

## 배출가스 중 먼지 - 수동식 측정법

2021

(Particulate Matter in Flue Gas - Manual Method)

## 1.0 개요

### 1.1 목적

이 시험기준은 물질의 파쇄, 선별, 퇴적, 이적 기타 기계적 처리 또는 연소, 합성분해 시 굴뚝에서 배기 되는 입자상 물질의 농도를 측정하기 위한 시험방법이다.

### 1.2 적용범위

배출가스 중에 함유되어있는 액체 또는 고체인 입자상 물질을 등속흡입하여 측정된 먼지로서, 먼지 농도 표시는 표준상태 (0 °C, 760 mmHg)의 건조 배출가스 1 Sm<sup>3</sup> 중에 함유된 먼지의 질량농도를 측정하는데 사용된다.

### 1.3 간섭물질

#### 1.3.1 습도

1.3.1.1 채취시료의 습도에 의한 영향은 피할 수 없으나, 여과지 평형화 과정은 여과지 매질의 습도 효과를 최소화할 수 있으며 적은 습도 조건은 먼지 간의 정전력을 증가시킬 수 있다.

1.3.1.2 습도에 의한 오차를 줄이기 위해 먼지의 질량을 측정하기 전 여과지홀더 또는 여과지를 건조기에서 일반 대기압에서 20 °C ± 5.6 °C로 적어도 24 시간 이상 건조시키며 6 시간의 간격을 두고 먼지 질량의 차이가 0.1 mg일 때까지 측정한다. 또 다른 방법으로, 여과지홀더 또는 여과지를 105 °C에 2 시간 이상 충분히 건조시키는 방법이 있다. 질량 측정의 정확성을 향상시키기 위하여 여과지는 상대습도가 50 % 이상인 질

량 측정 실험실에서 2 분 이상 노출되어서는 안 된다.

### 1.3.2 부산물에 의한 측정오차

**1.3.2.1** 시료채취 여과지 위에서 기체상 물질들의 반응 등에 의해 먼지의 질량농도 측정량이 증가 또는 감소되는 오차가 일어날 수 있다.

**1.3.2.2** 시료채취과정에서 이산화황과 질산이 여과지 위에 머무르면 황산염과 질산염으로 산화되는 화학반응을 통하여 생성되므로 질량농도 증가와 시료 중에 생성된 염류가 성장과 이동과정에서 기압과 대기온도에 따라 해리과정을 거쳐 다시 가스상으로 변환되므로 질량농도가 감소되는 경우가 초래될 수 있다.

### 1.3.3 질량농도

측정대상이 되는 배출가스 중 먼지의 질량농도는 먼지의 질량, 측정시간, 그리고 유량에 의해서 결정된다. 등속흡입과 누출공기 확인을 통해 정확한 유속과 유량 측정이 필요하며 보정된 정교한 저울을 사용하여 최대한의 오차를 줄여 실제 값에 가까운 무게 농도를 측정하여야 한다.

## 2.0 용어정의

### 2.1 배출가스 중 먼지

측정대상이 되는 배출가스 중에 부유하는 고체 및 액체의 입자상 물질로서 수분을 제거한 것이며 결합 수분 등 시험법에 근거하여 측정하여 칭량된 것은 먼지로 본다.

### 2.2 배출가스

연료, 기타의 것의 연소 합성 분해, 열원으로서의 전기의 사용 및 기계적 처리 등에 따라 발생하는 고체 입자를 함유하는 가스, 수분을 함유하지 않는 가스는 건조 배출가스, 수분을 함유하는 가스는 습윤 배출가스라 한다.

### 2.3 등속흡입

먼지 시료를 채취하기 위해 흡입노즐을 이용하여 배출가스를 흡입할 때, 흡입노즐을 배출가스의 흐름방향으로 하고, 배출가스와 같은 유속으로 가스를 흡입하는 것을 말한다.

## 2.4 먼지농도

표준상태 (0 °C, 760 mmHg)의 건조 배출가스 1 Sm<sup>3</sup> 중에 함유된 먼지의 무게단위를 말한다.

## 3.0 분석기기 및 기구

수동식 시료채취기는 먼지채취부, 가스흡입부, 흡입유량 측정부 등으로 구성되며 먼지 채취부의 위치에 따라 그림 1 및 2와 같이 1형과 2형으로 구분된다. 1형은 먼지채취기를 굴뚝 안에 설치하고 2형은 먼지채취기를 굴뚝 밖으로 설치하는 것이다. 먼지시료채취장치의 모든 접합부는 가스가 새지 않도록 하여야 하고 2형일 때는 배출가스 온도가 이슬점 이하가 되지 않도록 보온 또는 가열해 주어야 한다.

