



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

วิศวกรรมศาสตร์

สาขา

คณะ

เรื่อง การออกแบบระบบระบายอากาศเพื่อลดสารพิษปนเปื้อนภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่

Design of Ventilation System for Reducing Toxic Contaminants in Battery
Charging Room

นามผู้วิจัย นางสาวตติยา ผินประดับ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์กรรมมณฑ์ ชูประเสริฐ, วศ.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พลกฤต กฤษไ่มตรี, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบระบบระบายอากาศเพื่อลดสารพิษปนเปื้อน
ภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่

**Design of Ventilation System for Reducing Toxic Contaminants
in Battery Charging Room**

โดย

นางสาวตติยา ผินประดับ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

พ.ศ. 2557

ตติยา ผินประดับ 2557: การออกแบบระบบระบายอากาศเพื่อลดสารพิษปนเปื้อน
ภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรม
ความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์กรรมมณฑ์ ชูประเสริฐ, Ph.D. 115 หน้า

โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมที่มีการใช้รถยนต์ที่ใช้แบตเตอรี่จะมีระบบระบายอากาศ
เพื่อลดปริมาณสารพิษที่ปนเปื้อนขณะที่มีการชาร์ตแบตเตอรี่ ซึ่งระหว่างการชาร์ตแบตเตอรี่จะมี
ก๊าซพิษในรูปของละอองไอของสารเคมีปล่อยออกมา โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการออกแบบ
ระบบระบายอากาศในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ที่มีปริมาตรของห้องเท่ากับ 896 m^3 ซึ่งมีระบบระบาย
อากาศที่มีอยู่เดิมในห้องจำนวน 1 ท่อ และใช้พัดลมในการระบายอากาศแบบ Centrifugal Fans
ชนิด Forward Curve Blade Fans โดยในการวิจัยนี้มุ่งเน้นในการศึกษาสมรรถนะของระบบ
ระบายอากาศที่มีอยู่ และทำการออกแบบระบบระบายอากาศใหม่ให้ถูกต้องตามมาตรฐาน
ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist)

จากการศึกษาได้ทำการออกแบบระบบโดยเพิ่มส่วนระบายอากาศซึ่งประกอบไปด้วย
พัดลมประเภท Axial Fan 2 ชุด ต่อแบบขนานกัน แต่ละชุดกำหนดให้มีอัตราการไหลของ
อากาศ, ความเร็วลมท่อ, ขนาดของท่อที่ใช้, ความดันสถิตของพัดลมและขนาดของพัดลมที่
เท่ากัน จากผลการทดสอบระบบระบายอากาศที่อุณหภูมิ 37°C พบว่าอัตราการไหลของอากาศ
เท่ากับ $2.81 \text{ m}^3/\text{s}$ และ $2.82 \text{ m}^3/\text{s}$, ความดันสถิตของพัดลม 218 Pa และขนาดกำลัง 1.38 kW
ตามลำดับผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟิวริกในพื้นที่
ทำงานมีค่าลดลงโดยผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน ACGIH ที่ระดับความเข้มข้นของตะกั่วและ
กรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.011 และ $0.022 \text{ mg}/\text{m}^3$ ตามลำดับ

Tatiya Pinpradab 2014: Design of Ventilation System for Reducing Toxic Contaminants in Battery Charging Room. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Faculty of Engineering. Thesis Advisor: Mr. Kummun Chooprasird, Ph.D. 115 pages.

In general, the industries that have been used forklift in batteries type have ventilation system to reduce the amount of toxic contaminants while charging the battery. During battery charging, which are toxic gases in the form of mist released. The design of the ventilation system in the battery charging process of the volume of this room is 896 m^3 , which has a ventilation system existing and use a Centrifugal Fans of Forward Curve Blade Fans type to ventilate. In this research focuses on the performance of the existing ventilation system and design the new ventilation system that followed by ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist).

The study is to design from a conventional system by increasing the two Axial Fan type with parallel flow ventilation. An airflow rate, air-velocity, duct-size, static pressure and size of fan are the same in both. The results of the ventilation test at temperature 37°C , the flow rate is $2.81 \text{ m}^3/\text{s}$ and $2.82 \text{ m}^3/\text{s}$. static pressure of fan is 217 Pa and power of the Axial Fan is 1.38 kW respectively. Result of lead and sulfuric acid sampling in the work area is reduced and passed by ACGIH standard at the concentrations of lead and sulfuric acid is $0.011 \text{ mg}/\text{m}^3$ and $0.022 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Student's signature

_____/_____/_____
Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือและขัดเกลาเพื่อความสำเร็จของงานวิจัยจากบุคคลหลายๆ ฝ่าย ดังนั้นจึงขอแสดงความขอบคุณทุกท่านดังมีรายนามต่อไปนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อ.ดร.กรมมันธ์ ชูประเสริฐ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะ และแก้ไขในสิ่งที่บกพร่องมาโดยตลอด นับตั้งแต่แนวคิดในการทำการวิจัยจนจบโครงการ และแนะนำในการเพิ่มเนื้อหาเพื่อเพิ่มความสำเร็จลงไปด้วยดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมความปลอดภัย และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการภาควิชาวิศวกรรมความปลอดภัยทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกเสมอมา

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บริษัท ไทยบริดจสโตน จำกัด สถานที่ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ และนายสมเกียรติ กระจ่างชีพ ผู้บังคับบัญชา ที่ให้โอกาส และเพื่อนร่วมงานที่ได้ช่วยเหลือให้คำปรึกษาพร้อมสนับสนุนด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ที่สำคัญ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา พี่น้อง และผู้มีอุปการะคุณทุกท่านที่คอยให้การช่วยเหลือสนับสนุนด้านข้อมูล คำปรึกษา และดูแล คอยให้กำลังใจ ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ตติยา ผินประดับ

มิถุนายน 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
การตรวจเอกสาร	8
อุปกรณ์และวิธีการ	42
อุปกรณ์	42
วิธีการ	43
ผลและวิจารณ์	46
สรุปและข้อเสนอแนะ	61
สรุป	61
ข้อเสนอแนะ	62
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	64
ภาคผนวก	66
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	115

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศ (ค่าเสนอแนะ)	10
2	ความเร็วลมต่ำสุดในท่อสำหรับสารปนเปื้อนลักษณะต่างๆ	18
3	ความเร็วของอากาศต่ำสุด (capture velocity) สำหรับการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนจากแหล่งในลักษณะต่างๆ	23
4	กฎของพัดลม	33
5	ผลการตรวจวัดความเร็วลมหน้าท่อ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบระบายอากาศท่อเดิมที่มีอยู่	47
6	ผลการคำนวณหาค่าการสูญเสียความดันสถิตของระบบระบายอากาศ ณ สภาวะปัจจุบันช่วงท่อ A – D	48
7	ผลการหาค่าความดันรวม อัตราการไหลของอากาศ และกำลังมอเตอร์ที่สภาวะปัจจุบัน	49
8	ผลการตรวจวัดค่าความเข้มข้นสารตะกั่วและกรดซัลฟิวริกก่อนการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่	51
9	ผลการคำนวณหาค่าการสูญเสียความดันสถิตของระบบระบายอากาศแบบใหม่ช่วงท่อ A – D (ท่อเส้นที่ 1 และ 2)	54
10	ผลการหาค่าความดันรวม อัตราการไหลของอากาศ และกำลังมอเตอร์ที่สภาวะปัจจุบันของท่อเส้นที่ 1 และท่อเส้นที่ 2	55
11	ผลการตรวจวัดความเร็วลมและอัตราการไหลของอากาศในท่อของระบบระบายอากาศท่อเดิม และท่อใหม่เส้นที่ 1 และเส้นที่ 2 เปรียบเทียบก่อนและหลังการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่	56
12	ผลการตรวจวัดค่าความเข้มข้นสารตะกั่วและกรดซัลฟิวริกหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศเส้นท่อที่ 1 และเส้นท่อที่ 2	58
13	ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟิวริกในบรรยากาศภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ก่อนและหลังการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่ เปรียบเทียบกับมาตรฐาน ACGIH	59
14	ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟิวริกในอากาศออกจากที่ระบายปล่องเปรียบเทียบกับประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ.2549	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	การตรวจวัดความเร็วลมและหาค่าอัตราการไหล ณ จุดตรวจวัด ที่ 1 – 14 ของระบบระบายอากาศท่อเดิมที่มีอยู่	69
2	การตรวจวัดความเร็วลมและหาค่าอัตราการไหล ณ จุดตรวจวัด ที่ 8 – 14 ของระบบระบายอากาศท่อเดิมที่มีอยู่	70
3	การคำนวณระบบระบายอากาศท่อเดิมที่มีอยู่	85
4	การคำนวณระบบระบายอากาศของเส้นท่อที่ 1 และ 2	107
5	ค่าอุณหภูมิเทียบกับค่าความหนาแน่นของอากาศ	112
6	ผลการตรวจวัดระดับความดังของเสียงภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่	114

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนประกอบของของรยยกที่ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังขับเคลื่อน	1
2	ตำแหน่งของห้องชาร์ตแบตเตอรี่และสถานที่ข้างเคียง	4
3	แบตเตอรี่ที่ใช้กับรยยก	9
4	ส่วนประกอบของระบบระบายอากาศเฉพาะที่	14
5	ค่าของตัวประกอบความดันสูญเสียจากการไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ	17
6	ท่อดูดอากาศแบบเ็นโคสซิ่ง (Enclosing Hood)	19
7	ท่อดูดอากาศแบบแบบรีชีฟวี่ง (Receiving or Canopy Hood)	20
8	ท่อดูดอากาศแบบแคปเจอร์ริง (Capturing Hood)	21
9	ประสิทธิภาพของท่อดูดที่มีปีกกันและไม่มีปีกกัน	24
10	ลักษณะของชุดชนิดต่างๆ และสูตรคำนวณอัตราการไหลของอากาศ	25
11	ลักษณะของชุดชนิดต่างๆ	26
12	ระบบแทปเปอร์ (Tapered System)	27
13	ระบบพลินัม (Plenum System)	28
14	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอ 90° สำหรับท่อสี่เหลี่ยม	28
15	สัมประสิทธิ์สูญเสียที่ท่อสาขา	29
16	ความดันสถิตที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มขนาดท่อ	30
17	ความดันสถิตที่เพิ่มขึ้นจากการลดขนาดท่อ	31
18	ลักษณะของส่วนติดตั้งใบพัด และใบพัดของ Centrifugal Fans สามชนิด	34
19	ลักษณะของส่วนติดตั้งใบพัด และใบพัดของ Axial Fans ทั้งสามชนิด	36
20	เครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นสารตะกั่วและกรดซัลฟูริก	42
21	เครื่องมือตรวจวัดความเร็วลม	42
22	ตำแหน่งในการตรวจวัดความเร็วลมของอากาศที่ทางเข้าท่อแต่ละท่อ จำนวน 14 ตำแหน่ง	46
23	วงกลมแสดงตำแหน่งในการตรวจวัดความเข้มข้นของสารตะกั่ว และกรดซัลฟูริกของห้องชาร์ตแบตเตอรี่	51
24	ลักษณะของเส้นท่อที่ออกแบบใหม่ในห้องชาร์ตแบตเตอรี่	53
25	กราฟสมรรถนะของพัดลมที่ใช้ของระบบระบายอากาศใหม่ใน ห้องชาร์ตแบตเตอรี่	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
1	ลักษณะของเส้นท่อในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ที่มีอยู่เดิม	67
2	ลักษณะตำแหน่งของเส้นท่อที่ตรวจวัดความเร็วลมในห้องชาร์ต แบตเตอรี่ที่มีอยู่เดิม	68
3	จุดในการตรวจวัดความเร็วลมของอากาศที่ทางเข้าท่อแต่ละตำแหน่ง ของท่อจำนวน 5 จุด	68
4	แฟลคเตอร์ความสูญเสียจากความเสียดทานสำหรับท่อกัลวาไนซ์	73
5	ลักษณะของเส้นท่อในห้องชาร์ตแบตเตอรี่เมื่อติดตั้งระบบระบาย อากาศใหม่	89
6	ลักษณะของเส้นท่อใหม่เส้นที่ 1 และ 2	90
7	ความเสียดทานของอากาศในท่อตรง อยู่ในช่วงปริมาณ 10 ถึง 2000 cfm	92
8	ขนาดท่อสี่เหลี่ยมเทียบกับขนาดท่อวงกลม	93
9	กราฟสมรรถนะของพัดลมที่ใช้ของระบบระบายอากาศใหม่	111
10	ระบบระบายอากาศใหม่ที่ติดตั้งในห้องชาร์ตแบตเตอรี่	113
11	ตำแหน่งในการตรวจวัดระดับความดังของเสียงภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่	114

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

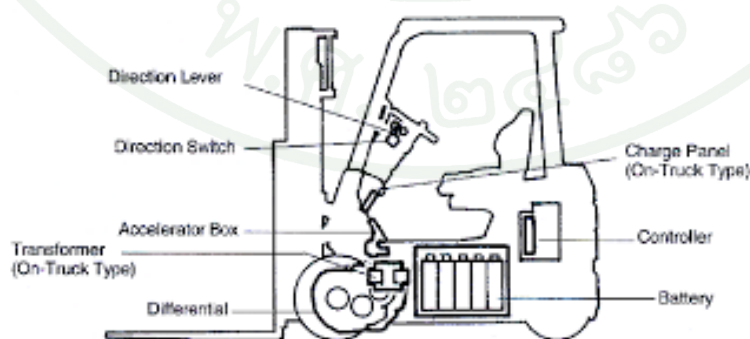
A	=	พื้นที่หน้าตัดของท่อดูดอากาศ (ตารางเมตร, m^2)
BHP	=	แรงม้า
cfm	=	ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
fpm	=	ฟุตต่อนาที
FSP	=	ความดันสถิตของพัดลม (Pa)
FTP	=	ความดันรวมของพัดลม (Pa)
F_h	=	แฟคเตอร์ความดันสูญเสียเมื่ออากาศเข้าสู่ท่อดูดอากาศ (ไม่มีหน่วย)
H_f	=	แฟคเตอร์ความสูญเสียจากความเสียดทานของอากาศที่ไหลผ่านท่อน้ำ
in.wg	=	นิ้วน้ำ
L	=	ความยาวของท่อ (เมตร, m)
ME	=	เป็นค่าประสิทธิภาพเชิงของพัดลม
m/s	=	เมตรต่อวินาที
m^3/s	=	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
Q	=	อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที, m^3/s)
$Rho(\rho)$	=	ค่าความหนาแน่นของอากาศ
SP	=	ความดันสถิต (Pa)
SP_{inlet}	=	ความดันสถิตก่อนเข้าพัดลม (Pa)
SP_{outlet}	=	ความดันสถิตหลังออกจากพัดลม (Pa)
TP	=	ความดันรวม (Pa)
V	=	ความเร็วของอากาศ (เมตรต่อวินาที, m/s)
VP	=	ความดันเคลื่อนที่ (Pa)
VP_d	=	ความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Pa)
VP_{inlet}	=	ความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Pa)

การออกแบบระบบระบายอากาศเพื่อลดสารพิษปนเปื้อน ภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่

Design of Ventilation System for Reducing Toxic Contaminants in Battery Charging Room

คำนำ

ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ในประเทศไทยมีความจำเป็นต้องใช้รถยก รถลาก สำหรับเป็นเครื่องทุ่นแรงในการยก เคลื่อนย้ายวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ในโรงงาน เพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิตให้มีประสิทธิภาพ ประหยัดเวลา และยังเพิ่มความสะดวกในการทำงานให้กับพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงมีการใช้รถยก รถลากกันเป็นจำนวนมาก ซึ่งรถยก แบ่งออกตามประเภทของต้นกำลังขับเคลื่อนได้ 2 ประเภท คือ รถยกที่ใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลัง โดยใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง และรถยกไฟฟ้าใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนโดยได้รับกระแสไฟฟ้ามาจากแบตเตอรี่ ส่วนใหญ่รถยก รถลากที่ใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมจะเป็นประเภทของรถยก รถลากที่ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังขับเคลื่อน (ใช้แบตเตอรี่) มากกว่าประเภทของรถยก รถลากที่ใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลังขับเคลื่อน (ใช้น้ำมัน) เนื่องจากมีความคงทน และอายุยาวนาน ทนต่อการสั่นสะเทือนและแรงกระแทกได้ดี ง่ายในการดูแลบำรุงรักษา และการนำไปใช้งาน อีกทั้งยังมีผลกระทบทางด้านมลพิษที่น้อยกว่า เนื่องจากไม่มีเสียงดังรบกวน ในขณะที่ใช้งาน ซึ่งเป็นการป้องกันมลภาวะทางเสียงและอากาศ



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของของรถยกที่ใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังขับเคลื่อน

แบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนโดยได้รับกระแสไฟฟ้ามาจากแบตเตอรี่ซึ่งเป็นชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-Acid Battery) แบตเตอรี่จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานทางเคมีเพื่อการจัดเก็บเมื่อมีการชาร์จแบตเตอรี่ จากนั้นเมื่อรถยนต์จำเป็นต้องใช้ไฟฟ้า พลังงานเคมีนั้นก็จะถูกเปลี่ยนกลับไปอยู่ในรูปพลังงานไฟฟ้า หรือถูกปล่อยประจุไฟฟ้าออกมา ขั้วไฟฟ้าประจุบวก (Positive Electrode Plate) ทำมาจากตะกั่วไดออกไซด์ (PbO_2) และขั้วไฟฟ้าประจุลบ (Negative Electrode Plate) ทำมาจากสารตะกั่ว (Pb) มีตัวแยกกระหว่างขั้วไฟฟ้าประจุบวกและขั้วไฟฟ้าประจุลบซึ่งจะถูกแช่อยู่ในอิเล็กโทรไลต์ คือ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) โดยกระบวนการทางเคมีของการชาร์จและการปล่อยกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดของรถยนต์ เป็นดังนี้ แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการทางเคมีของการชาร์จและการปล่อยกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่นั้นในแต่ละครั้งจะขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ด้วย

	อิเล็กโทรดประจุบวก	อิเล็กโทรไลต์	อิเล็กโทรดประจุลบ
ชาร์จเต็ม	PbO_2	$+2\text{H}_2\text{SO}_4$	$+\text{Pb}$
	↑ ↓	↑ ↓	↑ ↓
ปล่อยหมด	PbSO_4	$+2\text{H}_2\text{O}$	$+\text{PbSO}_4$

การทำงานของพนักงานที่ทำงานกับรถยนต์ รถลากของบริษัท ไทยบริดจสโตน จำกัด (โรงงานหนองแค) พนักงานจะต้องเข้าไปทำการชาร์จแบตเตอรี่ที่ห้องชาร์จแบตเตอรี่หลายครั้งต่อหนึ่งวัน ซึ่งในแต่ละครั้งจะใช้เวลาในการเปลี่ยนแบตเตอรี่และทำการชาร์จประจุเข้าไปใหม่เป็นเวลา 10 - 15 นาที และการชาร์จแบตเตอรี่แต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง ขึ้นกับสภาพของแบตเตอรี่แต่ละลูก โดยในขณะที่ทำการชาร์จแบตเตอรี่จะมีการเปิดฝาของแบตเตอรี่ไว้ แบตเตอรี่จะมีก๊าซพิษเป็นส่วนผสมอยู่ในขั้นตอนของพลังงานเคมี อันได้แก่ สารตะกั่ว (Pb) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) โดยสารตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายที่สามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษได้มี 2 ลักษณะ คือ 1.ความเป็นพิษเฉียบพลันจะก่อให้เกิดอาการท้องร่วง คลื่นไส้ อาเจียน หรือมีอาการของระบบประสาทส่วนกลาง 2.ความเป็นพิษเรื้อรังจะก่อให้เกิดอาการทางระบบทางเดินอาหารและระบบประสาท และกรดซัลฟูริกจะมีพิษกัดกร่อนรุนแรง หากสัมผัสกับผิวหนังจะทำให้เป็นแผลไหม้ ปวดแสบปวดร้อน หากสัมผัสถูกตาจะทำให้ตาพร่ามัว หากหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อปาก จมูก คอ และปอด ก๊าซพิษในแบตเตอรี่จะมีการระเหยออกมา

ตามฝาของแบตเตอรี่ที่เปิดเอาไว้ในขณะที่ทำการชาร์ตแบตเตอรี่ โดยสถานะของห้องชาร์ตแบตเตอรี่มีจำนวนแบตเตอรี่ในห้องที่เพิ่มมากขึ้นจากเดิม และยังไม่ได้มีการปรับปรุงระบบระบายอากาศที่มีอยู่เดิมให้สามารถเจือจางสารตะกั่วให้ดียิ่งขึ้น โดยพนักงานที่ขับรถยก รถลาก มีข้อร้องเรียนว่าไม่สามารถทนต่อกลิ่นของสารตะกั่วและกรดซัลฟิวริก ซึ่งมีกลิ่นฉุน แสบจมูก

ดังนั้นการออกแบบระบบระบายอากาศในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ให้มีความเหมาะสมและเพียงพอต่อการเจือจางสารพิษที่มีอยู่ในแบตเตอรี่จึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้พนักงานทำงานได้อย่างปลอดภัย มีประสิทธิภาพในการทำงาน และไม่มีผลกระทบต่อปัญหาทางด้านสุขภาพในอนาคต

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ออกแบบระบบระบายอากาศในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ เพื่อเจือจางความเข้มข้นของก๊าซพิษ คือ สารตะกั่ว และกรดซัลฟูริกในอากาศในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อพนักงาน
2. เพื่อลดความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟูริกในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ไม่ให้มีความเข้มข้นมากในห้องชาร์ตแบตเตอรี่หลังการออกแบบระบบระบายอากาศ
3. เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบระบายอากาศให้ห้องชาร์ตแบตเตอรี่ในสถานที่อื่น

ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีแนวทางการศึกษาเพื่อออกแบบระบบระบายอากาศที่ห้องชาร์ตแบตเตอรี่ของโรงงาน ไทยบริตจิสโตน จำกัด (โรงงานหนองแค) ขนาดห้องกว้าง 16 เมตร ยาว 8 เมตร สูง 7 เมตร ปริมาตรห้อง เท่ากับ 896 m^3 มีจำนวนแบตเตอรี่ 40 ลูก พัดลมที่ใช้ในห้องชาร์ตแบตเตอรี่เป็นประเภท Centrifugal Fans ชนิด Forward Curve Blade Fans ซึ่งเป็นพัดลมที่สามารถดูดอากาศด้วยความเร็วสูงที่ความเร็วรอบต่ำกว่าพัดลมชนิดอื่นๆ โดยบริเวณทางด้านซ้ายของห้องชาร์ตแบตเตอรี่เป็นห้องซ่อมบำรุง ด้านขวาเป็นลานขนส่งยาง และด้านตรงข้ามเป็นโรงอาหาร พนักงานที่ได้รับสัมผัสกับสารตะกั่วและกรดซัลฟูริก คือพนักงานขับรถยก รถลาก พนักงานซ่อมบำรุงที่อยู่ห้องด้านข้าง และพนักงานที่เดินผ่านไปโรงอาหาร



ภาพที่ 2 ตำแหน่งของห้องชาร์ตแบตเตอรี่และสถานที่ข้างเคียง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีระบบระบายอากาศที่เพียงพอและเหมาะสมในห้องชาร์ตแบตเตอรี่
2. ความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟูริกในอากาศในห้องชาร์ตแบตเตอรี่อยู่ในระดับที่ลดลงและผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน
3. ไม่มีข้อร้องเรียนจากพนักงานในเรื่องกลิ่นจากแบตเตอรี่ของรถยก รถลาก และพนักงานที่ทำงานหน้าห้องชาร์ตแบตเตอรี่
4. ไม่มีปัญหาต่อสุขภาพของพนักงานในระยะยาว

นิยามศัพท์

1. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) คือ สถาบันทำความเย็น ปรับอากาศ ระบายอากาศ และทำความร้อนแห่งอเมริกา
2. การระบายอากาศเฉพาะที่ หมายถึง การนำสารปนเปื้อนที่กำลังเคลื่อนที่จากแหล่ง (กระบวนการผลิต) สู่อากาศโดยระบบระบายอากาศ ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อรวบรวมสารปนเปื้อนที่แหล่งหรือใกล้แหล่งของสารนั้น ก่อนที่สารจะฟุ้งกระจายหรือระเหยขึ้นสู่อากาศในระดับหายใจของผู้ปฏิบัติงาน
3. การคำนวณระบบระบายอากาศ หมายถึง การคำนวณขนาดของพัดลมที่สามารถทำให้สารปนเปื้อนที่เกิดขึ้นเคลื่อนเข้าสู่ระบบตามที่ต้องการ
4. การเปลี่ยนอากาศ (Air Change) หมายถึง อัตราการระบายอากาศต่อปริมาตรห้องหรือจำนวนครั้งที่อากาศภายในห้องทั้งหมดถูกแทนที่ด้วยอากาศจากภายนอกในเวลาหนึ่งชั่วโมง
5. ท่อดูดอากาศ (Hood) หมายถึง อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อให้เป็นทางเข้าของอากาศเสียในระบบระบายอากาศเพื่อควบคุมอากาศเสีย
6. แดมเปอร์ (Damper) หมายถึง อุปกรณ์ใช้สำหรับปรับปริมาณลมในการกระจายปริมาณลมของระบบระบายอากาศ
7. ความดันสถิตย (Static Pressure, SP) หมายถึง ความดันภายในท่อที่ทำให้ท่อคงรูปอยู่ได้ และอาจทำให้ระเบิดออกหากความดันภายในสูงเกินความต้านทานของท่อ หรืออาจทำให้ท่อยุบตัวได้หากความดันภายนอกสูงกว่าความดันภายในหรือความต้านทานของท่อ ความดันสถิตยเป็นพลังงานศักย์ของระบบ อาจมีค่าเป็นได้ทั้งบวกหรือลบ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นค่าที่วัดเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศในพื้นที่นั้น นั่นคือ ถ้าความดันภายในท่อสูงกว่าความดันบรรยากาศภายนอกความดันสถิตยจะมีค่าเป็นบวก และถ้าความดันในท่อดำกว่าความดันสถิตยจะมีค่าเป็นลบ
8. ความดันเคลื่อนที่ (Velocity Pressure, VP) หมายถึง พลังงานที่แรงอากาศซึ่งหยุดนิ่งให้มีความเร็วระดับหนึ่ง ดังนั้น ความดันเคลื่อนที่จึงเป็นสัดส่วนกับพลังงานจลน์ของกระแสอากาศ
9. ความดันรวม (Total Pressure, TP) หมายถึง ผลรวมของความดันสถิตยกับความดันที่เกิดจากอากาศเคลื่อนที่ไปในทิศทางหนึ่งดังนั้นความดันรวม (TP) จะเท่ากับความดันสถิตย (SP) รวมกับความดันเคลื่อนที่ (VP) เสมอโดยความดันรวมอาจเป็นบวกหรือลบได้ เมื่อเทียบกับความดันบรรยากาศ และค่าความดันรวมเป็นความดันที่แสดงถึงพลังงานที่มีอยู่ในกระแสอากาศ ค่าความดันรวมจะลดลง เมื่ออากาศไหลผ่านท่อไปทางด้านใต้ลม จุดเดียวที่ความดันรวมสูงขึ้น คือ บริเวณหน้าพัดลม

10. ความเร็วในท่อ (Duct Velocity, Vd) หมายถึง ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านหน้าตัดท่อในกรณีที่สารปนเปื้อนในรูปอนุภาคของแข็ง (ฝุ่น) ปะปนมากับอากาศความเร็วในท่อต้องมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าความเร็วต่ำสุดที่ต้องการสำหรับพาสารปนเปื้อนดังกล่าวให้ไหลไปพร้อมกับอากาศได้โดยไม่เกิดการตกค้างในระบบ

11. ความสูญเสียภายในระบบระบายอากาศ (Pressure Loss หรือ Pressure Drop) หมายถึง การสูญเสียความดันที่เกิดจากการที่อากาศไหลเข้าสู่หัวดูดและท่อความเสียดทานของอากาศกับท่อตรงข้อต่อท่อลดและท่อขยายแรงต้านทานของระบบบำบัดมลพิษอากาศความสูญเสียจากพัดลมและปล่องซึ่งรวมกันแล้วจะทำให้ทราบได้ว่าจะต้องใช้พัดลมซึ่งมีกำลังเท่าใดเพื่อเอาชนะความสูญเสียจากพัดลมและปล่องซึ่งรวมกันแล้วจะทำให้ทราบได้ว่าจะต้องใช้พัดลมซึ่งมีกำลังเท่าใดเพื่อเอาชนะความสูญเสียเหล่านี้โดยยังคงใช้ระบบระบายอากาศทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้

12. ค่าขีดจำกัดที่ยอมให้สัมผัสได้ในสถานที่ทำงาน (OELs) หมายถึง ระดับความเข้มข้นของสารเคมีหรือปัจจัยเสี่ยงต่อสุขภาพในสถานที่ทำงาน ซึ่งเชื่อว่าผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่สามารถสัมผัสได้วันแล้ววันเล่าตามเงื่อนไขที่กำหนดโดยไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

13. ดัชนีชี้วัดการสัมผัสสารทางชีวภาพ (BEIs) หมายถึง ระดับสารชี้วัดในร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งบ่งชี้การสัมผัสสารโดยรวมในร่างกาย ซึ่งอาจได้รับจากในงานหรือนอกงาน

14. ค่าขีดจำกัดเฉลี่ยตลอดเวลาทำงาน (TWA) หมายถึง ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงานซึ่งโดยทั่วไป คือ 8 ชั่วโมงต่อวัน และ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

15. ค่าขีดจำกัดสำหรับการสัมผัสในระยะสั้นๆ (STEL) หมายถึง ค่าความเข้มข้นของสารเคมีเฉลี่ยที่พนักงานสัมผัสได้ไม่เกิน 15 นาที

16. ค่าขีดจำกัดสูงสุด (C) หมายถึง ค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารในอากาศ ณ เวลาใดๆ ห้ามมิให้เกินค่านี้ในขณะปฏิบัติงาน

17. ค่าขีดจำกัดที่ยอมรับให้สัมผัสได้ (PELs) หมายถึง ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศแต่ละชนิดที่ยอมรับให้สัมผัสได้ โดยนำมาออกเป็นกฎหมาย ค่ามาตรฐานทางด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย

18. ค่าแนะนำของขีดจำกัดที่ยอมรับให้สัมผัสได้ (RELs) หมายถึง ค่าความเข้มข้นของสารเคมีที่ปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน โดยเป็นค่าแนะนำที่ยอมรับให้สัมผัสได้

การตรวจเอกสาร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุรียกันต์ (2553) ทำการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพจากไอระเหยของกรดซัลฟูริกในแบตเตอรี่รถยนต์ประจุไฟฟ้า ในห้องขนาด 10 x 15 เมตร สูง 10 เมตร โดยเป็นการศึกษาการกระจายตัวของไอกรดซัลฟูริกขณะที่ทำการชาร์ตแบตเตอรี่โดยทำแบบจำลอง Pyrosim 2010 เทียบกับการตรวจวัดไอกรดจริง ด้วยวิธีไอออน โครมาโตกราฟี จากการศึกษาพบว่า มีการแพร่กระจายของไอกรดซัลฟูริกในอากาศ ขณะประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ โดยไอกรดมีการกระจายตัวในลักษณะลอยต่ำที่ผิวของแบตเตอรี่ และลอยใกล้พื้น และผลการตรวจวัดที่พบไม่เกินค่าตามที่มาตรฐานของ ACGIH กำหนด

สุรเชษฐ์ (2548) ทำการศึกษาเชิงวิเคราะห์ในระบบระบายอากาศ สำหรับห้องชาร์ตแบตเตอรี่รถยนต์ เนื่องจากการระบายอากาศเป็นสิ่งสำคัญภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่รถยนต์ ซึ่งระหว่างการชาร์ตแบตเตอรี่จะมีก๊าซพิษและละอองไอของสารเคมีถูกปล่อยออกมา การศึกษาครั้งนี้ศึกษาห้องชาร์ตแบตเตอรี่รถยนต์ที่มีพื้นที่ 112 ตารางเมตร และมีความสูง 3.5 เมตร ระบบระบายอากาศนี้ประกอบด้วยท่อระบายอากาศ 2 ท่อ และใช้พัดลมแบบใบโค้งไปข้างหน้าในการระบายอากาศ การศึกษานี้พบว่าอัตราการระบายอากาศที่ต่างกันมีความสำคัญ เนื่องจากการออกแบบระบบระบายอากาศที่ดีต้องให้ความสำคัญกับปัจจัยต่าง ๆ ที่ศึกษา เช่น การความดันสถิตและความสูญเสียความดันในเส้นท่อที่เกิดขึ้นระหว่างระบบทำงาน

