

## PA60)           지하철 바닥재의 자기적 성질 및 화학 특성 분석

### Magnetic and Chemical Properties of Floor Dusts Collected at a Subway Station

정해진 · 김보화 · 구용성<sup>1)</sup> · 정종훈<sup>1)</sup> · 김조천<sup>2)</sup> · 노철언

인하대학교 화학과, <sup>1)</sup>인하대학교 물리학과, <sup>2)</sup>건국대학교 환경공학과

#### 1. 서 론

지하철은 많은 사람들이 이용하는 교통수단으로써 지하철 내 대기질 농도가 실외에 비해 높다는 사실은 많이 알려져 있다. 이로 인해 지하철 입자의 인체 유해성에 대한 선행연구 또한 많이 이루어졌다. 하지만 유해성 여부에 따른 판단은 다양하게 나타났다. Karlsson et al. (2005)은 지하철 에어로졸은 실외 에어로졸 보다 유전적으로 8배 유해하다고 밝힌바 있으며, Scaton et al. (2005)은 London 지하철 입자는 유전적으로 용접 fume의 독성과 유사한 유해성을 가지나 작업장의 농도가 기준치보다 작아서 지하철을 이용하여 통근하는 사람에게 유해하지 않다고 밝힌 바 있다. 이처럼 지하철 입자의 인체 유해성에 관한 연구결과가 명확하지 않은 상태이다.

지하철 입자의 주된 구성성분은 지하철 바퀴나 브레이크 패드와 선로사이의 마찰로 인해 생성되는 철(Fe)입자이다. Fe는 산화된 정도에 따라 다양한 형태를 띄는데, 그에 따라 magnetic property와 인체에 영향을 미치는 정도가 다르게 나타난다. 따라서 본 연구에서는 지하철 바닥재의 철(Fe)의 함량과 그 화학종을 파악하고, 이와 연관하여 magnetic property을 파악하고자 하였다.

#### 2. 연구 방법

지하철 바닥재 분석을 위해 1호선 제기동역 터널(레일위), 승강장(레일위), 승강장, 대합실, 지하철 역사 외부 환기구에서 시료를 채취하였으며, 시료 채취는 vacuum cleaner를 사용하였다. 채취된 시료를 200 $\mu$ m, 100 $\mu$ m, 63 $\mu$ m, 25 $\mu$ m size의 sieve를 이용하여 각각의 size별로 분리하였다. 분리된 시료의 magnetic property를 조사하기 위해 약 5000G의 자성을 가진 자석을 이용하여 자성을 띠는 물질과 비자성물질로 분리하였다. 자성을 띠는 시료 중 철(Fe)의 함량과 조성을 알아보기 위해 SQUID(superconducting quantum interference device) magnetometer와 VSM(vibrating sample magnetometer)을 이용하여 자기적 성질을 측정하였다. 또한 자성물질로 분리된 시료에 포함된 다른 화학종들을 살펴보기 위하여 X-선회절 분석(XRD)과 SEM/EDX 단일입자분석을 수행하였다. XRD 측정은 Rigaku사의 DMAX-2500을 사용하였으며, 측정 조건은 Cu target, 40kV, 100mA, 2 theta 범위는 10°-100°, scan speed는 3°/min, step size는 0.02이었다. 또한 Jeol사의 SEM JSM-6390과 Oxford사 ultra-thin window EDX 검출기를 사용하여 개개 입자의 2차 전자 이미지와 X-ray 스펙트럼을 얻었으며, X-ray 스펙트럼과 입자의 크기 및 형상을 통해 개개 입자의 특성을 분석하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

지하철에서 채취한 시료들의 시료 채취 장소에 따른 입자 크기 별 분포 비율을 파악하기 위하여 먼저 채취한 시료를 200 $\mu$ m, 100 $\mu$ m, 63 $\mu$ m, 25 $\mu$ m size의 sieve를 이용하여 크기 별로 분리한 결과, 먼저 터널과 승강장 레일위에서 채취한 시료들은 25 $\mu$ m sieve를 통과하여 나온 25 $\mu$ m 이하의 시료를 발견할 수 없었으며, 그 이상의 크기부터 존재하였다. 그 외의 승강장, 대합실, 외부 환기구에서는 모든 크기의 입자들을 발견할 수 있었으며, 승강장의 레일위에서 채취한 시료를 제외하고는 25-63 $\mu$ m 사이에서 입자의 분포가 가장 크게 나타났다. 크기별 분리된 시료의 자성물질의 함량을 알기 위해, 5000G 자석을 이용하여 자성물질과 비자성물질로 분리하였다. 그 결과 터널과 승강장의 레일위에서 채취한 시료는 전체 입자가 자성을 띠고 있어 모두 자성물질로 분리되었으며, 그 외의 장소에서는 입자의 크기가 작아짐에 따라 자성물질의 함량

이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 자성을 띠는 물질인 철(Fe)입자의 발생원인 터널과 승강장의 레일 위에는 크기가 큰 무거운 입자가 주로 분포하며, 이 중 크기가 작은 철입자들이 열차풍에 의해 이동되어 승강장, 대합실, 외부 환기구 등에 분포하는 것으로 판단된다. 터널과 승강장 레일 위에서 포집된 시료들은 큰 크기의 자성을 띠는 입자가 분포하며, 그 외의 장소에서는 입자의 크기가 작아짐에 따라 자성물질의 함량이 증가하는 것을 볼 수 있었다.

