

굴뚝연속자동측정기기 배출가스 유량

2021

(Flow Measuring Method in stack)

1.0 적용범위

이 시험방법은 굴뚝에서 배출되는 건조배출가스의 유량을 연속적으로 자동 측정하는 방법에 관하여 규정한다. 건조배출가스 유량은 배출되는 표준상태의 건조배출가스량 [Sm^3 (5 분 적산치)]으로 나타낸다.

2.0 유량계 설치

ES 01902.1에 따른다.

3.0 측정방법의 종류

유량의 측정방법에는 피토우관, 열선 유속계, 와류유속계를 이용하는 방법이 있다.

3.1 피토우관을 이용하는 방법

3.1.1 측정원리

관내 유체의 전압과 정압과의 차인 동압을 측정하여 유속을 구하고 유량을 산출한다.

3.1.2 측정기 설치환경

ES 01902.1 2에 따른다.

3.1.3 측정공 위치

ES 01902.1 3을 따르며 다음 사항을 고려해야 한다.

3.1.3.1 유량계와 온도계는 동일한 위치에 설치하여야 한다.

3.1.3.2 측정기 (또는 시료채취관)는 유량을 대표할 수 있는 곳에 설치하여야 한다.

3.1.4 측정공 및 측정 작업대

ES 01301.1 5.3를 따른다.

3.1.5 측정점 위치

3.1.5.1 1개 지점에서 측정시

ES 01301.1 5.1.1에 따른다.

3.1.5.2 여러 지점에서 측정시

3.1.5.2.1 굴뚝 내경이 1 m이하

굴뚝 직경의 16.7 %, 50.0 %, 83.3 %에 위치한 지점에서 측정하여야 한다.

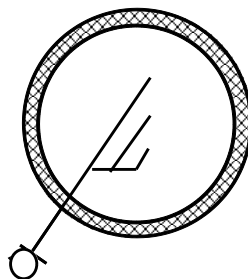


그림 1. 굴뚝 내경이 1 m 이하인 곳에서의 여러 지점 선정

3.1.5.2.2 굴뚝 내경이 1 m를 초과

시험방법 ES 01301.1 5.4 측정점의 선정에 따라 4 개점 이상에서 측정하여야 한다.

3.1.6 유량계산

다음 식들을 이용하여 배출가스 유속 및 유량을 산출한다.

3.1.6.1 배출가스 평균유속

$$\bar{V} = C \sqrt{\frac{2gh}{r}} \quad (\text{식 1})$$

\bar{V} : 배출가스 평균유속 (m/s)

C : 피토우관 계수

g : 중력 가속도 (9.81 m/s²)

h : 배출가스의 평균 동압 측정치 (mmH₂O)

r : 굴뚝내의 습한 배출가스 밀도 (kg/m³)

3.1.6.2 건조배출가스 유량

$$Q_s = \bar{V} \times A \times \frac{P_a + P_s}{760} \times \frac{273}{273 + T_s} \times \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) \times 300 \quad (\text{식 2})$$

Q_s : 건조배출가스 유량 [Sm³ (5 분 적산치)]

\bar{V} : 배출가스 평균유속 (m/s)

A : 굴뚝 단면적 (m²)

P_a : 대기압 (mmHg)

P_s : 배출가스 정압의 평균치 (mmHg)

T_s : 배출가스 온도의 평균치 (℃)

X_w : 배출가스중의 수분량 (%)

3.1.6.3 배출가스 평균유속 (관제센터로 데이터를 전송하는 경우)

$$\bar{V} = C \left(\sum \sqrt{\frac{2gh}{r}} \right)_{av} \quad (\text{식 3})$$

여기서 av는 평균값을 의미함.