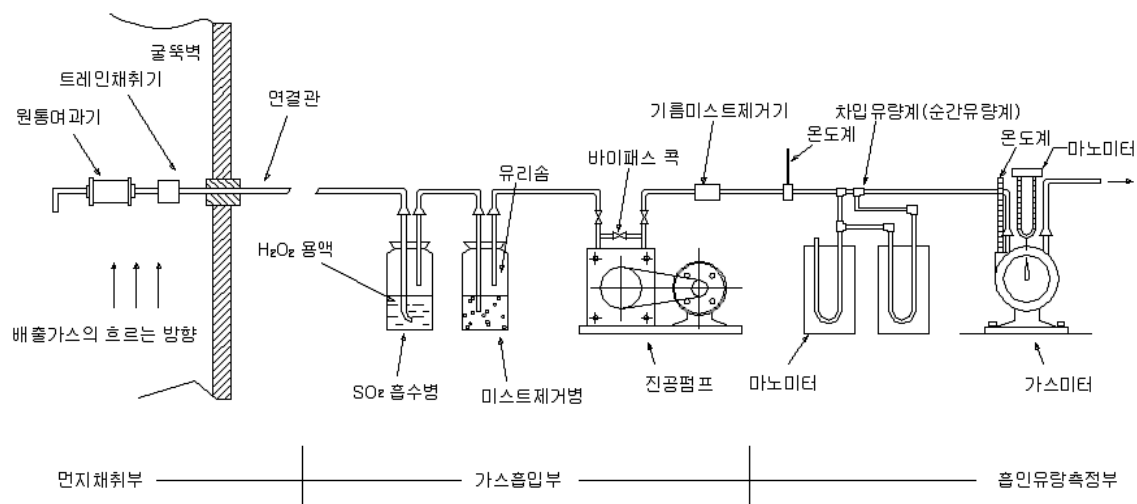


그림 1. 수동식 먼지시료채취장치 (1형)

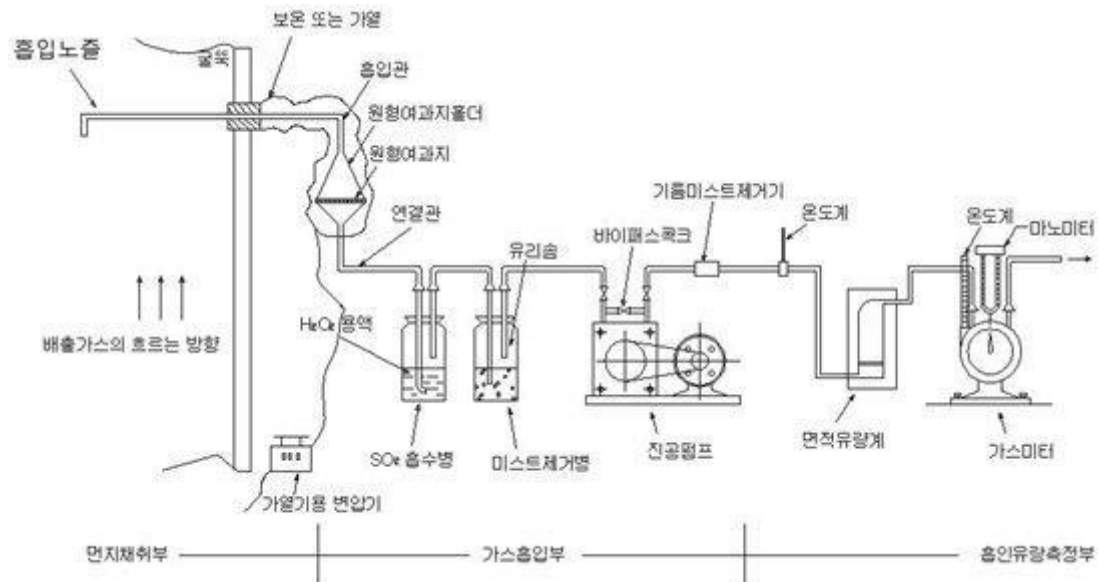


그림 2. 수동식 먼지시료 채취장치 (2형)

### 3.1 먼지채취부

먼지채취부의 구성은 흡입노즐, 여과지홀더, 고정쇠, 드레인채취기, 연결관 등으로 구성된다. 단, 2형일 때는 흡입노즐 뒤에 흡입관을 접속한다. (반자동식 측정법 그림 4. 먼지채취부의 구성 참조)

#### 3.1.1 흡입노즐

3.1.1.1 흡입노즐은 안과 밖의 가스 흐름이 흐트러지지 않도록 흡입노즐 안지름 ( $d$ )은 3 mm 이상으로 한다.

3.1.1.2 꼭지점은  $30^\circ$  이하의 예각이 되도록 하고 매끈한 반구 모양으로 한다.

3.1.1.3 흡입노즐 내외면은 매끄럽게 되어야 한다.

#### 3.1.2 여과지홀더

3.1.2.1 여과지홀더는 원통형 또는 원형의 먼지 채취 여과지를 지지해주는 장치를 말한다.

**3.1.2.2** 이 장치는 유리제 또는 스테인리스강 재질 등으로 만들어진 것으로 내식성이 강하고 여과지 탈착이 쉬워야 한다.

**3.1.2.3** 여과지를 끼운 곳에서 공기가 새지 않아야 한다.

### **3.1.3 고정쇠**

여과지홀더를 끼우기 위하여 사용하는 것으로 스테인리스강 재질이 좋다.

### **3.1.4 드레인 채취기**

내부에 유리솜을 채운 것으로서 흡입 가스에 의한 드레인이 여과지홀더에 역류하는 것을 방지하기 위하여 사용한다.

### **3.1.5 연결관**

여과지홀더 또는 드레인 채취기에서 가스흡입용의 고무관 (진공용)에 이르기까지의 연결부이다.

