

# 광학기법을 이용한 흰 연기 혼탁도 측정법의 개선연구

반재훈\*

## Research on Improvement of White Plume Turbidity Measurement using Optical Method

Chae-Hoon Ban\*

### 요약

광학기법(Digital Optical Method, DOM)은 디지털카메라를 이용해 두 구역의 방사 휘도를 계산하여 연기의 혼탁도를 측정하는 방법이다. 광학기법을 이용하여 연기의 혼탁도를 측정하는 경우에, 맑거나 흐린 하늘을 배경으로 한 검은 연기이면 측정의 결과가 비교적 정확하나, 흐린 하늘 배경의 흰 연기일 때 연기와 배경이 구분되지 않아 측정의 오차가 발생한다. 본 논문에서는 흐린 하늘 배경에 흰 연기 혼탁도 측정의 정확도를 향상하기 위하여, 혼탁도를 계산할 때 오차를 최소화하는 최적의 확산산란 매개변수를 찾는다. 먼저 매연 발생 장치를 사용하여 혼탁도별로 연기를 발생시켜 사진을 촬영하고 이를 기준으로 혼탁도 측정 시 사용되는 확산산란 매개변수를 조정하여 오차를 최소화한다.

### ABSTRACT

DOM(Digital Optical Method) is a method of measuring plume turbidity by calculating the radiance of two areas using a digital camera. In the case of measuring the turbidity of plume using DOM, it is easy to measure black plume against a clear or cloudy sky. However in the case of white plume on cloudy days, the color of the smoke cannot be distinguished from the background causing errors in measurement results. In this paper we find the optimal diffuse scattering parameter to improve performance by adjusting the existing diffuse scattering parameter used to calculate the turbidity of white plume against a cloudy sky background. Plume is generated for each degree of turbidity to take pictures using a smoke generator, and errors are minimized by adjusting the diffuse scattering parameters used when measuring turbidity.

### 키워드

White Plume, DOM, EPA Method 9, Fugitive Dust, Turbidity  
흰연기, 디지털 광학 방법, 미국 환경 보호청 메소드9, 비산 먼지, 혼탁도

### 1. 서론

대기오염의 관리를 위하여 대기오염물질을 배출하는 대규모의 사업장은 굴뚝에 자동측정기기를 부착해

야 하며 대기오염물질 배출 정보를 환경부에서 운영하는 굴뚝 원격감시체계 관제센터에 전송한다. 그러나 중소규모의 사업장은 대기오염물질을 무단배출하거나 오염물질 측정의 결과를 거짓으로 기록할 수 있으므

\* 교신저자: 고신대학교 의료경영학부 보건의료정보 관리전공 교수

• 접수일: 2024. 09. 24  
• 수정완료일: 2024. 11. 02  
• 게재확정일: 2024. 12. 12

• Received : Sep. 24, 2024, Revised : Nov. 02, 2024, Accepted : Dec. 12, 2024

• Corresponding Author : Chae-Hoon Ban

Division of Health Care Administration, Kosin University  
Email : chban@kosin.ac.kr

로 이를 방지할 수 있는 대책이 필요하다. 특히 다른 오염물질과는 다르게 대기오염물질을 배출하는 경우에 배출 후에 대기 중으로 빠르게 확산해 단속이 어려우며 현장 적발하였다 하더라도 시료 채취가 어려워 적극적인 대기 오염행위 적발, 단속을 위한 지도·점검 관련법 개선이 필요하다[1].

굴뚝에서 발생하는 연기의 혼탁도를 측정하는 방법은 자동시정측정기를 사용하여 측정하거나, 측정 전문가가 현장에서 직접 눈으로 측정하는 Method 9 방법이 있다. 그러나 자동시정측정기의 사용은 구축에 큰 비용이 들며 정확한 측정값을 위하여 지속적인 유지와 관리가 필요한 단점이 있다. 또한, 측정 전문가를 통한 측정은 지속적인 측정자의 교육 등의 큰 비용과 측정값이 다소 주관적일 수 있다는 단점이 있다[2].

