도로 재비산먼지 연속측정방법

2021

(Continuous measurement method of resuspended particulate matter on road using the mobile dust monitoring system)

1.0 개요

이 측정방법은 도로를 주행하는 차량의 타이어 (휠)와 도로면의 마찰에 의해서 재비산되는 먼지 (이하 도로 재비산먼지)를 먼지농도 측정기가 탑재된 측정차량 (이하 측정차량)을 이용하여 질량농도와 국가대기오염물질 배출량을 정량할 수 있는 미사 부하량(silt loading)을 측정하는 방법에 대해 규정한다. 먼지 농도표시는 상온상태의 단위부피 당 먼지의 질량으로 표시하며, 미사 부하량은 상온상태의 단위면적 당 먼지의 질량으로 표시한다. 측정단위는 각각 국제단위계인 $\mu g/m^3$와 g/m^2를 사용한다.

2.0 용어정의

2.1 도로 재비산먼지 (resuspended particulate matter on road)

도로를 주행하는 차량의 타이어 (휠)와 도로면의 마찰에 의해서 재비산되는 먼지를 말하며 도로 재비산먼지의 입경 분류는 입경에 따라 구분한다.

2.2 도로 재비산먼지 중 10 μm 이하인 먼지 (particulate matter less than 10 μm of resuspended particulate matter on road)

도로를 주행하는 차량의 타이어 (휠)와 도로면의 마찰에 의해서 재비산되는 먼지 중 공기역학적 등가입경 (이하 입경이라 함)이 10 μm 이하인 먼지를 말한다.

2.3 도로 미사 부하량 (sL, silt loading on road surface)

도로의 단위 면적당 표면에 쌓여 있는 먼지 중 기하학적 등가입경이 75 μm 이하 (200 mesh 이하)인 미사 (silt)의 질량을 의미한다.

2.4 질량농도

단위 용적 중에 함유된 물질의 질량으로 표현된 농도를 말한다.

2.5 이동식측정차량

도로 재비산먼지의 질량농도와 배출량 산정을 위하여 시료채취, 분석, 데이터 저장이 가능하도록 개조·개발된 측정 장비를 탑재한 차량을 말한다.

2.6 광산란법 (light scattering method)

대기 중에 부유하고 있는 먼지에 빛을 조사하면 먼지에 의하여 빛이 산란하게 된다. 물리적 성질이 동일한 먼지에 빛을 조사하면 산란광의 양은 질량농도에 비례하게 된다. 이러한 원리를 이용하여 산란광의 양을 측정하고 그 값으로부터 먼지의 농도를 구하는 방법이다.

2.7 입경분립장치

입경분립장치는 충돌판방식 (impactor)으로 입자상물질을 내부 노즐을 통해 가속시킨 후 충돌판에 충돌시켜, 관성이 큰 입자가 선택적으로 충돌판에 채취되는 원리를 이용하여 일정크기 이상의 입자를 분리하는 장치이다.

2.8 유효한계입경

유효한계입경 (dp50)은 공기역학적 직경별 분리 (혹은 채취)효율 (effectiveness) 분포곡선에서 50 %의 분리 (혹은 채취)효율을 나타내는 입자의 입경을 의미한다.

3.0 측정방법의 종류

3.1 도로 재비산먼지 중 질량농도를 측정하는 방법

이 측정방법은 측정차량의 도로주행에 따른 마찰력에 의해 도로 표면의 재비산되는 먼지와 배경농도를 광산란법 등에 의해 측정하여 도로재비산먼지 중 입경이 10 μm 이하인 먼지 (PM-10)의 질량농도를 측정한다.

3.2 도로 재비산먼지 중 미사 부하량을 측정하는 방법

이 측정방법은 3.1의 측정법을 이용하여 질량농도를 산정한 후 상관관계식을 적용하여 도로재비산먼지의 미사 부하량을 산정한다.

4.0 도로 재비산먼지 중 질량농도를 측정하는 방법

4.1 시료채취방법

4.1.1 이동측정차량의 구성

이동식측정차량은 시료 흡입부, 측정부, 저장장치 등으로 나누어지며 주요 장치구성은 그림 1과 같다.

