

□ 작업환경 중의 유해요인

(1) 작업환경중 유해요인이란?

(2) 요인분류와 용어

가. 물리적 요인

나. 화학적 유해요인

- 입자상 물질(particulate) : 공기 중 오염물질이 고체나 액체상태로 입자 형상을 가지는 것. 예) 분진, 흙, 오일미스트,
- 가스상 물질(gaseous pollutants) : 기체 형태의 오염물질.
예) 아황산 가스 (SO_2), 오존(O_3), 벤젠(benzene)
- * 에어로졸: 입자상 물질이 공기중에 부유된 상태.

A. 입자상 물질

분진(먼지, dust): 고체덩어리가 분쇄, 연마, 마찰 등에 의하여 미립자 형태로 변환되어 공기 중에 부유되어 있거나 부유된 후 침강되어 있는 물질

1차분진 (primary dust)

2차분진 (secondary dust)

흙 (fume) : 금속이 용접이나 고열에 의하여 기화되어 공기 중으로 비산된 후 급속히 응축되어 생성된 고체 상태의 미립자

미스트(mist) : 액체가 외부의 충격이나 힘에 의하여 액체 입자형태로 공기 중으로 비산되어 있는 물질. 예) 오일미스트(oil mist)

포그(fog) : 액체가 기화된 후 기온의 강하로 다시 응축되어 액체 상태의 미립자로 변환되어 공기 중에 부유되어 있는 상태

B. 가스상 물질

가스(gas) : 상온에서 기체 상태로 존재하는 오염물질. 예) 아황산가스 (SO_2), 오존(O_3),

증기(vapor) : 상온에서는 주로 액체상태로 존재하지만 분압에 의하여 공기 중으로 기화되어 공기 중에 기체상태로 혼합되어 있는 물질. 예) 벤젠 (benzene), 톨루엔(toluene), 크실렌(xylene)

* 화학적 유해요인 분류도표

분포상(오염물질)	연속상(매질)	기체	액체	고체
	기체			
	액체			
	고체			

다. 생물학적 유해요인

라. 인간공학적 요인

- A. 중량물 취급작업
- B. 컴퓨터 단말기 작업

마. 사회심리학적 요인

4. 공기에 대한 이해

(1) Approximate composition of dry air by volume

Component	Symbol	Percent concentration	ppm concentration	Notes
Nitrogen	N ₂	78.084	780840.	±0.004 %
Oxygen	O ₂	20.9476	209476.	—
Argon	Ar	0.934	9340.	±0.001 %
Carbon dioxide	CO ₂	0.0314	314.	—
Neon	Ne	0.001818	18.18	±0.04 ppm
Helium	He	0.000524	5.24	±0.004 ppm
Methane	CH ₄	0.0002	2.	—
Sulfur dioxide	SO ₂	0 to 0.0001	0 to 1	—
Hydrogen	H ₂	0.00005	0.5	—
Krypton	Kr	0.0002	2.	1
Xenon	Xe	0.0002	2.	1
Ozone	O ₃	0.0002	2.	1

(2) Calculation of the apparent molecular weight of dry air

Component	Atomic symbol	Molecular weight (M_i)	Concentration percent (%)	Volume fraction (B_i)	$M_i B_i$
Nitrogen	N ₂	28.01	78.084	0.78084	21.87132
Oxygen	O ₂	32.00	20.9476	0.209476	6.70232
Argon	Ar	39.948	0.934	9.34×10^{-3}	0.373116
Carbon dioxide	CO ₂	44.00	0.0314	3.14×10^{-4}	1.3816×10^{-2}
Neon	Ne	20.183	0.001818	1.1818×10^{-5}	3.67×10^{-4}
Helium	He	4.0026	0.000524	5.24×10^{-6}	2.097×10^{-5}
Methane	CH ₄	16.04	0.0002	2.0×10^{-6}	3.208×10^{-5}
Sulfur dioxide	SO ₂	64.06	0 to 0.0001	0.1×10^{-6}	6.406×10^{-5}
Hydrogen	H ₂	2.0159	0.00005	5.0×10^{-7}	1.008×10^{-6}
Krypton	Kr	83.80	6.67×10^{-5}	6.67×10^{-7}	5.589×10^{-5}
Xenon	Xe	131.30	6.67×10^{-5}	6.67×10^{-7}	8.757×10^{-5}
Ozone	O ₃	48.00	6.67×10^{-5}	6.67×10^{-7}	3.202×10^{-5}
			99.9998921	$\Sigma M_i B_i =$	28.962

(3) 압력

① 대기압

② Standard atmosphere pressure

1.01325 × 10 ⁵	Pascals (Pa)
101.325	kiloPascals (kPa)
29.921	inches of mercury (in Hg)
760.0	millimeters of mercury (mm Hg)
76.00	centimeters of mercury (cm Hg)
0.76	meters of mercury (m Hg)
14.695	pounds per square inch (psi)
406.14	inches of water (in H ₂ O)
1.013	bars (bars)
1.0	atmospheres (atm)

5. 농도에 대한 이해

내용: 농도단위 및 단위의 변환과 환산

(1) 공기 중 화학물질의 농도단위

가스상 유해물질 -- 가스(gas)
-- 증기(vapor)

ppm 또는 mg/M³

입자상 유해물질 -- 미스트(mist)
-- 포그(fog)
-- 분진(dust)
-- 흡(fume)

$$\text{mg/M}^3$$

$$1 \text{ kg} = 1,000 \text{ g}$$

$$1 \text{ g} = 1,000 \text{ mg}$$

$$1 \text{ M}^3 = 1,000 \text{ l}$$

$$1 \text{ l} = 1/1000 \text{ M}^3 = 10^{-3} \text{ M}^3$$

$$1 \text{ l} = 1,000 \text{ ml}$$

(2) 절대농도단위 : mg/m^3

대부분 공기 중 유해물질의 농도는 일정량의 공기 중(일정부피의 공기 중, 대개 기준량으로 M^3)에 유해물질이 얼마만큼 있는가(즉, 유해물질의 양, mg)로 나타낸다. 이것이 절대농도이다. 예를 들어 공기 1 입방미터(M^3 보통 ‘큐빅미터’라고도 읽으며, m^3 으로 표기하기도 한다)의 부피에 벤젠(benzene) 32 mg이 휘발(揮發, 또는 기화)되어 있다면, 농도는 32 mg/M^3 가 된다.

(3) 가스상 유해물질의 상대농도: ppm

작업환경의 공기 중에 함유된 가스상 유해물질은 모두 기화되어 일정한 부피를 가지고 있다. 따라서 일반적으로 가스상 유해물질의 농도단위는 공기 전체부피 중 가스상의 유해물질의 차지하는 부피의 비(比)로 나타낸다.

*****분율의 종류 *****

십분율 : 할(割). 사물이나 수량을 ‘10으로 등분하여 그 중에 몇’을 나타내는 말.

$$\frac{1}{10} = 10^{-1}$$

백분율 : 퍼센트(per cent, %). 사물이나 수량을 ‘100으로 등분하여 그 중에 몇’을 나타내는 말.

$$\frac{1}{100} = 100^{-1} = 10^{-2}$$

천분율 : 퍼어밀(per mil, ‰), 사물이나 수량을 ‘1000으로 등분하여 그 중에 몇’을 나타내는 말.

$$\frac{1}{1000} = 1000^{-1} = 10^{-3}$$

(만분율)

(십만분율)

백만분율 : 피피엠 (ppm; part per million), 사물이나 수량을 ‘백만으로 등분하여 그 중에 몇’을 나타내는 말.

$$\frac{1}{1,000,000} = 1,000,000^{-1} = 10^{-6}$$

(천만분율)

(억만분율)

십억만분율 : 피피비(ppb; part per billion), 사물이나 수량을 ‘십억으로 등분하여 그 중에 몇’을 나타내는 말.

$$\frac{1}{1,000,000,000} = 1,000,000,000^{-1} = 10^{-9}$$

작업환경 중의 가스상 유해물질은 모두 기화되어 있으므로 일정한 부피(체적)를 가지고 있다. 따라서 가스상 유해물질(가스 및 증기)의 농도는 연속상(공기)의 부피대 분포상(유해물질)의 부피비로 나타낼 수 있다. 그런데 유해물질의 함유량이 매우 적으므로 화학물질의 농도는 일반적으로 ppm이나 ppb로 나타낸다.

*****, 분율의 환산

각 분율은 서로 환산하여 사용할 수 있다.
1 %는 1/100이므로 10,000/1,000,000과 같다. 따라서 1%와 10,000 ppm은 같은 농도이다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$2 \% = 2 \% \times \% / 10^{-2} = 0.02 = 0.02 \times \text{ppm} / 10^{-6} = 0.02 \times 10^6 \text{ ppm} \\ = 20,000 \text{ ppm}$$

즉,

$$2 \% = 2 \% \times \% / 10^{-2} \times 10^6 \text{ ppm} \\ = 20,000 \text{ ppm}$$

$$2 \% = 2 \times 10,000 \\ = 20,000 \text{ ppm}$$

$$(\because 1\% = 10,000 \text{ ppm})$$

이는 1일을 24 시간을 1,440분이라고 말할 수도 있으며, 86,200초라고 할 수도 있는 것과 마찬가지이다. 그러나 일반적으로 86,200초라고 이야기하면 곧바로 1일이라고 이해하기 힘들다. 따라서 적절한 크기의 단위를 사용하는 것이다.

(4) 가스상 유해물질에 대하여 상대농도(ppm)와 절대농도(mg/m³)간의 상호변환

- 화학분야에서 표준상태란 0. C, 1기압(atmosphere; atm)을 말한다. 즉, 0. C, 1기압을 표준온도 및 압력(STP; standard temperature and pressure) 조건이라고 한다.
- 산업보건분야에서 (작업환경의) 기준은 25. C, 1기압(atmosphere; atm)을 말한다.
- 절대온도(K)는 섭씨온도(. C)에 273를 더하여 구한다. 즉,

$$\text{절대온도(K)} = \text{섭씨온도(. C)} + 273$$

따라서, 작업환경의 기준 온도 및 압력은 298 K, 1 atm이다.

