산업환기 시스템 개론

제 1 장 국소배기 개요

1. 국소배기(Local exhaust ventilation)란?

국소배기는 발생원에서 방출된 유해물질이 작업장내로 확산되기 전에 발생원 근처에서 포집 제거하는 환기방식을 말한다.

예를 들어, 가정에서 조리용 가스레인지에서 발생되는 음식 냄새를 효과적으로 배출시키기 위하여 설치하는 부엌의 후드와 같이 레인지 위의 냄비(발생원)에서 발생되는 음식 냄새(유해물질)를 주변으로 확산되기 전 곧바로 배기시키는 것이 국소배기이다.

2. 국소배기의 적용

(1) 유해물질의 발생량이 많을 경우
(2) 유해물질의 독성이 강한 경우
(3) 근로자의 작업위치가 유해물질 발생원에 근접해 있을 경우
(4) 발생주기가 균일하지 않은 경우
(5) 발생원이 고정되어 있을 경우
(6) 법적으로 국소배기시설을 꼭 설치해야 하는 경우

3. 국소배기의 특징

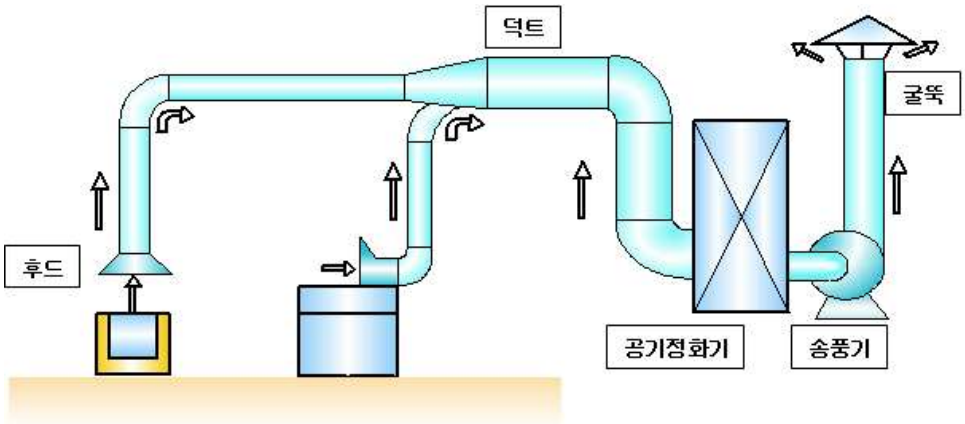
(1) 전체환기시설은 일반적으로 유해물질을 다량의 공기로 희석하므로 유해물질이 제거되지 않고 농도만 낮아지나, 국소배기시설은 발생원에서 유해물질을 제거 할 수 있다.
(2) 필요환기량이 적어 실내에서 배출되는 공기량이 적고, 따라서 보충되어야 할 급기량도 적어지므로 냉난방 비용면에서 전체환기시설보다 경제적이다.
(3) 유해물질이 소량의 공기 중에 고농도로 포함되어 있으므로 공기정화기를 설치하는데 있어서 경제적이다.
(4) 유해물질이 작업장 내로 배출되지 않으므로 유해물질에 의해 기계,

기구, 제품 등이 손상되거나 부식되지 않으며, 유지관리가 용이하다.

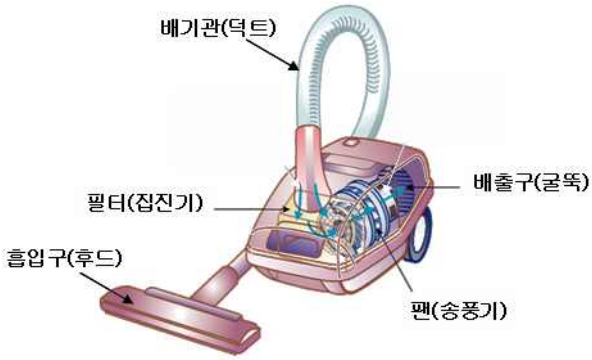
(5) 발생원에 근접하여 배기시키기 때문에 방해기류나 부적절한 급기흐름의 영향을 적게 받는다.

4. 국소배기장치의 구성요소

국소배기장치는 [그림 1-1]과 같이 5개의 요소가 하나의 시스템으로 구성되며, 이는 가정용 진공청소기의 구성을 생각해 보면 보다 쉽게 이해할 수 있다.



(a) 국소배기장치의 구성요소



(b) 가정용 진공청소기 구조

[그림 1-1] 국소배기장치의 구성요소

가정용 청소기와 같이 먼지(유해물질)를 포집하는 후드(Hood), 함진 공기를 이송시키는 통로 역할을 하는 덕트(Duct), 먼지를 정화시켜주는 공기정화기(Air cleaning device), 공기 이송에 필요한 동력을 제공해주는 송풍기(Fan), 정화된 공기를 외부로 배출시켜주는 굴뚝(Stack) 등으로 구성되는데, 공기정화기의 경우

에는 대기환경보전법에 의해서 일정 용량 이상의 오염물질을 사용하는 경우에 설치하고 있다.

제 2 장 후드(Hood)

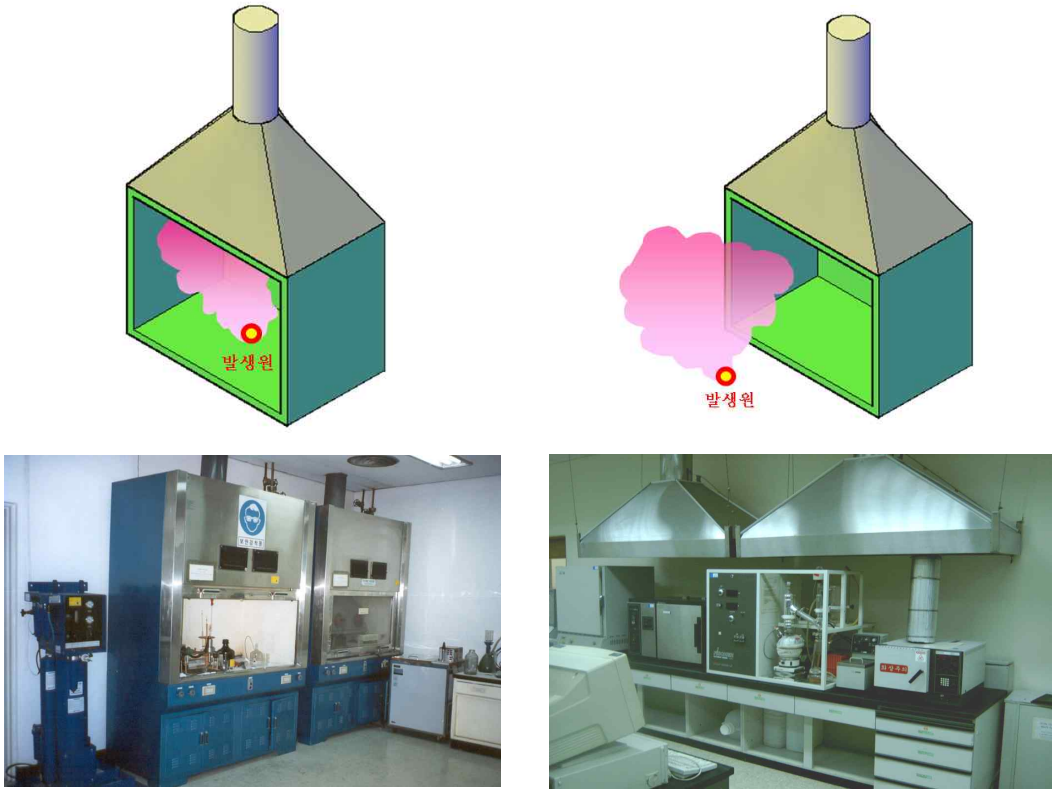
1. 후드(Hood)란?

작업환경 중 발생되는 유해물질이 주변으로 비산되는 것을 방지하기 위해 비산 범위 내의 오염공기를 발생원에서 직접 포집하기 위한 국소배기장치의 입구부를 후드(Hood)라 한다.

2. 후드의 종류

후드의 모양과 크기는 작업형태, 유해물질의 특성 및 발생특성, 작업공간의 크기 등에 따라 달라질 수 있으며, 설치비용과 효과 측면을 고려한 설계자의 관점에 따라 다양하게 설계가 가능하다.

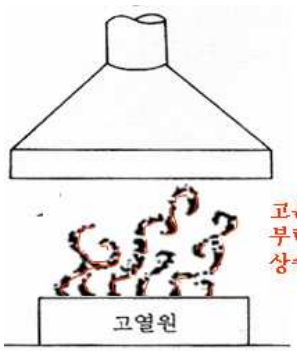
하지만 설계되는 후드의 동작원리에 따라 크게 구분해 보면, [그림 2-1]과 같이 발생원이 후드 내부에 있느냐 또는 외부에 있느냐의 관점에서 포위식(Enclosing)과 외부식(Exterior)로 구분된다.

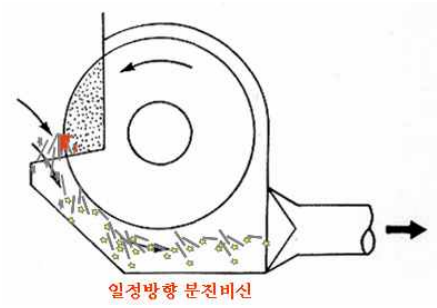


(a) 포위식 (b) 외부식

[그림 2-1] 후드의 구분

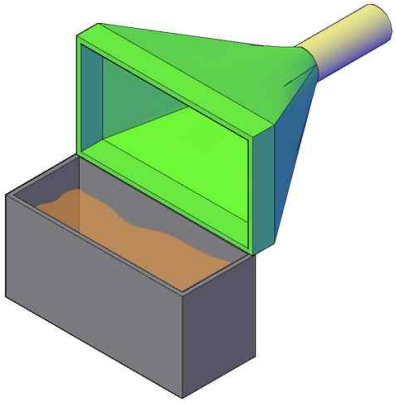
외부식은 [그림 2-2], [그림 2-3]과 같이 고열의 부력에 의한 상승이나 그라인더 표면의 분진 비산과 같이 일정한 방향으로 비산될 경우 비산 방향에 후드를 위치시켜 받아내는 레시버형(Receiving)과 후드의 순수 배기력에 의해 유해물질을 포집하는 포집형(Capturing) 후드로 나눌 수 있다. 여기서 포집형 후드의 일종으로서 후드의 부족한 배기력을 보완하기 위하여 발생원에서 배출된 유해물질을 급기류에 의해 배기후드로 유도하는 푸쉬-풀(Push-pull) 후드도 있다.



