

환경대기 중의 미세먼지(PM₁₀) 측정방법 -

2016

중량농도법

(Suspended Particulate Matter PM₁₀ in Ambient Air -
Gravimetric Measurement Method)

1.0 개요

1.1 목적

이 시험방법은 대기환경 중 입경크기 10 μm 이하 미세먼지(PM₁₀)의 질량농도를 측정하는 방법에 대하여 규정한다. 시료채취기를 사용하여 대기 중 미세먼지 시료를 채취하고, 채취 전후 필터의 무게 차이를 농도로 측정하는 질량농도측정 방법의 정확성과 통일성을 갖추도록 함을 목적으로 한다.

1.2 적용범위

1.2.1 측정결과는 미세먼지의 단위부피 당 질량농도로 나타내며, 측정 단위는 국제단위계인 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 사용한다.

1.2.2 측정 질량농도의 검출한계는 측정질량농도범위가 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하에서 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상에서는 측정 질량농도의 7 % 이내이어야 한다.

1.2.3 본 측정방법에서 적용되는 시료채취기는 저용량시료채취기를 기준으로 하며 채취된 PM₁₀ 시료는 입자상물질의 물리화학적 분석에 이용될 수 있다.

1.3 간섭물질

1.3.1 휘발성 입자

필터에 채취된 휘발성 입자는 무게를 측정하기 전 종종 이동 중이거나 저장 중에 손실된다. 채취된 필터의 이동이나 저장이 필요한 경우 필터는 이러한 손실을 최소화할 수 있도록 가능한 빠른 시간 내에 무게를 측정해야 한다.

1.3.2 부산물에 의한 측정오차

시료채취 필터 위에서 기체 상 물질들의 반응 등에 의해 PM_{10} 질량농도 측정량이 증가 또는 감소되는 오차가 일어날 수 있다. PM_{10} 시료채취과정에서 이산화황 (SO_2)과 질산이 필터위에 머무르면 황산염과 질산염으로 산화되는 화학반응을 통하여 염류가 생성됨으로써 PM_{10} 질량농도가 증가하는 경우와, 시료 중에 생성된 염류가 저장과 이동과정에서 기압과 대기온도에 따라 해리과정을 거쳐 다시 기체상으로 변환됨으로써 PM_{10} 질량농도가 감소되는 경우가 초래될 수 있다.

1.3.3 습도

채취시료의 대기 습도에 의한 영향은 피할 수 없으나, 필터 평형화 과정은 필터 매질의 습도 효과를 최소화 할 수 있다.

2.0 용어정의

2.1 미세먼지 대기 중에 부유하는 고체 및 액체의 입자상 물질로서, 대기환경 기준의 PM_{10} 미세먼지는 그 공기역학적 입경이 $10\ \mu m$ 이하의 것을 말한다.

2.2 질량농도 단위체적에 포함된 입자상 물질의 질량. 단위는 $\mu g/m^3$ 으로 나타낸다.

2.3 교정용 입자 측정기의 교정에 이용하는 입자를 말한다.

2.4 교정용 에어로졸 교정용입자를 포함한 공기를 말한다.

2.5 입경 공기역학적 거동이 비중 1의 구형입자와 등가로 되는 입자의 직경

2.6 교정범위 측정기 최대측정범위의 80 ~ 90 % 범위에 해당하는 교정 값을 말한다.

3.0 분석기기 및 기구

3.1 시료 채취기

저용량시료채취기 (시료채취 유속 0.1 m³/min 이하)를 기준으로 하며, 7.2.2의 장치 기준을 갖추어야 한다.

3.2 분석용 저울

0.01 mg 까지 정확하게 측정할 수 있는 저울을 사용하여야 하며 측정표준 소급성이 유지된 표준기에 의해 교정되어야 한다.

3.3 건조용기 (데시케이터)

시료채취 필터의 수분 평형을 유지하기 위한 용기로서 상온에서 50 % 염화칼슘 용액을 제습제로 사용한다.

3.4 시료채취 필터 보관용기

필터 손상이나 채취된 입자들의 손실을 막기 위해 조심스런 필터 취급이 필요하며, 필터 카트리지가나 보관용기는 이러한 손상에 의한 측정오차를 줄여줄 수 있다.

4.0 시약 및 표준용액

4.1 제습제

시료 채취 필터의 수분 평형을 유지하기 위한 제습제로 50 % 염화칼슘 용액 등을 사

용한다.

