

산업환기 설계의 이해(Ⅱ)

- 국소배기장치의 설계

한국산업안전보건공단 산업보건국 / 유재홍

지난 2월호에서 산업환기 설계에 대한 기본적인 개념에 대해 설명하였다. 이번 호에는 국소배기장치의 설계 방법에 대해 좀더 구체적으로 알아보도록 하자.

려되어야 할 것이다.

국소배기장치의 설계는 자료수집, 후드, 덕트, 공기정화장치, 송풍기(배풍기) 순으로 설계된다. 즉, 설계에 필요한 자료를 수집하고 해당 작업의 유해물질을 적절하게 제거하기 위해 각 후드의 필요배풍량을 결정한 후 덕트의 크기 및 공기정화장치 용량을 결정하고, 최종적으로 송풍기가 필요로 하는 정압과 배풍량 등을 결정하게 된다.

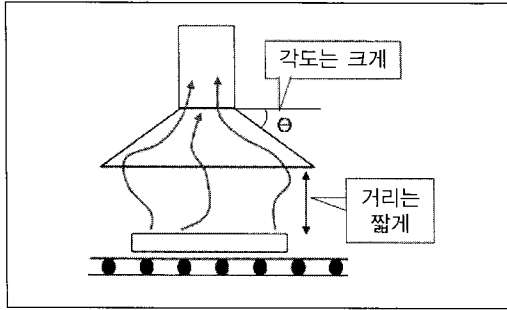
(1) 설계 전 자료수집

국소배기장치를 설계하기 전에 건물 및 공정의 도면, 설비배치도, 작업형태, 오염물질 발생특성 등에 대한 자료의 확보가 필요하며, 공기정화장치 및 송풍기 등 설치장소에 대한 확보도 필요하다. 또한, 국소배기장치 설계 시 일반적으로 배기만을 고려하여 설계하는 경향이 많은데, 배기되는 만큼의 급기를 어떤 위치에서 어떻게 할 것인가를 설계 전에 반드시 고려되어야 한다.

이러한 설계과정에서 유념해야 할 사항은 법정 제어풍속을 만족시키면서 작업자 호흡영역을 보호한다는 전제하에서 가능한 배풍량은 적게 하고, 압력손실의 발생을 최소화할 수 있도록 여러 가지 설계인자를 적절히 고려해야 한다는 것이다. 또한, 국소배기장치를 설치하고 난 후 성능확인 등 유지관리의 용이성을 확보해야 한다는 점도 함께 고

(2) 후드(Hood)의 설계

후드의 설계는 유해물질을 적절히 제거하기 위한 후드형태와 크기를 결정한 후 산업안전보건법(산업보건기준에 관한 규칙 제7



〈그림 1〉 후드 형태 및 크기

조, 제175조, 제202조)에서 규정하고 있는 제어풍속을 적용하여 필요 배풍량을 결정한다.

가) 후드 형태 및 크기 결정

후드 형태는 작업형태, 유해물질 발생특성, 주변기류(방해기류) 영향 등을 고려하여 결정하되 포위식을 우선으로 고려하고, 유해물질 발생원과의 거리 및 개구면의 크기는 가능한 최소로 한다. 또한, 후드와 덕트가 연결되는 부분의 테이퍼(taper) 각도는 가급적 크게 하여 유해물질이 후드 개구면 전체로 고르게 유입되게 하도록 한다.

나) 후드 배풍량 결정

후드 배풍량은 제어풍속, 발생원과의 거리(포착거리), 후드 개구면적으로 계산되어진다. 후드 형태별로 여러 가지 계산공식이 있지만, 이 중 가장 기본이 되는 공식이 포위식 후드의 배풍량 산정공식과 일반 외부식 후드에 대한 배풍량 산정공식이다.

- 포위식 후드 : $Q = V \times A \times 60$
- 일반 외부식 후드 :
 $Q = V \times 60 \times [10X^2 + A]$

여기서, Q는 배풍량(m^3/min), V는 제어풍속(m/sec), A는 개구면 면적(m^2), X는 포착거리(m)이다. 이 두 가지 공식으로 대부분의 후드 배풍량을 산정할 수 있다. 다만, 외부식 후드의 경우 후드 개구면 테두리에 플랜지(Flange)를 부착한 형태의 후드가 플랜지를 부착하지 않은 후드에 비해 약 25%의 필요 배풍량을 감소시킬 수 있는 효과가 있으므로 이때의 배풍량은 일반 외부식 후드 배풍량 계산식에 0.75를 곱한 $Q = 0.75 \times V \times 60 \times [10X^2 + A]$ 로 계산된다.

