

배출가스 중 입자상 물질 시료채취방법

2024

(Sampling Method of Particulate in Flue Gas)

1.0 개요

1.1 목적

이 시험기준은 물질의 파쇄, 선별, 퇴적, 이적 기타 기계적 처리 또는 연소, 합성분해 시 굴뚝에서 배출되는 입자상 물질의 농도를 측정하기 위한 시험방법이다.

1.2 적용범위

배출가스 중에 함유되어있는 액체 또는 고체인 입자상 물질을 등속흡입하여 측정된 먼지로서, 먼지농도 표시는 표준상태 (0 °C, 760 mmHg)의 건조 배출가스 1 m³ 중에 함유된 먼지의 질량농도를 측정하는데 사용된다.

1.3 간섭 물질

1.3.1 습도

1.3.1.1 채취시료의 습도에 의한 영향은 피할 수 없으나, 여과지 평형화 과정은 여과지 매질의 습도 효과를 최소화할 수 있으며 적은 습도 조건은 먼지 간의 정전력을 증가시킬 수 있다.

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

측정 실험실에서 2 분 이상 노출되어서는 안 된다.

1.3.2 부산물에 의한 측정오차

1.3.2.1 시료채취 여과지 위에서 가스상 물질들의 반응 등에 의해 먼지의 질량농도 측정량이 증가 또는 감소되는 오차가 일어날 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 가스상으로 변환됨으로 질량농도가 감소되는 경우가 초래될 수 있다.

1.3.3 질량농도

측정대상이 되는 배출가스 중 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 무게농도를 측정하여야 한다.

2.0 용어정의

2.1 배출가스

배출가스 (flue gas)는 연료, 기타의 것의 연소, 합성, 분해, 열원으로서의 전기의 사용 및 기계적 처리 등에 따라 발생하는 고체 입자를 함유하는 가스. 수분을 함유하지 않는 가스는 건조 배출가스, 수분을 함유하는 가스는 습윤 배출가스라 한다.

2.2 등속흡입

등속흡입 (isokinetic sampling)은 먼지시료를 채취하기 위해 흡입 노즐을 이용하여 배출가스를 흡입할 때, 흡입노즐을 배출가스의 흐름방향으로 배출가스와 같은 유속으로 가스를 흡입하는 것을 말한다.

2.3 먼지농도

표준상태 (0 ℃, 760 mmHg)의 건조 배출가스 1 Sm³ 중에 함유된 먼지의 무게단위를 말한다.

3.0 분석기기 및 기구

3.1 반자동식 시료 채취기

흡입노즐, 흡입관, 피토관, 여과지홀더, 여과지 가열장치, 임핀저 트레인, 가스흡입 및 유량측정부 등으로 구성되며 여과지홀더의 위치에 따라 그림 1, 2와 같이 1형과 2형으로 구별된다.

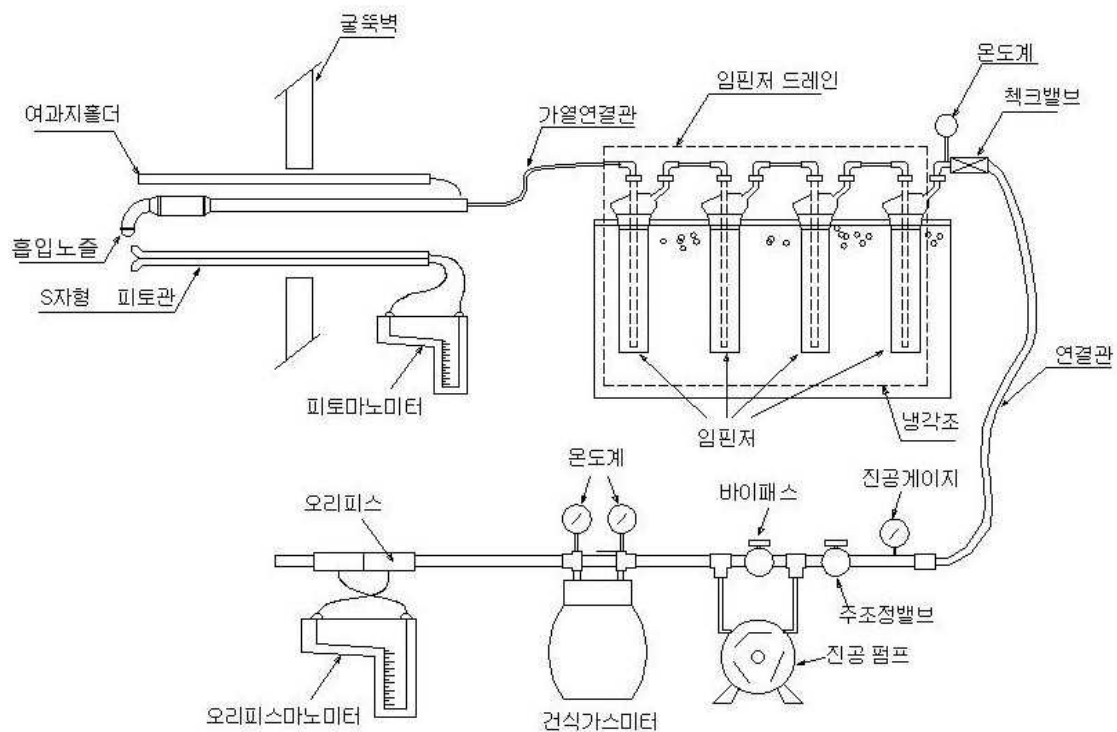


그림 1. 반자동식 먼지시료 채취장치 (1형)

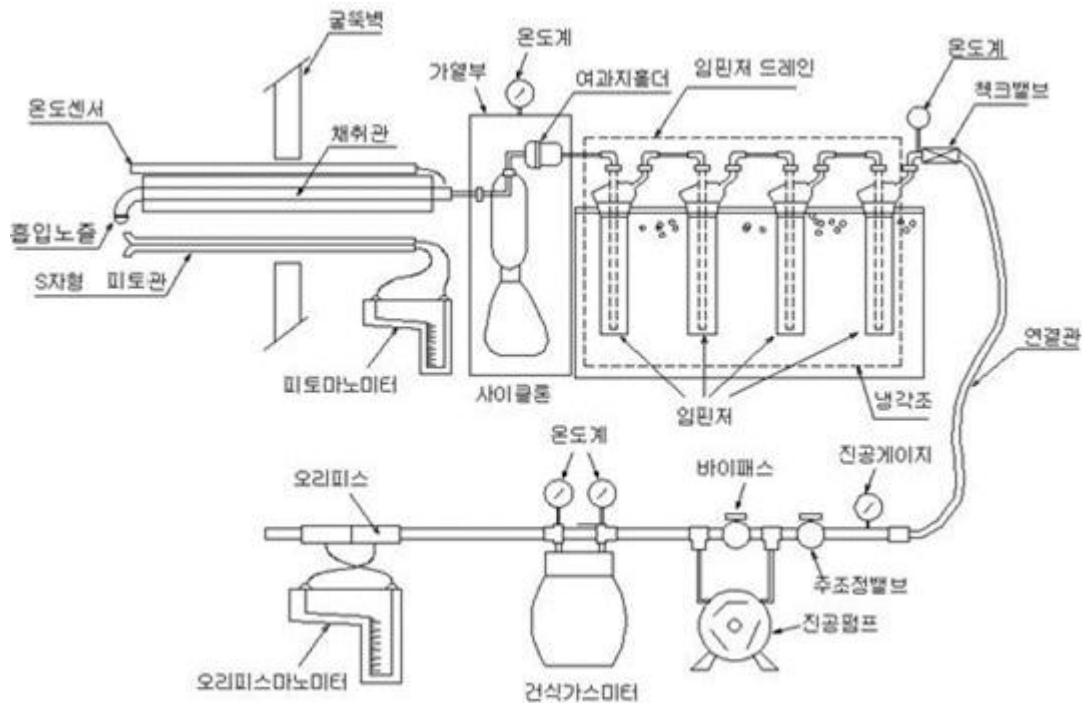


그림 2. 반자동식 먼지시료 채취장치 (2형)

[주 1] 먼지채취부의 구성은 그림 4 참조.

3.1.1 흡입노즐

3.1.1.1 흡입노즐은 스테인리스강 재질, 경질유리, 또는 석영 유리제로 만들어진 것으로 다음과 같은 조건을 만족시키는 것이어야 한다.

3.1.1.2 흡입노즐의 안과 밖의 가스흐름이 흐트러지지 않도록 흡입노즐 내경 (d)은 3 mm 이상으로 한다. 흡입노즐의 내경 (d)은 정확히 측정하여 0.1 mm 단위까지 구하여 둔다.

3.1.1.3 흡입노즐의 꼭짓점은 그림 3과 같이 30° 이하의 예각이 되도록 하고 매끈한 반구모양으로 한다.

3.1.1.4 흡입노즐 내외면은 매끄럽게 되어야 하며 흡입노즐에서 먼지 채취부까지의 흡입관은 내부면이 매끄럽고 급격한 단면의 변화와 굴곡이 없어야 한다.

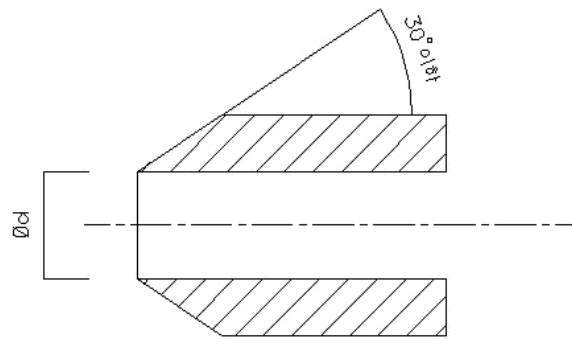


그림 3. 흡입노즐의 꼭지부분

3.1.2 흡입관

수분응축 방지를 위해 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.

3.1.3 피토관

피토관 계수가 정해진 L형 피토관 (C : 1.0 전후) 또는 S형 (웨스턴형 C : 0.84) 피토관으로서 배출가스 유속의 지속적인 측정을 위해 흡입관에 부착하여 사용한다.

3.1.4 차압게이지

2개의 경사마노미터 또는 이와 동등의 것을 사용한다. 하나는 배출가스 동압측정을 다른 하나는 오리피스압차 측정을 위한 것이다.

3.1.5 여과지홀더

3.1.5.1 여과지홀더는 원통형 또는 원형의 먼지채취 여과지를 지지해주는 장치를 말한다.

3.1.5.2 이 장치는 유리제 또는 스테인리스강 재질 등으로 만들어진 것으로 내식성이 강하고 여과지 탈착이 쉬워야 한다.

3.1.5.3 여과지를 끼운 곳에서 공기가 새지 않아야 한다.

3.1.6 여과부 가열장치

시료채취 시 여과지홀더 주위를 $120\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 온도를 유지할 수 있고 주위온도를 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이내까지 측정할 수 있는 온도계를 모니터 할 수 있도록 설치하여야 한다. 다만, 이 장치는 그림 2의 2형 시료채취장치를 이용할 경우에만 사용된다.

3.1.7 임핀저 트레이н 및 냉각 상자

3.1.7.1 일렬로 연결된 4개의 임핀저로 구성되며 접속부는 가스 누출이 없도록 갈아맞춤 또는 실리콘관으로 연결한다.

3.1.7.2 첫 번째, 세 번째 및 네 번째 임핀저는 변형 그리인버그 스미드형 (임핀저 헤드 가 직선관임)으로서 팁을 플라스틱 바닥에서 1.3 cm (1/2 inch) 되는 지점까지 이르는 내경 1.3 cm (1/2 inch)의 유리관으로 대체한 것을 사용한다.

3.1.7.3 두 번째 임핀저는 표준팁이 그리인버그 스미드형을 사용한다.

3.1.7.4 임핀저에는 유해가스 흡수액을 넣고 시료채취 시 배출가스가 통과할 때 유해가스를 흡수시켜 수분 및 유해가스로부터 기기를 보호한다.

3.1.8 가스흡입 및 유량측정부

진공게이지, 진공펌프, 온도계, 건식가스미터 등으로 구성되며 등속흡입유량을 유지하고 흡입 가스량을 측정할 수 있게 되어 있다.

3.1.9 채취장치에 사용되는 기구 및 기기

3.1.9.1 시료채취장치 1형

3.1.9.1.1 흡입노즐용 솔

나일론실로 만든 솔로서 흡입노즐보다 더 긴 것을 사용한다.

3.1.9.1.2 시료보관병

원통형 여과지에 채취된 먼지시료를 보관하기 위한 것으로 유리 또는 흡습관을 사용한다.

3.1.9.1.3 흡습병

U 자형 또는 흡습관을 사용한다.

3.1.9.1.4 간이용 저울

10 mg까지 무게를 달 수 있는 저울을 사용한다.

3.1.9.1.5 원통여과지

실리카 섬유제 여과지로서 99 % 이상의 먼지채취율 (0.3 μ m 다이옥틸프탈레이트 매연 입자에 의한 먼지 통과시험)을 나타내는 것이어야 하며 사용상태에서 화학변화를 일으키지 않아야 하며, 화학변화로 인하여 측정치의 오차가 나타날 경우에는 적절한 처리를 하여 사용토록 하고, 유효직경이 25 mm 이상의 것을 사용한다.

3.1.9.2 시료채취장치 2형

3.1.9.2.1 흡입노즐 및 흡입관용 솔

나일론실로 만든 솔로서 길이는 흡입관보다 더 긴 것을 사용한다.

3.1.9.2.2 세척병

유리세척병 2 개로 사용한다.

3.1.9.2.3 시료보관용

500 mL 또는 1 000 mL 부피의 보로실리케이트 유리병을 사용한다.

3.1.9.2.4 페트리접시

여과지에 채취된 먼지시료를 보관하기 위한 것으로서 유리 또는 폴리에틸렌제를 사용한다.

3.1.9.2.5 눈금실린더 및 저울

1 mL 씩 눈금이 매겨진 눈금실린더와 10 mg까지 달 수 있는 저울을 사용한다.

3.1.9.2.6 유리제 평량접시

3.1.10 분석용 저울

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

3.1.11 건조용 기기

시료채취 여과지의 수분평형을 유지하기 위한 기기로서 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 대기압력에서 적어도 24 시간을 건조시킬 수 있어야 한다. 또는, 여과지를 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 적어도 2 시간동안 건조시킬 수 있어야 한다.

3.1.12 시료채취 여과지 보관용기

여과지 손상이나 채취된 입자들의 손실을 막기 위해 여과지의 취급에 주의하여야 하며 여과지 카트리지나 보관용기는 이러한 손상에 의한 측정 오차를 줄일 수 있다.

3.1.13 일회용 장갑

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

3.2 수동식 시료 채취기

먼지채취부, 가스흡입부, 흡입유량 측정부 등으로 구성되며 먼지채취부의 위치에 따라 그림 4 및 5와 같이 1형과 2형으로 구분된다. 1형은 먼지채취기를 굴뚝 안에 설치하고 2형은 먼지채취기를 굴뚝 밖으로 설치하는 것이다. 먼지시료 채취장치의 모든 집합부는 가스가 새지 않도록 하여야 하고 2형일 때는 배출가스 온도가 이슬점 이하가 되지 않도록 보온 또는 가열해 주어야 한다.