ปิยมาศ (2550) ทำการศึกษาประสิทธิภาพระบบระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณที่มีการบัดกรีด้วยลวดตะกั่วในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้ายานยนต์ ทำให้พบว่ามีข้อร้องเรียนจากพนักงานเกี่ยวกับกลิ่นของตะกั่ว จึงศึกษาโดยการตรวจวัดความเข้มข้นของสารตะกั่วทางด้านสุขศาสตร์อุตสาหกรรม และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานของสารตะกั่วตามมาตรฐานของ ACGIH แล้วนำค่าที่ได้มาสรุป และเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไข

ศรียรรัตนา (2551) ทำการศึกษาการออกแบบระบบระบายอากาศในโรงงานผลิตเคมีกรณีศึกษาการระบายอากาศในห้อง PL-Z โดยผลการวิเคราะห์พบว่า ความเร็วลมในการจับอนุภาคฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการผลิตมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ACGIH มาก จึงทำการศึกษาเพื่อทำการออกแบบแนวเส้นท่อ และระบบใหม่ทั้งหมด เพื่อเน้นในเรื่องการลดแรงเสียดทาน และการสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบท่อ เพื่อให้ค่าต่างๆ เป็นไปตามที่มาตรฐาน ACGIH กำหนด

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อลดปริมาณสารพิษปนเปื้อนภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ โดยการออกแบบระบบระบายอากาศให้มีความเพียงพอเพื่อเป็นการควบคุมความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟิวริกในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ โดยมีแนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทำวิทยานิพนธ์

1. กระบวนการเกิดก๊าซอันตรายขณะทำการชาร์ตแบตเตอรี่และผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงาน การชาร์ตแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดนั้นสามารถก่อให้เกิดอันตรายขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม ผู้ปฏิบัติงานอาจไม่ทราบถึงอันตรายดังกล่าวเนื่องจากในสถานที่ทำงานหลายแห่งนั้น การชาร์ตแบตเตอรี่นี้เป็นเพียงกิจกรรมทั่วไปอย่างหนึ่งเท่านั้น สำหรับความเสี่ยงอันตรายของการชาร์ตแบตเตอรี่ก็คือ อันตรายจากก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นเมื่อกำลังทำการชาร์ตแบตเตอรี่ และอันตรายจากกรดซัลฟิวริกในของเหลวที่อยู่ในแบตเตอรี่



ภาพที่ 3 แบตเตอรี่ที่ใช้กับรถยก

ที่มา: บริษัท ไทยบริดจสโตน จำกัด (2557)

อันตรายของการถูกกรดกัดเมื่อปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่

เมื่อปฏิบัติงานกับแบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรดนั้น ผิวหนังของผู้ปฏิบัติงานอาจถูกกัดได้ โดยกรดซัลฟิวริกเป็นกรดที่ใช้ในแบตเตอรี่ประเภทนี้และกรดชนิดนี้มีฤทธิ์ในการกัดกร่อน ในกรณีที่ผู้ปฏิบัติงานมีการสัมผัสกับกรดซัลฟิวริกในขณะที่เทกรดลงไปในแบตเตอรี่หรือในขณะที่ถือแบตเตอรี่ที่มีการรั่ว กรดนั้นก็อาจกัดและทำลายผิวหนังของผู้ปฏิบัติงานนั้นได้ รวมทั้งสามารถกัดเนื้อเยื่อของร่างกายส่วนอื่นทั้งหมดที่เกี่ยวข้องได้ ยกตัวอย่างเช่น ดวงตา ทางเดินหายใจ หรือระบบทางเดินอาหารก็อาจเกิดอันตรายที่รุนแรงได้

2. มาตรฐานของค่าความเข้มข้นของก๊าซอันตรายในอากาศที่สามารถสัมผัสได้

ตารางที่ 1 ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศ (ค่าเสนอแนะ)

ชื่อสารเคมี [CAS No.]	OELs ชนิดต่าง ๆ			มวล โมเลกุล	PELs (OSHA)	RELs (NIOSH)	เป้าหมาย การ ป้องกัน
	TWA	STEL	หมายเหตุ				
Lead (II) oxide (PbO ₂) [1317-36-8]	0.05 mg/m ³	-	-	239	0.05 mg/m ³	0.05 mg/m ³	-
Lead sulfate (PbSO ₄) [7446-14-2]	0.05 mg/m ³	-	A2	303	0.05 mg/m ³	0.05 mg/m ³	-
Sulfuric Acid (H ₂ SO ₄) [7664-93-9]	0.2 mg/m ³	-	A2	98	1 mg/m ³	1 mg/m ³	Pulmonary Function

หมายเหตุ OELs คือ Occupational Exposure Limit

PELs คือ Permissible Exposure Limit

RELs คือ Recommended Exposure Limit

A2 คือ สงสัยว่าเป็นมะเร็งในมนุษย์ หมายถึง สารที่ก่อให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง

ที่มา: American Conference of Government Industrial Hygienists (2005)

3. หลักการในการเคลื่อนที่ของอากาศ

การไหลในระบบระบายอากาศ เป็นการไหลที่เกิดในท่อที่ดูดเอาสารอันตรายออกไปจากบริเวณที่คนงานทำงาน หรือเป็นการทำให้สารอันตรายนั้นเจือจาง จนถึงระดับที่ไม่เป็นอันตรายกับคนงาน การออกแบบระบบระบายอากาศนั้น ต้องมีการคำนวณที่อ้างอิงถึงสภาวะของอากาศ และสิ่งแวดล้อม

โดยการไหลของอากาศเกิดขึ้นจากความแตกต่างของความดัน โดยจะไหลจากที่ที่มีความดันสูงไปยังที่มีความดันต่ำกว่า ปริมาณ และความเร็วของการไหล อัตราการไหลและความเร็วเฉลี่ยอัตราการไหล (flow rate) ของของไหล คือ ปริมาตรของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดที่กำหนดในหนึ่งหน่วยเวลา หน่วยของอัตราการไหลจึงเป็นหน่วยของปริมาตรต่อหน่วยเวลา นั่นคือ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีความเร็วเฉลี่ย (mean velocity) บนหน้าตัดที่กำหนด คือ ค่าอัตราการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดหารด้วยพื้นที่หน้าตัด แสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการได้ดังนี้

$$Q = AV \quad (1)$$

เมื่อ	Q	คือ	ปริมาตรของอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
	V	คือ	ความเร็วของอากาศ (เมตรต่อวินาที)
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของท่อดูดอากาศ (ตารางเมตร)

ประเภทของการไหล

การไหลของของไหลแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ

1. การไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ (turbulent flow) เป็นการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบ มีตำแหน่งไม่แน่นอน เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคอื่น ๆ บนหน้าตัดของการไหลใด ๆ

2. การไหลแบบลามินาร์ (laminar flow) เป็นการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบ มีตำแหน่งแน่นอน เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคอื่น ๆ บนหน้าตัดของการไหลใด ๆ

ชนิดของความดันของการไหล

สามารถแบ่งชนิดของความดันที่ใช้คำนวณออกได้ 3 ชนิด ดังนี้

1. ความดันสถิต (Static pressure, SP) คือ แรงที่อัดหรือกระจายอากาศ เป็นความดันที่ใช้เพื่อเอาชนะ แรงเสียดทานภายในท่อลม โดยเป็นความดันภายในท่อที่ทำให้ท่อคงรูปอยู่ได้และอาจทำให้ท่อระเบิดออกหากความดันภายในสูงเกินความต้านทานของท่อ หรืออาจทำให้ท่อยุบตัวได้หากความดันภายนอกสูงกว่าความดันภายในหรือความต้านทานของท่อ ความดันสถิตจะแสดงถึงระดับของพลังงานศักย์ในระบบว่ามีมากน้อยเพียงไรซึ่งค่าเป็นได้ทั้งบวกหรือลบ นั่นคือ ถ้าความดันภายในท่อสูงกว่าความดันบรรยากาศภายนอก ความดันสถิตจะมีค่าเป็นบวก และถ้าความดันภายในท่อต่ำกว่า ความดันสถิตจะมีค่าเป็นลบ

2. ความดันเคลื่อนที่ (Velocity pressure, VP) คือ ความดันที่ต้องการเพื่อทำให้อากาศที่อยู่หนึ่งมีความเร่งจนกระทั่งมีความเร็วระดับหนึ่ง และเป็นสัดส่วนกับพลังงานจลน์ของกระแสอากาศ ดังนั้น ความดันนี้จะมีเฉพาะในสภาวะที่อากาศมีการเคลื่อนที่เท่านั้น โดยความดันเคลื่อนที่ที่มีทิศทางเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของอากาศ และมีค่าเป็นบวกเสมอ หาได้จากสมการ

$$VP = \left(\frac{V}{1.29} \right)^2 \quad (2)$$

ที่ สภาวะอากาศอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

เมื่อ VP คือ ความดันเคลื่อนที่ (Pa)

V คือ ความเร็วลมของอากาศ (m/s²)

3. ความดันรวม (Total pressure, TP) คือ ผลรวมของความดันสถิต และความดันเคลื่อนที่ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$TP = SP + VP \quad (3)$$

ดังนั้น ความดันรวมอาจเป็นบวกหรือลบก็ได้เมื่อเทียบกับความดันบรรยากาศ และค่าความดันรวมเป็นความดันที่แสดงถึงพลังงานที่มีอยู่ในกระแสอากาศ ค่าความดันรวมจะลดลงเมื่ออากาศไหลผ่านท่อไปทางด้านใต้ลม โดยจุดเดียวที่ค่าความดันรวมสูงขึ้น คือ บริเวณหน้าพัดลม

4. ประเภทของระบบระบายอากาศในอุตสาหกรรม

4.1 การระบายอากาศทั่วไป

4.1.1 การระบายอากาศโดยวิธีกล

การระบายอากาศโดยวิธีกล เป็นวิธีการระบายอากาศที่ต้องอาศัยอุปกรณ์หรือเครื่องกล เช่น พัดลม ช่วยให้อากาศเคลื่อนไหว หมุนเวียน ในขณะที่การระบายอากาศแบบธรรมชาติ อาศัยธรรมชาติทำให้เกิดความดันบรรยากาศที่แตกต่างกันในสองพื้นที่ อากาศจึงเคลื่อนที่จากที่ซึ่งมีความดันบรรยากาศสูงไปยังที่ที่มีความดันบรรยากาศต่ำ เช่น อากาศร้อนลอยตัวขึ้นทำให้เกิดความดันบรรยากาศในบริเวณนั้นลดลง และอากาศที่เย็นกว่าซึ่งมีความดันบรรยากาศสูงกว่าจึงเคลื่อนเข้ามาแทนที่โดยผ่านช่องเปิด เช่น ประตูและหน้าต่าง หรือช่องระบายอากาศ ดังนั้น การระบายอากาศโดยวิธีกลจึงสามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศเข้า/ออกในพื้นที่หนึ่งๆ ได้ดีกว่าการระบายอากาศแบบธรรมชาติ

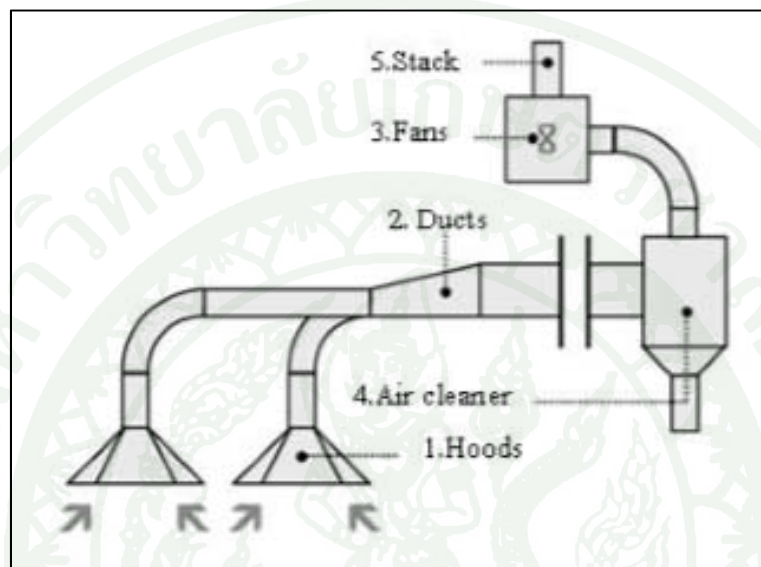
4.1.2 การระบายอากาศแบบธรรมชาติ

ระบบระบายอากาศทั่วไป สามารถใช้ในการควบคุมความร้อนและ/หรือหรือนำสารปนเปื้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตออกไป โดยการเป่าอากาศปริมาณมากเข้าไปเพื่อสารปนเปื้อน เพื่อใช้ระบบดังกล่าวนี้กับการควบคุมความร้อน อากาศอาจถูกนำมอลดอุณหภูมิ แล้วนำมาหมุนเวียนใช้หลายครั้งได้ ในขณะที่การควบคุมความเข้มข้นของสารปนเปื้อนให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยนั้นอากาศจากภายนอกจะถูกนำเข้ามาผสมผสานกับอากาศที่มีสารปนเปื้อนภายในอาคาร เพื่อเจือจาง สารปนเปื้อนให้มีความเข้มข้นอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อคนงาน หรืออยู่ในระดับที่ยอมรับได้ฉะนั้นอากาศทั้งหมดจึงกลายเป็นอากาศที่ถูกปนเปื้อน ซึ่งจะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ ไม่นำกลับมาใช้อีก ระบบส่งอากาศจึงมักถูกนำมาใช้ร่วมกับระบบระบายอากาศทั่วไป เพื่อนำอากาศเข้ามาแทนที่อากาศที่ระบายออก

4.2 การระบายอากาศเฉพาะที่

การระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust Ventilation) เป็นการระบายอากาศโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะป้องกันอันตรายต่อสุขภาพ ควบคุมปัญหาเดือดร้อนรำคาญภายในสถานประกอบการ เป็นวิธีการที่นับว่าได้ผลมากที่สุด เป็นการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศที่แหล่งกำเนิดโดยตรง โดยการดูดระบายมลพิษพร้อมทั้งอากาศที่ถูกปนเปื้อนกับอากาศ

ส่วนใหญ่ของห้องด้วย ซึ่งถือว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง และต้องการอัตราไหลของอากาศต่ำ ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ประกอบด้วยองค์ประกอบใหญ่ 5 ส่วนหลัก คือ



ภาพที่ 4 ส่วนประกอบของระบบระบายอากาศเฉพาะที่

ที่มา: Canadian centre for occupational health and safety (2001)

4.2.1 ทางเข้าของอากาศหรือดูดดูดอากาศ (Hoods หรือ Inlet) เป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่รวบรวมมลพิษทางอากาศให้เข้าสู่ระบบระบายอากาศ การเลือกใช้หรือการออกแบบ การสร้างต้องคำนึงถึงชนิดที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพมากที่สุด

4.2.2 ท่อนำอากาศ (Ducts) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่นำอากาศ ส่งต่ออากาศที่รวบรวมโดยชุด ผ่านต่อไปในระบบเพื่อเข้าสู่ระบบขจัดอากาศ หรือปล่อยออกสู่ภายนอก

4.2.3 พัดลมดูดอากาศ (Exhaust Fan หรือ Blower) ทำหน้าที่ในการดูดอากาศ เป่าอากาศหรือขับเคลื่อนอากาศในระบบระบายอากาศ

4.2.4 เครื่องอุปกรณ์ควบคุมมลพิษ (Air Cleaning Equipments) ทำหน้าที่ในการขจัดมลพิษทางอากาศที่รวบรวมมาได้ให้อยู่ในมาตรฐานควบคุมก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอกกระบบระบายอากาศบางชนิดไม่จำเป็นต้องมีระบบขจัดอากาศติดตั้งอยู่ด้วย

4.2.5 ทางออก (Outlet หรือ Stack) ทางออกของอากาศผ่านการบำบัดแล้วหรือปล่อยระบายอากาศเป็นส่วนสุดท้ายของระบบระบายอากาศ

5. การเปลี่ยนอากาศ (Air Change)

จำนวนครั้งที่อากาศภายในห้องทั้งหมดถูกแทนที่ด้วยอากาศจากภายนอก ในเวลาหนึ่งชั่วโมง (ตามทฤษฎี) คือ อัตราการระบายอากาศต่อปริมาตรห้องนั่นเอง มีหน่วยเป็น ครั้งต่อชั่วโมง การวัดอัตราการระบายอากาศด้วยการเปลี่ยนอากาศนั้นไม่เหมาะสมนักสำหรับการควบคุมความร้อน สารปนเปื้อน และกลิ่นในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากอัตราการระบายอากาศขึ้นกับขนาดของปัญหาที่เกิดขึ้นมากกว่าขนาดห้อง

6. ความดันภายในห้องที่เหมาะสมกับห้องชาร์ตแบตเตอรี

6.1 ความดันบวก คือ ความดันอากาศภายในห้องสูงกว่าความดันบรรยากาศปกติ จะใช้สำหรับห้องที่ต้องการให้คงสภาพสิ่งแวดล้อมที่สะอาดไว้ภายในห้อง ไม่ต้องการให้อากาศที่ปนเปื้อนเคลื่อนที่เข้ามาได้

6.2 ความดันลบ คือ ความดันอากาศภายในห้องต่ำกว่าความดันภายนอก จะใช้ในห้องเก็บสารเคมี ห้องที่มีสารปนเปื้อน ซึ่งในกรณีห้องชาร์ตแบตเตอรีก็ถือว่าเป็นห้องที่ต้องให้ความดันภายในห้องเป็นความดันลบ ทั้งนี้เพื่อป้องกันอากาศที่ปนเปื้อนเคลื่อนที่ไปสู่พื้นที่สะอาดอื่นๆ ภายในอาคาร

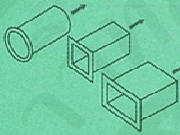
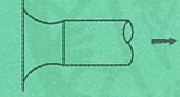
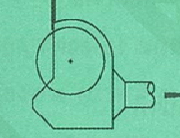
ความดันสูญเสียเมื่ออากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ระบบ

1) ความดันสูญเสียเนื่องจากความเร่ง (Acceleration loss) อากาศจะต้องถูกเร่งจากสภาพที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำไว้ทิศทางที่แน่นอน ซึ่งเป็นสภาพที่เป็นอยู่โดยทั่วไปภายในสถานประกอบการ ให้มีความเร็วเพิ่มขึ้นจนเท่ากับความเร็วลมในท่อที่กำหนดไว้ ถ้าหากว่าอากาศในห้องไม่มีการเคลื่อนที่ไหลเลยขณะนั้น ความดันเนื่องจากความเร็วหรือพลังงานจลน์

ของอากาศนั้นจะเป็นศูนย์ และเมื่อใดที่อากาศดังกล่าวเคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในระบบระบายอากาศ มันจะมีความดันเนื่องจากความเร็วซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วลมในท่อ

2) ความดันสูญเสียจากการที่อากาศไหลผ่านเข้าสู่ท่อดูดอากาศ (Hood entry loss) ในขณะที่อากาศถูกเร่งให้มีความเร็วและไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศของระบบระบายอากาศนั้น รูปลักษณะของท่อดูดอากาศจะทำให้เกิดการไหลวนของอากาศ ซึ่งการไหลวนของอากาศนี้จะเปลี่ยนความดันเนื่องจากความเร็วให้กลายเป็นความร้อน และด้วยเหตุนี้พลังงานที่เป็นประโยชน์เพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ของอากาศส่วนหนึ่งจะสูญหายไปจากระบบระบายอากาศ

3) ตัวประกอบความดันสูญเสียจากการที่อากาศไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ (Hood entry loss factor) ความดันสูญเสียจากการไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศสามารถคำนวณได้จากตัวประกอบความดันสูญเสียจากการไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ และความเร็วลมในท่อ ค่าของตัวประกอบความดันสูญเสียจากการไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศนั้นขึ้นอยู่กับรูปร่างของท่อดูดอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 5

ชนิดของฮูด	ลักษณะของฮูด	Hood entry loss (F_h)
	ฮูดเรียบ	0.93
	ฮูดมีปีก	0.49
	ฮูดแบบแฟปเปอร์หรือกรวย	0.25
	ฮูดปากแตร	0.04
	ฮูดสำหรับงานเจียร	0.65 (ท่อต่อตรงจากฮูด)
		0.40 (มีแฟปเปอร์ต่อจากฮูด)

ภาพที่ 5 ค่าของตัวประกอบความดันสูญเสียจากการไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ

ที่มา: วันทนีย์ (2552)

4) ความเร็วลมในท่อ (Duct Velocity) ความดันสูญเสียเนื่องจากการไหลของอากาศเข้าสู่ท่อดูดอากาศ หน่วยเป็นนิ้วน้ำ สำหรับท่อดูดอากาศชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ในภาพที่ 4 ส่วนความเร็วลมในท่อที่แนะนำให้ใช้สำหรับการระบายอากาศซึ่งมีมลพิษประเภทต่าง ๆ ปะปนอยู่แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความเร็วลมต่ำสุดในท่อสำหรับสารปนเปื้อนลักษณะต่างๆ

ลักษณะของสารปนเปื้อน	ชนิดของสารปนเปื้อน	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
ไอระเหย ก๊าซ ควั่น	ไอระเหย ก๊าซ ควั่นทุกชนิด	5 – 10
ฟุ้ง	ฟุ้งโลหะจากการเชื่อม	10 - 13
ฝุ่นขนาดเล็ก	เส้นใยฝ้ายขนาดเล็ก	12 - 15
ฝุ่นและผงแห้ง	ฝุ่นยางละเอียด	15 - 20
ฝุ่นโดยทั่วไปในงานอุตสาหกรรม	ฝุ่นจากการเจียร ขัด	18 – 20
ฝุ่นหนัก	ฝุ่นตะกั่ว	20 – 23
ฝุ่นหนักและชื้น	ฝุ่นโลหะขนาดใหญ่จากการขัดโลหะ	>23

ที่มา: วันทนี (2552)

5) ความดันสถิตที่ดูดอากาศ (Hood static pressure) เพื่อให้ที่ดูดอากาศสามารถทำงานได้สมบูรณ์ตามที่กำหนดไว้นั้น พัดลมที่ใช้งานจะต้องสามารถสร้างแรงดูดหรือความดันสถิตขึ้นในท่อ ตรงส่วนที่ใกล้กับที่ดูดอากาศให้มากพอที่จะเอาชนะความดันสูญเสียเนื่องจากความเร่ง และความดันสูญเสียเมื่ออากาศไหลเข้าสู่ที่ดูดอากาศได้และในขณะเดียวกันยังสามารถทำให้อากาศในปริมาณที่กำหนดเคลื่อนที่เข้าสู่ที่ดูดอากาศนั้นได้ด้วย

6) สัมประสิทธิ์ของการไหลเข้าสู่ที่ดูดอากาศ (Coefficient of entry) เป็นค่าสัดส่วนของปริมาณที่ไหลเข้าสู่ที่ดูดอากาศจริงในทางปฏิบัติกับปริมาณลมที่ควรจะมีไหลเข้าสู่ที่ดูดอากาศตามทฤษฎี หากว่าไม่มีการสูญเสียความดันเมื่ออากาศไหลเข้าสู่ที่ดูดอากาศเลย (เมื่อ $F_h = 0$)

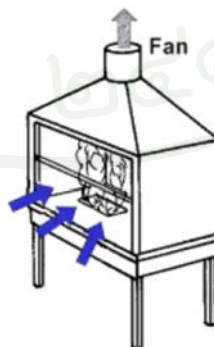
7. องค์ประกอบและหลักการทำงานของระบายอากาศเฉพาะที่

7.1 ฮูดดูดอากาศ

พรพิมล (2543) ชนิดของ Hood ท่อดูดอากาศ (Hood) เป็นส่วนที่ดูดอากาศที่มีสารมลพิษปนเปื้อนอยู่เข้ามาสู่ระบบระบายอากาศท่อดูดอากาศที่ใช้อาจมีรูปร่างต่างๆ กัน ซึ่งท่อดูดอากาศเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญเพราะเป็นส่วนแรกที่สารมลพิษจะต้องถูกดูดเข้ามาในท่อดูดอากาศ การสร้างท่อดูดอากาศไม่ว่าจะลงทุนสร้างท่อนำอากาศให้ดีหรือจะใช้พัดลมดูดอากาศใหญ่ขนาดไหน ถ้าสารมลพิษไม่ถูกดูดเข้าไปในท่อดูดอากาศ ระบบการระบายอากาศทั้งหมดนั้นจะไม่มีประโยชน์เลย ดังนั้น ท่อดูดอากาศจึงเป็นส่วนที่สำคัญมาก โดยทั่วไปท่อดูดอากาศมีดังต่อไปนี้

7.1.1 ท่อดูดอากาศแบบเ็นโคสซิ่ง (Enclosing Hood)

ฮูดที่ครอบปิดแหล่งกำเนิดของสารปนเปื้อนหรือกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดสารปนเปื้อนไว้ทั้งหมดหรือบางส่วน ตัวอย่างของฮูดที่ปิดครอบแหล่งสารปนเปื้อนไว้ทั้งหมด ได้แก่ ฮูดสำหรับพ่นสีและฮูดสำหรับการขัดเจียร ลักษณะของฮูดซึ่งครอบแหล่งสารปนเปื้อนไว้เช่นนี้ ทำให้สารปนเปื้อนที่เกิดขึ้นอยู่ภายในฮูด และง่ายต่อการนำเข้าสู่ระบบ เนื่องจากไม่ถูกรบกวนด้วย กระแสลมหน้าฮูด ฉะนั้น หากไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับกระบวนการผลิตหรือไม่ขัดขวางการทำงาน ควรพิจารณาเลือกใช้ฮูดชนิดนี้ก่อน เนื่องจากเป็นฮูดที่มีประสิทธิภาพสูง และหากไม่สามารถใช้แบบที่ปิดคลุมทั้งหมดได้ควรใช้แบบที่ปิดคลุมบางส่วน



ภาพที่ 6 ท่อดูดอากาศแบบเ็นโคสซิ่ง (Enclosing Hood)

ที่มา: Washington State Department of Labor and Industries (1999)

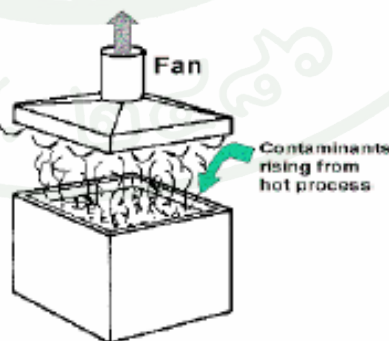
เมื่อกำหนดค่าความเร็วลมต่ำสุดในท่อได้ สามารถคำนวณปริมาณลมที่จะต้องไหลผ่านเข้าสู่ท่อดูดอากาศและผ่านไปในห้องลมของระบบระบายอากาศได้ จากสมการ

$$Q = V \times A \times F \quad (4)$$

เมื่อ	Q	คือ	ปริมาณลมที่ไหลผ่านระบบระบายอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
	V	คือ	ความเร็วลมหน้าท่อดูดอากาศโดยเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที)
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของช่องเปิดท่อดูดอากาศ (ตารางเมตร)
	F	คือ	แฟกเตอร์ความดันสูญเสียเมื่ออากาศไหลเข้าสู่ท่อดูดอากาศ โดยทั่วไปมีค่า 1.0 – 1.5 (ไม่มีหน่วย)

7.1.2 ท่อดูดอากาศแบบรีซีฟวิ่ง (Receiving or Canopy Hood)

ใช้เป็น Hood สำหรับดักจับมลพิษได้ไม่ดี เพราะความเร็วของอากาศจะลดลงเป็นสัดส่วนต่อกำลังสองของระยะทางระหว่าง canopy และแหล่งของมลพิษ นอกจากนี้ยังต้องใช้อากาศจำนวนมากและอาจถูกรบกวนโดย Cross currents และ ผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งอาจต้องทำงานอยู่ข้างใต้ระหว่างจุดที่ปล่อยมลพิษและ Hood Receiving canopy hood จะเหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตที่สารปนเปื้อนได้รับความร้อนและลอยขึ้นสู่ระยะที่สูงที่สุด สามารถดักได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานมาก และกระบวนการผลิตที่ผู้ปฏิบัติงานไม่ต้องทำงานในบริเวณที่เป็นทางผ่านของสารจากแหล่งไปยังสูงสุด เช่น เตาหลอม



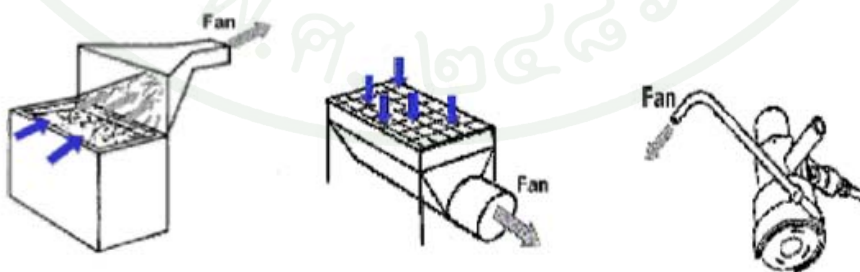
ภาพที่ 7 ท่อดูดอากาศแบบแบบรีซีฟวิ่ง (Receiving or Canopy Hood)

ที่มา: Washington State Department of Labor and Industries (1999)

7.1.3 ท่อดูดอากาศแบบแคปเจอร์ริง (Capturing Hood)

ชุดชนิดนี้ต้องส่งแรงดูดออกไปเพื่อนำสารปนเปื้อนและอากาศเข้าสู่ชุด ซึ่งมีหลายรูปแบบ ได้แก่

- Side Draft เป็นชุดที่ติดตั้งอยู่ด้านข้างของแหล่งสารปนเปื้อน โดยทั่วไปใช้ในระบบการผลิตที่สารปนเปื้อนเป็นก๊าซหรือไอระเหย ซึ่งลอยขึ้นจากแหล่งอย่างช้าๆ และถูกดูดเข้าสู่ระบบก่อนที่จะลอยขึ้นสู่บรรยากาศรอบๆ หรือระดับหายใจของผู้ปฏิบัติงาน เช่น ถังชุบโลหะ หรือในระบบการผลิตที่คนงานต้องชะโงกหน้าหรือยืนชิดกับแหล่งของสารปนเปื้อน
- Slot Hood คือ ชุดที่สัดส่วนของด้านกว้าง (W) ต่อด้านยาว (L) น้อยกว่า 0.2
- Downdraft Hood เป็นชุดที่ติดตั้งอยู่ด้านล่างของแหล่งสารปนเปื้อนเพื่อรองรับและดูดสารปนเปื้อนเข้าสู่ระบบ โดยทั่วไปใช้กับสารปนเปื้อนที่เป็นอนุภาค และมีแนวโน้มที่จะตกลงสู่ด้านล่าง เช่น ในการหอบรรจุเบรครถยนต์จำนวน 4 อันเข้าด้วยกันนั้น คนงานต้องกระแทกให้เบรคทั้งหมดเสมอกันก่อนบรรจุห่อ ทำให้แอสเบสตอสซึ่งเป็นส่วนผสมของเบรค และอาจเกาะอยู่ที่ผิวของเบรคจากขั้นตอนการขัดให้ขอบเรียบในระบบการผลิตหลุดออกมาได้ ผุ่นที่หลุดออกมาจะตกลงสู่ชุดและถูกดึงเข้าสู่ระบบ
- High Velocity , Low Volume Hood เป็นชุดที่ดูดอากาศเข้าไปในปริมาณที่น้อยแต่ด้วยความเร็วสูง นิยมติดตั้งที่อุปกรณ์ เช่น เครื่องแกะสลักแก้ว เครื่องขัด ตกแต่งงานขนาดเล็ก และเครื่องเชื่อมโลหะ เพื่อดูดสารปนเปื้อนที่เกิดจากแหล่งขนาดเล็กและเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว เช่น เครื่องเชื่อมโลหะขนาดเล็ก



ภาพที่ 8 ท่อดูดอากาศแบบแคปเจอร์ริง (Capturing Hood)

ที่มา: Washington State Department of Labor and Industries (1999)

