
「West Coast Industrial Ventilation Conference」

유해위험방지계획서 선진 심사기법 습득 국외출장 결과보고서

2018. 12.

한국산업안전보건공단

국외 출장 결과 보고 요약문

7 1. 출장개요

- 목 적 : ‘18년 국소배기장치 등 유해·위험방지계획서 선진 심사기법 습득을 위한 국외 출장(교육)
- 출장기간 : 2018. 11. 4(일) ~ 2018. 11. 9(금). (4박 6일)
 - ※ 교육일정 : 2018. 11. 5(월). ~ 2018. 11. 7(수). (3일간, 32시간)
- 교육기관 : 미국 캘리포니아 산타아나, 미국 M&P Components(주)
- 출장자 인적사항
 - 직업건강실 유해물질관리부 전문직 3급 김진영
 - 경북지사 건설보건부 전문직 3급 장재필

2. 출장내용

- 미국 M&P Components(주)에서 주최하는 「West Coast Industrial Ventilation Conference」에 참가하여
 - 미국 ACGIH의 산업환기 매뉴얼을 바탕으로 이론 및 설비 설계방법 등의 전문지식을 습득하기 위한 전문화 교육을 수료함으로써 국소배기장치 등 유해·위험방지계획서 심사·확인 업무에 필요한 지식 배양

3. 시사점 및 특이사항

- 시사점 : 국소배기장치 등 우리나라 유해위험방지계획서 심사·확인 방법과 미국 ACGIH 국소배기장치 설계방법을 비교하면서 명확한 적용이 어려운 케이스별 적용방법 비교하고 이론 및 실습을 병행함으로써 방지계획서 심사자로서의 전문성 제고
- 특이사항 : 본 과정은 국소배기장치 설계업체 및 컨설팅업체, 사업장 안전보건관리자가 국소배기장치의 설계 및 진단하는 전문화 교육으로 이론 및 실습 교육이 병행 진행
- 최신 이슈가 되는 국소배기장치의 후드, 덕트, 공기정화장치, 송풍기, 배기구 등 각 부분별 선진 외국의 설계방법 강의 및 실습

4. 수집자료

- 미국 ACGIH, Industrial Ventilation, 29th Edition , 교재 및 실습자료

I. 출장개요

- 출장목적: 미국 M&P Components(주)에서 주최하는 「West Coast Industrial Ventilation Conference」에 참가하여
 - 산업환기 이론 및 설비 설계방법 등의 전문지식을 습득함으로써 유해·위험방지계획서 심사·확인 업무에 활용하기 위함
- 출장기간 : 2018. 11. 4(일) ~ 2018. 11. 9(금). (4박 6일)
 - ※ 교육일정 : 2018. 11. 5(월). ~ 2018. 11. 7(수). (3일간, 32시간)
- 교육기관 : 미국 산타아나, 미국 M&P Components(주)
- 교육명: West Coast Industrial Ventilation Conference
- 교육장소 : 미국(캘리포니아 산타아나)
 - * Marriott Courtyard 8 MacArthur Place, Santa Ana, CA 92707
- 출장자 인적사항
 - 직업건강실 유해물질관리부 전문직 3급 김진영
 - 경북지사 건설보건부 전문직 3급 장재필
- 주요일정

일 정(한국시간 기준)	수 행 내 용
11.4(일) ~ 11.5(월)	출국 (대구 출발 → 인천 경유 → 미국 도착)
11.6(화) ~ 11.8(목)	West Coast Industrial Ventilation Conference 참석 ※ Conference 세부내용은 [붙임4] 참조
11.9(금)	귀국 (미국 출발 → 인천 경유 → 대구 도착)

II. 출장 내용

1. 국소배기장치 설계·검토 진단을 위한 전문화 교육 과정

- 본 과정은 국소배기장치 설계업체 및 컨설팅업체, 사업장 안전보건 관리자를 대상으로 미국 산업위생기술사(CIH)등 전문가가 국소배기장치의 설계 및 진단하는 전문화 교육으로 이론 및 실습 교육이 병행 진행
- 최신 이슈가 되는 국소배기장치의 후드, 덕트, 공기정화장치, 송풍기, 배기구 등 각 부분별 선진 외국의 설계방법 강의 및 실습

2. 교육 프로그램 (기초교육과정) 이수

Foundations Program

Welcome and Program Introduction

Overview

Industrial Ventilation Manual and Course Materials

Presentation

Introduction to Industrial Ventilation

Presentation

Principles of Airflow

Topic

Correlating System Airflow & Pressure to Horsepower

Exercise

Problem 1, QAV - Understanding Flowrate, Velocities and Velocity Pressure

Presentation

Industrial Airstream Contaminants & Control Principles

Presentation

Hood Design

Exercise

Problem 2 - Hood Static Pressure

Exercise

Problem 3 - Determining Flowrate from Hood Static Pressure; Enclosed Hood Design

Exercise

Problem 4 - Canopy Hood Design

Presentation

Hood Airflow Profiles

Demonstration

Hood Airflow Characteristics

Exercise

Problem 5 - Guidelines for Simple Hood Design; Welding

Exercise

Problem 6 - Guidelines for Slot Hood Design; Welding

Exercise

Problem 7 - Guidelines for Chemical Backdraft Hoods; Anodizing Process

Presentation

Fan Fundamentals

Presentation

Duct Design

Exercise

Problems 8A, B, C - Merging a Branch Duct into a Main Duct
Balanced Duct System A; Unbalanced Duct System B; Unbalanced Duct System C

Exercise

Problem 9 - Duct Contractions & Expansions

Topic

Ventilation Systems Drawings Review

Presentation

Fans & Systems

Presentation

Fan Performance & Fan System Effects

Workshop

Problems 10A, B, C - Fan System Effects – System Effects on Fan Performance

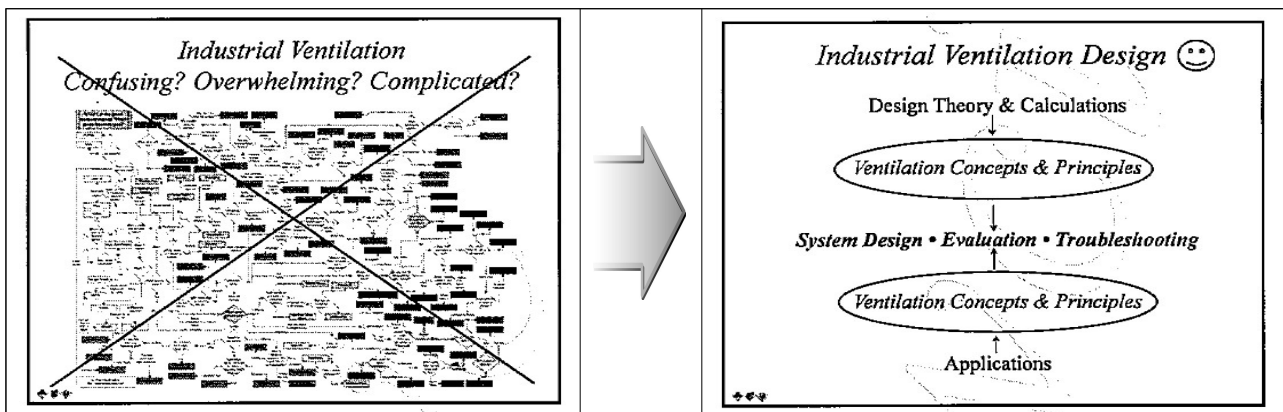
Presentation

APC Equipment

3. 세부 교육과정

강의 1. Introduction to Industrial Ventilation

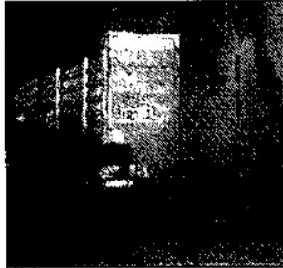
- 산업환기(industrial ventilation)란 산업장 내의 오염된 공기를 외부로 배출하고 동시에 외부의 신선한 공기를 공급하는 환기를 말하며, 전체환기(general ventilation or dilution ventilation)와 국소배기(local exhaust ventilation)로 구분되며, 이번 교육은 산업장에서 오염원에서 오염물질을 제거하는 국소배기장치(local exhaust ventilation system)에 초점을 맞춘 교육임.
- 산업환기는 복잡하고, 접근하기 어렵고, 해갈리는 어려운 것이 아니라 설계이론과 계산 등 환기의 개념과 원리를 이해한 상태에서 이를 현장에 적용하여 시스템을 설계·평가하고 적용이 어려운 케이스(Troubleshooting)에 대해 고민하는 것이다.



- 우리는 최적의 시스템을 선택하기 위해 환기가 왜 필요한지를 이해하고 어떻게 해결책을 제시해야 할지를 결정해야 하며, 이는 우리나라의 산업환기의 적용 원칙과 동일하다.
- 작업자 노출을 평가하여 오염물질 노출의 감소 목적(가이드, 규정 등)
- 수질 및 대기기준의 준수
- 미국 방화협회(NFPA)기준에 따른 분진폭발 예방
- 온열질환관련 NIOSH 기준 적용
- 밀폐공간내 산소공급 및 적정공기수준 유진(세척 및 페인트 작업 사례)
- 기타 가사 및 설비 정비 등

Why Use Industrial Ventilation?

Reduce worker exposure to airborne contaminants to comply with worker exposure regulations/guidelines (i.e., OSHA, ACGIH)



Without Dust Control



With Dust Control



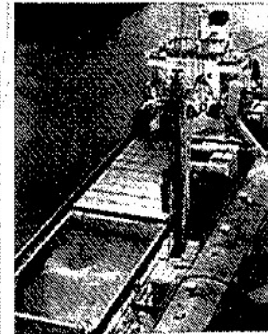
5

Why Use Industrial Ventilation?

Comply with environmental Federal EPA and State air and water quality regulations



Without Dust Control



With Dust Control



6

Why Industrial Ventilation?

Prevent dust explosions and comply with National Fire Protection Agency (NFPA) regulations

- West Pharmaceutical Services, Kinston, North Carolina in 2003
- Company made rubber stoppers for medical use
- Six Deaths, dozens of injuries
- Polyethylene powder used as a tacking agent accumulated above the suspended ceiling ignited and caused a catastrophic explosion



Why Industrial Ventilation?

Comply with National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) heat stress guidelines

HEAT EXHAUSTION OR HEAT STROKE?

HEAT EXHAUSTION SYMPTOMS

1. Faint or dizzy
2. Excessive sweating
3. Cool, pale, clammy skin
4. Nausea, vomiting
5. Rapid, weak pulse
6. Muscle cramps

HOW TO TREAT IT

1. Move to cooler location
2. Drink water
3. Take a cool shower or use cold compresses

HEAT STROKE SYMPTOMS

1. Throbbing headache
2. No sweating
3. Body temp above 103°
Red, hot, dry skin
4. Nausea, vomiting
5. Rapid, strong pulse
6. May lose consciousness

HOW TO TREAT IT

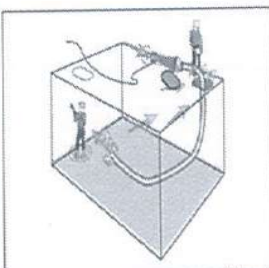
1. Get emergency help
2. Keep cool until treated



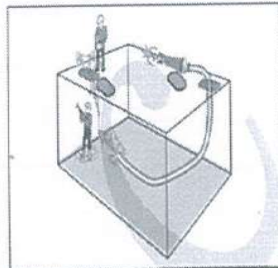
8

Why Industrial Ventilation?

Provide an adequate air quality and oxygen supply in a confined space (Cleaning and Painting Applications)



Acceptable



Better



9

Additional Reasons?

Reduce housekeeping and maintenance of equipment

NFPA®652

Standard on the Fundamentals of Combustible Dust



2016 Edition

Combustible Dust



10

강의 2. Principles of Airflow

○ 교육내용은 크게 공기의 성질, 공기 흐름, 유체역학적 원리 등 3가지로 구성되었으며

① 공기의 성질분야는 아래 2가지를 주로 설명하였으며, 우리나라와 동일함
(다만, 사용하는 단위가 ft, pound, pints, inch 등 우리나라와 달라 많은 혼선이 있었음)

- 공기와 물의 밀도의 개념 이해
- 이상기체의 법칙에 따른 밀도보정

Specific Volume & Density

*The Ideal Gas Law States: $PQ = nR_u T$

*With $R_u = 1545$ and solving for the volume of 1 lb. mole, then 1 lb. mole of any gas occupies 386.5 cu ft.

$$Q = \frac{1 \times 1545 \times 530}{14.7 \times 144} = 386.5 \text{ cu ft}$$

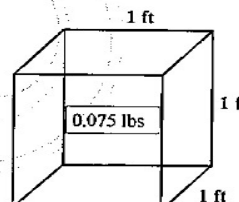
*This means that if we divide 386.5 by the molecular weight of any gas or gas mixture, we will find its specific volume.

