

## 대기중 입자상물질에 있어서 이온성분의 입도별 계절변동

김희강 · 조기철 · 이주희 · 최민규 · 마창진 · 강충민 · 여현구  
전국대학교 환경공학과

### Seasonal variation in size distributions for ionic components in the atmospheric aerosol

Hui-Kang Kim, Ki-Chul Cho, Ju-Hee Lee, Min-Kyu Choi, Chang-Jin Ma  
Choong-Min Kang and Hyun-Gu Yeo  
Dept. of Environmental Engineering, KonKuk University

#### ABSTRACTS

Measurements of the seasonal variations of concentration and size distribution of TSP,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  were made by Andersen air sampler from May 1995 to April 1996 in Seoul.

The size distribution of these ions was divided into four patterns. 1) Distribution was concentrated on fine particles over a year such as  $NO_3^-$  component, 2) Distribution was predominated in coarse particles fraction over a year such as  $Mg^{2+}$  and  $Ca^{2+}$  components, 3) Distribution was different from various seasons such as  $NH_4^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$  and  $K^+$  components, 4) Distribution was bimodal such as  $Na^+$ .

**Keywords** : Seasonal variation, andersen air sampler, coarse particles, bimodal.

## I. 서 론

환경대기중의 에어로졸은 옛부터 가장 중요한 오염지표의 하나로 여겨졌으며, 그 농도나 화학조성 및 입경분포 등을 파악하는 것은 환경오염 또는 인체영향의 평가에 있어서 없어서는 안되는 것으로 알려져왔다.<sup>1)</sup> 또 입자발생기구의 차이에 의해 발생원으로부터 발생하는 입자의 입경이 다르기 때문에,<sup>2,3)</sup> 대기중에 입자상물질로서 존재하고 있는 오염물질의 발생원을 확인하는데 있어서 유용한 수단으로 사용되고 있다.

일반적으로 대기중의 부유입자상물질은 해염입자나 토양입자 등과 같이 직접 대기중으로 방출하는 1차입자와, 일단 연소 등에 의해 발생한 가스상물질이 물리적·화학적 변화를 거쳐 입자화된 2차입자로 분류되고 있다. 이 2차입자는 지구규모로 볼 때 총입자의 40~50%를 점하고 있지만, 가스상오염물질의 농도가 높은 도시대기중에서는 2차입자의 비

가 매우 높고, 특히  $2\mu m$ 이하의 미소입자들이 약 84%에 달하고 있다는 보고도 있다.<sup>4,5)</sup>

게다가 에어로졸중의 중요한 무기이온성분인  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$  등은 대부분이 대기화학반응에 의한 2차생성물질로 여겨지고 있으며,<sup>6)</sup> 생성기구의 실험적인 연구와 함께 이 성분들의 환경중에서의 거동의 파악은 대기화학반응을 해명하는데 있어서 없어서는 안되는 것으로 여겨져 왔다. 또 이들 이온성분은 최근 산성우의 문제 및 시정의 악화와 밀접한 관계가 있는 것으로 알려지고 있다.<sup>7)</sup>

따라서 이러한 이온성분의 농도를 평가하는 것은 대기오염대책을 강구하는데 있어서 매우 중요하다고 볼 수 있다. 그러나 대기중의 이온성분을 측정하는 경우, 2차생성기원의 이온성분의 입도분포는 계절변동이 크다고 보고되어져 있기 때문에 단기적인 측정에서는 의미가 없고 연간을 통한 장기적인 조사가 필요하다.

본 연구에서는 서울시에서 대기중 이온성분의

거동을 조사하기 위해, 연간을 통해 대기중 입자상 물질을 앤더슨 에어샘플러를 사용하여 입경별로 채취하고, TSP 및 무기이온성분( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ )을 측정하여, 이들 성분의 대기중 농도 및 입도분포의 계절적변동을 고찰하였다.

## II. 실험

### 1. 시료의 채취

시료의 채취는 1995년 5월 부터 1996년 4월까지 서울시 광진구 모진동에 소재하고 있는 건국대학교 공과대학 옥상(지상 17 m)에서 앤더슨 에어샘플러(KANOMAX사 Model 3351)를 사용하여 계절별로 7일/회를 시료채취기간으로 하여 총12회(봄 5회, 여름 2회, 가을 2회, 겨울 3회) 측정하였다.