## **3.2 가스흡입부**

**3.2.1** 가스흡입부는 배출가스를 흡입하기 위한 흡입장치 및 황산화물에 의한 부식을 막기 위한 SO<sub>2</sub> 흡수병과 미스트 제거병으로 구성된다.

**3.2.2** 가스흡입부에는 흡입유량을 가감하기 위한 조절밸브를 적당한 위치에 장치하고 흡입장치의 가스 출구 측에는 필요에 따라 유량계를 보호하기 위하여 미스트 제거기를 설치한다.

**3.2.3** 흡입장치에는 굴뚝 내의 부압, 먼지시료채취장치 각 부분의 저항에 충분히 견딜 수 있고 필요한 속도로서 가스를 흡입할 수 있는 진공펌프, 송풍기 등을 사용한다.

## **3.3 흡입유량 측정부**

**3.3.1** 흡입유량 측정부는 적산유량계 (가스미터) 및 면적유량계 또는 차압유량계 등의 순간유량계로 구성된다.

**3.3.2** 원칙적으로 적산유량계는 흡입 가스량의 측정을 위하여 또 순간유량계는 등속 흡입 조작을 확인하기 위하여 사용한다.

**3.3.3** 순간유량계는 적산유량계로 교정하여 사용한다.

### **3.4 분석용 저울**

0.1 mg까지 정확하게 측정할 수 있는 저울을 사용하여야 하며 측정표준 소급성이 유지된 표준기에 의해 교정되어야 한다.

### **3.5 건조용기**

시료채취 여과지의 수분평형을 유지하기 위한 용기로서 20 °C ± 5.6 °C 대기 압력에서 적어도 24 시간을 건조시킬 수 있어야 한다. 또는, 여과지를 105 °C에서 적어도 2 시간동안 건조시킬 수 있어야 한다.

### **3.6 시료채취 여과지 보관용기**

여과지 손상이나 채취된 입자들의 손실을 막기 위해 여과지의 취급에 주의하여야 하며 여과지 카트리지가나 보관 용기는 이러한 손상에 의한 측정 오차를 줄일 수 있다.

### **3.7 일회용 장갑**

손으로 인한 오염 방지 및 정확한 입자의 질량을 측정하기 위하여 분말이 없는 (powder-free latex) 일회용 장갑을 사용한다.

## **4.0 시약 및 표준용액**

ES 01301.1 배출가스 중의 먼지 - 반자동식 측정법 4.0항을 따른다.

## 5.0 시료채취 및 관리

### 5.1 측정위치의 선정

ES 01301.1 배출가스 중의 먼지 - 반자동식 측정법 5.1항을 따른다.

### 5.2 굴뚝 직경환산과 측정공 위치 선정

ES 01301.1 배출가스 중의 먼지 - 반자동식 측정법 5.2항을 따른다.

### 5.3 측정공 및 측정작업대

ES 01301.1 배출가스 중의 먼지 - 반자동식 측정법 5.3항을 따른다.

### 5.4 측정점의 선정

ES 01301.1 배출가스 중의 먼지 - 반자동식 측정법 5.4항을 따른다.

## 5.5 시료채취

### 5.5.1 직접 채취법

측정점마다 1 개의 먼지 채취기를 사용하여 시료를 채취한다.

### 5.5.2 이동 채취법

1 개의 먼지 채취기를 사용하여 측정점을 이동하면서 각각 같은 흡입시간으로 먼지시료를 채취한다.

### 5.5.3 대표점 채취법

5.4의 규정에 따라 정해진 대표점에서 1 개 또는 수 개의 먼지 채취기를 사용하여 먼

지시료를 채취한다.

## 5.6 시료채취절차

5.6.1 5.4항과 같이 측정점 수를 선정한다.

5.6.2 7.2.1과 같이 배출가스의 온도를 측정한다.

5.6.3 7.2.2와 같이 배출가스 중의 수분량을 측정한다.

5.6.4 7.2.5와 같이 배출가스의 유속을 측정한다.

5.6.5 흡입노즐이 배출가스가 흐르는 방향을 향하도록 흡입노즐을 측정점까지 끼워놓고 흡입을 시작할 때 배출가스가 흐르는 방향에 직면하도록 편차를 10° 이하로 한다.

5.6.6 배출가스의 흡입은 흡입노즐로부터 흡입되는 가스의 유속과 측정점의 배출가스 유속이 일치하도록 등속흡입을 행한다.

5.6.7 보통형 (1형) 흡입노즐을 사용할 때 등속흡입을 위한 흡입량은 다음 식에 의하여 구한다.

$$q_m = \frac{\pi}{4} d^2 v \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) \frac{273 + \theta_m}{273 + \theta_s} \times \frac{P_a + P_s}{P_a + P_m - P_v} \times 60 \times 10^{-3} \quad (\text{식 1})$$

여기서,  $q_m$  = 가스미터에 있어서의 등속 흡입유량 (L/min)

$d$  = 흡입노즐의 내경 (mm)

$v$  = 배출가스 유속 (m/s)

$X_w$  = 배출가스 중의 수증기의 부피 백분율 (%)

$\theta_m$  = 가스미터의 흡입가스 온도 (°C)

$\theta_s$  = 배출가스 온도 (°C)

$P_a$  = 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

$P_s$  = 측정점에서의 정압 (mmHg)

$P_m$  = 가스미터의 흡입가스 게이지압 (mmHg)



$P_v = \theta_m$ 의 포화수증기압 (mmHg)

※ 비고 : 건식가스미터를 사용하거나 수분을 제거하는 장치를 사용할 때는  $P_v$  를 제거한다.

