

## 디지털카메라를 이용한 굴뚝연기의 혼탁도 측정모듈의 설계 및 구현

반재훈\*

### Design and Implementation of Turbidity Measurement Module of Plume using a Digital Camera

ChaeHoon Ban\*

Department of Internet Business, Kosin University, Pusan 606-701, Korea

#### 요 약

공장·사업장 등에서 발생하는 매연은 대기오염의 원인이 될 뿐만 아니라 인체에도 나쁜 영향을 미친다. 굴뚝에서 발생하는 굴뚝연기의 혼탁도를 측정하는 가장 일반적인 방법은 자동시정측정기를 굴뚝 안에 장착하여 관찰하는 방법이나 미국환경보호청에서 제정한 고정오염원으로부터 방출되는 혼탁한 굴뚝연기의 시각적 결정 방법인 Method 9이 있다. 그러나 이러한 방법은 구축과 유지에 많은 비용이 요구된다.

본 논문에서는 디지털카메라를 이용한 굴뚝연기 혼탁도 측정 모듈 프로그램을 구축한다. 디지털 카메라를 이용하여 굴뚝연기의 사진을 획득하고 DOM(Digital Optical Method)을 사용하여 굴뚝연기의 혼탁도를 측정하는 모듈을 설계하고 구현한다. 또한 구현된 모듈을 다른 방법과 비교 분석하여 우수성을 입증한다.

#### ABSTRACT

Smoke generated from business establishments and factories will not only cause air pollution but also have a significant impact on the human body. Generally, the most common method for measuring the turbidity of the plume generated from the stack is a method of observing by the transmissometer mounted in the chimney or Method 9 from the US EPA(Environmental Protection Agency) which is a visual method of determining plume turbid emitted from stationary sources. However, these methods need a lot of cost to build and maintain.

In this paper, we build a plume turbidity measurement module programs using a digital camera. We design and implement a module which acquires the pictures of the plume using a digital camera and measures the turbidity of it using the DOM(Digital Optical Method). In addition, we demonstrate the excellence by comparing and analyzing implemented module and other methods.

**키워드** : 굴뚝연기, 미국환경보호청 메소드9, 자동시정측정기, 혼탁도, 디지털광학방법(DOM)

**Key word** : Plume, EPA Method 9, Transmissometer, Turbidity, DOM

접수일자 : 2014. 10. 20 심사완료일자 : 2014. 12. 29 게재확정일자 : 2015. 01. 13

\* **Corresponding Author** ChaeHoon Ban(E-mail:chban@kosin.ac.kr, Tel:+82-51-990-2314)

Department of Internet Business, Kosin University, Pusan 606-701, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.2.372>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

공장·사업장 등에서 발생하는 매연은 대기오염의 원인이 될 뿐만 아니라 인체에도 나쁜 영향을 미친다. 우리나라에서는 별도의 규정을 두지 않고 환경보전법의 ‘시행규칙 별표8 대기오염물질 배출허용기준’에서 일괄적으로 규정하여 규제한다. 대기오염물질 배출허용기준에서 살펴보면 매연은 모든 배출시설에서 링겔만 비탁도 2도 이하로 규정하고 있다[1].

굴뚝에서 발생하는 굴뚝연기(plume)의 혼탁도를 측정하는 가장 일반적인 방법은 자동시정측정기(transmissometer)를 굴뚝 안에 장착하여 관찰하는 방법이다 그러나 이러한 방법은 구축에 많은 비용이 들며 정확한 측정값을 얻기 위하여 지속적인 유지관리가 필요한 것이 단점이다. 미국의 경우 미국환경보호청(EPA)에서 Method 9이라는 정책을 통하여 혼탁한 굴뚝연기를 관리하고 있다[2].

그러나 이 방법도 교육을 이수한 측정 전문가에 의존하므로 지속적인 교육 등 많은 비용과 측정값의 부정확함이 단점이다. 또한 한국에서는 미국처럼 굴뚝연기의 측정을 위한 전문기관과 측정 전문가가 따로 있지 않는 문제가 있다.