본 연구의 시료채취기간 중 시료채취시기는 가능한 한 강우의 영향을 최소화할 수 있고 대기질이 대표성을 갖게 하기 위해 선택적으로 수행하였고, 시료채취지점은 연구대상지역의 대기질을 대표할 수 있고, 주변의 장애물 또는 물리적 환경에 의해 영향을 최소화 할 수 있을 것으로 사료되는 지점이며, 그림 1에 본 연구가 수행된 시료채취지점의 위치와 주변개략도를 나타내었다.

또한 본 연구를 수행하기 위해 사용된 앤더슨 에어샘플러는 공기역학적 등가경에 따라 대기중의 입자상 물질을 총 9단(11.0, 7.0, 4.7, 3.3, 2.1, 1.1, 0.65, 0.43, 0.08  $\mu\text{m}$ 이하)으로 분류포집 할 수 있는 장치로서 시료채취시 유량은 28.3 l/min이며, 이때 각단에 사용된 필터는 백업필터(Quartz fiber filter, Whatman사 QM-A)를 제외하고는 각단 모두 polyvinyl filter를 사용하였다.

### 2. 시료의 분석

샘플러에 의해 포집된 각단의 필터는 시료를 포집하기 전과 포집후를 동일하게 데시케이터에 넣어 48시간 방치하여 항량이 되게 한후 무게를 칭량하였다. 수용성 이온성분 분석을 위해서는 냉장보관(-4°C 이하)하였으며, 초순수를 가하여 초음파추출기에서 30분간 추출하고 여과하여 최종액량을 10 ml로 한 후 분석용 시료로 하였다.

이와 같은 전처리과정을 통해 얻어진 분석용시료는 Ion Chromatography(DIONEX사, DX-100)를 사용하여 주요 수용성 양이온 및 음이온성분( $\text{Na}^+$ ,

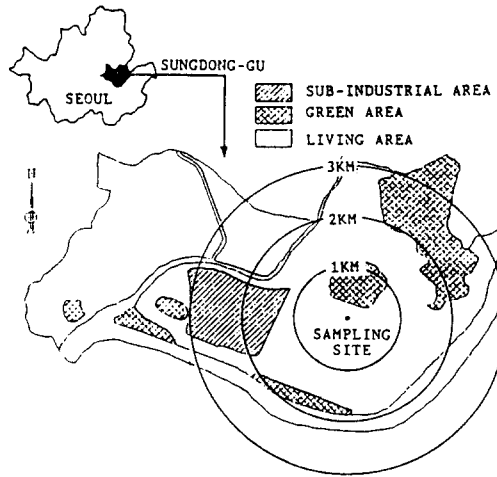


Fig. 1. Map of the sampling site

Table 1. Analytical condition of Ion Chromatography

	$\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{Cl}^-$	$\text{NH}_4^+$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$
Instrument	DX-100(DIONEX)	
Column	Ionpac AS12A	Ionpac CS12A
Eluent	2.7mM Sodium Carbonate+ 0.3mM Sodium Bicarbonate	Methane Sulfonic Acid
Flow Rate	2 ml/min	1l/min
Suppressor	ASRS-I 4mm P/N 43189	CSRS-I 4mm P/N 43190

$\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ )에 대해 분석을 행하였다. 이때 사용된 Ion Chromatography의 분석조건은 Table 1과 같다.

또한 검량선 작성을 위하여 각 분석항목의 표준원액을 단계적으로 희석하여 혼합한후 표준용액으로 사용하였다.

위와 같은 방법으로 구한 각 이온성분의 농도를 대기중 입자상물질중의 수용성 이온성분농도로 하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 입경별 대기중농도와 입경분포

