

# 한치의 오차도 허용하지 않는 측정분석 기술



\*연재\*

## IV. 입자상오염물질

### 5. 결과산정

#### 5-1. 표준산소농도보정

대기환경보전법 시행규칙 제14조 별표 7의 배출허용기준중 표준산소농도를 적용받는 항목에 대하여는 다음 식을 적용하여 오염물질의 농도 및 배출가스량을 보정한다.

##### 5-1-1. 오염물질 농도 보정

$$C = Ca \times \frac{21 - Os}{21 - Oa}$$

- C : 오염물질 농도(mg/Sm<sup>3</sup> 또는 ppm)
- Os : 표준산소농도(%)
- Oa : 실측산소농도(%)
- Ca : 실측오염물질농도(mg/Sm<sup>3</sup> 또는 ppm)

##### 5-1-2. 배출가스유량 보정

$$Q = Qa \div \frac{21 - Os}{21 - Oa}$$

- Q : 배출가스유량(Sm<sup>3</sup>/일)
- Os : 표준산소농도(%)
- Oa : 실측산소농도(%)
- Qa : 실측배출가스유량(Sm<sup>3</sup>/일)

### 6. 참고자료

등속흡인계수 계산의 예  
굴뚝에서 시료채취를 수행할 때 다음의 측정

결과치 및 기본사항을 이용하여 등속흡인 계수(I Factor)를 구해보자.

(I Factor는 95~110% 이내이어야 한다.)

#### 6-1. 굴뚝배출가스의 측정결과치 및 기본사항

온도 = 142℃ 동압(평균) = 0.05inH<sub>2</sub>O(1.27mmH<sub>2</sub>O)  
정압 = -1.2inH<sub>2</sub>O = -2.24mmHg, 수분량 측정결과 8%, 피토우관 계수 = 0.84, 사용노즐 = 10mm(0.394in), 대기압 = 754mmHg, 건식 가스미터온도 = 13.8℃

#### 6-2. 계산과정

위에서 구한 배출가스온도, 평균동압, 가스메타온도, 대기압, 수분량 등의 자료를 계산자를 이용하여 K factor값을 산정한 결과 KF = 14.6을 얻었고 이에 따라 오리피스압차(ΔH)는 평균동압×KF이므로 이를 계산하면 0.73inH<sub>2</sub>O(1.36mmHg)로 되었다. 또한 배출가스 유속을 아래식을 이용하여 계산하면

$$\text{배출가스 유속} = C \times \sqrt{\frac{2 \times g \times h}{\gamma}} = 4.53\text{m/sec}$$

여기서 g = 중력가속도(9.8m/sec)

h = 평균동압(mmH<sub>2</sub>O)

$$r = \text{배출가스 밀도(kg/m}^3) = 1.3 \times \frac{273}{273 + T_s}$$

$$\times \frac{\text{대기압} + \text{정압}}{760} \quad (r_0 \approx 1.3)$$

측정결과와 계산결과에서 보면(채취시간 및 채취가스량은 가정)

$\Delta H(\text{오리피스차압}) = 0.73\text{inH}_2\text{O}$   
 [※ KF = 14.6], 총채취시간 : 240분,  
 총 시료채취가스량 : 3.36m<sup>3</sup>, Vic : 235ml,  
 유속 = 4.53m/sec 이므로 아래의 등속흡인계  
 수식을 이용하여 계산하면 등속흡인계수를 구할  
 수 있다.

$$I(\%) = \frac{T_s(0.00346V_{ic} + \frac{V'_m}{T_m}(P_{bar} + \frac{\Delta H}{13.6}))(1.667 \times 10^4)}{P_s \cdot t \cdot v \cdot A_n}$$