본 논문에서는 디지털카메라를 이용한 굴뚝연기 혼탁도 측정 프로그램을 구축한다. 디지털 카메라를 이용하여 굴뚝연기의 사진을 획득하고 이를 분석하는 DOM(Digital Optical Method)[3-7]을 사용하여 굴뚝연기의 혼탁도를 측정하는 모듈을 설계하고 컴퓨터에서 동작하는 자바프로그램으로 구현한다. 또한 구현된 모듈을 자동시정측정기와 비교 분석하여 우수성을 입증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 굴뚝연기의 관찰방법인 Method9과 자동시정측정기를 사용한 방법에 대하여 기술하며 3장에서는 구현된 굴뚝연기 혼탁도 측정 모듈 프로그램에 대하여 설명한다. 4장에서는 구현된 굴뚝연기 혼탁도 모듈 프로그램의 정확도를 측정하기 위하여 실제 현장에서 실험 평가하며 이의 정확성을 비교하기 위하여 자동시정측정기로 측정 한 값과 비교하여 설명한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구를 기술한다.

## II. 굴뚝연기의 관찰 방법

연소 시에 발생하는 입자상물질, 황산화물 등 배출량이 일정한 허용기준 이상이 되는 경우 이를 법으로써 규제한다. 영국은 석탄사용 규제에서 비롯된 오랜 역사를 가진다. 인구와 산업의 집중으로 공장과 사업장 등에서 발생하는 매연은 대기오염의 원인이 될 뿐만 아니라 인체에도 큰 영향을 미친다. 매연규제의 입법화는 1956년 영국 ‘대기정화법’에서 화로로부터의 매연, 굴뚝높이, 매연제한지구 등에 대해 강력한 규정을 두고 있으며, 다른 대기오염방지법에서도 매연 발생시설 설치신고, 변경신고, 매연 배출제한, 매연량 추적 등의 규정을 두고 있다[1].

우리나라에서는 별도의 규정을 두지 않고 환경보전법의 ‘시행규칙 별표8 대기오염물질 배출허용기준’에서 일괄적으로 규정하여 규제한다. 대기오염물질 배출허용기준에서 살펴보면 매연은 모든 배출시설에서 링겔만 비탁도 2도 이하로 규정하고 있다. 대기오염공정시험법은 대기환경보전법 제 7조에 명시되어 있었지만 2008년 12월 31일부터 삭제되어 현재 대기환경보전법에는 명시되어 있지 않다. 이렇듯 한국에서도 환경보전법에 매연 배출허용기준을 명시하고 있지만 실질적으로 현장에 적용하는데 기술적, 물리적으로 어려움이 있다.

대기오염물질 배출 사업장은 대기오염물질 배출시설에서 나오는 오염물질 발생량에 따라 1종부터 5종까지로 분류된다. 1종 사업장은 대기오염물질 발생량의 합계가 연간 80톤 이상인 사업장이며 2종 사업장은 연간 20톤 이상 80톤 미만인 사업장, 3종 사업장은 연간 10톤 이상 20톤 미만인 사업장으로 이러한 사업장에는 굴뚝 자동시정측정기기를 부착해야 하며 대기오염물질 배출 정보를 환경부에서 운영하고 있는 굴뚝 원격감시체계 관제센터에 전송한다.

4종 사업장은 대기오염물질 발생량의 합계가 연간 2톤 이상 10톤 미만인 사업장이며 5종 사업장은 연간 2톤 미만인 사업장으로 적산전력계 등의 측정기기를 부착하고 배출시설을 운영할 때 나오는 오염물질을 자가측정하거나, 측정대행업자에게 측정하게 하여 그 결과를 사실대로 기록하고 보존한다. 그 외의 시설은 배출시설의 기능이나 공정에서 오염물질이 항상 배출허용기준 이하로 배출되는 경우 방지 시설 설치를 면제 받는다.