4.2 시료 채취 필터

시료채취기의 운전유속에서 0.3 μm 의 입자상물질에 대하여 99 % 이상의 채취효율 가져야 하며 필터의 재질은 유리섬유, 석영섬유, 폴리스틸렌, 니트로셀룰로스, 불소수지 등이 있다.

5.0 시료채취 및 관리

시료 채취방법은 ES 01115 환경대기 시료채취방법을 따른다.

6.0 정도보증/정도관리 (QA/QC)

6.1 필터 취급

시료채취 전과 후의 무게 측정 시 필터 손상이나 채취된 입자들의 손실을 막기 위해 조심스런 필터 취급이 필요하다. 필터 카트리지가나 보관용기는 이러한 오차를 줄여줄 수 있다.

6.2 유속 변화

시료채취기 동작 중의 유속의 변화는 시료채취기 도입부의 입자 크기 분리 특성을 변경시킬 수 있다. 이러한 오차의 크기는 유속의 변화에 대한 시료도입부의 민감성과 시료채취 중의 대기의 입자 분포에 의존한다. 정확한 유량 조절장치의 사용과 입경분리 장치 설계유량의 정확한 유지는 이러한 오차를 최소화하기 위해 필요하다.

6.3 유량 측정

유량 측정 오차는 유속의 오차와 시료채취 시간의 측정으로부터 비롯될 수 있다. 유량

조절 장치는 유속 결정에 있어서 오차를 최소화할 수 있고 경과시간 측정기는 시료채취 시간 측정의 오차를 최소화 할 수 있다.

6.4 분석 저울

분석 저울은 시료채취기에 사용되는 필터의 형태와 무게를 측정하는데 적절해야 하며 측정표준 소급성이 유지된 표준기에 의해 교정되어야 한다. 저울의 측정 범위와 민감도는 사용 전 필터 중량과 시료채취 후 부가된 미세먼지의 무게에 따라 결정된다. 0.01 mg 까지 정확하게 측정할 수 있는 저울을 사용하여야 한다.

6.5 유속 교정

6.5.1 유속교정

측정기는 설계유량의 정확한 유지가 필요하다. 유량조절장치는 주기적으로 (연 1 회) 표준 유속계를 이용하여 교정되어야 하고, 설계유량이 확인되어야 한다. 측정기의 유속 교정은 동작 유속에서 측정값의 $\pm 2\%$ 이내의 정확성을 가져야 한다.

유속 교정에 사용되는 표준 유속계의 유속 측정범위는 측정기의 유속 측정범위에 적절해야 하고 측정표준 소급성이 유지되어야 한다.

6.5.2 입경분리장치 설계 유속

PM₁₀ 입경분리장치는 시료채취기의 도입부에서 규정된 설계유속이 유지되어야 관성에 의한 PM₁₀ 입자의 분리가 설계된 분리 특성대로 분리될 수 있다. 따라서 시료채취기 도입부의 유속은 제조사에 의해 규정된 설계 유속범위 안에서 유지되어야 한다. 설계 유속은 실제 측정조건에서의 온도와 압력에 따른 실제 부피 (volumetric) 유속으로 규정한다.

6.5.3 교정 절차

6.5.3.1 시료채취기 제조사의 설명서에 따라 시료채취기 도입부를 제거하고 표준 유속계를 시료채취기 입력 단에 연결하고 시료채취기의 유속을 정확하게 측정한다. 표준 유속계와 시료채취기 연결부위에 누출이 없는지 확인한다.

6.5.3.2 시료채취기의 설계 유속 범위 안에서 최소 3 개의 유속 측정값을 선택한다. 표준 유속계와 실제 유속 사이의 관계를 확인한다. 대기 온도와 압력을 기록한다.

6.5.3.3 교정 절차에 따라 깨끗한 필터를 넣은 상태에서 설계유속에서 동작되는지를 확인한다.

6.5.3.4 시료채취기 도입부를 다시 연결한다.

7.0 측정절차

7.1 PM₁₀ 입경분리 장치

7.1.1 장치 특성

환경 대기시료 채취 시 시료에 포함된 입자상 물질 중에 입경크기 10 μm 이상의 입자는 제거하고 10 μm 이하의 미세 입자만을 분리 채취할 수 있는 장치로서 관성에 의해 입자 크기 별로 분리할 수 있는 특정한 구조를 갖으며 입경분리 구조 형태에 따라 사이클론 (cyclone) 방식과 임팩터 (impactor) 방식이 있다.

7.1.2 입경분리 기준

입경분리 장치의 입경 크기 분리 기준은 분리 기준입경 (10 ± 0.5) μm 에서 50 % 분리 효율을 가져야 한다. 입경분리장치는 고유의 설계유속을 가지며 고유 설계유속 범위에 서 입경 분리 특성을 갖는다. 장치의 사용설명서에 설계유속 범위가 표시되어야 한다.