**5.6.8** 등속흡입 정도를 알기 위하여 다음 식에 의해 구한 값이 90 % ~ 110 % 범위여야 한다.

$$I(\%) = \frac{V_m}{q_m \times t} \times 100 \quad (\text{식 2})$$

여기서,  $I$  = 등속흡입계수 (%)

$V_m$  = 흡입가스량 (습식가스미터에서 읽은 값) (L)

$q_m$  = 가스미터에 있어서의 등속 흡입유량 (L/min)

$t$  = 가스 흡입시간 (min)

흡입가스량은 원칙적으로 채취량이 원형 여과지일 때 채취면적 1 cm<sup>2</sup> 당 1 mg 정도, 원통형 여과지일 때는 전체 채취량이 5 mg 이상 되도록 한다. 단, 동 채취량을 얻기 곤란한 경우에는 흡입가스량을 400 L 이상 또는 흡입 시간을 40 분 이상으로 한다.

**5.6.9** 배출가스를 흡입한 후에는 흡입을 중단하고 흡입노즐을 다시 역방향으로 한 후 속히 굴뚝 밖으로 끄집어낸다. 먼지 채취기 뒤쪽의 배관은 그때까지 떼어서는 안 된다. 단, 굴뚝 내의 부압이 클 때는 흡입노즐을 반대 방향으로 향한 채 흡입량을 측정하고 흡입펌프를 작동시킨 채 신속히 흡입노즐을 꺼내고 정지시킨다.

**5.6.10** 시료 채취가 끝나면 흡입관을 빼내고 방치하여 냉각한 후 노즐 주변의 먼지를 닦아낸다.

**5.6.11** 흡입관과 여과지홀더를 분리하고 먼지가 채취된 여과지는 시료 보관병에 보관한다.

## 6.0 정도보증/정도관리(QA/QC)

### 6.1 여과지 취급

시료채취 전과 후의 무게 측정에 있어 질량을 측정할 수 있는 습도와 온도가 유지된 실험실에서 여과지를 취급하여 오차 발생을 최소화한다.

## 6.2 유량측정

시료채취기의 유속의 변화는 시료채취기 도입부의 입자 크기 분리 특성을 변경시킬 수 있다. 정확한 유속과 유량이 측정되어야 하며 정확한 유량 조절 장치 및 유량 측정 장치로 오차를 최소화한다.

## 6.3 분석 저울

분석 저울은 여과지의 형태와 무게를 측정하는데 적절해야 하며 측정표준 소급성이 유지된 표준기에 의해 교정되어야 하며 0.1 mg까지 측정할 수 있는 저울을 사용하여 한다.

## 7.0 분석절차

### 7.1 전처리

7.1.1 여과지를 통과하는 가스의 걸보기 유속이 원칙적으로 0.5 m/s 이하가 되도록 흡입노즐 지름 및 여과지를 선정한다.

7.1.2 원통형 또는 원형여과지는  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 충분히 (1 시간 ~ 3 시간) 건조하고 테시케이터 내에서 실온까지 냉각하여 0.1 mg까지 정확히 단 후 여과지홀더에 끼운다.

7.1.3 먼지채취부, 가스흡입부, 흡입유량 측정부의 연결부분을 연결한다.

### 7.2 측정법

측정공에 시료채취장치의 흡입관을 굴뚝 내부에 삽입하여 그 선단을 채취점에 일치시키고 등속흡입한다. 먼지가 채취된 여과지를  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (배출가스 온도가  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  이상일 경우 배출가스 온도와 동일하게 건조)에서 충분히 (1 시간 ~ 3 시간) 건조시

켜 부착 수분을 제거한 후 먼지의 질량농도를 계산한다. 다만, 배연탈황시설과 황산미스트에 의해서 먼지 농도가 영향을 받은 경우에는 여과지를 160 ℃ 이상에서 4 시간 이상 건조 시킨 후 먼지 농도를 계산한다.

### 7.2.1 배출가스 온도 측정

7.2.1.1 측정점은 반자동식 측정법 5.4의 규정에 따라 선정한다. 단, 측정점 수는 줄여도 무방하다.

7.2.1.2 측정기구는 액체를 넣은 유리 온도계, 전기식 온도계, 열전대 온도계 등을 사용한다.

7.2.1.3 측정 방법은 측정기구를 측정공에 끼워 넣고 측정점에서 온도를 측정한다.

### 7.2.2 배출가스 중의 수분량 측정 (흡습관법)

7.2.2.1 흡습관법에 따른 수분량 측정 장치는 그림 3에 보기를 든 바와 같이 흡입관, 흡습관, 가스흡입장치, 적산유량계 (가스미터) 등으로 구성한다.

7.2.2.2 흡입관으로는 스테인리스강 재질 또는 석영제 유리관을 사용한다. 먼지의 혼입을 방지하기 위하여 흡입관의 선단에 유리섬유 등의 여과재를 넣어 둔다

7.2.2.3 배출가스 중의 수분량은 습한 가스 중의 수증기의 부피백분율로 표시하고 다음 식에 의하여 구한다.

