

환경대기 중 초미세먼지(PM-2.5)

2021

자동측정법 - 베타선법 (Particulate Matter Less than 2.5 μm in Ambient Air - Beta-ray Absorption Method)

1.0 개요

1.1 목적

이 측정방법은 환경대기 중에 존재하는 공기역학적 등가입경 (이하 입경이라 함)이 2.5 μm 이하인 입자상 물질 (PM-2.5)의 질량농도를 베타선흡수법 (베타선법)에 의해 측정하는 방법에 대해 규정하며, 베타선법에 의한 측정의 정확성과 통일성을 갖추도록 함을 목적으로 한다.

1.2 적용범위

1.2.1 이 측정방법은 베타선을 방출하는 베타선 광원으로부터 조사된 베타선이 필터 위에 채취된 먼지를 통과할 때 흡수되는 베타선의 세기를 비교 측정하여 대기 중 미세먼지의 질량농도를 측정하는 방법을 제시한다.

1.2.2 측정결과는 상온 상태 (20 $^{\circ}\text{C}$, 1 기압)로 환산된 단위부피 당 질량농도로 나타내며, 측정 단위는 국제단위계인 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 사용한다.

1.2.3 측정 질량농도의 최소검출한계는 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이며, 측정범위는 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~ 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다.

1.3 간섭오차

1.3.1 이 측정방법은 베타선이 여과지 위에 채취된 먼지를 통과할 때 흡수 소멸하는 베타

타선의 차로서 초미세먼지 (PM-2.5) 농도를 측정하는 방법으로 질량소멸계수 (μ)는 먼지의 성분, 입경분포, 밀도 등에 영향을 받는다. 초미세먼지 (PM-2.5)는 지역적, 공간적 특성에 따라 미세먼지의 성분, 입경분포, 밀도 등이 달라질 수 있으며, 이에 질량소멸계수가 차이를 나타낼 수 있다.

1.3.2 따라서 동일한 질량소멸계수를 베타선 자동측정기에 적용할 수 없으므로 중량농도법과의 비교측정을 통해 등가성을 확인하여야 한다.

1.3.3 측정기 동작 중의 유속의 변화는 시료채취 유량의 변화에 의한 측정 편차를 일으킬 수 있으며, 입경분리장치의 입자 크기 분리 특성을 변경시킬 수 있다. 정확한 유량 조절장치의 사용과 설계유량의 정확한 유지는 이러한 오차를 최소화하기 위해 필요하다.

2.0 용어정의

2.1 초미세먼지 (PM-2.5, particulate matter less than 2.5 μm)

환경 대기 중에 부유하는 직경 2.5 μm 이하 크기의 고체 및 액체의 입자상 물질을 말한다.

2.2 질량농도 (mass concentration)

기체의 단위 용적 중에 함유된 물질의 질량으로 표현된 농도를 말한다.

2.3 단위면적 질량밀도

베타선 감쇠 계수를 결정하는 물리량으로서 단위면적에 채취된 먼지의 질량 (mg/cm^2)을 말한다.

2.4 베타선법 (β -ray method)

대기 중에 부유하고있는 입자상물질을 일정 시간 여과지 위에 채취하여 베타선을 투과시켜 입자상 물질의 질량농도를 연속적으로 측정하는 방법이다.

3.0 분석기기 및 기구

3.1 베타선에 의한 먼지 측정장치의 구성은 공기흡입부, 입경분리장치, 유량조절부, 테이프 여과지, 교정부, 시료채취 시간 조정부, 베타선 광원, 베타선 감지부, 연산장치 등으로 나누어지며 주요장치 구성은 그림 1과 같다.

