

환경대기 중 먼지 측정방법 -

2016

저용량 공기시료채취기법
(Particulate Matter Test Method in Ambient Air -
Low Volume Air Sampler)

1.0 개요

1.1 목적

이 시험방법은 환경 대기 중의 먼지농도를 측정하기 위한 시험방법이다.

1.2 적용범위

먼지는 대기 중에 함유되어 있는 액체 또는 고체인 입자상 물질로서 부착 수분을 제거한 것이며 먼지의 질량농도를 측정하는데 사용된다.

1.3 간섭물질

1.3.1 습도

1.3.1.1 채취시료의 대기 습도에 의한 영향은 피할 수 없으나, 여과지 평형화 과정은 여과지 매질의 습도 효과를 최소화 할 수 있으며 적은 습도 조건은 먼지간의 정전력을 증가시킬 수 있다.

1.3.1.2 습도에 의한 오차를 줄이기 위해 먼지의 질량을 측정하기 전 여과지 홀더 또는 여과지를 건조기에서 일반 대기압 하에서 (20 ± 5.6) °C로 적어도 24 시간 이상 건조시키며 6 시간의 간격을 두고 먼지 질량의 차이가 0.1 mg일 때 까지 측정한다. 또 다른 방법으로, 여과지 홀더 또는 여과지를 105 °C에 2 시간 이상 충분히 건조시키는 방법이 있다. 질량측정의 정확성을 향상시키기 위하여 여과지는 습도가 50 % 이상인

질량 측정 실험실에서 2 분 이상 노출되어서는 안 된다[참고자료 USEPA 40CFR50 부록 B와J, USEPA IO-3.1].

1.3.2 부산물에 의한 측정오차

1.3.2.1 시료채취 여과지 위에서 기체상 물질들의 반응 등에 의해 먼지의 질량농도 측정량이 증가 또는 감소되는 오차가 일어 날 수 있다.

1.3.2.2 시료채취과정에서 이산화황과 질산이 여과지위에 머무르면 황산염과 질산염으로 산화되는 화학반응을 통하여 생성되므로 질량농도 증가와 시료 중에 생성된 염류가 성장과 이동과정에서 기압과 대기온도에 따라 해리과정을 거쳐 다시 기체상으로 변환되므로 질량농도가 감소되는 경우가 초래될 수 있다.

1.3.3 질량농도

먼지의 질량농도는 먼지의 질량, 측정시간, 그리고 유량에 의해서 결정된다. 등속흡입과 누출공기 확인을 통해 정확한 유속과 유량 측정이 필요하며 보정된 정교한 저울을 사용하여 최대한의 오차를 줄여 실제 값에 가까운 질량농도를 측정하여야 한다.

2.0 용어정의

2.1 먼지 (PM, particulate matter)

측정대상이 되는 환경 대기 중에 부유하는 고체 및 액체의 입자상 물질로서, 입자의 크기는 공기역학직경 (aerodynamic diameter)으로 표시한다[참고자료 USEPA Method IO-1].

2.1.1 공기역학직경 (aerodynamic diameter)

입자의 침강속도에 따른 것으로 일반적으로 구형을 가진 입자의 기하학적 입자 지름으로 비중 1인 구의 지름으로 입경이 변경하여 환산 정리되고 측정 대상물 입자는 상대적으로 밀도와 입자모양에 대하여 구상 입자의 침강 속도와 같은 역학적 운동을 하는 입자의 직경을 의미한다.

2.1.2 총부유먼지 (TSP, total suspended particulate matter)

측정대상이 되는 환경 대기 중에 부유하고 있는 총 먼지를 말한다. 국제적으로 정확한 총부유먼지의 크기에 대한 명확한 규명은 없으나 일반적으로 총부유먼지는 0.01 ~ 100 μm 이하인 먼지를 말한다[참고자료 USEPA Methods IO-1].

2.1.3 먼지의 분류

먼지는 PM_{10} ($\text{AED} \leq 10 \mu\text{m}$), $\text{PM}_{2.5}$ ($\text{AED} \leq 2.5 \mu\text{m}$)로 분류되어 관리 되고 있다 [참고자료 USEPA 40 CFR 50; USEPA Methods IO].

