาจเป็นสาเหตุของการเกิดผิวหนังอักเสบ ได้ เมื่อสัมผัสไอระเหยหรือละออง (Mist) เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจในปริมาณที่เกินกว่าที่กำหนด อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ มีผลระคายเคืองต่อตา ระบบทางเดินหายใจส่วนบน หอบหืดและอาจถึงแก่ชีวิตได้ ซึ่งอันตรายที่กล่าวมานี้ส่งผลต่อพนักงานที่ปฏิบัติงานในการเดินสายการผลิตในบริเวณนี้โดยตรง ดังนั้น การควบคุมปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันก๊าดในบรรยากาศบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การควบคุมที่แหล่งกำเนิด ทางผ่าน และผู้ปฏิบัติงาน เพื่อให้ปริมาณของไอระเหยของน้ำมันก๊าดในพื้นที่ปฏิบัติงานอยู่ในระดับที่ปลอดภัยตามมาตรฐาน เนื่องจาก American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001) ได้ระบุไว้ว่า สำหรับบ่อชุบที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนักที่ใช้น้ำมันก๊าด สามารถใช้ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ได้ และเพียงพอที่จะควบคุมปริมาณไอสารระเหยในพื้นที่ทำงานได้ ทำให้งานวิจัยนี้มุ่งออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะสำหรับบ่อชุบที่ทำความสะอาดผิวชิ้นงาน โดยวิธีนี้จะช่วยทำให้พนักงานไม่ต้องสวมหน้ากากป้องกันสารเคมีตลอดเวลาซึ่งไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับสภาพอากาศที่ร้อนชื้นของประเทศไทย

2. ออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่

การออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่มีขั้นตอนในการออกแบบดังภาพที่ 29 ซึ่งในขั้นตอนแรกนี้เป็นการเลือกชนิดและวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ดังนี้

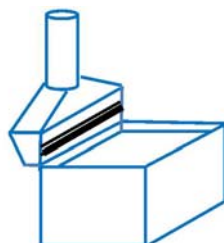
ตู้ดูดอากาศ (Hood)

จากลักษณะของแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนที่บรรจุอยู่ในบ่อเปิด ขนาด กว้าง 1.64 ฟุต ยาว 3.94 ฟุต ลึก 3.28 ฟุต พบว่า สามารถออกแบบตามมาตรฐานของ American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001) สำหรับ Open Surface Tanks ได้ (ภาพที่ 31) โดยตู้ดูดอากาศต้องเป็นแบบช่องแคบ (Slot Hood) โดยความยาวของช่องแคบเป็นไปตามขนาดของบ่อ คือ 3.94 ft (ภาพที่ 32) โดยติดตั้งด้านเดียว ในที่นี้ต้องติดตั้งด้านหลังของบ่อ (ภาพที่ 33) เพื่อไม่ให้เกิดขวางต่อการปฏิบัติงานของพนักงานที่ที่อยู่หน้าบ่อและนำงานลงไปแช่น้ำมันก๊าดในบ่อ และนำงานออกหลังจากแช่เสร็จแล้วตามเวลาที่กำหนด โดยใช้ระบบเขี่ยตะกร้าขึ้นจากบ่อ ประกอบกับการปฏิบัติงานนี้พนักงานต้องอยู่ใกล้หรือยื่นชิดบ่อขณะที่นำงานเข้าออก และต้องเดินปฏิบัติงานอยู่ในแนวบ่อตลอดเวลา



ภาพที่ 31 มาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)
สำหรับ Open Surface Tanks

ที่มา: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)



ภาพที่ 32 การติดตั้ง Slot Hood ที่บ่อน้ำมันกัด

ท่อนำอากาศ (Ducts)

ไอระเหยของน้ำมันก๊าดจัดอยู่ในชนิดไอ ก๊าซและควัน โดยไอดังกล่าวนี้นี้เป็นสารปนเปื้อนที่ไม่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อน แต่เนื่องจากการวางท่อต้องผ่านบริเวณบ่อกรด 2 บ่อ ดังนั้นจึงเลือกใช้ท่อไฟเบอร์กลาส ที่ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ทำให้มีอายุการใช้งานยาวนานแม้ว่ามีราคาสูง โดยท่อดังกล่าวมีหน้าตัดวงกลม เนื่องจากการกระจายความเร็วเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งหน้าตัด ส่งผลให้ไม่เกิดการตกค้างของสารปนเปื้อนในระบบท่อรวมถึงยังทนทานต่อความดันสถิตของอากาศได้สูงกว่าท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยม (ฉัตรชัย, 2550) เนื่องจากไม่ทราบค่าคงที่ a, b, c ที่ต้องใช้ในการหาความดันสูญเสียในท่อและความขรุขระของผิวท่อภายในใกล้เคียงกับของท่อพีวีซี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ค่าดังกล่าวของท่อพีวีซี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0425, 0.465 และ 0.602 ตามลำดับ

อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ (Air –Cleaning Devices)

เนื่องจากสารปนเปื้อนนี้อยู่ในสถานะก๊าซ จึงสามารถเลือกใช้วิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับเนื่องจากนิยมใช้ดูดซับสารระเหยอินทรีย์

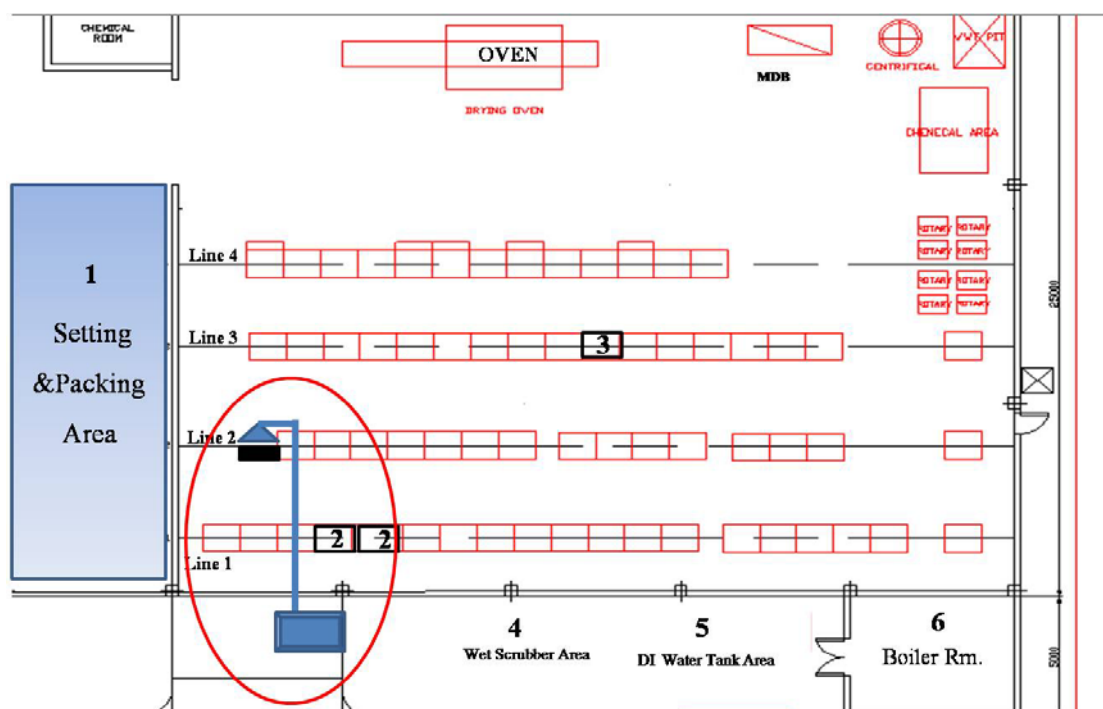
พัดลม (Fan)

ชนิดพัดลมขึ้นอยู่กับชนิดของสาร เนื่องจากไอของน้ำมันก๊าดมีความชื้นผสม จึงสามารถใช้พัดลมแรงเหวี่ยงแบบซี่ใบพัดเอียงหลัง (Backward Inclined Blade Fans) ได้ พัดลมชนิดนี้เป็นพัดลมที่มีประสิทธิภาพสูงเนื่องมาจากการออกแบบใบพัดที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความดันเมื่อล้อยพัดลมหมุน และเมื่ออัตราการไหลของอากาศเปลี่ยนแปลงความดันของอากาศจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

การวางระบบท่อและอุปกรณ์

ภาพที่ 33 แสดงตำแหน่งการวางท่อดูดอากาศ ท่อนำอากาศ อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ และพัดลม โดย อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ และพัดลมจะวางไว้ในสี่เหลี่ยมที่บ่งชี้ที่อยู่นอกอาคาร งานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่นี้ไว้ 2 รูปแบบ คือ การวางอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศและพัดลมในแนวระดับพื้น (ภาพที่ 34ก.) และวางบนฐานรองรับที่ทำแผ่นเหล็กขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 2 เมตร หนา 10 มิลลิเมตร ที่อยู่สูงจากพื้นดิน 7 เมตร (ภาพที่ 34ข.) ซึ่งต้องจัดทำ

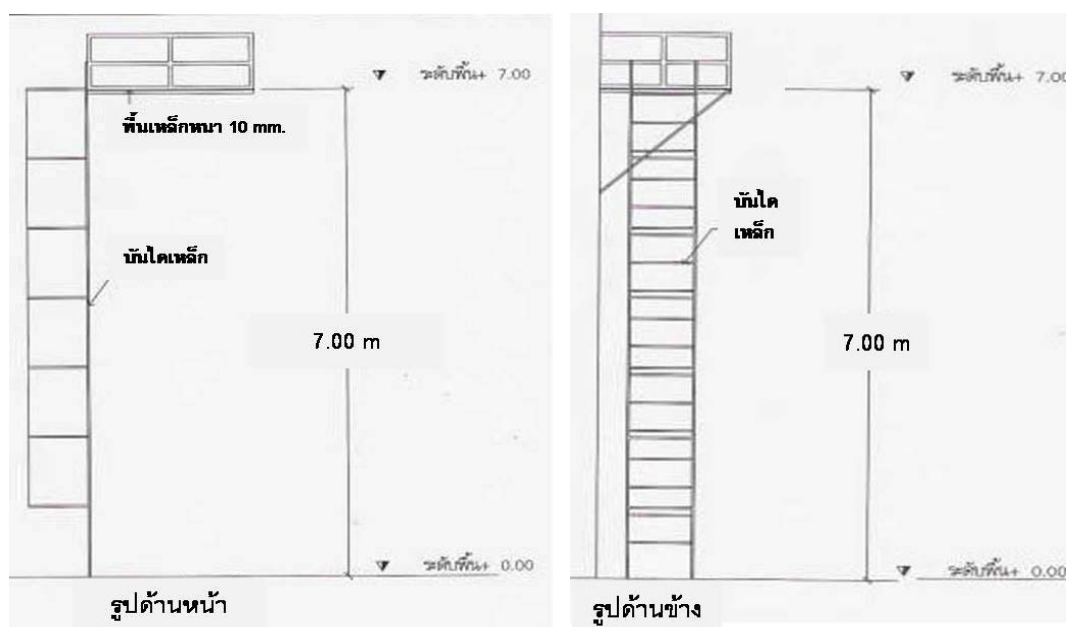
บันไดและพื้นมีแนวกันกั้นตกไว้เพื่อความปลอดภัย มุมมองด้านหน้าและข้างของแบบบันไดและพื้นรองรับแสดงภาพที่ 35ก. และ ข. ตามลำดับ



ภาพที่ 33 ตำแหน่งการวางระบบท่อและอุปกรณ์ของระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับ บ่อน้ำมันก๊าด (สี่เหลี่ยมทึบเข้ม) สามเหลี่ยมทึบแสดงท่อดูดอากาศที่ต่อเข้ากับท่อนำอากาศ (เส้นทึบ) ซึ่งทะลุกำแพงออกไปด้านนอกอาคารนี้ (สี่เหลี่ยมทึบ) ตัวเลข 2, 3 แสดงตำแหน่งบ่อกรด



ก. มุมมองด้านบน



ข. มุมมองด้านหน้าและด้านข้าง

ภาพที่ 35 แบบบันไดและพื้นรองรับอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศและพัดลม

เมื่อเลือกชนิดและวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ และรูปแบบการวางท่อได้แล้วจึงทำการคำนวณหาค่าอัตราการไหลของอากาศ คำนวณหาค่าการสูญเสีย ได้แก่ การสูญเสียความดันที่ท่อดูดอากาศ ประกอบด้วย การสูญเสียความดันเนื่องจากความเร่งและการสูญเสียความดันจากการที่อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ท่อดูดอากาศ นอกจากนี้ยังมีการสูญเสียความดันเนื่องจากแรงเสียดทานที่อากาศไหลผ่านท่อในลักษณะต่างๆ และต้องพิจารณาการสูญเสียอื่นๆ ด้วย

เช่น การสูญเสียความดันที่อุปกรณ์ทำความสะอาด เมื่อได้ค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบทั้งหมดแล้ว จึงนำมาคำนวณหาขนาดกำลังขับของพัดลม ซึ่งในภาคผนวก ก ได้แสดงขั้นตอนการคำนวณค่าเหล่านี้โดยละเอียดไว้แล้ว ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ได้จากการคำนวณระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ได้แสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 พารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2

พารามิเตอร์	รูปแบบการวางอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศและพัดลม	
	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2
อัตราการไหลของอากาศ (Q,cfm)	701.8	701.8
ความดันสถิตที่ทางเข้า (SP,in.wg)	-4.02	-3.79
ความดันจลน์ที่ทางเข้า (VP,in.wg) *	0.25	0.25
ความดันรวมที่ทางเข้า (TP,in.wg)	-3.77	-3.54
ความเร็วในท่อ (Vd,fpm)	2009.74	2009.74
ความดันรวมของพัดลม (FTP,in.wg)	4.27	3.87
กำลังขับของพัดลม (BHP,hp)	0.67	0.61

หมายเหตุ เครื่องหมาย (-) แสดงถึง ความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (หรือแรงดูดนั่นเอง)

* ความดันจลน์ที่ทางเข้าและออกระบบมีค่าเท่ากัน

จากตารางที่ 10 พบว่า การออกแบบการติดตั้งระบบทั้งรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 มีค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q) และค่าความเร็วในท่อ (Vd) เท่ากันแต่เมื่อพิจารณาค่าความดันสูญเสียรวม (TP) และความดันรวมของพัดลม (FTP) พบว่า รูปแบบที่ 2 มีค่าน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 ส่งผลให้กำลังขับของพัดลมมีขนาดเล็กกว่ารูปแบบที่ 1 เล็กน้อย ซึ่งในการใช้งานจริงสามารถใช้พัดลมที่มีกำลังขับเท่ากันได้

3. ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ที่ติดตั้งที่บ่อกรดทั้ง 3 บ่อ

จากการเก็บข้อมูลผลการตรวจวัดความเข้มข้นของไอกรด 3 ปี ที่บริเวณบ่อกรดทั้ง 3 บ่อ พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของกรดไนตริกและกรดไฮโดรคลอริกอยู่ในระดับที่ปลอดภัย โดยมีค่าต่ำกว่า 0.001 mg/m^3 และ 0.073 mg/m^3 ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน NIOSH (2005) บ่งบอกว่าระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของบ่อทั้งสามมีประสิทธิภาพดี สามารถควบคุมระดับไอกรดให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้ และผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเฉพาะที่พิจารณาจากความเร็วจับยึดและกำลังขับของพัดลม ที่ได้จากการตรวจวัดและคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากระบบระบายอากาศเฉพาะที่ที่ใช้งานอยู่ กับค่าที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001) ได้แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของบ่อกรดที่ติดตั้งในปัจจุบัน กับผลที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

