

환경대기 중 미세먼지(PM10),  
초미세먼지(PM2.5) 자동측정방법 - 광대역  
분광법  
(Suspended Particulate Matter PM10/PM2.5 in Ambient Air -  
Broadband Spectroscopy Method)

2026

## 1.0 개요

### 1.1 목적

이 방법은 환경 대기 중에 존재하는 공기역학적 등가입경(이하 입경이라 함)이 10  $\mu\text{m}$  이하인 입자상 물질(PM10), 2.5  $\mu\text{m}$  이하인 입자상 물질(PM2.5)의 질량농도를 광대역 분광법에 의해 동시에 측정하는 방법에 대해 규정하며, 광대역 분광법에 의한 측정의 정확성과 통일성을 갖추도록 함을 목적으로 한다.

### 1.2 적용범위

1.2.1 이 방법은 다파장 광원으로부터 방출된 광선이 측정부에 유입된 먼지를 통과할 때 산란되는 광선의 세기를 비교 측정하여 대기 중 미세먼지와 초미세먼지의 농도를 동시에 측정하는 방법이다.

1.2.2 측정결과는 상온(20  $^{\circ}\text{C}$ , 1 기압)으로 환산된 미세먼지의 단위부피 당 질량농도로 나타내며, 측정 단위( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )를 국제단위계(SI) 단위로 나타낸다.

1.2.3 측정 질량농도의 최소검출한계는 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하이며, 측정범위는 0  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 1\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이다.

### 1.3 간섭현상(영향)

### 1.3.1 유속 변화에 의한 영향

측정기 동작 중 유속의 변화는 시료채취 유량의 변화에 의한 측정편향을 일으킬 수 있어 정확한 유량조절장치의 사용과 설계유량의 정확한 유지는 계통오차를 최소화하기 위해 필요하다.

### 1.3.2 시료 중 공기에 포함된 수분에 의한 영향

광산란 현상은 수분에 의해 영향을 받으므로, 시료채취 도입부는 일정온도로 조절되는 가열장치가 설치되어 대기 시료 중의 수분에 의한 응축현상을 제거할 수 있어야 한다.

## 2.0 용어정의

### 2.1 미세먼지 (PM10)

대기 중에 부유하는 고체 및 액체의 입자상 물질로서, 대기환경 기준의 미세먼지 (PM10)는 그 입경이 10  $\mu\text{m}$  이하의 것을 말한다.

### 2.2 초미세먼지 (PM2.5)

대기 중에 부유하는 고체 및 액체의 입자상 물질로서, 대기환경 기준의 초미세먼지 (PM2.5)는 그 입경이 2.5  $\mu\text{m}$  이하의 것을 말한다.

### 2.3 질량농도

단위부피(체적, volume)에 포함된 입자상 물질의 단위는  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타낸다.

### 2.4 감도확인용 먼지

다과장 광원의 특정 굴절률을 가지는 먼지로 질량농도 측정법과 비교하여 감도값이 있어야 하고 유효기간, 신뢰수준이 포함되어 있어야 한다.

### 3.0 분석기기 및 기구

#### 3.1 광대역 분광법에 의한 미세먼지 측정

대기 중 미세먼지를 일정시간 측정부에 유입하여 다파장 광원으로부터 방출된 광선을 투과시켜 PM10, PM2.5의 질량농도를 동시에 연속적으로 측정하는 방법으로 공기흡입부, 다파장 광원, 광선 감지부, 유량조절부, 펌프, 연산장치 등으로 구성되어 있으며, 장비 내에서 입경을 구분할 수 있도록 <그림 1>과 같이 구성한다. 또한, 감지부의 수분 영향을 최소화하기 위해 감지부 내부에 온습도 센서를 두고 감지부 전단에 히터를 두어 감지부 온습도에 따라 작동하도록 한다.

