

도시대기 입자상물질중 수용성 성분의 농도와 입경분포의 계절적 변동

이승일 · 황경철* · 조기철** · 신영조** · 김희강**

경주전문대 환경공업과
*동남보건전문대 환경관리과
**건국대학교 환경공학과

Seasonal variation of concentration and size distribution of Ionic species on aerosol in urban air

Seung-Ill Lee · Kyung-Chull Whoang* · Ki-Chul Cho**

Young-Jo Shin** · Hui-Kang Kim**

Dept. of Environmental Technology, Kyungju College
*Dept. of Environmental Science, Dongnam Health College
**Dept. of Environmental Engineering, Kunkuk University

Abstract

Measurement of concentration and size distribution of TSP, ammonium, nitrate and sulfate were made from Mar., 1991. to June., 1992 in Seoul. The seasonal variation of concentration and size distribution of aerosols has been investigated. Aerosol were collected and size fractionated by Andersen air sampler. Size classified samples were extracted with deionized water and analyzed for ammonium, nitrate and sulfate by ion chromatography.

As the results of measurement, the average of concentration and MMAD(mass median aerodynamic diameter) were 118.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and 2.77 μm for TSP, 1.92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 1.35 μm for ammonium, 1.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 1.58 μm for nitrate, 8.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 2.15 μm for sulfate. The seasonal variation of concentration and size distribution was observed for ammonium, nitrate and sulfate. The concentration peak of TSP was observed in coarse particles in spring and observed in fine particles in winter. The concentration's distribution of TSP, ammonium, nitrate and sulfate was observed bimodal type during all season.

I. 서 론

환경대기중의 부유먼지는 대기 중에서 가시거리를 감소시키고 산성우의 생성원인으로 작용되며, 2차오염물질의 생성에 관여하기 때문에 도시 대기 오염의 평가시 가장 중요한 자료의 하나로 이용되어진다. 그러므로, 총부유먼지의 농도, 입경분포 및 화학적 조성 등은 생태계에 대한 영향을 평가하거나 발생원을 조사하는 경우에 반드시 검토되는 요소로 여겨져 왔다.

일반적으로 대기 중 입자상 오염물질에 대한 총괄 농도의 입경분포는 입경 2 μm 를 경계로하여 이산형(bimodal)분포를 나타내고 있으며, 2 μm 이상의

입경군을 조대입자(coarse particle), 2 μm 이하의 입자를 미세입자(fine particle)로하여 구분하고 있다. 조대입자는 주로 토양입자나 해양입자 등 자연적 발생에 의해 생성하는 반면 미세입자는 인위적인 연소과정에서 배출된 가스상 물질이 대기 중에서의 화학반응을 거쳐 생성하는 것으로 알려져 있다. 특히 이들 중 미세입자는 주로 인위적인 활동에 의해 기여된다고 보기 때문에 도시 대기의 오염평가시 매우 중요한 항목으로 여겨지고 있다.^{1,4,7)}

한편, 도시 대기 입자상물질에 함유된 성분 중에서 황산염(SO_4^{2-}), 질산염(NO_3^-) 및 암모늄염(NH_4^+) 등의 성분들은 생물체에 대한 독성 및 생성기구 측면에서 많은 관심을 불러 왔으며, 대기질의 평가시

중요한 항목으로 이용되어 왔다.

이들 도시 대기 중에 존재하는 황산이온이나 질산이온 등은 주로 화석 연료의 연소에 배출된 아황산가스가 대기중에서의 반응을 통하여 생성되는 것으로 인체에 위해를 끼치거나 광화학 스모그 및 산성우의 생성과정에 관여하고 건축물을 부식시키며 생물체의 생육에 영향을 주기 때문에 많은 연구의 대상이 되어왔다.

또한, 암모늄이온은 자연적 발생원으로부터 배출되는 것이 대부분으로서 그 생성 메카니즘 면에서 중요한 연구 대상으로 지목되어 왔다.^{2,3,6,7)}

본 연구는 엔더슨 에어 샘플러로 도시대기중의 부유먼지를 채취하여 암모늄염 및 황산염, 질산염 등의 대기농도와 입경분포를 조사 분석하고 계절적 변동을 연구함으로써 도시대기오염의 방지대책에 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다.