2.2 질량농도 (mass concentration)

기체의 단위 용적 중에 함유된 물질의 질량을 말한다[참고자료 USEPA Methods IO-1; KS A 0082].

2.3 입자농도 (particle concentration)

공기 또는 다른 기체의 단위체적당 입자수로 표현된 농도를 말한다[참고자료 USEPA Methods IO-1].

[주 1] 입자농도로 나타낼 때에는 그 농도를 결정한 방법을 표시한다.

2.4 저용량 공기시료채취기법 (low volume air sampler method)

이 방법은 환경 대기 중에 부유하고 있는 입자상 물질을 저용량 공기시료채취기를 사용하여 여과지 위에 채취하는 방법으로 일반적으로 총부유먼지와 10 μm 이하의 입자상 물질을 채취하여 질량농도를 구하거나 금속 등의 성분 분석에 이용한다. 많은 학자들에 의해 원하는 입자의 크기를 채취하기 위한 방법으로 새로운 많은 저용량 공기시료 채취기가 개발 사용되고 있다[참고자료 KS A ISO 0082].

3.0 분석기기 및 기구

저용량 공기시료채취기의 기본구성은 흡입펌프, 분립장치, 여과지홀더 및 유량측정부로 구성된다. (그림 1)

3.1 흡입펌프

흡입펌프는 연속해서 30 일 이상 사용할 수 있고 되도록 다음의 조건을 갖춘 것을 사용한다.

- 진공도가 높을 것
- 유량이 큰 것
- 맥동이 없이 고르게 작동될 것
- 운반이 용이할 것

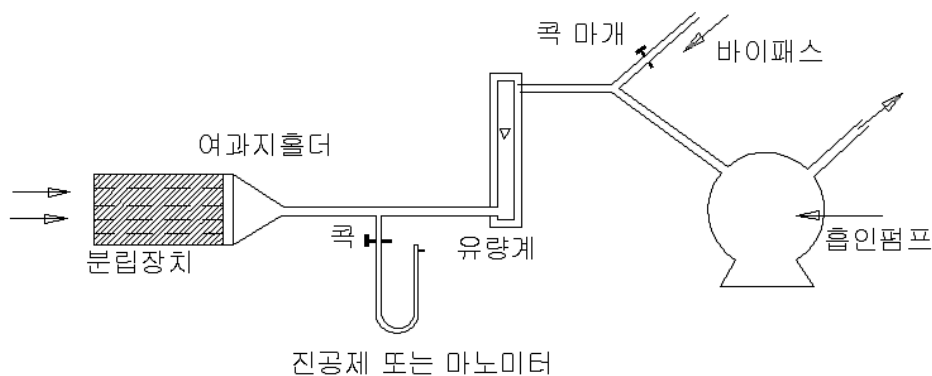


그림 1. 저용량 공기시료채취기의 구성

3.2 여과지홀더

여과지홀더는 보통 직경이 110 mm 또는 47 mm 정도의 여과지를 파손되지 않고 공기가 새지 않도록 장착할 수 있는 것이어야 한다.

3.2.1 프레임 (frame)

프레임은 내식성 재질로서 여과지의 채취유효직경을 100 mm 또는 42 mm로 할 수 있는 것.

3.2.2 망 (net)

여과지에 공기를 통과시킬 때 기류에 의하여 여과지가 파손되지 않도록 받쳐주고 여과지에 불순물이 들어가지 않도록 내식성 재료로 만들어진 것

3.2.3 충전물질 (packing)

불소수지로 만들어진 것

3.2.4 여과지 고정나사

여과지를 장착할 때 파손이나 공기가 새지 않도록 된 구조를 내식성 재료로 만들어진 것을 사용한다.

3.3 유량측정부

유량측정부는 통상 다음과 같이 하여 유량을 측정한다.

