

## 호흡기 침착부위에 따른 미세먼지 중 수용성 이온성분의 일별 농도 측정

강공언<sup>†</sup> · 이상복  
원광보건대학 애완동물관리과

### Daily Concentration Measurements of Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Fine Particulate for Respiratory Deposition Region

Gong-Unn Kang<sup>†</sup> · Sang-Bok Lee

Division of Health Science, Wonkwang Health Science College, Chonbuk 570-750, Korea

(Received September 10, 2005; Accepted October 10, 2005)

#### ABSTRACT

In order to understand the deposition possibility of water-soluble inorganic ions in the atmospheric fine particulates for the human respiratory tract, the mass size distribution of ion species was measured using an Andersen sampler in the Iksan during fall, 2004. Samples were analyzed for major water-soluble ions using Dionex DX-100 ion chromatograph. The size distribution of water-soluble inorganic ions in the atmospheric particulates appeared bimodal distribution, which were divided around 1-2  $\mu\text{m}$  into two groups. Mass size distribution of total ion in the coarse mode was found to be almost similar level during the sampling period, but fluctuations of mass size distribution in the fine mode were observed. Considering the mass size distribution of total ion concentrations for the respiratory deposition region, it was found that about 77.1% of total ions could be deposited in the alveolar region, and which dominated the daily variation of total ion concentrations. The concentration of total ions, which could be deposited in both the head region and the tracheobronchial region, was 3.95  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , whereas that in the alveolar region was 13.28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dominant ions which could be deposited in the alveolar region were  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{NH}_4^+$ , accounting for about 40%, 27% and 22% of the total ions, respectively. Although  $\text{K}^+$  was approximately 3% of total ions, it was shown that most of this could be deposited in the alveolar region due to its high fraction of small size distribution originated from anthropogenic source of biomass burning. The presence of these ions in the fine mode may be of public health significance as they are very biologically harmful to health and have a high probability of being deposited in human lung tissue.

**Keywords:** Andersen sampler, water-soluble inorganic ions, size distribution, respiratory deposition region

#### I. 서 론

대기오염은 인간, 동식물 및 재산상에 피해를 초래하고 시정장애를 유발한다. 환경대기 중에 부유하는 입자상 물질은 식물의 잎 표면에 침착되어 잎의 기공을 막고 햇빛을 차단하여 광합성, 호흡작용 및 증산작용 등을 저해함으로써 식물의 생육에 악영향을 준다. 또한

빛을 흡수하거나 산란시키기 때문에 태양광선의 투과도를 감소시켜 시정을 악화시키고, 지구의 복사에너지 수지에도 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 재산상으로도 건축물이나 유적, 동상 등을 부식시켜 피해를 초래한다.<sup>1,4)</sup> 더욱이 미세먼지는 인체의 호흡기를 통하여 건강에 직접적인 영향을 주며, 그 정도는 호흡기로 유입되는 미세입자의 농도와 독성에 따라 달라진다.<sup>1,5)</sup> 선진국에서는 대기오염과 관련된 사망률(Mortality) 및 유병률(Morbidity)에 대한 연구(NMMAPS: National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study)가 지속적으로 이루어져 왔으며,<sup>6,9)</sup> 많은 연구자들에 의해 미

<sup>†</sup>Corresponding author : Lab. of Health and Environment, Wonkwang Health Science College  
Tel: 011-9629-7700, Fax: 82-63-840-1579  
E-mail : gukang@wkhc.ac.kr

세입자에 의한 인체 유해성이 심각한 것으로 밝혀지고 있다.<sup>10-18)</sup> 사람을 대상으로 한 역학연구에서 인체에 미치는 영향은 미세먼지의 농도가 높을수록 증가하였으며, 현재의 NAAQS 기준(National Ambient Air Quality Standards, 2.5  $\mu\text{m}$  이하인 미세먼지의 24시간 평균과 연평균 농도기준 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 이하에서도 영향이 있어 인체에 유해하지 않는 수준의 역치 설정이 곤란한 것으로 나타났다.<sup>6)</sup>

입자상 물질이 호흡기의 각 부위에 도달하는 정도는 입자의 크기에 따라 다르게 되는데, 미세입자일수록 폐 깊숙이 도달하게 된다. 입자의 크기가 미세할수록 체내 기관지나 세기관지(細氣管支)의 섬모(纖毛)에 의해 쉽게 제거되지 않고 폐포에 유입되며, 높은 침착률(沈着率)을 나타낸다.<sup>5,19)</sup> 미세먼지는 천식과 같은 호흡기계 질병과 기침이나 천식 등의 증상을 악화시키고, 만성기관지염을 유발하며, 폐기능 저하나 심장질환을 초래할 뿐만 아니라 심할 경우 폐암과 관련된 각종 질병의 원인이 된다.<sup>8,14-16,19,20)</sup> 황산염과 질산염 등의 미세입자는 인체뿐만 아니라 토양 및 수중 생태계에도 영향을 주는 것으로 알려져 있다.<sup>4,21,22)</sup>

대기 중에 존재하는 입자상 물질의 배출원은 크게 자연적인 발생원과 인위적인 발생원으로 나눌 수 있다. 특히, 미세입자는 화석연료의 연소, 자동차 배출가스, 화학물질의 제조과정으로부터 직접 대기 중에 배출되거나 대기 중에 배출된 가스상 오염물질이 입자상으로 변환되어 이차적으로 생성되는데, 주요 성분은  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , 중금속, EC(Elemental Carbon) 및 OC(Organic Carbon) 등으로 알려져 있다.<sup>22-28)</sup>

이와 같이 대기 중에 존재하는 입자상 물질은 그 크기에 따라 인체, 재산, 대기 및 자연환경에 미치는 영향이 다르고, 배출원 또한 다르기 때문에 입도분포에 대한 연구는 보건학적인 측면에서 뿐만 아니라 입자상 물질의 배출원 해석이나 관리대책수립에도 중요하게 된다. 입도분포 측정에는 입경별 분급포집이 가능한 앤더슨샘플러(Andersen sampler)가 많이 사용되어 왔다. 그러나 샘플러로 흡입된 공기 중의 먼지시료가 입자의 운동특성에 따른 공기동력학적인 직경(aerodynamic diameter)에 따라 여러 개의 단으로 나누어 채취되기 때문에 각 단에는 소량의 시료만이 분급 포집된다. 이러한 장치의 특성 때문에 지금까지 수행된 입도분포 연구에서는 약 1주일 전후로 장시간 동안 시료채취가 이루어졌다.<sup>29,30)</sup> 그러나 대기 중 오염물질의 농도는 시간에 따라 달라지고, 미세먼지와 인체의 건강 유해도 및 사회·경제적인 영향에 대한 역학적인 조사에서도 하루를 주기로 한 자료들이 활용되고 있어 보다 단기적

인 일별 농도 측정이 필요한 실정이다.

본 연구는 공중보건학적인 측면에서 환경대기 중의 미세먼지가 인체의 호흡기 침착부위에 미치는 영향을 파악하기 위하여 수용성 무기이온성분의 입경별 농도를 하루 주기로 정성 및 정량 분석하였으며, 입도별 이온성분들의 일별농도특성과 인체 호흡기관내 주요 부위별 침착특성을 해석하였다.