- 어떤 화학물질이든지 1 mol이 완전히 기화되면 분자 수가 6.02214×10^{23} 개가 된다. STP 상태에서 이 기체의 부피는 22.4 liters가 된다.
- 화학물질의 1 mol은 그 화학물질의 분자량 무게만큼을 존재할 때라고 볼 수 있다.
- 따라서 모든 화학물질은 분자량 무게만큼이 기화되면 STP 상태에서 기체의 부피는 22.4 liters가 된다.

○ 기체의 부피는 온도가 올라가면 증가하고 압력이 높아지면 감소한다.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

○ 변환

$$\text{밀도}(d) = \frac{\text{질량}(m)}{\text{부피}(v)}$$

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$$

$$1 \text{ g} = 1000 \text{ mg}$$

$$1 \text{ M}^3 = 1000 \text{ liters}$$

$$1 \text{ liter} = 1000 \text{ ml}$$

○ 순수한 물의 경우:

$$1 \text{ liter} = 1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$$

$$1 \text{ ml} = 1 \text{ cc} = 1 \text{ g} = 1000 \text{ mg}$$

ppm에서 mg/M³ 로의 변환

$$ppm \times \frac{MW}{24.45}$$

(5) 공기 채취용량은 어떻게 계산되는가 ?

작업환경중의 공기는 일정 채취유량(ℓ/분)으로 보정된 개인시료채취기를 일정시간동안(분) 가동하여 채취된다. 이것을 근거로 농도를 계산할 때 분모인 공기 채취용량이 아래와 같이 계산된다.

$$\text{채취유량}(\ell/\text{분}) \times \text{채취시간}(\text{분}) = \text{공기 채취용량}(\ell)$$

(6) 채취유량은 어떻게 구하는가 ?

개인 시료채취기구의 채취유량을 구하는 것은(유량을 보정하는 것은) 1차 표준'으로서 'soap bubble meter'(비누거품미터)를 가장 널리 이용(교재

참조)

※ 토의사항

- 왜 보정을 해야 하는가 ?
- 보정(calibration), 1차 표준의 개념
- 매체(media)의 종류에 따른 보정이해
- 비누거품의 이동이 의미하는 것은 무엇인가 ?
- 물질별로 채취유량이 다른 이유는 무엇인가 ?
- 측정전과 후에 채취유량을 보정해야 하는 이유는 ?

□ 작업환경측정을 위한 가이드라인

제1장 시료채취 과정 (General Sampling Procedures)

1. 시료채취 준비

- 시료채취 기구를 준비하고 유량보정을 실시한다.
- “허용기준물질 측정방법”을 참조하여 시료채취 매체를 준비한다.

2. 개인 시료채취 대상 근로자 선정

○ 법적 허용기준의 초과 여부를 결정할 경우에는 작업환경측정 및 정도관리규정 (노동부고시 제2007-45호)에 따라 단위작업장소에서 최고 노출근로자 2인 이상에 대하여 동시에 측정하되, 단위작업장소에 근로자가 1인인 경우에는 그러하지 아니하며, 동일 작업근로자수가 10인을 초과하는 경우에는 매 5인당 1인(1개지점) 이상 추가하여 측정하여야 한다. 다만, 동일 작업근로자수가 100인을 초과하는 경우에는 최대 시료채취 근로자수를 20인으로 조정할 수 있다.

- 시료채취 대상 근로자를 선정하고 시료 채취 목적에 대해 서로 논의를 한다.
- 시료채취기구를 언제(when), 어디서(where) 탈착한다는 정보를 근로자에게 정확히 알려준다.
- 근로자들에게 시료채취 시간내에 임시로 채취기구를 탈착하는 경우에는 현장

관리자나 측정자에게 알리도록 주지시킨다.

3. 시료채취(공기 채취용량) 시간 결정

○ 공기채취량(시료채취 시간)은 분석기기의 정량한계, 공기 중의 예상 농도, 허용기준, 채취 유량 등을 복합적으로 고려해야 한다.

○ “허용기준 설정물질의 작업환경측정방법”에서는 농도범위와 공기채취량의 범위(최소-최대)가 정해져 있어, 이를 근거로 측정하고자 하는 물질의 예상되는 농도와 분석기기의 정량한계를 고려하여 적절한 공기채취량을 설정한다.

○ 시료의 파파가 일어나지 않을 용량, 습도, 다른 유기용제의 존재 여부를 결정하여 타당한 공기채취량을 결정하여야 한다.

○ 어떠한 경우라도 시료채취시간은 최소한 6시간 이상이어야 하며, 작업시간이 6시간 미만인 경우 전작업시간 동안 시료를 채취하여야 한다.

4. 시료채취 시작

○ 근로자들의 작업에 방해가 되지 않도록 개인시료 채취 펌프를 신체부위에 착용시킨다. 일반적으로 허리부위에 착용시킨다.



그림 16. 다양한 개인시료 채취 펌프 종류

○ 작업환경측정 및 정도관리규정(노동부고시 제2007-45호)에서 “개인시료채취”이라 함은 개인시료채취기를 이용하여 가스·증기·분진·흠(fume)·미스트(mist) 등을 근로자의 호흡위치(호흡기를 중심으로 반경 30cm인 반구)에서 채취하는 것을 말한다.



그림 17. 개인 시료채취기구 착용

○ 채취매체(예, 카세트 또는 활성탄관)를 근로자의 셔츠 깃이나 가슴적 호흡구(코, 입)에 가까운 위치(호흡기 반경 30 cm 이내)에 부착시킨다.

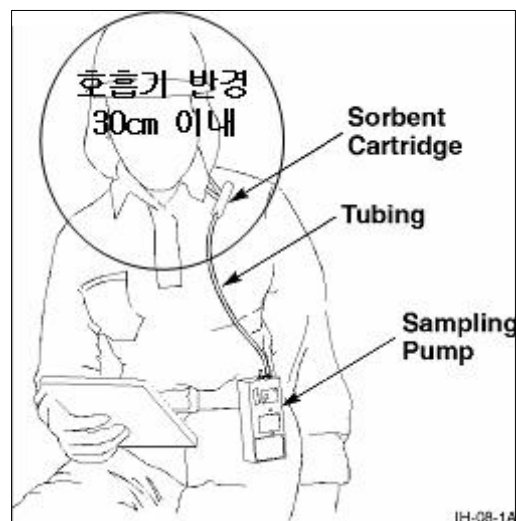


그림 18. 호흡기 반경 30 cm
이내에서 시료채취

○ 채취매체 유입구는 항상 아래로 향하게 하여 과대 채취를 피해야 한다. 특히 카세트를 이용한 충분진 여과채취는 반드시 공기 유입구가 아래로 향하도록 해야 한다.

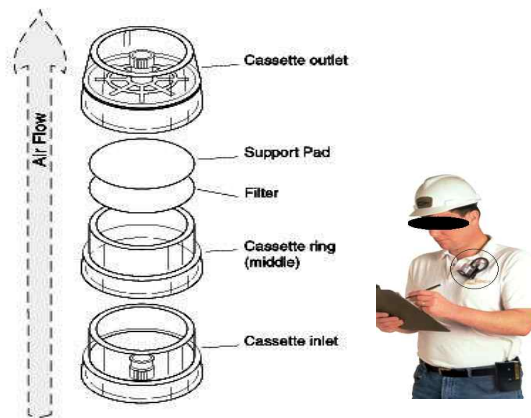


그림 15. 충분진채취의 공기 유입방향

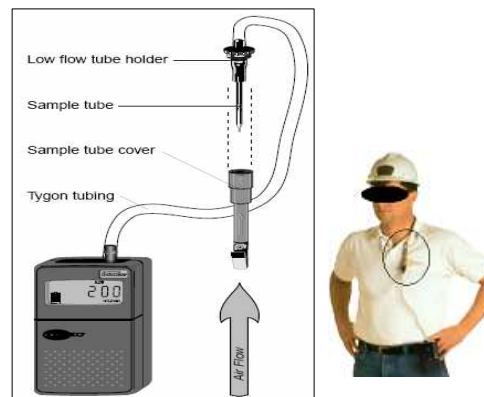


그림 16. 고체채취법의
공기유입 방향

- 펌프와 채취매체를 연결한 튜브는 근로자들이 작업에 방해가 안 되도록 처리한다.
- 펌프 전원을 켜고 펌프 작동 시작시간을 기록한다.
- 시료채취 시작 후 일정 시간 동안은 펌프 작동이 정확히 이루어지는지 관찰한다.
- 부록에서 제시한 “작업환경 시료채취과정 기록지”에 필요한 정보들을 기록한다.

5. 시료채취 감시

- 펌프 동작 상태는 가급적 두 시간마다 체크한다.
- 여과지에 채취되는 입자상물질이 많을 경우는 더 자주 펌프 상태를 체크한다.

○ 시료채취를 종료하기 전까지는 시료채취기구 전체가 연결이 잘되어 있는지 확인한다.

○ 여과채취법의 경우 입자가 필터에 비대칭적으로 침착되어 있을 때는 큰 입자가 카세트에 유입되었거나 시료나 펌프가 비정상적으로 작동되었다고 판정할 수 있다.

○ 펌프유량과 시료채취과정에서 관찰된 내용들을 부록에서 제시한 “작업환경 시료채취과정 기록지”에 기록한다.

○ 주기적으로 작업시간동안 시료채취가 순조롭게 이루어지고 있는지 체크하고 근로자의 특이 행동과 작업형태를 확인한다.

○ 근로자들이 작업장에서 청정지역으로 식사 또는 휴식을 취하려고 이동할 때는 즉시 펌프를 끄거나 시료채취기구를 제거해야 한다. 만약 작업장을 떠나 이동한 곳이 오염된 지역으로 판단되거나 작업장의 한 부분으로 간주가 된다면 시료채취는 연속적으로 이루어진다.