7.1.4 ท่อดูดอากาศระบบผลัก-ดึง

เป็นชุดที่อาศัยหลักการเป่าและการดูดของพัดลม โดยอากาศจากด้านตรงข้ามกับชุดจะถูกเป่าออกมาเพื่อส่งสารปนเปื้อนให้เคลื่อนที่เข้าใกล้ชุด ในระยะที่ชุดสามารถดูดสารปนเปื้อนเข้าสู่ระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้พลังงานน้อย ข้อดีของการเป่าอากาศส่งสารให้เข้าใกล้ชุด คือ ด้วยพลังงานเท่ากันสามารถควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป่าออกไปได้ในระยะทางที่ไกลกว่าการดูด ดังนั้นทั้งระบบคือด้านดูดและด้านเป่าใช้พลังงานน้อยกว่าหรือเท่ากับการดูดเพียงอย่างเดียว แต่มีประสิทธิภาพในการนำสารปนเปื้อนเข้าสู่ระบบได้ดีกว่า ระบบผลัก-ดึงใช้ได้ผลดีสำหรับถึงซบโลหะและภาชนะที่บรรจุสารเคมีขนาดใหญ่ที่เปิดอยู่ อย่างไรก็ตามในส่วนทางด้านผลักนี้อาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสสารปนเปื้อนมากขึ้น ถ้าออกแบบ ติดตั้งและใช้งานไม่เหมาะสม

ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบชุด

ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ทำงานโดยพัดลมซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของระบบทำให้เกิดความดันต่ำขึ้นในท่อ อากาศบริเวณรอบๆ ชุดซึ่งมีความดันสูงกว่าจึงเคลื่อนที่เข้าสู่ช่องเปิดของชุด พลังงานที่ทำให้อากาศเคลื่อนที่ที่จะต้องมากพอที่จะควบคุมให้สารปนเปื้อนเคลื่อนที่ไปถึงชุด ซึ่งอาจทำให้ต้องเพิ่มแรงดูดของระบบเพื่อเอาชนะการรบกวนนั้น ฉะนั้นการกำจัดแหล่งที่ทำให้อากาศในบริเวณหน้าชุดผันผวนเป็นหนทางหนึ่งที่จะทำให้สารปนเปื้อนเคลื่อนเข้าสู่ชุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่สิ้นเปลืองพลังงาน

ในการออกแบบชุดต้องคำนึงถึงรูปร่าง ขนาด จุดที่ติดตั้งชุด และอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ชุด ปัจจัยที่ต้องพิจารณา ได้แก่

1. Capture Velocity คือ ความเร็วต่ำที่สุดที่อากาศ ณ จุดกำเนิดสารปนเปื้อน

ซึ่งอยู่ห่างไกลที่สุดที่ถูกดูดเข้าสู่ระบบ ความเร็วนี้ขึ้นกับอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ชุดและรูปร่างของชุด สำหรับชุดขนาดใหญ่ซึ่งมีอัตราการไหลของอากาศสูงเป็นพิเศษ อาจมีค่า Capture Velocity ต่ำกว่าค่าเสนอแนะสำหรับกระบวนการผลิตหนึ่งๆ เมื่อเทียบกับชุดที่มีขนาดเล็กกว่า ทั้งนี้เนื่องจากชุดขนาดใหญ่

- มีอากาศปริมาณมากเคลื่อนที่เข้าสู่ชุด ($Q = AV$) A ขนาดใหญ่ V จะมีค่าต่ำลง
- สารปนเปื้อนใช้เวลาในชุดนานกว่าชุดขนาดเล็ก เนื่องจากความเร็วต่ำ
- มีอัตราการไหลอากาศสูงสามารถเจือจางสารปนเปื้อนได้มาก

ตารางที่ 3 ความเร็วของอากาศต่ำสุด (Capture Velocity) สำหรับการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนจากแหล่งในลักษณะต่างๆ

ลักษณะการฟุ้งของสารปนเปื้อน	ตัวอย่างสารปนเปื้อน	Capture Velocity (m/s)
ไม่มีความเร็ว ในอากาศนิ่ง	การระเหยจากแท็งก์สารเคมี	0.25 – 0.5
ความเร็วต่ำ ในอากาศนิ่งปานกลาง	การเชื่อมโลหะ ชุบโลหะ บรรจุสารเคมี เชื่อมโลหะ บูรพ่นสี	0.5 – 1.0
มีความเร็วพอสมควรในอากาศที่เคลื่อนที่เร็ว	งานบัดด้อย ฟันสีในบูธที่แคบๆ เทสารเคมีลงในถัง	1.0 - 2.5
มีความเร็วสูง ในบริเวณที่มีอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง	งานเจียร ขัด	2.5 – 10.0

ที่มา: American Conference of Government Industrial Hygienists (1998)

2. อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ชุด สำหรับ Exterior Hood อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ชุดจากทิศทางภายในขอบเขตจำกัด เช่น ขอบเขตของปีกชุด (Flang) หรือแผ่นกั้นด้านข้างของชุด (Baffles) หรือผนังที่อยู่ใกล้กับชุด ดังนั้น อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ชุดจึงคำนวณได้จากรูปร่างทรงเรขาคณิตของอากาศในขอบเขตดังกล่าว

โดยอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ชุดทรงกลมและทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส สามารถคำนวณ ได้จากสมการต่อไปนี้

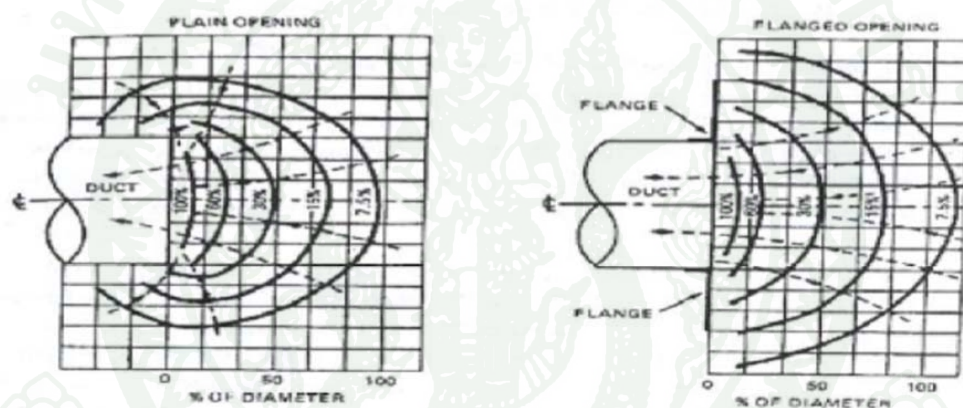
$$Q = V (10X^2 + A) \quad (5)$$

หมายเหตุ สมการนี้มีความถูกต้อง เมื่อ $X \leq 1.5 D$ เท่านั้น

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของอากาศ (ลบ.ม./วินาที)
V คือ ความเร็วลมที่แนวกึ่งกลางของชุด ณ จุด X (ม./วินาที)
X คือ ระยะตามแนวแกนของชุด (ม.)
A คือ พื้นที่หน้าตัดของชุด (ตร.ม.)
D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของชุดทรงกลม และด้านของชุดสี่เหลี่ยม (ม.)

3. ปีกและแผ่นกั้น (Flanges and Baffles) ปีก คือ แผ่นวัสดุที่ติดอยู่ที่ขอบด้านหน้าสุด ทำหน้าที่กั้นไม่ให้อากาศจากด้านหลังสุด ซึ่งไม่ถูกปั่นเปื้อนเคลื่อนที่เข้าสู่สุด ส่วนแผ่นกั้น คือ แผ่นวัสดุที่ทำหน้าที่กั้นไม่ให้อากาศทางด้านหน้าหรือด้านข้างสุดที่ไม่ปั่นเปื้อนเคลื่อนที่เข้าสู่สุด

ภาพที่ 9 แสดงภาพชุดที่ไม่มีปีกกั้นและชุดที่มีปีกกั้น แสดงให้เห็นถึงแนวการเคลื่อนที่และทิศทางของอากาศที่เคลื่อนเข้าสู่สุดทรงกลม เมื่อแนวการเคลื่อนที่ของอากาศ คือ แนวเส้นที่ความเร็วลมหน้าสุดเท่ากัน ส่วนทิศทางลม คือ เส้นที่ตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของอากาศ เส้นที่สัมผัสกับทิศทางลม ณ จุดใดๆ บ่งบอกถึงทิศทางการไหลของอากาศ ณ จุดนั้นๆ



ภาพที่ 9 ประสิทธิภาพของท่อดูดที่มีปีกกั้นและไม่มีปีกกั้น

ที่มา: วันทนีย์ (2552)

ภาพที่ 10 แสดงรูปแบบและลักษณะของชุดชนิดต่างๆ และสูตรในการคำนวณอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่สุด ซึ่งจะเห็นว่า อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่สุดที่มีปีกมีค่าน้อยกว่าชุดที่ไม่มีปีกประมาณ 25% สำหรับชุดหนึ่งๆ

ชนิดของชุด	ลักษณะของชุด	สัดส่วน กว้าง/ยาว	อัตราการไหล
	สลิต	0.2 หรือน้อยกว่า	$Q = 3.7 LVX$
	สลิตมีปีก	0.2 หรือน้อยกว่า	$Q = 2.6 LVX$
	ชุดเรียบ	0.2 หรือใหญ่กว่า และชุดกลม	$Q = V(10x^2 + A)$
	ชุดมีปีก	0.2 หรือใหญ่กว่า และชุดกลม	$Q = 0.75V(10x^2 + A)$
	บุร	เหมาะสมกับชิ้นงาน	$Q = VA = VWH$
	Canopy	เหมาะสมกับชิ้นงาน	$Q = 1.4 PVD$ $P =$ เส้นรอบรูปชุด $D =$ ระยะห่างจาก แหล่งสารปนเปื้อน
	สลิตชุดเรียบ มีสลิตสองช่อง หรือมากกว่า	0.2 หรือใหญ่กว่า	$Q = V(10x^2 + A)$
	สลิตชุดมีปีก มีสลิตสองช่อง หรือมากกว่า	0.2 หรือใหญ่กว่า	$Q = 0.75V(10x^2 + A)$

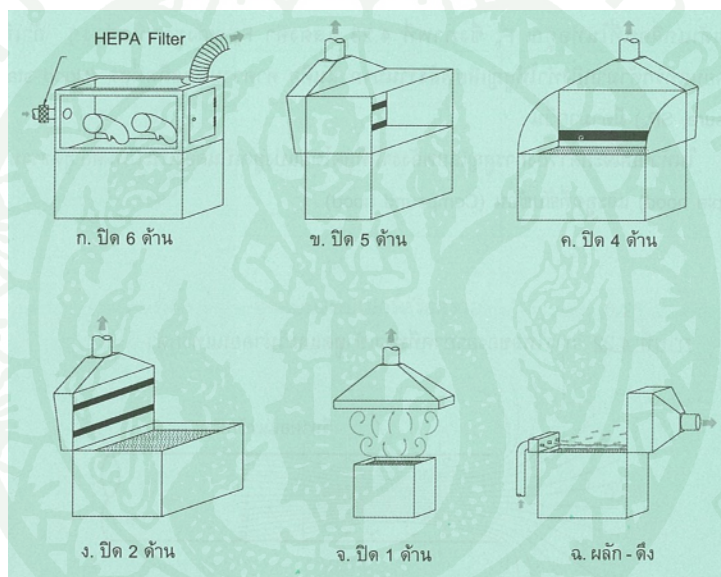
ภาพที่ 10 ลักษณะของชุดชนิดต่างๆ และสูตรคำนวณอัตราการไหลของอากาศ

ที่มา: วันทนีย์ (2552)

4. การกระจายตัวของอากาศ ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศเข้าสู่ชุดเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้สูญเสียพลังงานมากน้อยต่างกันได้ หากอากาศมีการกระจายตัวดีและเคลื่อนที่เข้าสู่ชุด อย่างเป็นระเบียบจะทำให้สูญเสียพลังงานน้อยกว่าอากาศที่ผันผวน

5. ตำแหน่งที่พนักงานยืนทำงาน ระบบระบายอากาศจะต้องออกแบบมาเพื่อติดตั้งในจุดที่ใกล้กับแหล่งกำเนิดของสารปนเปื้อนมากที่สุด และเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด

6. การเลือกชนิดของฮูด ในการออกแบบควรพิจารณาฮูดที่ปิดทุกด้าน (หกด้าน – Enclosure Hood) ซึ่งเป็นฮูดที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดก่อน หากมีข้อจำกัดไม่สามารถเลือกได้จึงเลือกโดยการเปิดทีละด้าน เพื่อให้ด้านเปิดของฮูดมีน้อยที่สุด เนื่องจาก หากมีช่องเปิดมากต้องมีอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ฮูดสูงตามไปด้วยเพื่อคงค่า Capture Velocity ไว้ตามที่ต้องการ ซึ่งหมายถึงพลังงานที่ต้องใช้เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้น ควรเลือกฮูดโดยเริ่มที่ฮูดหกด้าน ห้าด้าน สี่ด้าน สามด้าน สองด้าน และด้านเดียว



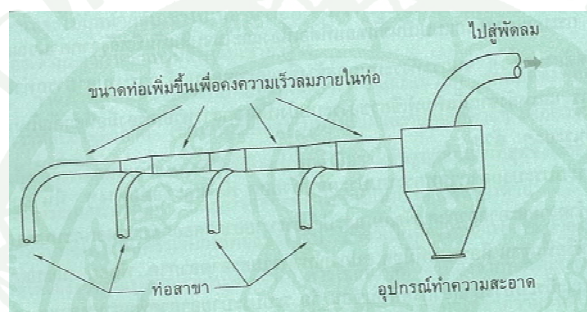
ภาพที่ 11 ลักษณะของฮูดชนิดต่างๆ

ที่มา: วันทนี (2552)

7.2 ระบบท่อ และความสูญเสียในท่อ

ระบบท่อทั่วไปมี 2 ประเภท ดังนี้

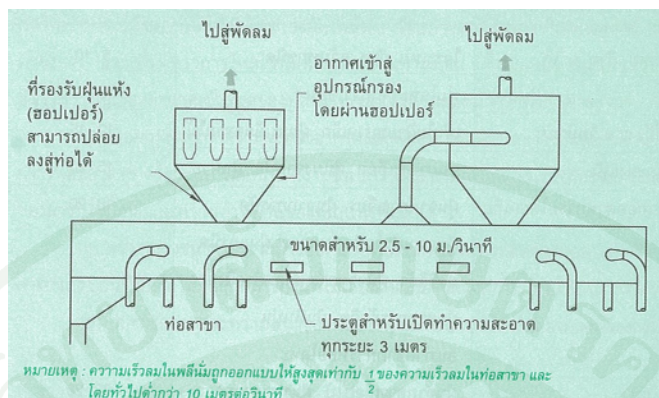
1. ระบบแทปเปอร์ (Tapered System) เป็นระบบที่ท่อนำอากาศหลักมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ เพื่อรองรับอากาศจากท่อสาขาและคงความเร็วลมต่ำสุดภายในท่อไว้



ภาพที่ 12 ระบบแทปเปอร์ (Tapered System)

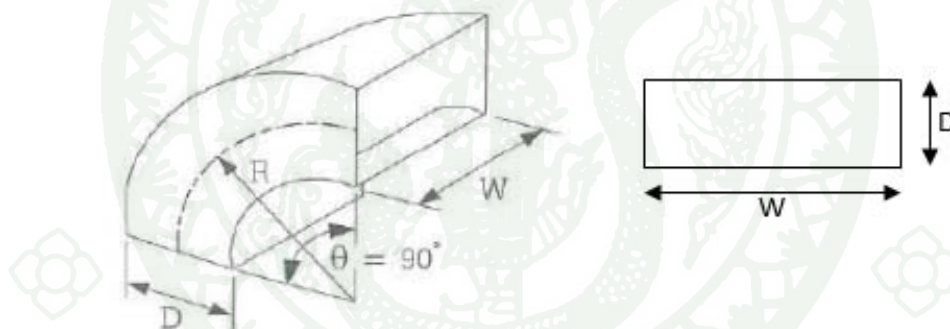
ที่มา: วันทนีย์ (2552)

2. ระบบพลินัม (Plenum System) เป็นระบบที่ท่อหลักมีขนาดใหญ่และความเร็วลมในท่อหลักต่ำ อนุภาคในกระแสอากาศจึงตกสะสมอยู่ในท่อหลัก



ภาพที่ 13 ระบบพลิ้น (Plenum System)

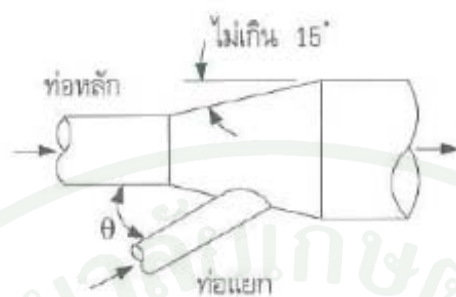
ที่มา: วันทนีย์ (2552)



R/D	สัดส่วน, W/D					
	0.25	0.5	1	2	3	4
0 (มุมฉาก)	1.50	1.32	1.15	1.04	0.92	0.86
0.5	1.36	1.21	1.05	0.95	0.84	0.79
1.0	0.45	0.28	0.21	0.21	0.20	0.19
1.5	0.28	0.18	0.13	0.13	0.12	0.12
2.0	0.24	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10
3.0	0.24	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10

ภาพที่ 14 สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอ 90° สำหรับท่อสี่เหลี่ยม

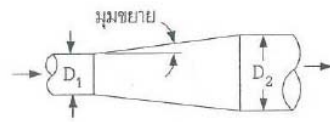
ที่มา: วันทนีย์ (2552)



มุม (θ)	ความสูญเสียเป็น เศษส่วนของ VP	มุม (θ)	ความสูญเสียเป็น เศษส่วนของ VP
10	0.06	40	0.25
15	0.09	45	0.28
20	0.12	50	0.32
25	0.15	60	0.44
30	0.18	90	1.00
35	0.21		

ภาพที่ 15 สัมประสิทธิ์สูญเสียที่ท่อสาขา

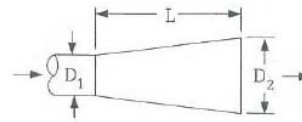
ที่มา: วันทนีย์ (2552)



$$SP_2 = SP_1 + R(VP_1 - VP_2)$$

ติดตั้งระหว่างท่อ :

มุมขยาย	R				
	D_2/D_1				
	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50
3.5°	0.92	0.88	0.84	0.81	0.75
5°	0.88	0.84	0.80	0.76	0.68
10°	0.85	0.76	0.70	0.63	0.53
15°	0.83	0.70	0.62	0.55	0.43
20°	0.81	0.67	0.57	0.48	0.43
25°	0.80	0.65	0.53	0.44	0.28
30°	0.79	0.63	0.51	0.41	0.25
90° (หักฉาก)	0.77	0.62	0.50	0.40	0.25



$$SP_1 = SP_2 - R(VP_1)$$

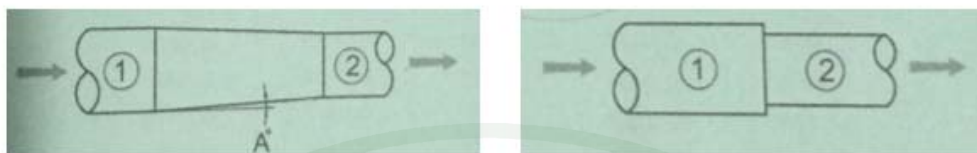
ติดตั้งที่ปลายท่อ :

L/D_1	R					
	D_2/D_1					
	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70
1.0	0.37	0.39	0.38	0.35	0.31	0.27
1.5	0.39	0.46	0.47	0.46	0.44	0.41
2.0	0.42	0.49	0.52	0.52	0.51	0.49
3.0	0.44	0.52	0.57	0.59	0.60	0.59
4.0	0.45	0.55	0.60	0.63	0.63	0.64
5.0	0.47	0.56	0.62	0.65	0.66	0.68
7.5	0.48	0.58	0.64	0.68	0.70	0.72

เมื่อ $SP_2 = 0$ (บรรยากาศ) SP_1 จะมีค่าเป็นลบ

ภาพที่ 16 ความดันสถิตที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มขนาดท่อ

ที่มา: วันทนีย์ (2552)



ค่าของลักษณะ :

$$SP_2 = SP_1 - (VP_2 - VP_1) - L(VP_2 - VP_1) \quad (6)$$

ลักษณะที่ :

$$SP_2 = SP_1 - (VP_2 - VP_1) - K(VP_2) \quad (7)$$

มุมลด	L (loss)
5	0.05
10	0.06
15	0.08
20	0.10
25	0.11
30	0.13
45	0.20
60	0.30

A_2/A_1	K
0.1	0.48
0.2	0.46
0.3	0.42
0.4	0.37
0.5	0.32
0.6	0.26
0.7	0.20

ภาพที่ 17 ความดันสถิตที่เพิ่มขึ้นจากการลดขนาดท่อ

ที่มา: วันทนี (2552)

7.3 อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ ทำหน้าที่กรองหรือดักสารปนเปื้อนในอากาศจากระบบออกก่อนปล่อยอากาศสู่ภายนอก การเลือกใช้อุปกรณ์ทำความสะอาดขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ระดับความสะอาดของอากาศที่ต้องการหลังจากขจัดสารปนเปื้อนออก ปริมาณ และคุณลักษณะของสารปนเปื้อน และสภาพของอากาศในระบบ อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

7.3.1 อุปกรณ์ทำความสะอาดสำหรับสารปนเปื้อนที่เป็นอนุภาค

อุปกรณ์ประเภทนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ อุปกรณ์กรองอากาศ และอุปกรณ์ดักฝุ่น อุปกรณ์กรองอากาศใช้ในกรณีที่มีความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศต่ำ เช่น ระบบ

ระบายอากาศ เครื่องปรับอากาศ ในขณะที่อุปกรณ์ดักฝุ่นถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในระบบการผลิตในอุตสาหกรรมซึ่งมีฝุ่นปริมาณมากเกิดขึ้น

7.3.2 อุปกรณ์ทำความสะอาดสำหรับสารปนเปื้อนที่เป็นก๊าซและไอระเหย

ระเหย

1. การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการซึ่งก๊าซหรือไอระเหยยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวของวัสดุที่เป็นของแข็ง และมีรูพรุนจำนวนมาก แรงยึดระหว่างโมเลกุลของสารและวัสดุดูดซับไม่แข็งแรงนัก คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ ในขณะที่การดูดซับด้วยแรงที่แข็งแรงกว่า คือ แรงวาเลนซ์ โดยการดูดซับเป็นกระบวนการทางกายภาพ ไม่มีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้น สารที่นิยมใช้ในการดูดซับ ได้แก่ activated carbon, activated alumina, silica gel และ fuller's earth

2. การดูดซึม (Absorption) เป็นกระบวนการถ่ายเทมวลสารจากอากาศสู่ของเหลว โดยสารที่ถูกดูดซึมนั้นจะถูกยึดจับไว้ในสารดูดซับ สารดูดซึมแยกสารปนเปื้อนออกจากอากาศโดยการละลายหรือโดยการทำปฏิกิริยาทางเคมีในขณะสัมผัสกับสารปนเปื้อนในอากาศ อุปกรณ์ดักสารปนเปื้อนชนิดนี้จึงถูกออกแบบเพื่อให้อากาศสัมผัสกับสารดูดซึม อุปกรณ์ชนิดนี้ ได้แก่ packed scrubbers, staged devices, และ venture scrubbers

7.4 พัดลม

7.4.1 กฎของพัดลม

เป็นการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ เช่น อัตราการไหลของพัดลม ความดันสถิตของพัดลม กำลัง และความเร็วของพัดลม

1. อัตราการไหลของอากาศ (ลบ.ม./วินาที) แปรผันตรงกับความเร็วรอบของพัดลม ถ้าเพิ่มความเร็วรอบเป็นสองเท่าจะเพิ่มอัตราการไหลของอากาศเป็นสองเท่าเช่นกัน และแปรผันกับขนาดของพัดลมยกกำลังสาม

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{RPM_2}{RPM_1} \right) \left(\frac{size_2}{size_1} \right)^3 \quad (8)$$

2. ความดัน (P) เช่น ความดันสถิตของพัดลมแปรผันตรงกับความเร็วรอบยกกำลังสอง คือ ถ้าเพิ่มความเร็วรอบขึ้นเท่าตัว ความดันสถิตที่พัดลมทำให้เกิดขึ้น

จะเพิ่มขึ้นถึง 4 เท่า แปรผันตรงกับขนาดยกกำลังสอง และแปรผันตรงกับความหนาแน่นของอากาศ

$$P_2 = P_1 \left(\frac{size_2}{size_1} \right)^2 \left(\frac{RPM_2}{RPM_1} \right)^2 \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \quad (9)$$

3. กำลังของพัดลมแปรผันตรงกับความเร็วรอบยกกำลังสาม ถ้าเพิ่มความเร็วรอบขึ้นเท่าตัวทำให้กำลังเพิ่มขึ้นถึง 8 เท่า แปรผันตรงกับขนาดยกกำลังห้า และแปรผันตรงกับความหนาแน่นของอากาศ

$$PWR_2 = PWR_1 \left(\frac{size_2}{size_1} \right)^5 \left(\frac{RPM_2}{RPM_1} \right)^3 \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \quad (10)$$

ตารางที่ 4 กฎของพัดลม

ตัวแปร*			ผลกระทบ
ความเร็วรอบ (R)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Size, D)	ความหนาแน่นของอากาศ (ρ)	
เปลี่ยนแปลง	คงที่	คงที่	-Q $\propto$ R -SP $\propto$ R ² -PWR $\propto$ R ³
คงที่	เปลี่ยนแปลง**	คงที่	-Q $\propto$ D ³ -FSP $\propto$ D ² -RPM $\propto$ D -PWR $\propto$ D ⁵
คงที่	คงที่	เปลี่ยนแปลง	Q คงที่ -FSP $\propto$ ρ -PWR $\propto$ ρ

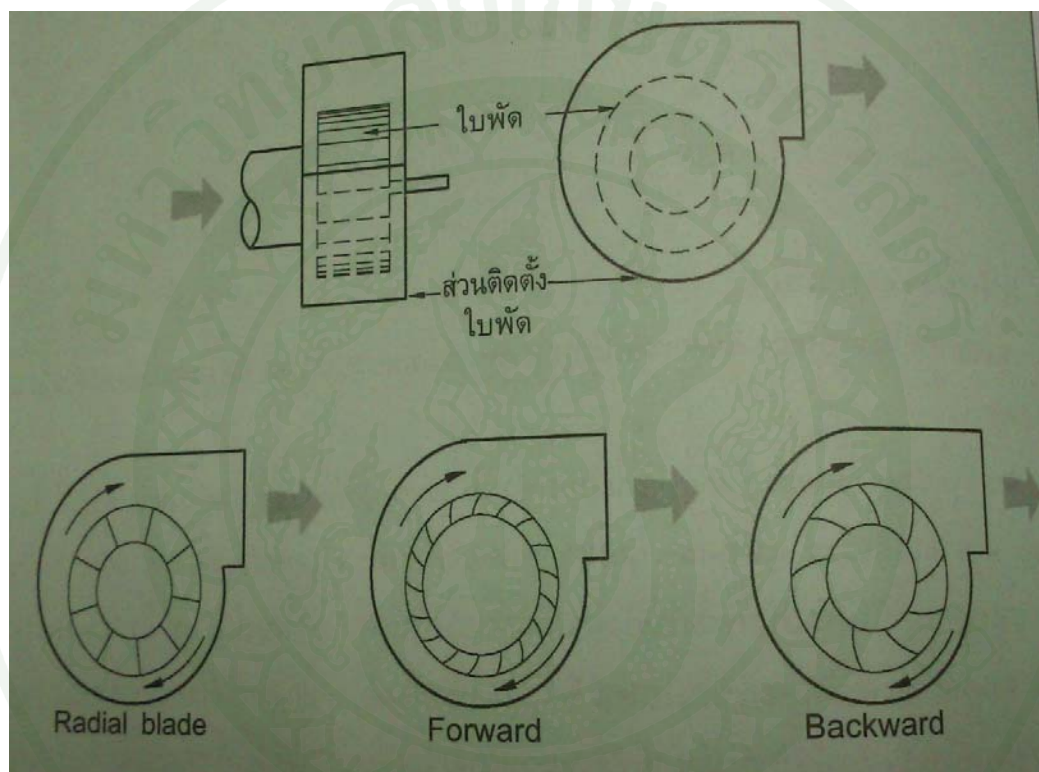
*สมมติให้ระบบคงที่

**สมมติให้พัดลมมีขนาดของใบพัดห่างเท่ากัน

ที่มา: McDermott (2001)

7.4.2 ชนิดของพัดลม

พัดลมที่ใช้ในระบบระบายอากาศในอุตสาหกรรมมีสองประเภท คือ Centrifugal Fans และ Axial Fans



ภาพที่ 18 ลักษณะของส่วนติดตั้งใบพัด และใบพัดของ Centrifugal Fans สามชนิด

ที่มา: วันทนี (2552)

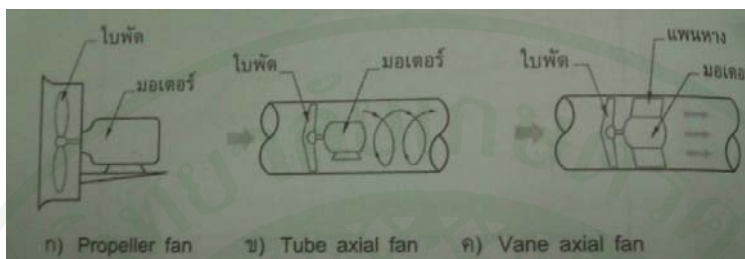
1. พัดลมที่ใช้แรงเหวี่ยงให้เกิดการไหลตามแนวรัศมี (Centrifugal Fan) ประกอบด้วยใบพัดของพัดลมหมุนอยู่ในส่วนที่ติดตั้งใบพัด (Casing) อากาศเคลื่อนเข้าสู่พัดลมตามแนวแกนของพัดลมและถูกเหวี่ยงออกตามแนวรัศมีของใบพัด การหมุนของใบพัดมีทิศทางไปยังทางออกของอากาศ พัดลมประเภทนี้ถูกแบ่งเป็น 3 ชนิด แบ่งตามรูปร่างและลักษณะของใบพัด ดังนี้

1.1 แบบใบพัดตั้งตรง (Straight-blade radial) ใช้ในระบบระบายอากาศในระบบที่มีฝุ่นหรืออนุภาค เนื่องจากใบพัดที่แบน และแต่ละใบพัดมีระยะห่างกัน ทำให้สามารถสลัดฝุ่นออกได้เองง่ายกว่า ข้อเสียของพัดลมชนิดนี้ คือ มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดสำหรับระบบระบายอากาศ และด้วยโครงสร้างที่หนักและใหญ่ทำให้มีราคาแพง

1.2 แบบใบพัดโค้งเอียงหน้า (Forward curve blade) ใบพัดโค้งตามทิศทางการหมุนของพัดลม ใช้เนื้อที่น้อย ความเร็วต่ำ เสียงไม่ดัง ใช้ได้ดีเมื่อต้องการดูดอากาศปริมาณมาก ที่ความดันสถิตของระบบขนาดปานกลาง (0 – 1.2 กิโลพาสคาลส์) พัดลมชนิดนี้มีใบพัดหลายรูปแบบ สามารถเร่งให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านพัดลมไปด้วยความเร็วสูงกว่าความเร็วของใบพัด ซึ่งเป็นข้อดีของพัดลมชนิดนี้ คือ สามารถดูดอากาศด้วยความเร็วสูงที่ความเร็วรอบต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับพัดลมชนิดอื่นๆ ฉะนั้น ความเร็วรอบต่ำของพัดลมชนิดนี้จึงทำให้เกิดเสียงดังขณะทำงานน้อยกว่าสำหรับระบบที่ความดันต่ำถึงปานกลาง และเหตุด้วยที่อากาศเคลื่อนที่ผ่านใบพัดของพัดลมด้วยความเร็วสูงจึงจำกัดการใช้งานเมื่ออากาศมีวัสดุที่กัดกร่อนเจือปนอยู่

1.3 แบบใบพัดโค้งเอียงหลัง (Backward curve blade) พัดลมชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่า Forward Curve Blade Fans ดังนั้นจึงนำมาใช้ในงานที่ต้องการดูดอากาศในปริมาณสูงๆ ซึ่งมีฝุ่นเจือปนอยู่ด้วยเล็กน้อย พัดลมชนิดนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าเนื่องจากใบพัดทำให้ความดันเพิ่มขึ้นโดยตรง เมื่อใบพัดหมุนอากาศที่ผ่านใบพัดมีความเร็วค่อนข้างต่ำ ซึ่งเป็นจุดอ่อนของพัดลมชนิดนี้ ดังนั้นหากต้องการพัดลมที่ดูดอากาศด้วยความเร็วสูงๆ และหากต้องการได้ความเร็วลมสูงจะต้องเพิ่มความเร็วรอบของพัดลม ดังนั้นใบพัดและลูกปืนของพัดลมจะต้องทำด้วยวัสดุที่แข็งแรง ข้อดีของพัดลมชนิดนี้ คือ กำลังเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ ดังนั้น หากความดันสถิตของระบบต่ำกว่าที่คำนวณไว้ พลังงานที่ใช้จะไม่เพิ่มขึ้น แต่จะมีค่าสูงสุดและลดลงที่อัตราการไหลของอากาศสูง

2. พัฒนประเภทการไหลตามแนวแกน (Axial Fan) ขนาดกะทัดรัด ประสิทธิภาพเชิงกลสูง แบ่งได้ 3 ชนิด



ภาพที่ 19 ลักษณะของส่วนติดตั้งใบพัด และใบพัดของ Axial Fans ทั้งสามชนิด

ที่มา: วันทนี (2552)

2.1 พัดลมพรอพเพลเลอร์ (Propeller fan) ใช้สำหรับการเคลื่อนที่อากาศปริมาณมากต้านความดันสถิตต่ำๆ (250 พาสคาลส์) ใช้มากในการระบายอากาศทั่วไป และการระบายอากาศแบบเจือจาง โดยหากเพิ่มแรงต้านเพียงเล็กน้อยอัตราการไหลของอากาศจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

2.2 พัดลมทูปแอกเซียล (Tube-axial fan) เป็นการติดตั้งพัดลมอยู่ในท่อสั้นๆ เหมาะกับฟุ้งหรือฟุ้งเมนต์ ทำให้อากาศที่ทางเข้าและออกของพัดลมเกิดการผันผวนน้อยลง พัดลมชนิดนี้สามารถทำให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านระบบที่มีความดันปานกลาง (500 พาสคาลส์)

2.3 พัดลมเวนแอกเซียล (Vane axial fan) มีรูปร่างเหมือน Tube-axial fan ซึ่งได้ออกแบบให้ใบพัดมีรูปร่างเหมือนใบพัดของเครื่องบิน จะทำให้อากาศเคลื่อนออกจากพัดลมเป็นแนวตรงมากขึ้น พัดลมชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด คือสามารถทำให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านความดันสถิต ได้สูงถึง 2 กิโลพาสคาลส์ นิยมใช้กับระบบระบายอากาศที่สะอาด เช่น อาคารที่พักอาศัย หรือสำนักงาน

7.4.3 การเลือกพัดลม

ข้อมูลที่ควรพิจารณาในการเลือกพัดลม คือ

1. ชนิด ลักษณะ และความเข้มข้นของสารปนเปื้อน หากความเข้มข้นของอนุภาคสูงอาจเกาะบนใบพัดหรือทำให้พัดลมสึกหรอได้ ดังนั้นควรเลือกใช้พัดลมที่ใบพัดสามารถสลัดฝุ่นออกได้ดี และทำด้วยวัสดุทน
2. เสียงดัง เนื่องจากการผันผวนของอากาศภายในส่วนที่ติดตั้งพัดลมทำให้เกิดเสียงดัง โดยเสียงดังเกิดขึ้นเนื่องจากชนิดของพัดลม อัตราการไหลของอากาศ ความดันในระบบ และประสิทธิภาพของพัดลม
3. ข้อจำกัดทางกายภาพ เช่น ขนาดพัดลม ขนาดช่องทางเข้าของพัดลม น้ำหนัก
4. วิธีการขับเคลื่อน แหล่งพลังงานไฟฟ้าของพัดลม คือ กระแสสลับ ซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนใบพัด

7.4.4 ความดันของพัดลม

1. ความดันทั้งหมดของพัดลม (Fan Total Pressure, FTP) คือ พลังงานทั้งหมดที่ต้องการเพื่อเคลื่อนอากาศผ่านระบบ มีค่าเท่ากับผลลัพธ์ของความดันทั้งหมดที่ทางออกของพัดลมลบความดันทั้งหมดที่ทางเข้าพัดลม ดังสมการ

$$FTP = SP_{out} - SP_{in} \quad (11)$$

2. ความดันสถิตของพัดลม (Fan Static Pressure, FSP) คือ ความดันสถิตของพัดลม คือ ความดันทั้งหมดของพัดลม (พลังงานทั้งหมดที่ระบบต้องการในการดึงอากาศผ่านระบบ) ลบด้วย ความดันเคลื่อนที่ของพัดลม และความดันเคลื่อนที่ของพัดลม ทำให้เกิดความเร็วมวลที่ทางออกพัดลม

$$FSP = |SP_{in}| + |SP_{out}| - VP_{in} \quad (12)$$

เมื่อ	FSP	คือ	ความดันสถิตของพัดลม
	$ SP_{in,out} $	คือ	ความดันสถิตที่ทางเข้าและออกของพัดลม
	VP_{in}	คือ	ความดันเคลื่อนที่ของอากาศที่ทางเข้าพัดลม

7.4.5 กำลังม้าของพัดลม

แรงม้าตามทฤษฎีที่ต้องการขับพัดลม เป็นกำลังที่ต้องการ ถ้าไม่มีการสูญเสียใด ๆ ในพัดลม คือประสิทธิภาพเป็น 100% แรงม้าตามทฤษฎีที่ต้องการขับพัดลม คำนวณได้จากสมการ

$$BHP = \frac{Q \times TP}{6356 \times ME} \quad (13)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณอากาศ (cfm)

TP คือ ความดันรวมทั้งหมด (in.wg.)