*For Air, Specific Volume = $386.5/28.964 = 13.34$

*Since the density of a gas is the reciprocal of its specific volume, then

*For Air, Density = $1/13.34 = 0.075 \text{ lb/cu ft}$

At Sea Level



1 cubic foot of standard air weighs 0.075 pounds

② 공기의 흐름은 난류와 층류에 대한 원리 이해로 우리나라와 동일함

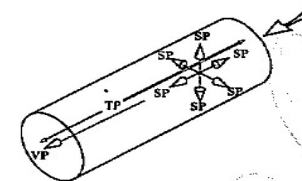
③ 유체역학적 원리는 국소배기장치 설계시 필수적으로 알아야 할 전압(TP, Total Pressure), 정압(SP, Static Pressure), 속도압(VP, Velocity Pressure)의 이해와 관계를 설명하였으며, 단위를 제외하곤 우리나라와 동일하게 적용하고 있음

- 전압(TP) = 정압(SP) + 속도압(VP)
- 속도(V) = $4005\sqrt{VP/df}$, df: density factor

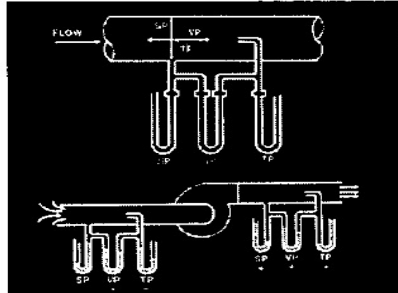
Total Pressure

*Algebraic sum of Static and Velocity Pressures

*Measured parallel to direction of flow

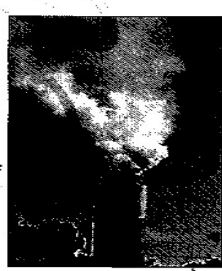
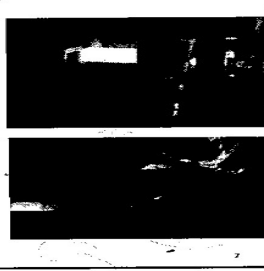
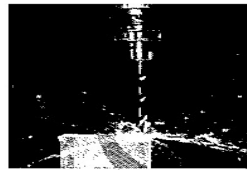


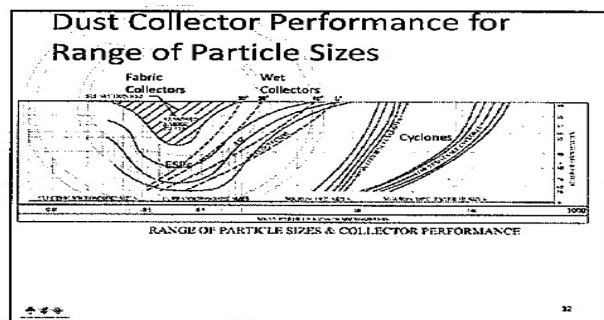
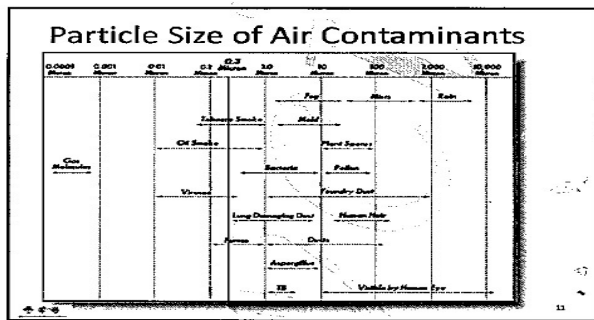
SP, VP & TP At Any Point In A System



강의 3. Industrial Airstream Contaminants & Control Principles

- 오염물질의 형태 및 오염물질 포집방법 및 입자상물질(고체형태 및 액체 형태), 가스, 에어로졸(고체 및 액체형태)로 구분되며 우리나라의 오염물질 분류와 동일함
 - 고체 에어로졸은 흙, 스모크, 분진 등으로 구분
 - 액체에어로졸은 미스트, 포그(fog), 에멀전 등으로 구분
- 오염물질의 종류와 입자크기에 따라 제어설비의 형태와 필요한 제어수준에 영향을 주므로, 입자의 크기, 비중, 연마작업인가?, 점도가 높은가?, 친수성인가?, 화재·폭발 위험성, 평면상의 물체가 미끄러 떨어지지 않는 최대 정지각 등 오염물질의 특성에 따른 해법을 제시해야 한다.

Types of Contaminants • Particulate – Solid Particles – Liquid Particles 	Aerosols-Definition • Stable suspension of particles in air or gas – Solids – Liquids • Distinguished by composition and method of formation 
Fumes • Solid particles • Formed from condensation of vapors of solid materials through processes such as combustion • Typically 0.01 to 0.1 micrometer (μm) 	Smoke • Solid particles formed from incomplete combustion of organic fuels • Has a greater optical density than fumes • 0.1 to 10 μm (0.5 μm and smaller is typical) 
Dusts • Solid Particles Formed by: – Dynamic breaking of materials in mechanical operations (e.g., crushing, grinding and sawing) – Static disintegration of minerals and organic matter • Typically 1 μm and greater 	Liquid Aerosols • A stable suspension of liquid particles in air • Types – Mists and Fog – Emulsions • Collectors – Centrifugal (large mists) – Coalescing Filters and ESPs (fine mists and smoke) 



Properties of the Dust

You Should Answer These Seven Questions...

- Particle size?
- Light or Heavy (Specific Gravity)?
- Abrasive? 연마
- Sticky (contain oils)?
- Hygroscopic (absorb moisture)?
- Explosive or Flammable?
- Angle of Repose?

Key Point...

...the type of contaminant and its particle size will influence the type of control equipment and degree of control required...

- 입자상 오염물질의 포집방법으로 분리(Separation) 및 여과(filtration)방법이 있으며, 입자상물질의 분리방법으로 중력, 원심력, 충돌, 전기력 등 4가지 방법이 있으며, 여과의 원리 설명으로 확산, 간섭, 충돌, 채(sieving)현상을 설명하고 있으며, 우리나라의 입자상 물질 제거원리 설명과 동일함.
- 전기집진방식은 1마이크로 이하물질, 스크러버방식은 충돌력을 이용해 기류에 충돌함으로써 제거하고, 2마이크로 이하 입자에서 기하급수적으로 효율이 떨어짐
 - 원심력 집진방식은 10마이크로 이상 입자상 오염물질 제거에 효율적임

Separation

- Objective is to separate the contaminant while in suspension
- Force Mechanisms are
 - Gravitational
 - Centrifugal
 - Impaction
 - Electrical

Gravitational Force

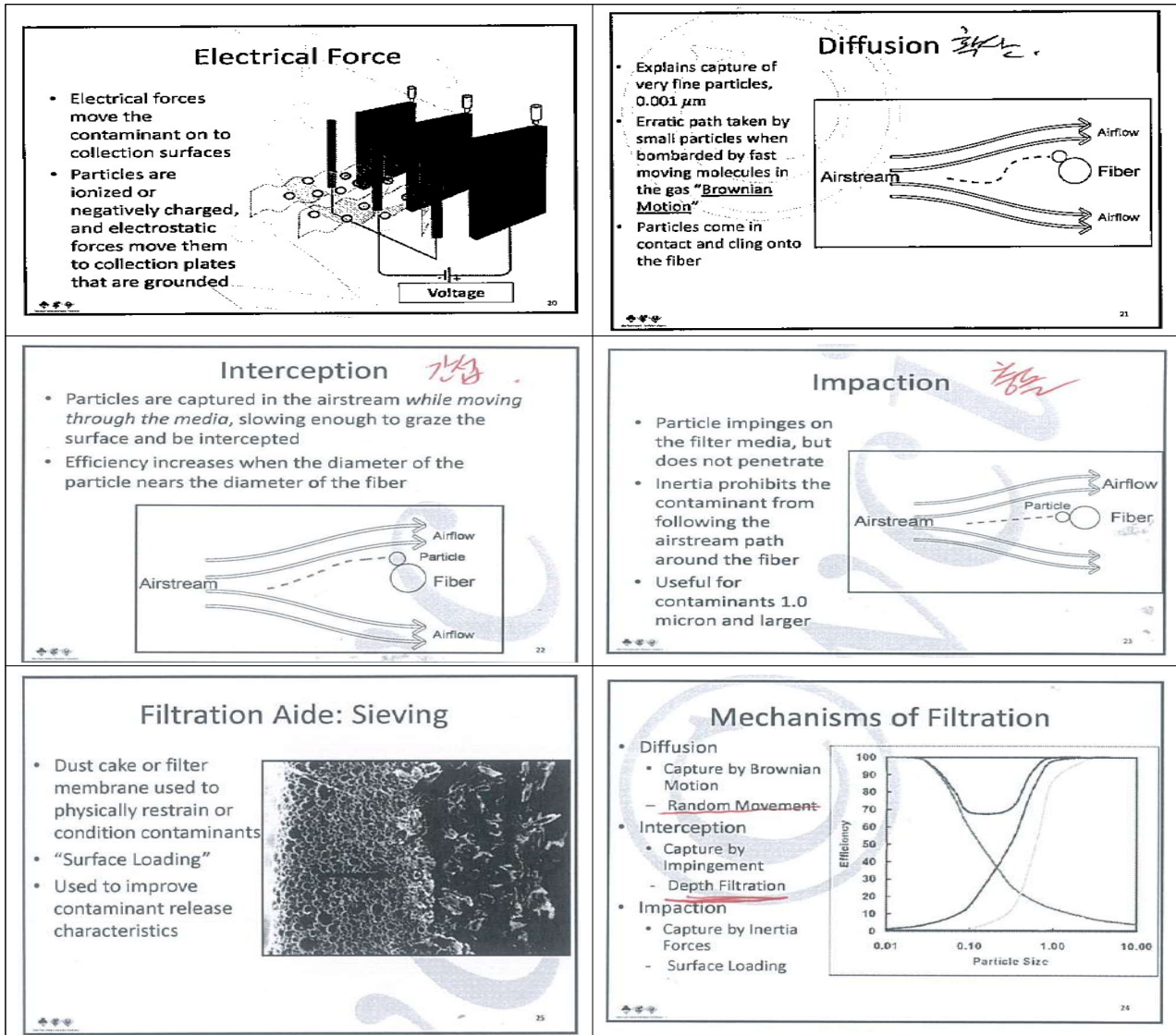
- Occurs when the gravitational force is greater than the terminal or settling velocity of the contaminant
- Typical for large particles 40 to 50 micron and greater

Centrifugal Force

- Uses rotational velocity to generate centrifugal force
- Ratio of centrifugal force to gravitational force is 100 times or greater
- Useful when particle size is 5 micron and larger

Impaction Force

- Particles too large to follow the gas streamlines around an obstacle/droplet collide with it
- Impaction Efficiency $\Psi \approx \rho_p d_p^2 / d_d$
- Impaction forces and efficiency in a wet scrubber drops off exponentially when particles drop below 2μ



강의 4. Hood Design

○ 급기와 배기의 효율 이론 설명

- 급기의 경우 공기속도가 덕트 직경의 30배 거리에서 약 1/10로 감소하나 배기의 경우 기류의 방향에 관계없이 덕트직경과 같은 거리에서 공기속도는 1/10로 감소하므로 국소배기시설의 후드는 유해물질 발생원으로부터 가까운 곳에 설치해야 한다. (우리나라와 동일)

○ 후드의 종류설명

- 포위식 후드(Enclosing hoods): 가장 효율적이며, 제어속도는 개구면에서 측정

하며 100~300fpm (0.5~1.6m/s)로 제시

- 외부식 후드(Close capture hoods): 오염물질 모두를 포집할 수 없으며, 오염물질의 거리(x)에 따라 필요 배풍량이 증가함(포위식 보다 효율 떨어짐)
- 슬롯형 후드(slotted hoods): 가로-세로 비율(W/L)이 0.2이하이고, 슬롯 속도는 2,000fpm으로 제시
- 리스버형 후드(Receiving hoods): 고열작업시 열에 의해 오염물질이 빠른 속도로 상승하는 경우 적용하며, 그라인딩, 재단 등 입자가 큰 경우에 적용한다.

○ 후드의 제어속도(Capture Velocity) 설명

- 미국의 경우 확산에너지 정도(고·중·저) 및 예시(탱크내 증발, 컨베어, 그라인딩 등)를 통해 제어속도를 비교적 폭넓게 제시함으로써 유해물질 성상 및 작업상황별 제어속도 적용을 전문가의 판단을 통해 최종 선정하고 있으나, 우리나라의 경우 산업안전보건법에 의거 관리대상물질 관련 국소배기장치 후드의 제어속도(안전보건규칙 제 429조) 및 분진작업장소에 설치하는 국소배기장치 제어속도(안전보건규칙 제 609조)에 의거 법적으로 관리하는 관리대상물질 및 분진작업에 해당시 후드 형식별에 따라 명확하게 제시하고 있음

Energy of dispersion	Examples	V _c fpm [m/s]
Little motion	Evaporation from tanks, degreasing	75-100 [0.38-0.51]
Average motion	Intermittent container filling; low speed conveyor transfers; welding; plating; pickling	100-200 [0.51-1.02]
High	Barrel filling; conveyor loading; crushers	200-500 [1.02-2.54]
Very high	Grinding; abrasive blasting; tumbling	500-2,000 [2.54-10.2]
<u>Factors affecting choices within ranges</u>		
Strength of crossdrafts due to makeup air, traffic, etc.		
Need for effectiveness in collection:		
• toxicity of contaminants produced by the source, • exposures from other sources that reduce acceptable exposure from this source, • quantity of air contaminants generated – i.e., production rate, volatility, time generated		
*see also ANSI Z9.2-1979		

미국의 제어속도 기준(Industrial ventilation , 29th edition, ACGIH)

(별표 13)

관리대상 유해물질 관련 국소배기장치 후드의 제어풍속(제429조 관련)

물질의 상태	후드 형식	제어풍속(m/sec)
가스상태	포위식 포위형	0.4
	외부식 측방흡인형	0.5
	외부식 하방흡인형	0.5
	외부식 상방흡인형	1.0
입자 상태	포위식 포위형	0.7
	외부식 측방흡인형	1.0
	외부식 하방흡인형	1.0
	외부식 상방흡인형	1.2

비고

1. "가스 상태"란 관리대상 유해물질이 후드로 빨아들여질 때의 상태가 가스 또는 증기인 경우를 말한다.
2. "입자 상태"란 관리대상 유해물질이 후드로 빨아들여질 때의 상태가 흙, 분진 또는 미스트인 경우를 말한다.
3. "제어풍속"이란 국소배기장치의 모든 후드를 개방한 경우의 제어풍속으로서 다음 각 목에 따른 위치에서의 풍속을 말한다.
가. 포위식 후드에서는 후드 개구면에서의 풍속
나. 외부식 후드에서는 해당 후드에 의하여 관리대상 유해물질을 빨아들이려는 범위 내에서 해당 후드 개구면으로부터 가장 먼 거리의 작업위치에서의 풍속

(별표 17)

분진작업장소에 설치하는 국소배기장치의 제어풍속(제609조 관련)

1. 제607조 및 제617조제1항 단서에 따라 설치하는 국소배기장치(연삭기, 드럼 샌더(drum sander) 등의 회전체를 가지는 기계에 관련되어 분진작업을 하는 장소에 설치하는 것은 제외한다)의 제어풍속

분진 작업 장소	제어풍속(미터/초)			
	포위식 후드의 경우	외부식 후드의 경우		
		측방 흡인형	하방 흡인형	상방 흡인형
암석등 탄소원료 또는 알루미나박을 채로 거르는 장소	0.7	-	-	-
주물모래를 재생하는 장소	0.7	-	-	-
주형을 부수고 모래를 터는 장소	0.7	1.3	1.3	-
그 밖의 분진작업장소	0.7	1.0	1.0	1.2

비고

1. 제어풍속이란 국소배기장치의 모든 후드를 개방한 경우의 제어풍속으로서 다음 각 목의 위치에서 측정한다.
가. 포위식 후드에서는 후드 개구면
나. 외부식 후드에서는 해당 후드에 의하여 분진을 빨아들이려는 범위에서 그 후드 개구면으로부터 가장 먼 거리의 작업위치
2. 제607조 및 제617조제1항 단서의 규정에 따라 설치하는 국소배기장치 중 연삭기, 드럼 샌더 등의 회전체를 가지는 기계에 관련되어 분진작업을 하는 장소에 설치된 국소배기장치의 후드의 설치방법에 따른 제어풍속

후드의 설치방법	제어풍속(미터/초)
회전체를 가지는 기계 전체를 포위하는 방법	0.5
회전체의 회전으로 발생하는 분진의 출납립 방향을 후드의 개구면으로 덮는 방법	5.0
회전체만을 포위하는 방법	5.0

비고

제어풍속이란 국소배기장치의 모든 후드를 개방한 경우의 제어풍속으로서, 회전체를 정지한 상태에서 후드의 개구면에서의 최소풍속을 말한다.

