

## PF2) 광산란법 미세먼지 측정 보정

### Compensation of Particulate Matter Measurement by Light Scattering Method

김서진 · 손윤석<sup>1)</sup> · 강호성 · 김조천<sup>1)</sup> · 이재효<sup>2)</sup> · 김규식<sup>3)</sup> · 김인원

건국대학교 화학공학과, <sup>1)</sup>건국대학교 환경공학과, <sup>2)</sup>건국대학교 기계공학과,

<sup>3)</sup>서울시립대학교 제어계측공학과

#### 1. 서 론

지하철은 대중교통 중 정체가능성이 가장 적고 이용금액이 저렴하여, 가장 많이 이용하는 대중교통 수단 중 하나이다. 하지만 대부분의 역사가 지하에 있다는 위치적 조건을 가지며, 출퇴근 시간에 인구가 급격하게 증가하기 때문에 이로 인한 공기오염이 매우 심각하다. 따라서 지하역사의 공기오염도 저감 방안에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있으며, 그 연구의 기반이 되는 것은 실제 오염인자의 농도 측정 자료일 것이다. 우리나라에서는 현행 환경기준법에 따라  $\beta$ -ray 방식을 채택하여, PM(Particulate Matter, 미세먼지)농도 등을 측정하고 있으며, 이것은 측정 방식에 의해 실시간 농도 측정이 어렵다는 단점이 있다.

뉴질랜드 환경부의 발표에 의하면, 일반적으로 지금까지는 미세먼지의 농도를 측정하는 데에 있어서 중량법을 많이 이용하였다. 이 때, 이 중량법은 24시간 주기로 미세먼지를 포집하여 무게를 재는 방식으로 상대적으로 낮은 비용이 들기는 하나 실시간 측정이 어려우며, 따라서 필요한 시간에 환기 등의 적절한 조치들이 이루어지지 못한다는 단점이 있다. 이에 따라, 실시간 측정이 가능한 광산란법의 정확도를 확인하기 위해 New Plymouth에서 2000년 2월, 5월, 11월에 광산란법 방식의 GRIMM이라는 장비를 이용하여 미세먼지 농도를 측정하는 실험을 하였으며, 이 외에도 2002년에 L.Y. Chan에 의한 연구, 2008년에 Yu-Hsiang에 의한 연구 등이 진행되어, 광산란법에 의한 연구가 꾸준히 진행되고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 지하역사의 쾌적한 공기 유지를 위해, 현재 우리나라에서 인증되지 않은, 광산란법 방식의 정확도를 밝히고, 실시간 데이터를 사용할 수 있게끔 하여 시스템의 효율성을 높이는 데에 그 목적이 있다.

#### 2. 미세먼지 농도 측정 방법

미세먼지 농도 측정 방식의 종류에는 크게 중량법과  $\beta$ -ray 및 광산란법이 있으며, 이 중 현재 우리나라에서는 중량법과  $\beta$ -ray 방식을 이용하고 있다.

##### 2.1 $\beta$ -ray 방식( $\beta$ -ray absorption Method)

대기 중에 부유하고 있는  $10\mu\text{m}$  이하의 입자상 물질을 일정시간 여과지 위에 포집하여 베타선을 투과시켜 입자상물질의 중량농도를 연속적으로 측정하는 방법이다. 이는 베타선을 방출하는 광원으로부터 조사된 베타선이 여과지 위에 포집된 분진을 통과 할 때 흡수 소멸되는 베타선의 차로써 측정되어진다.

##### 2.2 광산란법(Light Scattering Method)

대기 중에 부유하고 있는 입자상 물질에 빛을 조사하면 입자상 물질에 의해 빛이 산란하게 되며, 물리적 성질이 동일한 입자상 물질의 빛을 조사하면 산란광의 양은 질량 농도에 비례하게 된다. 이러한 원리를 이용하여 산란광의 양을 측정하고 그 값으로부터 입자상 물질의 양을 구하는 방법을 광산란법이라 한다.

#### 3. 광산란법 보정방법

광산란법 보정을 위한 데이터를 수집하기 위해 2009년 5월 7일부터 2009년 5월 27일까지 21일간 J-역사에  $\beta$ -ray 방식(Ebam)과 광산란법 방식(HCT)의 측정기를 각각 한 대씩 설치하였다. 측정 위치는 인

구의 유동이 많은 승강장으로 하였으며, 측정시간은 1분 단위로 연속측정 하였다.