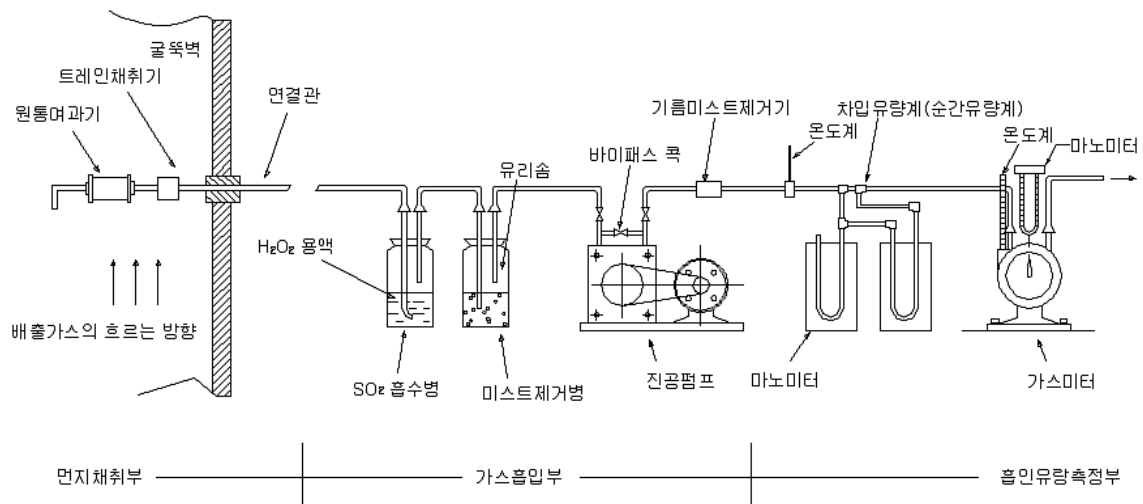


그림 4. 수동식 먼지시료 채취장치 (1형)

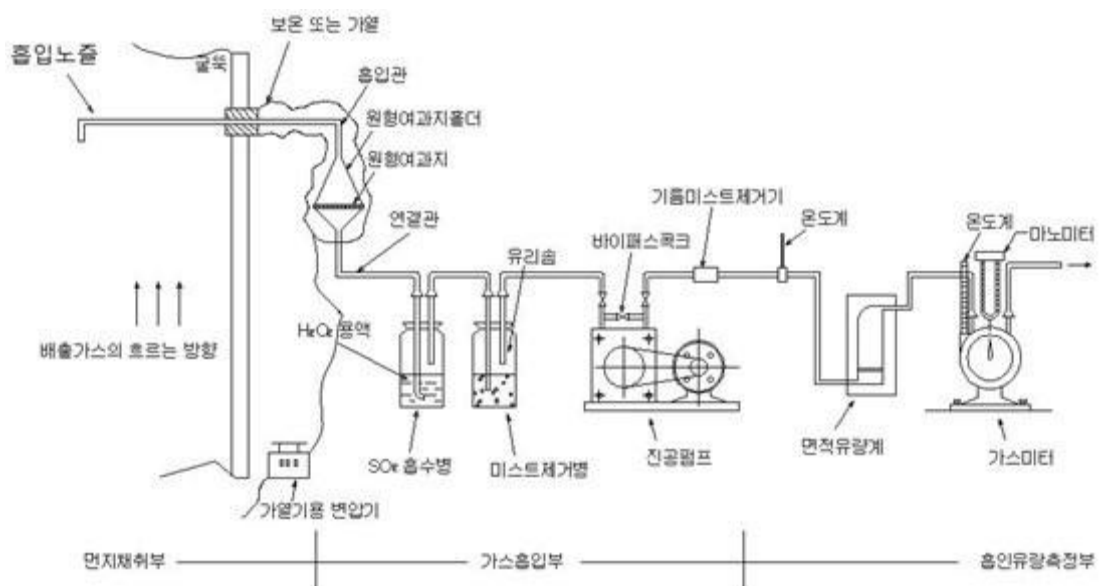


그림 5. 수동식 먼지시료 채취장치 (2형)

3.2.1 먼지채취부

먼지채취부의 구성은 흡입노즐, 여과지 홀더, 고정쇠, 드레인채취기, 연결관 등으로 구성된다. 단, 2형일 때는 흡입노즐 뒤에 흡입관을 접속한다. 먼지채취부의 구성 보기를 그림 6에 나타내었다.

3.2.1.1 흡입노즐

3.2.1.1.1 흡입노즐은 안과 밖의 가스 흐름이 흐트러지지 않도록 흡입노즐 내경 (d)은 3 mm 이상으로 한다.

3.2.1.1.2 꼭짓점은 30° 이하의 예각이 되도록 하고 매끈한 반구 모양으로 한다.

3.2.1.1.3 흡입노즐 내외면은 매끄럽게 되어야 한다.

3.2.1.2 여과지 홀더

3.2.1.2.1 여과지 홀더는 원통형 또는 원형의 먼지채취 여과지를 지지해주는 장치를 말한다.

3.2.1.2.2 이 장치는 유리제 또는 스테인리스강 재질 등으로 만들어진 것으로 내식성이 강하고 여과지 탈착이 쉬워야 한다.

3.2.1.2.3 여과지를 끼운 곳에서 공기가 새지 않아야 한다.

3.2.1.3 고정쇠

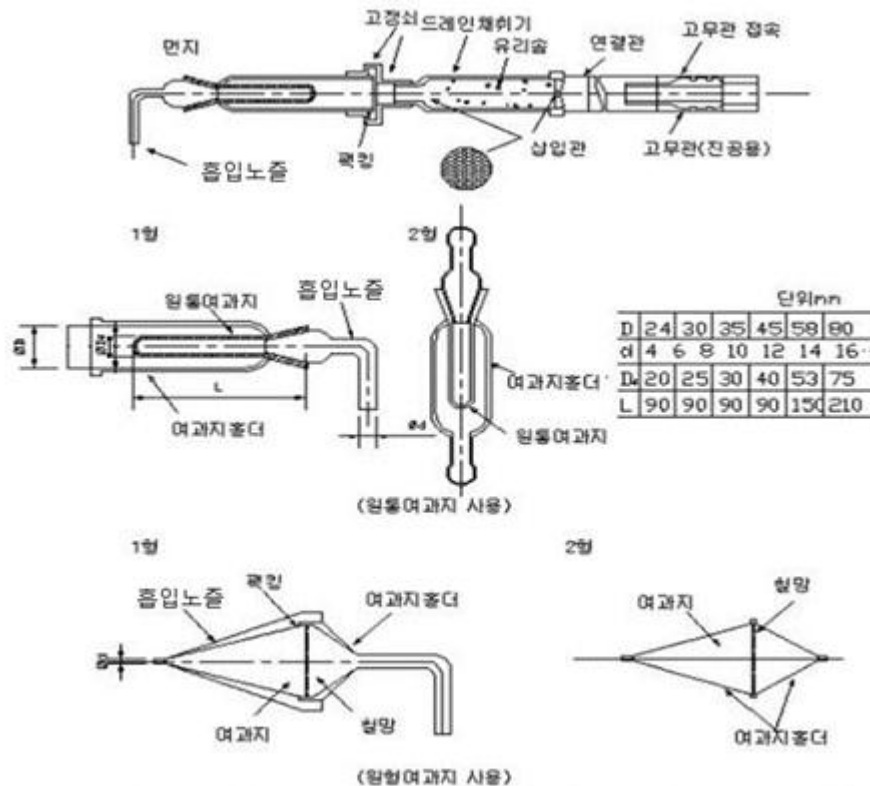
여과지 홀더를 끼우기 위하여 사용하는 것으로 스테인리스강 재질이 좋다.

3.2.1.4 드레인 채취기

내부에 유리솜을 채운 것으로서 흡입가스에 의한 드레인이 여과지 홀더에 역류하는 것을 방지하기 위하여 사용한다.

3.2.1.5 연결관

여과지 홀더 또는 드레인 채취기에서 가스흡입용의 고무관 (진공용)에 이르기까지의 연결부이다.



D : 여과지폴더의 내경, d : 흡입노즐의 내경, D_r : 원통여과지의 내경, L : 원통여과지의 길이

그림 6. 먼지채취부의 구성

3.2.2 가스흡입부

3.2.2.1 가스흡입부는 배출가스를 흡입하기 위한 흡입장치 및 황산화물에 의한 부식을 막기 위한 SO₂ 흡수병과 미스트 제거병으로 구성된다.

3.2.2.2 가스흡입부에는 흡입유량을 가감하기 위한 조절밸브를 적당한 위치에 장치하고 흡입장치의 가스 출구 측에는 필요에 따라 유량계를 보호하기 위하여 미스트 제거기를 설치한다.

3.2.2.3 흡입장치에는 굴뚝 내의 부압, 먼지시료 채취장치 각 부분의 저항에 충분히 견딜 수 있고 필요한 속도로서 가스를 흡입할 수 있는 진공펌프, 송풍기 등을 사용한다.

3.2.3 흡입유량 측정부

3.2.3.1 흡입유량 측정부는 적산유량계 (가스미터) 및 로터미터 또는 차압유량계 등의 순간유량계로 구성된다.

3.2.3.2 원칙적으로 적산유량계는 흡입 가스량의 측정을 위하여 또 순간유량계는 등속 흡입 조작을 확인하기 위하여 사용한다.

3.2.3.3 순간유량계는 적산유량계로 교정하여 사용한다.

3.2.4 채취장치에 사용되는 기구 및 기기

3.2.4.1 시료채취장치 1형

3.2.4.1.1 흡입노즐용 솔

나일론실로 만든 솔로서 흡입노즐보다 더 긴 것을 사용한다.

3.2.4.1.2 시료보관병

원통형 여과지에 채취된 먼지시료를 보관하기 위한 것으로 유리 또는 흡습관을 사용한다.

3.2.4.1.3 흡습병

U 자형 또는 흡습관을 사용한다.

3.2.4.1.4 간이용 저울

10 mg까지 무게를 달 수 있는 저울을 사용한다.

3.2.4.1.5 원통여과지

실리카 섬유제 여과지로서 99 % 이상의 먼지채취율 (0.3 μm 다이옥틸프탈레이트 매연 입자에 의한 먼지 통과시험)을 나타내는 것이어야 하며 사용 상태에서 화학변화를 일으키지 않아야 하며, 화학변화로 인하여 측정치의 오차가 나타날 경우에는 적절한 처리를 하여 사용토록 하고, 유효직경이 25 mm 이상의 것을 사용한다.

3.2.4.2 시료채취장치 2형

3.2.4.2.1 흡입노즐 및 흡입관용 솔

나일론실로 만든 솔로서 길이는 흡입관보다 더 긴 것을 사용한다.

3.2.4.2.2 세척병

유리세척병 2 개로 사용한다.

3.2.4.2.3 시료보관용

500 mL 또는 1 000 mL 부피의 보로실리케이트 유리병을 사용한다.

3.2.4.2.4 페트리접시

여과지에 채취된 먼지시료를 보관하기 위한 것으로서 유리 또는 폴리에틸렌제를 사용한다.

3.2.4.2.5 눈금실린더 및 저울

1 mL 씩 눈금이 매겨진 눈금실린더와 10 mg까지 달 수 있는 저울을 사용한다.

3.2.4.2.6 유리제 평량접시

3.2.5 분석용 저울

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

3.2.6 건조용 기기

시료채취 여과지의 수분평형을 유지하기 위한 기기로서 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 대기 압력에서 적어도 24 시간을 건조시킬 수 있어야 한다. 또는, 여과지를 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 적어도 2 시간동안 건조시킬 수 있어야 한다.

3.2.7 시료채취 여과지 보관용기

여과지 손상이나 채취된 입자들의 손실을 막기 위해 여과지의 취급에 주의하여야 하며 여과지 카트리지나 보관용기는 이러한 손상에 의한 측정 오차를 줄일 수 있다.

3.2.8 일회용 장갑

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

3.3 자동식 시료 채취기

흡입노즐, 흡입관, 피토판, 차압게이지, 여과지홀더, 임핀저 트레인, 자동등속흡입 제어부, 유량자동제어밸브, 산소농도계, 온도측정부, 측정데이터 기록부 등으로 구성되어 있으며 시료채취장치의 모든 접속부분에 가스누출이 있어서는 안 되며 구성 내용은 그림 7과 같다.

도가 같게 되도록 한 구조와 기능을 갖는 것이다.

3.3.1.6 흡입노즐에서 먼지채취부까지의 흡입관은 내면이 매끄럽고 급격한 단면의 변화와 굴곡이 있어서는 안 된다. 평형형 흡입노즐의 구조 및 구성 예를 그림 8에 나타내었다.

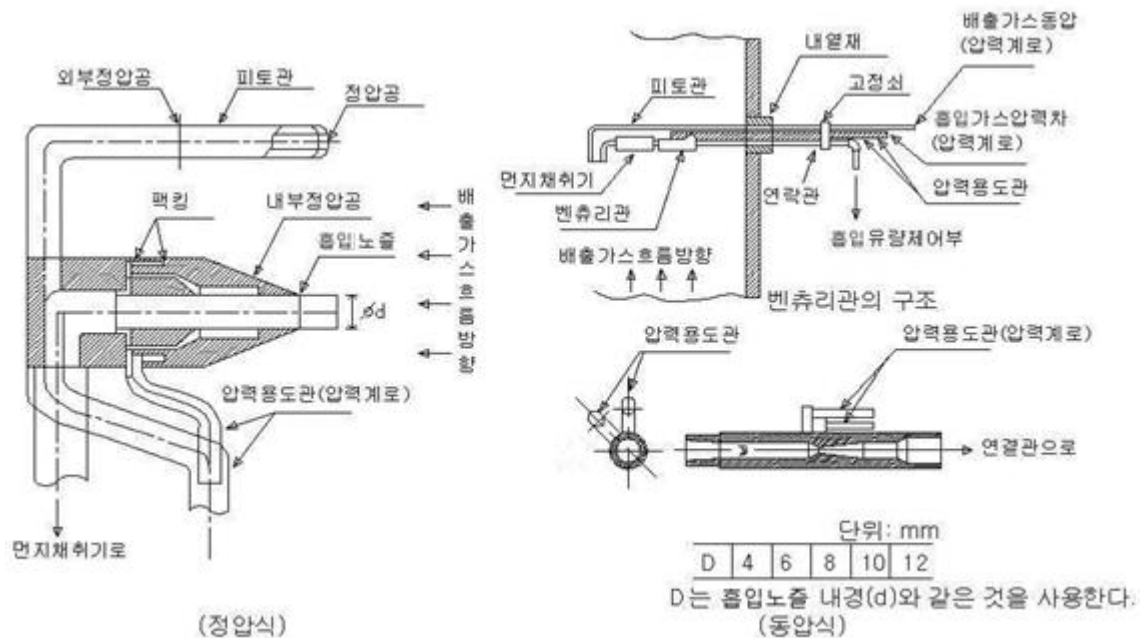


그림 8. 평형형 흡입노즐

3.3.2 흡입관

수분응축 방지를 위해 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.

3.3.3 피토관

피토관 계수가 정해진 L형 피토관 (C : 1.0 전후) 또는 S형 (웨스턴형 C : 0.84) 피토관으로서 배출가스 유속의 지속적인 측정을 위해 흡입관에 부착하여 사용한다.

3.3.4 차압게이지

평균 차압으로 한다.

차압계이지는 최소 단위 0.1 mmH₂O ~ 0.5 mmH₂O 까지 측정하여 출력 신호를 발생 할 수 있는 정밀 전자 마노미터를 사용한다.

3.3.5 여과지 홀더

3.3.5.1 여과지 홀더는 원통형 또는 원형의 먼지채취 여과지를 지지해주는 장치를 말한다.