또한, 부력상승기류가 발생하는 공정에 설치되는 캐노피(Canopy) 후드의 필요 배풍량은 다음과 같이 계산한다.

- 캐노피 후드 : $Q(m^3/min) = 60 \times 1.4PHV$

여기서, P는 유해물질 발생원 또는 탱크 개구면 둘레의 길이(m)를 의미하며, H는 발생원(탱크)에서 후드개구면까지의 거리(높이, m)를 의미한다. 특히, 캐노피 후드를 설계할 때에는 유해물질 발생원과 후드 사이에 작업자의 호흡영역이 위치하지 않도록 하여야 하며, 후드 주변 방해기류 영향을 반드시 고려하여야 한다.

하지만, 용해로와 같은 고열공정(Hot

Processes)에서 캐노피 후드에 대한 필요 배풍량 계산식은 상기 계산식과는 다르게 계산된다. 먼저 후드 설치위치와 고열발생원(오염원)과의 거리(X_c)를 이용하여 후드 개구면 크기(D_c)를 결정하고($D_c=0.5X^{0.88}$), 고열발생원 온도(Δt), 후드와의 거리(X_c), 고열발생원 면적(A_s)을 이용하여 후드 개구면 속도(V_f , m/sec)를 구한 후(식 $V_f=8 \times A_s^{0.33} \times \Delta t^{0.42} / X_c^{0.25}$) 이를 후드 유효개구면적(A_c , m^2)에 곱하여 필요 배풍량(Q , m^3/min)을 구하게 된다(식 $Q=60V_fA_c$).

외부식 후드 중 도금공장 등 개방조(Open Surface Tank)에서 많이 사용하는 푸쉬-풀(Push-Pull) 후드의 배풍량은 처리조(탱크)의 액체온도 $65^\circ C$ 를 기준으로 급기(push)측과 배기(pull)측의 배풍량을 각각 산정한다.

이때 고려해야 할 사항은 급기각도가 20° 이내여야 하며, 배기측의 슬롯 개구면 풍속이 $10m/sec$ 이상이어야 한다. 고열공정 캐노피 후드와 푸쉬-풀 후드에 대한 보다 자세한 설계방법은 ACGIH의 Industrial Ventilation Chapter 3을 참고하길 바란다. 기타, 후드 배풍량의 계산은 ACGIH의 Industrial Ventilation Chapter 10에서 제시하고 있는 작업(설비)형태별 후드 배풍량 산정식을 활용할 수 있다.

(3) 덕트(Duct)의 설계

덕트의 형태에서 공기의 흐름을 원활히 할 수 있고 압력손실 발생이 적은 원형덕트 사용을 권장하고 있으며, 설치길이는 가능한 짧게 한다. 덕트의 재질과 두께는 덕트내 압력, 온도, 유해물질의 특성에 따라 적절하게 선정해야 하며 일반적으로 주철관, 아연도강관, PVC, FRP 등의 많이 사용한다. 그리고 후드의 배풍량을 적정 이송속도(반송속도)로 나누어서 덕트의 크기를 결정한다. 여기서 이송속도는 후드로부터 흡인된 유해물질이 덕트 내에 퇴적되지 않게 하기 위한 최소의 풍속으로 ACGIH의 Industrial Ventilation에서 권고하고 있는 유해물질 종류에 따른 발생형태별 이송속도를 일반적으로 적용하고 있다.