대기오염물질 배출업소의 현황을 살펴보면 2012년의 경우 전체 등록된 48,035개의 사업장중 4종 사업장이 14,953개소로 31.1%를 차지하며 5종 사업장이 28,755개소로 59.9%를 차지하여 두 사업장이 전체의 91%를 차지하고 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 1~3종 사업장의 경우 굴뚝 자동측정기기를 부착하고 굴뚝 원격감시체계 관제센터의 통제를 받기 때문에 대기오염물질의 무단 배출의 문제가 발생하지 않으나 대다수를 차지하고 있는 4, 5종 그리고 등록되지 않은 수많은 사업장에서는 대기오염물질의 무단 배출 또는 자가측정을 거짓으로 기록하여 대기오염을 발생시키고 있다. 특히 대기오염물질 배출의 경우 다른 오염물질과는 다르게 일단 배출하고 나면 대기 중으로 빠르게 확산돼 단속이 어려우며 현장 적발하였다하더라도 시료채취가 어려워 적극적인 대기 오염행위 적발, 단속을 위한 지도·점검 관련법 개선이 필요하다.

### 2.1. Method 9

Method 9는 미국환경보호청(EPA)에서 제정한 고정오염원으로부터 방출되는 혼탁한 굴뚝연기의 시각적 결정 방법을 말한다[2]. 많은 고정오염원으로부터 대기권으로 눈에 보이는 혼탁한 굴뚝연기가 배출되는데 Method 9는 자격을 갖춘 관찰자에 의해 배출되는 굴뚝연기의 혼탁도를 결정하는 것을 말한다. 이 방법은 현장에서 굴뚝연기의 혼탁도를 결정하기 위한 절차와 관찰자에 대한 훈련 및 자격증을 부여받기 위한 절차를 포함하고 있다. 관찰자에 의해서 측정되어지는 연기의 모습은 많은 요인에 의하여 변하게 되는데 이러한 변수는 현장에서 제어할 수 있는 것과 제어하기 힘든 것으로 구분되어진다. 제어할 수 있는 변수는 연기에 대한 관찰자의 측정각, 태양에 대한 관찰자의 측정각 등이다. 이러한 변수는 측정방법을 명시하므로 연기의 혼탁도에 중요한 영향을 미치지 않는다. 문제는 제어하기 힘든 변수인데 이것은 발광, 색깔, 대조비 등이다. 이것은 관찰자의 능력과 주관에 따라 달라지기 때문에 적절한 교육과 인증을 통해 최대한 제어할 수 있도록 한다.

그러나 이 방법은 다음과 같은 문제점을 가진다. 첫째 사람의 눈으로 굴뚝연기의 혼탁도를 측정하는 방법이기 때문에 같은 굴뚝연기에 대하여 개개인마다 다른 값을 결과로 측정하는 현상이 발생한다. 둘째, 혼탁도는 5% 단위로 측정되기 때문에 3%와 같이 적은 혼탁

도 값의 미세한 차이를 정확히 구별하기 힘들다. 셋째, 관찰자로서의 자격을 얻기 위해서는 6개월마다 트레이닝이 필요하며 또한 가격이 비싸다. 마지막으로 같은 굴뚝연기라도 날씨나 굴뚝의 배경에 따라 다른 측정값이 나오는 등 외부조건에 영향을 받는다.



그림 1. 미국환경보호청 Method 9  
Fig. 1 EPA Method 9

### 2.2. 자동시정측정기(Transmissometer)

자동시정측정기를 이용하여 굴뚝 연기를 측정하는 방법은 투광기(transmitter)와 수광기(receiver)를 그림과 같이 일정한 거리를 두고 굴뚝에 배치하고 투광기에서 비춰진 빛이 수광기에서 감수되어 광량에 비례한 전기신호로 변환하여 측정하는 방법이다.