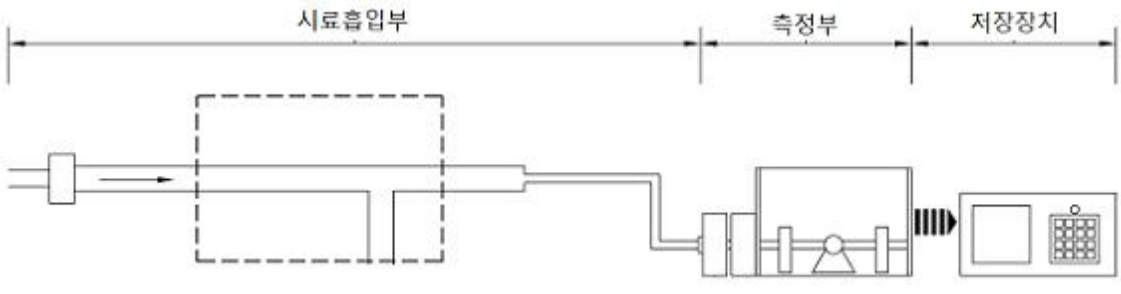

그림 1. 구성도

4.1.1.1 시료 흡입부

시료 흡입부는 등속으로 시료를 흡입한 후 안정적으로 시료를 측정부까지 이송한다.
(1) 흡입관은 먼지가 측정부에 도달하기 전에 손실되는 것을 막을 수 있도록 스테인레스강 또는 내식성과 특성 면에서 동등 이상의 금속 재질로 제작되어야 한다.
(2) 등속흡입장치는 차량의 이동속도를 고려하여 설치하거나, 흡입관경을 고려하여 고정용량 펌프를 통한 등속흡입이 가능하도록 설계하며 흡입효율은 0.90 ~ 1.10 이내로 한다.

$$\text{흡입효율}(\eta) = \frac{\text{실제 흡입용량}(m^3/\text{min})}{\text{설계 흡입용량}(m^3/\text{min})} \quad \text{(식 1)}$$

4.1.1.2 측정부

흡입장치 후 대상 입경의 먼지가 광학적 미로를 지나 암실 내를 통과한다. 암실 내의 빛 (beam)은 수광부와 직각으로 서로 바뀌면서 감응 용적을 구성하게 된다. 먼지가 감응 용적내를 통과할 때 개개의 먼지에 의하여 직각 방향의 산란광이 슬릿 (slit)을 통과하여 광전자의 증배관으로 입사되어 광전류로 전환된다. 광전류와 시간을 곱한 값이 일정한 수치에 달할 때 1 펄스 (pulse) 발생하는 광전류 적분회로를 이용하여 산란광에 비례한 펄스로 전환된다. 따라서 단위 시간 내에 펄스를 계수함으로써 먼지의 상대질량농도를 측정할 수 있다.
(1) 장치구성

광산란법의 측정장치는 입경분립장치, 유량계, 공기흡입부, 흡입펌프, 감지기. 타이머, 광원부 등으로 구성되어 있다. 흡입펌프를 통해서 흡입한 측정대상 입자를 장비 내부로 통과시킨다.

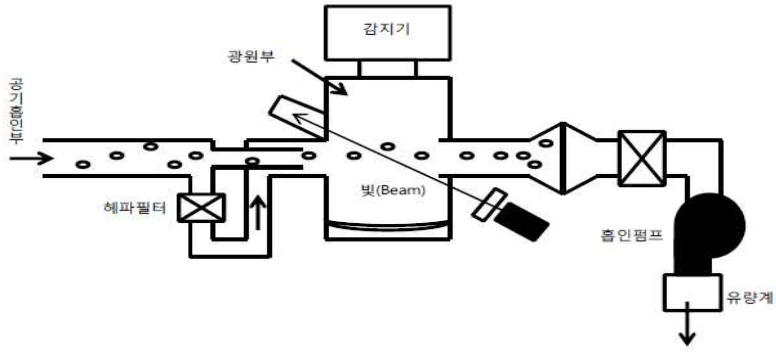

그림 2. 측정 장치 구성도

(2) 입경분립장치는 측정대상이 되는 먼지입경의 유효한계입경 (dp50)보다 큰 입자를 제거하는 장치로서 충돌판방식을 이용하여 입자를 분리하며, 측정 전 충돌판을 청소해 주고 충돌판 오일은 충돌판 전체 면적에 고르게 퍼지게 한다.
(3) 헤파필터는 먼지를 제거하여 장비 내부청소 및 측정 감도를 향상 시켜주는 장치이다.
(4) 광원부는 빛 (beam)을 조사하는 장치이다.
(5) 감지기는 산란광이 닿으면 광전류로 전환시켜주는 장치이다.
(6) 타이머는 현지 날짜와 시각을 년, 월, 일, 시간, 분으로 실시간 표시하여야 하고, 운전자가 확인할 수 있도록 최소 각 분마다 새로운 값으로 갱신되어야 한다. 그리고 현지시간, 날짜, 시각의 설정을 할 수 있는 장치이다.
(7) 유량계는 흡입펌프의 흡입 유량을 표시해주고 조절할 수 있는 장치이다.

