

배출가스 중 매연 - 광학기법  
(Smoke in Flue Gas - Digital Optical Method)

2021

## 1.0 개요

### 1.1 목적

이 시험기준은 굴뚝 등에서 배출되는 매연을 측정하는 방식으로 광학기법을 이용하여 불투명도를 산정하는 것을 목적으로 한다.

### 1.2 적용 범위

굴뚝, 플레어스택 등에서 배출되는 매연을 측정하는 광학기법에 대하여 적용한다.

## 2.0 용어정의

### 2.1 불투명도

대기 중 배출되는 가스 흐름을 투과해서 물체를 식별하고자 할 때 불명확하게 하는 정도를 말하며, 매연이 배출되는 지점과 배경지점을 카메라로 촬영한 후, 비교하여 산정하며, 결과는 (0 ~ 100) % 사이에서 5 % 단위로 나타낸다.

### 2.2 매연

공기 중에 부유하며 강하게 빛을 흡수 및 산란하는 미립자상 물질을 말하며 기본적인 형태로 탄소를 포함한다 (참고자료 US Interior Bureau of Mines; KS M ISO 9835).

## 3.0 분석기기 및 기구

### 3.1 카메라와 액세서리

매연 불투명도 사진 촬영을 위해 1천만 화소 이상의 이미지센서를 탑재한 디지털 일안 반사식 사진기 (DSLR, digital single lens reflex camera)를 이용한다. 사진 촬영 시 흔들리지 않도록 카메라 고정용 삼각대가 필요하다.

### 3.2 분석 소프트웨어와 컴퓨터(노트북)

카메라로 측정한 영상을 통해 불투명도를 산정해주는 분석 소프트웨어는 200 KB용량의 실행프로그램으로, Window 7이상의 운영체제를 갖춘 컴퓨터나 노트북에 설치가 가능하다. 카메라와 컴퓨터를 연동하면 카메라에서 촬영한 사진이 실시간으로 컴퓨터로 전송되어 불투명도 분석을 신속하게 할 수 있다.

### 3.3 타이머/시계

사진 촬영을 하는 동안에는 불투명도 판독 사이에 15초 간격의 시간이 필요하다. 시계를 사용하거나 스톱워치를 이용할 수 있다. 타이머는 휴대하고 다니는 스마트폰으로도 대체 가능하다.

### 3.4 거리측정기

촬영 시 굴뚝과 카메라의 거리 측정에 사용되며 시중에 판매하는 거리측정기를 사용하여 굴뚝과 카메라의 거리를 측정한다.

### 3.5 각도계

촬영 시 카메라와 매연 촬영지점 (굴뚝포함)의 각도 관측을 위해 각도계를 사용한다.

## 4.0 시약 및 표준용액 "내용 없음"

## 5.0 시료채취 및 관리

## 5.1 측정위치의 선정

5.1.1 매연 촬영 시 되도록 바람이 불지 않을 때 관측자는 깨끗한 시야를 확보할 수 있는 시점에서 굴뚝높이의 3 배 이상 떨어진 거리에서 촬영한다. 카메라와 매연의 촬영지점의 관측 각도 (매연측정지점과 관측자의 눈높이와의 각)가  $18^\circ$  이상일 경우 추가적인 보정 (보정식의 경우 8.1 결과 산정에 포함)이 필요하다.

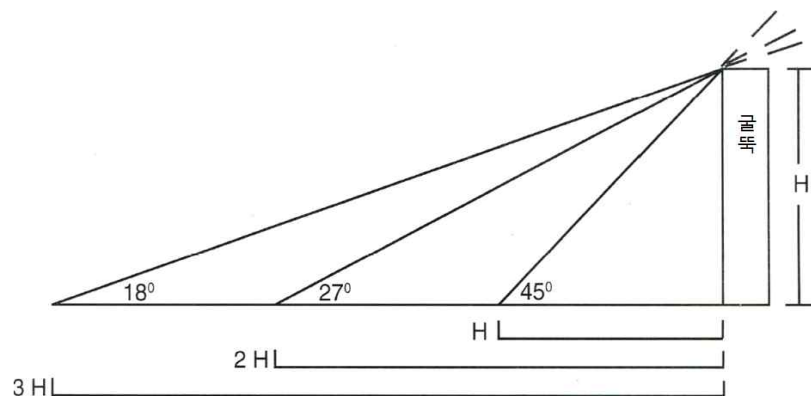


그림 1. 굴뚝에 높이와 측정 지점간의 거리에 따른 관측 각도

5.1.2 굴뚝에서  $140^\circ$  이내 각도에서 태양을 등지고 서야한다. 관찰자는 카메라를 매연 확산 방향에 가능한 한 수직이 되도록 놓은 후 매연과 배경지점이 잘 대조되는 지점이 나타나도록 촬영한다.