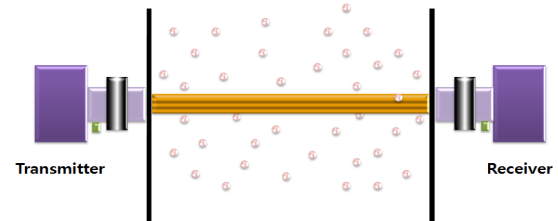


그림 2. 자동시정측정기  
Fig. 2 Transmissometer

그러나 이러한 방법은 구축 시 많은 비용이 들며 고온 다습한 연기가 계속 배출되는 굴뚝 안에 장착이 되기 때문에 정확한 측정값을 얻기 위하여 투광기와 수광기의 렌즈를 계속해서 청결하게 하는 등의 지속적인 유지관리가 필요하다. 또한 진동에 매우 취약하다는 문제점을 가지고 있다.

### 2.3. DOM(Digital Opacity Method)

Method 9의 약점을 극복하기 위하여 혼탁도를 측정하는 다양한 방법이 연구되어졌다. 편광기법을 이용하거나 두 사진의 차이 또는 픽셀의 색깔 등을 이용하여 혼탁도를 계산한 연구가 진행되었다[3]. DOM은 쉽게 구할 수 있는 저렴한 비용의 디지털 카메라를 이용해 낮과 같이 빛이 있는 광범위한 환경에서 굴뚝연기의 혼탁도를 정량화하기 위해 개발된 방법이다[3-7]. 이 방법은 비용이 저렴하며 결과의 정확도와 정밀도가 다른 방법에 비해 상대적으로 높으며 관찰자의 주관을 배제할 수 있는 장점이 있다. 안정된 균일한 빛(푸른 하늘의 일부 또는 흰벽)을 가진 장면을 가진 디지털카메라로 촬영된 사진에서 측정하고자하는 구역과 그 대조 구역을 설정하고 두 구역의 방사휘도(radiance)를 아래와 같이 계산하여 혼탁도를 계산한다. 여기서  $N_p$ 는 굴뚝연기의 휘도,  $N$ 은 배경의 휘도이며  $k$ 는 상수 0.21이다.

$$Opacity = \left( \frac{1 - \frac{N_p}{N}}{1 - k} \right) \times 100 \quad (1)$$

### III. 굴뚝연기의 혼탁도 측정모듈의 구현

본 논문의 혼탁도 측정 모듈 프로그램은 DOM을 기반으로 자바로 구현되었다. 2개의 클래스를 생성하였으며 총 18개의 메소드를 작성하였다. 그림 3과 같이 5개의 컴포넌트로 구성되어 있으며 각각의 설명의 아래와 같다.

- 이미지 획득 컴포넌트 : DSLR과 CCTV로부터 특정 시간, 특정 간격으로 이미지를 획득하여 저장하는 컴포넌트
- 이미지 선택 컴포넌트 : 획득된 다수의 이미지를 연속적으로 처리하기 위해 사용자가 이미지에서 측정할 부분을 초기화 하는 컴포넌트
- 데이터생성 컴포넌트와 DOM : 측정할 이미지로부터 데이터를 생성하는 컴포넌트와 생성된 데이터로 혼탁도를 계산하는 DOM
- 결과 생성 컴포넌트 : 계산된 혼탁도를 그래프 등으로 생성하여 출력하는 컴포넌트