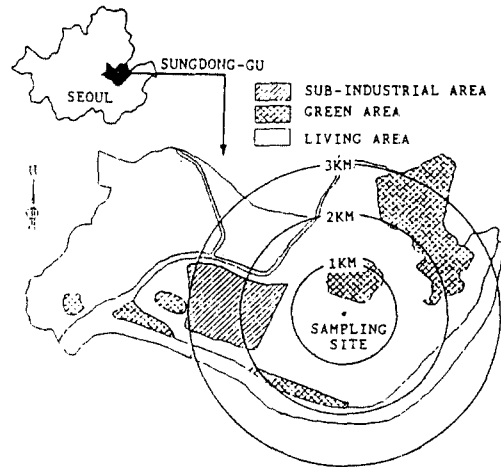


Fig. 1. Map of the sampling site

II. 실험

1. 실험방법

가. 시료의 채취

시료는 1991년 3월부터 1992년 6월까지 1년 3개월간 정기적으로 건국대학교 공과대학(서울시 광진구 모진동 소재) 건물옥상(지상 17m)에서 엔더슨 에어샘플러(일본 Kanomax 사제, Model 3551)를 사용하여 채취하였다. 1회당 시료채취기간은 약 10일간 이었다.

샘플링에 사용된 엔더슨 에어샘플러는 백업을 포함하여 총9단으로 되어있는데 백업에는 석영섬유필터, 기타의 단에는 폴리에틸렌필터를 사용하였으며 샘플러의 흡입유량은 28.3 l/min 이었다.

시료채취지점의 주변은 그림1에 나타낸 바와 같이 대부분 준주거지로 구성되어 있으며, 서쪽 1-3 km 부근에 준공업단지가 위치해 있다.

2. 분석방법

가. 분석항목

입경별로 포집된 대기 입자상시료에 대하여 각 단별로 총부유먼지(TSP)농도를 측정후 수용성 암모늄이온, 질산이온, 및 황산이온의 농도를 분석하였다.

나. 장치 및 분석

포집된 필터로부터 초음파 세정기를 사용하여 30°C에서 15분간 3차 초순수로 암모늄이온과 질산

Table 1. Analysis conditions of ion chromatography

Ion	Cation	Anion
Eluent	12mM MSA	1.8mM Na ₂ CO ₃ +1.7mM NaHCO ₃
Eluent flow rate	1.0 ml/min	2.0 ml/min
Column	Guard : Ionpac CS12 Column : Ionpac CS12	Guard : Ionpac AG4A Column : Ionpac AG4A

이온, 황산이온등의 수용성성분을추출하였으며, 추출한 시료는 Whatman No. 41의 여지로 여과한 후 mass up하여 사용하였다.

수용성 성분의 분석은 Ion chromatography(미국 Dionex사제, Model DX 300)를 사용하였으며, 이때 사용된 이온 크로마토그래피의 사용조건은 표 1과 같다.

III. 결과 및 고찰

1. 대기 농도

측정기간 중 상기의 실험방법에 의해 분석된 도시 대기 중 TSP농도 및 수용성 성분의 농도는 필터의 질량 및 이온 크로마토그래피에 의한 분석결과이며, 입경 0.08~30 μm사이의 입자를 Back up 필터를 포함 총 9단으로 분리 포집한 것이다.(표 2 참조). 표3에서 보는 바와같이 TSP 농도는 65.46~182.53 μg/m³(평균 118.58 μg/m³)으로서 농도 측면에서 전반적으로 타 도시에 비하여 높은 경향을 보였다. 황

산염농도는 3.55~18.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 8.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이었고, 질산염농도는 0.52~2.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 1.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이었으며, 암모늄염 이온농도는 0.70~3.36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 2.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이었다. TSP에 대한 황산염, 질산염 및 암모늄염의 함유비는 각각 7.23%, 1.22%, 및 1.70% 정도로서 황산염의 함유비가 가장 높게 나타났다.

포집된 부유먼지를 입경 2.1 μm 를 기준으로 하여 조대입자(2.1~30 μm)와 미세입자(0.08~2.1 μm)로 구분하여 농도를 표시하면 TSP의 경우 총 평균농도 118.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 대하여 조대입자는 50.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 41.07%, 미세입자는 67.64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 58.93%로 미세입자측의 농도가 다소 높았으며, 수용성 황산염은 총평균농도 8.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 대하여 조대입자가 2.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 37.17%, 미세입자는 5.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 67.83%이었다. 또 질산염의 경우는 총평균농도 1.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 대

하여 조대입자농도가 0.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 30.01%를 차지한 반면, 미세입자는 1.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 69.99%로서 황산염의 경우와 같이 미세입자의 농도가 조대입자 보다 약 2배 정도 높았으며, 암모늄염은 총평균농도 2.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 대하여 조대입자 농도가 0.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (14.36%), 미세입자가 1.70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (85.64%)로 나타나 미세입자측의 농도가 조대입자의 농도 보다 약 5배이상 높은 수준이었다.