\bar{V} : 배출가스 5 분 평균유속 (m/s)

C : 피토우관 계수

g : 중력 가속도 (9.81 m/s²)

h : 배출가스의 동압 측정치 (mmH₂O)

r : 굴뚝내의 습한 배출가스 밀도 (kg/m³)

3.1.6.4 건조배출가스 유량 계산 (관제센터로 데이터를 전송하는 경우)

$$Q_s = \bar{V} \times A \times \frac{P_a + P_s}{760} \times \frac{273}{273 + T_s} \times \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) \times 300 \quad (\text{식 4})$$

Q_s : 건조배출가스 유량[S^m (5 분 적산치)]

\bar{V} : 배출가스의 5 분 평균 유속 (m/s)

A : 굴뚝 단면적 (m²)

P_a : 대기압 (mmHg)

P_s : 배출가스의 5 분 평균 정압 (mmHg)

T_s : 배출가스의 5 분 평균 온도 (℃)

X_w : 배출가스중의 수분량 (%)

3.2 열선 유속계를 이용하는 방법

3.2.1 측정원리

흐르고 있는 유체 내에 가열된 물체를 놓으면 유체와 열선 (가열된 물체) 사이에 열 교환이 이루어짐에 따라 가열된 물체가 냉각된다. 이때 열선의 열 손실은 유속의 함수가 되기 때문에 이 열량을 측정하여 유속을 구하고 유량을 산정한다.

3.2.2 측정기 설치환경

ES 01902.1 2.0에 따른다.

3.2.3 측정공 위치

3.1 피토우관을 이용하는 방법의 3.1.3을 따른다.

3.2.4 측정공 및 측정 작업대

ES 01301.1 5.2를 따른다.

3.2.5 측정점 위치

3.2.5.1 1 개 지점 측정시

ES 01902.1 5.1.1에 따른다.

3.2.5.2 여러 지점에서 측정시

ES 01909.1 3.1.5.2에 따른다.

3.2.6 유량계산

다음 식들을 이용하여 배출가스 유속 및 유량을 산출한다.

3.2.6.1 배출가스 평균유속

유속은 유체에 의한 냉각 작용으로 발열체에서 일어나는 저항이나 전류의 변화를 검출하여 구한다. 유속 변화에 대한 관계는 킹 (King) 방정식으로 다음과 같다.

$$H = R i^2 = (T_s - T_g)(A + B \cdot \sqrt{V_f}) \quad (\text{식 5})$$

H : 발열체의 열손실 또는 전력의 손실 (W)

R : 발열체의 저항값 (Ω)

i : 발열체에 흐르는 전류 (A)

A, B : 열선 (또는 필름)의 보정에 의하여 얻어지는 실험적 상수

V_f : 유체 속도 (m/s)

T_s : 발열체의 온도 (K)

T_g : 배출가스 온도의 평균치 (K)

유속의 변화에 관계없이 발열체와 유체의 온도차 ($T_s - T_g$)를 항상 일정하게 유지하고 발열체 열손실을 측정하여 유속을 구한다. 단, 이때의 유속은 온도가 보정된 유속이다.

3.2.6.2. 배출가스 유량

$$Q_s = V_f \times A \times \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) \times 300 \quad (\text{식 6})$$

Q_s : 배출가스 유량 (Sm^3 (5 분 적산치))

V_f : 배출가스 유속 (m/s)

A : 굴뚝 단면적 (m^2)

X_w : 배출가스중의 수분량 (%)

3.3 와류유속계를 이용하는 방법

3.3.1 측정원리

유동하고 있는 유체 내에 고형물체 (소용돌이 발생체)를 설치하면 이 물체의 하류에는 유속에 비례하는 주파수의 소용돌이가 발생하므로 이것을 측정하여 유속을 구하고 유량을 산출한다.

3.3.2 측정기 설치환경

ES 01902.1 2에 사항을 준용하되, 다음 사항을 고려해야 한다.

3.3.2.1 압력계 및 온도계는 유량계 하류 측에 설치해야 한다.

3.3.2.2 소용돌이의 압력변화에 의한 검출방식은 일반적으로 배관 진동의 영향을 받기 쉬우므로 진동방지대책을 세워야 한다.

3.3.3 측정공 위치

3.1 피토우관을 이용하는 방법의 3.1.3을 따른다.

3.3.4 측정공 및 측정 작업대

ES 01301.1 5.2를 따른다.

3.3.5 측정점 위치

ES 01902.1 5.1.1에 따른다.

3.3.6 유량계산

다음 식들을 이용하여 배출가스 유속 및 유량을 산출한다.