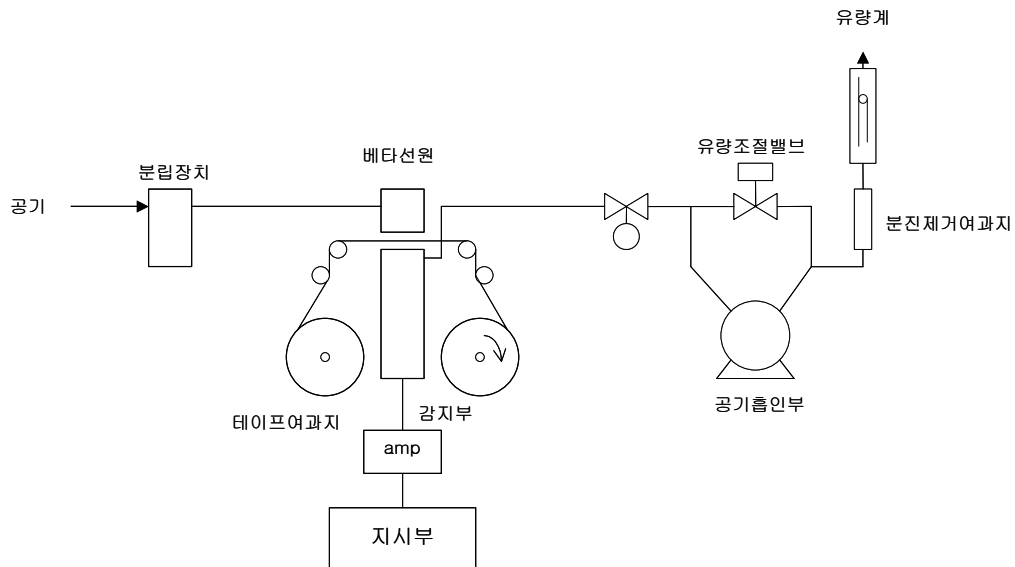


그림 1. 베타선법 장치구성

3.2 공기흡입부에는 입경분리장치가 설치되어 있어 입경 $2.5\ \mu\text{m}$ 이상의 입자를 제거하며 설정유량으로 공기를 흡입하여 여과지 위에 입경 $2.5\ \mu\text{m}$ 이하의 먼지를 채취한다.

3.2.1 1차 입경분리장치 및 2차 입경분리장치를 통해서 입자를 크기별로 분리 채취하게 된다. 1차 분리장치는 유효한계입경 (d_p 50 %, effective cut off diameter) $10\ \mu\text{m}$ 이상 입자를 제거하는 장치로서 충돌판 (impactor)방식을 이용하여 입자상 물질을 분리한다.

3.2.2 2차 입경분리장치는 유효한계입경 (d_p 50 %) $2.5\ \mu\text{m}$ 입자보다 큰 입자를 제거하는 장치로서 충돌판 (impactor)방식이 사용된다. 또한 WINS (well impactor ninty six) 형 PM-2.5 임팩터 (impactor)와 동등하거나 우수한 성능의 분리장치 (VSCC, very sharp cut cyclone)를 사용할 수 있다.

3.2.3 입경분립장치 관리

3.2.3.1 주 1 회 이상 충돌판의 여지를 갈아주고 충돌판 오일은 여과지 전체 면적이 충분히 젖도록 여지 전체에 고르게 퍼지게 한다. 충돌판 방식에 사용되는 노즐은 관 내부에 오염을 방지하기 위하여 주 1 회 이상 정기적으로 세척하여야 하며, VSCC의 경우 주 1 회 이상 정기적으로 청소를 하여야 한다.

3.3 채취된 먼지의 양은 베타선 광원으로부터 방출된 베타선이 먼지의 채취된 여과지를 통과할 때 흡수 소멸된 나머지가 감지부에 도달되어 연산장치 또는 기록부에 감지된 양으로 입자상물질의 농도를 계산하게 된다.

4.0 “내용 없음”

5.0 시료채취 및 관리

5.1 측정위치의 선정

시료채취 위치는 그 지역의 주위환경 및 기상조건을 고려하여 다음과 같이 선정한다.

5.1.1 시료채취 위치는 원칙적으로 주위에 건물이나 수목 등의 장애물이 없고 그 지역의 오염도를 대표할 수 있다고 생각되는 곳을 선정한다.

