

배출가스 중 응축성 미세먼지(CPM-2.5)

2023

(Condensable Particulate Matter (CPM-2.5) in Flue Gas)

1.0 개요

1.1 목적

1.1.1 이 시험기준은 연소시설, 폐기물소각시설, 기타 산업공정의 배출시설을 대상으로 굴뚝 배출가스의 응축성 미세먼지를 측정하는 데 필요한 제반 사항을 규정함을 목적으로 한다.

1.2 적용범위

1.2.1 이 시험기준은 굴뚝 내에서는 증기 상태였다가 굴뚝에서 배출될 때 주변 공기 영향으로 냉각과 희석을 거쳐 응축되어 형성된 응축성 미세먼지(CPM)를 측정할 때 적용한다. 먼지 농도는 표준상태(0 °C, 760 mmHg) 건조배출가스 1 Sm³에 함유된 중량으로 표시한다.

1.2.2 응축성 미세먼지(CPM-2.5)를 산정하는 데 사용하는 여과성 미세먼지(FPM-2.5) 농도는 ES 01317.1 배출가스 중 미세먼지(PM-10 및 PM-2.5) 측정법에 따른다.

1.3 적용제한

1.3.1 배출가스 온도가 260 °C를 초과하면 적합하지 않을 수 있다.[1]

1.3.2 시료채취장치(사이클론과 여과지 홀더)의 길이 450 mm와 장치에 따른 가스 흐

[1] 260 °C 이상일 때 사이클론의 재질이 변형해 미세먼지 회수율 저감 같은 문제가 발생할 수 있다.

름의 영향을 최소화하려면 굴뚝(덕트) 안지름이 610 mm 이상이어야 한다.[2]

1.3.3 시료채취장치(노즐과 사이클론)가 원활하게 오가도록 측정공의 지름은 160 mm 이상이어야 한다.

1.3.4 습식 방지시설을 사용하면 배출가스가 포화수증기 상태에서는 수분의 영향으로 측정오차가 클 수 있으므로, 굴뚝 배출가스 온도와 동일한 온도 조건에서 배출가스를 채취해야 하며 회석공기의 수분을 최소화하여 응축과 수분 접촉을 방지해야 한다.

2.0 용어정의

2.1 배출가스 중 여과성 미세먼지(FPM-2.5, filterable particulate matter-2.5)

배출가스의 입자상 물질 중 필터와 사이클론/필터 조합을 통과하지 못하는 먼지를 여과성 먼지라고 하며, 공기역학적 지름이 $2.5\ \mu\text{m}$ 이하인 미세먼지(FPM-2.5)를 말한다.

2.2 배출가스 중 응축성 미세먼지(CPM-2.5, condensable particulate matter-2.5)

굴뚝 내에서 증기 상태였다가 굴뚝에서 배출될 때 주변 공기 영향으로 냉각과 회석을 거쳐 응축되어 즉시 형성된 응축성 먼지 중 공기역학적 지름이 $2.5\ \mu\text{m}$ 이하인 미세먼지(CPM-2.5)를 말한다.

2.3 배출가스 중 미세먼지(particulate matter-2.5)

배출가스 중 여과성 미세먼지와 응축성 미세먼지를 포함한 미세먼지를 말한다. 1차 미세먼지(primary particulate matter-2.5)로 표현할 수 있다.

3.0 분석기기 및 기구

3.1 흡입노즐

[2] 지름이 457.2 mm ~ 609.6 mm(18 inch ~ 24 inch)인 덕트에서 노즐과 사이클론에 관여하는 방해요소의 영향은 3 % ~ 6 % 수준이다.

3.1.1 흡입노즐은 스테인리스강 또는 불소수지로 코팅된 스테인리스강 재질이어야 하며, 등속흡입 조건[응축성 미세먼지(CPM-2.5)의 등속흡입계수 80 % ~ 120 % 범위]과 다음 조건을 만족하는 것이어야 한다.[3]

3.1.2 흡입노즐의 안지름(d)은 0.01 mm 단위까지 수준으로 하며 3.18 mm ~ 5.08 mm 범위에서 흡입노즐을 선택한다.

3.1.3 흡입노즐 끝은 뾰족하고 점점 가늘어져야 하며, 꼭짓점은 30° 이하 예각이 되도록 하고 매끈한 반구 모양으로 한다.

3.1.4 흡입노즐 내외면은 매끄러워야 하며 흡입노즐에 급격한 단면 변화와 굴곡이 없어야 한다.

3.2 사이클론(PM-2.5)

ES 01317.1 배출가스 중 미세먼지(PM-10 및 PM-2.5) - 3.1.1.2 사이클론 결합장치를 따른다.

3.3 여과지 홀더

3.3.1 스테인리스강 재질로 만든 장치로서 내식성이 강하고 여과지를 탈착하기 쉬워야 한다.