## II. 시료채취 및 분석방법

### 1. 시료채취

시료는 익산지역 미세먼지의 오염도 수준을 대표할 수 있도록 익산시 중심부에 위치하고 있으면서 특정한 오염배출원의 영향을 배제할 수 있는 익산상공회의소 건물의 옥상(지상 약 25 m)에서 채취하였다(Fig. 1). 시료채취지점 주변은 음식점, 상가, 아파트 및 주택 등으로 이루어져 있다. 본 연구가 수행된 익산시는 지리적으로 전라북도의 서북단 내륙에 위치하고 있으며 평야지역으로 이루어져 있다. 또한 호남, 전라, 군산선 철도가 교차하고 있고, 동쪽으로는 호남고속도로가 그리고 서쪽으로는 서해안고속도로가 지나고 있으며, 10여개의 국·지방도가 있어 교통의 중심지 역할을 하고 있다. 인구는 약 33만명이며, 차량등록대수는 약 9만8천대로 최근에 연평균 약 5.7% 증가하는 추세에 있다.

시료채취는 2004년 10월 17일부터 11월 2일까지 16일 동안 오전 8시 전후를 기점으로 하여 하루를 주기로 이루어졌다. 호흡기 침착 부위에 따른 수용성 무기이온성분의 농도 측정에는 미세먼지의 입경별 분급포집이 가능한 앤더슨샘플러(Andersen Sampler Model KA-200, Koritsu Instruments Co.)가 사용되었다(Fig. 2). 시료채취장치는 다단의 시료포집부와 순간유량계, 적산유량계 및 펌프로 구성되며, 포집유량은 28.3 l/min이다. 공기 중의 미세먼지는 입자의 운동특성에 따른 공기동력학적인 직경에 따라 시료포집부의 각 단에 분급 포집되는데, 시료가 유입되는 0단에서 아래쪽으로 내려갈수록 미세입자가 포집된다(0단: 11  $\mu\text{m}$ 보다 큰 입자, 1단: 7~11  $\mu\text{m}$ , 2단: 4.7~7  $\mu\text{m}$ , 3단: 3.3~4.7  $\mu\text{m}$ , 4단: 2.1~3.3  $\mu\text{m}$ , 5단: 1.1~2.1  $\mu\text{m}$ , 6단: 0.65~1.1  $\mu\text{m}$ , 7단: 0.43~0.65  $\mu\text{m}$ ). 가장 아래쪽 단의 backup 필터에는 0.43  $\mu\text{m}$  보다 작은 입자가 포집되도록 설계되어 있다. 1회 측정시 9장의 필터(filter, 이하 여지라 함)가 사용되는데, 0~7단에는 직경이 80 mm인 polyethylene sheet가 그리고 backup 단에는 직경 80 mm, 공극 0.45  $\mu\text{m}$ 인 quartz fiber filter가 사용되었다.

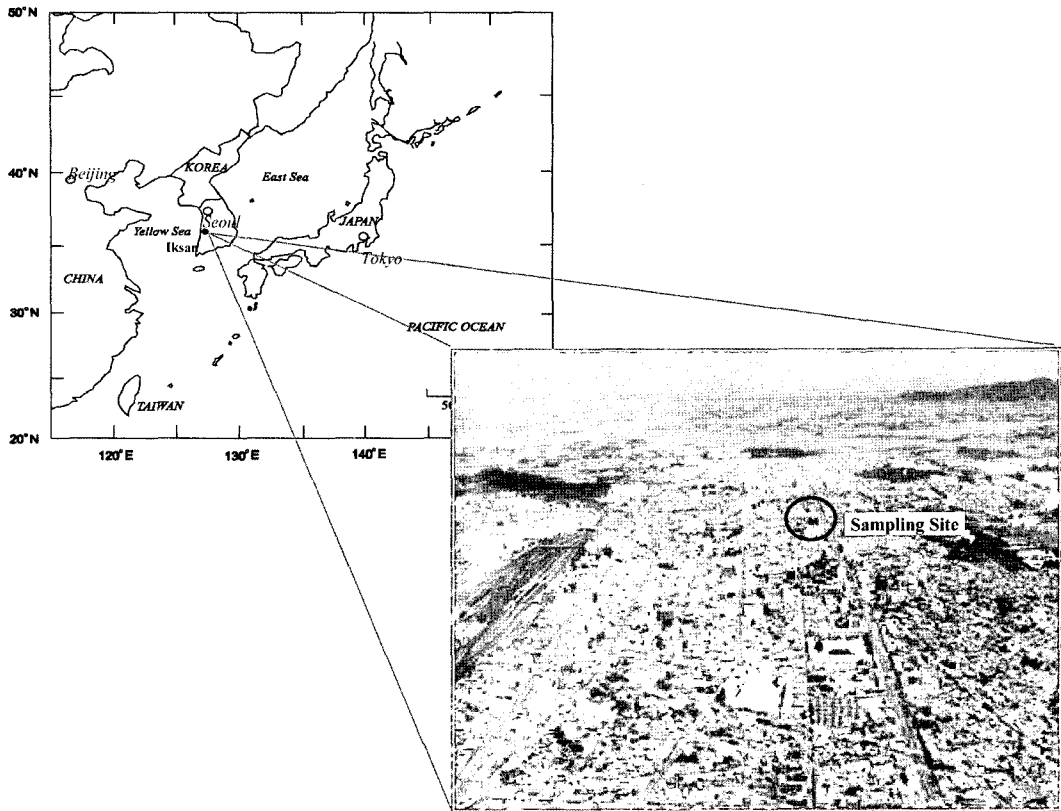


Fig. 1. Location of Iksan and sampling site.

2. 분석방법

미세먼지가 포집된 여지는 직경이 약 9 cm인 페트리 디쉬에 넣고 파라필름으로 밀봉한 후 실험실로 운반하였다. 수용성 무기이온성분의 분석을 위해 먼저 여지의 먼지 포집면을 아래쪽으로 향하도록 필터추출용기(Polyethylene 재질)에 넣고 적당량의 탈이온교환수(DI water)를 가해 초음파추출기안에서 20분간 추출하였다. 초음파 추출된 시료는 하루정도 냉장 보관한 후 시료액 중의 불용성 성분을 제거하기 위하여 직경 13 mm, 공극 0.45 μm인 시린지필터(SLHV013NL, Millpore)를 사용하여 10 ml PE 시험관에 여과하였다. 시료액은 마개로 밀봉한 후 수용성 이온성분의 농도 분석시까지 4°C의 냉장기에 보관하였다.

수용성 무기이온성분의 농도는 이온크로마토그래프(DX-100, Dionex Inc.)를 사용하여 분석하였다. 분석항목은 음이온의 경우 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> 등이고, 양이온은 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> 등이다. 시료의 전처리 및 IC Eluent 제조 등 실험에 사용된 물은 비저항(Specific Resistance)이 18.2 megohm-cm인 탈이온교

환수를 제조하여 사용하였다.

