

산업환기 시스템 진단! 무엇을 어떻게 할 것인가?

2003. 7. 15.

창원대학교 환경공학과
하현철

e-mail : cfdace@hanmail.net

Tel : 055-289-7587

산업환기 시스템은 시스템 구성과 환기 방법에 따라 전체환기와 국소배기로 나누고 있다. 하지만, 일반적으로 현장에서 산업환기 시스템이라고 하면 국소배기시스템을 지칭하는 경우가 많고, 대부분의 진단(검사)이 국소배기시스템을 대상으로 이루어지기 때문에 본 교재에서도 국소배기시스템의 진단(검사)을 중심으로 설명하고자 한다. 국소배기 시스템은 작업공정 중에 발생하는 다양한 형태의 오염물질을 오염원에서 배기시켜 작업자의 노출을 최소화하기 위한 목적으로 설치되는 것으로, 후드, 덕트, 공기정화기, 송풍기 및 굴뚝(배출구) 등 5가지 요소로 구성되어 있다. 국소배기 시스템은 설치 직후에 초기 검사를 해야 하고, 그 후에 주기적인 검사(국소배기 가체검사)를 실시하여 시스템이 정상적으로 작동되도록 하여야 한다. 초기 검사의 목적은 시스템을 설계된 대로 설치했는가를 확인하는 것으로 외관 검사와 더불어 제어풍속, 덕트속도, 정압, 풍량, 송풍기 정압 등을 측정한다. 초기 검사 시에 측정한 자료는 추후의 주기검사결과를 체크하기 위한 기본 자료로 활용할 수 있으며, 이후의 시스템 변경에 필요한 기초 설계자료로 활용할 수 있다. 우리나라의 경우 아직 산업환기분야의 역사가 일천하여 산업환기시스템에 측정공을 제대로 뚫어 놓지 않아 정상적인 검사를 실시할 수 없으나, 앞으로 제대로 된 시스템을 적절하게 검사하기 위해서는 측정에 필요한 장비 및 측정방법에 대해서 알아 둘 필요가 있다. 또한 검사결과 문제가 발생했을 때의 조치사항에 대해서도 알아보하고자 한다.

I. 압력 및 유량 측정 방법

1. 압력 측정 방법

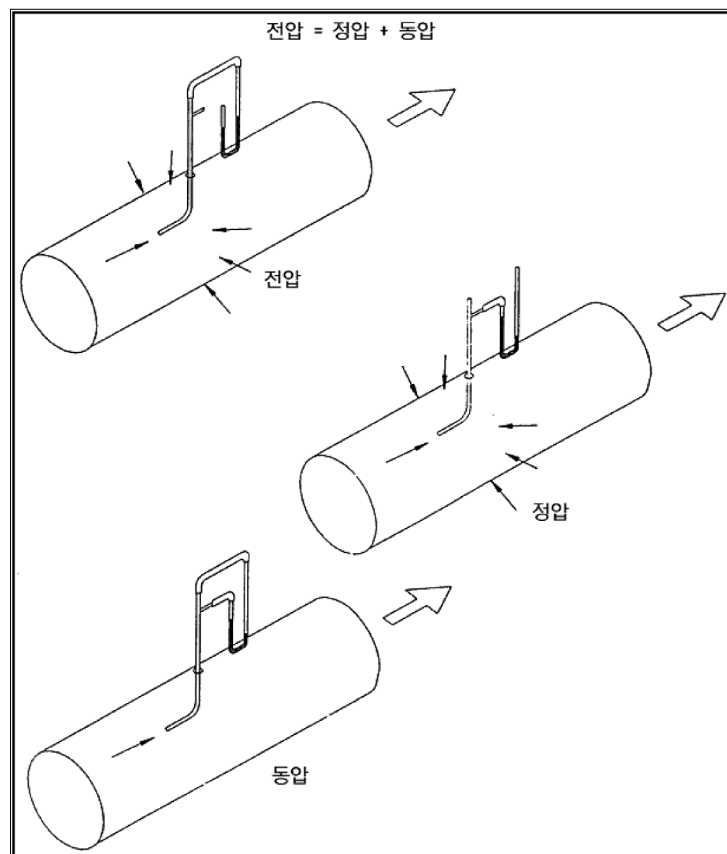
1.1 정압

후드, 공기정화기 및 기타 배기시스템의 저항이나 압력강하를 추정하기 위해서는 필수적으로 정압을 측정하여야 한다. 일반적으로 기름, 물 또는 특정한 액체로 채워진 U자 마노미터(U-tube manometer)를 이용하여 측정한다. 대부분의 경우 수직형의 마노미터를 사용하여 정압을 측정하나, 보다 미세한 압력을 정확하게 읽어 내기 위해서는 10:1의 기울기를 갖는 경사마노미터를 사용할 때도 있다. 현장에서 측정할 때는 마노미터의 한쪽 부분을

대기에 노출시켜 놓고 다른 한쪽 부분을 튜브로 연결하고 튜브의 끝을 덕트의 정압공에 연결하여 측정한다.(<그림 1-1 참조>)

정압측정용 측정구는 엘보우나 공기흐름의 방향이 덕트의 벽면과 평행하지 않는 곳은 피해야 한다. 왜냐하면 공기의 흐름이 직선이 아닐 때, 공기 흐름에 의한 동압이 정압측정공쪽으로 영향을 미치기 때문에 정확한 정압을 잴 수 없다. 이러한 이유 때문에 정압측정공은 덕트의 내부 표면에 흠이나 돌출부가 생기지 않도록 드릴로 뚫어야 하고 편치로 뚫어서는 안된다.<그림 1-2~4 참조>)

덕트 내면의 돌출에 의한 문제점을 피하기 위해서는 피토투브를 덕트 안으로 넣어 정압만을 측정할 수 있다. 일반적으로 정압의 평균값을 구하기 위하여 덕트 둘레를 원주방향으로 일정한 간격으로 2~4개의 정압측정구를 드릴로 뚫은 다음 각 측정구에서 정압을 측정하여 평균한다.



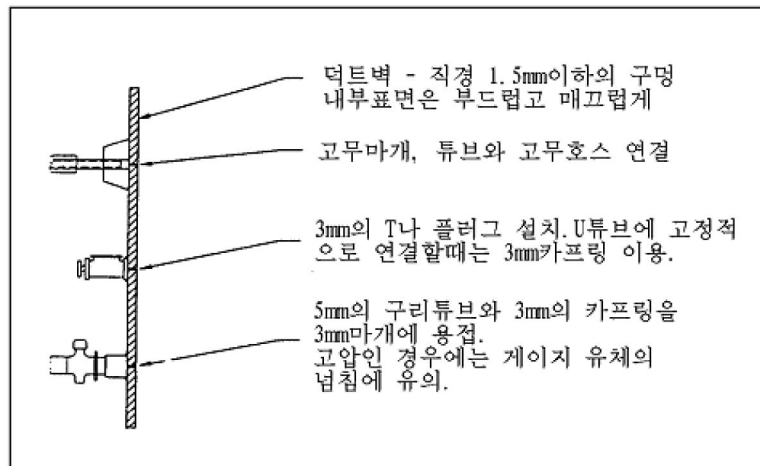
<그림 1-1> 피토투브를 이용한 압력 측정방법



<그림 1-2> 피토투브를 이용한
정압측정 모습



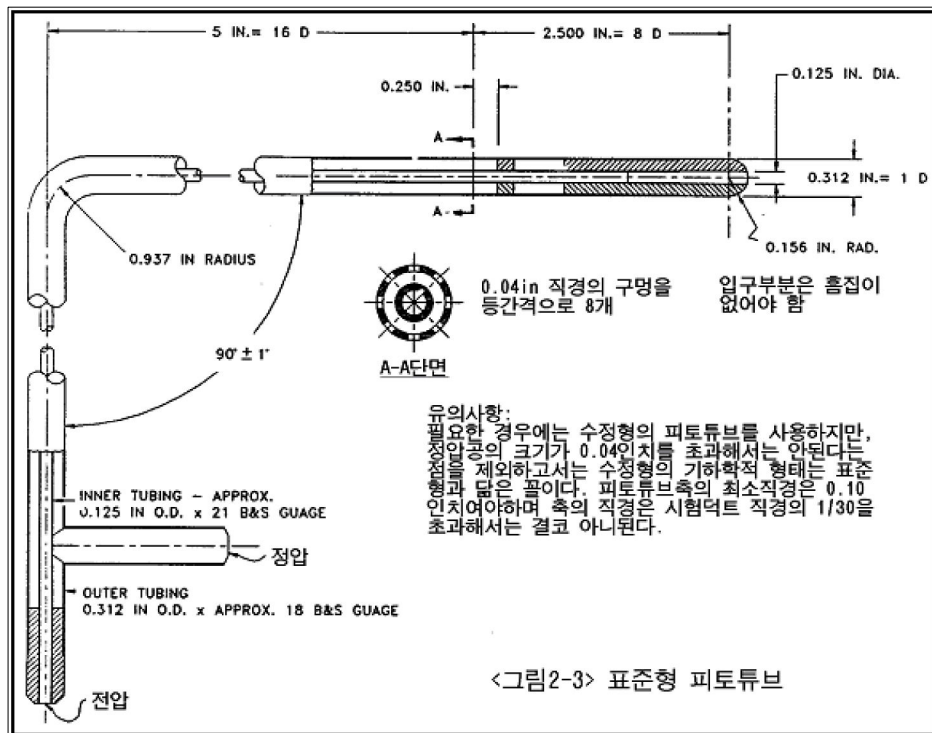
<그림 1-3> 드릴을 이용한 정압
측정구 뚫기



<그림 1-4> 정압 측정구의 구조

1.2 동압

표준형 피토투브를 이용하여 동압을 측정함으로써 유속을 구할 수 있다. 표준형 피토투브를 주의 깊게 사용한다면 보정할 필요가 없으며 10m/s 이상의 속도에서 $\pm 1.0\%$ 의 정확도를 얻을 수 있다. 피토투브는 <그림 1-5>에 보인 바와 같이, 2개의 동심튜브로 구성되어 있으며, 중심쪽에 있는 튜브로는 전압이 전달되고, 바깥쪽 튜브로는 정압이 전달 된다. 이 두 튜브는 이중으로 되어 있지만 피토투브의 끝단이 서로 분리되어 있기 때문에 적절한 폴리에틸렌 튜브를 이용하여 마노미터에 연결시키면 전압과 정압의 차이인 동압을 직접 읽을 수 있다.