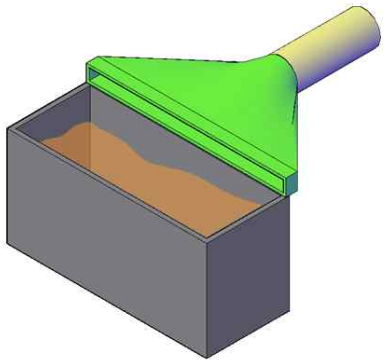


(a) 열원 캐노피 후드 (b) 그라인더 후드

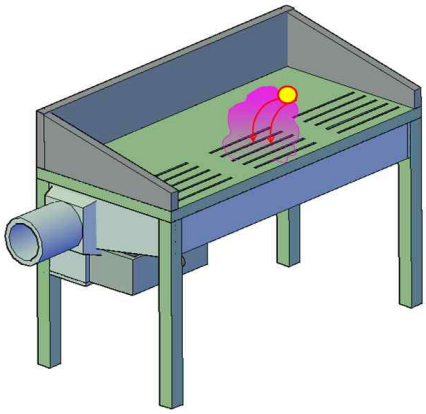
[그림 2-2] 레시버형 후드



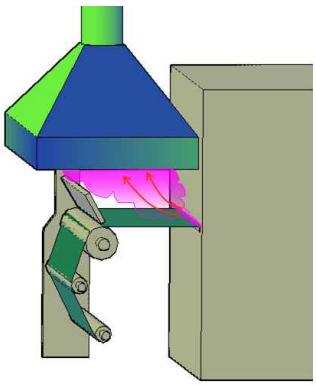
(a) 측방흡인형



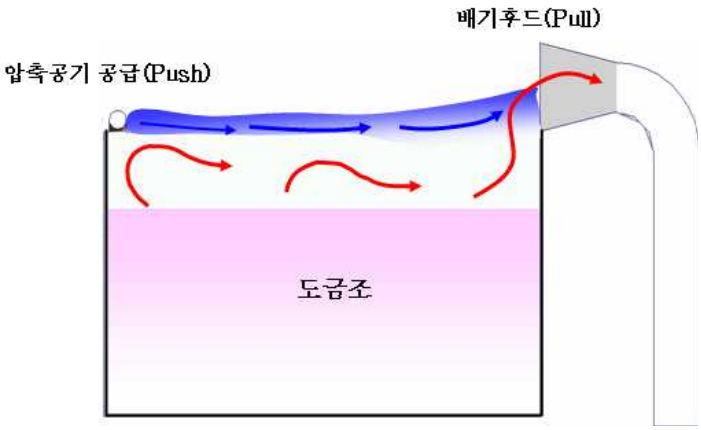
(b) 측방흡인형(슬롯)



(a) 하방흡인형



(b) 상방흡인형



(e) 푸쉬-풀형

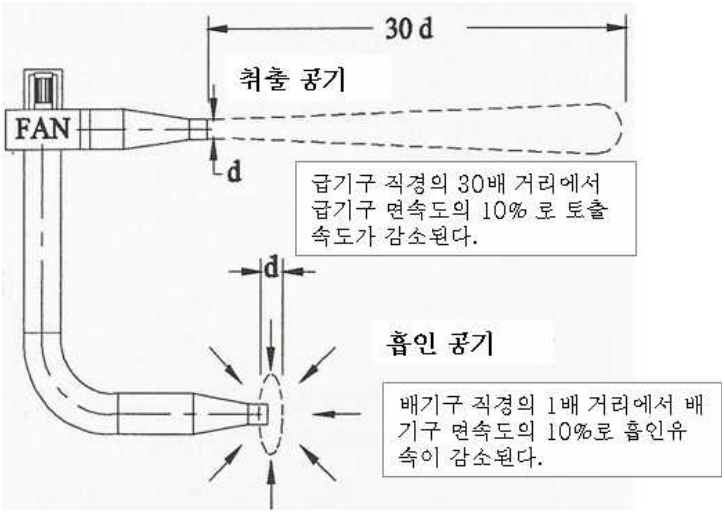
[그림 2-3] 포집형 후드

후드의 효율을 높이기 위해서는 가능한 한 유해물질 발생공정을 많이 에워싸는 것이 바람직하다. 그러나 발생원을 포위함으로써 작업에 방해되어 외부식 후드를 사용할 수밖에 없는 경우가 대부분이며 작업 특성을 고려해 최소의 유량으로 최대 효과를 볼 수 있는 적절한 후드 설계가 반드시 필요하다.

3. 후드의 흡인기류 특성

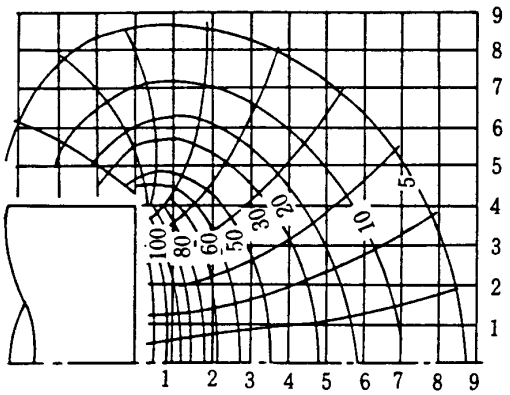
후드는 어떤 특정지점에 대하여 일정한 속도 이상의 공기를 흡인하도록 설치하는 것이다. 즉 후드 개구부가 발생원으로부터 일정한 거리에 있을 경우, 그 거리가 멀어짐에 따라 흡인되는 기류가 적어져서 개구면의 직경과 같은 거리의 전방에서는 거의 흡인력을 잃게 된다.

[그림 2-4]는 급기와 배기의 기류 특성을 비교한 내용으로 급기구에서 토출속도는 급기구 개구면에서 급기구직경의 30배 거리에서 1/10 정도로 감소하는 반면 후드에서 흡인속도는 후드직경만큼 떨어진 거리에서 개구면속도의 1/10 로 감소하게 된다.



[그림 2-4] 급기와 배기의 기류 특성 비교

후드 개구면에서 거리를 여러 등분하여 각 개소에서 속도를 측정하여 보면 [그림 2-5]와 같은 등속도 곡선을 얻게 된다. 이와 같이 후드의 흡인 특성을 이용해 경제적인 후드를 설계할 수 있다.

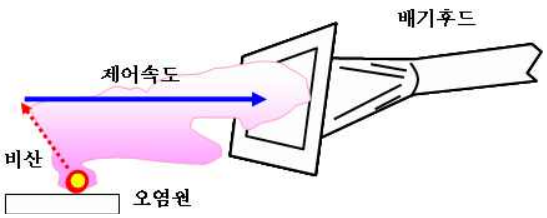


[그림 2-5] 후드의 등속선(Velocity contour) 분포

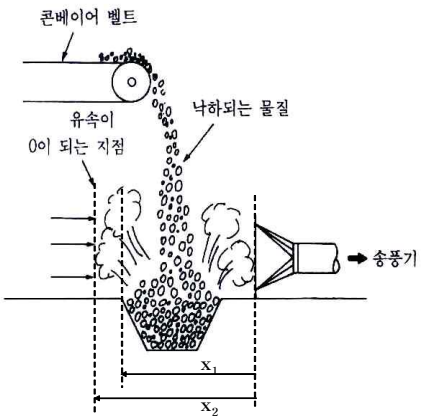
4. 후드 제어속도(Control velocity)

제어속도(Control velocity)는 포착속도(Capture velocity)라고도 하며 [그림 2-6]과 같이 유해물질을 후드 쪽으로 흡인하기 위하여 필요한 최소속도를 말한다. 주변 공기의 유동이 매우 적거나, 유해물질이 발생될 때 운동량이나 열이 거의 없을 때에는 아주 약한 제어속도로 유해물질을 후드 쪽을 흡인할 수 있을 것이다. 그러나 산업현장에서는 방해기류가 아주 강한 경우가 많고, 유해물질도 운동량이나 열부력을 가지고 방출되는 경우가 많기 때문에 상당한 제어속도를 필요로 한다.

여기서, 어느 부분까지 제어속도를 유지시켜야 할지를 결정해야하는데, 후드에서 그 지점까지의 거리를 제어거리라고 한다. [그림 2-7]은 콘베이어 벨트에서 호퍼(Hopper)로 원료를 떨어뜨릴 때 제어속도를 유지시켜야 하는 제어거리는 호퍼 좌측 끝단까지의 거리(X_1)가 아니라 원료가 낙하하면서 발생된 먼지가 튀겨나가다가 정지하는 지점까지의 거리(X_2)이다.



[그림 2-6] 제어속도



[그림 2-7] 제어거리

우리나라에서 주로 사용하는 제어속도 관련자료는 [표 2-1]에 나타낸 바와 같이 미국산업위생사협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists : ACGIH)에서 발간한 자료이다. 주변여건과 유해물질 발생 특성 등 여러 가지 인자를 고려하여 만든 자료이긴 하지만, 그 범위가 대단히 넓고 아주 정성적인 판단을 요구하기 때문에 후드 배기량 산정 시 어려움이 큰 것으로 인식되고 있다.

<표 2-1> ACGIH에서 권고하는 제어속도 범위

(단위:m/sec)

작업조건	작업공정 사례	제어속도
움직이지 않는 공기 중으로 속도 없이 배출됨	탱크에서 증발, 탈지 등	0.3~0.5
약간의 공기 움직임이 있고 낮은 속도로 배출됨	스프레이 도장, 용접, 도금, 저속 콘베이어 운반	0.5~1.0
발생기류가 높고 유해물질이 활발하게 발생함	스프레이도장, 용기충진, 콘베이어 적재, 분쇄기	1.0~2.5
고속기류 내로 높은 초기 속도로 배출됨	회전연삭, 블라스팅	2.5~10.0

* 제어속도 범위는 다음과 같은 경우를 고려하여 사용할 것

범위의 낮은 쪽	범위의 높은 쪽
1. 작업장 내 기류가 낮거나 포착하기 좋을 때	1. 작업장 내에 방해기류가 존재할 때
2. 유해물질이 저독성일 때	2. 유해물질이 고독성일 때
3. 물품생산이 간헐적이고 생산량이 적을때	3. 생산량이 많고 유해물질 사용량이 많을 때
4. 대형후드로 유동공기량이 많을 때	4. 소형 후드로 국소적일 때

5. 후드 설계

후드를 설계한다는 것은 우선 후드 형태를 선정하고, 선정된 후드에 대해 적정한 배기량을 산정하는 것이다. 최적의 후드 형태를 선정하기 위해서는 유해물질 종류와 발생 특성, 작업 특성 등을 고려하여 작업에 방해되지 않는 범위에서 가능한 밀폐시키고, 발생원과 가깝게 설치하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 설계자는 반드시 작업하는 근무자와 충분한 협의를 통해 최대한 현장의 의견이 반영될 수 있도록 노력할 필요가 있다.

현장 조건과 근무자의 의견 등을 반영하여 최적의 후드 형태가 결정되면 후드 배기량을 산정해야 하는데 이때 배기량 산정 방법에는 크게 세 가지 방법이 있다.

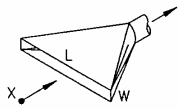
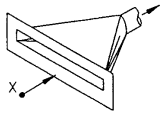
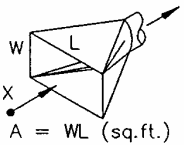
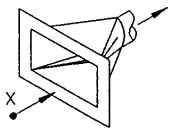
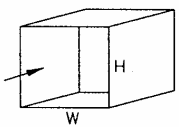
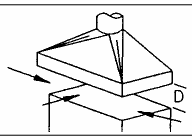
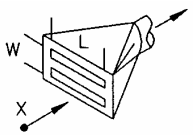
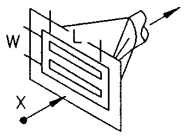
- 제어유속을 이용한 후드 형태별 유량 산정 방법
- Industrial Ventilation - A Manual of Recommended Practice(ACGIH) 에서 제시한 전형적인 공정에 대한 설계자료를 이용한 방법
- 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics : CFD)을 이용한 방법

(1) 제어유속을 이용한 후드 형태별 유량 산정 방법

ACGIH에서 권고하고 있는 제어유속 기준을 <표 2-2>의 후드 형태별 유량 산정 공식에 적용하는 방법으로 비교적 간단하고, 광범위하게 적용이 가능하기 때문에 가장 많이 사용되고 있다. 하지만 제어유속이나 제어거리에 대한 합리적인 결정이 어렵기 때문에 설계자의 경험에 크게 의존할 수밖에 없어 시행착오를 줄이기 위하여 유사공정을 가진 업체를 방문하여 벤치마킹(Benchmarking)하는 등 다양한 노력이 필요하다.

후드의 필요 유량은 후드에서 거리(X) 만큼 떨어진 곳에서 제어속도(V)를 얻기 위해 후드로 흡인해야 될 유량이다. 따라서 후드의 형태에 따라 제어속도와 후드 개구면으로부터의 거리가 주어질 때 유량을 계산할 수 있는 공식에 따라 산정하면 된다.

