

실내 공기 중 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})

2018

측정방법 - 중량법 (determination of particulate matter(PM₁₀, PM_{2.5}) in indoor by the gravimetric method)

1.0 개요

1.1 목적

1.1.1 이 시험기준은 실내 공기 중의 미세먼지(PM₁₀ 및 PM_{2.5}) 농도 측정 방법을 규정한다.

1.1.2 실내 공기 중 미세먼지(PM₁₀ 및 PM_{2.5})를 여과지에 1 L/min ~ 30 L/min 정도의 공기유량으로 채취하여 채취전후의 여과지 중량의 차이를 이용하여 실내 공기 중 미세먼지(PM₁₀ 및 PM_{2.5}) 농도를 측정하는 방법이다.

1.2 적용범위

이 시험기준은 실내 공기 중 미세먼지(PM₁₀ 및 PM_{2.5}) 농도 측정을 위한 주 시험방법으로 사용된다.

2.0 용어정의

2.1 미세먼지

PM(particulate matter)이라 통칭되는 미세먼지는 공기역학적으로 직경이 10 μm 이하의 미세먼지는 미세먼지(PM₁₀), 2.5 μm 이하의 미세먼지는 미세먼지(PM_{2.5})를 뜻한다.

3.0 분석기기 및 기구

기본구성은 입경분리장치, 여과지 홀더, 여과지, 흡인펌프 및 유량측정부로 구성된다.

3.1 입경분리장치

입경분리장치는 10 μm 또는 2.5 μm 를 초과하는 부유입자를 제거하는 장치로서, 흡인펌프에 의해 장치 내로 들어온 채취대상 공기 중에 10 μm 또는 2.5 μm 이상의 입자는 공기 유입구에 있는 충돌판에 관성 충돌하여 붙고, 10 μm 또는 2.5 μm 보다 작은 입자는 충돌판에서 위로 흐르는 공기의 흐름에 따라 여과지에 쌓이게 된다. 사이클론 방식, 중력침강 방식과 관성충돌 방식이 있다. 입경분리장치는 10 μm 또는 2.5 μm 크기의 입자에 대해서 그 채취효율이 50 % 이상 이어야한다.

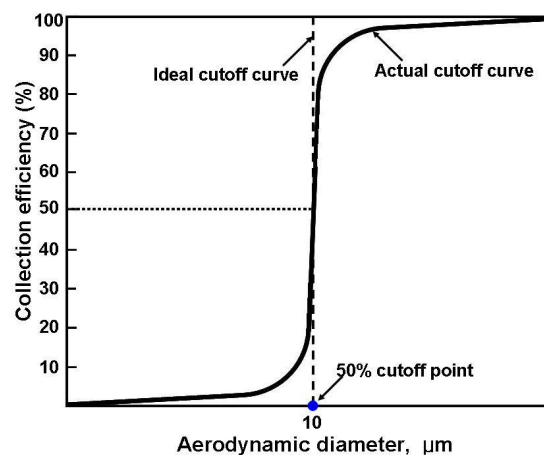


그림 1. 채취효율곡선의 예

3.1.1 사이클론식 입경분리장치

그림 2 와 같이 생긴 사이클론은 흡입된 공기가 원심분리형 분립 장치에 들어간 후 내부에서 나선 운동으로 변환되면, 10 μm 또는 2.5 μm 보다 큰 입자는 원심력에 의해 벽면을 따라 아래쪽으로 낙하하여 분립 장치 밑 부분에 퇴적되고 측정하고자 하는 10 μm 또는 2.5 μm 보다 작은 입자는 분립 장치 윗부분으로 빠져나가 여과지에 채취될 수 있도록 설계되어 있는 장치이다.

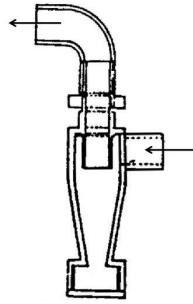


그림 2. 사이클론식 입경분리장치의 예

3.1.2 중력침강형 입경분리장치

중력침강형 입경분리장치는 그림 3과 같이 얇은 평판을 좁은 간격으로 여러장 겹쳐서 평판이 수평되게 놓고 여기에 채취하려고 하는 공기를 통과시키면 평판 사이를 통과하는 동안에 $10\ \mu\text{m}$ 또는 $2.5\ \mu\text{m}$ 이상의 입자는 중력에 의해 침강하여 떨어지고 작은 입자만이 통과하여 채취될 수 있도록 설계된 장치이다.