1995년 5월부터 1996년 4월 1년에 걸쳐 앤더슨에

**Table 2.** Annual mean of concentration of aerosols and their ionic components in Seoul city

Ion	Particle Range	Concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				Annual mean ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
		Spring	Summer	Fall	Winter	
Cl <sup>-</sup>	Coarse (%)	4.79(60.1)	6.73(53.5)	4.31(51.0)	2.97(51.1)	4.59(52.2)
	Fine (%)	3.18(39.9)	5.85(46.5)	4.21(49.0)	2.73(47.9)	4.21(47.8)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Coarse (%)	1.65(37.4)	1.68(44.1)	1.12(28.0)	0.84(14.8)	1.35(27.5)
	Fine (%)	2.75(62.6)	3.26(65.9)	2.83(72.0)	4.82(85.2)	3.57(72.5)
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Coarse (%)	7.64(60.1)	13.16(62.8)	1.35(11.7)	1.82(23.6)	6.03(46.3)
	Fine (%)	5.05(39.9)	7.78(37.2)	10.15(88.3)	5.90(76.4)	7.00(53.7)
Na <sup>+</sup>	Coarse (%)	9.31(55.7)	19.98(52.9)	0.96(16.9)	0.98(49.0)	7.77(50.0)
	Fine (%)	7.40(44.3)	17.82(47.1)	4.73(85.1)	1.02(51.0)	7.78(50.0)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Coarse (%)	2.05(42.5)	2.50(60.0)	3.99(60.5)	1.74(30.2)	2.60(46.2)
	Fine (%)	2.77(57.5)	1.66(40.0)	2.60(39.5)	4.03(69.8)	3.03(53.8)
K <sup>+</sup>	Coarse (%)	0.78(51.6)	0.84(57.6)	1.25(66.8)	0.73(44.7)	0.84(53.4)
	Fine (%)	0.73(48.4)	0.62(42.4)	0.62(33.2)	0.90(55.3)	0.73(46.6)
Mg <sup>2+</sup>	Coarse (%)	0.13(60.0)	0.07(55.1)	0.09(60.0)	0.13(70.4)	0.10(62.4)
	Fine (%)	0.09(40.0)	0.06(44.9)	0.06(40.0)	0.06(29.6)	0.06(37.6)
Ca <sup>2+</sup>	Coarse (%)	1.75(61.1)	1.99(54.7)	1.30(60.2)	1.52(69.8)	1.67(60.6)
	Fine (%)	1.11(38.9)	1.65(45.3)	0.86(39.8)	0.66(30.2)	1.09(39.4)
TSP	Coarse (%)	53.49(61.7)	44.52(66.3)	44.68(53.1)	56.04(50.0)	51.39(55.9)
	Fine (%)	33.22(38.3)	22.60(33.7)	39.45(46.9)	56.12(50.0)	40.54(44.1)

어샘플러를 이용하여 대기시료를 포집하여 TSP 및 각 이온성분의 입경분포를 최소입자경을 0.08  $\mu\text{m}$ , 최대입자경을 30  $\mu\text{m}$ 로 하고, 히스토그램을 이용하여 구하였다. Table 2에 TSP 및 각 이온성분의 입경별(조대, 미세입자) 대기중농도를 나타내었으며 이를 이용하여 입경별 분포농도( $\Delta m$ )를 각 단의 입자의 분급폭( $\Delta \ln D = \ln D_1 - \ln D_2$ )로 나눈  $\Delta m / \Delta \ln D$ 를 산출하여 TSP와 각종 이온성분의 입경분포를 계절별로 Fig. 2에 나타내었다.

TSP 및 각종 이온성분의 입경분포는 연간을 통해 2  $\mu\text{m}$ 부근을 경계로하여 0.5  $\mu\text{m}$ ~1  $\mu\text{m}$ (미소입자모드)와 4~5  $\mu\text{m}$ (조대입자모드)에 피크를 갖는 이산형분포를 나타내었고, 1) NO<sub>3</sub><sup>-</sup>성분과 같이 연간을 통해 미소입자측에 분포가 집중되어 있는 것(C/T 27%), 2) Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>성분 등과 같이 연간을 통해 조대입자측에 분포가 집중하여 있는 것(C/T 62%, 61%), 3) NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> 및 K<sup>+</sup>성분들과 같이 계절에 따라 입경분포가 변화하는 것, 4) Na<sup>+</sup>성분과 같이 계절에 관계없이 이산형의 분포를 하고 있는 것의 4종류로 크게 나눌 수가 있었다.