พารามิเตอร์	ระบบปัจจุบัน	มาตรฐาน ACGIH
อัตราการไหลของอากาศที่หัวดูด (Q, cfm)	6,482.92 ¹	6,482.92 ³
ความเร็วจับยึด (V, fpm)	บ่อ $\text{HNO}_3=163^1$	บ่อ $\text{HNO}_3=163^1$
	บ่อ $\text{HCL}-1=152^1$	บ่อ $\text{HCL}-1=152^1$
	บ่อ $\text{HCL}-2=157^1$	บ่อ $\text{HCL}-2=157^1$
ความดันสถิตที่ทางเข้า ($SP_{\text{inlet}}, \text{in.wg}$)	-11.29 ¹	-10.02 ³
ความดันจลน์ที่ทางเข้า ($VP_{\text{inlet}}, \text{in.wg}$)	0.95 ¹	0.38 ³
ความดันรวมที่ทางเข้า ($TP_{\text{inlet}}, \text{in.wg}$)	-10.34 ²	-9.64 ³
ความดันรวมของพัดลม ($FTP, \text{in.wg}$)	10.62 ²	9.87 ³
กำลังขับของพัดลม (BHP, hp)	15.48 ²	14.05 ³

หมายเหตุ เครื่องหมาย (-) แสดงถึง ความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (หรือแรงดูดนั่นเอง)

¹ ได้จากการวัดจริงจากระบบระบายอากาศเฉพาะที่ที่ใช้อยู่

² มาจากการคำนวณตามวิธีของ ACGIH โดยใช้ค่า Q V SP และ VP จากการวัดจริง

³ มาจากการคำนวณตามวิธีของ ACGIH โดยใช้ค่า Q V SP และ VP จากมาตรฐานดังกล่าว

จากตารางที่ 11 ได้แสดงให้เห็นว่าค่าความดันสถิตที่ทางเข้า ความดันจลน์ที่ทางเข้า ความดันรวมที่ทางเข้า ความดันรวมของพัดลม และ ขนาดกำลังขับพัดลมที่ได้จากการวัดจริงมีค่าแตกต่างจากที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001) เล็กน้อย ซึ่งคาดว่ามีสาเหตุมาจากค่าคงที่ต่างๆ ที่เปิดจากตารางที่แนะนำ โดย American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001) มีค่าต่างไปจากความเป็นจริงซึ่งเป็นสิ่งปกติ ดังนั้นจึงได้ว่า วิธีการคำนวณที่ผู้วิจัยได้ทำนี้ยอมรับได้

4. ผลการประเมินค่าใช้จ่ายของการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับบ่อน้ำมันก๊าด

การประเมินค่าใช้จ่ายของระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับบ่อน้ำมันก๊าดรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 สามารถประมาณการได้ตามตารางที่ 12 โดยจะเห็นว่า ค่าใช้จ่ายของการสร้างระบบระบายอากาศเฉพาะที่ตามรูปแบบที่ 1 ซึ่งมีการวางตำแหน่งอุปกรณ์ทำความสะอาดและพัดลมอยู่ในระดับพื้น มีราคาถูกลงกว่ารูปแบบที่ 2 ที่มีการวางตำแหน่งอุปกรณ์ทำความสะอาดและพัดลมสูงกว่าแนวระดับพื้น 7 เมตร ถึงแม้ว่าจะมีขนาดความยาวท่ออากาศ และจำนวนท่อเลี้ยวที่มากกว่าก็ตาม แต่ไม่ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการจัดทำอุปกรณ์ Support ได้แก่ บันไดและพื้นรองรับอุปกรณ์ทำความสะอาดและพัดลมบนที่สูงถึง 7 เมตร

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่สำหรับบ่อน้ำมันก๊าด
รูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2

ที่	รายละเอียด	จำนวน	ราคา	
			รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2
1	คอลัมน์อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ (¹ FRP Activated carbon)	1	85,000	85,000
2	พัดลม (¹ FRP Centrifugal Blower "ASIA BLOWER" GC-250)	1	40,000	40,000
3	ท่อ (¹ FRP Ducting System and Stack)	1	150,000	120,000
4	هودดูดอากาศ (¹ FRP Hood)	1	6,000	6,000
5	ตู้ควบคุมไฟฟ้า	1	30,000	30,000
6	ค่าแรงในการติดตั้ง และอุปกรณ์อื่นๆ รวมทั้ง ระบบ PVC	1	40,000	40,000
7	ค่าขนส่ง	1	30,000	30,000
8	ค่าตรวจสอบระบบ(Test run system)	1	25,000	25,000
9	อุปกรณ์ support (บันได ระเบียง) -พื้นที่ลักษณะ 1.5 x 2.0 เมตร มีราวกันสูง 0.8 เมตร และมีเสารับน้ำหนักติดตั้งกับผนังโรงงาน (20,000 บาท) -บันไดมีที่กั้นกันตก สูง 7 เมตร (11,200 บาท) -ค่าแรงในการติดตั้ง และอุปกรณ์อื่นๆ(15,000 บาท)	1	-	46,200
10	รวม	1	406,000	422,200

หมายเหตุ ¹FRP = ไฟเบอร์กลาส

ที่มา: บริษัท เจนคอน เอ็นจิเนียริง จำกัด (2551)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ที่เหมาะสมกับบ่อน้ำมันก๊าดที่มีขนาดปากบ่อเป็น 1.64×3.94 ฟุต ตามมาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001) ต้องเป็น Open Surface Tanks ซึ่งออกแบบโดยใช้ท่อดูดอากาศแบบช่องแคบ ติดตั้งด้านเดียวโดยติดตั้งไว้ด้านหลังของบ่อน้ำมันก๊าดเพื่อไม่ให้กีดขวางการปฏิบัติงานของพนักงาน ทั้งนี้ได้ออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศและพัดลมไว้ 2 รูปแบบ คือ วางอุปกรณ์ทำความสะอาดและพัดลมไว้ในแนวระดับพื้น และ บนฐานรองรับสูงขึ้นไปจากระดับพื้น 7 เมตร ซึ่งช่วยลดจำนวนท่อเลี้ยวและความยาวท่อนำอากาศ อย่างไรก็ตามผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าการวางอุปกรณ์ในรูปแบบที่ 2 มีค่าการสูญเสียความดันในระบบน้อยกว่า ส่งผลให้ ค่ากำลังขับของพัดลมมีขนาดเล็กกว่าเพียงเล็กน้อย ซึ่งในการติดตั้งจริงสามารถใช้พัดลมรุ่นเดียวกันได้ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง พบว่า รูปแบบที่ 1 มีค่าใช้จ่ายถูกกว่ารูปแบบที่ 2 ถึง 16,200 บาท

ข้อเสนอแนะ

สารที่นำมาใช้ทำความสะอาดนี้จัดอยู่ในประเภทสารไวไฟ ดังนั้น ในพื้นที่ที่มีการใช้สารดังกล่าว ควรมีมาตรการในการควบคุม เช่น รั้วรั้วระวางไม่ให้มีแหล่งกำเนิดของเปลวไฟ ประกายไฟ การสูบบุหรี่ เครื่องมือต้องมีการต่อสายในการเปลี่ยนถ่ายสาร และพนักงานควรได้รับการฝึกอบรมในเรื่องมาตรการป้องกันไฟไหม้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ชั้นทอง สุนทราภา. 2549. ความปลอดภัยในกระบวนการเคมี. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ฉัตรชัย นิยมล. 2550. ระบบกำจัดฝุ่นและการระบายอากาศ. สำนักพิมพ์ ศ.ศ.ท., กรุงเทพฯ.
- ชัยยุทธ ชวลิตนิธิกุล. 2544. การฝึกปฏิบัติงานอาชีพอนามัย ความปลอดภัย และเออร์กอนอมิกส์. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, กรุงเทพฯ.
- นพภาพร พานิช และคณะ. 2547. ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- ปิยมาศ สุทธิภักดี. 2549. การศึกษาประสิทธิภาพระบบระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณที่มีการบัดกรีด้วยลวดตะกั่ว ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้ายานยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรพิมล กองทิพย์. 2543. สุขศาสตร์อุตสาหกรรม. ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย. คณะสาธารณสุขศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.
- ภัทรนฤณ บุษสาย. 2547. ขนาดรูปทรงที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดสำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งของกระบวนการซักกรีต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- รุ่งทิพย์ กุลตั้งวัฒนา. 2539. การสร้างและศึกษาประสิทธิภาพของการระบายก๊าซอันตรายในห้องปฏิบัติการเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์. 2549. การระบายอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม. ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.
- สุรชาติ สีนวรรณ์. 2547. การประเมินประสิทธิภาพของการระบายก๊าซอันตรายในห้องปฏิบัติการเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

American Conference of Government Industrial Hygienist. 2001. **Industrial Ventilation**.
Lansing, Michigan, USA.

Crowl, D.A. and J.F. Louvar. 2001. **Chemical Process Safety Fundamentals with
Application**. Second Edition. Prentice Hall, U.S.A.

National Institute for Occupational Safety and Health. 2005a. **NIOSH Pocket Guide to
Chemical Hazards-Kerosene**. Available Source: <http://www.cdc.gov/niosh/npgd0366.html>, 2 March 2007.

_____. 2005b. **The Registry of Toxic Effects of Chemical Substance**. Available Source:
<http://www.RTEC/SOA5500000> The Registry of Toxic Effects of Chemical Substances
CDC-NIOSH.htm, 2 March 2007.

New Jersey Department of Health and Senior Service. 2004. **Hazardous Substance Fact Sheet**.
Trenton. Available Source: <http://web.doh.state.nj.us/rtkhsfs/indexfs.aspx>,
2 March 2007.

Thaigoodview. 2006. **Kerosene**. Available Source: <http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/2549/m6-6/no11-14-16-49/kerosene1.thml>, 2 March 2007.

The Shell Company of Thailand. 1996. **Safety Data Sheet of Domestic Kerosine**. Bangkok.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณระบบระบายอากาศเฉพาะที่ติดตั้งบริเวณบ่อน้ำมันก๊าด

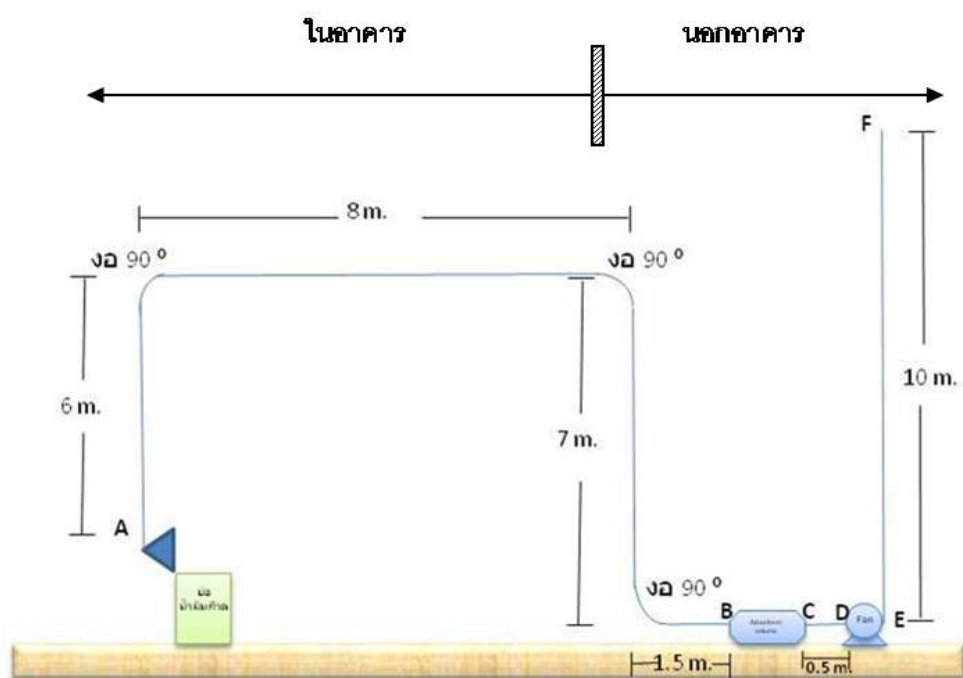
ขั้นตอนการคำนวณระบบระบายอากาศ เฉพาะที่ติดตั้งที่บ่อน้ำมันก๊าด

แนวทางการออกแบบใช้แนวทางจากมาตรฐานของ American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001) พบว่า การออกแบบระบบระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับบ่อเปิด คือ การออกแบบโดยใช้รูปแบบพิเศษ สำหรับ Open Surface Tank ซึ่งพบว่า การออกแบบที่ดูดอากาศใช้แบบช่องแคบ (Slot Hood) ด้านเดียว เนื่องจากความกว้างของบ่อมีขนาดน้อยกว่า 20 นิ้ว

การจัดกลุ่มของน้ำมันก๊าด (classs)

เนื่องจากน้ำมันก๊าดมีค่ามาตรฐานความปลอดภัยที่กำหนดโดย NIOSH (2005) อยู่ที่ 100 mg/m^3 หรือ 14.4 ppm ซึ่งจากตารางผนวกที่ ก1 จัดอยู่ในกลุ่มความเป็นอันตรายกลุ่ม B และน้ำมันก๊าดที่ใช้งานในบ่อล่างนี้ใช้งานที่อุณหภูมิห้อง มีอัตราการเกิดแก๊สต่ำ จากตารางผนวกที่ ก2 จึงจัดน้ำมันก๊าดอยู่ใน Rate 3 ดังนั้นน้ำมันก๊าด จึงจัดอยู่ในกลุ่ม (Classs) B-3

แบบที่ 1 ออกแบบวางอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ และพัดลมในแนวระดับพื้นดิน ดังรูปภาพผนวกที่ ก1



ภาพผนวกที่ ก1 ออกแบบวางอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศและพัดลมในแนวระดับพื้นดิน ผลการคำนวณค่าต่างๆของระบบระบายอากาศเฉพาะที่รูปแบบที่ 1 แสดงดังตาราง ภาพผนวกที่ ก1 โดยบรรทัดที่ 1-7 เป็นการคำนวณค่า Q , ขนาดท่อ(D,A), ความเร็วแท้จริงในท่อ(V_d), ความดันจลน์ในท่อ(VP_d) บรรทัดที่ 8-19 เป็นการคำนวณค่าความดันสูญเสียที่ท่อดูดอากาศ(Hood) บรรทัดที่ 20-32 เป็นการคำนวณค่าความดันสูญเสียที่ท่อนำอากาศ (Duct)

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการคำนวณค่าต่างๆ ของระบบระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณบ่อน้ำมันก๊าด
ตามรูปแบบที่ 1

1	ช่วงท่อที่พิจารณา			A-B	B-C	C-D	E-F
2	อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านท่อ หรือท่อดูดอากาศ(Q) cfm.			701.8	701.8	701.8	701.8
3	ความเร็วต่ำสุดของอากาศในท่อที่ใช้ fpm			2,000	2,000	2,000	2,000
4	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้ (D) in			8.00	8.00	8.00	8.00
5	พื้นที่หน้าตัดท่อที่ใช้ (A) ft ²			0.3492	0.3492	0.3492	0.3492
6	ความเร็วที่แท้จริงของอากาศในท่อ(Vd) fpm			2009.74	2009.74	2009.74	2009.74
7	ความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (VPd) in.wg			0.25	0.25	0.25	0.25
8	HOOD	SLOT	พื้นที่ช่องแคบ ft ²	0.35	-	-	-
9			ความเร็วของอากาศที่ช่องแคบ (slot velocity :Vs) fpm	2005.14	-	-	-
10			ความดันจลน์ของอากาศที่ช่องแคบ (VPs) in.wg	0.25	-	-	-
11			แฟกเตอร์ความสูญเสียที่ผ่านช่องแคบ	1.78	-	-	-
12			แฟกเตอร์ความสูญเสียความดันเนื่องจากความเร่งของอากาศที่ผ่านช่องแคบ	1.00	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

