

# 펌프 및 송풍기의 현장 성능평가방법

펌프 및 송풍기의 성능시험방법은 한국산업규격 등에 상세히 나타나 있으나 실제 현장에 설치된 기기는 규격에서 정한 시험조건과 차이가 많아 성능을 평가하는데 애로가 있다. 여기에서는 현장에서 수행 가능한 성능평가방법을 소개하고자 한다.



김 천 용

## 펌프의 성능평가방법

원심식 펌프의 시험은 실험실에서 적용하는 표준규격(KSB 6301)에 상세히 나타나 있으나 여기에서는 현장에서 실시하는 시험을 기준으로 설명한다.

### 측정항목

- ① 유량
- ② 흡입 및 토출압력
- ③ 전동기의 전압·전류
- ④ 펌프 회전수

### 유량측정

펌프유량은 다음의 방법을 이용하여 알아낸다.

- ① 유량계나 교정된 밸런싱 밸브
- ② 펌프 성능곡선
- ③ 연결된 장비의 압력손실

펌프배관계통에 설치된 유량계 및 교정된 밸런싱 밸브는 펌프의 유량을 알아내는데 가장 빠르고 확실한 방법이다. 배관에 별도의 유량계 또는 밸런싱 밸브가 구비되지 않았다면 배관 표면에 센서를 접속시켜 유량을 알아내는 초음파 유량계가 유용하게 쓰인다. 초음파 유량계 사용시

다음을 참고하기 바란다.

- ① 배관 표면에서 초음파 유량계로 유속 또는 유량을 측정한다.
- ② 센서 부착 위치는 엘보 같은 방향전환이나 와류가 생기는 곳으로부터 최소한 배관직경의 5배 이상의 하류쪽 및 2배 이상의 상류 쪽에서 행해져야 한다. 그것이 불가능할 경우 최대한 와류 발생이 적은 위치에서 측정한다.
- ③ 이동 및 고정센서가 파이프 표면에 잘 밀착이 되도록 센서 표면에 적당량의 그리스를 바른 다음 정확히 고정시켜야 한다.
- ④ 초음파 유량계는 제작사마다 측정 방법이 약간씩 다르므로 제작사의 사용설명서에 따라 측정해야 한다.
- ⑤ 유속 측정시 유량 계산

$$\text{유량}(\ell/\text{min}) = \text{유속}(\text{m/s}) \times \frac{\pi \times D^2}{4} (\text{m}^2) \times 1000(\ell/\text{m}^3) \times 60(\text{s}/\text{min})$$

여기서 D : 배관 직경(m)

### 펌프 회전수 측정 및 시험

- 준비 사항
- ① 펌프 명판에 표기되어 있는 회전수를 확인한다.

- ② 펌프 발주 승인서류에 표기된 회전수와 현장에 설치된 펌프의 사양과 비교, 검토한다.
- ③ 펌프의 회전체(축 또는 커플링)에 은박지 또는 빛을 반사할 수 있는 물체를 붙인다.
- ④ 계측기(tachometer)의 정상 가동 여부를 점검한다.

• 회전수 측정

- ① 펌프를 가동시켜 정상적인 운전이 되는지 확인하고, 비접촉식 타코메타를 사용하여 회전수를 측정한다.
- ② 회전수 측정시 반사체와 타코메타의 위치는 수평 또는 수직으로 위치한다. 단, 모터 직결식 펌프의 경우 모터의 회전수를 펌프 회전속도로 대체한다.

모터 전압, 전류 측정

- ① 전류 및 전압은 모든 상(Phase)에서 측정하여 기록한다.
- ② 측정시 계기의 집계는 다른 제어 회로나 유도 전류의 간섭을 피하기 위하여 도체의 중심에 위치하도록 한다.
- ③ 역률 개선용 콘덴서가 부착된 경우의 전류 측정 위치는 콘덴서 부착 이후 2차 측(모터 측)에서 측정한다.

펌프의 양정 및 성능곡선 확인

펌프토출 및 흡입압력은 펌프 볼류트 하우스에서 가능한 한 가까운 위치(펌프의 게이지 탭)에서 읽어야 한다. 압력측정은 같은 높이에 설치된 하나의 압력계로 읽는 것이 좋다.