○ 사진 촬영이 허용된다면 눈에 보이는 공기오염, 작업 형태나 이동 그리고 공학적 관리형태 등을 촬영하고 자세하게 부록에서 제시한 “작업환경 시료채취과정 기록지”에 기록한다.

○ 시료채취 중에 각각의 채취 매체 별로 현장공시료(field blank)를 “작업환경측정법”에서 권고하는 숫자만큼의 시료를 준비한다. 현장 공시료는 시료채취과정 없이 활성탄관의 경우 양끝을 절단한 후 마개로 막고 카세트의 경우는 마개를 열어 개방한 후 다시 막는다. 그 후로는 시료채취가 완료된 시료들과 함께 취급하여 시료매체의 이동 및 보관과정에서 오염되었는지 확인한다.

6. 마지막 절차

○ 시료채취 종료 시 펌프를 탈착하기 전에 펌프에 부착된 로터미터의 유량 표시가 펌프유량 보정 시와 동일한지 확인한다. 동일하지 않은 경우는 로터미터의 유량을 기록한다.

○ 펌프 전원을 끄고 시료채취 종료시간을 기록한다.

○ 펌프에서 채취매체를 제거한 후 즉시 아래 그림과 같이 봉인한다.

○ 현장 시료의 특성을 보존하기 위해서는 채취 후 가능한 한 빨리 분석실로 운반한다.



그림 17. 봉인된 카세트 및 고체흡착관

- 공기시료 채취매체와 현장공기시료 매체가 교차 오염되지 않도록 별도 포장하여 분석을 의뢰한다.
- 시료 운반 중에 흔들리거나 충격을 받지 않도록 포장을 한다. 특히, 유기용제의 경우 고온에 노출되면 탈착되어 손실되거나 변질될 수 있다.
- 가급적 공기 방울이 들어있는 시트(bubble sheeting)로 포장한다.
- 각각의 포장에 시료확인에 관련된 문서를 부착한다.
- 절대로 플라스틱 백이나 봉지 안에 시료를 담아 이송해서는 안된다.
- 시료채취 후(펌프 충전 전)에 펌프 유량을 재보정하여 배터리 팩을 적당하게 관리한다.
- 펌프 유량보정 장소가 실제 작업장 시료채취 장소에 비해 온도나 압력이 많은 차이가 있다면 시료채취 장소에서 유량을 보정한다. 유량보정 장소에 대한 내용은 부록에서 제시한 “작업환경 시료채취과정 기록지”에 상세히 기록한다.

제2장 시료채취 매체(Sampling Media)

1. 검지관(DETECTOR TUBES)

○ 작업환경측정 및 정도관리규정(노동부고시 제2007-45호)에 따라 예비조사차원에서는 사용이 가능하다.

○ 측정하기 전 반드시 검지관 펌프가 새는지(음압 검사 또는 펌프 용량 보정)를 실시한다.

○ 검지관 펌프 용량 보정은 검지관 측정을 100회 한 후 최소 4회 이상 실시한다.



그림 18. 검지관 펌프 유량
보정용 필름 유량보정기구

○ 검지관방식으로 측정하는 경우에는 당해 작업근로자의 호흡기 및 가스상 물질 발생원에 근접한 위치 또는 근로자 작업행동 범위의 주 작업 위치에서의 근로자 호흡기 높이에서 측정하여야 한다.

2. 카세트를 이용한 총분진 시료채취

(1) 개요

○ “여과채취방법”이라 함은 시료공기를 여과재를 통하여 흡인함으로써 당해 여과재에 측정하고자 하는 물질을 채취하는 방법을 말한다.

(2) 총분진 형태의 여과채취 방법

○ 총분진은 PVC(low-ash polyvinyl chloride) 막여과지를 시료채취 전에 무게를 칭량하고 시료 채취 유량은 약 2 L/분으로 한다. 시료 채취유량은 여과지에 과부하(overloading)가 걸리지 않도록 결정한다.



그림 19. 3단 카세트의 구성

○ 금속흡의 채취는 MCE(0.8-micron mixed cellulose ester) 막여과지를 이용하여 채취한다. 시료 채취유량은 약 1.5 L/분으로 하며 2.0 L/분을 초과해서는 안된다. 용접흡을 중량분석법으로 측정하는 경우는 제7장 “여과지 무게 정량(Filter Weighing)”을 참조한다.

○ 입자상 물질의 채취 효율이 떨어지지 않도록 시료채취가 여과지에 과부화(overloading)되지 않도록 한다.

○ 개인시료채취 전후에 펌프 유량을 1차 표준기구(bubble meter)로 유량을 보정하여야 하며 사용된 유량보정기의 일련 번호(serial number)를 기록한다.

○ 유량 및 용량 보정을 하는데 있어서 ‘1차 표준기구’란 물리적 차원(dimension)인 공간의 부피를 직접 측정할 수 있는 표준기구를 의미하는데 정확도가 $\pm 1\%$ 이내이다.

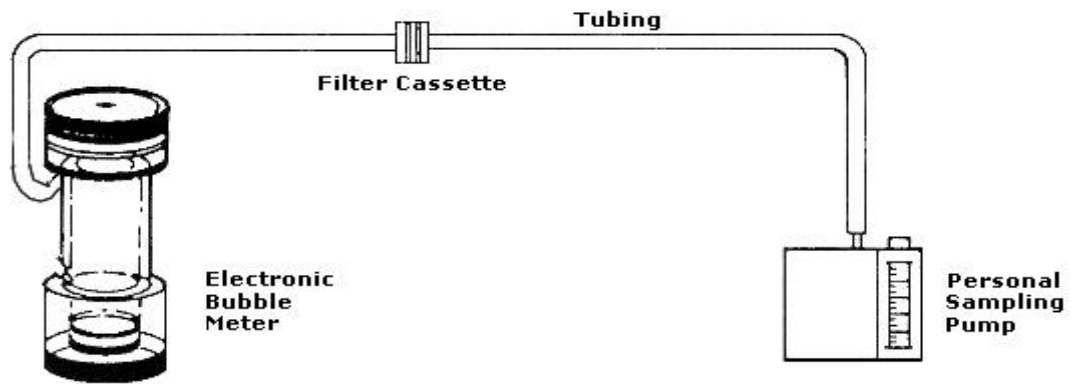


그림 20. 총분진 카세트의 유량보정

3. 사이클론을 이용한 호흡성분진 시료채취

(1) 개요

○ 호흡성분진은 시료 채취 전 무게를 측정한 PVC 여과지를 청결한 사이클론에 장착하여 측정을 한다.



그림 21. 사이클론에
카세트장착

○ 사이클론에 의한 채취는 실린더형 혹은 원추형 챔버내에서 수평 공기흐름을 이용한 것으로 입자직경이 10 μm 이상인 호흡성보다 큰 입자는 호흡성입자로부터 분리하는 것이다.

○ 공기가 펌프에 의해 가속화되면 사이클론의 안쪽에서 매우 빠른 속도로 소용돌이친다. 이 과정에서 무거운 공기는 소용돌이에서 이탈되어 아래로 떨어지고 10 μm 이상의 입자는 공기의 흐름을 따를 수 없어 사이클론의 벽에 충돌하여 바닥으로 떨어지고, 반면에 10 μm 보다 작은 입자는 소용돌이의 중심부에 남아 있어 위로 올라가고 위에 장착된 PVC필터에 여과에 의해 채취된다.

○ 사이클론의 채취효율은 채취하고자 하는 입자의 크기에 따라 아래의 표와 같이 호흡성 분진의 입도에 따른 채취효율이 정해진다.

표 4. 분진의 입도에 따른 채취효율

공기역학적 직경, μm	채취효율 (%)
0	100
1	97
2	91
3	74
4	50
5	30
6	17
7	9
8	5
10	1

○ 유리규산 함량을 알아보기 위해서는 가급적 벌크시료(bulk sample)을 함께 의뢰한다.

(2) OSHA방법의 유량보정 과정(Jar Cyclone Calibration)

○ 시료채취장소의 압력과 온도에서 유량보정을 실시한다.

○ 사이클론을 사용하는 호흡성분진과 개방 카세트(open-face filter cassette)를 이용하는 총분진의 유량보정은 특수 제작된 두께가 있는 1L 유량보정병(1-liter jar)을 사용한다.

○ 튜브로 유량보정기(electronic bubble meter)와 유량보정병의 유입구를 연결한

다.