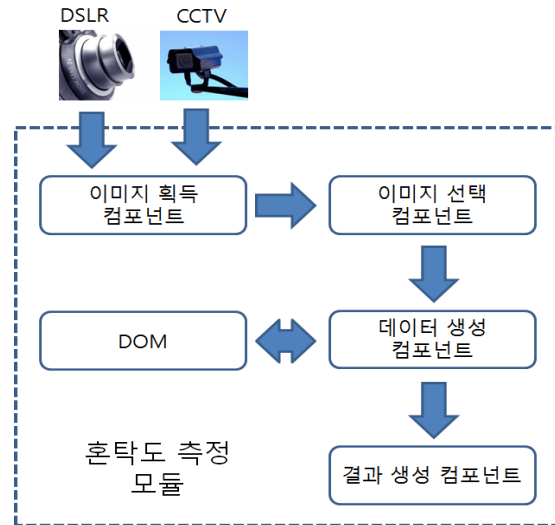


그림 3. 혼탁도 측정 모듈의 설계  
Fig. 3 Design of Turbidity measurement module

그림 4는 굴뚝연기의 혼탁도를 측정하기 위한 모듈의 프로그램 실행 화면이다. 프로그램이 실행되면 화면 상단의 오른쪽 부분의 Data Setting 박스의 여러 값을 설정하고 측정하고자 하는 이미지를 선택하여 굴뚝연기의 혼탁도를 측정한다. 측정 후에는 DOM 값이 화면에 출력되며 연속측정이 가능하다.

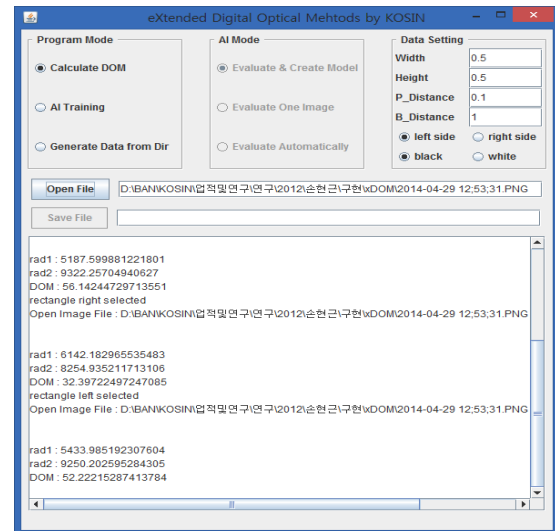


그림 4. 혼탁도 측정 모듈 프로그램  
Fig. 4 Turbidity measurement module Program

그림 5는 구현된 혼탁도 측정 모듈 프로그램에서 이미지에서 측정하고자 하는 지역을 선택한 화면이다. 사용자는 먼저 측정하고자하는 굴뚝의 두 끝점을 마우스로 지정한다. 그러면 연기부분의 박스와 대조지역의 박스가 생성되며 이 박스 부분의 이미지 값을 계산하여 혼탁도를 측정한다. 이때 측정하고자하는 박스의 크기를 그림 4에서의 Data Setting에서의 Width와 Height로 설정하며 굴뚝에서부터 높이와 떨어진 거리를 각각 P\_Distance, B\_Distance로 설정하고 굴뚝연기의 모양에 따라 left side, right side, black, white를 선택하여 설정한다. 또한 연속측정을 지원하기 위하여 위와 같이 지정하면 다른 이미지들은 동일한 좌표에서 값을 추출하여 측정한다.