수용성 이온성분 중 양이온 분석에는 CG 12와 CS 12 칼럼(IonPac Column, Dionex Inc.) 및 4 mm CSRS-ultra suppressor가 사용되었으며, 음이온의 경우 AG 12A와 AS 12A 칼럼(IonPac Column, Dionex Inc.) 및 4 mm ASRS-ultra suppressor가 사용되었다. 용리액(Eluent)은 양이온의 경우 20 mM MSA(methanesulfonic acid) 용액이 사용되었으며, 음이온의 경우 2.7 mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/0.3 mM NaHCO<sub>3</sub> 용액이 사용되었다.

IC에 의한 수용성 이온성분의 분석은 적당한 농도 범위를 갖는 Standard 용액을 주입하여 검량선(Calibration Curve)을 작성한 후 각각의 Standard 농도와 크로마토그램 피크면적의 상관성을 검토하여 적절한 분석조건이 확보되었을 때 이루어졌다. 검량선 작성에 사용된 표준용액(Standard Solution)은 음이온의 경우 AccuStandard사의 Multi-Component Anion Standard 용액(IC-MAN-18-1)이 사용되었으며, 양이온의 경우 Multi-Component Cation Standard 용액(IC-MCA-02-1)이 사용되었다.

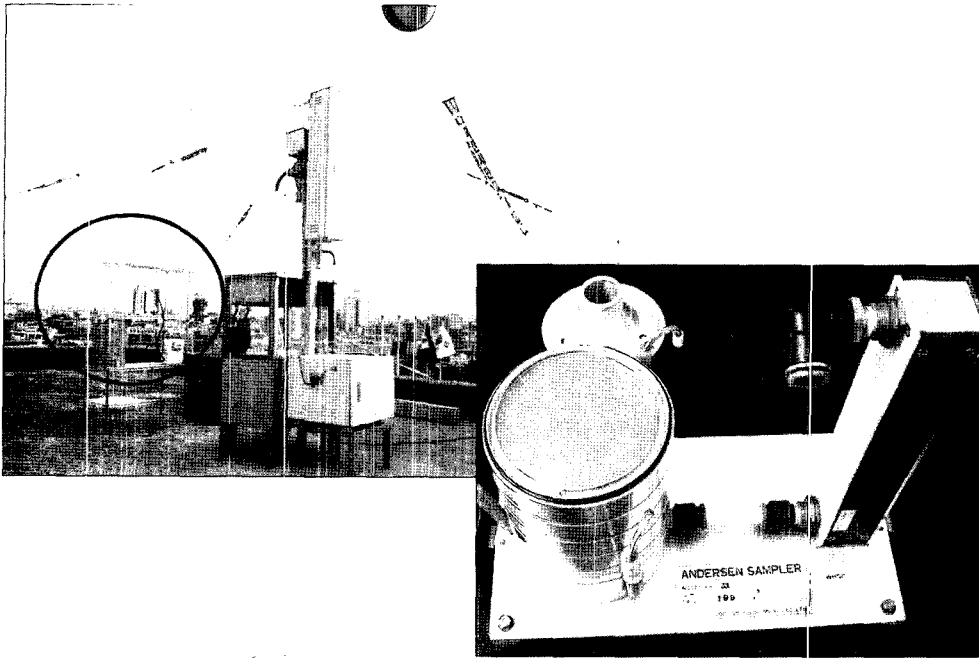


Fig. 2. Sampling equipments of airborne fine particulates.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 수용성 이온성분의 입도별 농도

익산지역에서 미세먼지 중 수용성 이온성분의 입경별 농도는 Fig. 3과 같다. 여기에서 이온성분의 농도는 각 이온성분의 입경별 농도를 합한 것이다. 이온성분의 입경별 농도는 1~2  $\mu\text{m}$ 를 경계로 두개의 봉우리(peak)를 보이는 Whitby의 전형적인 이산형 분포(bimodal distribution)를 나타내었다.<sup>31,32)</sup> 이러한 입도분포는 2  $\mu\text{m}$ 를 기준으로 미세입자(fine particle)와 조대입자(coarse particle)로 분류되는데, 2개의 봉우리 사이에는 질량교환이 일어나지 않고 입자 발생원이 서로 다른 특징을 갖는 것으로 알려져 있다.<sup>33)</sup> 즉, 미세입자는 뜨거운 증기가 응축·응결과정을 거쳐 성장하거나 가스상 물질이 입자로의 화학적 변환과정(gas-to-particle conversion)을 거쳐 생성되며, 주로 인위적인 오염발생원과 관련이 있다. 반면에 조대입자는 바람에 의한 비산먼지, 산불의 연소부산물, 해양입자, 화산재, 식물의 포자나 꽃가루 등 주로 자연발생원에 의한 것으로 알려져 있다.<sup>22,27,28)</sup>

Fig. 3에서와 같이 1~2  $\mu\text{m}$ 를 경계로 2개의 피크를 갖는 이산형 분포는 이용근 등(1985)이 서울에서 측정된 부유입자상 물질의 질량농도분포 경향과 일치한다. 보건학적으로 입자상 물질에 의한 건강 장애는 호흡기

계 침투율과 입자의 독성에 의해 결정되는데 호흡기계 침투율은 입자의 크기와 밀접한 관련이 있다. 즉, 미세입자는 상기도에서 인체의 방어기전에 의해 제거되지 않고 폐포에까지 유입될 확률이 높을 뿐만 아니라 호흡기계 정화기전을 둔화시키고 입자내 독성물질이 흡착된 경우 유해성은 더욱 증가하게 된다. 또한 입자가 미세할수록 비표면적이 크고 반응성이 강해 기도의 염증 유발 가능성이 커지게 된다.<sup>34)</sup>

시료채취일별 입경분포를 살펴보면 조대입자 영역의 농도는 측정기간 동안 일정한 농도 분포를 보인 반면, 미세입자 영역에서는 일별 뚜렷한 농도 차이를 보이고 있다. 즉, 10월 17일~24일 및 10월 26일의 경우 미세입자 영역의 봉우리는 조대입자의 경우와 비슷하거나 다소 높은 경향을 보이고 있으나, 10월 25일, 27일~31일과 11월 1일의 경우 미세입자 영역의 봉우리가 조대입자보다 높게 나타났다. 특히, 10월 30일과 31일에는 미세입자 영역의 이온성분 농도가 매우 높게 나타났다. 이러한 일별 농도분포는 조대입자 영역에서 뚜렷한 일별 차이를 보이고 있는 서울의 대기 중 부유입자상 물질의 질량농도 분포와 다른 경향을 나타내었다.<sup>29)</sup> 여기에서 서울의 입도분포자료는 부유입자상 물질의 질량농도를 3월과 6월에 약 10일 동안 측정하여 얻어진 것으로 본 연구와 측정항목, 시료채취기간 및 일시 등이 일치하지 않는데, 이러한 차이 때문에 입도분포 경