5.1.2 주위에 건물이나 수목 등의 장애물이 있을 경우에는 채취위치로부터 장애물까지의 거리가 그 장애물 높이의 2 배 이상 또는 채취점과 장애물 상단을 연결하는 직선이 수평선과 이루는 각도가 30° 이하 되는 곳을 선정한다.

5.1.3 주위에 건물 등이 밀집되거나 접근되어 있을 경우에는 건물 바깥벽으로부터 적어도 1.5 m 이상 떨어진 곳에 채취점을 선정한다.

5.1.4 시료채취구의 높이는 주변의 상황을 고려하여 가능한 한 1.5 m ~ 10 m 범위로 한다.

5.2 시료채취

1 시간을 원칙으로 하나, 사용기기에 따라 달라질 수 있다.

6.0 정도보증/정도관리 (QA/QC)

6.1 기압 및 온도 교정

시료채취부에는 기압 및 온도 센서 (외장형)가 부착되어 기상 조건이 측정되어야 하며, 기기의 측정값과 실제 기압 및 온도 값에 차이가 있을 시 교정하여야 한다.

6.1.1 시료채취부의 위치에서 실제 환경대기의 기압과 온도를 측정한다.

6.1.2 기기에서 측정된 값과 실제 기압, 온도를 비교한다.

6.1.3 두 값에 차이가 있을 시, 기기의 사용방법에 따라 실제 기압과 온도 값을 입력하고 저장한다.

6.2 유량측정

시료채취기의 유속의 변화는 시료채취기 도입부의 입자 크기 분리 특성을 변경시킬 수 있다. 정확한 유속과 유량이 측정되어야 하며 정확한 유량조절 장치 및 유량측정 장치로 오차를 최소화 한다.

6.3 유량교정

유속 및 유량의 측정은 실험 전후로 측정해야 하며 매 실험마다 표준유속 또는 유량계를 사용하여 교정하여야 하며 측정값의 $\pm 4\%$ 이내의 정확성을 가져야 한다.

6.3.1 1차 입경분리장치를 분리하고 유량교정 캡을 흡입구에 장착한다.

6.3.2 기기의 사용방법에 따라 설정유량 16.7 L/min의 $-10\% \sim 10\%$ 이내 범위에서

다점 유량교정을 원칙으로 한다.

6.3.3 유량교정 뒤 기기와 표준유량계의 유량 차이가 $\pm 4\%$ 를 벗어나면 교정을 다시 한다.

6.4 등가성평가

6.4.1 등가성평가는 i)국가기준측정시스템과 비교 측정하여 성능을 검증받은 중량농도법 측정기 (Class I, 1대)와 검증대상 자동측정기 (Class II, 1대)를 동시에 비교 측정 또는 ii)국가기준측정시스템으로부터 단계별 소급성을 확인받은 중량농도법 측정기와 검증대상 자동측정기를 비교하여 평가하여야 한다. 자동측정기에서 측정된 일평균 ((24 \pm 1)시간) 자료를 산술평균하여 중량농도법 측정치와 비교 분석하도록 한다. 일평균자료 (베타선법)와 중량농도법 측정자료의 상관 추세선을 최소제곱법으로 구하여 기울기의 범위가 0.9 ~ 1.1, 절편의 값은 -2.25 ~ 2.25 이어야 한다.

6.4.2 신규 또는 교체하는 자동측정기는 중량농도법과 비교측정을 통해 등가성을 확인하여야 한다. 일평균자료 (베타선법)와 중량농도법 측정자료 최소 23 일 이상을 대상으로 평가한다.

6.4.3 고정 지점에서 상시 운영되는 베타선 자동측정기는 23 일/년 이상 중량농도법 측정치와 비교 분석하되 매 2년에 한 번 이상 평가를 시행하도록 하고 중량농도법과 현장에서 동시에 비교 측정하여 등가성을 확인하여야 한다. 고정 장비의 이동 및 수리 등 급격한 변동 시 등가성평가를 하여야 한다. 단, 비(非)고정 지점에서 비(非)상시 운영되는 베타선 자동측정기의 등가성평가는 반드시 현장에서 실시할 필요는 없다.

6.5 측정장비 정도관리

베타선 자동측정기를 사용함에 있어 표 1과 같이 정도관리를 실시한다.