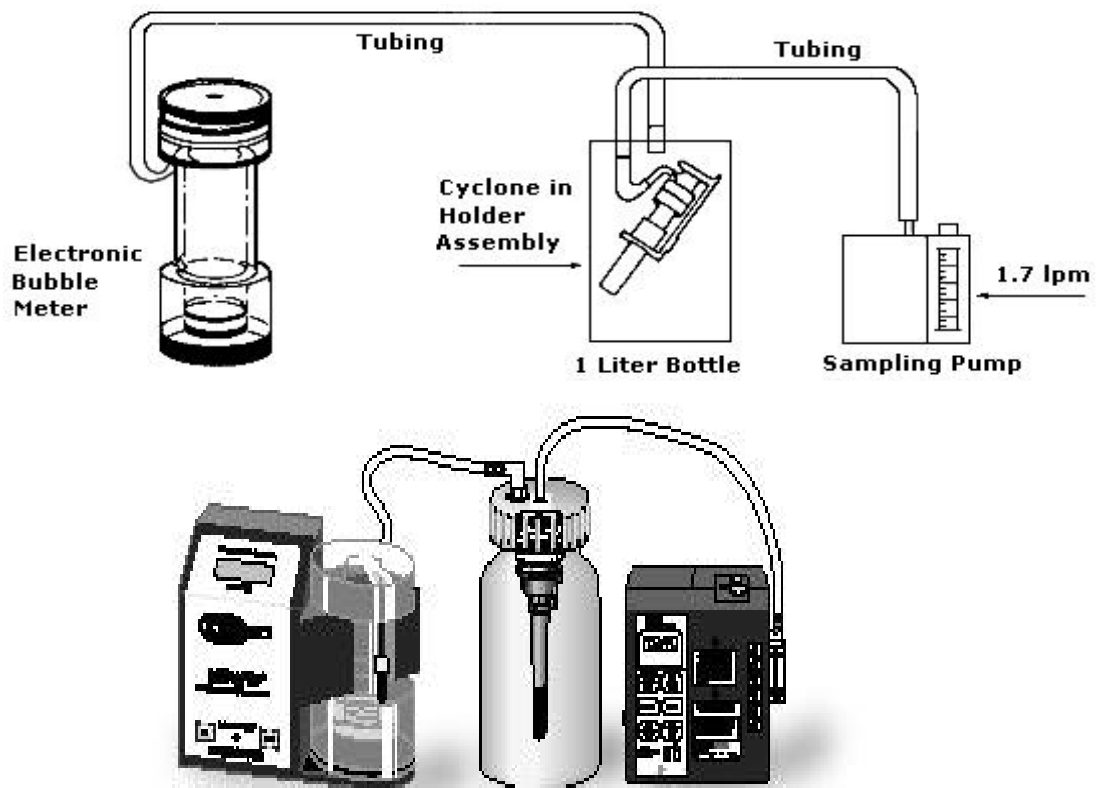


그림 22. 사이클론의 유량보정



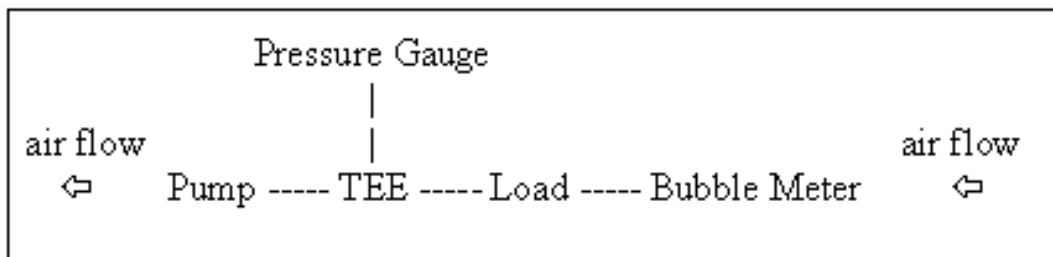
그림 23. 다목적 유량보정 챔버

○ 시료채취 전후 유량을 보정한다. 펌프유량은 시료채취 전후 1.7 L/분의 $\pm 5\%$ 이내 이어야 한다.

(3) NIOSH방법의 유량보정 과정(Jarless Cyclone Calibration)

○ 1L 유량보정병(1-liter jar)을 사용하는 OSHA 방법 이외에 "Jarless Cyclone Calibration"이 NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition에 제시되어 있다.

○ 펌프 - Tee fitting - 압력 게이지(0"- 50" 수주 음압범위) 또는 수주마노미터 - light load(5 μ m, 37mm 여과지) - 전자 비누거품 미터(calibrated electronic bubble meter 또는 standard bubble tube 등)를 연결한다.



○ 1차 표준기를 사용하여 펌프 유량을 1.7 L/분으로 보정한다. 음압 게이지가 2" ~5" H₂O가 되도록 한다.

○ 음압 게이지가 25" and 35" H₂O가 될 때까지 여과지를 추가 loading(heavy loading) 한다. 일반적으로 0.8- μ m, 37-mm 5매~6매이다.

○ 펌프유량을 다시 확인한다. 펌프 유량은 1.7 L/분 $\pm$ 5% 이내로 유지되어야 한다.

○ 마지막으로 heavy loading과 유량보정계를 아래 그림과 같이 시료채취에 사용될 여과지가 부착된 사이클론을 연결한다. 이때 음압 게이지가 2"~5" H₂O가 되는지 확인한다.

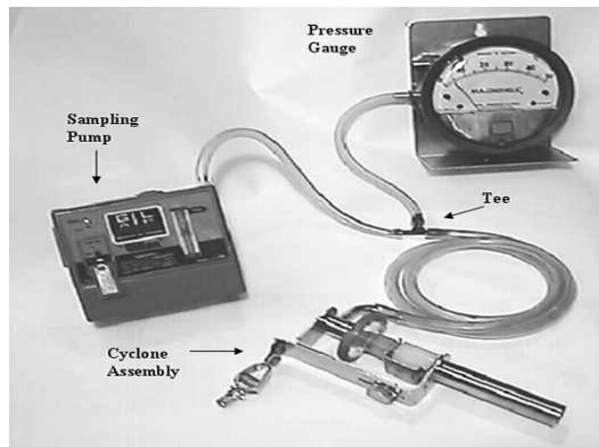


그림 24. Jarless방법에 의한 사이클론 보정

(4) 사이클론 청소

○ 사이클론에서 grit pot를 열어 grit pot를 위 아래로 뒤집고 조심스럽게 두드려서 먼지들을 제거한다.

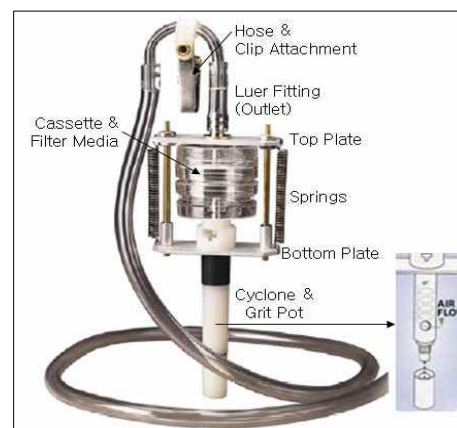
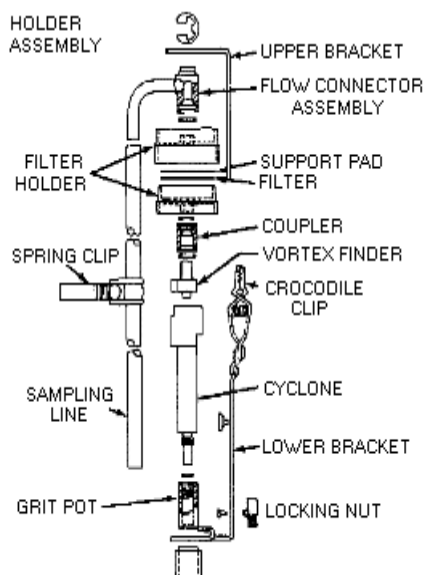


그림 25. 사이클론 조립 부속품

○ 온수 비눗물로 사이클론 내부를 세정한다. 가급적 초음파 세척기를 사용하는 것이 바람직하다.

○ 깨끗한 물로 여러 번 행구고 흔들어 내부 물을 제거한 후 건조시킨다.

○ 사이클론 조립품에 손상이 없는지 확인하고 조립을 한다.

○ 사용하기 전에 사이클론에 새는 곳이 있는지 확인한다.

4. IOM을 이용한 흡입성분진 시료채취

○ 흡입성분진 채취는 IOM Inspirable Dust Sampler 개인시료 채취기(채취 유량 2 L/min)를 사용하고, 아래 그림과 같이 외관은 플라스틱 또는 스테인레스 재질로 되어 있다.

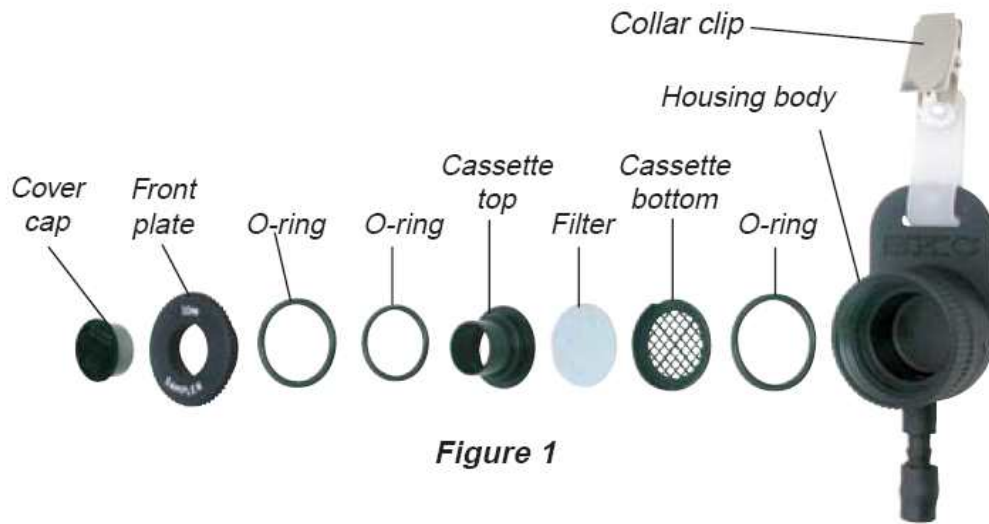


Figure 1

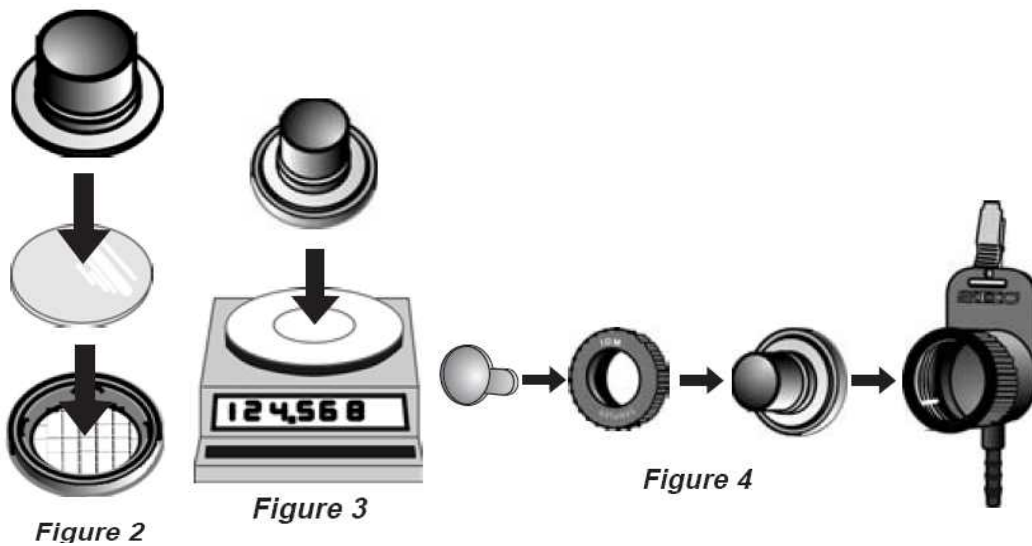


그림 26. IOM 흡입성분진 채취기구 구조

○ 25 mm Membrane 또는 Fibrous Filter를 사용하여 공기 유입구가 전면을 향하도록하여 시료를 채취한다.



