

배출가스 중 굴뚝 배출 시료채취방법

2021

(Methods for Sampling of Flue Gas)

1.0 개요

이 방법은 굴뚝, 덕트 등 (이하 “굴뚝”이라 한다)을 통하여 대기 중으로 배출되는 가스상 및 입자상 물질, 그리고 배출가스 중 휘발성유기화합물 (VOCs, volatile organic compounds)을 분석하기 위한 시료의 채취방법에 대하여 규정한다.

2.0 측정 위치, 측정공 및 측정점의 선정

2.1 측정 위치

측정위치는 원칙적으로 굴뚝의 굴곡 부분이나 단면모양이 급격히 변하는 부분을 피하여 배출가스 흐름이 안정되고 측정작업이 쉽고 안전한 곳을 선정한다. 즉, 수직굴뚝 하부 끝단으로부터 위를 향하여 그곳의 굴뚝 내경의 8 배 이상이 되고, 상부 끝단으로부터 아래를 향하여 그곳의 굴뚝 내경의 2 배 이상이 되는 지점에 측정공 위치를 선정하는 것을 원칙으로 하되, 위의 기준에 적합한 측정공 설치가 곤란하거나 측정작업의 불편, 측정자의 안전성 등이 문제 될 때는 하부 내경의 2 배 이상과 상부 내경의 1/2 배 이상 되는 지점에 측정공 위치를 선정할 수 있다. 단, 수직굴뚝에 측정공을 설치하기가 곤란하여 부득이 수평 굴뚝에 측정공이 설치되어 있는 경우는 수평굴뚝에서도 측정할 수 있으나 측정공의 위치가 수직굴뚝의 측정위치 선정기준에 준하여 선정된 곳이어야 한다. 다만 수평굴뚝에서 배출가스 시료채취를 하는 경우에 외부공기가 새어들지 않고 굴뚝에 요철부분이 없는 곳으로서 굴뚝의 방향이 바뀌는 지점으로부터 굴뚝내경의 2 배 이상 떨어진 곳을 측정 위치로 선정할 수 있다.

2.1.1 굴뚝 직경환산과 측정공 위치 선정

2.1.1.1 굴뚝단면이 원형인 경우 (상·하 동일 단면적)

굴뚝 상·하 직경은 수직굴뚝의 배출가스가 흐트러짐이 시작되는 위치의 내경을 기준으로 한다.

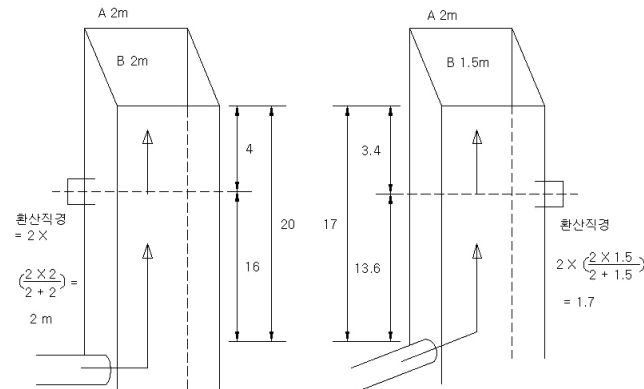


그림 1. 사각형 굴뚝 환산 예

2.1.1.2 굴뚝단면이 사각형인 경우 (상·하 동일 단면적의 정사각형 또는 직사각형)

굴뚝단면이 상·하 동일 단면적인 사각형 굴뚝의 직경산출은 다음과 같이 한다.

$$\text{환산직경} = 2 \times \left(\frac{A \times B}{A + B} \right) = 2 \times \left(\frac{\text{가로} \times \text{세로}}{\text{가로} + \text{세로}} \right) \quad (\text{식 1})$$

여기서, A : 굴뚝내부 단면 가로치수

B : 굴뚝내부 단면 세로치수

2.1.1.3 굴뚝단면이 서서히 변하는 경우

굴뚝단면이 서서히 축소되는 경우의 원형 및 사각형 굴뚝직경 산출은 다음과 같이 한다.

2.1.1.3.1 원형 굴뚝의 경우

2.1에 의거하여 측정공 위치를 대략적으로 선정하고 다음에 의거하여 굴뚝직경을 산출하여, 선정된 측정공 위치가 환산 하부직경의 2 배 이상과 환산 상부직경의 1/2 배 이상이면 측정공 위치로 채택한다.

$$\text{환산하부직경} = \frac{\text{하부직경} + \text{선정된 측정공위치의 직경}}{2} \quad (\text{식 } 2)$$

$$\text{환산상부직경} = \frac{\text{상부직경} + \text{선정된 측정공위치의 직경}}{2} \quad (\text{식 } 3)$$

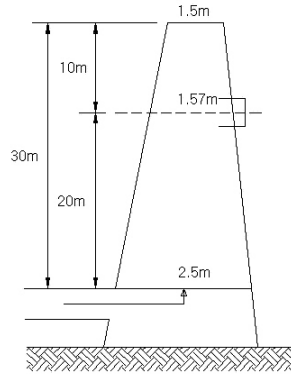


그림 2. 원형 굴뚝의 환산 예

(1) 원형굴뚝의 예

$$\text{적용하부직경} = \frac{2.5 + 1.83}{2} = 2.165 \quad (\text{식 } 4)$$

$$\text{적용상부직경} = \frac{1.5 + 1.83}{2} = 1.665 \quad (\text{식 } 5)$$

(1) 선정된 측정공위치 채택여부 검토

$$20 \div 2.165 = 9 \text{ 배 (하부직경의 2 배 이상이므로 채택함)}$$

$$10 \div 1.665 = 6 \text{ 배 (상부직경의 1/2 배 이상이므로 채택함)}$$

2.1.1.3.2 사각형 굴뚝의 경우

일차적으로 각 위치별 직경을 2.1.1.2에 의거해 환산하고 이차적으로 2.1.1.3.1과 같은 방법으로 환산한다.

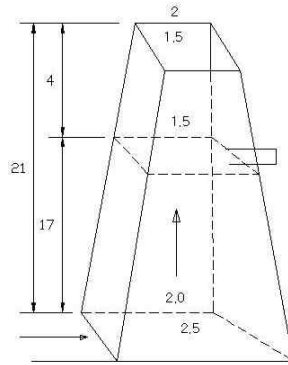


그림 3. 사각형 굴뚝의 환산 예

(1) 사각형 굴뚝의 예

1 차 계 산

$$\left[\begin{array}{l} \text{상부환산직경} = 2 \times \left(\frac{2 \times 1.5}{2 + 1.5} \right) = 1.7 \quad (\text{식 6}) \\ \text{하부환산직경} = 2 \times \left(\frac{2 \times 2.5}{2 + 2.5} \right) = 2.2 \quad (\text{식 7}) \\ \text{선정된 측정공 위치의 직경} = 2 \times \left(\frac{2.3 \times 1.8}{2.3 + 1.8} \right) = 2.0 \quad (\text{식 8}) \end{array} \right.$$

2 차 계 산

$$\left[\begin{array}{l} \text{적용하부직경} = \frac{2.2 + 2.0}{2} = 2.1 \\ \text{적용상부직경} = \frac{1.7 + 2.0}{2} = 1.8 \end{array} \right.$$

(1)' 선정된 측정공위치 채택여부 검토

$17 \div 2.1 = 8$ 배 (하부직경의 2 배 이상이므로 채택함)

$4 \div 1.8 = 2$ 배 (상부직경의 1/2 배 이상이므로 채택함)

2.1.1.3.3 기타 형태의 경우

굴뚝이 기타 형태일 경우에는 원형 및 사각형 경우 중 가까운 쪽에 준하여 환산 적용하고 필요시는 다음과 같은 굴뚝 내 배출가스의 흐름을 개선하여 굴뚝직경을 산출하여 활용할 수 있다. 단, 이러한 장치가 먼지가 퇴적되거나 저항에 의한 유량이 변화하는 등의 지장을 초래하여서는 안 된다.

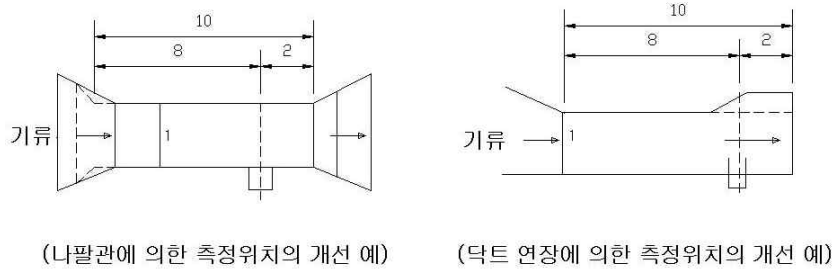


그림 4. 배출가스흐름의 개선 예

2.2 측정공의 규격

2.1.1에서 기술한 방법으로 선정된 측정위치에는 측정 작업을 위한 측정공이 설치되어야 한다. 측정공은 그림 5와 같이 측정위치로 선정된 굴뚝 벽면에 내경 100 mm ~ 150 mm 정도로 설치하고 측정 시 이외에는 마개를 막아 밀폐하고 측정 시에도 흡입관 삽입 이외의 공간은 공기가 새지 않도록 밀폐되어야 한다.

2.3 측정작업대

측정자의 안전을 위한 작업대가 설치되어야 한다. 측정작업대는 측정 장비의 설치와 측정자의 작업을 쉽게 하기 위하여 충분히 크고 견고해야 한다. 보통 그 크기는 측정 장비를 설치하고 2 인 ~ 3 인의 측정 작업자가 충분히 작업할 수 있는 공간과 지지력이 마련되어야 한다. 또한, 측정작업대까지 오르기 위한 적당한 승강시설을 그림 6의 시설 등과 같이 굴뚝에 견고히 설치하여 측정자의 안전을 보호하고 장비의 운반 및 측정을 위한 도르래, 전기 등의 시설을 설치하여야 한다.

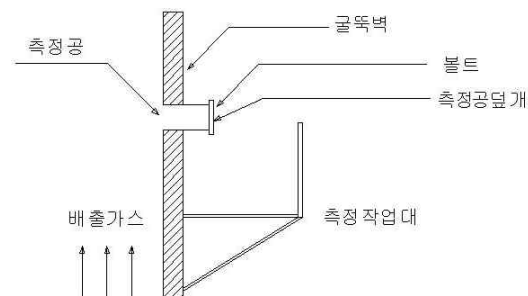


그림 5. 측정공의 구조 예

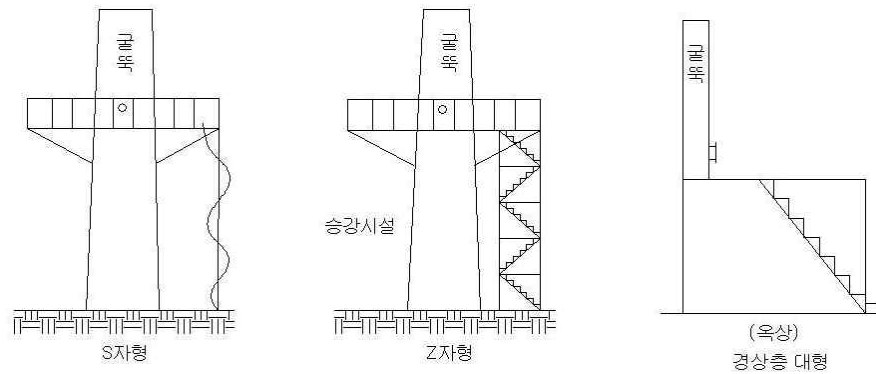


그림 6. 안전한 승강시설의 구조 예

2.4 측정점의 선정

측정점은 측정위치로 선정된 굴뚝단면의 모양과 크기에 따라 다음과 같은 방법으로 적당수의 등면적으로 구분하고 구분된 각 면적마다 측정점을 선정한다. 단, 가스상 물질 시료채취에 한하여 보일러 굴뚝과 같이 배출가스의 농도가 균일하다고 인정되는 경우에는 대표적인 시료가 채취되는 점, 예를 들면 굴뚝 중심에 가장 가까운 측정점을 선정한다.

2.4.1 굴뚝단면이 원형일 경우

그림 7과 같이 측정 단면에서 서로 직교하는 직경선상에, 표 1이 부여하는 위치를 측정점으로 선정한다. 측정점수는 굴뚝직경이 4.5 m를 초과할 때는 20 점까지로 한다.

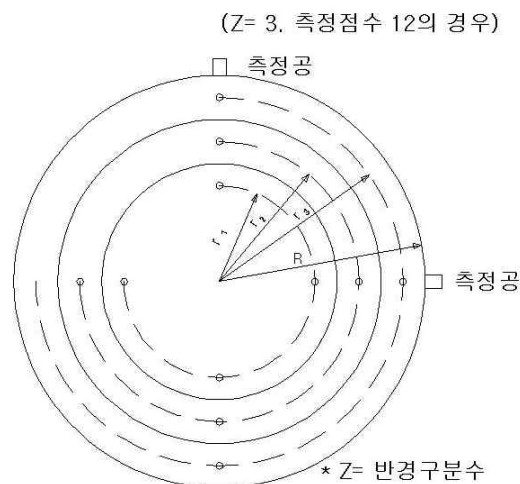


그림 7. 원형단면의 측정점 예

2.4.1.1 굴뚝 단면적이 0.25 m^2 이하로 소규모일 경우에는 그 굴뚝 단면의 중심을 대표 점으로 하여 1 점만 측정한다.

2.4.1.2 측정 단면에서 유속의 분포가 비교적 대칭을 이루는 경우 수평굴뚝은 수직대칭 축에 대하여 1/2의 단면을 취하고 측정점의 수를 1/2로 줄일 수 있으며, 수직 굴뚝은 1/4의 단면을 취하고 측정점의 수를 1/4로 줄일 수 있다.

표 1. 원형단면의 측정점

굴뚝직경 2R (m)	반 경 구분수	측정점수	굴뚝 중심에서 측정점까지의 거리 r_n (m)				
			r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
1 이하	1	4	0.707 R	-	-	-	-
1 초과 2 이하	2	8	0.500 R	0.866 R	-	-	-
2 초과 4 이하	3	12	0.408 R	0.707 R	0.913 R	-	-
4 초과 4.5 이하	4	16	0.354 R	0.612 R	0.791 R	0.935 R	-
4.5 초과	5	20	0.316 R	0.548 R	0.707 R	0.837 R	0.949 R

2.4.2 굴뚝 단면이 사각형일 경우

굴뚝 단면이 사각형일 때는 다음과 같이 단면적에 따라 등단면적의 사각형으로 구분하고 구분된 각 등단면적의 중심에 측정점 수를 표 2와 같이 선정한다.

표 2. 사각형 굴뚝단면적의 측정점 수

굴뚝단면적 (m^2)	구분된 1변의 길이 L (m)
1 이하	$L \leq 0.5$
1 초과 4 이하	$L \leq 0.667$
4 초과 20 이하	$L \leq 1$

측정 단면은 그림 8과 같이 한 변의 길이 (L)가 표 2의 규정에 따라 1 m 이하의 범위에서 4 개 이상의 등단면적의 직사각형 또는 정사각형으로 나누어 중심에 측정점을 선정한다. 단 굴뚝의 단면적이 20 m^2 를 초과하는 경우는 측정점수는 20 점까지로 하고 등단면적으로 구분한다. 단 측정 단면에서 흐름이 비대칭인 경우는 비대칭 방향으로 구분한 한 변의 길이는 그것과 수직방향의 한 변 길이보다도 짧게 취하여 측정점의

개수를 각각 증가시킨다.

2.4.2.1 굴뚝 단면적이 0.25 m^2 이하로 소규모일 경우에는 그 굴뚝 단면의 중심을 대표 점으로 하여 1 점만 측정한다.

2.4.2.2 측정 단면에서 유속의 분포가 비교적 대칭을 이루는 경우 수평굴뚝은 수직대칭 축에 대하여 1/2의 단면을 취하고 측정점의 수를 1/2로 줄일 수 있으며, 수직 굴뚝은 1/4의 단면을 취하고 측정점의 수를 1/4로 줄일 수 있다.

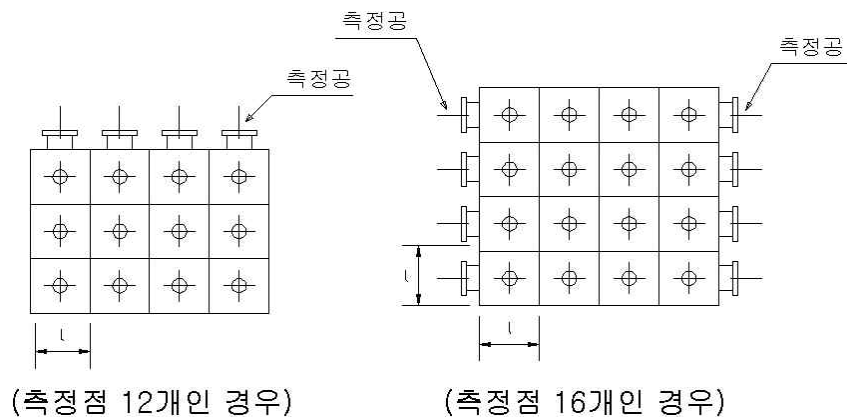


그림 8. 사각형 굴뚝단면의 측정위치

2.4.3 굴뚝 단면이 기타 모양일 경우

굴뚝 단면의 모양이 한쪽은 원형 (아치형)이고 또 다른 한쪽은 사각형 또는 기타 모양일 경우에는 2.4.1, 2.4.2에 따라 측정점 수를 결정한다.

3.0 배출가스의 유속, 유량 측정법

이 측정법은 굴뚝에서 배출되는 건조배출가스의 유량을 구하는 방법에 대하여 규정한다. 건조 배출가스 유량은 단위시간 당 배출되는 표준상태의 건조 배출가스량 ($\text{Sm}^3/\text{시간}$)으로 나타낸다. 2.4의 규정에 의하여 선정된 각 측정점마다 배출가스의 온도, 정압 및 동압을 측정하고, 굴뚝 중심에 가까운 한 측정점을 택하여 배출가스 중의 수분량 및 배출가스 밀도를 구한 후, 계산에 의해 배출가스 유속 및 유량을 산출하고 그 결과를 표 3과 같은 양식의 측정기록지에 기록한다.

3.1 배출가스 온도 측정

3.1.1 측정점

측정점은 2.4의 규정에 따라 선정한다. 단, 측정점 수는 줄여도 무방하다.

3.1.2 측정기구

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

3.1.3 측정방법

측정방법은 측정기구를 측정공에 끼워넣고 측정점에서 온도를 측정한다. 단, 적외선 온도계 (복사온도계)의 경우에는 측정기구를 넣지 않고도 측정할 수 있다.

3.2 배출가스 중의 수분량 측정

측정점은 2.4에서 규정한 위치에서 굴뚝 중심에 가까운 곳을 선정한다. 측정방법은 별도의 흡습관을 이용하는 방법, 임핀저를 이용하는 방법, 자동측정법, 수분응축기를 사용하는 방법 및 계산에 의한 방법 등이 있다.

