

제트팬의 환기방식설계 및 성능실험방법 해설

임순규* · 김찬우* · 문은숙* · 김태영* · 양상호**

1. 서 언

제트팬(Jet Fan)은 도로터널이나 지하차도의 종류식 환기에 사용되는 송풍기로서 터널의 천정 또는 지하차도의 벽면 등에 설치되어 고속의 바람을 일으켜 터널 내 오염공기를 밖으로 분출하여 주행안전성과 쾌적성확보를 위한 공익목적의 송풍기로 사용된다. 제트팬은 터널 천정 또는 벽면에 턴버클에 의해 매달려 설치되어지므로 추락 사고나 고공에서의 운전중 파손은 주행차량이나 운전자에게 매우 위험한 상황을 초래할 수 있으므로 장시간 운전에도 충분한 안전성과 내구성 입증설계가 필요하며 매우 정숙한 진동이 요구된다. 제트팬은 축류형 송풍기의 형상과 유사하나 고속의 바람을 분출하여야 하므로, 회전이 빠르며 크기가 제한되어 있고, 유체소음을 줄이기 위하여 양쪽에 싸이렌서(소음기)를 부착한다. 최근 터널이나 지하차도의 장대화에 따라 화재발생시 화재진행방향에 따라 가역회전에 의한 배연기능을 겸하도록 하는 필수설비이기도 하다.

현재 국내 터널환기용 제트팬의 기종은 한국도로공사에서 규정하고 있는 토출풍속이 30m/s, 250℃에서 60분 이상 운전이 가능한 제트팬으로, 직경(임펠러 외경)이 1,030, 1,250, 1,530 등 3종류의 모델이 가장 많이 쓰인다. 이러한 제트팬 기종의 크기 제한은 터널 굴착단면적 및 차량 통행 높이와 직접적인 관련이 있으며, 앞으로는 외국과 같이 토출풍속 및 내열온도에 대한 요구조건도 점차 강화되어 풍속 $\leq 35\text{m/s}$, 300℃에서 120분 이상 운전이 가능한 고속·고온 콤팩트형 제트팬이 주로 사용되어질 것으로 예상된다.

2. 제트팬의 사용 예

제트팬은 자동차 터널의 오염공기를 배출시키는 목적과 지하공간의 쾌적성 확보를 위한 환기장치로 사용되는 공익목적의 유체기계이며 아래와 같이 사용된다.

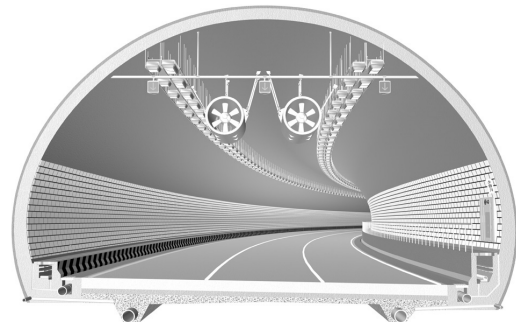


Fig. 1 터널 제트팬

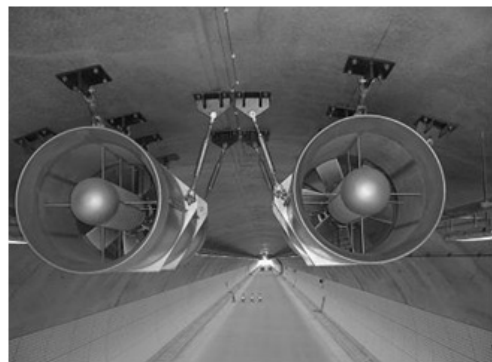


Fig. 2 천정 설치형 제트팬의 형상

* (주) 삼원이앤비 기술연구소

** (주) 삼원이앤비 / 송풍기 및 환기시스템분과 회장

E-mail : shyang@sebco.co.kr

자동차 터널 및 철도터널
지하차도의 매연 배출용 지하공간의 오염공기 배출용
자동차 터널 및 철도터널, 지하차도의 방재용 송풍기

3. 터널 화재발생시 제트팬의 방재기능

Fig. 3, Fig 4에서 보는바와 같이 환기목적 이외에도 터널이나 지하공간에서 화재발생시 고온에서 일정시간동안 가역회전에 의한 비상운전으로 방재기능을 수행할 수 있는 특수 기능도 가지고 있다.

