

# 송풍기 성능평가 기술

## Method of Fan Testing and Rating

김진욱

J. W. Kim

범양냉방(주) / 기술부



• 1962년생

송풍기의 성능평가는 각국별로 다양한 성능평가 기준을 근거로 행하여 지고 있으나 여기서는 전세계적으로 가장 널리 이용되는 미국의 AMCA(Air Movement and Control Association)에 의한 성능평가방법에 대하여 소개 하고자 한다.

### 1. 목 적

본 규격은 송풍기 또는 기타 공기이송장치의 유량, 압력, 동력, 공기밀도, 회전수, 효율 등의 성능을 규정하기 위한 실험실적 정격 시험방법을 표준화 하는데 있다.

### 2. 범 위

본 규격은 공기를 사용하는 송풍기, 배기장치, 압축기, 기타 공기이송장치의 성능시험에 대하여 규정한다. 순환용 Fan 이나 중간 냉각을 하는 압축기는 본 규격을 적용할 수 없다.

### 3. 측정단위

#### 3.1 단위계

본 규격은 국제단위계(SI 단위)를 사용한다.

(AMCA 규격은 I-P(Inch-Pound) 단위임)

#### 3.2 기본단위

길이 단위는 미터(m) 또는 밀리미터(mm), 질량단위는 킬로그램(kg) 시간단위는 초(s) 또는 분(min)을 사용한다. 온도단위는 섭씨(°C) 또는 켈빈(K)을, 힘의 단위는 뉴우턴(N)을 사용한다.

#### 3.3 유량과 속도

유량의 단위는 (m<sup>3</sup>/min), 속도의 단위는 (m/s)를 사용한다.

#### 3.4 압력

압력의 단위는 파스칼(Pa=N/m<sup>2</sup>)을 사용한다. 경우에 따라서 밀리미터 수주(mmAq)와 밀리미터 수은주(mmHg)를 겸용한다.

#### 3.5 동력, 에너지, 토오크

동력의 단위는 와트(W) 또는 킬로와트(kW), 에너지의 단위는 줄(J), 토오크의 단위는 뉴우턴-미터(N-m)를 사용한다.

#### 3.6 효율

효율의 단위는 1로 표시한다. 100을 곱하여

백분율로도 구할 수 있다.

3.7 회전속도

회전속도의 단위는 초당 라디안(rad/s) 또는 분당 회전수(rpm)를 사용한다.

3.8 기체의 성질

밀도의 단위는(kg/m<sup>3</sup>), 점성계수의 단위는 (kg/ms) 혹은 (Ns/m<sup>2</sup>)을 사용한다. 기체 상수의 단위는 (J/kgK)를 사용한다.

3.9 무차원수

본 규격에는 여러가지 무차원수가 나타나

있다. 이들 무차원수의 값을 계산하고자 할 경우 무차원수에 수치계수가 포함되지 않을 경우에는 어떤 일관된 단위계를 사용하여 계산한다.

3.10 물리상수

표준 중력가속도의 값은 위도 45° 평균해면 상에 대한 값 9.80665(m/s<sup>2</sup>)을 취한다. 포화 압력하에서 증류수의 밀도는 20℃에서 998.278(kg/m<sup>3</sup>)을 택한다. 포화압력에 대한 수은의 밀도는 0℃에서 13595.1(kg/m<sup>3</sup>)을 취한다.

4. 기 호

기 호	설 명	단 위	기 호	설 명	단 위
A	단면적	m <sup>2</sup>	p <sub>v</sub>	증기분압	Pa <sub>abs</sub>
C	노즐유량계수	-	Q	송풍기 풍량	m <sup>3</sup> /s
D	지름 혹은 등가지름	m	Q <sub>x</sub>	단면x에서의 송풍기 풍량	m <sup>3</sup> /s
D <sub>n</sub>	수력직경	m	R	기체상수	J/kgK
e	자연대수의 밑수	-	R <sub>e</sub>	레이놀즈 수	-
E	에너지계수	-	T	회전력	N-m
F	빔하중	N	t <sub>d</sub>	건구온도	℃
f	마찰계수	-	t <sub>i</sub>	전체온도	℃
H	송풍기 입력	W	t <sub>w</sub>	습구온도	℃
H <sub>o</sub>	송풍기 출력	W	V	속도	m/s
K <sub>p</sub>	압축계수	-	W	모터 입력	W
L	노즐 목 길이	m	x	K <sub>p</sub> 를 결정하는데 필요한 함수	-
L <sub>e</sub>	정류격자의 상당길이	m	Y	노즐 팽창계수	-
L <sub>x,x'</sub>	단면x와 x'사이의 길이	m	y	정류격자 요소의 두께	m
l	모멘트 암의 길이	m	z	K <sub>p</sub> 를 결정하는데 필요한 함수	-
ℓ <sub>n</sub>	자연대수	-	α	노즐에서의 정압비	-
M	압력실 치수	m	β	노즐의 지름비	-
N	회전속도	rpm	γ	비열비	-
n	측정개소의 수	-	ΔP	압력차	Pa
P <sub>s</sub>	송풍기 정압	Pa	η	모터효율	단위당
P <sub>sx</sub>	단면x에서의 정압	Pa	η <sub>1</sub>	송풍기 전압효율	단위당
P <sub>t</sub>	송풍기 전압	Pa	η <sub>2</sub>	송풍기 전압효율	단위당
P <sub>tx</sub>	단면x에서의 송풍기 전압	Pa	μ	공기의 점성계수	kg/ms
P <sub>d</sub>	송풍기 동압	Pa	ρ	송풍기 공기밀도	kg/m <sup>3</sup>
P <sub>dx</sub>	단면x에서의 송풍기 동압	Pa	ρ <sub>x</sub>	단면x에서의 공기밀도	kg/m <sup>3</sup>
p <sub>b</sub>	대기압	Pa <sub>abs</sub>	Σ	합산기호	
p <sub>e</sub>	tw에서의 포화 증기압	Pa <sub>abs</sub>			

첨 자	설 명	첨 자	설 명
c	환산치	3	단면 3 (피토관 횡단이송위치)
r	읽음	4	단면 4 (다크액주계 설치위치)
x	단면 0, 1, 2 ...	5	단면 5 (정체실내 노즐 입구위치)
0	단면 0 (일반측정단면)	6	단면 6 (노즐출구 위치)
1	단면 1 (송풍기 입구단면)	7	단면 7 (송출실 측정위치)
2	단면 2 (송풍기출구단면)	8	단면 8 (흡입실 측정위치)

## 5. 정 의

### 5.1 송풍기

#### (1) 송풍기

송풍기란 회전 임펠러를 구동시켜 공기를 이송하는 장치이다. 송풍기는 최소한 한개의 흡입구와 토출구를 가져야 한다.

#### (2) 송풍기의 경계

송풍기 흡입구와 토출구의 경계는 송풍기와 관련 계통과의 연결부위에서 공기 유동방향에 수직한 단면으로 정의한다. 송풍기의 여러가지 부속장치들은 흡입구와 토출구 경계 사이에 놓이는 송풍기 부품으로 포함 시켜도 좋다. 송풍기의 입력경계란 송풍기와 구동기와 연결부위로 정의한다.

시험보고서에는 송풍기의 흡입구경계, 토출구경계 및 동력경계, 포함하고 있는 부속장치를 명시하여야 한다.

#### (3) 송풍기 토출면적

송풍기의 토출면적은 토출구 단면에서 측정된 총 내부단면적으로 정의한다. 옥상 환풍기에 대한 송출면적은 원심형의 경우 총 임펠러 출구 면적으로, 축류형의 경우 임펠러 위치에서 측정된 총 케이싱 단면적으로 정의한다.

#### (4) 송풍기 흡입면적

송풍기 흡입면적은 흡입측 연결부위의 단면에서 측정된 총내부 단면적으로 정의한다. 연결구가 없는 축소형 흡입구에 대한 흡입면적은 총형 또는 원추형 흡입로와 최초로 교차하는 위치에서 유동 방향과 수직한 단면의 내부 단면적으로 정의한다.

### 5.2 습공기

#### (1) 건구온도

건구온도 센서로 측정된 공기 온도를 말한다.

#### (2) 습구온도

물에 젖은 심지로 적셔진 온도센서로 운동하고 있는 공기에 노출된 상태에서 측정되는 온도를 말한다.

#### (3) 습구온도강하

동일지점에서 건구온도와 습구온도의 차이를 말한다.

#### (4) 정체온도

공기의 내부 에너지와 운동 에너지의 합에 해당하는 온도로서, 공기를 등엔트로피적으로 정지시켰을때의 공기온도이다.

#### (5) 정적온도

단지 공기의 내부에너지에 의해서만 야기되는 온도이다. 만일 내부 에너지의 일부가 운동 에너지로 변환하면 정적온도는 변환한 에너지에 해당하는 만큼의 온도가 감소한다.

#### (6) 공기밀도

공기의 단위 체적당 질량이다.

#### (7) 표준공기

표준공기는 밀도  $1.2101(\text{kg}/\text{m}^3)$ , 비열비 1.40, 점성계수  $1.819 \times 10^{-5}(\text{kg}/\text{ms})$ 의 특성을 갖는 공기로 정의한다. 기압 760mmHg하에서  $20^\circ\text{C}$ , 상대 습도 50%의 공기가 근사적으로 이러한 특성을 갖는다.

### 5.3 압력

#### (1) 압력

압력은 단위면적당 작용하는 힘이다. 이것은 단위체적의 유체가 갖는 에너지에 상응한다.