표 3. 배출가스 유량 측정표

공장명
측정대상명
작성자명
측정일
굴뚝 단면적 (m²)
기온 (℃)
피토크관 계수
수분량 (%)
배출가스 밀도 (kg/m³)

측정번호
기압 (mmHg)

굴뚝 단면 및 측정점
배열

측 정 점 번 호	배 출 가 스 동 압 (h) (mmH ₂ O)	배 출 가 스 온 도 (θ) (℃)	배 출 가 스 정 압 (P _s) (mmHg)	\sqrt{h}
평 균		$\overline{\theta}_s$	\overline{p}_s	$(\sqrt{h})_{avg}$

[주 1] 배출시설의 조업 및 가동상태는 별지에 기록

3.2.1 별도의 흡습관을 이용하는 방법

3.2.1.1 시료채취장치 1형을 사용하는 경우

3.2.1.1.1 측정장치

흡습관법에 따른 수분량 측정장치는 그림 9와 같이 흡입관, 흡습관, 기체흡입 및 유량 측정부 등으로 구성된다.

(1) 흡입관 : 스테인리스강 또는 석영제 유리관을 사용한다. 먼지의 혼입을 방지하기 위하여 흡입관의 선단에 유리섬유 등의 여과재를 넣어둔다.

(2) 흡습관 : U자관 또는 흡습관에 무수염화칼슘 (입상) 등의 흡습제를 넣고 흡습제의 비산을 방지하기 위하여 유리섬유로 채워 막으며 원칙적으로 2 개의 흡습관을 사용한다.

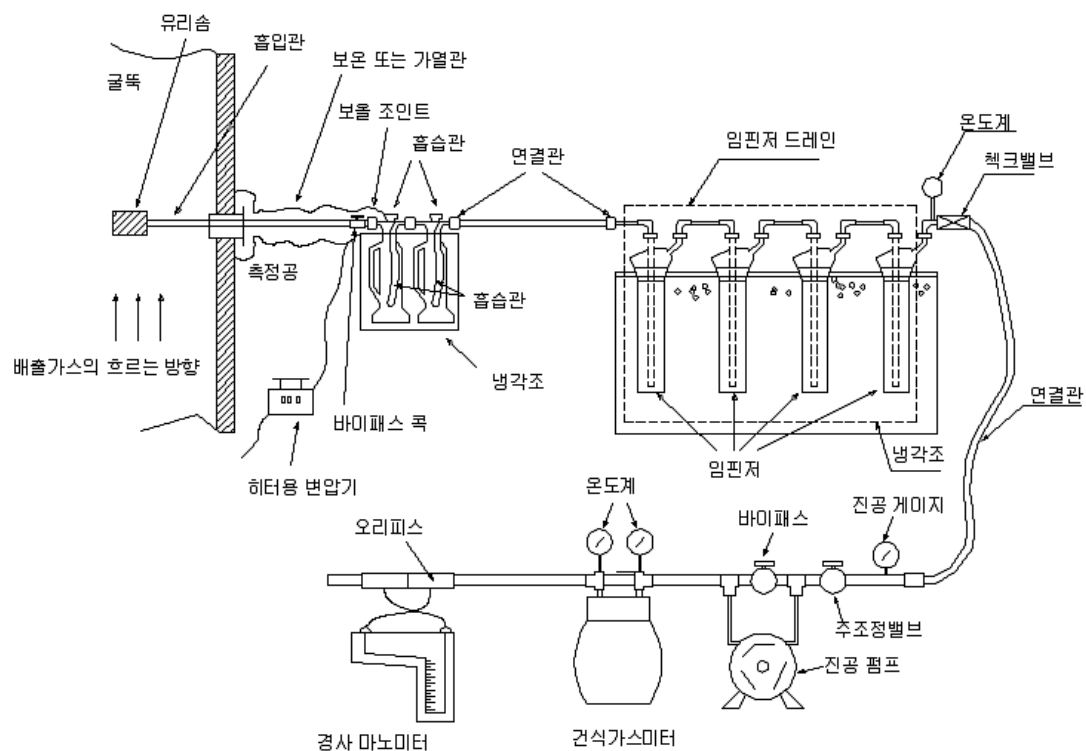


그림 9. 수분량 측정장치 (1형)

3.2.1.1.2 측정방법

- (1) 흡습관에 흡습제를 채운 후 표면의 부착물을 깨끗이 씻어내고 흡습관의 콕을 닫고 그 무게를 달아 m_{a1} 이라 한다.
- (2) 임핀저 트레인 중에 첫 번째와 두 번째 임핀저에 100 g의 물을 넣고 네 번째 임핀저에 200 g ~ 300 g의 실리카겔을 넣는다.
- (3) 흡입관 내부에서 수분이 응축하지 않도록 보온 및 가열한다.
- (4) 냉각조를 사용하여 흡습관을 냉각하여야 한다.
- (5) 흡입관을 측정공에 끼워넣고 흡습관을 연결한 후 흡습관의 콕을 열고 진공펌프 등의 흡입장치를 가동시켜 기체를 흡입한다.
- (6) 흡입유량결정 : 배출가스 흡입 유량을 1 개의 흡습관내의 흡습제 1 g당 0.1 L/min 이하가 되도록 흡입유량 조절밸브로 조절한다. 흡입기체량은 흡습된 수분이 0.1 g ~ 1 g이 되도록 한다. 흡입기체량은 적산유량계로서 0.1 L 단위까지 읽는다.
- (7) 기체흡입 중에 기체온도, 압력 및 유량을 측정한다.
- (8) 필요한 배출가스를 흡입한 후 흡습관의 콕을 닫고 배관을 분리한다.
- (9) 흡습관 표면의 수분 및 부착물을 잘 닦은 후 무게를 달고 그 무게를 m_{a2} 로 한다. 분석용 저울은 10 mg 차이까지 읽을 수 있는 것을 사용한다.

3.2.1.1.3 수분량 계산

배출가스 중의 수분량은 습한 기체 중의 수증기의 부피백분율로 표시하고 다음 식에 의해 구한다.

$$X_w = \frac{\frac{22.4}{18} m_a}{V_m \times \frac{273}{273 + \Theta_m} \times \frac{P_a + P_m}{760} + \frac{22.4}{18} m_a} \times 100 \quad (\text{식 11})$$

여기서, X_w : 배출가스 중의 수증기의 부피 백분율 (%)

m_a : 흡습 수분의 질량 ($m_{a2} - m_{a1}$) (g)

V_m : 흡입한 건조 기체량(건식가스미터에서 읽은 값) (L)

Θ_m : 가스미터에서의 흡입 기체 온도 ($^{\circ}\text{C}$)

P_a : 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

P_m : 가스미터에서의 기체의 게이지압 (mmHg)

3.2.1.2 시료채취장치 2형을 사용하는 경우

3.2.1.2.1 측정장치

흡습관법의 시료채취장치 2형은 시료채취장치 1형과 같은 부품들로 구성되어 있으나 여과지홀더의 위치만이 시료채취장치 1형과 다르며, 수분량 측정장치의 구성은 그림 10과 같다.

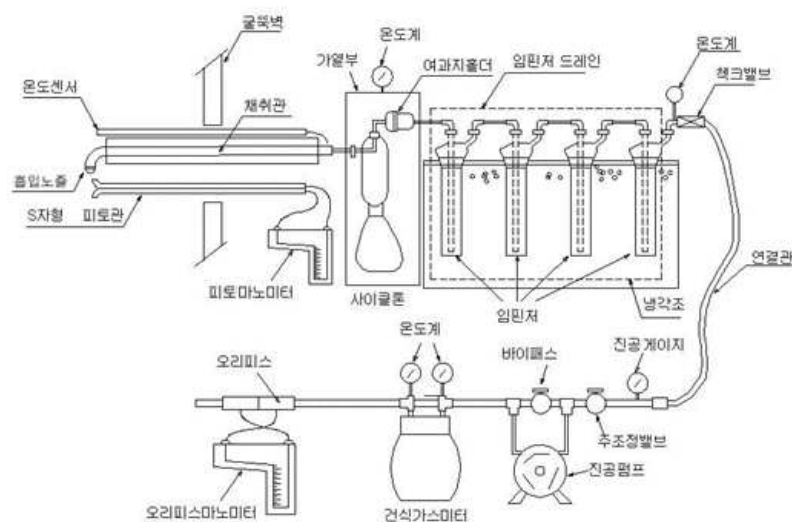


그림 10. 수분량 측정장치 (2형)

3.2.1.2.2 측정방법

(1) 임핀저 트레이 중에 첫 번째와 두 번째 임핀저에 100 mg의 물을 정확히 달아 넣고 네 번째 임핀저에 (200 ± 0.5) g의 실리카겔을 10 mg까지 정확히 달아 넣고 총무게를 m_{a1} 이라 한다.

- (2) 임핀저 주위에 얼음조각을 채워 넣고 각 연결부를 연결한다.
- (3) 흡입관과 여과부 가열장치가 $120\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 가 되도록 가열한 후 흡입한다.
- (4) 기체흡입 중에 배출가스 온도, 압력 및 유량을 측정한다.
- (5) 필요한 배출가스를 흡입하고 임핀저 트레인을 분리한다.
- (6) 임핀저 트레인 중에 첫 번째와 두 번째 임핀저에 들어있는 물을 $\pm 1\text{ mL}$ 까지 측정하거나 혹은 저울을 이용해 $\pm 0.5\text{ g}$ 이내까지 정확히 측정하고 네 번째 들어있는 실리카겔을 10 mg 까지 정확히 달아 총 무게를 m_{a2} 라 한다.

3.2.1.2.3 수분량 계산

3.2.1.1.3에 따른다.

3.2.1.3 시료채취장치 3형을 사용하는 경우

3.2.1.3.1 측정장치 구성

시료채취장치 3형은 굴뚝 배출의 입자상물질을 수동식으로 채취할 경우에 사용하며, 이때 수분량 측정장치의 구성은 그림 11과 같다.

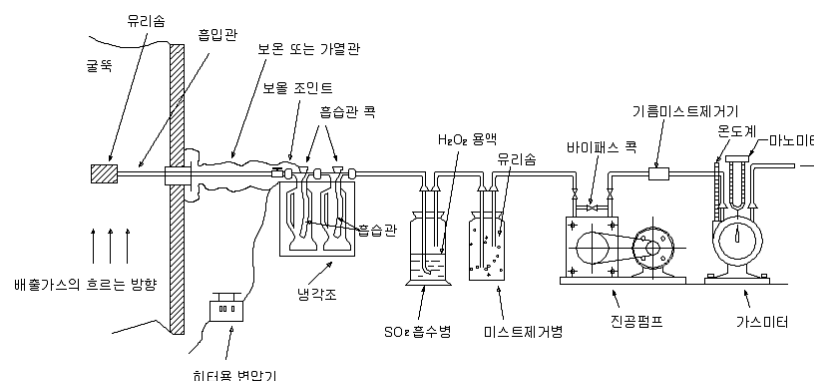


그림 11. 수분량 측정장치 (3형)

3.2.1.3.2 측정장치와 측정방법

3.2.1.1.1과 3.2.1.1.2의 규정에 따른다.

3.2.1.3.3 수분량의 계산

배출가스 중의 수분량은 습한 기체 중의 수증기의 부피 백분율로 표시하고 다음 식에 의하여 구한다.

(1) 습식 가스미터를 사용할 때

$$X_w = \frac{\frac{22.4}{18} m_a}{V_m \times \frac{273}{273 + \Theta_m} \times \frac{P_a + P_m - P_v}{760} + \frac{22.4}{18} m_a} \times 100 \quad (\text{식 } 12)$$

(2) 건식 가스미터를 사용할 때

식 12에서 P_v 항을 삭제하고, V_m 을 흡입한 기체량 (건식가스메타에서 읽은 값)으로 계산한다. 단, 건식 가스미터의 앞에서 기체를 건조한 경우에 한한다.

$$X_w = \frac{\frac{22.4}{18} m_a}{V_m' \times \frac{273}{273 + \Theta_m} \times \frac{P_a + P_m}{760} + \frac{22.4}{18} m_a} \times 100 \quad (\text{식 } 13)$$

여기서, X_w : 배출가스 중의 수증기의 부피 백분율 (%)

m_a : 흡습 수분의 질량 ($m_{a2} - m_{a1}$) (g)

V_m : 흡입한 기체량 (습식 가스미터에서 읽은 값) (L)

V_m' : 흡입한 기체량 (건식 가스미터에서 읽은 값) (L)

Θ_m : 가스미터에서의 흡입 기체온도 (°C)

P_a : 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

P_m : 가스미터에서의 기체게이지압 (mmHg)

P_v : Θ_m 에서의 포화 수증기압 (mmHg)

[주 2] 물의 포화수증기압은 표 4에 의하여 구한다.

3.2.1.4 수분응축기를 사용하는 경우

3.2.1.4.1 측정장치 및 기구

응축기에 의한 수분량 측정장치는 흡입관, 응축기, 기체흡입장치, 가스미터 등으로 구성되고 그림 11의 흡습관 대신 그림 12에 표시한 것과 같은 응축기를 연결한다.

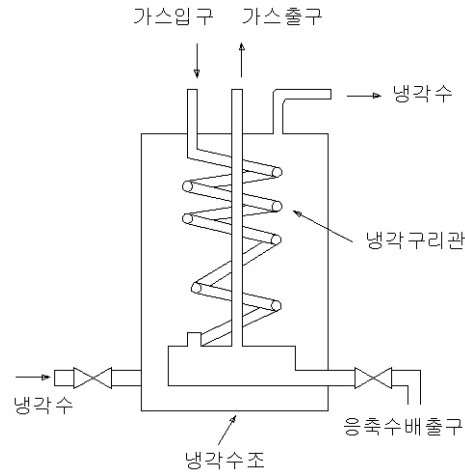


그림 12. 수분응축기

3.2.1.4.2 측정방법

배출가스의 흡입유량은 보통 10 L/min ~ 30 L/min으로 하고 흡입량은 응축기에 응축된 수분량이 20 mL 이상이 되도록 한다.

3.2.1.4.3 수분량의 계산

응축된 수분량(m_c)의 무게를 달고 다음 식에 의하여 배출가스 중의 수분량을 계산한다.

$$X_w = \frac{V_m \times \frac{273}{273 + \Theta_m} \times \frac{P_v}{760} + \frac{22.4}{18} m_c}{V_m \times \frac{273}{273 + \Theta_m} \times \frac{P_a + P_m}{760} + \frac{22.4}{18} m_c} \times 100 \quad (\text{식 14})$$

여기서, X_w : 배출가스 중의 수증기의 부피 백분율 (%)

P_v : Θ_m 에서 포화 수증기압 (mmHg)

- P_a : 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)
 P_m : 가스미터의 기체게이지압 (mmHg)
 V_m : 흡입한 기체량(가스미터에서 읽은 값) (L)
 Θ_m : 가스미터의 흡입 기체온도 (°C)
 m_c : 응축기에 응축된 수분의 무게

3.2.2 계산에 의한 방법

사용 연료의 양과 조성 및 불어 넣은 공기량, 습도 등으로부터 다음 식에 의하여 계산된다.

$$X_w = \frac{W_g}{G} \times \frac{22.4}{18} \times 100 \quad (\text{식 15})$$

여기서, X_w : 습한 배출가스 중의 수증기의 부피 백분율 (%)

W_g : 연료 단위량 당 발생기체 중의 수분량

(kg/kg : 고체 또는 액체연료, kg/Sm³ : 기체연료)

G : 연료 단위량 당 습한 배출가스량

(Sm³/kg : 고체 또는 액체연료, Sm³/Sm³ : 기체연료)

3.2.2.1 연료 단위량 당 발생가스 중의 수분량 (W_g)의 계산

3.2.2.1.1 고체 또는 액체 연료일 때

$$W_g = \frac{29}{22.4} A_v K + \frac{W_r}{100} + \frac{9H}{100} \quad (\text{식 16})$$

3.2.2.1.2 기체 연료일 때

$$W_g = \frac{29}{22.4} A_v K + \frac{18}{22.4} \times \frac{1}{100} (H_2 + 2CH_4 + 2C_2H_4 + \dots) \quad (\text{식 17})$$

여기서,

A_v : 연료 단위량 당 사용한 건조공기량 (Sm^3/kg : 고체 또는 액체 연료, Sm^3/Sm^3 : 기체연료)

K : 연소용 공기의 절대습도[습한 공기 중의 수증기량과 건조공기량과의 질량비 (kg/kg 건조공기)]

$$K = \frac{0.622 \phi P_v}{100 P_a - \phi P_v}$$

여기서, ϕ : 상대습도 (%)

P_v : 물의 포화증기압 (mmHg)

P_a : 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

W_r : 연료중의 전 수분의 무게 백분율 (%)

H : 연료 중의 수소분 (사용시 기준)의 무게 백분율 (%)

H_2 : 연료기체 중의 수소의 부피 백분율 (%)

CH_4 : 연료기체 중의 메테인의 부피 백분율 (%)

C_2H_4 : 연료기체 중의 에틸렌의 부피 백분율 (%)

[주 3] 증기가 스며들거나 제품 등에서 수분이 발생하여 배출가스 중에 포함될 때는 다음과 같이 이 수분량을 연료단위량 당으로 환산하여 W_g 에 더한다.

3.2.2.2 연료 단위량 당 습한 배출가스량 (G)의 계산

3.2.2.2.1 고체 또는 액체 연료일 때

$$G = G' + \frac{22.4}{18} W_g \quad (\text{식 } 18)$$

$$\text{여기서, } G' = (m - 0.21)A_0 + 1.867 \frac{C'}{100} + 0.7 \frac{S}{100} + 0.8 \frac{N}{100}$$

$$m = \frac{(N_2)}{(N_2) - 3.76(O_2) - 0.5(CO)}$$

$$A_0 = \frac{1}{100} [8.89C' + 26.7(H - \frac{O}{8}) + 3.33S]$$

$$\text{또는 } G' = \frac{1.867 C'}{(CO_2) + (CO)}$$

여기서, G : 연료 단위량 당 건조 배출가스량 (Sm^3/kg : 고체 또는 액체연료, Sm^3/Sm^3 : 기체연료)

m : 공기비

W_g : 연료 중에 함유되어있는 총 수분의 무게 백분율 (%)

H : 연료 중에 함유되어있는 수소의 무게 백분율 (%)

C' : 연료 중에 함유되어있는 탄소의 무게 백분율 (%)

S : 연료 중에 함유되어있는 유황의 무게 백분율 (%)

N : 연료 중에 함유되어있는 질소의 무게 백분율 (%)

O : 연료 중에 함유되어있는 산소의 무게 백분율 (%)

A_0 : 연료 1 kg당의 이론 공기량 (Sm^3/kg 연료)

(N_2) : 건조 배출가스 중에 함유되어있는 질소의 부피 백분율 (%)

(O_2) : 건조 배출가스 중에 함유되어있는 산소의 부피 백분율 (%)

(CO) : 건조 배출가스 중에 함유되어있는 일산화탄소의 부피 백분율 (%)

(CO_2) : 건조 배출가스 중에 함유되어있는 이산화탄소의 부피 백분율 (%)

3.2.2.2.2 기체 연료일 때

$$G = G' + \frac{1}{100} (H_2 + 2CH_4 + 2C_2H_4 + \dots) \quad (\text{식 } 19)$$

$$\text{여기서, } G' = \frac{(CO + CO_2 + CH_4 + 2C_2H_4 + \dots)}{(CO_2) + (CO)}$$

여기서, G' : 연료 단위량 당 건조 배출가스량 (Sm^3/Sm^3 : 기체연료)

H_2 : 건조 연료기체 중의 수소의 부피 백분율 (%)

CH_4 : 건조 연료기체 중의 메테인의 부피 백분율 (%)

C_2H_4 : 건조 연료기체 중의 에틸렌의 부피 백분율 (%)

CO : 건조 배출가스 중의 일산화탄소의 부피 백분율 (%)

CO_2 : 건조 배출가스 중의 이산화탄소의 부피 백분율 (%)

3.2.2.3 스크러버 출구 등 배출가스 중에 물방울이 공존할 때는 배출가스 온도의 포화

수증기압을 사용하며, 다음 식으로 수분량을 계산한다 (100 ℃ 이하일 때).

$$X_w = \frac{P_v}{P_a + P_s} \times 100 \quad (\text{식 } 20)$$

여기서, X_w : 배출가스 중의 수증기 부피 백분율 (%)

P_v : 배출가스 온도의 포화수증기압 (mmHg)

P_a : 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

P_s : 배출가스의 정압 (mmHg)

3.3 배출가스의 밀도 측정

배출가스 조성으로부터 계산으로 구하거나 기체밀도계에 의한 측정치로 계산한다.

$$\gamma = \gamma_o \times \frac{273}{273 + \Theta_s} \times \frac{P_a + P_s}{760} \quad (\text{식 } 21)$$

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

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

여기서, γ : 굴뚝 내의 배출가스 밀도 (kg/m³)

γ_o : 온도 0 ℃, 기압 760 mmHg로 환산한 습한 배출가스 밀도 (kg/Sm³)

γ_d : 기체밀도계에 의해 구한 건조 배출가스 밀도 (kg/m³)

P_a : 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

P_s : 각 측정점에서 배출가스 정압의 평균치 (mmHg)

Θ_s : 각 측정점에서 배출가스 온도의 평균치 (℃)

$M_1, M_2 \dots M_n$: 배출가스 각 성분의 분자량

$x_1, x_2, \dots x_n$: 건조배출가스 각 성분의 부피 백분율 (%)

X_w : 배출가스 중의 수증기의 부피 백분율 (%)

[주 4] 일반적으로 고체연료 및 액체연료를 공기를 사용하여 연소시킬 때는 $\gamma_o = 1.30 \text{ kg/m}^3$ 로 하는 것도 좋다.