우리나라 유해물질별·후드형식별 국소배기장치 제어속도
기준(산업안전보건기준에 관한 규칙)

○ 덕트 반송속도 설명

- 미국의 덕트 반송속도 기준은 우리나라의 안전보건 기술지침 (KOSHA-Guide, W-1-2014, 산업환기설비에 관한 기술지침)과 거의 비슷함

TABLE 5-1. Range of Minimum Duct Design Velocities

Nature of Contaminant	Examples	Design Velocity
Vapors, gases, smoke		Any desired velocity (economic optimum velocity usually 1,000–2,000 fpm) [5.08–10.16 m/s]
Fumes, metal smokes	Welding	2,000–2,500 fpm [10.16–12.70 m/s]
Fine light dust	Cotton lint, wood flour, litho powder	2,500–3,000 fpm [12.7–15.24 m/s]
Dry dusts and powders	Fine rubber dust, Bakelite molding powder dust, jute lint, cotton dust, shavings (light), soap dust, leather shavings	3,000–3,500 fpm [15.24–17.78 m/s]
Average industrial dust	Grinding dust, buffing lint (dry), wool jute dust (shaker waste), coffee beans, shoe dust, granite dust, silica flour, general material handling, brick cutting, clay dust, foundry (general), limestone dust, packaging and weighing asbestos dust in textile industries	3,500–4,000 fpm [17.78–20.32 m/s]
Heavy dusts	Sawdust (heavy and wet), metal turnings, foundry tumbling barrels and shake-out, sand blast dust, wood blocks, hog waste, brass turnings, cast iron boring dust, lead dust	4,000–4,500 fpm [20.32–22.86 m/s]
Heavy or moist dusts	Lead dusts with small chips, moist cement dust, buffing lint (sticky), quick-lime dust	4,500 fpm [22.86 m/s] and up

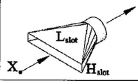
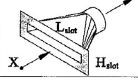
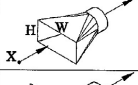
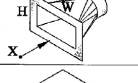
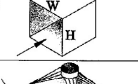
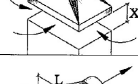
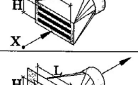
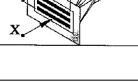
미국의 반송속도 기준(Industrial ventilation , 29th edition, ACGIH)

유해물질 발생형태	유해 물질 종류	반송속도(m/s)
증기·가스·연기	모든 증기, 가스 및 연기	5.0 ~ 10.0
흙	아연흙, 산화알루미늄 흙, 용접흙 등	10.0 ~ 12.5
미세하고 가벼운 분진	미세한 먼분진, 미세한 목분진, 종이분진 등	12.5 ~ 15.0
건조한 분진이나 분말	고무분진, 먼분진, 가죽분진, 동물털 분진 등	15.0 ~ 20.0
일반 산업분진	그라인더 분진, 일반적인 금속분말분진, 모직물분진, 실리카분진, 주물분진, 석면분진 등	17.5 ~ 20.0
무거운 분진	젖은 톱밥분진, 입자가 혼입된 금속분진, 샌드 블라스트분진, 주철보링분진, 납분진	20.0 ~ 22.5
무겁고 습한 분진	습한 시멘트분진, 작은 칩이 혼입된 납분진, 석면덩어리 등	22.5 이상

우리나라의 안전보건 기술지침 (KOSHA-Guide, W-1-2014, 산업환기설비에 관한 기술지침, 표 3)

○ 후드 형태별 배풍량 계산식 설명

- 미국 ACGIH에서 제시한 국소배기장치 후드형태별 배풍량 계산식은 우리나라와 동일함

HOOD TYPE				DESCRIPTION				ASPECT RATIO, H/L				AIRFLOW			
				Slot				0.2 or less				$Q = 3.7 LV_s X$			
				Flanged slot				0.2 or less				$Q = 2.6 LV_s X$			
				Plain opening				0.2 or greater and round				$Q = V_s(10X^2 + A_s)$ $A_s = WH$			
				Flanged opening $W_f > \sqrt{A_f}$				0.2 or greater and round				$Q = 0.75V_s(10X^2 + A_f)$ $A_f = WH$			
				Booth				To suit work				$Q = VA = V_s WH$			
				Canopy				To suit work				$Q = 1.4 PVX$ $P = \text{Perimeter of work or tank}$ $X = \text{Height above work}$			
				Plain multiple slot opening (2) or more slots				0.2 or greater				$Q = V_s(10X^2 + A_s)$ $A_s = H L$			
				Flanged multiple slot opening (2) or more slots				0.2 or greater				$Q = 0.75V_s(10X^2 + A_s)$ $A_s = H L$			

<별표 3> 후드의 형태별 배풍량 계산식			
후드 형태	명 칭	개구면의 세로/가로 비율(W/L)	배풍량(m3/min)
	외 부 식 슬로트형	0.2 이하	$Q=60 \times 3.7 LV_s X$
	외 부 식 플랜지부착 슬로트형	0.2 이하	$Q=60 \times 2.6 LV_s X$
	외 부 식 장 방 형	0.2 이상 또는 원형	$Q=60 \times V_s(10X^2 + A)$
	외 부 식 플랜지부착 장 방 형	0.2 이상 또는 원형	$Q=60 \times 0.75V_s(10X^2 + A)$
	포 위 식 부 스 형	-	$Q=60 \times VA$ $=60 V_s WH$
	래 시 버 식 캐 노 피 형	-	$Q=60 \times 1.4 PVD$ P : 작업대의 주변길이(m) D : 작업대와 후드간의 거리(m)
	외 부 식 다 단 슬로트형	0.2 이상	$Q=60 \times V_s(10X^2 + A)$
	외 부 식 플랜지부착 다 단 슬로트형	0.2 이상	$Q=60 \times 0.75V_s(10X^2 + A)$

미국 ACGIH, Industrial ventilation, 29 th edition	KOSHA-Guide, W-1-2014, 산업환기설비에 관한 기술지침
--	--

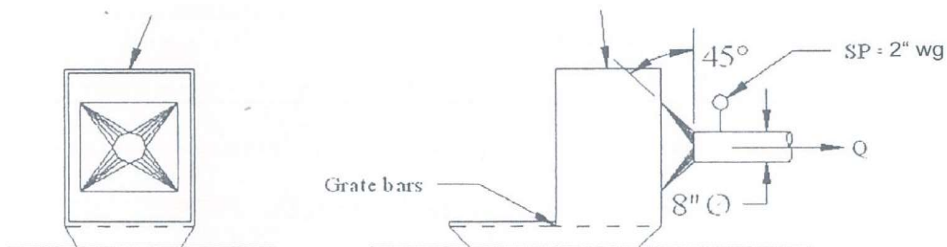
실습. Hood Design

○ 문제 3. Determining Flowrate from Hood Static Pressure; Enclosed Hood Design

Enclosed Hood Design

Find: The airflow rate (Q) that corresponds to a hood static pressure of 2" wg with a density factor of 1.0.
See VS-50-10 for additional information

Booth Design to Accommodate Bag Breaking Operations



$$SP_h = (F_{es})(V_{ps}) + (F_h)(V_{p0}) + V_p$$

$$= 0 + (0.25)(V_p) + V_{pd}$$

$$2'' \text{ wg} = 1.25 V_{pd}$$

$$\therefore V_{pd} = \frac{2}{1.25} = 1.6$$

$$\therefore V_d = 1.6 \times 4005 = 5066 \text{ f/min}$$

$$Q = A \cdot V = 0.349 \times 5066 = 1768 \text{ cfm}$$

$$A = \frac{1768}{150} = 11.76 \text{ ft}^2$$

강의 5. Hood Airflow Profiles

□ 후드기류 개요

- Hood Airflow Profiles 과목은 후드의 기류를 결정하는 후드형태, 가로세로 비율, 후드 형태별 소요풍량 계산식 등 아래의 5가지 항목에 대한 내용임

- ① Enclosing Hoods (포위식 후드)
- ② Hood Aspect Ratio & Flow Coefficient (후드 가로세로비 및 유입계수)
- ③ General Use Close Capture Hoods (근접한 포집형 후드의 일반적 사용)
- ④ Specific Use Hoods (구체적인 후드의 사용)
- ⑤ Hood Airflow Distribution (후드 기류분포)

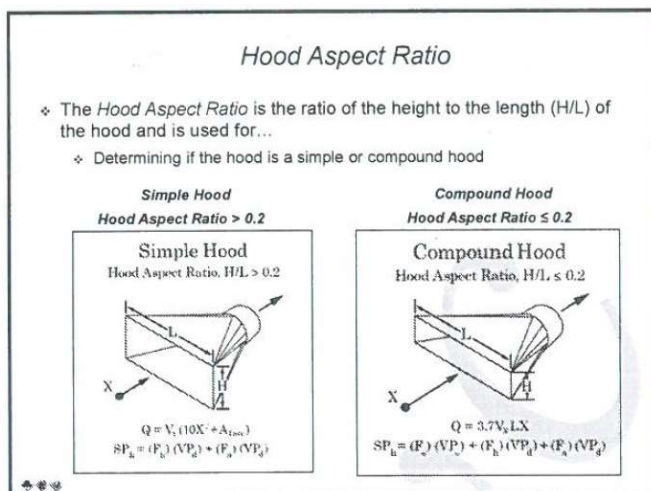
1 Enclosing Hoods

- 포위식 후드를 말하는 것으로서 작업과정 및 유해물질이 누출되는 곳을 모두 포집해야 함을 의미함
- 후드를 선택하고 디자인 하는 경우 첫 번째로 선택하고 고민해야 하는 항목임을 강조함

※ 우리나라도 유해물질 발생원을 포위하는 것이 가장 효율적이라고 통용되고 있음

2 Hood Aspect Ratio & Flow Coefficient

- 일반후드의 경우 가로세로 비율이 > 0.2 이고, 복합후드의 경우 가로세로 비율이 ≤ 0.2 를 권장함



③ General Use Close Capture Hoods

- 포집형 후드의 형태별로 제어풍속을 산출하는 공식이 다름

- 일반후드 : $Q = V_x(10X^2 + A)$
- 플랜지가 달린 후드 : $Q = 0.75V_x(10X^2 + A)$
- 플레넘후드 : $Q = 0.75V_x(10X^2 + A)$
 - ※ 플레넘이 플랜지 역할을 함
- 플레넘후드(테이블위) : $Q = 0.75V_x(5X^2 + A)$
 - ※ 테이블이 장벽 역할을 함

General Use Close Capture Hoods Simple Hood - Flow Formula At a velocity at "X" and with A_{face} as the area of hood face, the flow rate for a simple hood in free space with no obstructions can be estimated as $Q = V_x (10 X^2 + A_f)$ Plain Hood Freely Suspended Plain Hood Aspect Ratio = H/L and > 0.2 flow is calculated along the area of the face of the hood $Q = V_x (10 X^2 + A_{face})$	General Use Close Capture Hoods Simple Hood - Flow Formula, Flanged By adding a properly sized flange, an airflow boundary layer is created extending the velocity profile outward from the hood and reduces the required flow rate to $Q = 0.75 V_x (10 X^2 + A_f)$ Plain Hood - Flanged Freely Suspended Plain Hood - Flanged Aspect Ratio = H/L and > 0.2 flow is calculated along the area of the face of the hood $Q = 0.75 V_x (10 X^2 + A_{face})$
General Use Close Capture Hoods Simple Hood - Flow Formula, Flanged By adding a properly sized flange, an airflow boundary layer is created extending the velocity profile outward from the hood and reduces the required flow rate to $Q = 0.75 V_x (10 X^2 + A_f)$ Plain Hood - Flanged Freely Suspended Plain Hood - Flanged Aspect Ratio = H/L and > 0.2 flow is calculated along the area of the face of the hood $Q = 0.75 V_x (10 X^2 + A_{face})$	General Use Close Capture Hoods Flow Formulas - Simple Hoods ◆ $Q = V_x(10X^2 + A_{face})$: Simple hoods suspended in free space ◆ $Q = 0.75 V_x(10X^2 + A_{face})$: Simple hoods suspended in free space having a wide flange and suspended plenum hoods having two or more orifices (slots) ◆ $Q = V_x(5X^2 + A_{face})$: Simple hoods resting on a flat surface ◆ $Q = 0.75 V_x(5X^2 + A_{face})$: Simple hoods having a wide flange and resting on a flat surface and plenum hoods having two or more orifices (slots) and resting on a flat surface