ME คือ ค่าประสิทธิภาพเชิงกลของพัดลม ใช้ค่าระหว่าง 0.50 ถึง 0.65

Brake Horsepower เป็นกำลังจริง ๆ ที่ใช้ขับพัดลม Brake Horsepower ที่ต้องการขับพัดลมจะมากกว่าแรงม้าทฤษฎีเสมอ เพราะมีพลังงานสูญเสียในพัดลม Brake Horsepower ที่ต้องการหาได้จากการทดสอบพัดลมจริง ๆ

7.4.6 ประสิทธิภาพของพัดลม

หลังจากทดสอบพัดลมและหา Brake Horsepower (BHP) ได้แล้ว ทั้งประสิทธิภาพทั้งหมดและประสิทธิภาพสแตติก ก็คำนวณได้

ประสิทธิภาพทั้งหมดหรือที่รู้จักกันทั่วไปว่าประสิทธิภาพเชิงกล คำนวณได้ โดยใช้ความดันทั้งหมดของพัดลมในสมการต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพทั้งหมดของพัดลม} = \frac{Q \times \text{FanTP}}{6356 \times BHP} \quad (14)$$

เมื่อ FanTP คือ ปริมาณความดันรวมของพัดลม (in.wg.)

ประสิทธิภาพสแตติก ก็คำนวณได้ในลักษณะเดียวกัน โดยใช้ความดันสแตติกของพัดลมแทนความดันทั้งหมดของพัดลม

$$\text{ประสิทธิภาพสแตติกของพัดลม} = \frac{Q \times \text{FanTP}}{6356 \times BHP} \quad (15)$$

ประสิทธิภาพทั้งหมดของพัดลม คือ พลังงานที่เป็นประโยชน์ออกมาทั้งหมดหารด้วยกำลังที่ใส่เข้าไป ประสิทธิภาพสแตติกของพัดลมก็คือพลังงานสแตติกที่ออกมา หารด้วยกำลังที่ใส่เข้าไป

ประสิทธิภาพทั้งหมดของพัดลมเป็นเครื่องแสดงการทำงานจริงเสมอ เมื่อรู้ความดันทั้งหมด ในกรณีที่ประสิทธิภาพสแตติกไม่น่าพอใจ สำหรับการวัดการทำงานจริงของพัดลม

8. ขั้นตอนในการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่

1. เลือกหรือออกแบบชุดโดยพิจารณาจากคุณสมบัติของสารปนเปื้อน เช่น ความเป็นพิษ คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารของสาร และตำแหน่งและท่าทางในการทำงานของคนงาน

2. คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศจากชนิดและขนาดของชุด และคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความสูญเสียจากการที่อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ชุด (hood entry loss coefficient, h_e) หรือคำนวณจาก Hood entry loss factor, F_h และกำหนดความเร็วต่ำสุดภายในท่อสำหรับสารปนเปื้อนชนิดต่างๆ

3. คำนวณที่ช่วงท่อซึ่งมีจำนวนชุดหรือจุดที่ท่อมาพบกันระหว่างช่วงท่อนั้นกับพัดลมมากที่สุด หรือเริ่มที่ช่วงท่อซึ่งอยู่ไกลซึ่งอยู่ไกลพัดลมมากที่สุด (ช่วงท่อ – Segments คือ ท่อที่มีขนาดคงที่และอยู่ระหว่างจุดที่สนใจ เช่น ชุดและจุดที่ท่อสาขามาพบกัน หรือจุดที่ท่อมาพบกันและทางเข้าพัดลม)

4. คำนวณพื้นที่หน้าตัดของท่อจาก $Q = AV$ เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของอากาศที่คำนวณได้ และ V คือ ความเร็วลมต่ำสุดในท่อ และ A คือพื้นที่หน้าตัดของท่อ

5. ร่างระบบโดยใช้เส้นตรงแทนจุดกึ่งกลางท่อเป็นเส้นกำหนดความยาวของท่อแต่ละส่วน

6. คำนวณหาความดันสูญเสียในท่อ จนกระทั่งถึงจุดที่ท่อมาพบกัน

7. จุดที่ท่อสองท่อมาพบกัน ท่อทั้งสองต้องมีความดันสถิตเท่ากันไม่ว่าทิศทางของอากาศจะมาจากทางใด หากการออกแบบไม่สามารถทำให้ความดันสถิตในท่อทั้งสองนี้เท่ากันได้ระบบจะปรับความดันให้สมดุลเองอัตโนมัติ โดยการลดอัตราการไหลในท่อที่มีความต้านทานมาก และเพิ่มอัตราการไหลในท่อที่มีความต้านทานน้อย ซึ่งจะทำให้อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ชุดของท่อที่มีความต้านทานมากกว่าที่ต้องการ

8. เลือกอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศและพัดลม

9. ตรวจสอบขนาดท่อจากการออกแบบกับสภาพพื้นที่ที่จะติดตั้งระบบ

10. กำหนดวัสดุและความหนาของท่อจากคุณลักษณะของกระแสอากาศและสารปนเปื้อน

9. การทดสอบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

9.1 การทดสอบเชิงคุณภาพ (Qualitative Testing)

การทดสอบด้วยหลอดควัน เป็นการทดสอบเพื่อดูทิศทางการไหลของอากาศ รวมทั้งประมาณค่าความเร็วของอากาศที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชุด โดยหลอดควันทำด้วยหลอดแก้วปลายปิดทั้งสองข้างภายในบรรจุสารเคมีซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศแล้วทำให้เกิดควันสีขาวที่มองเห็นได้ง่าย โดยควันจะเคลื่อนที่ตามกระแสของอากาศจึงสามารถสังเกตทิศทางของอากาศที่หน้าชุดได้ว่าเคลื่อนที่ไปในทิศทางใด ประโยชน์ของหลอดควันในการตรวจสอบระบบระบายอากาศ มีดังนี้

1. แสดงให้เห็นการกระจายตัวของสารปนเปื้อนจากแหล่งขึ้นสู่อากาศและความเร็วที่สารนั้นเคลื่อนที่เข้าสู่ชุดหรือลอยขึ้นสู่อากาศ
2. สามารถประมาณระยะห่างที่สุดที่สารปนเปื้อนจะถูกดึงเข้าสู่ระบบได้
3. ตรวจสอบทิศทางและความเร็วที่สารปนเปื้อนเคลื่อนเข้าสู่ชุดชนิดต่างๆ
4. ตรวจสอบการผันผวนและการเคลื่อนไหวของอากาศที่หน้าชุด ซึ่งเป็นเหตุให้อากาศที่มีสารปนเปื้อนไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าสู่ชุดได้
5. ตรวจสอบผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของอากาศจากแหล่งอื่นต่อการทำงานของชุด เช่น พัดลมตั้งพื้น
6. แสดงหรือสาธิตให้ผู้ปฏิบัติงานเห็นการทำงานของชุด และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานของชุด เช่น ระยะห่างจากหน้าชุด

9.2 การทดสอบเชิงปริมาณ (Quantitative Testing)

เป็นการทดสอบโดยการวัดอัตราการไหลของอากาศ ความเร็วลม หรือความดันด้วยอุปกรณ์ที่สามารถอ่านค่าดังกล่าวได้โดยตรง หรือนำค่าที่วัดได้มาคำนวณเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศหรือพลังงานที่ระบบใช้ไป โดยการทดสอบตามส่วนประกอบของระบบ คือ การทดสอบที่จุด ระบบท่อ พัดลม และอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ ดังนี้

1. การทดสอบที่จุด ได้แก่ การวัดความเร็วลมที่หน้าสุด เพื่อคำนวณอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่จุด การวัดความเร็วที่จุดกำเนิดของสารปนเปื้อนซึ่งอยู่ห่างจากจุดมากที่สุด การตรวจวัดความดันสถิตของจุด
2. การทดสอบที่ระบบท่อ ได้แก่ การวัดความเร็วลมและความดันภายในท่อ และการทดสอบความดันสถิตของระบบ
3. อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ วัดความดันสูญเสียเนื่องจากอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ
4. การทดสอบพัดลม ได้แก่ การวัดความดันพัดลม การวัดความเร็วรอบ และการใช้พลังงานพัดลม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. เครื่องมือสำหรับตรวจวัดความเข้มข้นสารตะกั่วและกรดซัลฟิวริกในบรรยากาศ



ภาพที่ 20 เครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นสารตะกั่วและกรดซัลฟิวริก

ที่มา: บริษัท ไทยบริดจสโตน จำกัด (2557)

3. เครื่องมือวัดความเร็วลม (Anemometer) ที่หน้าท่อดูดของระบบระบายอากาศ (รุ่น Testo 416 ประเทศเยอรมนี)



ภาพที่ 21 เครื่องมือตรวจวัดความเร็วลม

ที่มา: บริษัท ไทยบริดจสโตน จำกัด (2557)

4. ตลับเมตร

5. เครื่องคิดเลข

วิธีการ

1. รวบรวมข้อมูล เพื่อนำมาประกอบการทำการวิจัย ดังนี้
 - ค่าความเข้มข้นของตะกั่วและซัลฟิวริกก่อนการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่
 - ลักษณะของ Hood และอัตราการไหลของ Hood เดิมที่มีอยู่
 - จำนวนแบตเตอรี่ในห้องชาร์ตแบตเตอรี่
 - ความเร็วลมของท่อ
2. ทำการคำนวณหาค่าอัตราการไหลของอากาศ
3. ทำการพิจารณาข้อมูลด้านล่าง เพื่อไปประกอบการออกแบบระบบระบายอากาศ ดังนี้
 - อัตราการไหลของอากาศตามกฎหมายกำหนด
 - ชนิดของ Hood สำหรับใช้ในการเจือจางสารปนเปื้อนออกสู่บรรยากาศ
 - ตำแหน่งที่จะติดตั้ง Hood
 - อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ
 - ชนิดของพัดลมที่ติดตั้งเพื่อระบายอากาศ
4. ทำการออกแบบระบบระบายอากาศ และคำนวณค่า ดังต่อไปนี้
 - ความเร็วลมของท่อที่ต้องการ
 - ขนาดและพื้นที่หน้าตัดของท่อ
 - ความดันจลน์ในท่อ
 - ความยาวของท่อ
 - จำนวนข้องอที่ต้องการใช้
 - ความสูญเสียความดันสถิตสะสม
5. ทำการคำนวณระบบระบายอากาศ
6. เลือกพัดลมที่นำมาใช้ในห้องชาร์ตแบตเตอรี่

7. ทดสอบประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศ

- ตรวจวัดค่าความเร็วลมและอัตราการไหลของท่อ
- ตรวจวัดค่าความเข้มข้นของตะกั่วและซัลฟูริกหลังการติดตั้งระบบระบายอากาศ

8. สรุปผลงานวิจัย

วิธีการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟูริก

ตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารตะกั่ว และกรดซัลฟูริกในบรรยากาศของห้องชาร์ตแบดเตอร์สารเคมีละจำนวน 4 จุดที่ความสูง 1.2 – 1.5 เมตรจากพื้น โดยใช้ Air Sampling Pump ยี่ห้อ TSI รุ่น 4146

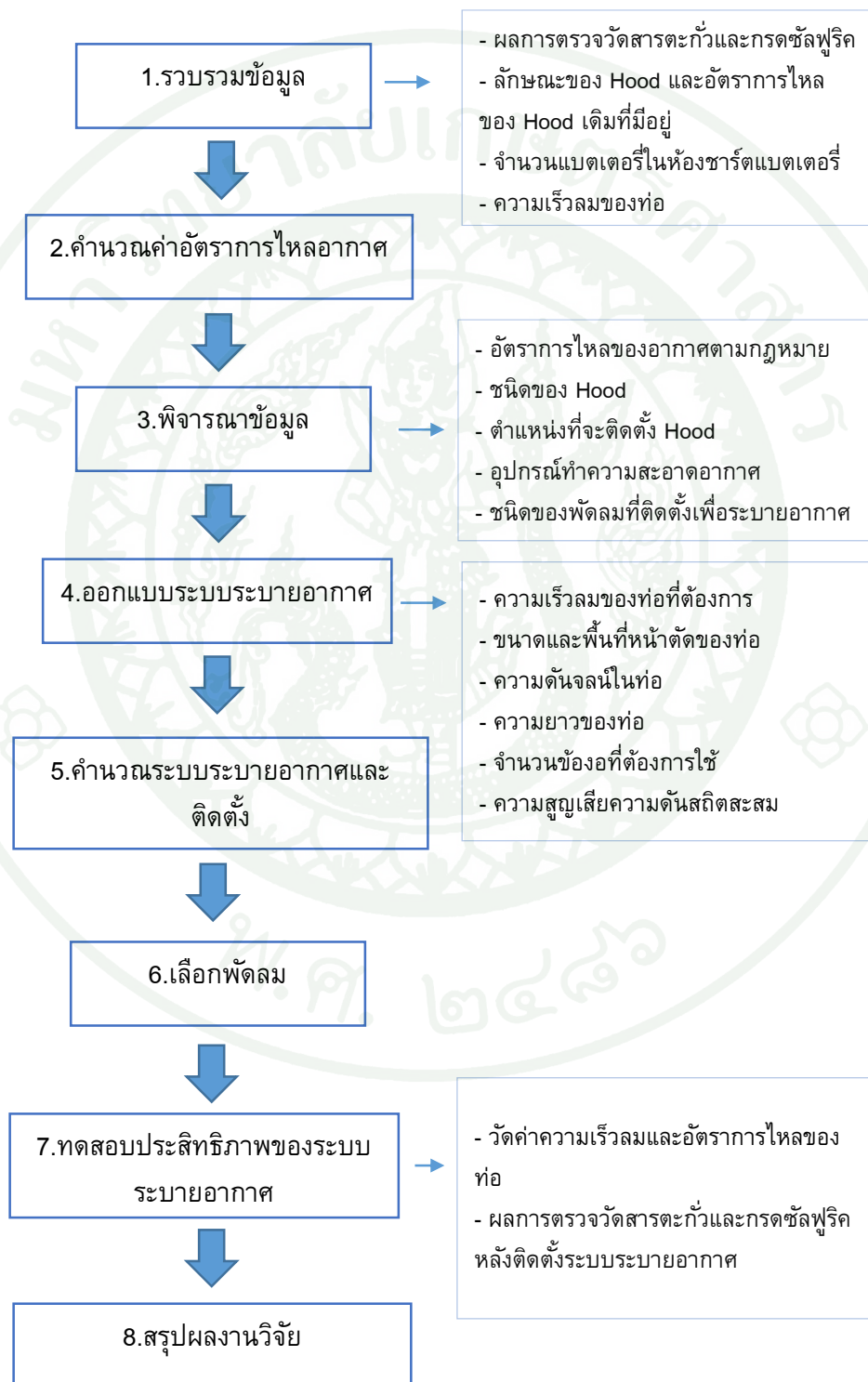
1. ตะกั่ว

เก็บตัวอย่างอากาศด้วยอัตราการไหล 2.0 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ผ่านกระดาศกรองชนิด Mixed Cellulose Ester Filter นำกระดาศกรองมาย่อยด้วยกรดไนตริกและวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง Atomic Absorbance Spectrophotometer ยี่ห้อ GBC 932 ตามวิธีมาตรฐานของ NIOSH Method 7082

2. กรดซัลฟูริก

เก็บตัวอย่างอากาศด้วยอัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ผ่าน Silica Gel Tube และนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดกำมะถัน โดยเครื่อง Ion Chromatography ตามวิธีมาตรฐานของ NIOSH Method 7903 เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ACGIH (มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา)

Flow Chart ขั้นตอนวิธีการทำงานวิจัย

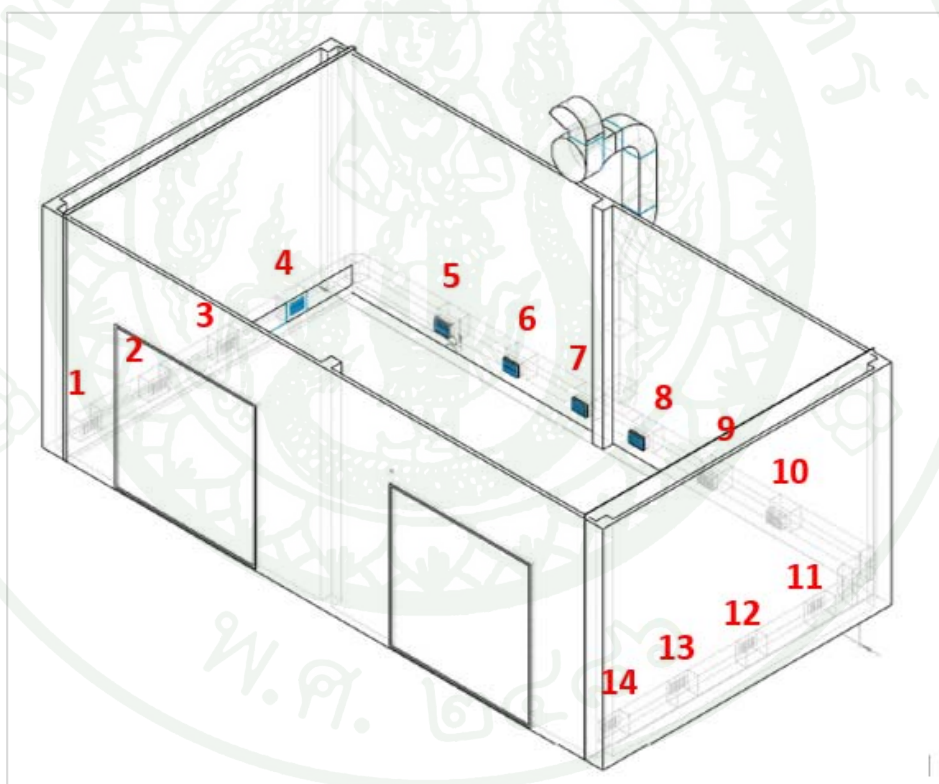


ผลและวิจารณ์

ผลของระบบระบายอากาศ ณ สภาวะปัจจุบัน

ผลการตรวจวัด ณ สภาวะปัจจุบัน

การศึกษาวิจัยนี้ได้นำการตรวจวัดความเร็วลมที่บริเวณหน้าสุด และภายในท่อที่ตำแหน่งต่างๆ ในภาพที่ 18 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 9



ภาพที่ 22 ตำแหน่งในการตรวจวัดความเร็วลมของอากาศที่ทางเข้าท่อแต่ละท่อจำนวนตำแหน่ง

ตารางที่ 5 ผลการตรวจวัดความเร็วลมหน้าท่อ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบระบายอากาศท่อเดิมที่มีอยู่

ผลการตรวจวัดความเร็วลมของระบบระบายอากาศท่อเดิมที่มีอยู่								
ตำแหน่งที่ตรวจวัด	ผลที่ได้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ (m/s)					ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V ; m/s)	พื้นที่ของท่อดูดอากาศ (A ; m ²)	อัตราการไหลของอากาศในท่อ (Q = AV ; m ³ /s)
	จุด A	จุด B	จุด C	จุด D	จุด E			
จุดที่ 1	1.4	1.4	1.6	1.4	1.2	1.4	0.12	0.17
จุดที่ 2	1.3	1.5	1.9	1.7	1.5	1.58	0.12	0.19
จุดที่ 3	2	1	2	1.8	2	1.76	0.12	0.21
จุดที่ 4	2.1	1.9	2.6	2.3	2	2.18	0.12	0.26
จุดที่ 5	2.6	1.6	3.3	3.4	3.5	2.88	0.12	0.35
จุดที่ 6	2.9	3.3	4	3.2	3	3.28	0.12	0.39
จุดที่ 7	3.5	3.4	4.2	3.2	2.7	3.4	0.12	0.41
จุดที่ 8	3.4	3	3.2	3.4	3.8	3.36	0.12	0.40
จุดที่ 9	3	3.3	3.3	2.8	3.2	3.12	0.12	0.37
จุดที่ 10	1.6	1.8	2.2	2.2	2.4	2.04	0.12	0.24
จุดที่ 11	2.1	1.7	2	1.3	2.5	1.92	0.12	0.23
จุดที่ 12	1.4	1.7	1.4	2	2.4	1.78	0.12	0.21
จุดที่ 13	1.8	1.5	1.8	1.6	1	1.54	0.12	0.18
จุดที่ 14	1.3	1.2	1.7	1.1	1.6	1.38	0.12	0.17
อัตราการไหลของอากาศในท่อเฉลี่ย								3.79

จากตารางที่ 5 พบว่า จากการตรวจวัดเมื่อเทียบกับมาตรฐานความเร็วหน้าท่อ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบระบายอากาศท่อเดิมที่มีอยู่เฉลี่ยจำนวน 5 จุด ณ ตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 อยู่ที่ 1.4 m/s, 1.58 m/s, 1.76 m/s, 2.18 m/s, 2.88 m/s, 3.28 m/s, 3.4 m/s, 3.36 m/s, 3.12 m/s, 2.04 m/s, 1.92 m/s, 1.78 m/s, 1.54 m/s, 1.38 m/s ซึ่งค่าที่ตรวจวัดได้มีค่าความเร็วลมหน้าท่อไม่เพียงพอ เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานความเร็วลมต่ำสุดในท่อสำหรับสารปนเปื้อนประเภทไอระเหย ก๊าซควรอยู่ในช่วง 5 - 10 m/s (ตามตารางที่ 2)

นำค่าความเร็วลมมาหาค่าอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเข้าท่อในแต่ละตำแหน่งของระบบระบายอากาศท่อเก่า โดยค่าอัตราการไหลของอากาศในท่อเฉลี่ยมีค่า 3.79 m³/s

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณหาค่าการสูญเสียความดันสถิตของระบบระบายอากาศ ณ สภาวะปัจจุบัน ช่วงท่อ A – D

ลำดับ ที่	รายการคำนวณ		ช่วงท่อ		
1	หมายเลขช่วงท่อและชุด		A-B	B-C	C-D
2	อัตราการไหลอากาศที่ต้องการ (m ³ /s)		1.82	3.79	3.79
3	ความเร็วต่ำสุด (m/s)		-	-	-
4	ขนาดท่อที่ใช้ (mm)		300 x 500	500 x 500	500 x 500
5	พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m ²)		0.15	0.25	0.25
6	ความเร็วลมในท่อ (m/s)		12.13	15.16	15.16
7	ความดันจลน์ในท่อ (Pa)		88.42	138.11	138.11
8	คำนวณหาความดันสถิตของชุด	พื้นที่สูงสุดของสล๊อต (m ²)	-	-	-
9		ความเร็วลมในสล๊อต (m/s)	-	-	-
10		ความดันจลน์ในสล๊อต (Pa)	-	-	-
11		สัมประสิทธิ์การสูญเสียที่สล๊อต	-	-	-
12		แฟคเตอร์ความสูญเสียเนื่องจากการเร่งความเร็ว (0 หรือ 1)	-	-	-
13		ความสูญเสียที่สล๊อต / VP (11 + 12)	-	-	-
14		ความดันสถิตที่สล๊อต (10 x 13)	-	-	-
15		สัมประสิทธิ์การสูญเสียเมื่ออากาศเข้าสู่ชุด (ภาพที่ 3)	0.93	-	-
16		แฟคเตอร์การสูญเสียเนื่องจากการเร่งความเร็ว (0 หรือ 1)	1	-	-
17		ความสูญเสียที่ชุด / VP (15 + 16)	1.93	-	-
18		ความสูญเสียที่ชุด (7 x 17) (Pa)	170.65	-	-
19		ความดันสถิตที่ชุด (14 + 18) (Pa)	170.65	-	-

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ลำดับ ที่	รายการคำนวณ	ช่วงท่อ		
20	ความยาวของท่อตรง (m)	15	7	0.3
21	แฟกเตอร์ความเสียดทาน (H_f)	0.0451	0.0329	0.0329
22	ความสูญเสียความดันท่อ / VP (20 x 21)	0.680	0.230	0.010
23	จำนวนท่อโค้ง 90°	3	3	2
24	ความสูญเสียที่ท่อโค้ง / VP (23 x loss factor)	1.89	1.638	1.092
25	จำนวนท่อนสาข (0 หรือ 1)	-	-	-
26	ความสูญเสียที่ท่อนสาขา / VP (25 x loss factor)	-	-	-
27	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ท่อลักษณะพิเศษ	-	-	-
28	ความสูญเสียที่ท่อ / VP (22 + 24 + 26 + 27)	2.570	1.868	1.102
29	ความสูญเสียในช่วงท่อ (7 x 28) (Pa)	227.24	257.99	152.20
30	ความสูญเสียอื่นๆ (เช่น VP3 - VPr) (Pa)	-	-	-
31	ความสูญเสียความดันสถิต (SP) (Pa) (19+29)	397.89	257.99	152.20
32	ความสูญเสียความดันสถิตสะสม (SP) (Pa)	-397.89	-655.89	152.20

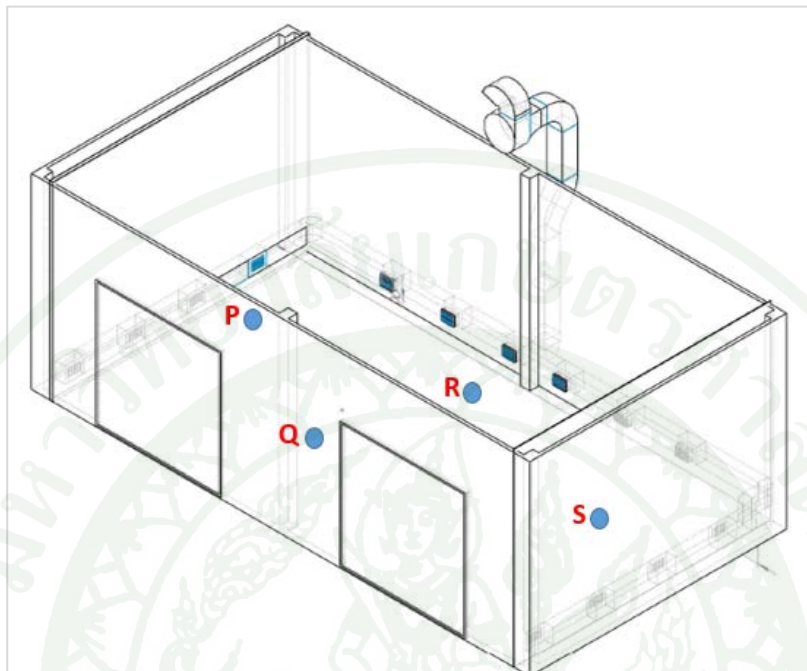
ตารางที่ 7 ผลการหาค่าความดันรวม อัตราการไหลของอากาศ และกำลังมอเตอร์ที่สภาวะปัจจุบัน

ลำดับที่	รายการคำนวณ	ผลการคำนวณ
1	อัตราการไหลของอากาศ (Q , m ³ /s)	3.79
2	ความดันสถิตของพัดลม (FSP, Pa)	669.98
3	กำลังขับของพัดลม (BHP, hp)	4.07

ในการคำนวณหาค่าการเปลี่ยนอากาศ (Air Change) อ้างอิงจากกฎหมาย กฎกระทรวง ฉบับที่ 50 (พ.ศ. 2540) ออกตาม พรบ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 เนื่องจากไม่มีห้องชาร์ตแบตเตอร์ จึงกำหนดค่า Air Change ให้เท่ากับของห้องครัว ดังนั้นใช้ Air Change เท่ากับ 24 ครั้ง/hr. ห้องชาร์ตแบตเตอร์มีปริมาตรห้อง 896 m^3 ดังนั้น ค่าอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการในห้องชาร์ตแบตเตอร์ เท่ากับ $6 \text{ m}^3/\text{s}$ โดยผลการหาค่าอัตราการไหลของอากาศภายในห้องชาร์ตแบตเตอร์ $3.79 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งค่าอัตราการไหลของอากาศไม่เพียงพอในการระบายอากาศน้ำไอระเหยออกจากห้องชาร์ตแบตเตอร์ และความดันสถิตของพัดลมที่ใช้ 669.98 Pa กำลังขับของพัดลม 4.07 hp