3.4 배출가스의 정압 및 동압 측정

3.4.1 배출가스의 동압 측정방법

배출가스의 동압을 측정하는 기구로서는 피토관 계수가 정해진 피토관이나 경사마노미터 등의 미압계를 사용한다. 측정기구의 보기는 그림 13과 같다. 피토관이 전압공을 측정점에서 기체의 흐르는 방향에 수직으로 놓고 동압을 측정한다.

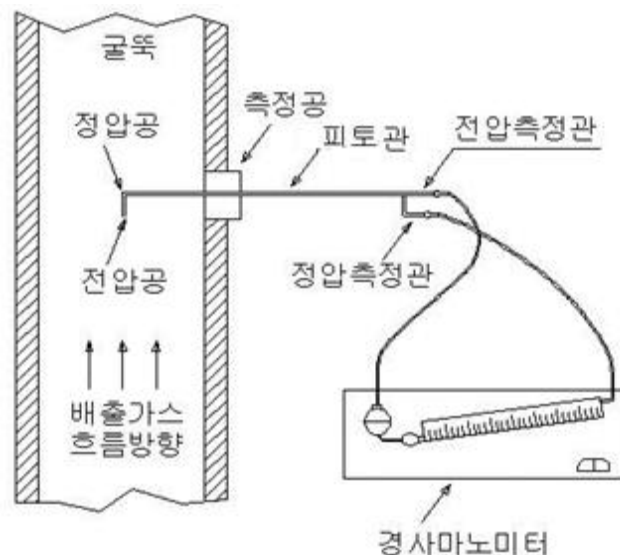


그림 13. 피토관에 의한 압력측정

3.4.2 배출가스의 정압 측정방법

측정기구는 피토관 또는 정압관 및 U자형 마노미터 또는 미압계를 사용하여 각 측정점에서 정압을 측정한다. 단, 측정점의 수는 줄여도 좋다.

3.5 유속 및 유량 계산

다음 식들을 이용하여 배출가스 유속 및 유량을 산출한다.

3.5.1 배출가스 평균유속

$$\overline{V} = C \sqrt{\frac{2gh}{r}} \quad (\text{식 } 22)$$

여기서, \overline{V} : 배출가스 평균유속 (m/s)

C : 피토관 계수

h : 배출가스 동압측정치 (mmH₂O)

g : 중력가속도 (9.8 m/s²)

r : 굴뚝 내의 습한 배출가스 밀도 (kg/Sm³)

[주 5] 배출가스 유속의 측정에는 피토관으로 교정한 풍속계 등의 기체 유속계를 써도 좋다. 단, 배출가스의 성상 (온도, 압력 및 조성) 및 성질에 따라 지시값이 달라질 때는 피토관에 의한 측정치로 보정한다.

3.5.2 건조 배출가스 유량

3.5.2.1 원형, 직사각형 또는 정사각형 단면일 때

$$Q_N = \overline{V} \times A \times \frac{273}{273 + \overline{\Theta}_s} \times \frac{P_a + \overline{P}_s}{760} \times \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) \times 3,600 \quad (\text{식 } 23)$$

여기서, QN : 건조 배출가스 유량 (Sm³/h)

\overline{V} : 배출가스 평균유속 (m/s)

A : 굴뚝 단면적 (Sm²)

$\overline{\Theta}_s$: 배출가스 평균온도 (°C)

P_a : 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

\overline{P}_s : 배출가스 평균정압 (mmHg)

X_w : 배출가스 중의 수분량 (%)

3.5.2.2 상부원형, 아치형 단면일 때

$$Q_N = (A_1 \overline{V}_1 + A_2 \overline{V}_2) \times \frac{273}{273 + \overline{\Theta}_s} \times \frac{P_a + \overline{P}_s}{760} \times \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) \times 3,600 \quad (\text{식 } 24)$$

여기서, Q_N : 건조 배출가스 유량 (Sm^3/h)

A_1 : 반원형부분 단면적 (m^2)

\overline{V}_1 : 반원형부분 평균유속 (m/s)

A_2 : 사각형부분 단면적 (m^2)

\overline{V}_2 : 사각형부분 평균유속 (m/s)

3.5.2.3 기타 모양의 단면일 때

3.5.2.1 및 3.5.2.2에 준하여 산출한다.

3.5.2.4 연소 계산에 의할 때

3.2.2 의 G 및 m 을 이용하여 다음 식에 따라 구한다.

$$Q_N = G W m \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) \quad (\text{식 } 25)$$

여기서, Q_N : 건조배출가스 유량 (Sm^3/h)

G : 연료 단위량당 건조배출가스유량 (Sm^3/kg (고체 또는 액체연료), Sm^3/Sm^3 (기체연료))

W : 시간당 연료사용량 (kg/h (고체 또는 액체연료), Sm^3/h (기체연료))

m : 공기비

표 4. 물의 포화수증기압

단위: mmHg

온도 (℃)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4.585	4.618	4.652	4.686	4.720	4.754	4.788	4.823	4.858	4.893
1	4.929	4.964	5.000	5.036	5.073	5.109	5.146	5.183	5.220	5.258
2	5.295	5.333	5.372	5.410	5.449	5.488	5.527	5.566	5.606	5.646
3	5.686	5.727	5.767	5.808	5.850	5.891	5.933	5.975	6.017	6.059
4	6.102	6.145	6.189	6.232	6.276	6.320	6.365	6.409	6.454	6.499
5	6.545	6.591	6.637	6.683	6.730	6.777	6.824	6.871	6.919	6.967
6	7.016	7.064	7.113	7.163	7.212	7.262	7.312	7.363	7.414	7.465
7	7.516	7.568	7.620	7.673	7.725	7.779	7.832	7.885	7.939	7.994
8	8.048	8.103	8.158	8.214	8.270	8.326	8.383	8.440	8.497	8.555
9	8.613	8.671	8.730	8.789	8.848	8.908	8.968	9.029	9.090	9.150
10	9.212	9.274	9.336	9.399	9.462	9.526	9.589	9.653	9.718	9.783
11	9.848	9.914	9.980	10.05	10.11	10.18	10.25	10.32	10.38	10.45
12	10.52	10.59	10.66	10.73	10.80	10.87	10.95	11.02	11.09	11.16
13	11.24	11.31	11.38	11.46	11.53	11.61	11.69	11.76	11.84	11.92
14	11.99	12.07	12.15	12.23	12.31	12.39	12.47	12.55	12.63	12.71
15	12.79	12.88	12.96	13.04	13.13	13.21	13.30	13.38	13.47	13.56
16	13.64	13.73	13.82	13.91	14.00	14.08	14.17	14.26	14.36	14.45
17	14.54	14.63	14.72	14.82	14.91	15.01	15.10	15.20	15.29	15.39
18	15.49	15.58	15.68	15.78	15.88	15.98	16.08	16.18	16.28	16.39
19	16.49	16.59	16.70	16.80	16.91	17.01	17.12	17.22	17.33	17.44
20	17.55	17.66	17.77	17.88	17.99	18.10	18.21	18.32	18.44	18.55
21	18.66	18.78	18.89	19.01	19.13	19.25	19.36	19.48	19.60	19.72
22	19.84	19.96	20.09	20.21	20.33	20.46	20.58	20.71	20.83	20.96
23	21.09	21.21	21.34	21.47	21.60	21.73	21.86	22.00	22.13	22.26
24	22.40	22.53	22.67	22.80	22.94	23.08	23.22	23.36	23.50	23.64
25	23.78	23.92	24.06	24.21	24.35	24.50	24.64	24.79	24.94	25.08
26	25.23	25.38	25.53	25.68	25.84	25.99	26.14	26.30	26.45	26.61
27	26.76	26.92	27.08	27.24	27.40	27.56	27.72	27.88	28.05	28.21
28	28.38	28.54	28.71	28.88	29.05	29.21	29.38	29.56	29.73	29.90
29	30.07	30.25	30.42	30.60	30.78	30.95	31.13	31.31	31.49	31.67
30	31.86	32.04	32.22	32.41	32.60	32.78	32.97	33.16	33.35	33.54
31	33.73	33.92	34.12	34.31	34.51	34.70	34.90	35.10	35.30	35.50
32	35.70	35.91	36.11	36.31	36.52	36.72	36.93	37.14	37.35	37.56
33	37.77	37.98	38.20	38.41	38.63	38.84	39.06	39.28	39.50	39.72
34	39.94	40.17	40.39	40.62	40.84	41.07	41.30	41.53	41.76	41.99
35	42.22	42.46	42.69	42.93	43.17	43.41	43.65	43.89	44.13	44.37
36	44.62	44.86	45.11	45.36	45.61	45.86	46.11	46.36	46.61	46.87
37	47.13	47.38	47.64	47.90	48.16	48.42	48.69	48.95	49.22	49.49
38	49.75	50.02	50.30	50.57	50.84	51.12	51.39	51.67	51.95	52.23
39	52.51	52.79	53.08	53.36	53.65	53.94	54.23	54.52	54.81	55.10
40	55.40	55.69	55.99	56.29	56.59	56.89	57.19	57.50	57.80	58.11
41	58.42	58.73	59.04	59.35	59.67	59.98	60.30	60.62	60.94	61.26

42	61.58	61.91	62.23	62.56	62.89	63.22	63.55	63.88	64.22	64.56
43	64.89	65.23	65.57	65.92	66.26	66.61	66.95	67.30	67.65	68.00
44	68.36	68.71	69.07	69.43	69.78	70.15	70.51	70.87	71.24	71.61
45	71.98	72.35	72.72	73.09	73.47	73.85	74.23	74.61	74.99	75.38
46	75.76	76.15	76.54	76.93	77.32	77.72	78.12	78.51	78.91	79.31
47	79.71	80.12	80.52	80.94	81.35	81.75	82.17	82.59	83.01	83.43
48	83.85	84.27	84.69	85.12	85.55	85.98	86.41	86.85	87.28	87.72
49	88.16	88.60	89.04	89.49	89.94	90.38	90.84	91.29	91.74	92.20
50	92.66	93.12	93.58	94.05	94.51	94.99	95.45	95.92	96.40	96.88
51	97.36	97.84	98.32	98.80	99.29	99.78	100.3	100.8	101.3	101.8
52	102.3	102.8	103.3	103.8	104.3	104.8	105.3	105.8	106.3	106.8
53	107.4	107.9	108.4	108.9	109.5	110.0	110.5	111.1	111.6	112.1
54	112.7	113.2	113.8	114.3	114.9	115.4	116.0	116.6	117.1	117.7
55	118.2	118.8	119.4	119.9	120.5	121.1	121.7	122.3	122.8	123.4
56	124.0	124.6	125.2	125.8	126.4	127.0	127.6	128.2	128.8	129.4
57	130.0	130.7	131.3	131.9	132.5	133.1	133.8	134.4	135.0	135.7
58	136.3	137.0	137.6	138.2	138.9	139.5	140.2	140.9	141.5	142.2
59	142.8	143.5	144.2	144.8	145.5	146.2	146.9	147.6	148.2	148.9
60	149.6	150.3	151.0	151.7	152.4	153.1	153.8	154.5	155.3	156.0
61	156.7	157.4	158.1	158.9	159.6	160.3	161.1	161.8	162.5	163.3
62	164.0	164.8	165.5	166.3	167.1	167.8	168.6	169.4	170.1	170.9
63	171.7	172.4	173.2	174.0	174.8	175.6	176.4	177.2	178.0	178.8
64	179.6	180.4	181.2	182.0	182.9	183.7	184.5	185.3	186.2	187.0
65	187.8	188.7	189.5	190.4	191.2	192.1	192.9	193.8	194.7	195.5
66	196.4	197.3	198.2	199.0	199.9	200.8	201.7	202.6	203.5	204.4
67	205.3	206.2	207.1	208.0	209.0	209.9	210.8	211.7	212.7	213.6
68	214.5	215.5	216.4	217.4	218.3	219.3	220.2	221.2	222.2	223.1
69	224.1	225.1	226.1	227.1	228.0	229.0	230.0	231.0	232.0	233.0
70	234.0	235.1	236.1	237.1	238.1	239.2	240.2	241.2	242.3	243.3
71	244.4	245.4	246.5	247.5	248.6	249.7	250.7	251.8	252.9	254.0
72	255.0	256.1	257.2	258.3	259.4	260.5	261.6	262.8	263.9	265.0
73	266.1	267.3	268.4	269.5	270.7	271.8	273.0	274.1	275.3	276.4
74	277.6	278.8	280.0	281.1	282.3	283.5	284.7	285.9	287.1	288.3
75	289.5	290.7	291.9	293.2	294.4	295.6	296.9	298.1	299.3	300.6
76	301.8	303.1	304.4	305.6	306.9	308.2	309.4	310.7	312.0	313.3
77	314.6	315.9	317.2	318.5	319.8	321.2	322.5	323.8	325.1	326.5
78	327.8	329.2	330.5	331.9	333.2	334.6	336.0	337.3	338.7	340.1
79	341.5	342.9	344.3	345.7	347.1	348.5	349.9	351.4	352.8	354.2
80	355.7	357.1	358.6	360.0	361.5	362.9	364.4	365.9	367.3	368.8
81	370.3	371.8	373.3	374.8	376.3	377.8	379.3	380.9	382.4	383.9
82	385.5	387.0	388.6	390.1	391.7	393.2	394.8	396.4	398.0	399.5
83	401.1	402.7	404.3	405.9	407.5	409.2	410.8	412.4	414.0	415.7
84	417.3	419.0	420.6	422.3	424.0	425.6	427.3	429.0	430.7	432.4
85	434.1	435.8	437.5	439.2	440.9	442.6	444.4	446.1	447.9	449.6
86	451.4	453.1	454.9	456.7	458.4	460.2	462.0	463.8	465.6	467.4
87	469.2	471.1	472.9	474.7	476.5	478.4	480.2	482.1	484.0	485.8
88	487.7	489.6	491.5	493.3	495.2	497.2	499.1	501.0	502.9	504.8

89	506.8	508.7	510.6	512.6	514.6	516.5	518.5	520.5	522.5	524.4
90	526.4	528.4	530.4	532.5	534.5	536.5	538.5	540.6	542.6	544.7
91	546.7	548.8	550.9	553.0	555.1	557.2	559.2	561.4	563.5	565.6
92	567.7	569.8	572.0	574.1	576.3	578.4	580.6	582.8	585.0	587.1
93	589.3	591.5	593.7	596.0	598.2	600.4	602.6	604.9	607.1	609.4
94	611.6	613.9	616.2	618.5	620.8	623.1	625.4	627.7	630.0	632.3
95	634.7	637.0	639.3	641.7	644.1	646.4	648.8	651.2	653.6	656.0
96	658.4	660.8	663.2	665.6	668.1	670.5	673.0	675.4	677.9	680.3
97	682.8	685.3	687.8	690.3	692.8	695.3	697.9	700.4	702.9	705.5
98	708.0	710.6	713.2	715.7	718.3	720.9	723.5	726.1	728.7	731.4
99	734.0	736.6	739.3	741.9	744.6	747.3	749.9	752.6	755.3	758.0
100	760.7	763.5	766.2	768.9	771.7	774.4	777.2	779.9	782.7	785.5

(참고: Sonntag (1990), ITS-90 기반의 물의 포화수증기압)

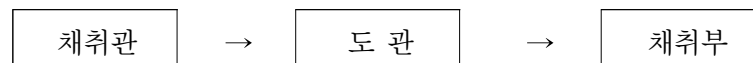
4.0 가스상 물질 시료채취방법

이 방법은 굴뚝을 통하여 대기 중으로 배출되는 가스상 물질을 분석하기 위한 시료의 채취방법에 대하여 규정한다. 단, 이 방법에서 표시하는 가스상 물질의 시료채취량은 표준상태로 환산한 건조시료가스량을 말한다.

4.1 시료채취장치

4.1.1 장치의 구성

흡수병, 채취병 등을 쓰는 시료채취장치는 다음의 각 요소로 구성된다.



4.1.2 채취관

4.1.2.1 재질

채취관, 충전 및 여과재의 재질은 배출가스의 조성, 온도 등을 고려해서 다음의 조건을 만족시키는 것을 선택한다.

4.1.2.1.1 화학반응이나 흡착작용 등으로 배출가스의 분석 결과에 영향을 주지 않는

것

4.1.2.1.2 배출가스 중의 부식성 성분에 의하여 잘 부식되지 않는 것

4.1.2.1.3 배출가스의 온도, 유속 등에 견딜 수 있는 충분한 기계적 강도를 갖는 것

4.1.2.1.4 채취관, 충전 및 여과재의 재질은 일반적으로 분석대상기체, 공존기체 및 사용온도 등에 따라서 표 5에 나타난 것 중에서 선택한다.

4.1.2.2 치수 (규격)

채취관은 흡입기체의 유량, 채취관의 기계적 강도, 청소의 용이성 등을 고려해서 안지름 6 mm ~ 25 mm 정도의 것을 쓴다. 채취관의 길이는 2.4에서 선정한 채취점까지 끼워 넣을 수 있는 것이어야 하고, 그림 14에 채취관의 보기를 나타내었다. 배출가스의 온도가 높을 때는 관이 구부러지는 것을 막기 위한 조치를 해두는 것이 필요하다. 먼지가 섞여 들어오는 것을 줄이기 위해서 채취관의 앞 끝의 모양은 직접 먼지가 들어오기 어려운 구조가 좋다.