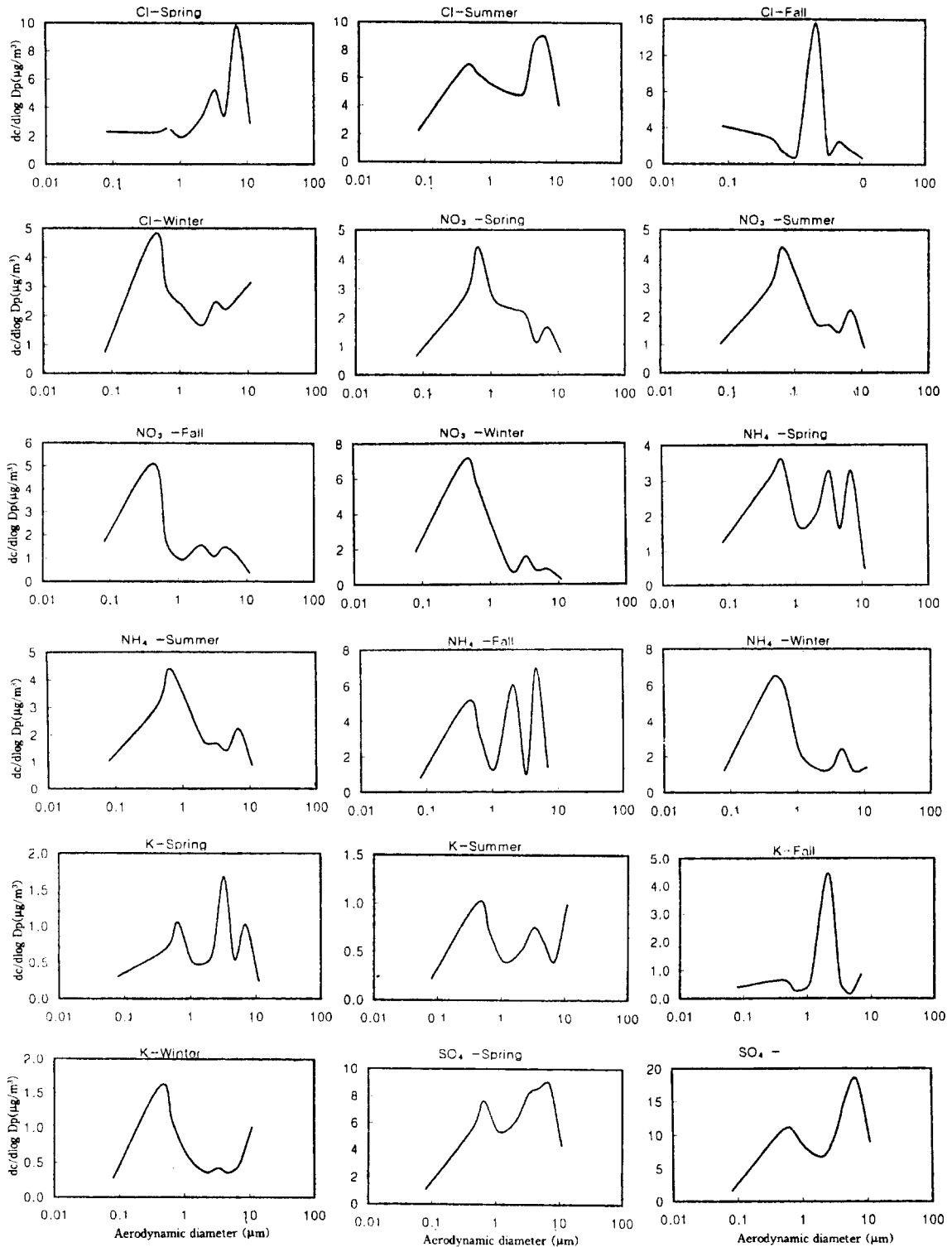
### 1) TSP의 대기중 농도와 입경분포

TSP의 대기중농도는 본 조사기간에 64~112  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (89  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )의 값을 나타내었고, 겨울(113  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )>가을(84  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )>봄(77  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )>여름(64  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )의 순으로 농도가 높게 나타났다. 또 조대입자는 봄(C/T 69%)과 여름(C/T 65%)에, 미소입자는 겨울(C/T 50%)과 가을(C/T 53%)에 농도가 높게 나타났다. 이것은 봄에는 중국으로부터 발생한 황사의 영향으로 비교적 입경이 큰 토양입자의 기여가 에어로졸 및 그 조대입자의 농도를 높게하는 원인으로 생각되며, 또 여름에 조대입자의 농도가 미세입자의 농도보다 높게 나타난 것은 이 기간에 휴가가 집중되어 있어 대기중의 미세입자의 대부분을 차지하고 있는 2차입자의 발생원인 공장 등의 조입량의 감소나 휴가기간에 뚜렷하게 볼 수 있는 서울시내의 자동차 등의 감소에 의한 것으로 사료된다.