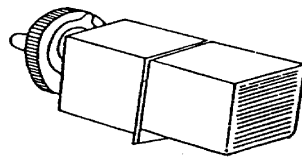


그림 3. 중력침강형 입경분리장치의 예

3.1.3 관성충돌 입경분리장치

그림 4와 같이 $10\ \mu\text{m}$ 또는 $2.5\ \mu\text{m}$ 이상의 입자를 관성충돌을 이용하여 제거하여 $10\ \mu\text{m}$ 또는 $2.5\ \mu\text{m}$ 보다 작은 입자를 채취하는 장치이다.

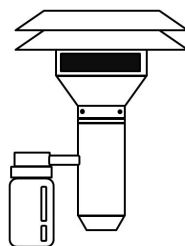


그림 4. 관성충돌 입경분리장치의 예

3.2 여과지 홀더

여과지 홀더는 여과지를 파손되지 않고 공기가 새지 않도록 장착할 수 있는 것이어야 한다.

3.2.1 프레임(frame)

프레임의 재질은 내식성인 것으로 한다.

3.2.2 망(net)

여과지에 공기를 통과시킬 때 기류에 의하여 여과지가 파손되지 않도록 받쳐주고 여과지에 불순물이 들어가지 않도록 내식성 재료로 만들어진 것

3.2.3 패킹(packing)

불소수지로 만들어진 것

3.2.4 고정나사

여과지를 장착할 때 파손이나 공기가 새지 않도록 된 구조를 내식성 재료로 만들어진 것을 사용한다.

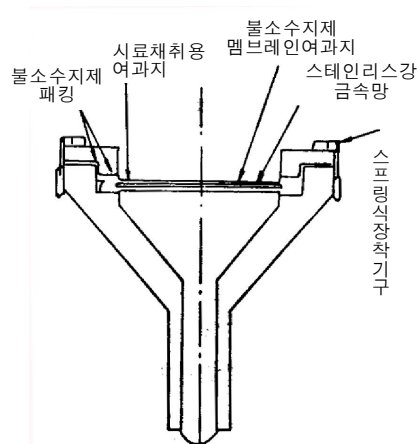


그림 5. 여과지 홀더 구성의 예

3.3 여과지

미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})의 채취에 사용하는 여과지는 0.3 μ m의 입자상물질에 대하여 99 %이상의 초기포집율을 갖는 니트로 셀룰로오스(nitro cellulose)재질의 멤브레인 여과지(membrane filter), 석영섬유 재질의 여과지, 테플론 재질의 여과지 등을 사용하며, 여과지는 흡인공기가 함유하고 있는 공기 중의 수분에 의한 영향을 줄이고, 측정을 전후해서 항온항습 상태를 일정하게 유지시킬 수 있도록 데시케이터 등에서 온도 범위 온도 (20 $\pm$ 2) $^{\circ}$ C, 상대습도 (35 $\pm$ 5) %, 일정온습도 범위로 유지되는 조건에서 24시간 이상 보관하여 항량시킨 후에 사용하도록 한다. 또한, 여과지는 다음 조건이상의 것을 사용한다.

- (1) 0.3 μ m의 입자상물질에 대하여 99 %이상의 초기포집율을 갖는 것
- (2) 가능한 압력손실이 낮은 것
- (3) 기체상 물질의 흡착이 적고, 흡습성 및 대전성이 낮은 것
- (4) 취급하기 쉽고 충분한 강도를 가질 것
- (5) 분석에 방해되는 물질을 함유하지 않을 것

3.4 흡인펌프

3.4.1 흡인 펌프는 일반적으로 1 ~ 30 L/min 정도의 용량을 갖는 것을 사용한다.