- ① 펌프를 끈 상태에서 시스템 정지 수두압을 판독하고 기록한다.
- ② 펌프를 운전하여 펌프의 토출측에 설치된 서비스(또는 밸런싱) 밸브를 서서히 완전히 잠근다.
- ③ 토출 밸브를 완전히 닫은 상태에서 펌프의 운전 압력 시험은 체절양정시험(No-Flow Testing)이라고 한다. 이 시험은 유량이 없

는 상태에서 펌프양정을 측정하여 실제 임펠러 직경과 펌프운전곡선을 알기 위해 행해진다. 무유량에서의 양정은 수두압(m)으로 표기되므로 압력계에서 판독한 토출-흡입 압력차(kgf/cm<sup>2</sup>)를 수두압(m)으로 환산한다.

- ④ 체절양정과 제작자가 제시한 펌프 커브의 합일점을 표시하고 비교한다. 시험에 의한 체절양정이 펌프커브의 시작점에 또는 근접하게 맞아 떨어진다면 다음 단계는 전유량(Full-Flow Testing)으로 명명된 시험을 수행한다. 만일 제작자가 제시한 펌프성능곡선의 체절양정과 시험자가 측정한 체절양정이 맞지 않는다면 도표상의 커브에 비례하는 새로운 커브를 그린다. 체절양정 시험시 계기판독의 오류, 양정계산의 오류 또는 커브 작도상의 실수는 판단의 혼선을 가져오고 불필요한 작업을 유발하므로 주의 기울여야 한다.
- ⑤ 전유량(Full-Flow) 시험은 체절시험의 방법과 비슷하다. 토출밸브를 완전개방 위치까지 천천히 연 후 펌프의 흡입과 토출측 압력 및 모터전류와 전압을 기록한다. 전유량 양정(m)을 계산하기 위해 펌프의 차압(kgf/cm<sup>2</sup>)을 합당한 값으로 곱한다. 실제 펌프유량을 알아보기 위하여 전유량 양정과 펌프성능곡선의 교차점을 표기한다.
- ⑥ 펌프의 흡입 및 토출측 압력으로 펌프양정을 계산한다. 물의 온도가 20°C인 경우에는 다음과 같이 계산한다.  

$$\text{펌프양정(mAq)} = \{ \text{토출 측 압력(kgf/cm}^2\text{)} - \text{흡입 측 압력(kgf/cm}^2\text{)} \} \times 10$$
- ⑦ 펌프의 운전점을 성능곡선 상에 표시한다. 필요시 토출 측 밸브를 단계별(유량 25, 50, 75, 100%)로 조절하여 제작자가 제시한 성능곡선 상에 실제 운전되고 있는 펌프의 성능곡선을 그린다.

추동력 측정

모터 축동력의 측정은 동력계를 사용하거나 정확한 시험에 따라 그 성능이 명확한 원동기를 이용해야 한다. 현장에서는 대부분 전부하상태에서의 정격 운전이 아니기 때문에 정확한 축동력 측정이 곤란하다. 그러나 전압, 전류 측정을 통해 실제 축동력을 예측할 수 있으며, 여기에서는 선진 외국에서 주로 이용하는 AMCA, AABC, NEBB의 계산방법을 소개한다.

- 가장 일반적인 축동력 측정법으로 모터제 조업체에서 제시한 부하변동별 구동모터의 역률 및 모터 효율을 적용하여 계산한다.

① 삼상인 경우

$$BkW = \sqrt{3} \cdot I \cdot V \cdot PF \cdot \eta_m$$

② 단상인 경우

$$BkW = I \cdot V \cdot PF \cdot \eta_m$$

$I$  : 전류(A)

$V$  : 전압(V)

$PF$  : 역률

$\eta_m$  : 모터효율

- AMCA(Air Movement and Control Association)의 Phase Current Method

3상 모터 축동력은 모터 전류와 축동력 간의 관계로부터 산출할 수 있다. 모터 축동력을 산출하는 데 2가지 관계식이 이용된다.