3.3.1 로터미터계

유량계는 여과지홀더와 흡입펌프와의 사이에 설치한다. 이 유량계에 새겨진 눈금은 20 °C, 1기압에서 10 ~ 30 L/min 범위를 0.5 L/min까지 측정할 수 있도록 되어 있는 것을 사용한다.

3.3.2 진공계

멤브레인필터 (membrane filter)와 같이 압력 손실이 큰 여과지를 사용할 경우에는 유량의 눈금 값에 대한 보정이 필요하기 때문에 압력계를 부착한다.

3.4 분립장치

분립장치는 10 μm 이상 되는 입자를 제거하는 장치로서 사이클론방식 (cyclone방식, 원심분리방식도 포함)과 다단형방식이 있다.

3.4.1 사이클론 (cyclone)식 분립장치

그림 2와 같이 10 μm 이상의 입자를 사이클론방식으로 제거하는 장치이다.

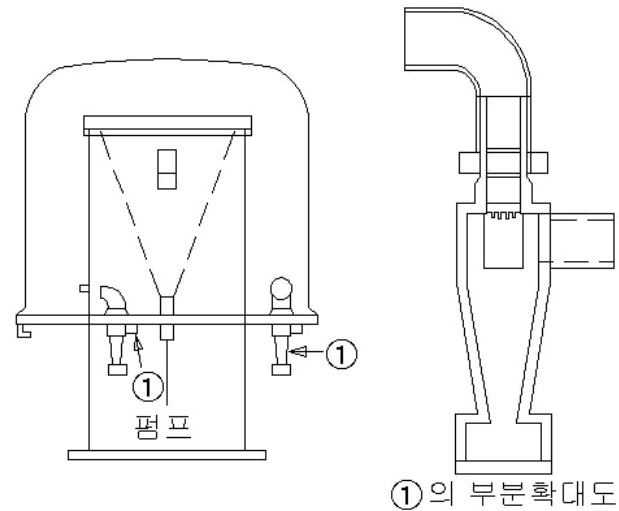


그림 2. 사이클론식 분립장치

3.4.2 다단형 분립장치

이 분립장치는 그림 3과 같이 얇은 평판을 좁은 간격으로 여러장 겹쳐서 평판이 수평 되게 놓고 여기에 채취하려고 하는 공기를 통과시키면 평판 사이를 통과하는 동안에 10 μm 이상의 입자는 침강하여 떨어지고 작은 입자만이 통과한다.

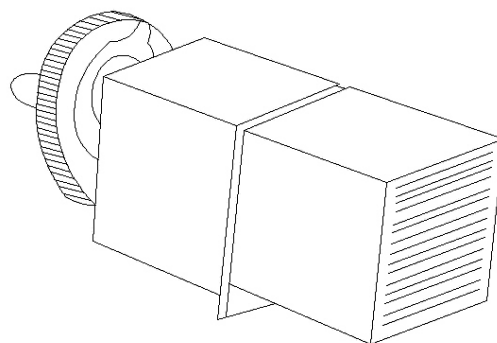


그림 3. 다단형분립장치

3.5 분석용 저울

가능하다면 0.001 mg까지 정확하게 측정할 수 있는 저울을 사용하여야 하며 측정표준 소급성이 유지된 표준기에 의해 교정되어야 한다.

3.6 건조용기

시료채취 필터의 수분평형을 유지하기 위한 용기로서 (20 ± 5.6) °C 대기압력에서 적어도 24 시간을 건조시킬 수 있어야 한다. 또는, 필터를 105 °C에서 적어도 2시간동안 건조시킬 수 있어야 한다[참고자료 USEPA 40CFR50 부록 B와J, USEPA IO-3.1].

3.7 시료채취 필터 보관용기

필터손상이나 채취된 입자들의 손실을 막기 위해 필터의 취급에 주의하여야 하며 필터 카트리지가나 보관용기는 이러한 손상에 의한 측정 오차를 줄일 수 있다.

3.8 일회용 장갑

손으로 인한 오염 방지 및 정확한 입자의 질량을 측정하기 위하여 분말이 없는 (powder-free latex) 일회용 장갑을 사용한다.