3.3.2 여과지를 끼운 곳에 여과지가 파손되지 않으면서 공기가 새지 않도록 O-ring, 개스킷, 스크린이 포함되어야 한다.

3.3.3 일반적으로 지원되는 여과지의 지름 크기는 (25, 47, 63, 76, 90, 101, 110) mm이며, 주로 47 mm를 사용한다.

3.3.4 체류챔버 후단에 있는 여과지 홀더의 여과지 온도는 42 °C 이하로 유지해야 한다

[3] “The International Organization for Standardization (ISO) 25597 Method “Stationary source emissions - Test method for determining PM-2.5 and PM-10 mass in stack gases using cyclone samplers and dilution” ‘Annex C. Entry nozzle’ 참조.

다.[4]

3.4 흡입관

3.4.1 흡입관은 배출가스를 채취할 때 수분의 영향을 최소화하고 응축될 수 있는 온도 조건을 방지하여 채취한 배출가스를 온전히 이동할 수 있는 고온 이동 역할을 한다.

3.4.2 채취한 배출가스와 입자상 물질이 반응하거나 흡착되지 않고 내열성이 있는 재질을 사용한다. 수분 농축을 방지하도록 시료가스 온도를 $120\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 유지할 수 있는 가열기를 갖춘 보로실리케이트(borosilicate), 스테인리스강 재질 또는 석영 유리관을 사용한다.

3.4.3 흡입관의 온도를 최소 굴뚝 온도와 동일하게 유지할 수 있어야 하며 회석단계 전까지 응축을 방지하도록 길이가 충분해야 한다.

3.5 피토관

피토관(pitot tube)은 반드시 내열성이 있는 스테인리스강 재질이어야 하며, 피토관 계수가 정해진 L형 피토관(C: 1.0 전후) 또는 S형 피토관(C: 0.84 전후)으로서 배출가스 유속을 지속적으로 측정하려고 흡입관에 부착하여 사용한다. 단, 시료채취 항목에 따라 피토관 길이는 달라지므로 항목에 맞게 교체해야 한다.

3.6 회석장치

3.6.1 회석장치는 미세먼지(PM-2.5)와 응축성 미세먼지(CPM-2.5)를 포집하고 측정할 때 회석공기와 배출가스를 혼합하는 역할을 한다.

3.6.2 채취한 배출가스와 입자상 물질이 반응하거나 흡착되지 않는 내열성 재질을 사용해야 한다.

[4] ISO 25597 (2013) “Stationary source emissions – Test method for determining PM_{2.5} and PM₁₀ mass in stack gases using cyclone samplers and sample dilution” – ‘6.2.1 Dilution ratios 참조

3.6.3 회석장치 내의 가스상 물질이 원활하게 혼합되도록 설계해야 하며 흐름을 방해해서는 안 된다.

3.6.4 공기를 회석하는 과정에서 먼지의 입경분포가 변화하지 않도록 회석비를 최소 20배 이상으로 유지해야 한다.[5]

3.6.5 회석장치 내의 수분은 먼지 질량과 입경분포에 영향을 줄 수 있으므로 회석된 시료의 상대습도는 70 %를 초과하지 않아야 한다.[6]

3.7 회석공기 제공장치

3.7.1 회석공기는 외부공기를 사용한다. 회석공기 제공장치는 가스제어장치, 수분제어장치, 먼지제어장치로 구성되며, 배출가스를 회석하는 데 사용하는 회석공기를 외부오염물질과 수분의 영향을 최소화하여 회석장치에 제공하는 역할을 한다.

3.7.2 가스제어장치는 가스 상태인 휘발성 유기 화합물 등을 제거하는 데 흡착활성탄과 같은 물질을 사용한다.

3.7.3 수분제어장치는 수분을 제거하는 데 실리카겔과 같은 물질을 사용한다.

3.7.4 먼지제어장치는 오염물질 중 입자상 물질을 99.97 % 제거하는 HEPA 필터를 사용한다.

[5] ISO 25597 (2013) “Stationary source emissions – Test method for determining PM_{2,5} and PM₁₀ mass in stack gases using cyclone samplers and sample dilution” – ‘6.2.1 Dilution ratios’; 국립환경과학원 (2020) “대기배출시설의 미세먼지 형태별 생성기작 연구(I)” – ‘3.3.1. 가 공기 회석비(dilution ratio)의 영향’ 참조.