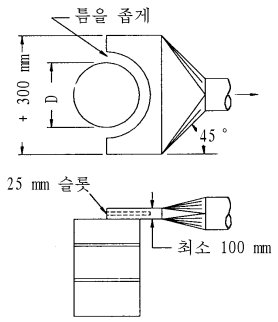
<표 2-2> 후드 형태에 따른 유량 산정 방법

후드 형태	후드 명칭	종횡비(W/L)	유량
	슬롯형 (Slot)	0.2 이하	Q=3.7LVX
	플랜지형 슬롯 (Flanged Slot)	0.2 이하	Q=2.6LVX
	편평형 (Plain Opening)	0.2 이상 또는 원형	$Q=V(10X^2+A)$
	플랜지형 (Flanged Opening)	0.2 이상 또는 원형	$Q=0.75V(10X^2+A)$
	부스형 (Booth)	작업에 맞게	Q=VA=VWH
	캐노피형 (Canopy)	작업에 맞게	Q=1.4PVD P : 작업(물체) 둘레의 길이
	편평형 다중 슬롯 (Plain Multiple Slot Opening)	0.2 이상	$Q=V(10X^2+A)$
	플랜지형 다중 슬롯 (Flanged Multiple Slot Opening)	0.2 이상	$Q=0.75V(10X^2+A)$

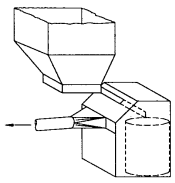
(2) IV-manual에서 제시한 전형적인 공정에 대한 설계자료 이용방법

미국산업위생사협회(ACGIH)에서 3년마다 개정되어 발간되는 미국 산업환기 매뉴얼(Industrial Ventilation - A Manual of Recommended Practice)에 수록된 내용으로서 [그림 2-8]과 같이 산업 현장에서 널리 적용되어 이미 표준화된 일부 공정의 국소배기 후드에 대한 자세한 설계자료가 제시되어 있다.

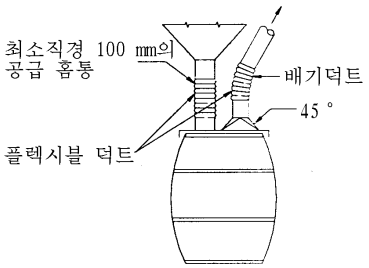
이 자료들은 국소배기 장치를 실제로 설계, 시공하여 수많은 시행착오를 거치면서 만들어낸 자료이기 때문에 국소배기장치의 설계 및 유지관리용으로 유용하게 사용할 수 있다. 그러나 공정 및 작업장 조건이 너무나 다양하기 때문에 이를 설계자료에 전부 다 반영할 수 없으므로 필요에 따라 수정, 보완해야 하며, 3년마다 개정되고는 있으나 새롭게 추가되는 공정 수(數)가 적고, 이미 수록된 자료도 일부 공정에 대해서 제시되어 있기 때문에 적용에 한계가 있는 것이 사실이다.



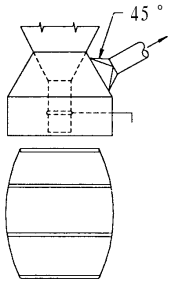
(1) Q = 통 상부면적(m^2)당 최소 0.51 $m^3/s/m^2$
(2) 최소덕트속도 = 18 m/s
(3) 유입손실 = 1.78 VP_S + 0.25 VP_d



(1) Q = 개구면적(m^2)당 0.51 $m^3/s/m^2$
(2) 최소덕트속도 = 18 m/s
(3) 유입손실 = 0.25 VP_d (45°점감관)



(1) Q = 0.08 m^3/s × 드럼직경(m)
(2) 최소덕트속도 = 18 m/s
(3) 유입손실 = 0.25 VP_d



(1) Q = 0.14 ~ 0.19 m^3/s
(2) 최소덕트속도 = 18 m/s
(3) 유입손실 = 0.25 VP_d

유의사항 :
1. 물질의 주입에 따라 내부공기가 밖으로 유출되기 때문에 배기량을 좀 더 늘여야 함.
2. 과다하게 배기시키면 물질의 손실이 많아질 수 있음.

VS-15-01 : 통충진 작업(Barrel filling)

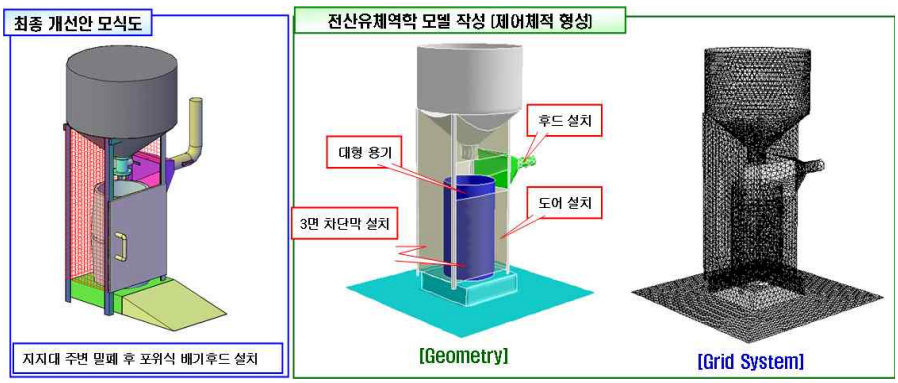
[그림 2-8] 미국 산업환기 매뉴얼에 제시된 설계자료

(3) 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics : CFD)을 이용한 방법

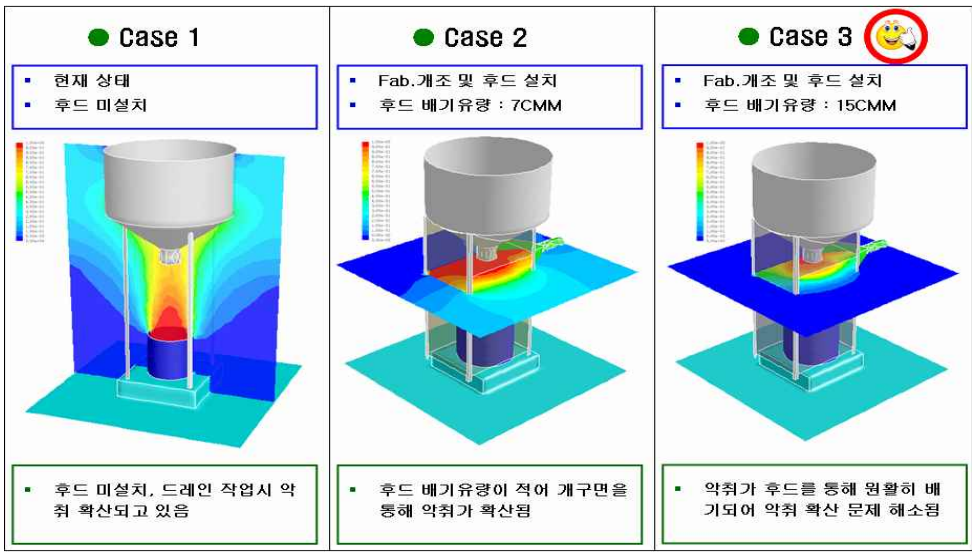
최근 들어 항공, 기계 분야를 중심으로한 첨단산업분야의 발달로 인해 산업환기 분야에도 전산유체역학(Computational fluid dynamics)을 이용한 상용 프로그램이 다양하게 개발되어 모형실험으로 할 수 없는 한계를 수치실험(Numerical modeling)을 통해 현장에 가깝게 모사하여 컴퓨터로 해석하는 기법이 적용되고 있다. 이 방법은 부족한 경험을 보완하고, 방해기류나 방해물체, 온도 등 현장의 다양한 조건을 반영할 수 있기 때문에 앞선 방법 중 가장 정확한 결과를 얻을 수 있으나, 전산유체역학 분야의 전문지식이 필요하고 전산 프로그램의 적용 및 운용 기술에 대한 충분한 경험 습득이 선행되어야 하기에 다소 어려움이 있다.

[그림 2-9]는 실제 화학 공장에 적용한 사례로, 화학제품을 만드는 회분식 반응기에서 반응 완료 후 폐액을 드레인(Drain) 시키는 과정에서 폐액 회수용 용기로부터 비산되는 악취를 제거하기 위한 배기후드 설계과정이다. 이 과정을 살펴보면 우선 현장 조사를 통해 작업에 방해되지 않으면서 효율이 우수한 방안을 선정한 후 후드의 배기량을 변화시키면서 유해물질의 포집 성능을 정량적으로 예측하여 최적의 배기량을 선정하였다. 이와 같이 전산유체역학을 사용할 경우 후드의 배기량뿐만 아니라 후드 형태나 환기 조건(예-비닐커튼 설치 등) 변화에 대해서도 예측이 가능하기 때문에 종합적인 환기 대책 수립에 유용하게 적용된다.

(a) 드레인 공정 모습과 공정 문제점



(b) 개선 방안 및 모델 형성



(c) 모델링 결과 (배기유량 변화에 따른 유해물질 개선 효과)

[그림 2-9] 전산유체역학을 이용한 배기량 산정 방법

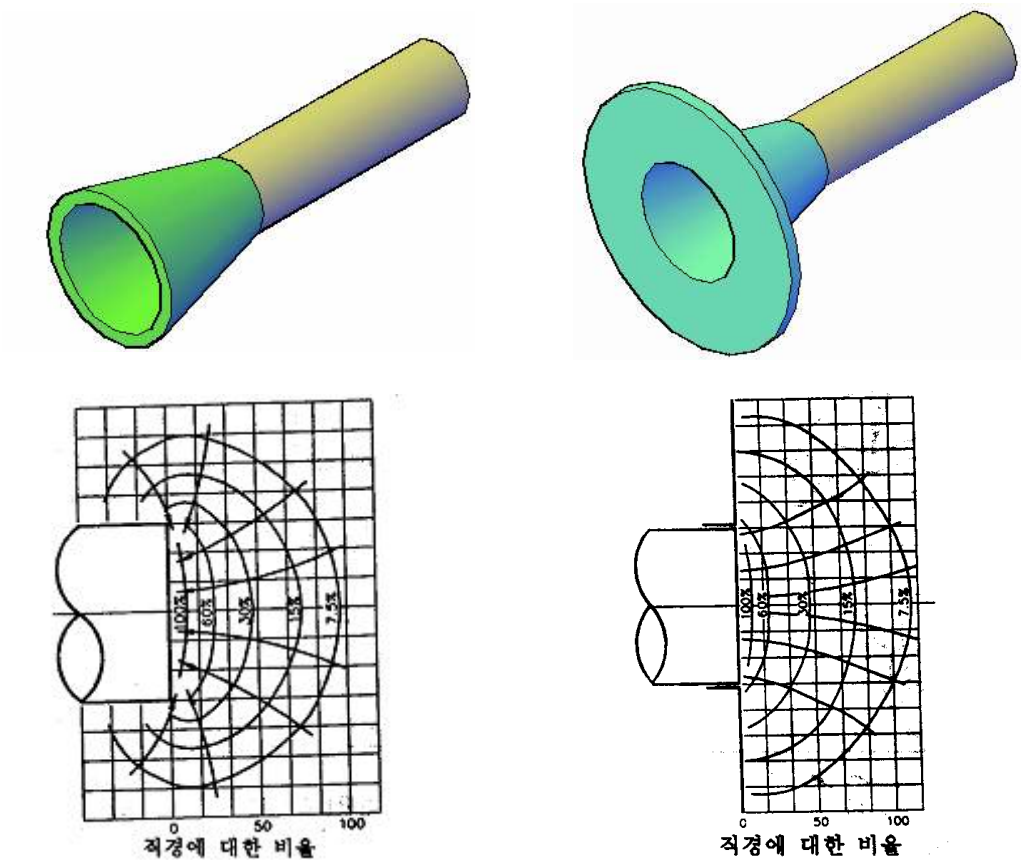
6. 후드 성능 향상

후드의 배기성능을 향상시키기 위해서는 다각적인 검토가 필요하겠지만 우선 현장에 쉽게 적용할 수 있는 다음과 같은 기초적인 내용을 중심으로 설명하였다.