① 관계식 1 :

$$\begin{aligned} \text{실제 축동력} &= \text{정격출력} \times \left( \frac{\text{평균실측전류}}{\text{정격전류}} \right) \\ &\times \left( \frac{\text{평균실측전압}}{\text{정격전압}} \right) \end{aligned}$$

② 관계식 2 :

$$\text{실제 축동력} = \text{정격출력} \times$$

$$\left( \frac{\text{평균실측전류-무부하시 측정전류 평균치}}{\text{정격전류-무부하시 측정전류 평균치}} \right)$$

$$\times \left( \frac{\text{평균실측전압}}{\text{정격전압}} \right)$$

무부하시 전류측정치는 장비와 연결된 샤프트 커플링이나 벨트를 분리한 후의 모터 운전상태에서 측정한 것이다. 관계식 1은 부하율이 90% 이상으로 운전하는 5마력 이상 모터의 축동력 산출에 이용된다. 오차는 5% 이내이다. 정격부하 전류의 90% 이하로 운전하는 모든 모터와 정격 전류의 90% 이상으로 운전되는 3마력 이하 모터의 경우라면 관계식 1과 2의 평균을 이용한다. 명판 동력의 50% 이하에서 계산된 축동력 결과치는 15% 이상의 오차가 포함되어 있다.

- AABC(The Association Air Balance Council)의 축동력 산출 방법

현장성능시험에서 정확한 축동력을 산출해내기란 매우 어려운 일이지만 최소한의 오차내 축동력을 산출하기 위해 상마다 평균 전류, 전압, 역률을 알아야 한다. 또한 3상 모터의 명판에 기재된 모터동력, 전류, 전압과 정격부하효율×역률 등도 인지하고 있어야 한다. 정격부하 이하의 모터효율×역률의 결과치는 아래 <표 1>의 "L 계수"로부터 결정된다. 이들 "L 계수"는 주요 모터 제조업체로부터의 각종 데이터를 산술 평균한 것이다.

<표 1> "L 계수" 산출표

"L" 계수 = 모터 효율(%)×역률			
모터 마력	부하 50%	부하 75%	부하 100%
1	0.710	0.885	1.0
1.5	0.715	0.890	1.0
2	0.780	0.935	1.0
3	0.795	0.940	1.0
5	0.835	0.950	1.0
7.5	0.875	0.970	1.0
10	0.890	0.975	1.0
15 ~ 30	0.910	0.980	1.0
40 ~ 125	0.940	0.990	1.0
150 ~ 300	0.920	0.985	1.0

이들로부터 부하율을 예측할 수 있으며, 다음 계산식으로 구해진다.

$$\% \text{ 부하율} = \left( \frac{\text{실측전류평균치} - (0.5 \times \text{정격전류})}{0.5 \times \text{정격전류}} \right) \times \frac{\text{실측전압 평균치}}{\text{정격전압}}$$

위의 계산된 부하율로부터 “L 계수”를 구하여 다음의 실제 축동력 값을 산출할 수 있다.

$$\text{실제 축동력(kW)} = \left( \frac{\sqrt{3} \times \text{실측전류 평균치} \times \text{실측전압 평균치} \times (\text{정격부하시 효율} \times \text{역률}) \times L}{1000} \right)$$

- NEBB(National Environmental Balancing Bureau)의 축동력 산출 방법

$$\text{정격부하시 실제 전류} = \frac{\text{정격부하시 전류} \times \text{정격전압}}{\text{실측 전압}}$$

$$\text{축동력} = \text{정격 출력[kW]} \cdot \frac{\text{실측전류평균치} - (0.5 \times \text{무부하시 전류})}{\text{정격부하시 실제 전류} - (0.5 \times \text{무부하시 전류})}$$

#### 펌프효율계산

앞서 설명한 방식에 의하여 펌프의 유량, 양정 및 동력을 알면 펌프의 효율은 아래 식에 의해 계산한다.

$$\eta_p = \frac{Q \times P \times \gamma}{102 \times 60 \times \text{BkW}} \times 100$$

- Q : 유량 (ℓ/min)
- P : 양정 (mAq)
- BkW : 축동력 (kW)
- γ : 액체비중 (kgf/m<sup>3</sup>)

## 송풍기의 성능평가방법

송풍기의 성능시험은 표준규격(KSB6311)에 상세히 나타나 있으나 실제현장에 유용한 자료는 미국관련단체인 AMCA(Air Movement and Control Association, Inc.)에서 발간한 FIELD PERFORMANCE MEASUREMENT OF FAN SYSTEMS에 비교적 상세히 나타나 있어 이를 중심으로 시행한다.