3.3.6.1 배출가스 평균유속

소용돌이 주파수 f 와 V 사이에는 아래의 등식이 성립한다.

$$f = S_t \times \frac{V}{d} \quad (\text{식 7})$$

여기서, f : 소용돌이 발생주파수 (s⁻¹)

V : 유체의 평균유속 (m/s)

d : 소용돌이 발생체의 폭 (m)

S_t : Strouhal 수

일반적으로 Strouhal 수는 레이놀즈수 (30 000 ~ 1 000 000) 범위에서 일정한 값을 가지며 그 값은 소용돌이 발생체의 형태에 따른다. 이러한 관계로부터 일정 레이놀즈수의 범위에서 소용돌이 주파수를 측정하여 유속을 구한다.

3.3.6.2 배출가스 유량

$$Q_s = \bar{V} \times A \times \frac{P_a + P_s}{760} \times \frac{273}{273 + T_s} \times \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) \times 300 \quad (\text{식 8})$$

Q_s : 건조배출가스 유량 [Sm^3 (5 분 적산치)]

\bar{V} : 배출가스 평균유속 (m/s)

A : 굴뚝 단면적 (m^2)

P_a : 대기압 (mmHg)

P_s : 배출가스 정압의 평균치 (mmHg)

T_s : 배출가스 온도의 평균치 ($^{\circ}\text{C}$)

X_w : 배출가스중의 수분량 (%)

3.4 초음파 유속계를 이용하는 방법

3.4.1 측정원리

굴뚝 내에서 초음파를 발사하면 유체흐름과 같은 방향으로 발사된 초음파와 그 반대의 방향으로 발사된 초음파가 같은 거리를 통과하는데 걸리는 시간차가 생기게 되며, 이 시간차를 직접시간차 측정, 위상차측정, 주파수차 측정방법을 이용하여 유속을 구하고 유량을 산정한다.

3.4.2 측정기 설치환경

ES 01902.1 2를 따르되, 다음 사항을 고려해야 한다.

3.4.2.1 검출기는 초음파가 전달되는데 적절한 온도, 압력 등을 가진 곳에 설치하여야 하며, 초음파가 투과나 반사에 의해 방해가 되는 장소는 피한다.

3.4.2.2 변환기는 주위온도와 습도가 적합하고, 진동, 충격, 노이즈 등에 의한 장애가 적은 장소에 설치하고, 보수 등의 작업공간 확보가 용이한 곳이어야 한다.

3.4.3 측정공 위치

3.1 피토우관을 이용하는 방법의 3.1.3을 따른다.

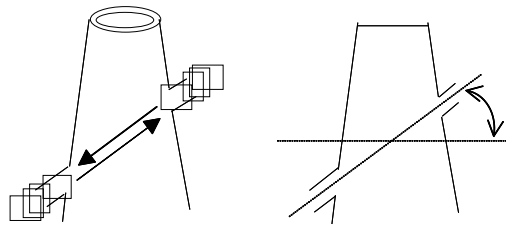
3.4.4 측정공 및 측정 작업대

ES 01301.1 5.2를 따른다.

3.4.5 측정점 위치

3.4.5.1 단일 측정경로에서 측정하는 경우

ES 01902.1 5.1.2를 따르며, 굴뚝 단면에 대하여 일정한 각도 (예로 45°)로 기울여 검출기를 그림 2와 같이 설치한다. 설치방식은 검출기의 위치에 따라 굴뚝 외벽의 표면에 검출기 부착하는 방식과 굴뚝에 검출기를 설치한 배관이나 검출기를 직접 삽입하는 방식 등이 있다.

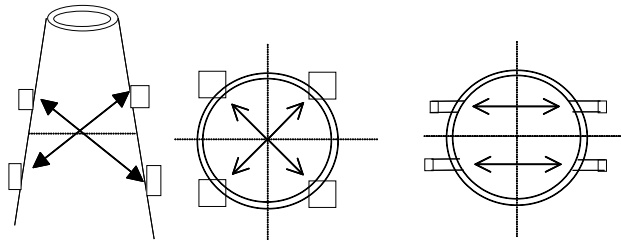


(가) 표면에 부착하는 경우 (나) 직접 삽입하는 경우

그림2. 단일 측정경로에서의 측정위치 예

3.4.5.2 2 개 측정경로에서 측정하는 경우

굴뚝 단면에 대하여 일정각도로 기울여 2 쌍의 검출기가 교차하도록 설치하거나, 초음파의 경로를 굴뚝 중심에서 굴뚝 반경의 1/2만 벽 쪽으로 옮겨 2 쌍의 검출기를 굴뚝 단면에 대해 일정각도로 기울여 설치한다.