3.3.5.2 이 장치는 유리제 또는 스테인리스강 재질 등으로 만들어진 것으로 내식성이 강하고 여과지 탈착이 쉬워야 한다.

3.3.5.3 여과지를 끼운 곳에서 공기가 새지 않아야 한다.

3.3.6 임핀저 트레인

3.3.6.1 일렬로 연결된 4 개의 임핀저로 구성되며 접속부는 가스 누출이 없도록 갈아맞춤 또는 실리콘관으로 연결한다.

3.3.6.2 첫 번째, 세 번째 및 네 번째 임핀저는 변형 그리인버그 스미드형 (임핀저 헤드 가 직선관임)으로서 팁을 플라스크 바닥에서 1.3 cm (1/2 inch) 되는 지점까지 이르는 내경 1.3 cm (1/2 inch)의 유리관으로 대체한 것을 사용한다.

3.3.6.3 두 번째 임핀저는 표준팁이 그리인버그 스미드형을 사용한다.

3.3.6.4 임핀저에는 유해가스 흡수액을 넣고 시료채취 시 배출가스가 통과할 때 유해가스를 흡수시켜 수분 및 유해가스로부터 기기를 보호한다.

3.3.7 자동등속흡입 제어부

자동등속흡입 제어부는 배출가스 유속, 흡입노즐의 내경, 가스미터 및 배출가스 온도, 수증기 부피 백분율 등을 측정 및 압력을 받아 전용 프로세서로 계산하여 등속흡입 유량 신호로 유량자동밸브를 제어한다.

3.3.8 유량자동제어밸브

유량자동제어밸브는 자동등속흡입 제어부로부터 환산된 신호에 의해서 지시 유량을 자동제어 할 수 있는 것을 사용한다.

3.3.9 산소농도계

산소농도계는 공기비 계수를 자동 보정하기 위하여 영점 및 교정편차가 0.4 % 이내의 것을 사용한다. 단, 기타의 방법으로 측정할 수 있으면 생략할 수 있다.

3.3.10 온도측정부

온도측정부는 배출가스 온도 및 가스미터 온도를 0.1 °C까지 측정 및 출력할 수 있는 열전도 온도계 등을 사용한다.

3.3.11 측정데이터 기록부

측정데이터 기록부는 측정일시, 측정번호, 피토평관계수, 기온, 기압, 수분량, 흡입 노즐 직경, 배출가스정압, 시료채취시간, 배출가스 온도, 산소농도, 굴뚝직경 등을 자동 저장 및 기록할 수 있어야 하며, 20 회분 이상의 측정자료를 자동보관하여 필요시 출력할 수 있도록 한다. 단, 기타의 방법으로 기록할 수 있으면 생략할 수 있다.

3.3.12 시험용 기구 및 기기

3.1.9를 따른다.

3.3.13 분석용 저울

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

3.3.14 건조용 기기

시료채취 여과지의 수분평형을 유지하기 위한 기기로서 $(20 \pm 5.6)^\circ\text{C}$ 대기압력에서 적어도 24 시간을 건조시킬 수 있어야 한다. 또는, 여과지를 105°C 에서 적어도 2 시간동안 건조시킬 수 있어야 한다.

3.3.15 시료채취 여과지 보관용기

여과지 손상이나 채취된 입자들의 손실을 막기 위해 여과지의 취급에 주의하여야 하며 여과지 카트리지나 보관용기는 이러한 손상에 의한 측정 오차를 줄일 수 있다.

3.3.16 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 반자동 측정 장치

4.1.1 시료채취장치 1 형을 사용하는 경우

4.1.1.1.1 원통여과지

실리카 섬유제 여과지로서 99 % 이상의 먼지채취율 ($0.3\ \mu\text{m}$ 다이옥틸프탈레이트 매연 입자에 의한 먼지 통과시험)을 나타내는 것이어야 하며 사용 상태에서 화학변화를 일으키지 않아야 하며, 화학변화로 인하여 측정치의 오차가 나타날 경우에는 적절한 처리를 하여 사용토록 하고, 유효직경이 25 mm 이상의 것을 사용한다.

4.1.1.2 실리카젤

6 mesh ~ 16 mesh 크기의 변색 지시형 실리카젤을 사용하여 재사용 시에는 175°C 에서 2 시간 건조시킨 후 사용한다.

4.1.1.3 흡습제

입자상의 무수염화칼슘을 사용한다.

4.1.1.4 건조제

변색 지시형 무수황산칼슘을 사용한다.

4.1.2 시료채취장치 2 형을 사용하는 경우

4.1.2.1 원형여과지

실리카 섬유제 여과지로서 99 % 이상의 먼지 채취율 (1형과 같음)을 나타낸 것이어야 하며 유효직경이 63.5 mm 이상의 것을 사용한다.

4.1.2.2 실리카겔

6 mesh ~ 16 mesh 크기의 변색지시형 실리카겔을 사용하며 재사용 시는 175 °C에서 2 시간 동안 건조시킨 후 사용한다.

4.1.2.3 잘게 부순 얼음

4.1.2.4 진공 윤활유

아세톤에 녹지 않고 열에 안정한 실리콘 윤활유를 사용한다.

4.1.2.5 아세톤

잔재물이 0.001 % 이하인 시약용 아세톤을 사용한다.

4.1.2.6 건조제

변색 지시형 무수황산칼슘을 사용한다.

4.2 수동식 측정법

ES 01112 배출가스 중 입자상 물질 시료채취방법 - 4.1항 중 반자동식 측정법을 따른다.

4.3 자동식 측정법

ES 01112 배출가스 중 입자상 물질 시료채취방법 - 4.1항 중 반자동식 측정법을 따른다.

5.0 측정 위치, 측정공 및 측정점의 선정

5.1 측정위치

5.1.1 측정위치는 원칙적으로 굴뚝의 굴곡부나 단면모양이 급격히 변하는 부분을 피하여 배출가스 흐름이 안정되고 측정작업이 쉽고 안전한 곳을 선정한다.

5.1.2 수직굴뚝 하부 끝단으로부터 위를 향하여 그곳의 굴뚝 내경의 8 배 이상이 되고, 상부 끝단으로부터 아래를 향하여 그곳의 굴뚝내경의 2 배 이상이 되는 지점에 측정공 위치를 선정하는 것을 원칙으로 한다.

5.1.3 위의 기준에 적합한 측정공 설치가 곤란하거나 측정작업의 불편, 측정자의 안전성 등이 문제될 때에는 하부 내경의 2 배 이상과 상부 내경의 1/2 배 이상 되는 지점에 측정공 위치를 선정할 수 있다.

5.1.4 수직굴뚝에 측정공을 설치하기가 곤란하여 부득이 수평 굴뚝에 측정공이 설치되어 있는 경우는 수평굴뚝에서도 측정할 수 있으나 측정공의 위치가 수직굴뚝의 측정위치 선정기준에 준하여 선정된 곳이어야 한다.

5.1.5 방지시설에서 입자상 물질의 저감 효율을 측정하는 경우, 방지시설 전단과 후단에 측정공을 설치하여 동시에 시료를 채취해야 한다.

5.2 굴뚝 직경환산과 측정공 위치선정

5.2.1 굴뚝단면이 원형인 경우 (상 · 하 동일 단면적)

굴뚝 상 · 하 직경은 5.1 측정위치의 선정에서 명시한 수직굴뚝의 배출가스가 흐트러짐이 시작되는 위치의 내경을 기준으로 한다.

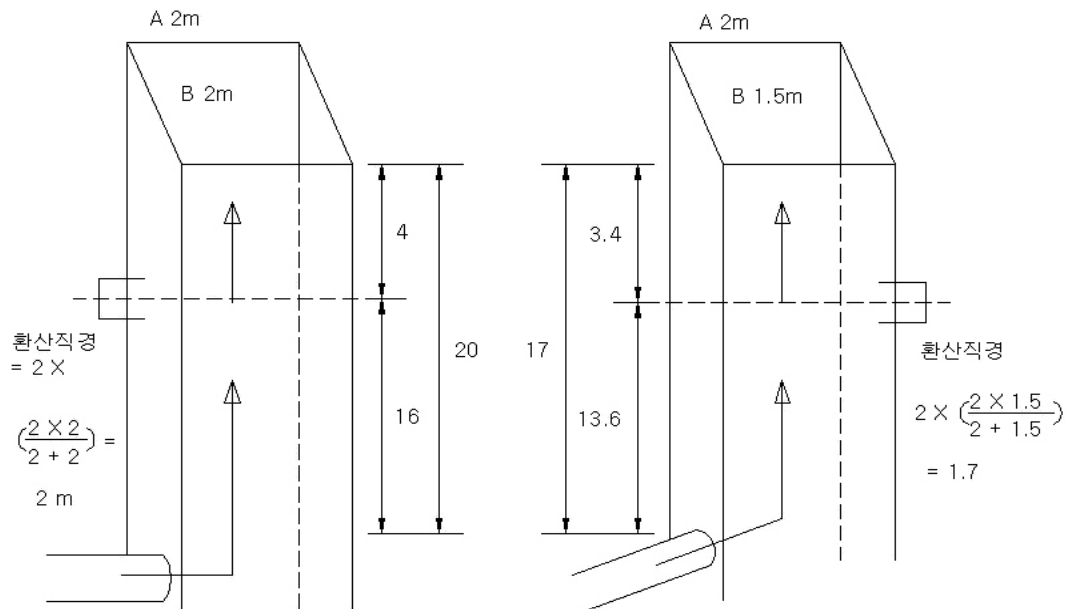


그림 9. 사각형 굴뚝환산 예

5.2.2 굴뚝단면이 사각형인 경우 (상 · 하 동일 단면적의 정사각형 또는 직사각형)

굴뚝단면이 상 · 하 동일 단면적인 사각형 굴뚝의 직경산출은 다음과 같이 한다.

$$\text{환산직경} = 2 \times \left(\frac{A \times B}{A + B} \right) = 2 \times \left(\frac{\text{가로} \times \text{세로}}{\text{가로} + \text{세로}} \right) \quad (\text{식 1})$$

여기서, A : 굴뚝내부 단면 가로규격

B : 굴뚝내부 단면 세로규격

5.2.3 굴뚝단면이 서서히 변하는 경우

굴뚝단면이 서서히 축소되는 경우의 원형 및 사각형 굴뚝직경 산출은 다음과 같이 한다.

5.2.3.1 원형 굴뚝의 경우

5.1에 의거하여 측정공 위치를 대략적으로 선정하고 다음에 의거하여 굴뚝직경을 산출하여, 선정된 측정공 위치가 환산 하부직경의 2 배 이상과 환산 상부직경의 1/2 배 이상이면 측정공 위치로 채택한다.

$$\text{환산하부직경} = \frac{\text{하부직경} + \text{선정된 측정공위치의 직경}}{2} \quad (\text{식 } 2)$$

$$\text{환산상부직경} = \frac{\text{상부직경} + \text{선정된 측정공위치의 직경}}{2} \quad (\text{식 } 3)$$

5.2.3.1.1 원형굴뚝의 경우

$$\text{적용하부직경} = \frac{2.5 + 1.83}{2} = 2.165 \quad (\text{식 } 4)$$

$$\text{적용상부직경} = \frac{1.5 + 1.83}{2} = 1.665 \quad (\text{식 } 5)$$

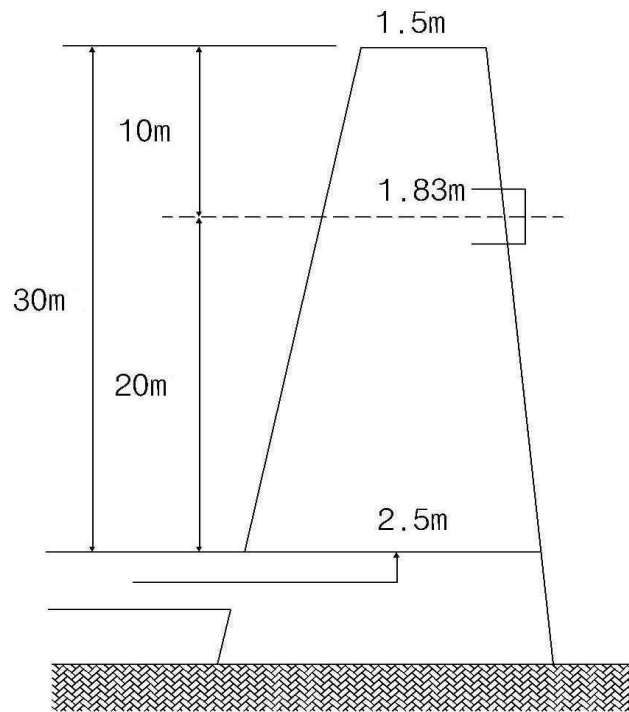


그림 10. 원형굴뚝의 환산 예

(1) 원형굴뚝의 선정된 측정공위치 채택여부 검토

$20 \div 2.165 = 9$ 배 (하부직경의 2 배 이상이므로 채택함)

$10 \div 1.665 = 6$ 배 (상부직경의 1/2 배 이상이므로 채택함)

5.2.3.2 사각형 굴뚝의 경우

일차적으로 각 위치별 직경을 5.2.2에 의거해 환산하고 이차적으로 5.2.3.1의 원형굴뚝과 같은 방법으로 환산한다.

1
차
계
산

$$\text{상부환산직경} = 2 \times \left(\frac{2 \times 1.5}{2 + 1.5} \right) = 1.7 \quad (\text{식 6})$$

$$\text{하부환산직경} = 2 \times \left(\frac{2 \times 2.5}{2 + 2.5} \right) = 2.2 \quad (\text{식 7})$$

$$\text{선정된 측정공 위치의 직경} = 2 \times \left(\frac{2.3 \times 1.8}{2.3 + 1.8} \right) = 2.0 \quad (\text{식 8})$$

2
차
계
산

$$\text{적용하부직경} = \frac{2.2 + 2.0}{2} = 2.1 \quad (\text{식 9})$$

$$\text{적용상부직경} = \frac{1.7 + 2.0}{2} = 1.8 \quad (\text{식 10})$$

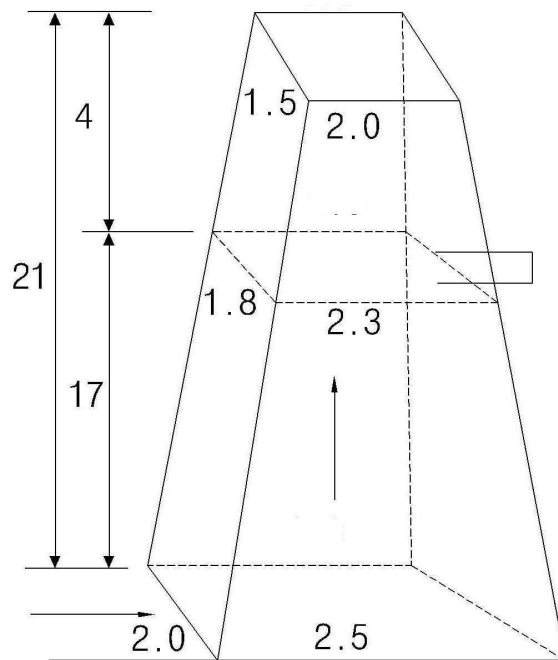


그림 11. 사각형굴뚝의 환산 예

(1) 사각형 굴뚝의 측정공위치 채택여부 검토

17 ÷ 2.1 = 8 배 (하부직경의 2 배 이상이므로 채택함)

4 ÷ 1.8 = 2 배 (상부직경의 1/2 배 이상이므로 채택함)

5.2.4 기타 형태의 경우

5.2.4.1 굴뚝이 기타 다른 형태일 경우에는 원형 및 사각형 경우 중 가까운 쪽에 준하여 환산 적용하고 필요시는 다음과 같은 굴뚝 내 배출가스의 흐름을 개선하여 굴뚝직경을 산출하여 활용할 수 있다.

