

## PA37) 국내 배경지역 대기 에어로졸의 입경별 이온 농도 비교 Comparison of Ion Concentrations of Size-Segregated Atmospheric Aerosols at Background Area of Korea

이순봉 · 강창희 · 김원형 · 고희철 · 송정민 · 조은경 · 김행범 · 오용수  
제주대학교 화학과

### 1. 서 론

대기 에어로졸은 인체 건강은 물론 시정, 지구 복사에너지 수지에도 영향을 미치는 것으로 알려지면서 이에 대한 다양한 연구들이 수행되고 있다. 우리나라는 1983년부터 총부유먼지(TSP)의 대기환경기준을 설정하여 관리해 왔고, 에너지 정책 개선, 배출시설 규제 등으로 대기질이 크게 개선되면서 2001년에는 TSP를 대기환경기준 항목에서 제외하고, 1995년부터는 PM<sub>10</sub> 환경기준을 제정하여 관리하고 있다. 그러나 PM<sub>10</sub> 미세먼지 농도는 수도권을 중심으로 도쿄, 런던, 뉴욕, 파리의 2~3배 이상의 수준을 나타내고 있고, EU 기준인 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 훨씬 상회하고 있다. 정부는 2007년부터는 PM<sub>10</sub> 대기환경기준을 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 더욱 강화시켜 이러한 대기질 개선에 노력을 기울이고 있다(환경부, 2007). 대기 에어로졸은 입자크기에 따라 조성, 기원이 다르고 계절적 특성도 다르게 나타나기 때문에 입경분포별로 성분을 비교함으로써 조성을 비교할 필요가 있다(국립환경과학원, 2006). 일반적으로 직경이 2.5 $\mu\text{m}$  이하인 미세입자와 2.5 $\mu\text{m}$  이상의 조대입자는 조성 및 발생기원이 크게 다르기 때문에 이를 입경별로 구분하여 그 화학 특성을 비교하는 것은 의미가 있다. 본 연구에서는 국내 배경지역인 제주도 고산측정소에서 PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, TSP 에어로졸을 채취하여 이온성분을 분석하고, 각 성분의 농도를 입경별로 비교하였다.

### 2. 연구 방법

제주도 고산지역(33°28'N, 127°17'E)에 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> air sampler와 high volume tape sampler(Kimoto, model 195A)를 설치하여, 2006년 1월 11일부터 2007년 10월 24일까지 PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, TSP 에어로졸 시료를 동시에 채취하였고, 시료수는 각각 82개이다. 대기 에어로졸은 Metrohm사의 모델 Modula IC를 사용하여 양이온은 Metrohm Metrosep Cation 1-2-6 column, 음이온은 Metrohm Metrosep A-SUPP-4 column으로 분석하였다(Kang et al., 2007).

### 3. 결과 및 고찰

고산지역에서 채취한 PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, TSP 에어로졸 각각에 대해 주요 이온성분을 분석하였다. 그리고 입경이 2.5 $\mu\text{m}$  이하인 미세입자(PM<sub>2.5</sub>), 입경이 2.5~10 $\mu\text{m}$ 인 조대입자(PM<sub>2.5</sub>-PM<sub>10</sub>), 그리고 10 $\mu\text{m}$  이상의 입자(PM<sub>10</sub>-TSP)로 구분하여 각 입경별 농도를 비교하였다. 먼저 PM<sub>2.5</sub> 미세입자의 이온성분 농도는  $\text{nss-SO}_4^{2-}$  (5.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{NH}_4^+$  (1.93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{NO}_3^-$  (1.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{Na}^+$  (0.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{K}^+$  (0.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{Cl}^-$  (0.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{nss-Ca}^{2+}$  (0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{Mg}^{2+}$  (0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 순으로 높게 나타났다. 또 PM<sub>2.5</sub>-PM<sub>10</sub> 입자의 이온성분은  $\text{nss-SO}_4^{2-}$  (1.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{NH}_4^+$  (0.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{NO}_3^-$  (0.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{Na}^+$  (0.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{Cl}^-$  (0.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{nss-Ca}^{2+}$  (0.09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{K}^+$  (0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{Mg}^{2+}$  (0.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 순으로 높은 농도를 보였다. 그리고 PM<sub>10</sub>-TSP 이온성분은  $\text{nss-SO}_4^{2-}$  (3.31  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{Na}^+$  (1.65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{NO}_3^-$  (1.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{Cl}^-$  (1.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{NH}_4^+$  (0.88  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{Mg}^{2+}$  (0.28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{K}^+$  (0.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) >  $\text{nss-Ca}^{2+}$  (0.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 순으로 높은 농도를 보여, 세 영역의 입자에서 모두  $\text{nss-SO}_4^{2-}$ 이 가장 높은 농도를 나타내었다(그림 1). 또한 인위적 기원의  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{nss-SO}_4^{2-}$  성분들의 입경별 농도를 비교해 본 결과, PM<sub>2.5</sub> 미세입자에서는 이들 성분들의 조성이 각각 21.9, 11.5, 57.1%를 나타내었다. 그러나 PM<sub>2.5</sub>-PM<sub>10</sub> 조대입자에서는  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{nss-SO}_4^{2-}$  성분들의 조성이 각각 14.5, 21.0, 46.0%, PM<sub>10</sub>-TSP 조대입자에서는 각각 9.9, 13.9, 37.3%의 비율을 보여, 이들 성분들은 미세입자에 더 많이 분포하는 것으로 조사되었다. 반면에 해염기원의  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ 는 PM<sub>2.5</sub> 미세입자에서 각각 3.1, 1.9, 0.5%, PM<sub>2.5</sub>-PM<sub>10</sub> 조대입자에서 6.4, 4.6, 1.2%, PM<sub>10</sub>-TSP 조대입자에서 18.6, 13.7, 3.2%