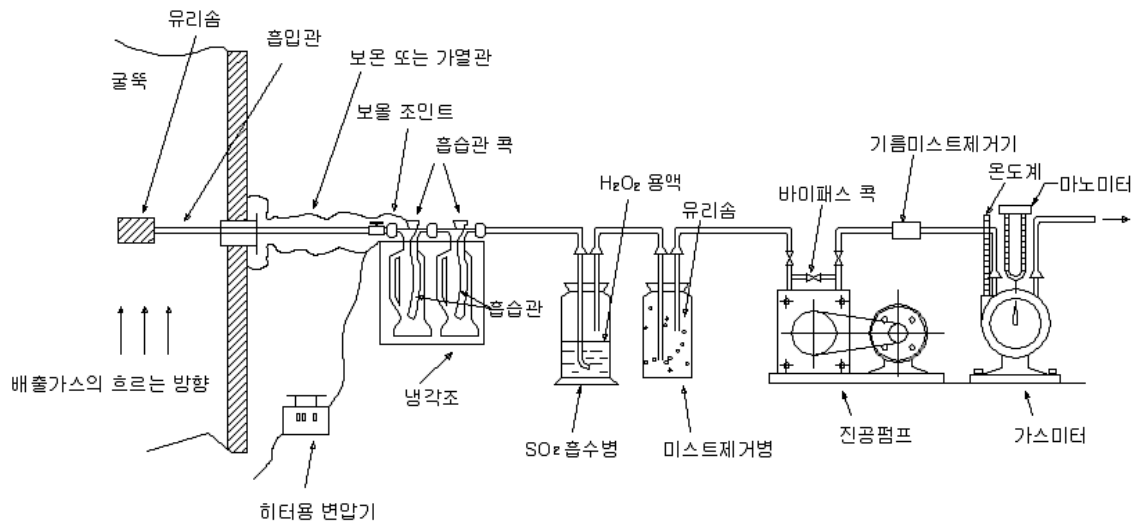


그림 3. 수분측정장치의 구성

## 7.2.2.3.1 습식 가스미터를 사용할 때

$$X_w = \frac{\frac{22.4}{18} m_a}{V_m \times \frac{273}{273 + \theta_m} \times \frac{P_a + P_m - P_v}{760} + \frac{22.4}{18} m_a} \times 100 \quad (\text{식 3})$$

## 7.2.2.3.2 건식 가스미터를 사용할 때

식 3에서  $P_v$ 항을 삭제하고,  $V_m$ 을 흡입한 가스량 (건식가스미터에서 읽은 값)으로 계산한다. 단, 건식가스미터의 앞에서 가스를 건조한 경우에 한한다.

$$X_w = \frac{\frac{22.4}{18} m_a}{V_m' \times \frac{273}{273 + \theta_m} \times \frac{P_a + P_m}{760} + \frac{22.4}{18} m_a} \times 100 \quad (\text{식 4})$$

여기서,  $X_w$  = 배출가스 중의 수증기의 부피백분율 (%)

$m_a$  = 흡습 수분의 질량 ( $ma_2 - ma_1$ ) (g)

$V_m$  = 흡입한 가스량 (습식 가스미터에서 읽은 값) (L)

$V'_m$  = 흡입한 가스량 (건식 가스미터에서 읽은 값) (L)

$\theta_m$  = 가스미터에서의 흡입 가스온도 ( $^{\circ}\text{C}$ )

$P_a$  = 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

$P_m$  = 가스미터에서의 가스게이지압 (mmHg)

$P_v = \theta_m$  에서의 포화 수증기압 (mmHg)

※ 비고 : 물의 포화수증기압은 별표 1에 의하여 구한다.

### 7.2.3 배출가스 중의 수분량 측정 (농축기법)

7.2.3.1 농축기에 의한 수분량 측정장치는 흡입관, 농축기, 가스흡입장치, 가스미터 등으로 구성되고 그림 3의 흡습관 대신 그림 4에 표시한 것과 같은 농축기를 연결한다.

7.2.3.2 측정 방법으로 배출가스의 흡입유량은 보통 10 L/min ~ 30 L/min으로 하고 흡입량은 농축기에 농축된 수분량이 20 mL 이상 되도록 한다.

7.2.3.3 농축된 수분량 ( $m_c$ )의 무게를 달고 다음 식에 의하여 배출가스 중의 수분량을 계산한다.

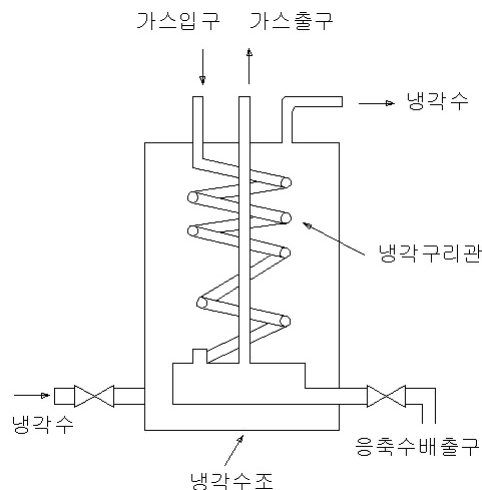


그림 4. 수분 농축기

$$X_w = \frac{V_m \times \frac{273}{273 + \theta_m} \times \frac{P_v}{760} + \frac{22.4}{18} m_c}{V_m \times \frac{273}{273 + \theta_m} \times \frac{P_a + P_m}{760} + \frac{22.4}{18} m_c} \quad (\text{식 5})$$