④ Specific Use Hoods

- 구체적인 후드는 아래와 같고 Industrial Ventilation Manual의 Chapter 6 및 13에 자세하게 다루고 있음
- Compound Hoods (Hood Aspect Ratio of ≤ 0.2)
- Single Slot(Orifice) Plenum Hoods

- Single Slot Tank Ventilation Hoods
- Canopy Hoods
- Receiving Hoods
- Downdraft Hoods
- Push-pull Hoods

5 Hood Airflow Distribution

- 후드에서 기류는 일반 후드의 경우 2,000ftm(feet per minute), 복합후드의 경우 표면속도가 2,000ftm, 플레넘 후드의 경우 2,000ftm가 나올 수 있는 슬롯으로 구성해야 함

Hood Airflow Distribution Simple Hoods (Aspect Ratio > 0.2)

- For airflow distribution across a simple hood
 - Use one or more orifices or slots
 - The hood flowrate is calculated as a simple hood and the hood static pressure as a compound hood.
 - Size orifices or slots for 2000 fpm

Simple Hood, Closed Face
Hood Aspect Ratio, $H/L > 0.2$
Size slots for 2000 fpm

$$Q = V_s (10X^2 + A_{ps})$$

$$SP_h = (F_s)(VP_s) + (F_b)(VP_b) + (F_d)(VP_d)$$

Hood Airflow Distribution Compound Tapered Slot Hoods (Aspect Ratio ≤ 0.2)

- For airflow distribution across a compound tapered slot hood
 - The hood flowrate is calculated using the length of the hood opening and the hood static pressure is calculated as a compound hood
 - Size "H" for a hood face velocity of 2000 fpm

Compound Hood
Hood Aspect Ratio = $H/L \leq 0.2$
Size H for 2000 fpm face velocity

$$Q = 3.7V_s LX$$

$$SP_h = (F_s)(VP_s) + (F_b)(VP_b) + (F_d)(VP_d)$$

Compound Hood, Flanged
Hood Aspect Ratio = $H/L \leq 0.2$
Size H for 2000 fpm face velocity

$$Q = 2.6V_s L_p X$$

$$SP_h = (F_s)(VP_s) + (F_b)(VP_b) + (F_d)(VP_d)$$

Hood Airflow Distribution Slotted Plenum Hoods

- For airflow distribution across a slotted plenum hood
 - The hood flowrate is calculated as a Specific Use close capture hood when using a single orifice or slot, and as a General Use close capture hood when using two or more orifices or slots.
 - Hood static pressure is calculated as a compound hood.
 - Size orifice(s) or slot(s) for 2000 fpm

Slotted Plenum Hood, Single Slot

$$Q = 3.7V_s LX$$

$$SP_h = (F_s)(VP_s) + (F_b)(VP_b) + (F_d)(VP_d)$$

Slotted Plenum Hood, Multiple Slots

$$Q = 10V_s L_p X$$

$$SP_h = (F_s)(VP_s) + (F_b)(VP_b) + (F_d)(VP_d)$$

실습. Hood Airflow Characteristics

○ 문제 5. Guidelines for Simple Hood Design; Welding

- 용접공정에서 일반후드를 사용할 경우 예시를 들어 문제를 해결하는 과정
 - ※ 미국에서는 inch, ft 등 일반적인 SI 단위를 사용하지 않아 기존에 알고 있던 지식과 차이가 있어 이해하는데 한번 더 해석을 해야함
 - ※ “1 ft = 12 inch” 임을 알고 있어야 문제해결을 이해할 수 있음
- 1번 문제의 경우 제어속도는 Industrial Ventilation Manual에서 권장하는 기준을 활용함 (6-19 페이지)

Hood Design 6-19

TABLE 6-2. Recommended Capture Velocities*

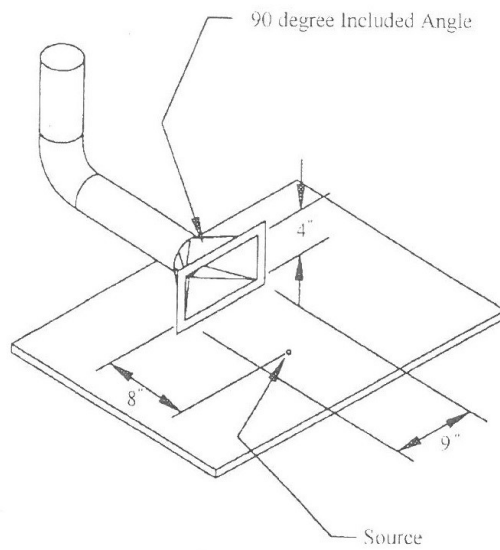
Energy of dispersion	Examples	V_x fpm [m/s]
Little motion	Evaporation from tanks, degreasing	75–100 [0.38–0.51]
Average motion	Intermittent container filling; low speed conveyor transfers; welding; plating; pickling	100–200 [0.51–1.02]
High	Barrel filling; conveyor loading; crushers	200–500 [1.02–2.54]
Very high	Grinding; abrasive blasting; tumbling	500–2,000 [2.54–10.2]
<u>Factors affecting choices within ranges</u>		
Strength of crossdrafts due to makeup air, traffic, etc.		
Need for effectiveness in collection:		
• toxicity of contaminants produced by the source, • exposures from other sources that reduce acceptable exposure from this source, quantity of air contaminants generated – i.e., production rate, volatility, time generated		
*see also ANSI Z9.2–1979		

high level
↑

Simple Hood Design

A worker, using a stiff brush, is brushing a plate covered with a fine layer of lead based paint. This actively generates dust where there are occasional disturbing air currents. Also, the worker sometimes places their face very near the dust source.

- 1) Find the air velocity at the source that is required to capture the contaminant
- 2) If the source is 8" from the face of the hood, what is the required flowrate (cfm) ?
- 3) What is the face velocity of the hood ?
- 4) Select the design duct transport velocity and duct diameter
- 5) What is the effect of the flange ?
- 6) What happens if the source is moved 16" from the face of the hood and the flowrate stays the same ?
- 7) What is the proper flange dimension ?



1. Capture vel

$$V_x = 200 \text{ to } 500 \text{ fpm}$$

$$V_x = 300 \text{ fpm}$$

$$2. Q = 0.15 V_x (5x^2 + A)$$

$$= 0.15 (300) \left(5 \left(\frac{8}{12} \right)^2 + \frac{4 \times 9}{144} \right)$$

$$= 560 \text{ CFM}$$

6.

$$560 = 0.15 V_x \left(5 \cdot \left(\frac{16}{12} \right)^2 + \frac{4 \times 9}{144} \right)$$

$$V_x = 24 \text{ fpm}$$

$$7. L_F = \sqrt{A} = \sqrt{4 \times 9} = \sqrt{36} = 6"$$

$$3. V_F = Q/A$$

$$= 560 \text{ CFM} / \frac{4 \times 9}{144}$$

$$= 2,240 \text{ fpm}$$

4. Duct Velocity

$$V_D = 4000 \text{ to } 4500 \text{ fpm}$$

$$A_D = \frac{Q_D}{V_D} = \frac{560 \text{ CFM}}{4500 \text{ fpm}}$$

$$= 0.124 \text{ ft}^2$$

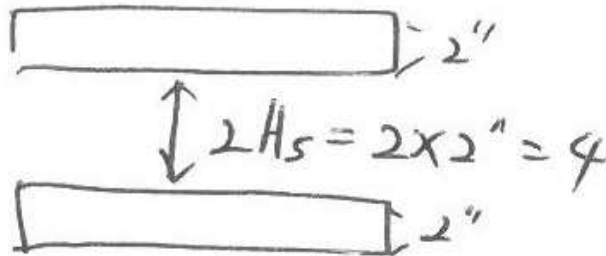
$$\frac{\pi (D/12)^2}{4} = 0.124 \text{ ft}^2$$

$$D = 5" \quad A = 0.136 \text{ ft}^2$$

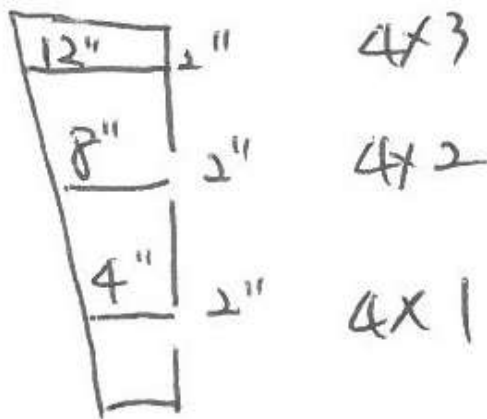
$$V_D = \frac{Q}{A} = \frac{560}{0.136} = 4070 \text{ fpm}$$

○ 문제 6. Guidelines for Slot Hood Design; Welding

- 슬롯후드를 이용하여 용접공정의 유해물질을 제거하는 경우로,
 - 슬롯의 크기와 슬롯간의 간격, 뒤편 플레넘의 폭 등에 대한 문제임
- ※ 우리나라에서 이 이론을 적용하여 생산하도록 권장할 필요가 있음
- 슬롯이 두 개인 이유는 아래슬롯은 용접흠을 제어하고, 위 슬롯은 열을 제어하기 위함임
 - 슬롯의 폭(H_s)이 2"(2 inch) 이면 슬롯과 슬롯 사이의 간격은 $2H_s$ 로 산정 ($2 \times 2" = 4"$)



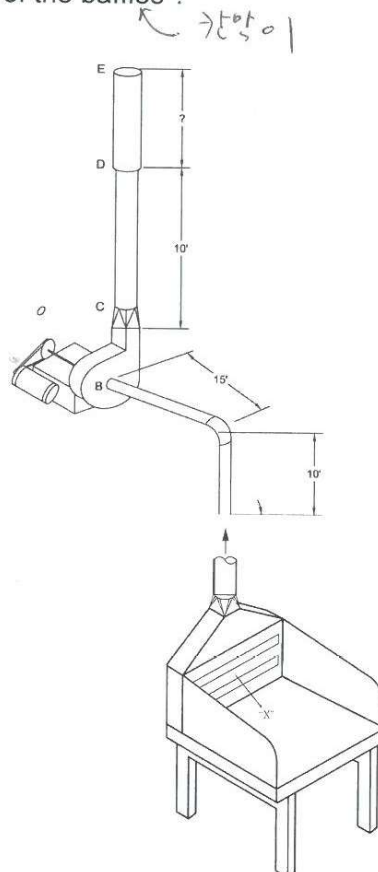
- 슬롯 뒤편의 폭은 아래부터 1배수, 2배수, 3배수로 폭을 넓힘



Welding Ventilation Exhaust System - Slot Hood Design

A worker is welding various parts on a workbench that is 48" long x 24" deep. The hood face is 4 ft wide x 3 ft tall and the source is 18" from the face of the hood. Due to heat rise, the hood requires two (2) slots. Elbow centerlines are 2' clr. Minimum duct velocity is 2,500 fpm. Recommended slot velocity is 2,000 fpm, $F_s = 1.78$ and the hood taper angle, α , is 45° with $F_h = 0.25$. Find:

- 1) Capture Velocity
- 2) Hood Flowrate
- 3) Slot area
- 4) Slot size and actual velocity
- 5) Distance from the bench to the first slot
- 6) Distance between slots
- 7) Distance from the upper slot to the top of the hood face
- 8) What is the proper plenum depth ?
- 9) What is the effect of the bench ?
- 10) What is the effect of the baffles ?

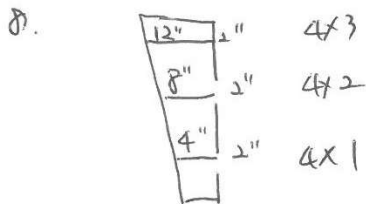
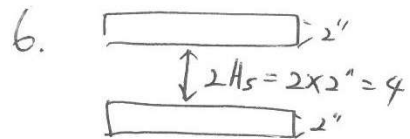
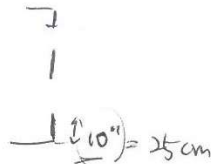
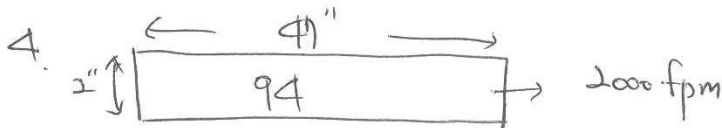


→ 열을 잡는다
→ 용접흄을 잡는다.