[6] ISO 25597 (2013) “Stationary source emissions – Test method for determining PM_{2,5} and PM₁₀ mass in stack gases using cyclone samplers and sample dilution” – ‘6.2.1 Dilution ratios 참조

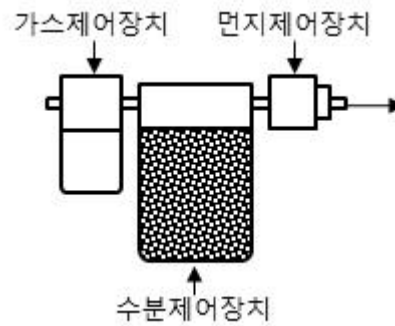


그림 1. 회석공기 제공장치

3.7.5 회석장치는 회석비율을 조정하고 확인할 수 있어야 하며 신뢰성을 유지하도록 주기적으로 교정을 실시해야 한다.

3.8 체류챔버

3.8.1 그림 2와 같이 체류챔버는 회석된 배출가스가 입자상 물질로 성장할 수 있는 최소 10초 이상 시간을 제공하는 역할을 한다.[7]

3.8.2 체류챔버의 재질은 배출가스와 입자상 물질이 반응하거나 흡착되지 않는 것이어야 한다.

3.9 채취장치에 사용되는 기구 및 기기

3.9.1 ES 01301.1 배출가스 중 먼지 - 반자동식 측정법의 3.9 채취장치에 사용되는 기구 및 기기를 따른다.

3.9.2 건조용기, 시료채취 여과지 보관용기, 일회용 장갑 등은 ES 01301.1 배출가스 중 먼지 - 반자동식 측정법의 3.0 분석기기 및 기구를 따른다.

[7] ISO 25597 (2013) “Stationary source emissions – Test method for determining PM_{2.5} and PM₁₀ mass in stack gases using cyclone samplers and sample dilution” – ‘6.2.4.1 aerosol aging zone - residence time’; 국립환경과학원 (2020) “대기배출시설의 미세먼지 형태별 생성기작 연구(I)” – ‘3.3.1. 나 노화 시간(aging time)의 영향’ 참조.

3.10 분석용 저울

0.001 mg까지 정확하게 측정할 수 있는 저울을 사용해야 하며 측정표준 소급성이 유지된 표준기에 따라 교정되어야 한다.

4.0 시약 및 표준용액

4.1 원형 여과지

4.1.1 여과지는 석영, 불소수지, 유리섬유 재질로 채취 효율이 99.95 % 이상이어야 한다.[8] 압력손실, 반응성이 낮고 흡습성이 적은 것이 좋다.

4.1.2 취급하기 쉽고 강도가 충분하며 분석을 방해하는 물질을 함유하지 않아야 한다. 여과지 홀더 크기에 적합한 지름인 것을 선택한다.

4.1.3 시료채취 목적에 따라 다양한 여과지 특성을 고려하여 선택할 수 있다. 중량 농도와 중금속을 분석할 때 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE, polytetrafluoroethylene; 테플론) 재질 여과지를 권하며, OC/EC 분석에는 석영여과지를 권한다.

4.2 실리카겔(6 mesh ~ 16 mesh)

(6 ~ 16) 메시(mesh) 크기인 변색지시형 실리카겔을 사용하며 재사용할 때는 175 °C에서 2시간 건조한 후 사용한다.

4.3 아세톤

잔재물이 0.001 % 이하인 시약용 아세톤을 사용한다.

4.4 흡착활성탄

[8] 기준물질 0.3 µm 다이옥틸프탈레이트로 실험하여 0.05 % 이상 침투되지 않아야 한다.

입자형 흡착활성탄 또는 흡착 섬유 필터를 사용한다.

5.0 시료채취 및 관리

5.1 측정위치, 측정공 및 측정작업대, 측정점 선정

5.1.1 측정 위치

ES 01301.1 배출가스 중 먼지 - 반자동식 측정법의 5.1을 따른다.

5.1.2 측정공 및 측정 작업대

ES 01301.1 배출가스 중 먼지 - 반자동식 측정법의 5.3을 따른다.

5.1.3 측정점

ES 01301.1 배출가스 중 먼지 - 반자동식 측정법의 5.4를 따른다.

5.2 배출가스 온도 측정 및 수분량 측정

5.2.1 배출가스 온도 측정

ES 01301.1 배출가스 중 먼지 - 반자동식 측정법의 7.2.1을 따른다.

5.2.2 수분량 측정

ES 01301.1 배출가스 중 먼지 - 반자동식 측정법의 7.2.2를 따른다.

5.3 시료채취장치

5.3.1 미세먼지 (PM-2.5) 채취장치

이 장치는 여과성 미세먼지(FPM-2.5)와 응축성 미세먼지(CPM-2.5)를 포함하는 미세먼

지(PM-2.5)를 측정할 때 사용한다. 이 방법에서 사용하는 시료채취장치는 흡입노즐, 사이클론(PM-2.5), 여과지 홀더, 흡입관, 온도계, 피토판, 희석공기 제공장치, 희석장치, 잔여가스 배출구, 체류챔버, 유량계, 펌프 등으로 구성되며 그림 2와 같다.