### 2) 이온성분의 대기중농도와 입경분포

#### (1) SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>성분

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 대기중농도는 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )으로 나타났으며 여름과 봄이 높고 겨울



**Fig. 2.** Particle-size distribution of ionic components and TSP as seasonally in Seoul city

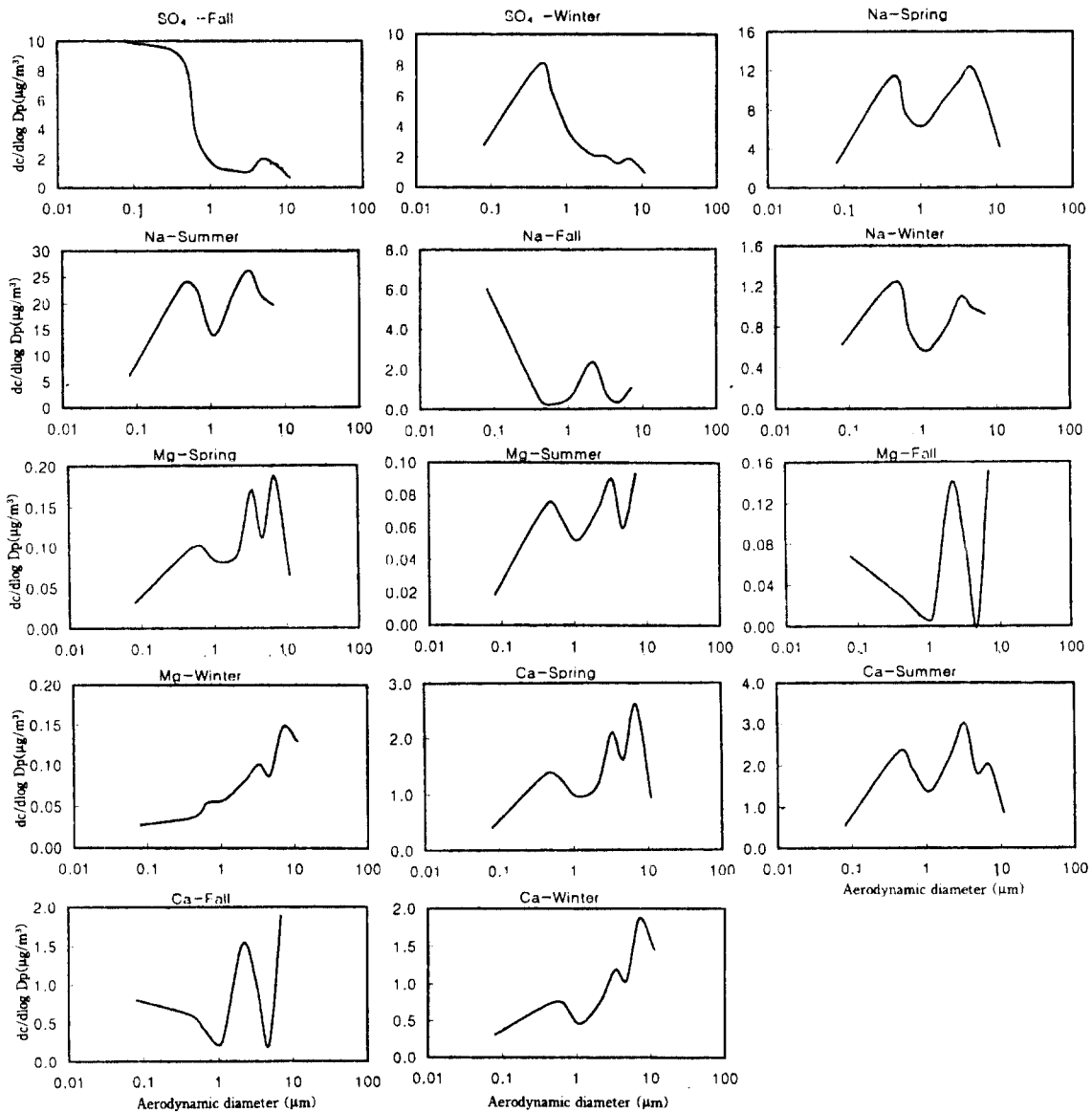


Fig. 2. Continued.

에 낮은 값을 나타내었다. 본 조사기간에 나타난 서울시 대기중의 황산염의 평균치는  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 신 등<sup>9)</sup>이 같은 지역에서 조사한  $1.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 상당히 높은 값을 나타내어 서울시의 대기의 오염상태가 점점 악화되어가고 있음을 알 수 있다.