	ช่วงท่อที่พิจารณา			A-B	B-C	C-D	E-F
13	HOOD	SLOT	การสูญเสียความดันที่กล่องลมต่อความดันจลน์ของอากาศที่ไหลผ่านช่องแคบ	2.78	-	-	-
14			ความดันสถิตที่กล่องลม in.wg	0.695	-	-	-
15		แฟกเตอร์การสูญเสียที่เข้าหัวดูด (Fh)		0.15	-	0.50	-
16		แฟกเตอร์การสูญเสียความดันอันเนื่องมาจากความเร่งของอากาศ		1.00	-	1.00	-
17		การสูญเสียความดันที่ทางเข้าต่อความดันจลน์ของอากาศซึ่งไหลผ่านท่อ (VPd)		1.15	-	1.50	-
18		ค่าความดันสูญเสียที่ทางเข้าท่อ (he) in.wg		0.29	-	0.38	-
19		ความดันสถิตของหัวดูด (SPh) in.wg		0.98	-	0.38	-
20	ความยาวของท่อในช่วงพิจารณา (L) ft			73.80	-	1.64	32.80
21	แฟกเตอร์ความเสียดทานของอากาศ ที่ไหลผ่านท่อตรง (Hf)			0.03	-	0.03	0.03
22	การสูญเสียความดันของท่อตรงต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (VPd)			2.21	-	0.05	0.98
23	จำนวนของข้อเลี้ยว 90,60 องศา			3.00	-	-	-
24	การสูญเสียความดันของข้อเลี้ยวต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (VPd)			0.39	-	-	-
25	จำนวนท่อแยก			-	-	-	-
26	การสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อแยกต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (VPd)			-	-	-	-
27	แฟกเตอร์การสูญเสียความดันของข้อต่อพิเศษอื่นๆ			-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

	ช่วงท่อที่พิจารณา	A-B	B-C	C-D	E-F
28	การสูญเสียความดันของท่อต่อความดันของอากาศในท่อ (VPd)	2.60	-	0.05	0.98
29	ค่าของการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อ (VPd)in.wg	0.65	-	0.01	0.25
30	ค่าของการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์อื่น in.wg	-	2.00	-	-
31	การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อของส่วนที่กำลังพิจารณา (SPd) in.wg	1.63	2.00	0.39	0.25
32	ค่าการสูญเสียความดันสถิตของระบบท่อซึ่งเป็นผลรวมของค่าการสูญเสียความดันสถิตทั้งหมด (TSP)n.wg	-1.63	-3.63	-4.02	+0.25

วิธีการคำนวณ

1.1 ช่วงท่อ A – B

1.2 อัตราการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อดูดอากาศ (Volume Flow Rate : Q)

จากข้อมูลการจัดกลุ่มของน้ำมันก๊าด ซึ่งอยู่ในกลุ่ม B-3 นำข้อมูลนี้ไปหาค่า Minimum Control velocity จากตารางผนวกที่ ค3 สำหรับการติดตั้งท่อดูดอากาศด้านข้าง พบว่าค่า Minimum Control velocity เท่ากับ 75 fpm นำค่านี้ไปหา Minimum exhaust rate จากตารางผนวกที่ ค4 โดยจากอัตราส่วนความกว้างต่อความยาวของบ่อมีค่าเท่ากับ 0.42 ซึ่งอยู่ในช่วง 0.25-0.49 ดังนั้น ค่า Minimum exhaust rate จึงเท่ากับ 110 cfm/ft² ดังนั้น ค่า Minimum exhaust flow rate หรือ อัตราการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อดูด

$$Q = 110 \text{ cfm/ft}^2 \times 6.38 \text{ ft}^2 = 701.8 \text{ cfm}$$

1.3 ความเร็วต่ำสุดของอากาศที่ใช้ในท่อ 2,000 fpm (จากตารางที่ 4)

1.4 เส้นผ่านศูนย์กลางกลางท่อที่ใช้

$$\text{จากพื้นที่ท่อ } A_{\text{duct}} = \frac{Q}{V} = \frac{701.8}{2000} = 0.35 \text{ ft}^2$$

คำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่อ

$$\text{จาก } A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D^2 = \frac{4A}{\pi} = \frac{4 \times 0.35}{3.14} = 0.45 \text{ ft}^2$$

$$D = 0.67 \text{ ft} = 8.04 \text{ inch}$$

เพื่อให้มั่นใจว่าความเร็วของอากาศในท่อจะไม่ต่ำกว่า 2,000 fpm จึงควรเลือกใช้ท่อมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 inch

$$1.5 \text{ พื้นที่หน้าตัดสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้} = 0.3492 \text{ ft}^2$$

1.6 หาค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อดูดอากาศจริง (Actual Duct Velocity : V_d) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V_d = \frac{Q}{A} = \frac{701.8}{0.3492} = 2009.74 \text{ fpm}$$

1.7 หาความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d) สามารถคำนวณได้จาก

$$VP_d = \left(\frac{V}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{2009.74 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 0.25 \text{ in.wg.}$$

ส่วนของ Slot

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าความเร็วลมออกแบบที่ไหลผ่านช่องแคบ slot} &= 2,000 \text{ fpm} \\
 \text{พื้นที่ช่องแคบ } A_{\text{slot}} &= \frac{Q}{V} = \frac{701.8}{2000} = 0.35 \text{ ft}^2 \\
 \text{ความยาวของช่องแคบ } L_{\text{slot}} &= 3.94 \text{ ft} \\
 \text{ความกว้างของช่องแคบ } W_{\text{slot}} &= \frac{A_{\text{slot}}}{L} = \frac{0.35}{3.94} = 0.09 \text{ ft} = 1.08 \text{ inch} \\
 \text{ความลึกของช่องลม } 2 \times W_{\text{slot}} &= 2 \times 1.08 = 2.16 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

1.8 พื้นที่ Slot

$$\text{พื้นที่ช่องแคบ } A_{\text{slot}} = \frac{Q}{V} = \frac{701.8}{2000} = 0.35 \text{ ft}^2$$

1.9 หาความเร็วที่ช่องแคบ (Slot velocity : V_s) คำนวณได้จาก

$$V_s = \frac{Q}{A_{\text{slot}}} = \frac{701.8}{0.35} = 2005.14 \text{ fpm}$$

1.10 หาความดันจลน์ของอากาศที่ช่องแคบ (Slot Velocity Pressure : VP_s) สามารถคำนวณได้จาก

$$VP_s = \left(\frac{V_s}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{2005.14 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 0.25 \text{ in.wg.}$$

1.11 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียที่เข้าช่องแคบ (Slot loss factor: F_h) หาได้จากภาพที่ 12

$$F_h = 1.78 \text{ หรือ } 1.78 \text{ เท่าของ } VP_s$$

1.12 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียความดันเนื่องมาจากความเร่งของอากาศที่ผ่านช่องแคบ (Acceleration loss factor) = 1 หรือ 1 เท่าของ VP_s

$$1.13 \text{ ค่าความสูญเสียความดันที่กล่อ่งลม (plenum loss)} = 1+1.78 = 2.78$$

$$1.14 \text{ ค่าความดันสถิตของกล่อ่งลม} = \text{plenum loss} \times VP_s = 2.78 \times 0.25 = 0.69 \text{ in.wg}$$

1.15 คำนวณหาแฟคเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้าท่อดูดอากาศ (Hood entry loss factor : F_h)
หาได้จากภาพที่ 12 เลือกกรวยหน้าตัดสี่เหลี่ยม ทำมุม 45 องศา

$$F_h = 0.15 \text{ หรือ } 0.15 \text{ เท่าของ } VP_d$$

$$1.16 \text{ แฟคเตอร์การสูญเสียเนื่องจากการเร่งเท่ากับ } 1 \text{ หรือ } 1 \text{ เท่าของ } VP_d$$

$$1.17 \text{ การสูญเสียที่ทางเข้าต่อความดันจลน์} = 0.15 + 1 = 1.15$$

$$1.18 \text{ การสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อ } h_c \text{ จากสมการที่ 8}$$

$$h_c = 1.15 \times 0.25 \text{ in.wg} = 0.29 \text{ in.wg}$$

$$1.19 \text{ ความดันสถิตของท่อดูดอากาศ (} SP_h \text{) หาได้จาก}$$

$$\begin{aligned} SP_h &= \text{ความดันสถิตที่กล่อ่งลม} + \text{การสูญเสียความดันที่ทางเข้า} \\ &= 0.69 + 0.29 = 0.98 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

$$1.20 \text{ ความยาวของท่อตรงในช่วงนี้ คือ } L = 73.80 \text{ ft}$$

1.21 แฟคเตอร์ความเสียดทาน H_f จากสมการที่ 13 ในที่นี้เลือกใช้ท่อไฟเบอร์กลาส แต่ใช้
ค่า H_f ของท่อ พีวีซี เนื่องจากมีลักษณะผิวเหมือนกัน

$$\text{โดยจากตารางที่ 5 ค่า } a = 0.0425 \quad b = 0.465 \quad c = 0.602$$

$$H_f = \frac{a \times (v_d)^b}{Q^c} = \frac{0.0425 \times (2009.74 \text{ fpm}^{0.465})}{701.8 \text{ cfm}^{0.602}} = 0.03$$

1.22 การสูญเสียความดันของท่อตรงต่อความดันจลน์

$$LH_f = (73.80 \text{ ft}) \times (0.03) = 2.21$$

1.23 จำนวนท่อเลี้ยว 90° จำนวน 3 ตัว

1.24 การสูญเสียความดันของท่อเลี้ยว

$$\begin{aligned} \text{จากภาพที่ 13 ท่อเลี้ยว } 90^\circ \text{ ท่อเรียบ (R=2D): } R/D &= 1.34 / 0.67 = 2 \\ \text{มีค่า F เท่ากับ 0.13 มีจำนวนท่อเลี้ยว 3 จุด มีค่ากับ } 3 \times 0.13 &= 0.39 \end{aligned}$$

1.25 -1.26 ไม่คำนวณ เนื่องจากไม่มีท่อแยก

1.27 ไม่คำนวณ เนื่องจากไม่มีข้อต่อพิเศษอื่นๆ

$$1.28 \text{ การสูญเสียความดันในท่อต่อความดันจลน์} = 2.21 + 0.39 = 2.6$$

1.29 การสูญเสียความดันในท่อ

$$2.6 \times VP_d = (2.6) \times (0.25 \text{ in.wg.}) = 0.65 \text{ in.wg}$$

1.30 ไม่มีอุปกรณ์อื่นเพิ่ม

1.31 การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อ

$$\begin{aligned} &= SP_h + SP_d \\ &= 0.98 \text{ in.wg} + 0.65 \text{ in.wg} = 1.63 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

$$1.32 \text{ ความดันสถิตสะสม} = -1.63 \text{ in.wg. (แรงดูด)}$$

2.1 ช่วง B-C เป็นอุปกรณ์ทำความสะอาด ในที่นี้เลือกวิธีการดูดซับ (Adsorption) โดยสารดูดซับเลือกใช้ Activated carbon

2.2 อัตราการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อดูดอากาศ (Volume Flow Rate : Q)

$$Q = 110 \times 6.38 = 701.8 \text{ cfm}$$

2.3 ความเร็วต่ำสุดของอากาศที่ใช้ในท่อ 2,000 fpm

2.4 ถึง 2.29 ไม่มีข้อมูล

2.30 ค่าของการสูญเสียความดันของอากาศ ที่ไหลผ่าน Adsorbent column ซึ่งทำให้เกิดความดันตกหรือมีการสูญเสียความดันเท่ากับ 2 in.wg

2.31 การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อ = 2 in.wg

2.32 ความดันสถิตสะสม = $(-1.63) + (-2) = -3.63 \text{ in.wg}$ (แรงดูด)

3.1 ช่วง C-D

3.2 อัตราการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อดูดอากาศ (Volume Flow Rate : Q)

$$Q = 110 \times 6.38 = 701.8 \text{ cfm}$$

3.3 ความเร็วต่ำสุดของอากาศที่ใช้ในท่อ 2,000 fpm

เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้

$$\text{จากพื้นที่ท่อ } A_{\text{duct}} = \frac{Q}{V} = \frac{701.8}{2000} = 0.35 \text{ ft}^2$$

3.4 คำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } A &= \frac{\pi D^2}{4} \\ D^2 &= \frac{4A}{\pi} = \frac{4 \times 0.35}{3.14} = 0.45 \text{ ft}^2 \\ D &= 0.67 \text{ ft} = 8.04 \text{ inch} \end{aligned}$$

เพื่อให้มั่นใจว่าความเร็วของอากาศในท่อจะไม่ต่ำกว่า 2,000 fpm จึงควรเลือกใช้ท่อมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 inch

3.5 พื้นที่หน้าตัดสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ 0.3492 ft²

3.6 หาค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อดูดอากาศจริง (Actual Duct Velocity : V_d) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V_d = \frac{Q}{A} = \frac{701.8}{0.3492} = 2009.74 \text{ fpm}$$

3.7 หาความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d) สามารถคำนวณได้จาก

$$VP_d = \left(\frac{V}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{2009.74 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 0.25 \text{ in.wg.}$$

3.8 ถึง 3.14 ไม่มีข้อมูล

3.15 คำนวณหาแฟกเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้าท่อดูดอากาศ (Hood entry loss factor : F_h) ท่อช่วงนี้จะต่ออยู่กับ Adsorbent column ในลักษณะต่อชนโดยไม่มีการใช้กรวย(มุมกรวย 180 องศา) ซึ่งจากภาพที่ 12 พบว่ามีแฟกเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้า F_h

$$F_h = 0.50 \text{ หรือ } 0.50 \text{ เท่าของ } VP_d$$

3.16 แฟกเตอร์การสูญเสียเนื่องจากการเร่งเท่ากับ 1 หรือ 1 เท่าของ VP_d

$$3.17 \text{ การสูญเสียที่ทางเข้าต่อความดันจลน์} = 0.50 + 1 = 1.50$$

$$3.18 \text{ การสูญเสียความดันที่ทางเข้า จากสมการที่ 8} \\ = 1.50 \text{ in.wg} \times 0.25 \text{ in.wg} = 0.38 \text{ in.wg}$$

$$3.19 \text{ ความดันสถิตของท่อดูดอากาศ หาได้จาก} \\ SP_h = \text{ความดันสถิตที่กล่องลม} + \text{การสูญเสียความดันที่ทางเข้า} \\ = 0 + 0.38 = 0.38 \text{ in.wg}$$

$$3.20 \text{ ความยาวของท่อตรงในช่วงนี้ คือ } L = 1.64 \text{ ft}$$

3.21 แฟกเตอร์ความเสียดทาน H_f จากสมการที่ 13 ในที่นี้เลือกใช้ท่อไฟเบอร์กลาส แต่ใช้ค่า H_f ของท่อ พีวีซี เนื่องจากมีลักษณะผิวเหมือนกัน

$$\text{โดยจากตารางที่ 5 ค่า } a = 0.0425 \quad b = 0.465 \quad c = 0.602$$

$$H_f = \frac{a(v_d)^b}{Q^c} = \frac{0.0425(2009.74 \text{ fpm})^{0.465}}{701.8 \text{ cfm}^{0.602}} = 0.03$$

$$3.22 \text{ การสูญเสียความดันของท่อตรงต่อความดันจลน์}$$

$$LH_f = (1.64 \text{ ft}) \times (0.03) = 0.05$$

$$3.23 \text{ ถึง } 3.27 \text{ ไม่มีข้อมูล}$$

$$3.28 \text{ การสูญเสียความดันในท่อต่อความดันจลน์} = 0.05$$

$$3.29 \text{ การสูญเสียความดันในท่อ}$$

$$0.05 VP_d = (0.05) \times (0.25 \text{ in.wg.}) = 0.01 \text{ in.wg}$$

3.30 ไม่มีอุปกรณ์อื่นเพิ่ม

3.31 การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อ

$$\begin{aligned} &= SP_h + SP_d \\ &= 0.38 \text{ in.wg} + 0.01 \text{ in.wg} = 0.39 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