<그림2-3> 표준형 피토투브

<그림 1-5> 표준형 피토투브

동압과 공기밀도를 알 경우에는 공기의 유속을 다음 식으로부터 계산할 수 있다.

$$V=4.43\sqrt{\frac{VP}{\rho}} \quad (1-1)$$

여기서

V=속도, m/s

VP=동압, mmH₂O

ρ=실제 공기의 밀도, kg/m³

표준상태의 공기일 경우(ρ=1.2 kg/m³),

$$V=4.043\sqrt{VP} \quad (1-2)$$

만약 공기의 온도가 표준공기(20℃, 1기압)로부터 15℃이상 차이 나거나, 고도가 해수면으로부터 300m이상 차이나거나, 공기중 수증기량이 0.02 kg/ 건조공기kg 이상일 때 열습선도(Psychrometric Chart)와 고도에 따른 보정치를 이용하여 실제 공기의 밀도를 구한다.

보정된 경사마노미터는 ±0.15mmH₂O정도까지 읽을 수 있고, 경사마노미터에 연결시켜 사용하는 표준형 피토투브의 정확도는 아래와 같다. 아래 표에서 알 수 있듯이 유속이 빠를 때에는 오차가 아주 작으나 유속이 3~4m/s인 저유속 범위에서는 상당한 오차를 발생시킴을 알 수 있다.

<표 1-1> 속도에 따른 측정 오차

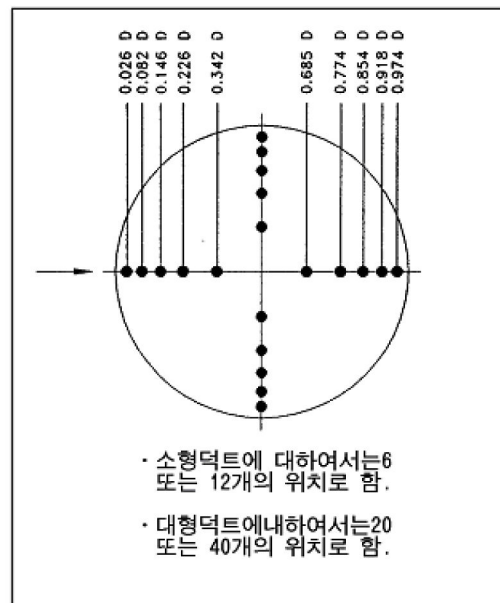
속도(m/s)	%오차(±)
20	0.25
15	0.3
10	1.0
5	4.0
4	6.0
3	15.0

2. 유량 측정 장비 및 방법

2.1 피토티브 횡단법(Pitot Traverse Method)

덕트의 단면을 흐르는 공기의 유속은 일정하지 않으므로, 단면을 같은 면적을 갖는 여러 부분으로 나누어 각 부분의 동압을 측정하여 산술평균하면 덕트 내의 평균유속을 구할 수 있다.

원형덕트인 경우, <그림 1-6>에 나타난 바와 같이 덕트의 단면을 이등분하는 서로 직각으로 교차하는 선을 긋고, 덕트의 단면을 10등분하는 동심원을 그은 다음 각각의 동심고리(annular ring)의 중심과 덕트 단면의 이등분 교차선이 만나는 지점을 측정점으로 한다. 측정지점수는 덕트의 크기에 따라 차이가 있는 데, 150mm이하의 원형덕트는 6개 이상의 측정점, 150mm 이상의 원형덕트는 10개 이상의 측정점을 선정해야하고 최대 20개를 넘기지 않도록 한다. 덕트 크기에 따른 측정지점의 위치 및 갯수는 아래의 <표 1-2>과 같다. 측정오차를 최소화시키기 위하여, 직경이 300mm이하인 덕트에는 피토티브의 외경이 8mm를 초과해서는 안된다.



<그림 1-6> 원형덕트 피토티브 횡단점

<표 1-2> 덕트의 직경이 150mm이하인 경우의 피토투브 측정점
(6 point traverse)

덕트직경 (mm)	R1 0.043D	R2 0.146D	R3 0.296D	R4 0.704D	R5 0.854D	R6 0.957D
75	3	11	22	53	64	72
100	4	15	30	70	85	96
125	5	18	37	88	107	120
150	6	22	44	105	128	144

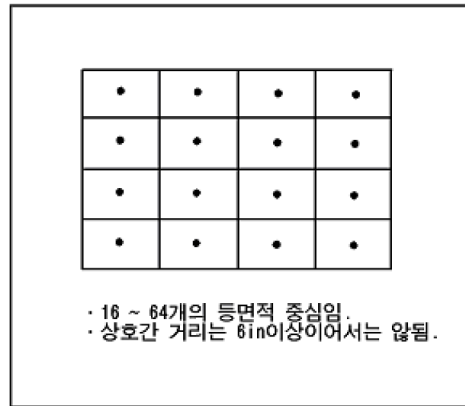
<표 1-3> 덕트의 직경이 100mm~1500mm인 경우의 피토투브 측정점
(10 point traverse)

R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
0.026D	0.082D	0.146D	0.226D	0.342D	0.658D	0.774D	0.854D	0.918D	0.974D

<표 1-4> 덕트의 직경이 1000mm~2000mm인 경우의 피토투브 측정점
(20 point traverse)

R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
0.013D	0.039D	0.067D	0.097D	0.129D	0.165D	0.204D	0.250D	0.306D	0.388D
R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20
0.612D	0.694D	0.750D	0.796D	0.835D	0.871D	0.903D	0.933D	0.961D	0.987D

정사각형 또는 직사각형의 덕트에서는 <그림 1-7>에서 보는 바와 같이 단면적을 여러 개의 등면적의 사각형으로 나누어서 각 사각형의 중심에서 동압을 측정한다. 측정지점수를 16개 이상으로 하되, 측정지점 사이의 거리가 약 150mm정도가 되도록 한다.



<그림 1-7> 사각형 덕트 피토투브 횡단점

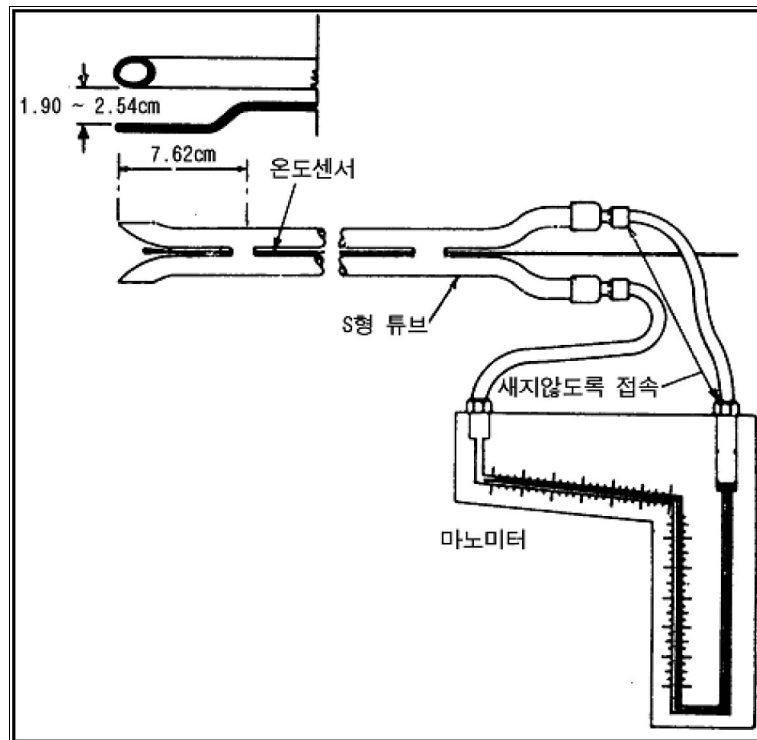
한편, 피토투브 횡단법에 의한 유량 측정은 엘보우나 후드 및 분지관의 유입구 등과 같이 교란이 심한 지역에서 하류 방향으로 덕트직경의 7.5배 이상 되는 지점에서 실시해야 한다. 그러나 현장의 산업환기시스템에서 이러한 조건을 만족시키는 지점을 찾기 힘든 경우가 많다. 이 때에는 덕트 직경의 7.5배 이하인 지점에서 측정해야 하는데, 측정지점을 두 군데로 정하여 측정했을 때 측정치의 차이가 10%이내여야 하며 실제유량은 두 지점의 평균유량으로 구한다. 편차가 10%이상이라면 세번째의 위치를 선정하여 측정치를 구하고 가장 잘 일치하는 2개 위치의 값을 평균하여 이용한다.

피토투브 횡단법에 의해 측정지점에서 동압을 측정한 후 이를 유량으로 환산해야 한다. 각 지점의 동압을 유속으로 환산하고 이들을 평균하여 평균 유속을 구하며, 평균유속에 덕트의 단면적을 곱하여 유량을 구한다. 이 때 주의해야 할 것은 각 지점에서의 동압을 평균한 후 이 평균 동압을 유속으로 환산하지 않도록 주의해야 한다.

