สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

รายงานผลงานวิจัย

การพัฒนาระบบการควบคุมมลภาวะทางอากาศอุตสาหกรรมงานชุบโลหะ

ลงทะเบียนวันที่ 19 ส.ค. 2553
เลขทะเบียน 111467
เลขหมู่ วพ TD 883 ร769ก
หัวเรื่อง มลพิษทางอากาศ - ชลบุรี

โดย

นายเรวัต ซ่อมสุข

นายศุภเอก ประมูลมาก

โครงการวิจัยเงินงบประมาณ พ.ศ. 2551

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ชื่อโครงการวิจัย การพัฒนาระบบการควบคุมมลภาวะทางอากาศอุตสาหกรรมงานชุบโลหะ
ชื่อนักวิจัย นายเรวัต ซ่อมสุข
นายศุภเอก ประมูลมาก
ปีงบประมาณ 2551

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้ ได้กำหนดวัตถุประสงค์การวิจัย คือ เพื่อสร้างชุดทดลองหอดูดซับแบบสเปรย์จับ และหาความสามารถการดักจับฝุ่นละอองโลหะจากระบบสเปร์ยน้ำแรงดันสูง โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัย เริ่มจากการศึกษาเอกสาร ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการบำบัดฝุ่นละอองด้วยระบบสเปร์ยน้ำ แล้วจึงได้ดำเนินการวิเคราะห์ ออกแบบ และสร้างชุดทดลองตามมาตรฐานที่กำหนด ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่นของสครับเบอร์อาศัยหลักการจับฝุ่นขนาดเล็กด้วยหยดละอองน้ำ ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ความเร็วลมทางเข้าของสครับเบอร์ (ช่วง 6 -25 เมตรต่อวินาที) อัตราส่วนน้ำ 2,4 และ 6 ลิตรต่อนาที และมีการออกแบบเฮดเดอร์ที่ใช้ในการฉีดน้ำจำนวน 5 หัว กำหนดวัสดุที่ใช้ในการทดลองซึ่งเป็นตัวแทนของมลภาวะทางอากาศ คือ ผงโลหะขนาด 4-20 ไมครอน กำหนดวิธีการทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูล จากนั้นจึงดำเนินการทดลองเพื่อนำข้อมูลไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการดักจับฝุ่น

ผลสรุปการทดลองพบว่า เมื่ออัตราส่วน L/G ที่มีค่าสูงขึ้น ประสิทธิภาพของครื่องสคับเบอร์จะสูงขึ้น สภาวะการทำงานทำให้ประสิทธิภาพสูงสุดคือ อัตราส่วน L/G เท่ากับ 3.07 l/m^3 ที่จำนวนหัวฉีดน้ำเท่ากับ 5 หัว ความเข้มข้นของฝุ่นที่ทางเข้าเท่ากับ 2 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นของเครื่องเท่ากับ 86.60 % ที่ขนาดอนุภาคของฝุ่นช่วง 4-20 ไมครอน

คำสำคัญ : หอดูดซับแบบสเปรย์จับ

Reserve Name Air Filter's installation for Chromium Plating Industry

Student Name Mr. Rawat Somsuk

Mr. Supaek Pamonmark

Fiscal Year 2009

Abstract

The objective of this study was to construct and find the efficiency of the spay tower system type high pressure. This research was started from studying the data and the research about spay tower system . Then analyzing the design and constructing the spay tower was done. Various factors influencing the efficiency of scrubber were investigated using the concept of collecting fine dust particles by water droplets influent and separating the water droplets from air flow by the centrifugal force. The investigated parameters were air velocity (6-25 m/s), water to ratio (5 liter per minute) and the number of nozzles for spraying water (5 nozzles). The material used in the experiment was iron dust. The sizes of dust were 4- 20 micron The experiment method and data collection were designed. After that all data from experiment was used to calculate the efficiency of this apparatus.

The result of the research showed that dust removal efficiency of this scrubber with L/G. The optimum conditions found in this experiment were L/G 3.07 l/m^3,5 nozzles and concentration of dust 2 g/m^3 .These yielded the most effective dust collection efficiency of 86.60 % at dust particle size more than 4-20 micron

Keyword : spray chamber or spray tower scrubber

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนาระบบการควบคุมมลภาวะทางอากาศอุตสาหกรรมงานชุบโลหะนี้ สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ด้วยดีโดยได้รับความร่วมมือให้คำปรึกษาและคำแนะนำจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย และบุคลากรในสาขาครุศาสตร์อุตสาหการ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำโครงการวิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและเอื้อเฟื้อสถานที่และสิ่งต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อปริญญานิพนธ์ จนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้ประสบความสำเร็จลงด้วยดี

คณะผู้จัดทำโครงการวิจัย

ห้ามฉีก ตัด หรือทำให้เสียหาย
ผู้ใดพบเห็น กรุณาส่งคืนได้ที่
โทรศัพท์ 0-2549-3079
สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มทร.ธัญบุรี
ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

สารบัญ

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ค
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ฉ
กิตติกรรมประกาศ ช
สารบัญ ง
สารบัญตาราง ฉ
สารบัญรูป ช
บทที่ 1 บทนำ 1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ 1
2. วัตถุประสงค์ของโครงการ 2
3. ขอบเขตของโครงการ 2
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3
1. การชุบโครเมียม 3
2. อันตรายของโครเมียม 4
3. มาตรฐานของโครเมียมในสิ่งแวดล้อมในการทำงาน 5
4. เทคโนโลยีที่นำมาใช้ป้องกันและแก้ไขมลพิษทางอากาศจากโรงงานอุตสาหกรรม 5
5. ภาวะมาตรฐานอากาศ 6
6. อัตราการไหลของอากาศ 7
7. ระบบท่อ 11
8. พัดลม 17
9. การบำบัดมลภาวะทางอากาศการระบายอากาศ 20
10. ทฤษฎีการเชื่อม 23
11. มอเตอร์ 24
12. ปั๊มน้ำ 27
13. อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม 30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 29
1. ขั้นตอนการวางแผนและการเตรียมการ 32
2. ขั้นตอนการออกแบบและการคำนวณ 35
3. การดำเนินการสร้าง 38

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ผลการทดลอง	42
1. การศึกษามลภาวะของอุตสาหกรรมอบชุบโลหะ	42
2. การทดลองเพื่อประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ	47
บทที่ 5 สรุปแล้วข้อเสนอแนะ	52
1. วัตถุประสงค์ของโครงการ	52
2. สรุปผลการวิจัย	52
3. อภิปรายผลการวิจัย	53
4. ข้อเสนอแนะ	53
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก การเปรียบเทียบหน่วย	55
ภาคผนวก ข สูตรต่าง ๆ	58
ภาคผนวก ค รายละเอียดการคำนวณ	62
บรรณานุกรม	66
ประวัตินักวิจัย	67

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1ความเร็วจับยึดที่จำแนกตามลักษณะการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน 9
ตารางที่ 2.2 ความหนาของท่อตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกา 11
ตารางที่ 2.3 ความเร็วต่ำสุดของอากาศในท่อ 12
ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่สำหรับสมการ 2.9 16
ตารางที่ 2.5 ขนาดของอนุภาคฝุ่นที่อุปกรณ์ชนิดต่างๆ สามารถเก็บได้ 90 % 30
ตารางที่ 3.1 การคำนวณภาวะมาตรฐานอากาศ 36
ตารางที่ 3.2 การคำนวณอัตราการไหลของอากาศ 36
ตารางที่ 3.3 การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อดูด 36
ตารางที่ 3.4 การสูญเสียความดันเนื่องจากแรงเสียดทาน 37
ตารางที่ 3.5 การคำนวณหาปากหัวดูด 37
ตารางที่ 3.6 สมรรถนะของพัดลม 37
ตารางที่ 3.7 การคำนวณปั๊มน้ำ 37

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 รูปแบบของความเร็วที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของหัวดูด 8
รูปที่2.2 แผนภาพความเสียดทานสำหรับท่อกลม 15
รูปที่ 2.3 ตัวอยางเส้นโค้งความต้านทานของระบบ 18
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างเส้นโค้งสมรรถะของพัดลม 19
รูปที่ 2.5 แสดงการระบายอากาศในลักษณะต่างๆ 22
รูปที่ 2.6 แสดงการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มปลั๊กซ์ 24
รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว (สปลิตเฟสมอเตอร์) 29
รูปที่ 2.8 ประเภทและชนิดของปั๊ม 27
รูปที่ 2.9 ปั๊มเซนตริฟูกอลแบบเทอร์ไบน์ 29
รูปที่ 2.10โครงสร้างภายในของ Pushbutton Switch 31
รูปที่ 2.11 สวิตซ์แบบต่างๆ และหลอดสัญญาณ 31
รูปที่ 2.12 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของสวิตซ์และหลอดไฟสัญญาณ 31
รูปที่ 3.1 แสดงระบบการทำงานของเครื่องต้นแบบ 32
รูปที่ 3.2 เครื่องกรองอากาศสำหรับอุตสาหกรรมอบชุบโครเมียม 33
รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง 35
รูปที่ 3.4 โครงเครื่องกรองอากาศสำหรับอุตสาหกรรมอบชุบโครเมียม 38
รูปที่ 3.5 ปิด Cover รอบด้าน 38
รูปที่ 3.6 ถังบรรจุน้ำ 39
รูปที่ 3.7 ถาดรอง 39
รูปที่ 3.8 วงฉีด 40
รูปที่ 3.9 หัวฉีด 40
รูปที่ 3.10 ชั้นกรองที่หนึ่ง 40
รูปที่ 3.11 ชั้นกรองที่สอง 40
รูปที่ 3.12 แบบจำลองของม่านสเปรย์น้ำ 41
รูปที่ 3.13 Blower 41
รูปที่ 4.1 การล้างหลังการชุบโครมเมียม 45
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของผลิตภัณฑ์โรงงานกรณีศึกษา 45
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะชุดทดลอง 48
รูปที่ 4.4 แผนภาพระบบการทำงานของสคับเบอร์ 48
รูปที่ 4.5 แอนีโมมิเตอร์ 49

รูปที่ 4.6 ตาชั่งดิจิตอล 49
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน L/G ที่มีอิทธิพล
ต่อประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นเถ้าลอย 51

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางอุตสาหกรรม การขยายตัวทางเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นประชากรภายใน ประเทศและสภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบันทำให้บุคคลส่วนใหญ่หันมาใช้อุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้ที่ใช้ได้นานๆคงทนไม่เกิดสนิม เพื่อที่จะไม่ต้องสิ้นเปรื่องค่าใช้จ่ายในการซื้อหามาใหม่ เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ก็ได้มีแข่งขันกันทางอุตสาหกรรมประเภทการอบชุบโครเมียมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีการแข่งขันสูงเวลาการทำงานมากขึ้น ทำให้อากาศบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานเป็นพิษมากขึ้นจากเดิมที่มีแล้ว ทำให้สุขภาพของพนักงานแย่ลงเพราะสะสมสารพิษเข้าไปในร่างกายทุกๆวัน

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีอุตสาหกรรมเกี่ยวกับงาน อบชุบโครเมียมมากมาย แต่พนักงานส่วนใหญ่ไม่เอาใจใส่ของเรื่องสุขภาพ หรือสารพิษที่จะเข้าไปสะสมในร่างกายเพราะคิดว่าเป็นแค่ฝุ่นผงเล็กๆคง ไม่เป็นอะไรมากมายแต่ที่แท้จริงฝุ่นผงที่เกิดขึ้นล้วนแต่เป็นอันตรายต่อร่างกายทั้งนั้น ความเป็นพิษสารโครเมต กรดโครมิค จะทำลายเนื้อเยื่อเฉพาะแห่งเป็นแผลพุพองตามผิวหนังเรียกว่า “Chromic Holes” เกิดการสะสมของฝุ่นละอองโครเมียม ซึ่งโดยมากจะเริ่มจากรอยถลอกของผิวหนังและจะพบมากที่สุดที่โคนเล็บ ตามข้อที่นิ้วมือหรือที่หลังเท้า มีลักษะเป็นแผลวงกลมค่อนข้างเรียบ บุ๋มลึกลงไป ปกติมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ซม. หรือเล็กกว่า ซึ่งจะมองคล้ายถูกเจาะด้วยตะปู ถึงแม้ว่าแผลจะไม่เจ็บปวดแต่ก็จะคันอย่างมากเวลากลางคืน ต่อมแผลนี้จะเกิดอาการติดเชื้อขึ้น และอาจจะลุกลามไปถึงข้อต่อใกล้เคียงซึ่งอาจจะทำให้ต้องตัดนิ้วทิ้ง ฝุ่นของเกลือโครเมียมหรือควันของ กรดโครมิค อาจตกลงบนหนังตาหรือปลายจมูกซึ่งอาจจะเกิดแผลได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้โครเมียมยังทำให้โพรงจมูกบวม ระคายเคืองตา ทางเดินลมหายใจ ถ้าได้รับทางปากจะให้ปวดท้อง เป็นแผลในกระเพาะอาหาร ลำไส้ อ่อนเพลีย ปวดข้อ นอกจากนี้ยังพบว่าเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย

ส่วนสารมลพิษทางอากาศที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมาก ได้แก่ ฝุ่น ละออง(โดยมีขนาดตั้งแต่ 10- 30 ไมครอน) เขม่าควัน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซพิษอื่นๆ ที่ปะปนกันอยู่ หรือมีลักษณะของสารพิษตามอุตสาหกรรมการผลิต

การศึกษาครั้งนี้เพื่อเป็นการรวบรวมข้อมูลทางด้านมลภาวะทางอากาศที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมเกี่ยวชุบเคลือบผิวโลหะ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมในระดับ SMEs ซึ่งเป็นภาคธุรกิจที่มี

ความสำคัญกับระบบเศรษฐกิจของประเทศ การที่กระบวนการในการผลิตจะต้องมีการปฏิบัติงานเกี่ยวกับสารเคมีที่มีอันตรายมีผลต่อ

สภาพแวดล้อม การศึกษาเพื่อดูลักษณะของมลพิษที่เกิดขึ้น อันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน และข้อมูลที่ได้สามารถใช้กำหนดแนวทางการออกแบบระบบป้องกันมลภาวะทางอากาศเหมาะสมกับอุตสาหกรรมงานชุบเคลือบผิวโลหะ

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดจะดำเนินการเพื่อพัฒนาต้นแบบระบบกรองฝุ่นโลหะและบำบัดสารเคมีที่เกิดจากกระบวนชุบผิวโลหะที่เกิดจากโรงงานชุบผิวโครเมียม สร้างเครื่องกรองฝุ่นผงโลหะ โดยไดโวส์จะดูดฝุ่นละอองจากการชุบผิวโครเมียมเข้ามายังชุดทดลองภายในจะมีแผงกันอากาศคอยดักจับฝุ่นละอองที่เกิดจากการชุบผิวโครเมียมและจะมีหัวฉีดละอองน้ำคอยชะล้าง(ของแข็งขนาดเล็ก)ลงไปตกตะกอนในถังน้ำ เพื่อเป็นเครื่องต้นแบบในการสร้างเครื่องกรองฝุ่นผงโลหะจากโรงงานโครเมียม ซึ่งจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานปลอดภัยจากฝุ่นผงโลหะจากโรงงานชุบผิวโครเมียม

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.1 เพื่อศึกษาระบบเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษทางอากาศ

1.2 เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบกรองฝุ่นโลหะ และบำบัดสารเคมีที่เกิดจากกระบวนชุบผิวโลหะ

3. ขอบเขตโครงการ

3.1 ใช้ระบบ Blower ในการดูดอากาศ

3.2 การติดตั้งแผ่นกันอากาศ ขนาด 490 x 600 × 15 และ 6 มิลลิเมตรจำนวน 2 ชั้น

3.3 สร้างระบบหัวฉีดจำนวน 5 หัวเพื่อสร้างละอองน้ำ

3.4 ใช้ปั๊มขนาด 1 ½ 0.5 HP ในการดูดน้ำ

3.5 ระบบไฟ 1 เฟส 220 โวลท์

3.6 ใช้สแตนเลสในการทำตัวถัง มีขนาดโดยประมาณ Ø 500 มิลลิเมตร สูง350 มิลลิเมตร และใช้เหล็กกล่อง 1 นิ้ว ในการสร้างโครงสร้างของเครื่อง

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

3.1 ได้ระบบบำบัดมลภาวะทางอากาศของอุตสาหกรรมชุบผิวโลหะต้นแบบที่เหมาะสม

3.2 เสริมสร้างความรู้ความสามารถเพิ่มเติมให้กับนักศึกษาในเทคโนโลยีการบำบัดมลภาวะทางอากาศ

3.3 เพิ่มศักยภาพในงานวิจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมของสาขาวิชา ฯ มีประโยชน์ต่อการเผยแพร่ให้กับอุตสาหกรรม SMEs

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การชุบโครเมียม

1.1 คำสำคัญ Chromium Plating

โครเมียม ธาตุลำดับที่ 24 ในตารางธาตุ มีน้ำหนักอะตอม 51.996 เป็นโลหะที่มีความเงาใส สีขาวอมฟ้าอ่อน ๆ แข็งและเปราะ แต่มีความทนทานต่อการเสียดสีและการกัดกร่อนได้ดีพอสมควร นิยมนำมาเคลือบผิวโลหะ เพื่อให้เกิดความเงางาม และเพิ่มความทนทานให้กับผิวของชิ้นงาน

ขบวนการชุบโครเมียม (Chromium Plating) จะใช้ไฟฟ้ากระแสตรง และสารละลายซึ่งเป็นส่วนผสมของกรดโครมิก (Chromic acid) และกรดกำมะถัน (H2SO4) โดยที่กรดกำมะถันจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ช่วยให้โครเมียมมาเกาะที่ขั้วลบ (Cathode) ได้ดีและรวดเร็วยิ่งขึ้น อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ ประมาณ 100 : 1 ของกรดโครมิก ต่อ กรดกำมะถัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ดังสมการCrO3 + H2O H2CrO4 100 H2CrO4 + H2SO4 100Cr + 100H2O + 150 O2 + H2SO4

1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการชุบโครเมียมด้วยกระแสไฟฟ้า

1.2.1 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifier) สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ซึ่งมีขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าไม่เกิน 12 โวลท์

1.2.3 ถังชุบ ใช้ถังเหล็กซึ่งเคลือบผิวภายในด้วยตะกั่ว (lead-lined steel) ซึ่งทนต่อการกัดกร่อนของกรดโครมิค หรืออาจใช้ถังซึ่งทำจากวัสดุอื่นที่ทนต่อการกัดกร่อนของกรดโครมิคได้ เช่นแผ่นเรซินสังเคราะห์ (Synthetic resin sheets)

1.2.3 ขั้วไฟฟ้าขั้วบวก (Anode) นิยมใช้ตะกั่ว ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดี คือไม่ละลายใน กรดโครมิค และมีราคาไม่สูงนัก ในขณะที่โครเมียมบริสุทธิ์ไม่สามารถนำมาใช้ได้ เนื่องจากมีราคาแพง และยังละลายในกรดโครมิคอีกด้วย หรืออาจใช้ตะกั่วผสมแอนติโมนี หรือตะกั่วผสมดีบุก ซึ่งจะมีการผุกร่อนช้ากว่า และมีความแข็งแรงทนทานมากกว่า

การชุบโครเมียม สามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการนำชิ้นงานนั้นไปใช้งาน แต่ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน พอจะสรุปได้ ดังนี้

1.3 Decorative Bright Chromium Plating

การชุบวิธีนี้ เป็นการชุบเพื่อให้เกิดความเงางาม ผิวของชิ้นงานที่ชุบเสร็จแล้ว จะมีสีขาวอมฟ้าใส ก่อนชุบ จะต้องทำความสะอาดผิวหน้าของชิ้นงานที่จะชุบด้วยสบู่ และน้ำ แล้วขัดผิวหน้าด้วยผ้านุ่ม

หรือขนสัตว์ เพื่อกำจัดฝุ่นหรือสิ่งสกปรกออกเสียก่อน การชุบแบบ Bright Chromium นี้ นิยมชุบเป็นชั้นสุดท้าย โดยชิ้นงานมักจะชุบด้วยทองแดง และนิกเกิลก่อน แล้วจึงจะชุบเพื่อเคลือบผิวหน้าของชั้นนิกเกิลอีกทีหนึ่ง

โดยทั่วไป ความหนาจะอยู่ในช่วง 0.2-0.8 ไมครอน น้ำยาที่ชุบ จะประกอบด้วยสารละลายของ Chromic anhydride (CrO_3) โดยมีเกลือซัลเฟต หรือกรดกำมะถันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

1.4 Hard Chromium Deposition นิยมใช้ในงานที่ต้องการความแข็งแรง และความทนทานต่อการกัดกร่อน เช่น งานส่วนที่อยู่ภายนอกของงานก่อสร้างการชุบโดยวิธีนี้ จะต่างจากการชุบแบบ Bright Chromium คือ จะชุบหนากว่า และไม่มีการชุบรองพื้นด้วยทองแดง หรือ นิกเกิล และมีราคาถูกกว่า ความหนาของโครเมียมจะอยู่ระหว่าง 0.3-0.4 มม.