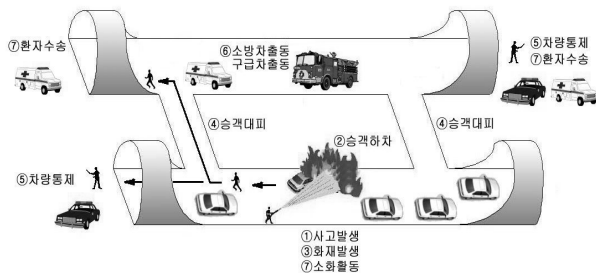


Fig. 3 터널 화재발생시 대피개념도

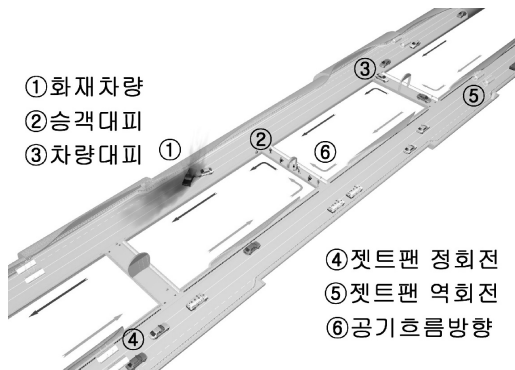


Fig. 4 화재발생시 제트팬의 정역회전 개념도

4. 제트팬 환기방식

4.1 개요

제트팬 방식은 터널 종방향에 작용하는 교통환기력에 의한 자연환기력이 환기저항보다 작은 경우 제트팬을 설치하여 분류에 의한 송압력에 의해서 소요환기량을 확보하게 하는 방식이다. Fig. 5는 제트팬 방식의 개요도이다.

종류식 제트팬 환기방식에서 압력평형식은 식(4.1)과 같다. 즉 교통환기력 보다 환기저항이 큰 경우이며 그 차에 해당하는 만큼의 제트팬 송압력이 요구된다.

$$\Delta P_r + \Delta P_{MTW} = \Delta P_t + \Delta P_j \quad (4.1)$$

ΔP_r : 환기저항

ΔP_{MTW} : 자연풍에 의한 환기저항

ΔP_t : 교통 환기력

ΔP_j : 제트팬 송압력

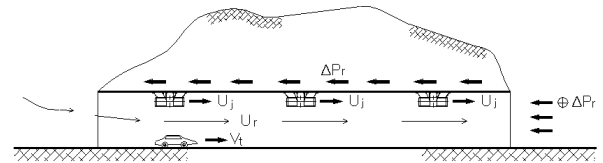


Fig. 5 종류식 제트팬 환기개념도

4.2 제트팬 송압력 및 소요대수산정

4.2.1 송압력

터널이 아닌 대기중에 있는 제트팬에 의한 추력(thrust)은 유체역학 이론에 따라 식(4.2)로 표시된다.

$$F = \rho \cdot A_j \cdot U_j \cdot (U_j - U_r) \quad (4.2)$$

또, 제트팬에 의한 송압력을 ΔP_j 는 다음식과 같다.

$$\Delta P_j = \rho \cdot U_j^2 \cdot \left(\frac{A_j}{A_r} \right) \cdot \left(1 - \frac{U_r}{U_j} \right) \quad (4.3)$$

여기서, $A_j/A_r = \phi$, $U_r/U_j = \psi$ 라고 하면 제트팬 1대에 의한 송압력은 식(4.4)가 된다.

$$\Delta P_j = \rho \cdot U_j^2 \cdot \phi \cdot (1 - \psi) \quad (4.4)$$

U_j : 제트팬의 분류 속도 [m/s]

A_j : 제트팬의 분류 면적 [m²]

ϕ : A_j/A_r

ψ : 차도내 풍속 U_r /제트팬 풍속 U_j 이다.

4.2.2 제트팬 소요대수 산정

제트팬을 Z대 운전할 때 한 대당 송압력을 ΔP_j 라면, 소요 환기량을 만족하는 차도내 풍속 U_r 값을 기준으로 하여 식 (4.5)로 제트팬 소요대수를 구한다.

$$Z = \frac{\Delta P_r + \Delta P_{MTW} - \Delta P_t}{\Delta P_j} \quad (4.5)$$

4.3 제트팬 환기방식의 설계

4.3.1 일반사항

제트팬 방식은 전술한 바와 같이 일방향 터널에서는 교통환기력을 이용할 수 있다는 점에서 환기효율이 타방식보다 우수하다.