3.32 ความดันสถิตสะสม $= (-3.63) + (-0.39) = -4.02 \text{ in.wg. (แรงดูด)}$

4.1 ช่วง E-F (ปล่องระบายอากาศ)

4.2 อัตราการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อดูดอากาศ (Volume Flow Rate : Q)

$$Q = 110 \times 6.38 = 701.8 \text{ ft}^3$$

4.3 ความเร็วต่ำสุดของอากาศที่ใช้ในท่อ 2,000 fpm

4.4 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้

$$\text{จากพื้นที่ท่อ } A_{\text{duct}} = \frac{Q}{V} = \frac{701.8}{2000} = 0.35 \text{ ft}^2$$

คำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } A &= \frac{\pi D^2}{4} \\ D^2 &= \frac{4A}{\pi} = \frac{4 \times 0.35}{3.14} = 0.45 \text{ ft}^2 \\ D &= 0.67 \text{ ft} = 8.04 \text{ inch} \end{aligned}$$

เพื่อให้มั่นใจว่าความเร็วของอากาศในท่อจะไม่ต่ำกว่า 2,000 fpm จึงควรเลือกใช้ท่อมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 inch

4.5 พื้นที่หน้าตัดสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ $= 0.3492 \text{ ft}^2$

4.6 หาค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่ออากาศจริง (Actual Duct Velocity : V_d) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V_d = \frac{Q}{A} = \frac{701.8}{0.3492} = 2009.74 \quad \text{fpm}$$

4.7 หาค่าความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d) สามารถคำนวณได้จาก

$$VP_d = \left(\frac{V}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{2009.74 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 0.25 \text{ in.wg.}$$

4.8 ถึง 4.19 ไม่มีข้อมูล

4.20 ความยาวของท่อตรงในช่วงนี้ คือ $L = 32.8 \text{ ft}$

4.21 แฟกเตอร์ความเสียดทาน H_f จากสมการที่ 13 ในที่นี้เลือกใช้ท่อไฟเบอร์กลาส แต่ใช้ค่า H_f ของท่อ พีวีซี เนื่องจากมีลักษณะผิวเหมือนกัน

โดยจาก ตารางที่ 5 ค่า $a = 0.0425$ $b = 0.465$ $c = 0.602$

$$H_f = \frac{a \times (v_d)^b}{Q^c} = \frac{0.0425 \times (2009.74 \text{ fpm})^{0.465}}{701.8 \text{ cfm}^{0.602}} = 0.03$$

4.22 การสูญเสียความดันของท่อตรงต่อความดันจลน์

$$LH_f = (32.8 \text{ ft})(0.03) = 0.98$$

4.23 ถึง 4.27 ไม่มีข้อมูล

4.28 การสูญเสียความดันในท่อต่อความดันจลน์ = 0.98

4.29 การสูญเสียความดันในท่อ

$$0.98 \times VP_d = (0.98) \times (0.25 \text{ in.wg.}) = 0.25 \text{ in.wg}$$

4.30 ไม่มีอุปกรณ์อื่นเพิ่ม

4.31 การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อ

$$\begin{aligned} &= SP_h + SP_d \\ &= 0 \text{ in.wg} + 0.25 \text{ in.wg} = 0.25 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

$$4.32 \text{ ความดันสถิตสะสม} = + 0.25 \text{ in.wg. (แรงส่ง)}$$

พัฒนาของรูปแบบที่ 1

คำนวณค่าความดันสถิตที่พัฒนาต้องสร้างขึ้นเพื่อลำเลียงอากาศในปริมาณที่ต้องการให้ไหลผ่านระบบได้เป็นหลัก (Fan Total Pressure) ได้จากสมการที่ 17

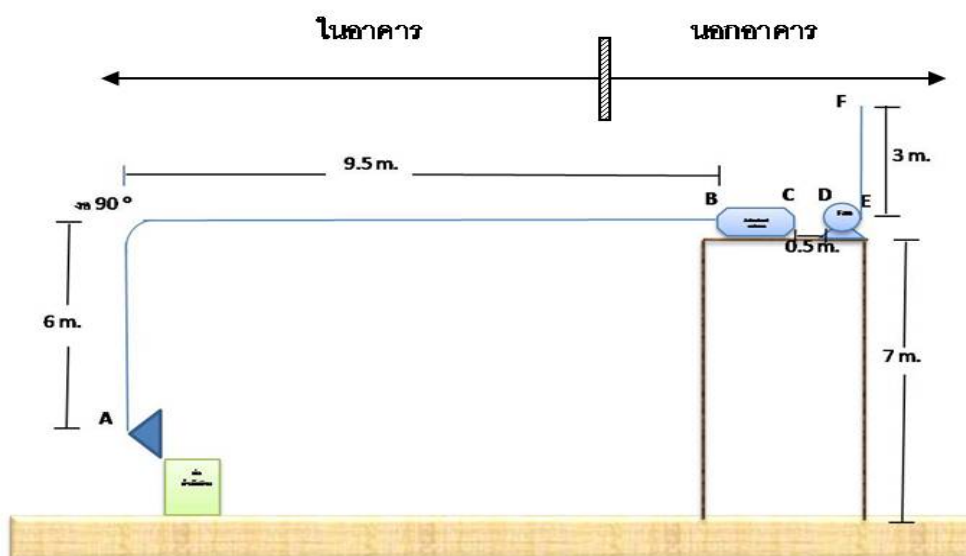
$$\begin{aligned} FTP &= TP_{\text{outlet}} - TP_{\text{inlet}} \\ &= 0.25 - (-4.02) \\ &= 4.27 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

คำนวณค่ากำลังม้าเบรกของพัดลม จากสมการที่ 18

$$\begin{aligned} BHP &= \frac{Q \times (FTP)}{6,356 \times ME} \\ &= \frac{701.8 \times (4.27)}{6,356 \times 0.70} \\ &= 0.67 \text{ hp} \end{aligned}$$

ดังนั้นกำลังขับของพัดลมของระบบระบายอากาศเฉพาะที่รูปแบบที่ 1 ตามมาตรฐาน ACGIH มีค่าเท่ากับ 0.67 hp โดยลักษณะพัดลมที่เลือกใช้ คือ พัดลมแรงเหวี่ยงแบบซี่ใบพัดเอนหลัง

แบบที่ 2 ออกแบบวางอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศและพัดลมสูงกว่าระดับพื้นดิน ดังแสดงในภาพ
ผนวกที่ ก2



ภาพผนวกที่ ก2 ออกแบบวางอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศและพัดลมสูงกว่าระดับพื้นดิน

ผลการคำนวณค่าต่างๆของระบบระบายอากาศเฉพาะที่รูปแบบที่ 2 แสดงดังตาราง
ภาคผนวกที่ ก2 โดยบรรทัดที่ 1-7 เป็นการคำนวณค่า Q,ขนาดท่อ(D,A),ความเร็วแท้จริงในท่อ
(Vd),ความดันจลน์ในท่อ(VPd) บรรทัดที่ 8-19 เป็นการคำนวณค่าความดันสูญเสียที่ท่อดูดอากาศ
(Hood) บรรทัดที่ 20-32 เป็นการคำนวณค่าความดันสูญเสียที่นำอากาศ (Duct)

ตารางผนวกที่ ก2 ผลการคำนวณค่าต่างๆของระบบระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณบ่อน้ำมันก๊าดตาม
รูปแบบที่ 2

1	ช่วงท่อที่พิจารณา	A-B	B-C	C-D	E-F
2	อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านท่อ หรือท่อ ดูดอากาศ(Q) cfm.	701.8	701.8	701.8	701.8
3	ความเร็วต่ำสุดของอากาศในท่อที่ใช้ fpm	2,000	2,000	2,000	2,000
4	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้(D) in	8.00	8.00	8.00	8.00
5	พื้นที่หน้าตัดท่อที่ใช้ (A) ft ²	0.3492	0.3492	0.3492	0.3492

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

	ช่วงท่อที่พิจารณา			A-B	B-C	C-D	E-F
6	ความเร็วที่แท้จริงของอากาศในท่อ(Vd) fpm			2009.74	2009.74	2009.74	2009.74
7	ความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (VPd) in.wg			0.25	0.25	0.25	0.25
8	HOOD	SLOT	พื้นที่ช่องแคบ ft ²	0.35	-	-	-
9			ความเร็วของอากาศที่ช่องแคบ (slot velocity :Vs) fpm	2005.14	-	-	-
10			ความดันจลน์ของอากาศที่ช่องแคบ (VPs) in.wg	0.25	-	-	-
11			แฟกเตอร์ความสูญเสียที่ผ่านช่องแคบ	1.78	-	-	-
12			แฟกเตอร์ความสูญเสียความดันเนื่องจากความเร่งของอากาศที่ผ่านช่องแคบ	1.00	-	-	-
13			การสูญเสียความดันที่กล่องลมต่อความดันจลน์ของอากาศที่ไหลผ่านช่องแคบ	2.78	-	-	-
14			ความดันสถิตที่กล่องลม in.wg	0.695	-	-	-
15		แฟกเตอร์การสูญเสียที่เข้าหัวดูด (Fh)		0.15	-	0.50	-
16		แฟกเตอร์การสูญเสียความดันอันเนื่องมาจากความเร่งของอากาศ		1.00	-	1.00	-
17		การสูญเสียความดันที่ทางเข้าต่อความดันจลน์ของอากาศซึ่งไหลผ่านท่อ (VPd)		1.15	-	1.50	-
18		ค่าความดันสูญเสียที่ทางเข้าท่อ (he) in.wg		0.29	-	0.38	-
19		ความดันสถิตของหัวดูด (SPh) in.wg		0.98	-	0.38	-

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

	ช่วงท่อที่พิจารณา	A-B	B-C	C-D	E-F
20	ความยาวของท่อในช่วงพิจารณา (L) ft	50.84	-	1.64	9.84
21	แฟกเตอร์ความเสี่ยงทานของอากาศ ที่ไหลผ่านท่อตรง (Hf)	0.03	-	0.03	0.03
22	การสูญเสียความดันของท่อตรงต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (VPd)	1.53	-	0.05	1.30
23	จำนวนของข้อเลี้ยว 90,60 องศา	1.00	-	-	-
24	การสูญเสียความดันของข้อเลี้ยวต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (VPd)	0.13	-	-	-
25	จำนวนท่อแยก	-	-	-	-
26	การสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อแยกต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (VPd)	-	-	-	-
27	แฟกเตอร์การสูญเสียความดันของข้อต่อพิเศษอื่นๆ	-	-	-	-
28	การสูญเสียความดันของท่อต่อความดันของอากาศในท่อ (VPd)	1.66	-	0.05	0.30
29	ค่าของการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อ (VPd) in.wg	0.41	-	0.01	0.08
30	ค่าของการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์อื่น in.wg	-	2.00	-	-
31	การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อของส่วนที่กำลังพิจารณา (SPd) in.wg	1.40	2.00	0.39	0.08
32	ค่าการสูญเสียความดันสถิตของระบบท่อซึ่งเป็นผลรวมของค่าการสูญเสียความดันสถิตทั้งหมด in.wg (TSP)	-1.40	-3.40	-3.79	+0.08

วิธีการคำนวณ

1.1 ช่วงท่อ A – B

1.2 อัตราการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อดูดอากาศ (Volume Flow Rate : Q)

$$Q = 110 \text{ cfm/ft}^2 \times 6.38 \text{ ft}^2 = 701.8 \text{ cfm}$$

1.3 ความเร็วต่ำสุดของอากาศที่ใช้ในท่อ 2,000 fpm (จากตารางที่ 4)

1.4 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้

$$\text{จากพื้นที่ท่อ } A_{\text{duct}} = \frac{Q}{V} = \frac{701.8}{2000} = 0.35 \text{ ft}^2$$

คำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } A &= \frac{\pi D^2}{4} \\ D^2 &= \frac{4A}{\pi} = \frac{4 \times 0.35}{3.14} = 0.45 \text{ ft}^2 \\ D &= 0.67 \text{ ft} = 8.04 \text{ inch} \end{aligned}$$

เพื่อให้มั่นใจว่าความเร็วของอากาศในท่อจะไม่ต่ำกว่า 2,000 fpm จึงควรเลือกใช้ท่อมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 inch

1.5 พื้นที่หน้าตัดสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ = 0.3492 ft²

1.6 หาค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อดูดอากาศจริง (Actual Duct Velocity : V_d) สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$V_d = \frac{Q}{A} = \frac{701.8}{0.3492} = 2009.74 \text{ fpm}$$

1.7 หาความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d) สามารถคำนวณได้จาก

$$VP_d = \left(\frac{V}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{2009.74 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 0.25 \text{ in.wg.}$$

ส่วนของ Slot

$$\text{ค่าความเร็วลมออกแบบที่ไหลผ่านช่องแคบ slot} = 2,000 \text{ fpm}$$

$$\text{พื้นที่ช่องแคบ} \quad A_{\text{slot}} = \frac{Q}{V} = \frac{701.8}{2000} = 0.35 \text{ ft}^2$$

$$\text{ความยาวของช่องแคบ} \quad L_{\text{slot}} = 3.94 \text{ ft}$$

$$\text{ความกว้างของช่องแคบ} \quad W_{\text{slot}} = \frac{A_{\text{slot}}}{L} = \frac{0.35}{3.94} = 0.09 \text{ ft} = 1.08 \text{ inch}$$

$$\text{ความลึกของช่องลม} \quad 2 \times W_{\text{slot}} = 2 \times 1.08 = 2.16 \text{ inch}$$

1.8 พื้นที่ Slot

$$\text{พื้นที่ช่องแคบ} \quad A_{\text{slot}} = \frac{Q}{V} = \frac{701.8}{2000} = 0.35 \text{ ft}^2$$

1.9 หาความเร็วที่ช่องแคบ (Slot velocity : V_s) คำนวณได้จาก

$$V_s = \frac{Q}{A_{\text{slot}}} = \frac{701.8}{0.35} = 2005.14 \text{ fpm}$$

1.10 หาความดันจลน์ของอากาศที่ช่องแคบ (Slot Velocity Pressure : VP_s) สามารถคำนวณได้จาก

$$VP_s = \left(\frac{Vs}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{2005.14 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 0.25 \text{ in.wg.}$$

1.11 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียที่เข้าช่องแคบ (Slot loss factor: F_h) หาได้จากภาพที่ 12

$$F_h = 1.78 \text{ หรือ } 1.78 \text{ เท่าของ } VP_s$$

1.12 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียความดันเนื่องมาจากความเร่งของอากาศที่ผ่านช่องแคบ (Acceleration loss factor) = 1 หรือ 1 เท่าของ VP_s

1.13 ค่าความสูญเสียความดันที่กล่อลม (plenum loss) = $1 + 1.78 = 2.78$

1.14 ค่าความดันสถิตของกล่อลม = plenum loss $\times VP_s = 2.78 \times 0.25 = 0.69 \text{ in.wg}$

1.15 คำนวณหาแฟกเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้าตู้ดูดอากาศ (Hood entry loss factor : F_h) หาได้จากภาพที่ 12 เลือกกรวยหน้าตัดสี่เหลี่ยม ทำมุม 45 องศา

$$F_h = 0.15 \text{ หรือ } 0.15 \text{ เท่าของ } VP_d$$

1.16 แฟกเตอร์การสูญเสียเนื่องจากการเร่งเท่ากับ 1 หรือ 1 เท่าของ VP_d

1.17 การสูญเสียที่ทางเข้าต่อความดันจลน์ = $0.15 + 1 = 1.15$

1.18 การสูญเสียความดันที่ทางเข้าต่อ h_c จากสมการที่ 8

$$= 1.15 \times 0.25 \text{ in.wg} = 0.29 \text{ in.wg}$$

1.19 ความดันสถิตของท่อคูอากาศ หาได้จาก

$$\begin{aligned} SP_h &= \text{ความดันสถิตที่กล่องลม} + \text{การสูญเสียความดันที่ทางเข้า} \\ &= 0.69 + 0.29 = 0.98 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