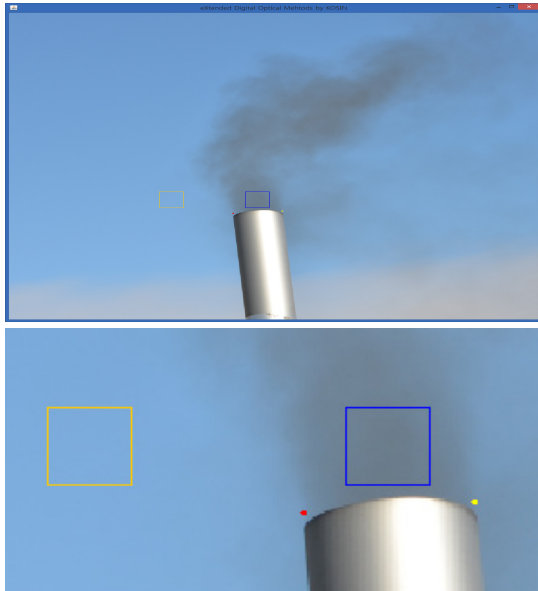


그림 5. 이미지에서 측정 지역 선택  
Fig. 5 Selection of measurement region in images

#### IV. 실험평가

본 논문에서 구현한 혼탁도 측정 모듈 프로그램의 우수성을 입증하기 위하여 실제 현장에서 실험평가를 수행하였다. 실험평가의 정확도를 높이기 위하여 미국 일리노이 현지에서 실행되고 있는 Method9 교육 및 테스트 때 참가하여 측정하였다. 2013년 7월 9일~10일 이틀

간 굴뚝에서 나오는 연기를 초당 1장씩 사진을 찍어 구현한 혼탁도 측정 모듈 프로그램으로 분석하였다. 실험에 사용된 DSLR 카메라는 Nikon D7000 모델이며 CCTV는 삼성 SNB-7000 모델이다. 또한 구현 모듈이 정확한지를 평가하기 위하여 자동시정측정기로 측정된 값과 비교하였다.

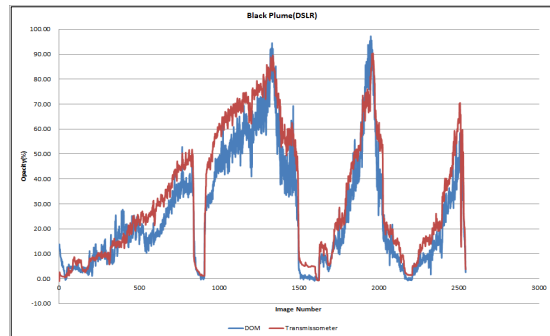


그림 6. 측정 분석 결과 1 - DSLR  
Fig. 6 Result of measurement analysis 1 - DSLR

그림 6은 DSLR로 촬영된 이미지를 본 논문에서 구현한 혼탁도 측정 모듈과 자동시정측정기로 측정된 결과를 비교 분석한 그래프이다. 오후 4시경 약 1시간동안 촬영된 사진을 분석하였는데, 혼탁도 측정 모듈을 사용하여 측정하였을 때는 최고 혼탁도 97.22%, 최저 혼탁도 0%, 평균 혼탁도는 26.53%로 나타났다. 또한 자동시정측정기를 사용하여 측정하였을 때는 최고 혼탁도 90.03%, 최저 혼탁도 0%, 평균 혼탁도는 33.0%로 나타났으며 두 결과 값의 정확도는 92.32%, 오차율은 7.68%로 평가되었다.

