

4A6)

Low-Z particle EPMA 단일입자 분석법을 이용한 지하철 승강장에서의 미세분진 특성 분석

Characterization of Aerosols in a Subway Station Platform Using Low-Z particle Electron Probe X-ray Microanalysis

황희진 · 오미정 · 강선이 · 김혜경¹⁾ · 노철언

인하대학교 화학과, ¹⁾인하대학교 기초과학연구소

1. 서 론

대도시화로 인해 급증한 유동인구의 수송 수단으로써 매우 중요한 역할을 담당하는 지하철은 현대 사회에서는 더 이상 수송 수단에 그치지 않는다. 역 주변에 지하상가가 형성되고 각 역사 내에서 문화 이벤트가 시행되는 등 쇼핑, 문화의 장이 조성됨으로써 시민들의 또 하나의 생활공간으로 자리 잡았다. 이러한 변화로 인해 대도시의 대기질 개선에만 중점되었던 사람들의 관심이 지하 생활공간으로도 확장되었다. 지하철 역사는 실외와는 달리 실내라는 공간적 특이성을 가지고 있기 때문에 실내 발생 오염원뿐만 아니라 실외에서 유입된 오염원들이 미세분진들과 함께 정체함으로써 공기질 악화문제를 야기시킨다. 이러한 공기 중 입자상 물질의 분석을 위해 low-Z particle electron probe X-ray microanalysis (EPMA) 단일입자 분석법을 이용하였다. 이 방법을 이용하면 C, N, O 등의 low-Z 원소의 정량분석이 가능하여 개개입자의 특성을 명확히 파악할 수 있다. 본 연구에서는 실내외 먼지 화학 조성의 특성을 입자크기에 따라 분석하고, 실내 환경 중 분진의 발생원 및 실외분진으로부터의 기여도 등을 파악하고자 하였다.

2. 연구 방법

지하철 역사 내의 시료 채취는 2004년 12월 16일~17일, 4호선 혜화역 승강장에서 행하였다. 더불어 실외의 시료 채취는 혜화역과 근접해 있는 서울대학교 보건대학원 옥상(지상 17m)에서 행하였다. 시료 채취는 공기 역학적 등가경에 따라 입자상 물질을 채취하기 위해 7단의 May cascade impactor를 사용하였다. cascade impactor의 각 단의 채취 cut-off 입경은 유속 20 L/min에서 6단은 0.5 μm , 5단은 1 μm , 4단은 2 μm , 3단은 4 μm , 2단은 8 μm , 1단은 16 μm 이다. 지하철 미세분진의 단일입자분석은 한국기초과학지원연구원 춘천센터의 Hitachi사 SEM S-3500N과 Oxford사 ultra-thin window EDX 검출기를 사용하여 개개 입자의 X-ray 스펙트럼을 얻었다. 검출기의 분해능은 Mn-K α X-ray에 대해서 133 eV이다. 각 입자의 X-ray 스펙트럼은 EMAX software로 기록하였고 각각의 입자들은 point analysis mode로 분석하였다. 시료 분석 시에 전자빔의 가속 전압은 10 keV, 1 nA의 beam current, 10초의 X-ray data acquisition time을 사용하였다. 입자 크기별로 채취된 대기 입자를 각 단마다 300개씩의 입자(1단은 100개), 총 1600개의 입자를 분석하여 각각의 X-ray 스펙트럼을 얻었다. 개개 입자로부터 얻은 X-ray 스펙트럼으로부터 각 원소의 특정 X-ray 세기를 구하고, X-ray 세기데이터로부터 Monte Carlo 계산법을 이용하여 개개입자에 존재하는 각 원소의 농도를 구한 후 expert system을 이용하여 개개 입자의 화학종을 정량적으로 분석, 분류하였다.

3. 결과 및 고찰

2004년 12월 16~17일, 서울시 4호선 혜화역 승강장에서 채취한 시료를 low-Z particle EPMA 단일입자 분석방법으로 분석한 결과 서울 대기 입자의 분석 결과와는 현저히 다른 것을 알 수 있었다. 그림 1과 2에 2004년 12월 16일, 혜화역과 서울대학교 보건대학원 옥상에서 채취한 시료에 대한 단일입자 분석 결과를 입경별 상대분포로 보였다. 먼저 지하철 승강장에서의 입자 조성은 그림 1에서 보는 바와 같