이러한 문제점을 해결하기 위하여 다양한 방법이 연구됐으며 그중에서 디지털카메라를 이용하여 연기의 혼탁도 측정하는 광학검출 방법인 DOM(: Digital Optical Method)이 있다[3,4]. DOM은 저비용의 디지털카메라를 이용해 측정하고자 하는 연기와 대조 구역을 설정하고 수식을 이용하여 방사 휘도(radiance)의 차이를 계산하여 혼탁도를 측정하는 방법이다. DOM을 이용하여 연기의 혼탁도를 측정하는 경우에 구름 없는 파란 하늘 배경인 맑은 하늘 배경(이하 맑은 하늘 배경)이거나 구름이나 흐린 하늘을 포함하는 흐린 하늘 배경(이하 흐린 하늘 배경)으로 한 검은 연기는 측정이 쉬우나, 흐린 하늘 배경의 흰 연기일 때 배경과 연기의 색이 유사하여 방사 휘도 차가 작아서 측정 결과의 오차가 발생한다[5-10].

본 논문에서는 흐린 하늘 배경의 흰 연기 혼탁도 측정의 오차를 해결하기 위하여 혼탁도를 계산할 때 사용하는 기존의 확산산란 매개변수를 조정하여, 오차를 최소화하는 최적의 확산산란 매개변수를 찾는다. 먼저 자동시정측정기가 부착된 매연 발생 장치를 사용하여 혼탁도 별로 연기를 발생시켜 사진을 촬영하고 이를 기준으로 혼탁도 측정 시 사용되는 확산산란 매개변수를 조정하여 오차를 최소화한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 관련 연구로서 미국의 Method 9와 연기의 혼탁도 측정을 위한 DOM 기법에 대하여 설명한다. 3장에서는 DOM을 이용하여 흐린 하늘 배경에 흰 연기의 혼탁도를 측정할 때 발생하는 문제점과 본 논문에서 사용

한 데이터 구축 방법을 기술한다. 그리고 4장에서는 정확한 혼탁도 측정을 위해 확산산란 매개변수를 조정하여 최적의 값을 찾고, 실험을 통해 효율성을 증명한다. 마지막 장에서는 결론과 향후 연구를 기술한다.

## II. 관련 연구

연기의 혼탁도를 측정하는 일반적인 방법은 자동시정측정기를 굴뚝 안에 장착하여 관찰하는 방법이다. 그러나 이 방법은 고비용이 들며 혼탁도를 정확하게 측정하기 위하여 지속적인 유지관리가 필요하다. 미국은 미국환경보호청에서 Method 9를 기반으로 혼탁한 굴뚝연기를 관리하고 있다. 그러나 이 방법도 일정한 교육을 주기적으로 이수한 측정 전문가 필요하므로 지속적인 교육 등 고비용과 측정값이 다소 주관적이라는 부정확한 단점이 있다[2].

Method 9의 단점을 극복하기 위하여 혼탁도를 측정하는 다양한 방법이 연구되었다. DOM은 저비용의 디지털카메라를 이용해 빛이 있는 환경에서 굴뚝연기의 혼탁도를 정량화하기 위해 개발된 방법이다[3,4]. 이 방법은 디지털카메라를 이용하므로 비용이 저렴하며 측정 결과가 기존 방법보다 상대적으로 높으며 관찰자의 주관을 배제할 수 있는 장점이 있다.

[5,6]에서는 DOM을 기반으로 구현된 혼탁도 측정 프로그램의 우수성을 입증하기 위하여 미국 일리노이 현지에서 실행되고 있는 Method 9 교육 및 테스트에 참여하여 측정 방법의 신뢰도를 확보하였다. 혼탁도 측정 모듈을 사용하여 검은 연기를 측정하였을 때 평균 오차율은 7.68%이었으며 흰 연기는 18.21%로 평가되었다. 그러나 흰 연기를 측정하는 경우에는 대조 배경(지붕, 나무, 파란 하늘 등)이 꼭 있어야 측정할 수 있다는 한계점이 있었다.

[7]에서는 흐린 하늘 배경에 흰 연기의 혼탁도를 측정하기 위하여 하늘 배경을 분류하고, 분류된 하늘 배경별로 혼탁도의 정확성을 높이기 위한 필터를 개발하였다. 필터를 적용하면 기존의 방법보다 혼탁도의 오차가 전체적으로 개선되었으나 혼탁도의 일부 구간에서 노이즈가 발생하는 한계점이 있었다.