1.5 Decorative Black and Colour Chromium Plating ในปัจจุบันมีการนำวิธีชุบแบบนี้มาใช้มากขึ้น เช่น ในการตกแต่งเฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้สำนักงาน อุปกรณ์ก่อสร้าง น้ำยาที่ใช้ชุบจะประกอบด้วยกรดโครมิก และกรดอะซิติก หรืออาจใช้ส่วนผสมของกรดโครมิกกับฟลูออไรด์ หรือสารประกอบเชิงซ้อนของฟลูออไรด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ชิ้นงานที่ชุบแล้ว จะมีสี ฟ้า-เทา สีรุ้ง สีทอง และสีดำ

(ที่มา 1. George Dubpernell . Electrodeposition of Chromium from chromic acid solutions. Pergamon Press, INC. ; 1977)

2. อันตรายของโครเมียม

2.1 แผลที่เกิดจากโครเมียม (Chrome ulcers) เกิดจากสะสมของฝุ่นละอองของ โครเมียม ซึ่งโดยมากจะเริ่มที่รอยถลอกของผิวหนัง พบมากที่สุดที่โคนเล็บมือ ตามข้อนิ้วมือหรือหลังเท้ามีลักษณะเป็นแผลวงกลม ขอบค่อนข้างบาง บุ๋มลึกลงไปมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ1 เซนติเมตร หรือเล็กกว่า มองดูคล้ายถูกตะปูเจาะ แม้ว่าแผลนั้นจะไม่เจ็บปวดแต่คันมากในเวลากลางคืน ต่อไปแผลนั้นจะเกิดการติดเชื้อขึ้น ทำให้ลุกลามไปถึงข้อต่อใกล้เคียงอาจต้องตัดนิ้วทิ้งฝุ่นของเกลือโครเมียมหรือควันของกรดโครมิคอาจตกลงบนหนังตาหรือที่ปลายจมูก อาจทำให้เกิดแผลขึ้นได้เช่นเดียวกัน

2.2 ผิวหนังอักเสบ (Dermatitis) บริเวณมือ แขน ใบหน้า และหน้าอก ผิวหนัง บริเวณนี้จะเกิดอักเสบขึ้น หลังจากคนงานทำงานมาแล้วประมาณ 6 เดือน ในรายที่เป็นมากจะมีสีแดงเข้มและบวมบริเวณที่อักเสบ จะคันมาก มีอาการเจ็บแสบด้วย

2.3 ผนังกั้นในจมูกถูกเจาะทะลุ เมื่อสูดหายใจเอาควันของกรด โครมิคหรือฝุ่นของโครเมี่ยมเป็นประจำ อาการที่เกิดขึ้น คือ ลิ้นและฟันจะเปลี่ยนเป็นสีออกเหลืองๆถ้าเป็นมากจะทำให้

ผิวหนังกั้นในจมูก ถูกทำลายจนเป็นรูทะลุ ซึ่งการทะลุของแผ่นกั้นจมูกนี้ จะไม่รู้สึกเจ็บปวดแต่อย่างใด แต่จะรู้ตัวเมื่อมีเสียงผู้อี้หรือดั้งจมูกแบนลงแล้วเท่านั้น

2.4 มะเร็งของปอด มักจะเกิดกับคนที่สูดหายใจเอาโครเมี่ยมเข้าไปทุกวันติดต่อกันเป็นเวลานานๆ เป็นอันตรายแก่ชีวิตเพราะไม่มียารักษาให้หายได้

3.มาตรฐานของโครเมียมในสิ่งแวดล้อมในการทำงาน

โครเมียมหรือสารประกอบของโครเมียมที่มีอยู่ในบรรยากาศการทำงานที่ปลอดภัยต่อคนงานที่ทำงาน วันละ 7-8 ชั่วโมงหรือสัปดาห์ละ 40-42 ชั่วโมง จะต้องไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดให้ดังต่อไปนี้ งานที่ต้องทำเกี่ยวข้องกับควันของกรดโครมิคจะต้องมีได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร งานที่ต้องทำเกี่ยวข้องกับฝุ่นละอองของโครเมียมจะต้องมีได้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร

(ที่มา : ระบบฐานข้อมูลและระบบสืบค้นข้อมูลสื่อสิ่งแวดล้อม รวบรวมจากกองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร)

4. เทคโนโลยีที่นิยมนำมาใช้ป้องกันและแก้ไขมลพิษทางอากาศจากโรงงานอุตสาหกรรม

การเลือกใช้อุปกรณ์สำหรับกำจัดสารมลพิษนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ประสิทธิภาพที่ต้องการในการกำจัด คุณสมบัติของสารมลพิษ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น การละลาย ขนาดของอนุภาค ความเข้มข้น ปริมาณของสารมลพิษ และลักษณะของกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงสามารถแยกอุปกรณ์กำจัดสารมลพิษ ที่เหมาะสมกับลักษณะปัญหา ดังนี้

4.1 ห้องดักฝุ่น (Setting chamber) เป็นห้องหรือภาชนะขนาดใหญ่ ฝุ่นที่เคลื่อนผ่านจะตกลงยังพื้นห้องด้วยน้ำหนักของมันเอง จึงเหมาะสมกับฝุ่นหยาบ ๆ ขนาดใหญ่ หรือฝุ่นที่มีน้ำหนักมาก ระบบนี้ส่วนใหญ่เป็นระบบกำจัดขั้นต้น (Primary treatment) ก่อนจะผ่านไปยังระบบที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า

4.2 ไซโคลน (Cyclone) เป็นอุปกรณ์ดักฝุ่นโดยอาศัยหลักการของแรงหนีศูนย์กลาง ไซโคลนแบบธรรมดาใช้ดักฝุ่นขนาด 50 ไมครอน (0.05 มม.) ขึ้นไปได้ดี ไซโคลนชนิดประสิทธิภาพสูง (High efficiency cyclone) ใช้ดักฝุ่นขนาดเล็กประมาณ 10 ไมครอน ขึ้นไปได้ดี ตัวอย่างโรงงานที่ใช้ไซโคลนในการดักฝุ่นละออง เช่น โรงเลื่อยไม้ โรงงานผสมอาหารสัตว์ ไซโลขี้เถ้าแกลบ และฝุ่นละอองจากการขัดโลหะ เป็นต้น

4.3 ระบบผ้ากรอง (Bag filter) เป็นระบบขจัดฝุ่นละอองขนาดเล็กละเอียดโดยอาศัยการกรองด้วยถุงผ้า ถุงผ้าอาจทำด้วยผ้าฝ้ายหรือใยสังเคราะห์ซึ่งทอพิเศษ ระบบนี้ใช้ดักฝุ่นละอองจากการผสมเคมีและยาง ฝุ่นจากการขัดไม้และโลหะ ฝุ่นจากการหลอมตะกั่ว ฝุ่นจากการหลอมโลหะ

ในกรณีต้องการประสิทธิภาพในการขจัดสูง ฝุ่นซีเมนต์ ฝุ่นจากการพ่นยิงทราย ฝุ่นละอองจากการผสม หรือบดวัตถุดิบชนิดผงที่ต้องการประสิทธิภาพในการเก็บสูง เป็นต้น

4.4 ระบบดักฝุ่นโดยอาศัยประจุไฟฟ้า (Electrostatic precipitator) ระบบนี้ใช้ดักฝุ่นละเอียดเช่นเดียวกับ Bag filter เหมาะสำหรับโรงงานขนาดใหญ่ เช่น โรงงานปูนซีเมนต์ โรงงานถลุงเหล็ก เป็นต้น ระบบนี้ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

4.5 ระบบสเปรย์น้ำ (Spray chamber) เป็นระบบขจัดฝุ่นละออง หรือก๊าซที่มีประสิทธิภาพต่ำสำหรับดักฝุ่นขนาดใหญ่ เช่น ขี้เถ้าแกลบ และฝุ่นละอองจากการหลอมโลหะ ในกรณีที่ตั้งอยู่ห่างไกลชุมชน

4.6 ระบบดักบนผิวตัวกลาง (Packed scrubber) เป็นระบบขจัดมลสารที่เป็นก๊าซ หรือขจัดฝุ่นละอองขนาดเล็กปานกลาง ใช้กับลักษณะงานทั่วไป เช่น ระบบขจัดไอกรดจากการชุบโลหะ ระบบขจัดไอสารเคมี ในกรณีที่ไอสารนั้น ๆ สามารถถูกดูดซับหรือละลายในของเหลวที่ใช้ฉีดเป็นตัวกลางดูดซับในระบบได้ ระบบขจัดฝุ่นละอองและไอสารเคมีจากการหลอมโลหะ และระบบขจัดกลิ่นจากโรงงานปลาป่น เป็นต้น

4.7 ระบบฉีดดักแบบเวนจูรี (Venturi scrubber)

- มีหลักการทำงานโดยให้ปริมาณอากาศเสีย (Wastegae) ไหลผ่านตัวระบบที่เป็นช่องแคบ (Venturi tube) ด้วยความเร็วสูงมาก ๆ (15,000-20,000 fpm) ในขณะที่ใช้ของเหลวฉีดเพื่อชะหรือดูดซับทันทีในช่วงเวลาน้อยมาก

- ประสิทธิภาพในการขจัดมลสารอยู่ในเกณฑ์ระบบที่มีประสิทธิภาพสูง (ในการขจัดมลสารชนิดก๊าซหรือฝุ่นละอองขนาดเล็กมาก ๆ)

(ที่มา: ระบบฐานข้อมูลและระบบสืบค้นข้อมูลสื่อสิ่งแวดล้อม รวบรวมจากกองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร)

5. ภาวะมาตรฐานอากาศ

อากาศที่อยู่ในภาวะมาตรฐาน (Air Standard condition) หมายถึง อากาศแห้ง (Dry Air) ที่มีความดันเท่ากับ 1 บรรยากาศ มีอุณหภูมิ 70 F และมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.075 lbm/ft ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิ และความหนาแน่นของอากาศสามารถแสดงได้ด้วยสมการของก๊าซอุดมคติกล่าวคือ

$$\boxed{P = \rho RT} \qquad \text{.....(2.1)}$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น, ibm/ft / ตารางฟุต

P = ความดันสัมบูรณ์ ,psfa (ปอนด์/ตารางฟุต)

R = ค่าคงที่ของอากาศ ที่มีค่าเท่ากับ 53.35 ft.lbf/lbm.R

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศ ,R ซึ่ง T(R)=T(F) +460

หากอากาศมีอุณหภูมิต่างจากภาวะมาตรฐานจะส่งผลให้ความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ ความหนาแน่นของอากาศจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความหนาแน่นของอากาศที่ภาวะใดๆ เมื่อเทียบกับภาวะมาตรฐานสามารถได้โดยการพิจารณาจากสมการของก๊าซอุดมคติข้างต้นโดยกำหนดให้ความดันของอากาศมีค่าคงที่และพิจารณาให้เป็นอากาศแห้ง ซึ่งจะได้ว่า (ฉัตรชัย นิมนล ; ระบบกำจัดฝุ่นและระบายอากาศ; 2548)

$$\boxed{\rho T = \rho T_{STP} \quad \text{หรือ} \quad \rho = \rho_{STP}\left(\frac{T_{STP}}{T}\right)} \qquad \text{.....(2.2)}$$

สัญลักษณ์กำกับล่าง STP แทนสภาวะมาตรฐานอากาศ โดยย่อมาจาก Standard Temperature And Perssure

สำหรับสภาวะมาตรฐานจะได้ว่า ρT_{STP} = 0.075 Ibm/ft^3 และ ρT_{STP} =70 $^\circ$F+ 460

= 530 R

ดังนั้น ความหนาแน่นของอากาศที่ภาวะใดๆซึ่งอุณหภูมิสัมบูรณ์ T จึงหาได้จาก

$$P = 0.075\left(\frac{530}{T}\right)$$

ความสัมพันธ์ตามสมการ นี้มีประโยชน์มากสำหรับการออกแบบระบบระบายอากาศที่มีอุณหภูมิซึ่งความหนาแน่นที่เปลี่ยนแปลงนี้จะส่งผลโดยตรงต่อการออกแบบระบบ นอกจากนี้การการที่ความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนแปลงไปจากความหนาแน่นที่ภาวะมาตรฐานไม่ว่าจะด้วยสาเหตุใดก็ตามย่อมส่งผลต่อตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบ เช่น ความเร็ว ความดัน หรืออัตราการไหลของอากาศ

6. อัตราการไหลของอากาศ

การวัดอัตราการไหลในระบบระบายอากาศนิยมวัดในลักษณะของอัตราการไหลเชิงปริมาตรซึ่งแทนด้วย Q โดยมีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุต/นาที หรือ cfm โดยสามารถหาได้จาก

$$\boxed{Q = AV} \qquad \text{.....(2.3)}$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดของช่องทางการไหล , ft

V = ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ , fpm (ฟุต/นาที)

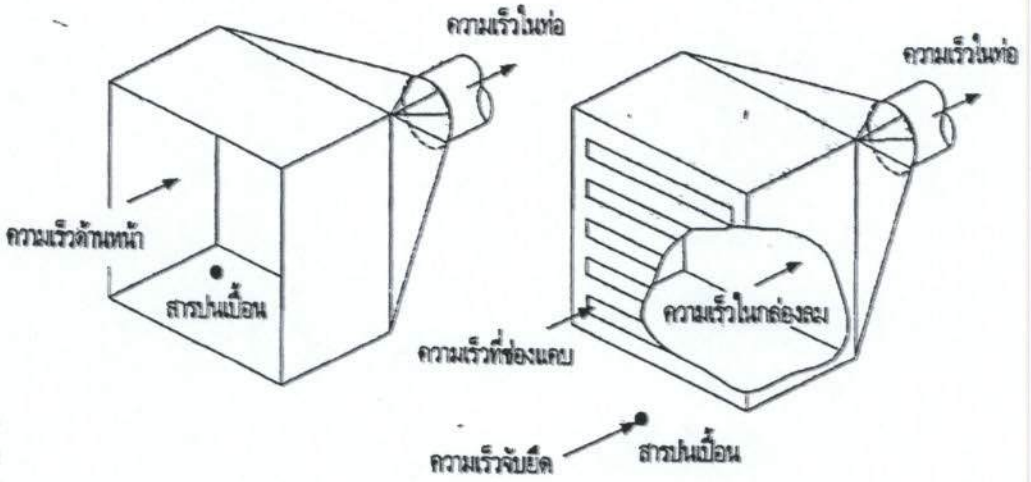
สำหรับอัตราการไหลเชิงมวล หรือ m สามารถหาได้โดยการคูณหาความหนาแน่นของอากาศกับอัตราการไหลเชิงปริมาตรในสมาการ กล่าวคือ $m = \rho Q = \rho AV$

6.1 รูปแบบความเร็วที่เกี่ยวข้องกับหัวดูด เนื่องจากหัวดูดมีลักษ ณะที่แตกต่างกันมากมาย ดังนั้น การทราบถึงรูปแบบและนิยามความเร็วของอากาศที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของหัวดูดจึงเป็นสิ่งสำคัญ ดังรูป 2.1ที่แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของความเร็วรูปแบบต่างๆซึ่งความเร็วแต่ละรูปแบบจะมีนิยามดังต่อไปนี้

6.1.1 ความเร็วด้านหน้า (Face velocity) คือความเร็วของอากาศที่ช่องเปิดของหัวดูดที่มีค่ามากพอที่จะดึงสารปนเปื้อนที่อยู่ภายในหัวดูดปิดล้อมให้เข้าสู่ระบบท่อได้โดยความเร็วด้านหน้านี้จะมีความสำคัญต่อการออกแบบหัวดูดปิดล้อม (ที่มา ; ฉัตรชัย นิมมล ; ระบบกำจัดฝุ่นและระบายอากาศ ; 2548)

6.1.2 ความเร็งจับยึด (Capture velocity) คือ ความเร็วของอากาศที่จุดใดๆ บริเวณด้านหน้าหัวดูดหรือบริเวณช่องปิดหัวดูดซึ่งมีค่ามากพอสำหรับดึงสารปนเปื้อนซึ่งอยู่ภายในหัวดูดให้เข้าสู่ระบบท่อได้ โดยความเร็วจับยึดจะมีความสำคัญต่อการออกแบบหัวดูดภายนอก

6.1.3 ความเร็วที่ช่องแคบ(Slot Velocity) คือความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านช่องแคบโดยช่องแคบจะมีลักษณะเป็นช่องเปิดปากเรียบ ที่มีอัตราส่วนของความกว้างต่อความยาวหรืออัตราส่วนด้าน(Aspect Ratio) ของช่องเปิดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 สำหรับวัตถุประสงค์ของการใช้หัวดูดแบบช่องแคบนี้ก็เพื่อต้องการให้อากาศไหลผ่านด้านหน้าของหัวดูดมีการกระจายตังอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 2.1 รูปแบบของความเร็วที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของหัวดูด

6.1.4 ความเร็วในกล่องลม (Plenum Velocity)คือความเร็วของอากาศภายในกล่องลม โดยทั่วไปแล้วค่าสูงสุดของความเร็วในกล่องลมสำหรับหัวดูดที่มีการติดตั้งช่องแคบควรมีค่าเป็นครึ่งหนึ่ง(หรือน้อยกว่า)ของความเร็วที่ช่องแคบ ทั้งนี้ก็เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของอากาศที่ดี

6.1.5ความเร็วในท่อ(Duct Velocity ;V) คือ ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านหน้าตัดท่อในกรณีที่มีสารปนเปื้อนในอนุภาคของแข็ง(ฝุ่น)ปะปนมากับอากาศ ความเร็วในท่อมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าความเร็วต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการพาสารปนเปื้อนดังกล่าวให้ไหลไปพร้อมกับอากาศได้โดยไม่เกิดการตกค้างในระบบ

6.2 อัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ การประเมินการไหลหรือปริมาตรของอากาศที่ต้องการเพื่อดึงสารปนเปื้อนให้เข้าสู่ระบบ ถือเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาเป็นสิ่งแรกในการออกแบบระบบระบบระบายอากาศเฉพาะจุด โดยตัวแปรหลักที่ส่งผลโดยตรงต่ออัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านหัวดูดก็คือความเร็วจับยึด(สำหรับหัวดูดภายนอก)และความเร็วด้านหน้า(สำหรับหัวดูดปิดล้อม)ในที่นี้จะแสดงให้เห็นถึงหลักการประเมินอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการสำหรับหัวดูดทั้งสองชนิด

กรณีหัวดูดภายนอก ก่อนที่จะกล่าวถึงวิธีการหาอัตราการไหลที่ต้องการสำหรับหัวดูดภายนอก เราจำเป็นต้องทราบถึงรายระเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับความเร็วจับยึด คือ ความเร็วของอากาศบริเวณด้านหน้าหัวดูดที่ใช้สำหรับดึงสารปนเปื้อนที่อยู่ภายนอกให้เข้าสู่หัวดูดซึ่งจะต้องมีค่ามากพอ ด้วยเหตุนี้ความเร็วจับยึดจำเป็นต้องกำหนดอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านหัวดูดด้วย โดยค่าของความเร็วจับยึดที่ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบสามารถดูได้จากตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1ความเร็วจับยึดที่จำแนกตามลักษณะการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน

ลักษณะการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน	ความเร็วจับยึด, fpm	ตัวอย่าง
แพร่กระจายโดยธรรมชาติสู่อากาศภายนอกที่อยู่นิ่ง	50-100 (0.25-0.5m /s)	การระเหยของไอจากถังชุบ
แพร่กระจายด้วยความเร็วต่ำสู่อากาศภายนอกที่เคลื่อนที่เล็กน้อย	100-500 (0.5-0.1m/s)	การเติมวัสดุเป็นช่วง การขนถ่ายวัสดุที่ความเร็วต่ำ การเชื่อมและการชุบโลหะ
แพร่กระจายด้วยการถูกกระตุ้นให้เข้าสู่บริเวณที่อากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง	200-500 (1.0-2.5m/s)	การพ่นสีในคอกกั้น การเติมวัสดุลงถัง การจ่ายวัสดุออกมา การโม่
แพร่กระจายด้วยความเร็วเริ่มต้นสูงเข้าบริเวณที่อากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง	500-2000 (2.5-10m/s)	การบอ การตกของวัสดุจากที่สูงกระทบวัสดุแข็ง

(ที่มา ; ฉัตรชัย นิมมล ; ระบบกำจัดฝุ่นและระบายอากาศ ; 2548)

ด้วยเหตุที่ความเร็วจับยึดในตารางที่ 2.1 ได้แสดงในลักษณะของช่วงความเร็ว กล่าวคือ จะมีค่าต่ำและค่าสูงในแต่ละลักษณะการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน ดังนั้น การพิจารณาว่าจะใช้ค่าความเร็วจับยึดในช่วงใดสำหรับการออกแบบหัวดูดให้พิจารณาจากองค์ประกอบอื่นที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของหัวดูดด้วย ความเร็วของอากาศในสิ่งแวดล้อมซึ่งอยู่รอบหัวดูดจะมีอิทธิพลมากต่อการออกแบบหัวดูดภายนอกรวมถึงหัวดูดที่ใช้กับกระบวนการทางความร้อน ซึ่งโดยปกติแล้วความเร็วดังกล่าวจะอยู่ในช่วง 200 – 300 fpm ก็อาจส่งผลให้สารปนเปื้อนถูกพัดพาให้มีทิศทางเบี่ยงบน นอกจากหัวดูดได้ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ก) ลักษณะนี้ควรติดตั้งแผ่นกั้นเพื่อป้องกันไม่ให้การไหลของอากาศที่มีความเร็วสูงไปรบกวนการทำงานของตัวดูดซึ่งแสดงใน รูปที่ 2.2 (ข) ในบางกรณีความเร็วจับยึดที่ใช้อาจต้องมีค่ามากกว่าค่าใน ตารางที่2.1 หรืออาณาบริเวณที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของความเร็วจับยึดอาจต้องขยายมากกว่าปกติ ตัวอย่างเช่น ในกระบวนการขนถ่ายหรือลำเลียงวัดสุที่เป็นอนุภาคของแข็ง (เช่น ทราย หิน หรือเมล็ดพืช) เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการลำเลียงวัสดุที่กำลังลำเลียงหรือกำลังลำเลียงหรือขนถ่ายจะไปแทนที่ในอากาศดังกล่าว ส่งผลให้อากาศและวัสดุที่มีความละเอียดมากบางส่วนฟุ้งกระจายออกเป็นวงกว้าง ดังนั้น ปริมาณอากาศที่ต้องการให้ไหลผ่านหัวดูดเพื่อควบคุมการฟุ้งกระจายต้องมีมากกว่าปกติ

พิจารณาการไหลของอากาศที่ไหลเข้าสู่หัวดูดภายนอกซึ่งมีลักษณะเป็นปากท่อเปิด ดังรูปที่ 2.3 โดยทฤษฎีแล้ว แรงดูดจากพัดลมจะพยามดึงอากาศจากภายนอก (และสารปนเปื้อน) ให้เข้าสู่ปากท่อทุกทิศทางโดยเราอาจจินตนาการให้อาณาบริเวณที่ความเร็วจับยึดมีค่ามากพอที่จะดึงอากาศเข้าสู่ปากท่อเปิดได้มีลักษณะเป็นทรงกลมโดยสารปนเปื้อนที่อยู่ในอาณาบริเวณดังกล่าวจะเล็ดลอดออกสู่สิ่งแวดล้อม หากอาราบริเวณดังกล่าวมีรัศมีเท่ากับ X อากาศที่ไหลเข้าสู่ปากท่อเปิดก็ต้องไหลผ่านพื้นผิวของอาณาบริเวณที่มีรัศมีเท่ากับ X ด้วยซึ่งในที่นี้คือพื้นที่ผิวทรงกลมนั้นเอง ดังนั้น เราจึงสามารถหาความเร็วจับยึด (V) ที่จุดใดๆ บนผิวทรงกลมที่จินตนาการขึ้นมานี้ได้จากความสัมพันธ์ V=Q/A โดยอัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าสู่อาณาบริเวณนี้ (Q) จะมีค่าเป็น

$$Q = AV = 4\pi X^2 v = 12.5\ x^2 v \qquad \text{.....(2.4)}$$

จะเห็นได้ว่า ความเร็วจับยึดจะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะระหว่างปากท่อเปิดกับตำแหน่งของสารปนเปื้อน (X) นั้นคือ ความเร็วจับยึดจะมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างปากท่อเปิดและสารปนเปื้อนเพิ่มขึ้น ลักษณะเช่นนี้จะทำให้สารปนเปื้อนที่แพร่กระจายอยู่ในตำแหน่งที่อยู่สารปนเปื้อนมากที่จะเป็นได้