(4) 공기정화장치의 설계

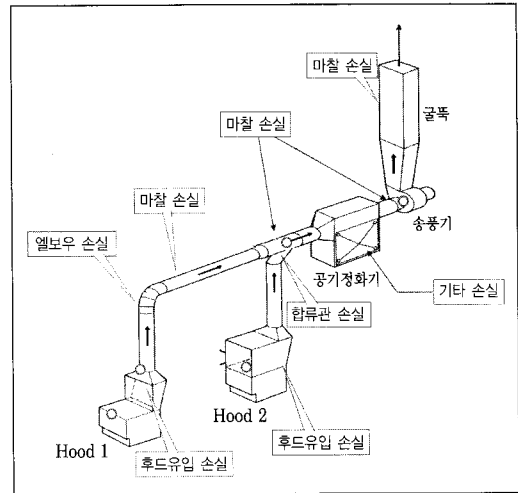
공기정화장치의 설계는 그 형식에 따라 고려해야 하는 설계인자가 매우 다양하며, 설계방법도 다소 복잡하고 어렵다. 하지만, 공기정화장치 설계에 있어 기본적인 개념은 처리하고 하는 유해물질이 가스상 물질인지 입자상 물질인지에 따라 적절한 여과방식을 선정하며, 그 유해물질의 마모성, 부식성 등의 특성을 고려하여 재질, 두께 등을 결정한다. 그리고 유해물질 유입량, 여과속도, 체

류 또는 접촉시간, 여과장치 구조, 운전특성 등을 고려하여 여과재의 수량과 공기정화장치의 규격 등을 결정한다.

(5) 송풍기의 설계

송풍기는 후드에서 흡인된 유해물질 함유 공기가 덕트와 공기정화장치를 거쳐 대기 중으로 배출되도록 하는 공기 흐름의 힘을 제공한다. 따라서 적절한 공기흐름을 발생시키기 위해서는 적정 필요 배풍량과 함께 후드부터 최종배기구까지 발생하는 마찰손실 등의 압력손실을 극복하여야 한다. 압력은 동압(Velocity Pressure, VP), 정압(Static Pressure, SP), 전압(Total Pressure, TP)으로 구분되며, 동압은 공기가 일정한 속도로 흐르도록 하는데 필요한 압력, 즉, 속도압을 말하며 항상 (+)압을 나타내고, 정압은 마찰저항 등 공기가 흐를 때 발생하는 저항력을 말하며, 일반적으로 송풍기를 기점으로 송풍기 앞에서는 (-)압, 송풍기 뒤에서는 (+)압을 나타낸다. 전압은 동압과 정압을 합을 의미한다.

송풍기를 설계하기 위해서는 전체 배풍량과 전체 정압을 알아야 한다. 전체 배풍량은 각 후드의 배풍량의 합을 의미하며, 송풍량이라고도 한다. 전체정압은 후드부터 최종 배기구까지의 공기흐름에서 발생하는 정압을 의미하며, 송풍기 정압 또는 팬정압



〈그림 2〉 송풍기 정압

(FSP, Fan Static Pressure)이라고 한다.

가) 배풍량

앞서 언급하였듯이 송풍기 배풍량은 각 후드에서 설계되어진 배풍량의 산술적인 합으로 계산되어지며, 표준상태로 환산하지 않은 실제 송풍기 통과유량을 의미한다. 단위는 보통 m^3/min (CMM) 또는 m^3/hr (CMH)로 나타낸다.

나) 송풍기 정압(FSP)

송풍기 정압은 일반적으로 후드정압, 덕트내 압력손실, 공기정화장치 압력 손실 등의 합으로 결정된다. 후드정압에는 후드유입 손실, 가속 손실, 기타 손실 등이 있으며, 덕트내 압력손실에는 관마찰 손실, 엘보우(Elbow) 손실, 합류관 손실, 특수접속부 손

실 등이 있다.

○ 후드정압

- 후드유입 손실 : 공기가 후드나 덕트로 유입될 때 발생하는 압력 손실
- 가속 손실 : 정지된 상태의 외부공기를 일정한 속도로 움직이도록 가속화하는데 필요한 압력손실로 일반적으로 가속계수는 “1”을 사용
- 기타 손실 : 후드에 필터를 부착하는 것과 같이 추가로 발생하는 압력 손실

○ 덕트내 압력 손실

- 관 마찰 손실 : 공기가 덕트를 통과할 때 덕트내 마찰에 의해 발생하는 손실
- 엘보우 손실 : 곡관(새우등)에 의해 발생하는 압력 손실
- 합류관 손실 : 주관과 가지관 등이 합류될 때 유입각도에 따른 손실
- 특수접속부 손실 : 축소관, 비마개 등에 의한 압력 손실

○ 공기정화장치 압력 손실

- 여과재 등에 의해 발생하는 압력 손실
- 일반적으로 압력손실(ΔP)은 동압(VP)에 비례하며, 계산식은 압력손실계수(f)와 동압의 곱으로 나타내어진다(식 $\Delta P = f \times VP$). 여기서 압력손실계수는 각 부위 손실에 대한 상수로서 형태, 각도 등에 따라 결정된다. 다만, 관 마찰 손실(H_f)은 관의 재