표 5. 분석대상기체의 종류별 채취관 및 도관 등의 재질

분석대상기체, 공존기체	채취관, 도관의 재질	여과재	비고
암모니아	①②③④⑤⑥	a b c	① 경질유리
일산화탄소	①②③④⑤⑥⑦	a b c	② 석영
염화수소	①② ⑤⑥⑦	a b c	③ 보통강철
염소	①② ⑤⑥⑦	a b c	④ 스테인리스강
황산화물	①② ④⑤⑥⑦	a b c	⑤ 세라믹
질소산화물	①② ④⑤⑥	a b c	⑥ 플루오로수지
이황화탄소	①② ⑥	a b	⑦ 염화바이닐수지
폼알데하이드	①② ⑥	a b	⑧ 실리콘수지
황화수소	①② ④⑤⑥⑦	a b c	⑨ 네오프렌
플루오린화합물	④ ⑥	c	
사이안화수소	①② ④⑤⑥⑦	a b c	
브로민	①② ⑥	a b	a 알칼리 성분이 없는 유 리섬 또는 실리카섬
벤젠	①② ⑥	a b	
페놀	①② ④ ⑥	a b	b 소결유리
비소	①② ④⑤⑥⑦	a b c	c 카아보란덤

4.1.2.3 여과재

시료 중에 먼지 등이 섞여 들어오는 것을 막기 위하여 필요에 따라서 그림 15와 같이 채취관의 적당한 위치에 여과재를 넣는다. 여과재는 먼지의 제거율이 좋고 압력손실이 적으며 흡착, 분해작용 등이 일어나지 않는 것을 쓴다. 여과재를 끼우는 부분은 교환이 쉬운 구조의 것으로 한다.

여과재를 채취관 앞쪽에 넣는 경우 입자에 의해 채취관이 막히지 않도록 적절한 조치를 취한다.

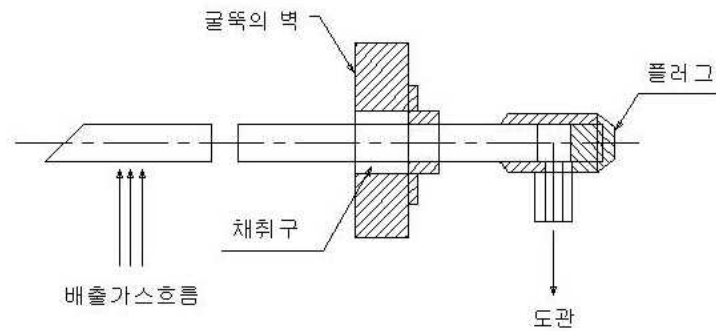


그림 14. 채취관

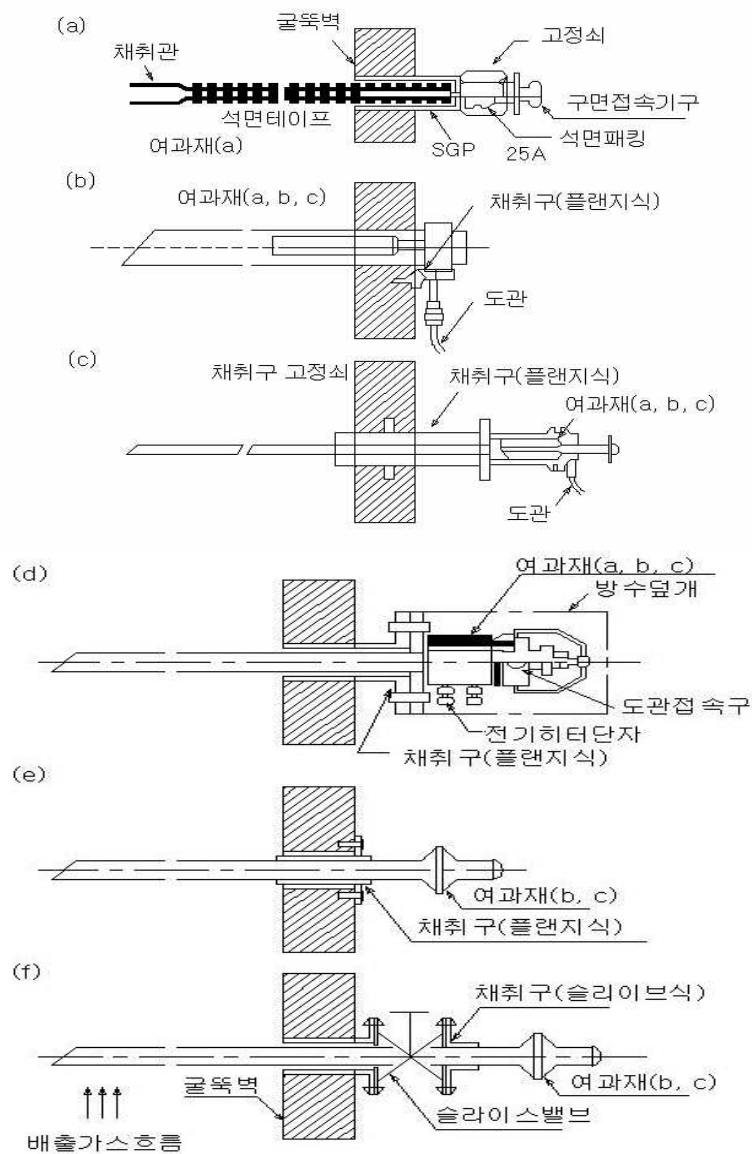


그림 15. 채취구 및 여과재의 설치

4.1.2.4 채취관의 고정용 기구

그림 15와 같이 채취구와 채취관과의 고정에는 여러 방법이 있다. 재료로서는 보통 강철 또는 스테인리스강을 쓴다.

4.1.2.5 보온 및 가열

배출가스 중의 수분 또는 이슬점이 높은 기체성분이 응축해서 채취관이 부식될 염려가 있는 경우, 여과재가 막힐 염려가 있는 경우, 분석대상기체가 응축수에 용해해서 오차가 생길 염려가 있는 경우에는 채취관을 보온 또는 가열한다. 보온 재료는 암면, 유리섬유제 등을 쓰고 가열은 전기가열, 수증기 가열 등의 방법을 쓴다. 전기가열 채취관을 쓰는 경우에는 가열용 히터를 보호관으로 보호하는 것이 좋다. 보호관이 붙은 전기가열 채취관의 보기는 그림 16과 같다. 보호관의 재질은 표 5에 나타난 것 중에서 적당한 것을 선정한다.

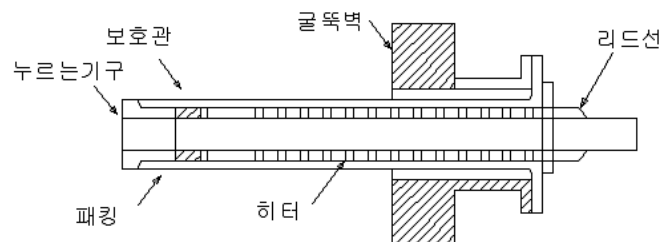


그림 16. 보호관이 붙은 전기가열 채취관

4.1.3 도관

4.1.3.1 재질

도관의 재질은 사용하는 채취관의 종류에 따라 적당한 것을 쓴다. 이온 부분이나 충전 등 도관의 일부에 부득이 흡착성이 있는 재질을 쓰는 경우에는 기체와의 접촉면적을 최소화한다. 도관, 충전 등의 재질에는 일반적으로 분석대상기체, 공존기체, 사용온도 등에 따라서 표 5에 나타난 것 중에서 선정한다. 일반적으로 사용되는 플루오로수지 도관 (녹는점 260 ℃)은 250 ℃ 이상에서는 사용할 수 없다.

4.1.3.2 치수 (규격)

도관의 안지름은 도관의 길이, 흡입기체의 유량, 응축수에 의한 막힘 또는 흡입펌프의 능력 등을 고려해서 4 mm ~ 25 mm로 한다. 가열도관은 시료도관, 퍼지라인 (purge line), 교정기체관, 열원 (선), 열전대 등으로 구성되어야 하며 그림 17에 그 보기를 나타내었다. 도관의 길이는 되도록 짧게 하고, 부득이 길게 해서 쓰는 경우에는 이음매가 없는 배관을 써서 접속 부분을 적게 하고 받침 기구로 고정해서 사용해야 한다.

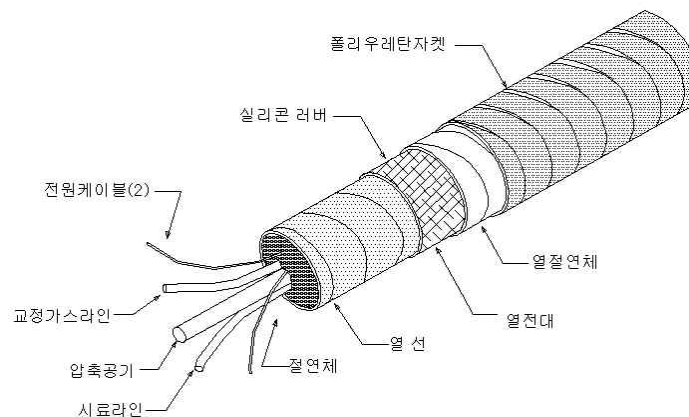


그림 17. 가열도관의 구성

도관은 가능한 한 수직으로 연결해야 하고 부득이 구부러진 관을 쓸 경우에는 응축수가 흘러나오기 쉽도록 경사지게 (5° 이상)하고 시료 가스는 아래로 향하게 한다. 도관은 새지 않는 구조이어야 하며, 분석계에서의 배출가스 및 바이패스 (bypass) 배출가스의 도관은 배후 압력의 변동이 적은 장소에 설치한다. 또한, 하나의 도관으로 여러 개의 측정기를 사용할 경우 각 측정기 앞에서 도관을 병렬로 연결하여 사용한다.

4.1.3.3 보온 및 가열

입자가 제거된 고온의 습한 배출가스가 유입되는 측정시스템이나 전처리 장치가 측정기 앞부분에 있는 경우에는 시료중의 수분 및 이슬점이 높은 기체 성분이 도관 속에서 응축되는 것을 막기 위하여 보온 또는 가열한다. 전처리 시설이 시료채취관에 있는 측정시스템의 경우에는 도관을 보온 또는 가열할 필요가 없다. 그림 18에 그 보기를 나타내었다.

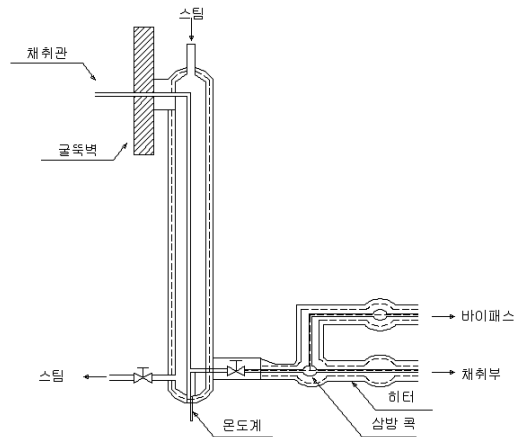


그림 18. 가열도관

4.1.4 채취부

그림 19에 나타난 바와 같이 기체 흡수병, 바이패스용 세척병, 펌프, 가스미터 등으로 조립한다. 접속에는 갈아맞춤 (직접접속), 실리콘 고무, 플루오로 고무 또는 연질 염화 바이닐관을 쓴다. 소량의 시료채취를 위해서는 그림 20 및 표 6에 나타난 각종 채취병을 쓴다.

4.1.4.1 흡수병

유리로 만든 것으로 분석대상 기체에 따라서 그림 21 (a)-(g) 및 표 6에 나타난 것을 사용할 수 있다.

4.1.4.2 수은 마노미터

대기와 압력차가 100 mmHg 이상인 것을 쓴다.

4.1.4.3 기체건조탑

유리로 만든 기체건조탑을 쓴다. 이것은 펌프를 보호하기 위해서 쓰는 것이며 건조제로서는 입자상태의 실리카겔, 염화칼슘 등을 쓴다.

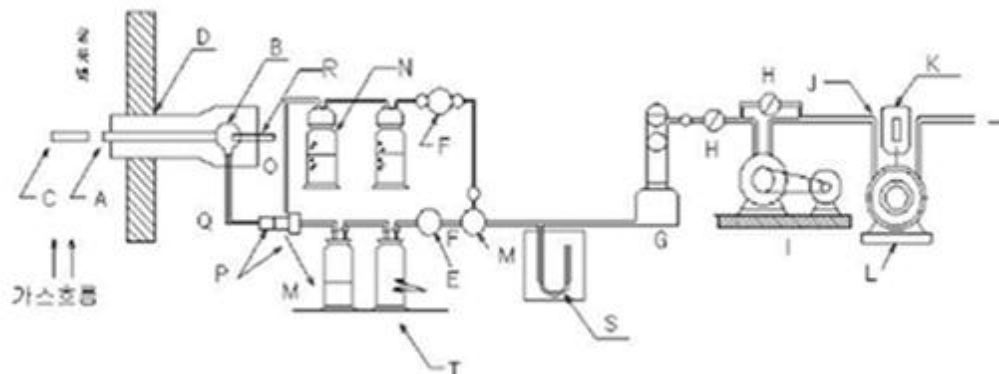
4.1.4.4 펌프

배기능력 0.5 L/min ~ 5 L/min인 밀폐형인 것을 쓴다.

4.1.4.5 가스미터

일회전 1L의 습식 또는 건식 가스미터로 온도계와 압력계가 붙어 있는 것을 쓴다.

(a) 흡수병을 쓰는 경우 (시료 채취량 10 L ~ 20 L의 경우)

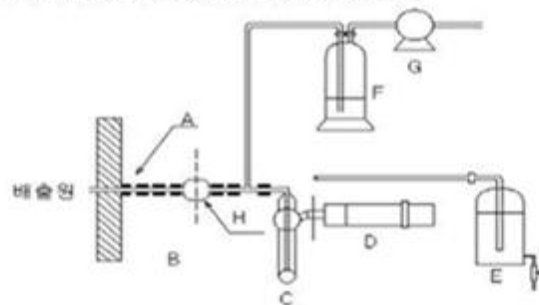


A : 시료 채취관
B : 연결관
C : 여과지
D : 보온재
E : 흡수병
F : 유리여과지

G : 가스건조탑
H : 유량 조절 콕
I : 밀폐식 흡입펌프
J : 온도계
K : 압력계
L : 습식가스 미터
M : 3방 콕

N : 바이패스용 세척병(E와 같은 것)
O : 실리콘 고무판
P : 구면 갈아 맞춤 이용관
Q : 히터
R : 온도계
S : 수은 마노미터
T : 조절대

(b) : 흡수병을 쓰는 경우 (시료 채취량 100 ~ 1000 mL의 경우)

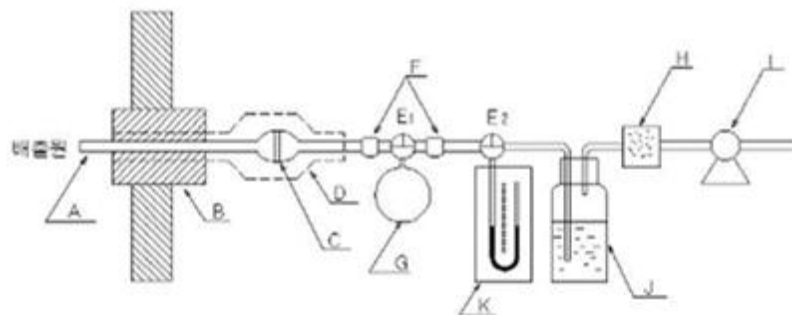


A : 시료 채취관
B : 여과지
C : 흡수병
D : 주사통

E : 흡입병
F : 세척병
G : 흡입펌프 또는 고무구
H : 히터

비고 : E를 쓰는 경우에는 C와 E를 접속한다.

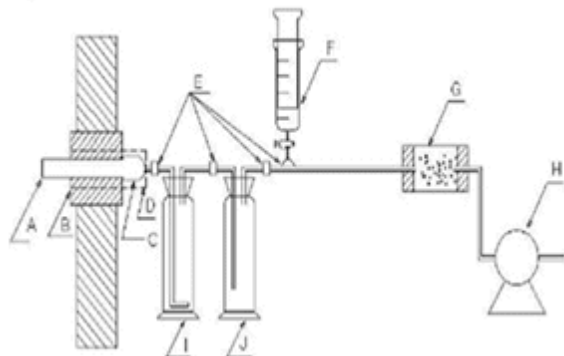
(c) 채취병을 쓰는 경우 (시료가스 채취량이 적은 경우)



A : 시료 채취관
B : 보온재
C : 여과지
D : 히터
E : 3방 콕(E1, E2)
F : 실리콘 고무판

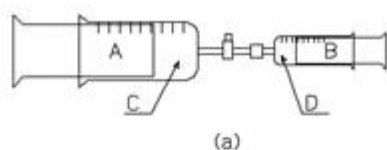
G : 흡입펌프 또는 고무구
H : 히터
I : 흡입펌프
J : 세척병
K : 진공 마노미터

(d) 채취병을 쓰는 경우 (시료 채취량이 적은 경우)



A : 시료가스 채취관
B : 보온재
C : 여과지
D : 히터
E : 실리콘 고무
F : 주사통
G : 건조제
H : 흡입펌프 또는 고무구
I : 흡수병(방해물질 제거용)
J : 트랩

그림 19. 채취부의 구성



A : 시료가스 채취용 주사통
B : 흡수액 주입용 주사통
C : 시료가스
D : 흡수액

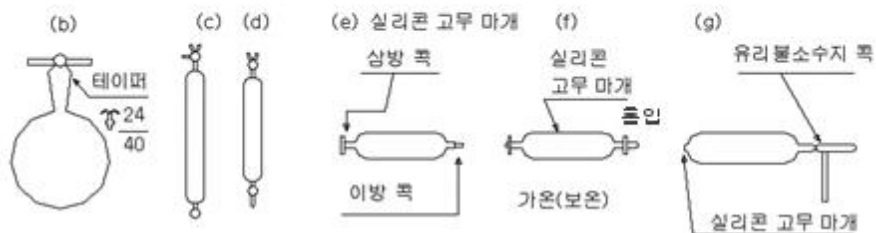


그림 20. 채취병의 보기

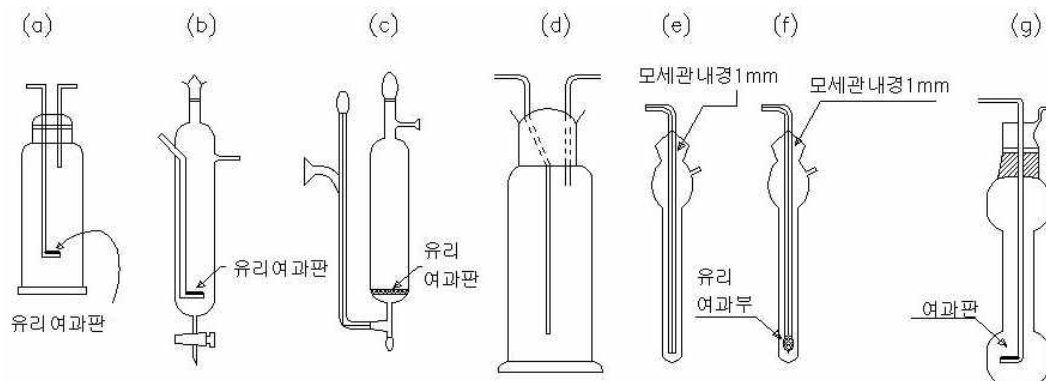


그림 21. 흡수병의 보기

표 6. 분석대상 기체의 종류별 흡수병 및 채취병

분 석 대 상 가 스	흡수병 및 채취병	
	모 양(그림번호)	용 량(mL)
암모니아	21 (a)(g)	250
염화수소	21 (a)(b)(c)(d)(g)	100 ~ 250
염소	21 (e)(f)	40
황산화물	21 (a)(b)(c)(g)	150 ~ 250
질소산화물	20 (a)	100, 40
	20 (b)	1,000
이황화탄소	21 (a)(g)	150 ~ 250
폼알데하이드	21 (e)(f)	40
황화수소	21 (d)(e)	40
플루오린화합물	21 (a)(b)(c)(g)	250
사이안화수소	21 (a)(b)(c)(g)	200
	21 (e)	40
브로민	21 (d)	100
벤젠	20 (g)	1,000
	21 (e)	250
페놀	20 (e)(f)(g)	1,000
	21 (a)(b)(c)(g)	150 ~ 200
비소	21 (a)(b)(c)(g)	200

4.2 조립 및 취급법

4.2.1 흡수병을 사용할 때

4.2.1.1 부착

4.2.1.1.1 채취관

- (1) 채취관은 배출가스의 흐름에 따라서 직각이 되도록 연결한다.
- (2) 채취관은 채취구에 고정쇠를 써서 고정한다.
- (3) 채취구에는 그림 15(a)에 나타낸 것과 같이 굴뚝에 바깥지름 34 mm 정도의 강철관을 100 mm ~ 150 mm의 길이로 용접하고, 끝에 나사를 낸다. 쓰지 않을 때에는 뚜껑을 덮어 둔다.
- (4) 채취관에 유리솜을 채워서 여과재로 쓰는 경우에는, 그 채우는 길이는 50 mm ~ 150 mm 정도로 한다. 굴뚝기체의 압력이 부압일 때는 기체의 흐름속으로, 또 흡입속도가 너무 클 때는 도관 쪽으로 각각 여과재가 빨리 들어가는 경우가 있으므로 주의할 필요가 있다.