2. 입경분포 및 평균입경

측정기간 중 채취된 총부유먼지의 중량농도와 총부유먼지내 함유된 황산염, 질산염 및 암모늄염 중량농도의 입경분포를 작성하여 그림 2-5에 나타내었는데 여기서 그림의 번호는 Sampling No.를 나타낸다.

1) TSP의 입경분포

그림 2에 나타난 것과 같이 TSP의 입경분포에서는 뚜렷하게 이산형 분포가 나타나지는 않고 있지만, 입경 1-2 μm 를 기준으로 조대입자와 미세입자의 측으로 피크가 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. TSP에 대한 입경별 평균질량농도와 분포는 전반적으로 입경 0.08-0.43 μm 범위의 Back-up필터 측 농도가 매우 높은 편이었으며, 11-30 μm 범위의 0단 역시 높은 편이었다. 계절적으로는 여름철에 비해 겨울철의 미세입자 농도가 고농도로 분포하고 있으며, 봄철에는 조대입자측의 피크가 높게 나타나고 있다. 신은상,¹⁾ Hara *et al.*,²⁾ Kadowaki,³⁾ Matsumoto *et al.*,⁴⁾등 많은 학자들은 도시 대기 중에 부

Table 2. The range of stage on Andersen an sampler

Stage no	Range of size. μm
Back-up filter	0.08- 0.43
7	0.43- 0.65
6	0.65- 1.10
5	1.10- 2.40
4	2.40- 3.30
3	3.30- 4.70
2	4.70- 7.00
1	7.00- 11.00
0	11.00- 30.00

Table 3. Concentration and MMAD of TSP and Particulate NH_4^+ , NO_3^- and SO_4^{2-} in the ambient air in Seoul

Sampling No.	Sampling period	NH_4^+		NO_3^-		SO_4^{2-}		TSP	
		Conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MMAD (μm)	Conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MMAD (μm)	Conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MMAD (μm)	Conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MMAD (μm)
1	'91.3.11 - 3.21	2.40	0.56	1.46	1.60	8.91	2.18	141.21	2.83
4	4.22 - 5.02	1.69	0.89	1.91	1.31	11.48	2.22	149.74	3.57
7	6.05 - 6.15	2.16	0.66	1.47	1.73	8.03	1.53	109.41	2.85
10	4.30 - 8.09	1.43	1.33	0.52	0.53	3.55	2.09	77.20	1.07
11	8.14 - 8.24	1.54	0.64			5.44	2.28	85.52	2.17
13	9.14 - 9.24	0.70	2.39	0.57	1.36	4.21	2.05	65.46	2.79
16	10.28-11.07	1.70	0.52	1.83	1.44	7.41	2.13	182.53	2.50
19	12.16-12.26	2.81	0.56	2.34	0.60	11.09	1.85	120.57	2.61
21	'92.1.17 - 1.27	2.08	0.83	1.33	1.24	6.51	1.86	99.90	1.31
22	2.14 - 2.44	2.22	2.52	1.00	1.43	5.87	2.14	95.08	1.88
23	4.01 - 4.14	3.36	2.15	0.95	2.00	11.00	2.21	162.10	5.26
24	5.27 - 6.03	0.95	5.70	2.45	2.63	18.78	2.62	134.20	4.40
	MIN.	0.70	0.52	0.52	0.53	3.55	1.53	65.46	1.07
	MAX.	3.36	5.76	2.45	2.63	18.78	2.62	182.53	5.26
	MEAN	2.01	1.35	1.58	1.43	8.52	2.15	118.58	2.77

유하는 입자의 경우 인위적 발생원으로부터 배출된 입자들이 자연적 발생원에 의해 배출된 입자들 보다 미세입자측에 더 많이 분포하고 있으며 계절적으로는 화석연료의 사용량이 많은 겨울철에 미세입자가 우세한 것으로 생각하고 있다. 또한 Uchiyama¹¹⁾은 인위적 발생원만의 경우 저온 보다는 고온의 반응과정에서 미세입자의 생성이 우세한 것으로 지적하고 있으며, 배출원에서 직접 배출된 1차입자 보다도 대기중에서 가스상 성분이 성장하여 생성된 2차입자가

보다 미세한 것으로 보고하고 있다. 따라서, 도시 대기입자상물질의 입경분포는 타 계절에 비하여 화석연료의 사용량이 많은 겨울철에 미세입자의 분포율이 높은 것으로 생각되며, 특히 자동차 보급대수 및 연료 소비량이 많은 대도시의 경우가 전원도시에 비하여 먼지의 절대 농도는 물론 미세입자측의 분포율에서도 높은 것으로 사료된다.