피토투브는 유속이 느린 곳에는 사용할 수 없으며, 눈금을 바로 읽을 수 없다는 단점을 갖고 있다. 액체형 마노미터를 사용할 때에 진동이 없는 지점에 마노미터를 두어야 하고, 분진이나 습기가 많은 곳에서 측정할 때에 눈막힘 현상이 일어나기 쉬우므로 주의해야 한다.

다량의 분진이 함유된 공기흐름을 측정할 때 발생하는 눈막힘 현상을 해결하기 위하여 표준형의 피토투브를 수정하여 “S”튜브를 개발했다. <그림 1-8>에서 보는 바와 같이 두개의 튜브 중 하나는 공기흐름과 마주 보도록 하여 전압을 측정하고 나머지 하나는 공기흐름을 등지도록 하여 정압을 측

정하도록 되어 있다. 이 두 튜브를 마노미터에 연결시켜 전압과 정압의 차이인 동압을 측정하도록 되어 있다. 이러한 형식의 피토투브는 크기가 너무 커서 덕트장치에 삽입이 곤란하고, 정확도 면에서 표준형 피토투브보다 떨어지므로 보정하여 사용해야 한다.



<그림 1-8> S 튜브

2.3 풍속계

흡인 및 배기유량을 측정하거나 덕트 내의 유속을 측정하기 위해서 풍속계를 사용하며, 풍속계의 종류와 특성에 대해 아래의 <표 1-5>에 요약하였다. 모든 풍속계는 제작자의 사용지침에 따라 주의 깊게 사용해야 하며, 보정이 필요한 경우 이를 철저히 지켜야 한다.

〈표 1-5〉 풍속기기별 원리 및 특성

기 기	유속 범위 (m/s)	덕트 측정 공 직경 (mm)	사용 온도 범위	분진 및 흙에 대한 곤란도	보정의 필요성	건고성	일반적인 유용성
피토 튜브 (마노 미터와 함께 사용)	표준 소형 "S"형	>3 5 20	넓음 넓음 넓음	어느 정도 어려움 어려움 약간 어려움	필요 없음 한번 한번	좋음 좋음 좋음	저유속을 제외하고는 좋음 저유속을 제외하고는 좋음 특수용도
그네날개형 풍속계 (Swing Vane Anemometer)	0.12 ~ 50	12 ~ 25	중간	어느 정도 어려움	자주	괜찮음	좋음
회전 날개형 풍속계 (Rotating Vane Anemome- ter)	기계식 0.15 ~ 50 전자식 0.12 ~ 1.0 0.12 ~ 2.5 0.12 ~ 10 0.12 ~ 25	덕트에 사용하면 안됨 덕트에 사용하면 안됨	좁음 좁음	어려움 어려움	자주 자주	좋지 않음 좋지 않음	특수용도 특수용도(직 독식이며 기록계도 사용가능)

*온도범위 : 좁음(-5 ~ 65℃), 중간(-5 ~ 150℃), 넓음(-5 ~ 400℃)

1) 열선 풍속계(Thermal Anemometer)

열선 풍속계(heated wire anemometer)는 <그림 1-9>에 나타난 바와 같이, 가열된 물체 주위로 공기가 흐르고 있을 때 이 공기흐름에 의해 발생된 손실 열량이 공기의 유속과 관계가 있다는 원리를 이용한다. 시판되고 있는 열선풍속계는 유속과 온도 센서가 결합되어 있다. 유속센서는 일정한 온도로 작동되며, 센서의 온도는 주위 온도보다 25℃정도 높게 조정된다.

유속센서는 매우 가늘기 때문에 사용시 주의를 요하며, 분진이 센서에 달라붙으면 센서의 민감도가 떨어지기 때문에 주의해야 한다. 분진이 많이 함유된 공기흐름에는 사용이 불가능하며, 세척제를 이용하여 주기적으로 센서를 세척해야 한다. 벨로미터와 마찬가지로 급기 및 배기 개구의 유속을 바로 측정할 수 있으며, 적절한 부속장치를 접속시키면 정압도 측정할 수 있

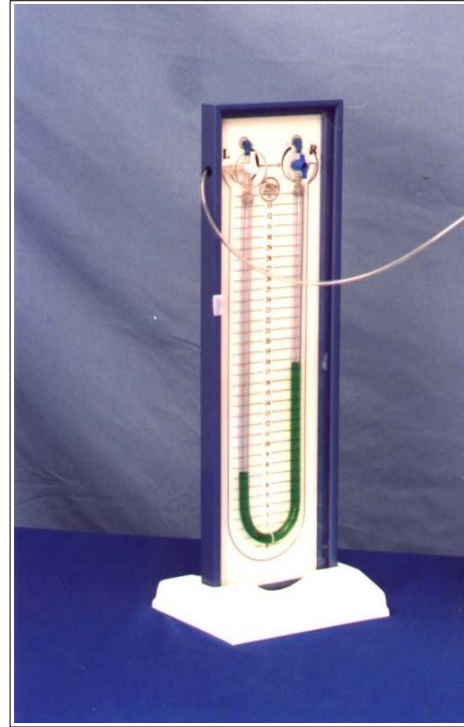
다. 프로브(probe)의 직경이 작기 때문에 피토투브 처럼 덕트내에 삽입하여 유속을 직접 측정할 수 있다. 축전지로 가동되기 때문에 사용 전에 축전지의 전압을 항상 점검해야 하고, 주기적인 보정을 해야 한다.



<그림 1-9> 열선 풍속계

2) U자 마노미터

수직형의 U자 마노미터는 <그림 1-10> 과 같은 형태로 가장 간단한 구조의 압력계이지이다. 일반적으로 U자 마노미터는 mmH₂O로 보정되어 있으며, 여러 가지의 유체를 매체로 이용하고 있다. 매체로 사용되는 유체는 알코올, 수은, 기름, 물, 석유 및 특정한 유체 등이다. 시판되고 있는 U자 마노미터는 적용범위나 칼럼 및 모양새 등이 상당히 다양하다. 튜브는 깨어지지 않도록 플라스틱으로 만드는 경우가 많으며, 마노미터의 눈금을 보다 용이하게 읽을 수 있도록 한쪽의 가지에 둥근 저장통(reservoir나 well)을 만들어 두기도 한다.

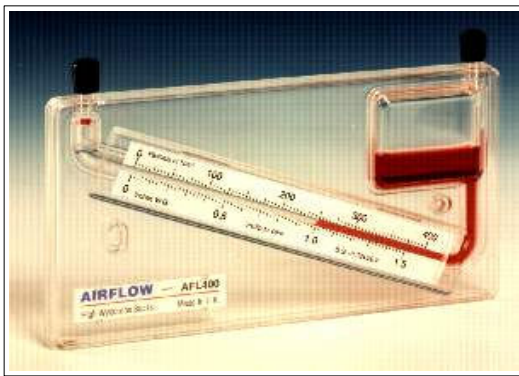


<그림 1-10> U자 마노미터

3) 경사 마노미터

<그림 1-11>과 <그림 1-12>와 같이 U자 마노미터의 한쪽 가지를 기울여 지게 만든 것이 경사 마노미터이며, 감도가 증가하고 눈금이 확대되게 된다. 경사 마노미터는 일반적으로 10:1의 기울기를 가지게 되면 보다 높은 정확도를 나타내며 보다 낮은 눈금치를 읽을 수 있게 해준다. 시판되는 것을 보면 한쪽 튜브만을 자그마한 구멍으로 하고 다른 쪽의 가지에는 둥근 저장통을 만들어 두고 있다. 게이지의 정확성은 튜브의 기울기에 의존하는 것이다. 그러므로 게이지의 기초레벨은 조심스레 조정하여 두어야 하고, 정확한 레벨을 나타낼 수 있도록 적절히 고정되어 있어야 한다. 성능이 우수한 경사형 마노미터에는 레벨조정장치가 부착되어 있으며, 눈금을 0에 맞추는 조정장치도 부착되어 있다. 또한 마노미터의 압력범위 이상으로 과도한 압력이 가해지는 경우에도 매체인 유체의 손실을 방지하기 위한 안전트랩(safety trap)이 부착되어 있는 모델도 더러 있다.

경사형 마노미터의 개량형이 경사형 수직게이지이다. 이 계기는 압력이 낮은 부분은 정밀한 측정치를 읽을 수 있도록 경사지게 되어 있고 압력이 높은 부분은 수직으로 되어 있어 압력측정범위가 넓다. 이는 경사 마노미터와 U자 마노미터의 장점을 모두 살린 것으로 측정범위나 원주의 숫자 및 보정 장치등이 아주 다양하다.