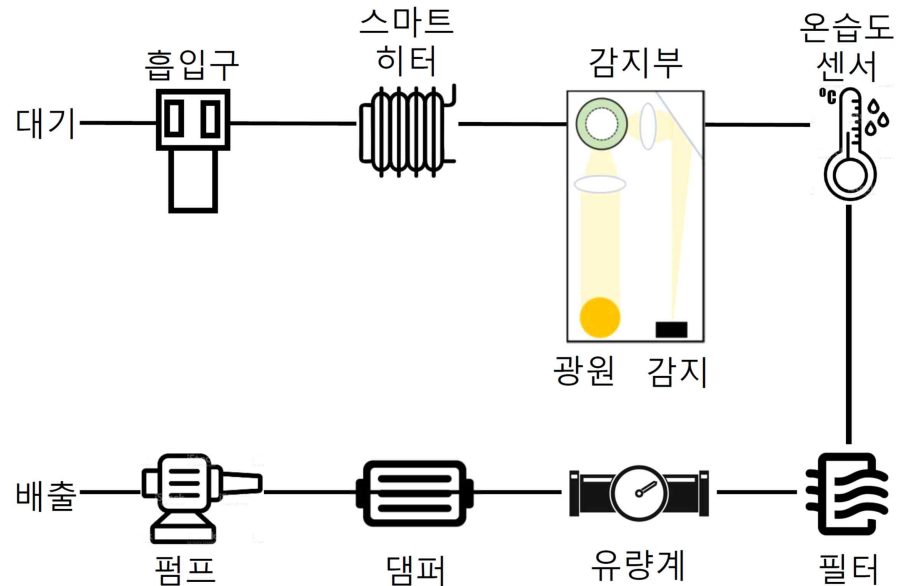


그림 1. 광대역 분광법 장치 구성

### 3.2 감지흐름도

**3.2.1** 다파장 광원으로부터 방출된 광선이 유입된 각각의 미세먼지와 충돌하면 광선은 산란한다. <그림 2>은 단파장이 단일먼지에 조사되었을 때 산란하는 과정을 나타낸 것이다.

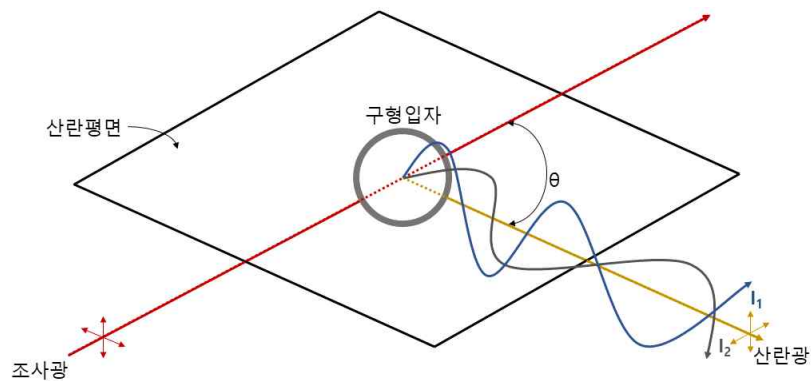


그림 2. 광산란면

**3.2.2** <그림 3>에서 보는 것과 같이 미세먼지의 광산란의 세기와 산란각은 파장에 크게 의존하므로 광대역 파장을 사용하면 입자 크기별 산란 특성을 반영하여 PM2.5와 PM10의 개수를 구분해 측정할 수 있다.

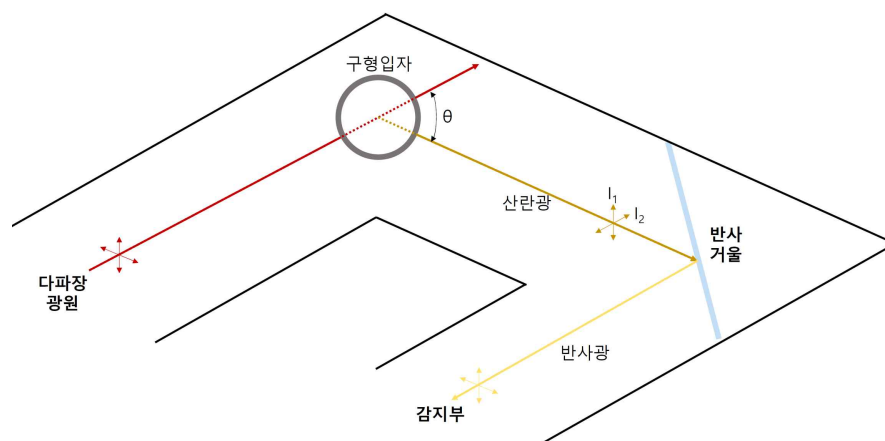
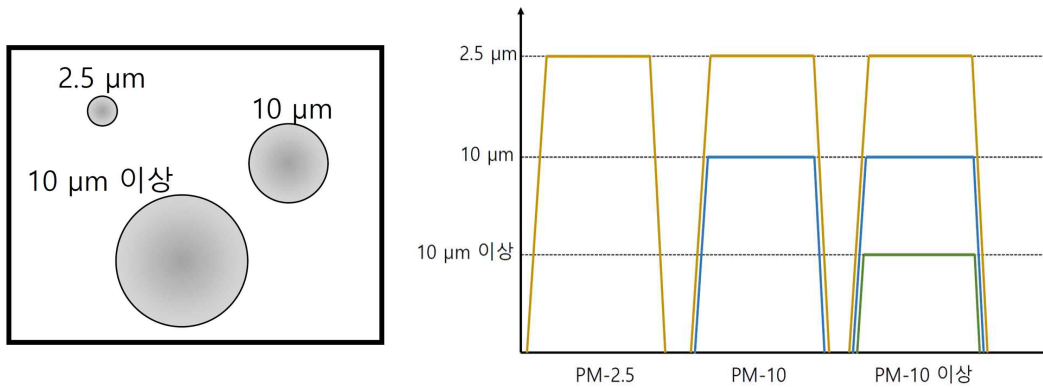