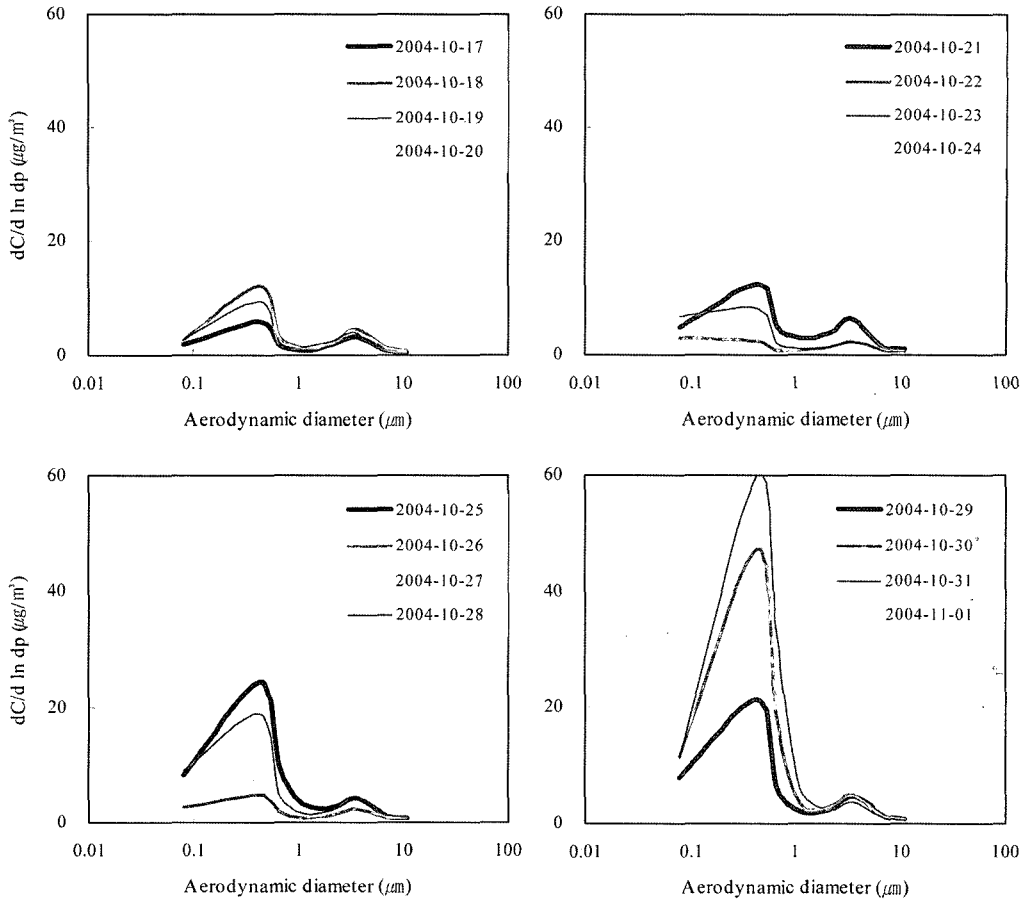


Fig. 3. Normalized mass size distribution of total ion concentrations.

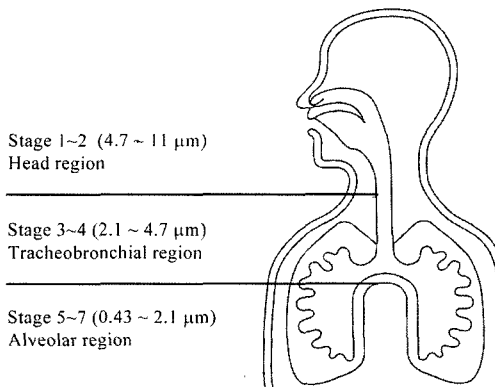


Fig. 4. Typical respiratory tract deposition region of fine particles as a function of aerodynamic diameter. Andersen sampler simulates human respiratory.

향이 상이한 것으로 판단된다.

앤더슨샘플러는 입자의 공기역학적 직경과 인체의 호

흡기 침착 부위를 고려하여 설계되었기 때문에 측정된 입경별 농도분포자료의 경우 호흡기계통에 미치는 건강장애를 평가하는데 있어 매우 유용하다. 인체의 호흡기계는 침착부위에 따라 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 이것은 코, 입, 인두와 후두를 포함하는 머리 부위(head region, 이하 상기도라 함), 후두부터 종말세기관지까지의 기관 및 기관지 부위(tracheobronchial region), 그리고 가스교환이 일어나는 폐포 부위(alveolar region)로 분류된다.<sup>5)</sup>

앤더슨샘플러의 각 단계에 포함되는 입자의 공기역학적 직경과 인체 호흡기의 침착 부위는 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 이것을 기준으로 시료채취일별 수용성 이온성분의 농도를 Fig. 5에 나타내었다. 여기에서 이온성분의 침착부위별 분포를 살펴보면 상기도에 침착할 수 있는 농도(1단계와 2단계에 포함된 직경이 4.7~11 µm인 입자)가 가장 낮은 경향을 보이고 있으며, 기관 및 기관지 부위의 경우(3단계와 4단계에 포함된 직경이 2.1~4.7 µm

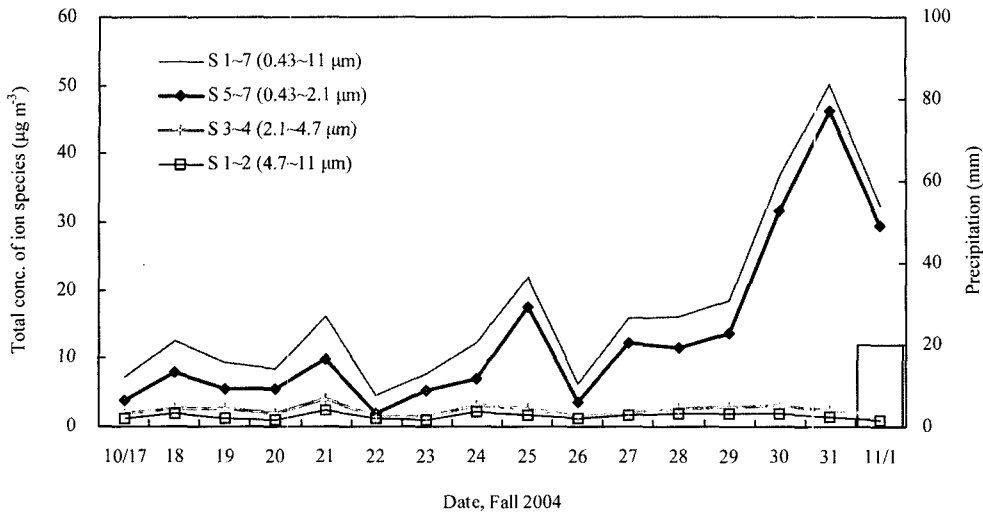


Fig. 5. Temporal variation of total ion concentrations airborne fine particulates.