2) 황산염의 입경분포도

그림 3에 TSP 중 수용성 황산염의 입경분포를 나

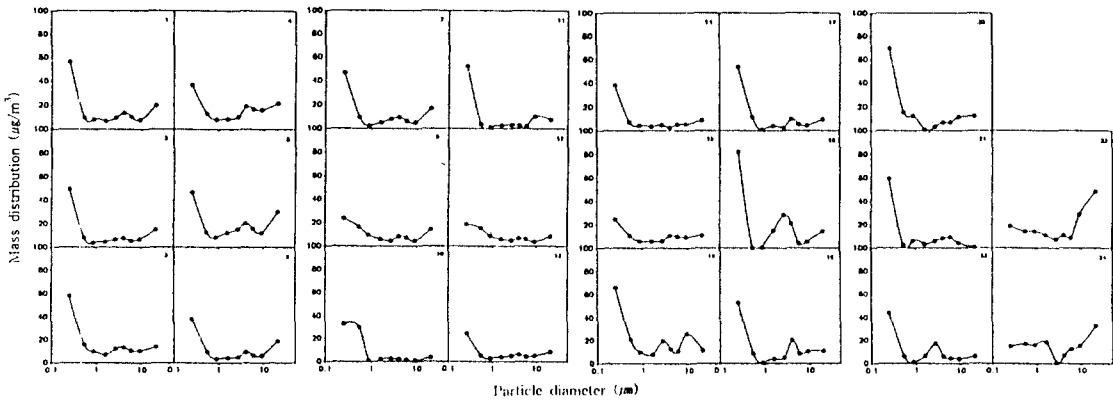


Fig. 2. Size distribution of TSP in the ambient air in Seoul

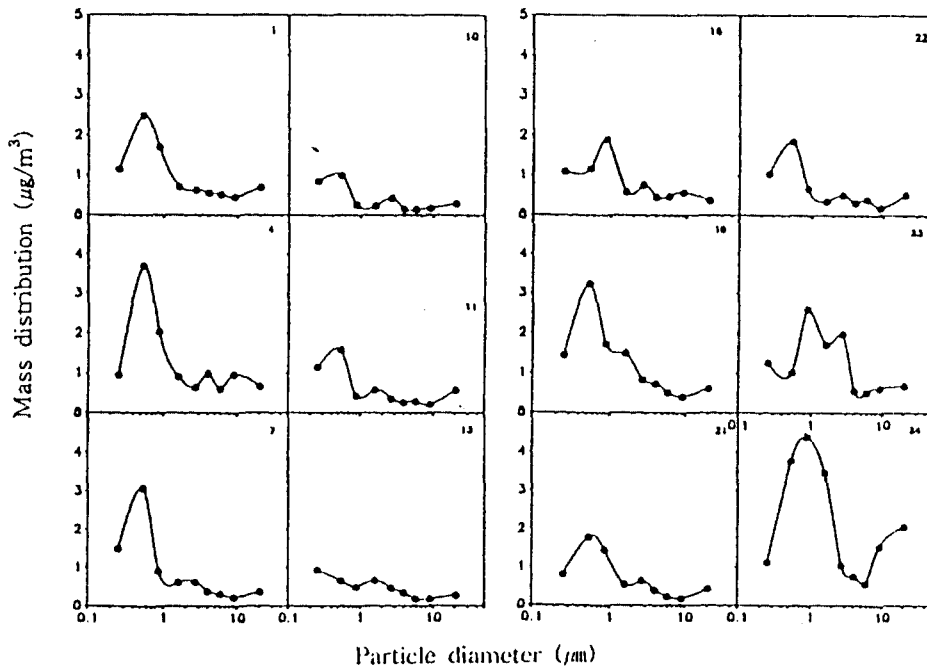


Fig. 3. Size distribution of SO_4^{2-} in the ambient air in Seoul

타내었다. 그림에서와 같이 황산염의 입경분포는 입경 $2.1 \mu\text{m}$ 를 기준으로 미세 및 조대 입자층의 양쪽에 피크치를 보이는 등 전반적으로 이산형 분포를 하고 있으며, 미세입자층의 입경별 농도 변화가 조대입자층 보다 큰 것으로 나타났다. 특히 봄이나 겨울철의 경우가 타 계절 보다 미세입자층의 분포가 큰 것으로 분석되었다. Whitby⁹⁾에 의하면 도시 대기 중에 존재하는 황산염에 있어서 연료의 사용량이 많거나 강수에 의한 세정이 적은 계절에 비교적 고농도를 나타내며, 통상 1000°C 이상의 고온에서 생성된 경우나 대기중에서 가스상 산화물의 광화학반응에 의해 생성된 황산염의 경우가 주로 $1\sim 2 \mu\text{m}$ 이하의 미세입자층에 분포하는 것으로 나타나고 있다. 따라서 도시 대기중의 황산염은 주로 화석연료의 연소시설에서 배출되므로 미세입자층의 농도가 조대입자층의 경우 보다 높은 것으로 생각된다.

