

작업장의 환기장치

가톨릭의대 산업의학연구소

김 정 만

I. 원 리

환기는 오염된 공기를 작업장으로 부터 제거하고 대신 새로운 신선한 공기를 치환함으로써 이루어진다. 이같이 환경위생분야에서 가장 중요한 공학적 대책중에 하나인 환기는 목적에 따라서 다음과 같이 나눌 수 있다.

- ① 난방 또는 냉방
- ② 오염물질의 제거
- ③ 오염물질의 희석
- ④ 조절된 공기의 공급

그리고 우리는 이러한 환기로서 작업장에서 발생할 수 있는 화재나 폭발을 예방할 수 있으며, 오염물질을 건강에 해가 없는 수준까지 조절할 수 있고, 오염조건을 쾌적상태로 유지할 수 있다. 고열장해는 주로 공기의 대류에 의한 영향이 크고, 또 오염물질이 체내에 침입하는 것은 공기중의 유해물질을 흡입함으로써 폐에 침착하게 된다.

더운 공기가 분산되거나 제거되는 데는 다음과 같은 힘이 있어야 한다.

- ① 대류에 의한 공기이동
- ② 바람의 힘
- ③ 송풍기(fan)의 힘
- ④ 기계의 운동
- ⑤ 인공적인 환기

환기요구량과 분산방법은 열과 유해물질의 발생량에 좌우되므로 먼저 열과 유해물질의 발생양상을 조사하고 신선한 공기의 도입방법을 강구한다.

공기의 흐름, 와류에 의한 혼합 및 외부로 배출되는 공기흐름의 세가지 형태가 있다.

작업장으로 도입되는 신선한 공기의 흐름(창, 그밖의 개구부를 통한 흐름)과 오염된 공기를 배출하는 공기의 흐름을 제트기류(jet stream)라 한다.

공기는 자신의 운동량(momentum)에 의해서 어느 한도의 거리까지 운반된다. 공기의 흐름은 진행함에 따라 주위공기와 섞이게 되므로 속도는 늦어지고 범위는 커지게 된다.

결국 공기흐름은 그 진행속도가 일반공기의 흐름과 같게 되는 곳에서 없어진다. 그러므로

더운 공기가 오염된 공기의 흐름을 크게 하기 위해서는 그 흐름의 분산량을 적게 해야 하며, 그러기 위하여 후드(hood)를 설치하고 후드속의 공기를 충분한 유속으로 배기한다. 작업부서가 신선한 공기의 도입구에 가까이 있을 때는 바람의 영향을 너무 세게 받는 경우가 있으므로 신선한 공기를 도입하는 장치는 가능한 한 실내공기와 빨리 혼합되게 하고, 배출기류 속도를 줄이도록 도입구를 크게 설계하는 것이 보통이다.

한 오염원에서 열이나 오염물질이 적은 속도로 계속 발생하면 전체공기의 온도나 오염물질의 농도는 높아진다.

환기시설은 더운 공기 및 오염된 공기를 분산 또는 희석하고 외부로 배출한다. 여기서 온도상승과 오염물질의 농도는 오염원으로 부터의 거리의 제곱에 반비례하므로 오염원 근처에서는 온도와 유해물질의 농도가 매우 높다. 지붕환기, 창, 문, 배기후드 등의 근처에서의 기류 속도는 실내공기의 기류속도보다 빠르므로 배기구로서 작용한다. 배기구를 통해서 나가는 공기의 속도는 빠르고, 배기구로 가는 공기의 속도는 배기구로 부터의 거리의 제곱에 반비례하여 감소한다. 그러므로 배기구에 의한 바람을 느끼지 않는다. 또한 배기구는 열과 또는 오염물질의 오염원에 매우 가까운 곳에 설치해서 오염물질이 실내공기 중으로 퍼지는 것을 방지하여야 한다.

환기시설이 잘된 작업장에서 오염물질을 방출하는 작업이 시작되면 작업장내의 오염물질의 농도는 불과 수 분 이내에 일정한 수준에서 평형을 이루게 된다.

여기서 한 시간당 공기치환회수를 K라고 할 때, K는 매 시간당 작업장내에 송입되었다가 배출되는 공기의 양을 작업장의 용적으로 나눈 값이다.

$$K = \frac{1 \text{ 시간당 실내공기의 치환량}}{\text{실내의 용적}}$$

오염물질의 농도는 처음에는 평형농도 이하이

지만, 작업시간에 따라 지수함수적으로 점차 증가하는데, 작업 후 $\frac{0.693}{K}$ 시간이 경과하면 평형농도에 도달하는 농도는 반으로 줄어든다.