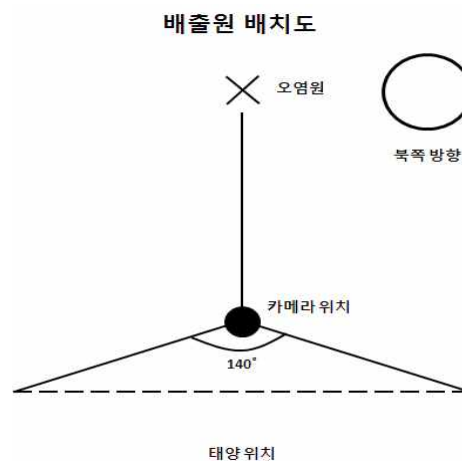


그림 2. 측정위치 선정 방법

## 5.2 시료측정 절차

5.2.1 관측하기 전에 5.1 측정위치의 선정에 따라 적합한 관찰위치를 선정한다. 배경, 바람의 방향, 그리고 태양과 관련된 측정대상의 위치를 선택한다.

5.2.2 관측하고자 하는 굴뚝으로부터 측정대상을 결정하고 기록지에 측정대상을 기록한다. 그리고 측정대상 근처에 있는 방해 요소가 되는 매연이나 비산물질 등을 구분해야 한다.

5.2.3 관찰자는 배출원의 공장이름, 배출지점, 시설유형, 관찰자의 이름, 소속, 배출원에서의 카메라의 방향, 날짜를 기록한다. 시간, 배출 위치의 추정거리, 대략적 풍향, 기상상태 (구름의 색과 상태), 배경 등을 현장에서 측정용지 (별지서식)에 기록한다.

5.2.4 불투명도 촬영은 배출가스의 흐름을 고려하여, 육안으로 관찰했을 때 매연이 심한 곳을 선택하여, 15초 간격으로 최소 12번 촬영하며 매연과 매연이 없는 대조지역이 동시에 촬영되어야 한다. 불투명도는 (0 ~ 100) % 사이에서 5 % 단위로 분석된다 (가장 가까운 5 % 단위). 최종 불투명도는 12번 연속 촬영의 평균값으로 결정된다.

## 5.3 시료측정 시 주의사항

5.3.1 바람에 의해 매연이 카메라 쪽으로 불어오는 상황에서는 촬영할 수 없다.

5.3.2 카메라의 각종 필터 사용은 불투명도값에 영향을 주기 때문에 사용할 수 없다.

5.3.3 카메라 뒤로 140° 안에 태양이 위치할 때에만 촬영할 수 있다.

5.3.4 촬영 각도가 수직 상승 매연으로부터 18° 이상일 경우 보정이 필요하다.

5.3.5 촬영하고자 하는 매연에 다른 매연이 겹쳐있는 상황에서는 촬영할 수 없다.

5.3.6 불빛이 없는 새벽시간이나 늦은 오후에는 측정하지 않으며, 비나 눈 또는 안개가 켜졌을 때에도 측정하지 않는다.

### 5.3.7 대조현상

매연의 불투명도는 매연의 색과 배경 색과의 명확한 구분이 가능한 지점에서 촬영되어야 한다.

### 5.3.8 발광현상

주간 동안에 동일한 밝기 (조도)의 태양광이 매연과 배경에 비춰질 수 있도록 촬영해야 한다.

## 6.0 정도보증/정도관리(QA/QC) "내용 없음"

## 7.0 분석절차

### 7.1 관측 시작

관찰자는 기록지를 작성한다. 기록지에 촬영 날짜를 적고 시작한 시간을 기록한다. 관찰자는 15 초 간격으로 총 12 장의 사진을 촬영해야한다. 촬영에 방해되는 요인은 따로 기록해야 한다. 촬영이 끝나면 촬영 종료시간을 기록하고 관찰자 소속을 작성한다. 분석이 완료된 기록지는 확인 후 서명한다.

### 7.2 불투명도 계산 방법

불투명도는 연속으로 촬영된 12 개의 사진의 불투명도 값에 대한 평균으로 결정된다. 촬영이 끝나면 분석프로그램 (국립환경과학원 홈페이지에서 제공)을 이용하여 촬영한 각각의 사진에 대하여 불투명도 값의 분석을 진행한다.

### 7.3 불투명도 측정용 기록지 작성

기입할 수 있는 모든 항목을 전부 작성할 때까지 양식에 서명을 하지 않는다. 만약 필수항목(\*) 중 누락된 것이 있으면, 유효한 불투명도 촬영으로 인정되지 않는다.