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>성분의 입경분포는 봄과 여름은 미세입자영역과 조대입자영역이 뚜렷이 나타나는 이산형 분포를 나타낸 반면 가을과 겨울기간동안에는 미세입자영역에 주로 피크를 갖는 일산형의 분포를 나타내었다.

특히 봄과 여름의 C/T는 각각 60%, 63%로 조대입자영역에서 많이 나타나는 해염입자중의 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>나 MgSO<sub>4</sub>, 토양입자중의 CaSO<sub>4</sub> 등의 1차발생에 의해 영향을 많이 받고 있는 것으로 생각되며, 반면 가을(C/T 12%)과 겨울(C/T 24%)은 SO<sub>2</sub>가스의 산화에 의한 산성미스트나 황산염입자의 2차생성 등에 의한 인위적인 발생원의 영향을 지배적으로 받는 것으로 생각된다.<sup>9)</sup> 이러한 2차생성입자는 2  $\mu\text{m}$ 이하의 미소입자로 존재하기 때문에, 가을과 여름의 입경분포가

미소입자모드에 집중하여 나타난 것으로 사료된다. 이와같은 결과로 보아 서울의 황산염입자는 봄과 여름은 인위적인 발생원보다는 자연적인 발생원에 의해 영향을 많이 받는 반면, 가을과 겨울은 인위적인 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다.

### (2) NO<sub>3</sub> 성분

NO<sub>3</sub> 성분의 대기중농도는 4.4 µg/m<sup>3</sup>~5.7 µg/m<sup>3</sup>(평균 4.9 µg/m<sup>3</sup>)이고, Kadowaki가 보고한 바와 같이 SO<sub>2</sub> 성분에 비해 계절적인 농도변화는 매우 작게 나타났으며, 신 등<sup>9)</sup>의 조사결과치인 0.3 µg/m<sup>3</sup>보다 10배이상의 값이 나왔다.

NO<sub>3</sub> 성분의 입경분포는 연간을 통해 미소입자모드에 집중되어 나타났으며, 특히 겨울에 C/T가 15%로 미세입자의 농도가 다른 계절(봄:37%, 여름:44%, 가을:28%)에 비해 높게 나타났다. 이렇게 겨울철에 미세입자영역에서 질산암모늄이 농도가 높은 것은 기온이 낮아서 대기 중에 존재하는 질산가스와 암모니아가 기상균일반응을 하여 미세입자인 질산암모늄을 생성하기 때문으로 사료된다. Kadowaki<sup>9)</sup>에 의하면 미소입자의 조성은 HNO<sub>3</sub>가스와 NH<sub>3</sub>가스의 반응에 의해 생성된 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>에 의해 생성되며, 조대입자의 조성은 HNO<sub>3</sub>가스와 해양입자와의 반응에 의한 NaNO<sub>3</sub>에 의해 생성되는 것으로 보고되고 있어, NO<sub>3</sub>의 대부분이 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>의 형태로 존재하고 있을 것으로 사료되며 이는 친 등<sup>10)</sup>이 같은 지역에 대해 조사한 결과 총 입자상 nitrate 농도에 대하여 겨울에 질산암모늄의 농도가 가장 크게 나타났으며, 여름과 가을에 가장 낮게 나타난 것과 일치하였다.

### (3) Cl<sup>-</sup> 성분

Cl<sup>-</sup> 성분의 대기중농도는 5.7 µg/m<sup>3</sup>~12.6 µg/m<sup>3</sup>(평균 8.8 µg/m<sup>3</sup>)이고, 여름(12.6 µg/m<sup>3</sup>)>가을(8.5 µg/m<sup>3</sup>)>봄(8.0 µg/m<sup>3</sup>)>겨울(5.7 µg/m<sup>3</sup>)의 순으로 농도가 높게 나타났으며 여름과 겨울의 농도차가 약 2배 정도로 여름이 높게 나타났다.

Cl<sup>-</sup> 성분의 입경분포는 봄과 여름에는 조대입자모드에 피크가 나타나고, 반대로 가을과 겨울은 미세입자모드에서 피크를 나타내 계절적으로 변동이 심함을 나타내고 있다.

### (4) NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 성분

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 성분의 대기중농도는 4.2 µg/m<sup>3</sup>~7.8 µg/m<sup>3</sup>(평균 5.6 µg/m<sup>3</sup>)으로 여름이 가장 낮고 가을이 가장 높게 나타났으며, 연간을 통해 농도변화는 적었다. 이것은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 성분농도가 높은 여름에도 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 성분농도는 그다

지 높게 되지 않고, 또한 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 성분농도가 낮게 되는 겨울에 있어서조차도 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 성분농도는 그다지 낮게 되지 않으며, 오히려 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 성분의 미세입자농도가 증가하고 있는 것으로 보아 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>의 형태로 존재하고 있는 것으로 사료된다.