3) 질산염의 입경분포도

TSP 중 수용성 질산염의 입경분포를 그림 4에 나타내었다. 암모늄염의 입경분포와 마찬가지로 대부분의 시료가 입경 $1\sim 2 \mu\text{m}$ 를 기준으로 미세입자와 조대입자의 이산형분포를 나타내고 있으며, 대부분 미세입자층의 피크가 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 겨울철(No. 8,9,10)에는 미세입자층에 피크가

나타내고 있는 반면에 황사현상이 심한 봄철(No. 1, 2,11,12)의 경우는 $2\sim 4 \mu\text{m}$ 사이의 조대입자층에 피크가 나타나고 있다. 김희강 등⁵⁾이 지적한 바와 같이 도시 대기중에 존재하는 질산염은 대부분 화석연료의 연소시설, 특히 자동차에 의해 기여되는 것으로 판단되며, 입경분포는 황산염의 경우와 마찬가지로 미세입자층의 농도가 조대입자층보다 훨씬 높았던 것으로 생각된다.

4) 암모늄염의 입경분포도

그림 5에서 나타낸 바와 같이 TSP중 수용성 암모늄염의 경우는 $2 \mu\text{m}$ 이하의 입경에서 입경별로 큰 농도차이를 보이고 있으나, $2 \mu\text{m}$ 이상의 입경에서는 큰 농도차이는 보이지 않았고, 미세입자 층에서 확실한 피크치가 나타난 반면, 조대입자층에서는 뚜렷한 피크치가 보이지 않았으며, 대부분의 시료가 전반적으로 이산형(bimodal)의 분포를 하고 있음을 알 수 있었다. Stelson⁶⁾은 도시 대기 중에 존재하는 암모늄염의 경우 자연적으로 발생된 암모니아 가스가 대기중에서 수분에 용해된 후 황산이온 또는 질산이온 등과 결합하여 생성된다고 지적하고 있으며, 주로 가스상으로 부터 성장하여 생성되는 관계로 대기의 온도와 매우 밀접한 관계가 있다고 밝히고 있다. 따라서, 기온이 낮은 계절에 입자의 생성율이 높아