여기서,  $X_w$  = 배출가스 중의 수증기의 부피 백분율 (%)

$P_v$  =  $\theta_m$ 에서 포화 수증기압 (mmHg)

$P_a$  = 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

$P_m$  = 가스미터의 가스게이지압 (mmHg)

$V_m$  = 흡입한 가스량 (가스미터에서 읽은 값) (L)

$\theta_m$  = 가스미터의 흡입 가스온도 (°C)

$m_c$  = 농축기에 농축된 수분의 무게

#### 7.2.4 배출가스 중의 수분량 측정 (자동측정법)

ES 01301.1 배출가스 중의 먼지 - 반자동식 측정법 7.2.2.3의 규정에 따른다.

#### 7.2.5 배출가스 중의 수분량 측정 (계산에 의한 방법)

ES 01301.1 배출가스 중의 먼지 - 반자동식 측정법 7.2.2.4의 규정에 따른다.

#### 7.2.6 배출가스의 유속 측정

##### 7.2.6.1 측정점

ES 01301.1 배출가스 중의 먼지 - 반자동식 측정법 5.4의 규정에 의하여 선정한다.

##### 7.2.6.2 유속 측정방법

배출가스의 동압을 측정하는 기구로서는 피토관 계수가 정해진 피토관이나 경사마노미터 등을 사용한다. 측정기구의 보기는 그림 5와 같다. 피토관이 전압 (total pressure)공을 측정점에서 가스의 흐르는 방향에 수직으로 놓고 전압과 정압 (static pressure)의 차이로 동압 (velocity pressure)을 측정한다. 각 측정점의 유속은 다음 식에 따라 구한다.

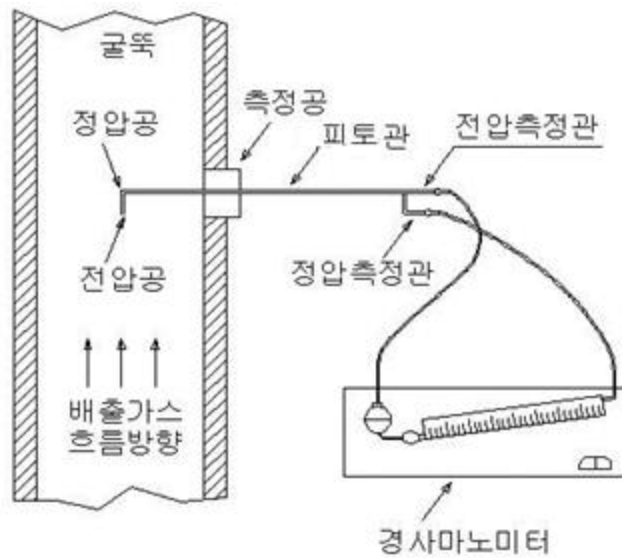


그림 5. 피토관에 의한 배출가스 유속측정

$$V = C \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (\text{식 6})$$

여기서,  $V$  = 유속 (m/s)

$C$  = 피토관 계수

$\Delta P$  = 피토관에 의한 동압 측정치 (mmH<sub>2</sub>O)

$\rho$  = 굴뚝 내의 배출가스 밀도 (kg/m<sup>3</sup>)

※ 비교: 배출가스 유속의 측정에는 피토관으로 교정한 풍속계 등의 기체 유속계를 써도 좋다. 단, 배출가스의 성상 (온도, 압력 및 조성) 및 성질에 따라 지시치가 달라질 때는 피토관에 의한 측정치로 보정한다.

#### 7.2.6.3 배출가스의 정압 측정방법

측정기구: 피토관 또는 정압관 및 U자형 마노미터 등을 사용하여 각 측정점에서 정압을 측정한다. 단, 측정점의 수는 줄여도 좋다.

#### 7.2.6.4 배출가스의 밀도를 구하는 방법

배출가스 조성으로부터 아래 계산식으로 구하거나 가스밀도계에 의한 측정치로 계산한다.

$$r = r_o \times \frac{273}{273 + \theta_s} \times \frac{P_a + P_s}{760} \quad (\text{식 7})$$

$$\text{이때, } r_o = \frac{1}{22.4 \times 100} \left\{ (M_1 x_1 + M_2 x_2 + \dots M_n x_n) \frac{100 - X_w}{100} + 18 X_w \right\}$$

$$\text{또는, } r_o = r_d \frac{100 - X_w}{100} + \frac{18}{22.4 \times 100} X_w$$

여기서  $r$  = 굴뚝 내의 배출가스 밀도 ( $\text{kg/m}^3$ )

$r_o$  = 온도 0 °C 기압 760 mmHg로 환산한 습한 배출가스 밀도 ( $\text{kg/Sm}^3$ )

$r_d$  = 가스밀도계에 의해 구한 건조 배출가스 밀도 ( $\text{kg/m}^3$ )

$P_a$  = 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

$P_s$  = 각 측정점에서 배출가스 정압의 평균치 (mmHg)

$\theta_s$  = 각 측정점에서 배출가스 온도의 평균치 (°C)

$M_1, M_2 \dots M_n$  = 배출가스 각 성분의 분자량:

$x_1, x_2, \dots x_n$  = 건조배출가스 각 성분의 부피백분율 (%)

$X_w$  = 배출가스 중의 수증기의 부피백분율 (%)

※ 비고: 일반적으로 고체연료 및 액체연료를 공기를 사용하여 연소시킬 때는  $r_o = 1.30 \text{ kg/m}^3$ 로 하는 것도 좋다.