จากการตรวจสอบพัดลมที่ใช้ของระบบระบายอากาศเดิม คือ พัดลมประเภท Centrifugal Fan ซึ่งมีค่าความดันสถิตของพัดลมเท่ากับ 100 Pa (จากการคำนวณต้องการความดันสถิต 669.98 Pa) ทำให้ระบบไม่สามารถทำงานได้ อีกทั้งความยาวของท่อทางเข้า (จากจุด A - C) มีความยาวมากกว่าท่อทางออก (จุด C - D) ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานที่ไม่เต็มประสิทธิภาพของพัดลมของระบบระบายอากาศเดิม

ดังนั้น จึงต้องทำการออกแบบระบบระบายอากาศใหม่ เพื่อให้สามารถทำการระบายอากาศไอระเหยของสารเคมีได้



ภาพที่ 23 วงกลมแสดงตำแหน่งในการตรวจวัดความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟูริกของห้องชาร์ตแบตเตอรี่

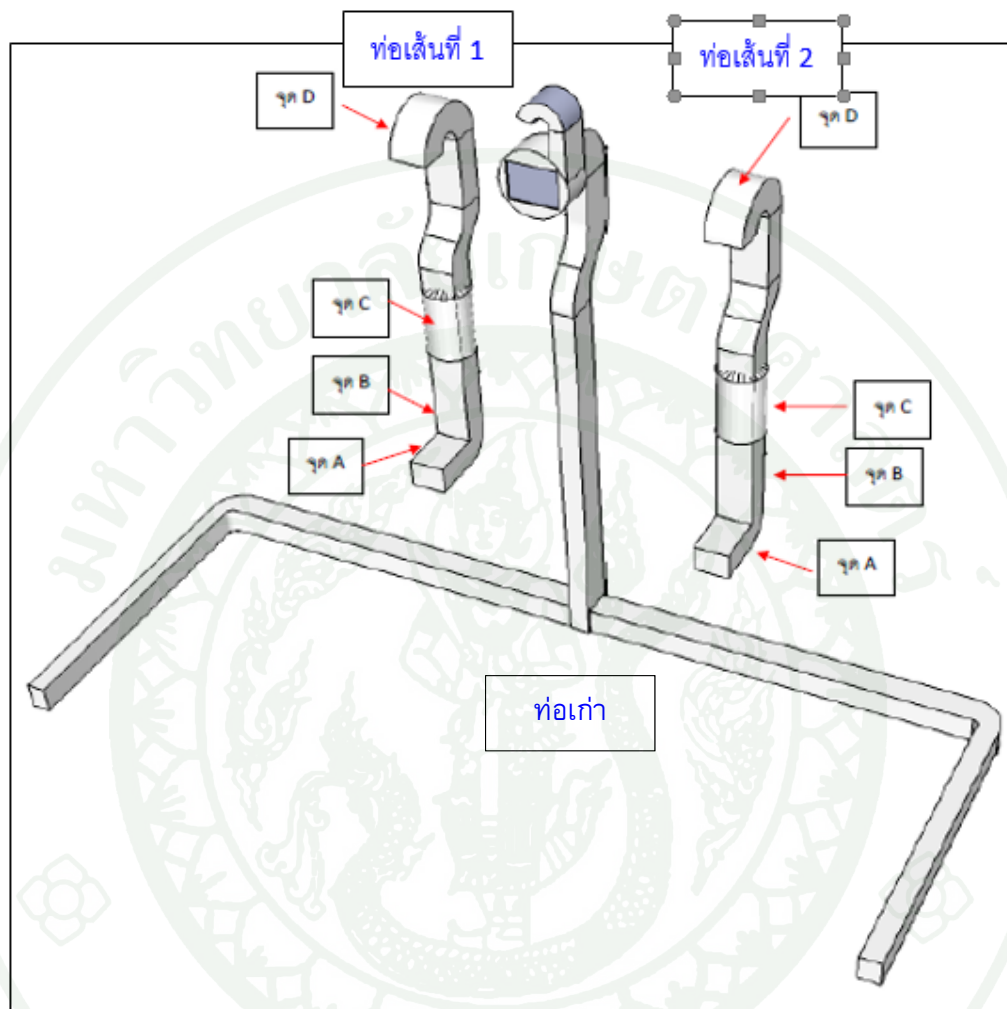
ตารางที่ 8 ผลการตรวจวัดค่าความเข้มข้นสารตะกั่วและกรดซัลฟูริกก่อนการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่

หัวข้อ	ตำแหน่งที่ตรวจวัด	สารเคมีที่ตรวจวัด	ผลก่อนการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่	มาตรฐาน ACGIH	Unit
1	Battery Charger จุดที่ P	Lead	0.048	0.05	mg/m ³
		Sulfuric Acid	0.312	0.2	mg/m ³
2	Battery Charger จุดที่ Q	Lead	0.042	0.05	mg/m ³
		Sulfuric Acid	0.426	0.2	mg/m ³
3	Battery Charger จุดที่ R	Lead	0.039	0.05	mg/m ³
		Sulfuric Acid	0.357	0.2	mg/m ³
4	Battery Charger จุดที่ S	Lead	0.044	0.05	mg/m ³
		Sulfuric Acid	0.418	0.2	mg/m ³

จากตารางที่ 8 ผลการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารตะกั่ว และกรดซัลฟูริกในบรรยากาศของห้องชาร์ตแบตเตอรี่โดยใช้ Air Sampling Pump สำหรับวิธีในการเก็บตัวอย่างอากาศและตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารตะกั่วจะใช้มาตรฐานของ NIOSH Method 7082 และกรดซัลฟูริกจะใช้มาตรฐานของ NIOSH Method 7903 เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ACGIH (มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา) จำนวน 4 จุด ของระบบระบายอากาศท่อเก่า โดยการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศก่อนการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่ พบว่าค่าของสารตะกั่วผ่านตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด แต่กรดซัลฟูริกไม่ผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด

เนื่องจากมีโครงการจะเพิ่มจำนวนแบตเตอรี่ในห้องชาร์ตแบตเตอรี่เพื่อความเพียงพอในการใช้แบตเตอรี่ของพนักงานขับรถยก ทำให้ระบบระบายอากาศที่มีอยู่ไม่เพียงพอในการระบายอากาศ และมีแนวโน้มที่จะทำให้ผลการตรวจวัดสารตะกั่วและกรดซัลฟูริกไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยตำแหน่งในการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารตะกั่ว และกรดซัลฟูริก ดังภาพที่ 23

ทำการออกแบบและติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่ให้สอดคล้องตามที่กฎหมายกำหนด เนื่องจากการออกแบบอัตราการไหลของอากาศ (Q) $6 \text{ m}^3/\text{s}$ หากเป็นท่อเดียวจะได้ท่อที่มีขนาดใหญ่มาก ดังนั้นจึงทำการออกแบบให้มีระบบระบายอากาศใหม่ให้มีขนาดเท่ากันจำนวน 2 ชุด ดังภาพที่ 24 และกำหนดค่าความเร็วลมต่ำสุดในท่อแต่ละชุดสำหรับการระบายอากาศชนิดของสารปนเปื้อนเป็นประเภทไอระเหย (V) เท่ากับ 10 m/s ตามมาตรฐาน ACGIH ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ลักษณะของเส้นท่อที่ออกแบบใหม่ในห้องชาร์ตแบตเตอรี่

ตารางที่ 9 ผลการคำนวณหาค่าการสูญเสียความดันสถิตของระบบระบายอากาศแบบใหม่ช่วง
ท่อ A – D (ท่อเส้นที่ 1 และ 2)

ลำดับ ที่	รายการคำนวณ		ช่วงท่อ		
1	หมายเลขช่วงท่อและจุด		A-B	B-C	C-D
2	อัตราการไหลอากาศที่ต้องการ (m^3/s)		2.81	3	3
3	ความเร็วต่ำสุด (m/s)		10	10	10
4	ขนาดท่อใหญ่สุด (mm)		750 x 500	750 x 500	750 x 500
5	พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m^2)		0.3	0.3	0.3
6	ความเร็วลมในท่อ (m/s)		10	10	10
7	ความดันจลน์ในท่อ (Pa)		60.1	60.1	60.1
8	คำนวณหาความดันสถิตของจุด	พื้นที่สูงสุดของสล๊อต (m^2)	-	-	-
9		ความเร็วลมในสล๊อต (m/s)	-	-	-
10		ความดันจลน์ในสล๊อต (Pa)	-	-	-
11		สัมประสิทธิ์การสูญเสียที่สล๊อต	-	-	-
12		แฟคเตอร์ความสูญเสียเนื่องจากการเร่งความเร็ว (0หรือ1)	-	-	-
13		ความสูญเสียที่สล๊อต / VP (11 + 12)	-	-	-
14		ความดันสถิตที่สล๊อต (10 x 13)	-	-	-
15		สัมประสิทธิ์การสูญเสียเมื่ออากาศเข้าสู่จุด (ภาพที่ 3)	0.93	-	-
16		แฟคเตอร์การสูญเสียเนื่องจากการเร่งความเร็ว (0หรือ1)	1	-	-
17		ความสูญเสียที่จุด / VP (15 + 16)	1.93	-	-
18		ความสูญเสียที่จุด (7 x 17) (Pa)	115.993	-	-
19		ความดันสถิตที่จุด (14 + 18) (Pa)	115.993	-	-

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ลำดับ ที่	รายการคำนวณ	ช่วงท่อ		
20	ความยาวของท่อตรง (m)	0.5	1	3.5
21	แฟกเตอร์ความเสียดทาน (H_f)	0.025	0.025	0.025
22	ความสูญเสียความดันท่อ / VP (20 x 21)	0.013	0.025	0.089
23	จำนวนท่อโค้ง 90°	-	1	4
24	ความสูญเสียที่ท่อโค้ง / VP (23 x loss factor)	-	0.526	1.912
25	จำนวนท่อนสาข (0 หรือ 1)	-	-	-
26	ความสูญเสียที่ท่อนสาขา / VP (25 x loss factor)	-	-	-
27	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ท่อลักษณะพิเศษ	-	-	-
28	ความสูญเสียที่ท่อ / VP (22 + 24 + 26 + 27)	0.013	0.551	2.001
29	ความสูญเสียในช่วงท่อ (7 x 28) (Pa)	0.78	33.12	120.26
30	ความสูญเสียอื่นๆ (เช่น VP3 - VPr) (Pa)	-	-	-
31	ความสูญเสียความดันสถิต (SP) (Pa)	116.78	33.12	120.26
32	ความสูญเสียความดันสถิตสะสม (SP) (Pa)	116.78	149.90	120.26

ตารางที่ 10 ผลการหาค่าความดันรวม อัตราการไหลของอากาศ และกำลังมอเตอร์ที่สมภาวะปัจจุบันของท่อเส้นที่ 1 และท่อเส้นที่ 2

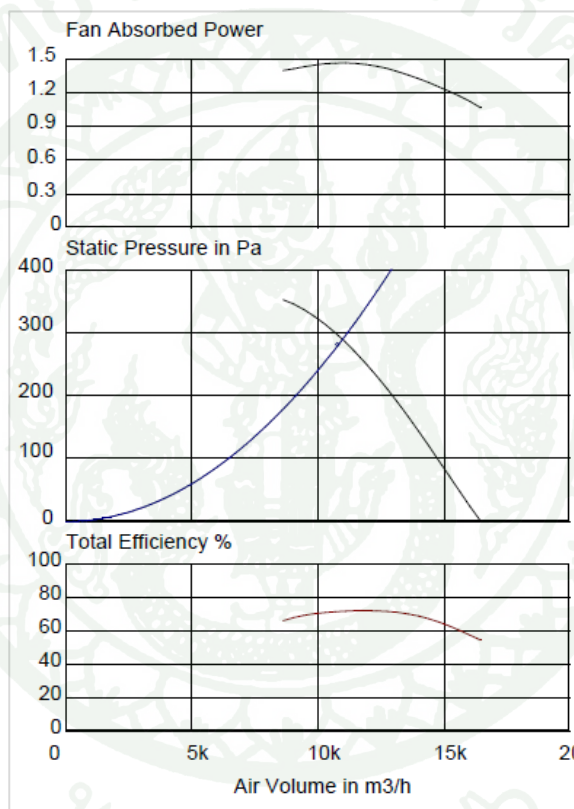
ลำดับที่	รายการคำนวณ	ผลการคำนวณ
1	อัตราการไหลของอากาศ (Q, m ³ /s)	3
2	ความดันสถิตของพัดลม (FSP, Pa)	210.06
3	กำลังขับของพัดลม (BHP, hp)	1.57

ตารางที่ 11 ผลการตรวจวัดความเร็วลมและอัตราการไหลของอากาศในท่อของระบบระบายอากาศท่อเดิม และท่อใหม่เส้นที่ 1 และเส้นที่ 2 เปรียบเทียบก่อนและหลังการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่

ตำแหน่งที่ตรวจวัด	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (V ; m/s)		พื้นที่หน้าท่อดูด (A ; m ²)	อัตราการไหลของอากาศในท่อ (Q = AV ; m ³ /s)	
	ก่อนการติดตั้ง	หลังการติดตั้ง		ก่อนการติดตั้ง	หลังการติดตั้ง
ท่อใหม่เส้นที่ 1	-	9.36	0.3	-	2.81
ท่อใหม่เส้นที่ 2	-	9.42	0.3	-	2.82
ท่อเดิมจุดที่ 1	1.4	1.4	0.12	0.17	0.17
ท่อเดิมจุดที่ 2	1.58	1.6	0.12	0.19	0.19
ท่อเดิมจุดที่ 3	1.76	1.78	0.12	0.21	0.21
ท่อเดิมจุดที่ 4	2.18	2.2	0.12	0.26	0.26
ท่อเดิมจุดที่ 5	2.88	2.8	0.12	0.35	0.34
ท่อเดิมจุดที่ 6	3.28	3.3	0.12	0.39	0.40
ท่อเดิมจุดที่ 7	3.4	3.42	0.12	0.41	0.41
ท่อเดิมจุดที่ 8	3.36	3.36	0.12	0.40	0.40
ท่อเดิมจุดที่ 9	3.12	3.1	0.12	0.37	0.37
ท่อเดิมจุดที่ 10	2.04	2.02	0.12	0.24	0.24
ท่อเดิมจุดที่ 11	1.92	1.94	0.12	0.23	0.23
ท่อเดิมจุดที่ 12	1.78	1.76	0.12	0.21	0.21
ท่อเดิมจุดที่ 13	1.54	1.5	0.12	0.18	0.18
ท่อเดิมจุดที่ 14	1.38	1.38	0.12	0.17	0.17
อัตราการไหลของอากาศของท่อเดิมรวม				3.79	3.79
อัตราการไหลของอากาศของห้องทั้งหมด				3.79	9.42

จากตารางที่ 11 พบว่าผลการตรวจวัดความเร็วลมเฉลี่ยและค่าอัตราการไหลของอากาศในท่อ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบระบายอากาศเดิมที่มีอยู่และระบบระบายอากาศใหม่ พบว่าผลการตรวจวัดความเร็วลมของท่อเก่ามีค่าไม่แตกต่างจากเดิม และความเร็วลมของท่อใหม่หน้าท่อที่อุณหภูมิ 37°C ของเส้นท่อที่ 1 และ 2 มีค่า 9.38 m/s และ 9.4 m/s ซึ่งผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับการออกแบบซึ่งกำหนดค่าความเร็วลมเท่ากับ 10 m/s และอัตราการไหลของอากาศในห้องรวมมีค่า 9.42 m³/s

จากการคำนวณตามตารางที่ 9 และ 10 จะได้ค่าอัตราการไหลของอากาศ, ความเร็วลมในท่อ และค่าความดันสถิตของพัดลม เพื่อนำมาเลือกพัดลมเป็นประเภท Axial Fan รุ่น TDA630-V-12AA-7-7 ที่มีอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $3 \text{ m}^3/\text{s}$, ความเร็วลมในท่อ 9.62 m/s และค่าความดันสถิตของพัดลม 280 Pa ที่อุณหภูมิ 20°C โดยกราฟสมรรถนะของพัดลมที่ใช้ตามภาพที่ 25



ภาพที่ 25 กราฟสมรรถนะของพัดลมที่ใช้ของระบบระบายอากาศใหม่ในห้องชาร์ตแบตเตอรี่

จากตารางที่ 11 ได้ค่าอัตราการไหลในเส้นท่อใหม่ที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ $2.81 \text{ m}^3/\text{s}$ และ $2.82 \text{ m}^3/\text{s}$ ตามลำดับ และภาพที่ 25 พบว่าที่อุณหภูมิห้อง 37°C ได้ค่าความดันสถิตของพัดลมทั้งสองชุดมีค่า 217 Pa ในขณะที่กำลังของพัดลมมีค่า 1.38 kW ตามลำดับ (รายละเอียดของการคำนวณอยู่ในภาคผนวก)

ตารางที่ 12 ผลการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟูริกหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศเส้นท่อที่ 1 และเส้นท่อที่ 2

หัวข้อ	ตำแหน่งที่ตรวจวัด	สารเคมีที่ตรวจวัด	ผลหลังการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่	มาตรฐาน ACGIH	Unit
1	Battery Charger จุดที่ P	Lead	0.018	0.05	mg/m ³
		Sulfuric Acid	0.020	0.2	mg/m ³
2	Battery Charger จุดที่ Q	Lead	0.012	0.05	mg/m ³
		Sulfuric Acid	0.026	0.2	mg/m ³
3	Battery Charger จุดที่ R	Lead	0.005	0.05	mg/m ³
		Sulfuric Acid	0.015	0.2	mg/m ³
4	Battery Charger จุดที่ S	Lead	0.010	0.05	mg/m ³
		Sulfuric Acid	0.026	0.2	mg/m ³

จากตารางที่ 12 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟูริกในบรรยากาศภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ พบว่าหลังจากทำการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่เข้าไปค่าสารตะกั่วและกรดซัลฟูริกผ่านตามมาตรฐานของ ACGIH

ตารางที่ 13 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟิวริกในบรรยากาศภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ก่อนและหลังการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่เปรียบเทียบกับมาตรฐาน ACGIH

หัวข้อ	ตำแหน่ง ที่ ตรวจวัด	สารเคมีที่ ตรวจวัด	ผลก่อนการ ติดตั้งระบบ ระบายอากาศ ใหม่	ผลหลังการติดตั้ง ระบบระบาย อากาศใหม่	มาตรฐาน ACGIH	Unit
1	Battery Charger จุดที่ P	Lead	0.048	0.018	0.05	mg/m ³
		Sulfuric Acid	0.312	0.020	0.2	mg/m ³
2	Battery Charger จุดที่ Q	Lead	0.042	0.012	0.05	mg/m ³
		Sulfuric Acid	0.426	0.026	0.2	mg/m ³
3	Battery Charger จุดที่ R	Lead	0.039	0.005	0.05	mg/m ³
		Sulfuric Acid	0.357	0.015	0.2	mg/m ³
4	Battery Charger จุดที่ S	Lead	0.044	0.010	0.05	mg/m ³
		Sulfuric Acid	0.418	0.026	0.2	mg/m ³

จากตารางที่ 13 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟิวริกในบรรยากาศภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ก่อนทำการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่และหลังการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่ พบว่า หลังจากทำการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่เข้าไปค่าสารตะกั่วและกรดซัลฟิวริกผ่านตามมาตรฐานของ ACGIH

ตารางที่ 14 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟูริกในอากาศที่ระบายออกจากปล่องเปรียบเทียบกับประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549

หัวข้อ	ตำแหน่งที่ตรวจวัด	สารเคมีที่ตรวจวัด	ผลการตรวจวัด	มาตรฐาน	Unit
1	ปล่องของระบบระบายอากาศเก่า	Lead	0.034	30	mg/m ³
		Sulfuric Acid	0.09	25	Ppm
2	ปล่องของระบบระบายอากาศใหม่ที่ 1	Lead	0.011	30	mg/m ³
		Sulfuric Acid	0.18	25	Ppm
3	ปล่องของระบบระบายอากาศใหม่ที่ 2	Lead	0.013	30	mg/m ³
		Sulfuric Acid	0.17	25	Ppm

จากตารางที่ 14 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟูริกในอากาศที่ระบายออกจากปล่องเมื่อเปรียบเทียบกับประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549 พบว่าผลการตรวจวัดผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาการออกแบบระบบระบายอากาศให้ถูกหลักวิศวกรรมเพื่อลดปริมาณสารพิษที่ปนเปื้อน คือ สารตะกั่วและกรดซัลฟูริก และประเมินประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเดิมที่มีอยู่ พร้อมทั้งทดสอบประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศขณะที่มีการชาร์ตแบตเตอรี่ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยตามมาตรฐาน ACGIH

1. ผลการตรวจวัดค่าความเร็วลมเฉลี่ยและค่าอัตราการไหลของอากาศในห้อง ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบระบายอากาศเดิมที่มีอยู่และระบบระบายอากาศใหม่ พบว่า เมื่อทำการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่ ผลการตรวจวัดค่าความเร็วลมของท่อเก่ามีค่าไม่แตกต่างจากเดิม และค่าอัตราการไหลของอากาศในห้องก่อนการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่รวมมีค่า $3.79 \text{ m}^3/\text{s}$ และหลังจากการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่ค่าอัตราการไหลของอากาศในห้องรวมมีค่า $9.42 \text{ m}^3/\text{s}$

2. ค่าอัตราการไหลของอากาศในเส้นท่อใหม่ที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ $2.81 \text{ m}^3/\text{s}$ และ $2.82 \text{ m}^3/\text{s}$ ตามลำดับ และกราฟสมรรถนะของพัดลม ภาพที่ 21 พบว่าค่าความดันสถิตของพัดลมทั้งสองชุดมีค่า 217 Pa ในขณะที่กำลังของพัดลมมีค่า 1.38 kW ตามลำดับ

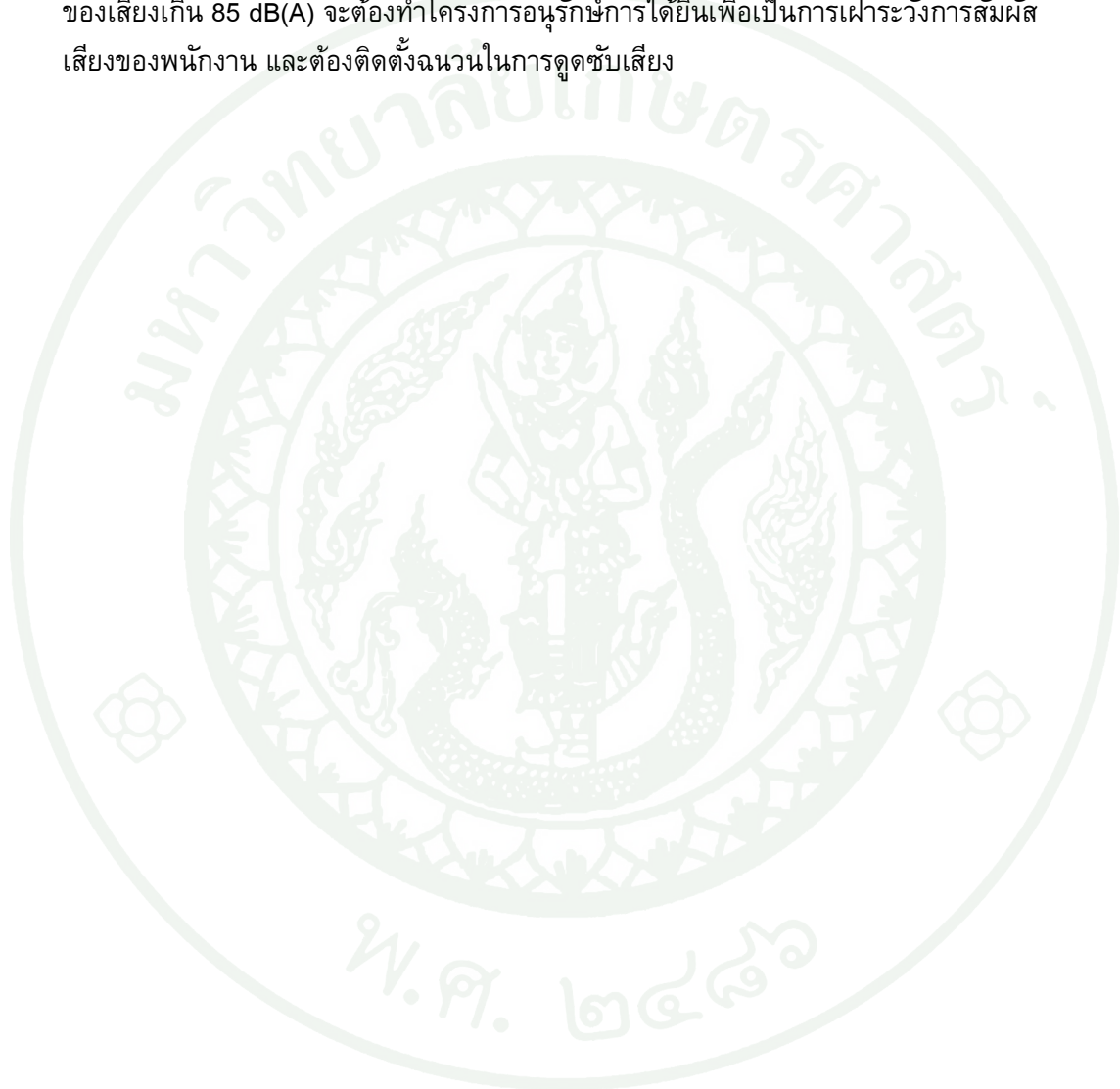
3. ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟูริกในบรรยากาศภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ พบว่า ก่อนทำการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่ค่าความเข้มข้นของสารตะกั่วผ่านตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด แต่ค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกไม่ผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด แต่หลังจากทำการติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่เข้าไปค่าความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟูริกผ่านตามมาตรฐานของ ACGIH

4. ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารตะกั่วและกรดซัลฟูริกในอากาศที่ระบายออกจากปล่อง พบว่าผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549

ข้อเสนอแนะ

1. เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าความเข้มข้นของตะกั่วและกรดซัลฟิวริกที่เจือปนในอากาศจะไม่ส่งผลให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของพนักงาน ควรมีการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นอย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง และกำหนดให้พนักงานที่เข้ามาปฏิบัติงานในห้องชาร์ตแบตเตอรี่สวมหน้ากากป้องกันสารพิษตลอดเวลาที่ปฏิบัติงาน
2. การคำนวณหาอัตราความต้องการของอากาศโดยคำนวณจากขนาดห้องเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน แต่ต้องระวังเนื่องจากความต้องการของอากาศหากมีการนำมออกแบบและหาขนาดของพัดลม จะไม่ได้คิดถึงค่าการสูญเสียในเส้นทาง ซึ่งจะทำความดันสถิตของพัดลมและขนาดของพัดลมไม่เพียงพอต่อการใช้งาน
3. การเพิ่มความเร็วรอบในการหมุนของพัดลม นอกจากระดับเสียงที่เกิดขึ้นจะสูงขึ้นด้วยแล้ว พลังงานที่ใช้อาจสูงขึ้นตามไปด้วย รวมถึงการสิ้นเปลืองของพัดลม
4. พัดลมแบบ Axial Fan จะมีขนาดเล็ก เหมาะสำหรับการติดตั้งระหว่างท่อ แต่หากพัดลมมีขนาดใหญ่ จะยังมีเสียงดัง
5. ควรมีการตรวจสอบสภาพของระบบระบายอากาศ เช่น ท่อนำอากาศควรตรวจสอบไม่ให้มีรอยรั่ว เพราะจะทำให้ความเร็วลมบริเวณหน้าหัวดูดไม่เพียงพอในการดูดไอระเหยของสารตะกั่วและกรดซัลฟิวริก
6. ควรมีการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศก่อนจะมีการใช้งาน และระหว่างที่มีการใช้งานอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง
7. ผู้ที่สนใจจะศึกษาการดำเนินงานวิจัยในเรื่องระบบระบายอากาศในห้องชาร์ตแบตเตอรี่สามารถต่อยอดแนวความคิดจากงานวิจัยนี้ โดยการหาตำแหน่งที่ระบบระบายอากาศที่เป็นมุมอับที่อาจเป็นเหตุให้มีความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศสูงกว่าบริเวณอื่นภายในห้อง โดยการจำลองการไหลของอากาศภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ เพื่อเป็นการปรับปรุงระบบระบายอากาศให้ดียิ่งขึ้น

8. ต้องระมัดระวังในการเลือกใช้พัดลมชนิด Axial Fan เนื่องจากพัดลมประเภทนี้มีเสียงดังมาก ซึ่งหากนำไปใช้ในพื้นที่มีพนักงานทำงานอยู่ตลอด อาจก่อให้เกิดโรคประสาทหูเสื่อมจากการประกอบอาชีพ และยังสร้างความรำคาญให้แก่พนักงาน ซึ่งหากพัดลมมีความดังของเสียงเกิน 85 dB(A) จะต้องทำโครงการอนุรักษ์การได้ยินเพื่อเป็นการเฝ้าระวังการสัมผัสเสียงของพนักงาน และต้องติดตั้งฉนวนในการดูดซับเสียง



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ปิยมาศ สุทธิภักดี. 2550. การศึกษาประสิทธิภาพระบบระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณที่มี
การบัดกรีด้วยลวดตะกั่วในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้ายานยนต์.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุรเชษฐ์ เพชรเหมือน. 2548. การศึกษาเชิงวิเคราะห์ในระบบระบายอากาศสำหรับห้อง
ซาร์จแบตเตอรี่รถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุรียานต์ โตไทยะ. 2551. การศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพจากไอระเหยของกรดซัลฟิวริกใน
แบตเตอรี่รถยนต์ประจุไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศรีรัตนา วาณิชดิสัย. 2551. การออกแบบระบบระบายอากาศในโรงงานผลิตเคมี : การ
ระบายอากาศในห้อง PL-Z. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วันทนีย์ พันธุ์ประสิทธิ์. 2552. การระบายอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม. ภาควิชาอาชีวอนามัย
และความปลอดภัย. คณะสาธารณสุขศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.
- วิทยา อยู่สุข. 2542. อาชีวอนามัยและความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม. ภาควิชาอาชีวอนามัยและ
ความปลอดภัย. คณะสาธารณสุขศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.
- พรพิมล กองทิพย์. 2543. สุขศาสตร์อุตสาหกรรม. ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย.
คณะสาธารณสุขศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ
- American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. 2009.
ASHRAE Handbook 2009 Fundamental. Atlanta, USA.
- American Social of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. 2001.
ASHRAE Standard 62, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta,
USA.

American Conference of Government Industrial Hygienists. 1998. **Industrial ventilation : A Manual of Recommended Practice 23rd edition**. ACGIH. Cincinnati, USA.

American Conference of Government Industrial Hygienists. 2005. **Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices**. ACGIH. Cincinnati, USA.

Henry J. McDermott. 2001. **Handbook of Ventilation for Contaminant Control. 3rd edition**. ACGIH. Cincinnati, USA.

Kruger Ventilation Ind. (Thailand) Co. Ltd. 2014. . Available Source:
<http://www.krugerfan.com/thailand.php>, July 16, 2014.