### III. 문제정의

연기의 혼탁도를 측정하기 위해서는 디지털카메라로 연기를 촬영하고 연기와 그 대조 구역(벽, 지붕 등)을 설정하여 두 부분의 방사휘도(radiance)를 계산하여 혼탁도를 측정한다. 연기의 혼탁도를 계산할 때 아래와 같이 수식 (1) 또는 수식 (2)를 사용하는데 두 수식은 역관계로서, 결과 한쪽이 양수이면 다른 한쪽은 음수의 값이 계산된다. 그래서 혼탁도 계산 시 두 수식을 모두 이용하여 값을 계산하고 이 중에서 양수 값을 결과로 취한다. 수식 (1)은 검은 연기에서 양수 값을 가지며  $N_{pb}$ 는 연기의 휘도,  $N$ 은 대조 배경의 휘도이며, 확산산란 매개변수  $k_b$ 는 상수 0.16이다. 수식 (2)는 흰 연기에서 양수 값을 가지며  $N_{pw}$ 는 연기의 휘도,  $N$ 은 대조 배경의 휘도이며 확산산란 매개변수  $k_w$ 는 상수 1.43이다.

$$Opacity = \left( \frac{1 - \frac{N_{pb}}{N}}{1 - k_b} \right) \times 100 \quad \dots (1)$$

$$Opacity = \left( \frac{\frac{N_{pw}}{N} - 1}{k_w - 1} \right) \times 100 \quad \dots (2)$$

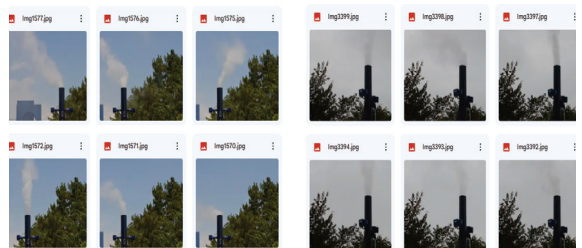
그런데 흐린 하늘 배경에 흰 연기의 혼탁도를 계산하는 경우에 배경과 연기 사이의 대비가 부족하여 위의 두 수식을 이용하는 경우에 큰 오차가 발생한다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 오차를 최소화하는 확산산란 매개변수  $k$ 를 찾는다.



그림 1. 매연발생장치를 이용한 연기 사진 데이터의 구축  
Fig. 1 Construction of Plume Photo Data using a Smoke Generator

먼저 DOM 기반 혼탁도 측정 프로그램의 정확도 측정을 위해 매연 발생 장치를 사용하여 혼탁도 별로 연기를 발생시키고 이를 디지털카메라로 촬영하여 기준이 되는 데이터를 생성하였다. 매연 발생 장치는 그림 1과 같이 국내업체에서 제작되었으며 자동시정측정기가 부착되어 사용자가 원하는 혼탁도 별로 연기를 발생시키는 장치이다. 이 장치를 특정 장소에 설치하고 디지털카메라를 사용하여 다양한 하늘을 배경으로 연기의 사진을 촬영하고 혼탁도 측정 프로그램을 사용하여 혼탁도를 측정하였다. 그리고 매연 발생 장치에서 자동시정측정기로 측정된 실제 연기의 혼탁도와 혼탁도 측정 프로그램에서 계산한 혼탁도와의 차이를 계산하였다. 오차를 계산하는 방법으로 실제값에서 측정값의 잔차에 절댓값을 취한 뒤 평균으로 처리하는 MAE( Mean Absolute Error)를 사용하였다.

데이터는 2023년 1월부터 9월까지 44일에 걸쳐서 수집되었으며 이 중에서 바람, 안개 등의 사진을 제외하고 2,376장의 촬영된 사진을 필터링하여 데이터를 구축하였다. 이러한 사진 중에서 흐린 하늘 배경의 데이터를 추출하였는데 전체 44일의 데이터 중에서 12일이 해당하였으며 사진은 총 1,036장이었다. 그림 2는 구축한 데이터 중에서 맑은 하늘 배경의 흰 연기 사진과 흐린 하늘 배경의 흰 연기 사진의 샘플이다.



