

3C4) 시화·반월 산단지역 대기 중 미세먼지내 금속 및 이온성분의 특성 연구

A Study on the Characteristics of Metals and Ions in Airborne PM10 at the Shiwa and Banwall Industrial Areas

임종명·이진홍·서만철¹⁾

충남대학교 환경공학과, ¹⁾한국산업기술대학교 생명화학공학과

1. 서론

시화·반월 산단지역은 폐기물소각로 및 대기오염 배출업체가 약 1,700여개소로 발생하는 대기오염의 종류가 매우 다양하다. 이 중 사람이나 동·식물에 주로 영향을 미치는 먼지는 입자크기가 0.1~10 μ m인 미세먼지로서 주로 산업공정의 연료 연소 또는 고체상 물질의 분쇄 등을 통하여 발생되며, 이 지역의 먼지 총 배출량의 거의 50%가 공장먼지로 그 대부분이 미세먼지 형태로 배출되고 있다. 또한 시화·반월 지역의 산업 활동의 증가에 따라 더욱 더 미세먼지의 배출량이 증가될 것이며, 이로 인해 주변지역의 대기오염이 심해 질 뿐 아니라 공장 종사자 및 지역주민의 피해도 심각할 것으로 추정된다. 따라서, 본 연구는 이 지역의 대기오염을 방지하고 적정 대기질을 유지하기 위한 기초 자료를 확보하기 위한 목적으로 대기 중 미세먼지의 특성을 금속 및 이온성분을 중심으로 조사하였다. ICP-MS는 다른 분석 방법에 비해 검출한계가 낮고, 따라서 저 농도 분석에 적합하며 동시에 여러 가지 원소를 분석할 수 있기 때문에 파괴분석법 중 가장 유용한 방법으로 평가 받고 있다. 그러나 ICP-MS는 미량원소 분석에 매우 뛰어난 검출 효율과 신속한 분석 능력을 갖고 있지만, polyatomic 이온에 의한 spectral interference를 갖고 있다. 특히, 중요한 독성금속들인 As, Cr, Mn, Se, V, Zn 등에 대해 polyatomic 이온에 의한 스펙트럼의 방해영향이 커서 정확한 농도분석에 어려움이 있다. 그러므로 본 연구는 collision cell에서 polyatomic 이온들을 충돌로써 제거한 후 질량분석기로 유입시킴으로써, 검출한계와 바탕값을 크게 낮추는 CCT-ICP-MS를 사용하였고 이는 국내에서 처음 시도된 방법이다.

2. 연구 방법

2. 1 시료의 채취

시화지역의 중심부인 시화도금단지 3층 옥상(지상 약 9m)과 반월지역의 중심부인 국제기업의 2층 옥상(지상 약 7m)으로 산단지역내 대기분진 시료를 채취하였고, 시흥시 정왕동의 주거지역에 대한 오염도와 공단의 영향을 확인하기 위해 시흥시 민간 환경감시센터의 옥상(지상 약 7m)지점을 선정하여 각각 시료를 채취하였다. 대기분진 시료는 PM10 high-volume air sampler (Kimoto Model-121FT)를 이용하여 계절별로 14개, 또는 15개씩 집중적으로 채취하였다. 여지는 기계적 강도가 좋고 압력강하가 적은 Whatman No. 41 (8"×10", cellulose-fiber)를 사용하고, 샘플러의 유량은 약 0.85 m³/min으로 하여 총 공기량이 1,200m³ 가 유지되도록 하였다. 대기분진 시료는 2003년 8월부터 2004년 8월까지 계절별로 각각 채취되었고, 주거지역인 정왕동에서는 2004년 봄과 여름동안만 채취되어 산단지역에서는 각각 58개, 주거지역에서는 28개의 대기분진시료가 수집되었다. 채취된 시료는 항량 과정을 거쳐 무게를 잰 후, 시료 분석 전까지 데시케이터에 보관하였고, CCT-ICP-MS와 Ion Chromatography를 이용하여 22종의 중금속과 3개의 이온성분이 분석되었다.

2. 2 중금속 및 이온성분 분석

본 연구에서 사용된 마이크로파 분해장치는 Milestone사의 Ethos 1600 모델이고, 전처리 방법은 세척과정을 마친 각 용기에 분진 시료를 1/10 정도의 크기로 잘라 질산을 이용하여 산분해한 후 시료를 1% 질산 용액으로 수회 씻어 폴리에틸렌 용기에 옮기고 산도를 맞춘 후에 저울에서 50g로 표중하여 분석용으로 사용하였다. CCT-ICP-MS는 hexapole collision cell이 장착된 미국의 Thermo Elemental

사의 X-7 series model을 사용하였다. 시료는 glass 재질의 nebulizer와 spray chamber를 사용하여 전 과정에서 동일하게 1.5 ml/min의 속도로 주입되었다. 일반 ICP-MS 모드에서 분석할 때는 반응가스의 유속을 0 ml/min으로 고정하였고, CCT-ICP-MS 모드에서는 99.999% 순도의 He와 H₂ 가스를 6 ml/min의 속도로 collision cell에 연속적으로 주입하여 분석하였다.