여기에서

- I = 등속계수(%)
- T<sub>s</sub> = 배출가스 평균 절대온도(°K:273+θs(°C))
- P<sub>s</sub> = 배출가스 압력(mmHg : 760+P<sub>s</sub>)
- V<sub>ic</sub> = 임핀저와 실리카겔에 채취된 물의 총량(ml)
- V'<sub>m</sub> = 건식가스미터에서 읽은 가스시료 채취량(m<sup>3</sup>)
- T<sub>m</sub> = 건식가스미터의 평균 절대온도(°K: 273+θm(°C))
- P<sub>bar</sub> = 측정공 위치의 대기압(mmHg)
- ΔH = 오리피스 압차(mmH<sub>2</sub>O)
- t = 총시료 채취시간(분)
- v = 배출가스 유속(m/s)
- A<sub>n</sub> = 노즐의 단면적(cm<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} \text{계산결과 } I(\%) &= \frac{415[0.00346 \times 235 + \frac{3.36}{286.8}(764 + 1.36)](1.667 \times 10^4)}{(760 - 2.24) \times 240 \times 4.53 \times 0.785} \\ &= \frac{415[0.8131 + 8.966] \times 1.667 \times 10^4}{646711.79} = 105\%(\text{등속흡인}) \end{aligned}$$

<참고>

등속흡인의 원리

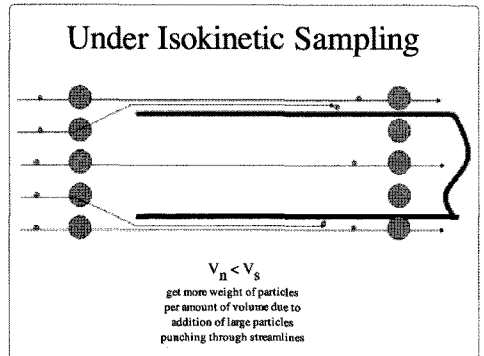
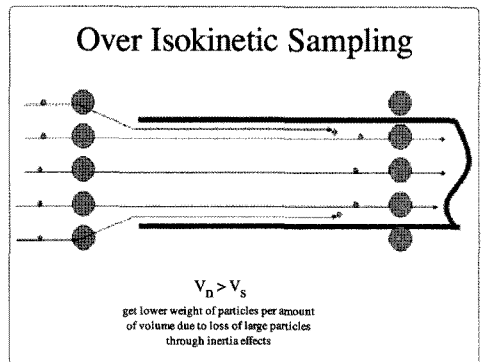
관로(굴뚝, 닥트 등)를 통과하는 배출가스(먼지 함유) 중의 먼지를 측정하기 위해서는 샘플링이 매우 중요하다. 관로를 흐르는 배출가스 중의 먼지를 샘플링하기 위해서는 샘플러가 필요하다. 샘플러에는 관로를 흐르는 배출가스를 흡입할 수 있는 흡입노즐이 장착되어 있으며, 이 흡입노즐을 관로 내에 삽입하여 배출가스를 샘플링

한다. 이 때 중요한 사항은 관로 내의 배출가스 유속과 흡입노즐 내의 가스 유속이 동일(등속 흡입)하여야 하고, 흡입노즐의 입구부가 유선 방향과 일치하여야 정확한 측정값을 얻을 수 있다. 관로 중의 배출가스 유속을 V<sub>s</sub>, 흡입노즐 내의 가스 유속을 V<sub>n</sub>이라 하면 다음의 관계가 성립한다(그림 참조).

1. V<sub>s</sub>와 V<sub>n</sub>의 대소가 측정값(먼지농도)에 미치는 영향

1-1. V<sub>s</sub> < V<sub>n</sub>: 측정값이 참값보다 낮게 나타남  
 흡입노즐 단면 외부의 배출가스 유선이 노즐 안으로 구부러져 흡입되므로 유량은 증가하나, 흡입노즐 단면 외부의 먼지는 관성에 의해 그대로 지나치므로 노즐에 흡입된 먼지의 질량에는 거의 변화가 없기 때문이다.

1-2. V<sub>s</sub> > V<sub>n</sub>: 측정값이 참값보다 높게 나타남  
 흡입노즐 단면 내부의 배출가스 유선이 노즐 밖으로 구부러져 흡입되지 않으므로 유량은 감소하나, 흡입노즐 단면 내부의 먼지는 관성에 의해 노즐 내부로 유입되므로 먼지의 질량에는 거의 변화가 없기 때문이다.



## 2. 등속흡입 시의 흡입노즐 방향에 따른 영향

흡입노즐의 배출가스 흡입방향이 배출가스의 유선방향과 일치하지 않을 경우, 배출가스는 구부러져 흡입되나 먼지는 관성에 의해 빠져나가므로 먼지의 질량이 감소하여 측정값이 참값보다 낮게 된다.