그러나 양방향터널에서는 교통환기력이 무시되므로 환기저항에 의해서 제트팬의 수가 결정되는데, 자연풍이 작용하는 방향은 단순하지 않기 때문에 제트팬을 역전 운전해야 하는 경우가 발생할 수 있으며, 역전운전은 터널내 공기의 관성과 제트팬 전동기의 기계적 요인으로 보아 바람직하지 못하다.

이런 점을 감안하여 양방향 통행의 경우에는 자연풍의 풍속 $U_n = 1.5 \text{ m/s}$ 로 불리한 방향으로 작용하는 것으로 가정하여 소요환기량을 계산하고, 제트팬 대수를 구한다.

제트팬 방식은 소비동력이 동일한 경우에 수직갱이나 집진기 방식보다 오염물질 제거효과가 떨어지며, 특히 차도내 풍속이 증가하면 효율저하가 크게 나타나므로 설계속도하에서 터널내 풍속이 과도하게 증가하는 경우에는 집진기 방식이나 수직갱방식 등 타방식에 대한 경제성을 충분히 검토하여 적용한다.

4.3.2 제트팬의 설치위치 및 간격

터널에서 제트팬의 설치위치는 차도 상부의 건축한계를 벗어나는 위치에 설치하는 것을 원칙으로 하며, 설치간격은 분류에너지가 주기류의 에너지로 충분히 치환되는 믹싱거리를 확보하도록 한다. 믹싱거리를 고려한 제트팬 설치 간격에 대해서는 표 5.3에 제시한 거리를 참고로 한다.

또, 터널 내에 화재가 발생했을 경우를 고려하여 터널별 설계조건을 감안한 방재운영방안을 검토하여 설치위치를 결정되 가능한 한 터널입구쪽에 배치하는 것이 제트팬 보호측면에서 바람직하다.

터널에서의 제트팬 설치 방법은 천정에 매다는 식이 보통이며, 제트팬 바깥지름과 천정 벽면까지의 이격거리는 제트팬 내경의 0.5배 이상으로 하는 것을 표준으로 하고 있다.

이격거리가 작으면 분류가 벽면으로부터 마찰저항을 받아 승압효과가 감소하게 되므로 팬 제작사에서 제시하는 자료에 의해서 제트팬 설치 효율을 고려하여 설계한다. 제트팬 설치효율은 모형실험 및 수치 시뮬레이션등을 통해서 적정값을 산출하여 적용한다.

또한 사각단면 터널의 모서리와 측벽 근처에 설치한 예는 우리나라에서는 경험이 없기 때문에 분류속도가 교통차량에게 주는 영향을 포함하여 충분히 확인한 후 설치할 필요가 있다.

Table 1 제트팬의 설치간격 (참고값)

| 형식 | 내경 [mm] | A_j [m^2] | U_j [m/s] | 갱구로부터의 거리[m] | 제트팬 설치 간격[m] |
|------|---------|------------------------|-------------|--------------|--------------|
| 600 | 630 | 0.27 | 30 | 80 | 80 |
| 1000 | 1030 | 0.83 | 30 | 140 | 140 |
| 1250 | 1250 | 1.23 | 30 | 160 | 160 |
| 1500 | 1530 | 1.83 | 30 | 180 | 180 |

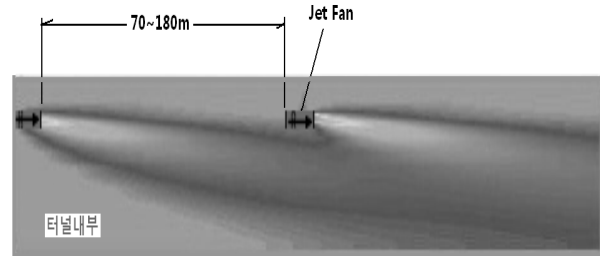


Fig. 6 터널 내부에서 제트팬의 공기 유동현상

5. 제트팬의 성능시험방법

차량과 기차가 통과하는 터널 내부 공기의 질을 조절하기 위해, 제트 송풍기를 사용하여 터널 방향으로 환기하는 방법은 점차 대중화되어 가고 있어 오래 전부터 제트 송풍기에 대한 규격 제정의 필요성이 대두되고 있다. 이는 터널 방향으로 환기하는 방법이 다른 방법과 비교해 볼 때, 초기 비용과 운영비에 대한 이점을 가지고 있고 화재시 쉽게 연기를 제어할 수 있기 때문이다. 현재 제트 송풍기의 성능시험에 대한 규격으로는 국제 규격 ISO 13350 과 ANSI/AMCA 250이 있다. KS B ISO 13350 초안은 국제 규격 ISO 13350의 번역을 통해 이루어졌다. 이 국제 규격은 ISO/TC 117에서 제정하고 있는 일련의 송풍기 규격들 중의 하나로서, 제트 송풍기의 올바른 적용을 위해 필수적인 성능 기준을 결정하는 방법을 다루고 있다. 시험방법을 설명하는 데 국제 규격 ISO 5801을 많이 인용하였으며, 다른 관련된 국제 규격도 인용하였다.