<그림 1-11> 경사마노미터

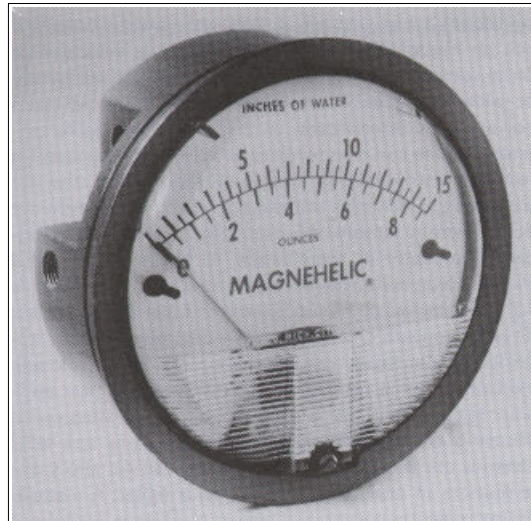


<그림 1-12> 경사형 수직게이지

4) 아네로이드 게이지(Aneroid Gauges)

아네로이드 게이지는 환기시스템 연구의 현장용으로 사용되는 계기이며, 피토튜브와 연결시켜 정압, 동압, 전압을 측정하거나 단일 튜브로써 정압을 측정할 수 있다. 환기 시스템에서 필요로 하는 저압의 측정에 적절한 게이지들을 생산하는 제조회사들도 많이 있다. 대표적인 것을 들어 보자면 <그림 1-13>의 Magnehelic gauge이다. 이러한 게이지의 장점은 판독하기 쉽고, 마노미터 보다 응답성이 좋으며, 크기가 작고 무게가 가벼워 휴대가 간편하고, 유체를 사용하지 않으므로 유지관리가 용이하고, 어떠한 위치에 설치하여 사용하더라도 정확성이 유지된다는 것이다. 또한 이러한 게이지의 단점을 보면, 기계적인 장치이므로 기계적인 손상을 받기 쉬우며 주기적으

로 보정하고 체크하여야 하며 재검정도 자주 하여야 한다는 것이다.



<그림 1-13> 아네로이드 게이지

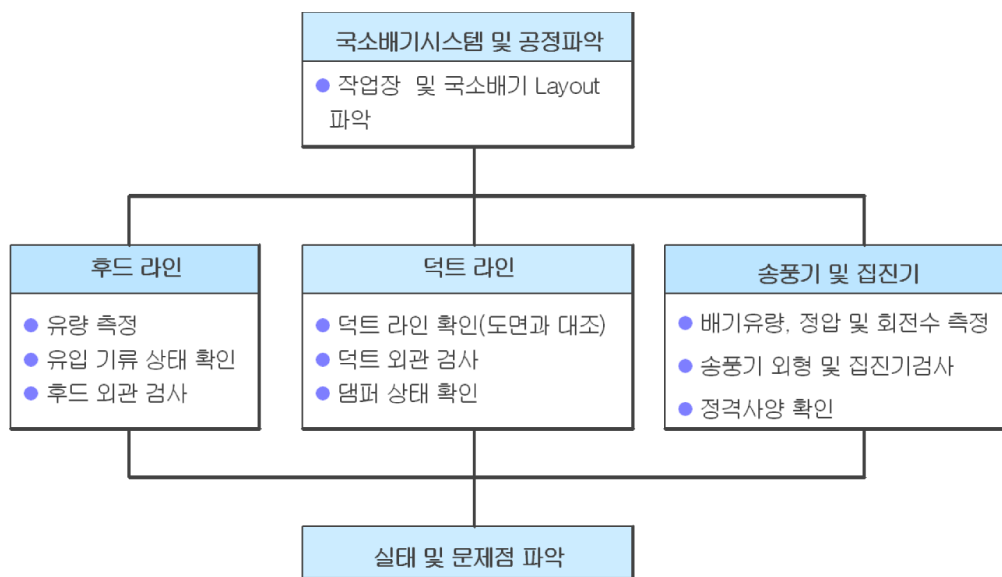
5) 전자식 아네로이드 게이지(Electronic Aneroid Gauges)

위의 아네로이드 게이지를 전자장치와 결합시켜 압력을 기록하거나 디지털로 직접 압력을 보여줄 수 있게 만든 계기로서 현장용으로 적합하다. 열선풍속계와 마찬가지로 축전지에 의해 가동되기 때문에 사용 전에 축전지의 전압을 항상 점검해야 하고, 주기적인 보수와 보정이 필요하다.

II. 국소배기시스템 자체검사

2.1 국소배기시스템 자체 검사 절차

국소배기시스템 검사는 일반적으로 <그림 2-1>와 같은 순서로 이루어진다. 시스템점검에 앞서 담당관리자, 현장작업자와의 상의 및 정기 작업환경 측정결과를 참조하여 현 시점에서의 문제점을 파악한다.



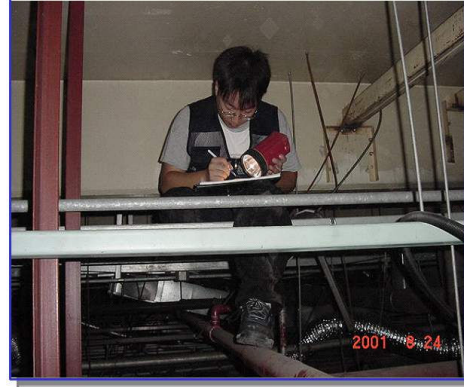
<그림 2-1> 국소배기시스템 검사 방법

2.2 국소배기시스템 자체 검사 방법

- 1) 국소배기 및 공정파악
: 작업장 도면 확보 및 변경사항 현장 확인
: 국소배기 라인 확인 및 Layout 작성



<그림 2-2> 국소배기라인 확인



<그림 2-3> Layout작성

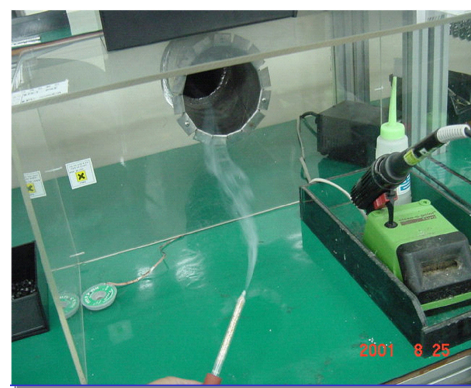
2) 후드라인 성능평가

: 후드 상태 확인 - 파손여부, 위치, 크기, 모양, 적정 제어유속

: 유입기류 상태확인 - 발연관(Smoke tube)을 이용하여 후드 흡입 적정 여부 판단



<그림 2-4> 발연관



<그림 2-5> 유입기류상태 확인

: 흡입유량 측정 - 풍속계를 이용하여 제어풍속 및 흡입유량을 측정하여
정격사양 및 설계기준과 비교하여 후드 성능 평가



<그림 2-6> 열선풍속계



<그림 2-7> 흡입유량 측정

3) 덕트라인 성능평가 - 덕트내부 유속 측정 및 상태 확인



<그림 2-8> 덕트내부 유속 측정



<그림 2-9> 덕트상태 확인

4) 송풍기 및 집진기 성능평가

- : 육안 확인 - 정격사양, 팬 회전방향, 파손여부, 부식상태, 부착물확인
- : 유량 측정 - 풍속계 및 피토투브와 마노미터를 이용하여 유량을 측정한 후 정격사양에 명시된 값과 비교하여 성능을 평가



<그림 2-10> 열선풍속계와 피토투브를 이용한 유량측정

- : 회전수 측정 - rpm meter를 이용 회전수 측정 후 정격사양과 비교하여 성능 평가



<그림 2-11> 회전수 측정



<그림 2-12> rpm meter

- : 차압 측정 - 압력계를 이용하여 차압을 측정. 정격 사양과 비교하여 송풍기 및 집진기의 성능평가



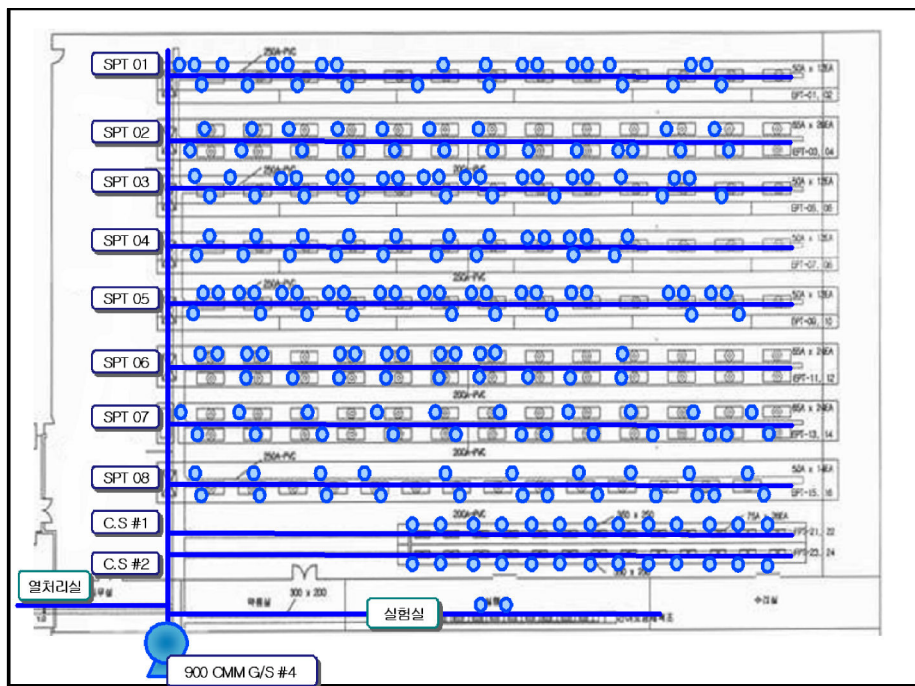
<그림 2-13> 송풍기 차압측정



<그림 2-14> 집진기 차압측정

2.3 검사 결과 정리

1) Lay-out 작성



<그림 2-15> 국소배기시스템 layout

2) 검사 기록표 작성

국소배기 자체검사 기록지

검사자	창원대학교 산업환경연구팀	검사년월일	2002년 7월 15일
사업부명	승합차체부		
LINE 명	59 LINE		
대상작업 (유해물질)	용접흙, 중금속, 분진		
특이사항			
계통도	국소배기라인 Lay-out		