#### 측정항목

- ① 송풍량 (m<sup>3</sup>/h)
- ② 송풍기 전압, 정압 및 동압 (mmAq)
- ③ 회전수
- ④ 모터의 전류(A) 및 전압(V)

#### 송풍기 측정

풍량측정에는 피토투브에 의한 방법과 풍속계에 의한 방법으로 크게 나누며, 본고에서는 현장 측정에서 유용한 피토투브에 의한 방법을 소개한다.

- ① 풍량측정구의 위치는 덕트내 풍속, 덕트 시공상태, 현장여건 등을 고려하여 가능한 정상류가 형성되는 위치를 선정한다. 일반적으로 엘보와 같이 방향 전환이나 와류가 생기는 곳으로부터 덕트 직경의 최소한 7.5 배의 하류측이나 2.5배 이상의 상류측에서 위치를 선정하며, 현장 여건이 불가능 할때는 최대한 와류 발생이 적은 곳을 택한다.
- ② 피토투브 이송 측정은 일반적으로 동일면적 분할법(equal area method)이 널리 이용되며, 경우에 따라서는 대수선형 분할법(log linear method)도 이용된다.
- ③ 동압 측정시 피토투브는 기류 방향과 수평으로 되어야 한다.
- ④ 표준상태(공기밀도 ρ=1.2kgf/m<sup>3</sup>)의 풍속은 다음 공식으로 계산된다.

$$V = 4.04 \sqrt{P_v}$$

V : 풍속[m/s]

P<sub>v</sub> : 동압 [mmAq]

- ⑤ 만약 공기밀도가 표준상태 공기밀도에 비하여 10%이상 변화가 있다면, 온도 및 고도용 보정계수가 상기 공식에 적용되어야 한다.
- ⑥ 풍량계산은 다음의 공식으로 계산한다.

$$Q = V \times A \times 3,600$$

Q : 풍량 [m<sup>3</sup>/h]

V : 평균속도 [m/s]

A : 덕트 단면적 [m<sup>2</sup>]

### 동일면적 분할법

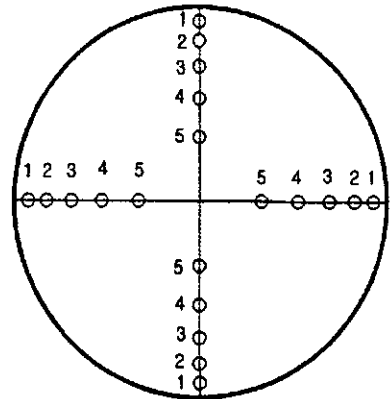
#### 원형 덕트에서의 측정

- ① 이송위치는 최소 12점이며 20점 이상을 넘지 않도록 한다.
- ② <표 2>와 같이 원형 덕트 직경 길이에 따라 이송점의 수를 정한다. 따라서 직경 250mm 덕트의 경우 총 16개 지점이며, 직경 350mm 덕트의 경우 총 20개 지점의 풍속을 측정한다.

<표 2> 원형 덕트 직경 길이에 따른 총 이송 측정점 개수 (동일면적 분할법)

원형 덕트 직경	총 이송 측정점 개수
230mm 미만	12
230~300mm	16
300mm 초과	20

- ③ 직경 300mm 초과 덕트에서의 측정은 <그림 1>과 같이 중심에서 90°로 직교하는 선상에서 10개 지점, 총 20개 지점의 풍속을 측정한다.



