

PC1) 대전시 도로변 대기 중 미세먼지(PM_{2.5})의 화학 성분의 특성 연구

Distribution Characteristics of Chemical Composition of Roadside Airborne PM_{2.5} in Daejeon City

정진희 · 임종명 · 문종화 · 이진홍¹⁾

한국원자력연구원 원자력기초과학연구본부, ¹⁾충남대학교 환경공학과

1. 서 론

도시의 대기에는 자연적 혹은 인위적인 다수의 오염원에서 배출된 다양한 오염물질들이 포함되어 있다. 그 중 입자상물질은 직경이 작아 폐 깊숙이 침투하여 호흡기 계통의 질환을 유발할 수 있고, 표면적이 넓어 입경에 반비례하여 증가하기 때문에 As, Cd, Cr, Ni, Zn 등 독성금속 성분의 흡착이 용이해진다. 이러한 중요성으로 인하여 미국 EPA에서는 1990년대부터 입자상 오염물질의 입경별 위해성에 관한 연구에 주력하였고, 공기역학적 직경이 10 μ m 이하인 PM₁₀에 이어 PM_{2.5}의 기준을 신설하였다. 그러나 우리나라의 현행 대기환경보전법상 규제 대상 입자상 오염물질은 PM₁₀에 국한되며, Cd, Pb, Zn 등 인체에 유해한 여러 미량성분이 대기오염물질의 범주에 속하나 규제 근거가 없는 실정이다. 한편, 우리나라는 전체 인구의 약 47% 가량이 서울특별시와 6대 광역시에 거주하는 도시에 편중된 인구 밀집형 구조로, 쾌적한 환경에서 생활할 국민의 환경권을 보장하고 개인의 삶의 질 향상에 기여하기 위하여 도시지역의 대기질 관리가 필수적이다. 또한 사계절의 기후적 특징이 뚜렷하게 나타나므로 대기질 특성의 계절 변화특성을 파악하는 일은 효율적인 관리 정책수립과 대기질 개선을 위한 선행 작업으로써 매우 의미 있는 일이다.

따라서 본 연구에서는 침투시 교통량이 많은 도심지역에서 계절을 구분하여 PM_{2.5} 시료를 여름과 가을로 구분하여 집중적으로 채취하고, 인체에 유해한 독성금속인 As, Cd, Ni, Pb, Zn 등을 포함하는 총 20종의 미량성분과, PM_{2.5} 중 25~35%를 구성하는 것으로 알려진 무기이온성분 중 Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺ 4종을 정량분석하여 대전시 도로변 대기 중 PM_{2.5}의 화학적 조성의 계절 분포 특성을 파악하고자 한다.

2. 연구 방법

대전광역시에서 교통량이 가장 많은 주요 교차로 3개 지점 인근에 위치한 충남대학교 정문의 옥상에서 시료를 채취하였다. 대기 중 미세먼지(PM_{2.5}) 시료 채취에 보편적으로 이용되는 annular denuder air sampler(URG, 3000C model) 2 set을 지상 6m의 옥상에 설치하였고, 계절적 특성을 반영할 수 있도록 여름(2006. 6. 28~7. 27)과 가을(2006. 9. 10~10. 13)의 2차(24h/시료, 30시료/차)에 걸쳐 집중적으로 총 60개의 PM_{2.5} 시료를 채취하였다. 여지는 독성금속을 비롯한 미량성분 분석을 위하여 바탕원소 농도가 적은 polycarbonate membrane filter(0.4 μ m pore size, Whatman)를, 무기이온성분 분석을 위하여 중성의 nylon filter(1 μ m pore size, Gelman Science)를 사용하였으며, 시료 당 총 공기량이 약 24,000L가 되도록 16.7L/min의 유속을 유지하였다. 시료를 채취한 여지는 항온(25 $^{\circ}$ C), 항습상태(50%)의 저장고에서 1일간 보관한 후 전기적 하전을 중화시키기 위해 ²¹⁰Po 선원을 넣어 둔 저울(Mettler Co., readability: 1 μ g)에서 칭량한 후, 시료분석 전까지 데시케이터에 보관하였다.