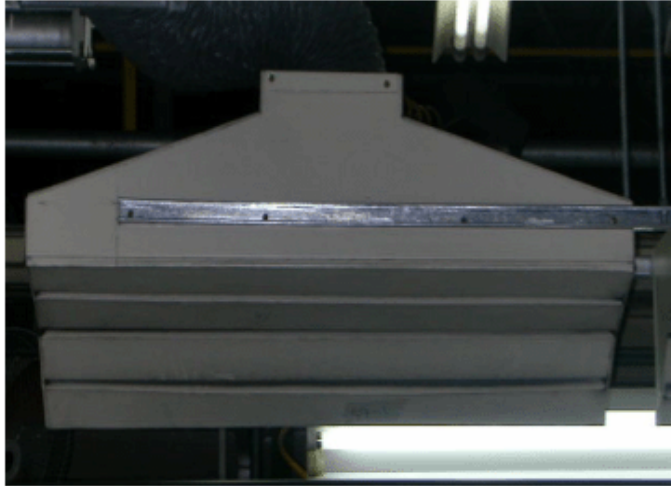
비고

1. 특이사항란에는 기상조건, 육안검사이외 검사방법, 사용한 측정기, 작업실시사항, 종합 판정 등을 기재할 것.
2. 계통도는 국소배기장치의 계통도를 개략으로 그리고 각종 측정치, 개선 필요장소 등을 기입할것

<그림 2-16> 국소배기 자체검사 기록지(Lay-out)

후드 및 덕트 측정치 및 점검사항

LINE 및 후드 NO.	59-1				
작업내용	사상, 용접		유해물질	용접흄, 중금속, 분진	

후드모양					
	후드형식		☐ 원형 ☐ 장방형 ☐ 부스형 ☒ 슬롯형 ☐ 밀폐형		
	원형		장방형		측정제어풍속
	직경	- mm	가로*세로	1000 × 20(3) mm	5.90 m/s
	면적	- m ²	면적	0.0600 m ²	
덕트모양	원형		장방형		덕트반송속도
	직경	200 mm	가로*세로	- mm	11.26 m/s
	면적	0.0314 m ²	면적	- m ²	
후드흡입유량	21.23				CMM

점검 사항	후드부분	내면 및 외면의 마모, 부식, 패인 곳 등의 상태			양호		
		흡입기류의 상태 및 그것을 방해하는 물건			양호 / 없음		
	덕트부분	외면의 마모, 부식, 찌그러짐의 상태			양호		
		내면의 마모, 부식, 찌그러짐의 상태			양호		
		댐퍼의 상태 (설치된 경우)			없음		
		접속부의 상태 (플랜지 설치된 경우)			양호		
		덕트반송속도			권고치	10~15 m/s	적합여부
				측정치	11.26 m/s		
	기타	ACGIH (美산업위생학회) 반송속도 권고치					

〈그림 2-17〉 국소배기 자체검사 기록지(후드, 덕트 점검사항)

송풍기 측정치 및 점검사항

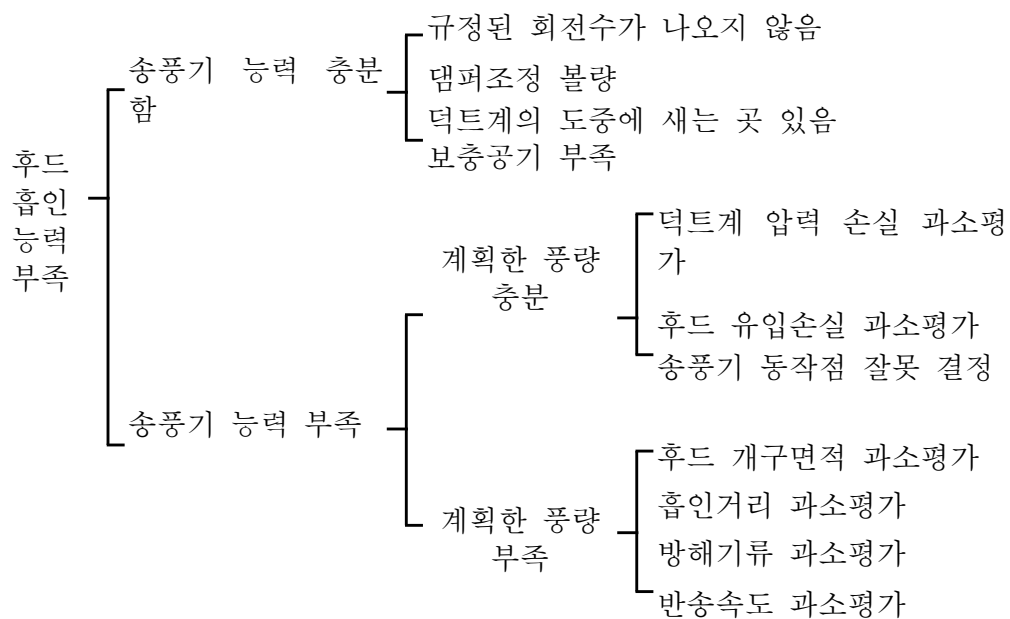
송풍기(LINE) NO.	59			
송풍기 사진				
팬의 형식	☐ 챔버형 ☐ 축류팬 ☒ 후향날개형 ☐ 전향날개형			
정격사양	정격풍량 500.0 CMM	정격정압 140.0 mmAq	정격회전수 905.0 rpm	기타
측정결과	풍량 306.0 CMM	정압 167.4 mmAq	회전수 789.6 rpm	기타
효율 (정격/측정)	61.2%	119.6%	87.2%	
점검사항	케이싱의 표면상태, 외면의 마모부식		양호	
	케이싱 내면, 회전차 및 안내날개의 상태		확인불가	
	벨트 등의 상태		양호	
	팬의 회전방향(흡, 배기능력이 부적합한 경우)		양호	
	베어링의 상태		양호	
	모터의 상태		양호	
	안전카바 및 그 설치부의 상태		양호	
	제어반의상태		양호	
	기타			

〈그림 2-18〉 국소배기 자체검사 기록지(송풍기)

III. 환기시스템의 점검시 성능이 안나오는 원인

국소배기장치를 점검한 결과 성능부족이 발견된 경우의 대책에 대해 생각해보기로 하자. 송풍기, 덕트, 후드 등의 구조가 부적당하기 때문에 발생하는 소음 및 진동과 제진장치의 효율이 저하되는 경우도 있지만, 국소배기장치의 성능을 좌우하는 주요인은 뭐라 해도 후드의 흡인능력 부족, 즉 제어속도가 제대로 나오지 않는 경우이다. 제어속도가 안나온다고 하는 것은 요구되는 풍량이 부족하기 때문이고 그 원인을 분석하면 아래의 <표 3-1>과 같이 요약할 수 있다.

<표 3-1> 후드 흡인능력 부족의 주된 원인



송풍기의 정격능력이 충분함에도 불구하고 후드의 흡인유량이 부족한 경우는 송풍기의 임펠러가 정격회전수를 못 내고 있거나, 환기시스템의 댐퍼를 잘못 조정했거나, 덕트시스템에서 새는 곳이 있거나, 보충공기(Make-up Air)가 부족한 경우 등이 있다.

송풍기의 정격용량이 충분하고 후드 및 덕트시스템에 별다른 문제가 없음에도 불구하고 풍량이 제대로 나오지 않는 경우가 생길 수 있다. 모터와 송

풍기의 임펠러가 벨트로 연결되어 구동되는 송풍기는 벨트의 이완유무를 먼저 확인해야 한다. 벨트가 이완되면 모터가 정격회전수를 내고 있음에도 불구하고 송풍기의 송풍능력이 떨어지게 된다. 또한, 굉장히 드문 경우이지만 전기배선을 잘못하여 모터가 반대로 회전하는 경우도 있다. 여기서 특이할 만한 사실은 모터의 회전방향이 반대이더라도 풍량이 절반 정도는 나오기 때문에 원인을 쉽게 파악하기 힘든 경우가 많다.

환기 시스템의 신설시 댐퍼를 조정하여 각 후드에서 충분한 풍량이 나오도록 맞춰 놓았다고 하더라도 시간이 흐름에 따라 후드의 흡인유량이 제대로 나오지 않는 경우가 발생한다. 만약 댐퍼를 영구적으로 고정시켜 두지 않았다면 시스템의 진동에 의해 열림 각도가 변할 수 있고, 작업자가 임의로 열림각을 변경시킬 수도 있다. 또한 이미 설치되어 있는 환기시스템에 필요에 의해 몇 개의 후드를 시스템에 추가시킨 후 열림 각도를 다시 조정해야 함에도 불구하고 이를 조정하지 않았을 때 후드의 유량이 제대로 나오지 않는 경우가 발생한다.

덕트시스템의 접속부분에서 외부 공기가 새어 들어 감에 따라 후드의 유량이 감소될 수 있다. 따라서 접속부분을 스모크 튜브를 이용하여 철저히 검사해야 한다. 특히 스텐레스 덕트를 사용할 때 접속부분을 찢어 넣기만 한다면, Spot용접한 경우에는 반드시 누입이 있다고 생각하는 쪽이 좋다. 어떤 경우에는 납으로 용접한 곳이라도 벗겨져서 누입되는 일이 있다. 누입을 방지하기 위하여 덕트의 접속부분을 비닐테이프로 감아 두는 것이 좋다. 보충공기의 양이 모자라 송풍기의 성능이 저하되는 경우도 더러 있다. 만약 배기되는 공기량보다 급기(보충)되는 공기량이 적을 경우에는 작업장 내부에 음압이 걸리게 되고, 결과적으로 송풍기는 송풍기정압이 상승되어 배기량이 줄어들게 된다. 왜냐하면 송풍기는 송풍기 정압이 변함에 따라 배풍량도 변하게 되는데, 만약 송풍기 정압이 상승하게 되면 뛰어넘어야 할 압력의 산이 높아지게 되어 그만큼 배풍량이 줄어들게 된다. 따라서 보충용 급기시스템을 갖추든지 작업장 외부 공기가 자유자재로 들어올 수 있도록 작업장 구조를 바꿔야 한다.

