

PA32) 지하철 승강장에서의 대기분진(PM_{2.5}/PM₁₀) 중 Cr, Fe, Mn 농도 분포 특성

Distribution Characteristics of Cr, Fe, and Mn in PM_{2.5}/PM₁₀ at a Subway Station

임종명 · 정진희¹⁾ · 정병원¹⁾ · 이진홍¹⁾ · 문종화 · 정용삼

한국원자력연구원 중성자과학연구부, ¹⁾충남대학교 환경공학과

1. 서 론

여러 가지 목적의 실내 공간 중에서도, 지하 환경의 공기질은 일반 실내 공기질과는 달리 자연환기가 거의 불가능하다. 특히, 지하철 역사 공간은 지하철 운행에 의한 피스톤 영향 때문에 끊임없이 오염물질들이 비산되는 특성이 있어, 실내 공기질이 일반 승객뿐만 아니라 근무자들의 건강에 미치는 영향은 매우 크다. 그러므로 인공적인 강제 환기가 필수적이며, 환기설비가 제대로 가동되지 않을 경우 실내 공기질이 현저하게 악화될 수 있다. 한편, 실내공기 오염물질 중에서도 입자상 오염물질은 동일한 질량의 입자인 경우 입경이 감소할수록 호흡기 계통에 깊숙이 침투할 수 있고, 입경에 반비례하여 표면적이 급증하므로 독성금속 등의 흡착이 용이해진다. 따라서 인구의 밀집도가 높은 지하철 역사 내 지하 공간의 실내공기오염이 인체에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 미세먼지(PM₁₀)은 물론, 이보다 위해성이 더 큰 초미세먼지(PM_{2.5})의 특성 파악이 매우 중요하다. 또한 지하철의 운행, 즉 차량의 마찰에 따라 발생하는 대표금속인 Cr, Fe, Mn은 지하철 역사에서 일반 대기에 비하여 상대적으로 매우 높은 농도로 존재하여 호흡에 의한 노출의 가장 유력한 경로로 평가되고 있다. 이러한 금속 성분은 마찰에 의해 생성되어 형태가 매우 불규칙하며 Cr은 1급 인체 발암금속이고 최근의 여러 역학 연구 결과에 따르면 Parkinsonism, Alzheimer's 증상과 큰 관련이 있는 것으로 조사되었다. 그러므로 본 연구는 지하철 역사에서도 승객들의 체류시간이 긴 승강장에서 PM₁₀과 PM_{2.5} 시료를 채취하고, 지하철 운행에 따라 발생하는 대표 금속으로써 Ba, Cr, Fe, Mn을 포함한 약 25종의 금속원소 농도를 중성자방사화분석을 이용하여 분석하였다. 분석된 금속성분들의 상관성 및 독립성에 대한 통계분석 결과를 바탕으로 지하철 실내공간에서의 금속성분들에 대한 오염원과 위해성에 대한 정량적인 정보를 제공하고, 실내 공간에서의 입자상 오염물질 노출에 따른 인체 피해의 최소화 및 삶의 질 향상을 위한 관리방안 도출의 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 시료채취

가장 이용량이 많은 대전시 지하철 역사 내 승강장에서 4차(약 15일/차, 24시간/일)에 걸쳐 2set의 Annular denuder air sampler(URG, 3000C model)를 설치하고 계절별로 4차(15일/차, 24시간/일)에 걸쳐 집중적으로 채취하였다. 미량원소에 대해 화학적으로 매우 적은 바탕농도를 갖고 있어 미량원소의 분석에 효율적이고 작은 크기의 입자를 채취하는데 효율적인 pore 형태의 polycarbonate membrane filter(0.4 µm pore size, whatman)를 사용하였다. 두 sampler의 유속은 약 16.7 L/min으로 고정하여 실시하며 유속의 보정과 교정을 위해 Gillian Gilibrator 2 Calibration System(Sensidyne Inc.)를 사용한다. 시료채취시간은 24시간씩 포집하며 시료 당 공기량이 약 24,000 L가 되게 하며 여지는 항온(25°C), 항습상태(50%)의 저장고에서 1일간 보관한 후 전기적 하전을 중화시키기 위해 ²¹⁰Po 선원을 넣어 둔 저울(Mettler Co., readability: 1 µg)에서 칭량한 후, 시료분석 전까지 데시케이터에 보관한다.