의 비율을 보여, 이들 성분들은 상대적으로 조대입자에 더 많이 분포하는 것으로 조사되었다. 또 토양의 지표성분인  $nss-Ca^{2+}$ 의 경우,  $PM_{2.5}$  미세입자에서 1.6%,  $PM_{2.5}-PM_{10}$  조대입자에서 4.0%,  $PM_{10}-TSP$  조대입자에서 1.1%의 조성비를 나타내어 대체적으로 조대입자에서 높은 경향을 보이지만,  $PM_{2.5}-PM_{10}$  조대입자에서 예외적으로 낮은 비율을 보였다. 그러나 이는  $nss-Ca^{2+}$ 의 농도가 낮기 때문에 발생하는 오차로 추정되며,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , TSP에서  $nss-Ca^{2+}$ 의 실제 농도는 각각 0.15, 0.24,  $0.33\mu g/m^3$ 로, TSP에서 가장 높게 나타나고 있다. 또한 요인분석법에 의해 고산 지역 대기 에어로졸 이온성분의 발생기원을 조사해 본 결과 (표 1),  $PM_{2.5}$  이온성분은 인위적 요인의 영향이 가장 크고, 다음으로 해양, 그 다음으로 토양의 영향을 많이 받은 것으로 조사되었다. 그러나 이와는 달리  $PM_{2.5}-PM_{10}$ ,  $PM_{10}-TSP$  조대입자에서는 해양의 영향이 가장 크고, 다음으로 인위적인 영향, 그 다음으로 토양의 영향을 많이 받은 것으로 나타났다. 또  $PM_{2.5}-PM_{10}$ ,  $PM_{10}-TSP$  조대입자에서는 발생기원이 전혀 다른  $NO_3^-$  이  $nss-Ca^{2+}$  또는  $Na^+$ ,  $Cl^-$ 와 동일한 인자에 적재되었고, 이는  $nss-SO_4^{2-}$ 과는 다소 다른 기원으로 대기 에어로졸에 유입되고 있음을 의미하는 결과이다.

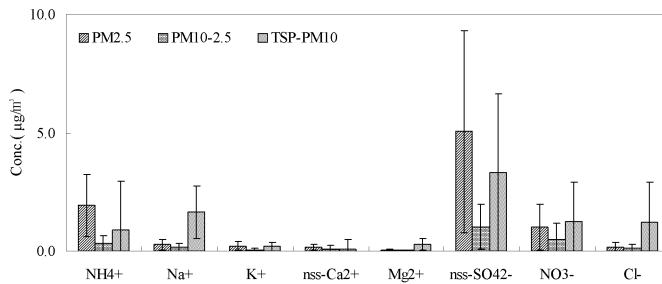


Fig. 1. Concentrations of major ionic components in size-segregated atmospheric aerosols.

Table 1. Results of rotated varimax factor analysis for water-soluble aerosol components.

Component	$PM_{2.5}$			$PM_{10-2.5}$			TSP- $PM_{10}$		
	factor 1	factor 2	factor 3	factor 1	factor 2	factor 3	factor 1	factor 2	factor 3
$NH_4^+$	0.90	-0.09	0.25	-0.17	0.88	0.15	-0.03	0.92	0.00
$Na^+$	0.02	0.92	0.03	0.90	0.07	0.17	0.88	0.06	0.18
$K^+$	0.74	0.09	0.53	0.29	0.64	0.19	0.04	0.32	0.86
$nss-Ca^{2+}$	0.35	0.06	0.09	0.12	0.05	0.83	0.40	-0.11	0.76
$Mg^{2+}$	0.29	0.79	0.00	0.72	0.06	0.53	0.48	0.74	0.00
$nss-SO_4^{2-}$	0.86	-0.07	0.25	-0.04	0.91	0.02	-0.07	0.91	0.27
$NO_3^-$	0.84	0.20	0.06	0.03	0.20	0.72	0.75	0.10	0.12
$Cl^-$	-0.20	0.89	0.07	0.83	-0.08	-0.09	0.88	-0.04	0.11
Eigenvalue	3.0	2.3	1.2	2.1	2.1	1.6	2.5	2.4	1.5
Variance(%)	38.0	29.1	15.4	26.7	25.8	19.8	31.4	29.5	18.6
Cummulative(%)	38.0	67.1	82.5	26.7	52.6	72.4	31.4	60.9	79.5

## 사 사

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008 -313-C00934).

## 참 고 문 헌

- 강창희, 고희정, Wlodek Zahorowski (2007) 제주도 고산지역의 라돈 및 TSP 에어로졸 농도 특성: 2001-2004년 측정, 한국대기환경학회지, 23(5), 612-624.
- 국립환경과학원 (2006) 대도시 대기질 관리방안 조사 연구: 미세먼지 생성과정 규명과 저감대책 수립.
- 환경부 (2007) <http://www.me.go.kr/>