질에 따라 덕트 길이 1 m당 통과 풍량(Q)과 속도(V)로서 계산되어진다($H_f = a \times V^b / Q^c$, 여기서 a, b, c 는 덕트 재질에 따른 상수값). 특히, 후드가 2개 이상이 연결된 다중후드시스템(Multiple Hood System)에서 정압균형유지법으로 설계 시 합류지점의 정압과 유입관(가지덕트)의 정압을 같게 하기 위하여(정압비가 1.2 이상의 경우) 정압이 낮은 쪽의 풍량을 증가시키거나 덕트 직경 등을 조절하여 정압을 맞춰야 한다.

이상의 결과를 이용하여 송풍기 정압은 송풍기 전후 정압(SP_{in}, SP_{out})의 합과 송풍기 전 동압(VP_{in})의 차로써 계산되어진다($FSP = SP_{out} - SP_{in} - VP_{in}$).

(6) 송풍기 사양결정

송풍기 사양은 이상에서 구한 송풍기 배풍량($Q, m^3/min$)과 송풍기 정압(FSP, mmH_2O)을 이용하여 결정할 수 있으며, 일반적으로 송풍기 카탈로그에 나타나 있는 송풍기 성능표와 성능그래프를 이용하는 방법과 송풍기 소요동력 계산식을 이용하여 사양을 결정하는 방법이 있다.

가) 송풍기 카탈로그 이용방법

국내에서 생산되고 있는 송풍기의 종류별 배풍량과 송풍기 정압에 따라 작성된 송풍

기 성능표와 성능그래프를 이용하여 해당 배풍량과 정압에 일치하는 소요동력 및 회전수를 구하여 송풍기 사양을 결정한다.

나) 소요동력 계산식에 의한 방법

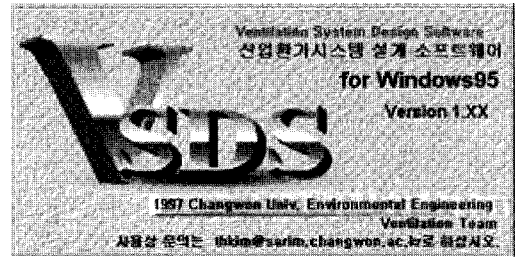
계산된 송풍기 배풍량(Q, m³/min)과 송풍기 정압(FSP, mmH₂O)을 이용하여 다음의 계산식에 따라 소요동력(Ha, kW 또는 Hp)을 계산할 수 있다.

- 계산식 : $Ha(kW) = Q \times FSP / (102 \times 60)$
또는 $Ha(Hp) = Q \times FSP / (75 \times 60)$

송풍기 사양을 결정하는 두 가지 방법 중 송풍기 카탈로그를 이용하는 방법이 쉽고 간편할 수 있으나, 아직까지 국내에 송풍기 사양별로 성능표나 성능그래프를 작성하여 제시하고 있는 송풍기 제작업체가 많지 않아 설계시 계산식에 의한 방법을 일반적으로 사용하고 있다.

이상에서 설명한 국소배기장치 설계방법은 수 계산에 의한 방법이다. 이러한 계산방법과 ACGIH의 설계 계산 SHEET를 병행한다면 좀더 쉽게 설계할 수 있다.

또한, 창원대학교 산업환기연구실에서 개



〈그림 3〉 창원대학교에서 개발한 산업환기 설계 소프트웨어

발한 “산업환기설계 소프트웨어”를 사용하면 수 계산에 의한 방법보다 보다 쉽게 국소배기장치를 설계할 수 있을 것이다.

지금까지 2편에 걸쳐 산업환기 설계에 대해 설명하였다. 산업환기 설계가 다소 어렵다고 느낄 수 있지만 설계하고자 하는 공정의 문제점과 근로자 및 관리자의 의견을 충분히 이해하고 있다면 누구나 쉽게 효율적으로 산업환기 설비를 설계할 수 있을 것이라 생각한다. 그러기 위해서는 많은 현장경험과 연습을 통한 설계자 개인의 역량도 함께 증진되어야 할 것이다.

앞으로 균형 잡힌 산업환기 설비의 설치를 통해 보다 쾌적한 작업환경이 조성될 것을 기대해 본다. ☺