5.1 적용 범위 이 규격은 ISO 13349에 정의되어 있는 제트 송풍기의 성능을 표시하기 위해 필요한 기술적인 특성값들을 결정하는 방법을 기술한다. 덕트 안에 설치되는 송풍기나 공기 순환용으로 설계되는 송풍기, 예를 들어 천장 송풍기나 테이블 송풍기와 같은 경우는 해당되지 않는다. 또한, 이 규격에서는 실험실 조건에서 수행되는 시험 방법에 대해서만 기술하며, 실제로 사용되는 조건에서 성능을 측정하는 방법은 서술하지 않는다.

5.2 인용 규격 이 규정과 관련된 규격은 아래와 같으며 최

신 개정판에 따른다.

ISO 1940-1 : 1986 Mechanical vibration - Balance quality requirements of rigid rotors - Part 1 : Determination of permissible residual unbalance

KS B 0612 회전 기기의 균형도 - 강성 로터

ISO 5801 : 2007 Industrial fans - Performance testing using standardized airways

KS B 6311 송풍기의 시험 및 검사 방법

ISO 13347(1) Industrial fans - Determination of fan sound power level under standardized laboratory conditions

KS B 6361 송풍기 · 압축기의 소음 레벨 측정 방법

ISO 13349(1) Industrial fans - Vocabulary and definitions of categories

KS B 0062 송풍기 · 압축기 용어

ISO 14695(1) Industrial fans - Vibration measurement method

IEC 60034-2 : 1972 Rotating electrical machines - Part 2 : Methods for determining losses

6. 시험 항목

6.1 일반 사항

제트 송풍기가 바르게 적용되고, 사용시 만족할 만한 성능과 신뢰성을 주기 위해 질량, 전체 치수, 설치 치수 등과 같은 기계적인 특성을 나타내는 값뿐만 아니라 여러 가지 성능 특성 값들을 알아야 한다.

6.2 추 력

터널 벽면에서의 마찰, 송풍기 입구와 출구에서의 손실, 때로는 차량에 의한 항력 등으로 터널에서 압력 강하가 발생하며, 이 크기는 터널 입구에서의 날씨의 영향을 받는다. 이 압력 강하는 송풍기에서 유출되는 유동과 터널을 흘러가는 유동 사이의 모멘텀 전달에 의한 압력 상승량과 같아야 한다. 송풍기 출구에서 유출되는 공기의 운동량을 측정할 수 없기 때문에 대신 운동량의 변화율과 동일하며 부호만 반대인 추력을 측정한다.

6.3 입력 동력

제트 송풍기의 운전비용을 계산하기 위해서 송풍기 모터의 입력 동력이 필요하다.

6.4 소음 레벨

터널에서의 소음 레벨을 요구되는 값에 만족되도록 제트 송풍기와 소음기를 최적 상태로 조합시키기 위해서는, 일반적으로 송풍기의 입구와 출구에서의 소음 레벨값이 필요하다.

비고 : 송풍기 제조사는 송풍기의 소음 파워 레벨만을 보증한다. 터널 안에서의 음압은 터널의 크기와 흡음 특성에 따르며, 이것은 송풍기 제조업자의 책임이 아니다.

6.5 진동 속도

안전성, 신뢰성, 유지 보수성을 좋게 하기 위해서 실제 진동 속도를 측정하여 터널 송풍기상에 기록하여야 한다. 진동 속도는 ISO 14695에 따라 지지점들에서 측정되어야 한다.

6.6 체적 유량

체적 유량은 계약 조건으로 요구될 때만 측정된다. 터널 안에서 터보 송풍기의 최적의 개수, 크기, 간격을 평가하는 데는 11.2에 따라 계산되는 유효 송풍기 출구 속도가 사용된다.

7. 측정 기기와 측정 방법

7.1 치수 및 면적

치수의 측정과 면적의 계산은 ISO 5801 : 2007의 10.에 따라 수행한다.

7.2 회전 속도

임펠러의 회전 속도는 ISO 5801 : 2007의 8.에 따라 측정한다.