4.0 시약 및 표준용액

4.1 제습제

시료 채취 필터의 수분 평형을 유지하기 위한 제습제로 50 % 염화칼슘 용액 등을 사용할 수 있다.

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 시료채취의 높이는 그 부근의 평균오염도를 나타낼 수 있는 곳으로서 가능한 한 1.5 ~ 30 m범위로 한다.

5.2 시료채취

1 주간 연속 채취를 원칙으로 한다. 단, 측정감도에 따라 채취기간을 결정할 수도 있다.

6.0 정도보증/정도관리 (QA/QC)

6.1 필터 취급

시료 채취 전과 후의 무게 측정에 있어 질량을 측정할 수 있는 습도와 온도가 유지된 실험실에서 필터를 취급하여 오차 발생을 최소화 한다.

6.2 유량측정

시료채취기의 유속의 변화는 시료 채취기 도입부의 입자 크기 분리 특성을 변경시킬 수 있다. 정확한 유속과 유량이 측정되어야 하며 정확한 유량 조절 장치 및 유량 측정 장치로 오차를 최소화 한다.

6.3 분석 저울

분석 저울은 필터의 형태와 무게를 측정하는데 적절해야 하며 측정표준 소급성이 유지된 표준기에 의해 교정되어야 하며 0.001 mg까지 측정할 수 있는 저울을 사용할 수 있도록 한다.

6.4 유량교정

유속 및 유량의 측정은 실험 전 후로 측정해야 하며 매 실험마다 표준유속 또는 유량계를 사용하여 교정하여야 하며 측정값의 $\pm 2\%$ 이내의 정확성을 가져야 한다.

7.0 분석절차

7.1 전처리 방법

7.1.1 유량의 보정

저용량 공기시료채취기에 의한 입자상 물질의 채취는 항상 설정되어 있는 일정 유량으로 흡입해야 하고 여과지 또는 샘플러 각 부분의 공기저항에 의하여 생기는 압력손실을 측정하여 유량계의 유량을 보정해 주어야 한다. 유량보정은 통상 다음 방법으로 한다.

7.1.1.1 유량계의 유량지시값의 압력에 의한 보정

7.1.1.1.1 원리

유량계의 눈금값을 Q_r , 1 기압에서 유량을 $Q_o(L/min)$ 라 하면

$$Q_o = C_p \cdot Q_r \quad (\text{식 1})$$

의 관계가 있고 C_p 는 압력보정계수로서 (2)식으로 구한다.

$$C_p = \sqrt{\frac{p}{P_o}} \quad (\text{식 2})$$

여기서 P_o = 유량계의 설정조건에서의 압력 (보통 760 mmHg)

P = 사용조건에서의 유량계내의 압력이다.

Po가 760 mmHg일 때 마노미터로 측정한 유량계내의 압력손실을 $\Delta P(\text{mmHg})$ 라 하면 C_p 는 (3)식으로 나타난다.

$$C_p = \sqrt{\frac{760 - \Delta p}{760}} \quad (\text{식 3})$$

저용량 공기시료채취기에 의하여 $Q_o = 20 \text{ L/min}$ 으로 공기를 흡입할 때 식 (1), (3)으로부터

$$Q_r = 20 \sqrt{\frac{760}{760 - \Delta p}} \quad (\text{식 4})$$

의 관계가 성립하고 Q_r 을 구하여 유량계의 눈금 값 (부자의 위치)을 설정하면 된다. 식 (4)로부터 ΔP 와 Q_r 의 관계를 그래프로 그리면 그림 4의 유량설정곡선을 얻는다. 유량은 식 (4) 또는 그림 4를 사용하여 교정한다.

7.1.1.1.2 누출시험

- 여과지홀더 앞 입구를 막는다. 입구가 여러 개 있을 때는 각각의 입구를 모두 막는다. 또 다단형일 때는 분립기의 앞을 막는다.
- 진공계의 마개를 잠그고 펌프가 작동할 때 유량계의 부자가 영(zero)을 가리키는가를 확인한다.