<그림 1> 직경 300mm초과 원형덕트의 피토 튜브 이송 측정점 (동일면적 분할법)

<표 3> 이송 측정점 위치(동일면적 분할법)

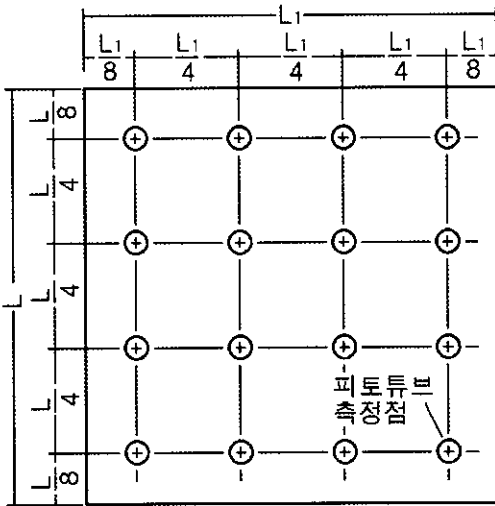
한 개 직경에서 의 측정점 개수	측정점 위치(덕트내 표면과 측정점의 거리)				
	측정점 1	측정점 2	측정점 3	측정점 4	측정점 5
6	0.0436D	0.1465D	0.2959D		
8	0.0323D	0.1047D	0.1938D	0.3232D	
10	0.0257D	0.0817D	0.1465D	0.2262D	0.3419D

주) D : 원형덕트의 직경

- ④ 여러 가지 이송 측정점 개수에 대하여 각 측정점의 위치는 <표 3>과 같다.

#### 장방형 덕트에서의 측정

- ① 이송위치는 최소 16점이며 64점 이상을 넘지 않도록 한다.
- ② 측정점수가 64점 이하인 경우에는 피토튜브 측정위치의 중심거리는 150mm 이하이어야 한다.
- ③ <그림 2>와 같이 덕트 벽면에 가장 가까운 측정점 위치는 측정점간 중심거리의 1/2이어야 한다.
- ④ 정확한 풍량 계산을 위하여 각 측정점에서 관독된 동압을 풍속으로 환산하여 기록하고 이를 평균하여 풍량을 결정한다.



〈그림 2〉 장방형 덕트의 피토투브 이송 측정점의 예 (동일면적 분할법)

### 풍속계에 의한 풍량측정

#### 회전식 바람개비형 풍속계

- 일반사항
- ① 전기식 베인 풍속계 또는 기계식 디지털 풍속계가 사용된다.
- ② 회전식 풍속계로 전열코일의 통과풍속을 측정할 때 전열코일 전면에 바로 붙여서 측정하지 말아야 한다. 전열코일 통과 기류는 고속으로 불균일하게 취출되므로 부정확한 측정이 될 수 있다.
- ③ 풍속계가 특별히 저속용으로 설계되지 않았다면 2m/s 이하에서는 사용하지 않도록 하여야 한다.
- ④ 기류가 방해받지 않도록 풍속계는 기류에 평행하게 유지시켜 줘야 한다.
- ⑤ 최소 1분간 측정한다.
- ⑥ 그릴의 풍량측정시에는 가장 낮은 속도영역으로부터 높은 속도영역으로 옮겨가면서 풍속을 측정하며 한 위치에서 연속 4회를 측정하여 그 평균치를 취한다.

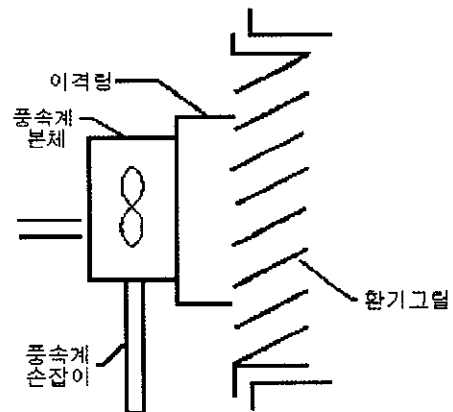
⑦ 풍속계 제조회사의 보정계수를 적용하여야 한다.