5.2.4.2 이러한 장치가 먼지가 퇴적되거나 저항에 의한 유량이 변화하는 등의 지장을 초래하여서는 안 된다.

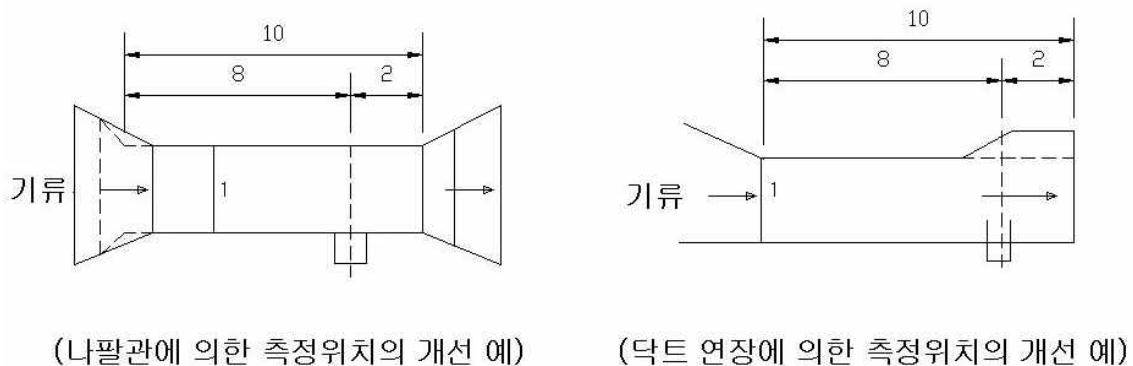


그림 12. 배출가스흐름의 개선 예

5.3 측정공 및 측정작업대

5.1에서 선정된 측정위치에는 측정자의 안전과 측정작업을 위한 작업대와 측정공이 설치되어야 한다.

5.3.1 측정공의 규격

측정공은 그림 13와 같이 측정위치로 선정된 굴뚝 벽면에 내경 100 mm ~ 150 mm 정도로 설치하고 측정 시 이외에는 마개를 막아 밀폐하고 측정 시에도 흡입관 삽입 이외의 공간은 공기가 새지 않도록 밀폐되어야 한다.

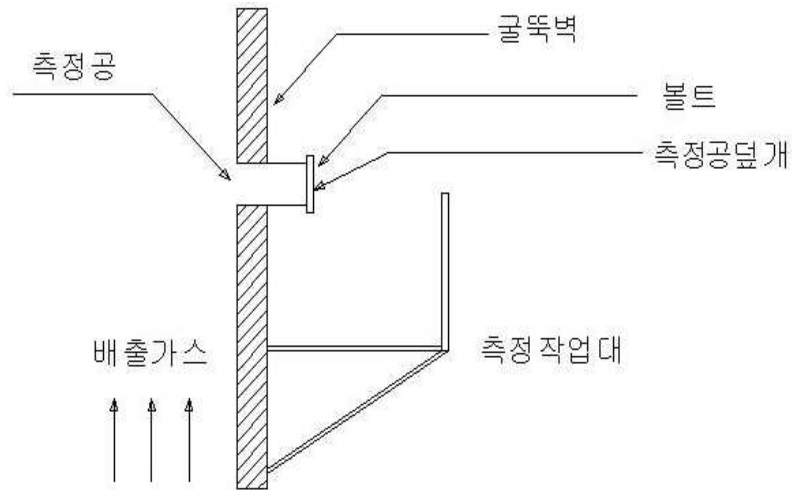


그림 13. 측정공의 구조 예

5.3.2 측정 작업대

측정자의 안전을 위한 작업대가 설치되어야 한다. 측정 작업대는 측정 장비의 설치와 측정자의 작업을 쉽게 하기 위하여 충분히 크고 견고해야 한다. 보통 그 크기는 측정 장비를 설치하고 2 인 ~ 3 인의 측정 작업자가 충분히 작업할 수 있는 공간과 지지력이 마련되어야 한다. 또한, 측정 작업대까지 오르기 위한 적당한 승강시설을 그림 14의 시설 등과 같이 굴뚝에 견고히 설치하여 측정자의 안전을 보호하고 장비의 운반 및 측정을 위한 도르레, 전기 등의 시설을 설치하여야 한다.

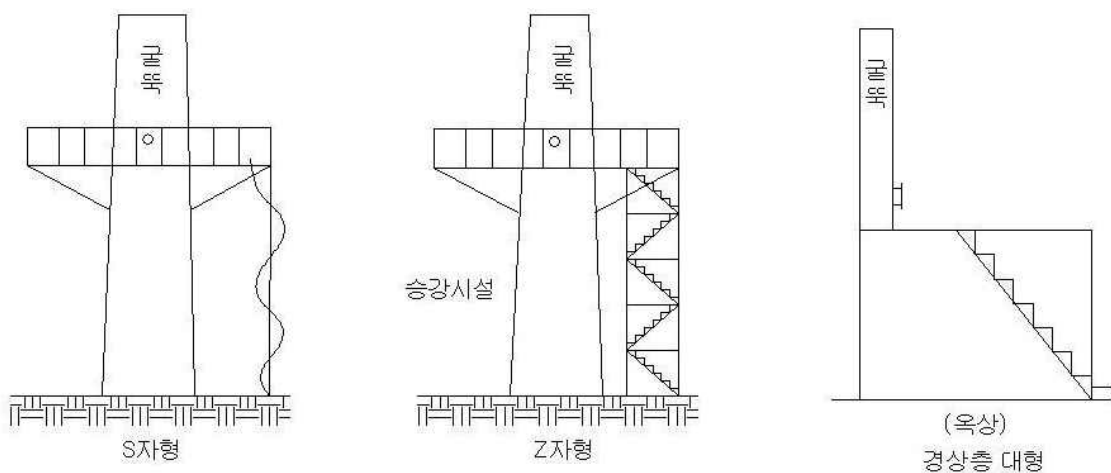


그림 14. 안전한 승강시설의 구조 예

5.4 측정점의 선정

측정점은 측정위치로 선정된 굴뚝단면의 모양과 크기에 따라 다음과 같은 요령으로 적당수의 등면적으로 구분하고 구분된 각 면적마다 측정점을 선정한다.

5.4.1 굴뚝단면이 원형일 경우

그림 15와 같이 측정 단면에서 서로 직교하는 직경선상에 표 1이 부여하는 위치를 측정점으로 선정한다. 측정점수는 굴뚝직경이 4.5 m를 초과할 때는 20 점까지로 한다.

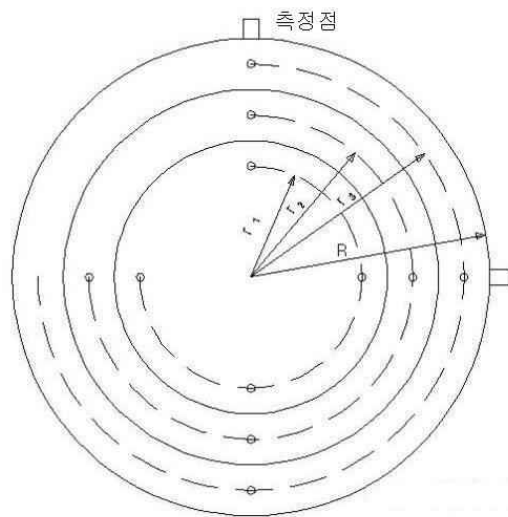


그림 15. 원형단면의 측정 환산 예

표 1. 원형단면의 측정점

굴뚝직경 2R (m)	반 경 구분수	측정점수	굴뚝 중심에서 측정점까지의 거리 r_n (m)				
			r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
1 이하	1	4	0.707 R	-	-	-	-
1 초과 2 이하	2	8	0.500 R	0.866 R	-	-	-
2 초과 4 이하	3	12	0.408 R	0.707 R	0.913 R	-	-
4 초과 4.5 이하	4	16	0.354 R	0.612 R	0.791 R	0.935 R	-
4.5 초과	5	20	0.316 R	0.548 R	0.707 R	0.837 R	0.949 R

5.4.1.1 굴뚝 단면적이 0.25 m^2 이하로 소규모일 경우에는 그 굴뚝 단면의 중심을 대표점으로 하여 1 점만 측정한다.

5.4.1.2 측정 단면에서 유속의 분포가 비교적 대칭을 이루는 경우 수평굴뚝은 수직 대칭 축에 대하여 1/2의 단면을 취하고 측정점의 수를 1/2로 줄일 수 있으며, 수직 굴뚝은 1/4의 단면을 취하고 측정점의 수를 1/4로 줄일 수 있다.

5.4.2 굴뚝 단면이 사각형일 경우

굴뚝 단면이 사각형일 때는 다음과 같이 단면적에 따라 등단면적의 사각형으로 구분하고 구분된 각 등단면적의 중심에 측정점 수를 표 2와 같이 선정한다.

표 2. 사각형 굴뚝단면적의 측정점 수

굴뚝단면적(m ²)	구분된 1변의 길이 L(m)
1 이하	$L \leq 0.5$
1 초과 4 이하	$L \leq 0.667$
4 초과 20 이하	$L \leq 1$

측정 단면은 그림 16과 같이 한 변의 길이 (L)가 표 2의 규정에 따라 1 m 이하의 범위에서 4개 이상의 등단면적의 직사방형 또는 정사방형으로 나누어 중심에 측정점을 선정한다. 단 굴뚝의 단면적이 20 m²를 초과하는 경우는 측정점수는 20 점까지로 하고 등단면적으로 구분한다. 단 측정 단면에서 흐름이 비대칭인 경우는 비대칭 방향으로 구분한 한 변의 길이는 그것과 수직방향의 한 변 길이보다도 짧게 취하여 측정점의 개수를 각각 증가시킨다.

5.4.2.1 굴뚝 단면적이 0.25 m² 이하로 소규모일 경우에는 그 굴뚝 단면의 중심을 대표 점으로 하여 1 점만 측정한다.

5.4.2.2 측정 단면에서 유속의 분포가 비교적 대칭을 이루는 경우 수평굴뚝은 수직 대칭 축에 대하여 1/2의 단면을 취하고 측정점의 수를 1/2로 줄일 수 있으며, 수직 굴뚝은 1/4의 단면을 취하고 측정점의 수를 1/4로 줄일 수 있다.

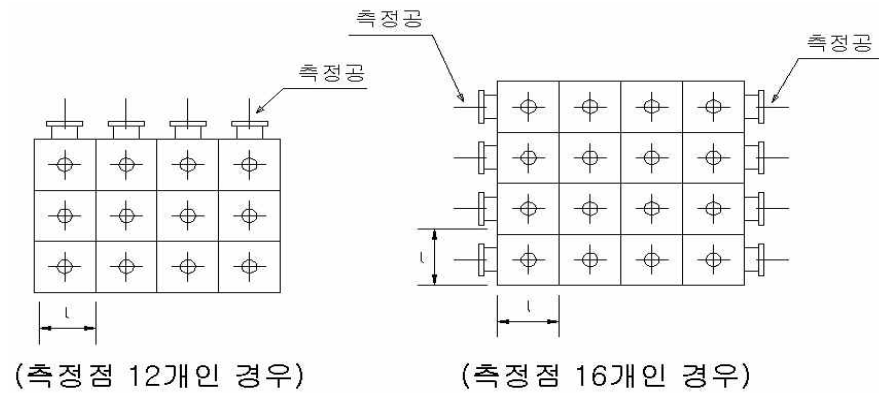


그림 16. 사각형 굴뚝단면의 측정위치

5.4.3 굴뚝 단면이 기타 모양일 경우

굴뚝 단면의 모양이 한쪽은 원형 (아치형)이고 또 다른 한쪽은 사각형 또는 기타 모양 일 경우에는 5.4.1, 5.4.2에 따라 측정점 수를 결정한다.

6.0 시료 채취 및 방법

6.1 반자동식 채취기

6.1.1 시료채취방법

먼지 시료채취 방법으로는 직접채취법, 이동채취법, 대표점채취법 등이 있다.

6.1.1.1 직접 채취법

측정점마다 1 개의 먼지 채취기를 사용하여 시료를 채취한다.

6.1.1.2 이동 채취법

1 개의 먼지 채취기를 사용하여 측정점을 이동하면서 각각 같은 흡입시간으로 먼지시료를 채취한다.

6.1.1.3 대표점 채취법

5.4의 규정에 따라 정해진 대표점에서 1 개 또는 수개의 먼지채취기를 사용하여 먼지 시료를 채취한다.

6.1.2 시료채취절차

6.1.2.1 5.4항과 같이 측정점 수를 선정한다.

6.1.2.2 7.1.3.1과 같이 배출가스의 온도를 측정한다.

6.1.2.3 S자형 피토관과 경사마노미터로 배출가스의 정압과 평균동압을 각각 측정한다.

6.1.2.4 피토관을 측정공에서 굴뚝내의 측정점까지 삽입하여 전압공을 배출가스 흐름 방향에 바로 직면시켜 압력계에 의하여 동압을 측정한다.

6.1.2.5 동압은 원칙적으로 0.1 mmH₂O의 단위까지 읽는다.

6.1.2.6 이때, 피토관의 배출가스 흐름방향에 대한 편차를 10° 이하가 되어야 한다.

6.1.2.7 7.1.3.2와 같이 배출가스의 수분량을 측정한다.

6.1.2.8 흡입노즐이 배출가스가 흐르는 역방향을 향하도록 흡입노즐을 측정점까지 끼워 넣고 흡입을 시작할 때 배출가스가 흐르는 방향에 직면하도록 돌려 편차를 10° 이하로 한다.

6.1.2.9 매 채취점마다 동압을 측정하여 계산자 (노모그래프) 또는 계산기를 이용하여 등속흡입을 위한 적절한 흡입노즐 및 오리피스압차를 구한 후 유량조절밸브를 그 오리피스차압이 유지되도록 유량을 조절하여 시료를 채취한다.

6.1.2.10 한 채취점에서의 채취시간을 최소 2 분 이상으로 하고 모든 채취점에서 채취시간을 동일하게 한다.

6.1.2.11 시료채취 중에 굴뚝 내 배출가스 온도, 건식 가스미터의 입구 및 출구온도, 여

과지홀더 온도, 최종 임핀저 통과 후의 가스온도, 진공게이지압 등을 측정 기록한다.

6.1.2.12 채취가 끝날 때마다 측정점에서의 가스시료 채취량을 기록해 둔다. 이러한 수치들을 기록하기 위한 기록지 양식의 한 예가 표 3에 나타나 있다.