(a) 맑은하늘 배경의 흰연기 (b) 흐린하늘 배경의 흰연기  
(a) White Plume on a Clear Sky Background (b) White Plume on a Cloudy Sky Background

그림 2. 실험에 사용한 연기 사진 데이터  
Fig. 2 Flume Photo Data used in the Experiment

그림 3의 그래프는 흐린 하늘 배경의 흰 연기의 혼탁도를 실측한 값(Actual Value)과 확산산란 매개변수를  $k=0.16$  및  $k=1.43$ 으로 설정하고 기존의 혼탁도 측정 프로그램으로 혼탁도를 계산한 결과 비교 그래

프이다. 그래프에서 볼 수 있는 것처럼 확산산란 매개변수  $k=0.16$  및  $k=1.43$ 인 경우에 실제 혼탁도 값을 따라가는 경향은 보이나 전반적으로 많은 오차가 발생하고 있으며, 혼탁도 값이 커질수록 오차 역시 더욱 커지는 경향을 나타내고 있다.

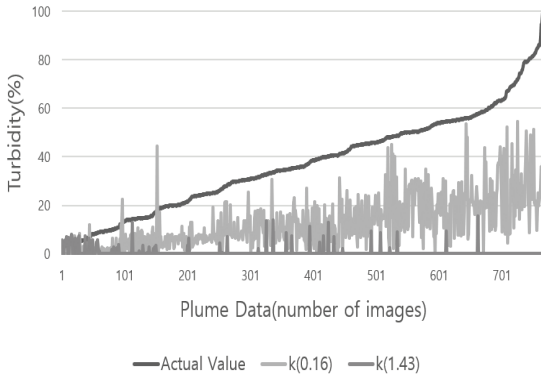


그림 3. 흰 연기 혼탁도에 대한 실제값과 계산값의 비교 그래프

Fig. 3 Comparison Graph between Actual and Calculated Values for White Plume Turbidity

실제값에서 측정값의 잔차에 절댓값을 취한 뒤 평균으로 처리하는 MAE의 값은 그림 4와 같이 각각 25.39와 37.2로 계산되었다. 이 경우 Method 9에서 허용하는 오차인 15를 넘는 수준으로, 기존의 혼탁도 측정 프로그램으로는 흐린 하늘 배경의 흰 연기에 대한 혼탁도 측정법이 현장에 적용되기에는 한계가 있음을 알 수 있다.

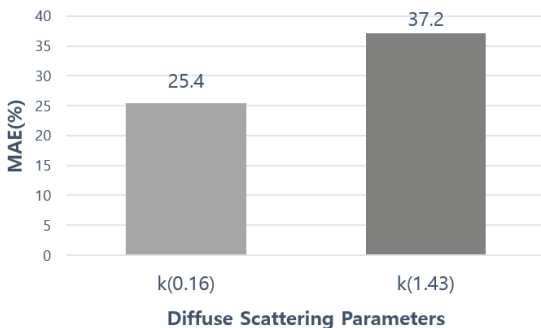


그림 4. 확산산란 매개변수에 따른 오차  
Fig. 4 Errors of Diffuse Scattering Parameters

#### IV. 확산산란 매개변수의 조정

흐린 하늘을 배경으로 흰 연기의 정확한 혼탁도를 계산하기 위한 확산산란 매개변수  $k$  값을 찾기 위하여 본 논문에서는 하나의 연기 사진으로부터  $k$  값을 다양하게 변경하여 혼탁도 값을 계산하고 이를 저장하는 프로그램을 개발하였다.

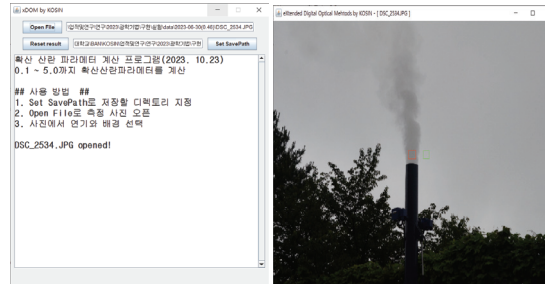


그림 5. 최적의 확산산란 매개변수를 찾기 위한 프로그램 개발

Fig. 5 Development of a Program to Find Optimal Diffuse Scattering Parameters

그림 5는 개발된 최적의 확산산란 매개변수를 찾는 프로그램이다. 그림의 오른쪽과 같은 연기 사진에서 연기 영역과 하늘 영역을 선택하면 확산산란 매개변수를 0.1부터 0.01 단위로 변경하면서 혼탁도 값을 계산하고 이를 저장한다. 이를 이용하여 구축된 다수의 연기 사진으로부터 확산산란 매개변수를 변경하면서 혼탁도 값을 계산하고 실제 값과의 오차를 계산하여 오차가 가장 작은 최적의 확산산란 매개변수를 찾았다.