7.2 질량농도 측정방법

7.2.1 측정방법

공기 시료채취기는 입경크기 10 μm 이하의 입자상 물질을 관성에 의해 분리할 수 있는 특정한 구조를 갖는 도입부의 입경분리장치를 통해 환경 대기 중의 공기 시료를

일정한 유속으로 설정된 시간 동안 시료채취 필터에 채취한다.

채취된 필터 시료는 수분 평형화 후에 PM_{10} 채취 이전과 이후의 무게를 측정하여 전체 질량농도를 결정한다. 대기 중의 PM_{10} 질량농도는 PM_{10} 입경크기 영역에서 채취된 미세먼지 전체 질량을 채취된 유량 부피로 나눈 값으로 계산하고 $\mu g/m^3$ 으로 표현한다. 시료채취 시의 온도와 압력은 시료채취 기간 동안의 평균 온도와 압력으로 계산한다.

7.2.2 장치 기준

7.2.2.1 PM_{10} 시료채취기

- ① 대기 중의 공기가 시료채취기 도입부로부터 시료 필터를 통과하기까지 와류 없이 일정한 유속이 유지되어야 한다.
- ② 시료채취 필터는 수평상태로 유지되고 밀봉되어 시료 공기가 필터를 수직으로 전량 통과하도록 되어야 한다.
- ③ 필터의 장착 및 탈착이 수월해야 한다.
- ④ 시료 채취 과정에 벌래 및 다른 이물질 등이 침투되지 않도록 시료채취기 및 필터의 외부가 보호되어야 한다.
- ⑤ 시료채취기 배기구는 배기 시료의 재 채취가 최소화되도록 도입부와 충분한 거리가 있어야 한다.
- ⑥ 시료채취기 설치 표면은 먼지의 영향이 최소화 되도록 설치되어야 한다.
- ⑦ 시료채취기의 유속은 PM_{10} 입경분리장치의 입자분리특성이 유효한 설계유속 범위에서 결정되어야 하며 일정한 유속을 유지할 수 있는 유량제어장치를 갖추어야 한다.
- ⑧ 시료채취기는 총 시료채취 시간 동안의 전체 유속의 평균값을 제공해야 한다. 연속적으로 유속을 기록할 수 있는 기록계의 설치를 추천한다.
- ⑨ (24 ± 1) 시간의 관측 기간을 얻을 수 있고, 시료채취의 시작과 종료를 가능하게 하는 시간 기록/통제 기기가 사용되어야 한다. 경과 시간기록계는 ± 15 분 이내의 정확성을 가져야 한다.
- ⑩ 시료채취기는 관련된 기기 설명서를 가지고 있어야 하고 이것은 자세한 기기 설명과 교정, 동작, 보수 방법 등의 내용을 담고 있어야 한다.

7.2.2.2 필터

사용자의 시료채취 목적에 따라 다양한 필터 특성들을 결정하여 선택할 수 있으며 통상 나이트로셀룰로오스제 멤브레인 필터 또는 석영섬유 필터 등을 사용하며, 다음과 같은 조건이 맞는 것을 사용한다.

- ① 시료채취기의 운전유속에서 0.3 μm 의 입자상물질에 대하여 99 % 이상의 채취효율을 가질 것
- ② 압력손실이 낮을 것
- ③ 기체상 물질의 흡착이 적고 흡습성 및 대전성 (帶電性)이 적을 것.
- ④ 취급하기 쉽고 충분한 강도를 가질 것.
- ⑤ 분석에 방해되는 물질을 함유하지 않을 것.

7.2.2.3 사용 전 필터 환경조건

시료필터는 사용 전 다음의 환경조건에서 일정시간 관리되어야 한다.

- ① 온도 범위 : 15~30 $^{\circ}\text{C}$
- ② 온도 조절 : ± 3 $^{\circ}\text{C}$
- ③ 습도 범위 : 20~45 % RH
- ④ 습도 조절 : ± 5 % RH

7.2.3. 측정 절차

시료채취기는 시료채취기와 함께 제공된 설명서의 지침을 따라 작동되어야 한다. 다음의 측정절차는 시료채취기의 유속 보정이 실제 대기조건 아래서 이루어지고 PM_{10} 시료채취기 동작에 포함된 일반적 절차를 서술한다.