4.2.1.1.2 도관

- (1) 도관은 되도록 짧은 것이 좋으나, 부득이 길게 할 때는 받침 기구를 써서 고정한다.
- (2) 채취관과 도관, 도관과 채취부 등의 접속은 구면 또는 테이퍼 접속 기구를 쓴다.

4.2.1.1.3 채취부

- (1) 분석용 흡수병은 1 개 이상 준비하고 각각에 규정량의 흡수액을 넣는다. 분석대상기체별 분석방법 및 흡수액은 표 7에 나타내었다.
- (2) 바이패스용 세척병은 1 개 이상 준비하고 분석대상기체가 산성일 때는 수산화소듐 용액 (질량분율 20 %)을, 알칼리성일 때는 황산 (질량분율 25 %)을 각각 50 mL씩 넣는다.

- (3) 흡수계 및 바이패스계의 세척병 입구측, 출구측은 각각 3방 콕으로 연결한다.
 - (4) 흡수병 등의 접속에는 구면 갈아 맞춤 (직접접속) 또는 실리콘 고무판 등을 쓴다.
 - (5) 흡수병은 되도록 채취위치 가까이에 놓고 필요에 따라서 냉각 중탕에 넣어서 냉각한다.
- [주 6] 흡수병을 나무상자 등에 고정해 두면 들고 다니는데 편리하다.

4.2.1.2 조립

4.2.1.2.1 조립의 보기

- (1) 그림 19(a)는 배출가스 중의 황산화물을 분석할 때 조립의 보기로서 그 기본형은 황산화물 이외에 플루오린화합물, 염화수소, 사이안화수소, 황화수소, 암모니아 등의 분석에 있어서 시료채취량이 10 L ~ 20 L인 경우에 쓴다.
- (2) 그림 19(b)는 배출가스 중의 황산화물을 분석할 때 조립의 보기로서 그 기본형은 황산화물 이외에 이산화질소, 염소, 사이안화수소 등의 분석에 있어서 시료의 채취량이 100 mL ~ 1 000 mL인 경우에 쓴다.

표 7. 분석대상기체별 분석방법 및 흡수액

분석대상기체	분석방법	흡수액
암모니아	• 인도페놀법	• 붕산 용액 (5 g/L)
염화수소	• 이온크로마토그래피 • 싸이오사이안산제이수은법	• 정제수 • 수산화소듐 용액 (0.1 mol/L)
염소	• 오르토톨리딘법	• 오르토톨리딘 염산 용액 (0.1 g/L)
황산화물	• 침전적정법	• 과산화수소수 용액 (1 + 9)
질소산화물	• 아연환원 나프틸에틸렌 다리아민법	• 황산 용액 (0.005 mol/L)
이황화탄소	• 자외선/가시선분광법 • 가스크로마토그래피	• 다이에틸아민구리 용액
폼알데하이드	• 크로모트로핀산법 • 아세틸아세톤법	• 크로모트로핀산 + 황산 • 아세틸아세톤 함유 흡수액
황화수소	• 자외선/가시선분광법	• 아연아민착염 용액
플루오린화합물	• 자외선/가시선분광법 • 적정법 • 이온선택전극법	• 수산화소듐 용액 (0.1 mol/L)
사이안화수소	• 자외선/가시선분광법	• 수산화소듐 용액 (0.5 mol/L)
브로민화합물	• 자외선/가시선분광법 • 적정법	• 수산화소듐 용액 (0.1 mol/L)
페놀	• 자외선/가시선분광법 • 가스크로마토그래피	• 수산화소듐 용액 (0.1 mol/L)
비소	• 자외선/가시선분광법 • 원자흡수분광광도법 • 유도결합플라즈마 분광법	• 수산화소듐 용액 (0.1 mol/L)

4.2.1.2.2 조립

(1) 채취관에서 흡수병에 이르는 사이는 직선이 되게 조립한다. 직선으로 조립할 수가 없는 경우에는 L자형 도관 등을 써서 조작이 쉽도록 조립한다.

(2) 채취관 또는 도관의 접속부와 흡수병의 접속부와 위치가 일치하도록 흡수병의 높이를 조절한다.

(3) 흡수병 뒤에 수은마노미터, 건조탑, 흡입펌프 및 가스미터를 배치한다. 그 배관은 연질 염화바이닐관, 고무관 등을 쓴다.

(4) 채취관 또는 도관과 채취부는 접속하기 전에 채취부에 새는 곳이 없는지 확인한다.

(5) 새는 곳이 없으면 채취관 또는 도관과 채취부를 연결한다. 이 때 채취관과 도관, 도관과 채취부와는 새는 곳이 없도록 주의하여 접속한다.

(6) 분석대상 기체에 따라서 채취구에서 흡수병에 이르는 사이를 가열한다. 이 때 가열하는 채취관 및 도관에는 얇은 석면 테이프를 감아준다.

4.2.1.3 누출 확인 시험

4.2.1.3.1 미리 소정의 흡입유량에 있어서 장치 안의 부압 (대기압과 압차)을 수은 마노미터로 측정한다.

4.2.1.3.2 채취관 쪽의 3방 콕을 닫고 펌프 쪽의 3방 콕을 연 다음 펌프의 유량조절밸브를 조작하여 분석용 흡수병을 부압 (소정의 흡입유량에 있어서의 장치 안의 부압의 2배 정도)으로 하고 펌프 바로 앞의 콕을 닫는다.

4.2.1.3.3 흡수병에 거품이 생기면 그 앞의 부분에 공기가 새는 것으로 본다. 또 펌프의 3방 콕을 닫았을 때의 수은 마노미터의 압차가 적어지면, 펌프 바로 앞부분까지 새는 곳이 있는 것으로 본다.

4.2.1.3.4 새는 부분은 장치를 다시 조립해서 새는 곳이 없는지 다시 확인한다. 흡수병의 갈아 맞춤 부분에 약간의 먼지가 붙어 있을 때에는 깨끗이 닦고, 갈아 맞춤부분을 물 1 방울 ~ 2 방울로 적셔서 차폐한다. 공기가 새는 것을 막고 필요할 때는 실리콘 윤활유 등을 발라서 새는 것을 막는다.

4.2.1.3.5 바이패스용 세척병도 4.2.1.3.1 ~ 4.2.1.3.4 와 같이 조작한다.

4.2.1.4 취급법

4.2.1.4.1 흡수병에 시료를 보내기 전에 바이패스 등을 써서 배관속을 시료로 충분히

바꾸어 놓는다.

4.2.1.4.2 시료의 흡입유량은 최고 2 L/min 정도로 한다. 채취하는 시료량은 시료 중의 분석대상 성분의 농도에 따라서 증감한다.

4.2.1.4.3 시료를 채취할 때는 시료의 부피를 측정하는 위치에서 동시에 가스미터상의 온도, 압력 및 대기압을 측정해 둔다.

4.2.1.4.4 건조 시료가스 채취량 (L)은 다음 식에 따라 계산한다.

(1) 습식 가스미터를 사용할 시

$$V_s = V \times \frac{273}{273 + t} \times \frac{P_a + P_m - P_v}{760} \quad (\text{식 } 26)$$

(2) 건식 가스미터를 사용할 시

$$V_s = V \times \frac{273}{273 + t} \times \frac{P_a + P_m}{760} \quad (\text{식 } 27)$$

여기서, V : 가스미터로 측정한 흡입기체량 (L)

V_s : 건조 시료가스 채취량 (L)

t : 가스미터의 온도 (°C)

P_a : 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

P_m : 가스미터의 게이지압 (mmHg)

P_v : t °C에서의 포화수증기압 (mmHg)

4.2.2 채취병을 쓰는 경우

4.2.2.1 부착

4.2.2.1.1 채취관

4.2.1.1.1과 같다.

4.2.2.1.2 도관

4.2.1.1.2와 같다.

4.2.2.1.3 채취부

(1) 채취병은 미리 새는 곳이 없는가를 시험하여 새지 않는 것으로 준비한다.

(2) 시료가 산성일 때는 수산화소듐 용액 (질량분율 20 %)을, 알칼리성일 때는 황산 (질량분율 25 %)을 각각 50 mL 넣은 세척병을 흡입펌프 앞에 놓는다. 이때 세척병의 사용은 펌프를 보호하기 위한 것이다.

(3) 채취병의 접속에는 구면 접속기구 또는 실리콘 고무관을 쓴다.

(4) 채취병은 가급적 채취위치 가까이에 접속한다.

4.2.2.2 조립

4.2.2.2.1 조립의 보기

그림 19 (c) 및 (d)는 배출가스 중의 질소산화물을 분석하는 경우의 조립의 보기로서 시료채취량이 적을 때 쓴다.

4.2.2.2.2 조립

4.2.1.2.2에 따라서 조립한다.

4.2.2.3 누출 확인 시험

4.2.2.3.1 채취병

(1) 주사통 (그림 20 (a))은 내부를 정제수로 적신 다음 눈금의 1/4 정도까지 공기를

넣고 콕을 닫은 다음 안통을 잡아 당겼다 놓았다 하는 조작을 수회 반복해서 안통이 매회 먼저 위치에 되돌아 가면 새지 않는 것으로 본다.

(2) 그림 20 (b)에 나타낸 감압 채취병은 채취병에 진공 마노미터를 접속한 다음 절대 압력 10 mmHg 정도까지 감압하고 1 시간 방치하여 내압의 증가가 20 mmHg 이내이면 새지 않는 것으로 본다.

4.2.2.3.2 채취부

(1) 누출확인시험하기 전에 채취관의 뒤끝에 콕을, 세척병의 앞 또는 뒤에 수은 마노미터를 접속한다.

(2) 유량 1 L/min ~ 5 L/min으로 기체를 흡입하고, 장치내의 부압 (대기압과의 압차)을 수은마노미터로 측정한다.

(3) 이하 4.2.1.3에 따라 누출확인시험을 실시한다.

4.2.2.4 취급법

4.2.2.4.1 채취병에 시료를 채취하기 전에 배관 속을 시료로 충분히 바꾸어 놓는다.

4.2.2.4.2 시료의 유량은 1 L/min ~ 5 L/min 정도로 한다.

4.2.2.4.3 시료를 채취할 때에는 채취병의 주위에서 온도와 대기압을 측정해 둔다.

4.2.2.4.4 건조시료가스 채취량 (L)은 다음 식에 따라 계산한다.

(1) 주사통[주 7]을 사용할 시

$$V_s = V_a \times \frac{273}{273 + T_f} \times \frac{P_a - P_{nf}}{760} \quad (\text{식 28})$$

(2) 감압 채취병을 이용할 시

$$V_s = V_a \times \frac{273}{760} \left(\frac{P_f - P_{nf}}{273 + T_f} - \frac{P_i - P_{ni}}{273 + T_i} \right) \quad (\text{식 29})$$

여기서, V_s : 건조 시료 가스 채취량 (L)

V_a : 채취병의 부피 (L)

P_a : 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

P_i : 시료를 채취하기 전의 채취병내의 압력 (mmHg)

P_f : 시료를 채취하고 방치후의 채취병내의 압력 (mmHg)

P_{ni} : T_i °C에 있어서의 포화수증기압 (mmHg)

P_{nf} : T_f °C에 있어서의 포화수증기압 (mmHg)

T_i : P_i 를 측정하였을 때의 온도 (°C)

T_f : P_f 를 측정하였을 때의 온도 (°C)

[주 7] 채취병으로 주사통을 쓰는 경우 채취병의 부피는 눈금으로 읽으며, 채취병 내에 흡수액이 들어있을 경우 그 액량을 채취병의 부피에서 뺀다.

4.3 주의사항

4.3.1 일반사항

시료채취에 종사하는 사람의 안전을 위하여 다음의 조치를 강구할 필요가 있다.

4.3.1.1 채취에 종사하는 사람은 보통 2인 이상을 1조로 한다.

4.3.1.2 굴뚝 배출가스의 조성, 온도 및 압력과 작업환경 등을 잘 알아둔다.

4.3.1.3 옥외에서 작업하는 경우에는 바람의 방향을 확인하여 바람이 부는 쪽에서 작업하는 것이 좋다.

4.3.1.4 위험방지를 위하여 다음의 사항들에 충분히 주의한다.

4.3.1.4.1 피부를 노출하지 않는 복장을 하고, 안전화를 신는다.

4.3.1.4.2 작업환경이 고온인 경우에는 드라이아이스 자켓 등을 입는다.

4.3.1.4.3 높은 곳에서 작업을 하는 경우에는 반드시 안전 밧줄을 쓴다.

4.3.1.4.4 교정용 기체가 들어있는 고압기체 용기를 취급하는 경우에는 안전하고 쉽게 운반, 설치를 할 수 있는 방법을 쓴다.

4.3.1.4.5 측정작업대까지 오르기 전에 승강시설의 안전여부를 반드시 점검한다.

4.3.2 채취위치

4.3.2.1 위험한 장소는 피한다.

4.3.2.2 채취위치의 주변에는 적당한 높이와 측정작업에 충분한 넓이의 안전한 작업대를 만들고, 안전하고 쉽게 오를 수 있는 설비를 갖춘다.

4.3.2.3 채취 위치의 주변에는 배전 및 급수 설비를 갖추는 것이 좋다.

4.3.3 채취구

4.3.3.1 수직굴뚝의 경우에는 4.3.1.3을 만족시키기 위해서 채취구를 같은 높이에 3개 이상 설치하는 것이 좋다.

4.3.3.2 배출가스 중의 먼지 측정용 채취구 (바깥지름 115 mm 정도)를 이용하는 경우에는 지름이 다른 관 또는 플랜지 등을 사용하여 기체가 새는 일이 없도록 접속해서 배출가스용 채취구로 한다.

4.3.3.3 굴뚝내의 압력이 매우 큰 부압 ($-300 \text{ mmH}_2\text{O}$ 정도 이하)인 경우에는, 시료채취용 굴뚝을 부설하여, 용량이 큰 펌프를 써서 시료가스를 흡입하고 그 부설한 굴뚝에 채취구를 만든다.

4.3.3.4 굴뚝 내의 압력이 정압 (+)인 경우에는 채취구를 열었을 때 유해기체가 분출될 염려가 있으므로 충분한 주의가 필요하다.

4.3.4 시료채취 장치

4.3.4.1 흡수병은 각 분석법에 공용할 수가 있는 것도 있으나, 대상 성분마다 전용으로 하는 것이 좋다. 만일 공용으로 할 때에는 대상 성분이 달라질 때마다 묽은 산 또는 알칼리 용액과 정제수로 깨끗이 씻은 다음 다시 흡수액으로 3회 정도 씻은 후 사용한다.

4.3.4.2 습식 가스미터를 이동 또는 운반할 때에는 반드시 정제수를 뺀다. 또 오랫동안 쓰지 않을 때에도 그와 같이 배수한다.

4.3.4.3 가스미터는 100 mmH₂O 이내에서 사용한다.

4.3.4.4 습식 가스미터를 장시간 사용하는 경우에는 배출가스의 성상에 따라서 수위의 변화가 일어날 수 있으므로 필요한 수위를 유지하도록 주의한다.

4.3.4.5 가스미터는 정밀도를 유지하기 위하여 필요에 따라 오차를 측정해 둔다.

4.3.4.6 시료가스의 양을 재기 위하여 쓰는 채취병은 미리 0 °C 때의 참부피를 구해둔다.

4.3.4.7 주사통에 의한 시료가스의 계량에 있어서 계량 오차가 크다고 생각되는 경우에는 흡입펌프 및 가스미터에 의한 채취방법을 이용하는 것이 좋다.

4.3.4.8 시료가스 채취장치의 조립에 있어서는 채취부의 조작을 쉽게 하기 위하여 흡수병, 마노미터, 흡입펌프 및 가스미터는 가까운 곳에 놓는다. 또 습식 가스미터는 정확하게 수평으로 조정할 수 있는 곳에 놓아야 한다.

4.3.4.9 배출가스 중에 수분과 미스트가 대단히 많을 때에는 채취부와 흡입펌프, 전기 배선, 접속부 등에 물방울이나 미스트가 부착되지 않도록 한다.

4.3.5 기타

4.3.5.1 시료를 채취할 때에는 조업상태를 충분히 고려해서 채취시간을 정한다.

4.3.5.2 측정자는 긴밀한 연락으로 채취시의 조업상태를 확인하여 둔다. 또한, 측정값을 보고할 때는 그 조업상태를 기록하여 두는 것이 바람직하다.

5.0 입자상 물질의 시료채취방법

이 방법은 물질의 파쇄, 선별, 퇴적, 이적 기타 기계적 처리 또는 연소, 합성분해시 굴뚝에서 배출되는 먼지, 매연, 검댕 및 액적 등 입자상물질을 분석하기 위한 시료의 채취방법에 대하여 규정한다. 먼지 시료채취 방법으로는 직접채취법, 이동채취법, 대표점 채취법 등이 있다.