# V. 굴뚝연속자동측정기 측정원리

## 1. 먼지

먼지의 연속자동측정법에는 광산란적분법과 베타( $\beta$ )선 흡수법, 광투과법이 있다.

### 1-1. 광산란적분법

먼지를 포함하는 굴뚝배출가스에 빛을 조사하면 먼지로부터 산란광이 발생한다. 산란광의 강도는 먼지의 성상, 크기, 상대굴절율 등에 따라 변화하지만, 이들 조건이 동일하다면 먼지농도에 비례한다. 굴뚝에서 미리 구한 먼지농도와 산란도의 상관관계식에 측정된 산란도를 대입하여 먼지농도를 구한다.

### 1-2. 베타( $\beta$ )선 흡수법

시료가스를 등속흡인하여 굴뚝밖에 있는 자동 연속 측정기 내부의 여과지 위에 먼지시료를 채취한다. 이 여과지에 방사선 동위원소로부터 방출된  $\beta$ 선을 조사하고 먼지에 의해 흡수된  $\beta$ 선량을 구한다. 굴뚝에서 미리 구해놓은  $\beta$ 선 흡수량과 먼지농도사이의 관계식에 시료채취 전후의  $\beta$ 선 흡수량의 차를 대입하여 먼지농도를 구한다.

### 1-3. 광투과법

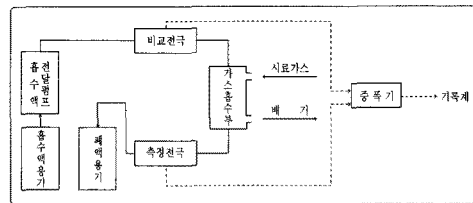
이 방법은 먼지입자들에 의한 빛의 반사, 흡수, 분산으로 인한 감쇄현상에 기초를 둔다. 먼지를 포함하는 굴뚝배출가스에 일정한 광량을 투과하여 얻어진 투과된 광의 강도변화를 측정

하여 굴뚝에서 미리 구한 먼지농도와 투과도의 상관관계식에 측정된 투과도를 대입하여 먼지의 상대농도를 연속적으로 측정하는 방법이다.

## 2. 아황산가스

측정원리에 따라 용액전도율법, 적외선흡수법, 자외선흡수법, 정전위전해법 및 불꽃광도법 등으로 분류할 수 있다.

### 2-1. 용액전도율법



<그림 12> 용액전도율 분석계

시료가스를 황산산성과산화수소수 흡수액에 도입하면 아황산가스는 과산화수소수에 의해 황산으로 산화되어 흡수된다. 이때 황산의 생성으로 인하여 흡수액의 전도율이 증가하게 되는데, 이 전도율의 증가는 시료가스 중의 아황산가스의 농도에 비례한다.

### 2-2. 적외선흡수법

(비분산 정밀터형 적외선 가스 분석)

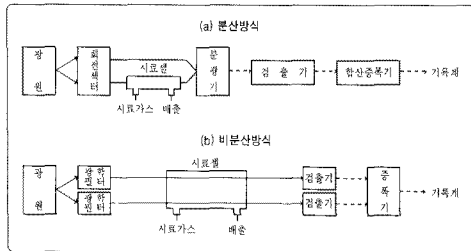
이 시험법은 선택성 검출기를 이용하여 시료중의 특정 성분에 의한 적외선의 흡수량 변화를 측정하여 시료 중에 들어있는 특정 성분의 농도를 구하는 방법이다.

적외선 광원, 회전섹터, 광학필터<sup>1)</sup>, 시료셀, 대조셀<sup>2)</sup>, 적외선 검출기(이하 “검출기”라 한다), 증폭기 및 지시계로 구성된다. 검출기에는 특정 성분 가스를 적당한 분압으로 봉입한 콘덴서 마이크로폰이 이용되며, 이 마이크로폰은 중간에 유연성이 있는 금속제 다이아프래임에 의해 체적이 균등하게 대조검출기셀과 시료검출기셀로 이등분된다. 두 개의 동일한 광원으로부터 적외선이 시료셀과 질소가스가 봉입된 대조셀에 조사되면 시료셀에서는 측정성분 가스의 농도에 비례해서 빛에너지가 감소하지만 대조셀에서는