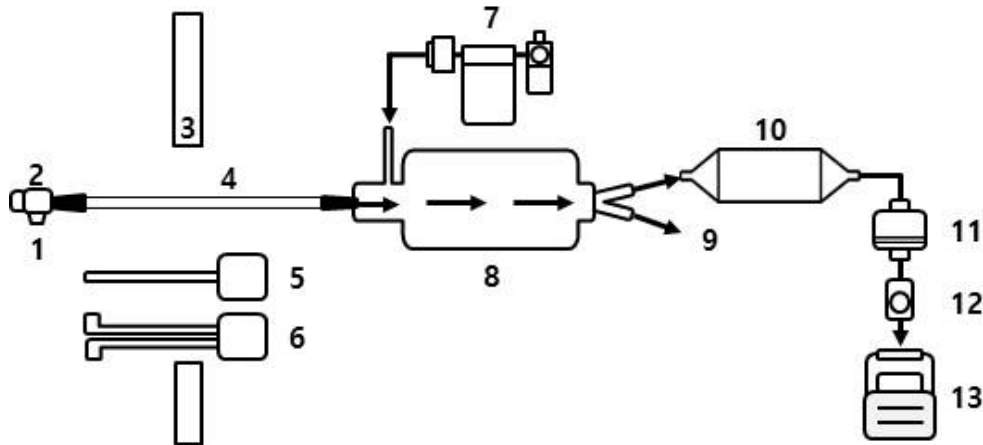


그림 2. 배출가스 중 미세먼지(PM-2.5) 시료채취장치

- | | | |
|-----------------|--------------|-----------------------|
| 1. 흡입노즐 | 6. 피토판 | 11. 여과지 홀더(PM-2.5 시료) |
| 2. 사이클론(PM-2.5) | 7. 희석공기 제공장치 | 12. 유량계 |
| 3. 굴뚝 외부 | 8. 희석장치 | 13. 펌프 |
| 4. 흡입관 | 9. 잔여가스 배출구 | |
| 5. 온도계 | 10. 체류챔버 | |

5.3.1.1 배출가스 중 여과성 미세먼지(FPM-2.5)를 측정하는 장치는 ES 01317.1 배출가스 중 미세먼지(PM-10 및 PM-2.5)의 3.1.1 채취장치의 구성의 그림 1을 따른다.[9]

5.3.2 응축성 미세먼지(CPM-2.5) 채취장치

이 장치는 여과지 홀더를 사용하여 응축성 미세먼지를 측정할 때 사용한다. 이 방법에서 사용하는 시료채취장치는 흡입노즐, 사이클론(PM-2.5), 여과지 홀더(FPM-2.5 시료), 흡입관, 온도계, 피토판, 희석공기 제공장치, 희석장치, 잔여가스 배출구, 체류챔버, 여과지 홀더(CPM-2.5 시료), 유량계, 펌프 등으로 구성되며 그림 3과 같다.

[9] 시료채취 전단에 여과지와 여과지 홀더를 장착할 때 미세먼지 농도가 높은 경우 압력손실이 발생하여 응축성 미세먼지가 과소평가될 수 있다.

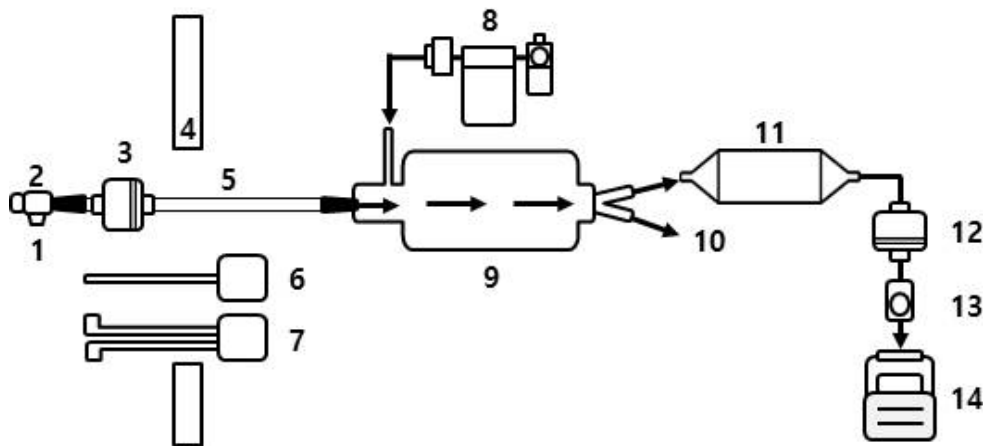


그림 3. 배출가스 중 응축성 미세먼지(CPM-2.5) 시료채취장치

- | | | |
|-----------------------|--------------|------------------------|
| 1. 흡입노즐 | 6. 온도계 | 11. 체류챔버 |
| 2. 사이클론(PM-2.5) | 7. 피토판 | 12. 여과지 홀더(CPM-2.5 시료) |
| 3. 여과지 홀더(FPM-2.5 시료) | 8. 희석공기 제공장치 | 13. 유량계 |
| 4. 굴뚝 외부 | 9. 희석장치 | 14. 펌프 |
| 5. 흡입관 | 10. 잔여가스 배출구 | |