그림 27. IOM 시료채취 기구 착용모습

5. 여과지 (filter)

(1) 개요

○ 여과채취방법은 시료 공기를 여과지를 통하여 흡인함으로써 당해 여과지에 측정하고자 하는 물질을 채취하는 방법이다.

○ 작업환경측정에 사용되는 여과지는 기본적으로 막여과지(membrane filter)와 섬유상 여과지(fiber filter) 형태이며 여과지 종류에 따른 채취물질과 여과지 특징은 아래의 표와 같다.

표 5. 여과지 종류에 따른 채취물질과 여과지 특징

종 류	공극(μm)	측정물질 예	특 징
막(Membrane) 여과지			
-Polyvinyl Chloride (PVC)	0.8 5	무기물질(6가크롬 등), 호흡성 및 총분진 등	내염기성, 내산성, 저흡습성
-Mixed Cellulose Ester(MCE)	0.45 0.8	섬유상분진(유리섬유, 석면), 원소 및 무기물(금속, 금속화합물) 등	회화용이성, 용해성
-Teflon (PTFE)	0.5 0.45 1, 2, 5	유기물질(농약), 알칼리 성분진, 입자상 PAHs 등	소수성, 내용매성, 불활성
-Silver	0.45 0.8	코크스오븐 배출물질, PAHs, Br, Cl 등	균일한 공극크기, 유기물질 비함유
Glass Fiber 여과지	1	총분진, 염료분진, PAHs (AE) 등-중량분석물질	큰채취용량, 저 흡습성, 약한강도
Nuclepore 여과지	0.45 0.8	석면(TEM)	열안정성, 강도우수

○ 여과지 종류에 따른 현미경학적 모양은 아래 그림과 같다.

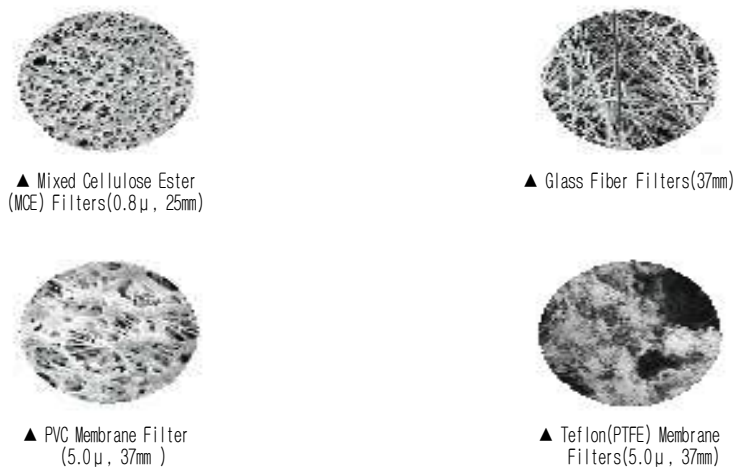


그림 28. 여과지의 현미경학적 입자모양

(2) 여과지의 선택 시 고려사항

○ 채취효율, 압력저하, 기계적 강도, 흡습성, 화학적 순도, 분석 요구조건의 만족도, 시료채취 조건에서 여과지가 채취한 물질을 손실하지 않고 보유할 능력과 물리적인 안정도 등의 조건을 갖추어야 한다.

○ 예비조사 결과 및 허용기준 물질 측정방법에 따라 채취하고자 하는 입자상 물질의 특성을 고려하여 여과지를 선정해야 한다.

6. 고체흡착관

(1) 개요

○ “고체채취방법”이라 함은 시료공기(일반적으로 가스와 증기)를 고체의 입자층을 통해 흡입, 흡착하여 당해 고체입자에 측정하고자 하는 물질을 채취하는 방법을 말한다.

○ 가스와 증기는 측정 목적상 엄격하게 구분할 수 없으며, 분자상태로 공기 중에 존재하는데 확산의 성질을 가지고 있다.

○ 가스(gas) : 상온(25℃), 상압(760 mmHg)하에서 가스 상태로 존재하며, 일정한 형태를 가지지 않는 것으로 압력의 상승이나 온도의 강하로 액체 또는 고체로 변할 수 있다.

○ 증기(vapor) : 상온(25℃), 상압(760 mmHg)하에서 액체나 고체인 물질이 증기압과 온도 등에 따라 휘발 또는 승화하여 기체로 된 것이다.

○ 증기나 가스는 저유량 펌프(low-flow pump)를 사용하여 활성탄과, 실리카겔관 그리고 시료채취물질 특징에 맞는 흡착관으로 채취한다. 측정 시 많이 사용하는 흡착제로는 활성탄, 실리카겔 등으로 앞층이 100 mg, 뒷층이 50 mg으로 되어 있는데 오염물질에 따라 다른 크기의 흡착제를 사용하기도 한다.

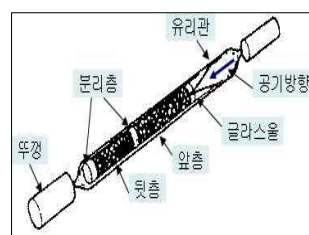


그림 29. 활성탄관과 실리카겔관의 구조

○ 활성탄관(charcoal tube) : 비극성류의 유기용제 등을 채취하는 것으로서 각종 방향족 유기용제, 할로겐화된 지방족 유기용제, 에스테르류, 알콜류 등을 대상으로 사용한다.

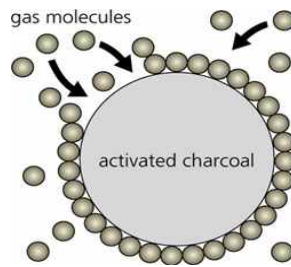
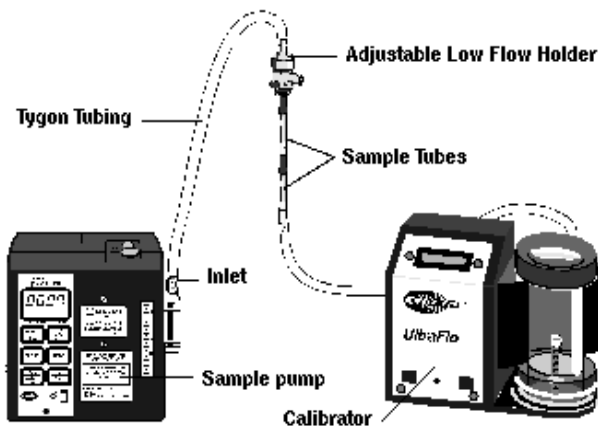


그림 30. 사이클론에
카세트장착

○ 실리카겔관(silicagel tube) : 산과 극성류의 유기용제 등을 채취하는 것으로서 불산, 염산, 방향족 아민류, 지방족 아민류 등을 대상으로 사용한다.

(2) 시료채취

○ 흡착관을 개인용 시료채취 펌프에 연결한 후, 원하는 유량에서 기기를 보정한다.



○ 시료채취 직전에 흡착관의 양 끝을 흡착관 내경의 1/2 이상(내경 4 mm인 100 mg/50 mg 고체흡착관의 경우 2 mm 이상) 절단한다. 고체 흡착관을 절단하는 경우는 보호구를 착용하는 것이 바람직하며 깨진 유리 조각들은 위험하지 않게 처리한다.

○ 흡착관의 뒷층이 펌프 쪽으로 가도록 신축성 튜브(타이곤 튜브)를 연결한다. 고체흡착관을 직접 튜브에 끼우기 보다는 플라스틱 홀더(Holder) 등을 사용하여 모든 연결부위에 공기의 누출이 없도록 연결한다.

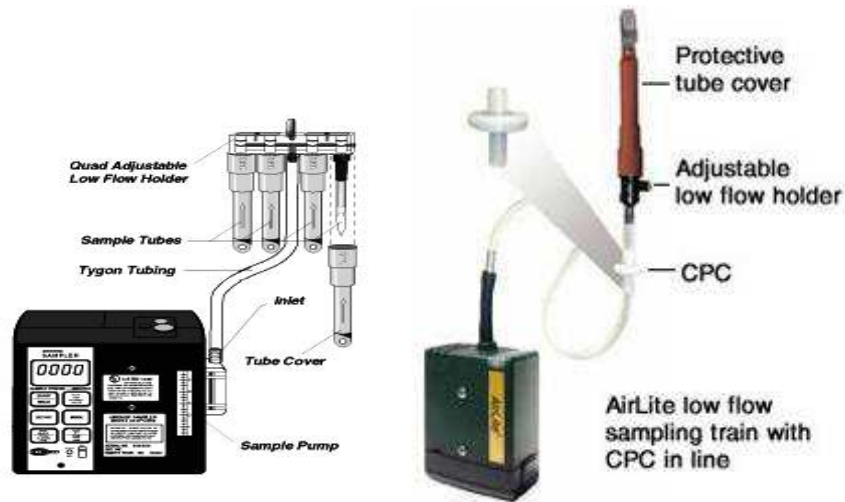


그림 31. 다양한 플라스틱 홀더

- 흡착관을 연결하기 전에 채취대상 공기가 흡착관 안으로 들어가는 안 된다.
- 펌프를 근로자의 벨트나 적절한 부위에 부착시키고, 흡착관은 목 부위의 옷깃 등 근로자의 호흡기 위치에 고정시킨다.