7. ระบบท่อ

โดยทั่วไปแล้วท่อที่ใช้ระบบระบายอากาศเฉพาะจุดมักเป็นท่อหน้าตัดวงกลมซึ่งจะทำได้โดยการนำแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี หรือเหล็กดำ มาม้วนกลายเป็นท่อจากนั้นจึงทำการยึดรอยต่อแนวยาว ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่ดับลักษณะของสารปนเปื้อน และลักษณะของกระบวนการผลิต เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ใช้กันจะมีตั้งแต่ขนาดเล็ก (3in) เรื่อยไปจนถุงขนาดใหญ่(มากกว่า 3in) โดยขนดเส้นผ่านศูนย์กลางจะเพิ่มขึ้นครั้งละ0.5 in สำหรับท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 5.5 และเพิ่มขึ้นเกินครั้งละ 1 in สำหรับท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 – 20 in และเพิ่มขึ้นครั้งละ 2 in สำหรับที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 22 in เมื่อท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นความหนาของท่อก็เพิ่มขึ้นด้วยเพื่อให้ผนังท่อเกิดความแข็งแรงขึ้น

การแบ่งกลุ่มของท่อ จะพิจารณาจากคุณลักษณะละความเข้มข้นสารปนเปื้อนรวมถึงลักษณะของงานที่จะนำไปใช้โดยรายละเอียดของท่อในแต่ละกลุ่มดังตารางที่ 2.2

กลุ่มที่ 1(Class l) : งานไม่มีการขัดสีของสารปนเปื้อน เช่น การพ่นสี งานแปรรูปไม้ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรม ยารักษาโรค และอุตสาหกรรมอาหาร

กลุ่มที่2 (Class ll) : สารปนเปื้อนที่มีความสามารถในการขัดสีปานกลางหรือมีความสามารถในการขัดสีสูงแต่ความเข้มข้นต่ำ เช่นการเจียระไนหรือขัดผิวโลหะ

กลุ่มที่3(Class lll) : สารปนเปื้อนที่มีความสามารถในการขดสีสูงเข้มข้นปานกลางถึงมาก เช่น กรทำความสะอาดผิวชิ้นงานการพ่นทราย การโม่หิน การคัดขาด งานหล่อโลหะ

กลุ่มที่4 (Class lV) : สารปนเปื้อนที่มีความเข้มมาก อัตราการผลิตสูงและต่อเนื่อง เช่น กระบวนการบดปูนซีเมนต์

ตารางที่ 2.2 ความหนาของท่อตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกา

เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ	ความหนา (US Standard Gauge)			
	Class 1	Class ll	Class lll	Class 1 V
8 in และน้อยกว่า	24	22	20	16
มากกว่า 8-18 in	22	20	18	16
มากกว่า18-30 in	20	18	16	14
มากกว่า 30 in	18	16	14	12

7.1 ความเร็วต่ำสุดของอากาศในท่อในการคำนวณค่าความดันที่สูญเสียในระบบท่อมีรวมถึงการหาขนาดท่อที่ให้สำหรับระบบระบายอากาศเฉพาะจุดนั้น ตัวแปรที่จะเข้ามีบทบาทมากไหลปะปนเข้ามากับอากาสมีลักษณะเป็นอนุภาคในท่อ (หรือในส่วนอื่นของระบบ) ในกรณีที่สาร

ปนเปื้อนซึ่งไหลปะปนเข้ามากับอากาศมีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็ง(เช่น ฝุ่นหรือเศษโลหะ) ความเร็วของอากาศจะต้องมีค่ามากเพียงพอที่จะไม่ทำให้สารปนเปื้อนเกิดการตกค้างหรืออุดตันในระบบท่อซึ่งโดยทั่วไปจะเรียกความเร็วดังกล่าวนี้ว่า ความเร็วต่ำสุดของอากาศในท่อ(Minimum Duct Velocity ; V)หรือความเร็วต่ำสุดในการขนถ่าย (Minimum Transport Velocity)ความเร็วต่ำสุดของอากาศในท่อจะและเครื่องแยกสารปนเปื้อนเป็นย่างมาก การใช้ความเร็วของอากาศในท่อที่มีมากเกินไปก็จะทำให้อัตราการไหลของอากาศมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วยซึ่งจะส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานที่ต้องป้อนให้แก่พัดลม และนอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสึกหรอของระบบท่ออันเนื่องมาจากการเสียดสีของสารปนเปื้อนนี้ด้วย สำหรับความเร็วต่ำสุดของอากาศในท่อสำหรับสารปนเปื้อนชนิดต่างๆ สามารถดูได้จาก ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความเร็วต่ำสุดของอากาศในท่อ

ชนิดของสารปนเปื้อน	ความเร็วต่ำสุด ของอากาศ,fpm	ตัวอย่าง
ไอก๊าซและควัน	1,000-2,000(5-10m/s)	ไอก๊าซและควันที่เกิดจากกระบวนการทางอุตสาหกรรมทุกรูปแบบ
ไอเสีย	2,000-2,500(5-13m/s)	ไอร้อนที่เกิดจากกระบวนการเชื่อม
ฝุ่นละเอียดมากและเบา	2,500-3,000(13-15m/s)	ผงแป้งหรือผงฝ้าย
ฝุ่นแห้ง	3,000-4,000(15-20m/s)	ฝุ่นยางละเอียด ฝุ่นสบู่ขี้เลื่อยเบา ฝุ่นฝ้าย
ฝุ่นในอุตสาหกรรมทั่วไป	3,500-4,000 (18-20 M/S)	ฝุ่นจากการเจียระไนฝุ่นของเมล็ดกาแฟ ฝุ่นจากการขนถ่ายวัสดุ ฝุ่นจากการตัดอิฐ ฝุ่นจากการหล่อโลหะ ฝุ่นหินปูน ฝุ่นดิน หรือผงซิลิกา

ตารางที่2.3 ความเร็วต่ำสุดของอากาศในท่อ(ต่อ)

ชนิดของสารปนเปื้อน	ความเร็วต่ำสุด ของอากาศ,fpm	ตัวอย่าง
ฝุ่นขนาดใหญ่(ฝุ่นหนัก)	4,000-4,500 (20 - 23M/S)	ขี้เลื่อย (หนักและเปียก)ฝุ่นจากการขัดผิวโลหะฝุ่นจากการเป่าทราย ฝุ่นไม้ ฝุ่นจากการเจาะหรือคว้านเหล็กหล่อหรือตะกั่ว
ฝุ่นหนักและชื้น	4,500ขึ้นไป (23M/Sขึ้นไป)	ฝุ่นตะกั่วที่มีชิ้นตะกั่วติดมาด้วย ผงปูนซีเมนต์ชื้นผงยิปซั่ม(ชื้น)

ในทางปฏิบัติความเร็วต่ำสุดของอากาศในท่อที่ใช้ในการออกระบบควรมีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.3 ทั้งนี้เพื่อป้องกันความไม่แน่นอนต่างๆ ทำอาจทำให้ความเร็วของอากาศในท่อมีค่าลดลงในขณะทำงาน ด้วยตัวอย่างเช่น การอุดตันของสารปนเปื้อนในท่อจะส่งผลทำให้อัตราการไหลโดยรวมของอากาศในระบบลดลงซึ่งทำให้ความเร็วของอากาศในบางส่วนของระบบท่อมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน ความเสียหายจากรอยบุบที่ผิวทอก็อาจให้ความด้านทานในการไหลเพิ่มสูงขึ้นส่งผลทำให้อัตราการไหลของอากาศในส่วนที่ได้รับความเสียหายมีค่าลดลงด้วยนอกจากนี้ความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับพัดลมก็อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้อัตราการไหลของอากาศในลดลงซึ่งก็ย่อมส่งผลให้ความเร็วของอากาศลดลงเช่นกัน

นอกจากการพิจารณาตามที่กล่าวข้างต้นแล้วยังต้องพิจารณาต่ออีกว่าสารปนเปื้อนมีลักษณะเหนียวหรือไม่หรือมีการควบแน่นเกิดขึ้นกับอากาศในระบบหรือไม่ (ส่งผลให้สารปนเปื้อนที่เป็นฝุ่นมีลักษณะเหนี่ยวและชื้น) เป็นต้น โดยสิ่งเหล่านี้จะช่วยให้การเลือกใช้ความเร็วต่ำสุดของอากาศสำหรับการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะจุดเป็นไปอย่างถูกต้องสำหรับสารปนเปื้อนที่มีลักษณะที่เป็นไอหรือควันความเร็วต่ำสุดของอากาศในท่อที่เลือกใช้จะไม่ส่งผลกระทบต่อการออกแบบระบบมากนักเนื่องจากสารปนเปื้อนในลักษณะนี้จะไหลไปพร้อมกับอากาศได้ว่าอยู่แล้วส่งผลให้ในบางครั้งสามารถใช้ความเร็วต่ำสุดในท่อมีค่าต่ำที่แนะนำในตารางที่2.3ได้ยกเว้นในกรณีที่สารปนเปื้อนมีลักษณะเป็นพิษซึ่งอาจทำอันตรายต่อสุขภาพของคนงานได้หากเกิดเล็ดลอดออกสู่สิ่งแวดล้อม

7.2 แรงเสียดานภายในท่อการสูญเสียความดันเนื่องจากความเสียดทานด้วยเหตุที่อากาศเป็นของไหลที่มีความหนืด ดังนั้นการไหลของอากาศผ่าระบบท่อจึงต้องมีความเกิดขึ้นเสมอโดย

ความต้านทานดังกล่าวนี้จะอยู่ในรูปของความฝืดหรือความเสียดทานระหว่างอากาศและผิวด้านในของท่อความต้านที่เกิดนี้จะทำให้พลังงานของอากาศที่ไหลในท่อซึ่งอยู่ในรูปของความดันสถิตมีค่าลดลงด้วยนี้จึงต้องป้อนพลังงานให้อากาศในระบบท่อเพื่อเอาชนะความต้านทานดังกล่าวซึ่งทำได้โดยอาศัย

พัดลมโดยทั่วระบบอากาศที่ถูกออกแบบให้มีความต้านทานในระบบท่อน้อยจะใช้พัดลมที่ขนาดเล็กกว่าระบบที่มีความต้านทานมาก

สำหรับท่อหน้าตัดวงกลม ค่าความสูญเสียความดันเนื่องจากความเสียดทานจะแปรผันโดยกับกำลังสองของความเร็วของอากาศในท่อ ความยาวของท่อและความหยาบของผิวด้านในท่อแต่จะแปรผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ โดยค่าการสูญเสียความดันกล่าวนี้สามารถทำได้จากสมการ Darcy Weisbach กล่าวคือ

$$\boxed{h_L = f\left(\frac{L}{D}\right)VP} \qquad \text{.....(2.5)}$$

เมื่อ h = ความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน,in.wg

F = แฟกเตอร์ความเสียดทาน(Friction Factor),ไม่มีหน่วย

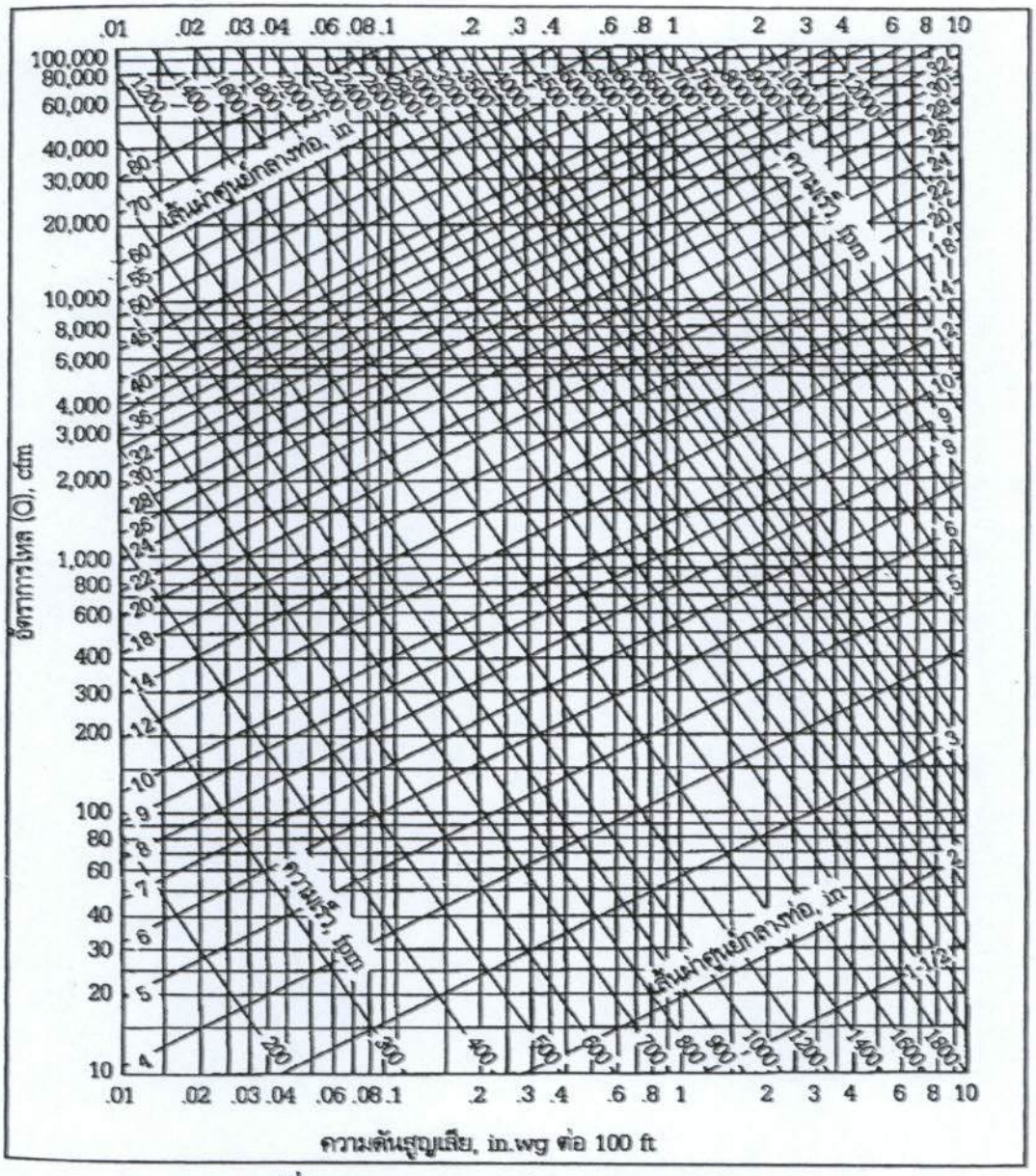
L=ความยาวของท่อ,ft

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ,ft

VP=ความดันจลน์ของอากาศในท่อ,in.wg

สมการที่2.5 จะเห็นได้ว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของความยาวของท่อเป็นตัวแปลที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียความดันเองจากความเสียทานเป็นอย่างมากการไหลของอากาศผ่านท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า(ท่อขนาดเล็ก)และมีความยาวมาก(ท่อยาว)จะเกิดการสูญเสียความดันเนื่องจากความเสียดทานมากกว่า นอกจากนี้การที่ท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าที่จะทำให้ความเร็วของอากาศในท่อที่มีค่าสูงซึ่งอาจทำให้ผิวในท่อได้รับความเสียหายจากการขัดสีของสารปนเปื้อนที่เป็นฝุ่นได้เร็ว

ค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน (f) สามารถได้จากแผนภาพ Moody ซึ่งในที่นี้จะไม่ขอกล่าวถึงโดยสามารถดูรายละเอียดได้จากหนังสือกลศาสตร์ของไหล ทั่วไป ในทางปฏิบัติมักคำนวณค่าการสูญเสียความดันเนื่องจากความเสียดทานโดยใช้แผนภาพความเสียดทานซึ่งมีลักษณะดังกล่าวรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนภาพความเสียดทานสำหรับท่อกลม

แผนภาพความเสียดทานในรูปที่2.2 ถูกสร้างขึ้นบนพื้นฐานสำหรับการไหลของอากาศที่ภาวะมาตรฐานผ่านท่อกลมซึ่งทำจากเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสียาว100 ft และผิวของท่อมีความหยาบ0.0005ftโดยความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานที่เกิดขึ้นสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$h_L = 2.74\left(\frac{V/1{,}000}{D^{1.22}}\right)^{1.9} \qquad \text{.....(2.6)}$$

เมื่อ V = ความเร็วของอากาศในท่อ,fpm

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ. In

ในกรณีที่ระบบท่อสำหรับระบบระบานอากาศได้ถูกออกแบบด้วยวิธีความดันจลน์ค่าความสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลผ่านท่อที่มีความยาวเท่ากับ L สามารถหาได้จากสมการ Darcy Weisbach ซึ่งเขียนในรูปของ

$$h_L = \left(12\frac{f}{D}\right) L \ VP = H_f \ L \ VP \qquad \text{.....(2.7)}$$

เมื่อ H_f คือ ค่าแฟกเตอร์ความเสียทาน และตัวเลข 12 ถูกนำมาใช้เพื่อเปลี่ยนหน่วยของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อจาก in เป็น ft

สำหรับแฟกเตอร์ความเสียดทานของอากาศที่ภาวะมาตรฐานซึ่งไหลผ่านท่อที่ทำจากวัสดุต่างๆ สามารถหาได้จากสมาการ

$$H = 12\frac{f}{D} = \frac{aV^b}{Q^c} \qquad \text{.....(2.8)}$$

เมื่อ a.bและc คือค่าคงที่ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของวัสดุที่นำมาทำท่อ โดยสามารถดูได้จากตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่สำหรับสมการ 2.9

วัสดุที่ใช้ทำท่อ	a	b	c
เหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี(Galvanized Sheet Steel)	0.0307	0.533	0.612
อะลูมิเนียม(Aluminum) เหล็กสเตนเลส (stainless steel เหล็กดำ(Black lron) และพีวีซี (PVC)	0.0425	0.465	0.602

(ที่มา: ฉัตรชัย นิมมล: ระบบกำจัดฝุ่นและระบบระบายอากาศ: 2548)

เห็นได้ว่าค่าการสูญเสียดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความเร็วการไหลของอากาศผ่านท่อ แต่ความเร็วก็จะสัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (ในกรณีทีอัตราการไหลคงที่) สิ่งนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกใช้ท่อกล่าวคือ ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าจะมีราคาถูกและง่ายต่อติดการตั้ง แต่ความเร็วของอากาศในท่อจะมีค่ามากส่งผลให้การสูญเสียความดันมีค่ามากกว่านั้นหมายความว่าเราต้องใช้พัดลมที่มีขนาดใหญ่เช่นกัน ดังนั้นในการออกแบบระบบจึงควรพิจาณาส่วนนี้อยากรอบคอบ

สำหรับระบบที่มีการใช้ท่ออ่อน การประเมินค่าความดันสูญเสียของอากาศเนื่องจากความเสียดทานสามารถทำได้โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากผู้ผลิตท่อซึ่งจะให้ผลอย่างถูกต้องแม่นยำ ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลดังกล่าวสามารถประเมินค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดเสียที่ไหลผ่านท่ออ่อนได้อย่างคราวๆ ว่ามีค่าเป็น2 – 3 เท่าของความดันสูญเสียของอากาศที่ไหลผ่านท่อตรงซึ่งทำจากโลหะที่มีความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน จะเห็นได้ว่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่อนข้างมาก

ถึงแม้ท่อลมจะนิยมใช้กับระบบระบายอากาศเฉพาะจุดเนื่องจากการทำให้การกระจายความเร็วเป็นไปอย่างสม่ำเสมอไปทั่วทั้งหน้าตัด ซึ่งส่งผลไม่ได้ให้เกิดการตกค้างของสารปนเปื้อนในระบบท่อ รวมไปถึงยังทนทานต่อความดันสถิตของอากาศได้สูงกว่าท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยม แต่บางครั้งอาจจำเป็นที่ต้องใช้ท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยม ลักษณะเช่นนี้คงหาค่าการเสียความดันอันเนื่องจากความเสียดทานในท่อโดยอาศัยแผนภาพหรือตารางำหรับกรณีท่อกลมได้เช่นเดิมแต่เพียงต้องหาขนาดเสียดทานในท่อโดยอาศัยแผนภาพหรือตารางสำหรับกรณีท่อกลมได้เช่นเดิมแต่เพียงต้องหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบท่า ของท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมก่อนซึ่งทำได้โดยอาศัยสมการต่อไปนี้

$$D_{eqv} = 1.3\frac{(A \times B)^{0.625}}{(A + B)^{0.25}} \qquad \text{.....(2.9)}$$

เมื่อ D_{eqv} = เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าสำหรับท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยม,in

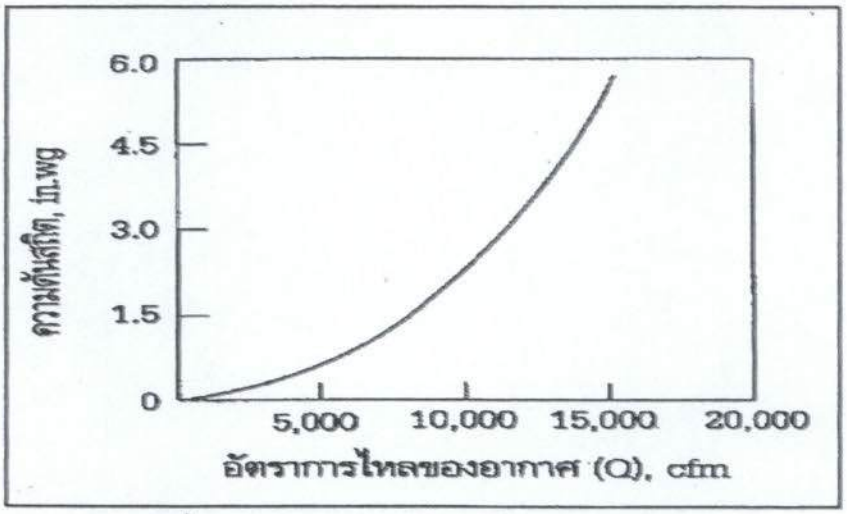
A และ B = ความยาวด้านA และ B ของหน้าตัดท่อ ,in

เมื่อได้เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าแล้วจึงนำไปใช้เป็นข้อมูลในการหาแฟกเตอร์การสูญเสียความดันต่อไปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าที่มาจากสมการที่ 2.9 นี้จะตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่าการสูญเสียความดันเนื่องจากความเสียดทานของท่อกลมและท่อสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากันในที่นี่แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าสำหรับท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมตามสมการ

8. พัดลม

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้ววาพัดลมที่ใช้ในการระบายอากาศเฉพาะจุดจะมีหน้าที่สร้างแรงดูดในระบบซึ่งต้องมากพอที่จะดังอากาศปนเปื้อนให้เข้าสู่หัวดูดได้ ด้วยเหตุนี้ พัดลมจึงเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในอันดับต้นๆ หรับระบบระบายอากาศเฉพาะจุในทางปฏิบัติแม้ว่าจะได้ออกแบบอุปกรณ์ในระบบมาเป็นอย่างดีแล้ว แต่ถ้าการเลือกใช้พัดลมเป็นไปอย่างไม่เหมาะสม (ทั้งชนิดและขนาด) ก็อาจส่งผลคล้ายรงถึงขั้นระบบระบายอากาศมีสามารถทำงานได้ตามต้องการหรืออาจจะมีประสิทธิภาพต่ำและใช้พลังงานมากกว่าที่ควรจะเป็นยอกจากตัวพัดลมเองแล้วท่อทางเข้าและท่อทางออก ของพัดลมที่เป็นส่วนหนึ่งของพัดลมก็มีความสำคัญไม่น้อย ท่อเหล่านี้จะต้องช่วยให้การไหลของอากาศเป็นไปอย่างราบเรียบทั้งไหลเขาและไหลออกจากพัดลม

8.1 คุณลักษณะของระบบ เมื่อพิจารณาถึงการสูญเสียความดันของอากาศที่ไหลในระบบท่อจากสมการ 2.6 จะพบว่าการสูญเสียความดันจะแปรผันโดยตรงกับกำลังสองของอัตราการไหลหรือกำลังสองของความเร็ว ดังนั้นเมื่อทราบค่าการสูญเสียของระบบที่อัตราการไหลของอากาศค่าหนึ่งเราก็สามารถคาดคะเนการสูญเสียความดันของระบบที่อัตราการไหลมีการเปลี่ยนแปลงได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ที่กล่าวตอนต้นอันนำมาซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าการสูญเสียความดันของระบบในลักษณะของกราฟที่เรียกว่า เส้นโค้งความต้านทานของระบบ(System Resistance Curve) ตัวอย่างเส้นโค้งความต้านทานของระบบระบายอากาศระบบหนึ่ง
แสดงให้เห็นในรูปที่2.3



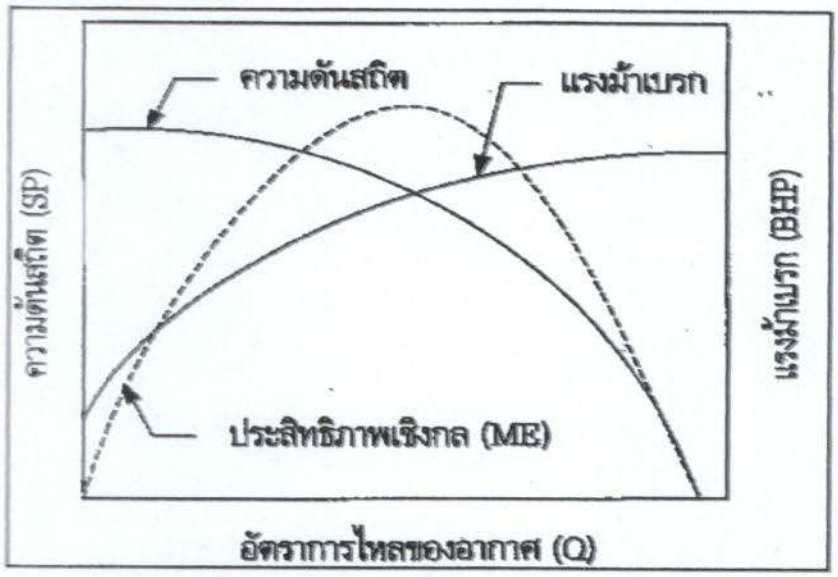
รูปที่ 2.3 ตัวอยางเส้นโค้งความต้านทานของระบบ

จากตัวอย่างเส้นโค้งของความต้านทานของระบบ จะเห็นได้ว่าหากอัตราการไหลของอากาศที่ระบบต้องการซึ่งได้จากการออกแบบคือ10,000cfm พัดลมต้องสร้างแรงดูดหรือความดันสถิตให้ได้ไม่น้อยกว่า2.25 in.wg (โดยประมาณ) หากต้องการให้อากาศไหวของอากาศและความดันสถิตหรือแรงดูดของพัดลมต้องไม่น้อยกว่า 5.5 in.wg สำหรับอัตราการไหลของอากาศและความดันสถิตของพัดลมในช่วงอื่นสามารถอ่านได้จากเส้นโค้งความต้านทานของระบบดังกล่าว

8.2 คุณลักษณะเชิงสมรรถภาพของพัดลม โดยทั่วไปการอธิบายไหลของอากาศในระบบระบายอากาศมุ่งเน้นให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของความต้านทานในระบบอันเกิดจากความเสียดทานกับปริมาณอากาศที่ไหลผ่านระบบและไหลได้ในปริมาณที่ต้อง(จากการออกแบบ)อากาศจำเป็นได้รับพลังงานจากภายในรูปแบบของความดันซึ่งเกิดขึ้นจากการทำงานของพัดลมพลังงานจากภายนอกเช่นมอเตอร์ไฟฟ้า จะถ่ายเทให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความดันสถิต

อัตราการไหลเชิงปริมาณของอากาศที่ถูกลำเลียงในระบบความดันสถิต(SP) ที่ถูกสร้างขึ้นโดยพัดลมจะเรียกว่า คุณลักษณะเชิงสมรรถนะ (Performance Characteristics) สำหรับคุณลักษณะ

เชิงสมรรถะอื่นของพัดลม ได้แก่ประสิทธิภาพเชิงกล(ME) และแรงม้าเบรก(BHP) ความรู้เกี่ยวกับสมรรถะของพัดลมจะมีประโยชน์เป็นอย่างมากต่อการเลือกใช้พัดลมให้ถูกต้องและเหมาะสมต่อความต้องการของระบบรวมถึงจะช่วยให้เราสามารถวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องด้วย



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างเส้นโค้งสมรรถะของพัดลม

การทำความเข้าใจถึงสมรรถะของจะทำได้อย่างง่ายและสะดวกโดยอาศัยเส้นโค้งที่เรียกว่าเส้นโค้งสมรรถะของพัดลม(Fan performance Curves) ซึ่งได้มาจากการทดสอบพัดลมของผู้ผลิตดังรูปที่2.4 แสดงตัวอย่างเส้นโค้งสามารถนะของพัดลมที่หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ค่าหนึ่งซึ่งประกอบด้วยเส้นโค้งความดันสถิตเส้นโค้งแรงม้าแบรกแบะเส้นโค้งประสิทธิภาพเชิงกลเส้นโค้งเหล่านี่จะแสดงถึงความสุมพันธ์จองความดันสถิตของพัดลม แรงม้าแบรกของพัดลมและประสิทธิภาพเชิงกลของพัดลมที่อัตราการไหลของอากาศค่าต่างๆ โดยรูปร่างของเส้นโค้งเหล่านี้จะมีลักษณะแตกต่างกันสำหรับพัดลมแต่ละชนิด

พลังงานที่ต้องการเพื่อทำให้พัดลมทำงานซึ่งแสดงในรูปของแรงม้าเบรกซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศแลความต้านทานของระบบแรงม้าเบรกนี้จะเป็นพลังงานที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้พัดลมทำงานได้โดยไม่คิดการสูญเสียพลังงานระหว่างพัดลมและต้นกำลังขับในการทำงานจริงนั้นพลังงานที่พัดลมต้องการจะมีมากกว่าที่ผู้ผลิตระบุไว้เนื่องจากพลังงานบางส่วนจะสูญเสียไปในระหว่างการถ่ายทอดกำลังขับมายังพัดลมโดยแรงม้าเบรก (BHP) ที่พัดลมที่ต้องการซึ่งมีหน่วยเป็นแรงม้าหรือแทนด้วย hpZ(Horsepower) จะหาได้จากสมการดังนี้

$$BHP = \frac{Q(FTB)}{6,356ME} = \frac{Q(FSP + VP)}{6,356ME} \quad \text{.....(2.10)}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลของปริมาตรจริงของอากาศ , cfm

FTP = ความดันของพัดลม ,in.wg

FSP = ความดันสถิตของพัดลม , in.w

VP_{outlet} = ความดันจนน์ของอากาศที่ออกของพัดลม , in.wg

ME = ประสิทธิเชิงกลของพัดลม , %

9. การบำบัดมลภาวะทางอากาศการระบายอากาศ

ตามกฎหมาย ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมต้องดูแลควบคุมและติดตามตรวจสอบให้มลพิษที่เกิดจากโรงงานออกไปสู่บรรยากาศในปริมาณที่กำหนดซึ่งอาจอาศัยวิธีการต่างๆกัน ซึ่งในบทนำนี้จะกล่าวเพียงย่อๆ โดยจะมีบทที่แยกพูดถึงแต่ละวิธีโดยละเอียดต่อไปในบทหลังๆ ทั้งนี้ในที่นี้จะเน้นที่การดักและแยกฝุ่น โดยมีกล่าวถึงแก๊สและกลิ่นบ้างเล็กน้อย

9.1 หลักการบำบัดมลภาวะทางอากาศ แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ

9.1.1 การระบายออกไป (Remove หรือ Ventilation) เช่น พัดลมดูดออกไปหรือเป่าออกไปหรือไล่ด้วยลมที่สะอาด ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของ กระบวนการระบายอากาศ (Ventilation) หลักการนี้เป็นการลดปัญหามลสารที่มารบกวนภายในโรงงานเองโดยไม่สนใจว่านอกโรงงานจะมีปัญหาหรือไม่จึงเป็นการผลักปัญหาให้ชุมชนนอกโรงงาน ดังนั้นวิธีนี้จึงใช้เฉพาะโรงงานที่มีปัญหามลสารไม่มาก จึงสามารถนำอากาศจากบริเวณที่เกิดมลสารออกไปผสมกับอากาศดีในปริมาณมากทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศที่ผสมกันแล้วเจือจางลงต่ำกว่าระดับที่กฎหมายกำหนดซึ่งวิธีนี้ต้องออกแบบระบบรวบรวมมลสารให้ดีต้องมีฮูดหรือ Canopy ครอบคลุมแหล่งกำเนิดมลสารเพื่อควบคุมไม่ให้มลสารแพร่กระจายไปยังบริเวณที่มีคนทำงานและปล่อยอากาศที่มีมลสารออกไปให้ห่างจากตำแหน่งที่นำอากาศดีเข้าห้อง (Make-Up Air) นอกจากนี้ยังใช้กับการระบายอากาศในห้องหรือบริเวณที่มีคนทำงานเพื่อให้คนทำงานในบรรยากาศที่สะอาดหายใจและการระบายอากาศยังเป็นการช่วยระบายความร้อนออกจากห้องเพื่อปรับอุณหภูมิภายในห้องให้คนที่อยู่ภายในรู้สึกสบายตัว ทั้งนี้บรรยากาศการทำงานที่ดีต้องการปริมาณการถ่ายเทของอากาศ 30 ลบ.ม./ชม./ คนและหากเป็นห้องทึบต้องการต้องการ 35 ลบ.ม./ชม./คน หลักการระบายอากาศอาจทำได้ใน 3 ลักษณะซึ่งเหมาะสำหรับกรณีต่างๆกันดังแสดงในรูปที่ 2.7

9.1.2 การดักเก็บ (Collection) การบำบัดมลภาวะทางอากาศโดยการดักเก็บนี้เป็นการดักแยกและรวบรวมมลสารในอากาศที่เป็นปัญหาออกมาแล้วปล่อยอากาศที่สะอาดออกสู่

บรรยากาศต่อไป ดังนั้นจึงเป็นวิธีที่สามารถจัดการกันปัญหาได้จริงๆและเป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไปตามโรงงานต่างๆ

การบำบัดด้วยวิธีนี้จะต้องประกอบด้วย

1) ระบบรวบรวมมลสาร ณ ที่กำเนิดหรือใกล้ที่กำเนิดมลสารมากที่สุด

2) ระบบ หรือ อุปกรณ์บำบัด

3) ระบบท่อที่นำอากาศที่มีมลสารเข้าสู่ระบบบำบัด

4) อุปกรณ์ช่วยให้เกิดการไหลของอากาศ (Air Moving Device) เช่น พัดลม เป็นต้น

9.2 การบอกประสิทธิภาพของการดักเก็บฝุ่นและแก๊ส ประสิทธิภาพของกระบวนการจะบอกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

9.2.1 ประสิทธิภาพในการดักเก็บ (Collection Efficiency) หรือบอกเป็น % Removal

9.2.2 สัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของมลสารที่หลุดรอดจากการดักเก็บหรือปล่อยผ่านอุปกรณ์ดักเก็บไปได้ (Penetration Efficiency)

9.3 ระบบเก็บรวบรวมมลสาร (ฝุ่น และ แก๊ส) การเก็บรวบรวมมลสารเห็นการรวบรวมอากาศที่มีมลสารจากตำแหน่งที่มีปัญหาเพื่อดูดหรือเป่าเข้าระบบกำจัดมลสารต่อไป หลักการที่สำคัญคำต้องจำกัดภาระงานที่ต้องทำให้น้อยที่สุดและมีหลักการอื่นๆอีกคือ

9.3.1 ต้องให้ฮูดหรือ Canopy ครอบคลุมแหล่งกำเนิดมลสารเพื่อควบคุมไม่ให้มลสารแพร่กระจายไปยังบริเวณที่มีคนทำงาน

9.3.2 ลดภาระงานโดยให้ดูดเฉพาะที่มีปัญหามลสาร ฝุ่น หรือ แก๊ส กำเนิดที่ไหนรวบรวมที่นั่น เช่น วางท่ออ่อนจ่อดูดใกล้ๆตำแหน่งที่กำเนิด

9.3.3 หลีกเลี่ยงการดูดอากาศดีเข้าไปเจือจาง

9.3.4 ปล่อยอากาศที่มีมลสารออกไปให้ห่างจากตำแหน่งที่นำอากาศดีเข้าห้อง (Make-up air)

9.3.5 ระบบรวมมลสารจะต้องออกแบบไม่ให้อากาศที่มีมลสารไหลผ่านคนงานก่อนเข้าสู่ระบบ

9.3.6 ในกรณีของฝุ่นความเร็วลมที่ดูดต้องสูงพอที่จะพาฝุ่นขึ้นสู่ท่อและไหลไปตามท่อได้

9.4 อุปกรณ์สำหรับดักและแยกฝุ่น อนึ่งอุปกรณ์กลุ่มนี้ นอกจากจะใช้กับฝุ่นแล้วยังนิยมใช้ในการแยกและกำจัดแก๊สที่ปนเปื้อนในอากาศเสียจากโรงงานโวยเช่นกัน ตัวอย่างที่ทราบกันดีได้แก่ที่โรงไฟฟ้าไม่เหมาะจะใช้ในการกำจัดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ได้จากการเผาถ่านหินโดย

การสเปรย์น้ำผสมหินปูนเพื่อจับแก๊สและได้เป็นยิปซั่มตกลงมาข้างล่าง ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้เรียกว่า Wet Limestone FGD Process.อุปกรณ์ดักและแยกฝุ่นออกจากอากาศนั้นแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

9.4.1 กลุ่มที่ใช้หลักเชิงกล ได้แก่

1) ห้องดักฝุ่น (Settling or Gravity Chambers) ดักเก็บได้เฉพาะฝุ่นที่โตกว่า 40 ไมครอน

2) เครื่องแยกแบบเฉื่อย (Inertial Or Impingement Separators) ใช้กับฝุ่นที่โตกว่า 20 ไมครอนขึ้นไป

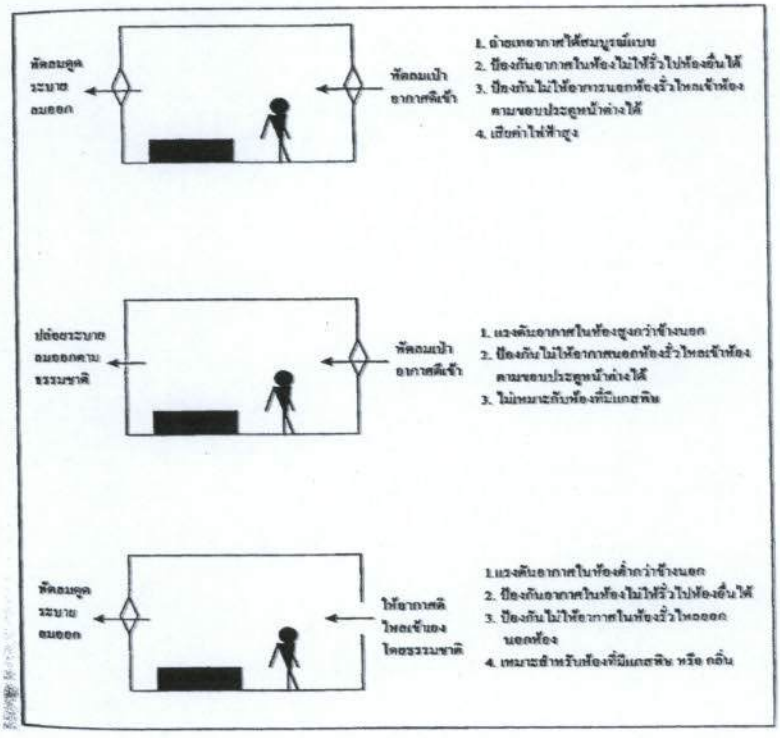
3) ไซโคลน (Cyclone) สามารถเก็บฝุ่นที่มีขาดเล็กได้ถึง 5 ไมครอน

9.4.2 กลุ่มที่อาศัยการกรอง ได้แก่

1) เครื่องกรองแบบผ้า (Fabric Filters – Bag Houses) ใช้ดักฝุ่นละเอียดได้ถึง 0.3 ไมครอนผ้ากรองที่ใช้อาจเป็นผ้าทอหรือผ้ากรองที่ทำด้วยอนุภาคละเอียดอัดแน่นเป็นชั้น (Ultrafineparticle Felts)

2) การกรองด้วยหอชนิดใส่วัสดุ (Packed Bed Filtration) อาจใช้น้ำช่วยจับฝุ่นด้วยซึ่งจะไปเข้าข่ายของ Wet Scrubbers

ตัวอย่างความเร็วลม (Captive Velocities) ที่เหมาะสมและข้อควรพิจารณานั้นมีแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5แสดงการระบายอากาศในลักษณะต่างๆ

9.4.3 เครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitators) ใช้ดักจับฝุ่นขนาดละเอียดมาก

9.4.4 กลุ่มที่ใช้น้ำช่วยจับฝุ่น (Wet Scrubbers)

1) หอสเปรย์น้ำ (Spray Tower)

2) Venturi Scrubbers

3) Cyclonic Scrubbers

4) Impingement Scrubbers

5) Packed Bed Scrubbers

9.4.5 การเปรียบเทียบอุปกรณ์ชนิดต่างๆ อุปกรณ์ชนิดต่างๆ มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป และใช้กับขนาดฝุ่นที่แตกต่างกัน ตารางที่ 2.7 แสดงถึงขนาดฝุ่นที่เหมาะสำหรับอุปกรณ์ชนิดต่างๆ สามารถเก็บได้ 90 % (ที่มา : วีระ รัตนไชย : งานเชื่อมโลหะเบื้องต้น : 2542)

10. ทฤษฎีการเชื่อม

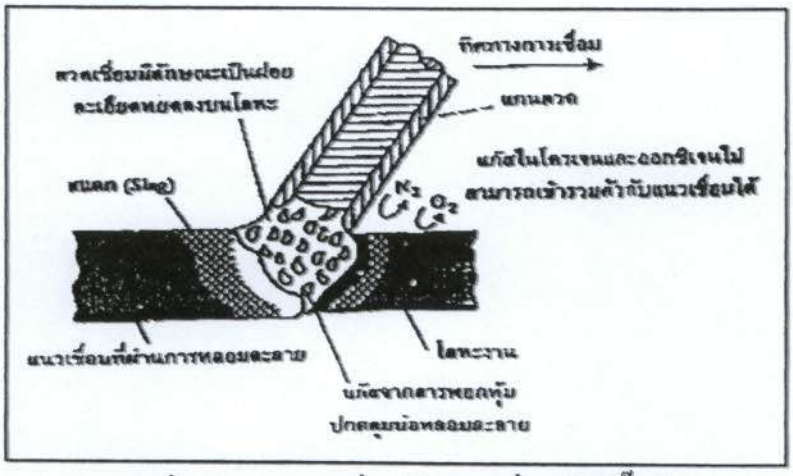
การเชื่อมโลหะมีหลายวิธี ถ้าแยกประเภทโดยยึดเอาจุดสำคัญต่างๆ เป็นเกณฑ์ จะมีจุดสำคัญที่สำคัญที่ใช้ในการแยกประเภทได้มากกว่า 40 วิธี โดยเหตุนี้จึงมีการแยกประเภทวิธีใดที่จะทำให้ทุกคนยอมรับว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุด ปัจจุบันการแยกประเภทวิธีการเชื่อมและตัดโลหะตามปกติจะแยกประเภทวิธีการเชื่อมได้กว้างขวางโดยถือหลักการแยกประเภทจากกลไกลทำงานในงานเชื่อมหรืออีกทางหนึ่งจะแยกประเภทตามพลังงานที่ใช้ในงานเชื่อม

การแยกประเภทวิธีการเชื่อมตามปรกติจะแยกออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้คือ การเชื่อมโดยโลหะถูกหลอมละลาย (Fusion Welding) หรือการเชื่อมแบบสิ้นเปรื่อง โดยโลหะไม่ถูกหลอมละลาย หรือการเชื่อมแบบไม่สิ้นเปรื่อง ในรูปแบบของการเชื่อมต่างๆ จะมีการแยกออกไปตามลักษณะประเภทของงานเชื่อม ดังนี้

10.1 การเชื่อมแบบสิ้นเปลื่องลวดเชื่อม การเชื่อมแบบนี้จะเป็นการเชื่อมที่ต้องมีการสิ้นเปลื่องลวดเชื่อมมากจะต้องเปลี่ยนลวดเชื่อมบ่อยๆ ใช้ได้ไม่เกิน 30 วินาทีก็จะต้องเปลี่ยนลวดใหม่ การทำงานของกรเชื่อมแบบสิ้นเปลื่องลวดเชื่อมนี้จะสามารถเชื่อมได้ทุกท่า ทุกวัสดุการเชื่อมแบบนี้สามารถแบ่งออกเป็นดังต่อไปนี้