이온성분은 초음파 세척기(Branson 8210, USA)를 이용하여 30분간 초음파 추출하고 0.2 μm syringe filter(Nalgene, USA)로 여과하는 전처리과정을 거쳤다. Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻의 이온분석에 사용된 이온크로마토그래프는 Metrohm사의 761 Compact IC model이며 분리관은 IC SI-90 4E(Showa Deko, Japan)를 이용하였다. Suppressor는 황산용액을 사용하는 SCX Membrane PCR(SeQuant, Sweden)를 사용하였으며, 용리액은 1.0 mM NaHCO₃/3.5 mM Na₂CO₃를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1에 연구 지역에서의 발암금속 농도를 나타내었는데, 시화산단에서 인체 발암물질인 As, Cr, Ni의 대기 중 산술 평균농도는 각각 7.6, 78, 63 ng/m³이며 인체에 유력한 발암물질인 Be, Cd, Pb의 평균농도는 각각 0.07, 9.3, 314 ng/m³로 나타났다. 그리고 비발암 물질인 Mn의 평균 농도는 100 ng/m³이다 반월산단에서는 As, Cr, Ni은 각각 6.6, 19, 70 ng/m³이며 인체에 유력한 발암물질인 Be, Cd, Pb는 각각 0.04, 8.3, 404 ng/m³로 나타났다. 그리고 비발암 물질인 Mn의 평균 농도는 92 ng/m³였다. 주거지역에서는 As, Cr, Ni은 각각 7.0, 10, 16 ng/m³이며, 인체에 유력한 발암물질인 Be, Cd, Pb는 각각 0.05, 6.0, 316 ng/m³로 나타났다. 그리고 비발암 물질인 Mn의 평균 농도는 55 ng/m³였다. 시화 및 반월산단, 주거지 지역에서 기타 비발암 독성금속인 Co, Fe, Sb, Se, Ti, V, Zn 중 Fe가 각각 1,130, 909, 372 ng/m³로 최대 농도를 보였다. 이온성분들의 분석 결과를 보면, 시화 산단지역에서 Cl⁻의 산술평균이 8.2±3.1 μg/m³, NO₃⁻는 6.3±3.0 μg/m³, SO₄²⁻는 11.8±4.9 μg/m³로 나타났다. 그리고 반월 산단지역은 Cl⁻는 13.0±5.5 μg/m³, NO₃⁻는 5.5±2.5 μg/m³, SO₄²⁻는 13.3±6.6 μg/m³로 나타났다. 한편, 주거지역의 경우 Cl⁻가 4.9±2.9 μg/m³, NO₃⁻는 6.3±3.1 μg/m³, SO₄²⁻은 10.7±4.5 μg/m³를 보여, Cl⁻나 NO₃⁻는 산단지역보다 낮지만 NO₃⁻는 오히려 높게 나타났다.

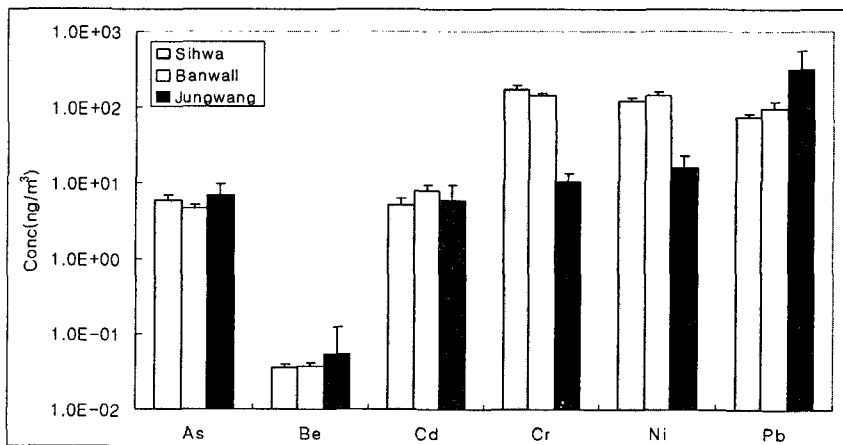


Fig. 1. Average concentration and standard error of carcinogenic metal.

참고 문헌

- Thomas, R. (2002) A beginner's guide to ICP-MS: Part IX-mass analyzer: collision/reaction cell technology, Spectroscopy, 17(2), 42-48.
- Feldmann, I., N. Jakubowski, D. Stuewer (1999) Application of a hexapole collision and reaction cell in ICP-MS, Part I: Instrumental aspects and operational optimization, Fresenius, J. Anal. Chem., 365, 415-421.