3.4.2 시료채취를 위해 사용되는 펌프는 모든 상황에서 일정한 유량으로 시료를 채취할 수 있어야 한다. 시료채취시간동안 유량의 변화는 5 % 이내여야 한다.

3.4.3 시료채취장치에 의한 압력 손실과 도관 안에서의 압력 손실을 극복할 수 있어야 하며, 일정하고 유연한 흐름을 보장해야 한다.

3.4.4 흡인펌프는 연속해서 30 일 이상 사용할 수 있고 되도록 다음의 조건을 갖춘 것을 사용한다.

- (1) 진공도가 높을 것.
- (2) 맥동이 없이 고르게 작동될 것.
- (3) 운반이 용이할 것.

3.5 유량계

유량계는 여과지 홀더와 흡인펌프와의 사이에 설치한다. 이 유량계에 새겨진 최소눈금은 25 °C, 1기압에서 0 L/min ~ 30 L/min 범위에서 입경분리장치의 설계유량의 $\pm 2\%$ 이내의 정확도를 유지할 수 있으며, 입경분리장치의 설계유속 범위 내에 있어야 한다. 멤브레인 여과지(membrane filter)와 같이 압력 손실이 큰 여과지를 사용할 경우에는 유량의 눈금값에 대한 보정이 필요하기 때문에 압력계가 부착되어 있는 것을 사용한다. 최근에는 질량 유량 제어장치(MFC, mass flow controller)를 많이 사용한다.

3.6 저울

0.001 mg 이상의 감도를 갖는 분석용 저울

3.7 데시케이터

건조제(실리카겔, 염화칼슘 등)가 들어 있고, 질량 측정실 내에 위치된 것.

4.0 시약 및 표준용액

"내용 없음"

5.0 시료채취 및 관리

5.1 시료채취량 및 측정시간

미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})는 1 ~ 30 L/min의 용량 범위에서 “3.1 입경분리장치”에서 요구되는 용량에 맞추어 6시간 / 24 시간^[1] 연속 채취한다.

5.2 시료채취조작

5.2.1 시료채취 전의 여과지 무게 측정

시료채취에 사용될 여과지를 미리 온도 범위 온도 (20 ± 2) °C, 상대습도 (35 ± 5) %, 일정온습도 범위에서 유지되는 조건에서 24시간 이상 항량이 될 때까지 보관하였다가 10^{-6} g(0.001 mg) 이상의 감도를 갖는 분석용 저울로 정확히 여과지의 무게를 단다. 여과지의 종류에 따라 정전기, 습도 등 여과지 질량 측정 시 발생 할 수 있는 오차에 주의하여야 하며, 여과지의 무게는 저울을 이용하여 3회 이상 여과지의 무게를 측정하여 평균값으로 나타낸다. 단, 항온 항습 장치가 없을 때는 상온에서 50 %(W/V) 염화칼슘용액을 제습제로 한 데시케이터 내에서 항량이 될 때까지 보관한 다음 위와 같은 방법으로 단다. 무게 측정이 끝난 여과지는 부호 또는 기호를 표시하여 기록한다.

5.2.2 시료채취조작

시료채취조작은 다음과 같이 한다.

- (1) 입경분리장치가 더럽혀져 있지 않은가를 확인한다.
- (2) 채취기가 정상적으로 작동하는가를 확인한다.
- (3) 무게를 단 여과지를 여과지홀더에 공기가 새지 않도록 고정시킨다. 이 때 금속류의 성분분석을 목적으로 할 때는 여과지가 직접 금속망에 접촉되지 않도록 나일론제 망 또는 압력손실이 적은 불소수지제망을 사용한다.
- (4) 전원 스위치를 넣고 채취시작 시간을 기록한다.
- (5) 채취종료 시간을 기록하고 흡입공기량을 구한다.

[1] 미세먼지 시료채취 시간 관련된 사항은 「실내공기질관리법」 시행규칙 개정 시행일인 2019년 7월 1일부터 ‘24시간’ 으로 한다.