한편, 송풍기 능력이 부족한 경우는 환기 시스템의 설계 자체를 잘못했거나 설계할 때 생각했던 작업조건과 실제의 작업조건에 차이가 있을 때 발생한다. 설계 시에 덕트 및 후드의 압력손실계산 과정에서 이를 과소평가했거나, 설계의 마지막 단계인 송풍기 선정과정에서 송풍기의 동작점

(operation point)을 잘못 결정했을 때 송풍기의 능력이 모자라는 경우가 발생한다. 특히 우리나라의 경우 송풍기 제작업체에서 제시하고 있는 송풍기 표(fan table)가 송풍기의 실제 능력과 차이 나는 경우가 많아 설계상의 오류가 전혀 없음에도 불구하고 주어진 배기량이 나오지 않는 경우가 많다. 또한, 시공업체에서는 이러한 문제점을 극복하기 위하여 설계결과에 의해 선정된 송풍기보다 한두 등급 높은 것을 사용하여 배기량이 모자라는 위험은 극복한 반면 필요 이상으로 큰 송풍기를 사용함으로써 에너지를 낭비하는 경우가 더러 있다.

설계 시 덕트 반송속도를 너무 낮게 선정하여, 환기시스템의 사용기간이 길어짐에 따라 덕트내에 분진이 퇴적되고 이에 따른 덕트계의 압력손실이 증가하여 배풍량이 제대로 나오지 않는 경우가 흔히 있다. 종종 현장에서 환기시스템을 처음 설치했을 때는 성능이 제대로 나오다가 시간이 감에 따라 성능이 떨어진다고 하는 이유가 바로 이 때문이다. 또한 제진장치를 제대로 관리하지 않아 제진장치 자체의 압력손실이 증가되어 결과적으로 배풍량이 떨어지는 경우도 있다.

후드의 형식이 포위형임에도 불구하고 피가공물이 개구면 밖으로 빠져 나와 있는 상태에서 작업이 행해지고 있다면 그 후드는 외부형으로 밖에 기능을 못하고 있는 것이다. 또한 외부형 후드의 경우, 후드 개구면에서 발생원까지의 거리가 설계할 때 생각했던 것보다도 더 먼 위치에서 작업이 시행되고 있어서 결과적으로 흡인능력이 부족하게 되는 경우도 있다. 이 경우에는 후드 개구면에 보다 근접하여 작업하도록 작업자를 지도하는 일이 필요하다. 또한 후드 개구면 앞에 물건이 놓여져 있어 흡인되는 기류를 방해하고 있는 경우도 자주 있다. 거기에 둘 필요가 없는 물건이라면 치워야 하고, 작업 사정상 꼭 거기에 놓지 않으면 안될 물건이라면 후드의 설치 위치가 근본적으로 부적합하므로 후드를 다른 곳에 설치해야 한다.

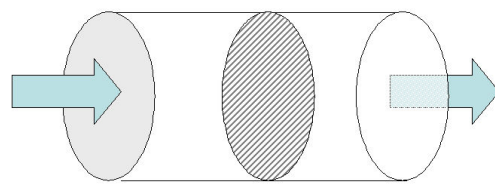
스모크 튜브로 기류를 조사해 보아서 연기가 후드로 흡인되지 않고 딴 곳으로 흐르는 경우에는 창문에서의 바람, 냉방기와 선풍기의 영향이므로 이 같은 원인을 제거해야 한다. 후드로 향해서 작업하고 있는 근로자의 등뒤에서 선풍기로 바람을 보내고 있는 상황을 자주 접할 수 있는데, 이 때 선풍기의 기류가 너무 강해 오염물질이 후드로 잘 흡인되도록 도와주기보다는 오히려 후드로부터 넘쳐 나오게 만들어 후드를 무용지물로 만드는 경우도 더러 있다.

IV. 국소배기시스템 현장 측정 및 결과 분석

4.1 현장 측정 방법

1) 유량측정방법

마노미터나 열선풍속계를 이용하여 traverse법(횡단법)에 의하여 유속을 측정한다. 측정시 난류가 발생되지 않고 최대한 균일류가 형성되는 지점에서 측정한다. 측정한 유속을 산술평균하여 단면적과 곱해주면 유량을 구할 수 있다. 단, 마노미터의 경우 동압을 유속으로 변경한 다음 유량을 계산해 준다.



$$\text{유량(m}^3/\text{min)} = \text{단면적(m}^2) \times \text{유속(m/min)}$$



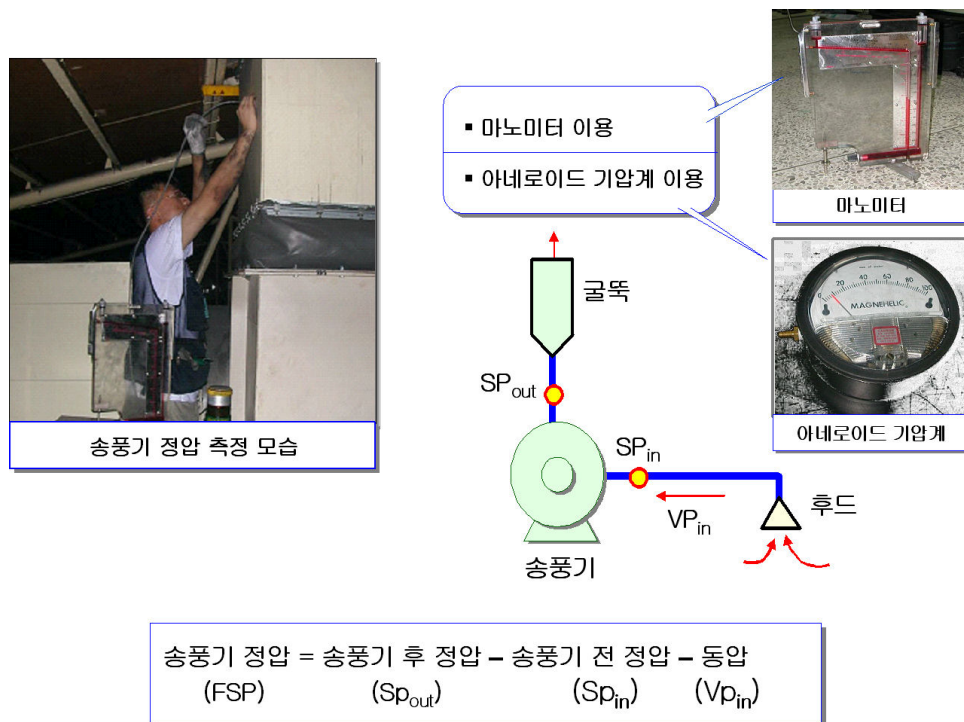
유속 측정

- 열선풍속계 이용
- 피토투브와 마노미터 이용

<그림 4-1> 유량측정방법

2) 송풍기 정압 측정방법

송풍기 앞단(SP_{in})과 후단(SP_{out})에서 마노미터나 아네로이드 기압계를 이용하여 정압을 측정하고, 동압을 측정하여 아래 그림에 나와있는 공식을 이용하여 송풍기 정압(FSP)을 구한다.



<그림 4-2> 송풍기 정압 측정방법

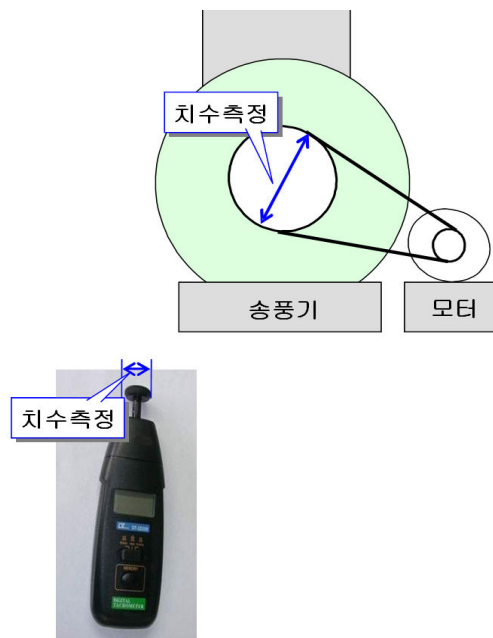
3) 회전수 측정방법

접속식 회전수 측정기(rpm meter)를 이용하여 벨트부분에서 회전수를 측정한다. 측정시 상당히 위험하므로 주의하여 측정하도록 한다. 회전수를 측정하고 난 송풍기 부분의 축과 rpm meter의 치수를 재어 아래의 공식을 이용하여 회전수를 구한다.