5.4 측정 준비

5.4.1 측정용 여과지 전처리 시 테플론 여과지는 데시케이터에서 일반 대기압하에서 적어도 24시간 이상 건조하며 6시간 간격으로 질량 차이가 0.001 mg일 때까지 측정한다. 이때 데시케이터 조건은 온도 (20 ± 5.6) °C, 상대습도 (35 ± 5) %이다.

5.4.2 석영여과지는 (110 ± 5) °C 건조기에서 2시간 ~ 3시간 건조한 후, 2시간 이상 데시케이터에서 실온까지 냉각한 후 여과지의 무게를 정밀히 측정하여 사용할 수 있다.

5.4.3 여과지 무게는 1분 간격으로 0.001 mg까지 3회 측정해 그 평균값을 여과지의 무게로 한다. 각 여과지의 무게를 칭량하는 동안 정확성을 향상하도록 여과지가 상대습도 50 % 이상인 질량 측정 실험실 환경에 2분 이상 노출되지 않도록 하고, 전처리가 완료된 여과지는 채취면의 방향을 확인한 후 미세먼지(PM-2.5) 또는 응축성 미세먼지(CPM-2.5)를 측정할 여과지 홀더에 끼운다.

5.4.4 시료를 채취하기 전에 구성장비에서 누출 여부(leak check)를 확인한다.

5.5 시료채취 방법 선정

5.5.1 직접 채취법

측정점마다 미세먼지 채취기 1개를 사용하여 시료를 채취한다.

5.5.2 이동 채취법

미세먼지 채취기 1개를 사용하여 측정점을 이동하면서 각각 같은 흡입시간으로 미세먼지 시료를 채취한다.

5.5.3 대표점 채취법

5.1의 규정에 따라 정해진 대표점에서 미세먼지 채취기 1개 또는 수 개를 사용하여 미세먼지 시료를 채취한다.

5.6 시료채취 절차

5.6.1 5.1에 따라 측정점 수를 선정한다.

5.6.2 5.2에 따라 배출가스 온도를 측정한다.

5.6.3 S자형 피토관과 경사마노미터로 배출가스의 정압과 동압을 각각 측정한다.

5.6.4 피토관을 측정공에서 굴뚝 내 측정점까지 삽입하여 전압공을 배출가스 흐름 방향에 바로 직면하게 해 압력계로 동압을 측정한다.

5.6.5 동압은 원칙적으로 0.1 mmH₂O 단위까지 읽는다.

5.6.6 이때 피토관의 배출가스 흐름 방향의 편차는 10° 이하여야 한다.

5.6.7 5.2에 따라 배출가스의 수분량을 측정한다.

5.6.8 채취한 가스에서 응축하며 수분이 발생하지 않도록 사전에 시료채취관을 예열(preheat)해야 한다(배출가스온도 $\pm 10^\circ\text{C}$).

5.6.9 흡입노즐이 배출가스가 흐르는 방향으로 향하도록 흡입노즐을 측정점까지 끼워놓고 흡입을 시작할 때 배출가스가 흐르는 방향에 직면하도록 해야 한다. 이때 편차를 10° 이하로 한다.

5.6.10 매 채취점마다 동압을 측정하여 계산자(노모그래프)나 계산기, 흡입펌프의 흡입능력을 감안해 등속흡입을 위한 적절한 흡입노즐을 선정하고, 최초 흡입노즐 선정이 완료되면 흡입노즐은 측정기간 동안 변경하지 않는다.

5.6.11 미세먼지(CPM-2.5) 시료흡입량은 시료채취 후 시료의 무게가 0.001 mg 이상으로 유효한 차이를 보일 때까지로 한다.

5.6.12 시료채취 중 시료가스 흡입유량과 희석장치의 희석배수는 측정기간에 변경하지 않는다.

5.6.13 채취가 끝날 때마다 측정점에서의 희석배수와 희석된 시료가스 채취량을 기록해 둔다.