인 입자) 상기도와 거의 유사하거나 다소 높은 것으로 나타났다. 그러나 폐포 부위에 침착할 수 있는 농도(5~7단에 포집된 직경이 0.43~2.1 µm인 입자)는 상기도와 기관 및 기관지 부위 보다 상대적으로 높은 경향을 보이고 있으며, 일별 뚜렷한 농도 차이와 함께 전입경범위인 0.43~11 µm의 농도분포를 주도하는 것으로 나타났다. 측정기간 중에서 10월 30일, 31일, 11월 1일의 경우 폐포 부위까지 도달할 수 있는 이온성분들이 다량 함유된 것으로 나타났으며, 특히 최대치를 보인 10월 31일의 경우 이온농도는 46.2 µg/m³으로 0.43~11 µm의 92.2%를 점유하였다. 반면에 10월 17일, 22일, 26일의 경우 폐포에 침착 가능한 이온성분의 농도는 2~4 µg/m³이었으며, 그 점유율은 약 50%로 상기도와 기관 및 기관지 부위의 경우와 유사한 수준이었다. 이러한 사실은 수용성 이온성분이 고농도일수록 폐포에 침착할 수 있는 미세입자의 양이 상대적으로 증가

하게 됨을 의미하고, 결과적으로 건강에 미치는 영향 또한 증가하게 될 것이다.

2. 호흡기 침착부위별 이온성분의 농도

미세입자의 호흡기 침착 가능한 부위별 수용성 이온성분의 평균농도와 화학조성은 Table 1과 Fig. 6에서 보는 바와 같다. 미세입자 중 상기도에 침착하는 이온성분의 평균농도는 1.56 µg/m³이었다. 이온성분별로는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > Ca<sup>2+</sup> > Cl<sup>-</sup> = SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Na<sup>+</sup> 순으로 나타났으며, 이중 NO<sub>3</sub>가 약 35.1%를 점유하는 주성분이었다. 기관 및 기관지 부위에 침착 가능한 이온성분의 평균농도는 2.39 µg/m³으로 상기도보다 약 1.5배 높은 것으로 나타났다. 이온성분별로는 상기도와 마찬가지로 NO<sub>3</sub>의 점유율이 44.8%로 가장 높았으며, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 점유율은 상기도에 비해 다소 증가한 반면, Ca<sup>2+</sup>와 Cl<sup>-</sup>의 점유율은 감소한 것으로 나타났다. 폐포에 침착 가능한

Table 1. Size distribution parameters of water-soluble ions in PM<sub>0.43-11</sub>. Arithmetic means and standard deviations except parameters in the last row are presented in µg m<sup>-3</sup>

	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Σ Ion
	µg m <sup>-3</sup>								
Head region (4.7~11 µm)	0.23±0.11	0.55±0.29	0.21±0.06	0.16±0.09	0.04±0.04	0.04±0.01	0.04±0.01	0.29±0.11	1.56±0.48
Tracheobronchial region (2.1~4.7 µm)	0.27±0.12	1.07±0.48	0.31±0.09	0.25±0.13	0.10±0.09	0.05±0.01	0.05±0.02	0.29±0.12	2.39±0.70
Alveolar region (0.43~2.1 µm)	0.88±0.62	5.26±6.28	3.54±2.68	0.11±0.04	2.97±2.95	0.40±0.23	0.03±0.03	0.08±0.05	13.28±12.33
Total (0.43~11 µm)	1.38±0.56	6.88±6.61	4.06±2.76	0.52±0.25	3.10±3.05	0.49±0.23	0.12±0.05	0.67±0.26	17.23±12.59
Alveolar region / Total	0.64	0.76	0.87	0.20	0.96	0.83	0.24	0.12	0.77

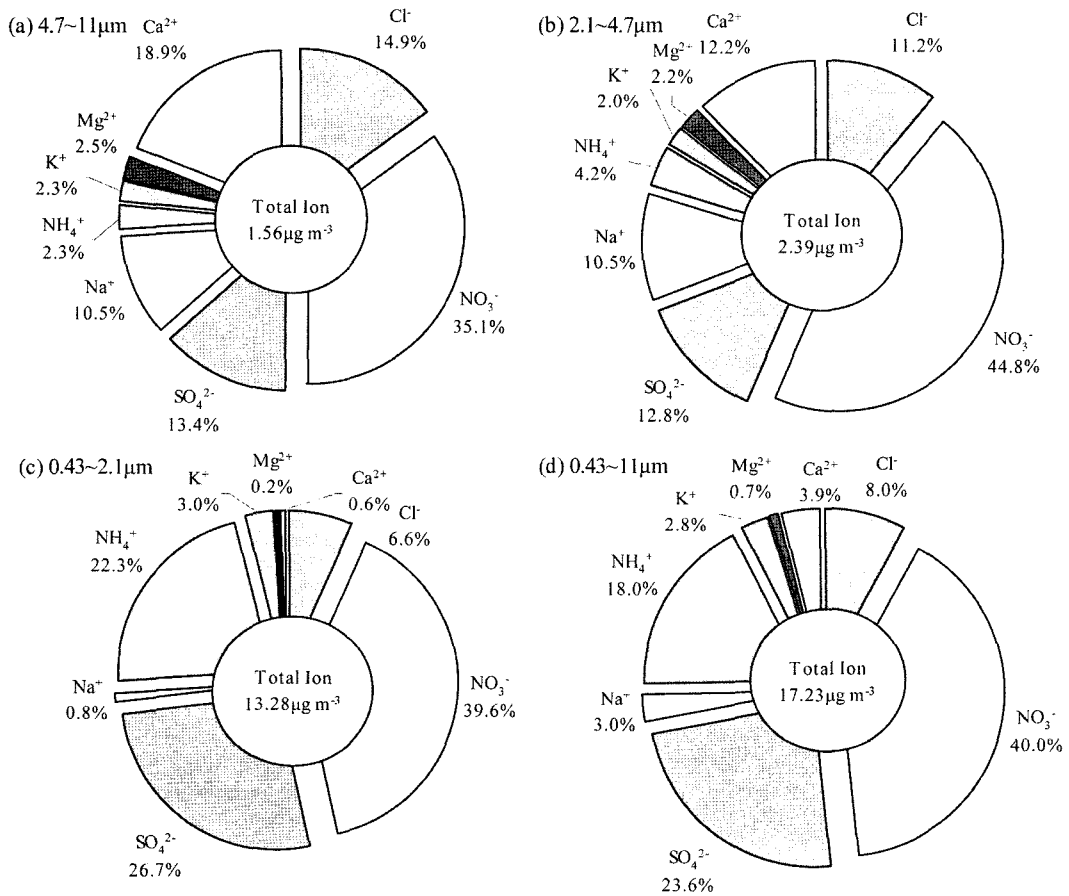


Fig. 6. Chemical composition of water-soluble inorganic species in PM<sub>0.43-11</sub>.