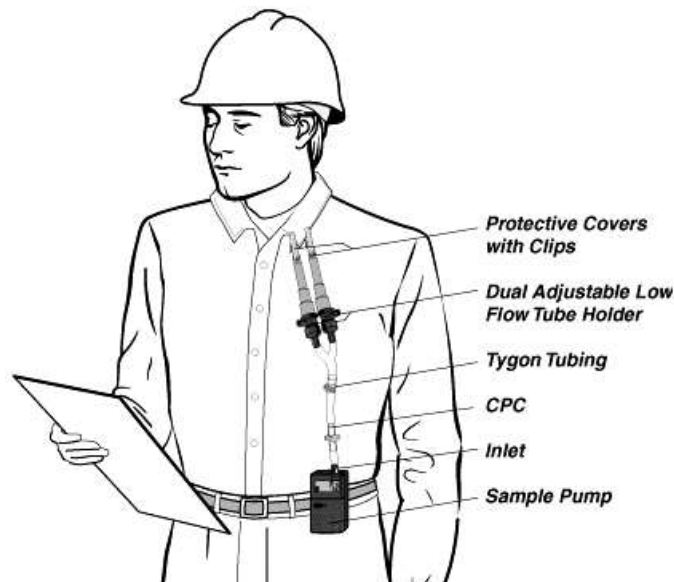


그림 32. 고체흡착관을 이용한 개인시료 채취모습

- 시료채취구가 위로 향하거나 아래로 향하게 하고 흡착관의 부착을 수직으로 하여 조기 파과현상이 일어나지 않도록 주의한다.
- 시료채취가 시작되면 현장공시료(field blank)를 “허용기준물질 측정방법”을 참조하여 준비한다.
- 시료채취 유량과 공기채취량은 “허용기준물질 측정방법”을 참조하여 설정한다.

- 시료채취 동안 유량의 변동이 있는지 혹은 펌프의 작동 상태 등을 관찰한다.
- 습도가 높은 작업장에서는 수분의 영향을 고려하여야 하며 활성탄보다 실리카겔이 수분의 영향을 많이 받는다.
- 시료채취장소의 상대습도가 90% 이상이거나 공기중 가스나 증기의 농도가 상대적으로 높은 경우는 시료채취 유량을 낮추거나 공기 채취량을 줄인다.
- 시료채취 기록용지에 시료채취 대상 근로자, 작업장 온도, 상대습도, 시료채취 시작 및 종료시간, 근로자의 작업 내용 등을 기록한다.
- 작업자에게는 시료채취 목적과 주의사항 및 언제, 어디서, 시료를 회수할 것인지 알려준다.
- 시료채취 후 신속히 고체흡착관 제조사가 제공한 플라스틱 마개(일반적으로 붉은색)로 막는다.



그림 33. 플라스틱 마개로
밀봉한 고체흡착관

- 각 시료는 지워지지 않게 라벨링하고 시료는 분석실로 운반할 때 파손되지 않도록 잘 포장한다.



그림 34. 시료채취 후 포장된 활성탄관

- 필요시 작업장에서 벌크시료(bulk sample)를 채취할 경우에는 PTFE(Polytetrafluoroethylene)로 내부가 처리된 마개가 있는 유리병에 담아 측정시료와 따로 포장하여 운반한다.

5. 임핀저와 버블러

(1) 개요

○ 시료 공기를 임핀저나 버블러를 이용해 흡수액을 통과시키거나, 흡수액의 표면과 접촉시켜 용해·반응·흡수·충돌 등을 일으키게 하여 측정하고자 하는 물질을 채취하는 방법이다.



그림 35. 임핀저와 버블러

○ 흡수액을 이용한 측정은 시약 운반의 불편성과 근로자가 작업 중 옆지를 위험성, 파손 위험성 등으로 현장 측정이 제한되고 고체흡착관이나 Passive Sampler 등으로 교체되고 있다.

○ 습도가 매우 높거나, 다른 측정방법이 가능하지 않을 때에는 흡수액을 이용하여 측정할 수 있다.

○ 측정하고자 하는 물질의 가스나 증기의 채취는 임핀저(버블러)에서 발생하는 공기방울의 크기, 오염물질과 흡수시약의 상호작용, 반응속도, 흡수액의 양 등이 영향을 미친다.

(2) 사용방법

○ 흡수효율을 높이기 위한 방법은 다음과 같다.

- 흡수액의 온도를 낮추어 오염물질의 휘발성을 제한하고 기체의 용해도를 증가시킨다.

- 두 개 이상의 임핀저(버블러)를 연속적으로 연결하여 흡수액의 양을 늘리고 반응·흡수의 기회를 증가시킨다.

- 시료채취 유량을 낮추거나 흡입된 공기가 흡수액과의 반응·흡수의 효율을 높이기 위하여 버블러 등을 사용한다.

(3) 흡수액의 종류

○ 측정대상물질에 따른 흡수액의 종류는 다음과 같다.

측정대상물질	흡수액
이소시아네이트류(Isocyanate)	1-(2-메톡시페닐)-피페라진을 넣은 톨루엔 용액
벤젠(Benzene)	질산암모늄(1) + 황산(5)

(4) 유량보정

○ 유량보정 기구 및 임핀저를 조립한다.

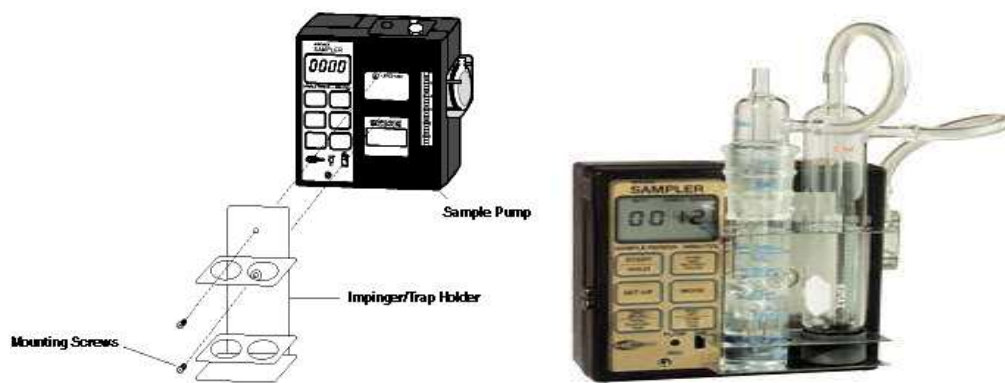


그림 36. 임핀저의 조립

○ 흡수액을 채운 임핀저나 버블러의 공기 유입구를 1차 유량 보정기구에 연결한다.

- 임핀저나 버블러의 공기 배출구는 펌프에 연결한다.
- “허용기준물질 측정방법”을 참조하여 유량을 보정한다.

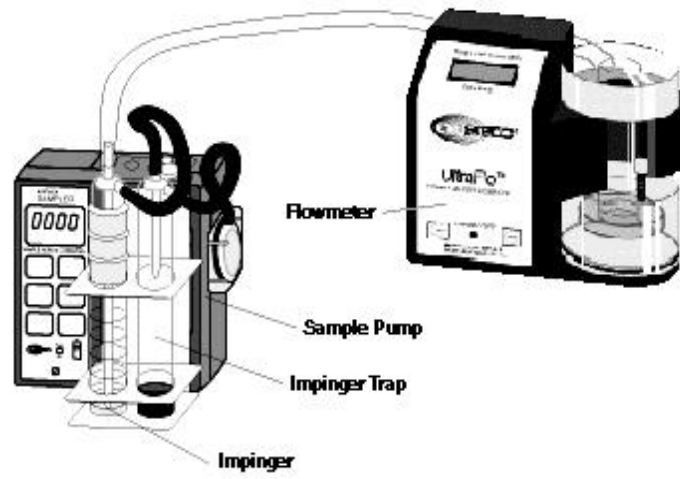


그림 37. 임핀저 및 버블러의 유량보정

제3장 특정 시료채취 과정 (Special Sampling Procedures)

1. 석면

(1) 개요

○ 석면은 크게 사문석 계통과 각섬석 계통으로 나누며, 그 종류는 아래 표와 같다.

표 6. 석면의 종류

Group	종류 및 화학식	특 징
사문석	크리소타일(Chrysotile)	가늘고 부드러운 섬유
- 蛇紋石	- 백석면	힘 및 인장강도 큼
- Serpentine	- $3\text{MgO}_2\text{SiO}_{22}\text{H}_2\text{O}$	가장 많이 사용
각섬석	아모사이트(Amosite)	국내 사용치 않음
- 角閃石	- 갈석면	
- Amphibole	- $(\text{FeMg})\text{SiO}_3$	
	크로시도라이트(Crocidolite)	
	- 청석면	
	- $\text{Na}_2\text{Fe}(\text{SiO}_3)_2\text{FeSiO}_3\text{H}_2\text{O}$	
	안소필라이트(Anthophyllite)	
	- $(\text{MgFe})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
	트레모라이트(Tremolite)	
	- $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{HO})_2$	
	악티노라이트(Actinolite)	
	- $\text{CaO}_3(\text{MgFe})\text{O}_4\text{SiO}_2$	

○ 석면의 인체 유해성 정도는 석면의 크기(Dimension), 체내 지속성(Durability), 양(Dose) 등에 따라 차이가 있다.

○ 백석면, 갈석면, 청석면의 형태는 아래 그림과 같다.



그림 38. 석면의 형태

(2) 시료채취 기구

○ 시료채취기 : MCE(Mixed cellulose ester) 여과지(공극 $0.45\text{--}1.2\mu\text{m}$, 직경 25mm)와 패드가 장착된 전도성 통이 있는 직경 25mm 의 CowI 카세트



그림 39. 석면 측정용
CowI 카세트

- Extension CowI은 정전기를 띄지 않도록 전도성이 처리되어 있으며, 정전기의 방해작용이 없어 시료채취 시 오차를 줄일 수 있다.

- 위상차현미경 분석 시 공극이 $0.8\mu\text{m}$ 의 여과지를 사용한다.

- 공극이 $0.45\mu\text{m}$ 여과지는 전자현미경 분석 시 사용하나, 일반적으로 압력저하가 커서 부적당하다.

