

## PA61) 미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)에 함유한 원소분석 방법 비교 A Method Comparison of Elemental Analysis in Fine Particles(PM<sub>2.5</sub>)

강병욱 · 전준민<sup>1)</sup> · 정만호<sup>1)</sup> · 조민식 · 이상화<sup>2)</sup> · 정영선<sup>2)</sup> · 이학성<sup>2)</sup>

충주대학교 환경공학부, <sup>1)</sup>순천제일대학 그린전남환경종합센터, <sup>2)</sup>서원대학교  
환경건설정보학과

### 1. 서 론

미세먼지의 화학적 특성에 관한 연구는 입자상물질이 인체에 미치는 영향과 관련하여 실질적인 자료를 제공할 뿐만 아니라 주요한 배출원을 규명하는데 유용하게 이용될 수 있다. 미세먼지를 구성하는 주요 화학적 성분으로는  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$  그리고 EC/OC 등이 정량적으로 다량 존재하는 성분이다. 원소는 미세먼지에 미량으로 존재하지만, 인체에 미치는 영향과 더불어 최근에는 배출원 특성에 관한 유용한 정보를 제공하기 때문에 많은 관심을 유발하고 있다. 예를 들어, 토양에서 배출되는 먼지의 경우에는 원소 중 Si, Al, Fe, K, Ca 등이 풍부도가 크고, 석탄 화력 발전소에서 배출되는 먼지에서는 Si, Al, Ca, Fe 등의 풍부도가 높게 나타난다. 미세먼지의 원소를 분석하기 위해서는 필터상에 포집된 먼지의 양이 매우 미량이기 때문에 고감도의 장비를 사용하여야 검출이 가능하다. 현재 미세먼지 중 원소 분석에 사용되고 있는 분석방법으로는 NAA(Neutron Activation Analysis), PIXE (Proton Induced X-ray Emission), XRF(X-Ray Fluorescence), ICP(Inductively Coupled Plasma spectrometry) 및 ICP-MS 등이 사용되고 있다(정진희 등, 2007; Ward et al., 2006; 이학성 등, 2005; 류성윤 등, 2003; 강병욱 등, 1997; 최급찬, 1991).

최근 수도권을 비롯한 대도시지역에서 미세먼지의 농도는 뚜렷한 농도감소추세를 보이지 않고 있으며 오히려 지역에 따라서는 증가하는 경향을 보임에 따라서 관리대책의 일환으로 미세먼지의 배출원 특성에 관한 연구들이 많이 수행되고 있으며, 미량 원소분석에 대한 필요성은 점점 증대되고 있다. 따라서 본 연구에서는 세계적으로 미세먼지의 원소분석법으로 많이 사용되고 있는 PIXE와 XRF방법을 이용하여 환경대기 미세입자 중 원소분석 방법을 비교분석함으로써 각 분석방법에 대한 장·단점을 검토하고자 한다.

### 2. 연구 방법

#### 2.1 시료의 채취

본 연구는 광양지역에서 2007년 11월 20일 부터 11월 28일 까지 2.5 $\mu$ m 이하의 입자를 포집할 수 있는 사이클론과 필터팩으로 구성된 시료채취장치 2개 시스템을 이용하여 동시에 시료를 채취하였으며, 총 6회에 걸쳐서 시료채취가 이루어 졌다. 시료채취유량은 16.7l/min 으로 24시간 동안 시료를 채취하였다. 유량에 대한 신뢰성을 높이기 위하여 적산유량계를 사용하여 전체유량을 계산하였다. 시료채취에 사용된 여과지는 원소분석에 적합한 47mm 직경의 테프론 여지(1 $\mu$ m pore size, Gelman Science)를 사용하였다.

#### 2.2 원소의 분석

시료채취에 사용된 테프론 여지는 시료채취 전, 후 2일씩 항온 항습상태의 건조기(Nikko auto dry desiccator) 내에서 항량이 되게 보관하고, 칭량하여 여과 전, 후 중량차로 먼지의 농도를 산출하였다. 동시에 포집된 각 시료의 원소분석은 PIXE와 XRF 분석방법을 이용하였다. PIXE 분석은 미국의 EAC (Element Analysis Corporation)에서 분석하였으며, XRF 분석은 미국 DRI(Desert Research Institute)에 의뢰하여 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

일반적인 도시대기에서 16.7l/min 유량으로 24시간 47mm 직경의 여지에 시료를 포집하여 원소 검출 결과를 비교평가하기 위하여 PIXE와 XRF 분석한 결과는 다음과 같다.

PIXE를 이용하여 분석한 결과 최대로 검출된 성분은 Na, Mg, Al, Si, S, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn 등 12가지가 분석되었으며, XRF를 이용하여 분석한 결과 최대로 검출된 성분은 Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Zr, Pb 등 23가지 성분이 검출한계 이상으로 검출되었다. 표 1에 PIXE를 이용하여 분석한 원소의 정량결과를 나타내었다.

Table 1. Element concentrations for PIXE.

Species	Concentration( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ )					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
Na	ND	ND	0.4752	0.4178	ND	0.3250
Mg	ND	ND	ND	0.2659	ND	0.2088
Al	0.3844	0.1951	0.2603	0.6445	0.2145	0.2968
Si	1.3170	0.4986	0.8117	1.6300	0.5945	0.6634
S	1.7660	2.4420	4.8520	10.0600	1.2000	1.6600
Cl	ND	ND	0.2571	0.1862	ND	0.1703
K	0.3358	0.5140	1.2670	1.6900	0.3092	0.4571
Ca	0.5125	0.2605	0.4341	0.8568	0.3990	0.3233
Mn	ND	0.0282	0.0805	0.0824	ND	0.0539
Fe	0.4893	0.3639	1.5940	0.8627	0.4054	0.4794
Cu	ND	ND	ND	0.0466	ND	0.0236
Zn	0.0566	0.0760	0.3516	0.2662	0.0764	0.2278

### 사 사

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R01-2007-000-20313-0).

### 참 고 문 헌

- 강병욱, 이학성, 김희강 (1997) PIXE를 이용한 청주지역 미세입자 중 원소의 계절 변동 특성, 한국대기환경학회지, 13(4), 307-327.
- 류성윤, 김정은, 정현록, 김영준, 한진석, 문광주, 공주부, 안준영 (2003) 제주 고산에서 측정된  $\text{PM}_{2.5}$  에어로졸의 원소성분 특성연구, 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집, 133-134.
- 이학성, 강충민, 강병욱, 이상권 (2005) 수용모델을 이용한 서울지역 미세입자( $\text{PM}_{2.5}$ )에 영향을 미치는 배출원 특성에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 21(3), 329-341.
- 정진희, 임중명, 이진홍, 문종화, 정용삼 (2007) 실내외 공간에서의 미세먼지( $\text{PM}_{2.5}$ ) 내 미량원소 분포 특성의 비교, 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집, 546-547.
- 최금찬 (1991) PIXE 분석에 의한 대기 에어로졸의 원소분석-표준시료의 작성 및 정량화, 한국대기환경학회지, 7(2), 114-118.
- Ward, T.J., L.R. Rinehart, and T. Lange (2006) The 2003/2004 Libby, Montana  $\text{PM}_{2.5}$  source apportionment research study, Aerosol Science and Technology, 40, 166-177.