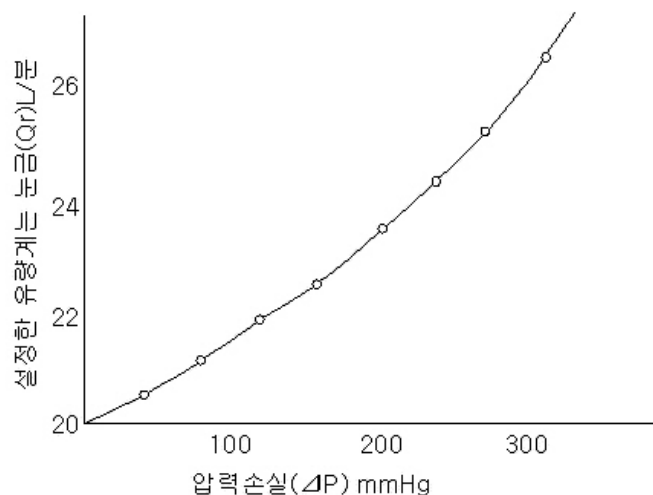


그림 4. 유량설정곡선 ($Q_o = 20 \text{ L/min}$)

7.1.1.1.3 교정조작

시료채취 개시 직후 및 채취 중에 다음과 같은 조작을 하여 설정유량을 유지한다.

- 진공계의 지시값(Δp)에서 설정하려면 유량 (유량계의 위치 Q_r)을 유량 설정곡선 (그림 4)으로부터 구하고 펌프의 바이패스 (by pass)밸브를 조절하여 그 값에 부자의 위치를 맞춘다.
- 유량 (Q_r)을 변화하면 압력손실 (Δp)도 변화하기 때문에 다시 이것을 읽어 유량설정곡선으로부터 유량의 설정값 (Q_r)을 구한다.
- 펌프의 바이패스밸브를 조절하여 부자의 위치 (Q_r)를 맞추고 다시 Δp 가 변화하면 위 조작을 되풀이하여 유량을 교정한다.

7.2 측정방법

7.2.1 채취용 여과지

입자상 물질의 채취에 사용하는 채취용 여과지는 통상 유리섬유제 여과지의 구멍 크기 (pore size)가 1 ~ 3 μm 되는 니트로셀룰로즈 (nitro cellulose)제 멤브레인필터 (membrane filter) 또는 석영섬유제 여과지 등을 사용하여 다음과 같은 조건이 맞는 것을 사용한다.

7.2.1.1 0.3 μm 의 입자상물질에 대하여 99 % 이상의 초기채취율을 갖는 것이어야 한다.

7.2.1.2 압력손실이 낮은 것이어야 한다.

7.2.1.3 가스상 물질의 흡착이 적고 흡습성 및 대전성이 적을 것이어야 한다.

7.2.1.4 취급하기 쉽고 충분한 강도를 가진 것이어야 한다.

7.2.1.5 분석에 방해되는 물질을 함유하지 않은 것이어야 한다.

7.2.2 채취 전 여과지의 칭량

7.2.2.1 채취된 여과지를 미리 온도 20 $^{\circ}C$, 상대습도 50 %에서 항량이 될 때까지 보

관하였다가 0.001 mg의 감도를 갖는 분석용 저울을 사용하여 무게를 여과지 무게를 측정한다.

7.2.2.2 항온 항습장치가 없을 때는 상온에서 질량분율 50 % 염화칼슘용액을 제습제로 한 데시케이터 내에서 보관한 다음 위와 같은 방법으로 단다.

7.2.2.3 칭량이 끝난 여과지는 부호 또는 기호를 표시하여 기록한다.

7.2.3 먼지의 채취

7.2.3.1 샘플러가 정상적으로 작동하는가를 확인한다.

7.2.3.2 칭량한 여과지를 여과지홀더에 고정시키고 나사를 조여 공기가 새지 않도록 한다. 이 때 여과지의 입자채취면이 위를 향하도록 한다.