$$\text{회전수} = \text{측정한회전수} \times \frac{\text{rpm meter 치수}}{\text{송풍기 축 치수}} \quad (4-1)$$



rpm meter 를 이용한 회전수 측정



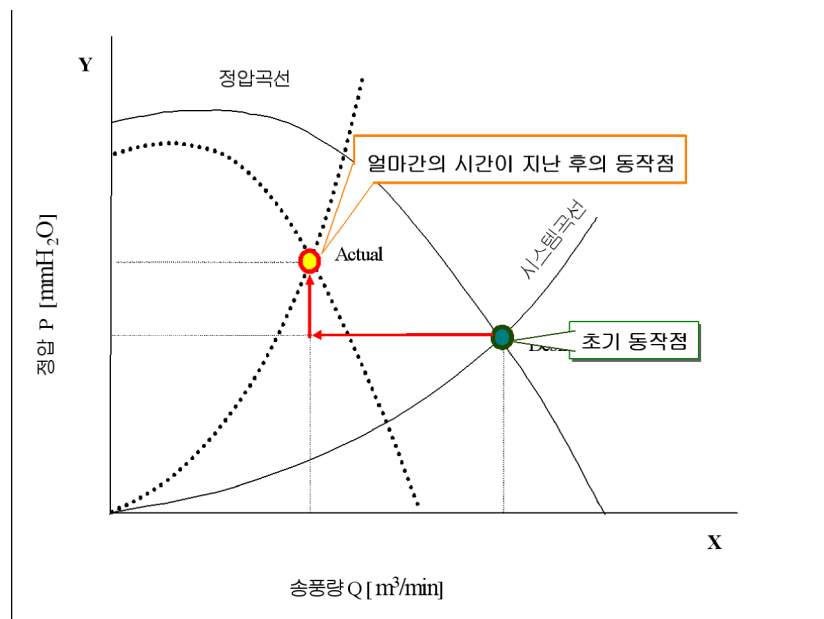
<rpm meter>

<그림 4-3> 송풍기 회전수 측정방법

4.2 송풍기 정압을 이용한 환기시스템 Check 방법

송풍기는 종류마다 특성을 나타내는 송풍기 성능곡선이 있다. 이는 송풍기의 입구나 출구에 덕트를 연결하고 댐퍼를 부착하여 저항, 즉 압력손실을 변화시킬 때 송풍기 정압(FSP), 송풍량 등을 측정하여 송풍기에 압력손실이 얼마 걸려있을 때 송풍량, 효율 등이 얼마인지를 표나 그래프로 나타낸 것이다. 일반적으로 송풍기 제작회사의 카탈로그에서 찾을 수 있다. 이 성능곡선을 이용하여 환기시스템의 작동상태를 판단할 수 있다.

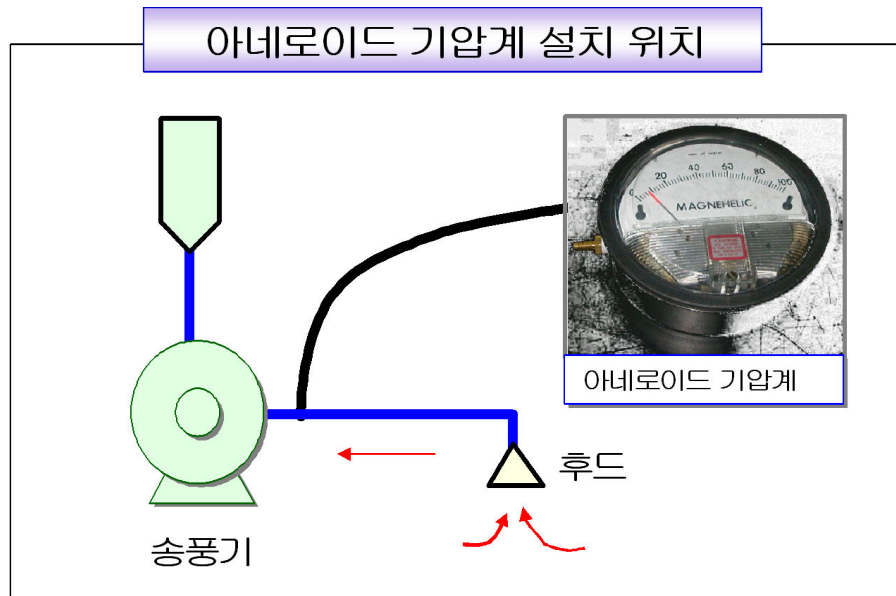
송풍기 정압을 간단하게 파악하기 위해 송풍기 앞단에 아네로이드 기압계를 설치한다. 초기 설치시 송풍기 정압을 측정하여 기록하고 주기적으로 측정한다. 초기 동작점과 시간이 지난 후의 동작점을 비교하여 현재 환기시스템의 상태를 판단한다. 동작점 변화에 따른 환기시스템 상태는 아래에 나와 있는 그림을 참고한다.



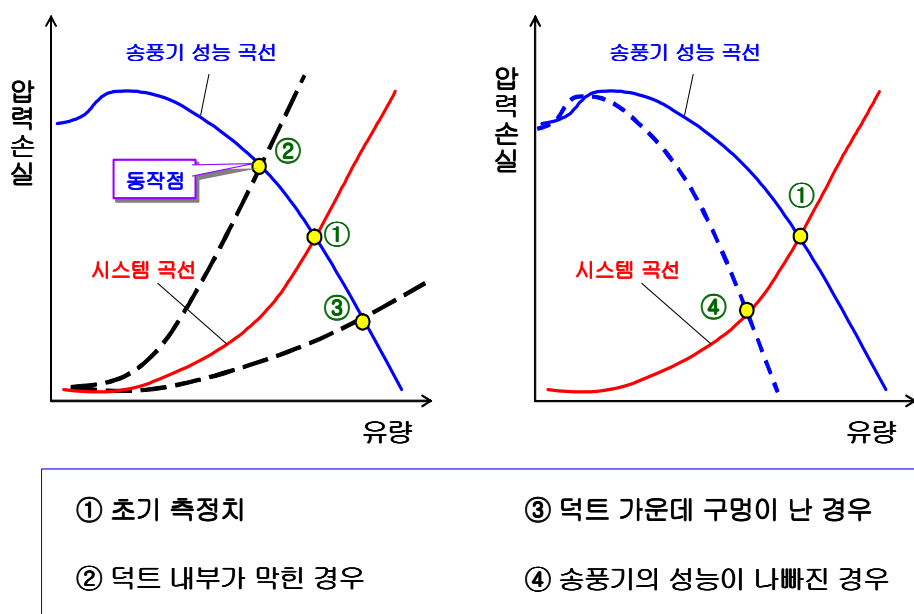
<그림 4-4> 송풍기 성능곡선

※ 참고

- 시스템곡선: 송풍량에 따른 압력손실을 나타낸 곡선
- 성능곡선(정압곡선): 송풍량에 따른 송풍기 정압을 나타내는 곡선
- 동작점: 송풍기 성능곡선과 시스템 곡선이 만나는 지점



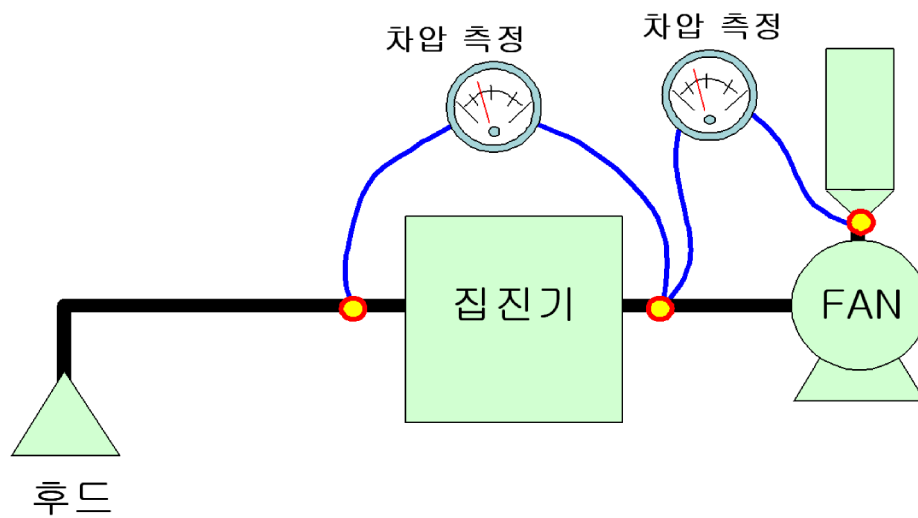
〈그림 4-5〉 아네로이드 기압계 설치 위치



〈그림 4-6〉 동작점의 변화에 따른 환기시스템 상태

4.3 집진기 성능 평가방법

아래 그림과 같이 집진기 입구 및 출구에 아네로이드 기압계를 설치하여 최초 설치시 집진기 차압을 측정한다. 주기적으로 집진기 차압을 측정하여 최초 측정값과 비교하여 차압이 평소 때보다 높게 나오거나 낮게 나오면 이상이 발생한 것을 알 수 있다. 차압이 초기값보다 높게 나오는 경우 집진기(백필터, 활성탄, 충전탑 등)가 막혔다는 것을 알 수 있고, 낮게 나오는 경우 백필터 파손, 스크러버 채널링 현상 등이 발생했음을 알 수 있다.