4.1.1.3 저장장치

측정기, 온·습도계, 위성항법장치에서 측정된 값들을 기록·보존될 수 있도록 기록계 또는 동등한 기능을 갖고 있는 장치를 구비하여야 한다.

4.1.1.4 전력공급장치

측정기, 펌프, 저장장치 등 관련 장치들의 정상작동을 위한 장치를 구비하여야 한다.

4.1.1.5 위성항법장치 (GPS, global positioning system)

측정차량의 움직임에 따른 시료채취 위치 정보를 실시간 확인할 수 있는 자동항법장치를 설치하여야 한다.

4.1.2 장소 및 위치선정

4.1.2.1 차량이 통행하는 도로에서 시료를 채취하며 시료채취 위치는 측정차량의 앞쪽 타이어 후면 또는 차량 후면에 오염도를 대표할 수 있다고 생각되는 곳을 선정한다.

4.1.2.2 차량이 통행하는 도로에서 시료를 채취하며 배경농도는 측정차량의 전면 또는

지붕 위 등 주변 차량의 영향을 최소화 할 수 있는 지점으로 선정한다.

4.1.3 채취 시간 "내용 없음"

4.1.4 채취 유량

채취유량은 (1 ~ 5) L/min 으로 일정하게 흡입하여야 하며 유량오차는 ±5 % 이내이어야 한다.

4.2 먼지농도의 계산

도로 재비산먼지 중 10 μm 이하인 먼지 (PM-10)의 농도는 흡입유량 당 먼지의 질량에 의존하는 광산란법으로 결정되어 지고, 차량에 의해 앞쪽 타이어 후면 (또는 차량 후면)에서 재비산되는 먼지의 평균농도에서 평균 배경농도의 차로 구한다. 평균배경농도는 실제 측정하는 시간범위와 차량이동에 따른 공간 범위에서의 해당지역의 배경농도를 의미하며 먼지농도의 계산은 다음 식에 따른다.

$$C_{res} = (\sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{n}) - C_{bg} \qquad \text{(식 2)}$$

여기서, n : 앞쪽 타이어 후면 (또는 차량 후면)의 측정점수

Cres : 입경 10 μm 이하의 재비산 먼지의 평균농도 (μg/m^3)

Ci : 앞쪽 타이어 후면 (또는 차량 후면)에서 측정한 입경 10 μm 이하의 먼지농도 (μg/m^3)

Cbg : 입경 10 μm 이하의 평균 배경농도 (μg/m^3)

4.3 측정치의 기록

이상의 방법에 대해 매 채취시료마다 측정시간, 측정지역, 측정장비 고유번호, 배경농도, 도로 재비산먼지 중 10 μm 이하인 먼지 (PM-10) 농도, 기타 성적에 참고가 될 만한 기상요소 (일기, 온도, 습도, 풍향, 풍속 등) 및 시료채취자의 성명을 기록해 놓는다.

5.0 도로 재비산먼지 중 미사 부하량을 측정하는 방법

5.1 시료채취방법

5.1.1 이동측정차량의 구성

이동식측정차량의 구성은 4.1.1에 따른다.

5.1.2 장소 및 위치선정

장소 및 위치선정은 4.1.2에 따른다.

5.1.3 채취 시간 "내용 없음"

5.1.4 채취 유량

채취 유량은 4.1.4에 따른다.

5.2 먼지농도의 계산

먼지농도의 계산은 4.2에 따른다.

5.2.1 미사 부하량 (silt loading) 계산

미사 부하량은 이동식먼지측정차량에 의해 측정된 재비산먼지의 질량농도로부터 계산할 수 있다. 단, 이동식먼지측정차량에 의한 도로의 미사 부하량 계산은 부록 9.1의 측정대상 도로에서 선행하여 도출한 상관관계식을 적용한다.

5.2.2 미사 부하량은 이동식측정차량의 측정결과와 상관관계식을 이용하여 다음과 같은 관계식으로 계산한다.

$$sL_{mobile} = f(C_{x,res}, S_t, ...) \qquad \text{(식 3)}$$

여기서, sL_{mobile} : 이동식먼지측정차량으로 측정한 미사 부하량 (g/m^2)

S : 측정차량의 주행속도 (km/h)

5.3 측정치의 기록

측정치의 기록은 4.3에 따른다.