7.2.3.3 샘플러를 보호상자 내에 수평으로 고정시킨다.

7.2.3.4 배기관에 설치되어 있는 유량계 연결꼭지에 고무관을 사용하여 유량계를 연결한다.

7.2.3.5 전원스위치를 넣고 채취시작 시간을 기록한다.

7.2.3.6 채취를 시작하고부터 5 분 후에 유량계의 눈금을 읽어 유량을 기록하고 유량계는 떼어 놓는다. 이때의 유량은 보통 1.2 ~ 1.7 m³/min정도 되도록 한다. 또 유량계의 눈금은 유량계부자 (floater)의 중앙부를 읽는다.

7.2.4 채취 후 여과지의 칭량

채취후의 여과지는 입자채취면이 안쪽으로 향하도록 접어 여과지의 파손이 없도록 세심한 주의를 기울여 채취된 여과지를 미리 온도 20 °C, 상대습도 50 %에서 일정한 값이 될 때까지 보관하였다가 24 시간 방치한 후 무게를 단다.

8.0 결과보고

8.1 먼지농도의 계산

8.1.1 채취 전후의 여과지의 질량차이와 흡입 공기량으로부터 다음 식에 의하여 먼지 농도를 구한다.

$$\text{먼지농도 } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{We - Ws}{V} \times 10^3 \quad (\text{식 } 5)$$

여기서, We = 채취후 여과지의 질량 (mg)

Ws = 채취전 여과지의 질량 (mg)

$V = Q \times t$ = 총 공기흡입량 (m^3)

Q = 평균 유량 (m^3/min)

t = 시료 채취 시간

평균 유량은 $(Q_1 + Q_2)/2$ 로 구할 수 있으며 일정간격을 두고 유량을 자동 저장하는 방법 등을 사용할 수 있다. 여기서 Q_1 = 시료채취 초기 유량이며 Q_2 = 시료채취 종료 시 유량이다.

8.2 주의사항

8.2.1 흡입펌프는 약 1 년간 (8,000 시간) 사용 후에는 날개 (blade)를 교환한다.

8.2.2 일반적으로 유량계의 설계온도는 20 °C가 많으므로 온도보정의 영향은 적지만 ± 10 °C차에 대하여 오차범위 ± 2 %이하이다.

8.2.3 장치의 세척

저용량 공기시료채취기의 세척은 다음 표1에 따른다.

표 1. 장치의 세척방법

세척부위	세척회수	세척방법
분립장치	채취때마다	중성세제 또는 초음파 세척기를 사용하여 씻는다.
팩킹	"	"
망	"	"
유량계	연 1 회	알코올 또는 중성세제로 씻는다.
펌프사일렌서 (pump silencer)	"	펠트 (felt)모양의 필터를 교환한다.

8.2.4 유량변화는 온도 및 입자상물질 채취량의 증가에 따라 달라지기 때문에 강우 등 기상조건이 변화할 때는 반드시 유량을 확인해야 한다. 또 장기간 채취할 때는 입자상 물질에 의하여 여과지가 막히기 때문에 채취 후반에는 되도록 유량확인을 자주 해야 한다. 이 때문에 샘플러는 유량측정, 유량조정을 하기 쉬운 위치에 설치하는 것이 좋다.

8.2.5 유량계를 청소할 때는 눈금교정을 한다.

8.2.6 저용량 공기시료채취기와 같은 장소에 동시에 설치할 때는 저용량 공기시료채취기에서 배출되는 유량에 영향을 받지 않도록 충분한 거리를 띄어 놓는다.

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 한국산업규격 (KS), KS A ISO 0082, “로 공기시료채취기법 및 저용량 공기시료채취기에 의한 공기 중 부류 분진 측정 방법 해설”한국표준협회, (2003)

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

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

9.6 United States Environmental Protection Agency (USEPA) Method IO-3, “Chemical Species Analysis of Filter-Collected Suspended Particulate Matter

(SPM)", USEPA, (1999).

9.7 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).

9.8 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).

9.9 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).

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

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

9.12 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.

10.0 부록 “내용 없음”