1. Cap Vel = 150 fpm

2. $Q = 0.15 V (5X^2 + A)$
 $= 0.15 (150) (5 \cdot (\frac{18}{12})^2 + 12 \text{ Ft}^2)$
 $= 2615 \text{ acfm}$

3. $A_s = \frac{2615}{150} = 1.3 \text{ Ft}^2 \times 144 = \frac{188}{2} \text{ m}^2 = 94 \text{ m}^2$



9. $Q = 0.15 V (5X^2 + A) = 2615$

$Q = 0.15 V (10X^2 + A) =$

$= 0.15 \times 150 (22.5 + 12) = 3880 \text{ cfm}$
 $\uparrow$
 $10 (\frac{18}{12})^2$

○ 문제 7. Guidelines for Chemical Backdraft Hood; Anodizing Process

- Industrial Ventilation Manual의 테이블을 참고하여 문제를 해결

TABLE 13-70-1. Determination of Hazard Potential

HYGIENIC STANDARDS			
Hazard Potential	Gas and Vapor (see Appendix A)	Mist (see Appendix A)	Flash Point, F [C] (see Appendix B)
✓ A	0–10 ppm	0–0.1 mg/m ³	—
B	11–100 ppm	0.11–1.0 mg/m ³	Under 100 F [< 38 C]
C	101–500 ppm	1.1–10 mg/m ³	100–200 F [38–93 C]
D	Over 500 ppm	Over 10 mg/m ³	Over 200 F [> 93 C]

TABLE 13-70-2. Determination of Rate of Gas, Vapor, or Mist Evolution

Rate	Liquid Temperature, F [C]	Degrees Below Boiling Point, F [C]	Relative Evaporation* (Time for 100% Evaporation)	Gassing**
✓ 1	Over 200 [> 93]	0–20 [0–11]	Fast (0–3 hours)	High
2	150–200 [66–93]	21–50 [11–28]	Medium (3–12 hours)	Medium
3	94–149 [34–65]	51–100 [28–55]	Slow (12–50 hours)	Low
4	Under 94 [< 34]	Over 100 [> 55]	Nil (Over 50 hours)	Nil

TABLE 13-70-3. Minimum Control Velocity (fpm) [m/s] for Undisturbed Locations

Class (see Section 13.70.2)	Enclosing Hood		Lateral Exhaust (see VS-70-01 and VS-70-02) (Note 1)	Canopy Hoods (see Chapter 6, Figure 6-11 and VS-99-03)	
	One Open Side	Two Open Sides		Three Open Sides	Four Open Sides
A-1 and A-2 (Note 2)	100 [0.50]	150 [0.75]	150 [0.75]	Do not use	Do not use
A-3 (Note 2), B-1, B-2, and C-1	75 [0.38]	100 [0.50]	100 [0.50]	125 [0.63]	175 [0.88]
B-3, C-2, and D-1 (Note 3)	65 [0.33]	90 [0.45]	75 [0.38]	100 [0.50]	150 [0.75]
A-4 (Note 1), C-3, and D-2 (Note 3)	50 [0.25]	75 [0.38]	50 [0.25]	75 [0.38]	125 [0.63]
B-4, C-4, D-3 (Note 3), and D-4—Adequate General Room Ventilation Required (see Chapter 4)					

- Notes: 1. Use aspect ratio to determine air volume; see Table 13-70-4.
 2. Do not use canopy hood for Hazard Potential A processes.
 3. Where complete control of hot water is desired, design as next highest class.

TABLE 13-70-4. Minimum Rate, acfm/ft² [m³/s/m²] of Tank Area for Lateral Exhaust

acfm/ft ² to maintain required minimum control velocities at following tank width $\left(\frac{W}{L}\right)$ ratios (see Section 13.70.3)					
Required Minimum Control Velocity, fpm [m/s] (from Table 13-70-3)	0.0–0.09	0.1–0.24	✓ 0.25–0.49	0.50–0.99	1.0–2.0 (Note 2)
Hood against wall or flanged (see Note 1 below and Section 13.70.1, Note 12). See VS-70-01 A and VS-70-02 D and E.					
50 [0.25]	50 [0.25]	60 [0.30]	75 [0.38]	90 [0.45]	100 [0.50]
75 [0.38]	75 [0.38]	90 [0.45]	110 [0.55]	130 [0.65]	150 [0.75]
100 [0.50]	100 [0.50]	125 [0.63]	150 [0.75]	175 [0.88]	200 [1.00]
✓ 150 [0.75]	150 [0.75]	190 [0.95]	✓ 225 [1.13]	250 Note 3 [1.25]	250 Note 3 [1.25]
Hood on free standing tank (see Note 1). See VS-70-01 B and VS-70-02 F.					
50 [0.25]	75 [0.38]	90 [0.45]	100 [0.50]	110 [0.55]	125 [0.63]
75 [0.38]	110 [0.55]	130 [0.65]	150 [0.75]	170 [0.85]	190 [0.95]
100 [0.50]	150 [0.75]	175 [0.88]	200 [1.00]	225 [1.13]	250 [1.25]
150 [0.75]	225 [1.13]	250 Note 3 [1.25]	250 Note 3 [1.25]	250 Note 3 [1.25]	250 Note 3 [1.25]

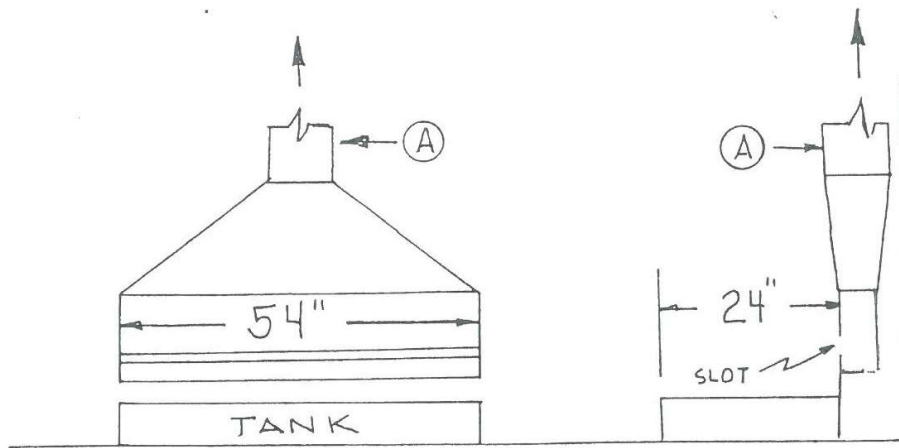
- Note 1. Use W/2 as tank width in computing W/L ratio for hood along centerline or two parallel sides of tank. See VS-70-01 B and C and VS-70-02 F.
 2. See Section 13.70.1, items 6 and 7.
 3. While bracketed values may not produce 150 fpm [0.75 m/s] control velocity at all aspect ratios, the 250 acfm/ft² [1.25 m³/s/m²] is considered adequate for control.

Anodizing Process

Small parts of aluminum are being anodized using a solution containing chromic and sulphuric acid. The temperature of the solution is just below boiling. Recommended duct velocity is 2,500 fpm

Using the Industrial Ventilation Manual, Section 13.70 and VS-70-01, find the following:

- 1) Flowrate, acfm
- 2) Slot Size
- 3) Plenum Depth
- 4) Duct Diameter
- 5) Hood Static Pressure @ A



$$\begin{aligned}
 5. \quad SP_h &= F_s \cdot VP_s + F_h \cdot VP_d + VP \\
 &= 1.78(0.25) + 0.25 \times \left(\frac{2580}{4005} \right)^2 + 0.42 \\
 &= 0.91 \\
 &\approx 1'' \text{wg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SP_p &= 1.78VP_s + VP_s \\
 &= 2.78VP_s
 \end{aligned}$$

$$VP_s = \left(\frac{2000}{4005} \right)^2 \text{ d.f.}$$

www.industrialventconference.com

1. TLV
 H_2SO_4 0.1 mg/m^3 A₂
 CrO_3 0.05 mg/m^3 A₁

Table 13-10-1 HAZARD A

Table 13-10-2 Rate Evaluation 1. $\text{JWC} = 0.17$

Table 13-10-3 160 fpm

Table 13-10-4. Aspect Ratio $= \frac{W}{L} = \frac{24''}{54''} = 0.444$

$$Q = 225 \text{ CFM } 1 \text{ ft}^2 \text{ tank}$$

$$Q = 225 \frac{\text{CFM}}{\text{ft}^2} \times \frac{24'' \times 54''}{144} = 2025 \text{ CFM}$$

2. Slot Size

$$V_s = 2000 \text{ fpm}$$

$$A_s = \frac{Q}{V_s} = \frac{2025}{2000} = 1.01 \text{ ft}^2$$

$$A_s = H_s \cdot L_s$$

$$1.01 = \frac{H_s}{12} \cdot \frac{L_s}{12} \quad L_s = 54''$$

$$H_s = 2.7''$$

3. $P_D = 2 \cdot H_s = 2 \times 2.7'' = 5.4''$ minimum size

4. $V_p = 2500 \text{ fpm}$

$$A_D = \frac{2025 \text{ CFM}}{2500 \text{ fpm}} = 0.81 \text{ ft}^2$$

$$D = 12.1''$$

$$D = 12'' \quad A_D = 0.785 \text{ ft}^2$$

$$V_p = \frac{Q}{A_D} = \frac{2025 \text{ CFM}}{0.785 \text{ ft}^2} = 2580 \text{ fpm}$$

강의 6. Fan Fundamentals

□ 팬의 기초

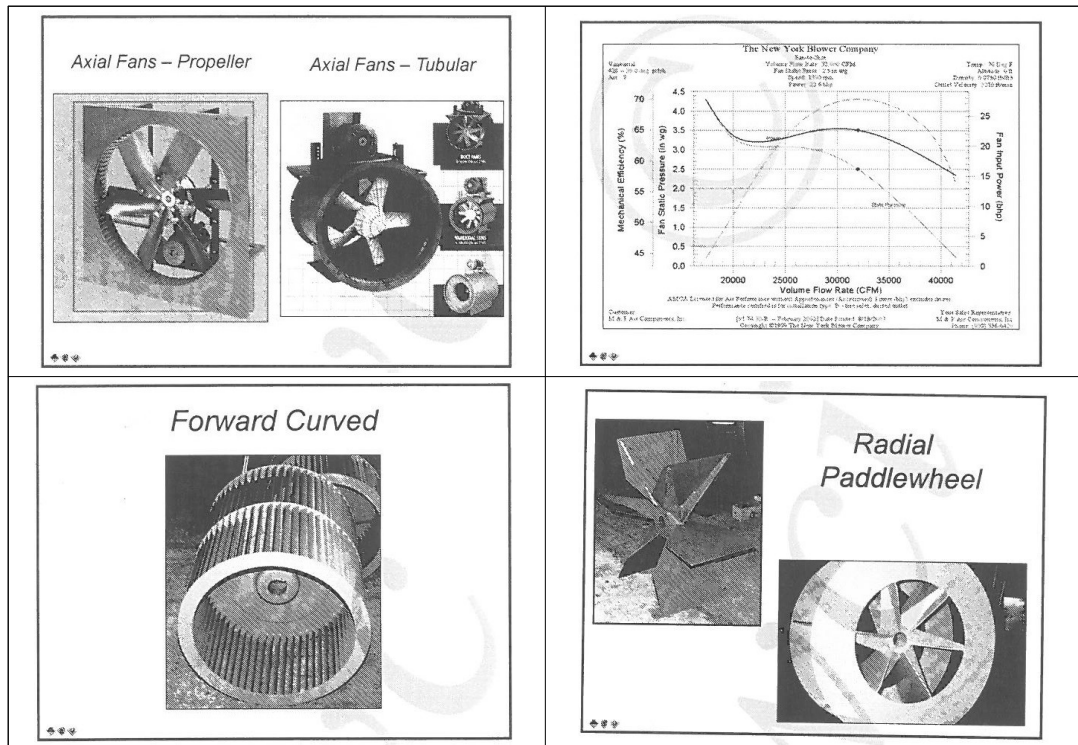
- 우리나라와 유사하게 미국도 환기팬은 축류팬과 원심력팬으로 구분함
- 팬의 다양한 형태를 보여주며, 미국에서도 송풍기 성능곡선은 매우 중요하게 다루고 있음
- ※ 국내에서 국소배기장치가 포함된 유해위험방지계획서를 제출받을 때 송풍기 성능곡선은 필수로 받아서 보관해야 할 것으로 판단됨

① Axial Fans

- Propeller Fans, Tubular Fans

② Centrifugal Fans

- Forward Curved
- Backward Inclined
- Radial
- Radial Tip



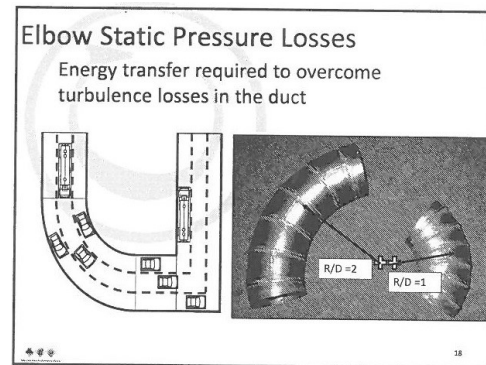
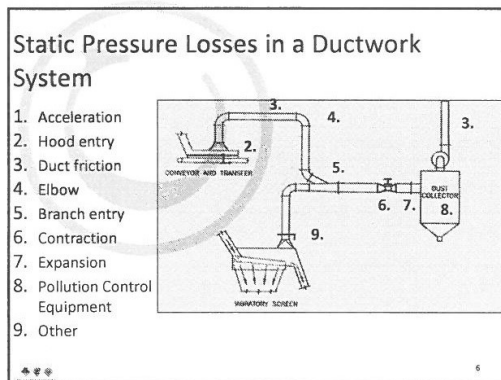
강의 7. Duct Design

□ 덕트 설계

○ 우리나라와 마찬가지로 미국에서도 가능하면 덕트는 짧고, 굴곡은 없도록 효율이 높이는 등 정압을 줄이는 방법으로 설계하는 것을 권장함

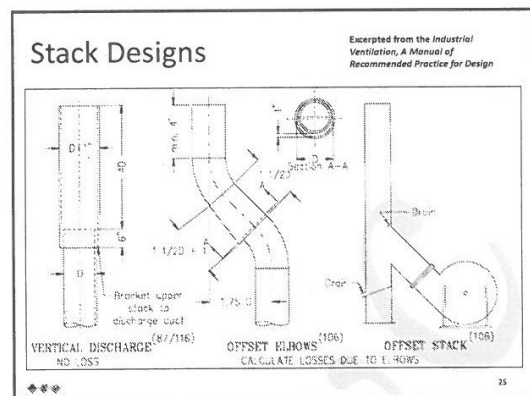
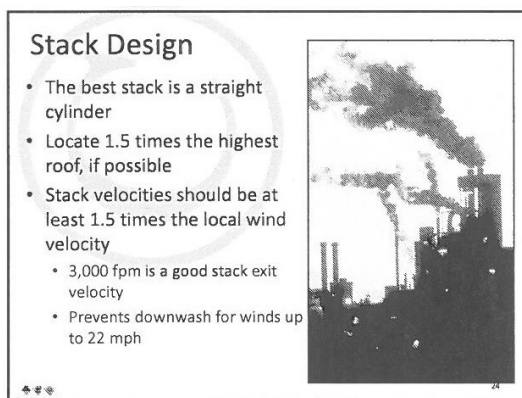
○ 덕트 설계에 있어 정압손실에 관여하는 요소