이 모든 입자 크기 범위에서 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{C}$ 24.8%, Fe_2O_3 21.7%로써 전체 입자의 46.5%를 차지하는 특징을 보였다. 그리고 carbon-rich 6.5%, organic 9.5%의 상대분포를 보였다. 이러한 분포를 입경별로 살펴보면 Fe을 포함하고 있는 입자들이 미세입자 영역인 4단 (cut-off 입경: $2\ \mu\text{m}$)에서 66.6%, 5단 (cut-off 입경: $1\ \mu\text{m}$)에서 65.0%로 분포되어 있었다. 이는 지하철 운행 시 브레이크 및 레일, 열차 바퀴, 전선의 마모 등의 요인에 의해 배출된 것으로 추정할 수 있다 (Sitzmann et al., 1999; Birenzvigte et al., 2003; Johansson and Johansson, 2003; 최형욱 등, 2004). 또한 organic과 carbon-rich와 같은 carbonaceous 입자들은 조대입자 영역인 1단 (cut-off 입경: $16\ \mu\text{m}$)에서 각각 29.5%, 18.9%의 분포를 보였다. 모든 단계에서 토양기원의 입자인 aluminosilicate, silicon dioxide, 그리고 AlSi/C , AlSi/CaCO_3 , AlSi/misc 와 같이 aluminosilicates와 혼재되어 있는 입자들, 또한 CaCO_3 , $\text{CaCO}_3/\text{misc}$. 등이 각 단의 상대분포 10.0% 이하로 발견되었다. 이러한 토양 관련 입자들은 지하철이 터널을 지나 승강장으로 진입할 때의 열차풍에 의해 비산된 입자들과 유동객들의 옷, 신발에서 떨어진 것들이 그 요인이 될 수 있을 것이다.

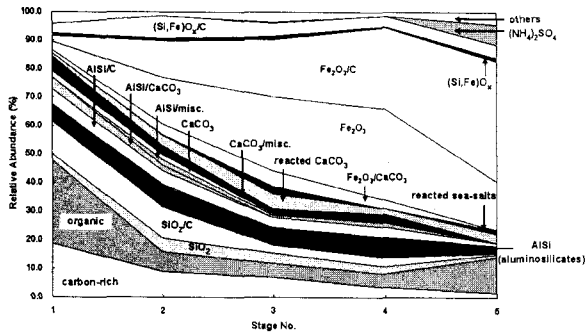


Fig. 1. Relative abundances of each chemical species in sample collected at Heyhwa subway station on Dec. 16, 2004.

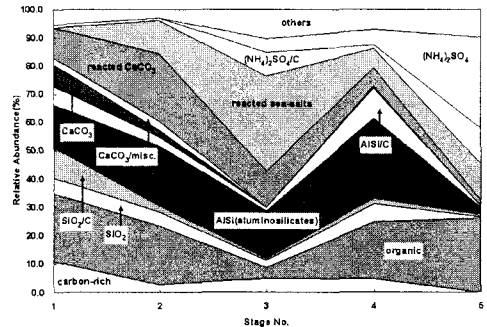


Fig. 2. Relative abundances of each chemical species in an ambient sample collected on Dec. 16, 2004.

지하철 승강장 미세분진 중 미세영역 입자인 5단에서 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 가 7.3% 발견되었다. 이는 그림 2 서울 대기 입자 분석 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 5단에서 32.4%의 분포를 나타내었던 실외에서 유입된 오염원이라 사료된다. 또한 지하철 미세분진 분석 결과에서 2, 3단과 5단에서만 볼 수 있었던 reacted sea-salts 입자 역시 그림 2 실외 대기 분석 결과와 비교해 볼 때 실외로부터 유입된 것이라 판단할 수 있다.

참고 문헌

- 최형욱, 황인조, 김신도, 김동술 (2004) 분진의 개수농도 및 질량농도에 입각한 서울시 지하철 역사 내 오염원의 기여도 결정, 한국대기환경학회지, 20, 17-31.
- Birenzvigte, A., J. Eversole, M. Seaver, S. Francesconi, E. Valdes, and H.Kulaga (2003) Aerosol Characteristics in a Subway Environment, Aerosol Science and Technology, 37, 210-220.
- Johansson, C. and P.-A., Johansson, (2003) Particulate matter in the underground of Stockholm, Atmospheric Environment, 37, 3-9.
- Ro, C.-U., J. Osan, I. Szaloki, J. De Hoog, A. Worobiec, and R. Van Grieken (2003) A Monte Carlo Program for Quantitative Electron-induced X-ray Analysis of Individual Particles, Analytical Chemistry, 75, 851-859.
- Ro, C.-U., H. Kim, and R. Van Grieken (2004) An Expert System for Chemical Speciation of

Individual Particles Using Low-Z Particle Electron Probe X-ray Microanalysis Data
Analytical Chemistry, 76, 1322-1327.

Sitzmann, B., M. Kendall, J. Watt, and I. Williams (1999) Characterisation of airborne particles in London by computer-controlled scanning electron microscopy, *The Science of the Total Environment*, 241, 63-73.