표 3. 먼지시료 채취 기록지

공장명 _____

측정대상명 _____

작성자명 _____

측정일 _____

측정번호 _____

오리피스미터 ΔH _____

피토크계수 _____

기온, $^{\circ}\text{C}$ _____

기압, mmHg _____

수분량, % _____

흡입관 길이, m _____

흡입노즐 직경, cm _____

배출가스정압, mmHg _____

산소량(%) _____

등속흡입계수(%) _____

굴뚝단면 및 측정점
배열

여과지 번호 _____

채취 점 번호	시료 채취 시간 (분)	진공 게이 지압 (mmHg)	배출 가스 온도 ($^{\circ}\text{C}$)	배출 가스 동압 (mmH ₂ O)	오리 피스 압차 (mmH ₂ O)	시료 채취량 (m ³)	건식가스미터 에서의 온도($^{\circ}\text{C}$)		여과지 홀더 온도 ($^{\circ}\text{C}$)	최종임 핀저출 구온도 ($^{\circ}\text{C}$)
							입구	출구		
합계							평균	평균		
평 균							평 균	평 균		

[주 2] 시료채취 중 임핀저 통과 후의 가스온도가 20 $^{\circ}\text{C}$ 가 넘을 경우엔 잘게 부순 얼음을 더 채우거나 소금을 첨가하도록 한다.

[주 3] 먼지가 채취됨에 따라 여과지에 전후의 압력이 너무 높아져 등속흡입을 유지하기가 어려울 경우에 새 여과지로 교환 (여과지홀더도 같이 교환하는 것이 좋다)한 후 시료채취를 계속한다. 이때 총채취먼지량은 각 여과지에 채취된 먼지량의 합이 된다.

6.1.2.13 등속흡입 정도를 보기 위해 다음 식 또는 계산기에 의해서 등속흡입계수를 구하고 그 값이 90 % ~ 110 % 범위 내에 들지 않는 경우에는 다시 시료채취를 행한다.

$$I(\%) = \frac{T_s[0.00346 V_{ic} + V_m/T_m (P_a + \Delta H/13.6)]}{P_s \cdot t \cdot v \cdot A_n} \times (1.667 \times 10^4)$$

(식 11)

여기서, I = 등속흡입계수 (%)

P_s = 배출가스 압력 (mmHg: $P_a + P_s$)

P'_s = 배출가스 정압

T_s = 배출가스 평균 절대온도(K: $273 + \Theta_s$ (°C))

V_{ic} = 임핀저와 실리카젤에 채취된 물의 총량 (mL)

V_m = 건식가스미터에서 읽은 가스시료 채취량 (m³)

T_m = 건식가스미터의 평균 절대온도 (K: $273 + \Theta_m$ (°C))

P_a = 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

ΔH = 오리피스 압차 (mmH₂O)

t = 총시료 채취시간 (분)

v = 배출가스 유속 (m/s)

A_n = 노즐의 단면적 (cm²)

6.1.3 시료회수

6.1.3.1 시료채취장치 1형을 사용하는 경우

6.1.3.1.1 시료채취가 끝나면 흡입관을 빼내어 방냉한 후 노즐 주변의 먼지를 닦아낸다. 흡입관과 여과지홀더를 분리하고 먼지가 채취된 여과지는 시료보관병에 넣는다.

6.1.3.1.2 첫 번째와 두 번째 및 세 번째 임핀저에 들어있는 물의 무게를 측정한 후 버린다.

6.1.3.1.3 임핀저 트레인 중에 첫 번째와 두 번째 임핀저에 들어있는 물을 ±1 mL까지 측정하거나 혹은 저울을 이용해 ±0.5 g 이내까지 정확히 측정하고 네 번째 임핀저에 들어 있는 실리카젤은 10 mg까지 무게를 단다. 채취 전후의 실리카젤 무게차와 임핀저 내

의 물 부피 차의 합이 채취된 물의 총량이다. ^[1]

6.1.3.2 시료 채취장치 2형을 사용하는 경우

시료채취가 모두 끝나면 흡입관을 굴뚝 내에서 빼내 방냉한 후 노즐 주변에 붙은 먼지를 닦아내고 마개를 하여 시료채취부 (여과부 + 임핀저트레인)를 분리한다. 시료채취부를 깨끗하고 바람이 불지 않는 장소로 옮겨 여과지홀더와 임핀저트레인을 분리한다. 첫 번째, 두 번째 및 세 번째 임핀저에 들어 있는 물의 무게를 측정 후 버린다. 다음과 같이 각 시료보관 용기에 시료를 넣는다.

6.1.3.2.1

용기 No. 1 : 여과지홀더에서 조심스럽게 여과지를 분리하여 페트리 접시용기에 넣는다.

6.1.3.2.2

용기 No. 2 : 흡입노즐, 흡입관, 접속부, 여과지홀더 등의 내부에 붙은 먼지를 아세톤으로 세척하여 그 세척액을 이 용기에 넣는다 (현장바탕시험을 위해 아세톤의 일부를 남겨둔다).

6.1.3.2.3

용기 No. 3 : 네 번째 임핀저에 들어있는 실리카겔을 이 용기에 옮겨 넣고 마개를 한다.

6.1.3.2.4

[1] 임핀저와 실리카겔에 채취된 물의 총량을 구하기가 어려울 경우 다음식에 의해 계산하여도 된다.

$$V_{ic} = V_s \times \left(\frac{X_w}{100 - X_w} \right) \times \frac{18}{22.4}$$

여기서, V_{ic} = 임핀저와 실리카겔에 채취된 물의 총량 (mL)

V_s = 건식가스미터에서 읽은 가스시료 채취량 (L)

X_w = 습윤 배출가스 중의 수증기 부피 백분율 (%)

용기 No. 3의 실리카겔은 0.5 g까지 무게를 단다. 채취 전후의 실리카겔 무게차와 임편저 내 물 부피 차의 합이 채취된 물의 총량이 된다.

6.2 수동식 채취기

6.2.1 시료채취방법

먼지 시료채취 방법으로는 직접채취법, 이동채취법, 대표점채취법 등이 있다.

6.2.1.1 직접 채취법

측정점마다 1 개의 먼지채취기를 사용하여 시료를 채취한다.

6.2.1.2 이동 채취법

1 개의 먼지채취기를 사용하여 측정점을 이동하면서 각각 같은 흡입시간으로 먼지시료를 채취한다.

6.2.1.3 대표점 채취법

5.3의 규정에 따라 정해진 대표점에서 1개 또는 수 개의 먼지채취기를 사용하여 먼지시료를 채취한다.

6.2.2 시료채취절차

6.2.2.1 5.4항과 같이 측정점 수를 선정한다.

6.2.2.2 7.1.3.1과 같이 배출가스의 온도를 측정한다.

6.2.2.3 7.2.4.2와 같이 배출가스 중의 수분량을 측정한다.

6.2.2.4 7.2.5와 같이 배출가스의 유속을 측정한다.

6.2.2.5 흡입노즐이 배출가스가 흐르는 역방향으로 향하도록 흡입노즐을 측정점까지 끼워 넣고 흡입을 시작할 때 배출가스가 흐르는 방향에 직면하도록 돌려 편차를 10° 이하로 한다.

6.2.2.6 배출가스의 흡입은 흡입노즐로부터 흡입되는 가스의 유속과 측정점의 배출가스 유속이 일치하도록 등속흡입을 행한다.

6.2.2.7 보통형 (1형) 흡입노즐을 사용할 때 등속흡입을 위한 흡입량은 다음 식에 의하여 구한다.

$$q_m = \frac{\pi}{4} d^2 v \left(1 - \frac{X_w}{100}\right) \frac{273 + \theta_m}{273 + \theta_s} \times \frac{P_a + P_s}{P_a + P_m - P_v} \times 60 \times 10^{-3} \quad (\text{식 } 12)$$

여기서, q_m = 가스미터에 있어서의 등속 흡입유량 (L/min)

d = 흡입노즐의 내경 (mm)

v = 배출가스 유속 (m/s)

X_w = 배출가스 중의 수증기의 부피 백분율 (%)

θ_m = 가스미터의 흡입가스 온도 (°C)

θ_s = 배출가스 온도 (°C)

P_a = 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

P_s = 측정점에서의 정압 (mmHg)

P_m = 가스미터의 흡입가스 게이지압 (mmHg)

P_v = θ_m 의 포화수증기압 (mmHg)

[주 4] 건식 가스미터를 사용하거나 수분을 제거하는 장치를 사용할 때는 P_v 를 제거한다.

등속흡입 정도를 알기 위하여 다음 식에 의해 구한 값이 90 % ~ 110 % 범위여야 한다.

$$I(\%) = \frac{V'_m}{q_m \times t} \times 100 \quad (\text{식 } 13)$$

여기서, I = 등속흡입계수 (%)

V'_m = 흡입가스량 (습식가스미터에서 읽은 값) (L)

q_m = 가스미터에 있어서의 등속 흡입유량 (L/min)

t = 가스 흡입시간 (min)

6.2.2.8 흡입가스량은 원칙적으로 채취량이 원형여과지일 때 채취면적 1 cm^2 당 1 mg 정도, 원통형여과지일 때는 전체채취량이 5 mg 이상 되도록 한다. 다만, 동 채취량을 얻기 곤란한 경우에는 흡입유량을 400 L 이상 또는 흡입시간을 40 분 이상으로 한다.

6.2.2.9 배출가스를 흡입한 후에는 흡입을 중단하고 흡입노즐을 다시 역방향으로 한 후 속히 연도 밖으로 끄집어낸다. 먼지채취기 뒤쪽의 배관은 그때까지 떼어서는 안 된다. 단, 굴뚝 내의 부압이 클 때는 흡입노즐을 반대방향으로 향한 채 흡입량을 측정하고 흡입펌프를 작동시킨 채 신속히 흡입노즐을 꺼내고 정지시킨다.

6.2.2.10 시료채취가 끝나면 흡입관을 빼내고 방냉한 후 노즐 주변의 먼지를 닦아낸다.

6.2.2.11 흡입관과 여과지 홀더를 분리하고 먼지가 채취된 여과지는 시료보관병에 보관한다.

6.2.3 시료회수

6.2.3.1 시료채취장치 1형을 사용하는 경우

6.2.3.1.1 시료채취가 끝나면 흡입관을 빼내어 방냉한 후 노즐 주변의 먼지를 닦아낸다. 흡입관과 여과지홀더를 분리하고 먼지가 채취된 여과지는 시료보관병에 넣는다.

6.2.3.1.2 첫 번째와 두 번째 및 세 번째 임핀저에 들어있는 물의 무게를 측정한 후 버린다.

6.2.3.1.3 임핀저 트레인 중에 첫 번째와 두 번째 임핀저에 들어있는 물을 $\pm 1\text{ mL}$ 까지 측정하거나 혹은 저울을 이용해 $\pm 0.5\text{ g}$ 이내까지 정확히 측정하고 네 번째 임핀저에 들어있는 실리카겔은 10 mg 까지 무게를 단다. 채취 전후의 실리카겔 무게 차와 임핀저 내의 물 부피 차의 합이 채취된 물의 총량이다. ^[1]

6.2.3.2 시료채취장치 2형을 사용하는 경우

시료채취가 모두 끝나면 흡입관을 굴뚝 내에서 빼내 방냉한 후 노즐 주변에 붙은 먼지를 닦아내고 마개를 하여 시료채취부 (여과부 + 임핀저트레인)를 분리한다. 시료채취부를 깨끗하고 바람이 불지 않는 장소로 옮겨 여과지홀더와 임핀저트레인을 분리한다. 첫 번째, 두 번째 및 세 번째 임핀저에 들어있는 물의 무게를 측정한 후 버린다. 다음과 같이 각 시료보관 용기에 시료를 넣는다.

6.2.3.2.1

용기 No. 1 : 여과지 홀더에서 조심스럽게 여과지를 분리하여 페트리 접시용기에 넣는다.

6.2.3.2.2

용기 No. 2 : 흡입노즐, 흡입관, 접속부, 여과지 홀더 등의 내부에 붙은 먼지를 아세톤으로 세척하여 그 세척액을 이 용기에 넣는다 (현장바탕시험을 위해 아세톤의 일부를 남겨둔다).

6.2.3.2.3

용기 No. 3 : 네 번째 임핀저에 들어있는 실리카겔을 이 용기에 옮겨 넣고 마개를 한다.

6.2.3.2.4

용기 No. 3의 실리카겔은 0.5 g까지 무게를 단다. 채취 전후의 실리카겔 무게 차와 임핀저내 물 부피 차의 합이 채취된 물의 총량이 된다.

[1] 임핀저와 실리카겔에 채취된 물의 총량을 구하기가 어려울 경우 다음식에 의해 계산하여도 된다.

$$V_{ic} = V_s \times \left(\frac{X_w}{100 - X_w} \right) \times \frac{18}{22.4}$$

여기서, V_{ic} = 임핀저와 실리카겔에 채취된 물의 총량 (mL)

V_s = 건식가스미터에서 읽은 가스시료 채취량 (L)

X_w = 습윤 배출가스 중의 수증기 부피 백분율 (%)

6.3 자동식 채취기

6.3.1 시료채취방법

수동식 먼지 시료채취 방법으로는 직접채취법, 이동채취법, 대표점채취법 등이 있다.

6.3.1.1 직접 채취법

측정점마다 1 개의 먼지채취기를 사용하여 시료를 채취한다.

6.3.1.2 이동 채취법

1 개의 먼지채취기를 사용하여 측정점을 이동하면서 각각 같은 흡입시간으로 먼지 시료를 채취한다.

6.3.1.3 대표점 채취법

5.4의 규정에 따라 정해진 대표점에서 1 개 또는 수 개의 먼지채취기를 사용하여 먼지 시료를 채취한다.

6.3.2 시료채취절차

6.3.2.1 시료채취는 5.4와 같이 측정점수를 선정하여 시료채취부의 노즐을 상부 방향으로 측정점에 도달시킨 후 측정과 동시 노즐을 하부방향으로 하여 최소 2 분에 1 회씩 측정점을 이동하면 등속흡입은 자동으로 이루어지며 그때 시료채취량 및 흡입조건이 자동으로 제어 및 저장된다.

6.3.2.2 등속흡입 계수가 90 % ~ 110 % 범위에 동작할 수 있도록 등속흡입 유량 자동 시간을 설정한다.

6.3.3 시료회수

6.3.3.1 시료채취장치 1형을 사용하는 경우

6.3.3.1.1 시료채취가 끝나면 흡입관을 빼내어 방냉한 후 노즐 주변의 먼지를 닦아낸다. 흡입관과 여과지홀더를 분리하고 먼지가 채취된 여과지는 시료보관병에 넣는다.

6.3.3.1.2 첫 번째와 두 번째 및 세 번째 임핀저에 들어있는 물의 무게를 측정한 후 버린다.

6.3.3.1.3 임핀저 트레인 중에 첫 번째와 두 번째 임핀저에 들어있는 물을 ± 1 mL까지 측정하거나 혹은 저울을 이용해 ± 0.5 g 이내까지 정확히 측정하고 네 번째 임핀저에 들어있는 실리카겔은 10 mg까지 무게를 단다. 채취 전후의 실리카겔 무게 차와 임핀저 내의 물 부피 차의 합이 채취된 물의 총량이다. ^[1]

6.3.3.2 시료 채취장치 2형을 사용하는 경우

시료채취가 모두 끝나면 흡입관을 굴뚝 내에서 빼내 방냉한 후 노즐 주변에 붙은 먼지를 닦아내고 마개를 하여 시료채취부 (여과부 + 임핀저트레인)를 분리한다. 시료채취부를 깨끗하고 바람이 불지 않는 장소로 옮겨 여과지홀더와 임핀저트레인을 분리한다. 첫 번째, 두 번째 및 세 번째 임핀저에 들어있는 물의 무게를 측정한 후 버린다. 다음과 같이 각 시료 보관 용기에 시료를 넣는다.

6.3.3.2.1 용기 No. 1 : 여과지 홀더에서 조심스럽게 여과지를 분리하여 페트리 접시용기에 넣는다.