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 성분의 입경분포는 봄과 가을에는 1~2 µm 사이에 피크가 하나 더 나타나 삼산형의 분포를 나타낸 반면, 여름과 겨울은 모두 미소입자모드에 피크가 나타났다. 봄과 가을에 이러한 삼산형의 분포를 나타내고 있는 것은 주야의 기온차에 의한 습도의 변화가 크기 때문에 미세입자와 수분의 응축에 의한 것으로 생각된다.<sup>11)</sup>

### (5) Na<sup>+</sup>

Na<sup>+</sup> 성분의 대기중농도는 2.0 µg/m<sup>3</sup>~37.8 µg/m<sup>3</sup>(평균 15.5 µg/m<sup>3</sup>)으로 여름이 가장 높고 겨울이 가장 낮았으며, 계절적인 변동이 매우 크게 나타났다. 이러한 농도는 봄과 여름의 계절풍이 강한 계절에 높았으며, 북서풍이 주로 부는 겨울철에는 낮은 농도를 나타내었다.

Na<sup>+</sup> 성분의 입경분포는 연간 조대와 미세입자모드가 뚜렷이 나타나는 이산형분포를 나타내었으며 계절적인 변동은 나타나지 않았다. 또한 가을을 제외한 전 계절에서 조대입자와 미세입자의 비율이 거의 1:1을 나타내고 있었다.

### (6) K<sup>+</sup>

K<sup>+</sup> 성분의 대기중농도는 1.5 µg/m<sup>3</sup>~1.7 µg/m<sup>3</sup>(평균 1.6 µg/m<sup>3</sup>)으로 농도변화는 매우 적었고 C/T도 44%~59%(평균 53%)로 조대 입자와 미세입자의 비도 거의 같게 나타났다. 전 계절 모두에서 K<sup>+</sup> 성분의 입경분포는 삼산형 분포를 나타내었다.

### (7) Ca<sup>2+</sup>

Ca<sup>2+</sup> 성분의 대기중농도는 2.2 µg/m<sup>3</sup>~3.6 µg/m<sup>3</sup>(평균 2.8 µg/m<sup>3</sup>)으로 연간을 통해 농도변화는 매우 적었으며 C/T값은 55%~70%으로 연간 조대입자모드에 집중하고 있는 것으로 나타났다.

또한 Ca<sup>2+</sup> 성분의 입경분포는 연간 삼산형의 분포를 나타내고 있었다.

### (8) Mg<sup>2+</sup>

Mg<sup>2+</sup> 성분의 대기중농도는 봄, 여름, 가을 및 겨울에 0.21, 0.13, 0.15 및 0.19 µg/m<sup>3</sup>로 각각 나타났으며 평균 0.17 µg/m<sup>3</sup>의 값으로 계절별 농도변화는 그다지 크지 않은 것으로 나타났다. 총 Mg<sup>2+</sup> 농도에 대한 조대입자의 비율이 55.0~70.0%로 Ca<sup>2+</sup> 성분의 입경분포와 마찬가지로 조대입자모드에 집중하여 있었다.

## IV. 결 론

1995년 5월부터 1996년 4월까지 1년에 걸쳐 앤더슨 에어샘플러를 이용하여 서울시의 대기시료를 포집하여 TSP 및 각 무기이온성분( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ )의 입경분포와 입경별 대기중농도를 구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. TSP 및 각종 이온성분의 입경분포는 1)  $\text{NO}_3^-$  성분과 같이 연간을 통해 미소입자측에 분포가 집중되어 있는 것, 2)  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  성분 등과 같이 연간을 통해 조대입자측에 분포가 집중하여 있는 것, 3)  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  및  $\text{K}^+$  성분들과 같이 계절에 따라 입경분포가 변화하는 것, 4)  $\text{Na}^+$  성분과 같이 계절에 관계없이 이산형의 분포를 하고 있는 것의 4종류로 대별되었다.

2. TSP의 대기중농도는 평균  $89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 겨울( $112 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) > 가을( $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) > 봄( $77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) > 여름( $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )의 순으로 농도가 높게 나타났으며 조대입자는 봄(C/T 69%)과 여름(C/T 65%)에, 미소입자는 겨울(C/T 50%)과 가을(C/T 51%)에 상대적으로 높게 나타났다.