- 사용하지 않은 여과지의 섬유수가 계수 면적 100cm^2 시야당 5개 이상으로 오염된 것은 사용 불가하다.

○ 개인 시료채취 펌프 : 시료채취 유량은 고유량 펌프로 정하고, 유연성 튜브를 준비한다.

(3) 공기 중 시료채취방법

○ MCE(Mixed cellulose ester) 여과지(공극 $0.45\text{--}1.2\mu\text{m}$, 직경 25mm)와 패드가

장착된 Cowl 카세트를 펌프에 연결한 후 1차 표준기로 유량을 보정한다.

○ 충분진 카세트(Closed face) 또는 보정병을 이용한 호흡성 분진(사이클론) 유량보정 방법을 사용하여도 되나 충분진 카세트 유량보정 방법과 동일하게 실시하는 경우는 나일론이나 스테인레스 재질(nylon or stainless-steel adaptor)로 직접 매체에 연결해서는 안된다.

○ 유량보정 시료채취 전후에 실시한다.

○ 카세트는 근로자의 호흡기 위치에 위치하도록 하고, 공기 유입부분의 상단부 뚜껑을 열어 공기가 흡입되는 쪽을 열린 면(open face)으로 하고, 바닥으로 향하도록 한다.



그림 40. Open face 시료 채취

○ 채취기를 착용한 근로자에게 채취된 석면시료가 손실되지 않도록 카세트를 조심스럽게 다루고 압축공기를 다루지 않도록 주의시킨다.

○ “허용기준물질 측정방법”을 참조하여 공시료를 준비한다. 일반적으로 2개 이상(또는 총 시료의 10% 이상) 준비한다.

○ 분석에 필요하다면 공기 중 석면의 발생원으로 예상되는 벌크시료(bulk sample)를 채취한다.

○ 시료 채취 유량은 “허용기준물질 측정방법”을 참조하여 결정한다. 일반적으로 유량 범위는 0.5~5 L/분이며 가장 많이 이용되는 시료 채취유량은 1 L/분이다. 먼지가 많지 않고 섬유농도가 0.1 개/cc 정도에서는 1~4 L/분의 유량으로 8시간 동안 시료를 채취할 수 있으나, 먼지가 많은 환경에서는 공기 채취량을 보다 적게 한다(< 400 L).

○ 사무실과 같은 환경에서는 5 L/분 이상의 유량으로 정량 가능한 양이 채취되도록 충분한 공기량(3,000~10,000 L)의 시료채취가 가능하며 간헐적으로 노출되는 경우에는 고유량(7~16 L/분)으로 짧은 시간동안 채취하는 것이 바람직하다.

○ 계수정밀도를 높이기 위해 섬유밀도가 100~1,300 개/mm² 가 되도록 유량과 채취시간 조정이 가능하다.

○ 석면의 농도가 높고 먼지가 많은 곳에서는 여과지를 여러 번 바꿔 연속적으로

시료를 채취하는 것이 바람직하다.

○ 분석 시 오차를 줄이기 위하여 여과지 표면적의 50% 이상이 먼지(방해물질)로 덮이지 않도록 한다.

○ 공기시료 채취매체와 현장공시료 매체가 교차 오염되지 않도록 별도 포장하여 분석을 의뢰한다. 분석 의뢰 시 예외적인 시료채취 조건이나 고유량으로 시료를 채취한 경우는 좀 더 상세하게 시료채취 조건을 기술하여 제공하는 것이 바람직하다.

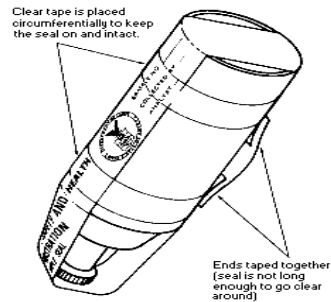


그림 41. 시료채취 후
바람직한 밀봉상태

○ 혹시 채취된 시료가 유해성이 매우 높은 경우는 운송법에 의거하여 운반을 한다.

○ 시료 운반 중에 흔들리거나 충격을 받지 않도록 포장을 한다.

○ 가급적 공기 방울이 들어있는 시트(bubble sheeting)로 포장한다.

○ 각각의 포장에 시료확인에 관련된 문서를 부착한다.

○ 절대로 플라스틱 백이나 봉지 안에 시료를 담아 이송해서는 안된다.

2. 용접 흠 시료채취

○ 용접자의 정확한 노출평가를 위하여 용접 흠을 채취 할 때는 반드시 아래의 그림과 같이 용접 헬멧 안에 시료 채취기구를 설치하여야 한다.



그림 42. 용접 흙 시료채취 장면

○ 아래 그림과 같이 용접 후드(welding hood)를 착용한 경우에만 보호구 안쪽에서 채취를 하고 눈 및 안면 보호구를 착용한 경우에는 일반적인 호흡구 영역에서 시료를 채취한다.



그림 43. 용접 후드
(welding hood)사진

○ 정상적인 용접 흙의 시료 채취는 37 mm 여과지 카세트를 사용하나 헬멧안에 설치가 곤란한 경우는 25 mm 여과지 카세트를 사용해도 된다. 다만 시료 채취가 과량(overload)이 되지 않도록 주의해야 한다.

제4장 기구 준비 및 보정 (Equipment Preparation and Calibration)

1. 배터리(Battery)

일반적으로 측정기구의 전원공급 장치는 충전용 배터리 팩을 사용하고 있으며, 측정기구의 종류에 따라 크게 배터리 충전식과 건전지 교환식으로 구분할 수 있다.

(1) 알카라인 배터리

○ 건전지 교환식의 측정기구는 소음계와 누적소음노출량 측정기, 조도 측정기, 열선풍속기 등이 있으며, 알카라인 건전지(alkaline battery)를 주로 사용하고 있다.

○ 필요시 알카리 배터리는 교환한다.

○ 현장에서 측정하기 전에 반드시 사용 가능한 전압을 확인하고, 여유분의 건전지를 준비하여야 한다.

○ 장비와 함께 교체된 배터리는 성능을 유지해야 한다.

(2) 재충전용 니켈-카드뮴 배터리

○ 충전식 배터리 팩을 사용하는 대표적인 측정기구는 Air sampling pump이며, Ni-Cd 전지(Nickel-Cadmium Cell; 니이케드)를 주로 사용하고 있다.

○ Ni-Cd 전지는 양극 활물질에 Ni(니켈) 산화물을 사용하고 음극 활물질에는 Cd(카드뮴)을 이용하며, 알카리 수용액을 전해질로 사용하는 2차 배터리로 500회 이상 충전이 가능하여 경제성이 뛰어난 특성이 있다.

○ 배터리 충·방전 유형을 기억(메모리 효과)하므로, 전류를 충분히 소모시킨 후에 완전 재충전해야 한다.

○ 니켈-카드뮴 배터리를 잘 길들이기 위해서는 처음 이용하기 전에 24시간 동안 충분히 충전해야 하며, 그 후 충전량이 거의 소모될 때까지 배터리를 이용한 후 최소 충전 시간인 16시간 동안 재충전해야 한다.



그림 44. 개인시료 펌프 충전기

○ 충전이 필요한 경우에만 니켈-카드뮴 배터리를 충전해야 하며, 그렇지 않은 경우에는 충전기와 분리시켜 니켈-카드뮴 배터리 수명과 연관이 있는 기억기능을 향상시킬 수 있다.

○ 개인시료 채취펌프의 작동시간이 짧아지는 이유는 충전과 방전의 사이클을 제대로 지키지 않은 경우가 많으며, 이러한 경우 충전지를 적당히 방전한 후, 다시 니켈-카드뮴 배터리를 완전히 충전하는 과정을 반복하여 기억기능을 회복시킬 수 있다.

○ 사용하기 전에 오래된 펌프의 재충전용 니켈-카드뮴 배터리를 펌프 작동여부 또는 충전 잭(charging jack)의 전압 등을 체크한다.

2. 유량 보정기구

○ 시료채취 전후 1차 표준기로 매번 펌프 유량보정을 실시한다.

○ 펌프 유량보정에 사용되는 유량보정기구는 규정에 따라 검·교정을 받아야 하며 이를 보정기구 일련번호와 함께 기록해야 한다.



그림 45. 비누거품 전자유량보정기구(좌), 건식 유량보정기구(우)

3. 비누거품 전자 유량보정기구(electronic bubble flow meter)

(1) 개요

- 정확도가 높은 전자 유량보정기는 누적 평균하여 공기유량을 제시한다.
- 80 μ 초(microsecond) 간격으로 비누 거품을 검출할 수 있다.
- 이때 검출되는 정확도는 $\pm 0.5\%$ 이다.
- 일반적으로 16시간을 충전하면 배터리로 8시간 정도 사용이 가능하며, A/C 충전기를 연결하여 사용할 수도 있다.



그림 46. 비누거품 전자유량보정기구

(2) 비누거품 전자 유량보정기구 관리

- 사용하기전 셀(flow cell)을 탈착시켜 조심스럽게 흐르는 수돗물로 세척을 한다
- 아크릴 재질의 셀(acrylic flow cell)은 쉽게 긁힐 수가 있어 천으로만 닦아야 한다.

- 아세톤이나 알콜류 등을 사용해서는 안된다.
- 미지근한 비눗물로 세척하는 것이 바람직하다.
- 공기 흐름으로 건조시켜 보관한다.

(3) 누출 검사(Leak Testing)

- 필요시 공기 유입구에서 6" H₂O에 해당하는 공기를 빼내어 공기 배출구에 수주마노미터를 연결하여 누출검사를 실시한다.
- 새는 곳이 없어야 한다.

(4) 주의사항

- 25" H₂O 이상 압력을 가해서는 안된다.
- 16시간 이상 배터리를 충전해서는 안된다.
- 일주일 또는 그 이상 셀(flow cell)안에 비누물을 방치해서는 안된다.