입사된 빛에너지가 감소하지 않고 그대로 검출기에 도달한다. 대조셀을 통과한 빛은 시료셀을 통과한 빛보다 더 많은 양의 빛에너지를 가지고 있기 때문에 대조검출기셀 안의 특정성분가스의 온도를 시료검출기셀 안의 특정성분 가스의 온도보다 높아지게 된다. 그리고 이로 인해 대조검출기셀 안의 가스의 압력이 시료검출기셀 안의 가스의 압력보다 더 높아져서 아이아프레이미 시료셀 쪽으로 팽창하게 된다. 이때 두 셀 사이에서 정전용량(Capacitance)의 차가 발생하는데 이 차이는 시료셀 안의 측정성분의 농도에 비례한다.

2-3. 자외선 흡수법

자외선흡수분석계에는 분광기를 이용하는 분산 방식과 이용하지 않는 비분산방식이 있으며 그 구성은 각각 <그림 13>과 같다. 분산방식에서는 287nm에서의 아황산가스와 이산화질소의 흡광도를 그리고 380nm에서 이산화질소의 흡광도를 측정하고 몰흡광계수와 농도 및 흡광도로 표시된 2원 1차 연립방정식에 대입하여 아황산가스의 극대흡수파장인 287nm에서의 이산화질소의 간섭을 보정한다.



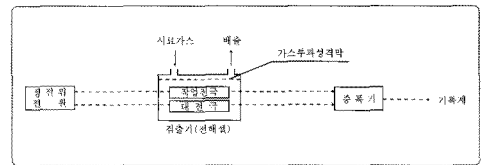
<그림 13> 자외선흡수 분석계

287nm에서 구한 아황산가스만의 흡광도를 미리 작성한 검량선에 대입하여 그 농도를 구한다. 또한 비분산방식에서는 수은램프로부터 나온 빛을 둘로 나누어 두 개의 광학필터를 통과시킨다. 이렇게 하여 하나의 필터로부터는 280~320nm의 광을 다른 하나로부터는 540~570nm의 광을 시료셀에 조사한 다음, 전자는 측정광으로 하고 후자는 비교광으로 하여 흡광도를 측정하고 그 차를 시료가스중 아황산가스의 흡광도로 한다.

이것을 미리 작성한 검량선에 대입하여 시료 가스중 아황산가스의 농도를 구한다.

2-4. 정전위전해법

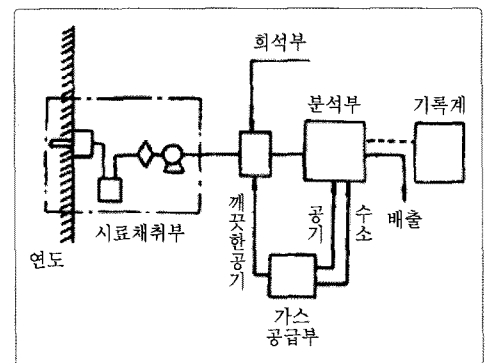
아황산가스를 전해질에 흡수시킨 후 전기화학적 반응을 이용하여 그 농도를 구한다. 전해질에 흡수된 아황산가스는 작용전극에 일정한 전위의 전기에너지를 가하면 황산이온으로 산화되는데 이때 발생하는 전해전류는 온도가 일정할 때 흡수된 아황산가스 농도에 비례한다.



<그림 14> 정전위전해 분석계

2-5. 불꽃광도법

환원선 수소불꽃에 도입된 아황산가스가 불꽃 중에서 환원될 때 발생하는 빛 가운데 394nm 부근의 빛에 대한 발광강도를 측정하여 연도배출 가스 중 아황산가스 농도를 구한다. 이 방법을 이용하기 위하여는 불꽃에 도입되는 아황산가스 농도가 5~6ug/min이하가 되도록 시료가스를 깨끗한 공기로 희석해야 한다.