7.3 추 력

7.3.1 힘 균형 시스템

검정된 무게추들을 사용하는 힘 균형 시스템으로 $\pm 5\%$ 불확실성의 추력이나 힘을 측정할 수 있다.

7.3.2 힘 변환기

검정된 무게추들을 사용하여 검정한 힘 변환기로 $\pm 5\%$ 불확실성의 추력을 측정할 수 있다.

7.4 입력 동력

전기 모터나 임펠러로 들어가는 입력 동력을 ISO 5801 :

2007의 9.에 따라 측정한다.

7.5 소음 레벨

마이크로폰, 기류 영향 배제 유리, 케이블, 증폭기, 주파수 분석기 등을 포함하는 소음레벨 측정 시스템은 ISO 13347의 요구 사항에 따라야 한다.

7.6 진동 속도

r.m.s.진동 속도의 측정이 가능한 기기를 사용하여 송풍기 진동 속도를 측정하며, 이는 ISO 14695에 따른다.

7.7 체적 유량

7.7.1 압력 측정

기기 차압을 측정하는 마노미터와 시험 밀폐 공간 내의 대기압을 측정하는 바로미터는 ISO 5801 : 2007의 5.에서 요구하는 사항을 만족시켜야 한다.

7.7.2 온도 측정

기기 온도계는 ISO 5801 : 2007의 7.에서 요구하는 사항을 만족시켜야 한다.

7.8 추력 측정

7.8.1 일반 사항

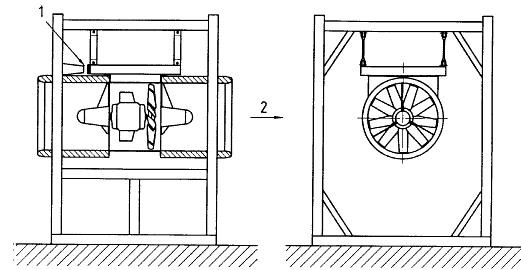
송풍기 추력은 현수 형상이나 지지 형상에서 측정된다. 추력을 정확히 측정하기 위해, 첫째 방법에서는 현수 요소가 정확히 수직하고 송풍기축을 지나는 수직면과 평행을 유지해야 한다. 둘째 방법에서는 지지물의 정확한 제작과 수평 유지가 요구된다. 추력은 검정된 무게 추, 스프링 밸런스나 힘 변환기를 사용하여 측정된다.

7.8.2 현수 형상

Fig. 7과 Fig. 8은 대표적인 현수 형상을 보여 준다. 송풍기는 길이가 송풍기 지름보다 긴 매다는 기구(suspension elements)로 현수대, 혹은 프레임에 매달려진다. 프레임은 공기 흐름에 방해가 되지 말아야 한다. 특히 송풍기 입구부에서 공기가 프레임에 방해가 받지 않고 자유롭게 유입되어야 한다. 송풍기의 아래나 주위에는 3가지 기능을 제공하는 강체 프레임이 있다. 즉, a) 정지 상태에서 송풍기 시험 장치에 대한 기준점을 제공하고, b) 보정된 무게추와 스프링 밸런스를 얻기 위한 폴리 시스템을 지지하고, c) 힘 변환기를 위한 반동점을 제공한다. 송풍기가 작동하는 상태에서 측정 시스템의 하중을

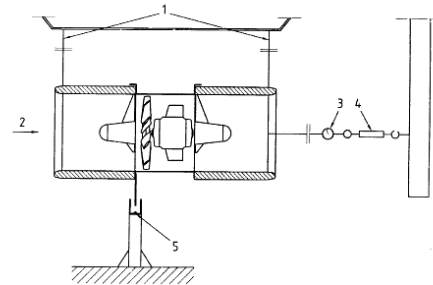
사용하여 송풍기를 오차 범위 ± 2 mm 내의 정지 상태의 위치로 되돌아가도록 만든다. 이렇게 하면 매다는 기구가 정확히 수직이 된다. 이후 추력을 측정한다.

(주) 송풍기의 정지 상태와 동작 상태에서 매다는 기구가 수직면에서 기울어진 각도나 높이의 변화를 측정하여 추력을 계산하는 방법과 같이, 다른 방법으로 추력을 측정할 때는 요구되는 정확도의 측정을 하기 어려우므로 주의하여야 한다.



