

## PA25) PIXE 분석법을 이용한 도시지역 및 국립공원 지역에서 관측된 에어로졸의 특성 분석

### Characteristics of Aerosols Observed at an Urban Area and a National Park Area Using PIXE Method

김경원 · 김영준<sup>1)</sup> · 도진영<sup>2)</sup> · 윤민영<sup>3)</sup>

경주대학교 환경계획학전공, <sup>1)</sup>광주과학기술원 환경공학과 환경모니터링신기술 연구센터, <sup>2)</sup>경주대학교 문화재학부, <sup>3)</sup>서울대학교 기초과학공동기기원  
정전가속기연구센터

#### 1. 서 론

일반적으로 도시지역과 비도시지역의 대기오염 배출원은 동일하지 않은 경향을 나타낸다. 도시지역에서 관측되는 대기오염물질의 물리적 및 화학적 특성을 파악하기 위하여 비도시지역에서 관측된 대기오염물질의 특성에 대한 조사는 필수적이라고 할 수 있다. 시정장애, 산성비, 호흡기장애 등을 유발시킬 수 있는 대기오염물질은 지역 간뿐만 아니라 국가 간에도 이동된다. 이러한 특성은 두 지역에서 발생된 대기오염물질들의 상호이동으로부터 발생할 수 있는 다양한 대기질의 변화를 파악하는 데에 적잖은 영향을 미친다. 이러한 이유로 지난 수십 년간 도시지역과 비도시지역에서 관측된 대기오염물질의 다양한 특성이 연구되었다. 본 연구에서는 우리나라의 대표적인 도시지역인 서울과 다양한 문화재가 산재되어 있는 경주시의 국립공원 지역에서 관측된 입자상물질의 물리적 및 화학적 특성이 조사된다.

#### 2. 연구 방법

도시지역인 서울과 국립공원 지역인 경주에서 에어로졸 집중관측이 3월 12일부터 5월 9일까지 및 5월 19일부터 30일까지 각각 수행되었다. 도시지역의 집중관측은 연세대학교에 위치한 시정관측소에서 수행되었으며, 국립공원지역의 집중관측은 경주국립공원 서악지구에 위치한 경주대학교의 에어로졸관측소에서 수행되었다. 연세대학교 시정관측소는 인구 및 교통이 밀집된 도심지역으로부터 약 500m 떨어진 장소에 위치하고 있으며, 경주대학교 에어로졸관측소는 도심으로부터 5km 떨어진 산 속에 위치하고 있다. 집중관측 기간 동안 URG사 VAPS 2000J 샘플러와 PM<sub>1.0</sub>, PM<sub>2.5</sub> 및 PM<sub>10</sub> 사이클론을 이용하여 각각 초미세입자(D<sub>p</sub> < 1.0 $\mu$ m), 미세입자(D<sub>p</sub> < 2.5 $\mu$ m), 조대입자(2.5 < D<sub>p</sub> < 10 $\mu$ m) 및 PM<sub>10</sub> 입자(D<sub>p</sub> < 10 $\mu$ m)가 각각 채집되었다. 국립공원지역의 집중관측 기간 동안 대기 중 에어로졸은 24 시간 간격으로 필터에 채집되었으며, 도시지역의 집중관측 기간 동안에는 2시간(오전 8시~오후 6시) 및 14시간(오후 6시~오전 8시) 간격의 준실시간(semi-continuous) 간격으로 필터에 채집되었다. 채집된 에어로졸은 원소분석 및 이온분석이 수행되었다. PIXE(proton induced X-ray emission) 분석법을 이용한 원소분석에서의 장애유발 요소를 줄이기 위하여 47mm-0.4 $\mu$ m-pore polycarbonate 필터가 사용되었다. 원소분석은 서울대학교 기초과학공동기기원의 정전가속기연구센터에서 운영 중인 Tandem Van de Graaff 정전형 양성자가속기로부터 이온원(ion beam)을 획득하여 Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Se, Cd, Pb의 15개 항목이 정량되었다. 이온분석은 경주대학교 대기환경연구실에서 GAT(Gamma Analysen technik GmbH)사 model DKK-TOA IA-300 이온크로마토그래피(ion chromatography)를 사용하여 Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sub>2</sub><sup>+</sup>, Ca<sub>2</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 이온이 정량되었다. 서울시 및 경주시에 도달하는 기단 궤적의 이동 경로가 HYSPLIT 모델을 활용하는 3일 역궤적 분석(back-trajectory analysis)에 의하여 각각 500, 1000 및 2000m 고도에서 도착시간 매 00 UTC에서 추정되었다. 동시에 디지털 카메라를 이용하여 측정시의 대기조건이 JPEG 포맷의 영상으로 촬영되었으며, 상대습도, 풍향, 풍속 등의 기상자료는 기상청의 관측 자료가 사용되었다.