5.6.14 등속흡입 정도를 보기 위한 등속흡입계수는 ES 01301.1 배출가스 중 먼지 - 반자동식 측정법 5.6 시료채취절차를 따르고 그 값이 80 % ~ 120 % 범위에 포함되어야 한다.[10]

5.6.14.1 배출가스 중 여과성 미세먼지(FPM-2.5) 측정은 ES 01317.1 배출가스 중 미세먼지(PM-10 및 PM-2.5)를 따른다.

5.7 시료회수

5.7.1 시료채취가 모두 끝나면 시료채취장치가 굴뚝 벽면이나 기타 외벽에 긁히거나 부딪히지

[10] “The International Organization for Standardization (ISO) 25597 Method “Stationary source emissions - Test method for determining PM-2.5 and PM-10 mass in stack gases using cyclone samplers and dilution” ‘Annex E. Method calculations’ 참조.

않도록 주의하여 측정공에서 분리한다. 장치를 실온냉각한 후 사이클론 결합장치에 붙은 먼지를 닦아내고 마개를 닫는다.

5.7.2 시료채취장치를 바람이 불지 않는 깨끗한 장소로 옮겨 여과지 홀더와 사이클론 결합장치를 분리한다.

5.7.3 다음과 같이 각 시료보관용기에 시료를 넣는다. 보관용기 1, 2, 3, 4는 배출가스 중 미세먼지(PM-2.5)를 측정하는 데 사용한다. 보관용기 5, 6은 배출가스 중 응축성 미세먼지(CPM-2.5)를 측정하는 데 사용한다.

5.7.3.1 보관용기 1: 미세먼지(PM-2.5) 측정용 여과지 홀더에서 조심스럽게 여과지를 분리하여 페트리접시 용기에 넣는다.

5.7.3.2 보관용기 2: 미세먼지(PM-2.5) 측정용 여과지 홀더의 내부에 붙은 입자상 물질을 아세톤으로 세척하여 그 세척액을 용기에 넣는다(현장바탕시험에 사용할 아세톤 일부를 남겨둔다).[11]

5.7.3.3 보관용기 3: ES 01317.1 배출가스 중 미세먼지(PM-10 및 PM-2.5)에 따라 동시측정된 여과성 미세먼지(FPM-2.5) 측정용 여과지 홀더에 조심스럽게 여과지를 분리하여 페트리접시 용기에 넣는다.

5.7.3.4 보관용기 4: ES 01317.1 배출가스 중 미세먼지(PM-10 및 PM-2.5)에 따라 동시측정된 여과성 미세먼지(FPM-2.5) 측정용 여과지 홀더의 내부에 붙은 입자상 물질을 아세톤으로 세척하여 그 세척액을 용기에 넣는다(현장바탕시험에 사용할 아세톤 일부를 남겨둔다).

5.7.3.5 보관용기 5: 응축성 미세먼지(CPM-2.5) 측정용 여과지 홀더에서 조심스럽게 여과지를 분리하여 페트리접시 용기에 넣는다.

5.7.3.6 보관용기 6: 응축성 미세먼지(CPM-2.5) 측정용 여과지 홀더의 내부에 붙은 입

[11] 시료보관용기를 운반할 때 반드시 가장 위쪽에 위치하도록 한다. 또 용기 내 아세톤 양을 확인하고 운송 도중 누수 여부를 확인한다. 만약, 누출량이 뚜렷하게 나타나면 시료채취의 결과물은 무효 처리한다.

자상 물질을 아세톤으로 세척하여 그 세척액을 용기에 넣는다(현장바탕시험에 사용할 아세톤 일부를 남겨둔다).

6.0 정도보증/정도관리(QA/QC)

6.1 여과지 취급

시료채취 전과 후의 무게 측정 시 질량을 측정하는 데 적합하도록 수분과 온도를 유지한 실험실에서 여과지를 취급하여 오차 발생을 최소화한다.

6.2 회석장치 회석비 검증

회석장치의 회석비는 표준입자 발생기를 이용하여 중량농도값을 바탕으로 검증을 실시한다.

6.2.1 표준입자 발생기는 안정적인 농도와 일정한 크기 분포를 갖는 표준입자를 생성하는 장비를 이용한다.

6.2.2 표준입자 발생기에서 생성된 입자가 회석장치로 유입되도록 연결한다.

6.2.3 회석장치의 배출구에서 배출되는 회석된 입자의 중량농도와 입경분포를 측정한다.

6.3 회석공기 제공장치의 성능검증

회석공기 제공장치의 가스제어장치, 수분제어장치, 먼지제어장치를 각각 검증한다.

6.3.1 회석공기 제공장치의 가스제어장치는 회석공기가 회석공기 제공장치를 통과하기 전과 통과한 후의 가스성분을 측정하고, 회석공기의 가스성분 조성이 측정에 적합한지를 검증한다.