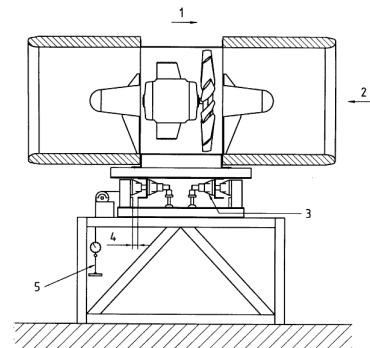
1 변환기/측정 시스템의 조정 가능한 위치 2 공기유동

Fig. 7 현수형 추력측정장치 (A형)



1 현수 케이블 2 공기유동 3 스프링 밸런스 4 길이조절기구 5 기준점

Fig. 8 현수형 추력측정장치 (B형)



1 송풍기 이동 방향 2 공기 유동
3 박판 스프링 4 로드 셀

(시험에 앞서 송풍기의 수평을 정확히 맞춰야 한다.)

Fig. 9 테이블형 추력측정장치

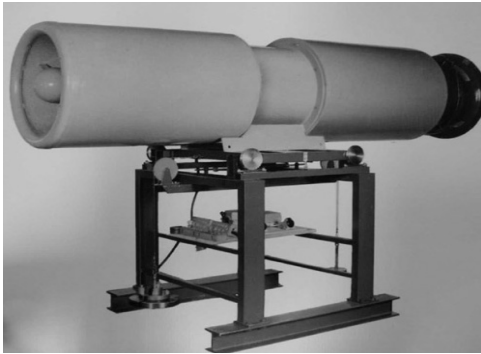


Fig. 10 제트팬의 추력시험장치

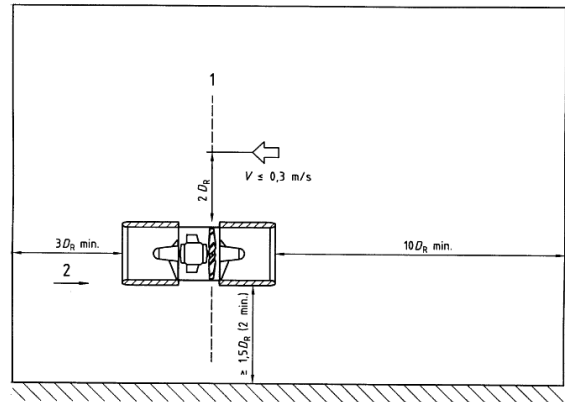


Fig. 11 제트팬 추력 측정공간

7.8.3 지지 형상

7.8.3.1 Fig.9, Fig.10은 테이블형 지지 형상으로 추력을 측정하는 방법을 보여 주고 있다. 송풍기는 강체프레임 위에 마찰이 작은 선형 베어링 또는 박판 스프링을 통해 지지된다. 송풍기는 멈춤 썸에 걸릴 때까지 양쪽 방향으로 자유롭게 움직일 수 있다. 시험을 시작하기 전에 축의 양 방향으로 송풍기가 수평이 되도록 주의 깊게 잘 맞춰야 한다.

7.8.3.2 작동 상태에서 송풍기의 움직이는 거리가 멈춤 썸에 닿지 않도록 측정 시스템의 하중을 조정한다. 그 후 추력을 측정한다. 힘 변환기를 사용할 경우에는 송풍기가 센서에 직접 접촉해도 괜찮다.

7.8.4 추력측정 순서

7.8.4.1 추력이 요구되는 정확도 이내에서 측정되기 위해서는 각 시험 단계에서 실험 장치의 설치나 조작으로 인한 오차를 최소한으로 줄여야 한다. 검정된 무게나 스프링 밸런스가 기술되어 있다 해도, 추력을 기록하는 스프링 밸런스가 풀리를 통해 지지된다면, 스프링의 무게를 정확히 알아 측정된 추력에 더해줘야 한다.

7.8.4.2 추력을 측정하는 힘 변환기는 12달 이내에 한 번씩 풀리와 무게 시스템 등을 사용하여 검정하여야 한다. 편차가 1% 이상 되면 3개월 간격으로 재검정하여야 한다.

7.8.4.3 지지형 방법을 사용할 때는 양쪽 방향으로 송풍기를 이동시키는 데 요구되는 힘이 같으며, 따라서 송풍기의 수평이 잘 맞는지 사전에 주의 깊게 확인하여야 한다.

7.8.4.4 추력과 입력 동력이 안정되었을 때나 시동 후 최소 10분이 지난 후에 추력을 측정하고 기록하여야 한다.

7.8.5 시험 밀폐 공간

Fig.11은 시험을 위해 필요한 밀폐 공간의 크기를 보여 준다.