장소별, 크기별로 분리된 시료들 안에 실제 자성을 띠는 철(Fe)의 함량과 산화된 정도를 파악하기 위해 시료의 자기적 성질을 측정을 하였다. Fe는 산화된 정도에 따라 Fe,  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 등 다양한 조성을 가질 수 있는데, 이러한 물질들은 산화된 정도에 따라 각기 다른 특성을 가진다. 먼저 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>는 강한 자성을 가지며 인체에 유해한 것으로 알려져 있으며,  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 역시 자성을 가지나 인체에 유해하지 않으며,  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 자성을 가지지 않으며 인체에 유해하지 않다. 이러한 차이를 이용하여 자화율 측정을 통해서 지하철 시료에 분포하는 철(Fe)의 조성과 함량을 파악할 수 있다. 시료 분석은 실제시료의 자화율 측정 data와 Fe,  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> standard의 data를 이용하여 실제 시료와 standard 물질의 비교 분석을 통하여 Fe의 조성과 함량을 측정하였다. 측정결과 지하철 바닥 시료에 존재하는 철 입자는 대부분 Fe metal로 존재함을 확인할 수 있었으며, 터널과 승강장의 레일위에서 채취한 시료들은 전체시료 중 약 25-30%의 magnetic compound 함량을 보였지만, 그 외의 장소인 승강장, 매표소, 외부 환기구에서는 전체 시료 중 magnetic compound의 함량은 10% 이하로 작게 나타났다. 자석을 이용하여 분리된 시료의 측정결과 Fe의 함량이 크지 않음을 확인하여, 자성을 띠는 시료 속에 포함된 다른 화학종들을 파악하기 위해 X-선회절분석(XRD)과 SEM/EDX 단일입자분석을 수행하였다.

먼저 XRD측정을 통해서 터널과 승강장의 레일위에서 채취한 시료에서 Fe metal peak를 확인할 수 있었으며, 또한 자성을 띠는 물질로 분리된 시료 안에 철(Fe)외에 주된 성분으로는 SiO<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>, carbon 등이 주로 분포하는 것을 확인 할 수 있었다. SEM/EDS 단일입자 측정을 통해서 분석한 결과 터널과 승강장의 레일위에서 채취한 시료들은 80% 이상이 철함유 입자였으며, SEM image를 통하여 Fe metal이 많이 분포하는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 X-ray 스펙트럼 분석결과 Fe가 주 구성원소이지만 Mg, Ca, Si, S 등 다양한 성분이 혼재되어 있었다. 그 외 다른 장소에서는 Na, Mg, Ca, Si, K, S 등 다른 화학종을 포함하는 입자들이 다수 분포하였으며, 철함유 입자 내에서도 터널과 승강장에서 채취된 시료에 비하여 Fe의 함량이 적은 것을 확인 할 수 있었다. 이는 발생원인 터널과 승강장의 레일위에서 생성된 철(Fe)입자가 열차 풍에 의하여 승강장, 대합실, 환기구로 이동되면서 외부의 영향으로 인해 자성을 띠지 않는 물질과 함께 묻혀져 있는 것으로 생각된다. 그래서 자성을 띠지 않는 SiO<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>, carbon 같은 성분들 또한 자석에 의해 분리된 것으로 사료된다.

이번 연구를 통해 지하철 바닥재 입자 중 철(Fe)의 함량과 화학종을 파악할 수 있었으며, 주된 성분인 Fe가 주로 Fe metal의 형태를 가지는 것을 알 수 있었다. 또한 적은 양의 자성을 띠는 물질로 인해 자성을 띠지 않는 다른 입자들까지 함께 자석을 통해 분리되는 것으로 보아, 자석을 통하여 지하철 입자의 제거가 이루어질 수 있을 것으로 생각된다. 지하철 입자의 인체 유해성에 관련된 연구는 지하철입자가 유해하다는 다른 선행연구결과들도 있어 지하철 입자의 유해성 여부에 관한 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- Blaha, U., B. Sapkota, E. Appel, H. Stanjek, and W. Rosler (2008) Micro-scale grain-size analysis and magnetic properties of coal-fired power plant fly ash and its relevance for environmental magnetic pollution studies, *Atmos. Environ.*, 42, 8359-8370.
- 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.

Karlsson, H.L., L. Nilsson, and L. Moller (2005) Subway particles are more genotoxic than street particles and induce oxidative stress in cultured human lung cells, *Chem. Res. Toxicol.*, 18, 19-23.

Seaton, A., J. Cherrie, M. Dennekamp, K. Donaldson, J.F. Hurley, and C.L. Tran (2005) The London Underground : dust and hazards to health, *Occup. Environ. Med.*, 62, 355-362.