#### (2) 절대압력

완전진공을 절대압력 영(0)으로하고, 절대압력 영을 기준으로 측정된 압력이다.

#### (3) 기압계압력

기압계압력은 대기에 의하여 생기는 절대압력이다.

#### (4) 계기압력

계기압력은 측정점에서의 국소 대기압력을 기준으로하여 측정된 압력이다.

#### (5) 동압

동압은 운동에너지에 해당하는 압력부분이다. 동압은 항상 양의 값을 갖는다.

#### (6) 정압

정압은 압축정도만에 의하여 생기는 압력부

분으로서, 계기압력으로 표시할 경우에는 음이나 혹은 양의 압력을 갖는다.

#### (7) 전압력

전압력은 압축정도와 운동속도로 인하여 야기되는 공기압력이다. 한점에서의 전압력은 그 점에서의 정압과 동압의 대수적 합이다.

#### (8) 압력손실

마찰과 교란 때문에 생기는 전압력의 강하이다.

### 5.4 송풍기의 성능변수

#### (1) 송풍기 공기밀도

흡입구 상태의 공기가 갖는 전압력과 정체 온도에 대응하는 공기밀도를 말한다.

#### (2) 송풍기 풍량

송풍기 공기밀도 상태에 대한 체적유량이다.

#### (3) 송풍기 전압

송풍기 토출구에서의 전압과 흡입구 전압의 차이이다.

#### (4) 송풍기 동압

송풍기 토출구에서의 평균속도에 대응하는 동압이다.

#### (5) 송풍기 정압

송풍기 전압과 동압의 차이이다. 그러므로 토출구 정압과 흡입구 전압의 차이이다.

#### (6) 송풍기 회전속도

회전차의 회전속도이다. 만일 한 송풍기에 두개 이상의 회전차를 가질 경우, 송풍기 회전속도는 각 회전차의 회전속도를 의미한다.

#### (7) 압축계수

압축계수는 송풍기 풍량, 전압, 입력으로부터 송풍기 전효율을 결정할때 적용하여야 할 열역학적 계수이다. 압축계수란 송풍기 공기 밀도하에서의 송풍기 풍량에 대한 송풍기를 통하여 실제로 송출되는 평균풍량의 비이다.

#### (8) 송풍기출력

송풍기로부터 공기에 전달된 유효 동력이다. 송풍기 출력은 송풍기 풍량, 송풍기 전압 및 압축계수의 상승곱에 비례한다.

#### (9) 송풍기입력

송풍기와 송풍기의 한 부분으로 생각할 수 있는 동력전달 기구의 모든 요소들을 구동시키는데 소요되는 동력이다.

#### (10) 송풍기전압효율

송풍기 입력에 대한 송풍기 출력의 비이다.

#### (11) 송풍기정압효율

송풍기 전압효율에 송풍기 전압에 대한 송풍기 정압의 비를 곱한 효율이다.

### 5.5 기타사항

#### (1) 운전점

운전점은 한 특정 유량에 대응하는 송풍기 성능곡선상의 점이다. 이 점은 시험하는 동안 교축(throttling) 장치의 위치를 조절하거나, 유동노즐의 보조편 특성을 바꾸거나, 혹은 이들 조작을 조합하여 조정할 수가 있다.

#### (2) 자율송출

송풍기의 정압이 0인 운전점이다.

#### (3) 체적점

송풍기의 유량이 0일때의 운전점이다.

#### (4) 확정

한 특정 운전점에서 성능평가에 필요한 모든 측정의 완성을 의미한다.

#### (5) 시험

송풍기의 여러가지 운전점에 대한 일련의 확정을 의미한다.

#### (6) 에너지계수

평균속도에 대응하는 운동 에너지에 대한 유동의 실제 운동에너지의 비이다.

## 6. 측정 계기와 측정법

### 6.1 정확도

모든 측정계기와 측정방법에 대한 명세서에는 정확도의 요구가 반드시 명시되어 있다.

이 명시된 요구는 두 개의 표준편차에 대응하며, 또 내포하고 있는 오차들이 정규 분포를 한다는 가정으로부터 얻어진다. 측정계통의 오차를 최소화 하기 위해서는 반드시 명시되어 있는 교정방법에 따라 교정하여야 한다.

무작위 오차는 적절한 통계적 표본으로부터만 확정할 수가 있고 어떤 특정 시험에 사용할 계기들은 선정하기에 앞서 먼저 여러가지 측정기에 대한 교정자료를 모을 필요가 있다. 측정기의 오차는 이들 모아진 자료들의 평균 치로부터 얻어진 두 표준편차가 어떤 명시된 값을 초과하지 않아야 한다.

## 6.2 압 력

한 점에서의 전압은 액주계와 같은 압력 지시계로 측정한다. 액주계는 한쪽을 대기에 개방시켜놓고 다른 한쪽은 전압관 혹은 피토 정압관의 충격탭과 같은 전압센서에 연결하여 측정한다. 한 점에서의 정압은 액주계와 같은 압력 지시계를 사용하여 측정하여야 한다.

액주계의 한쪽은 대기에 개방시켜놓고 다른 한쪽은 정압탭이나 피토 정압관의 정압탭과 같은 정압센서에 연결하여 측정한다. 한 점에서의 동압은 액주계와 같은 지시계를 사용하여 측정하여야 한다. 액주계의 한쪽 지주는 피토정압관의 충격탭과 같은 전압센서에 연결하고, 다른 지주는 동일 피토 정압관의 정압탭과 같은 정압센서에 연결하여 측정한다.

액주계의 한 지주는 전압탭과 같은 상류센서에, 다른 한 지주는 정압탭과 같은 하류센서에 연결한다.

### (1) 액주계와 기타 압력 지시 계기 :

압력은 경사 또는 연직 지주를 갖는 액주형 액주계를 사용하든가, 하고자 하는 최대 측정값의 1% 혹은 1Pa[0.01mmAq] 중에서 큰 값을 최대오차로 하는 다른 어떤 계기를 사용하여 측정하여야 한다.

#### ① 교정

모든 압력 지시계는 눈금의 양단과 그 사이를 최소한 9개의 등간격으로 등분한 등분점에 대하여 다음 사항에 따라 필히 교정하여야 한다. 측정하여야 할 압력이 0과 2500Pa[250mmAq] 범위의 압력일 경우에는, 물이 채워진 마이크로미터형 혹 게이지나 정밀 미압 액주계의 읽음과 대비해서 교정하여야 한다.

측정하여야 할 압력이 2500Pa[250mmAq] 이상인 경우 교정은, 물이 채워진 마이크로미터형 혹 게이지, 정밀 미압 액주계, 혹은 U자형 수주계의 읽음과 대비해서 교정하여야 한다.

#### ② 평균

송풍기에 의하여 발생하는 유량과 압력은 엄격하게 말해서 정상상태가 아니기 때문에 측정계에 지시되는 압력은 시간과 더불어 변동한다. 그러므로 참값을 얻기 위하여는 계기를 감쪽시키거나, 또는 지시값을 적당한 방법으로 평균하여야 한다. 특히 압력 변동이 비교적 작고, 또 규칙적인 경우에는 머릿속에서 지시값을 평균하여 읽는다. 그렇지 않은 경우에는 평균을 목적으로 설계된 해석장치를 사용하여 계기로부터 얻어지는 지시값을 다점 또는 연속 기록 평균해야 한다.

#### ③ 수정

액주계의 읽음은 액주계 액체 비중량의 표준값과의 차이, 기주 평형효과의 표준값과의 차이, 온도에 의한 눈금 간격의 변화등에 대한 수정을 하는 것이 좋다.

그러나 15℃와 25℃의 온도범위, 30°와 60°사이의 위도, 1500mm까지의 고도 내에서는 수정을 생략해도 무방하다.

### (2) 피토 정압관

한 점에서의 전압 또는 정압은 표준규격의 피토정압관으로 측정할 수 있다. 피토정압관을 액주계나 또는 어느 압력지시계에 연결하면, 전압과 정압의 압력신호가 이들 계기에 전달된다. 만일 양 압력신호가 동일 압력 측정기에 전달된다면, 그 압력차는 피토정압관 정제구에 나타나는 동압이 된다.

#### ① 교정

표준규격의 피토정압관은 일차계기이므로, 이러한 특정한 비율이 유지되는 한은 교정할 필요가 없다.

#### ② 치수

피토정압관은 이에 작용하는 압력에 견딜 수 있는 충분한 크기와 강도를 가져야 한다. 피토관의 노우즈관 바깥지름은, 시험 덕트 지

름의 1/30을 초과해서는 안된다. 시판되고 있는 피토정압관의 최소지름은 2.5mm이다.

피토정압관의 노우즈관 길이는 관지름의 24배 이상을 원칙으로 하고 14배보다 짧아서는 안된다. 노우즈관의 길이가 24D보다 긴 경우, 이 길이를 넘어 점진적으로 지름을 크게 할 수도 있다.

### ③ 지지구

피토관 지지구는 피토정압관 축을 덕트축과 1도 내에서 평행시킬 수 있고, 또 측정 위치로부터 1.2mm 혹은 덕트 지름의 0.25% 중 큰 거리를 벗어나지 않게끔 헤드를 위치시킬 수 있는 견고한 구조라야 한다. 정류자는 덕트축에 거의 평행한 평행류를 얻기 위한 목적으로 설치한다.