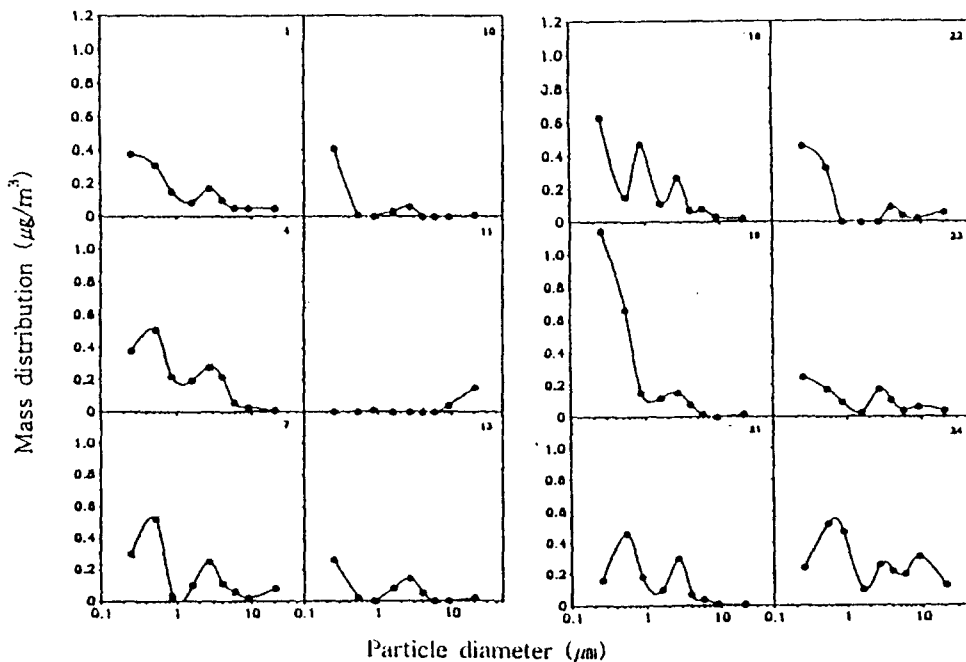


Fig. 4. Size distribution of NO_3^- in the ambient air in Seoul

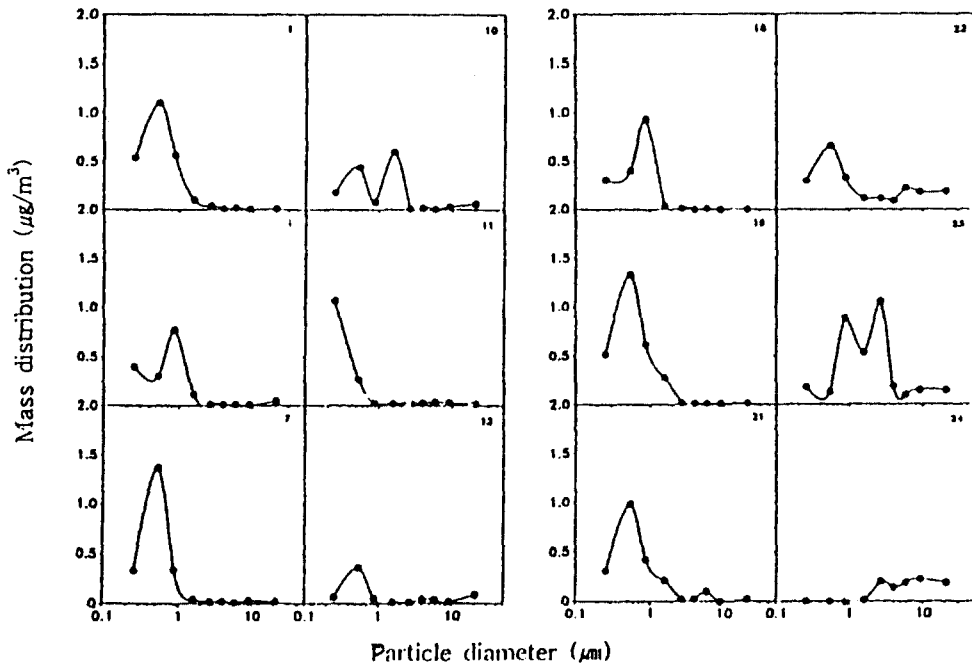


Fig. 5. Size distribution of NH_4^+ in the ambient air in Seoul

대기중의 암모늄염 농도가 증가하게 되면, 황산염 및 질산염 등 타 성분에 비하여 미세입자의 분포율이 높았던 것으로 생각된다.

3. 계절별 각 성분의 대기농도 및 MMAD

측정기간 중 각 시료에 대한 계절별 TSP, 수용성 황산염, 질산염 및 암모늄염의 농도와 평균입경(MMAD: mass median aerodynamic diameter)은 표 4에 나타낸 바와 같다. MMAD는 이온크로마토그래피에 의해 구한 각 단의 공기역학적 평균농도와 질량농도로 부터 산출한 값이다.

그 결과, 측정 기간중 총부유먼지의 대기중 농도는 $65.46 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 182.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위의 값을 나타내었으며, 계절별로는 봄이 $146.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 나타났고, 여름에 $90.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮은 값을 보였다. 또한 MMAD는 $1.07 \sim 5.26 \mu\text{m}$ (평균 $2.77 \mu\text{m}$)의 범위로 측정되었으며, 봄에는 $4.02 \mu\text{m}$ 의 조대입자, 겨울은 $1.93 \mu\text{m}$ 의 미세입자 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 이같은 현상은 봄철의 경우 황사로 인해 비교적 입경이 큰 토양입자의 영향을 받기 때문인 것으로 생각되며, 겨울은 화석연료의 연소에 의해 생성된 미세 입자의 영향을 받기 때문인 것으로 사료된다. 특히 황사현상이 심한 4~5월에 TSP

의 MMAD는 $5.26 \mu\text{m}$ (No. 11), $4.40 \mu\text{m}$ (No. 12)와 $3.57 \mu\text{m}$ (No. 2)로 매우 높게 나타나고 있다.

도시대기 총부유먼지 중 암모늄염의 농도는 측정기간 동안 $0.70 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 3.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위이었고 계절별 농도는 겨울에 가장 높은 농도($2.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$)를 나타낸 반면, 가을에 $1.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 제일 낮은 값을 나타내었다. MMAD는 $0.52 \sim 5.76 \mu\text{m}$ (평균 $1.35 \mu\text{m}$)로 측정되었으며, 봄에는 $2.33 \mu\text{m}$, 여름에는 $0.87 \mu\text{m}$ 의 측정치를 보였는데, 질산염이나 황산염에 비해 입경 변화 폭이 큰 편이었다. 또한, 9월(No. 6)과 황사현상이 심한 4월(No. 11), 5월(No. 12)에 포함된 시료를 제외하고는 모두 MMAD가 $2 \mu\text{m}$ 이하의 값을 나타내었다.