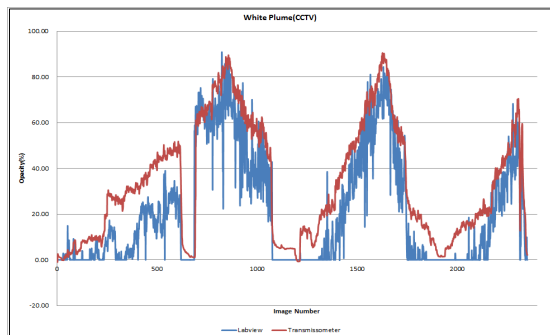


그림 7. 측정 분석 결과 1 - CCTV  
Fig. 7 Result of measurement analysis 1 - CCTV

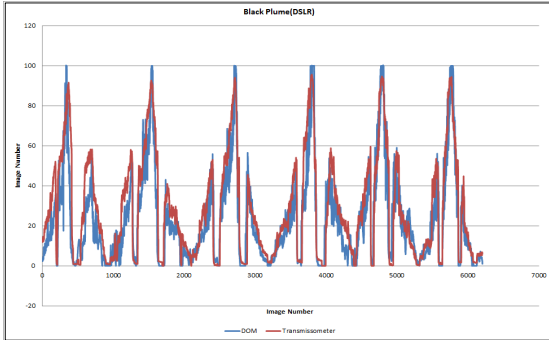


그림 8. 측정 분석 결과 2 - DSLR  
Fig. 8 Result of measurement analysis 2 - DSLR

그림 7은 그림 6과 같은 날 CCTV로 촬영된 이미지를 혼탁도 측정 모듈과 자동시정측정기로 측정된 결과를 비교 분석한 그래프이다. 혼탁도 측정 모듈을 사용하여 측정하였을 때는 평균 혼탁도가 21.22%로 나타났으며 자동시정측정기를 사용하여 측정하였을 때 평균 혼탁도는 33.73%로 나타나 두 결과 값의 정확도는 86.82%, 오차율은 13.18%로 평가되었다.

그림 8은 다른 날 오후 12시경 약 2시간동안 DSLR 카메라로 촬영된 사진을 혼탁도 측정 모듈과 자동시정측정기로 측정된 결과를 비교 분석한 그래프이다. 혼탁도 측정 모듈을 사용하여 측정하였을 때는 최고 혼탁도 100.0%, 최저 혼탁도 0%, 평균 혼탁도는 23.45%로 나타났다. 또한 자동시정측정기를 사용하여 측정하였을 때는 최고 혼탁도 95.63%, 최저 혼탁도 0%, 평균 혼탁도는 29.10%로 나타나 두 결과 값의 정확도는 91.10%, 오차율은 8.90%로 평가되었다.

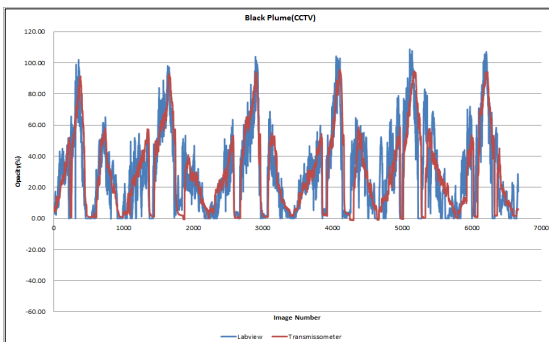


그림 9. 측정 분석 결과 2 - CCTV  
Fig. 9 Result of measurement analysis 2 - CCTV

그림 9는 그림 8과 같은 날 CCTV 카메라로 촬영된 사진을 혼탁도 측정 모듈과 자동시정측정기로 측정된 결과를 비교 분석한 그래프이다. 혼탁도 측정 모듈에 의해 계산된 평균 혼탁도는 28.99%로 나타났으며 자동시정측정기를 사용하여 측정하였을 때는 평균 혼탁도는 29.76%로 나타났다. 두 결과 값의 정확도는 88.22%, 오차율은 11.78%로 평가되었다.

본 논문에서 구현된 방법이 제대로 동작하는지를 검증하기 위해서는 EPA의 인증 테스트를 통과해야 한다. 미국 EPA Method9의 인증을 받기 위해서는 자동시정측정기의 측정값과 관측자의 관측 값의 오차 평균이 15%를 초과하지 않아야 된다. 모든 실험 결과를 분석한 결과 본 논문에서 구현한 혼탁도 측정 모듈의 경우 위의 결과에서와 같이 오차의 평균이 15%미만이므로 미국 EPA Method9 자격조건에도 만족하는 결과를 나타냈다. 본 논문은 대기에 배출되는 굴뚝연기를 측정하는 방법 중의 하나인 EPA의 Method 9을 시스템적으로 구현한 것이다. Method 9은 사람이 수행하는 육안식별 검사이기 때문에 배출되는 굴뚝연기의 혼탁도를 측정하기 위해서는 굴뚝연기와 배경의 대조차를 최소화 인식할 수 있는 상황이 되어야 한다. 이는 배출가스의 육안검사에 절차와 가이드라인에 명시되어 있다. 따라서 본 논문에서는 기상이 불량한 날은 고려대상 아니며 본 논문에서 구현한 시스템을 EPA 인증 테스트에서 평가하여 적합하다는 결과를 얻었다.