| File Name   | 혼탁도 | 0.1      | 0.11     | 0.12     | 0.13     | 0.14     | 0.15     | 0.16     | 0.17     | 0.18     | 0.19     |
|-------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| img3145.jpg | 5.3 | 7.735124 | 7.822036 | 7.910923 | 8.001853 | 8.094897 | 8.190131 | 8.287633 | 8.387485 | 8.489771 | 8.594583 |
| img3146.jpg | 4.5 | 6.832025 | 6.902089 | 6.987298 | 7.067612 | 7.149793 | 7.233908 | 7.320026 | 7.408219 | 7.498563 | 7.591138 |
| img3147.jpg | 8.1 | 1.655405 | 1.674005 | 1.693028 | 1.712488 | 1.732401 | 1.752782 | 1.773649 | 1.795018 | 1.816908 | 1.839319 |
| img3148.jpg | 5.3 | 2.824548 | 2.854285 | 2.888742 | 2.921947 | 2.955923 | 2.990698 | 3.026302 | 3.062763 | 3.100114 | 3.138387 |
| img3149.jpg | 3.8 | 0.240199 | 0.242898 | 0.245658 | 0.248482 | 0.251371 | 0.254329 | 0.257356 | 0.260457 | 0.263633 | 0.266888 |
| img3150.jpg | 3.3 | 0.264484 | 0.267456 | 0.270495 | 0.273605 | 0.276786 | 0.280042 | 0.283376 | 0.286799 | 0.290288 | 0.293872 |
| img3151.jpg | 4.9 | 3.47903  | 3.51812  | 3.55809  | 3.598996 | 3.640845 | 3.683679 | 3.727532 | 3.772442 | 3.818448 | 3.865589 |
| img3152.jpg | 5.9 | 4.264514 | 4.31240  | 4.361435 | 4.411567 | 4.462864 | 4.515369 | 4.569123 | 4.624173 | 4.680565 | 4.738349 |
| img3153.jpg | 4.7 | 1.488823 | 1.505551 | 1.52266  | 1.540161 | 1.55807  | 1.576401 | 1.595167 | 1.614386 | 1.634074 | 1.654247 |
| img3154.jpg | 9.9 | 2.254815 | 2.250419 | 2.275992 | 2.302153 | 2.328922 | 2.356321 | 2.384373 | 2.4131   | 2.442528 | 2.472683 |
| img3155.jpg | 4.5 | 2.716986 | 2.808188 | 2.840099 | 2.872744 | 2.906148 | 2.940338 | 2.975342 | 3.01119  | 3.047911 | 3.0854   |

그림 6. 확산산란 매개변수를 변경하면서 혼탁도를 계산한 파일의 예

Fig. 6 Example of a File Calculating Turbidity While Changing Diffuse Scattering Parameters

그림 6은 개발된 프로그램이 다수 개의 연기 사진으로부터 확산산란 매개변수를 변경하면서 계산된 혼

탁도를 계산하여 저장한 파일의 예이다. 확산산란 매개변수별로 혼탁도가 계산되며, 왼쪽의 실제 혼탁도와 오차를 계산한다. 이때 오차를 계산하는 방법은 MAE(Mean Absolute Error)를 사용한다.

위의 방법을 사용하여 최적의 확산산란 매개변수를 도출하였다. 앞에서 언급한 것처럼, 2023년 1월부터 9월까지 촬영된 연기 사진 중에서 흐린 하늘 배경의 흰 연기 사진 1,036개를 대상으로 확산산란 매개변수별 MAE를 계산하였다. 이렇게 계산된 MAE 값 중에서 가장 작은 MAE를 찾고 이때의 확산산란 매개변수 값이 무엇인지를 도출하였다. 도출된 값은  $k=0.68$ 로서 기존의  $k=0.16$ 과는 상당히 차이가 있는 값이었다. 이렇게 도출된 값이 기존 값보다 얼마나 효율적인지를 다양한 데이터를 이용하여 측정하였다.