1.20 ความยาวของท่อตรงในช่วงนี้ คือ $L = 50.84 \text{ ft}$

1.21 แฟกเตอร์ความเสียหาย H_f จากสมการที่ 13 ในที่นี้เลือกใช้ท่อไฟเบอร์กลาส แต่ใช้ค่า H_f ของท่อ พีวีซี เนื่องจากมีลักษณะผิวเหมือนกัน

โดยจากตารางที่ 5 ค่า $a = 0.0425$ $b = 0.465$ $c = 0.602$

$$H_f = \frac{a(v_d)^b}{Q^c} = \frac{0.0425(2009.74 \text{ fpm}^{0.465})}{701.8 \text{ cfm}^{0.602}} = 0.03$$

1.22 การสูญเสียความดันของท่อตรงต่อความดันจลน์

$$LH_f = (50.84 \text{ ft})(0.03) = 1.53$$

1.23 จำนวนท่อเลี้ยว 90° จำนวน 1 ตัว

1.24 การสูญเสียความดันของท่อเลี้ยว

$$\text{จากภาพที่ 13 ท่อเลี้ยว } 90^\circ \text{ ท่อเรียบ (R=2D): } R/D = 1.34 / 0.67 = 2$$

$$\text{มีค่า F เท่ากับ 0.13 มีจำนวนท่อเลี้ยว 1 จุด มีค่าเท่ากับ } 1 \times 0.13 = 0.13$$

1.25 -1.26 ไม่คำนวณ เนื่องจากไม่มีท่อแยก

1.27 ไม่คำนวณ เนื่องจากไม่มีข้อต่อพิเศษอื่นๆ

$$1.28 \text{ การสูญเสียความดันในท่อต่อความดันจลน์} = 1.53 + 0.13 = 1.66$$

1.29 การสูญเสียความดันในท่อ

$$1.76 \times VP_d = (1.66) \times (0.25 \text{ in.wg.}) = 0.41 \text{ in.wg}$$

1.30 ไม่มีอุปกรณ์อื่นเพิ่ม

1.31 การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อ

$$\begin{aligned} &= SP_h + SP_d \\ &= 0.98 \text{ in.wg} + 0.41 \text{ in.wg} = 1.4 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

1.32 ความดันสถิตสะสม = - 1.4 in.wg. (แรงดูด)

2.1 ช่วง B-C เป็นอุปกรณ์ทำความสะอาด ในที่นี้เลือกวิธีการดูดซับ (Adsorption) โดยสารดูดซับเลือกใช้ Activated carbon

2.2 อัตราการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อดูดอากาศ (Volume Flow Rate : Q)

$$Q = 110 \times 6.38 = 701.8 \text{ ft}^3$$

2.3 ความเร็วต่ำสุดของอากาศที่ใช้ในท่อ 2,000 fpm

2.4 ถึง 2.29 ไม่มีข้อมูล

2.30 ค่าของการสูญเสียความดันของอากาศ ที่ไหลผ่าน Adsorbent column ซึ่งทำให้เกิดความดันตกหรือมีการสูญเสียความดันเท่ากับ 2 in.wg

2.31 การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อ = 2 in.wg

2.32 ความดันสถิตสะสม = (-1.4) + (-2) = - 3.40 in.wg (แรงดูด)

3.1 ช่วง C-D

3.2 อัตราการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อดูดอากาศ (Volume Flow Rate : Q)

$$Q = 110 \times 6.38 = 701.8 \text{ cfm}$$

3.3 ความเร็วต่ำสุดของอากาศที่ใช้ในท่อ 2,000 fpm

3.4 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้

$$\text{จากพื้นที่ท่อ } A_{\text{duct}} = \frac{Q}{V} = \frac{701.8}{2000} = 0.35 \text{ ft}^2$$

คำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } A &= \frac{\pi D^2}{4} \\ D^2 &= \frac{4A}{\pi} = \frac{4 \times 0.35}{3.14} = 0.45 \text{ ft}^2 \\ D &= 0.67 \text{ ft} = 8.04 \text{ inch} \end{aligned}$$

เพื่อให้มั่นใจว่าความเร็วของอากาศในท่อจะไม่ต่ำกว่า 2,000 fpm จึงควรเลือกใช้ท่อมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 inch

3.5 พื้นที่หน้าตัดสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ = 0.3492 ft²

3.6 หาค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อดูดอากาศจริง (Actual Duct Velocity : V_d) สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$V_d = \frac{Q}{A} = \frac{701.8}{0.3492} = 2009.74 \text{ fpm}$$

3.7 หาความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d)
สามารถคำนวณได้จาก

$$VP_d = \left(\frac{V}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{2009.74 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 0.25 \text{ in.wg.}$$

3.8 ถึง 3.14 ไม่มีข้อมูล

3.15 คำนวณหาแฟกเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้าท่อดูดอากาศ (Hood entry loss factor : F_h)
ท่อช่วงนี้จะต่ออยู่กับ Adsorbent column ในลักษณะต่อชนโดยไม่มีการใช้กรวย(มุมกรวย 180 องศา) ซึ่งจากภาพที่ 12 พบว่ามีแฟกเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้า F_h

$$F_h = 0.50 \text{ หรือ } 0.50 \text{ เท่าของ } VP_d$$

3.16 แฟกเตอร์การสูญเสียเนื่องจากการเร่งเท่ากับ 1 หรือ 1 เท่าของ VP_d

$$3.17 \text{ การสูญเสียที่ทางเข้าต่อความดันจลน์} = 0.50 + 1 = 1.50$$

3.18 การสูญเสียความดันที่ทางเข้า จากสมการที่ 8

$$= 1.50 \text{ in.wg} \times 0.25 \text{ in.wg} = 0.38 \text{ in.wg}$$

3.19 ความดันสถิตของท่อดูดอากาศ หาได้จาก

$$\begin{aligned} SP_h &= \text{ความดันสถิตที่กล่องลม} + \text{การสูญเสียความดันที่ทางเข้า} \\ &= 0 + 0.38 = 0.38 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

3.20 ความยาวของท่อตรงในช่วงนี้ คือ $L = 1.64 \text{ ft}$

3.21 แฟกเตอร์ความเสียหาย H_f จากสมการที่ 13 ในที่นี้เลือกใช้ไฟเบอร์กลาส แต่ใช้ค่า H_f ของท่อ พีวีซี เนื่องจากมีลักษณะผิวเหมือนกัน

โดยจากตารางที่ 5 ค่า $a = 0.0425$ $b = 0.465$ $c = 0.602$

$$H_f = \frac{a \times (v_d)^b}{Q^c} = \frac{0.0425 \times (2009.74 \text{ fpm}^{0.465})}{701.8 \text{ cfm}^{0.602}} = 0.03$$

3.22 การสูญเสียความดันของท่อตรงต่อความดันจลน์

$$LH_f = (1.64 \text{ ft}) \times (0.03) = 0.05$$

3.23 ถึง 3.27 ไม่มีข้อมูล

3.28 การสูญเสียความดันในท่อต่อความดันจลน์ = 0.05

3.29 การสูญเสียความดันในท่อ

$$0.05 \times VP_d = (0.05) \times (0.25 \text{ in.wg.}) = 0.01 \text{ in.wg}$$

3.30 ไม่มีอุปกรณ์อื่นเพิ่ม

3.31 การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อ

$$= SP_h + SP_d = 0.38 \text{ in.wg} + 0.01 \text{ in.wg} = 0.39 \text{ in.wg}$$

3.32 ความดันสถิตสะสม = $(-3.40) + (-0.39) = -3.79 \text{ in.wg. (แรงดูด)}$

4.1 ช่วง E-F (ปล่อยระบายอากาศ)

4.2 อัตราการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อดูดอากาศ (Volume Flow Rate : Q)

$$Q = 110 \times 6.38 = 701.8 \text{ cfm}$$

4.3 ความเร็วต่ำสุดของอากาศที่ใช้ในท่อ 2,000 fpm

4.4 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้

$$\text{จากพื้นที่ท่อ } A_{\text{duct}} = \frac{Q}{V} = \frac{701.8}{2000} = 0.35 \text{ ft}^2$$

คำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

$$\begin{aligned} \text{จาก } A &= \frac{\pi D^2}{4} \\ D^2 &= \frac{4A}{\pi} = \frac{4 \times 0.35}{3.14} = 0.45 \text{ ft}^2 \\ D &= 0.67 \text{ ft} = 8.04 \text{ inch} \end{aligned}$$

เพื่อให้มั่นใจว่าความเร็วของอากาศในท่อจะไม่ต่ำกว่า 2,000 fpm จึงควรเลือกใช้ท่อมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 inch

4.5 พื้นที่หน้าตัดสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ = 0.3492 ft²

4.6 หาค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อดูดอากาศจริง (Actual Duct Velocity : V_d) สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$V_d = \frac{Q}{A} = \frac{701.8}{0.3492} = 2009.74 \text{ fpm}$$

4.7 หาความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d)
สามารถคำนวณได้จาก

$$VP_d = \left(\frac{V}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{2009.74 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 0.25 \text{ in.wg.}$$

4.8 ถึง 4.19 ไม่มีข้อมูล

4.20 ความยาวของท่อตรงในช่วงนี้ คือ $L = 9.84 \text{ ft}$

4.21 แฟคเตอร์ความเสียหาย H_f จากสมการที่ 13 ในที่นี้เลือกใช้ท่อไฟเบอร์กลาส แต่ใช้
ค่า H_f ของท่อ พีวีซี เนื่องจากมีลักษณะผิวเหมือนกัน

โดยจากตารางที่ 5 ค่า $a = 0.0425$ $b = 0.465$ $c = 0.602$

$$H_f = \frac{a(v_d)^b}{Q^c} = \frac{0.0425(2009.74 \text{ fpm}^{0.465})}{701.8 \text{ cfm}^{0.602}} = 0.03$$

4.22 การสูญเสียความดันของท่อตรงต่อความดันจลน์

$$LH_f = (9.84 \text{ ft})(0.03) = 0.3$$

4.23 ถึง 4.27 ไม่มีข้อมูล

4.28 การสูญเสียความดันในท่อต่อความดันจลน์ = 0.30

4.29 การสูญเสียความดันในท่อ

$$0.3 \times VP_d = (0.3) \times (0.25 \text{ in.wg.}) = 0.08 \text{ in.wg.}$$

4.30 ไม่มีอุปกรณ์อื่นเพิ่ม

4.31 การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อ

$$= SP_h + SP_d = 0 \text{ in.wg} + 0.08 \text{ in.wg} = 0.08 \text{ in.wg}$$

4.32 ความดันสถิตสะสม = + 0.08 in.wg. (แรงส่ง)

พัฒนาของรูปแบบที่ 2

คำนวณค่าความดันสถิตที่พัดลมต้องสร้างขึ้นเพื่อลำเลียงอากาศในปริมาณที่ต้องการให้ไหลผ่านระบบได้เป็นหลัก (Fan Total Pressure) ได้จากสมการที่ 17

$$\begin{aligned} FTP &= TP_{\text{outlet}} - TP_{\text{inlet}} \\ &= 0.33 - (-3.54) \\ &= 3.87 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

คำนวณค่ากำลังม้าเบรกของพัดลม จากสมการที่ 18

$$\begin{aligned} BHP &= \frac{Q \times (FTP)}{6,356 \times ME} \\ &= \frac{701.8 \times (3.87)}{6,356 \times 0.70} \\ &= 0.61 \text{ hp} \end{aligned}$$

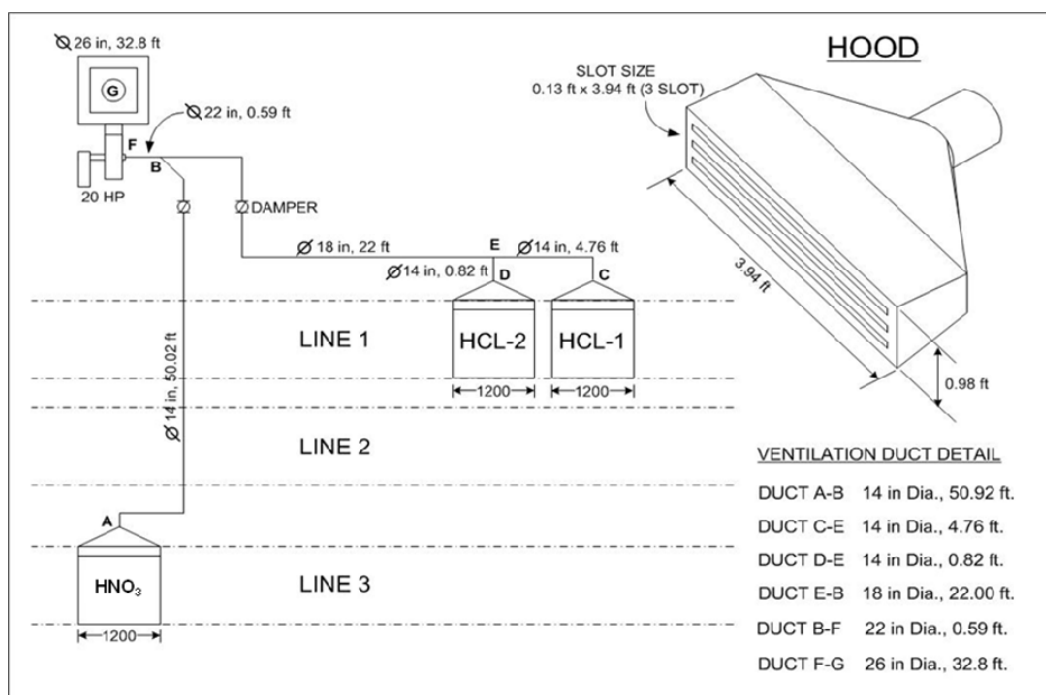
ดังนั้นกำลังขับของพัดลมของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ออกแบบไว้รูปแบบที่ 2 ตามมาตรฐาน ACGIH มีค่าเท่ากับ 0.61 hp โดยลักษณะพัดลมที่เลือกใช้ คือ พัดลมแรงเหวี่ยงแบบ ซีไบพัดเอนหลัง

ภาคผนวก ข

การคำนวณระบบระบายอากาศเฉพาะที่ติดตั้งบริเวณบ่อกรดที่ใช้ปัจจุบัน

วิธีการประเมินประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ลักษณะของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ที่ติดตั้งบริเวณบ่อกรดจำนวน 3 บ่อที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน แสดงดังภาพผนวกที่ ข 1



ภาพผนวกที่ ข1 ลักษณะของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ที่ติดตั้งบริเวณบ่อกรดจำนวน 3 บ่อ

จากภาพผนวกที่ ข1 ซึ่งเป็นระบบระบายอากาศเฉพาะที่ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ติดตั้งที่บ่อกรด 3 บ่อ ท่อดูดอากาศเป็นแบบช่องแคบหลายช่อง (Multiple Slot Hood) มีระบบท่อจะเป็นท่อรวมก่อนเข้าพัดลม และมีอุปกรณ์ทำความสะอาดแบบระบบเปียก (Wet Scrubber)

ลำดับขั้นตอนการคำนวณหาค่าอัตราการไหลของอากาศ (Q) และ กำลังขับของพัดลม (BHP) ในระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของบ่อกรด เป็นไปดังตารางผนวกที่ ข1