- 플랜지(Flange) 부착 효과
- 장방형 후드와 슬롯후드의 비교
- 발생원 밀폐 정도에 따른 효과
- Push-pull 환기 효과

(1) 플랜지(Flange) 부착 효과

[그림 2-10]은 후드 가장자리에 플랜지(Flange) 설치 유무에 따른 후드 입구의 등속도 분포 곡선을 도식화한 결과이다. 이를 살펴보면 플랜지 설치로 인해 후드 개구면 뒤에서 입구로 돌아 들어오는 불필요한 기류를 플랜지가 차단 해 줌으로써 후드 앞 오염원 방향의 기류가 그만큼 증가되는 효과가 발생한다. 유속 분포 측정 결과 플랜지를 설치함으로 인해 25% 가량의 흡인 효율 상승이 기대된다.



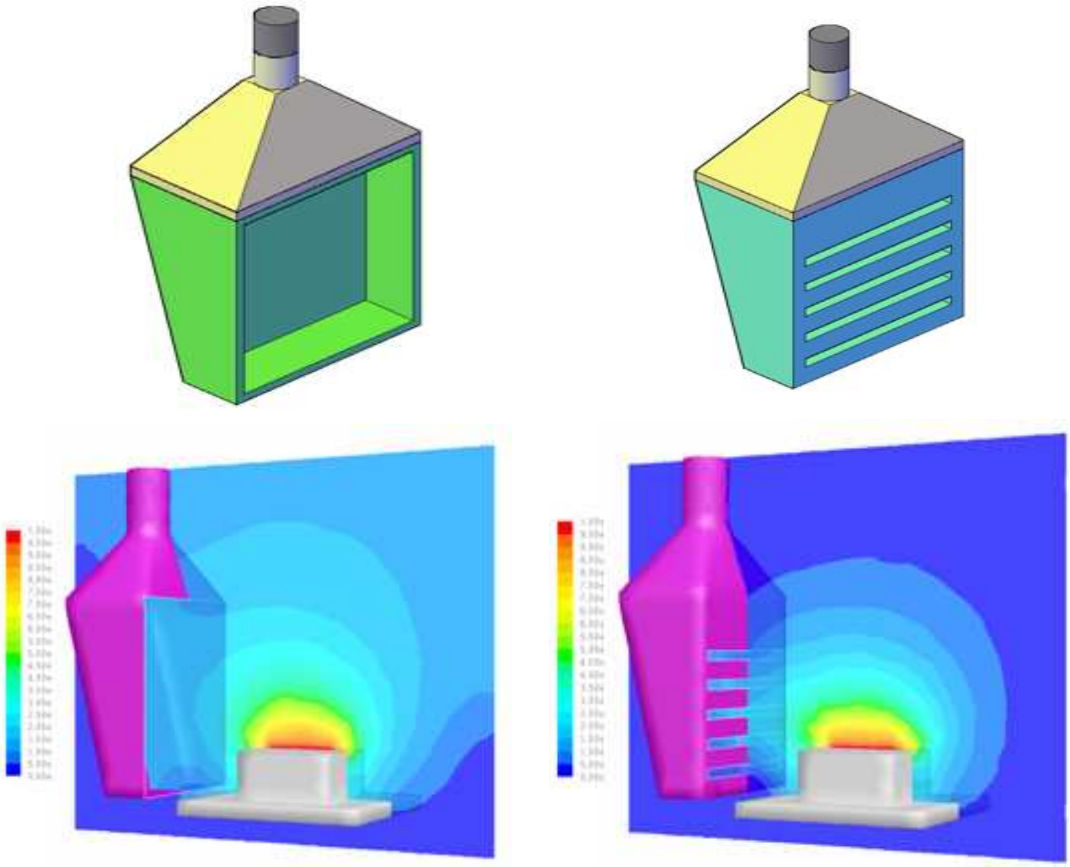
(a) 플랜지 미설치시 (b) 플랜지 설치시

[그림 2-10] 플랜지 설치 유무에 따른 원형 개구에 대한 등속흡인선 분포

(2) 장방형 후드와 슬롯 후드 비교

[그림 2-11]은 장방형 후드와 동일 크기의 다중 슬롯 후드에 대하여 각 $30m^3/min$으로 배기시킬 경우 유해물질에 대한 배기성능을 전산유체역학을 이용해 평가한 결과이다. 이를 살펴보면 장방형 후드의 경우 유해물질이 주변으로 쉽게 확산되고 있으나 다중 슬롯 후드는 배기 성능이 향상되어 대부분 후드내로 유입되는 것을 알 수 있다. 이처럼 배기 성능이 증가되는 이유는 슬롯에 의해 후드 개구면이 감소되면서 개구면 속도가 빨라져 제어거리가 길어졌기 때문이다.

일반적으로 개구면 전체가 개방된 장방형 후드에 비해 슬롯 후드가 유해물질의 포집효과가 우수하다. 하지만 슬롯 후드는 개구면이 좁기 때문에 분진으로 인해 쉽게 막힐 수 있고, 또한 슬롯에 의한 압력손실 증가로 송풍량이 감소되거나 기류 소음이 증가될 우려가 있기 때문에 현장 적용에 있어 충분한 고려가 필요하다.

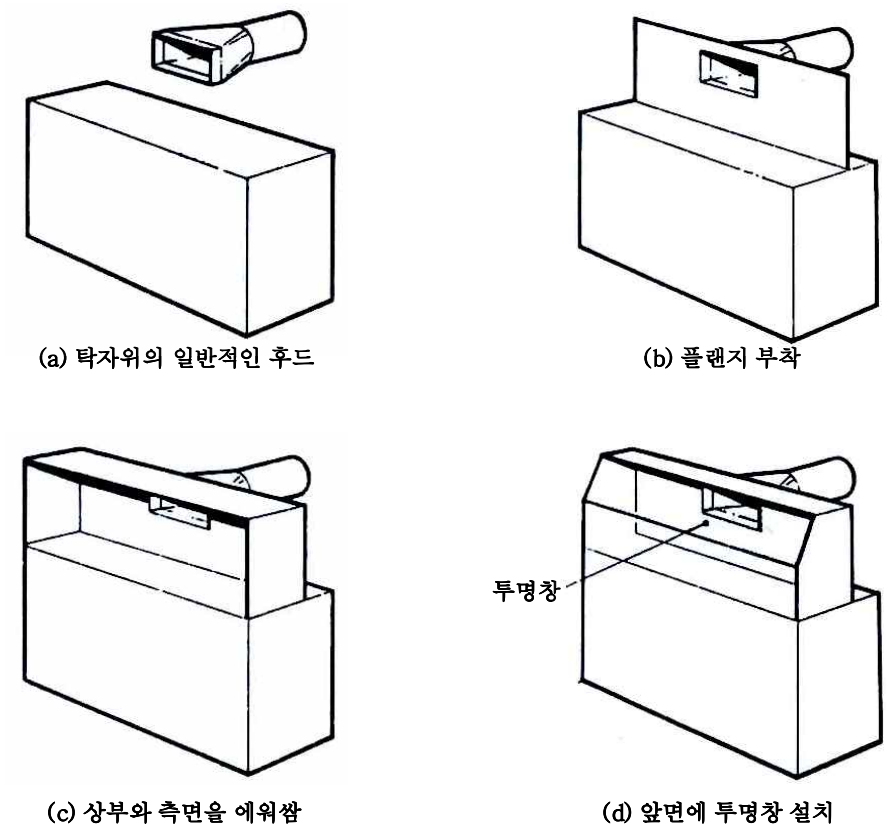


(a) 장방형 후드 (b) 슬롯 후드

[그림 2-11] 장방형 후드와 슬롯 후드의 성능 비교

(3) 발생원 밀폐 정도에 따른 효과

[그림 2-12]에는 후드의 오염원 포위 정도에 따라 송풍량이 어느 정도 차이가 나는지를 비교하고 있다. 외부식 후드 (a)를 사용할 경우에 대비해서 얼마만큼의 송풍량을 절약할 수 있는지를 나타내었다. (b)와 같이 플랜지(flange)를 설치할 경우 후드 뒤쪽에서 후드 입구로 돌아 들어오는 기류를 차단함으로써 후드 전면, 즉 오염원 쪽에 송풍량을 집중시켜 오염물질을 보다 잘 흡인할 수 있을 것이다. 나아가서, (c)와 같이 좌, 우측을 막아 상자모양으로 만듦으로써 플랜지 효과와 더불어 주변의 방해기류를 차단하여 보다 적은 유량으로도 오염물질을 흡인할 수 있을 것이다. 마지막으로 (d)처럼 후드 전면의 일부를 투명한 아크릴이나 유리로 막아서 개구면적을 줄이면 송풍량을 더욱 더 줄일 수 있다. 여기서 주의할 것은 포위 정도를 높여갈수록 작업불편정도는 계속 증가될 것이다. 따라서, 작업자와 의논하여 가능한 한 작업방해를 최소화시키면서 포위 정도를 높여 송풍량을 최소화시키는 것이 국소배기시스템 설계의 관건일 것이다.

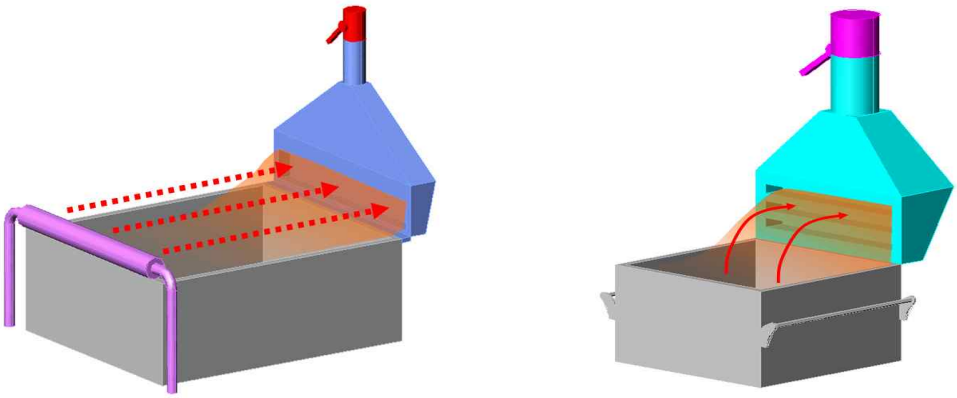


	효과적으로 제어하기 위한 송풍량	(a)와 비교하여 절약한 송풍량
(a)	0.8	-
(b)	0.62	22%
(c)	0.59	26%
(d)	0.32	61%

[그림 2-12] 포위정도를 증가시킴에 따른 필요 송풍량 감소 추세

(4) 푸쉬-풀(Push-pull) 환기 효과

Push-pull 후드 시스템은 도금조와 같은 개방조 후드에서 발생되는 각종 유해물질을 효율적으로 제어하기 위해 적용되고 있는 환기 방법이다. [그림 2-13]과 같이 개방조 환기를 위해 푸쉬풀 후드를 적용할 경우 일반 측방형 후드에 비해 필요 환기량을 약 50% 정도 줄일 수 있는 장점이 있다.



(a) 푸쉬-풀 후드 (b) 측방형 후드

[그림 2-13] 개방조에 설치되는 후드 형태

측방형 후드를 이용해 조 반대편에서 비산되는 유해가스를 배기시키기 위해서는 많은 배기량이 요구되지만 푸쉬(Push) 기류를 이용할 경우 에어커튼 효과와 풀(Push) 후드로 유해가스를 유도할 수 있기 때문에 적은 유량으로도 배기 성능을 충분히 발휘할 수 있게 된다.

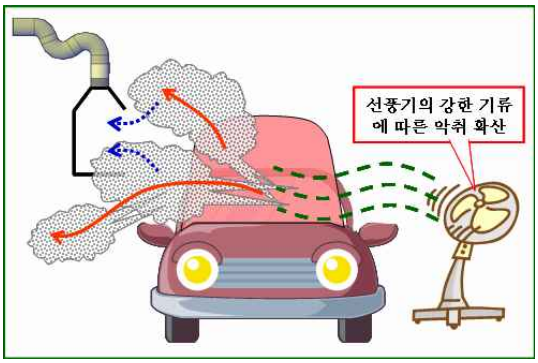
하지만 푸쉬-풀 기류가 서로 조화를 이루지 못하여 푸쉬 기류가 풀 후드의 배기력에 비해 너무 강할 경우 [그림 2-14]의 (b)와 같이 유해물질을 유도한 푸쉬 기류가 풀 후드에 부딪히면서 주변으로 비산하는 역효과가 발생하는 경우가 허다하다. 따라서 푸쉬-풀 후드를 설치할 때 원활한 기류 흐름을 유지하기 위한 유량 조정이 반드시 필요하며, 이후에도 시스템의 성능 변화를 주기적으로 체크할 필요가 있다.