6.0 정도보증/정도관리(QA/QC)

일반적인 정도관리는 측정법에 따른 시료채취 과정, 여과지관리, 분석, 결과의 수집 및 정리와 관련하여 이루어져야 한다. 현장 측정자는 특히 측정 대상 다중이용시설의 다양한 종류 및 이용특성을 적절히 고려하여야 한다.

6.1 시료채취과정

시료의 정확한 채취를 위해서 다음과 같은 사항을 명확히 확인하여야 한다.

- (1) 분립장치의 오염여부
- (2) 포집기의 정상 작동여부
- (3) 무게를 단 여과지의 설치 시 여과지 홀더에서의 공기 누출여부
- (4) 흡입공기량 및 유량계의 정확한 작동여부

6.2 유량의 보정

시료채취용 펌프의 유량조절기의 유량은 항상 일정하여야한다. 펌프의 유량보정은 시료 채취 전 시료채취용 여과지와 동일한 여과지를 장착한 입경분리장치를 펌프에 연결하여 적절한 유량이 나오도록(설계유량의 $\pm 2\%$ 를 유지하도록) 1차 유량계를 이용하여 보정한다. 펌프의 유량보정은 시료를 채취하기 전에 바로 측정 장소에서 하는 것이 가장 바람직하고 그렇지 않을 경우, 측정지점으로 이동하기 전 오염물질이 없는 곳에서 보정되어야 한다. 시료측정 후에도 측정 장소에서나 오염물질이 없는 곳으로 이동 후에 유량조절기의 유량을 확인하여야 한다.

6.2.1 유량계의 유량지시값의 압력에 의한 보정

여과지 또는 채취기 각 부분의 공기저항에 의하여 생기는 압력손실을 측정하여 유량계의 유량을 보정하는 방법이다.

6.2.1.1 원 리

유량계의 눈금값을 Q_r , 1기압에서 유량을 Q_0 (L/min)라 하면 식 1의 관계가 있고 C_p 는 압력보정계수로서 식 2로 구한다. P_o 가 760 mmHg일 때 마노미터로 측정한 유량계내의 압력손실을 ΔP (mmHg)라 하면 C_p 는 식 3식으로 나타난다. 저용량 공기채취기에 의하여 $Q_0 = 20$ L/min으로 공기를 흡인할 때 식 1, 식 3으로부터 식 4의 관계가 성립하고 Q_r 을 구하여 유량계의 눈금값(부자의 위치)을 설정하면 된다. 식 4로부터 ΔP 와 Q_r 의 관계를 그래프로 그리면 그림 6의 유량설정곡선을 얻는다. 유량은 식 4 또는 그림 6을 사용하여 교정한다.

$$Q_o = C_p \cdot Q_r \quad (\text{식 1})$$

$$C_p = \sqrt{\frac{P}{P_o}} \quad (\text{식 2})$$

$$C_p = \sqrt{\frac{760 - \Delta p}{760}} \quad (\text{식 3})$$

$$Q_r = 20 \sqrt{\frac{760}{760 - \Delta p}} \quad (\text{식 4})$$

여기서, P_o : 유량계의 설정조건에서의 압력(보통 760 mmHg)

P : 사용조건에서의 유량계내의 압력

6.2.1.2 누출시험

(1) 여과지 홀더 앞 입구를 막는다. 입구가 여러 개 있을 때는 각각의 입구를 모두 막는다. 또 다단형일 때는 분립기의 앞을 막는다.

(2) 진공계의 마개를 잠그고 펌프가 작동할 때 유량계의 부자가 영(zero)을 지시하는가를 확인한다.

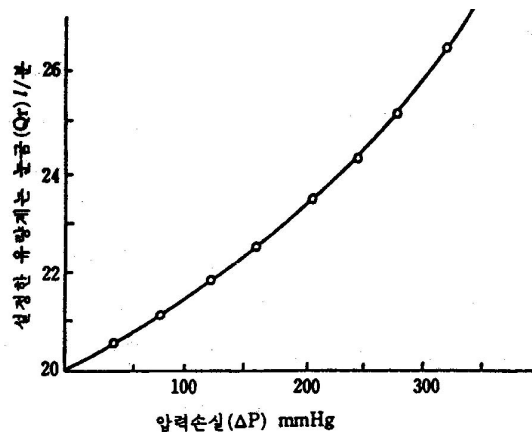


그림 6. 유량설정곡선($Q_0 = 20 \text{ L/min}$)

6.2.1.3 교정조작

시료채취 개시 직후 및 채취 중에 다음과 같은 조작을 하여 설정유량을 유지한다.