- | | | |
|---------|----------|------|
| ① 가속화 | ⑤ 가지관 연결 | ⑨ 기타 |
| ② 후드유입 | ⑥ 덕트 축소 | |
| ③ 덕트 마찰 | ⑦ 덕트 확장 | |
| ④ 곡관 | ⑧ 공기정화장치 | |

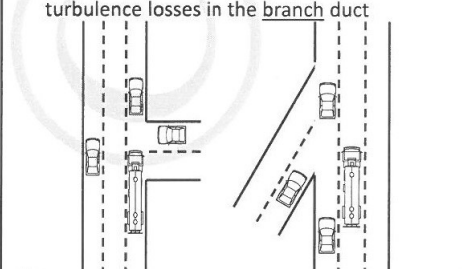
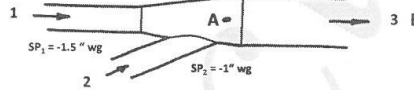
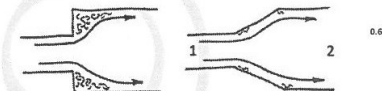


○ 우리나라와는 다르게 미국은 굴뚝의 형태도 중요하게 다루고 있고,

- 굴뚝에서 나가는 속도 또한 국내는 '15-3-15법칙'에 따라 15m/s를 권장하는 반면, 미국에서는 해당 지역에서 부는 바람 속도의 최소 1.5배 이상을 권장하고 있음



○ 합류관, 확장 및 축소

Branch Entry Static Pressure Loss Energy transfer required to overcome turbulence losses in the branch duct  30	Duct Balancing Procedure (P 9-23)  • Compare SP_1 with SP_2 At Branch Entry • The Larger Negative SP (SP_1) is the Governing SP_{gov} (Row 48), the lower SP (SP_2) is the Lower SP_{low} (Row 49) • If SP_{gov}/SP_{low} is Less Than 1.2 You Can Pull More Air Through Branch with Smaller SP (SP_{low}) – $Q2 \text{ corrected} = Q2 \text{ original} * (SP_{gov}/SP_{low})^{0.5}$ • If SP_{gov}/SP_{low} is Greater Than 1.2 You Must Redesign To Balance 32
Contractions (Page 9-58)  Abrupt $SP_{cont} = - [(\Delta VP) + F_{cont} (VP_2)]$ Tapered $SP_{cont} = - (\Delta VP) (1 + F_{cont})$ • First term: Static Pressure is converted to Velocity Pressure • Second term: Dynamic Loss as Conversion is not 100% efficient • F_{cont} is a loss factor and depends on taper angle 3	Expansions (Page 9-58)  • $SP_2 - SP_1 = SP_{exp}$ • $SP_{exp} = F_{exp} (\Delta VP_p)$ • SP increases (regains) that occurs when airflow slows and velocity pressure is converted into static pressure • F_{exp} depends on taper angle and ratio of duct diameters 6

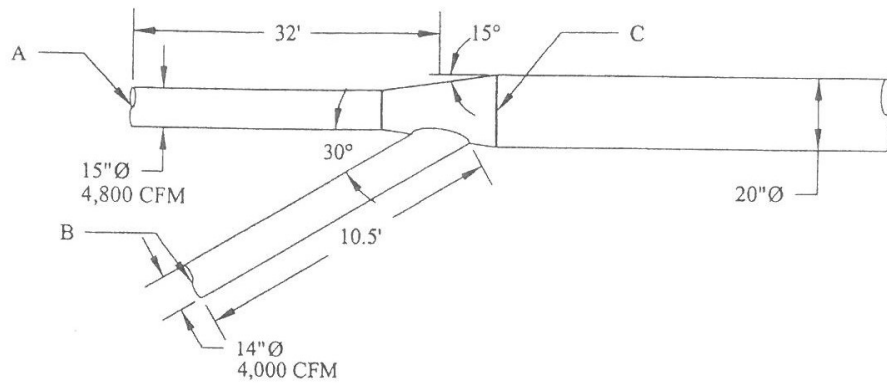
실습. Duct Design

○ 문제 8. Merging a Branch Duct into a Main Duct

- 메인 덕트에 가지덕트가 합류한 이후 유량, 속도, 정압 구하기

Unbalanced System – Change Flow in One Branch

Find: The flowrate (cfm), velocity (fpm) and static pressure (sp) at Junction C for a balanced system



$$\begin{aligned}
 & \text{Main Duct (A): } 20" \text{ } \leftarrow 4800 \text{ CFM, } sp = 2.12 \\
 & \text{Branch Duct (B): } 14" \text{ } \leftarrow 4000 \text{ CFM, } sp = 1.98 \\
 & \text{Junction C: } 20" \text{ } \rightarrow \text{ } \\
 & \text{Static Pressure at Junction C: } 2.12 - 0.15 = 2.12 \\
 & \text{Static Pressure at Junction C: } 1.98 + 0.15 = 2.13 \\
 & \text{Flow Rate at Junction C: } \sqrt{\frac{2.12}{2.12}} (4800) = 4638 \\
 & \text{Flow Rate at Junction C: } \sqrt{\frac{2.13}{1.98}} (4000) = 4139 \\
 & \text{Total Flow Rate at Junction C: } 4638 + 4139 = 8777
 \end{aligned}$$

CM&P Air Components, Inc. sales@cmput.com		Version 1.02 2018		Industrial Ventilation System Calculation Sheet - ACGIH® Balance By Design Method										
Project: Foundations: Multiple Hoods, Change Flow				*User Input Data			*SP Out		*df-fan		Eqv SSP		*ACFM Fan	
Date:				*Elevation			*SP In		inlet duct		#DIV/0!			
Designer:				*Temperature			*VP In		SSP *wg					
				Each Segment										
				*F			70.0		70.0		70.0			
7*		Duct Segment Identification					A-C		B-C		C-D			
8*	Q	Duct Flowrate					4800		4000		9083			
9*	V _t	Minimum Transport Velocity					fpm							
10	df	Density Factor (elevation, temperature; duct pressure only at fan)		Eqn 2			1.0000		1.0000		1.0000			
11	ρ	Airstream Density		Ln 10 x 0.075			lb-cu ft		0.0750		0.0750		0.0750	
12	m	Mass Flowrate		Ln 8 x Ln 11			lb/min		360.00		300.00		681.23	
13	A _t	Target Duct Area		Ln 8 + Ln 9			ft ²							
14	D _t	Maximum Duct Diameter					in							
15*	D _s	Selected Duct Diameter					in		15.0		14.0		20.0	
16	A _d	Selected Duct Area					ft ²		1.2272		1.0690		2.1817	
17	V _d	Duct Velocity		Ln 8 + Ln 16			fpm		3911		3742		4163	
18	VP _d	Duct Velocity Pressure		Eqn 4			*wg		0.95		0.87		1.08	
19*	-	Segment Pressure; Insert -1 if negative, +1 if positive							-1		-1		-1	
20*	A _s	Slot Area					ft ²							
21*	F _s	Slot Loss Factor (Fig 9-a or Chapter 6 or 13)												
22	V _s	Slot Velocity		Ln 8 + Ln 20			fpm							
23	VP _s	Slot Velocity Pressure		Eqn 4			*wg							
24	-	Slot Loss		Ln 21 x Ln 23			*wg							
25*	F _h	Hood Entry Loss Factor (Fig 9-a or Chapter 6 or 13)							0.93		0.93			
26	O	Hood Entry Loss		Ln 25 x Ln 18			*wg		0.89		0.81			
27	S	Acceleration Entry Loss (greater of vp-duct or vp-slot)					*wg		0.95		0.87			
28*	-	Other Losses (correct input for density factor)					*wg							
29	SP _h	Hood Static Pressure		Ln 24+26+27+28			*wg		1.84		1.68			
30*	L	Straight Duct Length (Metal, Plastic)					ft		32.0		10.5			
31	F _d	Duct Friction Loss Factor per Foot (Metal, Plastic)		Eqn 8					0.0141		0.0154			
32*	L	Straight Duct Length (Flexible)					ft							
33	F _d	Duct Friction Loss Factor per Foot (Flexible)		Eqn 8										
34*	-	No. of 90° Elbows												
35*	F _{el}	Elbow Loss Factor (Per Elbow)		Table 6										
36*	F _{el}	Branch Entry Loss Factor		Table 7					0.18					
37*	-	Special Fitting Loss Factor (Cumulative)												
38	-	Cumulative Duct Friction Loss Factor		(30x31)+(32x33)					0.45		0.16			
39	-	Cumulative Elbow Loss Factor		Ln 34 x Ln 35										
40	-	Branch Entry Loss Factor		Ln 36							0.18			
41	-	Cumulative Duct & Fittings Loss Factors		Ln 37+38+39+40					0.45		0.34			
42	-	Duct & Fittings Segment Loss		Ln 41 x Ln 18			*wg		0.43		0.30			
43*	-	Other Losses (Correct for Density Factor if Necessary)					*wg							
44*	VP _r	Weighted Average VP		Eqn 9			*wg		0.97					
45*	-	Loss From Weighted Average VP Increase		18-44 (if=0)			*wg				0.11			
46	-	Duct Segment Pressure Loss		(29+42+43+45)(19)			*wg		-2.27		-1.98		-0.11	
47*	SP _{com}	Cumulative Static Pressure					*wg		-2.27					
48*	SP _{high, gov}	Higher (Governing) Static Pressure					*wg		-2.27					
49*	SP _{low}	Lower Static Pressure					*wg		(-1.98)					
50	Q _{corr}	Corrected Volumetric Flowrate		Eqn 10			acfm		4800		4283		9083	
51	V _{corr}	Corrected Velocity		Ln 50 + Ln 16			fpm		3911		4006		4163	
52	VP _{corr}	Corrected Velocity Pressure		Eqn 4			*wg		0.95		1.00		1.08	
53	m _{corr}	Corrected Mass Flowrate		Ln 11 x Ln 50			lb/min		360.00		321.22		681.23	
54	SP _{em}	Cumulative Static Pressure		Ln 47			*wg		(-2.27)					
55*	T ₃	Combined Airstream Temp; Insert in Row 6 of next Column		Eqn 12			°F							
56*	T ₁													
57*	m ₁													

0.97

$Q_{corr} = Q_{low} \sqrt{\frac{SP_{high}}{SP_{low}}} = 4000 \sqrt{\frac{2.27}{1.00}} = 4583$

$VP_r = \frac{Q_1}{Q_2} VP_1 + \frac{Q_3}{Q_2} VP_3 = \frac{4800}{9083} (0.95) + \frac{4283}{9083} (1.00) = 0.97$