(a) 푸쉬-풀 후드 모습 (b) 푸쉬기류가 강할 경우 (c) 푸쉬기류가 적정한 경우

[그림 2-14] 푸쉬-풀 후드 기류 연막실험 결과

[그림 2-15]는 생산현장에서 흔히 볼 있는 선풍기를 이용한 푸쉬-풀 원리를 이용한 환기 방법으로 작업자는 선풍기 바람으로 시원하고, 악취도 감소되며, 후드의 배기 효과에도 큰 도움이 되리라 예상한다. 하지만 실제로는 선풍기의 강한 기류에 의해 유해물질이 멀리까지 빠르게 확산되기 때문에 주변 작업자로 부터 불만이 야기되는 경우가 많고 심한 경우 작업자 간의 분쟁이 발생하는 경우도 있어 선풍기 사용을 자재하는 것이 바람직하다.

(a) 선풍기를 이용한 푸쉬-풀 환기 모습



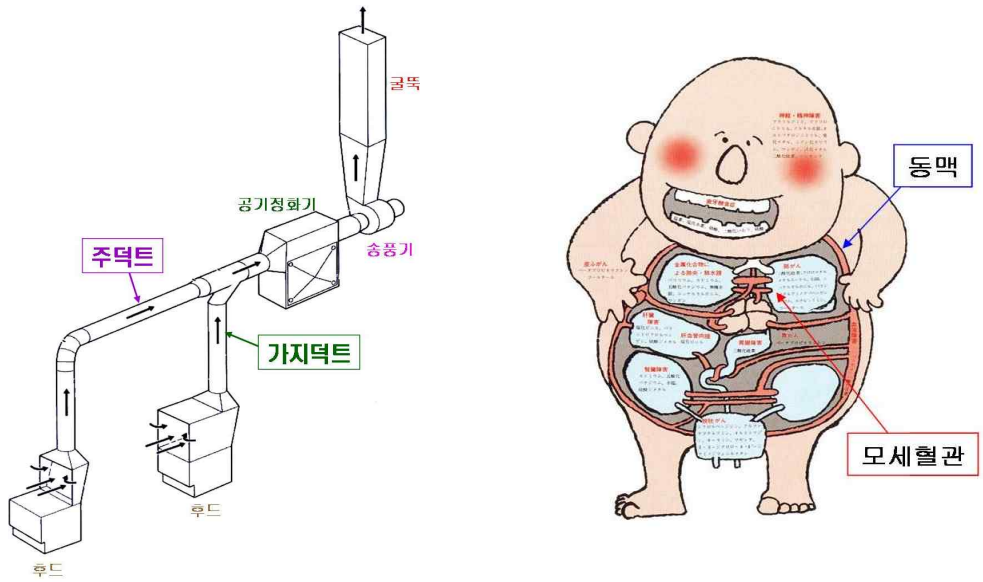
(b) 환기 문제점

[그림 2-15] 선풍기를 사용한 푸쉬-풀 환기 문제점

제 3 장 덕트(Duct)

1. 덕트의 역할

국소배기나 전체환기 시스템에서 덕트는 후드와 송풍기, 송풍기와 배출구를 연결시켜주는 역할을 한다. 인간의 몸에 비유하면 혈관과 같은 것으로 혈관이 본류와 지류에 따라 동맥, 모세혈관 등으로 나눠지듯이 주덕트(main duct), 보조덕트 또는 가지덕트(sub duct), 접합부(junction) 등으로 나눠진다.



[그림 3-1] 덕트(Duct)의 역할

2. 덕트의 종류

덕트는 설치비, 시공의 편의성, 이송되는 유해물질의 특성(예, 부식성, 약품성, 마모성), 시스템 요구정압 등에 따라 다양한 재질로 설계, 시공되고 있다. <표 3-1>은 유해물질의 특성에 따라 실제 생산현장에 설치되는 덕트 재질을 분류한 내용으로 일반적으로 가장 널리 사용되는 재질은 일반 강판과 아연도금강판이며, 유해물질의 부식정도에 따라 FRP, 스테인레스, PVC 재질 등이 사용되고 있다. 이처럼 발생되는 유해물질의 물리, 화학적 특성을 충분히 고려하지 않고 설계하게 되면 덕트가 쉽게 부식되거나 파손될 우려가 있기 때문에 주의가 요구된다. 또한 설치작업의 편리를 위해 플렉시블 덕트(일명 자바라 덕트)를 너무 많이 사용하여 음압에 의해 덕트가 과도하게 수축되거나 많이 구부러져 압력손실이 크게 걸리지 않도록 주의해야 한다.

<표 3-1> 유해물질의 특성에 따른 덕트 재질 선정

내마모성	내부식성, 내화학성	이동성
• 알루미늄, 강판, 스테인레스강 등	• FRP, 스테인레스강, PVC, 아연도금강판 등	• Tarpaulin(PVC코팅), 유리섬유직물(PVC코팅), 알루미늄 호일 등

[그림 3-2]는 일반적으로 생산현장에 설치되는 덕트 형태이다. 이 중 그림(a)의 원형 덕트는 텍스(Texture) 위나 천고가 낮은 곳에 설치할 경우 공간 확보가 어렵고, 장비 간섭문제가 발생될 우려가 있으나, 압력손실 발생이 적고, 분진 퇴적 예방에도 가장 유리하기 때문에 널리 사용되며, 반면 그림 (b)의 사각형 덕트는 압력손실이 높고, 분진 퇴적에 취약하지만 높이나 길이방향으로 크기 조절이 가능하기 때문에 협소한 공간에 설치가 용이하기 때문에 공간의 제약이 있는 경우에 설치되고 있다. 또한 제작 및 시공이 까다롭지만 원형과 사각형 덕트의 단점을 보완한 그림(c)의 타원형 덕트도 설치되고 있다.

(a) 원형(Round)

(b) 사각형(Rectangular)

(c) 타원형(Oval)

[그림 3-2] 덕트 형태별 설치 모습

3. 덕트의 크기 결정

덕트의 직경은 2가지 조건 즉, 최소반송속도(Minimum transport velocity)를 유지하면서 압력손실을 최소화하는 방향으로 결정한다. 여기서 최소반송속도라 함은 입자상물질, 즉 분진, 미스트 또는 흄을 함유한 공기를 수평덕트에서 이송시킬 때 침강에 의해 덕트 하부에 퇴적되지 않을 최소 속도를 말한다. 만약 이 속

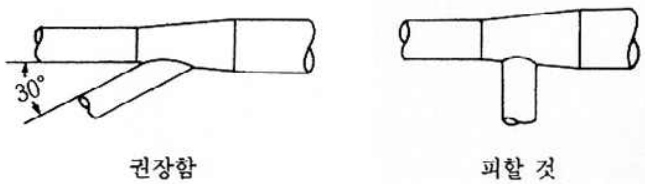
도를 유지시키지 못할 경우 분진이 퇴적되어 동맥경화와 같이 덕트의 면적이 좁아져 통로저항이 증가되고 이로 인해 송풍량이 줄어들어 후드에서 제대로 흡인되지 않는 경우가 발생할 수도 있다. 그렇다고 해서 덕트 유속을 최소반송속도보다 너무 빠르게 유지하면 소음문제가 발생되고, 덕트 마찰손실이 증가하여 송풍량이 줄어들게 된다. 미국 ACGIH에서는 발생되는 유해물질의 특성에 따라 개략적인 설계속도 범위를 아래의 <표 3-2>와 같이 제안하였다.

<표 3-2> 발생 유해물질의 특성에 따른 덕트 반송속도

오염물질의 특성	실 례	설계속도(m/s)
증기, 가스, 연기	아주 많음	5 - 10
흄	용접 흄	10 - 12.5
미세하고 가벼운 분진	면화 가루, 목재분진	12.5 - 15
건조한 분진 또는 분말	고무분진, 가죽분진	15 - 20
일반 산업분진	그라인딩 분진, 석면분진	17.5 - 20
무거운 분진	주물분진, 모래분진	20 - 22.5
무겁고 습한 분진	습한 시멘트분진	22.5이상

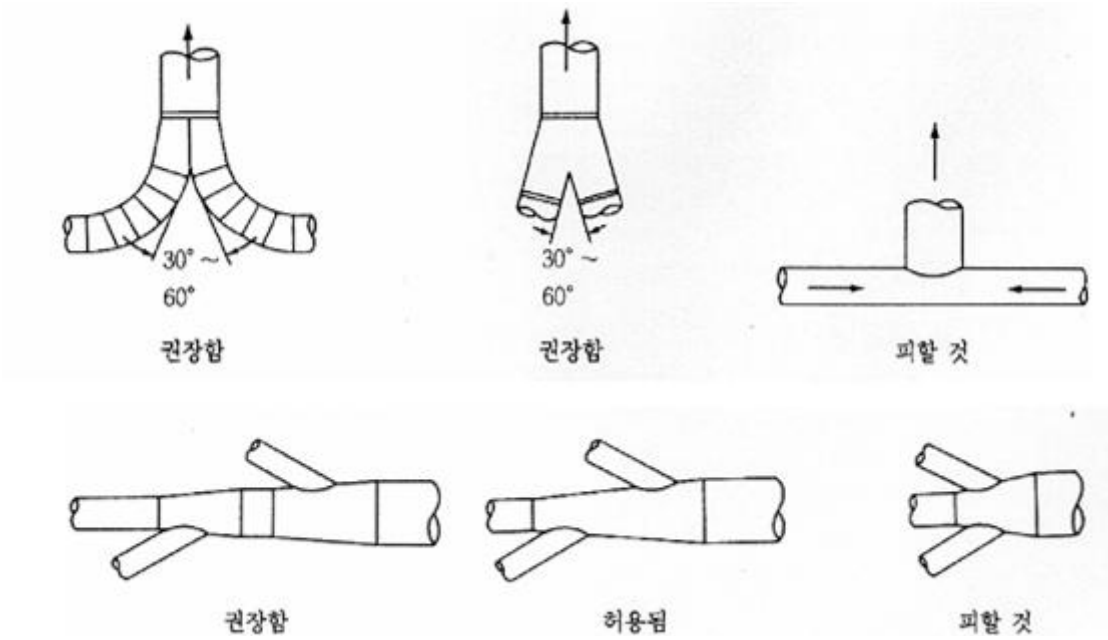
4. 덕트의 설치

덕트끼리 접합할 때에는 [그림 3-3]에 나타낸 바와 같이 가능하면 비스듬하게 접합하는 것이 바로 직각으로 접합하는 것보다 압력손실이 작다. 그러나, 왼쪽과 같이 비스듬하게 접합하려고 하면 제작이 쉽지 않기 때문에 추가 제작비용이 소요되고, 오른쪽처럼 직각으로 접합시키면 제작비용은 적으나 추가로 압력손실이 발생하여 동력비 증가에 따른 운영비가 많이 들게 된다. 따라서, 2가지 비용의 과다정도에 따라 판단이 필요한 부분일 뿐이지 직각으로 연결했다고 해서 그 국소배기장치가 모두 잘못되었다고 생각하는 오류에 빠지지 않아야 한다.



[그림 3-3] 덕트 연결방식

기타 주덕트와 가지덕트의 합류방법은 [그림 3-4]와 같이 가능한 압력손실이 적게 발생되도록 설치하는 것이 바람직하다.