6.3.2 회석공기 제공장치의 수분제어장치는 제습제를 활용하여 회석공기가 회석공기 제공장치를 통과하기 전과 통과한 후의 공기수분을 측정하고, 회석공기의 수분이 측정에 적합한지(5 % 이내)를 검증한다.

6.3.3 희석공기 제공장치의 먼지제어장치는 중량농도측정법을 활용하여 희석공기가 희석공기 제공장치를 통과하기 전과 통과한 후의 중량농도를 측정하고, 희석공기의 입자상 물질 제거율이 측정에 적합한지(99.97 %)를 검증한다.

7.0 분석절차

7.1 미세먼지(PM-2.5)와 여과성 미세먼지(FPM-2.5)를 별도로 측정할 경우

7.1.1 미세먼지(PM-2.5) 시료채취 시 테플론 재질 여과지를 사용할 경우

7.1.1.1 보관용기 1의 시료를 5.3.1과 동일한 방법으로 데시케이터 내에서 건조한 후 무게를 0.001 mg까지 정밀하게 측정한다.

7.1.1.2 보관용기 2의 세척액을 비커에 옮기고 방치하여 아세톤이 증발한 다음, 데시케이터 내에서 24시간 건조해 무게를 0.001 mg까지 측정한다. 현장바탕시험 세척액은 시료 회수에 사용된 양과 같은 양으로 아세톤을 사용하여 위와 같은 방법으로 행한다.

7.1.1.3 채취된 미세먼지(PM-2.5)의 무게는 다음과 같이 구한다.

$$m_d = m_3 + m_4 \quad (\text{식 1})$$

여기서, m_d = 채취된 미세먼지(PM-2.5) 무게(mg)

m_3 = 보관용기 1의 미세먼지(PM-2.5) 시료 무게(채취 전후의 여과지 무게차)(mg)

m_4 = 보관용기 2의 미세먼지(PM-2.5) 시료 무게(mg)

7.1.2 미세먼지(PM-2.5) 시료채취 시 석영 재질 여과지를 사용할 경우

7.1.2.1 보관용기 1의 시료를 $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ [배출가스 온도가 $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ 이상이면 배출가스온도와 동일하게 건조]에서 2시간 ~ 3시간 건조한 후 2시간 이상 방치하고 5.3.1에 따라 무게를 측정한다.

7.1.2.2 이후 7.1.1.2 ~ 7.1.1.3과 동일하게 분석한다.

7.1.3 여과성 미세먼지(FPM-2.5) 시료채취 시 테플론 재질 여과지를 사용할 경우

ES 01317.1 배출가스 중 미세먼지(PM-10 및 PM-2.5)의 7.1을 따른다.

7.1.4 여과성 미세먼지(FPM-2.5) 시료채취 시 석영 재질 여과지를 사용할 경우

ES 01317.1 배출가스 중 미세먼지(PM-10 및 PM-2.5)의 7.2를 따른다.

7.2 응축성 미세먼지(CPM-2.5)를 측정하는 경우

7.2.1 응축성 미세먼지(CPM-2.5) 시료채취 시 테플론 재질 여과지를 사용할 경우

7.2.1.1 보관용기 5의 시료를 5.3.1과 동일한 방법으로 데시케이터 내에서 건조한 후 무게를 0.001 mg까지 정밀하게 측정한다.

7.2.1.2 보관용기 6의 세척액을 비커에 옮기고 방치하여 아세톤이 증발한 다음, 데시케이터 내에서 24시간 건조해 무게를 0.001 mg까지 측정한다. 현장바탕시험 세척액은 시료 회수에 사용된 양과 같은 양으로 아세톤을 사용하여 위와 같은 방법으로 행한다.

7.2.1.3 채취된 응축성 미세먼지(CPM-2.5) 무게는 다음과 같이 구한다.

$$m_d = m_3 + m_4 \quad (\text{식 2})$$

여기서, m_d = 채취된 응축성 미세먼지(CPM-2.5) 무게(mg)

m_3 = 보관용기 5의 응축성 미세먼지(CPM-2.5) 시료 무게(채취 전후의 여과지 무게차)(mg)

m_4 = 보관용기 6의 응축성 미세먼지(CPM-2.5) 시료 무게(mg)

7.2.2 응축성 미세먼지(CPM-2.5) 시료채취 시 석영 재질 여과지를 사용할 경우

7.2.2.1 보관용기 5의 시료를 $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ [배출가스 온도가 $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ 이상이면 배출가스 온도와 동일하게 건조]에서 2시간 ~ 3시간 건조한 후 2 시간 이상 방치하고 5.3.1

에 따라 무게를 측정한다.

7.2.2.2 이후 7.1.1.2 ~ 7.1.1.3과 동일하게 분석한다.

