

4D4) 단일입자분석법을 이용한 지하철 대기입자의 특성 분석 및 발생원 추정 연구

Single Particle Characterization and Source Identification of Aerosol Samples Collected at Subway Stations

정해진 · 김보화 · 류지연 · 손윤석¹⁾ · 김조천¹²⁾ · 손종렬³⁾ · 김혜경 · 노철언
인하대학교 화학과, ¹⁾건국대학교 신기술융합학과, ²⁾건국대학교 환경공학과,
³⁾고려대학교 보건과학대학 환경보건학과

1. 서 론

지하철은 현대사회에서 이용되는 중요한 교통수단 중 하나로 수많은 사람들의 이동이 이루어지는 공간이다. 또한 지금의 지하철은 교통수단에만 그치지 않고 더 나아가 지하철 역사 주변에 형성된 지하상가 내에 의류, 화장품, 식품 등 다양한 상점이 분포하여 또 하나의 생활공간으로 자리 잡고 있다. 하지만 지하철 역사와 같이 한정된 공간은 실외에 비해 공기의 순환이 부족하여 공기가 정체될 가능성이 있다. 또한 지하철 역사에는 지하철의 운행이나 많은 사람들의 이동에 의해 발생하는 미세 에어로졸의 영향과 실외에서 유입된 오염원 등 다양한 오염원이 함께 정체함으로써 공기 질 악화문제를 야기시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 개개입자의 물리적 및 화학적 특성을 정확히 파악할 수 있는 low-Z particle EPMA 단일 입자 분석법을 이용하여 지하철 역사 대기 에어로졸을 분석함으로써 지하철 역사 내에 부유하는 입자상 물질의 발생원 추정과 특성을 파악하고자 하였다.

2. 연구 방법

지하철 대기입자의 단일입자 분석을 위해 2009년 2월 9일부터 12일까지 3일간 1호선 제기동역에서, 2월 24일부터 26일까지 3일간 3호선 양재역에서 각각 24세트의 시료를 채취하였다. 시료채취는 지하철 대기입자의 주요 발생원을 파악하기 위해 터널, 승강장, 대합실 등 지하철 역사내와 실내와 실외의 대기입자의 차이를 비교하기 위해 역사 바로 바깥의 외기 시료를 채취함으로써 지하철 역사와 실외 에어로졸의 특성을 분석하였다. 시료 채취는 3단의 임팩터(PM₁₀ sampler, Dekati)를 사용하였다. 임팩터 각 단의 채취 cut-off 입경은 유속 10L/min에서 3단은 1 μ m, 2단은 2.5 μ m, 1단은 10 μ m이다. 본 연구에서는 3단을 미세 입자 영역(fine fraction, 1~2.5 μ m), 2단을 조대 입자 영역(coarse fraction, 2.5~10 μ m)이라 명하고, 2단과 3단만을 분석하였다. 대기입자의 단일입자분석은 Jeol사의 SEM JSM-6390과 Oxford사 ultra-thin window EDX 검출기를 사용하여 개개 입자의 2차 전자 이미지와 X-ray 스펙트럼을 얻었다. X-ray 스펙트럼과 입자의 크기 및 형상을 통해 개개 입자의 무기화학적 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

지하철 역사 내,외에서 채취한 총 24세트의 시료를 단일입자분석법으로 분석한 결과, 지하철 대기입자를 구성하는 화학종은 크게 철 함유 입자와, carbon-rich, organic으로 분류된 탄소함유 입자, 토양기원입자, 해양기원입자, 또한 NO_x/SO_x와 반응하여 생성된 이차 에어로졸입자로 분류할 수 있었다. 그림 1은 2월 9일 제기역과 2월 24일 양재역에서 채취한 시료를 구성하는 화학종의 분포비율을 조대입자 영역에 대하여 각각 도식적으로 표현한 것이다.

먼저 지하철 역사 내 터널과 승강장의 대기입자를 구성하는 주된 화학종으로는 조대입자영역과 미세입자영역 모두 철(Fe) 함유 입자가 전체 분석한 입자 중 가장 큰 분포를 차지하였다. 터널은 제기동역, 양재역 모두 평균적으로 전체 분석한 입자의 약 80%가 철 함유 입자로 나타났으며, 승강장의 철 함유 입자 분포는 제기역은 약 74%, 양재역은 약 51%로 나타났다. 터널과 승강장에서 발견된 철이 주요 성분인 입자들