예를 들면 만일 K=6 라면 (즉 1시간에 6회의 공기치환이 있다면)

$$\frac{0.693}{K} = \frac{0.693}{6} = 0.1155 \text{ (시간)}$$

즉 오염물질 발생후 6.93분이 경과하면 평형농도의 1/2로 감소하고, 6.93분이 또 경과하면 평형농도의 75%로 감소한다.

그러나 환기시설이 잘되어 있는 곳에서도 열을 제거하는데는 시간이 소요되는데, 그 이유는 건물자체에 열이 축적되기 때문이다.

환기시설로서 분진을 제거하려고 할 때에는 분진입자의 운동량과 중력에 의한 침강속도를 고려해야 한다.

개개의 분진입자는 공기중에서 하나의 궤도를 가지고 움직이는데, ① 분진입자가 가지는 운동량, ② 중력, ③ 공기저항 사이에서 이루어지는 균형상태에 의하여 결정된다. 분진의 궤도운동은 주로 직경 1mm 이상의 분진에서 볼 수 있으며, 이보다 작은 입자의 운동은 공기저항에 의하여 빨리 없어지므로 운동량은 별로 중요한 역할을 하지 못한다. 5μ 이하의 분진은 공기중에 부유해 있으면서 5mm 이상 거리의 수평운동도 하기 곤란하며, 침강속도는 대기중의 자연기류에 비해서 무시할 정도로 작으므로 결국 미세분진의 운동은 가스오염물과 같이 취급할 수 있다.

II. 환기방법

환기는 크게 자연환기와 인공환기로 구분할 수 있으며, ① 작업장내의 오염된 공기를 오염되지 않은 공기와 혼합해서 오염물이 작업자의 호흡구역에 도달하기 전에 그 농도를 희석하여 주거나, ② 오염원 또는 발생원 혹은 이에 가까운 곳에서 오염물을 포착하거나 제거하여 오염물이 작업장으로 확산하는 것을 방지한다. 앞

의 방법을 전체환기(general ventilation) 또는 희석환기(dilution ventilation)라고 부르며, 뒤의 방법을 국소배기(local exhaust ventilation)라고 한다.

1. 자연환기

자연환기란 기계의 도움없이 환기가 이루어지는 것을 말한다. 즉 창이나 창틈 기타 모든 건물 벽의 틈새를 통해서 환기가 이루어지는데, 이것은 다음에 의하여 좌우된다.

- ① 외부의 바람에 의한 압력
- ② 바람의 방향
- ③ 태양의 복사열
- ④ 벽이나 지붕에 있는 여러가지 틈의 크기와 수
- ⑤ 내부공기의 대류

이러한 자연환기로 분진이나 흡을 제거하기는 곤란하지만 열부하량이 적을 때 또는 가스나 증기의 발생량이 적을 때는 이를 제거할 수 있다.

2. 인공환기

인공환기에는 전체환기와 국소환기의 두가지 종류가 있다.

1) 전체환기

열의 발생량이 많은 경우 또는 가스와 증기의 발생량이 중등도인 경우에는 자연환기와 함께 신선한 공기를 작업장으로 송입하는 방법(forced ventilation)과 오염된 공기를 외부로 방출하는 방법(induced ventilation)이 있다. 이러한 전체 환기법은 국소배기시설을 사용하기 곤란한 경우에 사용되는데, 특히 오염물질을 조금씩 여러 곳에서 방출하는 경우에 쓰이며, 온도조건이 매우 높든가 낮을 때는 공기를 배출하면 온도조건을 유지하기 위하여 비용이 많이 들기 때문에 내부공기를 정화하여 사용하든가 또는 공기를 여과하고 다시 회수하여 순환시키는 방법등이 이용된다.

전체환기를 오염물 제거에 이용할 때는 다음과 같은 요인에 대하여 고려할 것을 잊지 말아야 한다.

야 한다.

i) 발생하는 오염물질의 양이 너무 많아서 안된다.

ii) 작업자는 오염원에서 멀리 떨어져 있어야 한다.

iii) 오염물의 독성이 적은 것에만 사용한다.

iv) 오염물질의 발생이 비교적 균등할 때에만 이용한다.