www.industrialventconference.com

○ 문제 9. Duct Contraction & Expansions

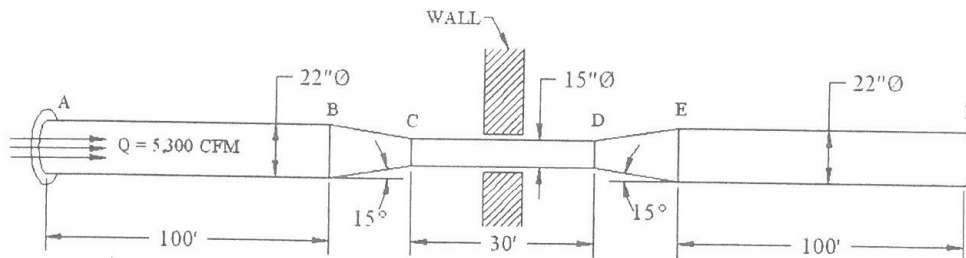
- 덕트 축소 및 확장

Changes in Duct Diameters

Given: The static pressure for segments A → B, C → D, and E → F

Find: The static pressure loss from the Contraction, B → C

The static pressure regain from the Expansion, D → E



P_T	SP	VP	TP
A	0	0	0
B	-0.63	+0.25	-0.38
C	-1.61	+1.16	-0.45
D	-2.10	+1.16	-0.94
E	-1.46	+0.25	-1.21
F	-1.69	+0.25	-1.44

$$SP_{cont} = -(\Delta VP)(1 + F_{cont})$$

$$= -(1.16 - 0.25)(1 + 0.08)$$

$$= -0.98$$

$$SP_c - SP_B$$

$$SP_{Exp} = F_{Exp}(\Delta VP)$$

$$D_E/D_B = 22/15 = 1.5$$

$$F_{Exp} = 0.1$$

$$SP_{Exp} = SP_E - SP_D$$

$$= 0.1 | -0.94 | = 0.64$$

$$0.91$$

$$\uparrow$$

$$1.16 - 0.25$$

©M&P Air Components, Inc. sales@mpair.com		Version 1.02 2018		Industrial Ventilation System Calculation Sheet - ACGIH® Balance By Design Method														
Project: Foundations: Contraction & Expansion				*User Input Data				*SP Out		*wg		*d.f.fan inlet duct		Eqv SSP		*ACFM Fan Inlet		
Date:								*SP In		*wg				Eqv SSP		*ACFM Fan Inlet		
Designer:				*Elevation				*VP In		*wg		SSP *wg		#DIV/0!				
				*Temperature														
7*		Duct Segment Identification		-	-	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F								
8*	Q	Duct Flowrate		-	acfm	5300	5300	5300	5300	5300								
9*	V _t	Minimum Transport Velocity		-	fpm													
10	df	Density Factor (elevation, temperature; duct pressure only at fan)		Eqn 2	-	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000								
11	p	Airstream Density		Ln 10 x Ln 0.075	lb-cu ft	0.0750	0.0750	0.0750	0.0750	0.0750								
12	m	Mass Flowrate		Ln 8 x Ln 11	lb/min	397.50	397.50	397.50	397.50	397.50								
13	A _t	Target Duct Area		Ln 8 + Ln 9	ft ²													
14	D _t	Maximum Duct Diameter			in													
15*	D _s	Selected Duct Diameter			in	22.0	15.0	15.0	22.0	22.0								
16	A _d	Selected Duct Area			ft ²	2.6398	1.2272	1.2272	2.6398	2.6398								
17	V _d	Duct Velocity		Ln 8 + Ln 16	fpm	2008	4319	4319	2008	2008								
18	VP _d	Duct Velocity Pressure		Eqn 4	"wg	✓ 0.25	1.16	1.16	0.25	0.25								
19*	-	Segment Pressure: Insert -1 if negative, +1 if positive		-	"wg	-1	-1	-1	-1	-1								
20*	A _s	Slot Area		-	ft ²													
21*	F _s	H	S	Slot Loss Factor (Fig. 9-a or Chapter 6 or 13)		-	-											
22	V _s	O	O	Slot Velocity		Ln 8 + Ln 20	fpm											
23	VP _s	D	T	Slot Velocity Pressure		Eqn 4	"wg											
24	-	Slot Loss		Ln 21 x Ln 23	"wg													
25*	F _h	L	L	Hood Entry Loss Factor (Fig. 9-a or Chapter 6 or 13)		-	0.56											
26	-	O	O	Hood Entry Loss		Ln 25 x Ln 18	"wg	0.14										
27	-	S	S	Acceleration Entry Loss (greater of vp-duct or vp-slot)		"wg	0.25											
28*	-	S	S	Other Losses (correct input for density factor)		-	"wg											
29	SP _h	Hood Static Pressure		Ln 24+26+27+28	"wg	0.39												
30*	L	L	L	Straight Duct Length (Metal, Plastic)		ft	100.0		30.0		100.0							
31	F _d	O	O	Duct Friction Loss Factor per Foot (Metal, Plastic)		Eqn 8	0.0093		0.0140		0.0093							
32*	L	S	S	Straight Duct Length (Flexible)		ft												
33	F _d	O	O	Duct Friction Loss Factor per Foot (Flexible)		Eqn 8												
34*	-	F	F	No. of 90° Elbows		-												
35*	F _{el}	A	A	Elbow Loss Factor (Per Elbow)		Table 6												
36*	F _{en}	C	C	Branch Entry Loss Factor		Table 7												
37*	-	T	T	Special Fitting Loss Factor (Cumulative)														
38	-	O	O	Cumulative Duct Friction Loss Factor		(30x31)+(32x33)	0.93		0.42		0.93							
39	-	R	R	Cumulative Elbow Loss Factor		Ln 34 x Ln 35												
40	-	S	S	Branch Entry Loss Factor		Ln 36												
41	-	R	R	Cumulative Duct & Fittings Loss Factors		Ln 37+38+39+40	0.93		0.42		0.93							
42	-	L	L	Duct & Fittings Segment Loss		Ln 41 x Ln 18	"wg	0.23	0.49		0.23							
43*	-	O	O	Other Losses (Correct for Density Factor if Necessary)		"wg		0.98		0.64								
44*	VP _r	S	S	Weighted Average VP		Eqn 9	"wg											
45*	-	S	S	Loss From Weighted Average VP Increase		18.44 (if=0)	"wg											
46	-	Duct Segment Pressure Loss		(29+42+43+45)(19)	"wg	✓ -0.63	-0.98	-0.49	0.64	-0.23								
47*	SP _{sum}	Cumulative Static Pressure		-	"wg	-0.63	-1.61	-2.10	-1.46	-1.69								
48*	SP _{high, gov}	Higher (Governing) Static Pressure		-	"wg													
49*	SP _{low}	Lower Static Pressure		-	"wg													
50	Q _{corr}	Corrected Volumetric Flowrate		Eqn 10	acfm	5300	5300	5300	5300	5300								
51	V _{corr}	Corrected Velocity		Ln 50 + Ln 16	fpm	2008	4319	4319	2008	2008								
52	VP _{corr}	Corrected Velocity Pressure		Eqn 4	"wg	✓ 0.25	1.16	1.16	0.25	0.25								
53	m _{corr}	Corrected Mass Flowrate		Ln 11 x Ln 50	lb/min	397.50	397.50	397.50	397.50	397.50								
54	SP _{sum}	Cumulative Static Pressure		Ln 47	"wg	✓ -0.63	-1.61	-2.10	-1.46	-1.69								
55*	T ₃	Combined Airstream Temp; Insert in Row 6 of next Column		Eqn 12	°F													
56*	T ₁	T ₁	T ₂	T ₃	#DIV/0!													
57*	m	m ₁	m ₂															

EQUATIONS

ω = lb H₂O / lb Dry Air

df = (df_s) (df_p) (df_t) (df_m)

df_s = [1 - (6.73 x 10⁻⁶) (z)]^{1.258}

df_p = (407 + SP) / 407

df_t = (530) / (460 + T)

df_m = (1 + ω) / [1 + (1.607ω)]

Q_{ad} = [Q_{ad} / (1 + ω)] (df)

Q_{ad} = [(Q_{ad}) (1 + ω)] / df

V = (4005) (VP / df)^{0.5}

VP = (V / 4005)² (df)

h = 0.24T + ω(1061 + 0.444T)

Loss Factors, F_{el} - Round Elbows

R/D	1.00	1.50	2.00
Stamped	0.22	0.15	0.13
5 pc	0.33	0.24	0.19
4 pc	0.37	0.27	0.24
3 pc	0.42	0.34	0.33

Mitered, no vanes = 1.2

Mitered, turning vanes = 0.6

Flatback (R/D, 2.5) = 0.05

See Chapter 9, Fig 9-c for rectangular and square elbows

Loss Factors, F_{en} - Branch Entry

Angle	F _{en}
15	0.09
30	0.18
45	0.28
50	0.32
60	0.44
90	1.00

Duct Friction Loss Factor, F_d

F_d (met, plas) = 0.0307 (V^{0.533} / Q^{0.612})

F_d (flex) = 0.0311 (V^{0.606} / Q^{0.639})

Weighted Avg Velocity Pressure, VP_r

VP_r = [(Q₁ / Q₂) (VP₁)] + [(Q₂ / Q₂) (VP₂)]

Corrected Volumetric Flowrate, Q_{corr}

Q_{corr} = Q_{design} (SP_{high} / SP_{low})^{0.5}

System SP = SP_{out} - SP_{in} - VP_{in}

Fan SP = SP_{out} - SP_{in} - VP_{in}

Combined Temperature, Dry Airstreams

T₃ = [(m₁) (T₁) + (m₂) (T₂)] / (m₁ + m₂)

강의 7. Fans & Systems

□ 송풍기 상사법칙

○ 송풍기 회전수와 송풍량, 송풍기정압, 축동력 간의 상관관계

구 분	내 용
풍량(Q)	$Q_2 = Q_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right) = Q_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3$
정압(P)	$P_2 = P_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 = P_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2$
동력(L)	$L_2 = L_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 = L_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5$

여기서, 회전수 : N(rpm)

임펠러 직경 : D(mm)

Fan Affinity Law: Airflow

❖ Fan airflow varies directly with the change in RPM

$$\frac{Airflow_{new}}{Airflow_{old}} = \frac{RPM_{new}}{RPM_{old}}$$

Fan Affinity Law: Pressure

❖ Fan pressure varies with the square of the change in flow or speed

$$\frac{Pressure_{new}}{Pressure_{old}} = \left(\frac{CFM_{new}}{CFM_{old}} \right)^2$$

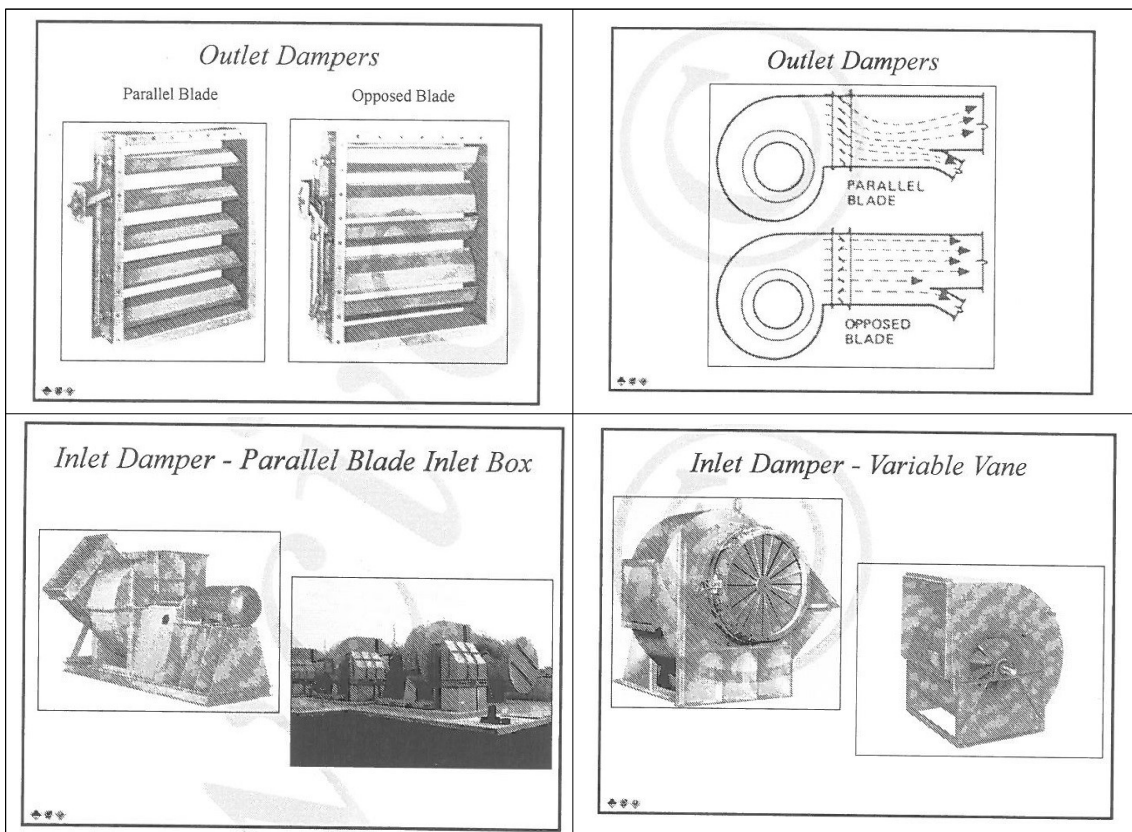
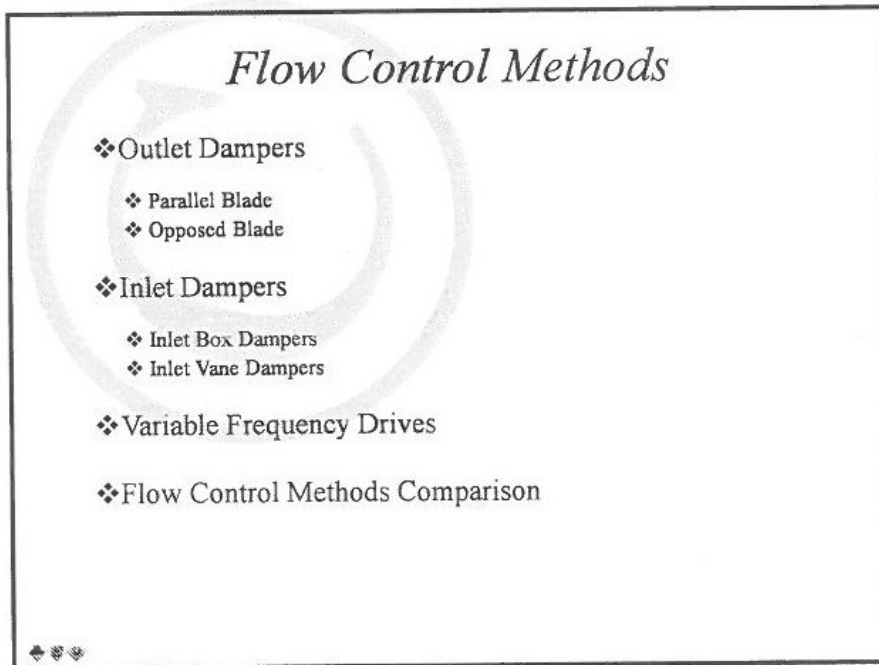
Fan Affinity Law: Power

❖ Fan power varies with the cube of the change in flow or speed

$$\frac{HP_{new}}{HP_{old}} = \left(\frac{CFM_{new}}{CFM_{old}} \right)^3$$

□ 기류 제어방법

○ 댐퍼 조절방법 등



강의 8. Fan Performance & Fan System Effects

□ 팬과 시스템 사이의 관계

- 팬과 연결된 굴뚝의 최종 방향이 팬 회전과 같은 방향으로 설치할 때와 반대방향으로 설치할 때 정압이 차이가 있음
 - 팬 회전방향과 같은 방향일 경우 정압 손실이 적게 나타남 (실습)

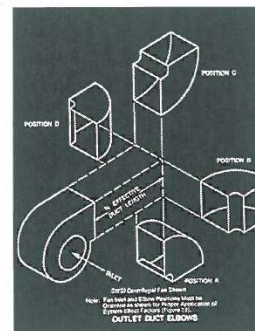
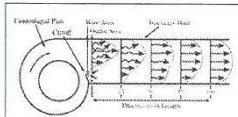
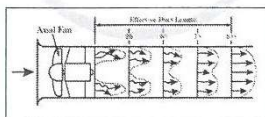


Fan Outlet Distribution

Airflow Exiting the Fan Housing Incurs a Static Pressure Loss. Since *Static and Velocity Pressures are Mutually Convertible* -

When There is No Ducting on the Fan Outlet, the Static Pressure Loss Occurs at the Expense of Velocity Pressure and the *System Flow Rate Decreases*.

When there is a Straight "Recovery" Duct at the Fan Discharge, the Static Pressure Loss is Recovered as Velocity Pressure and the *System Flow Rate is Maintained*.