[그림 3-4] 덕트 합류방법

제 4 장 공기정화장치(Air cleaning devices)

1. 공기정화장치의 역할

공기정화장치는 후드에서 포집한 유해물질을 대기 중으로 배출하기 전 깨끗하게 정화하는 역할을 한다. 공기정화장치를 꼭 설치해야 하는 경우는 아래와 같다.

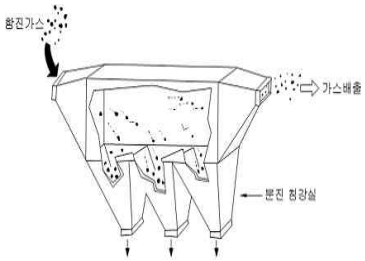
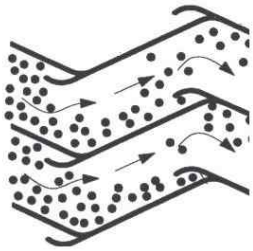
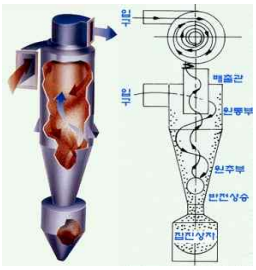
- 환경부의 “대기오염물질 배출시설”에 해당될 때 배출허용기준 만족을 위해
- 악취와 같이 인근 주민에 의해 민원이 제기될 소지가 있을 때
- 오염물질 함유공기를 공장 내부로 재순환시킬 필요가 있는 경우
- 오염물질을 배출시킬 때 공장으로 재유입되어 심각한 문제가 발생하는 경우

2. 입자상 물질의 처리

입자상 물질을 처리하기 위한 공기정화장치는 일반적으로 집진장치 또는 집진기로 불린다. 그 종류는 집진 원리에 따라 중력, 관성력, 원심력, 세정, 여과 및 전기집진장치 등으로 구분된다. 여기서 중력, 관성력, 원심력 및 세정 집진장치는 비교적 큰 입자상 물질의 처리에 가능하기 때문에 세정 집진장치를 제외하고는 모두 본처리 집진장치의 분진 부하를 줄이기 위한 전치리 집진장치로 사용되고, 여과, 전기집진장치는 미세한 입자상 물질의 처리가 가능하기 때문에 본처리 집진장치로 사용된다.

<표 4-1>은 전처리용 집진장치에 대한 내용으로 중력과 관성력의 경우 집진효율이 낮은 반면 원심력 집진장치(Cyclone)는 전처리용 집진장치 중 가장 미세입자까지 처리가 가능하고 처리효율이 우수하여 널리 사용되고 있다. 하지만 설계 차압이 비교적 높고, 점성 분진을 처리할 경우 내부에 분진이 퇴적되어 압력손실만 증가시키고 처리가 제대로 되지 않는 경우가 많기 때문에 주의가 요구된다.

<표 4-1> 전처리용 집진장치

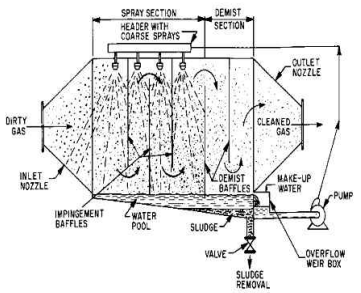
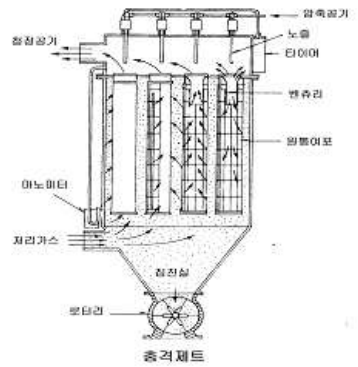
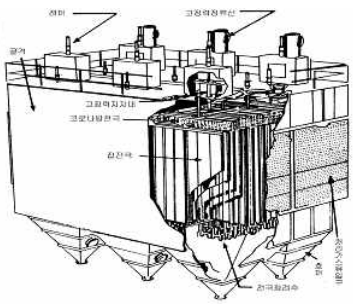
중력 침강실	관성력집진기	원심력집진기(Cyclone)
		
• 함진공기 중의 입자를 중력에 의한 자연침강에 의해 분리, 포집함	• 처리가스를 방해판에 충돌시켜 기류의 방향을 급격히 바꿈으로써 입자에 작용하는 관성력에 의해 조대 입자를 분리, 포집함	• 함진가스에 선회류를 형성시켜 입자에 작용하는 원심력에 의해 분리, 포집함(전처리용으로 가능 널리 이용되고 있음)

<표 4-2>는 본처리용 집진장치로 사용되는 집진기를 정리한 내용이다. 세정집진장치는 일명 스크러버(Scrubber)라고도 불리며 가스상 물질을 처리하는 기술에도 적용된다. 하지만 비교적 조대입자의 처리만 가능하고 미세입자의 처리효율이 높지 않기 때문에 현장 적용에 주의가 요구된다.

반면 여과 집진장치(Bag filter)는 고효율 분진 집진을 위해 가장 널리 사용되는 기술로 함진가스를 여과재에 통과시켜 입자를 분리, 포집하는 장치이며, 필터에 부착된 분진을 자동으로 연속 탈진하기 때문에 지속적인 여과 기능을 수행할 수 있다. 여재의 재질로는 면, 폴리프리필렌계(P.P), 폴리에스터계(P,E), 노멕스(Nomex), 테플론(Teflon), 유리섬유(Glass fiber) 등 다양하게 사용되고 있으며, 최고사용온도, 내산성, 내알칼리성 및 내마모성 등에 많은 차이가 있기 때문에 여재 선정시 이를 충분히 고려해야 한다.

전기 집진장치는 전기적인 힘을 이용하여 입자상 물질을 포집하는 장치로서 함진 공기에 전기를 부여하여 분진입자를 하전시켜 반대극의 집진극에 부착시키는 집진원리로 압력손실이 낮고, 미세입자의 집진에 효과적이다. 또한 화력발전소, 소각로, 시멘트 소성로, 펄프공장의 흑액연소 공정 등 주로 다량 분진 배출시설에 효율적으로 사용되고 있다. 하지만 용접 공정이나 금속가공 공정의 흄이나 미스트 제거용으로 전기 집진장치를 사용할 경우 운전 초기에는 집진효율이 높으나 집진극에 부착된 분진 탈진이 어려워 효율이 급격히 감소되고, 집진극의 잦은 청소로 인한 유지관리의 어려움으로 대부분 방치되는 경우가 많아 적용에 신중을 기할 필요가 있다.

<표 4-2> 본처리용 집진장치

세정집진기	여과집진기(Bag filter)	전기집진기
		
• 함진 공기 중에 물을 분사하여 씻어내려 입자를 분리, 포집하는 기술로 비교적 큰 입자 처리가 가능	• 섬유필터의 공극을 이용해 미세입자를 여과시켜 분리, 포집함	• 함진공기 중에 전기적인 힘을 부여하여 분진 입자를 하전시켜 반대극인 집진극에 부착, 제진시킴

3. 가스상 물질의 처리

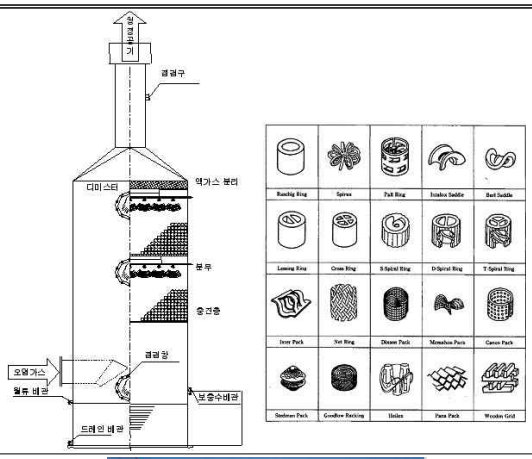
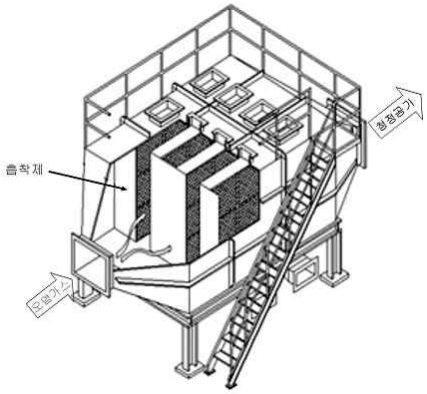
가스상 물질의 처리방법 중에는 <표 4-3>과 같이 흡수(Absorption), 흡착(Adsorption)이 가장 대표적인 방법으로 사용되고 있다.

흡수법은 가스상 오염물질을 흡수액에 용해시켜 제거하는 기술로 앞서 설명한 세정 집진장치와 구조가 유사하나 물 이외의 흡수액을 사용하고, 기액의 충분한 접촉을 위한 충진층이 설치되어 있는 차이점이 있다. 도금공정과 같이 산알칼리 물질이 많이 배출되는 곳에 자주 사용한다. 산알칼리 계통을 처리해야 되기 때문에 송풍기와 정화장치는 부식에 강한 FRP 재질을 주로 사용하며, 분진이나 찌꺼기에 의해 충진물 막힘현상이 생기지 않도록 주기적인 관리가 필요하다.

흡착은 유기용제 가스를 처리할 때 흔히 사용하는 방법으로 활성탄을 흡착제로 사용하는 경우가 많아 A/C(activated carbon) Tower, 즉 흡착탑이라고 부른다. 도장부스에서 배출되는 신나증기를 처리하기 위해 흡착탑을 많이 사용하는데, 페인트 분진을 걸러주기 위한 전처리 필터가 제 역할을 못할 때 페인트 분진이 흡착탑으로 유입될 수 있다. 유입된 분진은 활성탄 사이의 공간을 막아버려 압력손실이 과도하게 증가되어 설계 송풍량의 50%도 안나오는 경우가 허다하므로 주의를 요한다.

이 외에도 연소법은 휘발성 유기화합물(Volatile organic compounds : VOC) 처리에 있어서 기존의 흡착탑에 비해 처리 효율면에서 매우 월등하나 설치비 및 연료비가 많이 드는 단점이 있다. 저온고압 상태로 하여 증기상 물질을 응축시켜 제거하기도 하고, 플라즈마나 전자빔을 발생시켜 높은 에너지 준위에서 오염물질을 분해시키기도 하며, 생물의 분해능력을 이용한 바이오필터도 사용하고 있다.

<표 4-3> 흡수법과 흡착법

흡수법	흡착법
	
• 가스상 오염물질을 흡수액에 용해시켜 제거하는 기술로 세정 집진장치와 구조가 유사하나 물 이외의 흡수액을 사용하고, 기액의 충분한 접촉을 위한 충진층이 설치되어 있는 것이 특징임	• 유해가스가 다공성의 고체표면에 접촉하여 부착, 제거됨 • 흡착제로는 주로 활성탄이 사용됨

제 5 장 송풍기(Fan)

1. 송풍기의 역할

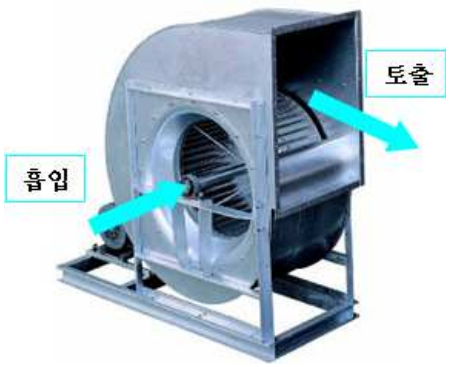
국소배기장치에서 가장 중요한 부분 중에 하나로 시스템에 걸려 있는 저항을 거슬러 필요한 양의 공기를 후드 내로 유입시켜 이송시키는 마치 인체의 심장과 같은 동력원 역할을 담당하고 있다. 송풍기는 국소배기장치 내에서 공기를 흐르게 하는 힘을 제공하기 때문에 설계시 송풍기가 잘못 선정되거나 설치 후 제대로 관리가 되지 않아 성능이 떨어지게 되면 시스템 전체에 영향을 미치기 된다.