10.1.1 การเชื่อมไฟฟ้า (MMVW) การเชื่อมไฟฟ้านี้มีทั้งการเชื่อมด้วยมือ (Manual Welding) การเชื่อมกึ่งอัตโนมัติ (Semi Automatic welding) และการแบบอัตโนมัติ (Automatic Welding) จะเป็นการเชื่อมแบบไดก็ตามที่สำคัญคือ ระหว่างการเชื่อม จะต้องมีการป้องกันไม่ให้ออกซิเจนจากบรรยากาศเข้ารวมตัวกับบ่อหลอมละลายซึ่งทำให้แนวเชื่อมไม่สมบูรณ์และที่สำคัญคือความแข็งไม่เพียงพออันนี้เป็นอันตรายอย่างยิ่ง การเชื่อมไฟฟ้าโดยการใช้ลวดเชื่อมหุ้มปลั๊กจะ

ทำหน้าที่ในการช่วยส่งน้ำโลหะผ่านช่องว่างเพื่อก่อตัวเป็นแนวเชื่อม การเกิดสแลกซึ่งการเกิดสแลกจะมีผลต่อขนาดของหยดน้ำโลหะ



รูปที่ 2.6 แสดงการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์

10.1.2 การเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมชนิดหุ้มสารพอกหุ้ม (Covered Arc Welding) การแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมชนิดหุ้มสารพอกหุ้ม เป็นการเชื่อมที่แพร่หลายที่สุดในปัจจุบันการเชื่อมแบบนี้จะใช้ลวดเชื่อมซึ่งมีแกนกลางเป็นลวดโลหะด้วยสารพอกหุ้ม (Flux) ขณะเชื่อมจะเกิดการอาร์คขึ้นระหว่างโลหะกับปลายลวดเชื่อมความร้อนจากการอาร์ค จะหลอมละลายวัสดุทั้งสองและผสมกันเป็นรอยเชื่อม

10.1.3 การเชื่อมด้วยลวดหุ้มฟลั๊กซ์ (Shield Metal Arc Welding) การเชื่อมด้วยลวดหุ้มฟลั๊กซ์(SMAW) คือการเชื่อมโดยใช้ไฟฟ้าเป็นตัวนำความร้อนเอง ทั้งนี้โดยให้กระแสการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมและชิ้นงานโลหะจะถูกเติมลวดเชื่อมจึงหุ้มด้วยฟลั๊กซ์

1) การเชื่อมโดยใช้มือ (Manual Arc Welding) ในการเชื่อมโดยใช้มือนั้นจะธูปเชื่อม (Covered Electrode) ซึ่งประกอบด้วยแกนลวดหุ้มฟลั๊กซ์ (Flux) ฟลั๊กซ์ที่หุ้มอยู่นี้จะหลอมละลายและทำให้ความสามารถในการเชื่อมได้ดีขึ้นโดยมากแล้วจะมีการดัดแปลงลวดเชื่อมก่อนในขณะเชื่อม การเชื่อมแบบนี้จัดเป็นการเชื่อมส่วนที่สลับซับซ้อนและยุ่งยาก

11. มอเตอร์

มอเตอร์เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล สามารถแบ่งประเภทของมอเตอร์ได้ดังนี้ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Motor) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C. Motor) ซิงโครนัสมอเตอร์ (Synchronous Motor)

มอเตอร์สามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานดังนี้ มอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสนั้นสามารถเริ่มหมุนได้โดยไม่ต้องมีตัวช่วยในการเริ่มหมุน สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวส่วนใหญ่การเริ่มหมุนต้องมีวิธีการช่วยให้เริ่มหมุนแล้วแต่ชนิดของมอเตอร์ มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าเฟสเดียวเทียบ

กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจะสรุปได้ดังนี้ สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีขนาดกำลังงานจ่ายออก (Power Output) เท่ากับมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวจะมีขนาดใหญ่กว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส มากในการเริ่มหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว จะต้องใช้วิธีหนึ่งเพื่อให้มีแรงบิดตอนเริ่มหมุน ดีขึ้น,มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว มีการสร้างและการออกแบบยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายแพงกว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาดเท่าๆกัน

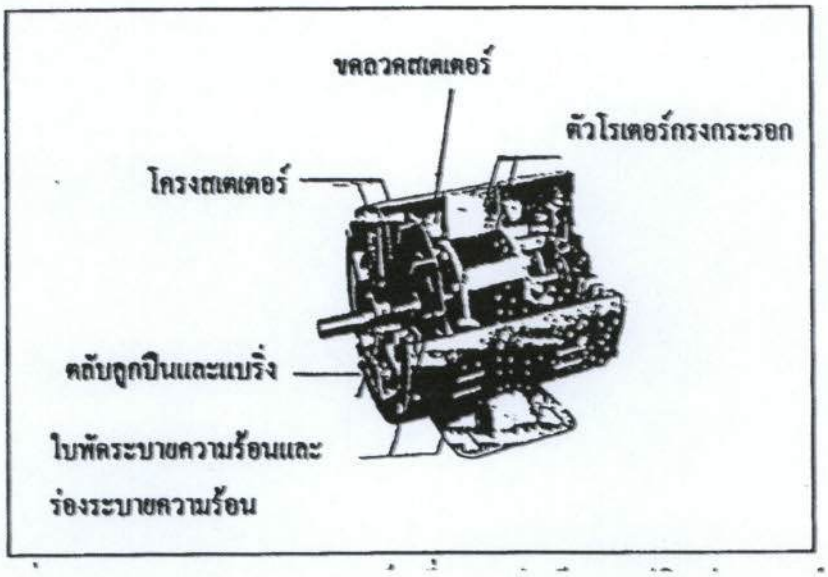
ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะ A.C. Motor แบบเฟสเดียวเท่านั้น เนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่ คณะผู้จัดทำโครงการนี้เลือกใช้

11.1 ชนิดของมอเตอร์เฟสเดียว มอเตอร์เฟสเดียวที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้ ส่วนใหญ่เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กไม่ถึง 1 แรงม้า มี 5 ชนิด ได้แก่

11.1.1 สปลิตเฟสมอเตอร์ เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวที่มี ขดลวดสเตเตอร์สอง ชุดมีหลักการทำงานเหมือนกับเครื่องกลไฟฟ้าสองเฟส ได้แก่ สปลิตเฟสมอเตอร์และคาปาซิเตอร์ มอเตอร์สปลิตเฟส มอเตอร์มีโครงสร้างตามภาพที่ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ตัวสเตเตอร์ขอลวดสองชุดพันอยู่บนแกนสเตเตอร์ แต่ละชุดวางห่างกัน 90 องศาทางไฟฟ้า ชุดแรกมีไว้สำหรับใช้งานตามปกติเรียกชุดนี้ว่า ชุดรัน (Running Winding) เป็น ขดลวดเส้นใหญ่มีการพันจำนวนรอบมากกว่าขดลวดชุดสตาร์ทมีค่าความต้านทานต่ำ แต่มีค่ารีแอน แทรกซ์สูง ชุดนี้จะต่อกับแหล่งจ่ายตลอดเวลาทำงาน ชุดที่สองเป็นชุดที่ต่อใช้ตอนเริ่มหมุน เรียกว่า ขดลวดสตาร์ท (Starting Winding)

2) ตัวโรเตอร์มีลักษณะเป็น กรงกระรอกคล้ายกับของมอเตอร์เหนี่ยวนำสาม เฟสตัวนำที่ฝังอยู่ในตัวโรเตอร์เป็นรูปกรงกระรอกนี้จะฝังเฉียงกับแกนเพลา เพื่อให้เส้นแรงแม่เหล็ก ข้ามช่องว่างอากาศเฉลี่ยเท่ากันทุกๆจุดบนผิวโรเตอร์ ที่แกนตัวโรเตอร์มีสวิตช์หนีศูนย์กลางติดอยู่ เพื่อตัดขอสตาร์ทออกจากวงจรหลังจากมอเตอร์มีความเร็วประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ของความเร็ว ซิงโครนัสถ้าไม่มีขดชุดสตาร์ทแรงบิดเริ่มหมุนจะเป็นศูนย์คือไม่สามารถหมุนตัวออกได้และใช้ กระแสตอนเริ่มหมุนเป็น 5 – 6 เท่าของกระแสอัตราพิกัด เหมาะสมกับงานที่ใช้แรงบิดไม่มากนัก เช่น พัดลม เครื่องเป่า เครื่องดูดอากาศ เป็นต้น



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว (สปลิตเฟสมอเตอร์)

11.2 การเลือกมอเตอร์ (Motor Selection) แฟคเตอร์ในการเลือกมอเตอร์ใช้ขับโหลดมีหลายประการ พอจะสรุปได้ดังนี้

11.2.1 แหล่งจ่ายที่หาได้ ไฟกระแสตรงหรือกระแสสลับ 1 เฟส หรือ 3 เฟส แรงดันและกระแสพิกัดของแหล่งจ่าย

11.2.2 สภาพแวดล้อมในการใช้งาน ต้องคงทนต่อสภาพแวดล้อมที่มีน้ำมัน ผลทางเคมี ฝุ่น และอุณหภูมิ

11.2.3 การติดตั้ง แนวตั้งหรือแนวนอน

11.2.4 ขนาดและรูปร่าง มอเตอร์ต้องติดตั้งในที่ที่ต้องการใช้

11.2.5 แรงบิด เหมาะสมกับคุณลักษณะความเร็วของโหลด

11.2.6 ความเร็ว ช่วงความเร็วและการควบคุม

11.2.7 ดิวตี้ไซเคิล ความถี่ในการเปิด-ปิด ในช่วงเวลาทำงานตลอดเวลาต่อเนื่องทำงานแล้วหยุดชั่วขณะหรือช่วงเวลาทำงานเปลี่ยนแปลง

11.2.8 คุณลักษณะการเร่งและการหน่วง

11.2.9 การพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ ราคาเริ่มต้นและค่าใช้จ่ายขณะใช้งานมอเตอร์

11.2.10 การพิจารณาขณะทำงานเกินพิกัด มอเตอร์ที่ทำงานต่อเนื่องทั่วไปแล้วจะทำงานเกินพิกัดไม่เกิน 75 เปอร์เซ็นต์ของค่าแรงบิดสูงสุดได้ชั่วขณะ

11.2.11 สูตรที่ใช้ในการคำนวณภาระมอเตอร์ เราสามารถคำนวณหาขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการได้โดยพิจารณาจากสมการของแรงและกำลังดังนี้

$$P = 9.81\ w.v$$

หรือ $P = F.V$

เมื่อคิดประสิทธิภาพมอเตอร์

$$W = \frac{2.\pi.T.N}{60} \qquad \text{.....(2.11)}$$

ให้ $P = Wp$

จะได้ $9.81W.V. = \frac{2.\pi.T.N}{60}$

ซึ่งสมการที่ได้มานี้สามารถนำไปใช้หาทอร์กที่มอเตอร์ต้องจับ เพื่อนำไปหากำลังมอเตอร์ที่ต้องการได้

โดยที่ P=ค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าขาออก , W

W = น้ำหนักของวัตถุที่ต้องการดึง , kg

V = ความเร็วที่ใช้ในการดึงวัตถุ , m/s

W = กำลังงานมอเตอร์ที่ต้องการ , W

N = ความเร็วรอบมอเตอร์ , rpm

T=ทอร์กที่เกิดขึ้นที่เพลามอเตอร์ , N.m.

ในที่นี้ทางคณะผู้จัดทำเลือกใช้มอเตอร์เฟสเดียว แบบสปลิตเฟสมอเตอร์ เพราะว่าเครื่องนี้ใช้แหล่งจ่ายไฟ 220 โวลต์ และใช้กับงานที่มีแรงบิดไม่มาก เมื่อเปรียบเทียบกันแบบอื่น สปลิตเฟสมอเตอร์จะราคาถูกกว่า เพราะนิยมใช้ในบ้านเรือนทั่วๆไป

(ที่มา : มงคล ทองสงคราม : เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ. กรุงเทพ : 2535)

12. ปั๊มน้ำ

ปั๊มน้ำหรือเครื่องสูบ อาจทำให้คำจำกัดความได้ว่า เป็นเครื่องมือกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านท่อระบบปิดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามความต้องการ พลังงานที่นำมาเพิ่มให้แก่ของเหลวนั้นอาจได้มาจากเครื่องยนต์ มอเตอร์ แรงลม แรงคน หรือพลังงานแหล่งอื่นๆก็ได้

ปั๊มมีส่วนในการพัฒนาความเป็นอยู่ของมนุษย์ให้ดีขึ้น ในอดีตประชากรส่วนใหญ่ต้องอาศัยอยู่ไกลจากแหล่งน้ำเพื่อความสะดวกสบายในการใช้น้ำเพื่ออุปโภคบริโภคและทำการเกษตร

มนุษย์จึงพยายามคิดค้นเครื่องมือซึ่งมีลักษณะเหมือนปั๊มน้ำหรือเครื่องสูบชนิดต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ให้สะดวกขึ้น

12.1 การแยกประเภทของปั๊ม ในปัจจุบันได้มีการผลิตปั๊มออกมาหลายชนิด และมีการเรียกชื่อแตกต่างกันออกไปจนบางครั้งทำให้เกิดการสับสน ดังนั้นจึงได้มีการจัดหมวดหมู่เพื่อให้สามารถแยกประเภทและเรียกชื่อ ได้ชัดเจนขึ้นการแยกประเภทอาจแบ่งได้เป็น 2 แบบด้วยกัน คือ

12.1.1 แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานหรือการไหลของของเหลวในปั๊มซึ่งได้แก่

1) ประเภทเซนตริฟูกอล (Centrifugal) เพิ่มพลังให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ปั๊มประเภทนี้บางครั้งเรียกว่าเป็นประเภท Roto - Dynamic

2) ประเภทโรตารี่ (Rotary) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง

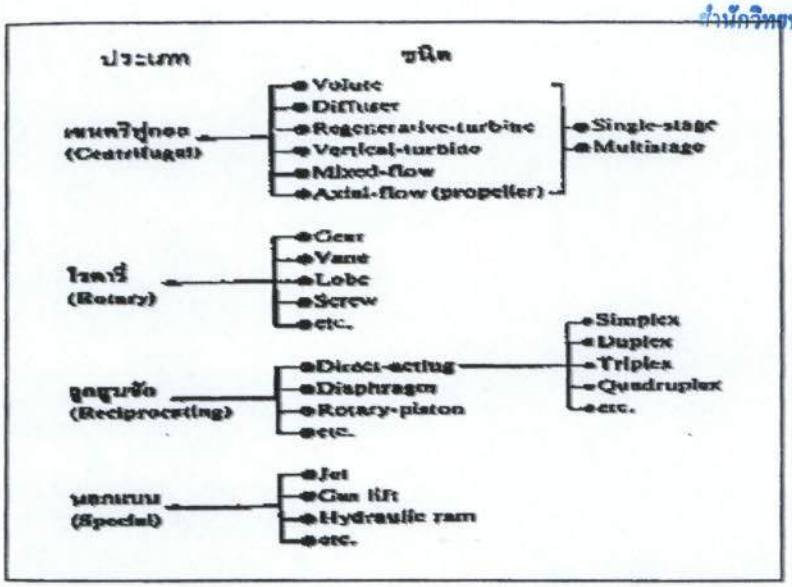
3) ประเภทลูกสูบชัก (Reciprocating) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ

4) นอกแบบ (Special) ซึ่งเป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษไม่สามารถจัดให้อยู่ในสามประเภทข้างต้นได้ในแต่ละประเภทที่กล่าวมานี้ยังมีการดัดแปลงออกไปเป็นแบบต่างๆ อีกหลายแบบแต่ละแบบมีชื่อเรียกต่างกันออกไป

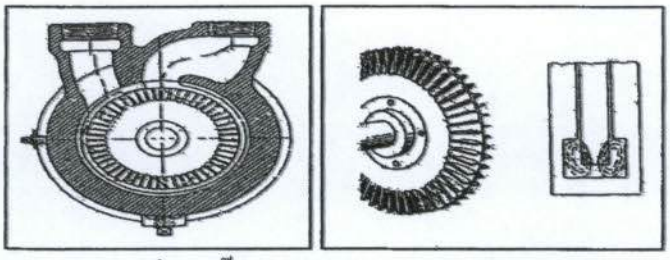
การทำงานของปั๊มแบบเซนตริฟูกอลปั๊มแบบนี้ทำงานโดยอาศัยการหมุนของใบพัด หรืออิมเพลเลอร์ (Impeller) ที่ได้รับการถ่ายเทกำลังจากเครื่องยนต์ต้นกำลังหรือมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อใบพัดหมุนพลังงานจากเครื่องยนต์ก็จะถูกถ่ายทอดโดยการพลักดันของคลีบใบพัด (Vane) ต่อของเหลวที่อยู่รอบๆ ทำให้เกิดการไหลในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงเมื่อมีการไหลในลักษณะดังกล่าวก็จะเกิดแรงเหวี่ยงจุดศูนย์กลางและเป็นผลให้มีการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดออกไปแนวรอบเส้นวงทุกทิศทาง ดังนั้นของเหลวที่ถูกใบพัดผลักดันออกมาก็จะมีทิศทางการไหลเป็นการรวมของเหลวทั้งสอง โดยหลักชลศาสตร์ เมื่อของเหลวถูกหมุนให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางความกดดันของของเหลวจะมีค่ามากขึ้นเมื่อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของใบพัดมากขึ้น เมื่อความเร็วของใบพัดซึ่งหมุนอยู่ในภาชนะปิดมากพอ ความกดดันที่จุดศูนย์กลางก็จะต่ำกว่าความกดกันของบรรยากาศ ดังนั้นปั๊มแบบอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางที่แท้จริงจึงมีทางให้ของเหลวไหลเข้าหรือทางดูด (Suction Opening) อยู่ศูนย์กลางใบพัด ของเหลวที่ถูกดูดเข้าทางศูนย์กลาง เมื่อถูกผลักดันออกไปด้วยแรงผลักดันของครีบใบพัดและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ก็จะไหลออกมาตลอดแนวเส้นรอบวง ดังนั้นในพัดจึงจำเป็นต้องอยู่ในเรือนปั๊มเพื่อทำหน้าที่รวบรวมและผันของเหลวเหล่านี้ไปสู่ทางจ่ายเพื่อจ่ายเข้ากับท่อส่งหรือระบบใช้งานต่อไป ในการรวบรวมของเหลวที่ถูกผลักดันออกนี้จำเป็นจะต้องเริ่มต้นที่จุดใดจุดหนึ่งบนเส้นรอบวงของใบพัด ดังนั้นจึงมีจุดหนึ่งซึ่งผนังภายในของเรือนปั๊มเข้ามาชิดกับขอบของใบพัดมาก จุดดังกล่าวนี้เรียกว่าลิ้นของเรือนปั๊ม

111467

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ



รูปที่ 2.8 ประเภทและชนิดของปั๊ม



รูปที่ 2.9 ปั๊มเซนตริฟูกอลแบบเทอร์ไบน์

Hery หรือ Regerative Turbine ลักษณะพิเศษของมันคือใบพัดจะเป็นแผ่นแบนกลมมีความหนา ครีบของใบพัดเกิดจากการเวาะร่องบนขอบของแผ่นใบพัด ทำให้เป็นแผ่นครีบแคบๆ และสั้นในแนวรัศมี ขณะที่ของเหลวไหลเข้ามาจากทางดูดสู่ช่องว่างระหว่างครีบของใบพัดมันจะ ถูกเหวี่ยงออกด้วยแรงหนีศูนย์กลาง แต่เนื่องจากผนังของเรือนปั๊มปิดกั้นอยู่ ของเหลวดังกล่าวก็จะวิ่งย้อนกลับเข้ามาสู่ระหว่างใบพัดและถูกเหวี่ยงออกไปอีก ขบวนการดังกล่าวจะซ้ำกันอยู่อย่างนี้จนกว่าจะถึงช่องทางจ่าย พลังงานที่ของเหลวได้รับจะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่ของเหลววิ่งเข้ามาสู่ช่องว่างระหว่างครีบของใบพัดและถูกเหวี่ยงออกไปซึ่งมีค่าตั้งแต่ 2 ถุง 50 ครั้ง ถ้าจำนวนครั้งมากพลังงานศักย์ของของเหลวก็จะมากตามขึ้นไปด้วย

(ที่มา : วิบูลย์ บุญยธโรกุล . ปั๊มและระบบสูบน้ำ . กรุงเทพ : 2529)

ตารางที่ 2.5 ขนาดของอนุภาคฝุ่นที่อุปกรณ์ชนิดต่างๆ สามารถเก็บได้ 90 %

เครื่อง	หลักการ	ขนาดอนุภาคที่สามารถดักได้ 90% (ไมครอน)
Setting Chambers	Mechanical	50
Impingement Separator	"	25
Cyclone (Small Diameter)	"	>25
Cyclone (Large Dismeter)	"	25
Bag House	Filtration	>1
Panel Filter	"	>1
Mat Filter	"	10
Deep Bed Filters	"	1
Spray Chamber	Wet Scrubber	25
Packed Bed Tower	"	5
Cyclone Scrubbers	"	5
Single Stage High Voltage	Electrostatic Precipitator	>1
Two -Stage Low Voltage	"	>1

(ที่มา : วิบูลย์ บุญยธโรกุล . ปั๊มและระบบสูบน้ำ . กรุงเทพ : 2529)

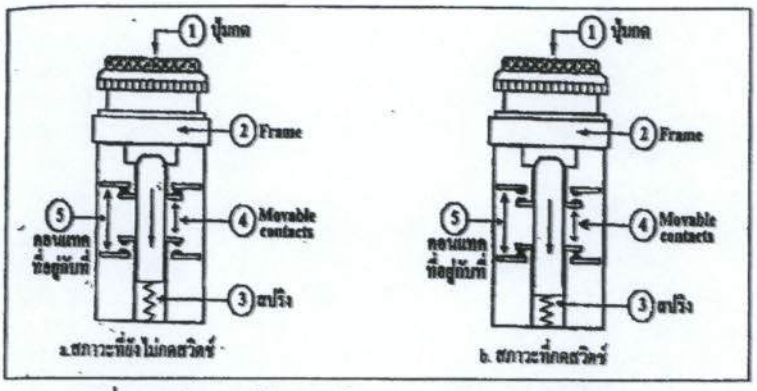
13. อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม

13.1 สวิตซ์ (Switch) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการ Start Stop หรือ การเปลี่ยนเงื่อนไขการทำงานของวงจร โดยสวิตซ์ที่ใช้จะเป็นแบบกดติดปล่อยดัน (Pushbotton Switch) ซึ่งภายในตัวสวิตซ์จะมี คอนแทคที่เป็นแบบปกติเปิด (Normally Open : N.O.) และปกติปิด (Normally Closed : N.C.) ดังแสดงโครงสร้างและทำงานตามรูปที่ 2.16 และได้แบ่งสวิตซ์ที่เป็นแบบกดตามลักษณะการใช้งานดังนี้

13.1.1 แบบธรรมดา ปุ่มกดมีลักษณะเป็นหัวกลมมีสีที่ปุ่มเพื่อง่ายต่อการสังเกต

13.1.2 แบบ Giant Head Pushbutton เป็นแบบหัวใหญ่เพื่อให้มีพื้นที่ในการกดมากขึ้น เพราะสำหรับใช้เป็น Emergency Push Button Switch