- (1) 진공계의 지시값(Δp)에서 설정하려면 유량(유량계의 위치 Q_r)을 유량 설정곡선으로부터 구하고 펌프의 바이패스 밸브를 조절하여 그 값에 부자의 위치를 맞춘다.
- (2) 유량(Q_r)을 변화하면 압력손실(Δp)도 변화하기 때문에 다시 이것을 읽어 유량설정곡선으로부터 유량의 설정값(Q_r)을 구한다.
- (3) 펌프의 바이패스밸브를 조절하여 부자의 위치(Q_r)를 맞추고 다시 Δp 가 변화하면, 위 조작을 되풀이하여 유량을 교정한다.

6.2.2 비누막 유량계에 의한 보정

6.2.2.1 비누막 유량계 설치

$300 \text{ cm}^3 \sim 1000 \text{ cm}^3$ 의 용량을 가진 정확한 뷰렛(또는 그와 비슷한 것)을 선택한다. 튜브를 뷰렛의 바닥에 부착한 다음 뒤집어서 수직 위치로 스탠드에 단단히 고정시킨다. 혹은 상용화된 장치를 사용할 수 있다. 그림 7과 같이 연결 튜브가 장착된 시료채취펌프, 여과지 홀더 및 현장에서 사용되는 여과지를 설치한다. 비커 혹은 페트리 접시에 물과 거품 형성에 필요한 세제의 최소량을 함께 채운다.

비누막 유량계를 연결한 다음 시스템에 누수가 있는지 확인한다. 축적된 세제를 제거

하고 뷰렛 내부를 젖은 상태로 유지하기 위하여 시험 직전에 물로 뷰렛을 철저히 행구는 것이 좋다.

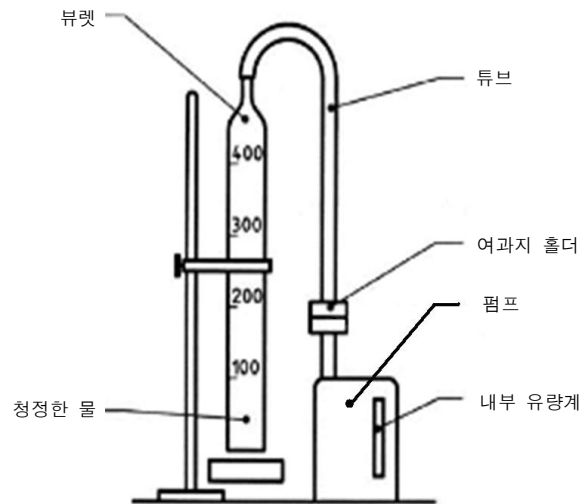


그림 7. 유량보정장치의 구성

6.2.2.2 펌프의 유량보정 절차

- (1) 펌프의 스위치를 켜고 내부 유량계에 따라서 유량을 조절한다.
- (2) 물과 세제가 담긴 비커 혹은 페트리 접시를 비누막 유량계의 바닥에 놓아 뷰렛의 전체 길이를 통과할 거품을 생성한다.
- (3) 스톱워치로 거품이 튜브의 맨 끝 눈금 사이의 튜브를 가로지르는데 걸리는 시간을 정확하게 측정한다.
- (4) 시간의 재현성이 좋게 될 때까지 마지막 2 단계를 최소 3 번 반복한다.
- (5) 실제 부피 유량 $q_e(\text{cm}^3/\text{min})$ 을 계산한다.

$$q_e = \frac{V}{t} \quad (\text{식 5})$$

여기서, V : 뷰렛의 부피(cm^3)

t : 거품이 튜브를 가로지르는데 걸리는 평균 시간(min)

(6) 원하는 유량이 5 % 이내에 도달할 때까지 계산을 반복한다.