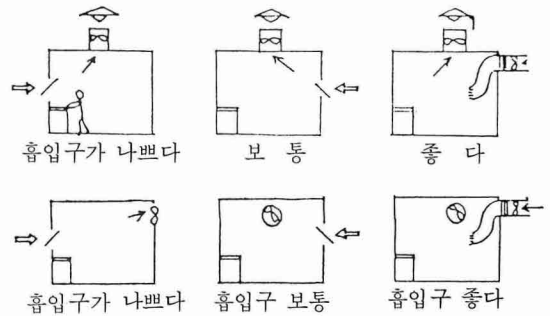


그림 1. 배기 팬의 위치가 나쁜 경우

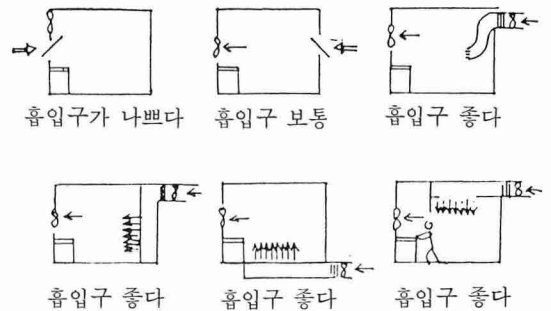


그림 2. 배기 팬의 위치가 좋은 경우

기류의 원칙은 위의 그림 1과 2와 같이 급배기구의 위치와 오염물 발생원과의 작업자의 위치들을 고려하여 정하여야 한다.

① 최소필요환기량

다음 조건을 만족시키기 위하여 필요한 최소 환기량을 결정한다.

(개) 체취로 인한 불쾌감을 허용기준치 이하로 유지한다.

체취로 인한 불쾌감을 예방하기 위해서는 한 사

람당 최소한 0.4 m³/분의 신선한 공기를 공급해야 하고, 만약 그 사람이 담배를 피운다든가 심한 작업을 할 때는 최소한 0.8 m³/분 이상의 공기를 공급해야 한다.

(내) 건구온도를 27°C 이하로 유지한다.

열발생은 작업장 내부에서 일어나는 경우와 외부에서 일어나는 경우가 있으나, 주로 작업장내부에서 일어나는 것이 문제이다. 실내외의 공기 온도 차이를 없애기 위한 환기량은 전체 열발생량을 측정함으로써 알 수 있는데, 1.2 Kilojoule의 열량은 1 m³의 공기를 1°C 높일 수 있다.

외부로 부터 받는 열은 주로 태양열을 말하며, 면적 1 m²에 대하여 350 ~ 2,250 Kj/시간의 열을 받는다. 열을 받는 각도에 따라 열량에 차이가 있으며 50 ~ 500 Kj/시간/m²이다. 작업자 한 사람당 200 ~ 300 Kj/시간의 열을 발생하는데, 이 수치를 작업부서에서 발생하는 열량에 가산해야 한다.

(내) 오염물질의 농도를 허용기준치(TLV) 이하로 유지한다.

유해물질의 발생속도를 알면 공기중의 유해물질을 허용기준치이하로 유지하는데 필요한 환기량을 추정할 수 있다.

② 오염원이 하나인 경우

오염원이 한 곳일 경우에는 일정한 거리에서의 온도나 유해물질의 농도는 발생원을 중심으로 하는 반구면을 상상할 수 있으며, 열과 오염물질은 표면에서의 농도와 그 표면적에 비례하여 이 가상의 반구표면을 통과하게 되며, 평형상태에 도달하였을 때는 열과 유해물질의 제거량은 발생원에서의 발생량과 같다.

열이나 오염물질의 발생량을 E라 하고 배기량을 Q m³/초라 하면 배출공기중의 열이나 유해물질의 농도는 E/Q로 된다. 그러므로 발생원에서 X거리만큼 떨어진 곳에서의 농도는 EQ²/QX²이 된다. 이때 R은 반지름이다(그림 3).

일정한 X지점에서의 농도는 ER²/QX²이 되므로 열발생량이 E Kj/시간일 때의 온도상승은 0.00024 ER²/QX²°C이다. 가스나 증기의 발생량이 E cm³/분이거나 분진의 발생량이 E mg/

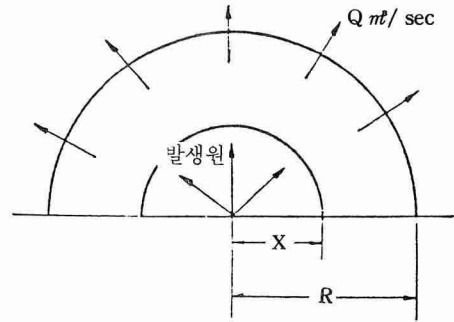


그림 3. 발생원이 한 곳인 경우의 유해물질 발생모형도

E : 중심부에서의 유해물 발생량

X : 발생원으로부터의 거리(m)

R : 반구면의 반지름(m)

Q : 반구면의 표면에서의 방출량(m³/sec)

ER²/QX² : 발생원에서 X거리 떨어진 곳에서의 유해물질농도

분일 때 X지점에서의 이들 유해물질의 농도는 0.0167 ER²/QX² ppm 또는 mg/m³로 된다.