13.1.3 แบบ IIluminated Pushbutton เป็นแบบที่มีหลอดสัญญาณติดอยู่เพื่อแสดงให้ผู้ใช้งานทราบว่าวงจรกำลังทำงานอยู่ นอกจากสวิตซ์กดแบบ Pushbutton แล้วอาจมีการต่อสวิตซ์แบบปิด (Selector Switch) ร่วมอยู่ในวงจรด้วยดังแสดงสวิตซ์แบบต่างๆ ในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10โครงสร้างภายในของ Pushbutton Switch

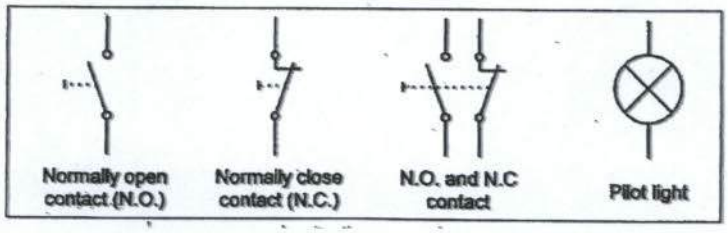
รูปที่ 2.11 สวิตซ์แบบต่างๆ และหลอดสัญญาณ

13.1.4 ข้อมูลในการเลือกใช้สวิตซ์

1) กระแสที่คอนแทคทนได้

2) จำนวนและชนิดของคอนแทค

4) แรงดันที่ใช้งาน



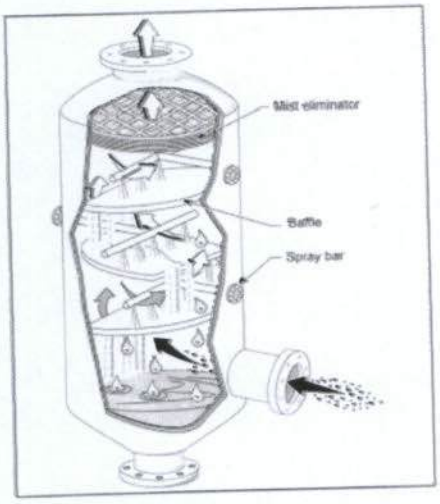
รูปที่ 2.12 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของสวิตซ์และหลอดไฟสัญญาณ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการ

ในการออกแบบและการสร้างเครื่องกรองอากาศสำหรับอุตสาหกรรมอบชุบโครเมียม ได้มีวิธีการดำเนินงานอย่างเป็นขั้นตอนตั้งแต่การเริ่มหาข้อมูลต่างๆทั้งที่เป็นข้อมูลในต่างประเทศและข้อมูลในประเทศ จากนั้นนำมาวิเคราะห์และกำหนดกรอบแนวคิดในการออกแบบ การคำนวนและการกำหนดขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ ตลอดจนการเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ไปจนถึงขั้นตอนการสร้างจนสำเร็จโดยลำดับ

1. ขั้นตอนการวางแผนและเตรียมการ

1.1 ศึกษารายละเอียดของเครื่องกรองอากาศสำหรับอุตสาหกรรมอบชุบโครเมียม โดยที่คณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาการทำงานของเครื่องต้นแบบที่มีใช้อยู่ในต่างประเทศมาเป็นแนวทางในการศึกษาหารายละเอียดต่าง ๆ ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเพื่อให้ได้ถึงประสิทธิภาพและต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ลดลง ซึ่งเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็กไปจนถึงขนาดกลางที่มีความต้องการเครื่องกรองอากาศประเภทนี้



รูปที่ 3.1 แสดงระบบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

1.2 ศึกษาความเป็นไปได้ของเครื่องกรองอากาศสำหรับอุตสาหกรรมอบชุบโครเมียม ทางคณะผู้จัดทำได้พิจารณาถึงความเป็นไปได้ว่าโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอบชุบโลหะ นอกจาก

สารเคมีที่เป็นอันตรายแล้วยังพบว่ายังมีฝุ่นหรือโลหะหนัก ที่ปะปนมากับอากาศจึงได้คิดที่จะใช้สเปรย์น้ำมาดักจับโลหะหนักและแผ่นชั้นกรองดักสารพิษ ซึ่งให้อยู่ในขอบเขตของการสร้างคือ ให้ได้เครื่องที่มีประสิทธิภาพและต้นทุนไม่แพง

1.3 ศึกษารูปทรงของเครื่องที่เหมาะสม ร่างแบบและเขียนรายละเอียดของเครื่องตลอดจนชิ้นส่วนที่ต้องการใช้ในการสร้างเครื่องกรองอากาสสำหรับอุตสาหกรรมอบชุบโครเมียม

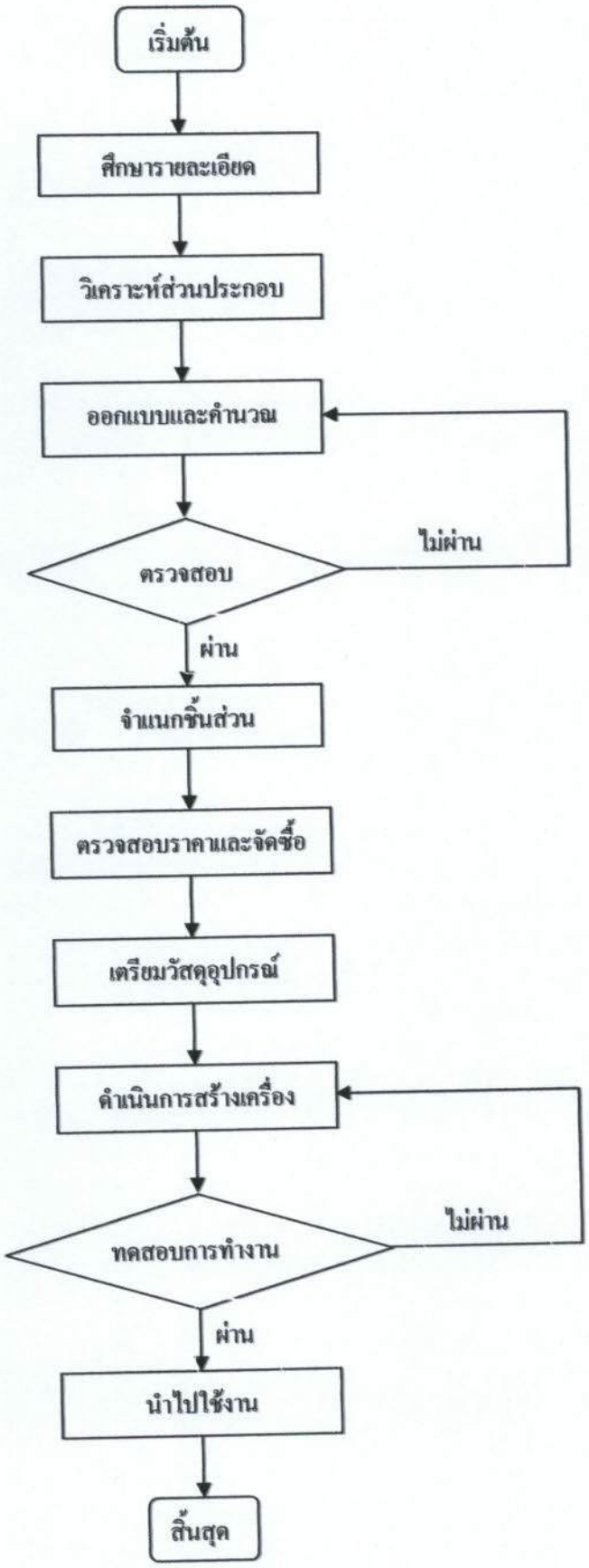
1.4 จำแนกชิ้นส่วนว่าชิ้นส่วนใดสามารถทำได้หรือสามารถจัดหาได้ เช่น ชิ้นส่วนมาตราฐาน ได้แก่ นัต สกรู ต่างๆ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงต้นทุนของการจัดซื้อ และจัดทำด้วยว่าอย่างไหนจะได้ชิ้นส่วนที่ดีกว่ากันหรือคุ้มค่ามากกว่ากัน

1.5 สำรวจตลาด สอบถามราคา ติดต่อจัดซื้อ เมื่อสามารถจำแนกชิ้นส่วนที่ต้องการจัดซื้อและจัดทำได้แล้ว ก็ทำการสำรวจตลาดว่าชิ้นส่วนใดบ้างที่มีขายตามท้องตลาดที่สามารถซื้อได้ทันทีหรือต้องมีการสั่งซื้อ ซึ่งถ้ามีการสั่งซื้อจะได้ระบุระยะเวลาในการสั่งซื้อได้ทันเวลาพอดี ทั้งนี้จะต้องสำรวจหรือสอบถามราคาด้วยว่าราคาของแต่ละร้านมีความแตกต่างกันอย่างไร

1.6 จัดเตรียมวัสดุ ทางผู้จัดทำได้ทำการจัดเตรียมวัสดุ ตั้งแต่วัสดุที่จะนำมาทำชิ้นส่วนของเครื่องกรองอากาศ รวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องใช้ในการดำเนินการสร้าง

1.7 ดำเนินการสร้างเครื่องกรองอากาศสำหรับอุตสาหกรรมอบชุบโครเมียม

รูปที่ 3.2 เครื่องกรองอากาศสำหรับอุตสาหกรรมอบชุบโครเมียม

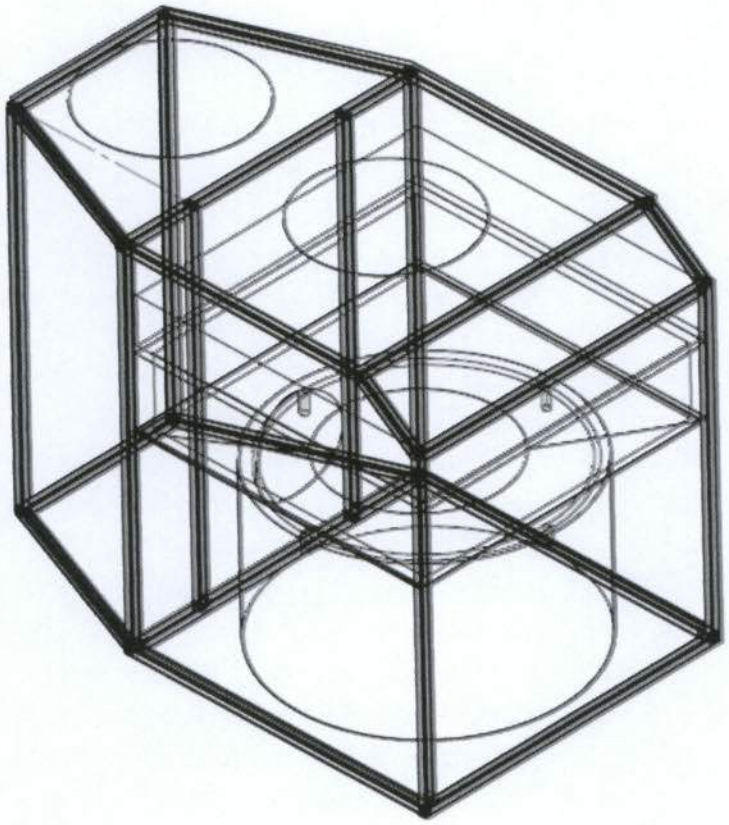


แผนภูมิที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

2. ขั้นตอนการออกแบบและคำนวณ

เมื่อได้ศึกษาเก็บข้อมูลแล้วจึงเริ่มสเก็ตแบบและเขียนแบบส่วนประกอบต่างๆของเครื่องกรองอากาศสำหรับอุตสาหกรรมอบชุบโครเมียมจากนั้น ทำการแยกชิ้นส่วนที่ต้องจัดทำเองหรือจัดซื้อเมื่อทำการจำแนกได้แล้วจะต้องคำนวณหาค่าต่าง ๆ ที่เป็นมาตรฐานของอุปกรณ์ที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด

2.1 ขั้นตอนการออกแบบ ศึกษาถึงส่วนประกอบที่สำคัญและลักษณะการทำงานของเครื่องรวมไปถึงรูปลักษณ์ของเครื่องด้วยว่าควรจะเป็นในรูปแบบใด พร้อมทั้งสเก็ตส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง

2.2 ขั้นตอนการคำนวณ เมื่อทำการออกแบบชิ้นส่วนของเครื่องกรองอากาศสำหรับอุตสาหกรรมอบชุบโครเมียมแล้วก็จะเป็นการคำนวณหา ขนาดและความสามารถของชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้เช่น ปั๊มน้ำ , พัดลม , ท่อ (สามารถดูวิธีคำนวณได้ที่ภาคผนวก ค.)

ตารางที่ 3.1 การคำนวณภาวะมาตรฐานอากาศ

รายการ	สูตร	แทนค่าสูตร	ผลลัพธ์
คำนวนภาวะมาตราฐานอากาศ	$\rho = \rho_{STP}\left(\frac{T_{STP}}{T}\right)$	$\rho = 0.075\left(\frac{530R}{690R}\right)$	$\rho = 0.058\ lbm / ft^3$

ตารางที่ 3.2 การคำนวณอัตราการไหลของอากาศ

รายการ	สูตร	แทนค่าสูตร	ผลลัพธ์
การคำนวนอัตราการไหลของอากาศ	$Q = AV = \frac{\pi}{4}D^2V$	$Q = \frac{\pi}{4}\left(\frac{8}{12}\right)^2 (3500)$	Q = 1221.73 cfm

ตารางที่ 3.3 การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อดูด

รายการ	สูตร	แทนค่าสูตร	ผลลัพธ์
คำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อดูด	$A = \frac{Q}{V}$	$A = \frac{1221.73\ cfm}{3500\ fpm}$	$A = 0.349\ ft^2$
	$A = \frac{\pi}{4}D^2$	$0.348\ ft^2 = \frac{\pi}{4}D^2$	D = 2.70 in
		D = 0.2251 ft	

ตารางที่ 3.4 การสูญเสียความดันเนื่องจากแรงเสียดทาน

รายการ	สูตร	แทนค่าสูตร	ผลลัพธ์
คำนวณแรงเสียดทาน	$h_L = H_f L\ VP$	h_L = (0.027)(39.3700787 ft)(0.389in.wg)	$h_L = 0.41$ in.wg

(สามารถดูวิธีการคำนวณที่ภาคผนวก ค.)

ตารางที่ 3.5 คำนวณหาปากหัวดูด

รายการ	สูตร	แทนค่าสูตร	ผลลัพธ์
คำนวณหาปากหัวดูด	D = 2 เท่าของความโตท่อ	D = 2 x 2.70	D = 5.4 in

(สามารถดูวิธีการคำนวณที่ภาคผนวก ค.)

ตารางที่ 3.6 สมรรถนะของพัดลม

รายการ	สูตร	แทนค่าสูตร	ผลลัพธ์
คำนวณสมรรถนะของพัดลม	$BHP = \frac{Q(FSP + VP_{outlet})}{6{,}356ME}$	$BHP = \frac{(872.22\ cfm)(1.5 + 0.389)in.wg}{(6{,}356)(1.00)}$	BHP = 0.25 hp

(สามารถดูวิธีการคำนวณที่ภาคผนวก ค.)

ตารางที่ 3.7 การคำนวณปั๊มน้ำ

รายการ	สูตร	แทนค่าสูตร	ผลลัพธ์
คำนวณปั๊มน้ำ	H = λd x 0.05	H = 470 x 0.05	H = 23.5 W

(สามารถดูวิธีการคำนวณที่ภาคผนวก ค.)

3. การดำเนินการสร้าง

ในการออกแบบและสร้างเครื่องกรองอากาศสำหรับอุตสาหกรรมอบชุบโครเมียมทางผู้จัดทำโครงการได้กำหนดส่วนต่างๆที่สำคัญของเครื่องไว้หลายส่วนมีทั้งที่จัดสร้างขึ้นเองและทั้งชิ้นส่วนมาตรฐาน ดังนี้

3.1 โครงสร้างเครื่อง

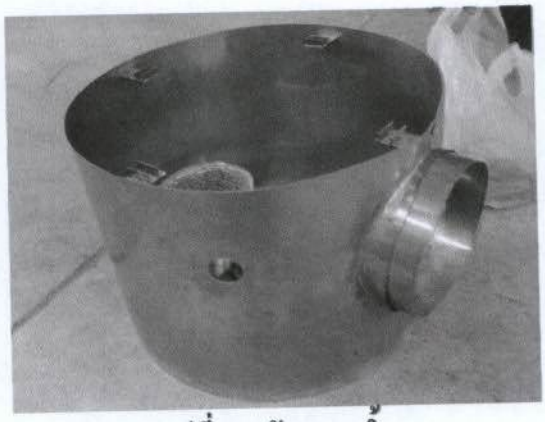
สำหรับโครงสร้างของเครื่องกรองอากาศสำหรับอุตสาหกรรมอบชุบโครเมียม เลือกใช้เหล็กกล่องที่มีขนาด 25.4 × 25.4 ความหนา 1 มิลลิเมตร ประกอบด้วยกันด้วยวิธีการเชื่อมไฟฟ้าให้ได้ขนาดคือ 60 x 100 x 60 มิลลิเมตรบูทประตูสี่ตัว ตัวผู้ขนาด∅ 20 มิลลิเมตรยาว60 มิลลิเมตร กลึงปอกให้โต ∅ 12 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร จำนวนสองตัว ตัวเมียขนาด ∅ 20 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร กลึงคว้านลึก 30 มิลลิเมตร โต∅ 12 มิลลิเมตร ประกอบสวมกันแบบสวมพอดี นำเชื่อมติดกับประตู ตกแต่งรอยเชื่อมด้วยเครื่องเจียระไนมือ นำโครงที่เสร็จเรียบร้อยแล้วทาสีกันสนิม พร้อมพ่นสีสเปรย์(Flat Black)เพื่อความสวยงาม นำล้อยางมาเชื่อมติดจำนวนสี่ล้อหลังจากนั้นพับสเตนเลส ตามขนาด(Cover) ปิดรอบด้าน

รูปที่ 3.4 โครงเครื่องกรองอากาศสำหรับอุตสาหกรรมอบชุบโครเมียม

รูปที่ 3.5 ปิด Cover รอบด้าน

3.2 ถังบรรจุน้ำ

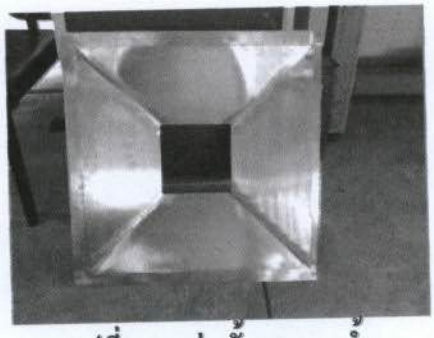
ตัดสเตนเลสให้ได้ตามขนาด ม้วนสแตนเลสแผ่นให้มีขนาดของถังเท่ากับ Ø500 มิลลิเมตร สูง 350 มิลลิเมตร เชื่อม Tig และ เจาะรู Ø200 มิลลิเมตร เพื่อสำหรับใส่ท่อดูดอากาศ ตัดสเตนเลสแผ่นขนาด 20 × 30 ×2 มิลลิเมตร เชื่อมติดกับตัวถังทั้งสี่มุม ที่มุม ตัดสเตนเลสขนาด 8 × 20 × 2 เชื่อมติดมุมละสองอันเพื่อวางหัวฉีด และล๊อคหัวฉีดไม่ให้ขยับดังรูปที่ 3.4 เจาะรูขนาด 40 มิลลิเมตร ที่ตัวถัง สำหรับท่อดูดน้ำของปั๊มน้ำ ตกแต่งผิวของถังด้วยกระดาษทรายและสก๊อตไบร์ทขัดผิว



รูปที่ 3.6 ถังบรรจุน้ำ

3.3 แผ่นกั้นละอองน้ำ

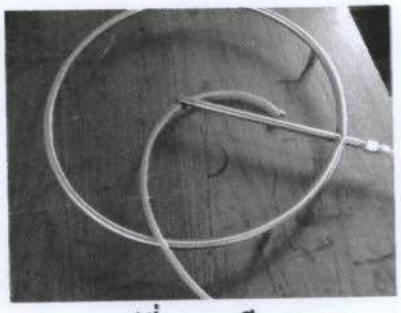
ตัดแผ่นสเตนเลส ให้เป็นเส้นขนาด 600 × 30 มิลลิเมตร จำนวน 2 เส้น และ ขนาด 540 × 30 มิลลิเมตร จำนวน 2 เส้น เชื่อมติดกันให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม ตัดสเตนเลส จำนวนสี่แผ่นให้เป็นรูปสามเหลี่ยมโดยด้านที่กว้างสุดยาว 540 มิลลิลิเมตร ประกอบกันในลักษณะทรงกรวย เมื่อวัดความสูงจะได้ 4.7 มิลลิเมตร และด้านที่แคบที่สุด จะยาว 170 มิลลิเมตร ตกแต่งผิวด้วยกระดาษทรายและสก๊อตไบร์ท



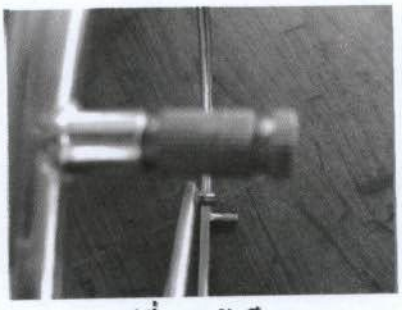
รูปที่ 3.7 แผ่นกั้นละอองน้ำ

3.4 วงฉีดและหัวฉีด

ตัดท่อสเตนเลส Ø9 มิลลิเมตร ดัดโค้งให้เป็นวงกลมที่มีขนาดเท่ากับ Ø 400 มิลลิเมตรเจาะรูและทำเกลียวใน M5 × 0.8 ทั้งสี่รู สำหรับเกลียวที่จะยึดกับหัวฉีด ตัดท่อสเตนเลสความยาว 200 มิลลิเมตร ทำการเชื่อมปิดรอยต่อเจาะรูและทำเกลียว M5 × 0.8 ที่ปลายของท่อสำหรับน้ำเข้าเพื่อทำการฉีดทำเกลียวนอก M14 ใส่กับเกลียวที่เป็นข้อต่อระหว่างวงฉีดกับสายยาง