미량성분의 정량분석은 분석감도가 우수하며 polyatomic interference를 제어할 수 있는 Collision Cell-ICP-MS를 이용하였다. PM_{2.5} 시료는 5mL의 71% HNO₃(semiconductor grade)을 용매로 마이크로파 시료용해법으로 30분간 용해시킨 후 냉각하여 1% HNO₃으로 25mL로 표충하여 CCT-ICP-MS에 주입하였다. 총 20종의 미량성분(Al, As, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Si, Ti, V, Zn)을 분석하였고, 인증표준물질(NIST SRM 2783, USA)을 이용하여 분석 정확도를 평가하였다. 무기이온

성분의 분석은 초음파 추출법으로 전처리하고, 이온크로마토그래피법(761 Compact IC mode, Ω Metrohm, USA)을 사용하여 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ 를 정량하였으며, 한국표준과학연구원의 음이온 표준용액을 이용하여 정도관리를 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

여름철 $PM_{2.5}$ 의 평균농도는 $15.0 \pm 8.31 \mu g/m^3$ ($5.45 \sim 41.8 \mu g/m^3$)이었고, 가을철 $PM_{2.5}$ 의 평균농도는 $20.9 \pm 11.1 \mu g/m^3$ ($7.70 \sim 63.3 \mu g/m^3$)로 나타났으며, 연구 기간 중 미국의 24시간 $PM_{2.5}$ 기준인 $65 \mu g/m^3$ 를 초과하는 경우는 없었다. 독립표본 t-검정(independent sample t-test) 결과 계절별 $PM_{2.5}$ 농도분포는 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 기상자료와 $PM_{2.5}$ 농도의 상관분석 결과 상대습도와 $PM_{2.5}$ 농도가 통계학적으로 유의한 음의 상관관계(*pearson coefficient* = -0.59)를 보였다.

계절별 미량성분과 무기이온성분의 평균농도에 대하여 t-검정을 실시하였고, 이를 하단의 그림 1에 제시하였다. t-검정 결과 연구 기간 중 두 계절의 평균농도 사이에 차이가 나타나지 않은 미량성분은 Ca, Cr, Ni, Sb, Zn이었고, Ca를 제외하면 이들 성분은 미세입자영역에서 모두 자동차 배기가스, 화석연료 연소 등의 인위적 오염원에서의 발생이 주를 이루는 원소로 알려져 있다. 무기이온성분의 경우 NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ 의 평균농도가 유사하였는데, 자동차와 같은 인위적 혹은 자연적 오염원에서 배출된 후 대기 중 화학반응에 의하여 발생되는 2차 오염물질로, 본 연구 지역이 지속적으로 자동차 등에 영향을 받고 있음을 시사하였다. 반면 계절간의 차이를 보인 성분은 Al, Fe, K, Mg, Mn, Si, Ti 등인데 대부분 지하에서 기인하는 원소로써, 장마철의 집중적인 강우로 인하여 대기 중 미세먼지가 습윤 침강의 기작(wash-out)으로 제거되는 한편, 상대습도의 증가로 입자상 오염물질의 부유가 억제되었기 때문에 가을보다 여름의 평균농도가 낮게 측정된 것으로 판단된다.

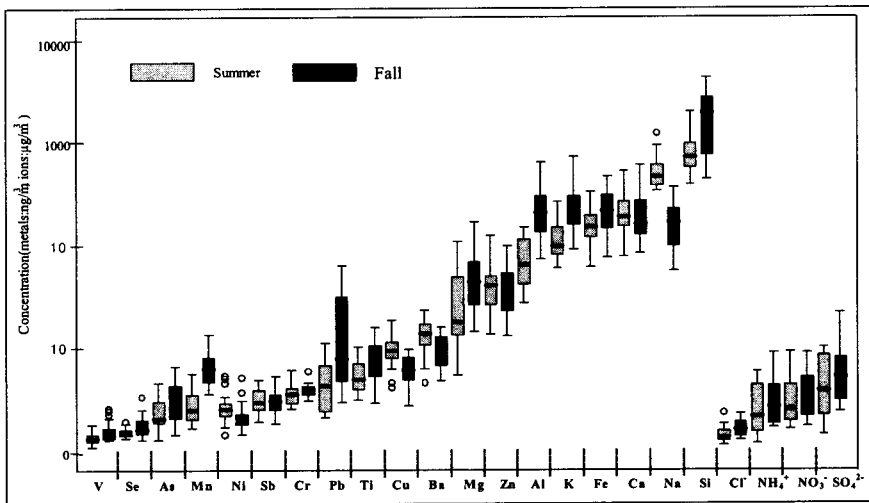


Fig. 1. Distribution of elemental concentration between summer and fall.

참고 문헌

- 조용성, 이홍석, 김운신, 이종태, 박진수 (2003) 서울 성동구 지역 미세먼지의 화학적 조성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 12(6), 665-676.
- Chow, J.C., J.G. Watson, Z. Ju, D.H. Lowenthal, C.A. Frazier, P.A. Solomon, R.H. Thuillier and K. Magliano (1996) Descriptive analysis of $PM_{2.5}$ and PM_{10} at regional representative locations during SJVAQS/AUSPEX, Atmos. Environ., 30, 2079-2112.