본 논문에서 측정에 사용된 기기는 Nikon D7000 DSLR 카메라와 삼성 SNB-7000 CCTV이다. DSLR은 말할 것도 없이 이미지센서가 상대적으로 저품질인 CCTV의 경우에도 인증테스트에서 적합한 결과를 얻어 본 연구에서 구현한 시스템이 상대적으로 저품질의 장비에서도 측정이 가능하다는 것을 실험을 통해 증명하였다. 그러나 화소별, 센서별 장비의 비교평가는 본 연구에서의 연구범위에 해당되지 않으며 이는 향후 연구에서 분명히 다루어져야 한다.

## V. 결론 및 향후 연구

국내의 다양한 산업현장 및 환경기초시설에서 발생하는 굴뚝연기의 배출여건은 대단히 다양하나 이에 대한 관리 방안 및 감시 방안은 굉장히 제한적인 상황이

다. 본 논문에서는 디지털카메라를 이용한 굴뚝연기 혼탁도 측정 모듈 프로그램을 구축하였다. 디지털 카메라를 이용하여 굴뚝연기의 사진을 획득하고 이를 분석하는 DOM을 사용하여 굴뚝연기의 혼탁도를 측정하는 모듈을 설계하고 구현하였다. 또한 구현된 모듈을 자동시정측정기와 비교 분석하여 우수성을 입증하였다.

본 논문에서 개발된 디지털카메라를 이용한 굴뚝연기의 혼탁도 측정모듈은 미국 EPA Method 9의 한국적 적용 방안이 될 것이며, 각종 산업현장에서 발생하는 혼탁한 연기에 대한 효율적 관리방안 및 지자체 등의 효율적인 배출시설 관리에 활용될 수 있을 것이다. 향후 연구로서, 다양한 국내환경에서의 실험 평가와 오차를 줄이기 위한 방안 및 인공지능방법을 사용한 측정방법에 대하여 연구할 것이다.

## REFERENCES

- [1] CLEAN AIR CONSERVATION ACT [Internet]. Available: <http://oneclick.law.go.kr/>
- [2] U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), "NSPS Test Method 9-Visual Determination of the Opacity of Emissions for Stationary Sources", *EMTIC TM-009*, 1990.
- [3] McFarland MJ, SL. Rasmussen, DA Stone, GR. Palmer, AC. Olivas, JD. Wander, M.Spencer, "Field Demonstration of Visible Opacity Photographic System.", *Journal of the Air & Waste Management Association*, 57:1, 31-38, 2003.
- [4] Ke Du, MJ. Rood, BJ. Kim, MR. Kemme, B. Franek, K. Mattison, "Evaluation of Digital Optical Method To Determine Plume Opacity during Nighttime", *Environ. Sci. Technol.*, 783 - 789, 2009.
- [5] Ke Du, Mark J. Rood, Byung J. Kim, Michael R. Kemme, Bill Franek and Kevin Mattison, "Digital Photographic Technique to Quantify Plume Opacity During Daytime and Nighttime", *Atmospheric and Biological Environmental Monitoring*, 39-50, 2009.
- [6] Ke Du, MJ. Rood, BJ Kim, MR Kemme, B. Franek, K. Mattison, "Quantification of Plume Opacity by Digital Photography", *Environ. Sci. Technol.*, 928-935, 2007.
- [7] Taylor, J. K, "Statistical Techniques for Data Analysis", Lewis Publishers: Inc: Chelsea, MI, 1990.



**반재훈(ChaeHoon Ban)**

부산대학교 컴퓨터공학과 공학박사  
현 고신대학교 인터넷비즈니스학과 부교수  
※관심분야 : 스마트앱, 인터넷응용, RFID, 환경IT