8. 유량 측정

8.1 일반 사항

제트 송풍기를 통과하는 유량은 터널을 통과하는 유량과 직접적인 관련성이 없으며, 제트 송풍기의 시방에서 우선적으로 필요한 사항이 아니다. 유량을 측정하는 방법에는 다음의 세 가지 방법이 있다.

첫째, 제트 송풍기 상류에 시험 체임버를 설치하여 유량을 측정하는 방법이다. 이 경우 송풍기의 작동 점이 정확히 모사될 수 있도록 시험 장치의 일부로 보조 송풍기를 설치한다.

둘째, 제트 송풍기 입구에서 피토티관을 사용하여 유량을 측정하는 방법이다.

셋째, 가장 일반적인 방법이나 정확도가 떨어지는 것으로서, 제트 송풍기 상류에 벤투리 노즐이나 원뿔형의 입구부를 사용하여 유량을 측정한다.

8.2 상류 체임버 방법(Fig.10 참조)

8.2.1 Fig. 12와 같이 체임버에 송풍기를 설치한다. 이것은 ISO 5801 : 2007의 A형 설치 방법과 유사하며, 시험 장치의 상류 부분은 31.2에 따른다.

8.2.2 벤추리 노즐이나 원뿔형 입구부를 사용하여 유량을 측정하는 방법은 각각 ISO 5801 : 2007의 22.와 24.에 따른다.

8.2.3 송풍기의 작동점을 정확히 설정하기 위해 송풍기를 통해 역압력 구배가 나타나지 않아야 하며, 이를 위해 시험 장치용 보조 송풍기가 $p_{e3} = p_{e2} = 0$ 이 되도록 제어되어야 한다. 여기에서 p_{e3} 은 체임버에서의 계기 압력이고, p_{e2} 는 송풍기 출구에서의 계기 압력이다.

8.2.4 보조 송풍기를 정확히 제어할 수 없다면 하나 이상의 작동점에서 유량을 측정해야 한다.

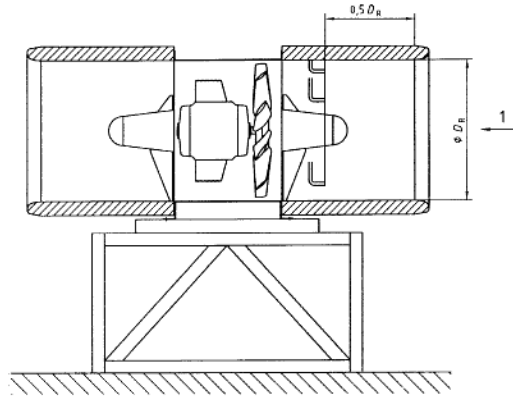
8.3 상류 피토관 방법(Fig.13 참조)

유량은 ISO 5801 : 2007의 26.에 따라 가급적이면 임펠러 상류에서 측정되어야 한다.

8.4 직결식 유량 측정 장치(그림 12 참조)

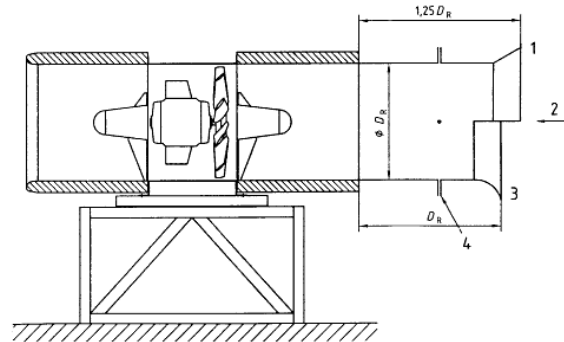
8.4.1 Fig. 14에서와 같이 적절한 방법으로 유량 측정 장치를 송풍기 입구에 연결한다. 벤투리 노즐의 세부 사항은 ISO 5801 : 2007의 그림 11에 따르며, 원뿔형 입구부는 ISO 5801 : 2007의 그림 16과 일치되어야 한다. 이 규격에서 필요한 유량을 측정하는 것을 목적으로 하는 경우, 선회류를 없애기 위한 장치는 필요하지 않다.

8.4.2 벤투리 노즐로부터 유량을 계산하는 방법은 ISO 5801 : 2007의 22.에 따르며, 원뿔형 입구부로부터 유량을 계산하는 방법은 24.에 따른다.