### 3. 결과 및 고찰

집중관측 기간 동안 채집된 에어로졸의 화학 조성은 각각 토양관련 원소집합, 인위적 발생 원소집합 및 에어로졸산성 관련 원소로 구분되어 분석되었다. 토양관련 원소집합은 도시지역에서 평균 약 20%를 차지하였으며, 국립공원지역에서 약 70%를 차지하였고, 인위적 발생 및 에어로졸산성 관련 원소는 국립공원지역보다 도시지역에서 높은 농도를 나타내었다.

Table 1. Variation of the physical and chemical properties of the aerosol observed at the monitoring sites of Seoul and Gyeongju.

Area	Type	Mass		Element															
		PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>1.0</sub>	Al	Si	P	S	K	Ca	Fe	Pb	Ti	Cr	Mn	Cu	Zn	Se	Cd	
		μg m <sup>-3</sup>		μg m <sup>-3</sup>															
Seoul	Total	Avg.	46.0	24.6	0.1	0.1	0.3	1.0	0.0	0.1	0.1	0.2	7.8	13.7	4.9	16.9	2.4	1.8	9.8
		Std.	30.8	13.4	0.1	0.2	0.5	1.1	0.1	0.1	0.3	0.2	9.4	17.1	4.5	15.3	2.7	1.8	9.4
	AD <sup>a</sup>	Avg.	99.8	46.5	0.3	0.1	0.2	2.3	0.0	0.1	0.2	0.1	4.1	10.0	7.2	13.4	1.3	0.6	6.4
		Std.	25.2	13.8	0.2	0.1	0.2	1.7	0.0	0.1	0.3	0.2	4.8	10.8	12.1	12.9	1.5	0.5	4.3
	Non-AD <sup>b</sup>	Avg.	38.8	21.6	0.1	0.1	0.3	0.8	0.0	0.0	0.1	0.2	7.8	13.5	4.5	16.6	2.5	1.9	10.0
		Std.	24.9	11.1	0.1	0.2	0.5	0.9	0.1	0.1	0.3	0.2	9.6	17.5	2.9	15.5	2.8	1.8	9.6
Gyeongju	Total	Avg.	18.1	7.7	0.5	1.2	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	45.2	41.9	5.9	7.5	8.8	1.6	6.5
		Std.	11.4	5.2	0.6	1.5	0.6	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	37.2	48.0	13.2	7.0	10.1	0.8	7.6
	AD	Avg.	53.8	25.5	1.4	6.0	1.2	0.5	0.8	0.4	0.8	0.3	138.3	107.5	50.1	11.3	30.0	0.7	35.7
		Std.	13.3	5.3	0.8	0.9	0.5	0.5	1.1	0.6	1.1	0.2	69.3	85.4	64.5	11.6	11.4	0.2	2.0
	Non-AD	Avg.	16.8	7.1	0.5	1.0	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	41.9	39.6	4.3	7.4	8.0	1.6	5.4
		Std.	9.2	3.9	0.5	1.2	0.6	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	32.0	45.8	5.9	6.9	9.3	0.8	5.3

  

Area	Type	Mass		Ion													
		PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>1.0</sub>	Li <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
		μg m <sup>-3</sup>		μg m <sup>-3</sup>													
Seoul	Total	Avg.	46.0	24.6	0.0	0.6	1.6	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.6	0.5	0.2	2.4	4.1
		Std.	30.8	13.4	0.1	0.4	1.2	0.1	0.3	0.1	0.0	0.3	0.9	0.7	0.3	2.4	3.7
	AD <sup>a</sup>	Avg.	99.8	46.5	0.0	0.8	2.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	1.7	0.6	0.9	5.3	7.9
		Std.	25.2	13.8	0.0	0.3	0.9	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	1.9	0.7	0.8	6.4	4.5
	Non-AD <sup>b</sup>	Avg.	38.8	21.6	0.0	0.6	1.5	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.5	0.5	0.1	2.0	3.6
		Std.	24.9	11.1	0.1	0.4	1.2	0.1	0.3	0.1	0.0	0.3	0.6	0.7	0.1	1.3	3.4
Gyeongju	Total	Avg.	18.1	7.7	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.4	0.7
		Std.	11.4	5.2	0.0	0.0	0.3	0.2	0.1	0.2	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.6	0.7
	AD	Avg.	53.8	25.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	1.7
		Std.	13.3	5.3	0.0	0.1	0.0	0.5	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.5
	Non-AD	Avg.	16.8	7.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.4	0.7
		Std.	9.2	3.9	0.0	0.0	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.6	0.7

<sup>a</sup>: Asian Dust event and <sup>b</sup>: Without Asian Dust event

### 사 사

본 연구는 환경부 “차세대 핵심환경기술개발사업”으로 지원받은 과제와(010020055) 과학기술부의 21세기 프론티어 연구개발 프로그램의 일환으로 추진 중인 중인 양성자기반공학기술개발사업의 이용자프로그램의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.