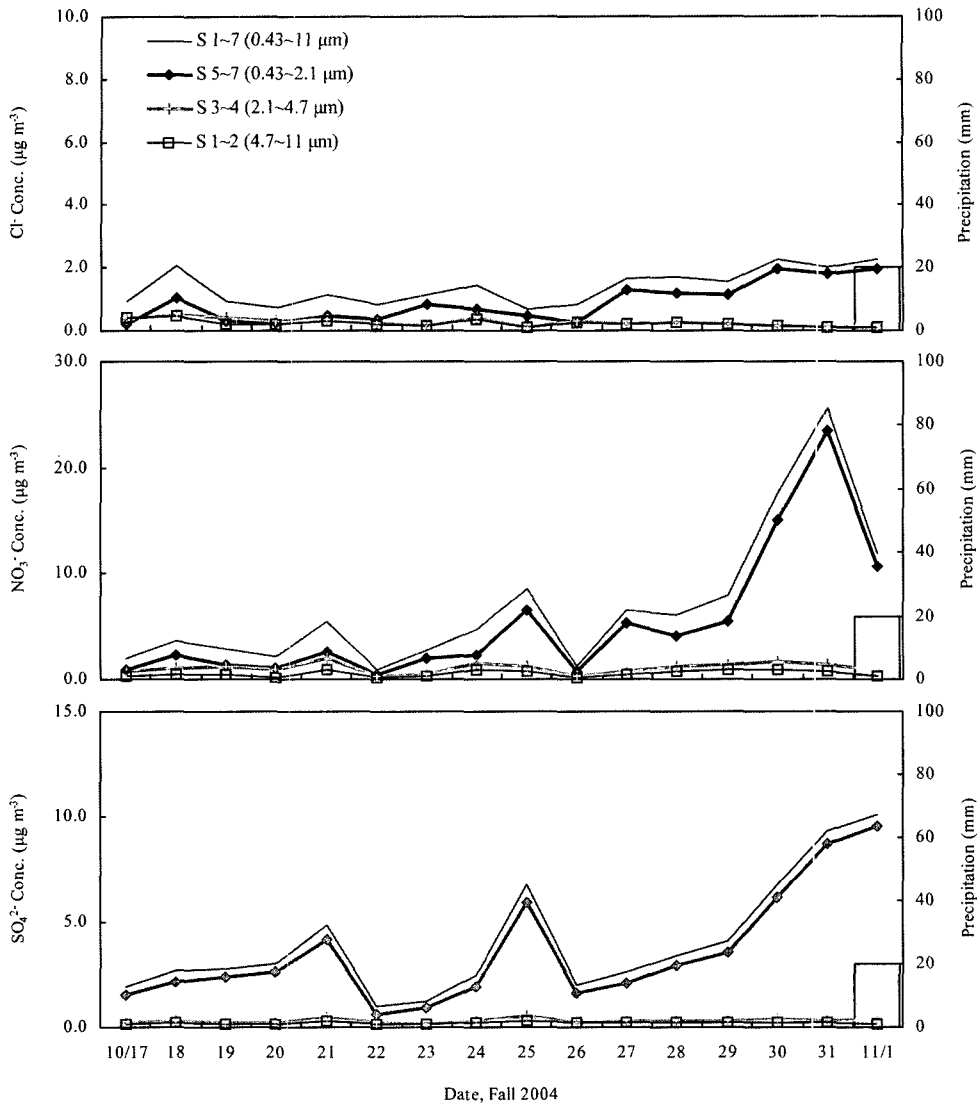
이온성분의 평균농도는 13.28 µg/m<sup>3</sup>이었으며, 이것은 0.43~11 µm의 전입경범위에 존재하는 이온성분의 약 77.1%에 해당된다. 폐포 부위에 영향을 줄 수 있는 이온성분은 단위체적의 공기량을 기준으로 할 때 상기도와 기관 및 기관지 부위에 비해 각각 약 8.5배와 5.6배 많은 것으로 나타났다.

이온성분별로는 폐포에 침착 가능한 영역에서 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 및 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 평균농도가 각각 5.26, 3.54 및 2.97 µg/m<sup>3</sup>이었으며, 총이온성분의 39.6%, 26.7% 및 22.3%를 점유하는 주성분으로 나타났다. 또한 이들 이온성분의 경우 호흡기관내에서도 특히 폐포에 침착 가능한 양이 상대적으로 높은 경향을 나타내었는데, 그 점유율은 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 76.5%, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 87.3%, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 96.5%이었다. K<sup>+</sup>는 경우 총이온성분의 약 3%로 미량이지만 폐포에 침착 가능한 양이 약 82.7%로 상기도와 기관 및 기관지 부위에 비해 높은 점유율을 나타내었다. 이러한 사실로부터 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 및 K<sup>+</sup>의 경우 공통적인

발생원 특성을 갖는 것으로 판단된다. 즉, 이들 이온성분들의 경우 대부분이 화석연료의 연소와 같은 인위적인 오염발생원과 토양 등의 자연발생원에서 배출된 기체상의 1차 대기오염물질이 대기중에서 입상 대기오염물질로 전환되어 생성되는 것으로 알려져 있다.<sup>4,22,27,28,34</sup> 미세입자 영역의 K<sup>+</sup>는 바이오매스 연소 (biomass burning)에 의한 것으로 알려져 있다.<sup>35,36</sup> 반면에 Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>의 경우 폐포에 침착 가능한 농도도 낮고 점유율 또한 다른 이온성분에 비해 미비한 수준인 것으로 나타났는데, 이들 이온성분의 경우 주로 토양이나 해양기원에 의한 1차 오염물질에 기인하기기 인하기 때문으로 판단된다.<sup>4,22,27,28,34,37</sup>

### 3. 이온성분의 일별 농도변화

호흡기 침착 부위별 음이온과 양이온 성분의 일별 농도변화는 Fig. 7과 Fig. 8에서 보는 바와 같다. 음이온 성분의 일별농도분포를 살펴보면 인체의 상기도와 기



**Fig. 7.** Temporal variation of anion concentrations as the function of specific ranged particle size that could be deposited at the head region, tracheobronchial region, and alveolar region of human respiratory tract.

관 및 기관지 부위에 침착 가능한 농도는 모두 약  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 일별농도 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 반면에 폐포에 침착 가능한  $0.43\sim 2.1 \mu\text{m}$  영역의 경우 모든 이온성분이 상기도나 기관 및 기관지 부위보다 높은 농도를 나타내었다. 성분별로는  $\text{Cl}^-$ 의 경우 일별 농도 차이가 미비하였으나 주로 화석연료의 연소에 의해 발생하는  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 경우 일별 뚜렷한 농도 차이와 함께 유사한 추이변화를 갖는 것으로 나타났다.

양이온 성분에서  $\text{K}^+$ 와  $\text{NH}_4^+$ 는 상기도와 기관 및 기

관지 부위에 침착 가능한 농도와 점유율이 매우 낮은 반면에, 대부분이 폐포에까지 도달할 수 있는  $0.43\sim 2.1 \mu\text{m}$ 의 미세영역에 존재하는 것으로 나타났다. 또한 이들 이온성분의 농도는 일별농도차이가 뚜렷하였으며, 인위적인 오염발생원과 밀접한 관련이 있는  $\text{SO}_4^{2-}$  및  $\text{NO}_3^-$ 의 일별 농도변화(Fig. 7)와도 유사한 추이변화를 나타내었다.  $\text{Na}^+$ 와  $\text{Mg}^{2+}$ 의 경우 폐포보다 상기도나 기관 및 기관지 부위의 침착 가능성이 큰 것으로 나타났으며, 이러한 경향은 주로 토양 및 지각기원의 자연 발생원에서 기인하는  $\text{Ca}^{2+}$ 에서 더 잘 나타났다.