#### • 급기 그릴 측정

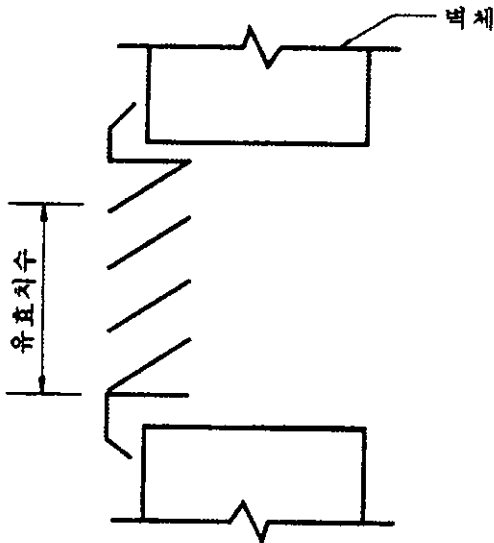
- ① 댐퍼가 달린 레지스터의 풍속은 회전식 베인 풍속계로 측정하면 부정확하다. 이러한 레지스터의 취출 기류는 국소 위치에 따라 불균일하므로 풍속계가 평균 값을 나타낼 수 없다. 따라서 회전식 베인 풍속계는 그릴면에서 약 25mm 띄워서 측정하여야 하며, 이때 전면 바아 유동방향에 평행하게 나열되어 있어야 한다.
- ② 풍량 산정시 필요한 급기 그릴 면적은 그릴 내부 프레임의 면적으로 취한다.

#### • 환기 및 배기 그릴 측정

- ① 환기 및 배기 그릴에서의 측정은 〈그림 3〉와 같이 이격링을 풍속계 다이얼 표면에 부착시키고, 그릴의 전면에 갖다 붙여 측정한다.
- ② 환기 그릴에서 풍속 측정방법은 1)항에서와 동일하다.
- ③ 풍량 산정을 위한 면적은 내부 프레임의 면적으로 한다. 만약 그릴에 45°의 고정 바아가 붙어 있다면 〈그림 4〉에 명시된 것과 같은 유효 치수로서 면적을 계산한다.



〈그림 3〉 풍속계 사용법



〈그림 4〉 그릴(루버)의 유효면적 계산을 위한 유효치수

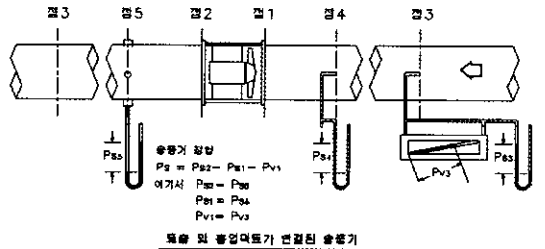
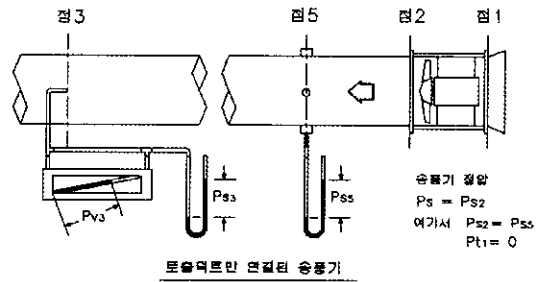
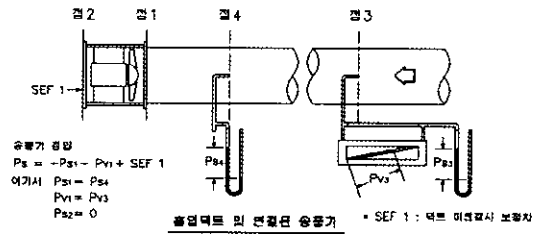
송풍기 압력측정