그림 3. 측정기 감지부 구조

**3.2.3** 미세먼지와 초미세먼지 입자로부터 산란한 산란광을 감지하는 감지부는 먼지입

경을 감지한 광선의 전압값으로 먼지입경별 먼지개수를 파악한다. <그림 4>는 다파장 광원이 입경이 다른 미세먼지에 충돌하여 산란한 산란광의 감지전압 측정을 나타낸 것이다.



a. 입경별 미세먼지      b. 입경별 파장 영역에 따라 반응하는 입자의 크기 영역

그림 4. 미세먼지 입경별 감지시간 대비 감지전압

**3.2.4** <그림 4>와 같이 짧은 파장(청색, 400 nm 부근)에서는 PM2.5가 민감하게 반응하고, 긴 파장(적색, 650 nm 부근)에서는 PM2.5와 PM10 모두 산란광이 감지되므로 입경에 따른 개수를 결정할 수 있다.

**3.2.5** 따라서 입경별 미세먼지 개수 산정방법은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} (\text{PM2.5}) \text{ 개수} &= (\text{PM2.5}) \text{ 감지개수} - (\text{PM10}) \text{ 감지개수} - (\text{PM10 이상}) \text{ 감지개수} \\ (\text{PM10}) \text{ 개수} &= (\text{PM10}) \text{ 감지개수} - (\text{PM10 이상}) \text{ 감지개수} \end{aligned}$$

**3.2.6** 위의 산정방법을 통해 파악한 입경별 미세먼지 개수를 통계적 전처리를 거쳐 입자개수분포함수  $n(d_p)$ 로 정의한 식으로 나타내면 아래 식 1과 같다.

$$g_i = \int_{d_{p,i}}^{d_{p,i+1}} n(d_p) d(d_p) \quad (\text{식 1})$$

**3.2.7** 위와 같은 방식으로 입자질량분포함수  $m(d_p)$ 로 정의한 식으로 나타내면 아래 식2와 같다.

$$h_i = \int_{d_{p,i}}^{d_{p,i+1}} m(d_p) d(d_p) \quad (\text{식 2})$$

3.2.8 다과장 광원에서 측정한 먼지직경은 광학적으로 측정한 직경이므로 이를 공기역학적 직경으로 보정이 필요하다. 보정식은 다음 식 3에 따른다.

$$d_{p_a} = d_{p_l} \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_o \chi}} \quad (\text{식 3})$$

여기서,  $d_{p_a}$  : 공기역학직경( $\mu\text{m}$ )

$d_{p_l}$  : 광학직경( $\mu\text{m}$ )

$\rho_p$  : 먼지밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$\rho_o$  : 기준밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$\chi$  : 보정상수

3.2.9 보정한 미세먼지 입경의 입자개수값을 입자질량값으로 나타내면 아래 식 4와 같다.

$$m = n \cdot \rho_p \cdot \frac{\pi}{6} d_{p_a}^3 \cdot 10^6 \quad (\text{식 4})$$

여기서,  $m$  : 입자질량( $\mu\text{g}$ )

$n$  : 입자개수

$\rho_p$  : 먼지밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$d_{p_a}$  : 공기역학직경( $\mu\text{m}$ )

## 4.0 시약 및 표준용액

### 4.1 감도확인용 먼지

다과장 광원의 특정 굴절률을 가지는 먼지로 질량농도 측정법과 비교하여 그 값이 확인되어 있어야 하고 유효기간, 확인값, 신뢰수준이 포함되어 있어야 한다.