총부유먼지 중 질산염의 대기농도는 $0.52 \sim 2.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 봄에 $1.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높고 여름이 $0.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮은 값을 나타내었다. MMAD는 $0.53 \sim 2.63 \mu\text{m}$ (평균 $1.42 \mu\text{m}$)로 봄이 $1.89 \mu\text{m}$ 로 가장 크고 겨울이 $1.09 \mu\text{m}$ 로 작게 나타났으며 전반적으로 $2 \mu\text{m}$ 이하의 평균입경을 나타내고 있었다.

황산염은 대기중 총부유먼지의 농도가 $3.55 \sim 18.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타나 다른 성분들보다 비교적 높은 농도치를 보였으며 계절적인 변화는 질산염의 경우와 일치하고 있었다. MMAD는 $1.53 \sim 2.62 \mu\text{m}$ (평균 $2.15 \mu\text{m}$)로 나타나 계절적인 변화특성이

Table 4. Mean value of concentration and MMAD of TSP and particulate NH_4^+ , NO_3^- and SO_4^{2-} in the ambient air in Seoul

Sampling period	NH_4^+		NO_3^-		SO_4^{2-}		TSP	
	Conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MMAD (μm)	Conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MMAD (μm)	Conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MMAD (μm)	Conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MMAD (μm)
Spring								
Coarse(>2 μm)	0.69		0.66		4.25		79.24	
Fin(<2 μm)	1.41		1.04		8.27		67.58	
*F/T(%)	67.14		61.18		66.05		46.03	
Total	2.10	2.33	1.70	1.89	12.52	2.29	146.82	4.02
Summer								
Coarse(>2 μm)	0.13		0.26		1.60		27.46	
Fin(<2 μm)	1.59		0.47		4.07		63.27	
*F/T(%)	92.44		64.38		71.78		69.73	
Total	1.72	0.87	0.73	1.13	5.67	1.97	90.73	2.03
Fall								
Coarse(>2 μm)	0.11		0.34		3.14		53.76	
Fin(<2 μm)	1.09		0.83		2.70		70.23	
*F/T(%)	90.83		70.94		46.47		56.64	
Total	1.20	1.46	1.47	1.25	5.81	2.09	123.99	2.65
Winter								
Coarse(>2 μm)	0.34		0.30		2.32		40.36	
Fin(<2 μm)	2.03		1.25		5.51		64.82	
*F/T(%)	85.65		80.64		0.37		61.62	
Total	2.37	1.30	1.55	1.09	7.83	1.95	105.18	1.93

크지 않음을 알 수 있었다.

전체적으로 볼때, 암모늄의 농도는 겨울($2.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 봄($2.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 여름($1.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 가을($1.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$)의 순으로 겨울에 가장 높은 농도를 나타냈으며 MMAD는 봄($2.33 \mu\text{m}$) > 가을($1.46 \mu\text{m}$) > 겨울($1.20 \mu\text{m}$) > 여름($0.87 \mu\text{m}$)의 순으로 나타났다. 또한 총부유먼지농도에 대한 미세입자의 비(F/T%)가 봄에 67.14%인 것으로 보아 암모늄염의 봄철 농도는 다른 계절에 비해 조대입자층의 농도에 따라 좌우됨을 알 수 있었다.

질산염 농도는 봄($1.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 겨울($1.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 가을($1.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 여름($0.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$)의 순이었는데 겨울철이 여름보다 높게 나타난 것은 겨울철샘플링 기간 중 강한 바람 등에 의해 토양으로부터 기인된 암모니아가 질산염과의 여러 가지 반응을 거쳐 NH_4NO_3 형태로 존재하기 때문인 것으로 사료된다. MMAD의 평균치도 봄, 여름, 가을, 겨울이 1.89, 1.25, 1.13, 1.09 μm 의 2 μm 이하로 각각 나타나 주로 연소에 의해 발생하는 질소산화물의 전환에 의해 질산염 입자가 형성된 것으로 생각되어지며, 봄철과 여름철의 조대입자층 피크는 Takana등⁷⁾이 지적한 바와같이 조대입자가 대부분인 해염입자에 가스상 질소산화물이 흡착

되었기 때문인 것으로 사료된다. 전체입자농도에 대한 질산염 미세입자의 비율(F/T%)을 보면 봄이 61.18%인 것에 비해 겨울은 80.64%로 질산염 농도의 경우 겨울에는 미세입자, 봄에는 조대입자의 영향을 받는 것으로 분석되었다.