6.3 주의사항

- (1) 흡인펌프는 약 1 년간 사용 후에는 날개(blade)를 교환한다.
- (2) 일반적으로 유량계의 설계온도는 20 °C가 많으므로 온도보정의 영향은 적지만 ± 10 °C차에 대하여 오차범위 ± 2 % 이하이다.
- (3) 공기채취기의 세척은 다음 표에 따라 시행한다.

표 1. 장치의 세척방법

세척부위	세척회수	세척방법
분립장치	채취때마다	중성세제 또는 초음파 세척
패킹	"	중성세제 또는 초음파 세척
망	"	중성세제 또는 초음파 세척
유량계	연 1 회	알코올 또는 중성세제로 씻는다.

(4) 유량변화는 온도 및 입자상물질 채취량의 증가에 따라 달라지기 때문에 기상조건이 변화할 때는 반드시 유량을 확인해야 한다. 또 장기간 채취할 때는 입자상 물질에 의하여 여과지가 막히기 때문에 채취 후반에는 되도록 유량확인을 자주해야 한다.

(5) 유량계를 청소할 때는 눈금교정을 한다.

6.4 현장 바탕 시료(field blank)

여과지의 오염된 여부를 확인하기 위하여 전체 시료 중의 10 % 이상을 기준으로 하며 최소 2개 이상 현장으로 5.2.1에서와 같이 동일한 조건에서 보관한 후 이동하기 전 무게를 측정하고, 실험에 이용된 여과지와 동등한 조건의 여과지를 시료채취 장소에 가지고가서 개봉하지 않고 시료 채취한 여과지와 함께 보관한 후 실험실로 가지고 와서

무게를 측정한다.

6.5 여과지 무게 측정

6.5.1 먼지 농도는 일정 기간 이후 측정되기 때문에 저울 변화, 무게 변화될 부분의 불충분한 온도 평형, 기후 변화에 관련된 무게 측정 오차를 피하기 위하여 특별한 주의가 필요하다. 그러므로 어떠한 측정을 실행하기 전에 사용자는 무게 측정 절차를 검증하여야 한다. 사용자는 무게 측정 이전과 무게 측정 이후 둘 다에 대하여 동일한 저울을 사용할 것을 권고한다.

6.5.2 각 일련의 무게 측정 이전에 주의할 점은 다음과 같다.

- (1) 표준 분동을 사용하여 저울을 점검한다.
- (2) 측정에서 사용될 부분과 동일한 무게 측정 조절 부분에 의해 추가적인 점검을 수행하고, 동일한 온도 및 습도 조건에서 전처리하고 오염을 피한다.
- (3) 무게 측정실의 기후 조건을 기록한다.

6.5.3 무게 측정 결과의 증가 또는 감소는 다음의 원인에 의해 발생할 수 있다.

- (1) 정전기는 이상 측정치를 나타내고 이 측정치는 취소/무효가 될 수 있다. 그러므로, 정전기 발생을 주의 하며, 저울 근처에 정전기 제거장치나 정전기 제거 테이블 등을 사용하여 정전기를 제거한다.
- (2) 여과지 재료 또는 먼지는 습기를 흡수하는 특성이 있어서 무게 측정은 데시케이터에서 꺼낸 후 3 분 이내에 수행되어야 한다. 측정하는 동안 동일한 여과지 무게에 현저한 증가가 있으면, 수분에 의한 오염으로 판단하여 시료를 데시케이터 안에 다시 넣어야 한다. 그리고 무게 측정 절차를 반복한다. 건조 기준 무게는 영점 시간까지 외삽하여 계산될 수 있다.
- (3) 저울주위의 온도는 측정하는 동안 일정하게 유지되도록 한다.

7.0 분석절차

7.1 시료 채취 후의 여과지 무게 측정

시료채취후의 여과지는 5.2.1의 조건에서 24시간 이상 항량이 될 때까지 보관하였다가 감도 10^{-6}g (0.001 mg)이상의 감도를 갖는 분석용 저울로 정확히 여과지의 무게를 단다. 여과지의 종류에 따라 정전기, 습도 등 여과지 무게 측정 시 발생할 수 있는 오차에 주의 하여야 하며, 여과지의 무게는 저울을 이용하여 3회 이상 여과지의 무게를 측정하여 평균값으로 나타낸다.