## 7.3 시료분석절차

**7.3.1** 시료를  $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  (배출가스 온도가  $115 \text{ }^\circ\text{C}$  이상일 경우 배출가스 온도와 동일하게 건조)로 충분히 (1 시간 ~ 3 시간) 건조하고 데시케이터 내에서 실온까지 냉각하여 무게를 0.1 mg까지 측정한다.

**7.3.2** 현장바탕시험용 여과지도 시료와 동일한 조건에서 무게를 단다.

**7.3.3** 채취된 먼지량은 다음과 같이 구한다.

채취된 먼지량 = 먼지 채취 전후의 여과지 무게 차  $\pm$  현장바탕시험에 사용된 여과지 무게 차



7.3.4 원형여과지를 사용하는 경우에는 채취관에 잔존하는 먼지를 고려하여야 한다.

## 8.0 결과보고

### 8.1 먼지농도 계산방법

#### 8.1.1 흡입가스 유량 측정방법

흡입가스 유량의 측정은 원칙적으로 적산유량계 (가스미터) 및 순간유량계 (면적유량계, 차압유량계 등)을 사용한다. 흡입시간을 확인하기 위하여 흡입개시 및 종료시각을 기록한다. 흡입시작 및 종료 시에 있어서 가스미터의 눈금을 0.1 L까지 읽어둔다. 흡입시간 중 가스미터에 있어서 흡입가스 온도 및 압력을 측정한다. 표준상태에서 흡입한 건조 가스량은 다음 식으로 구한다.

##### 8.1.1.1 습식 가스미터를 사용할 경우

$$V'_n = V_m \times \frac{273}{273 + \theta_m} \times \frac{P_a + P_m - P_v}{760} \times 10^{-3} \quad (\text{식 8})$$

##### 8.1.1.2 건식 가스미터를 사용할 경우

$$V'_n = V'_m \times \frac{273}{273 + \theta_m} \times \frac{P_a + P_m}{760} \times 10^{-3} \quad (\text{식 9})$$

여기서,  $V'_n$  = 표준상태에서 흡입한 건조 가스량 ( $\text{Sm}^3$ )

$V'_m$  = 흡입가스량으로 건식 가스미터에서 읽은 값 (L)

$V_m$  = 흡입가스량으로 습식 가스미터에서 읽은 값 (L)

$\theta_m$  = 가스미터의 흡입가스 온도 ( $^{\circ}\text{C}$ )

$P_a$  = 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

$P_m$  = 가스미터의 가스 게이지압 (mmHg)

$P_v$  =  $\theta_m$  에서 포화수증기압 (mmHg)

※ 비교: 면적유량계나 차압유량계를 사용하여 흡입가스 유량을 측정할 때는 그 유량계의 유량 측정 방법에 규정한 대로 측정한다.

### 8.1.2 각 측정점의 먼지농도

배출가스 중의 먼지농도는 표준상태 (0 °C, 760 mmHg)로 환산한 건조 배출가스 1 Sm<sup>3</sup> 중에 포함되어있는 먼지의 무게로 표시하며 다음 식에 의하여 소수점 둘째 자리까지 계산하고 소수점 첫째 자리로 표기한다.

$$C_N = \frac{m_d}{V'_N} \quad (\text{식 } 10)$$

여기서,  $C_N$  = 건조 배출가스 중의 먼지 농도 (mg/Sm<sup>3</sup>)

$m_d$  = 채취된 먼지의 무게 (mg)

$V'_N$  = 표준상태의 흡입 건조 배출가스량 (Sm<sup>3</sup>)

### 8.1.3 전체 단면의 건조 배출가스 중의 평균 먼지농도

구분한 각 단면의 먼지 농도로부터 다음 식에 의하여 구한다.

$$\overline{C}_N = \frac{C_{N1} \cdot A_1 \cdot V_1 + C_{N2} \cdot A_2 \cdot V_2 + \cdots + C_{Nn} \cdot A_n \cdot V_n}{A_1 \cdot V_1 + A_2 \cdot V_2 + \cdots + A_n \cdot V_n} \quad (\text{식 } 11)$$

여기서,  $\overline{C}_N$  = 전체 단면의 평균 먼지농도 (mg/Sm<sup>3</sup>)

$C_{N1} \cdot C_{N2} \cdots C_{Nn}$  = 각 단면의 먼지농도 (mg/Sm<sup>3</sup>)

$A_1 \cdot A_2 \cdots A_n$  = 각 단면의 면적 (m<sup>2</sup>)

$V_1 \cdot V_2 \cdots V_n$  = 각 단면의 가스유속 (m/s)

※ 비교: 이동채취방법으로 측정한 전체 단면적의 평균 먼지 농도는 이것에 준하여 계산한다.

## 8.2 결과의 기록

이상의 방법에 의하여 측정 또는 계산하여 얻은 결과는 다음과 같이 정리하여 기록해 두어야 한다.