만약 오염원이 한쪽 벽에 가까이 있으면 열이나 오염물질의 농도는 위의 값의 두배가 될 것이고, 또 모퉁이(즉 두개의 벽과 바닥이 만나는 장소)에 오염원이 있는 경우에는 위의 값의 4배가 된다.

③ 오염원이 여러 곳인 경우

오염물질의 발생원이 여러개 있을 경우의 작업장내의 유해물질 농도는 각 발생원에서 발생하는 오염농도를 합산한다.

오염물질의 발생량과 전체 환기에 의한 배출량이 평형상태에 도달하면 실내의 오염물질의 농도는 E/Q가 된다.

여기에서 열발생량이 E Kj/시간이고 공기 배출량이 Q m³/초라면 온도상승은 0.00024 E/Q °C가 되고, 또 가스나 증기의 발생량이 E cm³/분이거나 분진발생량이 E mg/분라면 오염물질의 농도는 0.0167 E/Q ppm 또는 mg/m³가 된다.

2) 국소배기

국소배기환기의 목적은 발생되는 오염물질이 실내의 공기와 혼합되기 전에 발생원에서 제거 하자는 것이다. 이것은 발생원을 밀폐하거나 또는 물질을 포착하려는 위치에 후드를 설치함에 의한다. 그리고 포착된 오염물을 배기관(duct)을 통하여 공기청정장치로 보낸 후 외부로 배출하게 된다. 이때 배출공기를 가능한 적게 함으로써 경제적으로 유지비, 시설비 등을 적게하거나, 소음 진동을 없앨 수도 있다. 우선 이 국소배기 장치는 다섯 가지 단계로 생각하여 설계한다.

i) 오염물의 발생량과 발생양상, 작업 공정의 조건을 고려하여 어떤 모양의 후드를 선택할 것인가

ii) 모든 닥트내에서 최적반송속도를 유지할 수 있고, 침강, 부식, 압력저하가 없도록 닥트계를 설계한다.

iii) 오염물질의 성질, 농도, 배출량, 배출허용 농도등의 조건을 고려한 공기청정장치를 선정한다.

iv) 전체 장치내의 기류, 압력특성을 고려한다.

v) 위의 조건들을 만족시킬 수 있는 적절한 가동장치, 즉 팬(fan)을 선정한다. 공기배출량을 $Q \text{ m}^3/\text{초}$ 라 하면 후드 입구로부터 $X \text{ m}$ 거리에서의 기류는 $0.08 Q/X^2 \text{ m}/\text{초}$ 이다. 이 기류는 보통기류($0.1 \text{ m}/\text{sec}$) 보다 커야 한다. 후드 입구로부터 $0.9\sqrt{Q} \text{ m}$ 안에서 서서히 발생하는 유해물질은 제거될 수 있는데, 이러한 거리를 포집거리(capture distance)라고 하며, 이 포집거리는 그림 4와 같이 국소배기장치의 흡입구에 따라 다르다.

국소배기시설은 3 가지 종류로 크게 나눌 수 있다.

① 개노피식 후드(canopy hood or exterior hood)

배출입구가 오염원보다 크고 약간 떨어져 있다. 후드 입구에서의 필요배출량은 $0.5 \text{ m}^3/\text{초}/\text{m}^2$ 이고, 오염원이 차가운 물체인 경우 배출입구는 오염원으로 부터 0.6 m 상부에 위치하는 것이 적당하다(그림 5).