- 측정대상 회사명\*
- 업체 주소\*
- 작업공정, 장비가동상태 및 방지시설 종류 - (선택사항)
- 테스트 식별 번호 - (선택사항)
- 관찰자 이름 및 소속기관\*
- 관찰 날짜 및 시간\*
- 카메라 제조사, 모델명\*
- 굴뚝 높이\*
- 굴뚝과 카메라간의 거리\*
- 매연 촬영지점과 카메라간의 각도\*
- 풍향, 풍속, 온도, 습도 - (선택사항)
- 기상상태(구름의 존재 여부 및 색상) - (선택사항)
- 매연의 배경 - (선택사항)
- 촬영 사진 수\*
- 태양, 굴뚝위치, 그리고 관찰자 위치를 스케치\*
- 12 번 연속촬영\*
- 관찰자 서명\*

표 1. 매연 불투명도 측정용 기록지

<p>관찰날짜 :</p> <p>회사명 :</p> <p>회사 주소 :</p> <p>테스트 식별 번호 :</p> <p>방지시설 종류 :</p> <p>작업 공정 :</p> <p>장비 가동 상태 :</p> <p>관찰자 성명 :</p> <p>관찰자 소속 기관 :</p> <p>카메라 제조사, 모델명</p>	<p style="text-align: center;">배출원 배치도</p>	
1. 시간	시작시간 :	종료시간 :
2. 카메라 위치		
굴뚝과 카메라간의 거리		
카메라와 매연촬영지점의 관측 각도		
굴뚝 높이		
3. 기상상황		
촬영시 매연 배경 설명		
풍향		
풍속		
온도		
습도		
기상 상태 (ex. 맑음, 흐림 등)		
4. 매연 특성		
색상		
배출 매연의 형태		
5. 촬영 사진 수		
6. 추가 정보		
관찰자 서명 :		

## 8.0 결과보고

### 8.1 각도 보정된 불투명도 계산식

카메라와 매연의 촬영지점의 관측 각도가 18° 이상일 경우 아래의 식을 이용하여 보정을 한 후 불투명도를 계산한다.

$$T_2 = T_1^{\cos(i)} \quad (\text{식 1})$$

$$T_1 = 100 \% - O_1 \quad (\text{식 2})$$

여기서, T2 : 보정된 불투명도

O1 : 관찰된 불투명도

i : 관측각도

ex) 각도 50 도이고 측정 불투명도값이 30 %일 때, 보정 불투명도는,

$$100 \% - 30 \% = 70 \% \text{ or } 0.7$$

$$0.7^{\cos(50)} = 0.795 \text{ or } 80 \%$$

## 9.0 참고자료

**9.1** US EPA Method 9, "Visual Determination of the Opacity of Emissions from Stationary Sources", US EPA, (2017)

**9.2** United States Environmental Protection Agency (US EPA) Method 22, "Visual determination of fugitive emissions from material sources and smoke emissions from flares", US EPA, (2019)

**9.3** ASTM D7520, Standard Test Method for Determining the Opacity of a Plume in the Outdoor Ambient Atmosphere, ASTM International, (2016)



## 10.0 부록

불투명도 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 %, 100 %는 링겔만비탁도측정법에 의한 매연 농도에 있어 각각 0 도, 1 도, 2 도, 3 도, 4 도, 5 도에 해당된다.

## 표 2. 시험기준 요약표

배출가스 중 매연 - 광학기법 (Smoke in Flue Gas - Digital Optical Method)	
분자식 및 특징:	해당 없음, 공기 중에 부유하며 강하게 빛을 흡수 및 산란하는 미립자상 물질로 탄소를 포함
정량범위:	해당 없음
간섭물질:	강한바람, 태양광
시료채취	
방법:	해당 없음
흡수액:	해당 없음
흡입속도:	해당 없음
표준채취량:	15 초 간격 연속 6회 또는 1 시간 이내 12 회 이상
이동:	해당 없음
보관:	해당 없음
시료액량:	해당 없음
Blank:	비산먼지 발생 지점과 구분이 가능한 지점에서의 촬영
측정	
방법:	불투명도
물질:	매연
표준물질:	해당 없음
검정곡선:	해당 없음
카메라:	1천만 화소 이상의 이미지센서를 탑재한 DSLR
컴퓨터:	카메라와 연동 가능한 컴퓨터
타이머:	초 단위를 측정할 수 있는 타이머 또는 스마트폰
거리측정기:	시중에 판매하는 거리측정기
각도계:	시중에 판매하는 각도계
정도관리	
주기:	해당 없음
방법검출한계:	해당 없음
정밀도:	해당 없음
정확도:	해당 없음
검정곡선:	해당 없음
방법바탕시료:	해당 없음