송풍기의 압력측정은 필수적이지만 현장에서 정확히 얻기는 매우 힘든 일이다. 물론 여러가지 이유가 있으나 가장 일반적인 이유는 덕트와 연결된 송풍기 입구와 출구에서의 공기 와류현상으로 인한 '시스템 영향(SEF: System Effect Factor)과 송풍기에서 발생하는 정확한 압력을 읽어야 할 장소에서 압력이 측정되어야 하지만 그러한 측정위치는 설정이 어렵기 때문이다. 정압과 전압의 측정은 송풍기 출구와 입구에서 행해야 하는데 플렉시블 커넥션 바로 옆에서 하는 것을 가장 쉽게 생각할 수도 있으나 이는 심한 와류현상이 나타나는 지점 중의 하나이기 때문에 피해야 한다. 따라서 송풍기 출구 측 압력측정은 훨씬 하류지점에서 실시되어야 하며, 직선 덕트의 한 부분에서 측정하는 것이 바람직하다. 그러나 송풍기와 측정지점 사이의 덕트 단면 변경 및 엘보 등이 있으면 이로 인한 "시스템 영향"이 작용하여 실제 송풍기 성능과 상이한 측정값을 얻게 되므로 이를 보정하여 사용하여야 한다. 정압 재취득 또한 송풍기 근방에서 일어날 수 있다. 송풍기 입구 측 정압은, 보통 송풍기 입

구 부근의 플레넘이나 덕트연결부에서 측정할 수 있다.

피토튜브를 이용한 송풍기 정압 측정은 다음 그림과 같다.

피토튜브를 이용한 송풍기 압력측정



• 송풍기 정압보정

덕트와 연결된 송풍기는 대부분 표준규격에 명기된 덕트연결방식과 달라 현장 측정값은 실제 송풍기의 압력보다 낮게 된다. 따라서 이러한 덕트 연결에 의한 성능 감소치를 보정하여 압력을 결정하여야 한다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 "시스템 영향(SEF)" 이라고 부르고 있으며 각종 연결방식에 따라서 SEF가 크게 달라

지므로 이에 대한 상세한 자료는 AMCA가 발간한 "PERFORMANCE MEASUREMENTS OF FAN SYSTEM"에 나타나 있으므로 본고에서 생략한다.

일반적으로 송풍기가 동일한 크기의 흡입 및 토출덕트가 연결된 경우에는 다음과 같이 계산한다.

$$P_s = P_T - P_{v2} = P_{s2} - (P_{s1} + P_{v1}) + SEF1 + SEF2 \dots$$

$$P_T = P_{s2} - P_{s1}$$

여기서  $P_s$  : 송풍기 정압

$P_T$  : 송풍기 전압

$P_v$  : 동압

하첨자 1 및 2 = 흡입구 및 토출구

#### 회전수 측

접촉식 또는 비접촉식 타코미터를 사용하여 송풍기의 회전수(rpm)을 측정한다.

접촉식 타코미터가 사용될 수 없으면 비접촉식 타코미터 중 하나를 사용하고, 몇몇 종류의 계기들은 사용법에 익숙하지 않을 경우 정확한 값으로 읽기가 어려우므로 사용지침서에 따른다.

송풍기회전수[rpm]

$$= \frac{\text{전동기 rpm} \times \text{전동기 폴리직경}}{\text{송풍기 폴리 피치원직경}}$$

위 식을 이용할때 정확성을 기하기 위해 전동기 회전수는 필히 측정되어야 하는데, 이는 명판상의 회전수보다 약간의 차이가 있는 것이 보통이기 때문이다.

#### 모터 전류 및 전압 측정

펌프성능평가방법에서 설명한 것을 참조한다.

#### 축동력 측정

펌프성능평가방법에 설명한 것을 참조한다.

#### 송풍기 효율계산

송풍기의 풍량, 압력 및 축동력을 알면 송풍기의 효율은 아래 식에 의해 계산한다.

#### ① 송풍기 전압효율계산

$$M_T = \frac{Q \times P_i}{3600 \times 102 \times \text{BkW}}$$

Q : 풍량 (m<sup>3</sup>/h)

$P_i$  : 송풍기 전압 (mmAq)

BkW : 축동력 (kW)

#### ② 송풍기 정압효율

$$M_s = \frac{Q \times P_s}{3600 \times 102 \times \text{BkW}}$$

$P_s$  : 송풍기 전압 (mmAq) ㉓