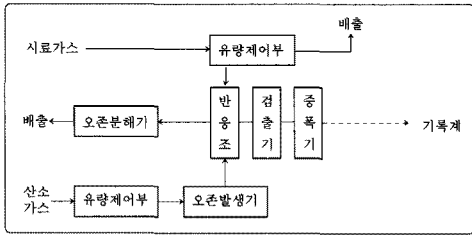


<그림 15> 불꽃광도 분석계

3. 질소산화물

설치방식에 따라 시료채취형과 굴뚝부착형으로 나뉘어지며 측정원리에 따라 화학발광법, 적외선 흡수법, 자외선흡수법 및 정전위전해법 등으로 분류할 수 있다.

### 3-1. 화학발광법



〈그림 16〉 화학발광분석계

일산화질소와 오존이 반응하면 이산화질소가 생성되는데 이때 590~875nm에 이르는 폭을 가진 빛(화학발광)이 발생한다. 이 발광강도를 측정하여 시료가스 중 일산화질소 농도를 연속적으로 측정한다. 질소산화물 농도는 시료가스를 환원장치를 통과시켜 이산화질소를 일산화질소로 환원한 다음 위와 같이 측정하여 구한다.

### 3-2. 적외선 흡수법

(Gas filter correlation method)

#### 3-2-1. 시료채취형(Extractive System)

굴뚝으로부터 시료가스를 추출하여 지상 또는 일정지점에 설치되어 있는 분석부에 유입하여 측정하는 형식으로 고정형(시료채취점에 고정하여 장기적으로 연속측정한다)과 이동형(여러 개의 시료채취점을 대상으로 이동하면서 비교적 단기간 동안 측정한다)이 있으며, 분석방법은 2. 나. 항의 비분산적외선 가스분석법의 원리에 따른다.

#### 3-2-2. 굴뚝부착형

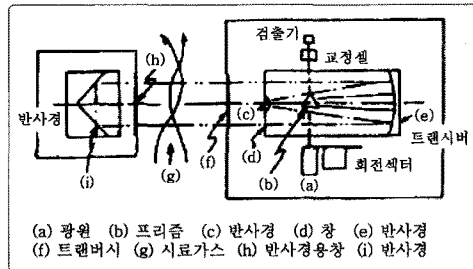
비분산적외선(5.25 $\mu$ m)을 굴뚝내부에 조사하고 수광부와 검출기 사이에 대조셀과 개스필터 상관셀이 교대로 오도록 한다. 입사광은 굴뚝 내부를 통과한 후 반대편에 있는 반사경에 의해 반사되어 다시 수광부쪽으로 돌아온다. 이때 대조셀로는 일산화질소에 의해 감쇄된 빛에너지(S)와 분진을 비롯한 공존물질에 의해 감쇄된 바탕빛 에너지(B)의 합을 측정하고 개스필터 상관셀로는 바탕빛에너지만을 측정한다.

이 측정값들로부터  $\frac{(S+B)-B}{B}$  즉  $\frac{S}{B}$  를

구하고 미리 교정용 스펠셀과 20%셀로 구한

$\frac{S}{B}$  대 일산화질소농도 검량선에 대입하여 시료 중 일산화질소의 농도를 구한다.

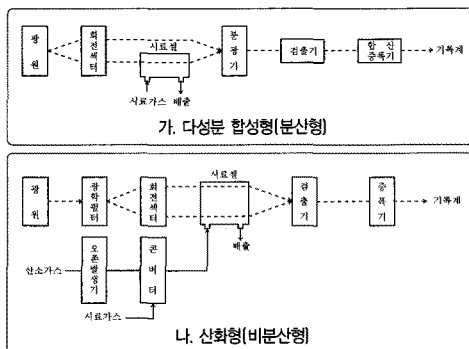
단, 배출가스 중 이산화질소의 분율이 질소산화물의 10%를 넘는 시설에 대해서는 이산화질소 농도를 별도로(3.4 $\mu$ m의 적외선광을 이용한다) 구하고 그 농도를 합한다.



〈그림 17〉 굴뚝부착형 비분산 적외선 분석계

### 3-3. 자외선흡수법

일산화질소는 195~230nm, 이산화질소는 350~450nm 부근의 자외선을 흡수하는 성질을 이용한다. 질소산화물의 농도를 구하기 위하여 일산화질소와 이산화질소의 농도를 각각 측정하여 그것들을 합하는 방식(대성분합산방식)과 시료가스중 일산화질소를 이산화질소로 산화시킨 다음 측정하는 방식(산화방식)이 사용되고 있다.