6.0 시약 및 표준용액 "내용 없음"

7.0 정도보증/정도관리 (QA/QC)

7.1 정확도 보정 (보정계수 산정)

도로 재비산먼지 중 PM-10 연속측정의 정확도는 상대적인 관점에서 연속측정기 내부에 설치된 여과지의 중량농도법 측정 간의 일치하는 정도로 정의되며, 식 4 에 따라 보정계수를 산정 후 식 5에 따라 적용한다. 단, 낮은 농도에서 정확도의 상관성이 낮아지므로 연속측정 농도가 50 μg/m^3 이상으로 측정된 자료를 활용한다.

$$CF = \frac{C_{ref-mass}}{C_{opt}} \quad \text{(식 4)}$$

여기서, CF : 보정계수

$C_{ref-mass}$: 질량농도법 측정농도 (μg/m^3)

C_{opt} : 광산란법 측정농도 (μg/m^3)

$$C_{cor} = CF \times C_{opt} \quad \text{(식 5)}$$

여기서, C_{cor} : 광산란법 보정농도 (μg/m^3)

CF : 보정계수

C_{opt} : 광산란법 측정농도 (μg/m^3)

7.1.1 보정실험

정확도 보정은 동일 측정현장에 대하여 1 일 6 시간 3 회 총 18 시간 연속측정 평균

농도와 중량농도법 평균농도를 측정한다.

7.1.2 보정주기

정확도 유지를 위한 보정실험은 1 년에 2 회 이상 하여야 하며, 연속측정기를 유지보수한 후에는 반드시 재 보정을 실시한다.

7.2 중량농도법 분석절차

7.2.1 여과지 안정화 및 칭량 조건

시료채취 전·후 온도 (20 ± 2) ℃, 상대습도 (35 ± 5) % 조건에서 여과지를 24 시간 이상 안정화시킨 후 분석용 저울로 충분히 저울이 안정된 상태에서 1 μg까지 정확히 측정하고 기록한다.

7.2.2 여과지 장착

안정화와 칭량을 한 여과지를 여과지홀더에 채취면이 위로 향하게 올려놓고 공기가 새지 않도록 고정시킨다.

7.2.2.1 시료 채취를 위한 여과지는 0.3 μm의 먼지에 대하여 99 % 이상의 초기 채취률을 갖는 나이트로 셀룰로스 (nitro cellulose) 재질의 여과지, 석영섬유 재질의 여과지, 테플론 재질의 여과지 등을 사용하며, 직경은 여과지 홀더 크기에 적합한 것을 선택한다.

7.2.3 여과지 회수

시료채취가 끝나고 난 후 여과지를 채취기로부터 보관함으로 옮긴다. 여기에서 사용하는 보관함은 여과지로 이동할 가능성이 있는 물질을 포함하지 않는 재질로 제작된 것이어야 한다.

7.2.4 여과지 안정화 및 칭량

여과지 운반 후 7.2.1 여과지 안정화 및 칭량에 따라서 여과지를 안정화시키고 무게를

측정한다. 여과지에 정전기가 발생할 경우 정전기를 제거하고 무게를 측정한다. 여과지 칭량은 3 회 이상 측정하여 평균값을 사용한다.

7.3 운전조건 범위

연속자동측정기는 환경대기온도 -30 ℃ 에서 +45 ℃ 범위, 환경대기 중 상대습도는 (0 ~ 70) % 조건에서 주행속도에 의한 영향을 최소화하기 위하여 시속 60 km 이내로 운전하여야 한다.

8.0 참고자료

8.1 “환경대기 중 미세먼지(PM-2.5) 측정방법-중량농도법” 대기오염공정시험기준 (2016)

8.2 “실내 공기 중 미세먼지(PM_{10}, $PM_{2.5}$) 측정방법 - 중량농도법” 실내공기질공정시험기준, (2018)

8.3 국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(III), 국립환경과학원, (2013)

8.4 비산먼지 배출량 산정방법 개선 및 도로재비산 먼지 실시간 측정방법 개발, 국립환경과학원, (2008)

8.5 Other Test Method - 34: Method to Quantify Road Dust Particulate Matter Emissions (PM10 and/or PM2.5) from Vehicular Travel on Paved and Unpaved Roads, U.S. EPA, (2014)