표 1. 베타선법 자동측정기 주기별 정도관리 항목

주기	기준	허용범위
1 회/월	누출(leak) 확인	< 1.0 L/min
	단점(one-point) 온도 교정	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ 이하
	유입구(inlet) 청소	
	필터 챔버(filter chamber) 청소	
	노즐(nozzle), 베인(vane) 청소	
	내부 외부 데이터로거 확인	(digital) $\pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (analog)
	Capstan shaft and pinch roller 청소	
1 회/6월	펌프 머플러 교체 및 청소	
	스마트 히터(smart heater) 확인 (해당모델의 경우)	정상가동 확인(강제 종료 후)
1 회/년	압력 확인	$\pm 10 \text{ mmHg}$
	Internal debris filter 교체 및 청소	
	72시간 제로필터(zero filter) 테스트	
	멤브레인(membrane) span foil 확인	전년도 평균치 절대값이 $\pm 5\%$ 이하
	Beta detector count rate	600,000 ~ 1,000,000
23 일/격년	3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 유효 측정자료 23 일/격년 이상 중량법과 자동법 비교측정	자동법 중량법 측정치간의 기울기 0.9 ~ 1.1 절편 -2.25 ~ 2.25

7.0 분석절차

7.1 전처리

7.1.1 측정기의 감도교정

7.1.1.1 전원을 연결한 후 측정기가 예열 (30 분 정도)이 되면 교정을 행한다.

7.1.1.2 공기흡입부의 전원을 끄고 새로운 여과지로 교체한 후 베타선 측정기용 스펀필름을 삽입하지 않고 측정치가 영점에 감지되는가를 확인하고 만약 영점에 감지되지 않을 경우 영점을 조절한다.

7.1.1.3 영점교정이 끝나면 베타선 측정기용 스펀필름을 삽입하고 측정치를 확인한다. 만약 측정치가 스펀필름 값과 일치하지 않을 경우 스펀 값을 변경 할 수 있다.

7.1.1.4 6.1.1.3의 과정 후, 5.4.2에 사용한 스펀필름을 삽입하여 표시되는 농도 값

을 확인하고, 전년도에 기록된 농도 값과 비교한 후 $\pm 5\%$ 이하인지 확인하고, 범위를 벗어날 경우 스팬 값을 조절해야 한다. 7 일/반기 이상의 비교측정을 수행한 후에는 기울기를 조정하고 스팬필름 농도 값을 기록하여 보관한다.

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

7.2 측정법

측정기의 사용설명서를 따른다.

8.0 결과보고

8.1 먼지농도의 계산

8.1.1 베타선을 방출하는 광원으로부터 조사된 베타선이 여과지 위에 채취된 먼지를 통과할 때 흡수 소멸하는 베타선의 차로서 측정되며 다음 식에 따른다.

$$I = I_o \cdot \exp(-\mu X) \quad (\text{식 1})$$

여기서, I = 여과지에 채취된 분진을 투과한 베타선 강도

I_o = blank 여과지에 투과된 베타선 강도

μ = 미세먼지에 의한 베타선 질량 흡수 소멸 계수 ($\text{cm}^2/\mu\text{g}$)

X = 단위면적당 채취된 분진의 질량 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)

여기서, I_o 는 먼지가 채취되지 않은 여과지를 통과한 베타선 강도이며 μ 는 상수로써 성분 및 입경분포 등이 일정할 경우 μ 를 상수라 할 수 있다.

8.1.2 먼지농도는 단위면적당 채취된 먼지의 질량에 의존하는 베타선의 흡수량으로 결정되어 진다.

$$C = \frac{S}{\mu \cdot Q \cdot \Delta t} \ln(I/I_o) \quad (\text{식 2})$$

여기서, C = 먼지 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

S = 먼지가 채취된 여과지의 면적(m^2)

Q = 흡입된 공기량 (m^3)

Δt = 채취시간 (min)

8.2 주의사항

측정기에 사용하고 있는 베타선 광원은 100 μCi 이하로 밀봉되어 있어 안전하나 취급 관리에 주의를 하여야 하며 분립장치의 청소, 상대 감도의 확인, 흡입유량 등을 수시로 점검한다. 일반적으로 시료채취 시간은 1 시간으로 하나 먼지의 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 저농도일 경우 시료채취 시간을 연장하여 측정할 수 있다.