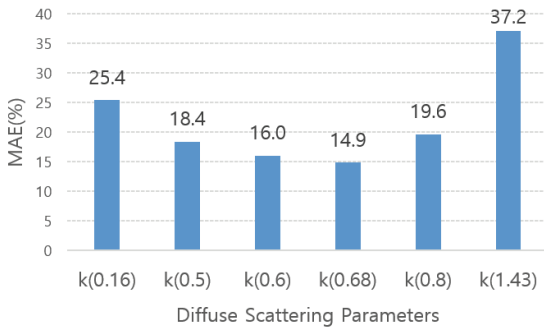


그림 7. 확산산란 매개변수별 오차  
Fig. 7 Errors of Diffuse Scattering Parameters

그림 7은 주요한 확산산란 매개변수별 오차값을 나타낸 그래프이다. 기존의 방법( $k=0.16$ )으로 측정된 혼탁도의 MAE는 25.4였으며 각각  $k=0.5, 0.6, 0.68, 0.8, 1.43$ 인 경우 실제 혼탁도에 대한 MAE는 각각 18.4, 16.0, 14.9, 19.6, 37.2였다. 따라서  $k=0.68$ 일 때 실제값에 가장 근접한 값을 가지므로 흐린 하늘 배경의 흰 연기를 측정할 때 확산산란 매개변수는  $k=0.68$ 로 계산해야 효율적이라는 것을 실험을 통해 증명하였다.

도출한  $k=0.68$ 의 확산산란 매개변수를 이용하여 2023년 9월 20일에 촬영된 연기 사진의 혼탁도를 측정하였다. 총 212개의 촬영 사진에 대하여 아래와 같이 기존 방법( $k=0.16$ )과 개선된 방법( $k=0.68$ )을 비교하였다. 그림 8의 그래프에서 볼 수 있는 것처럼 확산산란 매개변수  $k=0.68$ 인 경우에 실제 혼탁도 값을 따

라간다. 물론, 위아래로 오차가 많이 발생하는 값이 존재하는데 이것은 바람 또는 태양의 밝기에 따라 노이즈 값이 포함된 것으로 해석할 수 있다.

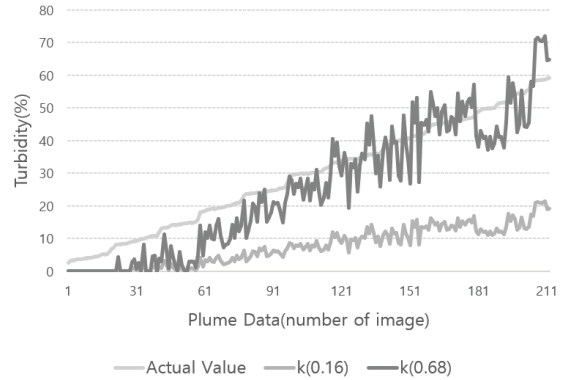


그림 8. 확산산란 매개변수별 혼탁도 비교  
Fig. 8 Comparison of Turbidity by Diffuse Scattering Parameters

기존의 방법보다 새로 도출한 확산산란 매개변수를 사용하는 방법이 정확도가 우수하나 이 방법에도 문제가 발생한다. 실제 혼탁도가 10 이하로 낮은 경우에 흐린 하늘 배경과 흰 연기의 휘도 차이가 극히 작으므로 도출한  $k=0.68$ 의 확산산란 매개변수를 적용하더라도 그림 9와 같이 혼탁도가 0으로 계산된다.