8.6 Compilation of air pollutant emission factors(AP-42), Vol. I, Section 13.2.1 Paved roads(final section: January 2011), U.S. EPA, (2011)

8.7 Compilation of air pollutant emission factors(AP-42), Vol. I, 5th ed., U.S. EPA, (1995)

8.8 Road Dust Emissions from Paved Roads Measured Using Different Mobile Systems, Air & Waste Management Association, (2010)

8.9 A generalised model for traffic, Atmospheric Environment, (2011)

8.10 A Study on the Characteristics of Silt Loading on Paved Roads in the Seoul Metropolitan Area Using a Mobile Monitoring System, Air & Waste Management Association, (2012)

9.0 부록

9.1 미사 부하량(silt loading) 계산을 위한 상관관계식

미사부하량 (silt loading)을 계산하기 위해 이동식측정차량의 도로 재비산먼지 농도측정결과를 이용하여 상관관계식을 도출한다. 실험도로는 측정대상 지역 도로를 대표할 수 있고 다양한 미사 부하량 분포를 가진 최소 500 m 이상의 도로를 대상으로 한다. 다른 차량에 의한 영향을 최소화할 수 있는 조건에서 실험을 수행한다. 단, 동일한 도로에서 주행차량에 의해 재비산되는 먼지농도는 차량속도 등의 영향을 받으므로 차량속도 등의 주요 영향인자를 반영하여 상관관계식을 보정한다. 상관관계식 도출시 이동식측정차량의 재비산 먼지농도는 광산란법 측정기 등에 의해 측정한 PM-10 농도를 의미하며, 차량 전면의 배경농도가 제외된 농도이다.

9.1.1 상관관계식 도출 방법

(1) 차량속도에 따른 도로 재비산먼지농도 측정
측정대상 도로에서 이동식측정차량을 일정한 속도별 (30 km/h, 40 km/h, 50 km/h, 60 km/h)로 주행하여 도로 재비산먼지농도를 측정하고 속도와 재비산먼지농도와의 상관관계식을 도출한다.

(2) 재래식 방법에 의한 미사 부하량 측정
일정하게 구획한 주행도로에 쌓여 있는 먼지를 수동식으로 전량채취하여 체분석(sieve analysis)하고 기하학적 직경이 75 μm이하인 미사 (silt)의 질량을 측정한다. 단위 표기는 도로면적당 미사 (silt) 질량인 도로의 미사 부하량, g/㎡이다. 재래식 방법

에 의한 측정은 (1)의 이동식측정차량이 주행한 도로를 대상으로 한다. 두 방법에 의한 측정시간은 도로먼지 분포가 비교적 균일하다고 판단되는 시간을 설정하여 진행한다. 기타사항은 미국 EPA AP-42의 Appendix C.1와 C.2을 참고한다.

(3) 상관관계식 도출

차량속도 등의 영향이 보정된 이동식측정차량의 재비산 먼지농도와 재래식 방법에 의한 미사부하량 측정결과를 비교하여 통계적인 분석방법으로 상관관계식을 도출한다. 단, 도출한 상관관계식은 재래식 방법에 의한 미사부하량 측정절차를 비용 효과적으로 이동식측정차량 방법으로 대체한 것이므로 상관관계식을 도출하기 위한 가정, 측정조건, 회귀분석 결과, 제한범위 등을 4.3에 준하여 함께 기록한다.

9.2 시험기준 요약표

표 1. 시험기준 요약표

도로 재비산먼지 연속측정방법
(Continuous measurement method of resuspended particulate matter on road using the mobile dust monitoring system)

분자식 및 특징:	해당 없음, 도로를 주행하는 차량의 타이어 (휠)와 도로면의 마찰에 의해서 재비산되는 먼지
정량범위:	해당 없음
간섭물질:	해당 없음
시료채취	
방법:	해당 없음
흡수액:	해당 없음
흡입속도:	해당 없음
표준채취량:	해당 없음
이동:	해당 없음
보관:	해당 없음
분석용 시료용액:	해당 없음
Blank:	해당 없음
측정	
방법:	광산란법
물질:	재비산먼지 (PM-10)
표준물질:	해당 없음
검정곡선:	해당 없음
채취유량:	(1 ~ 5) L/min (유량오차 ±5 % 이내)
정도관리	
주기:	1 년에 2 회 이상
방법검출한계:	해당 없음
정밀도:	해당 없음
정확도:	질량농도법을 통해 보정진행
검정곡선:	해당 없음
방법바탕시료:	해당 없음