황산염의 농도는 봄($12.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 겨울($7.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 가을($5.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 여름($5.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$)의 순으로 다른 성분에 비해 높은 농도를 나타내고 있었으며, MMAD는 봄, 가을, 여름, 겨울의 순으로 측정되었다. MMAD의 계절적인 차가 크지 않은 것은 황산염의 발생원이 일정하기 때문으로 생각되는데 이는 봄철과 겨울철의 큰차이 없는 F/T값(66.05%, 70.37%)에서도 특징지어지고 있다.

IV. 결 론

1991년 3월부터 동년 6월까지 서울시에 위치한 건국대학교 공과대학 옥상에서 엔더슨에어샘플러로 채취한 부유먼지중의 TSP와 암모늄염, 질산염, 황산염 등의 대기농도 및 입경분포를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 도시 대기중의 TSP와 수용성 황산염, 질산염

및 암모늄염의 농도는 각각 65.46~182.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 118.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 3.55~18.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 8.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 0.52~2.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 1.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 0.70~3.36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 2.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이었다.

2. 입경 2.1 μm 를 기준으로 한 조대입자 및 미세입자의 평균분포율은 TSP의 경우 41.07% 및 58.93%, 황산염은 37.17% 및 67.83%, 질산염은 30.01% 및 69.99%, 암모늄염은 14.36% 및 85.64%로서 미세입자측으로의 분포가 우세하였다.

3. TSP 및 수용성 황산염, 질산염 및 암모늄염의 공기역학적 평균입경은 2.77, 2.15, 1.43 및 1.35 μm 로서 수용성 성분 중 암모늄염 > 질산염 > 황산염의 순으로 미세입자의 농도가 높았다.

4. TSP 및 수용성성분 농도의 계절적변화는 전반적으로 황사현상이 집중되는 봄철이나 화석연료의 사용량이 많은 겨울철에 높은 농도를 나타냈고, 세정작용이 활발한 여름철에는 낮은 농도를 보였으며, 평균입경의 경우 황사 등 자연발생원이 우세한 봄철에 크고 인위적 발생원이 우세한 겨울철에는 다소 작게 나타났다.

5. TSP 및 수용성성분의 입경분포는 뚜렷하지 않으나, 전반적으로 입경 1~2 μm 를 기준으로 미세입자측과 조대입자측에 질량농도의 피크치를 보여 이산형의 분포를 나타내었다.

참고문헌

1) 신은상. : 대기부유분진에 대한 토양입자의 기여율에

관한 연구, 건국대학교 대학원, 28~47, 1990.

2) Hara H., Kato T. and Matsushita H. : The Mechanism of Seasonal Variation in the Size Distributions of Atmospheric Chloride and Nitrate in Tokyo, Bull. Chem. Soc., Japan.(in Press), 1988.

3) Kadowaki S. : Size Distribution of Atmospheric Total Aerosols, Sulfate, Ammonium and Nitrate Particulates in the Nagoya Area, *Atmos. Environ.*, **10**, 39~43, 1976.

4) Matsumoto M., Ueda N. and Nishikawa Y. : Particle Size Distribution and Behavior of Inorganic Ion Compounds of Atmospheric aerosols in Inland Rural City Area. *J., Japan, Soc, Air Pollution*, **21**(6), 501~514, 1986.

5) 대기환경연구회. : 대기오염개론, 도서출판 동화기술, 초판, pp 59~90, 1995.

6) Stelson, A. W., Friedlander S. K. and Seinfeld J. H. : A Note on the Equilibrium Relationship between Ammonia and nitric acid and Particulate Ammonium, Nitrate, *Atmos. Environ.*, **13**, 369~371, 1979.

7) Takana S., Yoshimori T. and Hashimoto Y. : Seasonal Variation of Concentration and Size Distribution of Total Aerosols, Chloride, Nitrate and Sulfate in Urban Air. *J. Japan. Soc. Air Pollution*, **19**(2), 104~113, 1984.

8) Uchiyama S. : Seasonal Variations in Size Distributions for Major Ionic Species in the Atmospheric Aerosol, *J. Japan Soc. Air Pollution*, **25**(1), 77~84, 1990.

9) Whitby K. T. : The Physical Characteristics of Sulfur Aerosols, *Atmos. Environ.*, **12**, 135~159, 1978.