은 Fe metal의 형태와 나노사이즈의 작은 FeOx 입자들이 엉겨있는 형태를 보이며, 또한 Fe가 주 구성 원소이지만 Mg, Ca, Si, K, S 등 다양한 성분이 혼재되어 있었다. 이러한 철 함유 입자들의 생성 기원은 지하철 운행에 의한 것으로 사료되며 지하철이 정지할 때 지하철 바퀴나 브레이크 패드와 선로 사이의 마찰로 인해 생성되는 것으로 생각된다. 제기동역과 비교하여 양재역 승강장의 철 함유 입자의 조성이 20%정도 적게 발견된 이유는 양재역에는 스크린 도어가 설치되어 있어 이 스크린 도어가 철로에서 생성된 다양한 철 함유 입자의 유입을 차단하는 효과가 있는 것으로 생각된다. 또한 두 역 승강장에서 단일입자 분석에 적당한 입자 loading에 걸리는 시료의 포집시간을 비교해 보면, 제기동역에서 양재역에 비하여 3배 정도 오래 걸렸다. 이는 각 역에서 시료 채취 당시에 양재역 승강장 내의 입자상 물질의 농도가 제기동역에 비하여 현저히 낮음을 의미하며 이는 스크린 도어에 의해 승강장 내 전체 에어로졸의 농도가 줄어들고, 또한 철 함유 입자의 분포도 감소한 것으로 생각할 수 있다. 두 역의 대합실 대기입자 조성을 살펴보면 제기동역의 대합실은 조대입자영역에서는 평균적으로 약 64%가 철 함유 입자로 주된 분포를 보이며, 미세입자영역에서는 철 함유입자는 약 34%, 탄소함유입자가 44%로 조대입자영역과 차이를 보였다. 양재역 대합실의 철 함유 입자는 조대입자영역에서 약 30%, 미세입자영역에서 약 34%로 분포했으며, 그 외에 토양기원 입자와 반응한 이차에어로졸 입자가 분포하였다. 제기동역에 비하여 양재역 대합실의 대기입자 조성에서 철 함유 입자의 분포가 적고 다른 다양한 화학종이 분포하는 이유는 대합실 주변 환경 차이에 의한 결과로 생각된다. 화장품, 의류 등을 판매하는 여러 상가가 대합실 주변에 분포하는 양재역의 특성으로 인해 지하역사내에서 발생하는 입자의 영향에 주위의 영향도 중요한 것으로 사료된다. 실외 대기 중에는 다양한 화학종이 분포하였는데, 제기동역과 양재역 모두 주로 NOx/SOx와 반응하여 생성된 이차 에어로졸과 토양기원입자가 큰 분포를 보였으며, 미세입자영역에서는 탄소함유입자, 반응한 이차 에어로졸 입자, 토양기원입자가 주된 화학종이었다.

이번 연구를 통해 지하철 역사 대기 입자에는 다양한 화학종이 존재하는데, 주된 발생원은 지하철 역사 내에서 기원한 철 입자임을 확인할 수 있었다. 특히 터널과 승강장에서 채취한 시료들은 대부분이 철 함유 입자였으며, 그 외의 탄소함유 입자와 토양기원입자, 반응한 이차 에어로졸 입자 등이 발견되는 것으로 보아 많은 사람들의 이동에 의한 영향과 외기의 영향 또한 받는 것을 확인할 수 있었다. 대합실에서 채취한 시료들은 각각의 주변 환경의 차이에 의해 다르게 나타나며, 지하역사의 영향과 외부의 영향을 함께 받는 것을 확인할 수 있었다. 외기에서 채취한 시료들은 토양기원입자, 해양기원입자, 탄소함유입자, 반응한 이차에어로졸 등 다양한 화학종으로 분포하였으며, 반응한 이차에어로졸 입자들과 토양기원의 입자들이 주된 화학종임을 확인할 수 있었다. 또한 지하철 역사 내에 철 함유 입자의 분포는 터널, 승강장, 대합실, 외기의 순으로 감소하는 것으로 보아 발생원으로부터 멀어질수록 철 함유 입자의 분포량이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

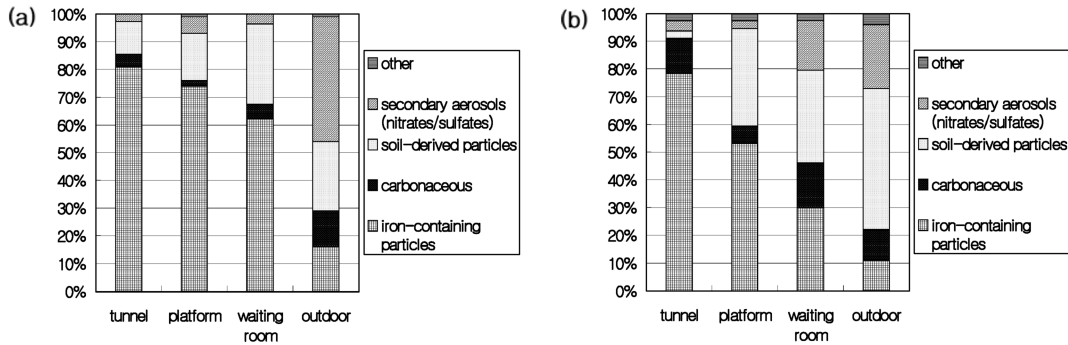


Fig. 1. Overall relative abundances of major particle types in coarse fraction (a) for Jegi station and (b) for YangJae station samples.

참 고 문 헌

- Kang, S.N., H.J. Hwang, Y.M. Park, H.K. Kim, and Ro, C.-U. (2008) Chemical compositions of subway particles in Seoul, Korea determined by a quantitative single particle analysis, *Environ. Sci. Technol.*, 42, 9051-9057.
- Nieuwenhuijsena, M.J., J.E. Gomez-Perales, and R.N. Colvile (2007) Levels of particulate air pollution, its elemental composition, determinants and health effects in metro system. *Atmos. Environ.*, 41, 7995-8006.