8.0 결과보고

8.1 농도 계산

8.1.1 시료채취 유량은 시료채취 기간의 평균유량으로 한다.

$$Q_{ave} = \frac{Q_1 + Q_2}{2} \quad (\text{식 } 6)$$

여기서, Q_{ave} : 시료채취기간의 평균유량 (L/min)

Q_1 : 시료채취 시작 시의 유량 (L/min)

Q_2 : 시료채취 종료 시의 유량 (L/min)

8.1.2 채취한 공기의 부피는 식 7에 따라 계산한다.

$$V = \frac{Q_{ave} \times T}{10^3} \quad (\text{식 } 7)$$

여기서, V : 채취한 공기의 부피(m^3)

Q_{ave} : 시험 전·후 측정한 유량의 평균(L/min)

T : 채취 시간(min)

8.1.3 채취한 공기는 식 7에 따라 25 °C, 1기압 조건으로 보정하여 환산한다.

$$V_{(25^{\circ}\text{C}, 1\text{atm})} = V \times \frac{T_{(25^{\circ}\text{C})}}{T_2} \times \frac{P_2}{P_{(1\text{atm})}} \quad (\text{식 } 8)$$

여기서, $V_{(25^{\circ}\text{C}, 1\text{atm})}$: 25 °C, 1기압일 때 기체의 부피(m^3)

$T_{(25^{\circ}\text{C})}$: 25 °C의 절대온도($^{\circ}\text{K}$) ($298\text{ }^{\circ}\text{K} = 273+25\text{ }^{\circ}\text{C}$)

$P_{(1\text{atm})}$: 1기압(atm)

V : 실제로 채취한 기체의 부피(m^3)

T_2 : 기체를 채취할 때의 절대온도($^{\circ}\text{K}$) ($^{\circ}\text{K}=273+^{\circ}\text{C}$)

P_2 : 기체를 채취할 때의 기압(atm)

8.1.4 미세먼지 농도 계산($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

식 9에 의해 공기 중 미세먼지의 농도를 구한다.

$$C = \frac{(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1)}{V_{(25^{\circ}\text{C}, 1\text{atm})}} \quad (\text{식 } 9)$$

여기서, C : 공기 중 미세먼지의 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

W_1 : 시험 전 여과지 무게(μg)

W_2 : 시험 후 여과지 무게(μg)

B_1 : 시험 전 바탕시료 여과지 무게(μg)

B_2 : 시험 후 바탕시료 여과지 무게(μg)

$V_{(25^{\circ}\text{C}, 1\text{atm})}$: 보정된 채취공기의 부피(m^3)

8.2 유효숫자 표기

공기 중 미세먼지 농도는 소수점 첫째자리까지 표시한다.

8.3 기록 사항

매 채취시료마다 채취장소, 채취일, 여과지번호, 채취시작 및, 종료시간, 기타 성적에 참고가 될 만한 기상요소(일기, 온도, 습도, 풍향, 풍속 등) 및 시료채취자의 성명을 기록해 놓는다.

9.0 참고자료

9.1 KS I ISO 16000-1, “실내공기 제 1부 : 시료채취방법의 일반적 관점”, 산업표준심의회, (2014)

9.2 KS I ISO 12141, “고정오염원방출 - 저농도에서의 미립자(먼지) 질량 농도 측정 - 수동 중량법”, 산업표준심의회, (2012)

9.3 KS A 0082, “로블륨 에어 샘플러 및 로블륨 에어 샘플러에 의한 공기 중 부유 분진 측정 방법”, 산업표준심의회, (2013)

9.4 NIOSH Manual of Analytical Methods 0600, “Particulates not otherwise regulated, respirable”, National Institute for Occupational Safety and Health, Education and Information Division, Cincinnati, Ohio 45226 (1998)

10.0 부록

“내용 없음”