<그림 4-7> 아네로이드 기압계 설치위치



<그림 4-8> 전처리 필터가 막힌 활성탄 집진기

V. 국소배기 진단 사례

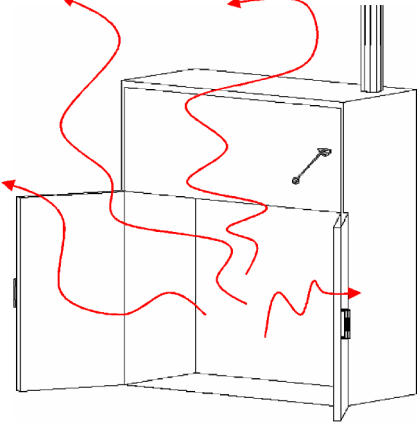
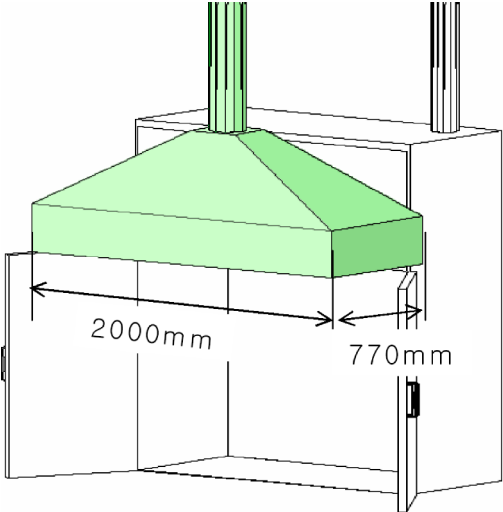
5. 1 후드 부분 관리소홀

1) 후드 미설치 사례

전자제품 원료 가공라인으로 제품이 완성된 후 건조기에서 원료 중 함유되어 있는 유기용제류를 증발시킴. 하지만 건조로 출구에 후드가 설치되어 있지 않아, 건조 후 건조기를 열 때 건조기 내부에 있던 고농도의 유기용제류가 작업장으로 확산되어, 공장 전체가 유기용제 악취로 오염됨

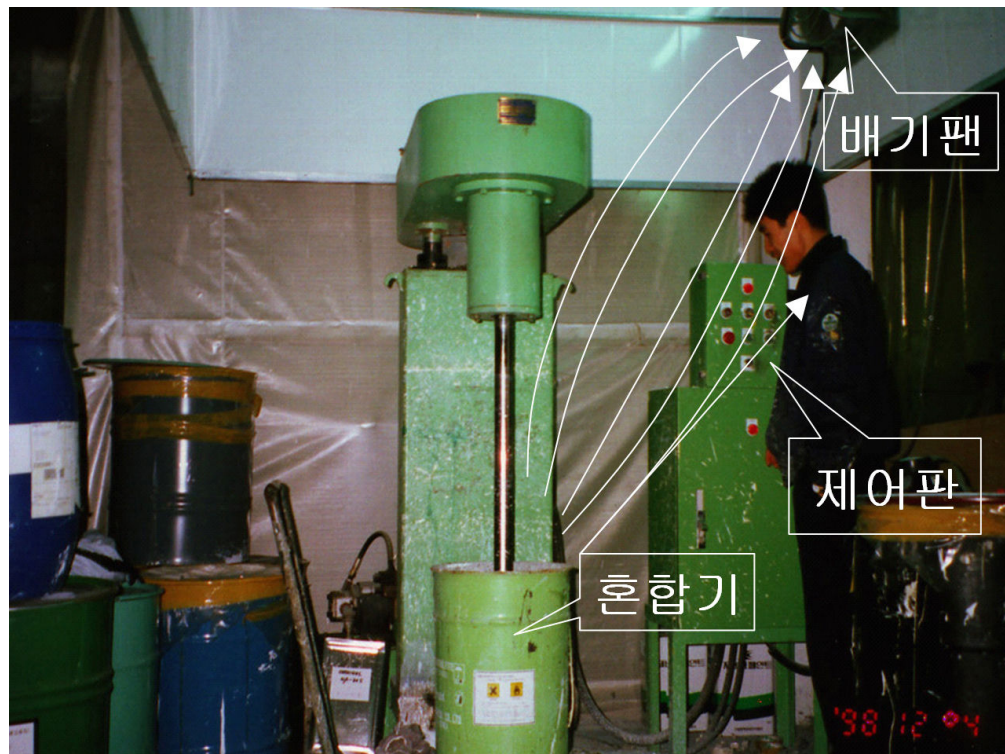
	
실태 및 문제점	- 건조로 출구에 후드 미설치로 유기용제 악취가 작업장으로 확산됨
개선 방안	- 건조로 문 위에 캐노피 후드 설치

2) 주변 방해기류에 의한 효율 저하

실태 및 문제점	개선 방안
건조로 문을 열 때 유기용제 악취 확산  The diagram shows a cross-section of a drying room with its door open. Red wavy arrows originate from the interior and point towards the open door, indicating the escape of organic solvent odors.	 The diagram shows the same drying room with a green hood installed on top. The hood has a width of 2000mm and a depth of 770mm. Two vertical ducts are shown extending from the hood to the ceiling.
- 배기유량 산정 $Q = L(0.06b1.33\Delta t^{0.42}) = 2 \times (0.06 \times 0.81.33 \times 770.42) = 33 \text{ CMM}$ (L : 후드 길이, b : 후드 폭, Δt : 건조로와 외기 온도 차)	

3) 잘못된 후드 형태

팬 위치가 잘못되어 오염물질 발생원가 팬 사이에서 작업을 하도록 후드가 설치되어, 팬 가동전보다 가동 후에 작업자의 노출이 심화됨



<그림 5-1 > 잘못된 후드형태

5.2 덕트라인 관리 소홀

1) 덕트라인 철거 후 송풍기 가동

작업장 내부에서 덕트는 철거하였지만, 송풍기는 가동되고 있는 상태임.
덕트라인이 막혀 있기 때문에 송풍기는 혼자 전기세만 소비하고 가동 중에 있음



- 지붕위의 송풍기는 가동

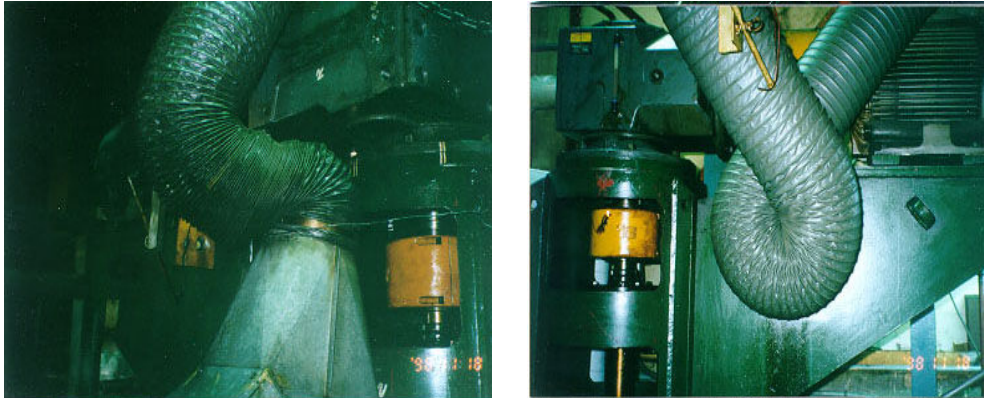


- 작업장 내부 덕트는 철거됨

<그림 5-2> 덕트라인 철거 후에도 가동중인 송풍기

2) 플렉시블 덕트 사용상 문제점

- ① 플렉시블 덕트 길이를 너무 길게 해서 압력손실 많이 걸리도록 꼬여 있는 상태



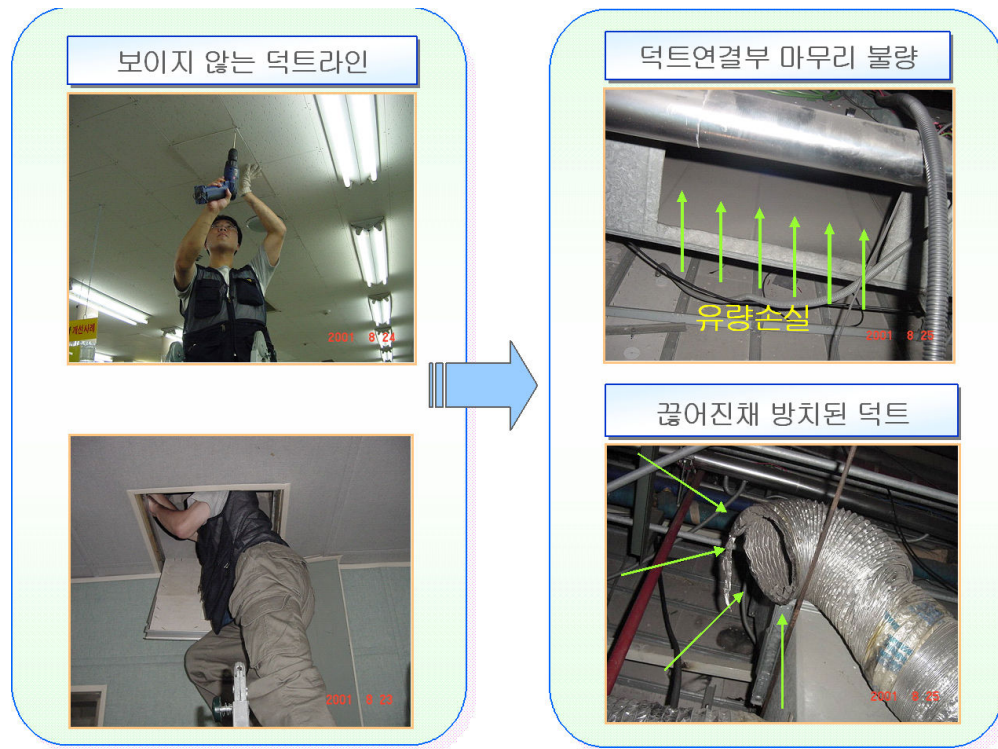
<그림 5-3> 꼬여있는 플렉시블 덕트

- ② 송풍기 압을 견디지 못하고 압착된 상태(압력손실이 크게 증가함)



<그림 5-4> 과도한 압으로 인해 찌그러진 덕트

3) 보이지 않는 곳의 덕트관리 불량



<그림 5-5> 덕트관리 불량

5.3 송풍기에서 흔히 나타나는 문제점



<그림 5-6> 송풍기 관리 불량(캔버스 파손, 벨트 파손)