### (3) 정압 탭

한 점의 정압은 표준규격의 압력 탭에 연결하여 측정한다. 여기서 검출된 압력신호는 지시계로 전송된다.

#### ① 교정

표준규격의 압력탭은 일차계기라고 생각할 수 있으므로, 명시된 비율을 그대로 유지하는 한, 교정할 필요가 없다. 공기속도가 압력측정에 영향을 주지 않도록 모든 예방조치가 취해져야 한다.

#### ② 평균

각 압력탭은 그 감지구에 바로 인접한 압력에만 민감하다. 그러므로 평균값을 얻기 위해서는 최소한 네개의 동일치수의 탭이 한 피에조미터 링 속에서 연결되어야 한다. 이 때 니플드는 최소한 각 탭의 면적을 합한 내부면적을 가져야 한다.

#### ③ 피에조미터 링

피에조미터 링은 상류 및 하류 노즐 탭에 대하여, 그리고 피토 이송이 명시되지 않은 경우, 송출덕트나 송출실 측정에 대하여 명시되어 있다. 측정단면은 해당 장치에 명시한 위치이어야 한다.

### (4) 흡입실내의 전압

표준규격의 전압관(피토관)을 고정시켜 검

출한다. 검출된 압력신호는 한 지시계에 전송되어 전압을 지시한다. 전압관은 공기유동에 정면으로 직면시켜야 하고, 관 선단은 매끄러워야 하고 거칠어서는 안된다.

#### ① 교정

전압관은 일차계기이므로 명시된 비율을 유지하는 한 교정할 필요가 없다.

#### ② 평균

전압관에 의하여 검출된 압력신호는 선단에 인접한 부위의 전압을 대표한다.

그러나, 흡입실내의 유속은 정류망에 의하여 평균화가 되었다고 생각할 수 있으므로 한 점에서의 고정측정으로 평균 실내전압을 대표할 수 있다.

#### ③ 측정위치

측정위치는 해당장치에 표시한 위치에 따라야 한다.

### (5) 기타 압력측정 장치

어떤 변환소자와 지시계를 갖춘 압력측정장치가 그의 조합 오차에 있어서 액주계와 피토정압관, 정압탭, 혹은 전압관을 적절히 조합하여 측정할 때 생기는 조합 오차를 넘지 않는다면, 이 압력측정장치를 그대로 압력측정용으로 사용할 수 있다. 송풍기 압력을 결정하기 위하여 사용되는 압력측정장치의 조합오차는 시험하는 동안 나타나는 정압이나 전압의 최대값의 1%(지시계의 허용공차)에 실제 측정값의 1%(평균과정에 나타나는 허용공차)를 합한 것에 해당하는 조합오차를 넘어서는 안된다. 송풍기 풍량을 결정하기 위하여 사용되는 측정장치의 조합오차는 시험하는 동안 나타나는 동압이나 압력차의 최대측정값의 1%(지시계의 허용공차)에 실제 측정값의 1%(평균과정에 나타나는 허용공차)를 합한 것에 해당하는 조합오차를 넘어서는 안된다.

## 6.3 풍량(유량)

풍량은 피토관 이송에 의하여 얻어지는 동압의 측정치나, 유동 노즐 전후의 압력차를 측정하여 계산한다.

(1) 피토판 이송

시험 회전수에 대하여 자유송출 풍량에 대한 평균속도가 적어도 12(m/s)일 경우에는 자유송출운전으로부터 체결운전까지, 임의 운전조건에 대한 풍량은 피토평압관을 덕트 단면을 횡단 이송시켜 가면서 측정된 동압으로부터 계산한다.

① 측정 위치

한 측정단면에 대한 측정점의 수와 위치, 그리고 지름의 분할의 수는 정해진 비율에 따라야 한다.

② 평균

한 단면에서의 측정점은 대수-선형법칙에 따라 각 지름위에 위치되어 있다. 그러므로 이들 각 위치에서 측정된 속도의 산술평균값은, 임의의 속도분포에 대하여 그 측정 단면을 흐르는 평균 속도가 된다.

(2) 노즐

시험 회전수에 대하여, 자유송출 풍량에 대한, 노즐 분출 평균속도가 최소한 14(m/s)일 경우에는, 자유송출운전으로부터 체결운전까지, 임의 운전점에 대한 풍량은 유동노즐 혹은 노즐군 전후의 압력차로부터 계산한다.

① 노즐 치수

노즐 또는 노즐군의 치수비율은 표준규격에 따라야 한다. 노즐의 크기 D는 임의로 정할 수 있으나, 노즐 입구에 덕트를 연결하였을 때 입구 덕트지름에 대한 목지름의 비는 0.525를 초과시켜서는 안된다.

② 교정

표준노즐은 일차계기이므로 명시된 치수비율을 유지하는 한 교정할 필요가 없다. 노즐 목 길이 L=0.5D와 L=0.6D에 대한 신뢰성 있는 계수가 확정되어 있다. 최근에는 목길이 L=0.6D가 주장되고 있다.

③ 압력실 노즐

적산 목탭이 없는 노즐은, 장치 구성상 상류 및 하류 압력탭을 노즐 끝에서 0.25D 떨어진 위치에 설치해야 할 경우, 노즐실에 사용한다. 반면에 목탭을 갖는 노즐은 장치구성상

목탭을 하류 압력탭으로 사용하여 검출된 압력을 압력지시계에 연결하여야 할 경우에 사용한다.

④ 덕트노즐

덕트노즐을 구성하려면 적산 목탭을 갖는 노즐을 사용하여야 한다. 신뢰성있는 장치를 구성하려면 상류 압력탭을 그림과 같은 위치에 위치시켜야 한다. 하류 압력탭은 적산 목탭으로 대치되며 노즐 끝에서 0.25D 지점에 위치시켜야 한다.

⑤ 탭

모든 압력탭은 기하학적 형상, 갯수 그리고 피에조미터 링과의 연결에 관해서는 6.2의 (3)항에 명시한 설명에 따라야 한다.

(3) 기타의 유량측정 방법

유동 노즐이나 피토평압이 아닌 다른 계기나 횡단 이송법을 사용하는 유량측정법이, 이 방법으로 야기되는 오차가 적절한 유동노즐이나 피토평압측정법에서 야기되는 오차를 넘지않는다면, 대신 사용할 수가 있다. 유량측정시 타나나는 조합오차는 유동노즐에 대한 유량계수의 1.2%에 해당하는 오차를 초과해서는 안된다.

6.4 동력

동력은 반동동력계로 측정된 보하중, 비틀림 검출소자로 측정된 회전력 혹은 교정된 전동기로 측정된 전기 입력으로부터 결정한다.

(1) 반동 동력계

동력은 측정치의 ±2%의 정확도를 갖는 현 추식 혹은 비틀림, 탁상식 반동 동력계를 사용하여 측정한다.

① 교정

반동 동력계는 그의 사용 범위내에서 토크 압과 현추중량을 가지고 교정하여야 한다. 현추중량은 ±0.2%의 정확도가 보증되어야 하고, 토크 암의 길이도 ±0.2%의 정확도로 측정되어야 한다.

② 자중보정

각 시험마다 측정 전후에 자중보정(영점 토

크평형) 여부를 확인하여야 한다. 지시계의 영점으로부터의 편차가 시험 중에 측정된 최대 측정값의 0.5% 이내이어야 한다.

## (2) 토크 시험장치

### ① 교정

회전력 측정기는 반드시 정적교정을 하여야 한다. 운전교정은 가급적 사용 범위 내에서 하는 것이 좋다. 정적교정은 현추중량과 토크 암을 가지고 계산하여야 한다. 현추중량은  $\pm 0.2\%$ 의 정확도가 보증되어야 하고, 토크 암의 길이도  $\pm 0.2\%$ 의 정확도로 측정되어야 한다.

### ② 자증보정

매 시험마다 측정 전후에 자증보정(영점 토크평형)과 지시계의 전체눈금폭을 확인하여야 한다. 매 측정마다 지시계의 영점으로부터 편차가 시험 중 측정된 최대값의 0.5% 이내이어야 한다.

## (3) 교정된 전동기

동력을 측정하려면 적당한 전기계기와 함께 교정된 전동기를 사용할 수 있다.

### ① 교정

교정된 전동기는 6.4 (3)의 ④항의 경우를 제외하고는 그의 사용범위 내에서 흡수식 동력계에 대비해서 교정하여야 한다. 흡수식 동력계는 토크 암으로 부터 현추중량을 가지고 교정한다. 현추중량은  $\pm 0.2\%$ 의 정확도가 보장되어야 하고, 토크 암의 길이도  $\pm 0.2\%$ 의 정확도로 측정되어야 한다.

### ② 계기

전기계기는 읽는 값의  $\pm 1.0\%$ 의 정확도가 보증되어야 한다. 시험시 계기는 교정시 사용했던 동일 계기를 사용하는 것이 바람직하다.

### ③ 전압

시험중 전동기 입력전압은 교정 중에 관측된 전압의 1% 이내이어야 한다. 만일 시험하고 있는 송풍기로부터 공기가 전동기에 흘러 들어가면 교정시에도 비슷한 공기 유입이 있어야 한다.

### ④ 다상 유도전동기

다상 유도전동기는 IEEE 격리 손실법

(segregated loss method)을 사용하여 교정한다.