2. 송풍기의 종류

송풍기는 팬(fan), 블로워(blower), 후왕(일본에서 유래) 등으로 불린다. 팬과 블로워에 대한 명확한 구분은 없지만 압력상승 한계가 1,000 mmH_2O미만인 것을 팬이라고 하고, 그 이상인 것을 블로워라고 일컫기도 한다. 현장에서 볼 수 있는 블로워는 팬에 비해 소형이고, 출입구의 면적이 아주 작은 것이 특징이다.

송풍기는 공기흐름 방향에 따라 축류 송풍기(axial flow fan)와 원심력 송풍기(Centrifugal fan)로 구분한다. 고속으로 회전하는 임펠러(Impeller)가 기체에 압력 및 운동에너지를 공급하는 방식은 서로 똑 같다. 원심력 송풍기는 축(Axial) 방향으로 흘러 들어온 공기가 임펠러의 반지름(Radial) 방향으로 흐를 때 생기는 원심력을 이용하고, 축류 송풍기는 축방향으로 흘러 들어온 공기가 축방향으로 흘러 나갈 때 임펠러의 양력을 이용하는 방식이다.

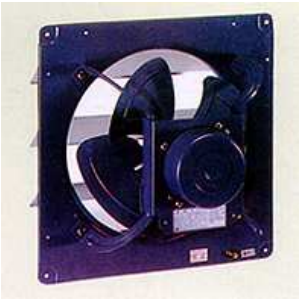
(a) 축류 송풍기



(b) 원심력 송풍기

[그림 5-1] 송풍기(Fan) 종류

축류 송풍기는 가정용 선풍기처럼 공기가 흘러 들어온 방향으로 배출된다. [그림 5-2]에 보인 바와 같이 화장실용 환풍기와 유사한 송풍기(프로펠러형)와 덕트에 연결하여 사용하는 송풍기(덕트연결형)도 있다. 일반적으로 소음이 심하며 압력손실에 약하기 때문에 국소배기용 보다는 전체환기용으로 많이 사용한다.



(a) 프로펠러형

(b) 덕트연결형

[그림 5-2] 축류 송풍기 종류

원심력 송풍기는 [그림 5-3]에서 보듯이 달팽이 모양으로 생겼으며, 임펠러의 날개 깃(Balde)모양에 따라 전향날개형(시로코팬), 익형(에어호일팬), 후향날개형(터보팬), 평판형(래디얼팬) 등으로 분류된다. 여기서 평판형 송풍기(래디얼팬)의 경우는 날개 깃이 평판으로 분진이 쉽게 퇴적되지 않는 구조로 인해 산업환기용으로 사용하기 보다는 곡물이나 시멘트, 톱밥 등의 물질 이송용으로 많이 사용하고 있다.

전향날개형 송풍기는 임펠러가 바람을 껴안고 회전하기 쉽게 회전방향과 동일하게 날개 깃이 꺾여 있으며 날개 깃이 다른 송풍기에 비해 많아 시코로팬, 다익팬 등으로 불려지고 있다. 고풍량 저정압용으로 송풍량이 많으나 압력손실이 적게 요구되는 공기조화나 집진기가 없는 산업환기용에 널리 사용된다.

후향날개형 송풍기는 터보팬으로 불려지고 임펠러가 바람의 저항을 적게 받도록 날개 깃이 회전방향 반대편으로 경사지게 설계되어 고속 회전이 가능하기 때문에 높은 정압을 발생시킬 수 있다. 주로 집진기가 설치되는 높은 압력손실이 요구되는 산업환기용에 널리 사용된다.

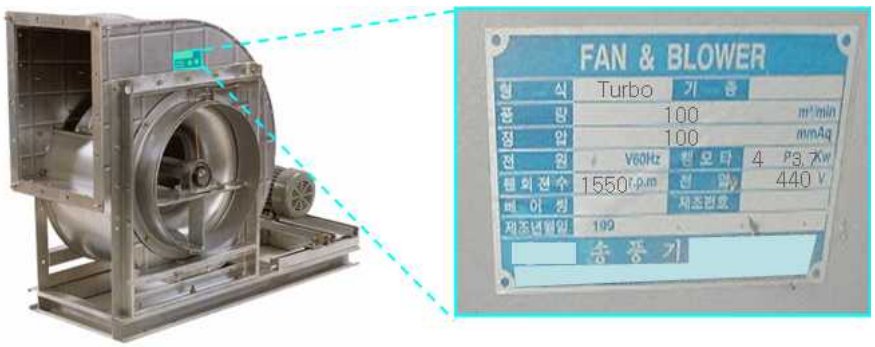
익형 송풍기는 터보팬의 일종으로 날개 깃의 모양이 마치 비행기 날개처럼 생겼다하여 익형 혹은 에어호일(airfoil)팬이라고 불린다. 시로코와 터보의 단점을 보완하여 소음이 적고 비교적 고속회전이 가능한 장점을 지니고 있다. 또한 시로코 송풍기는 정압에 여유가 있어 송풍량이 증가할 경우 축동력이 급격히 증가하여 과부하(over road)가 발생되는데, 이 점을 보완하여 정압의 여유가 발생하여도 풍량 증가가 제한되는 리미트 로드(limit load) 특성을 지니고 있어 과부하가 발생하지 않고 운전비용을 절감할 수 있다.

(a) 전향날개형 (시로코팬) (b) 후향날개형 (터보팬) (c) 익형 (에어호일팬) (d) 평판형 (래디얼팬)

[그림 5-3] 원심력 송풍기 종류

3. 송풍기 용량의 이해

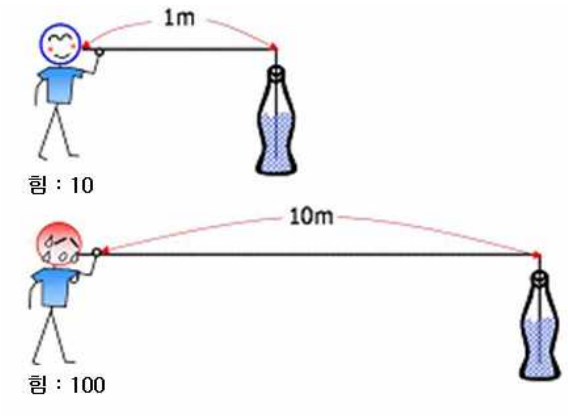
[그림 5-4]는 송풍기 케이싱(Casing)에 부착되어 있는 명판 모습이다. 송풍기 명판에는 송풍량, 송풍정압, 모터 소요동력 및 임펠러 회전수 등 송풍기 실제 용량이 기록되어 있으며, 이는 설치되는 국소배기장치의 최종적인 설계결과를 반영한 것이기도 하다. 흔히 송풍기의 용량을 이야기 할 때 “이 송풍기는 5마력짜리다”, “5마력짜리 송풍기를 7.5마력짜리로 교체하려는데 풍량이 얼마나 증가되겠느냐?” 등의 표현을 자주한다. 하지만 이 표현은 송풍기 용량을 이야기 하는데 있어서 잘못된 표현이다. 왜냐하면 모터의 소요동력은 송풍량과 송풍압력을 변수로 하여 결정되기 때문이다.



[그림 5-4] 송풍기 명판

송풍량(Q)은 표준상태(0℃, 1atm)로 환산하지 않은 송풍기를 통과하는 실제송풍량(actual air flow rate)을 의미하며, 단위는 m^3/min(CMM)와 m^3/hr(CMH)로 나타낸다.

송풍정압(Fan static pressure : FSP)은 후드에서 필요한 유량만큼 흡인시켜 굴뚝으로 내보내기 위해 필요한 힘(압력)을 의미한다. [그림 5-5]는 빨대로 콜라를 먹는 경우에 대한 예이다. 콜라를 한모금 마시기 위해 필요한 힘, 즉, 병에서 콜라를 입까지 빨아들이는 흡인력(후드에서 송풍기 입구까지의 흡인(-))과 콜라를 삼키기 위한 힘(송풍기 출구에서 굴뚝까지의 토출(+))을 합쳐 송풍정압이라고 하고, 이는 거리가 멀수록, 빨대가 가늘수록 힘이 더 많이 필요하듯이 압력손실이 클수록 요구되는 정압이 커진다.



[그림 5-5] 송풍정압에 대한 개념

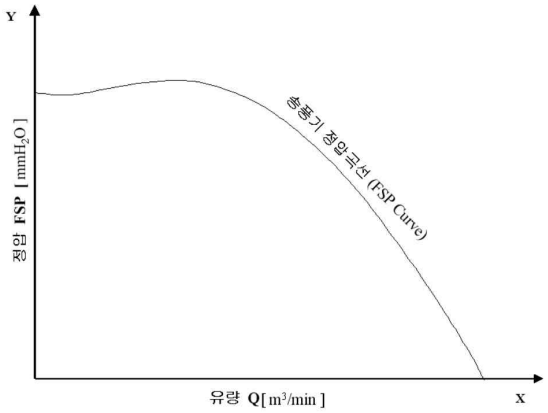
송풍기에 필요한 소요동력(Horsepower : Hp)은 필요 송풍량을 이송하기 위해 요구되는 송풍정압을 만들 수 있도록 송풍기 모터(Motor)가 해야 되는 일이기 때문에 송풍량과 송풍정압에 의해 결정된다. 즉, 송풍량이 50m^3/min, 송풍정압이 200mmAq 일 때나 송풍량이 200m^3/min, 송풍정압이 50mmAq 일 때나 결국 요구되는 소요동력은 5Hp으로 동일하다. 따라서 앞에서 언급하였듯이 송풍기 용량을 이야기 할 때 “5Hp 짜리 송풍기”는 송풍기 용량을 정확하게 말한 것이 아니며, 반드시 “200m^3/min, 50mmAq 용량의 송풍기다” 라고 말하는 것이 바람직하다.

4. 송풍기 성능 변화

흔히 “집진기가 막혀 송풍량이 감소되었다”, “댐퍼가 닫혀 송풍량이 감소되었다” 등의 표현을 자주 듣게 된다. 이 말은 결국 “시스템의 압력손실이 증가되어 송풍량이 감소되었다”란 의미이다. 집진기가 막힌 것도, 댐퍼가 닫힌 것도 결국

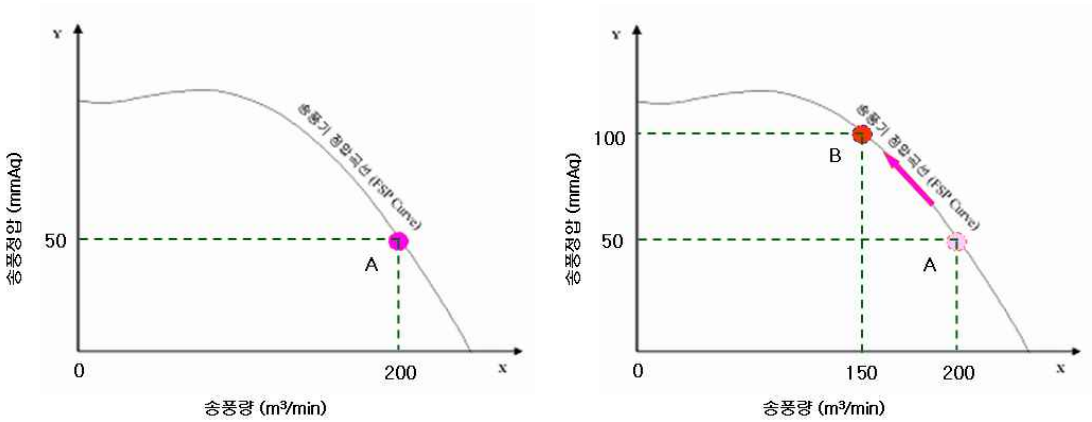
압력손실 증가를 초래하기 때문이다. 이 처럼 송풍기의 유량은 시스템에서 발생되는 압력손실에 따라 변화된다.

