

## PF8) 지하철 본선 터널에서의 실시간 미세먼지 변동 분석

### Real-time Variable Analysis of Particulate Matters in a Subway Tunnel

곽은성<sup>1)</sup> · 김서진<sup>1)</sup> · 강호성<sup>1)</sup> · 손윤석<sup>2)</sup> · 윤상렬<sup>3)</sup> · 김조천<sup>2,3)</sup> · 이재효<sup>4)</sup> · 김인원<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>건국대학교 화학공학과, <sup>2)</sup>건국대학교 신기술융합과, <sup>3)</sup>건국대학교 환경공학과,

<sup>4)</sup>건국대학교 기계공학과

#### 1. 서 론

현대사회 시민들은 실내공간에서 대부분의 시간을 보내고 있으며, 중요 교통수단의 하나인 지하철도 실내공간으로서 깨끗한 환경을 원하는 욕구가 점차 커져가고 있다. 현재 지하철역사에서는 PSD(Platform Screen Door)를 설치함으로써 오염물질의 확산이 감소해 승강장의 공기질은 좋아졌지만, 반대로 터널 쪽에서는 오염물질이 축적되어 터널내 공기질이 더욱 나빠질 것으로 예측된다. 2005년 09월 27일 지하철 환경 실태보고서 발표회에서 『지하철 승무원실의 미세먼지가 기준 오염치의 두 배를 초과해 노동자들과 승객의 건강을 심각하게 위협하는 수준』이라고 발표했다. 이와 더불어 승무원이 건강하고 안전하게 일할 수 있는 환경을 제공하는 것은 지하철의 안전운행에 매우 중요한 요소이며, 또한 터널 내에서 오랜 시간 근무하는 노동자들의 건강에 영향을 줄 수 있다(곽현석 등, 2005). 오염물질의 독성 및 노출도를 종합적으로 평가한 연구결과(김예신 등, 2003)에 의하면 인체위해성이 가장 높은 대기오염물질은 미세먼지인 것으로 보고되어 있으며, 대기 중에 장시간 체류하며 사람이 호흡할 때 폐의 기관지 또는 폐포 부위에 침착되기 쉽기 때문에 본 연구에서 미세먼지를 측정항목으로 선정하였다.

대부분의 지하철역사에서는 일일단위 또는 실제 운영시간 단위의 미세먼지 샘플을 측정하고, 이를 바탕으로 공기질 상태를 진단 및 판단하는 오프라인 형식의 모니터링 방법이 적용되고 있다. 하지만 지하철 본선 터널에서 미세먼지 농도의 경우, 일정한 주기로 변동이 일어나는 주기특성을 가지고 있으므로 미세먼지의 일일 또는 일정기간 이상치들이 터널내 공기질을 크게 좌우할 수 있다. 만약에 터널 내의 미세먼지 농도가 급격하게 변화할 경우, 실시간이 아닌 일일기간의 측정치를 가지고 터널내 공기질을 판단하게 된다면 그 시기의 이상 현상의 원인을 판단할 수 없을 것이다. 그에 따라 현재 적용되고 있는 오프라인 모니터링에서도 이상 현상을 감지하지 못한 채 터널내 공기질을 크게 떨어뜨리는 상황을 야기할 수 있다. 또한 2010년 3월 개정된 『실내공기질 공정시험 기준』에 따라 지하철역사의 공기질 시험방법을 중량법(주방법)과 베타선 흡수법(부방법)을 채택하고 있다. 하지만 중량법과 베타선 흡수법( $\beta$ -ray absorption Method)은 일정 주기단위로 미세먼지를 포집하여 무게를 재는 방식으로서 현재 적용되고 있는 오프라인 모니터링의 형태로써 실시간 측정이 어렵기 때문에 이상 현상을 적시 적절하게 조치하지 못하는 문제가 발생할 수 있다.

본 연구에서는 서울시 지하철 3호선 D역을 대상으로 그림 1과 같이 베타선 흡수법(E-bam장비)과 광산란법(Grimm장비)을 사용하여 지하철 본선 터널에서의 실시간 미세먼지 농도를 측정하는 실험을 하였으며, 실시간 측정이 가능한 광산란법을 베타선 흡수법을 이용해 정확하게 예측될 수 있도록 보정하였다. 특히 본선 터널에서의 실시간 미세먼지 농도를 측정한 데이터를 정보로 변환하고 실시간으로 터널내 공기질을 진단하여 터널내 공기질 이상현상을 미리 감지하고 이를 적시 적절하게 판단 및 조치를 취해 승무원과 지하철 작업자, 이용 승객의 안전을 도모하는데 그 목적이 있다.

#### 2. 베타선 흡수법( $\beta$ -ray absorption Method) 및 광산란법(Light Scattering Method)

베타선 흡수법이란 실내공기 중에 부유하고 있는 10  $\mu\text{m}$  이하의 입자상 물질을 일정시간 여과지 위에 채취하여 베타선을 투과시켜 중량농도를 연속적으로 측정하는 방법이다. 베타선을 방출하는 광원으로부터 조사된 베타선이 여과지 위에 채집된 먼지를 통과 할 때, 흡수/소멸되는 베타선의 차로써 측정된다.