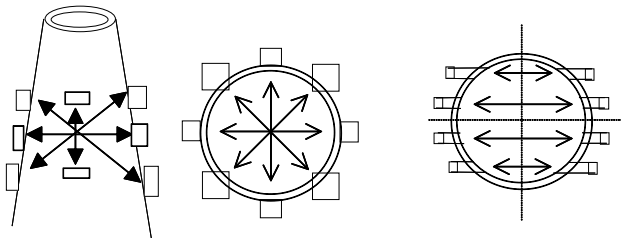


(가) 표면에 부착하는 경우 (나) 직접 삽입하는 경우

그림 3. 2 개 측정경로에서의 측정위치 예

3.4.5.3 4 개 측정경로에서 측정하는 경우

4 쌍의 검출기를 굴뚝 단면에 대해 일정각도로 기울여 일정간격으로 설치한다.



(가) 표면에 부착하는 경우 (나) 직접 삽입하는 경우

그림 4. 4 개 측정경로에서의 측정위치 예

3.4.6 유량계산

다음 식들을 이용하여 배출가스 유속 및 유량을 산출한다.

3.4.6.1 배출가스 평균유속

$$V = \frac{L}{2 t_0^2 \cos \theta} \Delta t; \text{ 여기서 } t_0 = \frac{t_d + t_u}{2} \quad (\text{식 9})$$

V : 전달 경로상의 평균유속 (m/s)

L : 전달 경로의 길이 (m)

td : 순방향의 전파시간 (s)

tu : 역방향의 전파시간 (s)

Θ : 전파경로와 굴뚝 단면이 이루는 각

3.4.6.2 배출가스 유량

$$Q_s = \frac{V}{\kappa} \times A \times \frac{p_a + p_s}{760} \times \frac{273}{273 + \theta_s} \times \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) \times 3600 \quad (\text{식 } 10)$$

QS : 배출가스 유량 (m³/h)

V : 배출가스 평균유속 (m/s)

A : 굴뚝 단면적 (m²)

pa : 대기압 (mmHg)

ps : 배출가스 정압의 평균치 (mmHg)

Θ_s : 배출가스 온도의 평균치 (°C)

Xw : 배출가스중의 수분량 (%)

κ : 유량보정계수

유량보정계수 (κ)는 계산방식에 따라 사용하는 고유한 값을 사용한다.

4.0 장치의 구성

4.1 피토우관을 이용하는 방법

4.1.1 시료 채취부

시료 채취부는 피토우관, 흡인관과 온도계로 구성되어있다.

피토우관은 피토우관 계수가 정해진 L형 피토우관 (C : 1.0 전후) 또는 S형 피토우관 (웨스턴형 C : 0.84)으로써 배출가스를 연속적으로 측정하기 위해 흡인관에 부착하여 사용한다. 흡인관은 수분응축 방지를 위해 시료가스 온도를 $120\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 유지할 수 있는 가열기를 갖춘 보로실리케이트, 스테인레스강 또는 석영 유리관을 사용하여야 한다. 온도계는 배출가스 온도를 측정하는 것으로 열전대식 온도계 등을 사용한다. 시료 채취관과 온도계의 앞부분은 동일한 선상에 설치한다.

4.1.2 검출 및 분석부

압력-변위 변환소자, 변위 신호량 변환소자, 연산제어기 등으로 구성되며, 굴뚝내의 유량을 연속적으로 측정할 수 있어야 한다. 압력-변위 변환소자에는 다이어프램, 마노미터, 벨로즈 등이 있으며 변위 신호량 변환소자에는 차동 변압기, 가변용량반도체 변형 게이지 등이 있다.