5.1 시료채취방법

5.1.1 직접 채취법

측정점마다 1 개의 먼지채취기를 사용하여 시료를 채취한다.

5.1.2 이동 채취법

1 개의 먼지채취기를 사용하여 측정점을 이동하면서 각각 같은 흡입시간으로 먼지시료를 채취한다.

5.1.3 대표점 채취법

2.4의 규정에 따라 정해진 대표점에서 1 개 또는 수 개의 먼지채취기를 사용하여 먼지시료를 채취한다.

5.2 반자동식 채취기에 의한 방법

굴뚝에서 배출되는 먼지시료를 반자동식 채취기를 이용 배출가스의 유속과 같은 속도로 시료가스를 흡입 (이하 등속흡입이라 한다)하여 일정온도로 유지되는 실리카 섬유제 여과지에 먼지를 채취한다. 먼지가 채취된 여과지를 $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 에서 충분히 1 시간 ~ 3 시간 건조시켜 부착수분을 제거한 후 먼지의 중량농도를 계산한다. 다만, 배연탈황시설과 황산미스트에 의해서 먼지농도가 영향을 받은 경우에는 여과지를 160°C 이상에서 4 시간 이상 건조시킨 후 먼지농도를 계산한다.

5.2.1 채취장치의 구성

이 방법에서 사용되는 시료채취장치는 흡입노즐, 흡입관, 피토관, 여과지홀더, 여과지가열장치, 임핀저 트레인, 기체흡입 및 유량측정부 등으로 구성되며 여과지홀더의 위치에 따라 그림 22와 그림 23으로 구별된다.

5.2.1.1 흡입노즐

흡입노즐은 스테인리스강, 경질유리, 또는 석영 유리제로 만들어진 것으로 다음과 같은 조건을 만족시키는 것이어야 한다.

5.2.1.1.1 흡입노즐의 안과 밖의 기체흐름이 흐트러지지 않도록 흡입노즐 안지름 (d)은 3 mm 이상으로 한다. 흡입노즐의 안지름 (d)은 정확히 측정하여 0.1 mm 단위까지 구하여 둔다.

5.2.1.1.2 흡입노즐의 꼭지점은 그림 24와 같이 30° 이하의 예각이 되도록 하고 매끈한 반구모양으로 한다.

5.2.1.1.3 흡입노즐 내외면은 매끄럽게 되어야 하며 흡입노즐에서 먼지채취부까지의 흡입관은 내부면이 매끄럽고 급격한 단면의 변화와 굴곡이 없어야 한다.

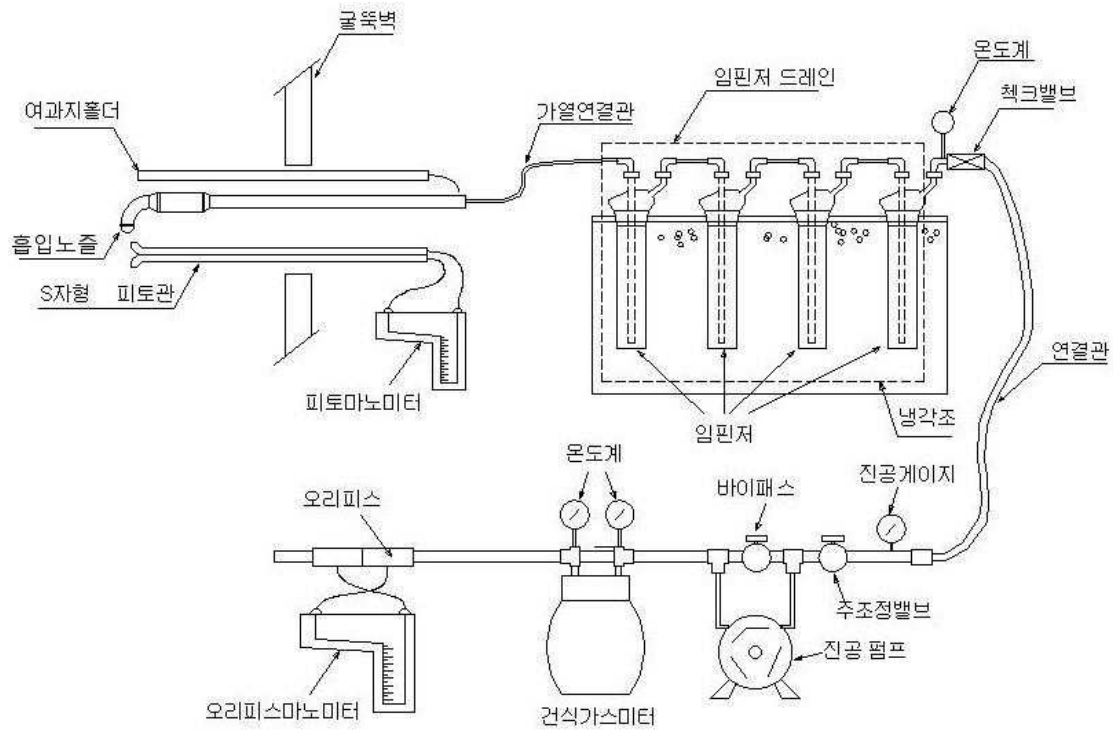


그림 22. 먼지시료채취장치 (1형)

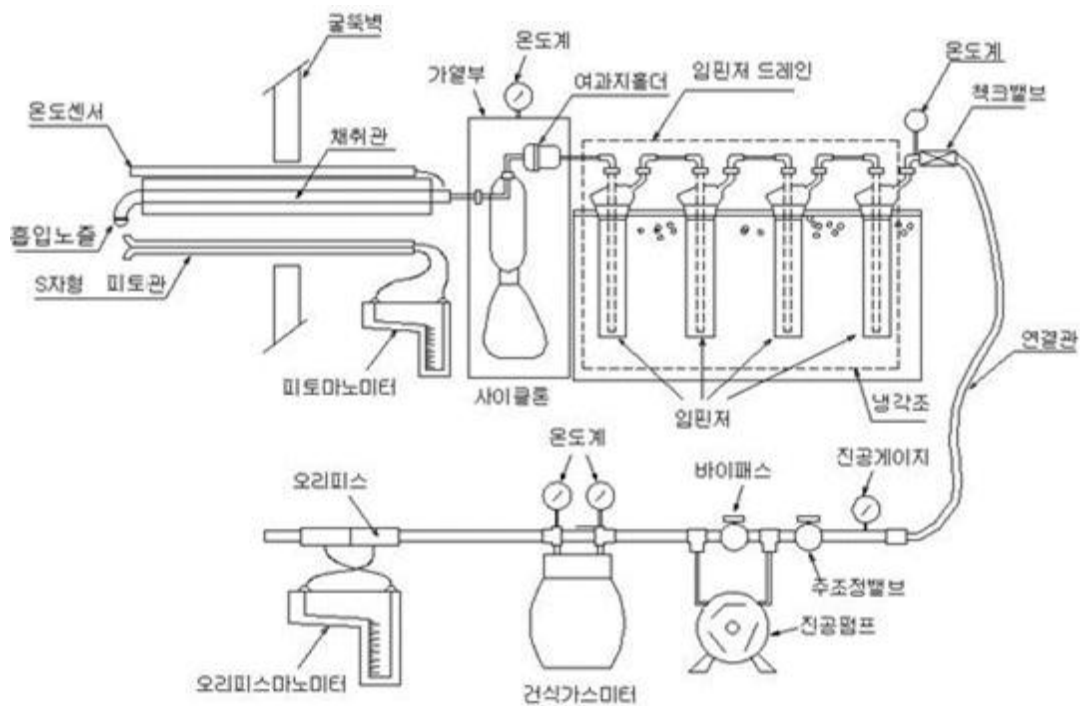


그림 23. 먼지시료채취장치 (2형)

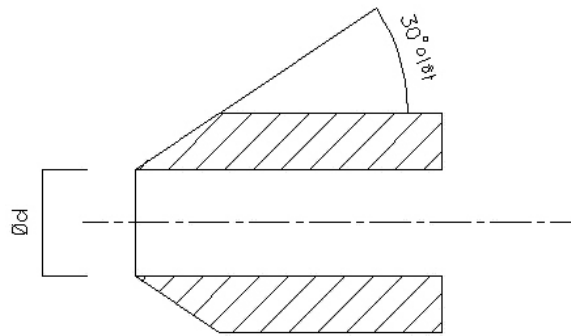


그림 24. 흡입 노즐의 꼭지부분

5.2.1.2 흡입관

수분응축 방지를 위해 시료가스 온도를 $120\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 유지할 수 있는 가열기를 갖춘 보로실리케이트 (borosilicate), 스테인리스강 또는 석영 유리관을 사용한다.

5.2.1.3 피토관

피토관 계수가 정해진 L형 피토관 (C : 1.0 전후) 또는 S형 (웨스턴형) 피토관 (C : 0.84)으로서 배출가스 유속의 지속적인 측정을 위해 흡입관에 부착하여 사용한다.

5.2.1.4 차압게이지

2 개의 경사마노미터 또는 이와 동등의 것을 사용한다. 하나는 배출가스 동압측정을 다른 하나는 오리피스압차 측정을 위한 것이다.

5.2.1.5 여과지홀더

여과지 홀더는 원통형 또는 원형의 먼지채취 여과지를 지지해주는 장치를 말한다. 이 장치는 유리제 또는 스테인리스강 등으로 만들어진 것으로 내식성이 강하고 여과지 탈착이 쉬워야 한다. 또 여과지를 끼운 곳에서 공기가 새지 않아야 한다.

5.2.1.6 여과부 가열장치

시료채취 시 여과지 홀더 주위를 $120\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 온도를 유지할 수 있고 주위온도

를 3 °C 이내까지 측정할 수 있는 온도계를 모니터할 수 있도록 설치하여야 한다. 다만, 이 장치는 그림 23의 2형 시료채취장치를 이용할 경우에만 사용된다.

5.2.1.7 임핀저 트레인 및 냉각 상자

일렬로 연결된 4 개의 임핀저로 구성되며 접속부는 기체 누출이 없도록 갈아 맞춤 또는 실리콘관으로 연결한다. 첫 번째, 세 번째 및 네 번째 임핀저는 변형 그리인버그 스미드형 (임핀저 헤드가 직선관임)으로서 텅을 플라스틱 바닥에서 1.3 cm (1/2 inch) 되는 지점까지 이르는 내경 1.3 cm (1/2 inch)의 유리관으로 대체한 것을 사용한다. 두 번째 임핀저는 표준텅이 그리인버그 스미드형을 사용한다. 임핀저에는 유해기체 흡수액을 넣고 배출가스를 통과시켜 유해기체를 흡수시켜 수분 및 유해기체로부터 기기를 보호한다. 체크밸브는 부압이 형성될 때 임핀저를 통해 굴뚝으로 역류하는 것으로부터 채취된 수분과 먼지를 보호하는 역할을 한다. 그러나 역류 현상은 시스템이 가동정지 상태에서 일어나므로 시료는 사용하지 못하게 되며 다시 시료채취를 해야 한다.

5.2.1.8 기체흡입 및 유량측정부

진공게이지, 진공펌프, 온도계, 건식가스미터 등으로 구성되며 등속흡입유량을 유지하고 흡입 기체량을 측정할 수 있게 되어 있다.

5.2.2 시험용 기구 및 기기

5.2.2.1 시료채취장치 1형을 사용하는 경우

5.2.2.1.1 흡입노즐용 솔 : 나일론실로 만든 솔로서 흡입노즐보다 더 긴 것을 사용한다.

5.2.2.1.2 시료보관병 : 원통형 여과지에 채취된 먼지시료를 보관하기 위한 것으로 유리 또는 흡습관을 사용한다.

5.2.2.1.3 흡습병 : U자형 또는 흡습관을 사용한다.

5.2.2.1.4 간이용 저울 : 10 mg까지 무게를 달 수 있는 저울을 사용한다.

5.2.2.1.5 건조기

5.2.2.1.6 데시케이터

5.2.2.1.7 분석용 저울 : 0.1 mg까지 무게를 달 수 있는 정밀저울을 사용한다.

5.2.2.2 시료채취장치 2형을 사용하는 경우

5.2.2.2.1 흡입노즐 및 흡입관용 솔 : 나일론실로 만든 솔로서 길이는 흡입관 보다 더 긴 것을 사용한다.

5.2.2.2.2 세척병 : 유리세척병 2 개로 사용한다.

5.2.2.2.3 시료보관용 : 500 mL 또는 1 000 mL 부피의 보로실리케이트 유리병을 사용한다.

5.2.2.2.4 페트리접시 : 여과지에 채취된 먼지시료를 보관하기 위한 것으로서 유리 또는 폴리에틸렌제를 사용한다.

5.2.2.2.5 눈금실린더 및 저울 : 1 mL씩 눈금이 매겨진 눈금실린더와 0.5 g까지 달 수 있는 저울을 사용한다.

5.2.2.2.6 유리제 평량접시

5.2.2.2.7 데시케이터

5.2.2.2.8 분석용 저울 : 0.1 mg까지 무게를 달 수 있는 정밀저울을 사용한다.

5.2.3 시험용 시약

5.2.3.1 시료채취장치 1형을 사용하는 경우

5.2.3.1.1 원통여과지 : 실리카 함유제 여과지로서 99 % 이상의 먼지채취율 (0.3 μm 다

이옥틸프탈레이트 매연 입자에 의한 먼지 통과시험)을 나타내는 것이어야 하며 사용 상태에서 화학변화를 일으키지 않아야 하며, 화학변화로 인하여 측정치의 오차가 나타날 경우에는 적절한 처리를 하여 사용토록 하고, 유효직경이 25 mm 이상의 것을 사용한다.

5.2.3.1.2 실리카젤 : 6 메시(mesh) ~ 16 메시(mesh) 크기의 변색지시형 실리카젤을 사용하여 재사용시에는 175 °C에서 2 시간 건조시킨 후 사용한다.

5.2.3.1.3 흡습제 : 입상의 무수염화칼슘을 사용한다.

5.2.3.1.4 건조제 : 변색지시형 무수황산칼슘을 사용한다.

5.2.3.2 시료채취장치 2형을 사용하는 경우

5.2.3.2.1 원형여과지 : 실리카 섬유제 여과지로서 99 % 이상의 먼지 채취율 (1형과 같음)을 나타낸 것이어야 하며 유효직경이 63.5 mm 이상의 것을 사용한다.

5.2.3.2.2 실리카젤 : 6 메시(mesh) ~ 16 메시(mesh) 크기의 변색지시형 실리카젤을 사용하며 재사용 시는 175 °C에서 2 시간 동안 건조시킨 후 사용한다.

5.2.3.2.3 잘게 부순 얼음

5.2.3.2.4 진공 윤활유 : 아세톤에 녹지 않고 열에 안정한 실리콘 윤활유를 사용한다.

5.2.3.2.5 아세톤 : 잔재물이 질량분율 0.001 % 이하인 시약용 아세톤을 사용한다.

5.2.3.2.6 건조제 : 변색지시형 무수황산칼슘을 사용한다.

5.2.4 측정 장비

5.2.4.1 시료채취장치 1형을 사용하는 경우

5.2.4.1.1 원통형 여과지를 110 °C ± 5 °C 에서 충분히 (1 시간 ~ 3 시간) 건조하고 데시케이터 내에서 실온까지 냉각하여 무게를 0.1 mg까지 정확히 단 후 여과지홀더에 끼

운다.

5.2.4.1.2 임핀저 트레인중 첫 번째와 두 번째 임핀저에 각각 100 g의 물 (또는 과산화수소)을 넣고 네 번째 임핀저에는 미리 무게를 단 200 g ~ 300 g의 실리카겔을 넣는다.

5.2.4.1.3 임핀저 트레인을 통과하는 배출가스의 온도가 높을 경우 임핀저 주위에 잘게 부순 얼음을 채워 넣는다.

5.2.4.2 시료채취장치 2형을 사용하는 경우

5.2.4.2.1 원형 여과지를 $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 충분히 건조하고 데시케이터 내에서 실온까지 냉각하여 무게를 0.1 mg까지 정확히 단 후 여과지 홀더에 끼운다. 먼지 채취량이 100 mg을 초과할 것으로 예상되는 경우에는 흡입관과 여과지 홀더 사이에 유리제 사이클론을 연결하여 사용한다.

5.2.4.2.2 임핀저 트레인 중 첫 번째 및 두 번째 임핀저에 각각 100 g의 물을 넣고 세 번째 임핀저는 비워두며 네 번째 임핀저에는 미리 무게를 단 약 200 g ~ 300 g의 실리카겔을 넣는다. 임핀저 주위에는 잘게 부순 얼음을 채워 넣는다. 임핀저 트레인은 배출가스의 냉각 ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이하로), 수분제거 및 채취된 물의 총량결정, 유해 기체 제거 등을 위해 사용한다.

5.2.4.2.3 임핀저 트레인에 흡입관을 연결한 후 흡입관 출구에서 시료가스의 온도가 $120\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 가 되도록 가열기를 조정하고 여과부 가열장치도 켜 여과지 홀더 주위를 $120\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 유지한다.

5.2.5 시료채취

5.2.5.1 2.4와 같이 측정점 수를 선정한다.

5.2.5.2 3.1과 같이 배출가스의 온도를 측정한다.

5.2.5.3 S자형 피토관과 경사마노미터로 배출가스의 정압과 평균동압을 각각 측정한다. 피토관을 측정공에서 굴뚝내의 측정점까지 삽입하여 전압공을 배출가스 흐름 방향에

수직으로 놓고 압력계에 의하여 동압을 측정한다. 동압은 원칙적으로 0.1 mmH₂O의 단위까지 읽는다. 이때, 피토티관의 배출가스 흐름방향에 대한 편차는 10° 이하가 되어야 한다.

5.2.5.4 3.2와 같이 배출가스의 수분량을 측정한다.

5.2.5.5 측정점을 선정하여 시료채취부의 노즐을 상부방향으로 측정점에 도달시킨 후 측정과 동시에 노즐을 하부방향으로 돌린다.

5.2.5.6 매 채취점마다 동압을 측정하여 계산자 (노모그래프) 또는 계산기를 이용하여 등속흡입을 위한 적정한 흡입노즐 및 오리피스압차를 구한 후 유량조절밸브를 그 오리피스차압이 유지되도록 유량을 조절하여 시료를 채취한다. 한 채취점에서의 채취시간을 최소 2 분 이상으로 하고 모든 채취점에서 채취시간을 동일하게 한다. 시료채취 중에 굴뚝 내 배출가스 온도, 건식 가스미터의 입구 및 출구온도, 여과지홀더 온도, 최종 임핀저 통과 후의 기체온도, 진공게이지압 등을 측정 기록하고 채취가 끝날 때마다 측정점에서의 기체시료채취량을 기록해 둔다. 이러한 수치들을 기록하기 위한 기록지 양식의 한 예가 표 8에 나타나 있다.