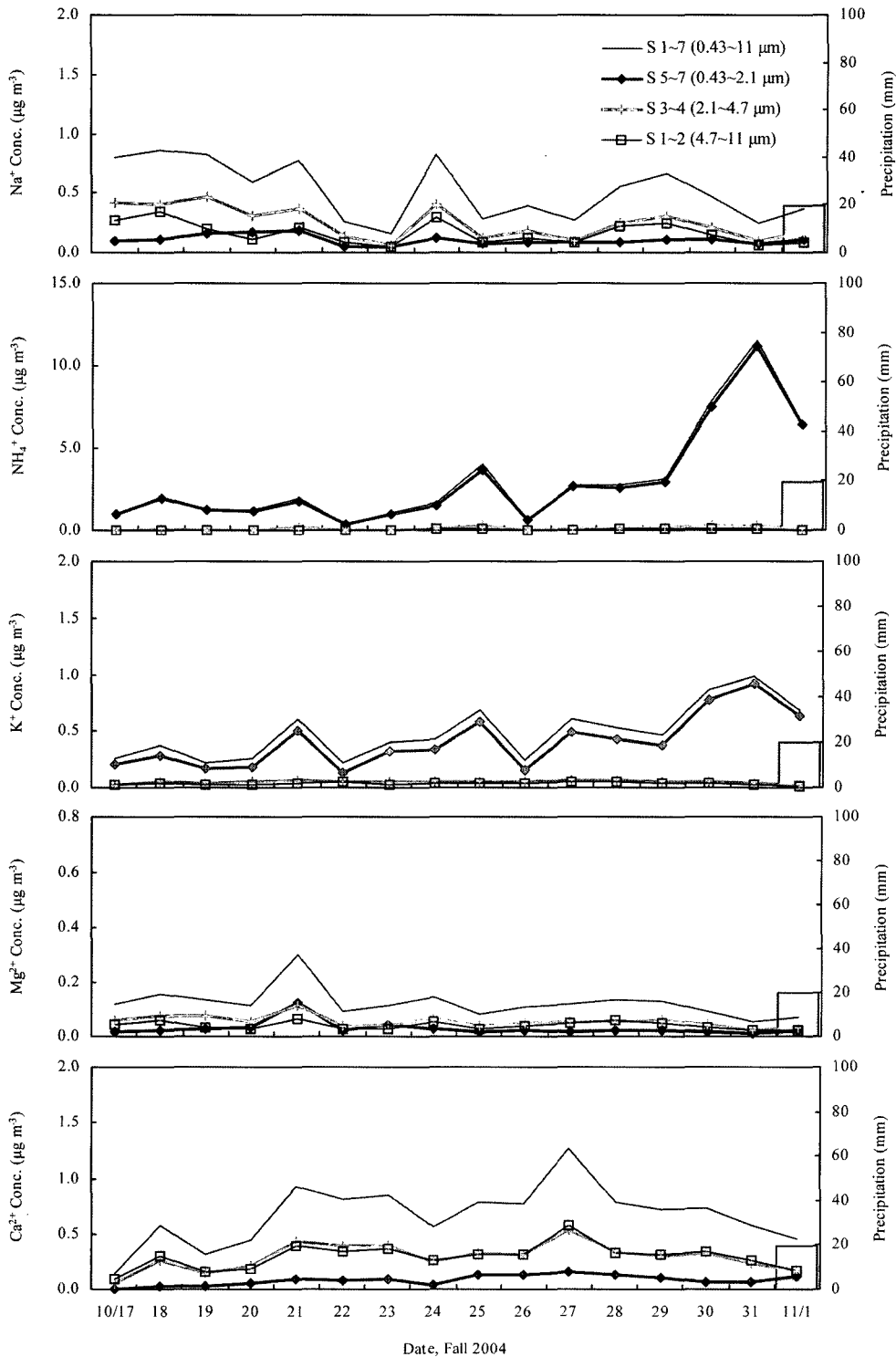


Fig. 8. Temporal variation of cation concentrations as the function of specific ranged particle size that could be deposited at the head region, tracheobronchial region, and alveolar region of human respiratory tract.

#### IV. 결 론

익산지역 환경대기 중의 미세입자가 인체에 미치는 영향을 파악하기 위하여 2004년 10월 17일부터 11월 1일까지 입경별 미세먼지 측정이 가능한 앤더슨샘플러를 사용하여 인체의 호흡기 침착 부위별 수용성 무기이온성분의 일별 농도를 정성 및 정량 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 미세먼지 중 수용성 이온성분의 입경별 농도는 1~2  $\mu\text{m}$ 를 경계로 두개의 봉우리를 갖는 이산형 분포를 나타내었다. 측정기간 동안 조대입자 영역의 농도는 일정한 수준이었으나 미세입자의 경우 일별 뚜렷한 차이를 나타내었다.

2. 호흡기에 침착 가능한 이온성분의 농도는 폐포> 기관 및 기관지>상기도 순이었으며, 특히 폐포에 침착 가능한 이온성분이 높은 점유율과 함께 일별농도변화를 주도하는 것으로 나타났다.

3. 상기도와 기관 및 기관지 부위에 침착 가능한 이온성분의 평균농도는 1.56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 2.39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며,  $\text{NO}_3^-$ 가 각각 35.1%와 44.8%를 점유하는 주성분으로 나타났다. 폐포에 침착 가능한 미세입자 영역의 이온성분 농도는 13.28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 전입경범위의 77.1%를 점유하였다.

4. 폐포침착영역에서  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  및  $\text{NH}_4^+$  농도는 각각 5.26, 3.54 및 2.97  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 총이온성분의 39.6%, 26.7% 및 22.3%를 점유하는 주성분으로 나타났다. 또한 폐포침착영역에 대한 이들 이온성분의 점유율은 각각 76.5%, 87.3% 및 96.5%이었다.  $\text{K}^+$ 는 총이온성분의 약 3%로 미량이지만 대부분이 폐포에 침착 가능한 미세영역에 존재하는 것으로 나타났다.

5. 폐포에 침착 가능성이 높은  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$  등은 일별 뚜렷한 농도 변화와 함께 주로 인위적인 오염발생원과 밀접한 관련이 있는 반면에, 나머지 이온성분은 토양이나 해양기원과 같은 자연발생원에 기인한 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2004학년도 원광보건대학 교내연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 김기현, 김조천, 김종호, 이강용, 정재춘, 김득수, 구운서, 강공언, 손부순, 이병규, 이정주 : 신제대기오염개

론, 향문사, 85-129, 1999.