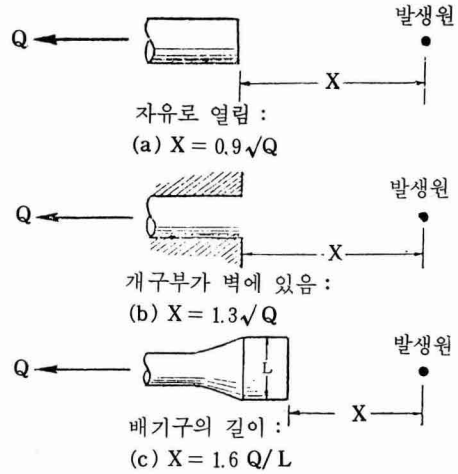


그림 4. 포집거리(X)와 공기의 유속과의 관계



그림 5. 복개형 배기통

② 스톱트형(slot type)

작업탱크 위로 기중기가 움직인단거나, 기타 다른 물체가 존재하는 경우에는 개노피식 후드는 사용할 수가 없다. 이때는 스톱트를 이용하는데(그림 6), 탱크입구의 면적이 1.5 m^2 가 넘으면 효율이 떨어진다. 공기배출속도는 탱크부위에서 $0.5 \text{ m}^3/\text{초}/\text{m}^2$ 이상이어야 하며, 도금공장에서 많이 쓰이고 있는 장치이다.

③ 부스식 혹은 포위형(booth type)

화학실험실 및 기타 화학물질을 취급하는 작업에서 많이 쓰이고 있는 장치로서 한쪽은 열려 있어서 기계나 물체를 부스내에 넣고 작업할 수 있는 장치이다. 필요한 공기배출량은 $0.5 \text{ m}^3/\text{초}/$

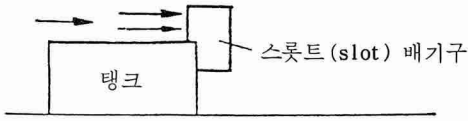


그림 6. 스톱트형 배기구

m^3 (부스입구)이고 보통 균일하게 분산시킨 후 배출하기 위하여 그림 7과 같이 내부에 기류조절장치(baffle)를 설치한다.

분쇄기의 바퀴 위에 분진을 제거하기 위하여 포워형 배기통(booth)이 많이 쓰이고 있는데,

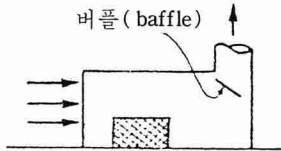


그림 7. 포워형 배기통

이때 분진은 제거하기 위한 필요공기배출량은 $0.05 D^2 OP m^3/초$ 이다.

여기에서

D : 분쇄기 바퀴의 지름(m)

O : 덮이지 않은 바퀴의 비율

P : 바퀴의 회전속도/분이다.

또 이 부스식은 분말을 용기에 집어 넣을 때 분진이 작업장 공기중에 비산되지 않도록 방지하는 데에도 많이 이용되고 있다.

Ⅲ. 환기의 측정

환기를 측정하는 방법은 기류의 방향과 유선을 측정하는 것과 환기량을 측정하는 것으로 나뉘어 지는데, 기류를 측정할 때는 화재의 위험이

없는 곳에서는 담배연기, 고무풍선의 흐름 등으로 알 수 있으나, 스모그시험(smog test)이라는 장치나 열선풍속계(anemometer)가 개발되어 있다. 스모그시험장치의 원리는 $SnCl_4$ 를 밀폐된 유리관에 넣은 것으로 양쪽 끝을 자르고 공기를 통과시키면 흰 연기가 나오게 되어 있어서 간단히 기류의 방향을 측정할 수 있는 것이다. 열선풍속계의 원리는 전기적으로 가열된 금속선에 기류가 닿으면 열손실이 일어나서 금속선이 냉각된다. 이때 소실되는 열량은 기류와 관계가 있으므로 이로 부터 기류속도를 구하게 된다. 이 기기는 기온과 정압(static pressure)을 동시에 측정할 수도 있다.

1. 환기량의 측정

자연환기의 측정은 일반적으로 탄산가스의 농도변화를 측정하여 산출한다.

$$Kt = K_0 + \frac{M}{EV}$$

여기에서

Kt : t 시간 후의 탄산가스농도

K_0 : 외기의 탄산가스농도

V : 실내기적(m^3)

M : 실내에서 발생하는 탄산가스의 용적(m^3 /시간)

E : 환기회수이다.

또 인공환기는 송풍량이나 배풍량을 사용하고 있는 장치의 용량으로 부터 계산될 수 있지만, 실제와는 다른 것이 보통이다. 따라서 배기구에 있어서 풍속을 측정하여 산출하는 것이 좋다.

일반적으로 한 사람당 $30 m^3$ /시간의 환기가 필요하다.

정기적인 건강진단
내몸보호 기업보호