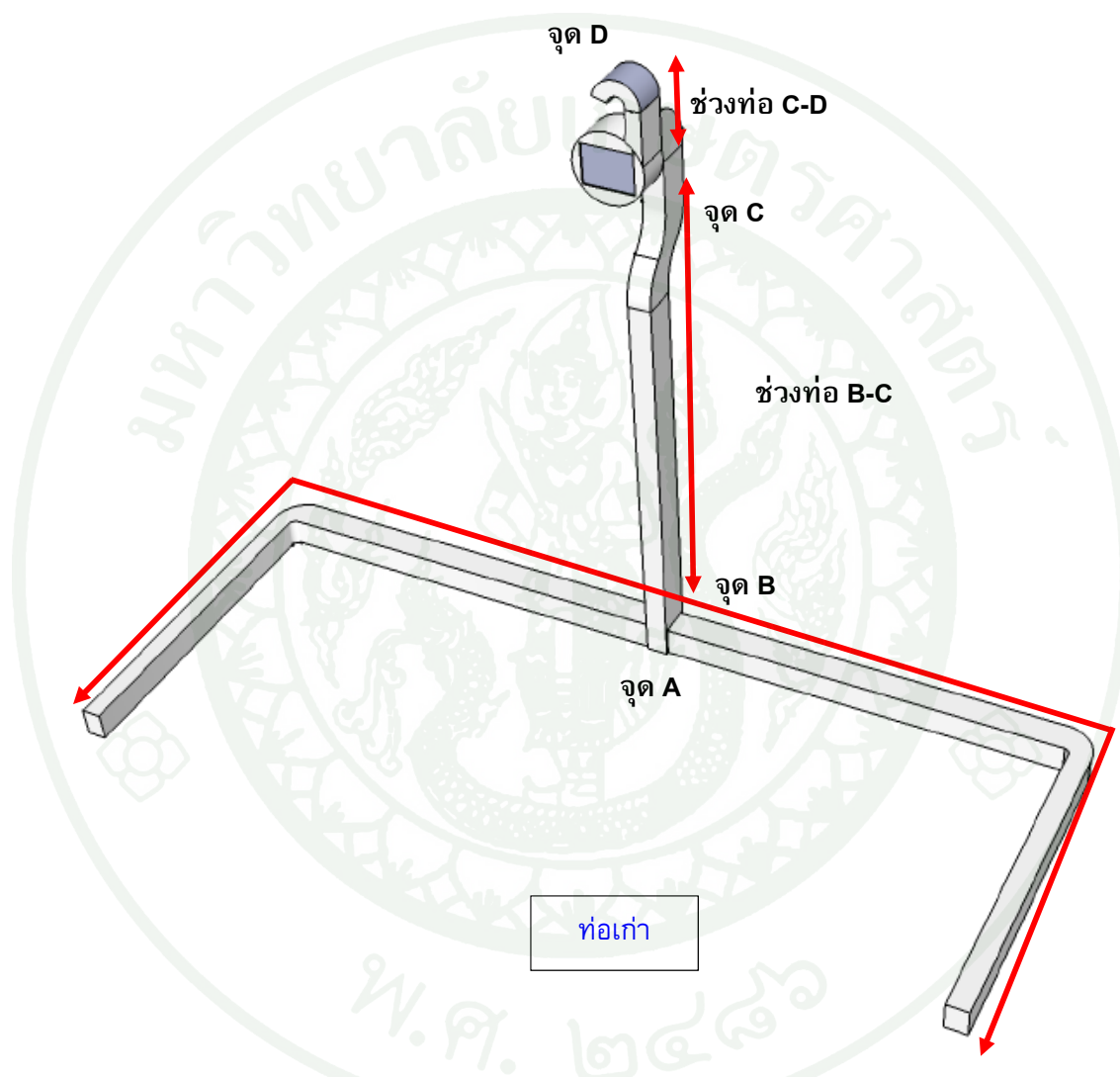
NIOSH. 2014. **LEAD by Flame AAS**. Available Source:
www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/7082.pdf, July 16, 2014.

NIOSH. 2014. **ACIDS, INORGANIC**. Available Source:
www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/7903.pdf, July 16, 2014.



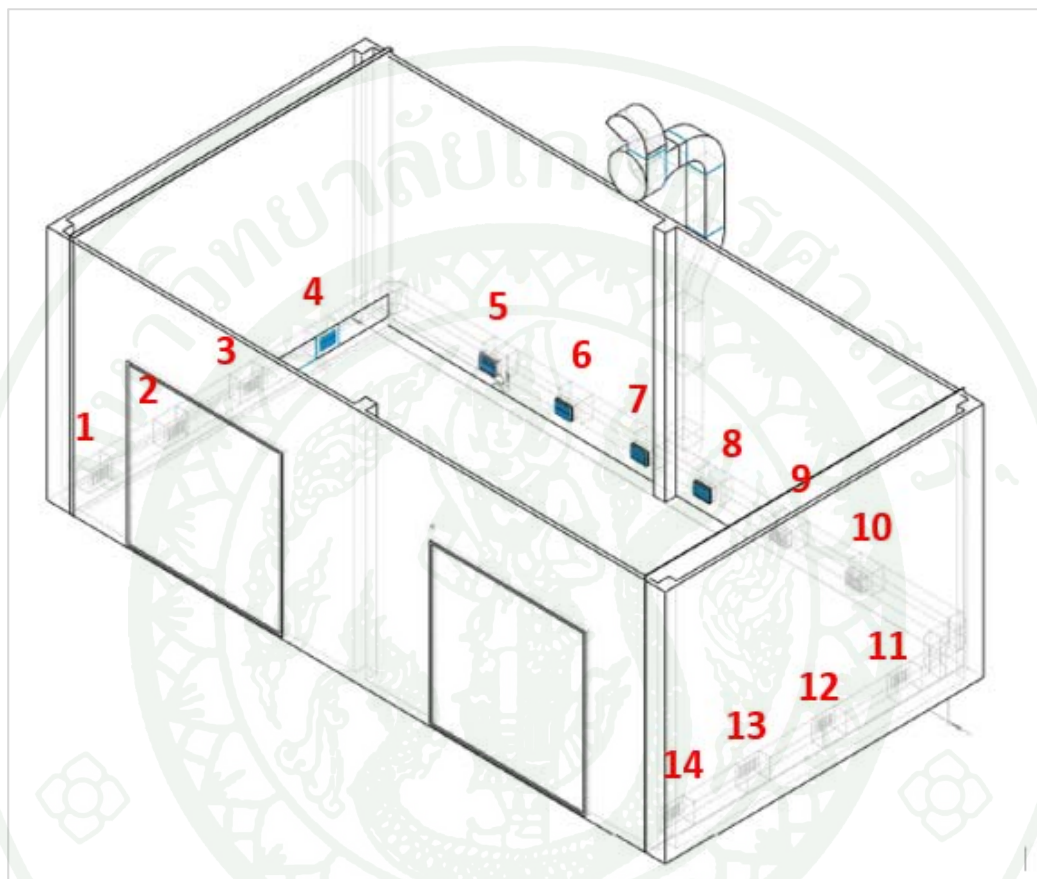
ภาคผนวก

ขั้นตอนการคำนวณประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศที่มีอยู่เดิม

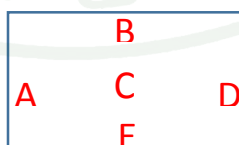


ภาพผนวกที่ 1 ลักษณะของเส้นท่อในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ที่มีอยู่เดิม

หาค่าอัตราการไหลของอากาศของท่อดูดอากาศจากการตรวจวัดความเร็วลมของท่อ



ภาพผนวกที่ 2 ลักษณะตำแหน่งของเส้นท่อที่ตรวจวัดความเร็วลมในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ที่มีอยู่เดิม



ภาพผนวกที่ 3 จุดในการตรวจวัดความเร็วลมของอากาศที่ทางเข้าท่อแต่ละตำแหน่งของท่อ จำนวน 5 จุด

ตารางผนวกที่ 1 การตรวจวัดความเร็วลมและหาค่าอัตราการไหล ณ จุดตรวจวัดที่ 1 -14 ของระบบระบายอากาศท่อเดิมที่มีอยู่

ตำแหน่ง ที่ ตรวจวัด	ผลที่ได้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ (m/s)					ค่า ความเร็ว ลมเฉลี่ย (V ; m/s)	พื้นที่ของท่อ ดูดอากาศ (A ; m ²)	อัตราการ ไหลของ อากาศในท่อ (Q = AV ; m ³ /s)
	จุด A	จุด B	จุด C	จุด D	จุด E			
จุดที่ 1	1.4	1.4	1.6	1.4	1.2	1.4	0.12	0.17
จุดที่ 2	1.3	1.5	1.9	1.7	1.5	1.58	0.12	0.19
จุดที่ 3	2	1	2	1.8	2	1.76	0.12	0.21
จุดที่ 4	2.1	1.9	2.6	2.3	2	2.18	0.12	0.26
จุดที่ 5	2.6	1.6	3.3	3.4	3.5	2.88	0.12	0.35
จุดที่ 6	2.9	3.3	4	3.2	3	3.28	0.12	0.39
จุดที่ 7	3.5	3.4	4.2	3.2	2.7	3.4	0.12	0.41
จุดที่ 8	3.4	3	3.2	3.4	3.8	3.36	0.12	0.40
จุดที่ 9	3	3.3	3.3	2.8	3.2	3.12	0.12	0.37
จุดที่ 10	1.6	1.8	2.2	2.2	2.4	2.04	0.12	0.24
จุดที่ 11	2.1	1.7	2	1.3	2.5	1.92	0.12	0.23
จุดที่ 12	1.4	1.7	1.4	2	2.4	1.78	0.12	0.21
จุดที่ 13	1.8	1.5	1.8	1.6	1	1.54	0.12	0.18
จุดที่ 14	1.3	1.2	1.7	1.1	1.6	1.38	0.12	0.17
อัตราการไหลของอากาศในท่อเฉลี่ย								3.79

คำนวณประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศที่มีอยู่เดิม

พิจารณาช่วงท่อ A-B (ดูตารางผนวกที่ 4 ตารางแสดงการคำนวณของเส้นท่อที่ 1 ประกอบ)

ประกอบด้วย :

ท่ออลูมิเนียมสี่เหลี่ยมยาว 26 เมตร ขนาดกว้าง 0.3 เมตร ยาว 0.5 เมตร

ข้อต่อ 90° จำนวน 4 ชิ้น

ท่อจากจุดที่ 8 ถึงจุดที่ 14 ยาว 15 เมตร

เนื่องจากจุดที่ 8 ถึงจุดที่ 14 มีข้อมูลมากกว่าจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 7 ดังนั้นในการหาค่าอัตราการไหลของอากาศโดยพิจารณาจากช่วงท่อที่ A-B จะมีค่าอัตราการไหลของอากาศ ดังนี้

ตารางผนวกที่ 2 การตรวจวัดความเร็วลมและหาค่าอัตราการไหล ณ จุดตรวจวัดที่ 8 -14 ของระบบระบายอากาศท่อเดิมที่มีอยู่

ตำแหน่ง ที่ตรวจวัด	ผลที่ได้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ (m/s)					ค่าความเร็ว ลมเฉลี่ย (V ; m/s)	พื้นที่ของ ท่อตัด อากาศ (A ; m ²)	อัตราการไหล ของอากาศ ในท่อ (Q = AV ; m ³ /s)
	จุด A	จุด B	จุด C	จุด D	จุด E			
จุดที่ 8	3.4	3	3.2	3.4	3.8	3.36	0.12	0.40
จุดที่ 9	3	3.3	3.3	2.8	3.2	3.12	0.12	0.37
จุดที่ 10	1.6	1.8	2.2	2.2	2.4	2.04	0.12	0.24
จุดที่ 11	2.1	1.7	2	1.3	2.5	1.92	0.12	0.23
จุดที่ 12	1.4	1.7	1.4	2	2.4	1.78	0.12	0.21
จุดที่ 13	1.8	1.5	1.8	1.6	1	1.54	0.12	0.18
จุดที่ 14	1.3	1.2	1.7	1.1	1.6	1.38	0.12	0.17
อัตราการไหลของอากาศเฉลี่ย								1.82

ดังนั้น อัตราการไหลของอากาศเฉลี่ย เท่ากับ 1.82 m³/s

รายการที่ 1 : กำหนดช่วงของระบบท่อที่ต้องการคำนวณหาอัตราการสูญเสียความดัน (Duct segment identification) กำหนดช่วงท่อที่ต้องการพิจารณา คือ A - B

รายการที่ 2 : คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Volume flow rate)
= 1.82 m³/s

รายการที่ 3 : ความเร็วลมต่ำสุดของอากาศในท่อที่ใช้ (Minimum duct velocity)
ไม่มีข้อมูลเดิม

รายการที่ 4 : ขนาดของท่อที่ใช้(Duct diameter)
= 300 x 500 mm (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 17 นิ้ว)

รายการที่ 5 : คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดในท่อดูดอากาศ (Duct area)

$$A = 0.15 \text{ m}^2$$

รายการที่ 6 : ค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อดูดอากาศจริง (Actual Duct Velocity)

$$\begin{aligned} V_d &= Q / A \\ &= (1.82 \text{ m}^3/\text{s}) / (0.15 \text{ m}^2) \\ &= 12.13 \text{ m/s} \end{aligned}$$

รายการที่ 7 : หาความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d)

$$VP_d = [V_d / 1.29]^2 = [(12.13 \text{ m/s}) / 1.29]^2 = 88.42 \text{ Pa}$$

รายการที่ 8 – 14 : ไม่ต้องบันทึกค่า เนื่องจากชุดที่เลือกใช้เป็นชุดที่ไม่มีช่องแคบ

รายการที่ 15 : แฟคเตอร์ความสูญเสียเมื่ออากาศเข้าสู่ชุด (Hood entry loss factor) จากภาพที่ 3 จะพบว่า ความสูญเสียความดันที่ชุดเรียบ จะมีค่าแฟคเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้า คือ $F_h = 0.93$

รายการที่ 16 : แฟคเตอร์ความสูญเสียเนื่องจากการเร่งความเร็วของอากาศที่ไหลเข้าสู่ท่อ (Acceleration loss factor) จะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น โดยจะมีค่าเป็น 0 สำหรับท่อที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับชุด และมีค่าเป็น 1 สำหรับท่อที่เชื่อมต่อกับชุด โดยในกรณีนี้ที่ทำการออกแบบจะใช้ท่อที่เชื่อมต่อกับชุด ดังนั้นแฟคเตอร์ความสูญเสียเนื่องจากการเร่งมีค่าเท่ากับ 1

รายการที่ 17 : ความสูญเสียที่ความดันที่ทางเข้าชุดต่อความดันจลน์ของอากาศที่ไหลผ่านท่อ (Duct entry loss per VP_d)

= แฟคเตอร์ความสูญเสียที่ทางเข้าชุด (Hood entry loss factor) +
แฟคเตอร์ความสูญเสียความดันเนื่องจากความเร่งของอากาศที่ไหลเข้าสู่ท่อ (Acceleration loss factor)

$$= 0.93 + 1 = 1.93$$

รายการที่ 18 : ค่าความสูญเสียความดันที่ทางเข้าสู่อ (Duct entry loss) หน่วยคือ Pa
 = ความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Duct velocity pressure) คูณ ความ
 สูญเสียความดันที่ทางเข้าต่อความดันจลน์ของอากาศซึ่งไหลผ่านท่อ (Duct entry loss per VP_d)
 $= 88.42 \times 1.93$
 $= 170.65 \text{ Pa}$

รายการที่ 19 : ความดันสถิตที่สู่อ (Hood static pressure) หน่วยคือ Pa โดยเนื่องจาก
 สู่อที่ใช้เป็นสู่อแบบไม่มีช่องแคบ ดังนั้น ความดันสถิตที่สู่อ
 $=$ ค่าความสูญเสียความดันที่ทางเข้าสู่อ (Duct entry loss)
 $= 170.65 \text{ Pa}$

รายการที่ 20 : ความยาวของท่อตรง (Straight duct length : L)
 $L = 15 \text{ m}$

รายการที่ 21 : แฟกเตอร์ความเสียดทานของอากาศที่ไหลผ่านท่อตรง (Friction loss : H_f) โดยจากภาพผนวกที่ 4

เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)	แฟกเตอร์ความสูญเสียจากความเสียดทาน (VP ต่อ เมตร)					
	5 ม./วินาที	10 ม./วินาที	15 ม./วินาที	20 ม./วินาที	25 ม./วินาที	30 ม./วินาที
20	1.9005	1.7993	1.7425	1.7034	1.6736	1.6497
40	0.8136	0.7702	0.7460	0.7292	0.7165	0.7062
60	0.4953	0.4689	0.4541	0.4439	0.4362	0.4299
80	0.3483	0.3297	0.3193	0.3122	0.3067	0.3023
100	0.2651	0.2509	0.2430	0.2376	0.2334	0.2301
120	0.2120	0.2007	0.1944	0.1900	0.1867	0.1841
140	0.1756	0.1662	0.1610	0.1574	0.1546	0.1524
160	0.1491	0.1412	0.1367	0.1336	0.1313	0.1294
180	0.1291	0.1222	0.1184	0.1157	0.1137	0.1120
200	0.1135	0.1074	0.1040	0.1017	0.0999	0.0985
220	0.1010	0.0956	0.0926	0.0905	0.0889	0.0876
240	0.0908	0.0859	0.0832	0.0814	0.0799	0.0788
260	0.0823	0.0779	0.0755	0.0738	0.0725	0.0714
280	0.0752	0.0712	0.0689	0.0674	0.0662	0.0652
300	0.0691	0.0654	0.0633	0.0619	0.0608	0.0600
325	0.0626	0.0593	0.0574	0.0561	0.0552	0.0544
350	0.0572	0.0542	0.0524	0.0513	0.0504	0.0497
375	0.0526	0.0498	0.0482	0.0471	0.0463	0.0456
400	0.0486	0.0460	0.0445	0.0435	0.0428	0.0422
425	0.0451	0.0427	0.0414	0.0404	0.0397	0.0391
450	0.0421	0.0398	0.0386	0.0377	0.0370	0.0365
500	0.0370	0.0350	0.0339	0.0331	0.0326	0.0321
550	0.0329	0.0311	0.0302	0.0295	0.0290	0.0286
600	0.0296	0.0280	0.0271	0.0265	0.0260	0.0257
650	0.0268	0.0254	0.0246	0.0240	0.0236	0.0233
700	0.0245	0.0232	0.0225	0.0219	0.0216	0.0213
750	0.0225	0.0213	0.0206	0.0202	0.0198	0.0195
800	0.0208	0.0197	0.0191	0.0186	0.0183	0.0181
850	0.0193	0.0183	0.0177	0.0173	0.0170	0.0168
900	0.0180	0.0170	0.0165	0.0161	0.0159	0.0156
950	0.0169	0.0160	0.0154	0.0151	0.0148	0.0146
1000	0.0158	0.0150	0.0145	0.0142	0.0139	0.0137
1050	0.0149	0.0141	0.0137	0.0134	0.0131	0.0129
1100	0.0141	0.0133	0.0129	0.0126	0.0124	0.0122
1150	0.0133	0.0126	0.0122	0.0120	0.0117	0.0116
1200	0.0127	0.0120	0.0116	0.0113	0.0111	0.0110
1250	0.0120	0.0114	0.0110	0.0108	0.0106	0.0105
1300	0.0115	0.0109	0.0105	0.0103	0.0101	0.0100

ภาพผนวกที่ 4 แฟกเตอร์ความสูญเสียจากความเสียดทานสำหรับท่อกว้างใน

ที่เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 425 mm (เส้นผ่านศูนย์กลางท่อขนาด 17 นิ้ว) และความเร็วลม 1.82 m/s (อ่านค่าจากตารางที่ 5 m/s) จะได้ค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียจากความเสียดทาน $H_f = 0.0451$

รายการที่ 22 : ความสูญเสียความดันท่อตรงต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Friction loss per VP_d)

$$\begin{aligned}
 &= \text{ความยาวของท่อ} \times \text{แฟคเตอร์ความเสียดทาน (Friction factor)} \\
 &= L \times H_f \\
 &= 15 \times 0.0451 \\
 &= 0.68
 \end{aligned}$$

รายการที่ 23 : จำนวนท่อโค้ง 90° (No. of 90° elbow)

$$= 3 \text{ ท่อ}$$

รายการที่ 24 : ความสูญเสียความดันของท่อโค้งต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Elbow loss per VP_d)

= จำนวนท่อโค้ง 90° $\times$ แฟคเตอร์ความสูญเสียของอากาศที่ไหลผ่านท่อโค้งในกรณีของข้อต่อโค้งงอท่อสี่เหลี่ยม แฟคเตอร์การสูญเสียจะขึ้นกับอัตราส่วนของรัศมีความโค้งกับขนาดความยาว ด้านหน้าตัดในแนวรัศมี (R/D) และขึ้นกับสัดส่วนของหน้าตัด (W/D) โดยค่าของแฟคเตอร์ความสูญเสียสามารถดูได้จากตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอ 90° สำหรับท่อสี่เหลี่ยม

$$\text{จาก } W = 30 \text{ cm}, R = 40 \text{ cm}, D = 50 \text{ cm}$$

$$\text{ดังนั้น } R/D = 40 / 50 = 0.8$$

$$W/D = 30 / 50 = 0.63$$

ดังนั้น จากภาพที่ 14 : สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอ 90° สำหรับท่อสี่เหลี่ยม จะได้ค่าแฟคเตอร์ความสูญเสีย (loss factor) เท่ากับ $3 \times 0.63 = 1.89$

รายการที่ 25 : จำนวนของช่องทางเข้า (No. of entries) คือ ท่อแยก โดยในท่อนี้ไม่มีท่อสาขาแยกออกมา

ดังนั้น จึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 26 : ความสูญเสียความดันที่ทางเข้าที่ท่อสาขาต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Entry loss per VP_d)

= จำนวนของช่องทางเข้าท่อ $\times$ แฟคเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้าท่อสาขา แต่ในกรณีไม่มีท่อสาขา ทำให้ไม่มีการสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อแยกต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ

ดังนั้น จึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 27 : แฟคเตอร์ความสูญเสียความดันของข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ (Special fitting loss factor) เช่น ท่ออ่อน หรือท่อรูปตัว Y

ไม่มีข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ ดังนั้นจึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 28 : ความสูญเสียความดันของท่อต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Duct loss per VP_d)

= ความสูญเสียความดันของท่อตรง + ความสูญเสียความดันของท่อโค้ง + ความสูญเสียความดันที่ท่อแยกต่อความดันจลน์ + แฟคเตอร์การสูญเสียความดันของข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ

$$= 0.68 + 1.89 + 0 + 0$$

$$= 2.57$$

รายการที่ 29 : ค่าการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อในหน่วย Pa (Duct loss)

= การสูญเสียความดันของท่อต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ x ความดันจลน์ของอากาศในท่อ

$$= 2.57 \times 88.42 \text{ Pa}$$

$$= 227.24 \text{ Pa}$$

รายการที่ 30 : ค่าการสูญเสียความดัน (Other loss) แสดงค่าในหน่วย Pa โดยจะเกิดจากการไหลของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์อื่นๆ

ไม่มีอุปกรณ์อื่นๆเพิ่มเติม ดังนั้นจึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 31 : ค่าความสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อของส่วนที่กำลังพิจารณา (Duct SP loss)

= ความดันสถิตของชุด + การสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อ + ค่าการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์อื่นๆ

$$= SP_h + \text{duct loss} + \text{other loss}$$

$$= 170.65 \text{ Pa} + 227.24 \text{ Pa} + 0$$

$$= 397.89 \text{ Pa}$$

รายการที่ 32 : ค่าการสูญเสียความดันสถิตสะสมของระบบท่อ (Cumulative static pressure)

= ค่าการสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในช่วงท่อ A – B โดยระหว่างช่วงท่อต่างๆ ซึ่งถือเป็นความดันสถิตที่ต้องการในการลำเลียงอากาศในอัตราที่ต้องการให้ไหลผ่านระบบไปได้ โดยความดันสถิตดังกล่าวจะมีค่าเป็นลบ (-) เมื่อท่อดังกล่าวอยู่ด้านดูด (ทางเข้า) ของพัดลม และมีค่าเป็นบวก (+) เมื่อท่อดังกล่าวอยู่ด้านส่ง (ทางออก) ของพัดลม

ดังนั้น เนื่องจากท่อในช่วง A – B เป็นท่อช่วงดูด ดังนั้นความดันสถิตจึงมีค่าเป็นลบ

$$= - 397.89 \text{ Pa}$$

พิจารณาช่วงท่อ B-C

ประกอบด้วย :

ท่อลูมิเนียมสี่เหลี่ยมยาว 7 เมตร ขนาดกว้าง 0.5 เมตร ยาว 0.5 เมตร

ข้องอ 90° จำนวน 1 ชิ้น

อัตราการไหลของอากาศ เท่ากับ $3.79 \text{ m}^3/\text{s}$

รายการที่ 1 : กำหนดช่วงของระบบท่อที่ต้องการคำนวณหาการสูญเสียความดัน (Duct segment identification) กำหนดช่วงท่อที่ต้องการพิจารณา คือ B - C

รายการที่ 2 : คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Volume flow rate)

$$= 3.79 \text{ m}^3/\text{s}$$

รายการที่ 3 : ความเร็วลมต่ำสุดของอากาศในท่อที่ใช้ (Minimum duct velocity)

ไม่มีข้อมูลเดิม

รายการที่ 4 : ขนาดของท่อที่ใช้ (Duct diameter)

$$= 50 \times 50 \text{ cm (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 22 นิ้ว)}$$

รายการที่ 5 : พื้นที่หน้าตัดในท่ออากาศ (Duct area)

$$A = 0.25 \text{ m}^2$$

รายการที่ 6 : ค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่ออากาศจริง (Actual Duct Velocity)

จากการตรวจวัดความเร็วลมในอากาศ

$$\begin{aligned} V_d &= Q/A \\ &= (3.79 \text{ m}^3/\text{s}) / (0.25 \text{ m}^2) \\ &= 15.16 \text{ m/s} \end{aligned}$$

รายการที่ 7 : หาความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d)

$$VP_d = [V_d/1.29]^2 = [(15.16 \text{ m/s}) / 1.29]^2 = 138.11 \text{ Pa}$$

รายการที่ 8 – 19 : ไม่ต้องบันทึกค่า เนื่องจากชุดที่เลือกใช้เป็นชุดที่ไม่มีช่องแคบและระบบท่อไม่ได้เชื่อมต่อกับชุด

รายการที่ 20 : ความยาวของท่อตรง (Straight duct length : L)

$$L = 7 \text{ m}$$

รายการที่ 21 : แฟคเตอร์ความเสียดทานของอากาศที่ไหลผ่านท่อตรง (Friction loss : H_f)

จากภาพผนวกที่ 4 ค่าแฟคเตอร์ความสูญเสียจากความเสียดทานสำหรับท่อกลวงไนซ์ ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 550 mm (เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 22 นิ้ว) และความเร็วลมของท่อที่ 1.82 m/s (อ่านค่าจากตารางที่ 5 m/s) ได้ค่า $H_f = 0.0329$

รายการที่ 22 : ความสูญเสียความดันท่อตรงต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Friction loss per VP_d)

$$\begin{aligned} &= \text{ความยาวของท่อ} \times \text{แฟคเตอร์ความเสียดทาน (Friction factor)} \\ &= L \times H_f \\ &= 7 \times 0.0329 \\ &= 0.23 \end{aligned}$$

รายการที่ 23 : จำนวนท่อนโค้ง 90° (No. of 90° elbow)

= 3 ท่อ

รายการที่ 24 : ความสูญเสียความดันของท่อโค้งต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Elbow loss per VP_d)

= จำนวนท่อนโค้ง 90° x แฟคเตอร์ความสูญเสียของอากาศที่ไหลผ่านท่อโค้ง ในกรณีของข้อต่อโค้งงอท่อสี่เหลี่ยม แฟคเตอร์การสูญเสียจะขึ้นกับอัตราส่วนของรัศมีความโค้งกับขนาดความยาวด้านหน้าตัดในแนวรัศมี (R/D) และขึ้นกับสัดส่วนของหน้าตัด (W/D) โดยค่าของแฟคเตอร์ความสูญเสียสามารถดูได้จากตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอ 90° สำหรับท่อสี่เหลี่ยม

จาก $W = 30 \text{ cm}$, $R = 40 \text{ cm}$, $D = 50 \text{ cm}$

ดังนั้น $R/D = 40 / 50 = 0.8$

$W/D = 30 / 50 = 0.6$

ดังนั้น จากภาพที่ 14 : สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอ 90° สำหรับท่อสี่เหลี่ยม จะได้ค่าแฟคเตอร์ความสูญเสีย (loss factor) เท่ากับ $3 \times 0.546 = 1.638$

รายการที่ 25 : จำนวนของช่องทางเข้า (No. of entries) คือ ท่อแยก โดยในท่อนี้ไม่มีท่อสาขาแยกออกมา

ดังนั้น จึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 26 : ความสูญเสียความดันที่ทางเข้าที่ท่อสาขาต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Entry loss per VP_d)

= จำนวนของช่องทางเข้าท่อ x แฟคเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้าท่อสาขา แต่ในกรณีไม่มีท่อสาขา ทำให้ไม่มีการสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อแยกต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ

ดังนั้น จึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 27 : แฟคเตอร์ความสูญเสียความดันของข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ (Special fitting loss factor) เช่น ท่ออ่อน หรือท่อรูปตัว Y

ไม่มีข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ ดังนั้นจึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 28 : ความสูญเสียความดันของท่อต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Duct loss per VP_d)

$$\begin{aligned}
 &= \text{ความสูญเสียความดันของท่อตรง} + \text{ความสูญเสียความดันของท่อโค้ง} + \text{ความสูญเสียความดันที่} \\
 &\quad \text{ทางเข้าท่อแยกต่อความดันจลน์} + \text{แฟคเตอร์การสูญเสียความดันของ} \\
 &\quad \text{ข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ} \\
 &= 0.23 + 1.638 + 0 + 0 \\
 &= 1.868
 \end{aligned}$$

รายการที่ 29 : ค่าการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อในหน่วย Pa (Duct loss)

$$\begin{aligned}
 &= \text{การสูญเสียความดันของท่อต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ} \times \\
 &\quad \text{ความดันจลน์ของอากาศในท่อ} \\
 &= 1.868 \times 138.11 \text{ Pa} \\
 &= 257.99 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

รายการที่ 30 : ค่าการสูญเสียความดัน (Other loss) แสดงค่าในหน่วย Pa โดยจะเกิดจากการไหลของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์อื่นๆ

ไม่มีอุปกรณ์อื่นๆเพิ่มเติม ดังนั้นจึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 31 : ค่าความสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อของส่วนที่กำลังพิจารณา (Duct SP loss)

$$\begin{aligned}
 &= \text{ความดันสถิตของชุด} + \text{การสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อ} + \text{ค่าการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์อื่น} \\
 &= SP_h + \text{duct loss} + \text{other loss} \\
 &= 0 + 257.99 \text{ Pa} + 0 \\
 &= 257.99 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

รายการที่ 32 : ค่าการสูญเสียความดันสถิตสะสมของระบบท่อ (Cumulative static pressure)

= ค่าการสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในช่วงท่อ B – C โดยระหว่างช่วงท่อต่างๆ ซึ่งถือเป็นความดันสถิตที่ต้องการในการลำเลียงอากาศในอัตราที่ต้องการให้ไหลผ่านระบบไปได้ โดยความดันสถิตดังกล่าวจะมีค่าเป็นลบ (-) เมื่อท่อดังกล่าวอยู่ด้านดูด (ทางเข้า) ของพัดลม และมีค่าเป็นบวก (+) เมื่อท่อดังกล่าวอยู่ด้านส่ง (ทางออก) ของพัดลม

ดังนั้น เนื่องจากท่อในช่วง B – C เป็นท่อช่วงดูด ดังนั้นความดันสถิตจึงมีค่าเป็นลบ = - 257.99 Pa

$$\text{รวมความสูญเสียแรงดันในท่อ} = 397.89 + 257.99 = 655.88 \text{ Pa}$$

พิจารณาช่วงท่อ C – D (หลังพัดลม)

ประกอบด้วย :

ท่ออลูมิเนียมสี่เหลี่ยมยาว 0.3 เมตร ขนาดกว้าง 0.5 เมตร ยาว 0.5 เมตร

อัตราการไหลของอากาศ เท่ากับ $3.79 \text{ m}^3/\text{s}$

รายการที่ 1 : กำหนดช่วงของระบบท่อที่ต้องการคำนวณหาการสูญเสียความดัน (Duct segment identification) กำหนดช่วงท่อที่ต้องการพิจารณา คือ C – D

รายการที่ 2 : คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Volume flow rate)
= $3.79 \text{ m}^3/\text{s}$

รายการที่ 3 : ความเร็วลมต่ำสุดของอากาศในท่อที่ใช้ (Minimum duct velocity)
ไม่มีข้อมูล

รายการที่ 4 : ขนาดของท่อที่ใช้ (Duct diameter)
= $50 \times 50 \text{ cm}$ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 22 นิ้ว)

รายการที่ 5 : พื้นที่หน้าตัดในท่อดูดอากาศ (Duct area)
 $A = 0.25 \text{ m}^2$

รายการที่ 6 : ค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อดูดอากาศจริง (Actual Duct Velocity)

$$\begin{aligned} V_d &= Q/A \\ &= (3.79 \text{ m}^3/\text{s}) / (0.25 \text{ m}^2) \\ &= 15.16 \text{ m/s} \end{aligned}$$

รายการที่ 7 : หาความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d)

$$VP_d = [V_d/1.29]^2 = [(15.16 \text{ m/s}) / 1.29]^2 = 138.11 \text{ Pa}$$

รายการที่ 8 – 19 : ไม่ต้องบันทึกค่า เนื่องจากสูตรที่เลือกใช้เป็นสูตรที่ไม่มีช่องแคบและระบบท่อไม่ได้เชื่อมต่อกับสูตร

รายการที่ 20 : ความยาวของท่อตรง (Straight duct length : L)

$$L = 0.3 \text{ m}$$

รายการที่ 21 : แฟคเตอร์ความเสียดทานของอากาศที่ไหลผ่านท่อตรง (Friction loss : H_f)