2. 朝來野國彦, 浮遊粒子狀物質に関する文獻學的調査, 社團法人 日本科學技術情報センター, 1-21, 1982.
3. Conner, W. D., Bennett, R. L., Weathers, W. S. and Wilson, W. E. : Particulate characteristics and visual effects of the atmosphere at Research Triangle Park. *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, **41**(2), 154-160, 1991.
4. Seinfeld, J. H. : Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution, Wiley Interscience, New York, NY, 1986.
5. Hinds, W. C. : Aerosol Technology-properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles, John Wiley & Sons, 211-232, 1982.
6. Colburn, K. A. and Johnson, P. R. S. : Air pollution concerns not changed by S-PLUS flow. *Science*, **299**, 665-666, 2003.
7. O'Neill, M. S., Jerrett, M., Kawachi, I., Levy, J. I., Cohen, A. J., Gouveia, N., Wilkinson, P., Fletcher, T., Cifuentes, L. and Schwartz, J. : Health, wealth, and air pollution: Advancing theory and methods. *Environ. Health Perspectives*, **111**(6), 1861-1870, 2003.
8. Linn, W. S., Szlachcic, Y., Gong, H. Jr., Kinney, P. L. and Berhane, K. T. : Air pollution and daily hospital admissions in metropolitan Los Angeles. *Environ. Health Perspect* **108**, 427-434, 2000.
9. Katsouyanni, K., Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci, F., Medina, S., Rossi, G., Wojtyniak, B., Sunyer, J., Bacharova, L., Schouten, J. P., Ponka, A. and Anderson, H. R. : Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. *BMJ* **314**, 1658-1663, 1997.
10. HEI : Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality, Cambridge, MA: Health Effects Institute, 2000. Available : <http://www.health-effects.org/Pubs/Rean-ExecSumm.pdf>.
11. Pope, C. A. III., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D. and Ito, K. : Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* **287**, 1132-1141, 2002.
12. Zanobetti, A. and Schwartz, J. : Race, gender, and social status as modifiers of the effects of  $\text{PM}_{10}$  on mortality. *J. Occup. Environ. Med.*, **42**, 469-474, 2000.
13. Cifuentes, L., Vega, J. and Lave, L. : Daily Mortality by Cause and Socio-economic Status in Santiago, Chile 1988-1996. *Epidemiology*, **10**, 45, 1999.
14. Tolbert, P. E., Mulholland, J. A., MacIntosh, D. L., Xu, F., Daniels, D. and Devine, O. J. : Air quality and pediatric emergency room visits for asthma in Atlanta, Georgia, USA. *Am. J. Epidemiology* **151**, 798-810, 2000.
15. Zanobetti, A. and Schwartz, J. : Are diabetics more susceptible to the health effects of airborne parti-

- cles? *Am. J. Respir. Crit. Care* **164**, 831-833, 2001.
16. Dockery, D. and Pope, A. : Epidemiology of Acute Health Effects: Summary of Time-series Studied. In: Wilson, R., Spengler, J. D. (Eds.), *Particles in Our Air: Concentration and Health Effects*. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA, 123-147, 1986.
  17. Touloumi, G., Pocock, S. J., Katsouyanni, K. and Trichopoulos, D. : Short term effects of air pollution on daily mortality in Athens. A time series analysis. *International Journal of Epidemiology* **23**, 957-967, 1994.
  18. Rogers, J. F., Thompson, S. J., Addy, C. L., McKeown, R. E., Cowen, D. J. and Decoufle, P. : Association of very low birth weight with exposures to environmental sulfur dioxide and total suspended particulates. *Am J Epidemiol*, **151**(6), 602-613, 2000.
  19. Lippmann, M. and Albert, R. : The effect of particle size on the regional deposition of inhaled aerosols in the human respiratory tract. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, **30**, 257-275, 1969.
  20. Hatch, T. F. : Proc. of the Pneumoconiosis Conf., Johannesburg, J & A. Churchil Ltd., London, 113, 1959.
  21. Spengler, J. D., Brauer, M. and Koutrakis, P. : Acid air and health. *Environ. Sci. Technol.*, **24**(7), 946-956, 1990.
  22. Godish, T. : Air Quality, Lewis Publiders Inc., 39-44, 1985.
  23. Lee, H. S., Kang, C. M., Kang, B. W. and Kim, H. K. : Seasonal variations of acidic air pollutants in Seoul, South Korea. *Atmos. Environ.*, **33**, 3143-3152, 1999.
  24. Chow, J. C., Watson, J. G., Lu, Z., Lowenthal, D. H., Frazier, C. A., Solomon, P. A., Thuillier, R. H. and Magliano, K. : Descriptive analysis of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> at regionally representative locations during SJVAQS/AUSPEX. *Atmos. Environ.*, **30**(12), 2079-2112, 1996.
  25. Wang, G., Wang, H., Yu, Y., Gao, S., Feng, J., Gao, S. and Wang, L. : Chemical characterization of water-soluble components of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> atmospheric aerosols in five locations of Nanjing, China. *Atmos. Environ.*, **37**, 2893-2902, 2003.
  26. 강충민, 이승일, 조기철, 안준영, 최민규, 김희강 : Annular Denuder System을 이용한 수도권지역의 산성 오염물질 및 PM<sub>2.5</sub> 성분농도 특성. *한국대기환경학회지*, **15**(3), 305-315, 1999.
  27. 笠原三紀夫 等 : 大氣中 粒子狀物質の同定と寄與率の推定. *大氣保全學會誌*, **19**(5), 337-358, 1984.
  28. 坂本和彦 : 浮遊粒子狀物質の生成と舉動, 公害と對策, **25**(14), 6-12, 1989.
  29. 이용근, 김만구, 원정호 : Andersen 시료채취기를 이용한 도시대기중 부유입자상 물질의 입도분포 측정. *한국대기보전학회지*, **1**(1), 93-98, 1985.
  30. 이윤재, 김희강 : 조대입자가 대기부유분진에 주는 부하. *한국대기보전학회지*, **1**(1), 71-82, 1985.
  31. Whitby, K. T., Husar, R. B. and Liu, B. Y. H. : The aerosol size distribution of Los Angeles smog. *J. Colloid and Interface Sci.*, **39**, 177-204, 1972.
  32. Whitby, K. T. : The physical characteristics of sulfur aerosols. *Atmos. Environ.*, **12**, 13-159, 1978.
  33. Whitby, K. T. and Cantrell, B. K. : Atmospheric Aerosols - Characteristics and Measurement, Paper No. 29-1, International Conference on Environmental Sensing and Assesment, Las Vegas, NV, September 14-19, 1-6, 1975
  34. Park, S. H., Song, C. B., Kim, M. C., Kwon, S. B., and Lee, K. W. : Study on size distribution of total aerosol and water-soluble ions during dust storm event at Jeju island, Korea. *Environ. Monitoring and Assesment* **93**, 157-183, 2004.
  35. Artaxo, P., Maenhaut, W., Storms, H. and van Grieken, R. : Aerosol characteristics and sources for the Amazon basin during the wet season. *J. Geophys. Res.*, **95**, 16971-16985, 1990.
  36. Cooper, J. A. : Environmental impact of residential wood combustion emissions and its implications. *J. Air Pollut. Control Assoc.* **8**, 855-861, 1980.
  37. 강공언, 우상윤, 강병욱, 김희강 : 해안지역 대기부유 입자상 물질의 특성에 관한 연구. *한국환경위생학회지*, **20**(4), 1-9, 1994.