7.2.2.3 이 시험기준에 따라 측정한 여과성 미세먼지(FPM-2.5) 농도는 응축성 미세먼지(CPM-2.5)를 산정하는 방안으로 사용되며, 기존의 여과성 미세먼지(PM-2.5) 측정법[ES 01317.1 배출가스 중 미세먼지(PM-10 및 PM-2.5)]의 대체로 사용할 수 없다.

8.0 결과보고

8.1 배출가스 중 미세먼지(PM-2.5)를 측정하는 경우

8.1.1 배출가스 중 미세먼지(PM-2.5)의 먼지농도

배출가스 중의 미세먼지(PM-2.5) 농도는 표준상태(0 °C, 760 mmHg)로 환산한 건조 배출가스 1 m³에 포함된 먼지의 무게로 표시하며, 다음 식에 따라 소수점 셋째 자리까지 계산하고 소수점 둘째 자리로 표기한다.

$$C = (1 + D_R) \frac{m_d}{V_{mm} \times \frac{273}{273 + \theta_m} \times \frac{P_a + \Delta H / 13.6}{760}} \quad (\text{식 3})$$

여기서, C = 배출가스 중 미세먼지(PM-2.5) 농도(mg/Sm³)

D_R = 회석비

m_d = 채취된 먼지량(mg)

V_{mm} = 시료가스 채취량(m³)

θ_m = 시료가스 온도(°C)

P_a = 측정공 위치의 대기압(mmHg)

ΔH = 오리피스 압력차(mmH₂O)

8.1.2 배출가스 중 응축성 미세먼지(CPM-2.5)의 먼지농도

$$C_C = C - C_F \quad (\text{식 } 4)$$

여기서, C_C = 배출가스 중 응축성 미세먼지농도(CPM-2.5)(mg/Sm³)

C = 배출가스 중 미세먼지(PM-2.5) 농도(mg/Sm³)

C_F = 배출가스 중 미세먼지농도(FPM-2.5)(mg/Sm³)

[* 별도로 측정된 배출가스 중 미세먼지농도(FPM-2.5)는 ES 01317.1 배출가스 중 미세먼지(PM-10 및 PM-2.5)의 8.1을 따라 계산한다.]

8.1.3 측정값의 기록

이상의 방법에 따라 측정하거나 계산하여 얻은 결과는 다음과 같이 정리하여 기록해 두어야 한다.

8.1.3.1 측정일시

8.1.3.2 측정대상의 조건

- 발생원의 종류
- 발생원의 사용 상황
- 측정위치
- 굴뚝의 형상 위치와 대략 치수
- 측정점의 수와 위치

8.1.3.3 배출가스의 조건

- 배출가스의 절대온도(T_S)
- 배출가스 수분량(B_{ws})
- 배출가스 정압(P_s)
- 배출가스 유속(V_s)
- 습한 배출가스의 유량(V_m)
- 시료가스의 유량(V'_m)
- 시료가스의 온도(Θ_m)

8.1.3.4 시료의 채취조건

- 채취기의 종류, 재질, 치수
- 농도 측정방법(채취방법, 흡입노즐, 먼지채취부의 배치, 먼지의 건조 조건)
- 등속흡입 유량(Q_m)
- 흡입시간(t_{tr})
- 시료가스 채취량(V_{mm})
- 미세먼지 채취량(m_d)
- 회석비(D_R)

8.1.4 미세먼지(PM-2.5) 먼지 농도(C)

8.1.5 여과성 미세먼지(FPM-2.5) 먼지 농도(C)

8.1.6 응축성 미세먼지(CPM-2.5) 먼지 농도(C)

8.1.7 측정자 성명

8.2 배출가스 중 응축성 미세먼지(CPM-2.5)를 측정하는 경우

8.2.1 농도 계산

배출가스 중 응축성 미세먼지(CPM-2.5) 농도는 표준상태(0 °C, 760 mmHg)로 환산한 건조 배출가스 1 m³에 포함된 먼지의 무게로 표시하며 다음 식에 따라 소수점 셋째 자리까지 계산하고 소수점 둘째 자리로 표기한다.

$$C_c = (1 + D_R) \frac{m_d}{V_{mm} \times \frac{273}{273 + \theta_m} \times \frac{P_a + \Delta H/13.6}{760}} \quad (\text{식 5})$$

여기서, C_c = 배출가스 중 응축성 미세먼지(CPM-2.5) 농도(mg/Sm³)

D_R = 회석비

m_d = 채취된 먼지량(mg)

V_{mm} = 시료가스 채취량(m^3)

Θ_m = 시료가스 온도($^{\circ}C$)

P_a = 측정공 위치의 대기압(mmHg)

ΔH = 오리피스 압력차(mmH₂O)

8.2.2 측정값의 기록

8.1.3의 측정값의 기록에 따른다.

9.0 “내용 없음”

10.0 “내용 없음”