ตารางผนวกที่ ข1 แสดงขั้นตอนการคำนวณหาค่า Q และ ค่า BHP ของระบบระบายอากาศเฉพาะที่

1.ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของบ่อกรดที่ใช้ อยู่ในปัจจุบัน	2. การคำนวณตามมาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)
1.1ตรวจวัดความเร็วจับยึด ($V_{capture}$) ที่ตำแหน่ง หน้าท่อดูดอากาศในระยะ 1.15 ft (X) ของบ่อ กรดทั้ง 3 บ่อ เพื่อคำนวณหาอัตราการไหล ของอากาศ(Q) จาก $Q = V(10X^2 + A)$	2.1คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ จาก สมการ $Q = V(10X^2 + A)$ และจากตารางที่ 3 ได้ กำหนดค่าความเร็วจับยึดสำหรับกระบวนการ ชุบมีค่า100ถึง 200 แต่ในที่นี้จะใช้ค่าเดียวกับที่ ตรวจวัดเนื่องจากค่าดังกล่าวอยู่ในช่วง มาตรฐาน
1.2ตรวจวัดความดันสถิตก่อนเข้าพัดลมและ ออกจากพัดลม(SP_{inlet}, SP_{outlet})และ ความดันจลน์ ก่อนเข้าพัดลมในช่วงท่อB-Fและออกจากพัดลม ในช่วงท่อF-G (VP_{inlet}, VP_{outlet}) โดย $TP_{inlet} = SP_{inlet} + VP_{inlet}$ $TP_{outlet} = SP_{outlet} + VP_{outlet}$	2.2คำนวณหาความดันสถิตทั้งหมดก่อนเข้า พัดลมและออกจากพัดลม(SP_{inlet}, SP_{outlet})และ ความดันจลน์ก่อนเข้าพัดลมและออกจากพัด ลม (VP_{inlet}, VP_{outlet}) โดย $TP_{inlet} = SP_{inlet} + VP_{inlet}$ $TP_{outlet} = SP_{outlet} + VP_{outlet}$
1.3คำนวณหา กำลังขับของพัดลม (BHP)โดย หาได้จากสมการที่ (26) $FTP = TP_{outlet} - TP_{inlet}$ และสมการที่ (27) $BHP = \frac{Q \times (FTP)}{6,356 \times ME}$	2.3คำนวณหา กำลังขับของพัดลม (BHP)โดย หาได้จากสมการที่ (26) $FTP = TP_{outlet} - TP_{inlet}$ และสมการที่ (27) $BHP = \frac{Q \times (FTP)}{6,356 \times ME}$

1. ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ของบ่อกรดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ค่าความเร็วจับยึดที่ได้จากการตรวจวัด และค่าอัตราการไหลของอากาศ แสดงดังตาราง
ผนวกที่ ข2

ตารางผนวกที่ ข2 ค่าความเร็วจับยึดที่ได้จากการตรวจวัด และค่าอัตราการไหลของอากาศ

ค่าต่างๆ	ค่าเฉลี่ย V_{capture} ที่วัดได้ (fpm)	ขนาดช่องแคบ (กว้างxยาว) (ft)	พื้นที่ของช่องแคบ (ft ²)	$Q = V(10X^2 + A)$ โดยที่ $X=1.15$ ft (cfm)
บ่อ HNO ₃	163	0.31x3.94	0.51	2,238.81
บ่อ HCL-1	152	0.31x3.94	0.51	2,087.72
บ่อ HCL-2	157	0.31x3.94	0.51	2,156.39
				Q รวม = 6,482.92

1.1 จากตารางผนวกที่ ข2 ได้ Q รวม 6,482.92 cfm ซึ่งเป็นผลรวมจากค่า Q ของทั้ง 3 บ่อ

1.2 วัดความดันสถิตและความดันจลน์ในช่วง B-F ก่อนเข้าพัดลมได้เท่ากับ -11.29 in.wg (เป็นแรงดูด) และ 0.95 in.wg ตามลำดับ

1.3 คำนวณค่า $TP_{\text{inlet}} = (-11.29) + 0.95 = -10.34$ in.wg

1.4 วัดความดันสถิตและความดันจลน์ในช่วง F-G หลังออกพัดลมได้เท่ากับ 0.03 in.wg และ 0.25 in.wg ตามลำดับ

1.5 คำนวณค่า $TP_{\text{outlet}} = 0.03 + 0.25 = 0.28$ in.wg

1.6 คำนวณค่า $FTP = TP_{\text{outlet}} - TP_{\text{inlet}} = 0.28 - (-10.34) = 10.62$

1.7 คำนวณหาค่ากำลังขับของพัดลม BHP ที่ใช้ในระบบ ซึ่งมีค่า ME เท่ากับ 0.7

$$\begin{aligned}
 BHP &= \frac{Q \times (FTP)}{6,356 \times ME} \\
 &= \frac{6,482.92 \times (10.62)}{6,356 \times 0.7} \\
 &= 15.48 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

สำหรับพัดลมที่ใช้ปัจจุบันคือ รุ่น GC-600A มีอัตราการไหลของอากาศ 6533.27 cfm และมีกำลังขับของพัดลม 20 hp ซึ่งสามารถรองรับระบบในปัจจุบันได้ที่ต้องการอัตราการไหลของอากาศ 6,482.92 cfm และมีกำลังขับพัดลม 15.48 hp

การคำนวณตามมาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

ผลการคำนวณค่าต่างๆ แสดงในตารางผนวกที่ ข3 และ ข4

ตารางผนวกที่ ข3 ผลการคำนวณค่าต่างๆของระบบระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณป่อกวดตาม

มาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

ช่วงท่อ A-B,C-E,D-E,E-B

1	ช่วงท่อที่พิจารณา			A-B	C-E	D-E	E-B
2	อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านท่อ หรือท่อ ดูดอากาศ(Q) cfm.			2,238.81	2,087.72	2,156.395	4,244.12
3	ความเร็วต่ำสุดของอากาศในท่อที่ใช้ fpm			1,000	1,000	1,000	1,000
4	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้(D) in			14.00	14.00	14.00	18.00
5	พื้นที่หน้าตัดท่อที่ใช้ (A) ft ²			1.0694	1.0694	1.0694	1.7679
6	ความเร็วที่แท้จริงของอากาศในท่อ(Vd) fpm			2,093.52	1,952.23	2,016.45	2,400.66
7	ความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่ แท้จริง (VPd) in.wg			0.27	0.24	0.25	0.36
8	HOOD	SLOT	พื้นที่ช่องแคบ ft ²	0.51	0.51	0.51	-
9			ความเร็วของอากาศที่ช่อง แคบ (slot velocity :Vs) fpm	4,104.94	4,093.56	4,228.23	-
10			ความดันจลน์ของอากาศที่ ช่องแคบ (VPs) in.wg	1.05	1.04	1.11	-

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

	ช่วงท่อที่พิจารณา			A-B	C-E	D-E	E-B
11	HOOD	SLOT	แฟกเตอร์ความสูญเสียที่ผ่านช่องแคบ	1.78	1.78	1.78	-
12			แฟกเตอร์ความสูญเสียความดันเนื่องจากความเร่งของอากาศที่ผ่านช่องแคบ	1.00	1.00	1.00	-
13			การสูญเสียความดันที่ก่อลงมต่อความดันจลน์ของอากาศที่ไหลผ่านช่องแคบ	2.78	2.78	2.78	-
14			ความดันสถิตที่ก่อลงม in.wg	2.92	2.89	3.08	-
15		แฟกเตอร์การสูญเสียที่เข้าหัวดูด (Fh)		0.25	0.25	0.25	-
16		แฟกเตอร์การสูญเสียความดันอันเนื่องมาจากความเร่งของอากาศ		1.00	1.00	1.00	-
17		การสูญเสียความดันที่ทางเข้าต่อความดันจลน์ของอากาศซึ่งไหลผ่านท่อ (VPd)		1.25	1.25	1.25	-
18		ค่าความดันสูญเสียที่ทางเข้าท่อ (he) in.wg		0.34	0.30	0.31	-
19		ความดันสถิตของหัวดูด (SPh) in.wg		3.26	3.19	3.39	-
20		ความยาวของท่อในช่วงพิจารณา (L) ft			50.02	4.76	0.82
21	แฟกเตอร์ความเสียดทานของอากาศ ที่ไหลผ่านท่อตรง (Hf)			0.014	0.014	0.014	0.01
22	การสูญเสียความดันของท่อตรงต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (VPd)			0.7	0.07	0.011	0.22
23	จำนวนของข้อเสี้ยว 90,60.45 องศา			3.00	1.00	1.00	2.00
24	การสูญเสียความดันของข้อเสี้ยวต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (VPd)			0.325	0.13	0.13	0.26

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

	ช่วงท่อที่พิจารณา	A-B	C-E	D-E	E-B
25	จำนวนท่อแยก	-	-	-	-
26	การสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อแยกต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (VPd)	-	-	-	-
27	แฟกเตอร์การสูญเสียความดันของข้อต่อพิเศษอื่นๆ	-	-	-	-
28	การสูญเสียความดันของท่อต่อความดันของอากาศในท่อ (VPd)	1.025	0.20	0.14	0.48
29	ค่าของการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อ (VPd) in.wg	0.28	0.05	0.035	0.17
30	ค่าของการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์อื่น in.wg	-	-	-	-
31	การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อของส่วนที่กำลังพิจารณา (SPd) in.wg	3.54	3.24	3.425	0.17
32	ค่าการสูญเสียความดันสถิตของระบบท่อซึ่งเป็นผลรวมของค่าการสูญเสียความดันสถิตทั้งหมด in.wg (TSP)	-3.54	-6.78	-10.21	-9.89

ตารางผนวกที่ ข4 ผลการคำนวณค่าต่างๆของระบบระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณบ่อกรด ตาม

มาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

ช่วงท่อ B-F,F-G

1	ช่วงท่อที่พิจารณา	B-F	F-G
2	อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านท่อ หรือท่อดูดอากาศ(Q) cfm.	6482.93	6482.93
3	ความเร็วต่ำสุดของอากาศในท่อที่ใช้ fpm	1,000	1,000
4	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้(D) in	22.00	26.00
5	พื้นที่หน้าตัดท่อที่ใช้ (A) ft ²	2.6409	3.6885

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

	ช่วงท่อที่พิจารณา			B-F	F-G
6	ความเร็วที่แท้จริงของอากาศในท่อ (Vd) fpm			2,454.82	1,757.61
7	ความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (VPd) in.wg			0.38	0.19
8	HOOD	SLOT	พื้นที่ช่องแคบ ft ²	-	-
9			ความเร็วของอากาศที่ช่องแคบ (slot velocity :Vs) fpm	-	-
10			ความดันจลน์ของอากาศที่ช่องแคบ (VPs) in.wg	-	-
11			แฟกเตอร์ความสูญเสียที่ผ่านช่องแคบ	-	-
12			แฟกเตอร์ความสูญเสียความดันเนื่องจากความเร่งของอากาศที่ผ่านช่องแคบ	-	-
13			การสูญเสียความดันที่ก่อลงจมต่อความดันจลน์ของอากาศที่ไหลผ่านช่องแคบ	-	-
14			ความดันสถิตที่ก่อลงจม in.wg	-	-
15			แฟกเตอร์การสูญเสียที่เข้าหัวดูด (Fh)	-	-
16		แฟกเตอร์การสูญเสียความดันอันเนื่องมาจากความเร่งของอากาศ	-	-	
17		การสูญเสียความดันที่ทางเข้าต่อความดันจลน์ของอากาศซึ่งไหลผ่านท่อ (VPd)	-	-	
18		ค่าความดันสูญเสียที่ทางเข้าท่อ (he) in.wg	-	-	
19		ความดันสถิตของหัวดูด (SPh) in.wg	-	-	
20	ความยาวของท่อในช่วงพิจารณา (L) ft			0.59	32.8
21	แฟกเตอร์ความเสียดทานของอากาศ ที่ไหลผ่านท่อตรง (Hf)			0.008	0.007
22	การสูญเสียความดันของท่อตรงต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (VPd)			0.005	0.23
23	จำนวนของข้อเลี้ยว 90,60.45 องศา			-	-
24	การสูญเสียความดันของข้อเลี้ยวต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (VPd)			-	-
25	จำนวนท่อแยก			-	-

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

	ช่วงท่อที่พิจารณา	B-F	F-G
26	การสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อแยกต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (VPd)	-	-
27	แฟกเตอร์การสูญเสียความดันของข้อต่อพิเศษอื่นๆ	-	-
28	การสูญเสียความดันของท่อต่อความดันของอากาศในท่อ (VPd)	0.005	0.23
29	ค่าของการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อ (VPd) in.wg	0.0019	0.04
30	ค่าของการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์อื่น in.wg	0.5	-
31	การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อของส่วนที่กำลังพิจารณา (SPd) in.wg	0.5019	0.04
32	ค่าการสูญเสียความดันสถิตของระบบท่อซึ่งเป็นผลรวมของค่าการสูญเสียความดันสถิตทั้งหมด in.wg (TSP)	-10.02	+0.04

วิธีการคำนวณ

1.1 ช่วงท่อ A – B

1.2 อัตราการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อดูดอากาศ (Volume Flow Rate : Q)

$$Q = V \times (10X^2 + A) = 163(10 \times 1.15^2 + 0.51) = 2,238.81 \text{ cfm}$$

มาตรฐาน ACGIH กำหนดค่าความเร็วจับ 100-200 fpm.

1.3 ความเร็วต่ำสุดของอากาศที่ใช้ในท่อ 1,000 fpm (จากตารางที่ 4)

1.4 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้ = 14 inch

1.5 พื้นที่หน้าตัดสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ = 1.0694 ft²

1.6 หาค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่ออากาศจริง (Actual Duct Velocity : V_d) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V_d = \frac{Q}{A} = \frac{2,238.81}{1.0694} = 2,093.52 \text{ fpm}$$

1.7 หาค่าความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d) สามารถคำนวณได้จาก

$$VP_d = \left(\frac{V}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{2,093.52 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 0.27 \text{ in.wg.}$$

1.8 พื้นที่ Slot

$$\text{พื้นที่ช่องแคบกว้าง} \times \text{ยาว} = 0.13 \text{ ft} \times 3.94 \text{ ft} = 0.51 \text{ ft}^2$$

1.9 หาค่าความเร็วที่ช่องแคบ (Slot velocity : V_s) สามารถคำนวณได้จาก

$$V_s = \frac{2,093.52}{A_{slot}} = \frac{2,093.52}{0.51} = 4,104.94 \text{ fpm}$$

1.10 หาค่าความดันจลน์ของอากาศที่ช่องแคบ (Slot Velocity Pressure : VP_s) สามารถคำนวณได้จาก

$$VP_s = \left(\frac{V_s}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{4,104.94 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 1.05 \text{ in.wg.}$$

1.11 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียที่เข้าช่องแคบ (Slot loss factor: F_h) หาได้จากภาพที่ 12

$$F_h = 1.78 \text{ หรือ } 1.78 \text{ เท่าของ } VP_s$$

1.12 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียความดันเนื่องมาจากความเร่งของอากาศที่ผ่านช่องแคบ
(Acceleration loss factor)

$$= 1 \text{ หรือ } 1 \text{ เท่าของ } VP_s$$

1.13 ค่าความสูญเสียความดันที่กล่อ่งลม (plenum loss) = $1+1.78 = 2.78$

1.14 ค่าความดันสถิตของกล่อ่งลม = plenum loss $\times VP_s = 2.78 \times 1.05 = 2.92 \text{ in.wg}$