[그림 5-6]은 송풍기의 대표적인 성능곡선 중의 하나인 송풍량(X축)과 송풍정압(Y축)과의 관계 곡선인 송풍기 정압곡선(Fan static pressure curve)이다. 송풍기의 입구나 출구에 덕트를 연결하고 댐퍼를 부착하여 저항, 즉 압력손실을 변화시킬 때 송풍량과 정압을 측정하게 되는데 결국 정압(압력손실) 변화에 따라 유량이 변동하는 곡선이 형성된다.



[그림 5-6] 송풍기 정압 곡선

[그림 5-7]은 송풍기 운전점 변화를 설명하는 내용으로, 앞서 언급했던 "200m^3/min, 50mmAq 용량의 송풍기"란 결국 "송풍량 200m^3/min, 송풍정압 50mmAq 인 점(A)를 지나는 송풍기 성능곡선을 갖는 송풍기"라는 의미이다. 만약 이 송풍기에 댐퍼가 닫히거나 집진기의 차압이 증가되어 정압이 100mmAq로 증가된다면 결국 운전점이 점(B)로 변화하여 송풍량이 150m^3/min으로 감소하게 된다.



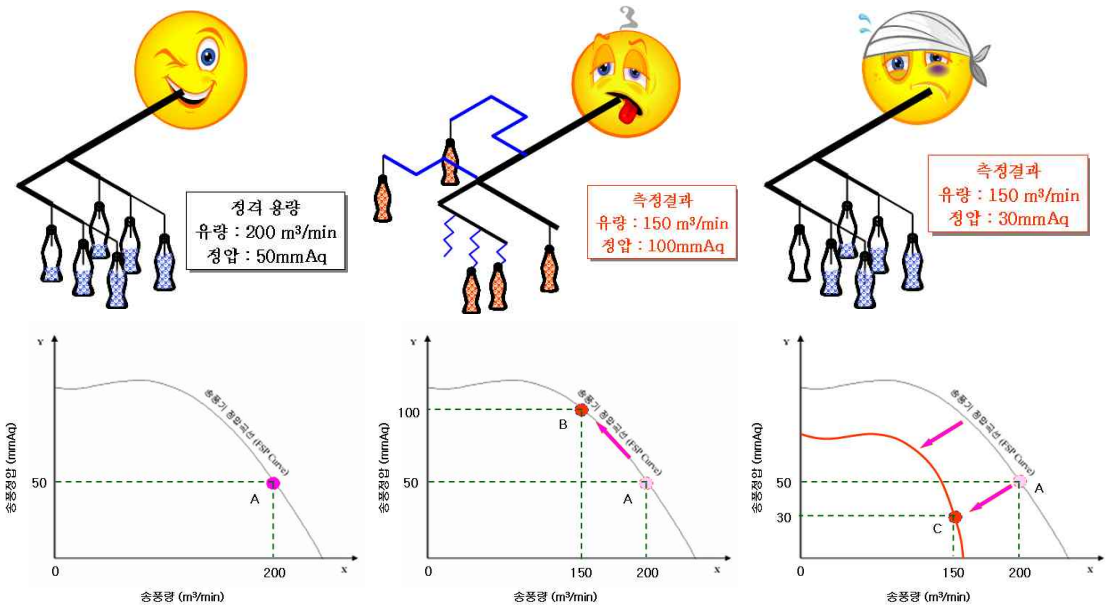
(a) 송풍기 용량 (b) 송풍기 운전점

[그림 5-7] 송풍기 운전점 변화

5. 송풍기 성능 감소의 원인

“국소배기장치를 신설했을 때는 굉장히 잘 빨렸는데, 특별히 후드를 증설하지도 않았는데 지금은 영 안 빨린다.” 는 말을 작업자나 관리자를 통해 자주 듣게 된다. 이 말은 결국 송풍량이 시간이 지날수록 감소되었다는 것을 의미하는데, 이처럼 송풍량이 감소되는 원인은 결국 송풍기의 성능이 저하되기 때문이다.

[그림 5-8]~[그림 5-10]은 송풍기 성능 저하의 원인을 설명한 내용으로 크게 시스템의 과도한 압력손실 증가와 송풍기의 자체 성능 저하를 들 수 있다. 국소배기장치 설치 초기의 송풍기 운전점이 그림(a)의 200m^3/min, 50mmAq였는데, 시스템에서 압력손실이 증가(예, 자바라 덕트의 과도한 사용, 필터 막힘, 덕트 분진퇴적 등)하게 되면 그림(b)의 성능 곡선처럼 정압(압력손실) 증가를 초래하여 150m^3/min, 100mmAq로 운전점이 이동하게 된다. 반면 송풍기 자체 성능이 감소(예, 팬벨트 늘어남, 모터 노후 등)하게 되면 그림(c)의 성능 곡선처럼 송풍기 성능 곡선이 이동하면서 운전점이 150m^3/min, 30mmAq로 이동하게 된다.



(a) 정상 상태

(b) 시스템의 과도한 압력손실 증가

(c) 송풍기 자체 성능 감소

[그림 5-8] 송풍기 성능 저하의 원인과 운전점 변화

(a) 덕트 분진 퇴적

(b) 자바라 덕트의 과도한 사용

(c) 필터의 분진 막힘

(d) 댐퍼 닫힘

(e) 팬 입구 캔바스 협착

(f) 굴뚝의 형태 불량

[그림 5-9] 시스템의 과도한 압력손실 증가 예

(a) 팬 벨트 끊어짐

(b) 팬 벨트 늘어남

(c) 풀리 간격 불량

(d) 송풍기 청소 및 관리 불량

(e) 팬 모터 노후

(f) 송풍기 노후

[그림 5-10] 송풍기 자체 성능 저하 예

송풍기 성능저하의 원인은 대부분 여러 원인들이 복합적으로 작용하여 발생하는 경우가 많다. 하지만 그 주된 원인이 무엇인지에 대해서는 결국 송풍정압을 측정하여 확인할 수 있는데, 송풍정압이 운전 초기의 송풍정압에 비해 크게 증가되었다면 시스템의 과도한 압력손실 증가가 주된 원인으로 작용한 것이고, 반면 감소되었다면 결국 송풍기의 자체 성능저하에 기인한 것으로 판단하면 된다.

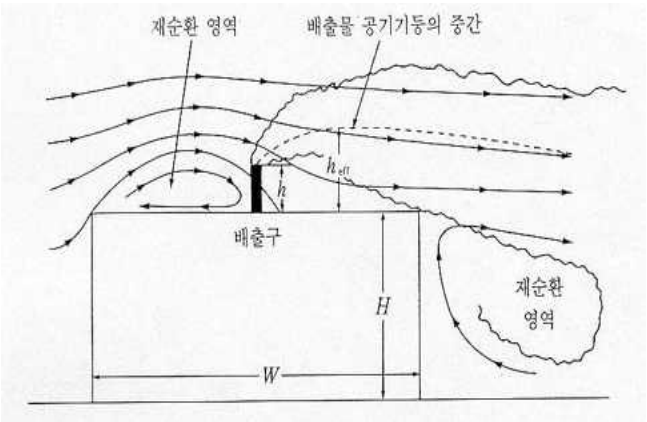
여기서 중요한 것은 송풍기 명판의 내용을 무조건 맹신해서는 안 된다는 것이다. 왜냐하면 국내 송풍기 제작업체는 대부분 영세하여 제작 후 테스트할 여력이 없어 임의로 기록하는 경우가 많기 때문이다. 따라서 국소배기장치 설치 후 반드시 담당자가 측정하여 운전점을 확인하고 그 결과를 기록하여 향후 송풍기 성능 평가자료로 활용해야 한다.

제 6 장 굴뚝(Stack)

1. 굴뚝의 역할

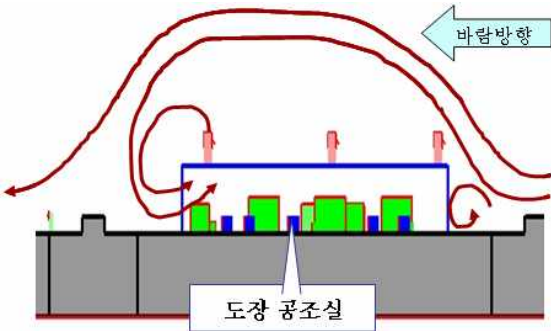
굴뚝의 역할은 국소배기장치로 유입된 유해물질을 대기 중으로 배출시키는 최종적인 관문으로 작업장으로부터 가능한 한 멀리 보내어 작업장을 보호하는 것이다. 배출가스의 농도가 대기환경법 상의 허용기준 이내일지라도 제거되지 않고 남아 있는 유해물질이 어느 정도 있기 때문에 가능한 한 지상으로부터 멀리 배출시켜 확산시킬 수 있어야 하며 그러기 위해서는 가능한 한 높게 배출시킴으로써 오염물질이 지상으로 내려와 공장으로 재유입되는 것을 막아야 한다.

[그림6-1]은 건물 주위의 공기 흐름, 즉 재순환 영역(Recirculation region)이 생길 수 있는 지역을 나타내었고 굴뚝으로부터 나온 연기가 건물 주위의 공기흐름과 어떤 상호작용을 하는 지를 나타내주고 있다. 굴뚝에서 나온 연기가 건물 우측의 재순환 영역으로 빨려 들어가서 우측 벽면의 창문으로 재유입 될 수 있음을 보여주고 있다. 이러한 현상을 방지하기 위해서는 가능한 한 높이 배출시켜 재순환 영역 근처로 오지 않도록 해야 한다.



[그림 6-1] 굴뚝의 재순환 영역

실제로, [그림 6-2]와 같이 도장부스의 악취 함유 공기를 옥상의 배출구로 배출시켰으나 옥상에 설치되어 있는 공기조화기(air handling unit : AHU)의 입구로 유입되어 페인트와는 전혀 관련이 없는 일반사무실에 유입되어 문제를 일으킨 사례도 있다.



(a) 도장공장 옥상 공조실 기류 재유입　　(b) 옥상 공조실 유입구

[그림 6-2] 공조 급기를 통한 도장부스 악취의 실내 재유입

2. 굴뚝의 설계

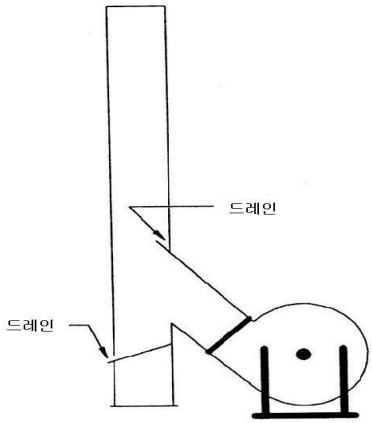
우수한 굴뚝은 배출된 유해 공기가 작업장 내로 재유입되는 것을 막기 위해 충분히 높게 배출시킬 수 있어야 하며, 압력손실 발생이 적고, 구조가 간단하여 제작이 용이하고 유지관리비용이 저렴해야 할 것이다. 또한 국소배기장치의 가동유무에 관계없이 강우나 강설에 대해서 굴뚝 내로 유입되는 양을 현저하게 감소시킬 수 있도록 설계해야한다.

현장에 설치되어 있는 굴뚝의 모양을 살펴보면 [그림 6-3]에 보인 바와 같이 비가 들어오는 것을 막기 위하여 "ㄱ"자로 구부리거나 삿갓을 씌워 놓아 연직방향으로의 확산을 방해한다. 또한 배출구의 저항이 높아져 추가적인 압력손실을 야기 시키고, 이로 인한 소음 문제도 더러 발생하고 있는 실정이다.

(a) "ㄱ"자형 굴뚝　　(b) 삿갓형 굴뚝

[그림 6-3] 일반적인 굴뚝의 형태

따라서, 굴뚝으로 비가 들어오더라도 [그림 6-4]에서 보듯이 옆으로 드레인 시켜 송풍기에 물이 들어가지 않도록 하거나 송풍기에 물이 약간 들어가더라도 송풍기 케이싱에 드레인 밸브를 달아 배수시킬 수 있도록 장치를 구성해야 한다.



[그림 6-4] 드레인 시킬 수 있는 굴뚝