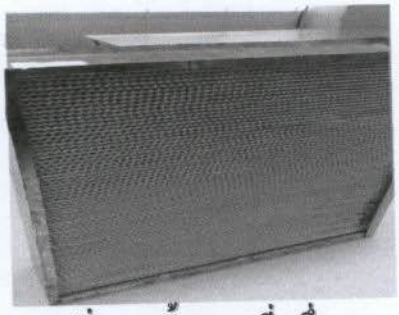
รูปที่ 3.8 วงฉีด



รูปที่ 3.9 หัวฉีด

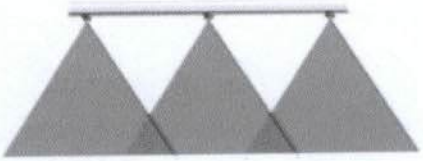
3.5 ชั้นกรอง

ชั้นกรองที่หนึ่ง ขนาด 59 × 60 × 15 มิลลิเมตร ชั้นกรองที่สอง ขนาด 59 × 60 × 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.10 ชั้นกรองที่หนึ่ง

รูปที่ 3.11 ชั้นกรองที่สอง



รูปที่ 3.12 แบบจำลองของม่านสเปรย์น้ำ

3.6 Blower ข้อมูลสำคัญได้แก่

NICO IN – LINE UFO FAN

TYPE UF – 280

150 / 180 W 115 / 230 V

รูปที่ 3.12 Blower

3.7 นำชิ้นส่วนที่เตรียมไว้ประกอบเป็นเครื่องกรองอากาศสำหรับอุตสาหกรรมอบชุบโครเมียม นำถังใส่ในเครื่อง ต่อท่อฟรอย์เชื่อมเข้ากับถังน้ำและBlower รัดด้วยเข็มขัด ประกอบชั้นกรอง ถาดรอง ติดตั้งหัวฉีด ติดตั้งปั๊มน้ำ ต่อสายยางขนาด Ø 11 มิลลิเมตร เข้ากับปั๊มน้ำและวงฉีด เจาะถังและ Cover ต่อท่อน้ำ PVC เลือกใช้ขนาด 1 ½ นิ้วต่อเข้ากับปั๊มน้ำ อุดรอยรั่วด้วยปะเก็นยาง ติดตั้งแผงควบคุมไฟฟ้า

บทที่ 4
ผลการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ ทางผู้จัดวิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลในการสร้างและหาประสิทธิภาพ เครื่องกรองฝุ่นผงโลหะ ในการหาประสิทธิภาพของชุดทดลองนี้ ได้ทำการทดสอบเพื่อที่จะหาประสิทธิภาพของเครื่องว่ามีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นสูงกว่าเกณฑ์ คือ 70% ตามที่กำหนดไว้ในขอบเขต และเปรียบเทียบผลจากการวัดประสิทธิภาพเชิงน้ำหนักของฝุ่นแต่ละขนาดว่ามีความเหมาะสมกับชุดทดลองการดูดฝุ่นแบบไซโคลนอย่างไร ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยพร้อมนำเสนอผลการวิเคราะห์เป็นข้อมูลตามลำดับดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษามลภาวะของอุตสาหกรรมอบชุบโลหะ

4.2 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ

1) เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2) การวิเคราะห์และหาประสิทธิภาพของชุดทดลองการเครื่องกรองฝุ่นผงโลหะ

4.1 การศึกษามลภาวะของอุตสาหกรรมอบชุบโลหะ

วัตถุประสงค์ของการศึกษา เพื่อศึกษากระบวนการและมลภาวะทางอากาศที่เกิดขึ้นของอุตสาหกรรมเป้าหมาย เพื่อการพัฒนาระบบการบำบัดที่สอดคล้องกับอุตสาหกรรม

การศึกษาข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะนั้นต้อง เป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก (SMEs) ที่มีการปล่อยน้ำทิ้งไม่เกิน 10 ลูกบาศก์เมตร/วัน (ที่มา:กรมโรงงานอุตสาหกรรม) ในการสำรวจโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะนั้น

เกณฑ์ที่น้ำทิ้งปล่อยออกไม่เกิน 10 ลบ.เมตร/วัน พิจารณาค่อนข้างยาก เนื่องจากอุตสาหกรรมชุบโลหะมีความหลากหลายขึ้นกับขนาดผลิตภัณฑ์ ชนิดโลหะชุบ ขั้นตอนการชุบรองพื้น การจัดการน้ำใช้ภายในโรงงาน ดังนั้นต่อเมื่อทำการตรวจวัด/สำรวจแล้ว จึงจะทราบปริมาณน้ำทิ้งจริง และในเบื้องต้นของการเลือกโรงงานสำรวจจึงใช้วิธีสอบถามจากเจ้าของกิจการ ผลการสำรวจจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

4.1.1 กระบวนการชุบผิวโลหะ อุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะมี 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงาน ขั้นตอนการชุบโลหะ ขั้นตอนการล้าง ขั้นตอนการอบแห้ง ดังมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงาน ขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงานเป็นขั้นตอนการ

ทำให้ผิวชิ้นงานเรียบไม่ขรุขระและทำความสะอาดผิวเพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอม เช่น ไขมัน น้ำมัน หรือออกไซด์ต่างๆ ออกจากผิวหน้าของชิ้นงานที่นำมาชุบก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการชุบ ขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงานมีดังนี้

1) ขั้นตอนการขัดผิวชิ้นงาน ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกในการเตรียมผิวชิ้นงาน ก่อนนำไปล้างทำความสะอาดเพราะชิ้นงานก่อนที่จะนำมาทำการชุบ จะมีผิวหยาบขรุขระ มีรอยขีดข่วนหรือเป็นสนิม การขัดจนผิวหน้าเรียบจะทำให้คุณภาพชิ้นงานหลังการชุบดีคือผิวชิ้นงานมีความเรียบสม่ำเสมอและการเกาะติดของโลหะจะแน่น ในขั้นตอนการขัดผิวชิ้นงานประกอบด้วยจานขัดหมุนด้วยไฟฟ้า หรือ มอเตอร์ขัด ล้อขัด และสายพานขัด และกระดาษทรายในการขัดผิวชิ้นงานนั้นจะเกิดฝุ่นละอองที่เกิดจากการขัดเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีพัดลมสำหรับเป่าไล่ฝุ่นและพัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่ หรือเครื่องดูดฝุ่นเพื่อกักเก็บฝุ่น ที่เกิดขึ้นจากการขัด นอกจากนี้ควรขัดผิวชิ้นงานในห้องที่มีแสงสว่างและการถ่ายเทของอากาศดีเพียงพอในขั้นตอนนี้ไม่มีการสูญเสียทรัพยากรมากนักแต่มีผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมเนื่องจากฝุ่นละอองจากการขัด

2) ขั้นตอนการล้างไขมันด้วยด่าง ขั้นตอนนี้เป็นการทำความสะอาดชิ้นงานโดยปกติจะใช้วิธีจุ่มหรือสเปรย์ การล้างทำความสะอาดโดยวิธีจุ่มหรือสเปรย์ด้วยสารละลายทำความสะอาด คือ ด่าง เช่นโซดาไฟ หรือสารเคมีอื่นๆ เช่น โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต(Sodium Tripolyphosphate) แอนไอออนิก เซอร์แฟกแตนท์ (Anionic Surfactant) และนอนไอออนิกเซอร์แฟกแตนท์ (Nonionic Surfactant) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-15 นาที ยกเว้นการใช้สเปรย์ด้วยเซอร์แฟกแตนท์ (Surfactant) จะทำที่อุณหภูมิ 64-74 องศาเซลเซียส การสูญเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ คือ การใช้ด่างและสารเคมีมากเกินไป เนื่องจากมีการเปลี่ยนสารละลายด่างบ่อยและมีการหกหรือหยดระหว่างการขนย้ายไปสู่ขั้นตอนการล้าง และการใช้ปริมาณไฟฟ้าในขั้นตอนการล้างไม่เหมาะสม เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการล้างนานเกินไป ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงอายุการใช้งานของสารละลาย ปริมาณการใช้ไฟฟ้าและระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการล้าง รวมทั้งมาตรฐานในการล้างและการเปลี่ยนถ่ายสารละลาย

3) ขั้นตอนการกำจัดสนิมด้วยกรด ขั้นตอนนี้จะทำต่อจากการทำความสะอาดด้วยด่างโดยขั้นตอนนี้จะเป็นการกำจัดสนิมหรือฟิล์มออกไซด์ออกจากผิวชิ้นงาน ส่วนใหญ่จะใช้กรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) ซึ่งมีความรุนแรงในการกำจัดสนิมสูง ความเข้มข้นของกรดที่ใช้จะแตกต่างกันตามประเภทและความสกปรกของชิ้นงาน โดยทั่วไปจะใช้ความเข้มเข้มของกรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) 5-15%

ขั้นตอนการชุบโลหะ ขั้นตอนการชุบโลหะเป็นขั้นตอนชุบผิวชิ้นงานด้วยโลหะโดยการใช้ไฟฟ้า โลหะที่ใช้ชุบผิวนั้นขึ้นกับความต้องการของลูกค้าและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน โลหะ

ที่ใช้ในกลุ่มโรงงานตัวอย่างคือ นิกเกิล โครเมียม และทองแดง ในการชุบโลหะ ภายในบ่อชุบจะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า
สองขั้วคือแอโนด (ขั้วลบ) และแคโทด (ขั้วบวก) และสารเคมีต่างๆ โดยทั่วไปในขั้นตอนการชุบโลหะ เป็นขั้นตอนที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด

ขั้นตอนการชุบโครเมียมขั้นตอนการชุบโครเมียมเป็นขั้นตอนที่ใช้ระยะเวลาน้อย คือ ประมาณ 10-20 วินาที โดยที่สภาวะมาตรฐานมีอุณหภูมิในการชุบอยู่ระหว่าง 40-50 องศาเซลเซียส และสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนนี้ประกอบด้วย สารละลายกรดโครมิก (Chromic acid) ความเข้มข้น 126-250 กรัมต่อลิตร สารละลายกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) 2.5 กรัมต่อลิตร

ขั้นตอนการชุบฮาร์ดโครมมีหลักการคล้ายกับการชุบโครเมียม แต่จะมีชั้นของโครเมียมหนาตั้งแต่ 25 ไมโครเมตรหรือ 0.025 มิลลิเมตรขึ้นไป ผิวของชิ้นงานที่ทำการชุบหนานี้จะมีความแข็งแรง ทนต่อความร้อนและการเสียดสี ทนต่อปฏิกิริยาเคมี และมีความฝืดต่ำ สำหรับสภาวะมาตรฐานในขั้นตอนการชุบฮาร์ดโครมนี้มีอุณหภูมิในการชุบอยู่ระหว่าง 50-52 องศาเซลเซียส และมีความเข้มของกรดโครมิก (Chromic acid) 250 กรัมต่อลิตร สำหรับความเข้มข้นของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ไอออน (Chromium hexavalent ion, Cr6+) ของโรงงานตัวอย่าง จะอยู่ในช่วง 176-2 กรัมต่อลิตร

ขั้นตอนการล้าง ขั้นตอนการล้างเป็นขั้นตอนการล้างวัตถุดิบและสารเคมีที่ติดกับชิ้นงาน โดยใช้น้ำสะอาดซึ่งขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนที่มีการใช้น้ำในปริมาณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนอื่นๆจากกลุ่มโรงงานตัวอย่างพบว่า การล้างมีด้วยกัน 2 แบบคือ การจุ่มล้างและการตักราด เพื่อทำความสะอาดชิ้นงานทั้งก่อนและหลังการชุบผิว โดยขั้นตอนการล้างมีอยู่ในทุกๆ ส่วนของขั้นตอนการชุบ ดังต่อไปนี้

1) การล้างหลังจากการขัด
2) การล้างหลังจากการล้างไขมันด้วยด่าง
3) การล้างหลังจากการกำจัดสนิมด้วยกรด
4) การล้างหลังจากการชุบโครเมียม

การสูญเสียทรัพยากรในขั้นตอนนี้คือ การใช้น้ำในปริมาณมาก โดยไม่มีการนำน้ำล้างที่สกปรกน้อยหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ยังมีน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของเศษเหล็กเนื่องจากการขัด มีการปนเปื้อนของน้ำมัน กรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) สนิมเหล็ก โซดาไฟหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ไขมัน สารละลายโลหะ กรดบอริก (Boric acid) กรดโครมิก (Chromic acid) กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) และสารเคมีอื่นๆ ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงต้องมีการบำบัดจัดการกับน้ำเสียอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

รูปที่ 4.1 การล้างหลังจากการชุบโครเมียม

ขั้นตอนการอบแห้ง หลังจากผ่านขั้นตอนการชุบโลหะ และขั้นตอนการล้างแล้ว จะนำชิ้นงานไปอบแห้ง เตาอบชิ้นงานมีหลายแบบ เช่น แบบใช้ลมร้อนโดยใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง แบบใช้ความร้อนโดยใช้พลังงานไฟฟ้า อย่างไรก็ตามโรงงานขนาดเล็กบางแห่งใช้การผึ่งแดดเพื่อทำให้ชิ้นงานแห้ง ขั้นตอนการอบแห้งนี้มีประเด็นการสูญเสียคือ การสูญเสียจากการใช้แก๊สหุงต้ม และการสูญเสียจากการใช้ไฟฟ้า ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานมากคือตู้อบไม่มีฉนวน หรือฉนวนเสื่อมสภาพทำให้ไม่สามารถเก็บความร้อนได้ดีและรูปแบบชิ้นงานที่มีซอกมุมมากจะแห้งช้า จึงใช้เวลาในการอบนาน

โรงงานชุบฮาร์ดโครม กำลังการผลิตและรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ของโรงงานชุบฮาร์ดโครมแสดงในตารางที่

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของผลิตภัณฑ์โรงงานกรณีศึกษา

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดการผลิตของโรงงานสำรวจ

โรงงาน	โรงงานชุบฮาร์ดโครม
ประเภทผลิตภัณฑ์	แกนลูกกลิ้ง งานแกนต่าง ๆ
โลหะพื้น	เหล็ก
จำนวนชิ้นงานเฉลี่ยต่อวัน (ค่าประมาณ)	300
พื้นที่ผิวต่อชิ้นงาน (เฉลี่ย), ตร.เดซิเมตร ต่อชิ้น	3
พื้นที่ผิวชุบต่อวัน ตรม. ต่อเมตร	60
ชนิดบ่อชุบ	โครเมี่ยมเกรด
ความต่างศักดิ์ไฟฟ้าที่ใช้ (VOLTS)	5-7 V
กระแสไฟ	70 A ต่อ ตร. เดซิเมตร ชิ้นงาน

4.1.2 ข้อมูลการเก็บตัวอย่างอากาศ มลสารอากาศที่เกิดจากกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าในโรงงานที่ได้สำรวจส่วนใหญ่ประกอบด้วยหยดละอองของเหลว (LIQUID ENTRAINED, MIST) และไอหรือก๊าซของกรด ตัวอย่างอากาศจะถูกเก็บจากบริเวณกลางบ่อชุบโดยจุดที่เก็บอยู่สูงกว่าผิวของเหลวในบ่อ 5 นิ้ว เนื่องจากความสนใจพิจารณาเฉพาะมลสารอากาศที่เป็นอันตรายมาก เช่น ก๊าซ HCI, HCN และละอองกรด (กรดต่างๆรวมกัน) วิธีการเก็บและวิเคราะห์สรุปดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 วิธีการเก็บและวิเคราะห์

SUBSTANCE	COLLECTING MEDIUM	SAMPLING APPARATUS	SAMPLING RATE	MINIMUN SAMPLING VOLUME	ANALYTICAL METHOD	MAXIMUM ALLOWABLE CONCENTRATION
ACID MIST (H_2SO_4,$HCrO_3$)	DISTILLED WATER	SAMPLING TRAINS	<1 FT^3/MIN	60 FT^3	TITRATION	1 MG/M^3
HCI GAS	CALORIMETRIC TUBE AND A PISTON PUMP					
HCN GAS	CALORIMETRIC TUBE AND A PISTON PUMP					

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ

มลสารอากาศ มลสารอากาศส่วนใหญ่ที่วิเคราะห์ได้แสดงในตารางที่ 6 นอกจากนี้แล้วในตารางยังได้แสดงปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในละอองของเหลวที่หลุดลอยออกมาด้วย

ตารางที่ 4.3 มลสารอากาศที่วิเคราะห์จากโรงงานชุบฮาร์ดโครม

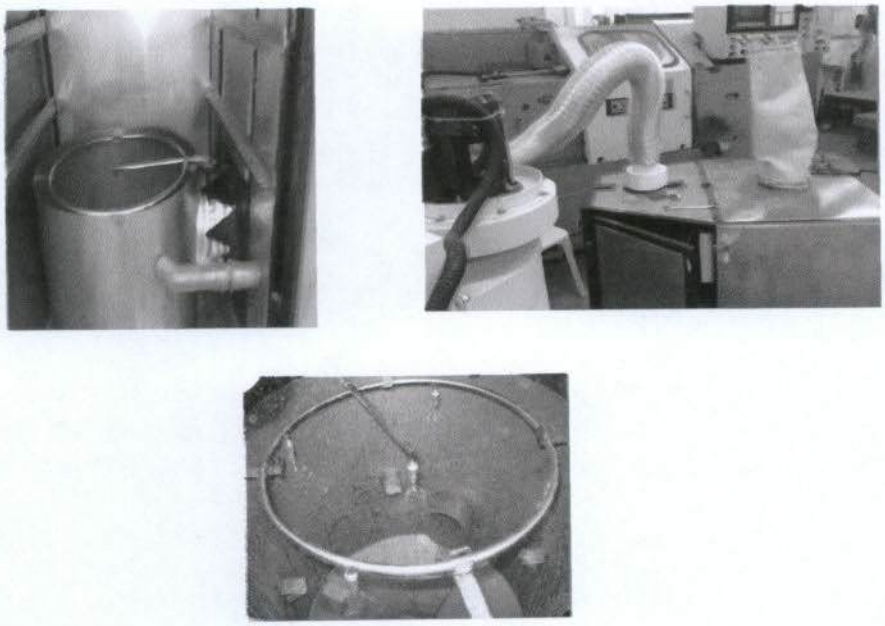
Pollutants	Cr plating
Total acidity	-
HCl(g)	100
HCN(g)	-
Zn	-
Cu	-
Ni	-
Au	-
Ag	-
Cr	0.0016
Pb	0.0068

หน่วย mg/m^3ของอากาศ

ที่มา : โครงการพัฒนาต้นแบบระบบกำจัดอากาศเสียและน้ำเสียจากกระบวนการชุบโลหะขนาดเล็ก

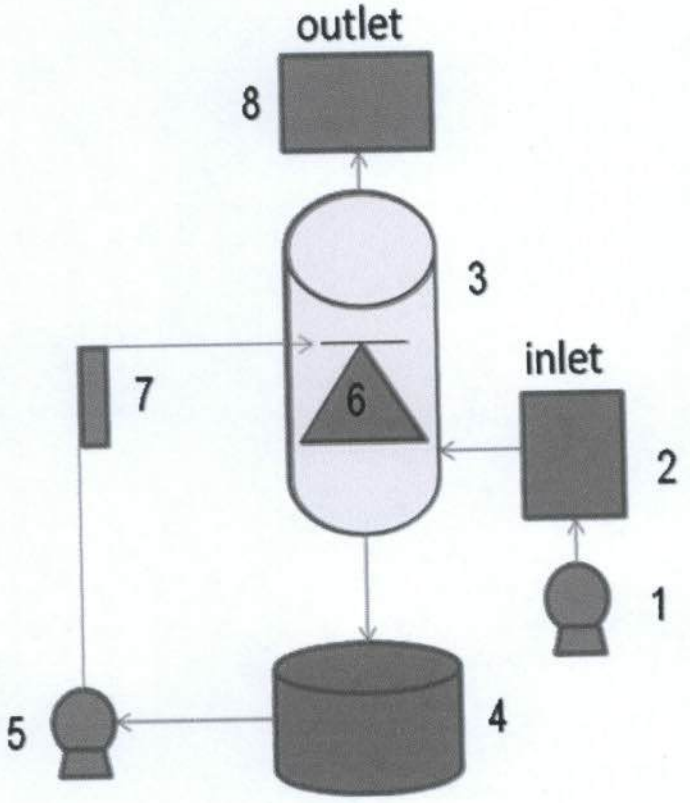
4.2 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ

4.2.1 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ระบบการทำงานของชุดทดลองเครื่องสครับเบอร์ ที่ทำจากสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร ทางเข้าของเครื่อง มีขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร ติดตั้งท่อน้ำพร้อมหัวฉีดน้ำในแนวแกนกลางของเครื่อง ปรับอัตราการไหลของน้ำด้วย ใช้เครื่องเป่าลม (Blower) ขนาด 0.5 แรงม้า เป็นตัวพาแก๊สปนฝุ่นเข้าสู่ระบบ ที่ทางออกของเครื่อง จะติดตั้งชุดเก็บตัวอย่างฝุ่นเพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นในแก๊สที่บำบัดแล้ว น้ำที่ใช้ฉีดจับฝุ่นแล้วจะไหลกลับมายังถังพักหลัก เพื่อตกตะกอนเอาฝุ่นออก แล้วส่งต่อไปยังถังพักรองเพื่อสูบไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะชุดทดลอง

4.2.2 วิธีการทดลอง



1 .เครื่องเป่าลม
2. ชุดป้อนฝุ่น
3. ถังสครับเบอร์
4. ถังพักน้ำ
5. ปั๊มของเหลว
6. หัวฉีดน้ำ
7. อุปกรณ์วัดอัตราการไหล
8. ชุดดักฝุ่น

รูปที่ 4.4 แผนภาพระบบการทำงานของสครับเบอร์

1) แอนีโมมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดค่าความเร็วลม

รูปที่ 4.4 แอนีโมมิเตอร์

2) ผงฝุ่นละอองโลหะ ขนาดช่วงประมาณ 4-20 ไมครอน

3) ตาชั่งดิจิตอล UNION รุ่น LAC – 1260 ขนาด 12 KG × 1 กรัม เพื่อใช้ชั่งน้ำหนักผงฝุ่นที่ใช้ในขณะทำการทดลอง

รูปที่ 4.6 ตาชั่งดิจิตอล

4) นาฬิกาจับเวลา ใช้จับเวลาในการทดลอง (ส่วน 60 วินาที)

วิธีการทดลอง

1) การทดลอง ศึกษาผลของอัตราส่วน L/G ความเข้มข้นของฝุ่นเถ้าลอยและจำนวนของหัวฉีด ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นของสครับบอร์ เริ่มโดยการติดตั้งตำแหน่งหัวฉีดเท่ากับ 5 หัว และควบคุมอัตราการป้อนฝุ่นเข้าระบบ ให้มีความเข้มข้นที่ 2 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร พร้อมกับการปรับอัตราการไหลของน้ำ ให้สัมพันธ์กับอัตราการไหลของอากาศเข้าเครื่องสคับเบอร์ โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศที่ทำได้สูงสุด 1.95 m^3 /min และอัตราการไหลของเหลวไว้ที่ 2 ,4 และ 6 L/min ตามลำดับ