〈그림 18〉 자외선흡수 분석계

### 3-4. 정전위전해법

가스투과성 격막을 통하여 전해질 용액에 시료 가스중의 질소산화물을 확산흡수시키고 일정한 전위(아황산가스의 경우와 전위는 다르다)의

전기에너지를 부가하면 질산이온으로 산화된다. 이때 생성되는 전해전류는 온도가 일정할 때 시료가스 중 질소산화물의 농도에 비례한다.

4. 염화수소

이온전극법, 비분산 적외선 분석법 등이 있다.

4-1. 이온전극법

시료가스 중 염화수소는 배관을 통하여 분석계의 비교부에 도입된 후 그안에 들어있던 흡수액과 접촉하여 염소이온으로 변한다. 이어서 이 시료액은 시료부로 옮겨지고 이용액과 비교부에 새로 도입된 흡수액 중의 염소이온 농도차를 염소이온 전극으로 측정한다. 두 값의 차는 시료가스중의 염화수소 농도에 비례한다.

4-2. 비분산 적외선 분석법

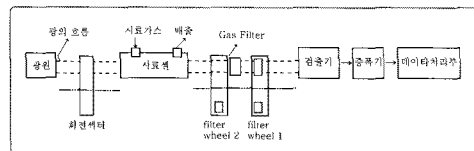
3.55 $\mu$ m를 중심파장으로 하고 어느 정도의 폭을 가진 적외선이 시료가스를 포함하는 시료셀을 통과한 다음 필터휠에 의해 처음에는 광학필터를 거쳐 검출기로 가고 다음에는 고농도의 염화수소 가스가 채워져 있는 가스필터셀을 거쳐 검출기로 간다. 이때 전자의 투과광 강도를 TM이라고 하고, 후자의 투과광 강도를 TG.F라고 하면 TG.F는 시료셀안의 염화수소 가스의 농도의 고저에 관계없이 항상 일정하게 작은 값을 갖는데 이것이 대조값(Background Light Intensity)이 된다. 그리고 시료셀에 몇가지 종류의 표준가스를 순서대로 흘려주면서 TM을 측정하면 농도가 높을수록 낮은 값이 얻어진다.

검량선의 횡축은 염화수소 가스의 농도가 되고

종축은  $-\log \frac{TM}{TG.F}$  으로 한다.

이 검량선에 시료가스에 대한  $-\log \frac{TM}{TG.F}$  값을

대입하여 시료가스중 염화수소의 농도를 구한다.



<그림 19> 적외선흡수 분석계

5. 불화수소(이온전극법)

시료가스 중 불화수소는 배관을 통하여 가스 흡수관에 도입된 후 그 안에 들어있던 흡수액과 접촉하여 불소이온으로 변한다.

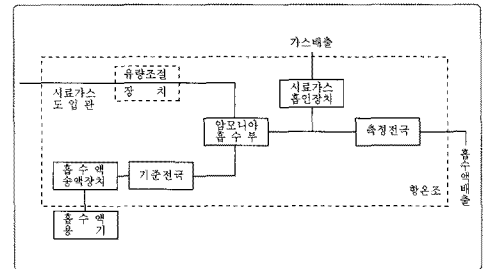
이어서 이 시료용액은 측정부로 옮겨지고 이용액과 기준부에 새로 도입된 흡수액 중의 불소이온 농도차를 불소이온 전극으로 측정한다. 두 값의 차가 시료가스중의 불화수소 농도에 비례한다.

6. 암모니아

용액전도율법과 적외선가스분석법이 있으며 적외선 분석법은 아황산가스의 적외선 흡수법에 따른다.

6-1. 용액전도율법

시료가스와 흡수액을 일정한 비율로 접촉시켜서 시료가스가 포함된 암모니아가스를 흡수액에 흡수시킨 다음, 흡수전후의 전도율 변화를 측정한다. 이 전도율의 차는 시료가스중 암모니아 농도에 비례한다.



<그림 20> 용액전도율 분석계

자료제공 : 환경보전협회 환경연수처  
다음호에 계속 ...