5.2.5.7 등속흡입 정도를 보기 위해 다음 식 또는 계산기에 의해서 등속계수를 구하고 그 값이 90 % ~ 110 % 범위 내에 들지 않는 경우에는 다시 시료채취를 행한다.

$$I(\%) = \frac{T_s [0.00346 V_{ic} + V'_m / T_m (P_a + \Delta H/13.6)]}{P_s \cdot t \cdot v \cdot A_n} \times (1.667 \times 10^4) \quad (\text{식 } 30)$$

여기서, I : 등속흡입계수 (%)

P_s : 배출가스 압력 (mmHg : $P_a + P'_s$), P'_s : 배출가스 정압

T_s : 배출가스 평균 절대온도 (K = 273 + Θ_s (°C))

V_{ic} : 임핀저와 실리카겔에 채취된 물의 총량 (mL)

V_m : 건식가스미터에서 읽은 기체시료채취량 (m³)

T_m : 건식가스미터의 평균 절대온도 (K = 273 + Θ_m (°C))

P_a : 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

ΔH : 오리피스 압차 (mmH₂O)

t : 총시료채취시간 (분)

v : 배출가스 유속 (m/s)

A_n : 노즐의 단면적 (cm²)

5.2.6 시료 회수

5.2.6.1 시료채취장치 1 형을 사용하는 경우

5.2.6.1.1 시료채취가 끝나면 흡입관을 빼내어 방치하여 냉각한 후 노즐 주변의 먼지를 닦아낸다.

5.2.6.1.2 흡입관과 여과지홀더를 분리하고 먼지가 채취된 여과지는 시료 보관병에 넣는다.

5.2.6.1.3 첫 번째와 두 번째 및 세 번째 임핀저에 들어있는 물의 부피를 측정 한 후 버린다.

5.2.6.2 시료채취장치 2 형을 사용할 경우

5.2.6.2.1 시료채취가 모두 끝나면 흡입관을 굴뚝 내에서 빼내 방치하여 냉각한 후 노즐 주변에 붙은 먼지를 닦아내고 마개를 하여 시료채취부 (여과부 + 임핀저트레인)를 분리한다.

5.2.6.2.2 시료채취부를 깨끗하고 바람이 불지 않는 장소로 옮겨 여과지 홀더와 임핀저트레인을 분리한다.

5.2.6.2.3 첫 번째, 두 번째 및 세 번째 임핀저에 들어있는 물의 부피를 측정 한 후 버린다.

5.2.6.2.4 다음과 같이 각 시료보관 용기에 시료를 넣는다.

(1) 용기 No. 1 : 여과지 홀더에서 조심스럽게 여과지를 분리하여 페트리 접시용기에 넣는다.

(2) 용기 No. 2 : 흡입노즐, 흡입관, 접속부, 여과지 홀더 등의 내부에 붙은 먼지를 아세톤으로 세척하여 그 세척액을 이 용기에 넣는다 (현장바탕시험을 위해 아세톤의 일부를 남겨둔다).

(3) 용기 No. 3 : 네 번째 임핀저에 들어있는 실리카겔을 이 용기에 옮겨 넣고 마개를 한다.

표 8. 먼지시료채취 기록지

공장명 _____

측정대상명 _____

작성자명 _____

측정일 _____

측정번호 _____

오리피스미터 ΔH _____

피토관계수 _____

기온, °C _____

기압, mmHg _____

수분량, % _____

흡입관 길이, m _____

흡입노즐 직경, cm _____

배출가스정압, mmHg _____

산소량 (%) _____

등속흡입계수 (%) _____

굴뚝단면 및 측정점
배열

여과지 번호 _____

채취 점 번호	시료 채취 시간 (분)	진공 계이 지압 (mmHg)	배출 기체 온도 (°C)	배출 기체 동압 (mmH ₂ O)	오리 피스 압차 (mmH ₂ O)	시료 채취 량 (m ³)	건식 가스미터 에서의 온도 (°C)		여과 지 홀더 온도 (°C)	최종임 핀저출 구온도 (°C)
							입구	출구		
합계							평균	평균		
평 균							평 균			

[주 8] 시료채취 중 임핀저 통과 후의 기체온도가 20 °C가 넘을 경우엔 잘게 부순 얼음을 더 채우거나 소금을 첨가하도록 한다.

[주 9] 먼지가 채취됨에 따라 여과지에 전후의 압력 강화가 너무 높아져 등속흡입을 유지하기가 어려울 경우에 새 여과지로 교환 (여과지 홀더도 같이 교환하는 것이 좋다)한

후 시료채취를 계속한다. 이때 총 채취먼지량은 각 여과지에 채취된 먼지량의 합이 된다.

5.3 수동식 채취기에 의한 방법

측정공에 시료채취장치의 흡입관을 굴뚝 내부에 삽입하여 그 선단을 채취점에 일치시키고 등속흡입한 후 먼지가 채취된 여과지를 5.1과 동일한 방법으로 조작한다.

5.3.1 채취장치 구성

이 방법에서 사용되는 시료채취장치는 먼지채취부, 기체흡입부, 흡입유량 측정부 등으로 구성되며 먼지채취부의 위치에 따라 그림 25 및 26과 같이 1형과 2형으로 구분된다. 1형은 먼지채취기를 굴뚝 안에 설치하고 2형은 먼지채취기를 굴뚝 밖으로 설치하는 것이다. 먼지시료채취장치의 모든 접합부는 기체가 새지 않도록 하여야 하고 2형일 때는 배출가스 온도가 이슬점 이하가 되지 않도록 보온 또는 가열해 주어야 한다.

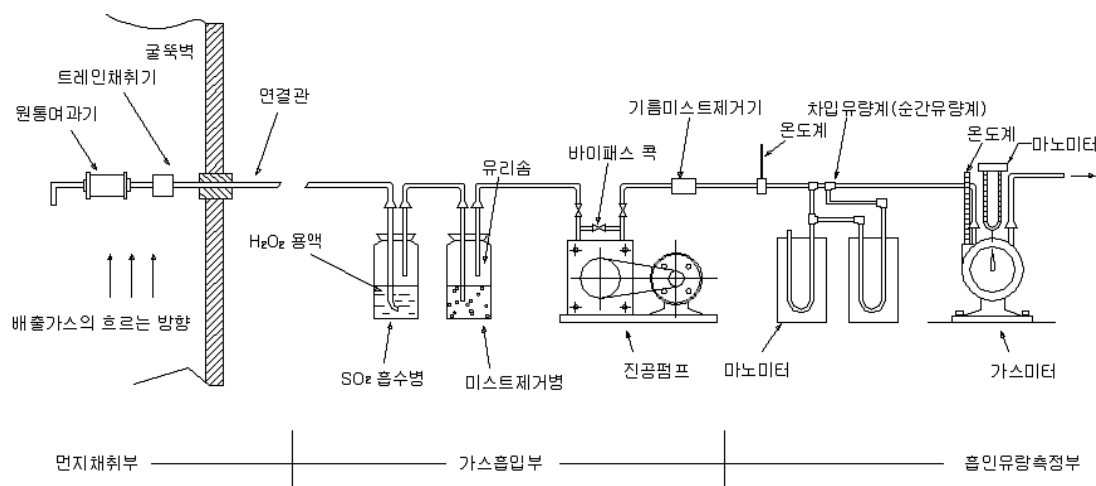


그림 25. 수동식 먼지시료채취장치 구성 (1형)

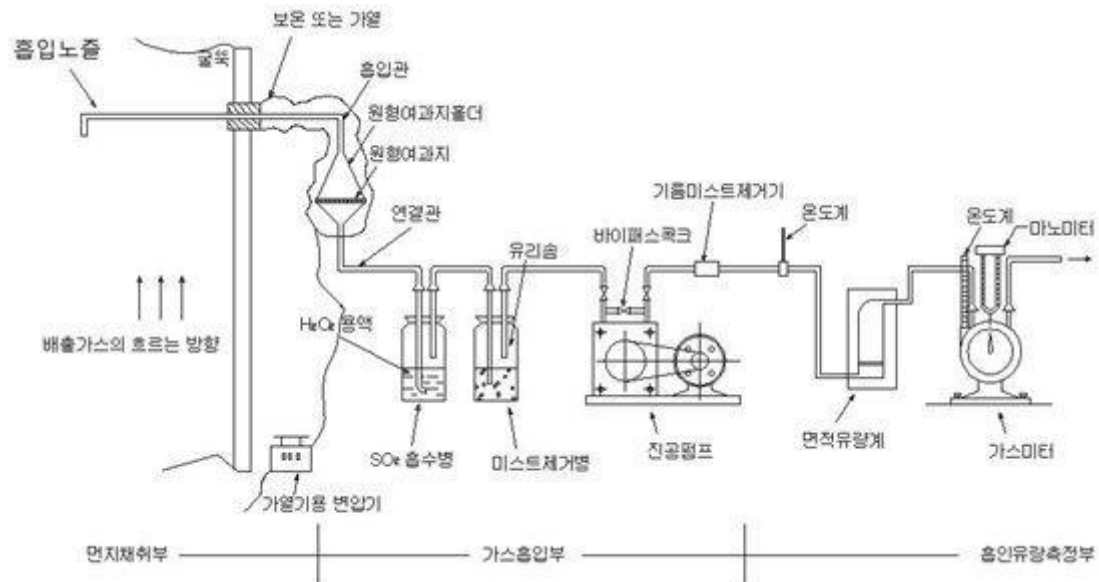


그림 26. 수동식 먼지시료채취장치 (2형)

5.3.1.1 먼지채취부

5.3.1.1.1 먼지채취부의 구성

먼지채취부의 구성은 흡입노즐, 여과지 홀더, 고정쇠, 드레인채취기, 연결관 등으로 구성된다. 단, 2형일 때는 흡입노즐 뒤에 흡입관을 접속한다. 먼지채취부의 구성 보기를 그림 27에 나타내었다.

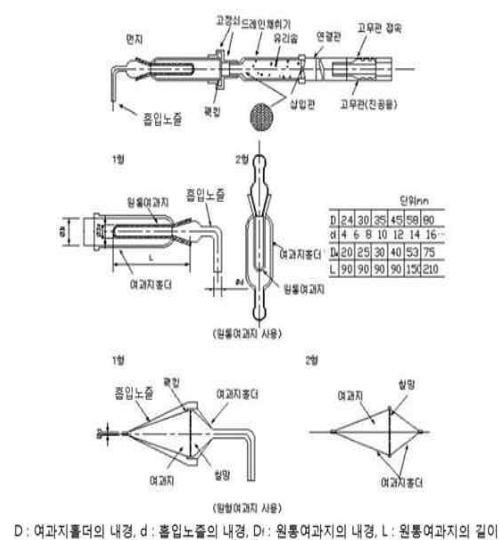


그림 27. 먼지채취부의 구성

5.3.1.1.2 흡입노즐

흡입노즐은 다음의 조건을 만족시키는 것이어야 한다.

- (1) 흡입노즐은 안과 밖의 기체 흐름이 흐트러지지 않도록 흡입노즐 안지름(d)은 3 mm 이상으로 한다.
- (2) 흡입노즐의 꼭지점은 30° 이하의 예각이 되도록 하고 매끈한 반구 모양으로 한다.
- (3) 흡입노즐 내외면은 매끄럽게 되어야 한다.

5.3.1.1.3 여과지홀더

여과지 홀더는 원통형 또는 원형의 먼지채취 여과지를 지지해주는 장치를 말한다. 이 장치는 유리제 또는 스테인리스강 등으로 만들어진 것으로 내식성이 강하고 여과지 탈착이 쉬워야 한다. 또 여과지를 끼운 곳에서 공기가 새지 않아야 한다.

5.3.1.1.4 고정쇠, 드레인 채취기, 연결관

- (1) 고정쇠 : 여과지 홀더를 끼우기 위하여 사용하는 것으로 스테인리스강제가 좋다.
- (2) 드레인 채취기 : 내부에 유리솜을 채운 것으로서 흡입기체에 의한 드레인이 여과지 홀더에 역류하는 것을 방지하기 위하여 사용한다.
- (3) 연결관 : 여과지 홀더 또는 드레인 채취기에서 기체 흡입용의 고무관 (진공용)에 이르기까지의 연결부이다.

5.3.1.2 기체 흡입부

기체 흡입부는 배출가스를 흡입하기 위한 흡입장치 및 황산화물에 의한 부식을 막기 위한 SO₂ 흡수병과 미스트제거병으로 구성된다. 기체흡입부에는 흡입유량을 가감하기 위한 조절밸브를 적당한 위치에 장치하고 흡입장치의 기체 출구 측에는 필요에 따라

유량계를 보호하기 위하여 미스트 제거기를 설치한다. 흡입장치에는 굴뚝 내의 부압, 먼지시료채취장치 각 부분의 저항에 충분히 견딜 수 있고 필요한 속도로서 기체를 흡입할 수 있는 진공펌프, 송풍기 등을 사용한다.

5.3.1.3 흡입유량 측정부

흡입유량 측정부는 적산유량계 (가스미터) 및 면적유량계 또는 차압유량계 등의 순간유량계로 구성된다. 원칙적으로 적산유량계는 흡입 기체량의 측정을 위하여 또 순간유량계는 등속흡입 조작을 확인하기 위하여 사용한다. 순간유량계는 적산유량계로 교정하여 사용한다.

5.3.2 측정 준비

5.3.2.1 여과지를 통과하는 기체의 겉보기 유속이 원칙적으로 0.5 m/s 이하가 되도록 흡입노즐 지름 및 여과지를 선정한다.

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

5.3.2.3 먼지채취부, 기체흡입부, 흡입유량 측정부의 연결부분을 연결한다.

5.3.3 시료채취

5.3.3.1 2.4와 같이 측정점수를 결정한다.

5.3.3.2 3.1과 같이 배출가스의 온도를 측정한다.

5.3.3.3 3.2와 같이 배출가스 중의 수분량을 측정한다.

5.3.3.4 3.5.1과 같이 배출가스의 유속을 측정한다.

5.3.3.5 흡입노즐을 측정점까지 끼워 넣고 처음에는 배출가스가 흐르는 역방향으로 두

었다가 흡입을 시작할 때 배출가스가 흐르는 방향으로 돌려 편차를 10° 이하로 한다.

5.3.3.6 배출가스의 흡입은 흡입노즐로부터 흡입되는 기체의 유속과 측정점의 배출가스 유속이 일치하도록 등속흡입을 행한다.

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

$$q_m = \frac{\pi}{4} d^2 v \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) \frac{273 + \theta_m}{273 + \theta_s} \times \frac{P_a + P_s}{P_a + P_m - P_v} \times 60 \times 10^{-3} \quad (\text{식 31})$$

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 (%)

θ_m : 가스미터의 흡입기체 온도 (°C)

θ_s : 배출가스 온도 (°C)

P_a : 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

P_s : 측정점에서의 정압 (mmHg)

P_m : 가스미터의 흡입기체 게이지압 (mmHg)

P_v : θ_m 의 포화수증기압 (mmHg)

[주 10] 건식 가스미터를 사용하거나 수분을 제거하는 장치를 사용할 때는 P_v 를 제거한다.

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

$$I(\%) = \frac{V_m}{q_m \times t} \times 100 \quad (\text{식 32})$$

여기서, I : 등속계수 (%)

V_m : 흡입기체량(습식가스미터에서 읽은 값) (L)

q_m : 가스미터에 있어서의 등속 흡입유량 (L/min)

t : 기체 흡입시간 (min)

5.3.3.7 흡입기체량은 원칙적으로 채취량이 원형여과지일 때 채취면적 1 cm^2 당 1 mg 정도, 원통형여과지일 때는 전체채취량이 5 mg 이상 되도록 한다. 동 채취량을 얻기 곤란할 경우에는 흡입유량을 400 L 이상 또는 흡입시간을 40 분 이상으로 한다.

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

5.3.3.9 시료채취가 끝나면 흡입관을 빼내고 방치하여 냉각한 후 노즐 주변의 먼지를 닦아낸다.

5.3.3.10 흡입관과 여과지 홀더를 분리하고 먼지가 채취된 여과지는 시료 보관병에 보관한다.

5.3.4 흡입기체 유량 측정방법

흡입기체 유량의 측정은 원칙적으로 5.3.1.3에 규정한 적산유량계 (가스미터) 및 순간유량계 (면적유량계, 차압유량계 등)을 사용한다.

5.3.4.1 흡입시간을 확인하기 위하여 흡입개시 및 종료시각을 기록한다.

5.3.4.2 흡입시작 및 종료 시에 있어서 가스미터의 눈금을 0.1 L 까지 읽어둔다.

5.3.4.3 흡입시간 중 가스미터에 있어서 흡입기체 온도 및 압력을 측정한다.

5.3.4.4 표준상태에서 흡입한 건조 기체량은 다음 식으로 구한다.

5.3.4.4.1 습식 가스미터를 사용할 경우

$$V'_n = V_m \times \frac{273}{273 + \Theta_m} \times \frac{P_a + P_m - P_v}{760} \times 10^{-3} \quad (\text{식 } 33)$$

5.3.4.4.2 건식 가스미터를 사용할 경우

$$V'_n = V'_m \times \frac{273}{273 + \Theta_m} \times \frac{P_a + P_m}{760} \times 10^{-3} \quad (\text{식 34})$$

여기서, V'_n : 표준상태에서 흡입한 건조 기체량 (Sm^3)

V'_m : 흡입기체량(건식 가스미터에서 읽은 값) (L)

V_m : 흡입기체량(습식 가스미터에서 읽은 값) (L)

Θ_m : 가스미터의 흡입기체 온도 ($^{\circ}\text{C}$)

P_a : 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

P_m : 가스미터의 기체 게이지압 (mmHg)

P_v : Θ_m 에서 포화수증기압 (mmHg)

5.3.4.5 면적유량계나 차압유량계를 사용하여 흡입기체 유량을 측정할 때는 그 유량계의 유량 측정방법에 규정한 대로 측정한다.

5.4 자동식 채취 장치에 의한 방법

굴뚝에서 배출되는 먼지시료를 자동식 채취기를 이용 배출가스의 유속과 같은 속도로 시료가스를 흡입 (이하 등속흡입이라 한다)하여 일정온도로 유지되는 실리카 섬유제 여과지에 먼지를 채취한 후 먼지가 채취된 여과지를 5.1과 동일한 방법으로 조작한다.

5.4.1 채취장치의 구성

이 방법에 사용되는 시료채취장치는 흡입노즐, 흡입관, 피토관, 차압게이지, 여과지홀더, 임핀저 트레인, 자동등속흡입 제어부, 유량자동제어밸브, 산소농도계, 온도측정부, 측정데이터 기록부 등으로 구성되어 있으며 시료채취장치의 모든 접속부분에 기체누출이 있어서는 안 되며 구성 내용은 그림 28과 같다.

5.4.1.1 흡입노즐

5.4.1.1.1 흡입노즐은 5.2.1.1에 따른다.

5.4.1.1.2 측정점에서 배출가스 유속을 측정하지 않고 그 유속과 흡입기체의 유속이 일치되도록 한 것으로서 이 노즐은 측정점의 정압 또는 동압과 흡입노즐 내의 정압 또는 동압과 일치하도록 기체를 흡입할 경우에 측정점의 배출가스유속과 기체의 흡입속도가 같게 되도록 한 구조와 기능을 갖는 것이다. 흡입노즐내의 동압은 흡입기체의 유속을 측정하기 위한 조임기구를 사용할 때는 조임 전후의 평균 차압으로 한다.