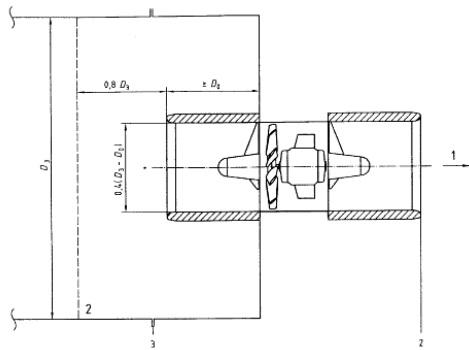
1 공기유동

Fig.13 유량 측정장치(상류 피토관)



1 원뿔형 입구부 2 공기유동 3 벤투리 노즐 4 측면 태핑

Fig.14 유량 측정장치(직결식 유량측정장치)



1 공기유동 2 스크린

Fig.12 유량 측정장치(상류 체임버)



Fig.15 JF-1250 직결식 유량측정장치

9. 진동 속도 측정

9.1 일반 사항

제트 송풍기가 실제로 사용되는 동작점은 표준 실험실 시험에서는 단 하나뿐이므로, 진동속도 시험 장치는 ISO 14695에서 기술된 것보다 단순화시킬 수 있다.

9.2 시험 장치(Fig. 16)

9.2.1 Fig.16은 진동 속도를 측정하기 위해 사용되는 시험 장치를 보여 준다. 시험은 고객에게 공급되는 것과 같은 형상의 제트 송풍기를 가지고 수행한다. 상류와 하류에 소음기가 있다면 설치되어야 한다. 방진체가 기술되고, 진동 레벨 측정이 요구되는 곳에서는 Table 2에서 주어지는 최소 정적 휨(minimum static deflection)이 측정의 목적으로 사용된다.

Table 2 제트팬의 최소정적 휨

| 회전속도 | 최소정적 휨(mm) |
|-------------|------------|
| 850~1,000 | 15 |
| 1,100~1,800 | 8 |
| 2,800 이상 | 2.5 |

비고 : Table 2의 최소정적 휨은 실제 동작조건에서는 매우 감소된다.

9.2.2 만일 고객과 공급자 사이에 다른 협의 사항이 없다면 송풍기의 임펠러는 ISO 1940-1의 G6.3 등급과 평형을 이루며, 전기 모터는 IEC 60034-14에 기술된 모터 프레임 크기에 대한 표준 진동 레벨로 공급되어야 한다.

9.3 측정 순서

9.3.1 고객과 공급자 사이에 다른 협의가 없다면 진동 속도는 ISO 14695의 부속서 B에 따라 측정되어야 한다.

제트 송풍기는 축 대칭이고 단순히 2개 베어링으로 지지되므로 수직 방향의 진동만 측정하면 된다.

9.3.2 진동은 받침대에서 송풍기 상류쪽에서 하나, 송풍기 하류쪽에서 하나 모두 두 개의 값을 기록한다.

임펠러 속도(rpm)가 필터링된 수직 진동 속도의 레벨이 mm/s r.m.s. 단위로 측정된다.

9.4 허용 진동 속도

최대 허용 진동 속도는 Table 3과 같다.

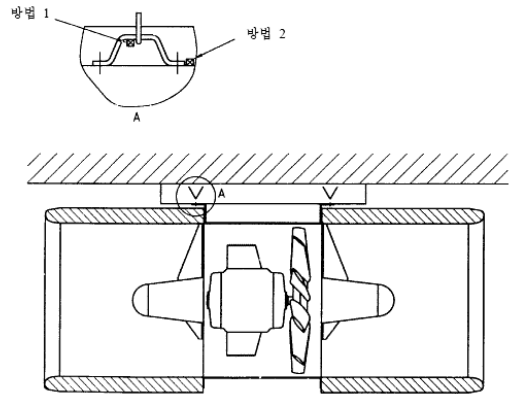


Table 16 제트팬의 진동측정 위치

Table 3 최대허용 진동속도

| 설치방법 | 최대허용 진동속도 |
|-------------------|-----------|
| Table 2에서와 같은 방진체 | 4.5 |
| 고정지지 | 2.8 |

참고문헌

- (1) 양상호, "(주) 삼원이앤비 2008 전략기술개발사업 고효율저소음 송풍기-고속 콤팩트형 제트팬 사업계획서," 2008, 지식경제부.
- (2) "도로터널 환기설비 설계기준," 2008, 한국도로공사.
- (3) "KS B ISO 13350 산업용 송풍기-제트송풍기의 성능시험," 2001, 기술표준원.