## (4) 평균

송풍기에 소요되는 동력은 엄밀히 말해서 정상치 아니므로 어떤 계기로 회전력을 측정하였을 때 측정된 회전력은 시간과 더불어 변동한다. 참 값을 얻기 위하여는 계기를 감폭 시키거나, 적당한 방법으로 지시값을 평균화 시켜야 한다. 특히 변동이 비교적 작고 규칙적이면 평균 작업은 경우에 따라 머리속에서 수행할 수 있다. 그렇지 못한 경우에는 계기와 이러한 목적에서 설계된 해석기를 가지고 다점 혹은 연속기록을 평균시켜 값을 평균화 시킨다.

## 6.5 회전속도

회전속도는 적산회전계와 크로노미터, 회전속도계와 크로노미터, 정밀 순환회전 속도계, 전자식 카운터 타이머 혹은 측정치의 0.5%의 공인된 정확도를 갖는 다른 어떤 계측기를 사용하여 측정하여야 한다.

### (1) 회전속도계(strobes)

국제 공용의 선주파수로 발사되는 회전속도계로서 일차계기이므로, 이 계기가 양호한 조건을 유지하는 한 교정할 필요가 없다.

### (2) 크로노미터(chronometer)

두 순간 사이의 시간을 지시해주는 별도의 지침을 갖는 정밀시계로서, 이 시계는 일차계기로 간주된다.

### (3) 기타 측정기

선 주파수 스트로브와 크로노미터를 조합하여 다른 속도 회전속도 측정장치를 교정하는데 사용한다. 마찰 구동 계수기는 이의 저항 때문에 회전속도에 영향을 주는 경우 사용해서는 안된다.

## 6.6 공기밀도

공기밀도는 건구온도, 습구온도 및 대기압을 측정하여 계산하여야 한다. 다른 파라미터들은 계산한 공기밀도의 최대오차가 0.5%를



넘지 않는 범위에서 측정해서 사용해도 좋다.

(1) 온도계

습구온도나 건구온도는 공인된 정확도가  $\pm 1^\circ\text{C}$ 이고 독취능이  $0.5^\circ\text{C}$ 이거나, 이것보다 더 세밀한 온도계나 또는 다른 계측기를 사용하여 측정하여야 한다.

① 교정

온도계는 시험에서 다루게 될 온도범위에 걸쳐 국립 표준국이나 이에 상응하는 다른 국립물리도량소에서 교정된 온도계와 대비해서 교정하여야 한다.

② 습구 온도계

습구 온도계는 습구 주위를 3.5 내지 10 (m/s)의 속도로 공기가 흐르게끔 해야한다. 건구 온도계는 습기의 영향을 받아 온도가 내려가지 않도록 습구 온도계 상류쪽에 배치하여야 한다.

(2) 기압계

대기압은 수은주 기압계나 공인된 정확도가  $\pm 250\text{Pa}$ , 독취능이  $50\text{Pa}$  혹은 이것보다 정밀한 다른 기압계를 사용하여 측정하여야 한다.

① 교정

기압계는 국립 표준국이나 이에 상응하는 다른 국립물리도량소에서 교정한 수은주 기압계에 대비해서 교정하여야 한다. 한가지 편리한 교정 방법은 비교계기로서 아레노이드 기압계를 사용하는 것이다. 아레노이드 기압계를 기상대로 가져가 교정한 다음, 이것과 비교해서 기압계를 교정하는 것이다. 고정설치된 수은주 기압계는 그 교정 상태를 잘 보존하여야 한다. 이를 위하여 매 3개월마다 한번씩 비교 교정하면 충분하다.

② 수정

기압계로 읽은 대기압은 수은 밀도의 표준값과의 차이라든가, 온도에 의한 눈금간격의 변화에 대하여 수정을 하여야 한다.

7. 장비와 장치(구성, 구조)

7.1 장치

시험조건 및 설치방식에 따라 열가지의 장치구성방법이 있다.(규격참조)

(1) 구성 형식

송풍기를 설치하는 설치 방식에 따라 다음 네가지 형식으로 분류할 수 있다.

- A. 자유흡입, 자유송출
- B. 자유흡입, 덕트송출
- C. 덕트흡입, 자유송출
- D. 덕트흡입, 덕트송출

(2) 선별지침

시험하고자 하는 송풍기의 종류 및 시험조건, 설치방식 등에 맞추어 위의 10가지 구성방법 중에서 선별하여 사용한다.

(3) 누설

덕트, 압력실, 기타 사용되는 장비들은 압력이나 기타 부딪히는 여러 힘에 견딜 수 있도록 설계되어 있다. 그러므로 송풍기와 측정부사이의 모든 접합개소는 측정값에 미치는 영향이 허용 계기오차의 1/2을 넘지 못하도록 견고하게 접합시켜 기밀을 유지하여야 한다.

7.2 덕트

덕트는 측정부를 마련하고, 운전시 송풍기가 맞게 될 조건들을 시뮬레이션하기 위하여 시험장치에 부착한다. 시험장치를 나타낸 그림에서 차원 D는 원형단면 덕트의 안지름을, 혹은 변의 길이가 a와 b인 사각형 단면 덕트의 경우 상당지름  $D = \sqrt{(4ab/\pi)}$ 를 나타낸다.

(1) 유량측정 덕트

유량측정부를 갖는 덕트는 곧고 균일한 원형단면을 가져야 한다. 피토판 이송덕트의 길이는 덕트지름의 10배 이상이어야 하고, 피토판 이송면은 상류단으로부터 지름의 8.5 내지 8.75배 사이에 위치하여야 한다. 이러한 덕트는 측정부를 마련해 주는 것은 물론 흡입과 송출다트 역할도 겸한다. 유동노즐 상류측에 연결된 덕트가 측정부로부터 사용될 경우 지름의 6.5 내지 6.75배의 길이를 가져야 하고 송출덕트로도 사용될 때에는 지름의 9.5 내지 9.75배의 길이를 가져야 한다.

### (2) 압력측정 덕트

압력측정부를 갖는 덕트는 곧고 균일한 원형 혹은 사각형 단면을 가져야 한다. 피에조미터 링을 갖는 송출덕트는 지름의 10배 이상의 길이를 가져야 하고 피에조미터면은 상류단으로부터 지름의 8.5 내지 8.75배의 위치에 놓여야 한다.

### (3) 짧은 덕트

짧은 송출덕트는 설치형식 B와 D를 시물레이션하기 위하여 사용되며, 이 덕트내에는 아무런 측정도 하지 않는다. 이 경우 덕트는 등가지름의 2내지 3배의 길이를 가져야 하고 단면적은 송풍기 송출구 면적의 1% 이내의 오차를 갖는 면적으로서, 송풍기 송출구와 합치하는 동형의 형상이어야 한다.

### (4) 흡입 덕트 시물레이션

흡입 덕트를 시물레이션 하기 위하여, 등가지름과 같은 길이의 중형구를 갖는 흡입덕트를 송풍기 흡입구에 설치하여야 한다. 중형구와 덕트는 송풍기 흡입 연결구와 동일 치수, 동일 형상을 가져야 한다.

### (5) 단면 천이부품

단면 천이부품은 측정부를 갖는 덕트가 치수와 형상이 다른 송풍기 연결구와 연결될 때 사용한다. 이 부품이 축소 덕트일 경우 축소요소가 덕트축과 7.5도를 초과해서 축소되어서는 안된다. 또 확대 덕트일 경우에는 확대요소를 덕트축과 3.5도 초과해서 확대시켜서는 안된다. 송풍기 접속구의 축과 덕트축은 일치하여야 한다. 측정부가 있는 덕트와 압력실은 연결덕트나 임의치수와 형상을 갖는 엘보를 사용하여 연결해도 무방하다.

### (6) 덕트 면적

측정부를 설치할 목적으로 사용되는 송출덕트의 단면적은 송출구 송출구 단면적보다 5.0% 이상 더 커서도 안되고, 작아서도 안된다. 측정부를 설치할 목적으로 사용되는 흡입 덕트의 단면적은 송풍기 흡입구 단면적보다 12.5% 이상 더 커서도 안되고, 7.5% 더 작아서도 안된다.

### (7) 진원도

피토 이송 덕트부분은 측정단면 양측의 덕트지름 1/2거리 내에서는 덕트지름 0.5% 내의 오차를 갖는 진원도를 유지하여야 하고, 그 나머지 부분에서는 덕트지름의 1% 이내의 진원도를 유지하여야 한다. 측정단면의 내면적은 45도 간격으로 측정된 네 개 지름의 평균값으로부터 계산하여야 한다. 지름은 측정할 때에는 0.2%의 정확도를 유지하여야 한다.

### (8) 정류자

정류자는 측정부를 갖는 모든 덕트 내에 설치하여야 한다. 정류자의 하류단을 피토이송단면 또는 액주계 설치 단면으로부터 덕트지름의 5배 내지 5.25배 상류지점에 위치시켜야 한다. 여기서 차원 D는 원형 단면 덕트의 경우 안지름을 가로, 세로의 안치수가 각각 a, b 인 단면인 경우  $D = \sqrt{(4ab/\pi)}$ 로 계산되는 등가지름을 나타낸다. 정류자의 격자요소의 두께 y는 0.0052D를 넘어서는 안된다.

## 7.3 압력실

측정부를 마련할 목적으로 또는 서비스나 시험에서 직면하게 될 송풍기의 조건들을 시물레이션하기 위하여 시험장치에 압력실을 설치한다. 압력실은 원형 또는 4각 단면의 형상의 것이 사용된다. 차원 M은 원형압력실의 안지름 또는 두면의 안치수가 각각 a, b인 4각 압력실의 등가지름  $M = \sqrt{(4ab/\pi)}$ 을 나타낸다.