6.3.3.2.2 용기 No. 2 : 흡입노즐, 흡입관, 접속부, 여과지 홀더 등의 내부에 붙은 먼지

[1] 임핀저와 실리카겔에 채취된 물의 총량을 구하기가 어려울 경우 다음식에 의해 계산하여도 된다.

$$V_{ic} = V_s \times \left(\frac{X_w}{100 - X_w} \right) \times \frac{18}{22.4}$$

여기서, V_{ic} = 임핀저와 실리카겔에 채취된 물의 총량 (mL)

V_s = 건식가스미터에서 읽은 가스시료 채취량 (L)

X_w = 습윤 배출가스 중의 수증기 부피 백분율 (%)

를 아세톤으로 세척하여 그 세척액을 이 용기에 넣는다 (현장바탕시험을 위해 아세톤의 일부를 남겨둔다).

6.3.3.2.3 용기 No. 3 : 네 번째 임핀저에 들어있는 실리카겔을 이 용기에 옮겨 넣고 마개를 한다.

6.3.3.2.4 용기 No. 3의 실리카겔은 0.5 g까지 무게를 단다. 채취 전후의 실리카겔 무게 차와 임핀저 내 물 부피 차의 합이 채취된 물의 총량이 된다.

7.0 분석절차

7.1 반자동 채취장치의 전처리

7.1.1 시료 채취장치 1형을 사용하는 경우

7.1.1.1 원통형 여과지를 $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 충분히 1 시간 ~ 3 시간 건조하고 데시케이터 내에서 실온까지 냉각하여 무게를 0.1 mg까지 측정한 후 여과지홀더에 끼운다.

7.1.1.2 임핀저 트레인 중 첫번째와 두번째 임핀저에 각각 100 g의 물 (또는 과산화수소)을 넣고 네번째 임핀저에는 미리 무게를 단 200 g ~ 300 g의 실리카겔을 넣는다.

7.1.1.3 임핀저 트레인을 통과하는 배출가스의 온도가 높을 경우 임핀저 주위에 잘게 부순 얼음을 채워 넣는다.

7.1.2 시료 채취장치 2형을 사용하는 경우

7.1.2.1 원형 여과지를 $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 충분히 건조하고 데시케이터 내에서 실온까지 냉각하여 무게를 0.1 mg까지 측정한 후 여과지홀더에 끼운다.

7.1.2.2 먼지 채취량이 100 mg을 초과할 것으로 예상되는 경우에는 흡입관과 여과지홀더 사이에 유리제 사이클론을 연결하여 사용한다.

7.1.2.3 임핀저 트레인 중 첫 번째 및 두 번째 임핀저에 각각 100 g의 물을 넣고 세번

째 임핀저는 비워두며 네 번째 임핀저에는 미리 무게를 단 약 200 g ~ 300 g의 실리카 젤을 넣는다.

7.1.2.4 임핀저 주위에는 잘게 부순 얼음을 채워 넣는다.

7.1.2.5 임핀저 트레인은 배출가스의 냉각 (20 °C 이하), 수분제거 및 채취된 물의 총량결정, 유해 가스 제거 등을 위해 사용한다.

7.1.2.6 임핀저 트레인에 흡입관을 연결한 후 흡입관 출구에서 시료가스의 온도가 $120\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 가 되도록 가열기를 조정하고 여과부 가열장치를 작동하여 여과지홀더 주위를 같은 온도로 유지한다.

7.1.3 측정방법

굴뚝에서 배출되는 먼지시료를 반자동식 채취기를 이용 배출가스의 유속과 같은 속도로 시료가스를 흡입 (이하 등속흡입이라 한다)하여 일정온도로 유지되는 실리카 섬유제 여과지에 먼지를 채취한다. 먼지가 채취된 여과지를 $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 충분히 1 시간 ~ 3 시간 건조시켜 부착수분을 제거한 후 먼지의 질량농도를 계산한다. 다만, 배연탈황시설과 황산미스트에 의해서 먼지농도가 영향을 받은 경우에는 여과지를 $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이상에서 4 시간이상 건조시킨 후 먼지농도를 계산한다.

7.1.3.1 배출가스 온도 측정

7.1.3.1.1 측정점은 5.4의 규정에 따라 선정한다. 단, 측정점 수는 줄여도 무방하다.

7.1.3.1.2 측정기구는 액체를 넣은 유리 온도계, 전기식 온도계, 열전대 온도계 등을 사용한다.

7.1.3.1.3 측정방법은 측정기구를 측정공에 끼워 넣고 측정점에서 온도를 측정한다.

7.1.3.2 수분량 측정

ES 01321 배출가스 중 수분량에 따른다.

7.1.4 시료분석절차

7.1.4.1 시료 채취장치 1형을 사용하는 경우

7.1.4.1.1 시료를 $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 충분히 건조하고 데시케이터 내에서 실온까지 냉각하여 무게를 0.1 mg까지 측정한다.

7.1.4.1.2 현장바탕시험용 여과지도 시료와 동일한 조건에서 무게를 단다.

7.1.4.1.3 채취된 먼지량은 다음과 같이 구한다.

채취된 먼지량 = 먼지 채취 전후의 여과지 무게 차 \pm 현장바탕시험에 사용된 여과지 무게차이다.

7.1.4.1.4 임핀저 트레이인 중에 첫 번째와 두 번째 임핀저에 들어있는 물을 $\pm 1\text{ mL}$ 까지 측정하거나 혹은 저울을 이용해 $\pm 0.5\text{ g}$ 이내까지 정확히 측정하고 네 번째 임핀저에 들어 있는 실리카젤은 10 mg까지 무게를 단다. 채취 전후의 실리카젤 무게 차와 임핀저 내의 물 부피 차의 합이 채취된 물의 총량이다. ^[1]

7.1.4.2 시료 채취장치 2형을 사용하는 경우

7.1.4.2.1 용기 No. 1의 시료를 평량접시에 옮긴 다음, $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 충분히 건조하고 데시케이터 내에서 실온까지 냉각하여 가능한 무게를 0.1 mg까지 측정한다.

7.1.4.2.2 용기 No. 2의 세척액을 비커에 옮기고 방치하여 아세톤을 증발시킨 다음, 데시케이터 내에서 24 시간 동안 건조시켜 무게를 0.1 mg까지 측정한다. 현장바탕시험은

[1] 임핀저와 실리카젤에 채취된 물의 총량을 구하기가 어려울 경우 다음식에 의해 계산하여도 된다.

$$V_{ic} = V_s \times \left(\frac{X_w}{100 - X_w} \right) \times \frac{18}{22.4}$$

여기서, V_{ic} = 임핀저와 실리카젤에 채취된 물의 총량 (mL)

V_s = 건식가스미터에서 읽은 가스시료 채취량 (L)

X_w = 습윤 배출가스 중의 수증기 부피 백분율 (%)

세척에 사용된 양과 같은 양의 아세톤을 사용하여 위와 같이 행한다.

7.1.4.2.3 채취된 먼지량을 다음과 같이 구한다.

채취된 먼지량 = 용기 No. 1의 먼지시료 무게 (채취전후의 여과지 무게 차) + 용기 No. 2의 먼지시료 무게 - 현장바탕시험시의 불순물 무게.

7.1.4.2.4 용기 No. 3의 실리카젤은 0.5 g까지 무게를 단다. 채취 전후의 실리카젤 무게 차와 임핀저 내 물 부피 차의 합이 채취된 물의 총량이 된다.

7.2 수동식 채취장치의 전처리

7.2.1 여과지를 통과하는 가스의 걸보기 유속이 원칙적으로 0.5 m/s 이하가 되도록 흡입노즐 지름 및 여과지를 선정한다.

7.2.2 원통형 또는 원형여과지는 $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 충분히 1 시간 ~ 3 시간 건조하고 데시케이터 내에서 실온까지 냉각하여 0.1 mg까지 정확히 단 후 여과지 홀더에 끼운다.

7.2.3 먼지채취부, 가스흡입부, 흡입유량 측정부의 연결부분을 연결한다.

7.2.4 측정방법

측정공에 시료 채취장치의 흡입관을 굴뚝 내부에 삽입하여 그 선단을 채취점에 일치시키고 등속흡입한다. 먼지가 채취된 여과지를 $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 충분히 1 시간 ~ 3 시간 건조시켜 부착수분을 제거한 후 먼지의 질량농도를 계산한다. 다만, 배연탈황 시설과 황산미스트에 의해서 먼지농도가 영향을 받은 경우에는 여과지를 $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이상에서 4 시간이상 건조시킨 후 먼지농도를 계산한다.

7.2.4.1 배출가스 온도측정

7.2.4.1.1 측정점은 5.4의 규정에 따라 선정한다. 단, 측정점 수는 줄여도 무방하다.

7.2.4.1.2 측정기구는 액체를 넣은 유리 온도계, 전기식 온도계, 열전대 온도계 등을 사용한다.

7.2.4.1.3 측정방법은 측정기구를 측정공에 끼워넣고 측정점에서 온도를 측정한다.

7.2.4.2 배출가스 수분량 측정

7.2.4.2.1 배출가스 중 수분량 측정 (흡습관법)

- (1) 흡습관법에 따른 수분량 측정장치는 그림 17에 보기를 든 바와 같이 흡입관, 흡습관, 가스흡입장치, 적산유량계 (가스미터) 등으로 구성한다.
- (2) 흡입관으로는 스테인리스강 재질 또는 석영제 유리관을 사용한다. 먼지의 혼입을 방지하기 위하여 흡입관의 선단에 유리섬유 등의 여과지를 넣어둔다.
- (3) 배출가스 중의 수분량은 습한 가스 중의 수증기의 부피 백분율로 표시하고 다음 식에 의하여 구한다.

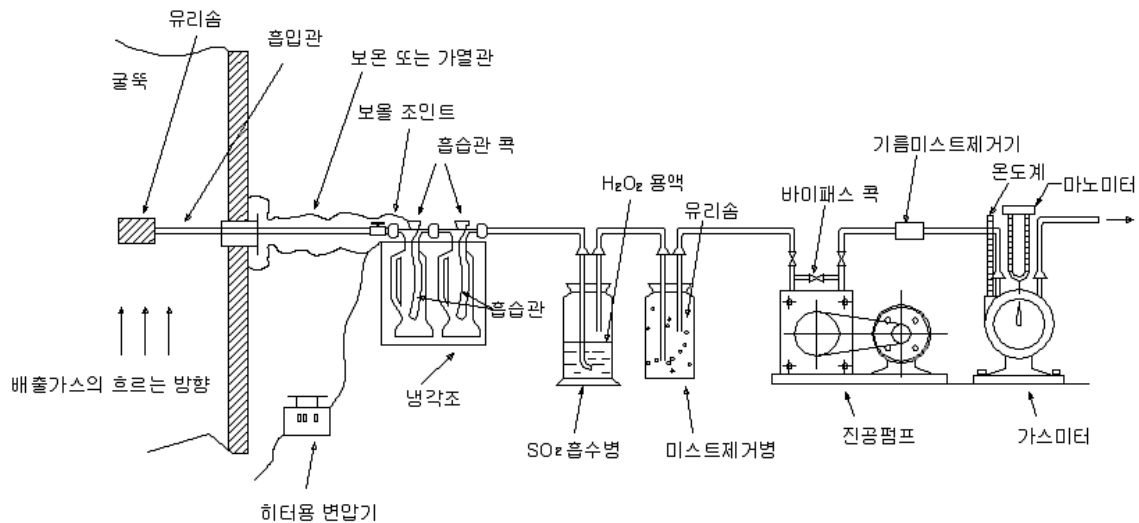


그림 17. 수분측정장치의 구성

(가) 습식 가스미터를 사용할 때

$$X_w = \frac{\frac{22.4}{18} m_a}{V_m \times \frac{273}{273 + \Theta_m} \times \frac{P_a + P_m - P_v}{760} + \frac{22.4}{18} m_a} \times 100 \quad (\text{식 14})$$

(나) 건식 가스미터를 사용할 때

식 22에서 P_v 항을 삭제하고, V_m 을 흡입한 가스량 (건식가스미터에서 읽은 값)으로 계산한다. 단, 건식가스미터의 앞에서 가스를 건조한 경우에 한한다.

$$X_w = \frac{\frac{22.4}{18} m_a}{V_m' \times \frac{273}{273 + \theta_m} \times \frac{P_a + P_m}{760} + \frac{22.4}{18} m_a} \times 100 \quad (\text{식 15})$$

여기서, X_w = 배출가스 중의 수증기의 부피 백분율 (%)

m_a = 흡습 수분의 질량 ($m_{a2} - m_{a1}$) (g)

V_m = 흡입한 가스량 (건식 가스미터에서 읽은 값) (L)

V_m' = 흡입한 가스량 (습식 가스미터에서 읽은 값) (L)

θ_m = 가스미터에서의 흡입 가스온도 (°C)

P_a = 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

P_m = 가스미터에서의 가스게이지압 (mmHg)

P_v = θ_m 에서의 포화 수증기압 (mmHg)

[주 5] 물의 포화수증기압은 별표 1에 의하여 구한다.

7.2.4.2.2 배출가스 중 수분량 측정 (자동측정법)

ES 01321.3 배출가스 중 수분량 - 자동측정법에 따른다.

7.2.4.2.3 배출가스 중 수분량 측정 (계산법)

ES 01321.4 배출가스 중 수분량 - 계산법에 따른다.

7.2.4.2.4 배출가스 중 수분량 측정 (농축기법)

ES 01321.5 배출가스 중 수분량 - 농축기법에 따른다.

7.2.5 배출가스의 유속 측정

7.2.5.1 측정점

측정점은 5.4의 규정에 의하여 선정한다.

7.2.5.2 유속 측정방법

배출가스의 동압을 측정하는 기구로서는 피토관 계수가 정해진 피토관과 경사마노미터 등을 사용한다. 측정기구의 보기는 그림 18과 같다. 피토관이 전압 (total pressure) 공을 측정점에서 가스의 흐르는 방향에 직면하게 놓고 전압과 정압 (static pressure) 의 차이로 동압 (Velocity pressure)을 측정한다. 각 측정점의 유속은 다음 식에 따라 구한다.

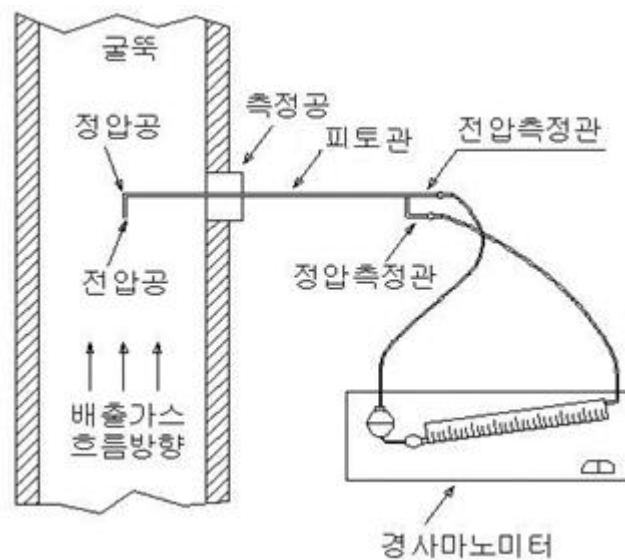


그림 18. 피토관에 의한 배출가스 유속측정

$$V = C \sqrt{\frac{2gh}{r}} \quad (\text{식 } 16)$$

여기서, V = 유속 (m/s)

C = 피토관 계수

h = 피토관에 의한 동압 측정치 (mmH₂O)

g = 중력가속도 (9.81 m/s²)

γ = 굴뚝 내의 배출가스 밀도 (kg/m³)

[주 6] 배출가스 유속의 측정에는 피토관으로 교정한 풍속계 등의 기체 유속계를 써도 좋다. 단, 배출가스의 성상 (온도, 압력 및 조성) 및 성질에 따라 지시치가 달라질 때는 피토관에 의한 측정치로 보정한다.