1.15 คำนวนหาแฟกเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้าท่อดูดอากาศ (Hood entry loss factor : F_h)
หาได้จากภาพที่ 12

$$F_h = 0.25 \text{ หรือ } 0.25 \text{ เท่าของ } VP_d$$

1.16 แฟกเตอร์การสูญเสียเนื่องจากการเร่งเท่ากับ 1 หรือ 1 เท่าของ VP_d

1.17 การสูญเสียที่ทางเข้าต่อความดันจลน์ = $0.25 + 1 = 1.25$

1.18 การสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อ h_c จากสมการที่ 8

$$h_c = 1.25 \times 0.27 \text{ in.wg} = 0.34 \text{ in.wg}$$

1.19 ความดันสถิตของท่อดูดอากาศ (SP_h) หาได้จาก

$$\begin{aligned} SP_h &= \text{ความดันสถิตที่กล่อ่งลม} + \text{การสูญเสียความดันที่ทางเข้า} \\ &= 2.92 + 0.34 = 3.26 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

1.20 ความยาวของท่อตรงในช่วงนี้ คือ $L = 50.02 \text{ ft}$

1.21 แฟกเตอร์ความเสียหาย H_f จากสมการที่ 13 ในที่นี้ใช้ท่อไฟเบอร์กลาส (FRP) แต่ใช้ค่า H_f ของท่อ พีวีซี เนื่องจากมีลักษณะผิวเหมือนกัน

โดยจากตารางที่ 5 ค่า $a = 0.0425$ $b = 0.465$ $c = 0.602$

$$H_f = \frac{a \times (v_d)^b}{Q^c} = \frac{0.0425 \times (2,093.52 \text{ fpm})^{0.465}}{2,238.81 \text{ cfm}^{0.602}} = 0.014$$

1.22 การสูญเสียความดันของท่อตรงต่อความดันจลน์

$$LH_f = (50.02 \text{ ft}) \times (0.014) = 0.7$$

1.23 จำนวนท่อเลี้ยว 90 องศา จำนวน 2 ตัว และ 45 องศา จำนวน 1 จุด

1.24 การสูญเสียความดันของท่อเลี้ยว

$$\text{การสูญเสียความดันในท่อเลี้ยว 90 องศา} = 2 \times (F) = 2 \times (0.13) = 0.26$$

$$\text{และข้อเลี้ยว 45 องศา} = 1 \times (F) = 1 \times (0.065) = 0.065$$

$$\text{ดังนั้น การสูญเสียความดันในท่อเลี้ยวทั้งหมด} = 0.26 + 0.065 = 0.325$$

1.25 -1.26 ไม่คำนวณ เนื่องจากไม่มีท่อแยก

1.27 ไม่คำนวณ เนื่องจากไม่มีข้อต่อพิเศษอื่นๆ

$$1.28 \text{ การสูญเสียความดันในท่อต่อความดันจลน์} = 0.7 + 0.325 = 1.025$$

1.29 การสูญเสียความดันในท่อ

$$1.025 \times VP_d = (1.025) \times (0.27 \text{ in.wg.}) = 0.28 \text{ in.wg.}$$

1.30 ไม่มีอุปกรณ์อื่นเพิ่ม

1.31 การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อ

$$\begin{aligned}
 &= SP_h + SP_d \\
 &= 3.26 \text{ in.wg} + 0.28 \text{ in.wg} = 3.54 \text{ in.wg}
 \end{aligned}$$

1.32 ความดันสถิตสะสม = - 3.54 in.wg. (แรงดูด)

2.1 ช่วงท่อ C – E

2.2 อัตราการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อดูดอากาศ (Volume Flow Rate : Q)

$$Q = V \times (10X^2 + A) = 152 \times (10 \times 1.15^2 + 0.51) = 2,087.72 \text{ cfm}$$

มาตรฐาน ACGIH กำหนดค่าความเร็วจับ 100-200 fpm.

2.3 ความเร็วต่ำสุดของอากาศที่ใช้ในท่อ 1,000 fpm (จากตารางที่ 4)

2.4 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้ = 14 inch

2.5 พื้นที่หน้าตัดสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ = 1.0694 ft²

2.6 หาค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อดูดอากาศจริง (Actual Duct Velocity : V_d) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V_d = \frac{Q}{A} = \frac{2,087.72}{1.0694} = 1,952.23 \text{ fpm}$$

2.7 หาค่าความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d) สามารถคำนวณได้จาก

$$VP_d = \left(\frac{V}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{1,952.23 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 0.24 \text{ in.wg.}$$

2.8 พื้นที่ Slot

$$\text{พื้นที่ช่องแคบกว้าง} \times \text{ยาว} = 0.13 \text{ ft} \times 3.94 \text{ ft} = 0.51 \text{ ft}^2$$

2.9 หาความเร็วที่ช่องแคบ (Slot velocity : V_s) คำนวณได้จาก

$$V_s = \frac{2,087.72}{A_{slot}} = \frac{2,087.72}{0.51} = 4,093.56 \text{ fpm}$$

2.10 หาความดันจลน์ของอากาศที่ช่องแคบ (Slot Velocity Pressure : VP_s) สามารถคำนวณได้จาก

$$VP_s = \left(\frac{V_s}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{4,093.56 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 1.04 \text{ in.wg.}$$

2.11 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียที่เข้าช่องแคบ (Slot loss factor: F_h) หาได้จากภาพที่ 12

$$F_h = 1.78 \text{ หรือ } 1.78 \text{ เท่าของ } VP_s$$

2.12 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียความดันเนื่องจากความเร่งของอากาศที่ผ่านช่องแคบ (Acceleration loss factor)

$$= 1 \text{ หรือ } 1 \text{ เท่าของ } VP$$

2.13 ค่าความสูญเสียความดันที่กล่อ่งลม (plenum loss) = $1 + 1.78 = 2.78$

2.14 ค่าความดันสถิตของกล่อ่งลม = plenum loss $\times VP_s = 2.78 \times 1.04 = 2.89 \text{ in.wg}$

2.15 คำนวณหาแฟคเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้าท่อดูดอากาศ (Hood entry loss factor : F_h)
หาได้จากภาพที่ 12

$$F_h = 0.25 \text{ หรือ } 0.25 \text{ เท่าของ } VP_d$$

2.16 แฟคเตอร์การสูญเสียเนื่องจากการเร่งเท่ากับ 1 หรือ 1 เท่าของ VP_d

$$2.17 \text{ การสูญเสียที่ทางเข้าต่อความดันจลน์} = 0.25 + 1 = 1.25$$

2.18 การสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อ h_e จากสมการที่ 8

$$h_e = 1.25 \times 0.24 \text{ in.wg} = 0.30 \text{ in.wg}$$

2.19 ความดันสถิตของท่อดูดอากาศ (SP_h) หาได้จาก

$$\begin{aligned} SP_h &= \text{ความดันสถิตที่กล่องลม} + \text{การสูญเสียความดันที่ทางเข้า} \\ &= 2.89 + 0.30 = 3.19 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

2.20 ความยาวของท่อตรงในช่วงนี้ คือ $L = 4.76 \text{ ft}$

2.21 แฟคเตอร์ความเสียดทาน H_f จากสมการที่ 13 ในที่นี้ใช้ท่อไฟเบอร์กลาส (FRP) แต่ใช้
ค่า H_f ของท่อ พีวีซี เนื่องจากมีลักษณะผิวเหมือนกัน

$$\text{โดยจากตารางที่ 5 ค่า } a = 0.0425 \quad b = 0.465 \quad c = 0.602$$

$$H_f = \frac{a \times (v_d)^b}{Q^c} = \frac{0.0425 \times (1,952.23 \text{ fpm})^{0.465}}{2,087.72 \text{ cfm}^{0.602}} = 0.014$$

2.22 การสูญเสียความดันของท่อตรงต่อความดันจลน์

$$LH_f = (4.76 \text{ ft}) \times (0.014) = 0.07$$

2.23 จำนวนท่อเลี้ยว 90 องศา จำนวน 1 ตัว

2.24 การสูญเสียความดันของท่อเลี้ยว

$$\text{การสูญเสียความดันในท่อเลี้ยว 90 องศา} = 1 \times (F) = 1 \times (0.13) = 0.13$$

2.25 -2.26 ไม่คำนวณ เนื่องจากไม่มีท่อแยก

2.27 ไม่คำนวณ เนื่องจากไม่มีข้อต่อพิเศษอื่นๆ

$$2.28 \text{ การสูญเสียความดันในท่อต่อความดันจลน์} = 0.07 + 0.13 = 0.20$$

2.29 การสูญเสียความดันในท่อ

$$0.2 \times VP_d = (0.2) \times (0.24 \text{ in.wg.}) = 0.05 \text{ in.wg}$$

2.30 ไม่มีอุปกรณ์อื่นเพิ่ม

2.31 การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อ

$$\begin{aligned} &= SP_h + SP_d \\ &= 3.19 \text{ in.wg} + 0.05 \text{ in.wg} = 3.24 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

$$2.32 \text{ ความดันสถิตสะสม} = 3.54 + 3.24 = -6.78 \text{ in.wg. (แรงดูด)}$$

3.1 ช่วงท่อ D-E

3.2 อัตราการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อดูดอากาศ (Volume Flow Rate : Q)

$$Q = V \times (10X^2 + A) = 157 \times (10 \times 1.15^2 + 0.51) = 2,156.395 \text{ cfm}$$

มาตรฐาน ACGIH กำหนดค่าความเร็วจับ 100-200 fpm.

3.3 ความเร็วต่ำสุดของอากาศที่ใช้ในท่อ 1,000 fpm (จากตารางที่ 4)

3.4 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้ = 14 inch

3.5 พื้นที่หน้าตัดสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ = 1.0694 ft²

3.6 หาค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อดูดอากาศจริง (Actual Duct Velocity : V_d) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V_d = \frac{Q}{A} = \frac{2,156.395}{1.0694} = 2,016.45 \text{ fpm}$$

3.7 หาความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d) สามารถคำนวณได้จาก

$$VP_d = \left(\frac{V}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{2,016.45 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 0.25 \text{ in.wg.}$$

3.8 พื้นที่ Slot

$$\text{พื้นที่ช่องแคบกว้าง} \times \text{ยาว} = 0.13 \text{ ft} \times 3.94 \text{ ft} = 0.51 \text{ ft}^2$$

3.9 หาความเร็วที่ช่องแคบ (Slot velocity : V_s) คำนวณได้จาก

$$V_s = \frac{2,156.395}{A_{slot}} = \frac{2,156.395}{0.51} = 4,228.23 \quad \text{fpm}$$

3.10 หาความดันจลน์ของอากาศที่ช่องแคบ (Slot Velocity Pressure : VP_s) สามารถคำนวณได้จาก

$$VP_s = \left(\frac{V_s}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{4,228.23 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 1.11 \text{ in.wg.}$$

3.11 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียที่เข้าช่องแคบ (Slot loss factor: F_h) หาได้จากภาพที่ 12

$$F_h = 1.78 \text{ หรือ } 1.78 \text{ เท่าของ } VP_s$$

3.12 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียความดันเนื่องมาจากความเร่งของอากาศที่ผ่านช่องแคบ (Acceleration loss factor)

$$= 1 \text{ หรือ } 1 \text{ เท่าของ } VP_s$$

3.13 ค่าความสูญเสียความดันที่กล่อ่งลม (plenum loss) = $1 + 1.78 = 2.78$

3.14 ค่าความดันสถิตของกล่อ่งลม = plenum loss $\times VP_s = 2.78 \times 1.11 = 3.08 \text{ in.wg}$

3.15 คำนวณหาแฟกเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้าท่อดูดอากาศ (Hood entry loss factor : F_h) หาได้จากภาพที่ 12

$$F_h = 0.25 \text{ หรือ } 0.25 \text{ เท่าของ } VP_d$$

3.16 แฟกเตอร์การสูญเสียเนื่องจากการเร่งเท่ากับ 1 หรือ 1 เท่าของ VP_d

3.17 การสูญเสียที่ทางเข้าต่อความดันจลน์ = $0.25 + 1 = 1.25$

3.18 การสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อ h_e จากสมการที่ 8

$$h_e = 1.25 \times 0.25 \text{ in.wg} = 0.31 \text{ in.wg}$$

3.19 ความดันสถิตของท่อดูดอากาศ (SP_h) หาได้จาก

$$\begin{aligned} SP_h &= \text{ความดันสถิตที่กล่องลม} + \text{การสูญเสียความดันที่ทางเข้า} \\ &= 3.08 + 0.31 = 3.39 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

3.20 ความยาวของท่อตรงในช่วงนี้ คือ $L = 0.82 \text{ ft}$

3.21 แฟกเตอร์ความเสียหาย H_f จากสมการที่ 13 ในที่นี้ใช้ท่อไฟเบอร์กลาส (FRP) แต่ใช้ค่า H_f ของท่อ พีวีซี เนื่องจากมีลักษณะผิวเหมือนกัน

$$\text{โดยจากตารางที่ 5 ค่า } a = 0.0425 \quad b = 0.465 \quad c = 0.602$$

$$H_f = \frac{a \times (v_d)^b}{Q^c} = \frac{0.0425 \times (2,016.45 \text{ fpm})^{0.465}}{2,156.395 \text{ cfm}^{0.602}} = 0.014$$

3.22 การสูญเสียความดันของท่อตรงต่อความดันจลน์

$$LH_f = (0.82 \text{ ft}) \times (0.014) = 0.011$$

3.23 จำนวนท่อเลี้ยว 90 องศาจำนวน 1 ตัว

3.24 การสูญเสียความดันของท่อเลี้ยว

$$\text{การสูญเสียความดันในท่อเลี้ยว 90 องศา} = 1 \times (F) = 1 \times (0.13) = 0.13$$

3.25 -3.26 ไม่คำนวณ เนื่องจากไม่มีท่อแยก

3.27 ไม่คำนวณ เนื่องจากไม่มีข้อต่อพิเศษอื่นๆ

3.28 การสูญเสียความดันในท่อต่อความดันจลน์ $= 0.011 + 0.13 = 0.14$

3.29 การสูญเสียความดันในท่อ

$$0.14 \times VP_d = (0.14) \times (0.25 \text{ in.wg.}) = 0.035 \text{ in.wg}$$

3.30 ไม่มีอุปกรณ์อื่นเพิ่ม

3.31 การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อ

$$\begin{aligned} &= SP_h + SP_d \\ &= 3.39 \text{ in.wg} + 0.035 \text{ in.wg} = 3.425 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

3.32 ความดันสถิตสะสม $= 3.54 + 3.24 + 3.425 = -10.21 \text{ in.wg. (แรงดูด)}$

พิจารณาความดันสถิตที่จุด E

ก) อัตราการไหล (Q) ณ จุด E คือ $Q_{C-E} + Q_{D-E} = 2,087.72 + 2,156.395 = 4,244.12 \text{ cfm}$

ข) เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำอากาศจากชุด $D = 350 \text{ mm. หรือ } 14 \text{ inch}$

ค) พื้นที่หน้าตัดของท่อขนาด 14 inch คือ $A = 1.0694 \text{ ft}^2$

ง) ความเร็วจริงของอากาศในท่อ $V_d = Q/A = 4,244.12 \text{ cfm} / 1.0694 \text{ ft}^2$, $V_d = 3,968.69 \text{ fpm}$

จ) ความดันจลน์ของอากาศในท่อ $VP_d = (V_d/4,005)^2$
 $= (3,968.69/4,005)^2 = 0.98 \text{ in.wg.}$

ณ จุด E มีการเพิ่มขนาดท่อจาก 14 inch เป็น 18 inch ทำให้ได้แรงดันสถิตกลับคืน โดย

ข) เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำอากาศจากชุด $D = 450 \text{ mm. หรือ } 18 \text{ inch}$

ค) พื้นที่หน้าตัดของท่อขนาด 18 in คือ $A = 1.7679 \text{ ft}^2$

ง) ความเร็วจริงของอากาศในท่อ $V_d = Q/A = 4,244.12 \text{ cfm} / 1.7679 \text{ ft}^2$, $V_d = 2,400.66 \text{ fpm}$

$$\begin{aligned}\text{จ) ความดันจลน์ของอากาศในท่อ } VP_d &= (V_d/4,005)^2 \\ &= (2,400.66/4,005)^2 = 0.36 \text{ in.wg.}\end{aligned}$$