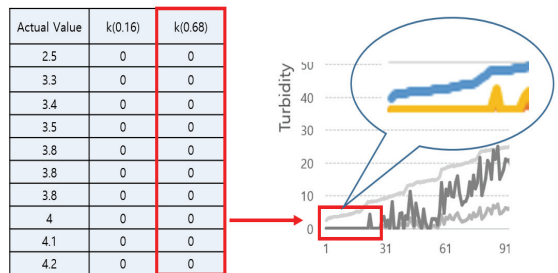


그림 9. 작은 휘도차이에 의한 혼탁도 계산의 오차  
Fig. 9 Errors in Turbidity Calculation due to Small Luminance Difference

그래서 혼탁도 비교 그래프를 보면 혼탁도가 0~10 구간에 혼탁도의 값이 모두 0인 것을 확인할 수 있다. 향후 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 이미지 필터를 통해 알고리즘을 개선하는 2차 보정을 수행할 예정이다.



V. 결론 및 향후 연구

광학검출 방법을 이용하여 연기의 혼탁도를 측정하는 DOM은 흰 연기를 측정하는 경우에 흐린 날에는 배경과 연기의 색이 구분되지 않아 측정이 어렵다. 본 논문에서는 흐린 하늘 배경의 흰 연기 혼탁도 측정의 큰 오차를 해결하기 위하여 혼탁도를 계산할 때 사용하는 확산산란 매개변수를 조정하여 오차를 최소화하는 최적의 확산산란 매개변수를 찾았다.

먼저 자동시정측정기가 부착된 매연 발생 장치를 사용하여 혼탁도별로 연기를 발생시켜 사진을 촬영하고 이를 기준으로 혼탁도 측정 시 사용되는 확산산란 매개변수를 조정하여 오차를 최소화하였다. 실험을 통해 계산된 최적의 확산산란 매개변수의 값은  $k=0.68$  이었으며, 기존 방법의 오차가 25.4이나 이 확산산란 매개변수를 사용하면 14.9로 계산되어 정확도가 10.5% 향상되었음을 확인하였다.

향후 연구에서는 혼탁도가 0~10구간에 혼탁도의 값이 모두 0인 문제를 해결하고, 오차를 최소화하기 위해 하늘 배경별로 적용하는 이미지 필터를 개발하여 2차 보정을 수행하는 방법을 연구할 예정이다.

References

[1] Air Quality Conservation Act Enforcement Rules, Ministry of Environment Ordinance No.608, 2015

[2] Visible Emissions Field Manual EPA Methods 9, EPA 340/1-92-004, 1993

[3] K. Du, M. Rood, B. Kim, M. Kemme, B. Franek, and K. Mattison, "Evaluation of Digital Optical Method To Determine Plume Opacity during Nighttime," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 43, no. 3, 2009, pp. 783-789. <https://doi.org/10.1021/es800483x>

[4] K. Du, M. Rood, B. Kim, M. Kemme, B. Franek, and K. Mattison, "Digital Photographic Technique to Quantify Plume Opacity During Daytime and Nighttime," *Atmospheric and Biological Environmental Monitoring*, Heidelberg: Springer, 2009, pp. 39-50. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9674-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9674-7_3)

[5] C. Ban, "Design and Implementation of Turbidity Measurement Module of Plume

using a Digital Camera," *J. of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 2, 2015, pp. 372-378. <https://doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.2.372>

[6] C. Ban, "Design and Implementation of Turbidity Measurement Module of Plume using a Mobile Device," *J. of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 11, 2015, pp. 2623-2628. <https://doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.11.2623>

[7] H. Son and C. Ban, "Design of Turbidity Measurement of White Plume using Optical Method," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 6, 2020, pp. 1195-1200. <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2020.15.6.1195>

[8] C. Ban and H. Son, "Design and Implementation of Fugitive Dust Measurement System using Optical Method," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 17, no. 6, 2022, pp. 1237-1242. <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2022.17.6.1237>

[9] S. Lee, C. Lee, and J. Koh "Design of Heating Supply System for Facility House using Industrial Chimney Waste Heat," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 18, no. 4, 2023, pp. 661-668. <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2023.18.4.661>

[10] E. Lee, "Autonomous Driving Platform using Hybrid Camera System," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 18, no. 6, 2023, pp. 1307-1312. <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2023.18.6.1307>

저자 소개

**반재훈(Chae-Hoon Ban)**



1997년 부산대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)

1999년 부산대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

2006년 부산대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

2008년 ~ 현재 고신대학교 의료경영학부 보건의료정보관리전공 교수

※관심분야: 모바일, 빅데이터, AI, 대기모니터링