4. 유량보정

유량보정은 펌프유량을 조절하는 기능도 있지만 펌프의 상태를 확인하는 것도 중요하다. 개인시료 채취펌프는 시료채취 매체가 연결된 상태에서 권고 유량의 $\pm 5\%$ 오차 이내로 보정되어야 한다.

(1) 비누거품 전자 유량보정기구를 이용한 유량보정 방법

- 펌프의 전압 및 유량보정을 실시하기 전에 5분간을 가동시킨다.
- “허용기준물질 측정방법”에서 권고하는 시료채취 매체를 공기가 새지 않도록 정확하게 조립하여 펌프에 타이곤 튜브(tygon tubing)로 연결한다. 충분진 카세트인 경우 결합된 부분에 테이프를 붙이면 공기가 새는 것을 확실하게 예방할 수 있다.
- 모든 부분의 연결이 타이곤 튜브(tygon tubing)로 이루어졌는지 확인한다.
- 전자 유량셀(electronic flow cell) 내부에 비누 용액이 공급되도록 여러 번 버튼을 누른다.
- 펌프 전원을 켜고 펌프 로타미터를 조절한다.
- 펌프보정을 실시한다.
- 유량보정을 수회 실시하고 제시되는 유량들의 차이가 2%이내 인지 확인한다.
- 필요시 유량을 조절한다.

(2) 수동식 뷰렛 비누거품 방법(Manual Buret Bubble Meter Method)

- 펌프의 전압 및 유량보정을 실시하기 전에 5분간을 가동시킨다.
- “허용기준물질 측정방법”에서 권고하는 시료채취 매체를 공기가 새지 않도록 정확하게 조립하여 펌프에 타이곤 튜브(tygon tubing)로 연결한다. 충분진 카세트인 경우 결합된 부분에 테이프를 붙이면 공기가 새는 것을 확실하게 예방할 수 있다.
- 타이곤 튜브(tygon tubing)로 아래 그림과 같이 연결을 한다.

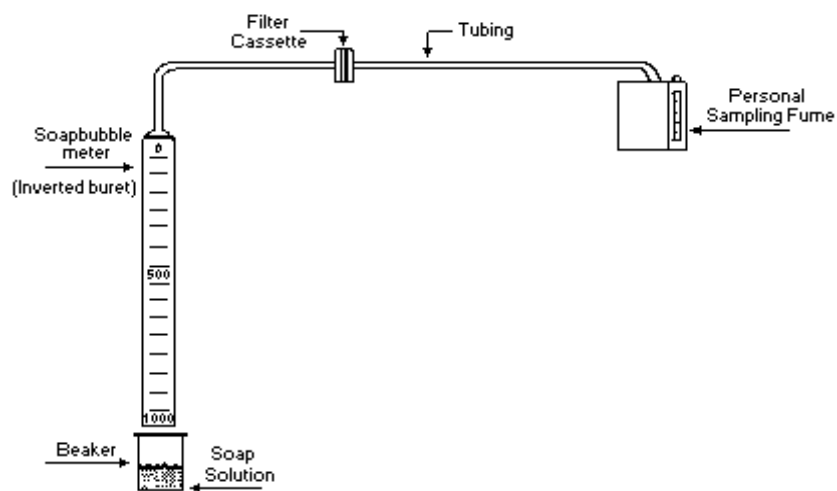


그림 47. 수동식 뷰렛을 이용한 카세트 유량보정

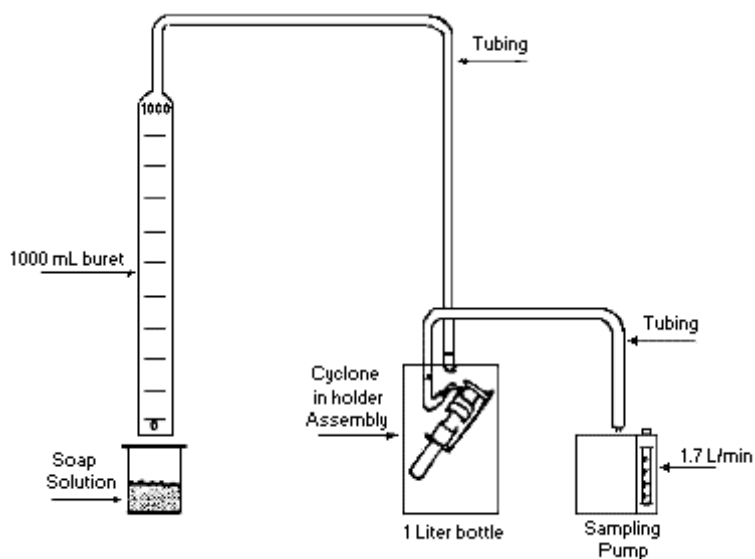


그림 48. 수동식 뷰렛을 이용한 사이클론 유량보정

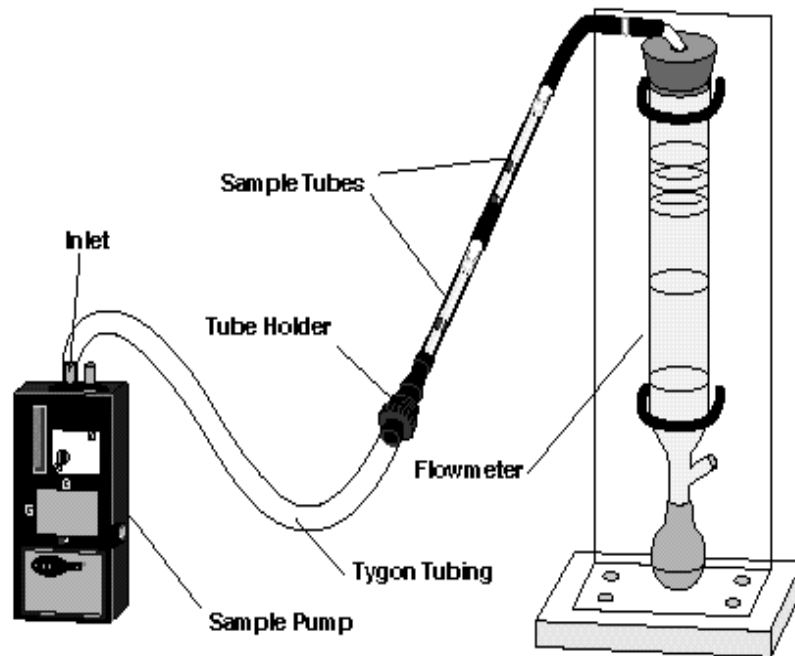


그림 49. 수동식 뷰렛을 이용한 고체 흡착관 유량보정

- 뷰렛 내부에 비누 용액을 켜준다.
- 펌프 전원을 켜고 펌프 로타미터를 조절한다.
- 펌프보정을 실시한다.
- 고유량 펌프는 1,000 mL 뷰렛을 사용하고 저유량 펌프에는 100 mL 뷰렛으로 보정한다.
- 시간 측정의 정확도는 ± 1 초 이내에 하고 유량측정은 최소 2회 이상을 실시한다.

(3) 기타 유량보정 표준기구

표준기구		일반적 사용범위	정확도	사용처
1 차 표 준	비누거품미터	<1 ml/분 ~ 30 L/분	±1 %	현장, 실험실
	폐활량계(spirometer)	100~600 L	±1 %	현장, 실험실
	가스치환병(Mariotte bottle)	10~500 ml/분	±0.05 ~ 0.25 %	실험실
	유리 피스톤 미터	10~200 ml/분	±2 %	현장, 실험실
	흑연 피스톤 미터	<1 ml/분 ~ 50 L/분	±1 ~ 2 %	현장, 실험실
	피토티브*	> 15 m/초	±1 %	현장
2 차 표 준	로타미터	> 1 ml/분	±1 ~ 25 %	현장
	습식 테스트 미터 (wet-test meter)	0.5~230L/분	±0.5 %	실험실
	건식가스 미터(dry gas meter)	10~150L/분	±1 %	현장
	오리피스 미터	직경에 따라 다양	±0.5 %	현장, 실험실
	열선기류계 (thermo-anemometer)	0.05~40.6 m/초	±0.1 ~ 0.2 %	현장

부록. 작업환경 시료채취과정 기록지

1. 보고서 ID :		2. 시료채취 ID :	
3. 평가자 소속 및 성명 :		4. 시료채취일자	5. 분석 의뢰일자
6. 시료채취 대상자 성명		7. 시료채취 대상자 확인 사인	
8. 회사명 : 주소 : 전화번호 :	9. 노출 형태 -간헐적 -연속적	10. 노출 빈도 회/일	11. 총 노출기간 년 개월
12. 외부 온도 : ℃ 상 대 습 도 : %	13. 작업장 온도 : ℃ 상 대 습 도 : %	14. 사진 번호 :	
15. 직무 명 : 직무 기간 :		16. 펌프 체크 시간 및 특이사항 :	
17. 개인보호구 형태 및 효율 :			
18. 근로자 직무내용 :			
19. 작업환경관리 설비 :			
20. 환기 설비 :			

21. 펌프 번호: <b style="text-align: center;">측정시료 관련 자료						
22. 시료 번호						
22. 시료채취 형태	개인 지역	개인 지역	개인 지역	개인 지역	개인 지역	개인 지역
23. 채취 매체						
24. 채취 시작 시간 채취 종료 시간						
25. 시료채취 시간(분)						
26. 펌프 평균유량(L/분)						
28. 공기시료 채취량(L)						
29. 실험실 공지 사항		현장 공시료 번호				
		벌크시료 번호				

30. 펌프 제조사 및 일련번호 31. 전압 체크 ☐ Yes ☐ No 32. 유량보정 장소 : 33. 유량보정 장소 온도 : ℃ 34. 펌프 유량 - - - - - 35. 유량보정기 -제조사 : -일련번호 : 36. 유량보정기 검교정 확인 37. 유량보정 실시 -날짜 : -시간 :				
---	--	--	--	--

38. 유량보정 장소 : 39. 유량보정 장소 온도 : ℃ 40. 펌프유량 - - - - - 41. 펌프 평균유량 계산 결과 - - - - - 42. 유량보정 실시 -날짜 : -시간 :			
---	--	--	--