이 실험에서는 1시간 단위로 측정하였다.

실내공기 중의 입자상 물질에 빛을 조사하면 빛이 산란하게 되며, 물리적 성질이 동일한 입자상 물질의 빛을 조사하면 산란광의 양은 질량 농도에 비례하게 된다. 이를 이용하여 산란광의 양을 측정하고 그 값으로 입자상 물질의 농도를 구하는 방법을 광산란법이라 하며, 실험에서는 6초 단위로 측정하였다.

### 3. 연구 결과

#### 3.1 시간당 열차 수와 터널 내 미세먼지 농도의 상관성 분석

그림 2는 실시간 미세먼지 측정 그래프이다. 이 측정 데이터를 이용해 한시간 단위 열차 수와 터널내의 미세먼지 농도의 상관성 분석한 결과, 베타선 흡수법과 열차 수의 상관계수(correlation coefficient) 및 광산란법과 열차수의 상관계수에서 상관성이 높은 것으로 나타났다. 이것은 열차 수와 미세먼지 농도간에 상관관계가 성립한다는 의미이며, 또한 베타선 흡수법과 광산란법의 상관성도 높게 나온다. 이로써 광산란법을 이용해 측정한 데이터가 베타선 흡수법을 이용한 데이터만큼 신뢰할 수 있기 때문에 실시간 데이터 처리를 할 수 있다는 가능성을 보여준다.

#### 3.2 베타선 흡수법( $\beta$ -ray)과 비교한 광산란법의 선형·비선형·구간별 회귀분석을 이용한 보정

베타선 흡수법( $\beta$ -ray)과 광산란법으로 측정한 데이터로서 회귀분석한 결과를 분석해 보면 구간별 회귀분석 > 비선형 회귀분석 > 선형회귀분석 순으로 베타선 흡수법에서 측정된 결과와 유사한 것으로 나타난다. 이에 따라 상황에 맞는 Factor를 이용하여 광산란법을 보정한다면, 베타선 흡수법( $\beta$ -ray)의 단점인 실시간 측정을 하지 못하는 것을 보완하여 보다 정확한 실시간 측정을 할 수 있다.

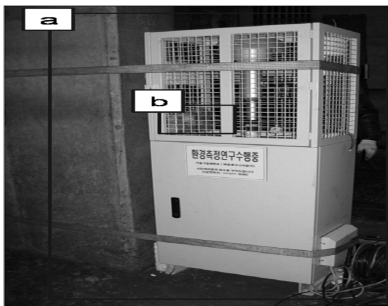


Fig. 1. (a) E-bam장비 (b) Grimm장비.

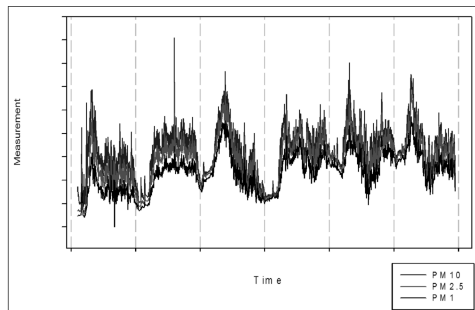


Fig. 2. 터널내 실시간 미세먼지 측정 그래프.

### 4. 결론

이처럼 주요 교통수단인 지하철의 사용이 증가하고, 시민들의 쾌적한 삶에 대한 욕구가 증가함에 따라 이용 승객 및 지하철 작업자들의 쾌적함을 위해서는 지하역사내의 실시간 공기질 모니터링 시스템이 구축되어야 한다. 하지만 현재 적용되고 있는 중량법과 베타선 흡수법의 측정방법으로 사용하는 것은 실시간 측정이 어려워 적시 적절한 조치를 하지 못하는 큰 단점을 가지고 있다. 본 연구결과는 광산란법과 Factor들을 이용하여 보다 정확하게 실시간 미세먼지 농도의 측정을 할 수 있는 가능성을 가지고 있다. 아울러 광산란법의 정확성에 대한 연구가 지속되어 터널내 공기질의 실시간 측정 및 모니터링을 통하여 환기시스템 제어와 승무원석의 공기질 제어를 한다면 보다 쾌적한 다중이용시설 및 근무환경을 만들 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고 문헌

곽현석, 진구원, 김 원, 양원수, 최상준, 박동욱 (2005) 서울 일부 지하철 승무원석의 PM, 이산화탄소 모니터링에 의한 실내 공기질 특성 평가, 한국환경보건학회지, 31(5), 379-386.

김예신, 박화성, 이용진, 임영욱, 심동천 (2003) 서울지역에서 인체위해도에 입각한 대기오염물질의 관리 우선순위 선정에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 19(2), 205-216.

Martin Branis, Pavla Rezacova, and Marketa Domasova (2005) The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and PM<sub>1</sub> in a classroom, Environmental Research, 99(2), 143-149.