7.2.3.1 각 필터의 세공, 입자 및 다른 불완전성 등을 검사한다. 각 필터에 식별 번호를 적고 기록하여 필터 정보를 수집한다.

7.2.3.2 각 필터를 7.2.2.3의 환경조건에서 최소 24 시간 평형화 한다.

7.2.3.3 평형화에 이어 각 필터의 무게를 재고 시료채취 전의 필터 질량을 식별 번호와 함께 기록한다.

7.2.3.4 초기 질량을 쟀 필터를 제조사의 설명서를 따라 시료채취기에 설치한다.

7.2.3.5 시료채취기 전원을 켜고 운전 온도 조건을 확인한다. 유속 지시계를 읽고 기록한다. 만약 필요하다면 대기 온도와 압력계도 설치한다. 시료채취기의 유속을 시료채취기 제조사의 설계 유속에 따라 결정한다.

7.2.3.6 유속이 적용 가능 범위의 밖에 있을 경우, 누출여부를 조사하고 유속을 재조정한다.

7.2.3.7 시작과 종료를 기록할 타이머를 맞춘다. 경과 시간기록계를 영으로 맞추고 초기 지시값을 기록한다.

7.2.3.8 시료채취 정보 (위치, 식별 번호, 날자)를 기록한다.

7.2.3.9 (24 ± 1) 시간 동안 시료채취를 한다.

7.2.3.10 시료채취 기간 동안의 평균 유속 (Q_a)을 시료채취기 제조사 설명서의 지시에 따라 기록한다. 경과시간 기록계의 최종 값을 기록한다. 만약 필요하다면 평균 대기 온도와 압력을 기록한다.

7.2.3.11 시료채취기로부터 필터를 주의하여 꺼내어 보관함에 담는다. 이때 시료채취기 제조사의 설명서를 따르고 필터의 바깥쪽 끝부분을 잡는다.

7.2.3.12 기상 조건, 건설 활동, 산불 또는 황사와 같은 모든 요소들을 기록한다.

7.2.3.13 시료 필터를 이동시켜 가능한 빨리 질량 측정을 할 수 있도록 평형화 시킨다.

7.2.3.14 채취된 필터를 필터 유지 환경에서 최소 24 시간 동안 시료채취 전 필터 준비 때와 같은 온도와 습도의 조건에서 평형화시킨다.

7.2.3.15 평형화 시킨 후 즉시 필터의 무게를 다시 재고 식별번호와 함께 기록한다.

8.0 결과보고

8.1 채취시료의 질량농도 계산 절차

8.1.1 전체 유량을 다음 (식 1)과 같이 계산한다.

$$V = Q_0 \times t \quad (\text{식 1})$$

여기서, V = 대기 온도 압력 조건에서 채취 된 전체 유량 (m^3)

Q_0 = 평균 샘플 유속 (m^3/min)

t = 시료채취 시간

8.1.2 PM_{10} 질량농도를 다음 (식 2)와 같이 계산한다.

$$\text{PM}_{10} = \frac{(W_t - W_i)}{V} \times 10^6 \quad (\text{식 2})$$

여기서, PM_{10} = PM_{10} 질량농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

W_t = 최종 필터의 무게 (g)

W_i = 초기 필터의 무게 (g)

10^6 = g을 μg 으로 전환

8.2 측정결과 보고

대기 시료에 함유되어 있는 미세먼지 (PM_{10}) 측정결과를 보고하는 경우에는 다음 목록의 자료를 함께 보고하여야 한다.

8.2.1 시료관련자료 (시료목록, 시료번호, 시료채취일자, 시료채취장소, 시료보관장소, 측정일시 등)

8.2.2 측정방법 개요

시료 채취 유속, 총량, 시간, 기상요소 (기온, 기압, 습도, 풍속, 풍향 등), 주변 환경 (4방위 개방여부, 주변 건물, 지표면 상태 등) 요소를 작성한다.

8.2.3 측정결과

측정결과를 기록한다.

8.3 측정량의 표시

8.3.1 측정결과는 환경 대기 중에 존재하는 입경 크기 10 μm 이하 미세먼지 (PM_{10})의 단위부피 당 질량농도로 나타내며, 측정 단위는 국제단위계인 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 사용한다.

8.3.2. 모든 수치는 소수 첫째 자리에서 반올림하여 정수로 결과를 작성한다.

9.0 참고자료

9.1 EPA 40 CFR Appendix M, Part 50, Reference method for the determination of Particulate Matter as PM_{10} in the Atmosphere

9.2 환경부. 대기오염공정시험방법

9.3 JIS B 7954, Automatic monitors for suspended particulate matter in ambient air