2) เริ่มทำการปล่อยฝุ่นให้เข้าระบบ โดยชุดดูดฝุ่น ป้อนฝุ่นเข้าระบบเพื่อให้อากาศได้พาฝุ่นเข้าไปในระบบ ปรับความเข้มข้นของฝุ่นที่ทางเข้า 2 g/m^3 ใช้เวลาในการปล่อยผงฝุ่น 300 วินาที จำนวน 10 กรัม ปรับอัตราการไหลของอากาศที่ 1.95 m^3/min

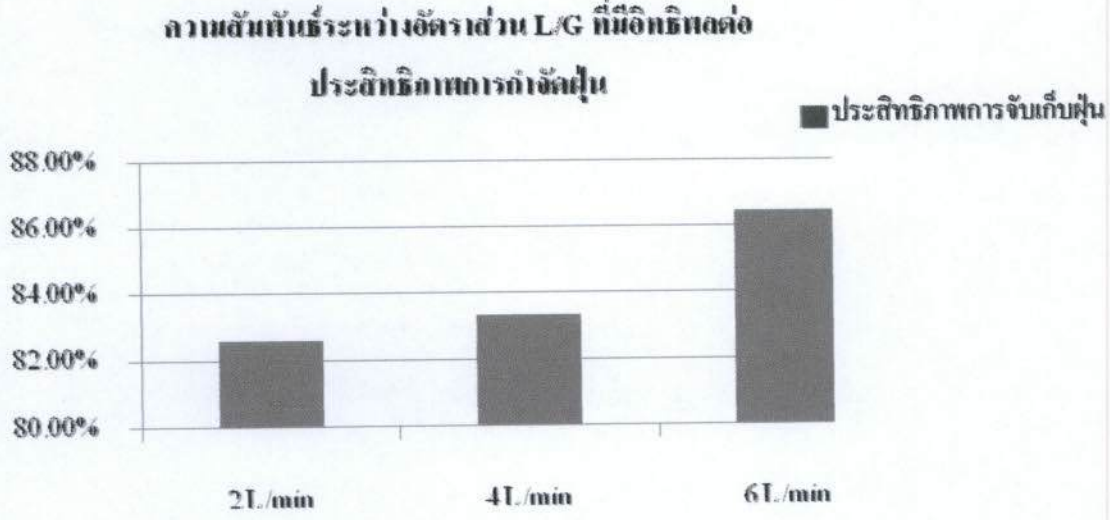
3) เก็บตัวอย่างที่ถุงกรอง นำไปอบ เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน บันทึกผลที่ได้

4) คำนวณความเข้มข้นของฝุ่นที่ทางออกของเครื่องสคับเบอร์

5) คำนวณประสิทธิภาพในการจับเก็บฝุ่นด้วยเครื่องสคับเบอร์

4.2.2 การวิเคราะห์และหาประสิทธิภาพของชุดทดลองเครื่องกรองฝุ่นผงโลหะ

ผลการทดลองและอภิปรายผล ผลของอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของน้ำกับอัตราการไหลของอากาศ (L/G) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นเถ้าลอย



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน L/G ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น

เมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ 4.7 ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน L/G ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นที่จำนวนหัวฉีดน้ำเท่ากับ 5 หัว และความเข้มข้นของฝุ่นเท่ากับ 2 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการไหลของอากาศที่กำหนดไว้ 1.95 m^3 /min และอัตราการไหลของเหลวที่ 2 L/min ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นเท่ากับ 82.75 % ซึ่งมีค่าสูงแต่เมื่อพิจารณาอัตราส่วน L/G ที่เพิ่มขึ้นพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นเพิ่มขึ้นจาก 82.75 % เป็น 84.05 % และ 86.60 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาค(อากาศ) และหยดน้ำมีค่าสูงขึ้น อนุภาคฝุ่นมีโอกาสสัมผัสกับอนุภาคหยดน้ำมากขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการจัดการทำโครงการสร้างเครื่องกรองอากาศสำหรับอุตสาหกรรมอบชุบโครเมียม ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษารายละเอียดโดยศึกษาการออกแบบในการนำไปใช้งานและการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องที่จัดสร้างขึ้น โดยเปรียบเทียบปริมาณความบริสุทธิ์ของอากาศทั้งก่อนและหลังทำการกรองโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้แล้วยังเป็นการฝึกทักษะและประสบการณ์ในการออกแบบการดำเนินงานจัดสร้างอุปกรณ์ทางด้านงานวิศวกรรม

1. วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.1 เพื่อศึกษาระบบเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษทางอากาศ

1.2 เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบกรองฝุ่นโลหะ และบำบัดสารเคมีที่เกิดจากกระบวนชุบผิวโลหะ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ทางคณะผู้จัดทำได้วิเคราะห์ข้อมูลและดำเนินการสร้างชุด เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการทดลอง แล้วนำไปสู่ขั้นตอนการทดลอง เก็บข้อมูล และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลตามสมมุติฐานการวิจัยที่กำหนดไว้ โดยเครื่องมือดังกล่าวประกอบด้วย

1) โครงการสร้างเครื่องกรองอากาศสำหรับอุตสาหกรรมอบชุบโครเมียม ประกอบด้วยข้อมูล การคำนวณออกแบบ, การคำนวณจำนวนเฮดความเร็วที่ทางเข้า ,การคำนวณความดันตกคร่อม ,การคำนวณหาขนาดตัด และ การคำนวณหาประสิทธิภาพดักจับฝุ่นในช่วงขนาดต่างๆ แล้วจึงนำข้อมูลทั้งหมดไปสร้างชุดทดลอง , ประกอบติดตั้งชุดโบวเวอร์ พร้อมติดตั้งกล่องควบคุม สวิตช์ ON/OFF และ LAMP แสดงสถานะและเดินสายไฟ

2) ใบบันทึกผลการทดลอง สำหรับบันทึกผลจากการทดลอง เพื่อนำข้อมูลไปคำนวณการหาผลรวมของค่าเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (WEIGHTED AVERAGE) ของประสิทธิภาพการแยกฝุ่นรวมในทุกช่วงขนาดย่อย

2. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับเก็บฝุ่นต้นแบบชนิดสครับเบอร์ ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวนี้ประกอบด้วยตัวสครับเบอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 1 เมตร ทางเข้าของแก๊สปนฝุ่นมีขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร ทางออกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ภายในตัวสครับเบอร์มีแกนกลางซึ่งติดตั้งหัวฉีดน้ำ โดยอนุภาคฝุ่นก่อนทำการกำจัดด้วยเครื่องสครับเบอร์ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 4-10 ไมครอน เมื่อนำไปผ่านเครื่องสครับเบอร์ แล้วพบว่า เครื่องสครับเบอร์ สามารถกำจัดอนุภาคได้ดี นอกจากนี้เมื่อทำ การศึกษาประสิทธิภาพการกำ

จัดฝุ่น พบว่าเครื่องสครับเบอร์ที่ได้ทำการออกแบบและจัดสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นสูงเฉลี่ยมากกว่า 84 %

2.1 เมื่ออัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปริมาณอากาศปนฝุ่นที่เข้าระบบสูงขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นจะเพิ่มขึ้นด้วย

2.2 จากการทดลองพบว่า สภาวะการทำงานของเครื่องไซโคลนสครับเบอร์ที่สามารถกำจัดฝุ่นได้ประสิทธิภาพดีที่สุด คือ ที่อัตราส่วน L/G เท่ากับ 3.07 l/m^3 จำนวนหัวฉีดน้ำเท่ากับ 5 หัว และความเข้มข้นของฝุ่นที่ทางเข้าเท่ากับ 2 g/m^3 โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นเท่ากับ 86.60 %

3. อภิปรายผลการวิจัย

จากผลของการทดลอง จะเห็นได้ว่าชุดทดลอง ไม่สามารถดักจับฝุ่นผงขนาดเล็ก และฝุ่นที่มีน้ำหนักเบาได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาค่าอัตราส่วนของอัตราการไหลของเหลวต่อก๊าซ (Liquid to Gas Ratio, L/G Ratio) ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการดักจับอนุภาคต่ออัตราการไหลของอากาศเสียที่มีอนุภาค เป็นส่วนสำคัญต่อความสามารถในการดักจับฝุ่น

อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้ได้และใช้ฝุ่นผงอลูมินั่มออกไซด์เป็นวัสดุทดสอบ ซึ่งหากพิจารณาในอุตสาหกรรมจริงอาจจะมีฝุ่นที่มีทั้งชนิด และขนาดแตกต่างกันไป ดังนั้นจะต้องมีการทดสอบกับฝุ่นจริงในโรงงานอุตสาหกรรม

4. ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งนี้ อุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้นมานั้นมีประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น จากอุตสาหกรรมเป้าหมายมีประสิทธิภาพในการกำจัด ฝุ่นผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จึงมีผลในระดับที่พึงพอใจ สามารถนำหลักการของระบบ การควบคุมปัจจัยที่ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่น แต่ควรมีการศึกษาผลของอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของเครื่อง เพื่อเพิ่มความสามารถของพัฒนาต้นแบบระบบกรองฝุ่นโลหะ และมีข้อควรระวังอื่นๆที่ผู้วิจัยแนะนำคือ

1) มีการอุดตันที่หัวฉีดบ่อยครั้ง ทำให้การนกระจายของน้ำไม่สม่ำเสมอต้องคอยถอดออก มาทำความสะอาดอยู่เสมอ ควรจัดให้มีระบบกรองที่ดีที่ปั๊มน้ำก่อนเข้าสู่หัวฉีดสเปรย์

2) หากต้องการให้หัวฉีด ฉีดน้ำเป็นลักษณะวงกว้างและแรง ควรมีการเพิ่มกำลังของปั๊มน้ำให้สูงขึ้น

3) ต้องมีการศึกษาขนาดของอนุภาค รูปร่าง ของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจริงในอุตสาหกรรมเป้าหมาย รวมถึงมลภาวะจากสารเคมีที่เกิดขึ้นด้วย เพื่อกำหนดกระบวนการในการบำบัดที่มีความถูกต้องมากขึ้น

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
การเปรียบเทียบหน่วย

การเปรียบเทียบหน่วย

ความยาว (Length)

1 in	=	2.54	cm
1 ft	=	0.3048	m
	=	304803	μm
1 cm	=	0.3937	in
1 m	=	3.2808	ft

พื้นที่ (Area)

1 ft^2	=	0.0283	m^3
	=	28.3162	litre
1 gal (US)	=	3.7853	litre
1 pint	=	0.125	gal (US)
1 m^3	=	35.3145	ft^3
1 cfm(ft^3 / min)	=	0.028317	m^3 /min
	=	1.699	m^3 /h
1 m^3 / h	=	0.5886	cfm

มวล (Mass)

1 lbm	=	0.4536	kg
	=	700	gr
1 gr	=	0.0648	g
1 kg	=	2.2046	lbm
1 g	=	0.0353	oz
1 oz	=	28.3495	g

ความเข้มข้น (Concentration)

1 gr/ft^3	=	2288.1	mg/m^3
1 g/m^3	=	0.437	gr/ft^3

ความเร็ว (Velocity)

1fpm(ft/min)	=	0.3048	m/min
	=	0.00508	m/s
1m/s	=	196.85	fpm

ความหนาแน่น (Density)

1 lbm/ft^3	=	16.019	kg/m^3
1 kg/m^3	=	0.06243	lbm/ft^3

ความดัน (Pressure)

1 atm	=	14.696	lb/in^2 (psi)
	=	101.325	kpa
	=	1.01325	bar
	=	1013.25	mbar
	=	10340	mm.wg
	=	407.52	in.wg
	=	29.92	in.Hg
	=	760	mm.Hg
1 in.wg	=	0.0361	lb/in^2
	=	25.4	mm.wg
	=	2.4864	mbar

กำลังหรือพลังงาน (Power)

1 hp	=	746	W
1 kW	=	1.3405	hp

ความหนืด (Viscosity)

1 $lbf.s/ft^2$	=	47.88	$N.s/m^2$
	=	32.2	lbm/ft.s
1 lbm/ft.s	=	1.488	kg/m.s
	=	1.484×10	cp
1 cp	=	0.674×10	lbm/ft.s

ภาคผนวก ข.

สูตรต่าง ๆ

สูตรหาค่าต่างๆ

งาน (Work)

W	=	F×S
F	=	แรงในหน่วย lbs , KG , N
S	=	ระยะทางในหน่วย in , ft , mm , m
W	=	งานกลในหน่วย lbs.in , ibs.ft , Kg.m , n , m

กำลังงาน (Power)

Power	=	work / time
กำลังงาน	=	งาน / เวลา
Power	=	กำลังงาน ft.bl / min , Kg.m / min , N.m / sec
Work	=	งาน หน่วย ft.bl , Kg.m , N.m
Time	=	เวลา หน่วย min , sec

แรงม้า (Horse Power)

HP	=	Power / Constant
Constant	=	ค่าคงที่ในการแปลงหน่วย
1 H.P.	=	75 Kg.m / sec
1 H.P.	=	4500 Kg.m / min
1 H.P.	=	746 Watt
1 H.P.	=	0.746 KW
1 H.P.	=	1 N.m / sec

พื้นที่และเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลม

A	=	$\P D^2 / 4 = (22 \times D^2)/(7\times4)$
A	=	$0.7854 \times D^2$
D	=	$\sqrt{(A / 0.7854}$

ปริมาตร (Volume)

Vol	=	A × L
Vol	=	ปริมาตร หน่วย in^3 , cm^3
A	=	พื้นที่หน้าตัด หน่วย in^2 , cm^2 , mm^2
L	=	ระยะชัก หน่วย in

ภาวะมาตรฐานอากาศ

P = ρ **RT**

ρ = ความหนาแน่น , lbm/ft³ / ตารางฟุต

P = ความดันสัมบูรณ์ , psfa (ปอนด์/ตารางฟุต)

R = ค่าคงที่ของอากาศที่มีค่าเท่ากับ 53.35 ft.lbf / lbm.R

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศ ,R ซึ่ง T (R) = T(° F) + 460

อัตราการไหลของอากาศ

Q = AV

A = พื้นที่หน้าตัดของช่องทางการไหล , ft²

V = ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ , fpm (ฟุต/นาที)

ประสิทธิภาพการแยกสารปนเปื้อน

$$= \frac{\text{ปริมาณสารปนเปื้อนที่แยกได้}}{\text{ปริมาณสารปนเปื้อนที่เข้าสู่เครื่องแยกสารปนเปื้อน}} \times 100$$

$$= \left[\frac{C_{inlet} - C_{outlet}}{C_{inlet}} \right] \times 100$$

= ประสิทธิภาพการแยกสารปนเปื้อน , %

C_{inlet} = **ปริมาณหรือสารเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่เข้าสู่เครื่องแยกสารปนเปื้อน**

C_{outlet} = ปริมาณหรือความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ออกจากเครื่องแยกสารปนเปื้อน

การคำนวณแรงเสียดทาน

$$h_L = f\left[\frac{L}{D}\right]VP$$

h_L = ความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน , in.wg

f = แฟกเตอร์ความเสียดทาน (Friction Factor) , ไม่มีหน่วย

L = ความยาวของท่อ , ft

D = ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ , ft

VP = ความดันจลน์ของอากาศในท่อ , in.wg

การคำนวณสมรรถนะของพัดลม

$$BHP = \frac{Q(FTB)}{6,356ME} = \frac{Q(FSP + VP)}{6356ME}$$

Q = อัตราการไหลของปริมาตรจริงของอากาศ ,cfm

FTP = ความดันรวมของพัดลม ,in.wg

FSP = ความดันสถิตของพัดลม ,in.w

VP_{outlet} = ความดันจนล์ของอากาศที่ออกของพัดลม ,in.wg

ME = ประสิทธิภาพเชิงกลของพัดลม ,%

ภาคผนวก ค.

รายละเอียดการคำนวณ

1. อัตราการไหลของอากาศ

จากสูตร $\boxed{Q = AV}$ .....(ค-1)

กำหนดให้ Q = อัตราการไหลเชิงปริมาณของอากาศ cfm

A = พื้นที่หน้าตัดของช่องทางการไหล , ft^2

V = ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ , fpm (ฟุต/นาที)

เมื่อ V = 3500 fpm (ดูจากตารางที่ 2.3 ความเร็วต่ำสุดของอากาศในท่อ)

$D = 8 \text{ in} = \frac{8}{12} \text{ ft}$

$Q = AV = \frac{\pi}{4} D^2 V = \frac{\pi}{4} \left[\frac{8}{12}\right]^2 3500$

$= 1221.73 \text{ cfm}$

2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อดูด

จากสูตร $\boxed{A = \frac{Q}{V}}$ .....(ค-2)

กำหนดให้ Q = อัตราการไหลเชิงปริมาณของอากาศ cfm

A = พื้นที่หน้าตัดของช่องทางการไหล , ft^2

V = ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ , fpm (ฟุต / นาที)

แทนค่า $A = \frac{Q}{V} = \frac{1221.73 cfm}{3500 fpm} = 0.348 \text{ ft}^2$

แต่ $A = \frac{\pi}{4} D^2$ = เมื่อแทนค่า A = 0.348 ft^2

$0.348 \text{ ft}^2 = \frac{\pi}{4} D^2$

$D = 0.2251 \text{ ft}$

$= 2.70 \text{ in}$

3. การสูญเสียความดันเนื่องจากแรงเสียดทาน

จากสูตร $$h_L = f\left(\frac{L}{D}\right)VP$$ .....(ค-3)

กำหนดให้ h_L = ความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน , in.wg

F = แฟกเตอร์ความเสียดทาน (Friction Factor) , ไม่มีหน่วย

L = ความยาวของท่อ , ft

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ , ft

VP = ความดันจลน์ของอากาศในท่อ , in.wg

เมื่อ V = 3500 fpm

a = 0.0425 (ดูจากตารางที่ 2.4 ค่าคงที่)

b = 0.465 (ดูจากตารางที่ 2.4 ค่าคงที่)

c = 0.602 (ดูจากตารางที่ 2.4 ค่าคงที่)

Q = 1221.73 cfm

L =20 ft

แทนค่า VP $= \left(\frac{V}{4005}\right)^2 = \left(\frac{3500}{4005}\right)^2$

= 00000 in.wg

แทนค่า $H_f = \left(\frac{aV^b}{Q^c}\right) = \left(\frac{0.0425(3500)^{0.465}}{1221.73^{0.602}}\right)$

= 00000

แทนค่า $h_L = H_F L\ VP = (0.027)\ (20)\ (0.389)$

= 0.21 in.wg

4. สมรรถนะของพัดลม

จากสูตร BHP = $\frac{Q(FTB)}{6,356ME} = \frac{Q(FSP+VP_{outlet})}{6,356ME}$ .....(ค-4)

กำหนดให้ Q = อัตราการไหลของปริมาตรจริงของอากาศ , cfm

FTP = ความดันรวมของพัดลม , in.wg

FSP = ความดันสถิตของพัดลม , in.w

VP_{outlet} = ความดันจลน์ของอากาศที่ออกของพัดลม , in.wg

ME = ประสิทธิภาพเชิงกลของพัดลม ,%

เมื่อ Q = 1221.73 cfm

FSP = 1.5 in.wg

VP_{outlet} = 0.389 in.wg

ME = 100% or 0.10

แทนค่า BHP = $\frac{(1221.73cfm)(1.5+0.389)in.wg}{6,356(1.00)}$

= 0.000 hp

5.ปั๊มน้ำ

จากสูตร $H = \lambda d \times 0.05$

H = แรงต้านทานในท่อ

λd = ความยาวของท่อส่ง

เมื่อ λd = 1,000 มิลลิเมตร

แทนค่า = 1000 × 0.05

= 50 W

บรรณานุกรม

กรมโรงงานอุตสาหกรรม.(254ค).หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ(เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดสำหรับอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะ.กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม

กรมควบคุมมลพิษ. (2542). **โครงการพัฒนาต้นแบบระบบกำจัดอากาศเสียและน้ำเสียกระบวนการชุบโลหะขนาดเล็ก.** กรุงเทพฯ : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม.

กอบกุล รายะนาคร.(2550). **กฎหมายกับสิ่งแวดล้อม**.กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์วิญญูชน

ฝ่ายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. (2547).**การสัมมนาวิชาการประจำปี 2547 เรื่อง เหลียวหลังแลหน้า: ยี่สิบปีเศรษฐกิจสังคมไทย**

หัวข้อ การจัดการสิ่งแวดล้อม: เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร.ชลบุรี : กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

Visvanthan C.,Kumar S. **Issues for better implementation of cleaner production in Asian Journal of Cleaner**. Production,Vol.7 ,pp 127-134.

Wayne T. Davis.(2000). **Air Pollution Engineering Manual**.New York : Wiley-Interscience.

National Occupational Health and Safety Commission.(1989). **ELECTROPLATING** . Australian : Government Publishing Service Canberra

U.S.EPA. (1971).**Guidelines : air quality surveillance networt,publication A-P-98.**Research Triaugh Park North Coroline,USA.

R.E.MUM.(1981). **The Design of Air Quality Monitoring Networks.** Macmillan Publishers

Ltd,USA.

www.Pullutiononline .com

www.geocities.com/return_sociac

www.pcd.go.th (กรมควบคุมมลพิษ)

www.depthai.go.th (กรมส่งเสริมการส่งออก)

www.dbd.go.th (กรมพัฒนาธุรกิจการค้า)

www.eco-town.dpim.go.th (กรมพัฒนาธุรกิจการค้า)

ประวัตินักวิจัย

ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) นาย เรวัต นามสกุล ซ่อมสุข

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Rawat Somsuk

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3219900225824

3. ตำแหน่งปัจจุบัน

4. หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้ พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก คลอง 6 อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์ 02-5494746-47 โทรสาร 02-5494746

มือถือ 08-94497099

ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) Rawat_Suk@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญาตรี	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล(เทเวศร์)
	วุฒิ ค.อ.บ. (สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ)
ระดับปริญญาโท	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
	วุฒิ วศ.ม. (สาขาการจัดการงานวิศวกรรม)
ระดับปริญญาเอก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
	วุฒิ กำลังศึกษาต่อ วศ.ด.(การออกแบบและผลิตแบบบูรณาการ)

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

ประวัติผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. (ภาษาไทย) นาย ศุภเอก นามสกุล ประมูลมาก

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Supaaek Pranoonmar

2. หมายเลขบัตรประชาชน 3102100546051

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

4. หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้ พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนน รังสิต-นครนายก คลอง 6 อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์ 08-6665742

5. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญาตรี	มหาวิทยลัยเกษมบัณฑิต	
	วุฒิ วศ.บ. (สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ)	
ระดับปริญญาโท	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	
	วุฒิ วศ.ม. (สาขาการผลิต)	
ระดับปริญญาเอก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	
	วุฒิ กำลังศึกษาต่อ วศ.ด.(การขึ้นรูปโลหะ)	