ฉ) แรงดันสถิตที่ได้คืนจากท่อขยาย 14 inch เป็น 18 inch (350 mm ---> 450 mm)

เมื่อ $R = 0.79$ จากตารางค่าสปส. $D_2/D_1 = 18 \text{ inch}/14 \text{ inch} = 1.28$

$$\begin{aligned}SP_2 &= SP_1 - (R \times (VP_1 - VP_2)) \\ &= 10.21 \text{ in.wg} - (0.79 \times (0.98 \text{ in.wg} - 0.36 \text{ in.wg})) \\ &= 10.21 \text{ in.wg} - 0.49 \text{ in.wg.}\end{aligned}$$

ได้แรงดันสถิตกลับคืน 0.49 in.wg. เพราะฉะนั้นได้แรงดันสถิตในท่อ E-B ณ จุด E เท่ากับ

$$SP = -9.72 \text{ in.wg. (แรงดูด)}$$

ช) ความดันสถิตสะสม (SP) = -9.72 in.wg. (แรงดูด)

4.1 ช่วงท่อ E-B

4.2 เป็นช่วงท่อไม่มีท่อดูดอากาศ มีอัตราการไหลของอากาศ = $2,087.72 + 2,156.395 = 4,244.12 \text{ cfm}$

4.3 ไม่มีท่อดูดอากาศ

4.4 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้ = 18 inch

4.5 พื้นที่หน้าตัดสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ = 1.7679 ft^2

4.6 หาค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อดูดอากาศจริง (Actual Duct Velocity : V_d) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V_d = \frac{Q}{A} = \frac{4,244.12}{1.7679} = 2,400.66 \text{ fpm}$$

4.7 หาความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d) สามารถ คำนวณได้จาก

$$VP_d = \left(\frac{V}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{2,400.66 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 0.36 \text{ in.wg.}$$

4.8 ถึง 4.19 ไม่มีข้อมูล

4.20 ความยาวของท่อตรงในช่วงนี้ คือ $L = 22 \text{ ft}$

4.21 แฟกเตอร์ความเสียดทาน H_f จากสมการที่ 13 ในที่นี้ใช้ท่อไฟเบอร์กลาส (FRP) แต่ใช้ค่า H_f ของท่อ พีวีซี เนื่องจากมีลักษณะผิวเหมือนกัน

โดยจากตารางที่ 5 ค่า $a = 0.0425$ $b = 0.465$ $c = 0.602$

$$H_f = \frac{a \times (v_d)^b}{Q^c} = \frac{0.0425 \times (2400.66 \text{ fpm})^{0.465}}{4,244.12 \text{ cfm}^{0.602}} = 0.01$$

4.22 การสูญเสียความดันของท่อตรงต่อความดันจลน์

$$LH_f = (22 \text{ ft}) \times (0.01) = 0.22$$

4.23 จำนวนท่อเลี้ยว 90 องศาจำนวน 2 ตัว

4.24 การสูญเสียความดันของท่อเลี้ยว

$$\text{การสูญเสียความดันในท่อเลี้ยว 90 องศา} = 2(F) = 2(0.13) = 0.26$$

4.25 -4.26 ไม่คำนวณ เนื่องจากไม่มีท่อแยก

4.27 ไม่คำนวณ เนื่องจากไม่มีข้อต่อพิเศษอื่นๆ

$$4.28 \text{ การสูญเสียความดันในท่อต่อความดันจลน์} = 0.22 + 0.26 = 0.48$$

$$4.29 \text{ การสูญเสียความดันในท่อ}$$

$$0.48 \times VP_d = (0.48) \times (0.36 \text{ in.wg.}) = 0.17 \text{ in.wg}$$

$$4.30 \text{ ไม่มีอุปกรณ์อื่นเพิ่ม}$$

$$4.31 \text{ การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อ}$$

$$= SP_h + SP_d$$

$$= 0 \text{ in.wg} + 0.17 \text{ in.wg} = 0.17 \text{ in.wg}$$

$$4.32 \text{ ความดันสถิตสะสม} = 9.72 + 0.17 = -9.89 \text{ in.wg. (แรงดูด)}$$

พิจารณาความดันสถิตที่จุด B

$$\text{ก) อัตราการไหล (Q) ณ จุด E คือ } Q_{E-B} + Q_{A-B} = 4,244.12 + 2,238.81 = 6,482.93 \text{ cfm}$$

$$\text{ข) เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำอากาศจากชุด } D = 450 \text{ mm. หรือ } 18 \text{ inch}$$

$$\text{ค) พื้นที่หน้าตัดของท่อขนาด } 18 \text{ inch คือ } A = 1.7679 \text{ ft}^2$$

$$\text{ง) ความเร็วจริงของอากาศในท่อ } Vd = Q/A = 6,482.93 \text{ cfm} / 1.7679 \text{ ft}^2, Vd = 3,667.02 \text{ fpm}$$

$$\begin{aligned} \text{จ) ความดันจลน์ของอากาศในท่อ } VP_d &= (Vd/4,005)^2 \\ &= (3,667.02/4,005)^2 = 0.84 \text{ in.wg.} \end{aligned}$$

ณ จุด B มีการเพิ่มขนาดท่อจาก 18 inch เป็น 22 inch ทำให้ได้ความดันสถิตกลับคืน โดย

$$\text{ข) เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำอากาศจากชุดอากาศ } D = 550 \text{ mm. หรือ } 22 \text{ inch}$$

$$\text{ค) พื้นที่หน้าตัดของท่อขนาด } 22 \text{ inch คือ } A = 2.6409 \text{ ft}^2$$

$$\text{ง) ความเร็วจริงของอากาศในท่อ } Vd = Q/A = 6,482.93 \text{ cfm} / 2.6409 \text{ ft}^2, Vd = 2,454.82 \text{ fpm}$$

$$\begin{aligned} \text{จ) ความดันจลน์ของอากาศในท่อ } VP_d &= (Vd/4,005)^2 \\ &= (2,454.82/4,005)^2 = 0.38 \text{ in.wg.} \end{aligned}$$

ก) แรงดันสถิตที่ได้คืนจากท่อขยาย 18 inch เป็น 22 inch (450 mm ---> 550 mm)

เมื่อ $R = 0.8$ จากตารางค่าสปส. $D2/D1 = 22 \text{ inch}/18 \text{ inch} = 1.22$

$$\begin{aligned} SP2 &= SP1 - R(VP1 - VP2) \\ &= 9.89 \text{ in.wg} - 0.80(0.84 \text{ in.wg} - 0.38 \text{ in.wg}) \\ &= 9.89 \text{ in.wg} - 0.368 \text{ in.wg.} \end{aligned}$$

ได้แรงดันสถิตกลับคืน 0.368 in.wg. เพราะฉะนั้นได้แรงดันสถิตในท่อ B-F ณ จุด B เท่ากับ

$$SP = -9.52 \text{ in.wg. (แรงดูด)}$$

ข) ความดันสถิตสะสม (SP) = -9.52 in.wg. (แรงดูด)

5.1 ช่วงท่อ B-F (ท่อMain ก่อนเข้าอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ)

5.2 เป็นช่วงท่อไม่มีท่อดูดอากาศ มีอัตราการไหลของอากาศ = 6,482.93 cfm

5.3 ไม่มีท่อดูดอากาศ

5.4 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้ = 22 inch

5.5 พื้นที่หน้าตัดสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ = 2.6409 ft²

5.6 หาค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อดูดอากาศจริง (Actual Duct Velocity : V_d) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V_d = \frac{Q}{A} = \frac{6,482.93}{2.6409} = 2,454.82 \text{ fpm}$$

5.7 หาค่าความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d) สามารถคำนวณได้จาก

$$VP_d = \left(\frac{V}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{2,454.82 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 0.38 \text{ in.wg.}$$

5.8 ถึง 5.19 ไม่มีข้อมูล

5.20 ความยาวของท่อตรงในช่วงนี้ คือ $L = 0.59$ ft

5.21 แฟกเตอร์ความเสียหาย H_f จากสมการที่ 13 ในที่นี้ใช้ท่อไฟเบอร์กลาส (FRP) แต่ใช้ค่า H_f ของท่อ พีวีซี เนื่องจากมีลักษณะผิวเหมือนกัน

โดยจากตารางที่ 5 ค่า $a = 0.0425$ $b = 0.465$ $c = 0.602$

$$H_f = \frac{a \times (v_d)^b}{Q^c} = \frac{0.0425 \times (2,454.82 \text{ fpm})^{0.465}}{6482.93 \text{ cfm}^{0.602}} = 0.008$$

5.22 การสูญเสียความดันของท่อตรงต่อความดันจลน์

$$LH_f = (0.59 \text{ ft}) \times (0.008) = 0.005$$

5.23 -5.24 ไม่มีท่อเลี้ยว

5.25 – 5.26 ไม่มีท่อแยก

5.27 ไม่คำนวณ เนื่องจากไม่มีข้อต่อพิเศษอื่นๆ

5.28 การสูญเสียความดันในท่อต่อความดันจลน์ $= 0.005 + 0 = 0.005$

5.29 การสูญเสียความดันในท่อ

$$0.005 \times VP_d = (0.005) \times (0.38 \text{ in.wg.}) = 0.0019 \text{ in.wg}$$

5.30 ต่อเข้ากับอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ Wet Scrubber มีความดันดันตก 0.5 in.wg

5.31 การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อ

$$\begin{aligned} &= SP_h + SP_d \\ &= 0.5 \text{ in.wg} + 0.0019 \text{ in.wg} = 0.5019 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

5.32 ความดันสถิตสะสม = $9.52 + 0.5019 = -10.02 \text{ in.wg. (แรงดูด)}$

6.1 ช่วงท่อ F-G (ปล่องระบายอากาศ)

6.2 มีอัตราการไหลของอากาศ 6,482.93 cfm

6.3 ไม่มีท่อดูดอากาศ

6.4 เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ใช้ = 26 inch

6.5 พื้นที่หน้าตัดสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ = 3.6885 ft^2

6.6 หาค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อดูดอากาศจริง (Actual Duct Velocity : V_d) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V_d = \frac{Q}{A} = \frac{6,482.93}{3.6885} = 1,757.61 \text{ fpm}$$

6.7 หาความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d) สามารถคำนวณได้จาก

$$VP_d = \left(\frac{V}{4,005} \right)^2 = \left(\frac{1,757.61 \text{ fpm}}{4,005} \right)^2 = 0.19 \text{ in.wg.}$$

6.8 ถึง 6.19 ไม่มีข้อมูล

6.20 ความยาวของท่อตรงในช่วงนี้ คือ $L = 32.8 \text{ ft}$

6.21 แฟกเตอร์ความเสียหาย H_f จากสมการที่ 13 ในที่นี้ใช้ท่อไฟเบอร์กลาส (FRP) แต่ใช้ค่า H_f ของท่อ พีวีซี เนื่องจากมีลักษณะผิวเหมือนกัน

โดยจากตารางที่ 5 ค่า $a = 0.0425$ $b = 0.465$ $c = 0.602$

$$H_f = \frac{a \times (v_d)^b}{Q^c} = \frac{0.0425 \times (1,757.61 \text{ fpm}^{0.465})}{6,482.93 \text{ cfm}^{0.602}} = 0.007$$

6.22 การสูญเสียความดันของท่อตรงต่อความดันจลน์

$$LH_f = (32.8 \text{ ft}) \times (0.007) = 0.23$$

6.23 -6.24 ไม่มีท่อเลี้ยว

6.25 – 6.26 ไม่มีท่อแยก

6.27 ไม่คำนวณ เนื่องจากไม่มีข้อต่อพิเศษอื่นๆ

6.28 การสูญเสียความดันในท่อต่อความดันจลน์ $= 0.23 + 0 = 0.23$

6.29 การสูญเสียความดันในท่อ

$$0.23 \times VP_d = (0.23) \times (0.19 \text{ in.wg.}) = 0.04 \text{ in.wg.}$$

6.30 ไม่มีอุปกรณ์อื่นเพิ่ม

6.31 การสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อ

$$\begin{aligned} &= SP_h + SP_d \\ &= 0 + 0.04 \text{ in.wg} = 0.04 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

6.32 ความดันสถิตสะสม = 0.04 = +0.04 in.wg. (แรงส่ง)

คำนวณกำลังขับของพัดลม

คำนวณค่าความดันสถิตที่พัดลมต้องสร้างขึ้นเพื่อลำเลียงอากาศในปริมาณที่ต้องการให้ไหลผ่านระบบได้เป็นหลัก (Fan Total Pressure) ได้จากสมการที่ 17

$$\begin{aligned} FTP &= TP_{\text{outlet}} - TP_{\text{inlet}} \\ &= 0.23 - (-9.64) \\ &= 9.87 \text{ in.wg} \end{aligned}$$

คำนวณค่ากำลังม้าเบรกของพัดลม จากสมการที่ 16

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= \frac{Q \times (FTP)}{6,356 \times ME} \\ &= \frac{6,482.93 \times (9.64)}{6,356 \times 0.70} \\ &= 14.05 \text{ hp} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ก

มาตรฐาน American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

สำหรับ Open Surface Tanks Figure

ตารางผนวกที่ ค1 การจำแนกประเภทอันตรายของสารเคมี

มาตรฐานด้านสุขภาพสัตว์			
ประเภทอันตราย	Gas and Vapor	Mist	Flash point
A	0-10 ppm	0-0.1 mg/m ³	-
B	1-100 ppm	0.11-1.0 mg/m ³	Under 100 F
C	101-500 ppm	1.1-10 mg/m ³	100-200 F
D	Over 500 ppm	Over 10 mg/m ³	Over 200 F

ที่มา: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

ตารางผนวกที่ ค2 การจำแนกอัตราการเกิดแก๊ส ไอ และละอองไอ

Rate	Liquid Temperature (F)	Degree Below Boiling Point(F)	Relative Evaporation(Time for 100% Evaporation)	Gassing
1	Over 200	0-20	Fast(0-3 hours)	High
2	150-200	21-50	Medium (3-12 hours)	Medium
3	94-149	51-100	Slow (12-50 hours)	Low
4	Under 94	Over 100	Nil (Over 50 hours)	Nil

ที่มา: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

ตารางผนวกที่ ค3 ความเร็วควบคุมต่ำสุดสำหรับสถานที่ที่ไม่มีการระบาย

class	Enclosing Hood		Lateral Exhaust	Canopy Hoods	
	One open side	Two open side		Three Open sides	Four Open Sides
A-1 and A2	100	150	150	Do not use	Do not use
A-3,B-1,B-2,C-1,D-1	75	100	100	125	175
B-3,C-2,D-1	65	90	75	100	150
A-4,C-3,D-2	50	75	50	75	125
B-4,C-4,D-3,D4	Adequate General room ventilation Required				

ที่มา: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

ตารางผนวกที่ ค4 อัตราการไหลของอากาศสำหรับบ่อที่มีท่อดูดอากาศด้านข้าง cfm/ft^2

cfm/ft^2 to maintain required minimum control velocities at following Tank width/Tank length (W/L) ratios					
Required minimum control velocity, fpm	0.0-0.09	0.1-0.24	0.25-0.49	0.5-0.99	1.0-2.0
Hood against wall or flanged (See VS-70-01A and VS-70-02 D and E)					
50	50	60	75	90	100
75	75	90	110	130	150
100	100	125	150	175	200
150	150	190	225	(250)	(250)

ที่มา: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล

นางสาวกฤษฎา สุภจิตรานนท์

วัน เดือน ปี ที่เกิด

วันที่ 10 ตุลาคม 2522

สถานที่เกิด

แพร่

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์)

มหาวิทยาลัยมหิดล