จากภาพผนวกที่ 4 ค่าแฟคเตอร์ความสูญเสียจากความเสียดทานสำหรับท่อกลวงไนซ์ ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 550 mm (เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 22 นิ้ว) และความเร็วลมของท่อที่ 1.82 m/s (อ่านค่าจากตารางที่ 5 m/s) ได้ค่า $H_f = 0.0329$

รายการที่ 22 : ความสูญเสียความดันท่อตรงต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Friction loss per VP_d)

$$\begin{aligned} &= \text{ความยาวของท่อ} \times \text{แฟคเตอร์ความเสียดทาน (Friction factor)} \\ &= L \times H_f \\ &= 0.3 \times 0.0329 \\ &= 0.01 \end{aligned}$$

รายการที่ 23 : จำนวนท่อโค้ง 90° (No. of 90° elbow)

$$= 2 \text{ ท่อ}$$

รายการที่ 24 : ความสูญเสียความดันของท่อโค้งต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Elbow loss per VP_d)

= จำนวนท่อโค้ง 90° x แฟคเตอร์ความสูญเสียของอากาศที่ไหลผ่านท่อโค้ง

ในกรณีของข้อต่อโค้งงอท่อสี่เหลี่ยม แฟคเตอร์การสูญเสียจะขึ้นกับอัตราส่วนของรัศมีมีความโค้งกับขนาดความยาวด้านหน้าตัดในแนวรัศมี (R/D) และขึ้นกับสัดส่วนของหน้าตัด (W/D) โดยค่าของแฟคเตอร์ความสูญเสียสามารถดูได้จากตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอ 90° สำหรับท่อสี่เหลี่ยม

จาก $W = 50 \text{ cm}$, $R = 40 \text{ cm}$, $D = 50 \text{ cm}$

ดังนั้น $R/D = 40 / 50 = 0.8$

$W/D = 50 / 50 = 1$

ดังนั้น จากภาพที่ 14 : สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอ 90° สำหรับท่อสี่เหลี่ยม จะได้ค่าแฟคเตอร์ความสูญเสีย (loss factor) เท่ากับ $2 \times 0.546 = 1.092$

รายการที่ 25 : จำนวนของช่องทางเข้า (No. of entries) คือ ท่อแยก โดยในท่อนี้ไม่มีท่อสาขาแยกออกมา

ดังนั้น จึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 26 : ความสูญเสียความดันที่ทางเข้าที่ท่อสาขาต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Entry loss per VP_d)

= จำนวนของช่องทางเข้าท่อ x แฟคเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้าท่อสาขา แต่ในกรณีไม่มีท่อสาขา ทำให้ไม่มีการสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อแยกต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ

ดังนั้น จึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 27 : แฟคเตอร์ความสูญเสียความดันของข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ (Special fitting loss factor) เช่น ท่ออ่อน หรือท่อรูปตัว Y

ไม่มีข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ ดังนั้นจึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 28 : ความสูญเสียความดันของท่อต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Duct loss per VP_d)

= ความสูญเสียความดันของท่อตรง + ความสูญเสียความดันของท่อโค้ง + ความสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อแยกต่อความดันจลน์ + แฟคเตอร์การสูญเสียความดันของข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ

$$= 0.01 + 1.092 + 0 + 0$$

$$= 1.102$$

รายการที่ 29 : ค่าการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อในหน่วย Pa (Duct loss)

= การสูญเสียความดันของท่อต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ x ความดันจลน์ของอากาศในท่อ

$$= 1.102 \times 138.11 \text{ Pa}$$

$$= 152.2 \text{ Pa}$$

รายการที่ 30 : ค่าการสูญเสียความดัน (Other loss) แสดงค่าในหน่วย Pa โดยจะเกิดจากความต้องการการไหลของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์อื่นๆ

ไม่มีอุปกรณ์อื่นๆเพิ่มเติม ดังนั้นจึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 31 : ค่าความสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อของส่วนที่กำลังพิจารณา (Duct SP loss)

= ความดันสถิตของชุด + การสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อ + ค่าการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์อื่นๆ

$$= SP_h + \text{duct loss} + \text{other loss}$$

$$= 0 + 152.2 \text{ Pa} + 0$$

$$= 152.2 \text{ Pa}$$

รายการที่ 32 : ค่าการสูญเสียความดันสถิตสะสมของระบบท่อ (Cumulative static pressure)

= ค่าการสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในช่วงท่อ C – D โดยระหว่างช่วงท่อต่างๆ ซึ่งถือเป็นความดันสถิตที่ต้องการในการลำเลียงอากาศในอัตราที่ต้องการให้ไหลผ่านระบบไปได้ โดยความดันสถิตดังกล่าวจะมีค่าเป็นลบ (-) เมื่อท่อดังกล่าวอยู่ด้านดูด (ทางเข้า) ของพัดลม และมีค่าเป็นบวก (+) เมื่อท่อดังกล่าวอยู่ด้านส่ง (ทางออก) ของพัดลม

ดังนั้น เนื่องจากท่อในช่วง C – D เป็นท่อช่วงดูด ดังนั้นความดันสถิตจึงมีค่าเป็นลบ = + 152.2 Pa

รวมความสูญเสียแรงดันในท่อ = 152.2 Pa

ตารางผนวกที่ 3 การคำนวณระบบระบายอากาศท่อเดิมที่มีอยู่

ลำดับ ที่	รายการคำนวณ			ช่วงท่อ		
1	หมายเลขช่วงท่อและชุด			A-B	B-C	C-D
2	อัตราการไหลอากาศที่ต้องการ (m³/s)			1.82	3.79	3.79
3	ความเร็วต่ำสุด (m/s)			-	-	-
4	ขนาดท่อที่ใช้ (mm)			300 x 500	500 x 500	500 x 500
5	พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m²)			0.15	0.25	0.25
6	ความเร็วลมในท่อ (m/s)			12.13	15.16	15.16
7	ความดันจลน์ในท่อ (Pa)			88.42	138.11	138.11
8	คำนวณหาความดันสถิตของชุด	คำนวณความดันสถิตที่สล๊อต	พื้นที่สูงสุดของสล๊อต (m²)	-	-	-
9			ความเร็วลมในสล๊อต (m/s)	-	-	-
10			ความดันจลน์ในสล๊อต (Pa)	-	-	-
11			สัมประสิทธิ์การสูญเสียที่สล๊อต	-	-	-
12			แฟกเตอร์ความสูญเสียเนื่องจากการเร่งความเร็ว(0 หรือ 1)	-	-	-
13			ความสูญเสียที่สล๊อต / VP (11 + 12)	-	-	-
14			ความดันสถิตที่สล๊อต (10 x 13)	-	-	-
15		สัมประสิทธิ์การสูญเสียเมื่ออากาศเข้าสู่ชุด (ภาพที่ 3)		0.93	-	-
16		แฟกเตอร์การสูญเสียเนื่องจากการเร่งความเร็ว (0 หรือ 1)		1	-	-
17		ความสูญเสียที่ชุด / VP (15 + 16)		1.93	-	-
18		ความสูญเสียที่ชุด (7 x 17) (Pa)		170.65	-	-
19	ความดันสถิตที่ชุด (14 + 18) (Pa)		170.65	-	-	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ลำดับ ที่	รายการคำนวณ	ช่วงท่อ		
20	ความยาวของท่อตรง (m)	15	7	0.3
21	แฟกเตอร์ความเสียดทาน (H_f)	0.0451	0.0329	0.0329
22	ความสูญเสียความดันท่อ / VP (20 x 21)	0.680	0.230	0.010
23	จำนวนท่อโค้ง 90°	3	3	2
24	ความสูญเสียที่ท่อโค้ง / VP (23 x loss factor)	1.89	1.638	1.092
25	จำนวนท่อนสาข (0 หรือ 1)	-	-	-
26	ความสูญเสียที่ท่อนสาขา / VP (25 x loss factor)	-	-	-
27	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ท่อลักษณะพิเศษ	-	-	-
28	ความสูญเสียที่ท่อ / VP (22 + 24 + 26 + 27)	2.570	1.868	1.102
29	ความสูญเสียในช่วงท่อ (7 x 28) (Pa)	227.24	257.99	152.20
30	ความสูญเสียอื่นๆ (เช่น VP3 - VPr) (Pa)	-	-	-
31	ความสูญเสียความดันสถิต (SP) (Pa) (19+29)	397.89	257.99	152.20
32	ความสูญเสียความดันสถิตสะสม (SP) (Pa)	-397.89	-655.89	152.20

ขนาดของพัดลมสำหรับท่อของระบบระบายอากาศเดิมที่มีอยู่

ผลรวมของค่าการสูญเสียความดันสถิตสะสมจากทุกช่วงของระบบท่อจนถึงทางเข้าของพัดลม และค่าการสูญเสียความดันสถิตสะสมจากทางออกของพัดลมถึงปลายปล่องระบายจะนำไปใช้ในการหาความดันสถิตของพัดลม ซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดของพัดลมที่จะนำมาใช้กับระบบสำหรับความดันสถิตของพัดลม (FSP) จะหาได้จากสมการ

$$FSP = SP_{outlet} - SP_{inlet} - VP_{inlet}$$

โดยที่ ช่องทางออกของพัดลม (Outlet) คือ ท่อช่วง C – D ดังนั้น $SP_{outlet} = + 152.2 \text{ Pa}$

ช่องทางเข้าของพัดลม (Inlet) คือ ท่อช่วง B – C ดังนั้น $SP_{inlet} = - 655.89 \text{ Pa}$

ความดันจลน์ในท่อ (Duct Velocity Pressure ; VP_{inlet}) = 138.11 Pa

$$FSP = (+ 152.2 \text{ Pa}) - (- 655.89 \text{ Pa}) - (138.11 \text{ Pa}) = 669.98 \text{ Pa}$$

การคำนวณพัดลม

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ถูกลำเลียงในระบบและความดันสถิต (SP) ที่ถูกสร้างขึ้น โดยพัดลมจะเรียกว่า คุณลักษณะเชิงสมรรถนะ (Performance Characteristics) และคุณลักษณะอื่นๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพเชิงกล (Mechanical efficiency : ME) และแรงม้าเบรก (Brake horsepower : BHP) โดยแรงม้าเบรก (BHP) ที่พัดลมต้องการซึ่งมีหน่วยเป็นแรงม้าหรือแทนด้วย hp (Horsepower) จะหาได้จากสมการ

$$BHP = \frac{Q (FTP)}{6,356 ME} = \frac{Q (FSP + VP_{inlet})}{6,356 ME}$$

เมื่อ	Q	=	อัตราการไหลเชิงปริมาตรจริงของอากาศ, cfm
	FTP	=	ความดันรวมของพัดลม, in.wg.
	FSP	=	ความดันสถิตของพัดลม, in.wg.
	VP	=	ความดันจลน์ของอากาศที่ทางออกของพัดลม, in.wg.
	ME	=	ประสิทธิภาพเชิงกลของพัดลม, %

การคำนวณหาแรงม้าเบรก (BHP) ของท่อระบบระบายอากาศที่มีอยู่

จาก $Q = 3.79 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (8,030.55 cfm)}$

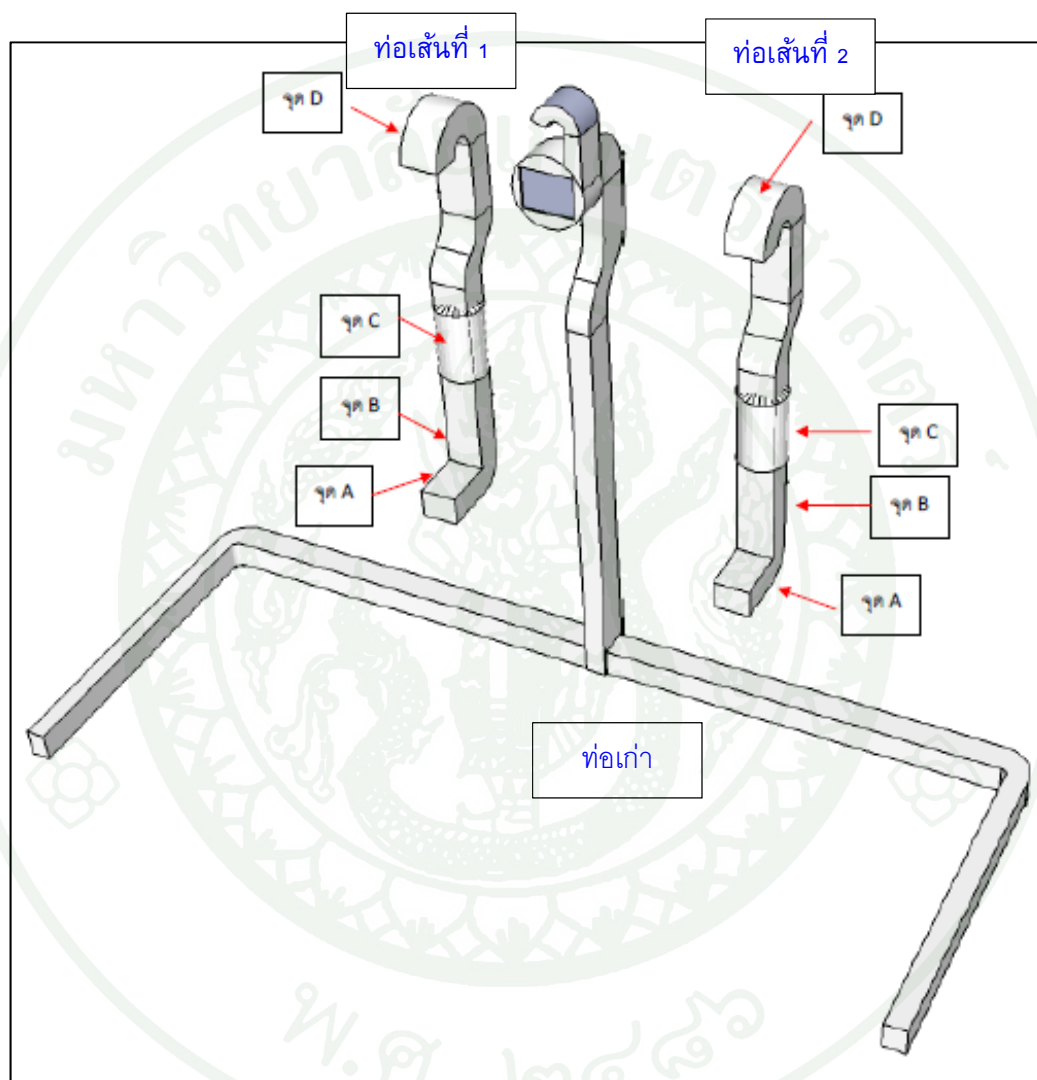
$FSP = 669.98 \text{ Pa (2.69 in.wg.)}$

$VP = 138.11 \text{ Pa (0.55 in.wg.)}$

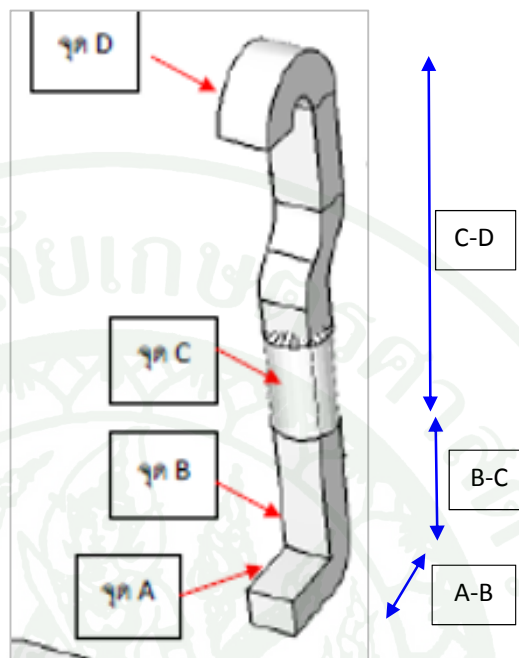
$ME = \text{ไม่ระบุค่า}$

ดังนั้น $BHP = \frac{Q (FSP + VP_{inlet})}{6,356 ME} = \frac{8,030.55 \text{ cfm (2.69 in.wg. + 0.55 in.wg.)}}{6,356} = 4.09 \text{ hp}$

ขั้นตอนการคำนวณการออกแบบระบบระบายอากาศแบบใหม่



ภาพผนวกที่ 5 ลักษณะของเส้นท่อในห้องชาร์ตแบตเตอรี่เมื่อติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่



ภาพผนวกที่ 6 ลักษณะของเส้นท่อใหม่เส้นที่ 1 และ 2

คำนวณท่อของระบบระบายอากาศใหม่ในห้องชาร์ตแบตเตอรี่

เนื่องจากออกแบบให้ท่อเส้นที่ 1 และ 2 มีขนาดที่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำการคำนวณท่อเส้นที่ 1 และ 2 พร้อมกัน

กำหนดค่าการเปลี่ยนอากาศ (Air Change)

จากกฎหมาย กฎกระทรวงฉบับที่ 50 (พ.ศ. 2540) ออกตามพรบ.ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ได้กำหนดค่า Air Change ให้เท่ากับของห้องครัว ดังนั้นใช้ Air Change เท่ากับ 24 ครั้ง/ชั่วโมง ห้องชาร์ตแบตเตอรี่มีปริมาตรห้อง 896 m^3

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของฮูด

อัตราการไหลของห้องชาร์ตแบดเตอรี เท่ากับ $896 \text{ m}^3 \times ((24 \text{ ครั้ง/ชั่วโมง}) / (3,600 \text{ hr/s})) = 5.97 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q = AV$$

$$5.97 \text{ m}^3/\text{s} = A \times (10 \text{ m/s})$$

$$A = 0.597 \text{ m}^2 = 0.6 \text{ m}^2$$

ต้องการแบ่งช่องดูดอากาศออกเป็น 2 ช่อง ดังนั้น $A/2 = ((0.6 \text{ m}^2) / 2) = 0.3 \text{ m}^2$

พื้นที่ของฮูดแต่ละช่อง เท่ากับ 0.3 m^2

พิจารณาช่วงท่อ A – B เส้นที่ 1 และ 2 (ดูตารางผนวกที่ 2 ตารางแสดงการคำนวณของเส้นท่อที่ 1 และ 2 ประกอบ)

รายการที่ 1 : กำหนดช่วงของระบบท่อที่ต้องการคำนวณหาการสูญเสียความดัน (Duct segment identification) กำหนดช่วงท่อที่ต้องการพิจารณา คือ A - B เส้นที่ 1 และ 2

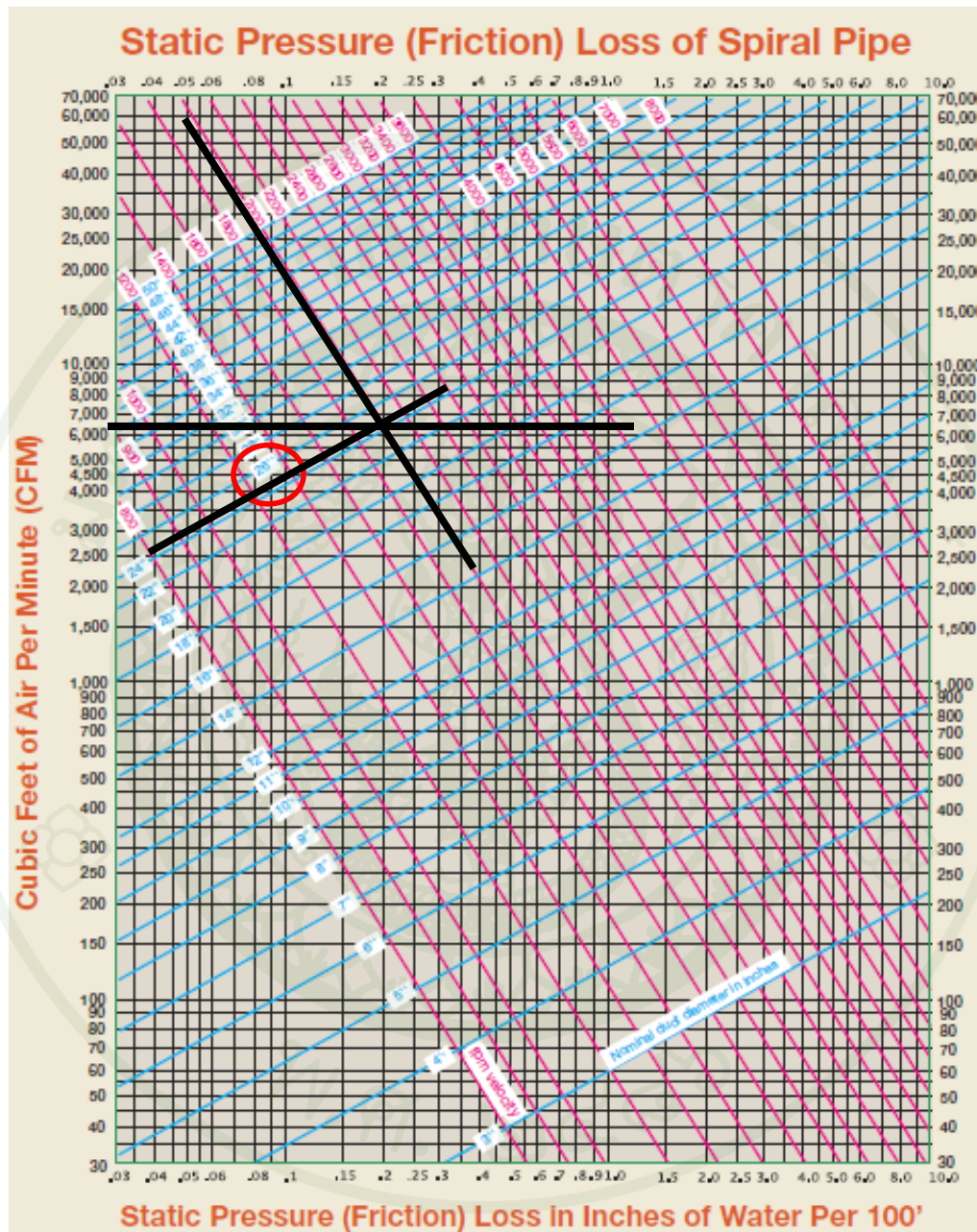
รายการที่ 2 : คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Volume flow rate)

จากกฎหมายกฎกระทรวงฉบับที่ 50 (พ.ศ. 2540) ออกตามพรบ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 กำหนดค่า Air Change ให้เท่ากับของห้องครัว ดังนั้นใช้ Air Change เท่ากับ 24 ครั้ง/ชั่วโมง โดยห้องชาร์ตแบดเตอรีมีปริมาตรห้อง 896 m^3 อัตราการไหลของห้องชาร์ตแบดเตอรี เท่ากับ $896 \text{ m}^3 \times ((24 \text{ ครั้ง/ชั่วโมง}) / (3,600 \text{ hr/s})) = 5.97 \text{ m}^3/\text{s}$

เนื่องจากต้องการฮูดและท่อดูดอากาศ 2 ชุด ดังนั้นอัตราการไหลของอากาศชุดที่ 1 เท่ากับ $(5.97 \text{ m}^3/\text{s} / 2) = 2.985 \text{ m}^3/\text{s} = 3 \text{ m}^3/\text{s}$

รายการที่ 3 : ความเร็วลมต่ำสุดของอากาศในท่อที่ใช้ (Minimum duct velocity) จากตารางที่ 2 ชนิดของสารปนเปื้อนเป็นไอระเหย ก๊าซ จะมีค่าความเร็วลม เท่ากับ 10 m/s

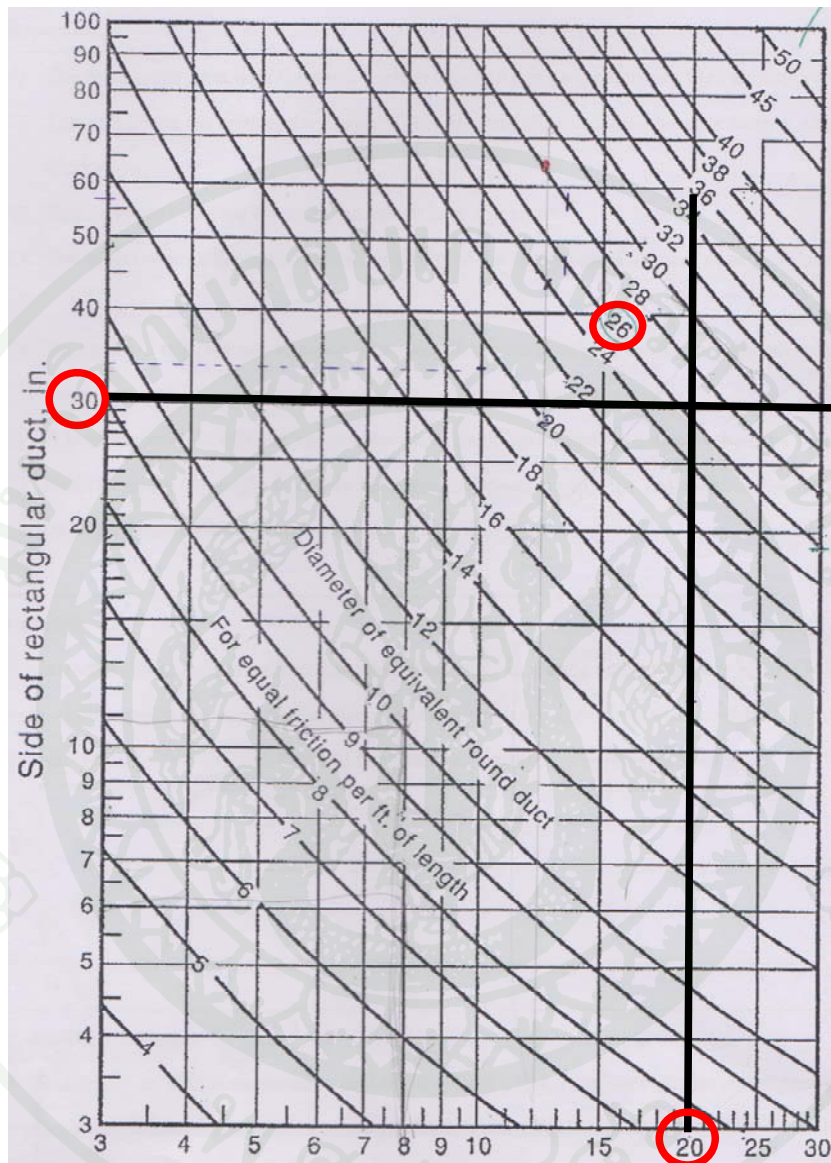
รายการที่ 4 : คำนวณหาขนาดของท่อที่ใช้ (Duct diameter)



ภาพผนวกที่ 7 ความเสียดทานของอากาศในท่อตรง อยู่ในช่วงปริมาณ 10 ถึง 2000 cfm

โดย $Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$ (6,356.64 CFM) , $V = 10 \text{ m/s}$ (1970 fpm)

ได้ค่า เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดท่อวงกลม = 26 นิ้ว



ภาพผนวกที่ 8 ขนาดท่อสี่เหลี่ยมเทียบกับขนาดท่อวงกลม

จากเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดท่อวงกลม = 26 นิ้ว
เมื่อเทียบกับตารางท่อสี่เหลี่ยม 30x20 นิ้ว จะได้ท่อขนาด 75 x 50 cm

รายการที่ 5 : คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดในท่อดูดอากาศ (Duct area)

$$\begin{aligned} Q &= AV \\ 3 \text{ m}^3/\text{s} &= A \times (10 \text{ m/s}) \\ A &= 0.3 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

รายการที่ 6 : หาค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อดูดอากาศจริง (Actual Duct Velocity)

โดยจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าความเร็วต่ำสุดในท่อตามข้อ 5

$$\begin{aligned} V_d &= Q/A \\ &= (3 \text{ m}^3/\text{s}) / (0.3 \text{ m}^2) \\ &= 10 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

รายการที่ 7 : หาความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d)

$$VP_d = [V_d / 1.29]^2 = [(10 \text{ m/s}) / 1.29]^2 = 60.1 \text{ Pa}$$

รายการที่ 8 – 14 : ไม่ต้องบันทึกค่า เนื่องจากสูตรที่เลือกใช้เป็นสูตรที่ไม่มีช่องแถบ

รายการที่ 15 : แฟคเตอร์ความสูญเสียเมื่ออากาศเข้าสู่ฮูด (Hood entry loss factor) จากภาพที่ 3 จะพบว่า ความสูญเสียความดันที่ฮูดเรียบ จะมีค่าแฟคเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้า คือ $F_h = 0.93$

รายการที่ 16 : แฟคเตอร์ความสูญเสียเนื่องจากการเร่งความเร็วของอากาศที่ไหลเข้าสู่ท่อ (Acceleration loss factor) จะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น โดยจะมีค่าเป็น 0 สำหรับท่อที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับฮูด และมีค่าเป็น 1 สำหรับท่อที่เชื่อมต่อกับฮูด โดยในกรณีนี้ที่ทำการออกแบบจะใช้ท่อที่เชื่อมต่อกับฮูด ดังนั้นแฟคเตอร์ความสูญเสียเนื่องจากการเร่งมีค่าเท่ากับ 1

รายการที่ 17 : ความสูญเสียที่ความดันที่ทางเข้าฮูดต่อความดันจลน์ของอากาศที่ไหลผ่านท่อ (Duct entry loss per VP_d)

= แฟคเตอร์ความสูญเสียที่ทางเข้าฮูด (Hood entry loss factor) + แฟคเตอร์ความสูญเสียความดันเนื่องจากความเร่งของอากาศที่ไหลเข้าสู่ท่อ (Acceleration loss factor)

$$= 0.93 + 1$$

$$= 1.93$$

รายการที่ 18 : ค่าความสูญเสียความดันที่ทางเข้าสู่อากาศ (Duct entry loss) หน่วยคือ Pa
 = ความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Duct velocity pressure) คูณ ความสูญเสียความดันที่ทางเข้าต่อความดันจลน์ของอากาศซึ่งไหลผ่านท่อ (Duct entry loss per VP_d)
 $= 60.1 \times 1.93$
 $= 116 \text{ Pa}$

รายการที่ 19 : ความดันสถิตที่สูด (Hood static pressure) หน่วยคือ Pa โดยเนื่องจากสูดที่ใช้เป็นสูดแบบไม่มีช่องแคบ ดังนั้น ความดันสถิตที่สูด
 = ค่าความสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อ (Duct entry loss)
 $= 116 \text{ Pa}$

รายการที่ 20 : ความยาวของท่อตรง (Straight duct length : L)
 $L = 0.5 \text{ m}$

รายการที่ 21 : แฟคเตอร์ความเสียดทานของอากาศที่ไหลผ่านท่อตรง (Friction loss : H_f)
 เลือกท่อกัลวาไนซ์ ดังนั้นดูค่าแฟคเตอร์ความสูญเสียจากความเสียดทานตามภาพผนวกที่ 4 ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 650 mm (เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 26 นิ้ว) และความเร็วลมของท่อที่ 10 m/s ได้ค่า $H_f = 0.0254$

รายการที่ 22 : ความสูญเสียความดันท่อตรงต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Friction loss per VP_d)
 = ความยาวของท่อ x แฟคเตอร์ความเสียดทาน (Friction factor)
 $= L \times H_f$
 $= 0.5 \times 0.0254$
 $= 0.0013$

รายการที่ 23 : จำนวนท่อโค้ง 90° (No. of 90° elbow)
 เนื่องจากส่วนของท่อที่พิจารณาเป็นท่อ 180° จึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 24 : ความสูญเสียความดันของท่อโค้งต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Elbow loss per VP_d)

= จำนวนท่อโค้ง 90° x แฟคเตอร์การสูญเสียของอากาศที่ไหลผ่านท่อโค้ง

เนื่องจากไม่มีท่อโค้ง จึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 25 : จำนวนของช่องทางเข้า (No. of entries) คือ ท่อแยก โดยในท่อนี้ไม่มีท่อสาขาแยกออกมา

ดังนั้น จึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 26 : ความสูญเสียความดันที่ทางเข้าที่ท่อสาขาต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Entry loss per VP_d)

= จำนวนของช่องทางเข้าท่อ x แฟคเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้าท่อสาขา

ในกรณีไม่มีท่อสาขา ทำให้ไม่มีการสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อแยกต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ ดังนั้น จึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 27 : แฟคเตอร์ความสูญเสียความดันของข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ (Special fitting loss factor) เช่น ท่ออ่อน หรือท่อรูปตัว Y

ไม่มีข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ ดังนั้นจึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 28 : ความสูญเสียความดันของท่อต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Duct loss per VP_d)