실습. Fan Performance & Fan System Effects

○ 문제 10. Fan System Effects – System Effects on Fan Performance

Turbulent Flow System – Increase Flow Rate 10%

Given: An industrial ventilation system is operating at 15,000 acfm, 12 "wg system static pressure, 35.1 hp and a fan speed of 2321 rpm.

Increase the system capacity by 10%

Find: Using the Fan Affinity Laws, find

$$Q_1 = 15,000$$

$$Q_2 = 15,000 \times 1.1 = 16,500 \text{ cfm}$$

The new flow rate

The new system static pressure

$$P_1 = 12 \text{ "wg}$$

$$P_2 = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^2 (P_1) = \left(\frac{16500}{15000}\right)^2 \times 12$$
$$= \cancel{12.2} \text{ } 14.5 \text{ "wg}$$

The new fan speed

$$P_{WR1} = 35.1$$

$$P_{WR2} = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^3 \cdot P_{WR1}$$
$$= \left(\frac{16500}{15000}\right)^3 \cdot 35.1 =$$

The new horsepower



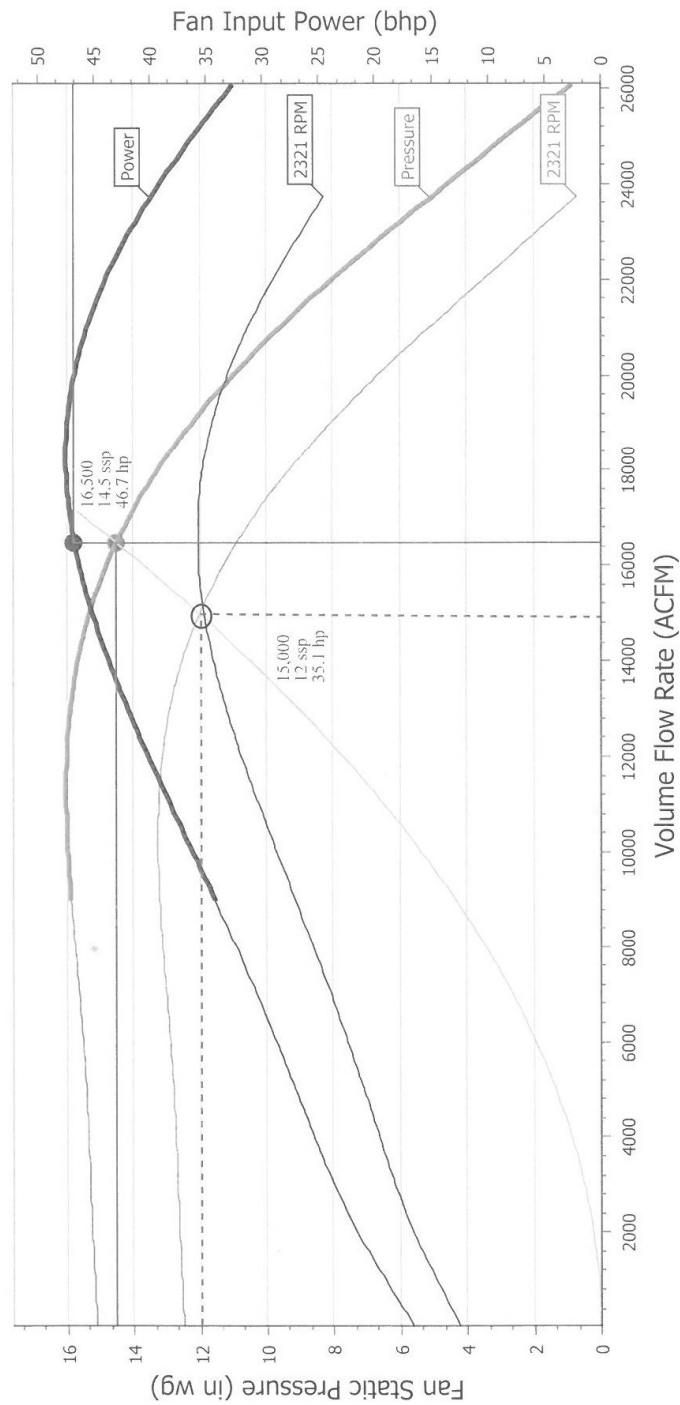
The New York Blower Company
Fan-to-Size
Fan Selection Detail

Product: Backward Inclined SWSI Class 4
Material: Carbon Steel
Fan Size: 27, Fan Class: 4
Arrangement: 1
Wheel Type: Backward Inclined (airfoil: ACF/ECF) - ACF
Options: None

Volume Flow Rate: 16500 ACFM
Fan Static Pressure: 14.5 in wg
Speed: 2552 rpm
Power: 46.7 bhp

Inlet Temperature: 70 °f
Altitude: 0 ft
Density: 0.0750 lb/ft³
Outlet Velocity: 3938 ft/min

Additional fan speeds shown: 2321 RPM.



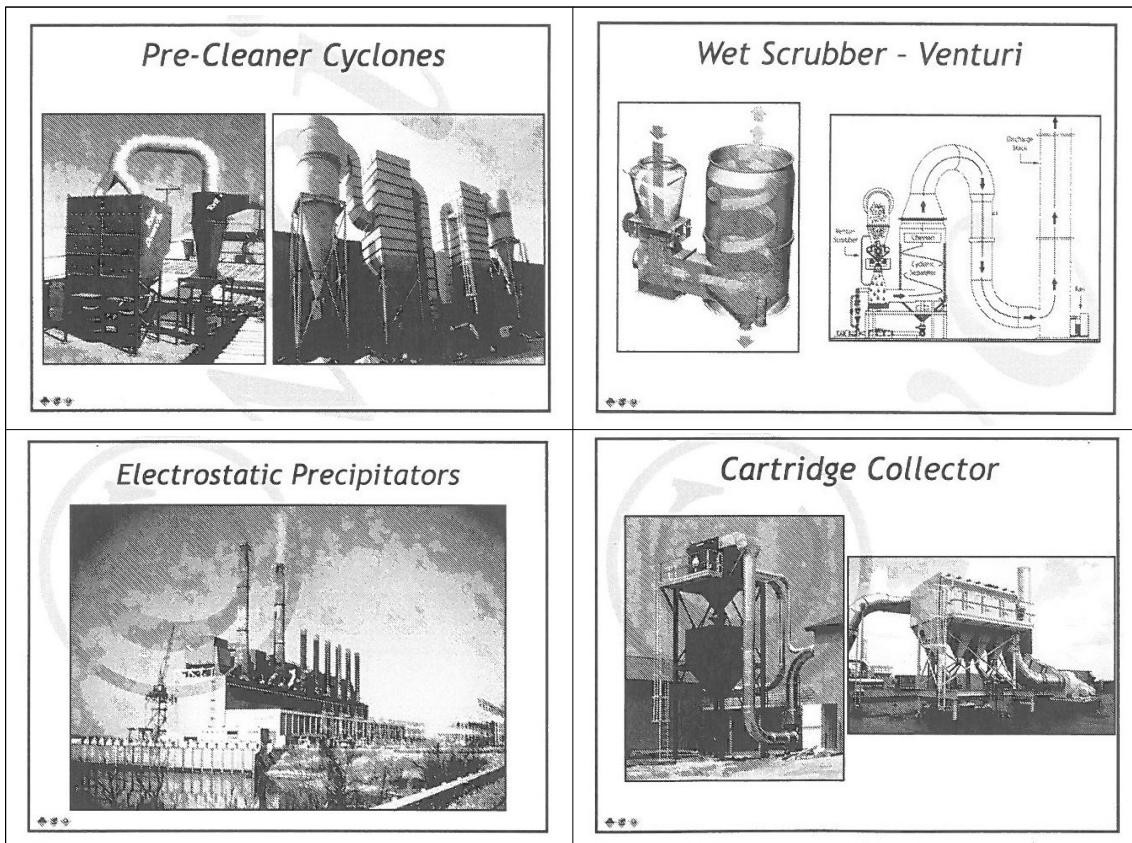
AMCA Licensed for Air Performance without Appurtenances (Accessories). Power HP (bhp) excludes drives. Performance certified is for installation type: B - free inlet, ducted outlet.

15,000 @ 12 sp @ 2321 rpm @ 35.1 hp

강의 9. APC Equipment

□ 공기정화장치

○ 싸이클론, 스크러버, 전기집진, 백필터 등 다양한 공기정화장치를 소개함

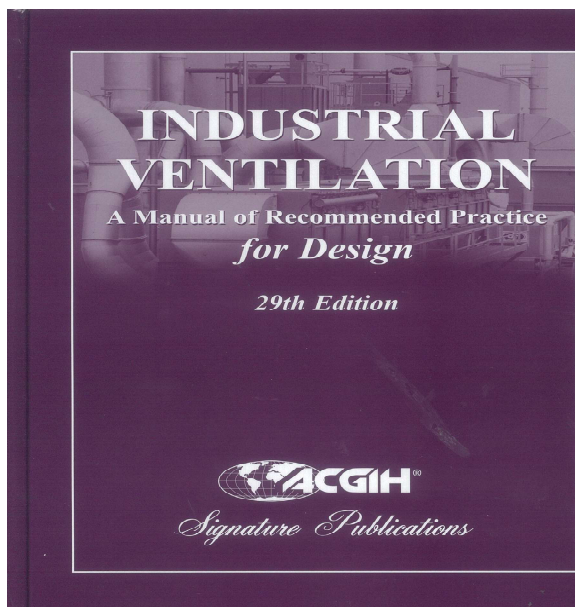


Ⅲ. 시사점 및 특이사항

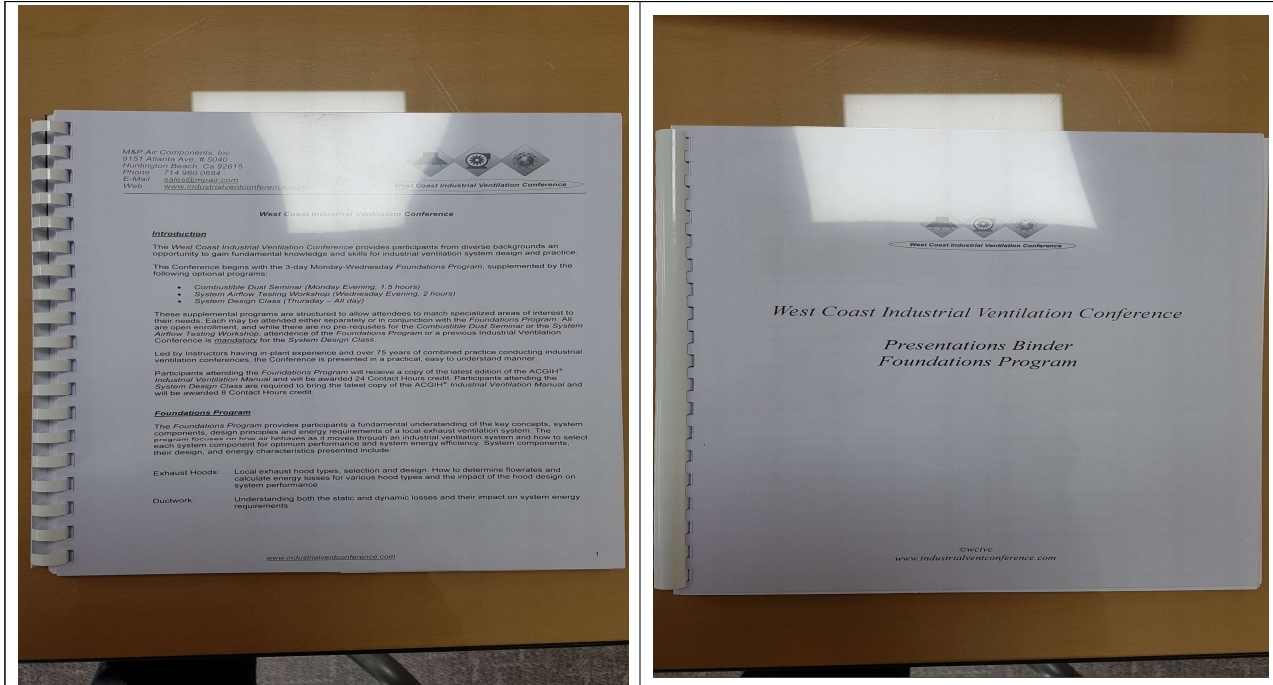
- 국소배기장치 등 우리나라 유해위험방지계획서 심사·확인 방법과 미국 ACGIH 국소배기장치 설계방법을 비교하면서 명확한 적용이 어려운 케이스별 적용방법 비교하고 이론 및 실습을 병행함으로써 방지계획서 심사자로서의 전문성 제고
- 본 과정은 국소배기장치 설계업체 및 컨설팅업체, 사업장 안전보건관리자가 국소배기장치의 설계 및 진단하는 전문화 교육으로 이론 및 실습 교육이 병행 진행
- 최신 이슈가 되는 국소배기장치의 후드, 덕트, 공기정화장치, 송풍기, 배기구 등 각 부분별 선진 외국의 설계방법 강의 및 실습
 - 오염물질의 특성 및 분류, 국소배기장치 후드, 덕트, 공기정화장치, 송풍기, 배기구 등의 전반적 기준은 우리나라와 거의 동일하며, 도금조의 푸쉬풀 후드의 경우 미국도 명확한 기준이 없으며 작업상황별 실험치 등을 근거로 제시하고 있음.

Ⅳ. 수집자료 - 별도책자

- 미국 ACGIH, Industrial Ventilation, 29th Edition



○ 「West Coast Industrial Ventilation Conference」, M&P Components(주)
교재 및 실습자료



V. 선물 수령 및 신고여부 : 해당없음

VI. 첨부자료

<붙임1> 과정 이수 수료증

<붙임2> 교육관련 사진

〈붙임1〉 서부지역 산업환기 컨퍼런스 전문화 교육 과정 수료증 2부

Certificate - 김진영



Certificate - 장재필



〈붙임2〉 교육 관련 사진