### (1) 송출실

송출실 단면적은 회전축이 송풍 유동 방향에 수직인 송풍기에 대해서는 송풍기 송출구 또는 송출 덕트 단면적의 9배 이상이어야 한다. 회전축이 송출 유동 방향에 평행한 송풍기일 경우에는 송풍기 송출구 또는 송출덕트 단면적의 16배 이상이어야 한다.

### (2) 흡입실

흡입실의 단면적은 송풍기 흡입구 단면적의 5배 이상이어야 한다.

### (3) 정류망

압력실내에 측정에 적합한 유동을 만들기 위하여, 적당한 위치에 정류망을 설치하여야 한다. 정류망을 측정단면 상류에 위치시키는 것은 측정단면 바로 앞에서 유동이 실질적으로 등속 유동이 유지되도록 하기 위하여 설치한다. 이 경우 정류망 하류 0.1m 되는 거리에서, 최대속도가 분당 120m 이상일 경우, 최대속도를 평균속도보다 25%를 더 초과시켜서는 안된다. 정류망을 측정단면 하류에 위치시키는 것은 상류의 분류가 갖는 운동에너지를 흡수하고, 개방된 공간에서와 같은 전형적인 팽창을 유도함에 있다. 이 때 분류경계에서는 혼합에 필요한 공기를 공급하기 위하여 역류 현상이 발생한다. 그러나 최대 역류속도는 계산상의 분류 평균속도의 10%를 초과해서는 안된다. 측정 단면이 압력실 내에서 정류망 양측에 위치하는 경우에는 양측 측정 단면에 대한 요구 조건이 각각 위에서 언급한 조건에 합치되어야 한다. 정류망으로서는 금속망 격막을 적절히 조합한 것이나, 혹은 이들 요구 조건을 충족시키는 천공판이 사용된다. 그러나 일반적으로 이 정류망을 설치할 때 압력실은 이들 양 요구 조건을 충족하는데 필요한 적절한 길이를 가져야 한다.

정류망은 정방형 눈을 갖는 금속망이 사용되고 있다. 개도면적  $A_r$ 은 압력실 정류망의 경우 50% 내지 60%, 측정관로 정류망의 경우 45~60%가 사용된다. 금속망 선재 지름을  $d$ , 피치를  $t$ 라 할 때,

$$A_r = \left[1 - \frac{d}{t}\right]^2 \times 100\%$$

와 같이 정의한다.

(4) 복합노즐

복합노즐은 가능한 한 대칭으로 위치시켜야 한다. 각 노즐의 중심선은 실벽으로부터 노즐 목 지름의 1.5배 이상 떨어지게끔 설치하여야 한다. 동시에 사용하게 될 임의의 두 노즐 사이의 중심간 최소거리는 적어도 큰 노즐 목 지름의 3배가 되어야 한다.

7.4 흡입계통과 송출계통

(1) 교축장치

교축장치는 송풍기의 운전조건을 조절하기 위하여 사용한다. 이 장치는 덕트나 압력실 끝에 위치시켜야 하고, 덕트나 압력실 중심축에 관해서 대칭으로 설치하여야 한다.

(2) 보조송풍기

실험송풍기의 운전조건을 조정할 목적으로 보조송풍기를 사용한다. 이 보조송풍기는 소요풍량에 대하여 시험장치내에서 생기는 제 손실을 손상하기에 충분한 압력을 발생시키게끔 설계되어야 한다. 댐퍼, 피치조정 또는 속도조정이나 이와 비슷한 유동조정 기구가 필요할 수도 있다. 보조송풍기는 시험중 서어징이나 맥동이 발생해서는 안된다.

8. 측정과 시험방법

8.1 시험에서 요구하는 일반사항

(1) 확정

체절점으로부터 자유송출점에 이르기까지, 송풍기 성능을 확정시키는데 필요한 시험점의 수는 여러가지 성능곡선의 형상에 따라 달라진다. 알맞는 간격으로 시험점(확정점)을 배열시키기 위하여 먼저 교축장치의 개도조정계획을 수립할 필요가 있다. 매끈한 성능곡선을 얻으려면 최소한 8개의 시험점을 선정하여야 한다. 얻어진 곡선이 매끈하지 않을 경우에는, 매끈한 곡선을 얻기 위하여 시험점을 더 추가시켜도 좋다. 한 운전점에서의 특성만을 알고자 할 때에는 그 점을 포함하는 성능부분곡선을 얻기 위하여 최소한 3개의 시험점을 마련하여야 한다.

(2) 평형

각 시험점에서 확정에 앞서 먼저 평형조건을 수립하여야 한다. 평형을 시험하기 위하여 정상측정이 얻어질 때까지 계속 관측을 하여야 하고, 평형이 이루어지지 않을 때의 공기 송출 범위를 기록하여야 한다.

### (3) 안정성

어떤 이중 안정 특성점들(두 상이한 압력이 측정될 수 있는 공기유량)은 반드시 명시하여야 한다. 만일 이 특성이 이력현상에 의한 것이라면 하나는 유량증가에 대한, 그리고 다른 하나는 유량감소에 대한 특성곡선에 상응하는 점들이다.

## 8.2 기록 자료

### (1) 시험설비

시험설비에 관한 설명을 기록하여야 한다. 명찰에 기재된 자료를 적어두면 좋다. 치수는 도면이나 데이터에 부속되는 도면의 복사본과 대조하여 점검하는 것이 좋다.

### (2) 시험장치

시험장치의 설명은 특정한 치수를 포함해서 기록하여야 한다. 본 규정에 있는 그림을 참조 하든가, 장치의 그림이나 주석을 달은 사진을 데이터에 첨부시켜도 좋다.

### (3) 측정장비

시험에 사용되는 측정장비들은 목록에 실려야 한다. 이름이나, 모형번호, 일련번호, 눈금 범위 그리고 교정에 대한 정보등을 기록하여 두는 것이 좋다.

### (4) 시험자료

각각 확정된 시험자료는 기록해 두어야 한다. 결과는 필요할 때 언제든지 동시에 읽어들일 수 있어야 한다.

#### ① 공통시험

모든 시험에서 측정값이 정상이 아닐 때에는 측정값을 세번 읽어 기록하여야 한다. 측정대상은 주위 건구온도( $t_{db}$ ), 주위 습구온도( $t_{wb}$ ), 주위 대기압( $P_b$ ), 송풍기 출구 건구온도( $t_{d2}$ ), 송풍기속도( $N$ ), 여타의 보하중( $F$ ), 회전력( $T$ ) 혹은 모터에 입력되는 동력( $W$ ) 등이다. 다만 모든 측정기가 동일하다면 한번만 기록하면 된다.

#### ② 피토크관 시험

피토크관 횡단시험에 있어서, 각각의 측정위치에 대한, 동압( $P_{v3r}$ )과 정압( $P_{s3r}$ )을 동시에 측정하여 기록하여야 한다. 여기에 부가해서 횡단면에 건구온도를 기록해 두어야 한다. 상태가 정상일 경우 한번 측정으로 족하다.

#### ③ 덕트노즐시험

덕트 노즐시험을 할 때에는 압력강하( $\Delta P$ ), 노즐에 근접하는 공기의 건구온도( $t_{d4}$ )와 정압( $P_{s4}$ )을 측정하여 기록하여야 한다.

#### ④ 압력실 노즐시험

압력실 노즐시험을 할 때에는 압력강하( $\Delta P$ ), 노즐에 근접하는 공기의 건구온도( $t_{d5}$ )와 정압( $P_{s5}$ )을 측정하여 기록하여야 한다.

#### ⑤ 흡입실 시험

흡입실 시험을 할 때에는 송출실 건구온도( $t_{d6}$ )와 정압( $P_{s6}$ )을 측정하여 기록하여야 한다.

#### ⑥ 송출실 시험

송출실 시험을 할 때에는 송출실 건구온도( $t_{d7}$ )와 정압( $P_{s7}$ )을 측정하여 기록하여야 한다.

#### ⑦ 송출 덕트실 시험

송출 덕트실을 시험할 때에는 송출덕트 건구온도( $t_{d4}$ )와 정압( $P_{s4}$ )을 측정하여 기록하여야 한다.

#### ⑧ 저압시험

$P_s$ 가 1kPa보다 작은 경우 시험시 온도는 시험장치 전반에 걸쳐 균일하다고 가정할 수 있다. 이러한 경우에는  $t_{db}$ 와  $t_{wo}$ 만을 측정하면 된다.

### (5) 시험 담당관

시험을 담당한 사람의 이름은 각각 책임을 지어야 할 시험결과와 함께 반드시 기록해 두어야 한다.

## 9. 계산

### 9.1 눈금 수정

눈금을 수정하여야 할 경우에는 평균값이라

든가 또는 다른 어떤 계산을 하기 전에 각 측정값을 먼저 수정한 다음 계산에 활용하여야 한다. 수정치가 6절에서 규정한 최대 허용 오차의 1/2보다 작을 경우에는 수정을 생략하여도 좋다.