2.2 금속원소 분석

금속원소의 분석은 중성자방사화분석을 사용하였는데 시료의 중성자방사화를 위하여 한국원자력연구소의 연구용원자로(HANARO)의 중성자 조사시설인 기승관($\Phi_{th} = 2.95 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2\text{sec}$) 조사장치를 이

용하였다. 모든 시료는 조사시간동안의 중성자속(thermal neutron flux)의 차이 등에 영향을 받지 않도록 동일한 기하학적 조건에서 조사하여 분석오차를 최소화 시켰으며 조사된 시료의 특정 방사성 핵종으로부터 방출되는 특성 감마선을 반감기에 따라 구분된 일정시간 동안 계속하여 각 원소의 방사능 계수율을 측정하였다. 조사된 시료의 방사능계측에는 고순도 게르마늄 반도체 검출기(EG&G ORTEC, 25% relative efficiency, 1.85 keV FWHM at 1,332 keV ^{60}Co , Peak to Compton ratio: 45 to 1)와 16 K Multichannel Analyzer(Gamma Vision, EG&G, ORTEC)를 사용하였다. 또한 에너지 및 검출효율을 교정해주기 위해 NEN사의 디스크형 표준 복합선원(NIST traceable, 에너지 교정 표준불확도: < 0.1%, 검출효율 표준불확도: < 3%)을 사용하였으며 지발감마선의 측정 및 분석, 에너지와 검출효율 검정을 위해 Gamma Vision(EG&G ORTEC) 프로그램을 이용하였다. 모든 시료는 동일한 기하학적 조건에서 조사, 계측하여 분석오차를 최소화 시켰으며 분석 정도관리를 위해 대기분진 인증표준물질(NIST SRM 2783)을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

지하철 역사에서의 PM₁₀ 평균 농도는 59.3±17.3 µg/m³(28.2~100.9 µg/m³)이었고, PM_{2.5}의 경우 36.9±12.4 µg/m³(16.1~72.7 µg/m³)로 나타났다. PM_{2.5} 농도는 PM₁₀의 농도의 약 62% 정도를 구성하고 있었으며 PM_{2.5}와 PM₁₀ 농도의 상관분석 결과, 결정계수(R²)이 0.809로써 강한 상관관계를 보이고 있는 것으로 나타났다. 측정 기간 동안 PM₁₀ 농도는 '다중이용시설 등의 실내공기질관리법'의 실내공기유지기준(150 µg/m³)을 초과하지 않았으며 PM_{2.5}의 경우, 우리나라는 규제기준이 아직 마련되지 않았으나, 전체 측정치의 약 73%가 미국의 규제 기준(35 µg/m³)을 상회하는 것으로 나타났다. 분석한 21종의 원소들 중 Fe의 농도가 PM₁₀의 경우 18.0±4.8 µg/m³이며 PM_{2.5}의 경우, 12.2±2.9 µg/m³로 가장 높게 나타났으며 이러한 농도는 PM₁₀의 약 27%, PM_{2.5}의 29%를 구성하는 수준이다. 한편, 지각에서 기인한 Fe의 비율은 PM₁₀과 PM_{2.5}에서 각각 전체 Fe 농도의 3.7%와 2.3%로 산정되어, 지하철 역사에서는 인위적 오염원에 의한 Fe의 전개가 명백함을 확인하였다. 지하철 차륜의 마찰에 의해 발생하는 Cr, Fe, Mn의 농도와 PM 농도에 대해 상관분석을 실시한 결과(그림 1), 이러한 원소들의 서로 상관이 매우 높게 나타났으며 PM 농도와도 강한 상관성을 나타내는 것으로 나타났다. 한편 지하철 철로 변에 산재된 rail dust를 중성자방사화분석을 이용하여 분석한 결과, Fe 42.7±2.3%, Cr 312±24 mg/kg, Mn 4497±38 mg/kg이며 Al, Na, K의 농도가 높은 수준으로 분포하였다.

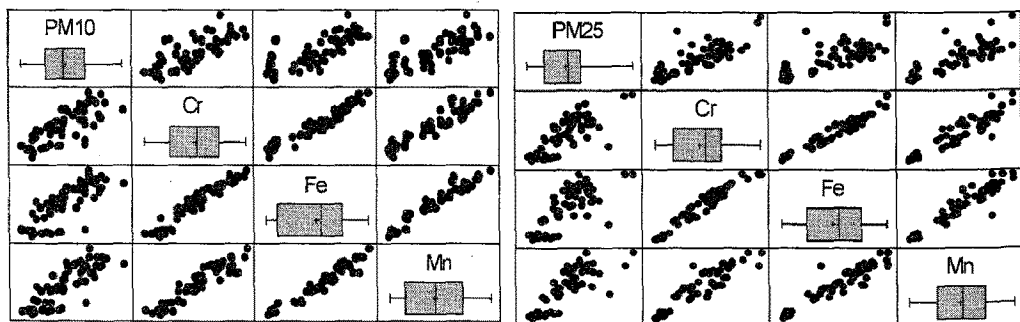


Fig. 1. Correlation analysis among Cr, Fe, Mn in PM_{2.5} and PM₁₀ collected at a subway station.

참고 문헌

- 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. Atmos. Environ., 36, 5831.