5.4.1.1.3 흡입노즐에서 먼지채취부까지의 흡입관은 내면이 매끄럽고 급격한 단면의 변화와 굴곡이 있어서는 안 된다. 평형형 흡입노즐의 구조 및 구성 예를 그림 29에 나타내었다.

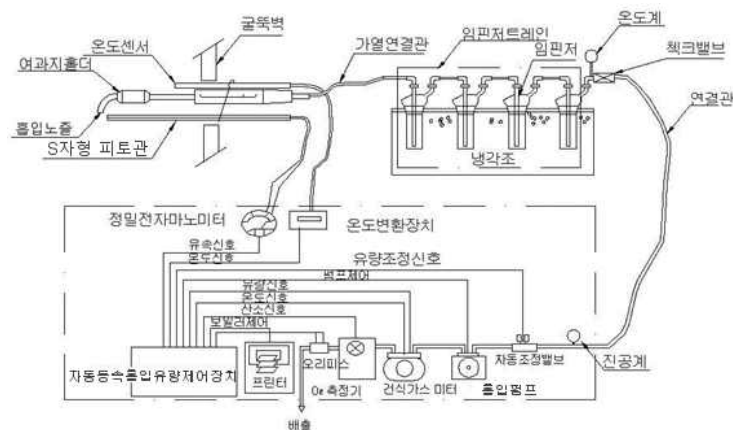


그림 28. 자동식 시료채취장치 구성 예

5.4.1.2 흡입관

흡입관은 5.2.1.2항에 따른다.

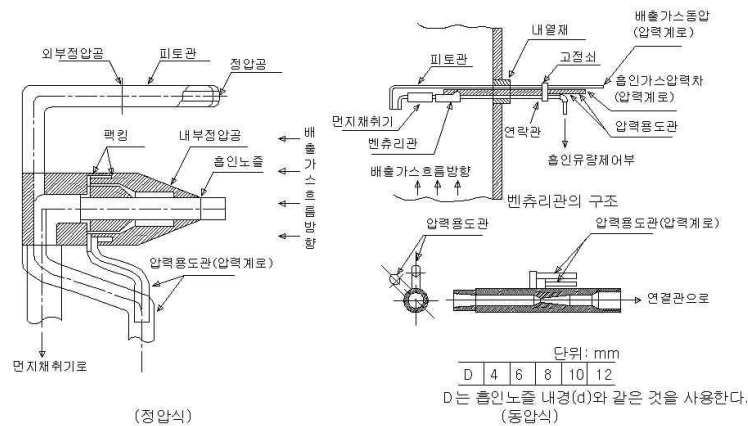


그림 29. 평형형 흡입노즐의 구조 및 구성의 예

5.4.1.3 피토관

피토관은 5.2.1.3에 따른다.

5.4.1.4 차압게이지

차압게이지는 최소 단위 0.1 mmH₂O ~ 0.5 mmH₂O까지 측정하여 출력신호를 발생할 수 있는 정밀 전자 마노미터를 사용한다.

5.4.1.5 여과지홀더

여과지홀더는 5.2.1.5 에 따른다.

5.4.1.6 임핀저 트레인

임핀저 트레인은 5.2.1.7 을 따른다.

5.4.1.7 자동 등속흡입 제어부

자동등속흡입 제어부는 배출가스 유속, 흡입노즐의 내경, 가스미터 및 배출가스 온도, 수증기 부피 백분율 등을 측정 및 압력을 받아 전용 프로세서로 계산하여 등속흡입 유량 신호로 유량자동밸브를 제어한다.

5.4.1.8 유량 자동제어밸브

유량자동제어밸브는 자동등속흡입 제어부로부터 환산된 신호에 의해서 지시 유량을 자동제어 할 수 있는 것을 사용한다.

5.4.1.9 산소 농도계

산소농도계는 공기비 계수를 자동 보정하기 위하여 영점 및 교정편차가 0.4 % 이내의 것을 사용한다. 단, 기타의 방법으로 측정할 수 있으면 생략할 수 있다.

5.4.1.10 온도 측정부

온도측정부는 배출가스 온도 및 가스미터 온도를 0.1 ℃까지 측정 및 출력할 수 있는 열전도 온도계 등을 사용한다.

5.4.1.11 측정데이터 기록부

측정데이터 기록부는 측정일시, 측정번호, 피토평관계수, 기온, 기압, 수분량 흡입 노즐직경, 배출가스정압, 시료채취시간, 배출가스온도, 산소농도, 굴뚝직경 등을 자동 저장 및 기록할 수 있어야 하며, 20 회분 이상의 측정자료를 자동 보관하여 필요시 출력할 수 있도록 한다. 단, 기타의 방법으로 기록할 수 있으면 생략할 수 있다.

5.4.2 시험용 기구 및 기기

시험용 기구 및 기기는 5.2.2에 따른다.

5.4.3 시험용 시약

시험용 시약은 5.2.3에 따른다.

5.4.4 측정준비

측정준비는 5.2.4에 따른다.

5.4.5 시료채취

5.4.5.1 일반적인 시료채취의 단계는 5.1.5에 따른다. 측정점을 선정하여 시료채취부의 노즐을 상부 방향으로 측정점에 도달시킨 후 측정과 동시에 노즐을 하부방향으로 하여 최소 2분에 1회씩 측정점을 이동하면 등속흡입은 자동으로 이루어지며 그때 시료채취량 및 흡입조건이 자동으로 제어 및 저장된다.

5.4.5.2 등속흡입 계수가 90 % ~ 110 % 범위에 동작할 수 있도록 등속흡입 유량 자동 시간을 설정한다.

5.4.6 시료회수

시료 회수는 5.2.6에 따른다.

6.0 휘발성유기화합물 (VOCs)의 시료채취방법

이 방법은 산업시설 등에서 굴뚝 등으로 배출되는 배출가스 중 휘발성유기화합물 (VOCs, volatile organic compounds)의 시료채취에 적용하며, 실내 공기나 배출원에서 일시적으로 배출되는 미량 휘발성유기화합물의 채취 및 누출 확인, 굴뚝 환경이나 기기의 분석조건 하에서 매우 낮은 증기압을 갖는 휘발성유기화합물의 측정에는 적용하지 않는다. 또한, 알데하이드류 화합물질에 대해서도 적용하지 않는다.

6.1 시료채취장치

6.1.1 흡착관법

휘발성 유기화합물질 시료채취장치 (VOST, volatile organic sampling train)는 시료채취관, 밸브, 응축기 (2세트), 흡착관 (2세트), 응축수트랩 (2세트), 건조제 (실리카겔), 유량계, 진공펌프 및 진공게이지와 건식가스미터로 구성되며, 각 장치의 모든 연결부위는 진공용 윤활유를 사용하지 않고 플루오로수지 재질의 관을 사용하여 연결한다. 장치의 구성은 그림 30과 같다.

6.1.1.1 채취관

채취관 재질은 유리, 석영, 플루오로수지 등으로, 120 °C 이상까지 가열이 가능한 것이어야 한다.

6.1.1.2 밸브

플루오로수지, 유리 및 석영재질로 밀봉윤활유 (sealing grease)를 사용하지 않고 기체의 누출이 없는 구조이어야 한다.

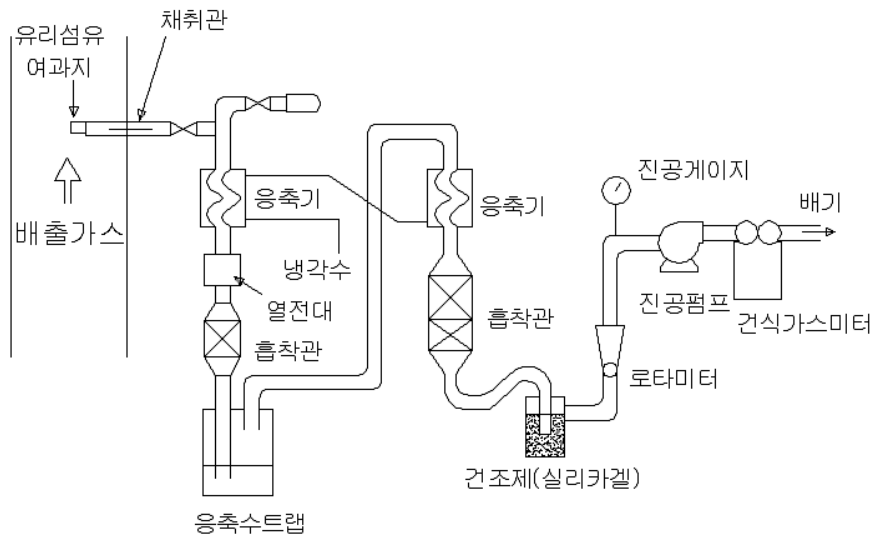


그림 30. 시료채취장치 (흡착관법, VOST)

6.1.1.3 응축기 및 응축수 트랩

응축기 및 응축수 트랩은 유리재질이어야 하며, 응축기는 기체가 앞쪽 흡착관을 통과하기 전 기체를 20 °C 이하로 낮출 수 있는 용량이어야 하고 상단 연결부는 밀봉윤활유를 사용하지 않고도 누출이 없도록 연결해야 한다.

6.1.1.4 흡착관

흡착관은 스테인리스강 (예 : 5 mm × 89 mm) 또는 파이렉스 (pyrex) 유리 (예 : 5 mm × 89 mm)로 된 관에 측정대상 성분에 따라 흡착제를 선택하여 각 흡착제의 파과

부피(breakthrough volume)를 고려하여 일정량 이상 (예, 200 mg)으로 충전한 후에 사용한다. 흡착관은 시판되고 있는 별도규격 제품을 사용할 수 있다. 각 흡착제는 반드시 지정된 최고온도범위와 기체유량을 고려하여 사용하여야 하며, 흡착관은 사용하기 전에 반드시 안정화 (conditioning)단계를 거쳐야 한다. 보통 350 °C (흡착제의 종류에 따라 조절가능)에서 99.99 % 이상의 헬륨기체 또는 질소기체 50 mL/min ~ 100 mL/min으로 적어도 2 시간 동안 안정화 (시판된 제품은 최소 30 분 이상)시키고, 흡착관은 양쪽 끝단을 테플론 재질의 마개를 이용하여 밀봉하거나, 불활성 재질의 필름을 사용하여 밀봉한 후 마개가 달린 용기 등에 넣어 이중 밀봉하여 보관한다. 흡착관은 24 시간 이내에 사용하지 않을 경우 4 °C의 냉암소에 보관하고, 반드시 시료채취 방향을 표시해주고 고유번호를 적도록 한다.

6.1.1.5 유량 측정부

VOST의 유량측정부는 진공게이지, 펌프, 건식가스미터 및 이와 관련된 밸브와 장비들로 구성된다. 앞쪽의 응축기와 흡착관사이의 기체온도를 앞쪽응축기 바깥표면에 연결된 열전기쌍 (thermocouple)을 이용하여 측정하되 이 지점의 온도는 20 °C 이하가 되어야 하고, 만약 그렇지 않다면 다른 응축기를 사용하여야 한다. 기기의 온도 및 압력 측정이 가능해야 하며, 최소 100 mL/min의 유량으로 시료채취가 가능해야 한다.

6.1.1.6 시료채취 연결관

시료채취관에서 응축기 및 기타부분의 연결관은 가능한 짧게 하고, 밀봉윤활유 등을 사용하지 않고 누출이 없어야 하며, 플루오로수지 재질의 것을 사용한다.

6.1.2 시료채취 주머니 방법

시료채취관, 응축기, 응축수트랩, 진공흡입상자, 펌프로 구성되며, 각 장치의 모든 연결부위는 플루오로수지 재질의 관을 사용하여 연결한다 (그림 31). 시료채취 주머니는 시료채취동안이나 채취 후 보관 시 반드시 직사광선을 받지 않도록 하여 시료성분이 시료채취 주머니 안에서 흡착, 투과 또는 서로간의 반응에 의하여 손실 또는 변질되지 않아야 한다. 진공흡입상자를 사용하여 시료를 채취하는 것이 가장 안전하다. 이러한 시료채취 시스템의 원리는 통 내부의 공기를 진공펌프로 빨아들여 진공상태로 만든 뒤 외부의 시료를 시료채취주머니 내부로 서서히 유입시키는 방법으로서 간단히 제작

하여 쓸 수 있다. 시료채취의 입구는 되도록 유리섬유 (glass wool)와 같은 여과재를 채워 먼지의 유입을 막아야 한다. 또한 기존의 복잡한 진공흡입장치를 현장에서 간편하게 휴대하여 사용할 수 있도록 휴대용 케이스형태로 제작하여 사용하기도 한다 (그림 32). 또한, 배출가스의 온도가 100 ℃ 미만으로 시료채취 주머니 내에 수분응축의 우려가 없는 경우 응축기 및 응축수트랩을 사용하지 않아도 무방하다.

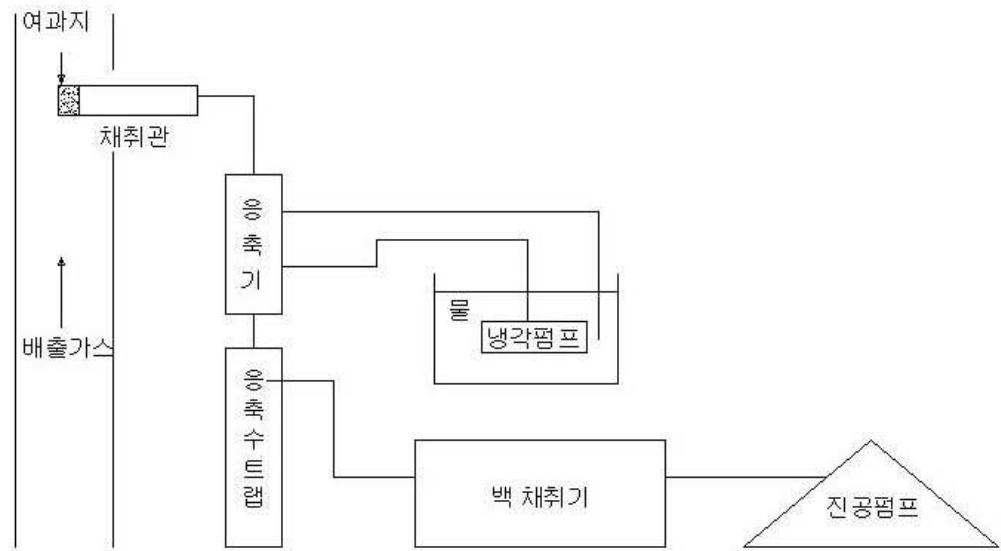


그림 31. 시료채취장치 (Tedlar bag)

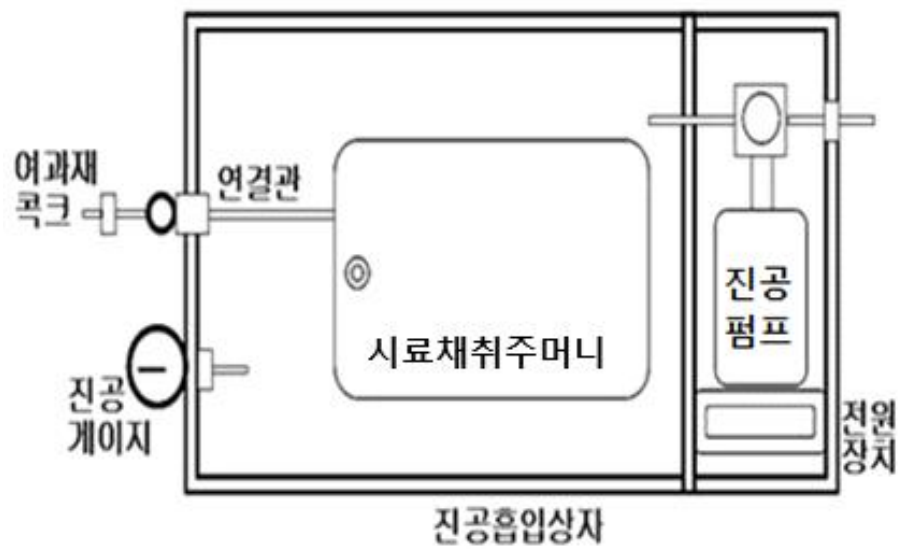


그림 32. 휴대용 시료채취 주머니 시료채취장치

6.1.2.1 채취관

6.1.1.1 의 규정에 따른다.

6.1.2.2 응축기 및 응축수 트랩

6.1.1.3 의 규정에 따른다.

6.1.2.3 진공용기

진공용기는 1 L ~ 10 L 시료채취 주머니를 담을 수 있어야 하며, 용기가 완전진공이 되도록 밀폐된 구조의 것을 사용하여야 한다.

6.1.2.4 진공펌프

시료채취펌프는 흡입유량이 1 L/min ~ 10 L/min의 용량과 격막펌프 (diaphragm pump)로 VOC 흡착성이 낮은 재질 (테플론 재질)로 된 것을 사용한다.

6.2 시료채취방법

6.2.1 흡착관법

6.2.1.1 흡착관은 6.1.1.4에 규정한 것과 같이 사용하기 전에 적절한 방법으로 안정화한 후 흡착관을 그림 30의 시료채취장치에 연결한다. 단, 흡착관은 물과의 친화력에 따라 응축기 뒤쪽 또는 응축수 트랩 뒤쪽에 각각 연결할 수 있다.

6.2.1.2 누출시험을 실시한 후 시료를 도입하기 전에 가열한 시료채취관 및 연결관을 시료로 충분히 치환한다.

6.2.1.3 시료흡입속도는 100 mL/min ~ 250 mL/min정도로 하며, 시료채취량은 1 L ~ 5 L 정도가 되도록 한다.

6.2.1.4 시료가스미터의 유량, 온도 및 압력을 측정한다.

6.2.1.5 시료를 채취한 흡착관은 양쪽 끝단을 테플론 재질의 마개를 이용하여 단단히 막고 불활성 재질의 필름 등으로 밀봉하거나 마개가 달린 용기 등에 넣어 이중으로 외부 공기와의 접촉을 차단하여 분석하기 전까지 4 °C 이하에서 냉장 보관하여 가능한 빠른 시일 내에 분석한다.

6.2.2 시료채취 주머니 방법

6.2.2.1 시료채취 주머니는 새 것을 사용하는 것을 원칙으로 하되 만일 재사용 시에는 제로기체와 동등 이상의 순도를 가진 질소나 헬륨기체를 채운 후 24 시간 혹은 그 이상 동안 시료채취주머니를 놓아둔 후 퍼지 (purge)시키는 조작을 반복하고, 시료채취 주머니 내부의 기체를 채취하여 기체 크로마토그래피를 이용하여 사용 전에 오염여부를 확인하고 오염되지 않은 것을 사용한다.

6.2.2.2 누출시험을 실시한 후 시료를 채취하기 전에 가열한 시료채취관 및 도관을 통해 시료로 충분히 치환한다.

6.2.2.3 시료채취 주머니를 6.1.2에서처럼 시료채취장치에 연결한다.

6.2.2.4 1 L ~ 10 L 규격의 시료채취 주머니를 사용하여 1 L/min ~ 2 L/min 정도로 시료를 흡입한다.

6.2.2.5 시료채취 주머니는 빛이 들어가지 않도록 차단하고 시료채취 이후 24 시간 이내에 분석이 이루어지도록 한다. 시료채취 전에는 시료채취 주머니의 바탕시료를 확인 후 시료채취에 임하도록 한다.