4.1.3 지시부

측정된 값을 직접 지시하고 기록용 외부 출력 단자를 갖추고 측정값을 외부로 출력한다.

4.1.4 데이터 처리부

데이터처리부는 기록계 및 전송부로 이루어지며 측정기를 이용하여 얻은 데이터를 온라인으로 원격측정시스템에 연결 전송한다.

4.2 열선식 유속계를 이용하는 방법

4.2.1 시료채취부

시료채취부는 열선과 지주 등으로 구성되어 있다. 열선은 직경 $2\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$, 길이 약 1 mm의 텅스텐이나 백금선 등이 쓰인다.

4.2.2 검출 및 분석부

브리지회로, 온도보상회로, 연산제어기 등으로 구성되며, 굴뚝내의 유량을 연속적으로 측정할 수 있어야 한다.

4.2.3 지시부

측정된 값을 직접 지시하고 기록용 외부 출력 단자를 갖추고 측정값을 외부로 출력한다.

4.2.4 데이터 처리부

데이터 처리부는 기록계 및 전송부로 이루어지며 측정기를 이용하여 얻은 데이터를 온라인으로 원격측정시스템에 연결 전송한다.

4.3 와류 유속계를 이용하는 방법

4.3.1 시료채취부

유체가 통과하는 관로 내에서 소용돌이 발생체가 설치되는 부분이다.

4.3.2 소용돌이 발생체

시료채취관내에서 소용돌이를 발생시키기 위한 기둥모양의 물체 또는 비유선형 물체로 칼면소용돌이의 분리점을 안정시키기 위하여 날카로운 모서리를 갖고 있는 형태가 대부분이다.

4.3.3 검출 및 분석부

검출기, 연산제어기 등으로 구성되며, 굴뚝내의 유량을 연속적으로 측정할 수 있어야 한다. 검출방식은 칼면소용돌이 발생에 따른 압력의 변화를 검출하는 압력검출방식과 유속의 변화를 검출하는 유속방식으로 크게 나눌 수 있다. 압력변화 검출소자는 압전소자, 스트레인게이지 및 정전용량센서 등이 있으며 유속변화 검출소자에는서 미스트와 초음파 등이 있다.

4.3.4 지시부

측정된 값을 직접 지시하고 기록용 외부 출력 단자를 갖추고 측정값을 외부로 출력한다.

4.3.5 데이터 처리부

데이터 처리부는 기록계 및 전송부로 이루어지며 측정기를 이용하여 얻은 데이터를 온라인으로 원격측정시스템에 연결 전송한다.

4.4 초음파 유속계를 이용하는 방법

4.4.1 검출 및 분석부

초음파 유속측정 방법은 굴뚝 내부를 측정 셀 (cell)로 하여 초음파를 발사하여 시간차를 검출기에서 측정하도록 하는 방식이다. 유속계는 발신회로, 진동자, 전용 케이블, 검출기, 수신회로, 연산제어기 등으로 구성되며, 굴뚝내의 유량을 연속적으로 측정할 수 있어야 한다. 진동자는 초음파의 발신 및 수신을 실행하는 소자이며 보통 400 KHz ~ 2 MHz 정도의 주파수를 사용하며, 굴뚝 배출가스유량측정에 적합한 주파수를 선정하여 사용해야 한다.

4.4.2 지시부

측정된 값을 직접 지시하고 기록용 외부 출력 단자를 갖추고 측정값을 외부로 출력한다.

4.4.3 데이터 처리부

데이터 처리부는 기록계 및 전송부로 이루어지며 측정기를 이용하여 얻은 데이터를 온라인으로 원격측정시스템에 연결 전송한다.

5.0 성능 및 성능시험방법

이들 네 종류의 유량 연속자동 측정기에 대한 성능 및 그 시험방법은 ES 01915.1a과 같다.

6.0 측정조작

유량 연속자동 측정기의 사용설명서에 따라 설치하고 유량을 측정한다.

7.0 원격측정시스템

측정기를 이용하여 얻은 데이터는 온라인으로 대기오염감시체제에 연결 전송할 수 있어야 한다. 이러한 대기오염감시체제에 관한 구성은 ES 01914.1와 같다.