**9.2 공기의 밀도와 점성계수**

(1) 대기밀도

대기밀도( $\rho_0$ )는 보통 시험장소에서 측정 한 건구온도( $t_{wo}$ ), 습구온도( $t_{wo}$ ) 및 대기압 ( $P_b$ )으로부터 관련도표 또는 다음공식을 사용하여 결정하여야 한다.

$$P_e = 3.25 t_{wo}^2 + 18.6 t_{wo} + 692$$

$$P_p = P_e - P_b \left[ \frac{t_{do} - t_{wo}}{1500} \right]$$

$$P_o = \frac{P_b - 0.378 P_p}{R(t_{do} + 273.2)}$$

첫번째 식은 40℃와 32℃ 사이의  $t_{wo}$  범위내에서 비교적 정확한  $P_e$ 의 값을 제공해준다. 좀더 정확한  $P_e$  값은 ASHRAE Handbook of Fundamentals을 참조하여 얻을 수 있다. 기체상수(R)는 287.06 J/kgK을 사용한다.

(2) 덕트 및 압력실 공기밀도

단면 x에서 덕트나 압력실 내에서의 공기밀도( $\rho_x$ )는 다음식을 사용하여, 대기밀도( $\rho_0$ )를 단면 x에서의 압력( $P_{sx}$ )와 온도( $t_{dx}$ )에 대한 값으로 보정하여 계산한다.

$$\rho_x = \rho_0 \left[ \frac{P_{sx} + P_b}{P_b} \right] \left[ \frac{t_{do} + 273.2}{t_{dx} + 273.2} \right]$$

$P_{sx}$ 가 수치적으로 1 kPag(100mmAq)보다 작을 경우  $\rho_x$  대신  $\rho_0$ 를 사용하여도 무방하다.

(3) 송풍기 공기밀도

송풍기 공기밀도( $\rho$ )는 대기밀도( $\rho_0$ ), 송풍기 입구 전압( $P_{t1}$ ) 그리고 송풍기 입구의 정체 온도( $t_{t1}$ )로부터 다음식을 사용하여 계산한다.

$$\rho = \rho_0 \left[ \frac{P_{t1} + P_b}{P_b} \right] \left[ \frac{t_{do} + 273.2}{t_{t1} + 273.2} \right]$$

모든 송출 덕트나 송출실을 갖는 장치에서는  $P_{t1}$ 은 1이고,  $t_{t1}$ 은  $t_{do}$ 와 같다. 모든 흡입실을 갖는 장치에서는  $P_{t1}$  대신  $P_{t3}$ 을 그리고  $t_{t1}$ 은  $t_{d3}$ 을 사용하여 계산한다. 흡입 덕트를 갖는 장치에서 송풍기 공기밀도를 계산할 때,  $t_{t1}$  대신  $t_{t0}$ 를  $P_{t1}$  대신  $P_{t3}$ 을 사용하여 계산한다.

(4) 공기 점성계수

점성계수( $\mu$ )는 다음식으로 계산한다.

$$\mu = (17.23 + 0.048 t_d) \times 10^{-6}$$

20℃ 공기에 대한 점성계수의 값  $1.819 \times 10^{-5}$ (Ns/m<sup>2</sup>)는 40℃와 38℃의 온도 범위내에서 그대로 사용한다.

**9.3 시험조건에서의 송풍기 풍량**

(1) 피토크판 횡단 이송

송풍기 풍량은 피토크판을 횡단 이송시키면서 측정 한 동압( $P_{v3r}$ )으로부터 계산할 수 있다.

① 동압

평균속도에 대응하는 동압( $P_{v3r}$ )은 각 측정점에서 측정 한 압력( $P_{v3r}$ )의 평방근을 합한 다음, 측정회수(n)으로 나눈 평방근 평균값을 제공한 rms 값으로 계산하여야 한다. 계산식은 다음과 같다.

$$P_{v3} = \left[ \frac{\sum \sqrt{P_{v3r}}}{n} \right]^2$$

② 속도

평균속도( $V_3$ )는 횡단면에서의 공기밀도( $\rho_3$ )과 이 단면에서의 동압( $P_{v3}$ )을 가지고 다음 공식을 사용하여 계산한다.

$$V_3 = \sqrt{\frac{2P_{v3}}{\rho_3}}$$

③ 유량

피토관 횡단면을 흐르는 유량(Q<sub>3</sub>)은 속도(V<sub>3</sub>)와 단면적(A<sub>3</sub>)을 사용하여 다음 공식으로부터 계산한다.

$$Q_3 = A_3 V_3$$

④ 송풍기 풍량

시험조건하에서의 송풍기 풍량(Q)은 다음과 같은 연속 방정식으로 구한다.

$$Q = Q_3(\rho_3/\rho)$$

(2) 노즐

송풍기 풍량은 단일노즐 혹은 복합노즐의 전후 압력차(ΔP)를 사용하여 계산할 수 있다.

① 알파 비

노즐에 근접하는 공기의 정압에 대한 노즐 출구 정압의 비를 알파비로 정의하고, 다음식으로 계산한다.

$$\alpha = \frac{P_{s6} + p_b}{P_{s6} + p_b}$$

혹은

$$\alpha = 1 - \frac{\Delta P}{\rho_x R (t_{dx} + 273.2)}$$

기체상수(R)는 공기에 대하여 4℃와 32℃ 범위에서 287.06(J/kgK)를 사용한다.

② 베타 비

근접 덕트의 지름(D<sub>x</sub>)에 대한 노즐 출구 지름(D<sub>6</sub>)의 비(β)를 베타비라 정의하고, 다음식을 사용하여 계산한다.

$$\beta = D_6 / D_x$$

덕트 근접에서는 D<sub>x</sub> = D<sub>4</sub>, 압력실 근처에서는 D<sub>x</sub> = D<sub>5</sub>로 계산한다. 압력실 근접에서는 β는 0으로 택하여도 좋다.

③ 팽창 계수

팽창계수(Y)는 관련도표 혹은 다음 식으로 계산한다.

$$Y = \left[ \frac{\gamma}{\gamma - 1} \alpha^{2/\gamma} \frac{1 - \alpha^{(\gamma - 1)/\gamma}}{1 - \alpha} \right]^{1/2} \left[ \frac{1 - \beta^4}{1 - \beta^4 \alpha^{2/\gamma}} \right]^{1/2}$$

비열비(γ)는 공기에 대하여 1.4를 택한다. 또 하나의 방법으로서 공기에 대한 팽창계수는 다음 식을 사용하면 충분한 정확도를 갖는 값을 얻어낼 수 있다.

$$Y = 1 - (0.548 + 0.71\beta^4)(1 - \alpha)$$

④ 에너지 계수

에너지 계수(E)는 노즐 상류에 있는 피토관 횡단 이송단면상의 표준 위치에서 측정된 동압(P<sub>vr</sub>)을 사용하여 다음 식으로부터 계산한다.

$$E = \left[ \frac{\sum (P_{vr}^{3/2})}{n} \right] / \left[ \frac{\sum (P_{vr}^{1/2})}{n} \right]^3$$

본 규정에서 규정한 장치들에 대해서는, 충분히 정확한 값으로서, 압력실 근접에서 E = 1.0, 덕트 근접에서 E=1.043의 값이 사용된다.

⑤ 레이놀드 수

m 단위로 잰 노즐출구직경(D<sub>6</sub>)을 대표길이로 하는 레이놀드 수(Re)는 9.2절에서 결정된 공기 물성치와 m/s 단위의 적절한 속도를 사용하여 다음 식으로 계산하여야 한다.

$$Re = \frac{\rho_6 V_6 D_6}{\mu_6}$$

속도는 레이놀드 수에 의존해서 결정하여야 하므로 도리어 하나의 근사 공식을 사용하는 것이 편리하다. 근사 계산식은 다음과 같다.

$$Re = \frac{CD_6 Y}{\mu_6} \sqrt{\frac{2\Delta P \rho_x}{1 - E\beta^4}}$$

덕트 근접에 대하여  $\rho_x = \rho_4$ 이다. 압력실 근접에 대하여는  $\rho_x = \rho_5$ 이고,  $\beta = 0$ 으로 취할 수 있다. 4℃로부터 38℃사이의 온도 범위 내에서는 다음과 같은 간단한 근사식을 사용한다.

$$Re = 70900 D_6 \sqrt{\frac{\Delta P \rho_x}{1 - \beta^4}}$$

이 식에서  $C=0.95$ ,  $Y=0.96$ ,  $E=1.0$ ,  $\mu=1.819 \times 10^{-5}$  (Ns/m<sup>2</sup>)를 사용하였다.

⑥ 유량계수

노즐 유량계수(C)는 관련도표 혹은  $Re = 12000$ 이상에 대하여 다음 식으로 계산한다.

$$C = 0.9986 - \frac{7.006}{\sqrt{Re}} + \frac{134.6}{\sqrt{Re}} : L/C = 0.6$$

$$C = 0.9986 - \frac{6.688}{\sqrt{Re}} + \frac{131.5}{\sqrt{Re}} : L/C = 0.5$$

⑦ 덕트 노즐 유량

덕트 노즐을 흐르는 체적유량(Q<sub>4</sub>)는 다음 식을 사용하여 계산한다.

$$Q_4 = \frac{CA_6 Y}{\sqrt{1 - E\beta^4}} \sqrt{2\Delta P / \rho_4}$$

여기서 면적(A<sub>6</sub>)은 노즐 목 단면적이다.