### 8.2.1 측정일시

### 8.2.2 측정대상의 조건

- 발생원의 종류
- 발생원의 사용 상황
- 측정위치
- 굴뚝의 형상 위치 및 대략 치수
- 측정점의 수 및 위치

### 8.2.3 배출가스의 조건

- 배출가스의 온도 ( $\Theta_s$ )
- 배출가스 수분량 ( $X_w$ )
- 배출가스 정압 ( $P_s$ )
- 배출가스 유속 ( $V$ )
- 습한 배출가스의 유량 ( $V_m$ )
- 건조가스의 유량 ( $V'_m$ )

### 8.2.4 먼지시료의 채취조건

- 먼지 채취기의 종류, 재질, 치수
- 먼지 농도 측정 방법 (채취방법, 흡입노즐, 먼지채취부의 배치, 먼지의 건조조건)
- 등속흡입 유량 ( $q_m$ )
- 흡입시간 ( $t$ )
- 흡입가스량 ( $V_m$ )
- 흡입 채취먼지량 ( $m_d$ )

### 8.2.5 먼지농도 ( $C_n$ )

### 8.2.6 측정자 성명

## 9.0 참고자료

9.1 한국산업표준 (KS), KS I ISO 4225, “공기의 질 - 일반사항 - 용어”, 산업표준심의회, (2014)

9.2 한국산업표준 (KS), KS I ISO 14164, “고정 오염원 - 연도 내의 가스 유량 측정 (자동화법)”, 산업표준심의회, (1999)

9.3 한국산업표준 (KS), KS I 2200, “연도가스의 오염물질 측정방법”, 산업표준심의회, (2014)

9.4 한국산업표준 (KS), KS I ISO 9096, “고정 오염원 - 입자상 물질의 질량 농도 수동 측정법”, 산업표준심의회, (2009)

9.5 한국산업표준 (KS), KS A 0079, “부유 분진 농도 측정 방법 통칙”, 산업표준심의회, (1982)

9.6 United States Environmental Protection Agency (US EPA) Method 1, “Sample and velocity traverses for stationary sources”, US EPA, (2020)

9.7 United States Environmental Protection Agency (US EPA) Method 2, “Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric Flow Rate (Type S Pitot Tube)”, US EPA, (2017)

9.8 United States Environmental Protection Agency (US EPA) Method 5, “Determination of particulate matter emissions from stationary sources”, US EPA, (2019)

9.9 United States Environmental Protection Agency (US EPA) Method 5L, “Determination of Low Level Particulate Matter Emissions From Stationary Sources”, US EPA, (2019)

**9.10** United States Environmental Protection Agency (US EPA) Method 17, "Determination of particulate matter emissions from stationary sources", US EPA, (2017)

**9.11** United States Environmental Protection Agency (US EPA) Method 201A, "Determination of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> emissions form stationary sources (Constant sampling rate procedure)", US EPA, (2019)

**9.12** United States Environmental Protection Agency (US EPA) Compendium Method IO-3.1, "Selection, preparation, extraction of filter material", US EPA, (1999)

**9.13** American National Standard Institute (ANSI)/American Society for Testing and Materials (ASTM) D3154, "Standard Test Method for Average Velocity in a Duct (Pitot Tube Method)", Annual book of ASTM, (2014)

**9.14** American National Standard Institute (ANSI)/American Society for Testing and Materials (ASTM) D3685/D3685M, "Standard Test Methods for Sampling and Determination of Particulate Matter in Stack Gases", Annual book of ASTM, (2013)

**9.15** American National Standard Institute (ANSI)/American Society for Testing and Materials (ASTM) D4096, "Standard Test Method for Determination of Total Suspended Particulate Matter in the Atmosphere (High Volume Sampler Method)", Annual book of ASTM, (2017)

**9.16** DIN EN 12341, "Ambient air - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM<sub>10</sub> or PM<sub>2.5</sub> mass concentration of suspended particulate matter", (2014)

**9.17** JIS Z 8808, "Methods of measuring dust concentration in flue gas", Japanese industrial standards committee, (2013)

## 10.0 부록

### 10.1 물의 포화수증기압

ES 01301.1c 배출가스 중의 먼지 - 반자동식 측정법 10.1 물의 포화수증기압을 참조한다.

### 10.2 시험기준 요약표

표 1. 시험기준 요약표

배출가스 중 먼지 - 수동식 측정법 (Particulate Matter in Flue Gas - Manual Method)	
분자식 및 특징: 해당 없음, 고체 및 액체의 입자상 물질로서 수분을 제거한 것	
정량범위: 0.1 mg/Sm <sup>3</sup> 이상	
간섭물질: 습도 및 이산화황과 질산 등 기체상 물질의 반응	
시료채취	
방법: 여과지 채취법	
흡수액: 해당 없음	
흡입속도: 등속흡입	
표준채취량: 400 L 이상 또는 40 분 이상	
이동: 상온	
보관: 상온	
분석용 시료용액: 해당 없음	
Blank: 현장바탕시험용 여과지	
측정	
방법: 중량법	
물질: 먼지	
표준물질: 해당 없음	
검정곡선: 해당 없음	
분석저울: 0.1 mg까지 측정할 수 있는 저울	
정도관리	
주기: 해당 없음	
방법검출한계: 해당 없음	
정밀도: 해당 없음	
정확도: 해당 없음	
검정곡선: 해당 없음	
방법바탕시료: 해당 없음	