3.  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 대기중농도는  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 21 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (평균  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )으로 나타났으며, 입경분포는 봄과 여름은 미세입자영역과 조대입자영역이 뚜렷이 나타나는 이산형 분포를 나타낸 반면 가을과 겨울기간동안에는 미세입자영역에 주로 피크를 갖는 일산형의 분포를 나타내었다.

4.  $\text{NO}_3^-$  성분의 대기중농도는 평균  $4.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 계절적인 농도변화는 매우 작게 나타났다.  $\text{NO}_3^-$  성분의 입경분포는 연간을 통해 미소입자모드에 집중되어 나타났으며, 특히 겨울에 C/T가 15%로 미세입자의 농도가 다른 계절(봄:37%, 여름:44%, 가을:28%)에 비해 높게 나타났다.

5.  $\text{Cl}^-$  성분의 대기중농도는  $5.7 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 12.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (평균  $8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )이고,  $\text{Cl}^-$  성분의 입경분포는 봄과 여름에는 조대입자모드에 피크가 나타나고, 반대로 가을과 겨울은 미세입자모드에서 피크를 나타내 계절적인 변동이 심하게 나타났다.

6.  $\text{NH}_4^+$  성분의 대기중농도는  $4.2 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 7.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (평균  $5.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )으로 여름이 가장 낮고 가을이 가장 높게 나타났으며, 연간을 통해 농도변화는 적

었다.  $\text{NH}_4^+$  성분의 입경분포는 봄과 가을에는  $1 \sim 2 \mu\text{m}$  사이에 피크가 하나 더 나타나 삼산형의 분포를 나타낸 반면, 여름과 겨울은 모두 미소입자모드에 피크가 나타났다.

7.  $\text{Na}^+$  성분의 대기중농도는  $2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 37.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 계절적인 변동이 매우 크게 나타난 반면,  $\text{Na}^+$  성분의 입경분포는 연간 조대와 미세입자모드가 뚜렷이 나타나는 이산형분포를 나타내었으며 계절적인 변동은 나타나지 않았다.

8.  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  및  $\text{Mg}^{2+}$  성분의 대기중 평균농도는  $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $2.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  및  $0.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 각각 나타났으며,  $\text{Ca}^{2+}$ 와  $\text{Mg}^{2+}$  성분의 입경분포는 연간 조대입자모드에 집중하여 나타났다.

## 참고 문헌

- 1) Lee, Jr. R. E. : The size of suspended particulate matter in air, *Science*, **178**, 567~575, 1972.
- 2) 角脇, 怜 : アンダー-センサブラ-による都市大氣中の粒子狀物質の粒度分布, *分析化學*, **23**, 490~494, 1974.
- 3) 橋本 芳一 : 粒度分布測定による大氣エ-ロゾル中 微量元素の發生原の推定, *日本學會誌*, 902~906, 1977.
- 4) Kadowaki, S. : Size distribution of atmospheric total aerosols, sulfate, ammonium and nitrate particulate in the Nagoya area. *Atmos. Environ.*, **10**, 39~43, 1976.
- 5) Alpert, D. J., Hopke, P. K. : A determination of the sources of airborne particles collected during the regional air pollution study, *Atmos. Environ.*, **15**, 675~687, 1981.
- 6) Kadowaki, S. : Size distribution of atmospheric total aerosols, sulfate, ammonium and nitrate particulate in the Nagoya area. *Atmos. Environ.*, **11**, 671~675, 1976.
- 7) 玉置元則 : 我が國の 雨水の 化學的性狀, *環境技術*, **14**, 132~146, 1985.
- 8) Whitby, K. T. : The physical characteristics of sulfur aerosols, *Atmos. Environ.*, **12**, 135~159, 1978.
- 9) 신은상, 김승학, 김희강 : 도시대기중 황산염과 질산염과 입도분포에 관한 연구, *한국대 기보전학회지*, **2**(1), 33~39, 1986.
- 10) 천만영, 이영재, 김희강 : 서울시 부유분진중 질산염 모습 농도, *한국대기보전학회지*, **10**(2), 130~136, 1994.
- 11) 최금찬, 박정호, 임경택 : 대기 에어로졸중 음이온성분에 대한 입경분포의 변화 특성, *한국대기보전학회지*, **10**(2), 124~129, 1994.