⑧ 압력실 노즐 유량

압력실 근접 단일노즐 또는 복합노즐을 통하여 흐르는 체적유량(Q<sub>5</sub>)는 다음 식으로 계산한다.

$$Q_5 = (\sum CA_i) Y \sqrt{2\Delta P / \rho_5}$$

계수(C)와 면적(A<sub>6</sub>)은 각각의 노즐에 대하여 결정하여야 하며, 식에서 나타난 바와 같이 이들 값을 곱해서 합하여야 한다. 면적(A<sub>6</sub>)은 노즐 목 단면적이고 목이 없는 노즐에 관해서는 노즐 출구 단면적을 택한다.

⑨ 송풍기 풍량

시험조건 하에서의 송풍기 풍량(Q)은 연속 방정식으로 부터 얻어야 한다.

$$Q = Q_x (\rho_x / \rho)$$

여기서 단면x는 덕트노즐에 대하여 단면 4, 압력실 노즐에 대하여 단면 5를 택한다.

9.4 시험조건하의 송풍기 동압

(1) 피토관 이송 측정

피토관 횡단 이송 측정으로부터 송풍기 동압을 측정할 때 송풍기 동압(P<sub>v</sub>)은 동압(P<sub>v3</sub>)을 사용하여 다음식으로 계산하여야 한다.

$$P_v = P_{v3} \left[ \frac{\rho_2}{\rho_3} \right] \left[ \frac{A_3}{A_2} \right]^2$$

P<sub>v3</sub>와 P<sub>s2</sub>간의 차가 1kPa(100mmAq)미만일 때에는  $\rho_3$ 와  $\rho_2$ 는 같다고 생각하여도 좋다.

(2) 노즐

노즐 측정으로부터 유량을 결정하고자 할 때에는 송풍기 출구 속도(V<sub>2</sub>)와 밀도( $\rho_2$ )로부터 다음 식을 사용하여 송풍기 동압을 계산하여야 한다.

$$Q_2 = Q(\rho / \rho_2)$$

$$V_2 = Q_2 / A_2$$

$$R_v = \frac{1}{2} \rho_2 V_2^2$$

혹은

$$P_v = \frac{1}{2 \rho_2} \left[ \frac{\rho Q}{A_2} \right]^2$$

9.5 시험조건하에서 송풍기 전압

송풍기 전압은, 송풍기와 측정단면 사이에 덕트내에서 발생하는 압력손실을 보상하여, 덕트나 압력실 내에서 측정된 압력으로 부터 계산하여야 한다.

(1) 평균

어떤 평균들은 다음과 같이 측정치로부터 평균값을 계산하여야 한다.

① 피토관 횡단 이송 측정

압력측정을 목적으로 피토관 횡단 이송 측정을 수행할때 평균동압( $P_{v3}$ )은 9.3 (1)의 ①항의 방법에 따라, 또 평균속도( $V_3$ )은 9.3 (1)의 ②항의 방법에 따라 결정하여야 한다. 그리고 평균 정압( $P_{s3}$ )은 다음식으로부터 계산한다.

$$P_{s3} = \frac{\sum P_{s3r}}{n}$$

② 덕트 액주계

덕트 액주계를 사용하여 압력측정을 할 때 평균정압( $P_{s4}$ )는 측정치( $P_{s4r}$ )에 같아야 하고, 평균속도( $V_4$ )는 9.3 (2)의 ⑨항에서 계산한 풍량(Q)으로 부터 다음 식을 사용하여 계산하여야 한다.

$$V_4 = \left[ \frac{Q}{A_4} \right] \left[ \frac{\rho}{\rho_4} \right]$$

그리고 평균동압( $P_{v4}$ )은 다음식으로 계산한다.

$$P_{v4} = \frac{1}{2} \rho_4 V_4^2$$

③ 압력실

압력실 액주계나 전압관을 사용하여 압력을 측정하면 측정치가 비로 평균압력이 된다. 즉, 측정치( $P_{s7r}$ )는 평균정압( $P_{s7}$ ), 측정치( $P_{18r}$ )은 평균전압( $P_{18}$ )이 된다.

(2) 압력손실

압력손실은 송풍기와 측정단면 사이에 설치되어 있는 정류자와 측정덕트에 대하여 계산하여야 한다.

① 지름

원형덕트에 대한 수력지름은 실제 덕트지름(D)이 된다. 직사각형 단면을 갖는 덕트의 수력지름은 가로, 세로, 안치수 a, b로 부터 다음 식을 사용하여 계산한다.

$$D_h = 2ab / (a+b)$$

② 레이놀드 수

m 단위의 수력지름( $D_h$ )을 기준으로 하는 레이놀드 수( $R_e$ )는 9.2절에서 결정한 공기의 물성치와 문제에 알맞는 m/s 단위의 공기속도를 사용하여 다음 식으로 계산한다.

$$R_e = \frac{\rho V D_h}{\mu}$$

③ 마찰계수

마찰계수(f)는 관련도표나 다음 식으로 계산한다.

$$f = \frac{0.14}{R_e^{0.17}}$$

④ 상당길이

수력지름( $D_h$ )에 대한 정류자 상당길이( $L_e$ )의 비는 격자요소 두께(y)와 등가지름(D)을 사용하여 관련도표나 다음식으로 계산하여야 한다.

$$L_e / D_h = \frac{15.04}{[1 - 26.65(y/D) + 184.6(y/D)^2]^{1.83}}$$

이 식은 원형 덕트에 대한 정류자에 대하여는 정확한 값을 준다. 그리고 직사각형 단면 정류자에 대해서도 충분한 정확도를 갖는 값을 준다.

(3) 흡입구 전압

송풍기 흡입구에서 전압( $P_{11}$ )은 다음과 같이 계산한다.

① 개방입구

송풍기가 대기로부터 공기를 흡입할때,  $P_{11}$ 은 대기압과 같다고 생각한다. 대기압은 게이지 압력으로 0이다. 즉,

$$P_{11} = 0$$

② 압력실 흡입

송풍기가 흡입실에 연결되어 있을 때에는,  $P_{11}$ 은 흡입실압력( $P_{18}$ )과 같다고 생각한다. 즉,

$$P_{11} = P_{18}$$



③ 덕트 흡입

송풍기가 흡입덕트에 연결되어 있을 때에는,  $P_{t1}$ 은 평균정압( $P_{s3}$ )과 송풍기와 측정단면 사이의 덕트길이( $L_{t,3}$ )에서 발생한 마찰손실을 수정한 평균동압( $P_{v3}$ )과의 대수합과 같다고 생각한다. 그러므로

$$P_{t1} = P_{s3} + P_{v3} - f \frac{L_{t,3}}{D_{h3}} P_{v3}$$

이다. 압력  $P_{s3}$ 은 대기압 보다 낮으므로 음의 값을 갖는다.

(4) 송출전압

송풍기 출구에서 전압( $P_{t2}$ )는 다음과 같이 계산한다.

① 개방송출

송풍기가 대기에 직접 송출할 때에 출구에서의 정압( $P_{s2}$ )은 대기압과 같다고 생각한다. 대기압은 계기 압력이 0이므로

$$P_{t2} = P_{s2} = P_v$$

이다.  $P_v$ 값은 9.4절에서 결정한 값이다.

② 송출실 송출

송풍기가 송출실에 공기를 직접 송출할 때 출구에서의 정압( $P_{s2}$ )은 송출실 정압과 같다고 생각하여야 한다. 그러므로)

$$P_{t2} = P_{s2} = P_v$$

이다.  $P_v$ 값은 9.4절에서 계산한 값이다.

③ 짧은 연결덕트

송풍기가 측정부 없는 짧은 덕트를 통하여 대거나 송출실로 공기를 송출할 때에는, 그 덕트내에서의 압력손실은 없는 것으로 생각하고, 9.5(4)의 ①항과 9.5(4)의 ②항의 압력을 계산한다.

④ 액주계가 설치된 송출덕트

송풍기가 피에조미터 링이 부착된 덕트에 송출할 때  $P_{t2}$ 는 평균정압( $P_{s4}$ )와 정류자에 대한 상당길이( $L_e$ ), 그리고 송풍기와 측정부위 사이의 덕트길이( $L_{t,4}$ )에서 발생한 양 마찰손

실을 수정한 평균동압( $P_{v4}$ )과의 대수합과 같다고 생각하여야 한다. 그러므로

$$P_{t2} = P_{s4} + P_{v4} + f \left[ \frac{L_{t,4}}{D_{h1}} + \frac{L_e}{D_{h1}} \right] P_{v4}$$

이다.

⑤ 피토크가 설치된 송출덕트

송풍기가 피토크 횡단 이송 장치가 설치된 덕트에 송출할 때에는,  $P_{t2}$ 는 평균정압( $P_{s3}$ )과 정류자에 대한 상당길이( $L_e$ ), 그리고 송풍기와 측정부위 사이의 덕트길이( $L_{t,3}$ )에서 발생한 마찰손실을 수정한 평균동압( $P_{v3}$ )과의 대수합과 같다고 생각한다. 그러므로

$$P_{t2} = P_{s3} + P_{v3} + f \left[ \frac{L_{t,3}}{D_{h3}} + \frac{L_e}{D_{h3}} \right] P_{v3}$$

이다.

(5) 송풍기 전압( $P_t$ )는 다음과 같이 계산한다.

$$P_t = P_{t2} - P_{t1}$$

이 식은 대수식이므로 만일  $P_{t1}$ 이 음의 값을 가지면,  $P_t$ 의 값은 수치적으로  $P_{t2}$ 보다 커질 수 있다.