= ความสูญเสียความดันของท่อตรง + ความสูญเสียความดันของท่อโค้ง + ความสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อแยกต่อความดันจลน์ + แฟคเตอร์การสูญเสียความดันของข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ

$$= 0.013 + 0 + 0 + 0$$

$$= 0.013$$

รายการที่ 29 : ค่าการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อในหน่วย Pa (Duct loss)

$$\begin{aligned}
 &= \text{การสูญเสียความดันของท่อต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ} \times \\
 &\text{ความดันจลน์ของอากาศในท่อ} \\
 &= 0.013 \times 60.1 \text{ Pa} \\
 &= 0.781 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

รายการที่ 30 : ค่าการสูญเสียความดัน (Other loss) แสดงค่าในหน่วย Pa โดยจะเกิดจากการไหลของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์อื่นๆ

ไม่มีอุปกรณ์อื่นๆเพิ่มเติม ดังนั้นจึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 31 : ค่าความสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อของส่วนที่กำลังพิจารณา (Duct SP loss)

$$\begin{aligned}
 &= \text{ความดันสถิตของชุด} + \text{การสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อ} + \text{ค่าการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์อื่น} \\
 &= SP_h + \text{duct loss} + \text{other loss} \\
 &= 116 \text{ Pa} + 0.781 \text{ Pa} + 0 \\
 &= 116.78 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

รายการที่ 32 : ค่าการสูญเสียความดันสถิตสะสมของระบบท่อ (Cumulative static pressure)

= ค่าการสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในช่วงท่อ A – B โดยระหว่างช่วงท่อต่างๆ ซึ่งถือเป็นความดันสถิตที่ต้องการในการลำเลียงอากาศในอัตราที่ต้องการให้ไหลผ่านระบบไปได้ โดยความดันสถิตดังกล่าวจะมีค่าเป็นลบ (-) เมื่อท่อดังกล่าวอยู่ด้านดูด (ทางเข้า) ของพัดลม และมีค่าเป็นบวก (+) เมื่อท่อดังกล่าวอยู่ด้านส่ง (ทางออก) ของพัดลม

เนื่องจากท่อในช่วง A – B เป็นท่อช่วงดูด ดังนั้นความดันสถิตจึงมีค่าเป็นลบ = - 116.78 Pa

พิจารณาช่วงท่อ B – C

รายการที่ 1 : กำหนดช่วงของระบบท่อที่ต้องการคำนวณหาค่าการสูญเสียความดัน (Duct segment identification) กำหนดช่วงท่อที่ต้องการพิจารณา คือ B - C เส้นที่ 1 และ 2

รายการที่ 2 : คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Volume flow rate)

อัตราการไหลของห้องชาร์ตแบดเตอร์ เท่ากับ $896 \text{ m}^3 \times ((24 \text{ ครั้ง/hr}) / (3,600 \text{ hr/s})) = 5.97 \text{ m}^3/\text{s}$

เนื่องจากต้องการทำชุดและท่อดูดอากาศ 2 ชุด ดังนั้นอัตราการไหลของอากาศชุดที่ 1 เท่ากับ $(5.97 \text{ m}^3/\text{s} / 2) = 2.985 \text{ m}^3/\text{s} = 3 \text{ m}^3/\text{s}$

รายการที่ 3 : ความเร็วลมต่ำสุดของอากาศในท่อที่ใช้ (Minimum duct velocity) จากตารางที่ 2 ชนิดของสารปนเปื้อนเป็นไอระเหย ก๊าซ จะมีค่าความเร็วลม เท่ากับ 10 m/s

รายการที่ 4 : คำนวณหาขนาดของท่อที่ใช้ (Duct diameter)

จากภาพผนวกที่ 3 จะได้ค่า $Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$ (6,356.64 CFM) , $V = 10 \text{ m/s}$ (1970 fpm) และจากภาพผนวกที่ 4 จะได้ค่า เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดท่อลม = 26 นิ้ว (เทียบกับตารางท่อสี่เหลี่ยม 30x20 นิ้ว) (75 x 50 cm)

รายการที่ 5 : คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดในท่อดูดอากาศ (Duct area)

$$Q = AV$$

$$3 \text{ m}^3/\text{s} = A \times (10 \text{ m/s})$$

$$A = 0.3 \text{ m}^2$$

รายการที่ 6 : หาค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อดูดอากาศจริง (Actual Duct Velocity) โดยจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าความเร็วต่ำสุดในท่อตามข้อ 5

$$V_d = Q/A$$

$$= (3 \text{ m}^3/\text{s}) / (0.3 \text{ m}^2)$$

$$= 10 \text{ m/s}^2$$

รายการที่ 7 : หาความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d)

$$VP_d = [V_d / 1.29]^2 = [(10 \text{ m/s}) / 1.29]^2 = 60.1 \text{ Pa}$$

รายการที่ 8 – 19 : ไม่ต้องบันทึกค่า เนื่องจากชุดที่เลือกใช้เป็นชุดที่ไม่มีช่องแคบและระบบท่อไม่ได้เชื่อมต่อกับชุด

รายการที่ 20 : ความยาวของท่อตรง (Straight duct length : L)

$$L = 1 \text{ m}$$

รายการที่ 21 : แฟคเตอร์ความเสียดทานของอากาศที่ไหลผ่านท่อตรง (Friction loss : H_f)

เลือกท่อกัลวาไนซ์ ดังนั้นดูค่าแฟคเตอร์ความสูญเสียจากความเสียดทานตามภาพผนวกที่ 4 ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 650 mm (เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 26 นิ้ว) และความเร็วลมของท่อที่ 10 m/s ได้ค่า $H_f = 0.0254$

รายการที่ 22 : ความสูญเสียความดันท่อตรงต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Friction loss per VP_d)

= ความยาวของท่อ x แฟคเตอร์ความเสียดทาน (Friction factor)

$$= L \times H_f$$

$$= 1 \times 0.0254$$

$$= 0.0254$$

รายการที่ 23 : จำนวนท่อโค้ง 90° (No. of 90° elbow)

$$= 1 \text{ ท่อ}$$

รายการที่ 24 : ความสูญเสียความดันของท่อโค้งต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Elbow loss per VP_d)

= จำนวนท่อโค้ง 90° x แฟคเตอร์ความสูญเสียของอากาศที่ไหลผ่านท่อโค้ง ในกรณีของข้อต่อโค้งงอท่อสี่เหลี่ยม แฟคเตอร์การสูญเสียจะขึ้นกับอัตราส่วนของรัศมีความโค้งกับขนาดความยาวด้านหน้าตัดในแนวนอน (R/D) และขึ้นกับสัดส่วนของหน้าตัด (W/D) โดยค่าของแฟคเตอร์ความสูญเสียสามารถดูได้จากภาพที่ 14 : สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอ 90° สำหรับท่อสี่เหลี่ยม

จาก $W = 75 \text{ cm}$, $R = 40 \text{ cm}$, $D = 50 \text{ cm}$

$$\text{ดังนั้น } R/D = 40 / 50 = 0.8$$

$$W/D = 75 / 50 = 1.5$$

ดังนั้น จากภาพที่ 14 : สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอ 90° สำหรับท่อสี่เหลี่ยม จะได้ค่าแฟคเตอร์ความสูญเสีย (loss factor) เท่ากับ $1 \times 0.526 = 0.526$

รายการที่ 25 : จำนวนของช่องทางเข้า (No. of entries) คือ ท่อแยก โดยในท่อนี้ไม่มีท่อสาขาแยกออกมา

ดังนั้น จึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 26 : ความสูญเสียความดันที่ทางเข้าที่ท่อสาขาต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Entry loss per VP_d)

= จำนวนของช่องทางเข้าท่อ x แฟคเตอร์การสูญเสียที่ทางเข้าท่อสาขา

ในกรณีไม่มีท่อสาขา ทำให้ไม่มีการสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อแยกต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ

ดังนั้น จึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 27 : แฟคเตอร์ความสูญเสียความดันของข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ (Special fitting loss factor) เช่น ท่ออ่อน หรือท่อรูปตัว Y

ไม่มีข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ ดังนั้นจึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 28 : ความสูญเสียความดันของท่อต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Duct loss per VP_d)

= ความสูญเสียความดันของท่อตรง + ความสูญเสียความดันของท่อโค้ง + ความสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อแยกต่อความดันจลน์ + แฟคเตอร์การสูญเสียความดันของข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ

$$= 0.0254 + 0.526 + 0 + 0$$

$$= 0.551$$

รายการที่ 29 : ค่าการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อในหน่วย Pa (Duct loss)

$$\begin{aligned}
 &= \text{การสูญเสียความดันของท่อต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ} \times \\
 &\text{ความดันจลน์ของอากาศในท่อ} \\
 &= 0.551 \times 60.1 \text{ Pa} \\
 &= 33.12 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

รายการที่ 30 : ค่าการสูญเสียความดัน (Other loss) แสดงค่าในหน่วย Pa โดยจะเกิดจากการไหลของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์อื่นๆ

ไม่มีอุปกรณ์อื่นๆเพิ่มเติม ดังนั้นจึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 31 : ค่าความสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อของส่วนที่กำลังพิจารณา (Duct SP loss)

$$\begin{aligned}
 &= \text{ความดันสถิตของชุด} + \text{การสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อ} + \text{ค่าการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์อื่น} \\
 &= SP_h + \text{duct loss} + \text{other loss} \\
 &= 0 \text{ Pa} + 33.12 \text{ Pa} + 0 \\
 &= 33.12 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

รายการที่ 32 : ค่าการสูญเสียความดันสถิตสะสมของระบบท่อ (Cumulative static pressure)

= ค่าการสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในช่วงท่อ B – C โดยระหว่างช่วงท่อต่างๆ ซึ่งถือเป็นความดันสถิตที่ต้องการในการลำเลียงอากาศในอัตราที่ต้องการให้ไหลผ่านระบบไปได้ โดยความดันสถิตดังกล่าวจะมีค่าเป็นลบ (-) เมื่อท่อดังกล่าวอยู่ด้านดูด (ทางเข้า) ของพัดลม และมีค่าเป็นบวก (+) เมื่อท่อดังกล่าวอยู่ด้านส่ง (ทางออก) ของพัดลม

เนื่องจากท่อในช่วง B – C เป็นท่อช่วงดูด ดังนั้นความดันสถิตจึงมีค่าเป็นลบ = - 33.12 Pa

$$\text{รวมความสูญเสียแรงดันในท่อ} = 116.78 + 33.12 = 149.9 \text{ Pa}$$

พิจารณาช่วงท่อ C – D เส้นที่ 1 และ 2 (หลังจากพัดลม)

รายการที่ 1 : กำหนดช่วงของระบบท่อที่ต้องการคำนวณหาค่าการสูญเสียความดัน (Duct segment identification) กำหนดช่วงท่อที่ต้องการพิจารณา คือ C - D เส้นที่ 1 และ 2

รายการที่ 2 : คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Volume flow rate)
อัตราการไหลของห้องชาร์ตแบดเตอร์ เท่ากับ $896 \text{ m}^3 \times ((24 \text{ ครั้ง/hr}) / (3,600 \text{ hr/s})) = 5.97 \text{ m}^3/\text{s}$
เนื่องจากต้องการทำชุดและท่อดูดอากาศ 2 ชุด ดังนั้นอัตราการไหลของอากาศชุดที่ 1 เท่ากับ $(5.97 \text{ m}^3/\text{s} / 2) = 2.985 \text{ m}^3/\text{s} = 3 \text{ m}^3/\text{s}$

รายการที่ 3 : ความเร็วลมต่ำสุดของอากาศในท่อที่ใช้ (Minimum duct velocity) จากตารางที่ 2 ชนิดของสารปนเปื้อนเป็นไอระเหย ก๊าซ จะมีค่าความเร็วลม เท่ากับ 10 m/s

รายการที่ 4 : คำนวณหาขนาดของท่อที่ใช้ (Duct diameter)
จากภาพผนวกที่ 3 จะได้ค่า $Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$ ($6,356.64 \text{ CFM}$) , $V = 10 \text{ m/s}$ (1970 fpm) และจากภาพผนวกที่ 4 จะได้ค่า เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดท่อลม = 26 นิ้ว (เทียบกับตารางท่อสี่เหลี่ยม 30×20 นิ้ว) ($75 \times 50 \text{ cm}$)

รายการที่ 5 : คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดในท่อดูดอากาศ (Duct area)

$$\begin{aligned} Q &= AV \\ 3 \text{ m}^3/\text{s} &= A \times (10 \text{ m/s}) \\ A &= 0.3 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

รายการที่ 6 : หาค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อดูดอากาศจริง (Actual Duct Velocity) โดยจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าความเร็วต่ำสุดในท่อตามข้อ 5

$$\begin{aligned} V_d &= Q/A \\ &= (3 \text{ m}^3/\text{s}) / (0.3 \text{ m}^2) \\ &= 10 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

รายการที่ 7 : หาความดันจลน์ของอากาศในท่อที่ความเร็วที่แท้จริง (Duct Velocity Pressure : VP_d)

$$VP_d = [V_d / 1.29]^2 = [(10 \text{ m/s}) / 1.29]^2 = 60.1 \text{ Pa}$$

รายการที่ 8 - 19 : ไม่ต้องบันทึกค่า เนื่องจากชุดที่เลือกใช้เป็นชุดที่ไม่มีช่องแคบและระบบท่อไม่ได้เชื่อมต่อกับชุด

รายการที่ 20 : ความยาวของท่อตรง (Straight duct length : L)

$$L = 3.5 \text{ m}$$

รายการที่ 21 : แฟคเตอร์ความเสียดทานของอากาศที่ไหลผ่านท่อตรง (Friction loss : H_f)

เลือกท่อกัลวาไนซ์ ดังนั้นดูค่าแฟคเตอร์ความสูญเสียจากความเสียดทานตามภาพผนวกที่ 4 ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 650 mm (เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 26 นิ้ว) และความเร็วลมของท่อที่ 10 m/s ได้ค่า $H_f = 0.0254$

รายการที่ 22 : ความสูญเสียความดันท่อตรงต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Friction loss per VP_d)

= ความยาวของท่อ x แฟคเตอร์ความเสียดทาน (Friction factor)

$$= L \times H_f$$

$$= 3.5 \times 0.0254$$

$$= 0.089$$

รายการที่ 23 : จำนวนท่อโค้ง 90° (No. of 90° elbow)

$$= 4 \text{ ท่อ}$$

รายการที่ 24 : ความสูญเสียความดันของท่อต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Elbow loss per VP_d)

= จำนวนท่อโค้งงอ 90° x แฟคเตอร์ความสูญเสียของอากาศที่ไหลผ่านท่อโค้ง ในกรณีของข้อต่อโค้งงอท่อสี่เหลี่ยม แฟคเตอร์การสูญเสียจะขึ้นกับอัตราส่วนของรัศมีความโค้งกับขนาดความยาวด้านหน้าตัดในแนวนอน (R/D) และขึ้นกับสัดส่วนของหน้าตัด (W/D) โดยค่าของแฟคเตอร์ความสูญเสียสามารถดูได้จากภาพที่ 14 สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอ 90° สำหรับท่อสี่เหลี่ยม ข้อต่อโค้งงอที่ 1 และ 2 (หลังจากออกจากพัดลม) มีขนาดเท่ากัน

จาก $W = 75 \text{ cm}$, $R = 50 \text{ cm}$, $D = 50 \text{ cm}$

$$\text{ดังนั้น } R/D = 40 / 50 = 0.8$$

$$W/D = 75 / 50 = 1.5$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอมีค่า $2 \times 0.526 = 1.052$

และข้อต่อโค้งงอที่ 3 และ 4 อยู่บริเวณทางออกของอากาศ มีขนาด

เท่ากัน

$$\text{ดังนั้น } R/D = 43 / 50 = 0.86$$

$$W/D = 75 / 50 = 1.5$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอมีค่า $2 \times 0.43 = 0.86$

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ข้อต่อโค้งงอมีค่า $1.052 + 0.86 =$

1.912

รายการที่ 25 : จำนวนของช่องทางเข้า (No. of entries) คือ ท่อแยก โดยในท่อนี้ไม่มีท่อสาขาแยกออกมา

ดังนั้น จึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 26 : ความสูญเสียความดันที่ทางเข้าที่ท่อสาขาต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Entry loss per VP_d)

= จำนวนของช่องทางเข้าท่อ x แฟคเตอร์ความสูญเสียที่ทางเข้าท่อสาขา ในกรณีไม่มีท่อสาขาทำให้ไม่มีการสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อแยกต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ

ดังนั้น จึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 27 : แฟคเตอร์ความสูญเสียความดันของข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ (Special fitting loss factor) เช่น ท่ออ่อน หรือท่อรูปตัว Y

ไม่มีข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ ดังนั้นจึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 28 : ความสูญเสียความดันของท่อต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ (Duct loss per VP_d)

$$\begin{aligned}
 &= \text{ความสูญเสียความดันของท่อตรง} + \text{ความสูญเสียความดันของท่อโค้ง} + \text{ความสูญเสียความดันที่ทางเข้าท่อแยกต่อความดันจลน์} + \text{แฟคเตอร์การสูญเสียความดันของข้อต่อลักษณะพิเศษอื่นๆ} \\
 &= 0.089 + 1.912 + 0 + 0 \\
 &= 2.001
 \end{aligned}$$

รายการที่ 29 : ค่าการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อในหน่วย Pa (Duct loss)

$$\begin{aligned}
 &= \text{การสูญเสียความดันของท่อต่อความดันจลน์ของอากาศในท่อ} \times \text{ความดันจลน์ของอากาศในท่อ} \\
 &= 2.001 \times 60.1 \text{ Pa} \\
 &= 120.26 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

รายการที่ 30 : ค่าการสูญเสียความดัน (Other loss) แสดงค่าในหน่วย Pa โดยจะเกิดจากความต้องการการไหลของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์อื่นๆ

ไม่มีอุปกรณ์อื่นๆเพิ่มเติม ดังนั้นจึงไม่ต้องบันทึกค่า

รายการที่ 31 : ค่าความสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในท่อของส่วนที่กำลังพิจารณา (Duct SP loss)

$$\begin{aligned}
 &= \text{ความดันสถิตของชุด} + \text{การสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อ} + \text{ค่าการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์อื่นๆ} \\
 &= SP_h + \text{duct loss} + \text{other loss} \\
 &= 0 \text{ Pa} + 120.26 \text{ Pa} + 0 \\
 &= 120.26 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

รายการที่ 32 : ค่าการสูญเสียความดันสถิตสะสมของระบบท่อ (Cumulative static pressure)

= ค่าการสูญเสียความดันสถิตทั้งหมดในช่วงท่อ C – D โดยระหว่างช่วงท่อต่างๆ ซึ่งถือเป็นความดันสถิตที่ต้องการในการลำเลียงอากาศในอัตราที่ต้องการให้ไหลผ่านระบบไปได้ โดยความดันสถิตดังกล่าวจะมีค่าเป็นลบ (-) เมื่อท่อดังกล่าวอยู่ด้านดูด (ทางเข้า) ของพัดลม และมีค่าเป็นบวก (+) เมื่อท่อดังกล่าวอยู่ด้านส่ง (ทางออก) ของพัดลม

ดังนั้น เนื่องจากท่อในช่วง C – D เป็นท่อช่วงด้านส่ง ดังนั้นความดันสถิตจึงมีค่าเป็นบวก = 120.26 Pa

ตารางผนวกที่ 4 การคำนวณระบบระบายอากาศของเส้นท่อที่ 1 และ 2

ลำดับที่	รายการคำนวณ			ช่วงท่อ		
1	หมายเลขช่วงท่อและจุด			A-B	B-C	C-D
2	อัตราการไหลอากาศที่ต้องการ (m^3/s)			2.81	3	3
3	ความเร็วต่ำสุด (m/s)			10	10	10
4	ขนาดท่อใหญ่สุด (mm)			750 x 500	750 x 500	750 x 500
5	พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m^2)			0.3	0.3	0.3
6	ความเร็วลมในท่อ (m/s)			10	10	10
7	ความดันจลน์ในท่อ (Pa)			60.1	60.1	60.1
8	คำนวณหาความดันสถิตของจุด	คำนวณความดันสถิตที่สล๊อต	พื้นที่สูงสุดของสล๊อต (m^2)	-	-	-
9			ความเร็วลมในสล๊อต (m/s)	-	-	-
10			ความดันจลน์ในสล๊อต (Pa)	-	-	-
11			สัมประสิทธิ์การสูญเสียที่สล๊อต	-	-	-
12			แฟคเตอร์การสูญเสียเนื่องจากการเร่งความเร็ว (0หรือ1)	-	-	-
13			ความสูญเสียที่สล๊อต / VP (11 + 12)	-	-	-
14			ความดันสถิตที่สล๊อต (10 x 13)	-	-	-
15			สัมประสิทธิ์การสูญเสียเมื่ออากาศเข้าสู่จุด (ภาพที่ 3)	0.93	-	-
16	คำนวณหาความดันสถิตของจุด	คำนวณความดันสถิตที่สล๊อต	แฟคเตอร์การสูญเสียเนื่องจากการเร่งความเร็ว (0หรือ1)	1	-	-
17			ความสูญเสียที่จุด / VP (15 + 16)	1.93	-	-
18			ความสูญเสียที่จุด (7 x 17) (Pa)	115.993	-	-
19			ความดันสถิตที่จุด (14 + 18) (Pa)	115.993	-	-

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

ลำดับที่	รายการคำนวณ	ช่วงท่อ		
20	ความยาวของท่อตรง (m)	0.5	1	3.5
21	แฟคเตอร์ความเสียดทาน (H_f)	0.025	0.025	0.025
22	ความสูญเสียความดันท่อ / VP (20 x 21)	0.013	0.025	0.089
23	จำนวนท่อโค้ง 90°	-	1	4
24	ความสูญเสียที่ท่อโค้ง / VP (23 x loss factor)	-	0.526	1.912
25	จำนวนท่อนสาขา (0 หรือ 1)	-	-	-
26	ความสูญเสียที่ท่อนสาขา / VP (25 x loss factor)	-	-	-
27	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ท่อลักษณะพิเศษ	-	-	-
28	ความสูญเสียที่ท่อ / VP (22 + 24 + 26 + 27)	0.013	0.551	2.001
29	ความสูญเสียในช่วงท่อ (7 x 28) (Pa)	0.78	33.12	120.26
30	ความสูญเสียอื่นๆ (เช่น VP3 - VPr) (Pa)	-	-	-
31	ความสูญเสียความดันสถิต (SP) (Pa)	116.78	33.12	120.26
32	ความสูญเสียความดันสถิตสะสม (SP) (Pa)	116.78	149.90	120.26

ขนาดของพัดลมสำหรับท่อเส้นที่ 1 และ 2

ผลรวมของค่าการสูญเสียความดันสถิตสะสมจากทุกช่วงของระบบท่อจนถึงทางเข้าของพัดลม และค่าการสูญเสียความดันสถิตสะสมจากทางออกของพัดลมถึงปลายปล่องระบายจะนำไปใช้ในการหาความดันสถิตของพัดลม ซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดของพัดลมที่จะนำมาใช้กับระบบสำหรับความดันสถิตของพัดลม (FSP) จะหาได้จากสมการ

$$FSP = SP_{outlet} - SP_{inlet} - VP_{inlet}$$

โดยที่ ช่องทางออกของพัดลม (Outlet) คือ ท่อช่วง C – D ดังนั้น $SP_{outlet} = + 120.26 \text{ Pa}$

ช่องทางเข้าของพัดลม (Inlet) คือ ท่อช่วง A – C ดังนั้น $SP_{inlet} = - 149.9 \text{ Pa}$

ความดันจลน์ในท่อ (Duct Velocity Pressure ; VP_{inlet}) = 60.1 Pa

$$FSP = (+ 120.26 \text{ Pa}) - (- 149.9 \text{ Pa}) - (60.1 \text{ Pa}) = 210.06 \text{ Pa}$$

การคำนวณพัดลม

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ถูกลำเลียงในระบบและความดันสถิต (SP) ที่ถูกสร้างขึ้น โดยพัดลมจะเรียกว่า คุณสมบัติเชิงสมรรถนะ (Performance Characteristics) และคุณลักษณะอื่นๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพเชิงกล (Mechanical efficiency : ME) และแรงม้าเบรก (Brake horsepower : BHP) โดยแรงม้าเบรก (BHP) ที่พัดลมต้องการซึ่งมีหน่วยเป็นแรงม้าหรือแทนด้วย hp (Horsepower) จะหาได้จากสมการ

$$BHP = \frac{Q (FTP)}{6,356 ME} = \frac{Q (FSP + VP_{inlet})}{6,356 ME}$$

เมื่อ	Q	=	อัตราการไหลเชิงปริมาตรจริงของอากาศ, cfm
	FTP	=	ความดันรวมของพัดลม, in.wg.
	FSP	=	ความดันสถิตของพัดลม, in.wg.
	VP	=	ความดันจลน์ของอากาศที่ทางออกของพัดลม, in.wg.
	ME	=	ประสิทธิภาพเชิงกลของพัดลม, %

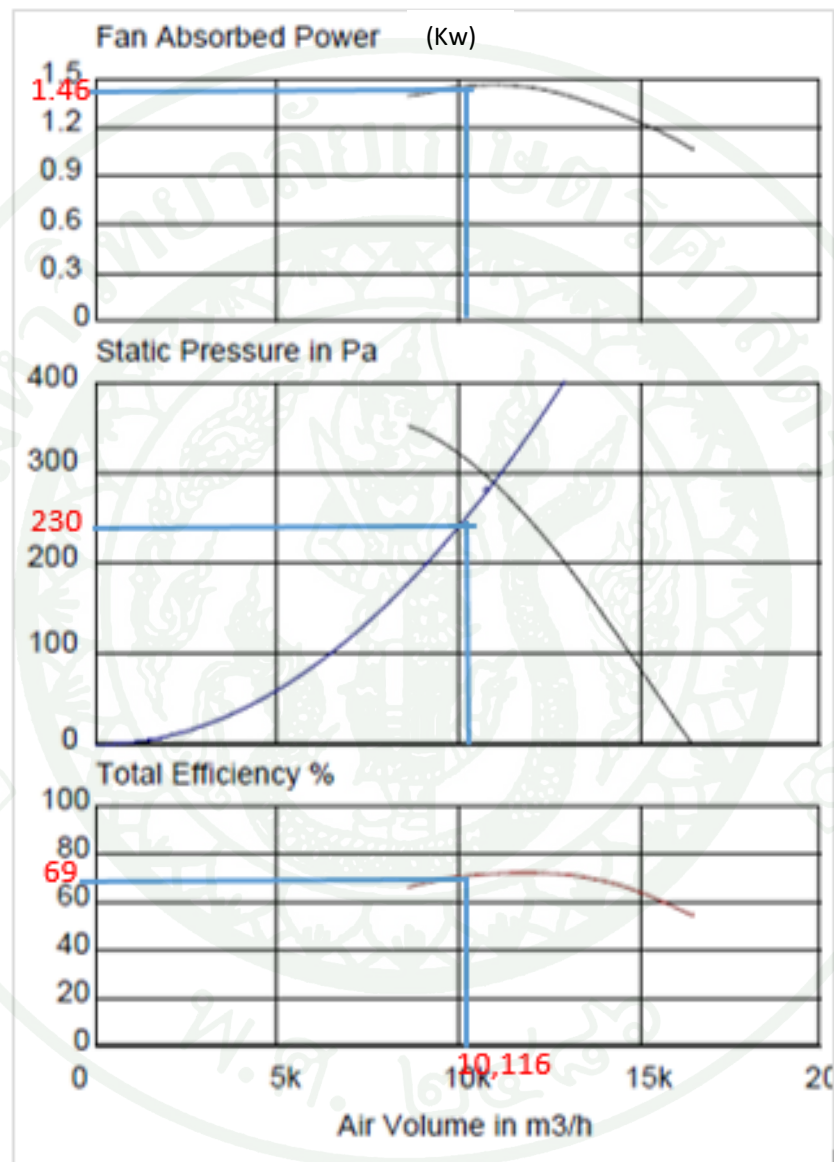
การคำนวณหาแรงม้าเบรก (BHP) ของท่อเส้นที่ 1 และ 2

จาก	Q	=	3 m ³ /s (6,356.64 cfm)
	FSP	=	210.06 Pa (0.843 in.wg.)
	VP	=	60.1 Pa (0.241 in.wg.)
	ME	=	0.69

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 BHP &= \frac{Q (FSP + VP_{inlet})}{6,356 ME} \\
 &= \frac{6,356.64 \text{ cfm} (0.843 \text{ in. wg.} + 0.241 \text{ in. wg.})}{6,356 (0.69)} = 1.57 \text{ hp} = 1.17 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

คำนวณสมรรถนะของพัดลมจากกราฟของผู้ผลิต



ภาพผนวกที่ 9 กราฟสมรรถนะของพัดลมที่ใช้ของระบบระบายอากาศใหม่

จากตารางที่ 11 จากการตรวจวัดความเร็วลมเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของพัดลม ได้ค่าอัตราการไหลในเส้นท่อใหม่ที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ $2.81 \text{ m}^3/\text{s}$ และ $2.82 \text{ m}^3/\text{s}$ ตามลำดับ และภาพผนวกที่ 9 บริษัทผู้ผลิตทำการทดสอบพัดลมที่อุณหภูมิห้อง 20°C เลือกค่าอัตราการไหล

$$Q = 2.81 \times 3600 = 10,116 \text{ m}^3/\text{hr}$$

เมื่อพล็อตกราฟที่ค่าอัตราการไหล $10,116 \text{ m}^3/\text{hr}$ จะได้ค่า Total efficiency 69%, ค่าความดันสถิตของพัดลม (SP) 230 Pa และกำลังของพัดลม (Fan Absorbed power) 1.46 Pa

ทำการคำนวณหาความดันสถิตและกำลังของพัดลมที่อุณหภูมิห้อง 37°C โดยใช้ค่าความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ตามตารางผนวกที่ 6

ตารางผนวกที่ 5 ค่าอุณหภูมิเทียบกับค่าความหนาแน่นของอากาศ

Temperature [t] ($^\circ\text{C}$)	Density [ρ] (kg/m^3)
20	1.204
30	1.165
40	1.127

ที่อุณหภูมิห้อง 37°C จะได้ค่าความหนาแน่นของอากาศ $1.14 \text{ kg}/\text{m}^3$ จากสมการที่ 9 และ 10 กฎของพัดลม

$$P_2 = P_1 \times \frac{\rho_2}{\rho_1} = 230 \times \frac{1.14}{1.204} = 217.8 \text{ Pa}$$

$$PWR_2 = PWR_1 \times \frac{\rho_2}{\rho_1} = 1.46 \times \frac{1.14}{1.204} = 1.38 \text{ kW}$$

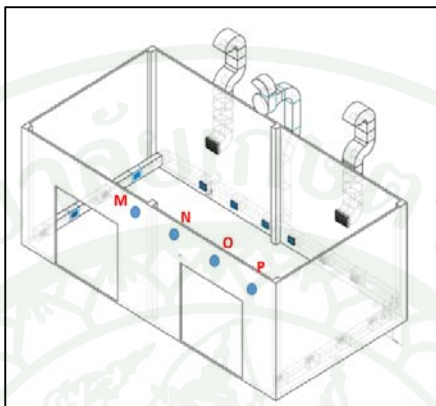
ดังนั้น ได้ค่าความดันสถิตของพัดลมทั้งสองชุดมีค่า 217.8 Pa ในขณะที่กำลังของพัดลมมีค่า 1.38 kW ตามลำดับ

การติดตั้งระบบระบายอากาศใหม่



ภาพผนวกที่ 10 ระบบระบายอากาศใหม่ที่ติดตั้งในห้องชาร์ตแบตเตอรี่

ระดับความดังของเสียงภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่



ภาพผนวกที่ 11 ตำแหน่งในการตรวจวัดระดับความดังของเสียงภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่

ตารางผนวกที่ 6 ผลการตรวจวัดระดับความดังของเสียงภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่

ตำแหน่งที่ตรวจวัดระดับความดังเสียง	ผลที่ได้ (dB(A))	ค่ามาตรฐาน (dB(A))
M	80	85
N	78	85
O	80	85
P	77.8	85

ที่มา: ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการจัดทำโครงการอนุรักษ์การได้ยินในสถานประกอบกิจการ (2553)

จากผลการตรวจวัดระดับความดังของเสียงภายในห้องชาร์ตแบตเตอรี่ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในตารางผนวกที่ 6 พบว่าระดับความดังของเสียงมีค่าผ่านตามเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด โดยจะต้องมีการตรวจวัดระดับความดังของเสียงตามคาบเวลาที่กำหนด โดยหากพบว่าระดับความดังของเสียงมีค่าเกิน 85 dB(A) จะต้องจัดทำโครงการอนุรักษ์การได้ยิน

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวตติยา ผินประดับ
สถานที่เกิด	ประจวบคีรีขันธ์
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยระดับวิชาชีพ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ไทยบริดจสโตน จำกัด (โรงงานหนองแค)