7.2.5.3 배출가스의 정압 측정방법

측정기구는 피토관 또는 정압관 및 U자형 마노미터 등을 사용하여 각 측정점에서 정압을 측정한다. 단, 측정점의 수는 줄여도 좋다.

7.2.5.4 배출가스의 밀도를 구하는 방법

배출가스 조성으로부터 아래 계산식으로 구하거나 가스밀도계에 의한 측정치로 계산한다.

$$r = r_o \times \frac{273}{273 + \Theta_s} \times \frac{P_a + P_s}{760} \quad (\text{식 17})$$

$$\text{이때, } r_o = \frac{1}{22.4 \times 100} \left\{ (M_1 x_1 + M_2 x_2 + \dots + M_n x_n) \frac{100 - X_w}{100} + 18 X_w \right\}$$

$$\text{또는, } r_o = r_d \frac{100 - X_w}{100} + \frac{18}{22.4 \times 100} X_w$$

여기서 r = 굴뚝 내의 배출가스 밀도 (kg/m³)

r_o = 온도 0 °C 기압 760 mmHg로 환산한 습한 배출가스 밀도 (kg/Sm³)

r_d = 가스밀도계에 의해 구한 건조 배출가스 밀도 (kg/m³)

P_a = 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

P_s = 각 측정점에서 배출가스 정압의 평균치 (mmHg)

Θ_s = 각 측정점에서 배출가스 온도의 평균치 (°C)

M_1, M_2, \dots, M_n = 배출가스 각 성분의 분자량

x_1, x_2, \dots, x_n = 건조배출가스 각 성분의 부피 백분율 (%)

X_w = 배출가스 중의 수증기의 부피 백분율 (%)

[주 7] 일반적으로 고체연료 및 액체연료를 공기를 사용하여 연소시킬 때는 $r_o = 1.30$

kg/m³로 하는 것도 좋다.

7.2.6 시료분석절차

7.2.6.1 시료를 110 °C ± 5 °C로 충분히 1 시간 ~ 3 시간 건조하고 데시케이터 내에서 실온까지 냉각하여 가능한 무게를 0.1 mg까지 측정한다.

7.2.6.2 현장바탕시험용 여과지도 시료와 동일한 조건에서 무게를 단다.

7.2.6.3 채취된 먼지량은 다음과 같이 구한다.

채취된 먼지량 = 먼지채취 전후의 여과지 무게 차 ± 현장바탕시험에 사용된 여과지 무게 차

7.2.6.4 원형여과지를 사용하는 경우에는 채취관에 잔존하는 먼지를 고려하여야 한다.

7.3 자동식 채취장치의 전처리

7.3.1 시료채취장치 1형을 사용하는 경우

7.3.1.1 원통형 여과지를 110 °C ± 5 °C에서 충분히 1 시간 ~ 3 시간 건조하고 데시케이터 내에서 실온까지 냉각하여 가능한 무게를 0.1 mg까지 측정한 후 여과지홀더에 끼운다.

7.3.1.2 임핀저 트레이인 중 첫 번째와 두 번째 임핀저에 각각 100 g의 물 (또는 과산화수소)을 넣고 네 번째 임핀저에는 미리 무게를 단 200 g ~ 300 g의 실리카겔을 넣는다.

7.3.1.3 임핀저 트레이를 통과하는 배출가스의 온도가 높을 경우 임핀저 주위에 잘게 부순 얼음을 채워 넣는다.

7.3.2 시료채취장치 2형을 사용하는 경우

7.3.2.1 원형 여과지를 110 °C ± 5 °C에서 충분히 건조하고 데시케이터 내에서 실온까지 냉각하여 무게를 0.1 mg까지 측정한 후 여과지 홀더에 끼운다.

7.3.2.2 먼지 채취량이 100 mg을 초과할 것으로 예상되는 경우에는 흡입관과 여과지 홀더 사이에 유리제 사이클론을 연결하여 사용한다.

7.3.2.3 임핀저 트레이인 중 첫 번째 및 두 번째 임핀저에 각각 100 g의 물을 넣고 세 번째 임핀저는 비워두며 네 번째 임핀저에는 미리 무게를 단 약 200 g ~ 300 g의 실리카겔을 넣는다.

7.3.2.4 임핀저 주위에는 잘게 부순 얼음을 채워 넣는다.

7.3.2.5 임핀저 트레이인은 배출가스의 냉각 (20 °C 이하), 수분제거 및 채취된 물의 총량결정, 유해가스 제거 등을 위해 사용한다.

7.3.2.6 임핀저 트레이인에 흡입관을 연결한 후 흡입관 출구에서 시료가스의 온도가 120 °C ± 14 °C가 되도록 가열기를 조정하고 여과부 가열장치를 작동하여 여과지 홀더 주위를 120 °C ± 14 °C로 유지한다.

7.3.3 측정방법

굴뚝에서 배출되는 먼지시료를 자동식 채취기를 이용 배출가스의 유속과 같은 속도로 시료가스를 흡입 (이하 등속흡입이라 한다)하여 일정온도로 유지되는 실리카 섬유제 여과지에 먼지를 채취한 후 먼지가 채취된 여과지를 7.2.1과 동일한 방법으로 조작한다.

7.3.3.1 배출가스 온도측정

측정점은 5.4의 규정에 따라 선정한다. 단, 측정점 수는 줄여도 무방하다. 측정기구는 0.1 °C까지 측정이 가능하고 출력할 수 있는 열전도 온도계 등을 사용한다. 측정기구를 측정공에 끼워놓고 측정점에서 자동으로 온도측정 후 기록한다.

7.3.3.2 수분량 측정

ES 01321 배출가스 중 수분량에 따른다. 가스흡입 유량조절은 자동 수분측정 모드 1

L/min ~ 2 L/min에 의한다.

7.3.4 시료분석절차

7.3.4.1 시료 채취장치 1형을 사용할 경우

7.3.4.1.1 시료를 110 °C ± 5 °C로 충분히 건조하고 데시케이터 내에서 실온까지 냉각하여 무게를 0.1 mg까지 측정한다.

7.3.4.1.2 현장바탕시험용 여과지도 시료와 동일한 조건에서 무게를 단다.

7.3.4.1.3 채취된 먼지량은 다음과 같이 구한다.

채취된 먼지량 = 먼지채취 전후의 여과지 무게 차 - 현장바탕시험에 사용된 여과지 무게 차

7.3.4.1.4 임핀저 트레이 중에 첫 번째와 두 번째 임핀저에 들어 있는 물을 ±1 mL까지 측정하거나 혹은 저울을 이용해 ±0.5 g 이내까지 정확히 측정하고 네 번째 임핀저에 들어있는 실리카겔은 10 mg까지 무게를 단다. 채취 전후의 실리카겔 무게 차와 임핀저 내의 물 부피 차의 합이 채취된 물의 총량이다. ^[1]

7.3.4.2 시료 채취장치 2형을 사용하는 경우

7.3.4.2.1 용기 No. 1의 시료를 평량접시에 옮긴 다음, 110 °C ± 5 °C에서 충분히 건조하고 데시케이터 내에서 실온까지 냉각하여 무게를 0.1 mg까지 측정한다.

7.3.4.2.2 용기 No. 2의 세척액을 비커에 옮기고 방치하여 아세톤을 증발시킨 다음, 데시케이터 내에서 24 시간 동안 건조시켜 무게를 0.1 mg까지 측정한다. 현장바탕시험은

[1] 임핀저와 실리카겔에 채취된 물의 총량을 구하기가 어려울 경우 다음식에 의해 계산하여도 된다.

$$V_{ic} = V_s \times \left(\frac{X_w}{100 - X_w} \right) \times \frac{18}{22.4}$$

여기서, V_{ic} = 임핀저와 실리카겔에 채취된 물의 총량 (mL)

V_s = 건식가스미터에서 읽은 가스시료 채취량 (L)

X_w = 습윤 배출가스 중의 수증기 부피 백분율 (%)

세척에 사용된 양과 같은 양의 아세톤을 사용하여 위와 같이 행한다.

7.3.4.2.3 채취된 먼지량을 다음과 같이 구한다.

채취된 먼지량 = 용기 No. 1의 먼지시료 무게 (채취 전후의 여과지 무게 차) + 용기 No. 2의 먼지시료 무게 - 현장바탕시험시의 불순물 무게.

7.3.4.2.4 용기 No. 3의 실리카겔은 0.5 g까지 무게를 단다. 채취 전후의 실리카겔 무게 차와 임핀저 내의 물 부피 차의 합이 채취된 물의 총량이 된다.

8.0 결과 보고

8.1 반자동 시료채취방법

8.1.1 농도의 계산

배출가스 중의 먼지농도는 표준상태 (0 °C, 760 mmHg)로 환산한 건조 배출가스 1 Sm³ 중에 포함되어있는 먼지의 무게로 표시하며 다음 식에 의해 소수점 둘째 자리까지 계산하고 소수점 첫째 자리까지 표기한다.

$$C_n = \frac{m_d}{V_m' \times \frac{273}{273 + \theta_m} \times \frac{P_a + \Delta H / 13.6}{760}} \quad (\text{식 } 18)$$

여기서, C_n = 먼지농도 (mg/Sm³)

m_d = 채취된 먼지량 (mg)

V_m' = 건식가스미터에서 읽은 가스시료 채취량 (m³)

θ_m = 건식가스미터의 평균온도 (°C)

P_a = 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

ΔH = 오리피스 압력차 (mmH₂O)

8.1.2 결과의 기록

이상의 방법에 의하여 측정 또는 계산하여 얻은 결과는 다음과 같이 정리하여 기록해

두어야 한다.

8.1.2.1 측정일시

8.1.2.2 측정대상의 조건

8.1.2.2.1 발생원의 종류

8.1.2.2.2 발생원의 사용 상황

8.1.2.2.3 측정위치

8.1.2.2.4 굴뚝의 형상 위치 및 대략

8.1.2.2.5 측정점의 수 및 위치

8.1.2.3 배출가스의 조건

8.1.2.3.1 배출가스의 온도 (θ_s)

8.1.2.3.2 배출가스 수분량 (X_w)

8.1.2.3.3 배출가스 정압 (P_s)

8.1.2.3.4 배출가스 유속 (V)

8.1.2.3.5 건조가스의 유량 (V'_m)

8.1.3 먼지시료의 채취조건

8.1.3.1 먼지 채취기의 종류, 재질, 치수

8.1.3.2 먼지농도 측정방법 (채취방법, 흡입노즐, 먼지채취부의 배치, 먼지의 건조조건)

8.1.3.3 등속흡입 유량 (qm)

8.1.3.3.1 흡입시간 (t)

8.1.3.3.2 흡입가스량 (Vm)

8.1.3.3.3 흡입 채취면지량 (md)

8.1.4 먼지농도 (Cn)

8.1.5 분석자 성명

8.2 수동식 시료채취방법

8.2.1 농도의 계산

8.2.1.1 흡입가스 유량 측정방법

흡입가스 유량의 측정은 원칙적으로 적산유량계 (가스미터) 및 순간유량계 (로터미터, 차압유량계 등)을 사용한다. 흡입시간을 확인하기 위하여 흡입개시 및 종료시각을 기록한다. 흡입시작 및 종료 시에 있어서 가스미터의 눈금을 0.1 L까지 읽어둔다. 흡입시간 중 가스미터에 있어서 흡입가스 온도 및 압력을 측정한다. 표준상태에서 흡입한 건조 가스량은 다음 식으로 구한다.

8.2.1.1.1 습식 가스미터를 사용할 경우

$$V'_n = V_m \times \frac{273}{273 + \theta_m} \times \frac{P_a + P_m - P_v}{760} \times 10^{-3} \quad (\text{식 } 19)$$

8.2.1.1.2 건식 가스미터를 사용할 경우

$$V'_n = V'_m \times \frac{273}{273 + \Theta_m} \times \frac{P_a + P_m}{760} \times 10^{-3} \quad (\text{식 } 20)$$

여기서, V'_n = 표준상태에서 흡입한 건조 가스량 (Sm^3)

V'_m = 흡입가스량으로 습식 가스미터에서 읽은 값 (L)

V_m = 흡입가스량으로 건식 가스미터에서 읽은 값 (L)

Θ_m = 가스미터의 흡입가스 온도 ($^{\circ}\text{C}$)

P_a = 측정공 위치에서의 대기압 (mmHg)

P_m = 가스미터의 가스 게이지압 (mmHg)

$P_v = \Theta_m$ 에서 포화수증기압 (mmHg)

[주 8] 로터미터나 차압유량계를 사용하여 흡입가스 유량을 측정할 때는 그 유량계의 유량 측정방법에 규정한 대로 측정한다.

8.2.1.2 각 측정점의 먼지농도

배출가스 중의 먼지농도는 표준상태 (0°C , 760 mmHg)로 환산한 건조 배출가스 1 m^3 중에 포함되어있는 먼지의 무게로 표시하며 다음 식에 의하여 소수점 둘째 자리까지 계산하고 소수점 첫째 자리까지 표기한다.

$$C_n = \frac{m_d}{V'_n} \quad (\text{식 } 21)$$

여기서, C_n = 건조 배출가스 중의 먼지농도 (mg/Sm^3)

m_d = 채취된 먼지의 무게 (mg)

V'_n = 표준상태의 흡입 건조 배출가스량 (Sm^3)

8.2.1.3 전체 단면의 건조 배출가스 중의 평균 먼지농도

구분한 각 단면의 먼지농도로부터 다음 식에 의하여 구한다.

$$\overline{C_n} = \frac{C_{n1} \cdot A_1 \cdot V_1 + C_{n2} \cdot A_2 \cdot V_2 + \cdots + C_{nm} \cdot A_n \cdot V_n}{A_1 \cdot V_1 + A_2 \cdot V_2 + \cdots + A_n \cdot V_n} \quad (\text{식 } 22)$$

여기서, $\overline{C_n}$ = 전체 단면의 평균 먼지농도 (mg/Sm^3)

$C_{n1} \cdot C_{n2} \cdot \dots \cdot C_{nm} =$ 각 단면의 먼지농도 (mg/Sm^3)

$A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_n =$ 각 단면의 면적 (m^2)

$V_1 \cdot V_2 \cdot \dots \cdot V_n =$ 각 단면의 가스유속 (m/s)

[주 9] 이동채취방법으로 측정한 전체 단면적의 평균 먼지 농도는 이것에 준하여 계산한다.

8.2.2 결과의 기록

이상의 방법에 의하여 측정 또는 계산하여 얻은 결과는 다음과 같이 정리하여 기록해 두어야 한다.