## 5.0 시료채취 및 관리

### 5.1 측정위치의 선정

ES 01606.2b 5.1 측정위치의 선정에 따른다.

## 5.2 시료측정

실시간(5분 이하)으로 1시간 측정하여 산술평균한 값으로 한다.

## 6.0 정도보증/정도관리 (QA/QC)

### 6.1 기압 및 온도 교정

ES 01606.2b 6.1 기압 및 온도 교정에 따른다

### 6.2 유량측정

ES 01606.2b 6.2 유량측정에 따른다

### 6.3 유량교정

ES 01606.2b 6.3 유량교정에 따른다

### 6.4 등가성 평가

ES 01606.2b 6.4 등가성 평가에 따른다

### 6.5 측정장비 정도관리

광대역 분광법 자동측정기를 사용함에 있어 표 1과 같이 정도관리를 실시한다.

표 1. 광대역 분광법 자동측정기 주기별 정도관리 항목

주기	기준	비고
1회/주	흡입구(inlet) 청소	
	펌프점검	
1회/월	유량점검	16.7 LPM $\pm$ 0.5 LPM
	누출(leak)확인	
1회/3월	광화학 챔버/온습도센서 청소	
	내부필터 교체	
	감지부점검	감도확인용 먼지
1회/6월	샘플 라인 청소	

광대역 분광법 자동측정기를 사용함에 있어 정도검사 성능 기준은 표 2와 같다.

**표 2. 광대역 분광법 자동측정기 정도검사 성능 기준**

항목	내용 및 기준		비고
	미세먼지(PM10)	초미세먼지(PM2.5)	
반복성	2.0 % 이하		감도 확인용 먼지 반복성 100 µg/m 스팬드리프트 500 µg/m
스팬드리프트	3.0 % 이하		
시료채취 유량의 정확성	2.0 % 이하		기준 유량계
공시험	± 10 µg/m <sup>3</sup> 이내	± 5 µg/m <sup>3</sup> 이내	공시험 필터

## 7.0 분석절차

### 7.1 전처리

#### 7.1.1 측정기의 감도확인

7.1.1.1 전원을 연결한 후 측정기가 예열되면(30 분 정도) 감도확인을 행한다.

7.1.1.2 감도확인용 먼지를 준비하고 실리콘 튜브를 상단 흡입관에 연결한다.

7.1.1.3 감도확인용 먼지 용기를 흡입관을 통해 측정기로 흡입되도록 한다.

7.1.1.4 측정기 내 감지부에서 표출한 감도와 감도확인용 먼지의 감도값을 확인하여 보정이 필요하면 보정한다.

7.1.1.5 감도확인이 끝나면 설정 유량과 먼지 채취시간을 재확인한 후 측정을 실시한다.

### 7.2 측정방법

측정기의 사용설명서를 따른다.

## 8.0 결과보고

### 8.1 먼지농도의 계산

이 방법은 대기 중에 부유하고 있는 10 μm이하, 2.5 μm이하의 입자상 물질을 일정시간 측정부에 유입하여 다파장 광원으로부터 방출된 광선을 투과시켜 입자상 물질의 질량농도를 동시에 연속적으로 측정하는 방법이다. 다파장 광원으로부터 방출된 광선을 이용한 먼지농도의 계산식은 다음 식 5에 따른다.

$$PM = \frac{\sum N_d \times \frac{1}{6} \times \pi \times d^3 \times \rho_d \times 10^9}{Q \times t} \quad (\text{식 5})$$

여기서,  $PM$  : 먼지농도( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$N_d$  : 먼지수

$d$  : 먼지직경(cm)

$\rho_d$  : 먼지밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$Q$  : 유량(L/min)

$t$  : 측정시간(min)

## 9.0 참고문헌

Hinds, W.C.: Aerosol Technology Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles. New York: John Wiley & Sons, Inc., (1982)

Parker C. Reist: Aerosol Science and Technology: McGraw-Hill, Inc.,(1993)

US EPA PM2.5 Federal Equivalent Method EQPM-0516-236

EN 16450 : 2017, Ambient air - Automated measuring systems for the measurement(measuring) of the concentration of particulate matter(PM10; PM2.5)