### 3.1 선형회귀분석을 이용한 보정

$\beta$ -ray와 광산란법으로 측정된 한 시간 평균데이터를 이용하여 선형회귀분석을 실시하면, 두 값의 상관계수(correlation coefficient)는 0.936으로 상관성이 매우 높은 것으로 나타나며,  $R^2$ 는 86.96%로 두 측정값이 유사한 것으로 확인된다.

### 3.2 비선형회귀분석을 이용한 보정

위의 선형회귀분석을 통한 1차식의 생성이 아닌, 조금 더 적합한 모델을 찾기 위해 비선형 회귀분석을 실시하였으며, 회귀분석의 결과,  $R^2$ 가 88.01%로 계산되어, 선형회귀분석 결과보다 더 적합한 것을 알 수 있다.

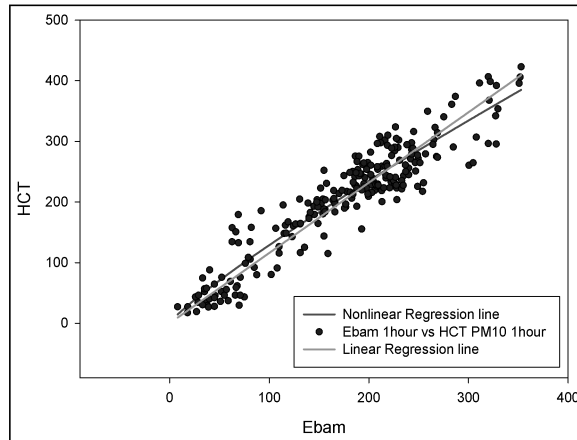


Fig. 1.  $\beta$ -ray방식과 광산란법의 측정값에 대한 비선형 회귀분석 결과.

### 3.3 Othogonal LS를 이용한 보정

최소자승법은, 일련의 측정 자료에 가장 부합하는, 측정값과 이론적 모델 반응값(예측값)의 차의 제곱의 합이 최소가 되도록 하는 모델변수를 결정하는 방법이다. 이는 어느 정도의 데이터 오류는 보정될 수 있으나, 본 연구와 같이 기준이 되는 실험값(Ebam) 또한 오류를 보유하고 있는 경우, 적합하지 않을 수 있다. 따라서, 종속변수(Y)뿐 아니라 독립변수(X)에도 오차가 있을 경우, 양 변수의 오차를 모두 보정하는 직교최소자승법(Orthogonal Least Squares Method)을 이용할 수 있다.

최소자승법을 이용하였을 경우 RMSE(Root Mean Squared Error)는 67.1%였으나, 직교최소자승법 이용 시 RMSE는 28.9%로 매우 낮아졌다. 이에 따라, 양 측정값의 오류를 감안하면, 광산란법을 이용한 데이터 측정이 높은 정확도를 갖는다는 것을 알 수 있다.

## 4. 결 론

기존의  $\beta$ -ray 방식은 실시간 측정이 어렵다는 가장 큰 단점을 가지고 있다. 그러나 지하역사 내 미세 먼지 농도의 실시간 측정을 통해 농도에 따라 환기 시스템 운용이 이루어진다면, 현재보다 쾌적한 공기를 유지할 수 있을 것이다. 따라서 실시간 측정이 가능하며, 짧은 시간 단위의 측정에도 측정 오류가 적은 광산란법의 정확성에 대한 연구가 계속되고 현장에 적용할 수 있게 되면, 시스템의 효율성이 증대될 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- Chan, L.Y., W.L. Lau, S.C. Lee, and C.Y. Chan (2002) Commuter exposure to particulate matter in public transportation modes in Hong Kong, *Atmospheric Environment*, 36(21), 3363-3373.
- Chan, L.Y., W.L. Lau, S.C. Zou, Z.X. Cao, and S.C. Lai (2002) Exposure level of carbon monoxide and respirable suspended particulate in public transportation modes while commuting in urban area of Guangzhou, China, *Atmospheric Environment*, 36(38), 5831-5840.
- Cheng, Y.H., Y.L. Lin, and C.C. Liu (2008) Level of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Taipei Transit System, *Atmospheric Environment*, 42(31), 7242-7249.