8.2.2.1 측정일시

8.2.2.2 측정대상의 조건

8.2.2.2.1 발생원의 종류

8.2.2.2.2 발생원의 사용 상황

8.2.2.2.3 측정위치

8.2.2.2.4 굴뚝의 형상 위치 및 대략 치수

8.2.2.2.5 측정점의 수 및 위치

8.2.2.3 배출가스의 조건

8.2.2.3.1 배출가스의 온도 (θ_s)

8.2.2.3.2 배출가스 수분량 (X_w)

8.2.2.3.3 배출가스 정압 (P_s)

8.2.2.3.4 배출가스 유속 (V)

8.2.2.3.5 습한 배출가스의 유량 (V'_m)

8.2.2.3.6 건조가스의 유량 (V_m)

8.2.2.4 먼지시료의 채취조건

8.2.2.4.1 먼지 채취기의 종류, 재질, 치수

8.2.2.4.2 먼지농도 측정방법 (채취방법, 흡입노즐, 먼지채취부의 배치, 먼지의 건조조건)

8.2.2.4.3 등속흡입 유량 (q_m)

8.2.2.4.4 흡입시간 (t)

8.2.2.4.5 흡입가스량 (V_m)

8.2.2.4.6 흡입 채취먼지량 (m_d)

8.2.2.5 먼지농도 (C_n)

8.2.2.6 분석자 성명

8.3 자동식 시료채취방법

8.3.1 농도의 계산

먼지농도 계산은 입자상 물질의 시료채취방법의 8.1항과 동일하게 계산한다.

8.3.2 결과의 기록

이상의 방법에 의하여 측정 또는 계산하여 얻은 결과는 다음과 같이 정리하여 기록해

두어야 한다.

8.3.2.1 측정일시

8.3.2.2 측정대상의 조건

8.3.2.2.1 발생원의 종류

8.3.2.2.2 발생원의 사용 상황

8.3.2.2.3 측정위치

8.3.2.2.4 굴뚝의 형상 위치 및 대략 치수

8.3.2.2.5 측정점의 수 및 위치

8.3.2.3 배출가스의 조건

8.3.2.3.1 배출가스의 온도 (θ_s)

8.3.2.3.2 배출가스 수분량 (X_w)

8.3.2.3.3 배출가스 정압 (P_s)

8.3.2.3.4 배출가스 유속 (V)

8.3.2.3.5 습한 배출가스의 유량 (V'_m)

8.3.2.3.6 건조가스의 유량 (V_m)

8.3.2.4 먼지시료의 채취조건

8.3.2.4.1 먼지 채취기의 종류, 재질, 치수

8.3.2.4.2 먼지농도 측정방법 (채취방법, 흡입노즐, 먼지채취부의 배치, 먼지의 건조조건)

8.3.2.4.3 등속흡입 유량 (q_m)

8.3.2.4.4 흡입시간 (t)

8.3.2.4.5 흡입가스량 (V_m)

8.3.2.4.6 흡입 채취먼지량 (m_d)

8.3.2.5 먼지농도 (C_n)

8.3.2.6 분석자 성명

9.0 참고자료

9.1 한국산업표준 (KS), KS I ISO 4225, “공기의 질 - 일반사항 - 용어”, 산업표준심의회, (2014)

9.2 한국산업표준 (KS), KS I ISO 14164, “고정 오염원 - 연도 내의 가스 유량 측정 (자동화법)”, 산업표준심의회, (2016)

9.3 한국산업표준 (KS), KS I ISO 9096, “고정 오염원 - 입자상 물질의 질량 농도 수동측정법”, 산업표준심의회, (2017)

9.4 한국산업표준 (KS), KS A 0079, “부유 분진 농도 측정 방법 통칙”, 산업표준심의회, (2019)

9.5 United States Environmental Protection Agency (US EPA) Method 1, “Sample and velocity traverses for stationary sources”, US EPA, (2000)

9.6 United States Environmental Protection Agency (US EPA) Method 2, "Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric Flow Rate", US EPA, (2000)

9.7 United States Environmental Protection Agency (US EPA) Method 5, "Determination of particulate matter emissions from stationary sources", US EPA, (2000)

9.8 United States Environmental Protection Agency (US EPA) Method 5I, "Determination of Low Level Particulate Matter Emissions From Stationary Sources", US EPA, (2006)

9.9 United States Environmental Protection Agency (US EPA) Method 17, "Determination of particulate matter emissions from stationary sources", US EPA, (2000)

9.10 United States Environmental Protection Agency (US EPA) Method 201A, "Determination of PM₁₀ (Constant sampling rate procedure)", US EPA, (1996)

9.11 United States Environmental Protection Agency (US EPA) Compendium Method IO-3.1, "Selection, preparation, extraction of filter material", US EPA, (1997)

9.12 American National Standard Institute (ANSI)/American Society for Testing and Materials (ASTM) D3154-14(2014), "Standard Test Method for Average Velocity in a Duct (Pitot Tube Method)", Annual book of ASTM, (2014)

9.13 American National Standard Institute (ANSI)/American Society for Testing and Materials (ASTM) D 3685/D 3685M-13, "Standard Test Methods for Sampling and Determination of Particulate Matter in Stack Gases", Annual book of ASTM, (2013)

9.14 American National Standard Institute (ANSI)/American Society for Testing

and Materials (ASTM) D 4096-17, "Standard Test Method for Determination of Total Suspended Particulate Matter in the Atmosphere (High Volume Sampler Method)", Annual book of ASTM, (2017)

10.0 부록

[별표 1] 물의 포화수증기압 (단위: mmHg)

온도 (℃)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4.585	4.618	4.652	4.686	4.720	4.754	4.788	4.823	4.858	4.893
1	4.929	4.964	5.000	5.036	5.073	5.109	5.146	5.183	5.220	5.258
2	5.295	5.333	5.372	5.410	5.449	5.488	5.527	5.566	5.606	5.646
3	5.686	5.727	5.767	5.808	5.850	5.891	5.933	5.975	6.017	6.059
4	6.102	6.145	6.189	6.232	6.276	6.320	6.365	6.409	6.454	6.499
5	6.545	6.591	6.637	6.683	6.730	6.777	6.824	6.871	6.919	6.967
6	7.016	7.064	7.113	7.163	7.212	7.262	7.312	7.363	7.414	7.465
7	7.516	7.568	7.620	7.673	7.725	7.779	7.832	7.885	7.939	7.994
8	8.048	8.103	8.158	8.214	8.270	8.326	8.383	8.440	8.497	8.555
9	8.613	8.671	8.730	8.789	8.848	8.908	8.968	9.029	9.090	9.150
10	9.212	9.274	9.336	9.399	9.462	9.526	9.589	9.653	9.718	9.783
11	9.848	9.914	9.980	10.05	10.11	10.18	10.25	10.32	10.38	10.45
12	10.52	10.59	10.66	10.73	10.80	10.87	10.95	11.02	11.09	11.16
13	11.24	11.31	11.38	11.46	11.53	11.61	11.69	11.76	11.84	11.92
14	11.99	12.07	12.15	12.23	12.31	12.39	12.47	12.55	12.63	12.71
15	12.79	12.88	12.96	13.04	13.13	13.21	13.30	13.38	13.47	13.56
16	13.64	13.73	13.82	13.91	14.00	14.08	14.17	14.26	14.36	14.45
17	14.54	14.63	14.72	14.82	14.91	15.01	15.10	15.20	15.29	15.39
18	15.49	15.58	15.68	15.78	15.88	15.98	16.08	16.18	16.28	16.39
19	16.49	16.59	16.70	16.80	16.91	17.01	17.12	17.22	17.33	17.44
20	17.55	17.66	17.77	17.88	17.99	18.10	18.21	18.32	18.44	18.55
21	18.66	18.78	18.89	19.01	19.13	19.25	19.36	19.48	19.60	19.72
22	19.84	19.96	20.09	20.21	20.33	20.46	20.58	20.71	20.83	20.96
23	21.09	21.21	21.34	21.47	21.60	21.73	21.86	22.00	22.13	22.26
24	22.40	22.53	22.67	22.80	22.94	23.08	23.22	23.36	23.50	23.64
25	23.78	23.92	24.06	24.21	24.35	24.50	24.64	24.79	24.94	25.08
26	25.23	25.38	25.53	25.68	25.84	25.99	26.14	26.30	26.45	26.61
27	26.76	26.92	27.08	27.24	27.40	27.56	27.72	27.88	28.05	28.21
28	28.38	28.54	28.71	28.88	29.05	29.21	29.38	29.56	29.73	29.90
29	30.07	30.25	30.42	30.60	30.78	30.95	31.13	31.31	31.49	31.67
30	31.86	32.04	32.22	32.41	32.60	32.78	32.97	33.16	33.35	33.54
31	33.73	33.92	34.12	34.31	34.51	34.70	34.90	35.10	35.30	35.50
32	35.70	35.91	36.11	36.31	36.52	36.72	36.93	37.14	37.35	37.56
33	37.77	37.98	38.20	38.41	38.63	38.84	39.06	39.28	39.50	39.72

34	39.94	40.17	40.39	40.62	40.84	41.07	41.30	41.53	41.76	41.99
35	42.22	42.46	42.69	42.93	43.17	43.41	43.65	43.89	44.13	44.37
36	44.62	44.86	45.11	45.36	45.61	45.86	46.11	46.36	46.61	46.87
37	47.13	47.38	47.64	47.90	48.16	48.42	48.69	48.95	49.22	49.49
38	49.75	50.02	50.30	50.57	50.84	51.12	51.39	51.67	51.95	52.23
39	52.51	52.79	53.08	53.36	53.65	53.94	54.23	54.52	54.81	55.10
40	55.40	55.69	55.99	56.29	56.59	56.89	57.19	57.50	57.80	58.11
41	58.42	58.73	59.04	59.35	59.67	59.98	60.30	60.62	60.94	61.26
42	61.58	61.91	62.23	62.56	62.89	63.22	63.55	63.88	64.22	64.56
43	64.89	65.23	65.57	65.92	66.26	66.61	66.95	67.30	67.65	68.00
44	68.36	68.71	69.07	69.43	69.78	70.15	70.51	70.87	71.24	71.61
45	71.98	72.35	72.72	73.09	73.47	73.85	74.23	74.61	74.99	75.38
46	75.76	76.15	76.54	76.93	77.32	77.72	78.12	78.51	78.91	79.31
47	79.71	80.12	80.52	80.94	81.35	81.75	82.17	82.59	83.01	83.43
48	83.85	84.27	84.69	85.12	85.55	85.98	86.41	86.85	87.28	87.72
49	88.16	88.60	89.04	89.49	89.94	90.38	90.84	91.29	91.74	92.20
50	92.66	93.12	93.58	94.05	94.51	94.99	95.45	95.92	96.40	96.88
51	97.36	97.84	98.32	98.80	99.29	99.78	100.3	100.8	101.3	101.8
52	102.3	102.8	103.3	103.8	104.3	104.8	105.3	105.8	106.3	106.8
53	107.4	107.9	108.4	108.9	109.5	110.0	110.5	111.1	111.6	112.1
54	112.7	113.2	113.8	114.3	114.9	115.4	116.0	116.6	117.1	117.7
55	118.2	118.8	119.4	119.9	120.5	121.1	121.7	122.3	122.8	123.4
56	124.0	124.6	125.2	125.8	126.4	127.0	127.6	128.2	128.8	129.4
57	130.0	130.7	131.3	131.9	132.5	133.1	133.8	134.4	135.0	135.7
58	136.3	137.0	137.6	138.2	138.9	139.5	140.2	140.9	141.5	142.2
59	142.8	143.5	144.2	144.8	145.5	146.2	146.9	147.6	148.2	148.9
60	149.6	150.3	151.0	151.7	152.4	153.1	153.8	154.5	155.3	156.0
61	156.7	157.4	158.1	158.9	159.6	160.3	161.1	161.8	162.5	163.3
62	164.0	164.8	165.5	166.3	167.1	167.8	168.6	169.4	170.1	170.9
63	171.7	172.4	173.2	174.0	174.8	175.6	176.4	177.2	178.0	178.8
64	179.6	180.4	181.2	182.0	182.9	183.7	184.5	185.3	186.2	187.0
65	187.8	188.7	189.5	190.4	191.2	192.1	192.9	193.8	194.7	195.5
66	196.4	197.3	198.2	199.0	199.9	200.8	201.7	202.6	203.5	204.4
67	205.3	206.2	207.1	208.0	209.0	209.9	210.8	211.7	212.7	213.6
68	214.5	215.5	216.4	217.4	218.3	219.3	220.2	221.2	222.2	223.1
69	224.1	225.1	226.1	227.1	228.0	229.0	230.0	231.0	232.0	233.0
70	234.0	235.1	236.1	237.1	238.1	239.2	240.2	241.2	242.3	243.3
71	244.4	245.4	246.5	247.5	248.6	249.7	250.7	251.8	252.9	254.0
72	255.0	256.1	257.2	258.3	259.4	260.5	261.6	262.8	263.9	265.0
73	266.1	267.3	268.4	269.5	270.7	271.8	273.0	274.1	275.3	276.4
74	277.6	278.8	280.0	281.1	282.3	283.5	284.7	285.9	287.1	288.3
75	289.5	290.7	291.9	293.2	294.4	295.6	296.9	298.1	299.3	300.6
76	301.8	303.1	304.4	305.6	306.9	308.2	309.4	310.7	312.0	313.3
77	314.6	315.9	317.2	318.5	319.8	321.2	322.5	323.8	325.1	326.5
78	327.8	329.2	330.5	331.9	333.2	334.6	336.0	337.3	338.7	340.1
79	341.5	342.9	344.3	345.7	347.1	348.5	349.9	351.4	352.8	354.2
80	355.7	357.1	358.6	360.0	361.5	362.9	364.4	365.9	367.3	368.8

81	370.3	371.8	373.3	374.8	376.3	377.8	379.3	380.9	382.4	383.9
82	385.5	387.0	388.6	390.1	391.7	393.2	394.8	396.4	398.0	399.5
83	401.1	402.7	404.3	405.9	407.5	409.2	410.8	412.4	414.0	415.7
84	417.3	419.0	420.6	422.3	424.0	425.6	427.3	429.0	430.7	432.4
85	434.1	435.8	437.5	439.2	440.9	442.6	444.4	446.1	447.9	449.6
86	451.4	453.1	454.9	456.7	458.4	460.2	462.0	463.8	465.6	467.4
87	469.2	471.1	472.9	474.7	476.5	478.4	480.2	482.1	484.0	485.8
88	487.7	489.6	491.5	493.3	495.2	497.2	499.1	501.0	502.9	504.8
89	506.8	508.7	510.6	512.6	514.6	516.5	518.5	520.5	522.5	524.4
90	526.4	528.4	530.4	532.5	534.5	536.5	538.5	540.6	542.6	544.7
91	546.7	548.8	550.9	553.0	555.1	557.2	559.2	561.4	563.5	565.6
92	567.7	569.8	572.0	574.1	576.3	578.4	580.6	582.8	585.0	587.1
93	589.3	591.5	593.7	596.0	598.2	600.4	602.6	604.9	607.1	609.4
94	611.6	613.9	616.2	618.5	620.8	623.1	625.4	627.7	630.0	632.3
95	634.7	637.0	639.3	641.7	644.1	646.4	648.8	651.2	653.6	656.0
96	658.4	660.8	663.2	665.6	668.1	670.5	673.0	675.4	677.9	680.3
97	682.8	685.3	687.8	690.3	692.8	695.3	697.9	700.4	702.9	705.5
98	708.0	710.6	713.2	715.7	718.3	720.9	723.5	726.1	728.7	731.4
99	734.0	736.6	739.3	741.9	744.6	747.3	749.9	752.6	755.3	758.0
100	760.7	763.5	766.2	768.9	771.7	774.4	777.2	779.9	782.7	785.5

(참고: Sonntag (1990), ITS-90 기반의 물의 포화수증기압)