9.0 참고자료

9.1 한국산업규격 (KS), KS M 9401, “공기의 질 관련용어”, 한국표준협회, (2005)

9.2 한국산업규격 (KS), KS A ISO 0079, “부유 분진 농도 측정 방법 통칙”, 한국표준협회, (2004)

9.3 Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Volume II : Ambient Air Quality Monitoring Program EPA-454/B-13-003, May, (2013).

9.4 American National Standard Institute (ANSI)/American Society for Testing and Materials (ASTM) D3154:00(2006), “Standard Test Method for Average Velocity in a Duct (Pitot Tube Method)”, Annual book of ASTM, (2006).

9.5 American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH): Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. Cincinnati, OH: ACGIH, (2006).

9.6 American National Standard Institute (ANSI)/American Society for Testing and Materials (ASTM) D 3685/D 3685M, “Standard Test Methods for Sampling and Determination of Particulate Matter in Stack Gases”, Annual book of ASTM, (2005).

9.7 American National Standard Institute (ANSI)/American Society for Testing and Materials (ASTM) D 4096, "Standard Test Method for Determination of Total Suspended Particulate Matter in the Atmosphere (High Volume Sampler Method)", Annual book of ASTM, (2003).

9.8 Deutsches Institut für Normung (DIN) EN 10473, "Ambient air – Measurement of the mass of particulate matter on a filter medium – Beta-ray absorption method (ISO 10473:2000)", (2002).

9.9 United States Environmental Protection Agency (USEPA) Method IO-2, "Integrated Sampling of Suspended Particulate Matter (SPM) in Ambient Air", USEPA, (1999).

9.10 United States Environmental Protection Agency (USEPA) Method IO-1, "Continuous Measurement of PM₁₀ Suspended Particulate Matter (SPM) in Ambient Air", USEPA, (1999).

9.11 United States Environmental Protection Agency (USEPA) Method IO-3, "Chemical Species Analysis of Filter-Collected Suspended Particulate Matter (SPM)", USEPA, (1999).

9.12 Deutsches Institut für Normung (DIN) EN 12341, "Air quality – Determination of the PM₁₀ fraction of suspended particulate matter – Reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalence of measurement methods", (1999).

9.13 Hinds, W.C.: Aerosol Technology Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles. New York: John Wiley & Sons, Inc, (1999).

9.14 Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Volume IV : Meteorological Measurements, (Revised Edition) EPA/600/R-94/038d,

March, (1995). Available from CERL, ORD Publications, U.S. Environmental Protection Agency, 26 West Martin Luther King Drive, Cincinnati, Ohio 45268.

9.15 Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Volume I, Principles. EPA/600/R-94/038a, April (1994). Available from CERL, ORD Publications, U.S. Environmental Protection Agency, 26 West Martin Luther King Drive, Cincinnati, Ohio 45268.

9.16 International Organization for Standardization (ISO): Air Quality Particle Size Fraction Definition for Health-Related Sampling (ISO CD 7708). Geneva: ISO, (1992).

9.17 Comité Européen de Normalisation (CEN): Workplace Atmosphere: Size Fraction Definitions for Measurement of Airborne Particles in the Workplace (CEN Standard EN 481). Brussels: CEN, (1992).

9.18 Copies of section 2.12 of the Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Volume II, Ambient Air Specific Methods, EPA/600/R-94/038b, are available from Department E (MD-77B), U.S. EPA, Research Triangle Park, NC 27711.

9.19 Military standard specification (mil. spec.) 8625F, Type II, Class 1 as listed in Department of Defense Index of Specifications and Standards(DODISS), available from DODSSP-Customer Service, Standardization Documents Order Desk, 700 Robbins Avenue, Building 4D, Philadelphia, PA 1911-5094.

10.0 “내용없음”