9.6 시험조건하에서의 송풍기 정압

송풍기 정압( $P_s$ )은 다음 식으로 계산한다.

$$P_s = P_t - P_v$$

9.7 시험조건에서 송풍기 입력

(1) 반동 동력계

반동 동력계를 사용하여 회전력을 측정할 때에는, 송풍기 입력(H)은 보하중(F), 모우멘트 암(I), 송풍기 회전속도(N)을 사용하여 다음 식으로 계산한다.

$$H = \frac{2\pi \cdot F \cdot I \cdot N}{60}$$

## (2) 비틀림 부재

비틀림 부재를 사용하여 회전력을 측정할 때 송풍기 입력(H)는 회전력(T)와 회전속도(N)를 사용하여 다음 식으로 계산한다.

$$H = \frac{2\pi \cdot T \cdot N}{60}$$

## (3) 교정 모터

교정 모터를 사용하여 송풍기 입력을 측정하고자 할 때, 송풍기 입력(H)은 모터의 입력(W)와 모터효율(N)을 사용하여 다음 식으로 계산한다.

$$H = \eta \cdot W$$

## 9.8 송풍기 효율

## (1) 송풍기 출력

만일 공기를 비압축성이라 가정하면, 송풍기 출력(H<sub>0</sub>)은 송풍기 풍량(Q)와 송풍기 전압(P<sub>t</sub>)와의 곱에 비례할 것이다. 그러나 공기는 압축성 유체이기 때문에, 열역학적 효과가 출력에 영향을 미치게 된다. 그러므로 압축계수(K<sub>p</sub>)를 사용하여 다음 식으로 계산하여야 한다.

$$H_0 = K_p P_t Q$$

## (2) 압축계수

압축계수(K<sub>p</sub>)는

$$x = \frac{P_t}{P_{t1} + P_b}$$

$$z = \left[ \frac{\gamma - 1}{\gamma} \right] \left[ \frac{H/Q}{P_{t1} + P_b} \right]$$

를 사용하여 관련도표 또는 다음 식으로 계산한다.

$$K_p = \left[ \frac{\ln(1+x)}{x} \right] \left[ \frac{z}{\ln(1+z)} \right]$$

위의 식은 직접 계산할 수도 있고 표의 수치들을 사용하여 구할 수도 있다. P<sub>t</sub>, P<sub>t1</sub>, P<sub>b</sub>,

H 그리고 Q는 모두 실험에서 얻은 값들이다, 단열 지수(γ)은 공기에 대하여 1.4를 취한다. 송풍기 전압이 3kPa(300mmAq) 미만인 경우에는 K<sub>p</sub>의 값은 일반적으로 0.99보다 큰 값을 갖는다. 그러므로 이러한 경우 K<sub>p</sub>값은 1로 취급하는 것이 보통이다.

## (3) 송풍기 전압효율

송풍기 전압효율(η<sub>t</sub>)는 송풍기 입력에 대한 출력의 비로 정의한다. 즉

$$\eta_t = \frac{K_p P_t Q}{H}$$

(4) 송풍기 정압효율(η<sub>s</sub>)은 송풍기 입력에 대한 정압출력(K<sub>p</sub>P<sub>s</sub>Q)의 비로 정의한다. 즉

$$\eta_s = \frac{K_p P_s Q}{H} = \eta_t \frac{P_s}{P_t}$$

## 9.9 밀도와 속도의 공칭값

실험실 내에서 시험하는 동안 공기밀도와 회전속도는 측정할 때마다 약간씩 변화할 수가 있다. 그러므로 시험조건하에서 계산한 결과들을 공칭밀도(ρ<sub>c</sub>)나 공칭속도로 환산하는 것이 좋다. 이 환산을 공칭밀도(ρ<sub>c</sub>)가 실제밀도(ρ)의 10%이내, 또 공칭속도(N<sub>c</sub>)가 실제속도(N)의 5% 이내의 차일 때에 한하여 의미를 갖는다.

## (1) 압축계수 비

환산을 하기 위해서는 공칭조건하에서의 압축계수에 대한 실제조건하에서의 압축계수의 비 K<sub>p</sub>/K<sub>pc</sub>를 결정할 필요가 있다. 이것은 실제조건에 대하여, 앞에서 계산한 x와 z의 값을 사용하여 다음과 같이 계산한다.

$$\frac{z}{z_c} = \left[ \frac{P_t}{P_{t1} + P_b} \right] \left[ \frac{\rho}{\rho_c} \right] \left[ \frac{N}{N_c} \right]^2$$

$$\left[ \frac{\gamma_c}{\gamma - 1} \right] \left[ \frac{\gamma - 1}{\gamma} \right]$$

(공기에 대한 비열비  $\gamma_c$ 와  $\gamma$ 는 실험실 조건하에서 동일한 값을 갖게 되므로 위식과 다음 식에서 최후 두 인수는 약분되어 없어진다.

$$Z_c = \frac{z}{z/z_c}$$

$$\ln(1+x_c) = \ln(1+x) \left[ \frac{\ln(1+z_c)}{\ln(1+z)} \right] \left[ \frac{\gamma-1}{\gamma} \right] \left[ \frac{\gamma_c-1}{\gamma_c} \right]$$

$$x_c = e^{\ln(1+x_c)} - 1$$

$$\frac{K}{K_{pc}} = \left[ \frac{z}{z_c} \right] \left[ \frac{x_c}{x} \right] \left[ \frac{\gamma}{\gamma-1} \right] \left[ \frac{\gamma_c-1}{\gamma_c} \right]$$

만일 ( $K_p/K_{pc}$ )가 0.99와 1.01 사이의 값을 가질 때에는 그 값은 1로 취한다.

(2) 환산공식

실제시험결과는 다음 식을 사용하여 공칭 값으로 환산할 수 있다.

$$Q_c = Q \left[ \frac{N_c}{N} \right] \left[ \frac{K_p}{K_{pc}} \right]$$

$$P_{tc} = P_t \left[ \frac{N_c}{N} \right]^2 \left[ \frac{\rho_c}{\rho} \right] \left[ \frac{K_p}{K_{pc}} \right]$$

$$P_{vc} = P_v \left[ \frac{N_c}{N} \right]^2 \left[ \frac{\rho_c}{\rho} \right]$$

$$P_{sc} = P_{tc} - P_{vc}$$

$$H_c = H \left[ \frac{N_c}{N} \right]^3 \left[ \frac{\rho_c}{\rho} \right] \left[ \frac{K_p}{K_{pc}} \right]$$

$$\eta_{tc} = \eta_t$$

$$\eta_{sc} = \eta_{tc} \left[ \frac{P_{sc}}{P_{tc}} \right]$$

10. 보고서와 시험결과

10.1 보고서

실험실에서의 송풍기 시험에 대한 보고서에

는 시험목적, 결과, 시험자료 그리고 부속장비, 시험장치 및 8절에서 요약한 시험장비들을 위시해서 시험 송풍기에 관한 명세가 포함되어야 한다. 실험실의 명칭과 위치등도 기록하여 명확히 해두어야 한다.

10.2 성능곡선

송풍기 성능시험 결과는 성능곡선으로 표현되어야 한다.

(1) 좌표

성능곡선은 송풍기 풍량을 횡축, 압력이나 입력을 종축으로하여 작성한다. 송풍기 전압과 정압을 따로따로 나타낼 수도 있고, 이들을 동시에 표시할 수도 있다. 모든 결과가 동일회전 속도로 시험하여 얻어졌거나, 또는 그 결과를 공칭속도에 대한 값으로 환산하였던간에, 그러한 속도는 반드시 명시하여야 한다. 시험시 속도가 변하였을 경우에는 종축을 회전속도로 하여 속도곡선을 하나 그려놓아야 한다. 만일 모든 결과가 같은 공기밀도에 대하여 얻어졌거나, 얻어진 결과를 공칭밀도에 대한 값으로 환산하였다면, 그 공기밀도를 명시하여야 한다.

밀도가 변하였다면 종축을 송풍기 공기밀도로 하여 밀도곡선을 하나 그려놓아야 한다. 송풍기 전압효율이나 정압효율도 같은 그림에서 그릴 수 있다. 송풍기 압력이 2.5kPa 이상일 경우에는 대기압력을 명시하여야 한다.

(2) 시험점

각 시험점에서 얻어진 결과는 일련의 등근점으로, 각 변수에 대하여 하나씩 종축에 찍어, 성능곡선상에 표시하여야 한다.

(3) 성능곡선의 작성

각 성능변수에 대한 곡선들은, 참조점으로 시험점을 사용하여 각 변수에 대응하는 이들 점들을 연결하여 곡선을 그려 얻는다. 그려진 곡선은 시험점으로 부터 측정치의 0.5% 이상 벗어나서는 안된다. 또 편차의 총합은 근사적으로 0이되어야 한다.

#### (4) 불연속성

불연속이 존재할 경우에는 그 불연속은 파선으로 나타내어야 한다. 어떤 확정된 값이 이웃과 균형이 이루어지지 않을 경우, 그 확정된 값에 대응하는 점들과 이웃하는 점들을 연결하는 곡선을 파선으로 표시하여야 한다.

#### (5) 확인

성능곡선이 작성되면, 시험 송풍기와 시험 장치를 그 용지에 반드시 기록해 두어야 한

다. 시험송풍기와 시험장치에 관한 명세는 가급적 세밀하게 나타내어져야 한다. 그렇지 않을 경우에는 귀중한 자료가 담긴 보고서가 한낱 참고물로 전락할 염려가 있다.

#### 참 고 문 헌

1. AMCA Standard 210
2. ASHRAE Standard 51