

## 군산 지역에서 PM<sub>10</sub>의 농도 및 성분 특성에 관한 연구

김성천<sup>†</sup> · 송재종 · 임성호 · 강달선  
군산대학교 토목환경공학부

### Study on the Characteristics of Concentrations and Compositions in PM<sub>10</sub> in Kunsan City

Seong Cheon Kim<sup>†</sup>, Jae Jong Song, Seong Ho Lim and Dal Sun Kang

School of Civil and Environmental Engineering, Kunsan National University

(Received 2 June 2000 ; Accepted 4 September 2000)

#### ABSTRACT

The collection of PM<sub>10</sub> samples were collected by a PM<sub>10</sub> hi-vol. air sampler from June, 1998 through May, 1999 in Kunsan located at western coastal region of Korea. We obtained 84 samples during sampling period. Samples were analyzed to quantify the concentration of ionic and metallic components such as SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Zn, Cd, Cr, Pb and Fe. Seasonal variations of the concentrations by wind directions of each component were studied. We found that PM<sub>10</sub> concentration had the highest level in winter and the lowest level in summer. When the wind direction is from west to east, the concentration of most ionic and metallic species were higher compared to reverse direction. That implied the effect of air pollutants from industrial area. Also, substantial amount of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> were observed, which was assumed to the effect from the sea.

**Keywords :** PM<sub>10</sub>, Ionic and metallic components, Wind directions, Air pollutants

#### I. 서 론

최근 대기중에 부유하는 입자상 물질의 농도와 인간의 질병 및 사망률에 관한 역학적 연구들은 대기 중 부유분진에 대한 많은 관심들을 불러일으켜 오고 있다.<sup>1-6)</sup> 이에 맞추어, 우리나라에서도 총부유분진인 TSP 및 이와는 별도로 인체에 더욱 유해한 공기역학적 직경이 10 μm 미만인 먼지, 즉 PM<sub>10</sub>을 대기 환경기준 항목으로 설정, 관리해 오고 있으며, 더 나아가 미국 등 선진국에서는 인체의 영향 측면에서 더욱 더 심각한 영향을 미칠 수 있는 직경 2.5 μm 미만의 입자인 PM<sub>2.5</sub>에 대한 규제를 시행해 오고 있다.<sup>7)</sup>

한편, 이러한 인체의 유해성과 관련된 분진의 크기는 이들의 기원과도 큰 관련이 있는데, 일반적으로, 입경이 큰 거대입자에는 주로 Fe, Si, Al, Ca, K 등의 지각 기원인 자연 발생적인 원소가 많이 포함되어 있으며, 미세 입자는 주로 인위적으로 발생되어 Pb, Cr,

Cd 등이 많이 포함되어 있는 것으로 알려져 있다. 특히 산업활동 및 자동차 운송등은 2차 에어로졸을 통해 간접적으로 미세입자 형성에 상당히 큰 역할을 한다.<sup>8)</sup> 또한 에어로졸 상태로 존재하는 2차 오염물질인 이온 물질이 대기중에 차지하는 비중이 상당하여 대기환경 및 건강에 미치는 영향이 점점 증대하고 있다. 특히 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 SO<sub>2</sub>에 비해 호흡기 계통의 질병율과 사망률에서 더 밀접한 관계가 있다고 알려져 있다.<sup>9)</sup>

이 연구가 수행된 군산시는 우리나라 서해안에 위치한 해안도시로 북서쪽에 공업단지가 위치해 있고, 군산 지방의 주풍인 서풍의 영향을 받아 공단지역에서의 오염물질이 풍하 방향에 속한 대부분의 지역에 영향을 미칠 것으로 사료된다. 이 연구의 목적은 군산지역의 주풍인 서풍계열의 풍향에서와 비주풍인 동풍계열 풍향에서의 PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>10</sub>중의 각종 중금속 성분 및 이온 성분의 농도를 파악해 상호 비교해 보는 한편, 이들의 계절별 농도변화 및 PM<sub>10</sub>의 특성을 파악하는데 있다.

#### II. 실험 및 연구방법

본 연구는 1998년 6월부터 1999년 5월까지 1년 동

<sup>†</sup>Corresponding author :School of Civil and Environmental Engineering, Kunsan National University  
Tel: 063-469-1871, Fax: 063-463-9493  
E-mail: ksc@ks.kunsan.ac.kr

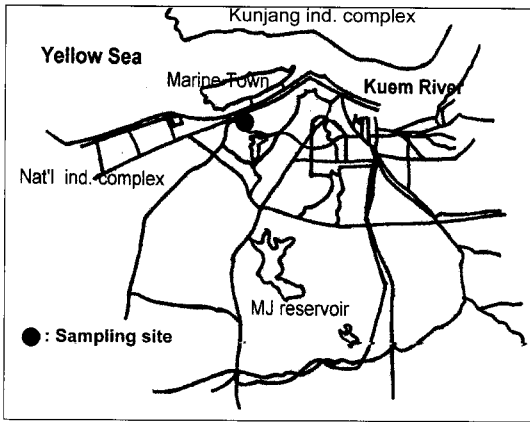


Fig. 1. Map of sampling site in Kunsan.

안 수행되었으며, PM<sub>10</sub> 채취를 위하여 PM<sub>10</sub> hi-vol. air sampler(model 321b, Graseby Andersen, U.S.A.)를 군산대학교 소룡캠퍼스 옥상(Fig. 1)에 설치하였고, 1.13 m<sup>3</sup>/min의 유량으로 24시간 동안 시료 포집을 원칙으로 하였다. 더불어 유량변동에 대비하여 매 측정마다 유량지를 장착하였다. 여지는 유리섬유여지(Glass fiber filter; Graseby PN-G810)를 사용하였으며, 채취된 시료는 여지의 전후 무게 차와 유량을 이용하여 PM<sub>10</sub> 농도 산출 후, 직경 4.78 mm의 Belt punch를 이용해 일정한 면적으로 시료 당 2개씩을 절취하였으며, 이들은 각각 금속원소 및 이온분석을 위해 사용되었다. 먼저 금속원소를 위한 시료 전처리에는 질산-과염소산-불화수소산 혼합액을 사용하였다.<sup>10)</sup> 금속원소의 분석 과정은, 먼저 절취된 시료를 테프론 재질의 비이커에 넣은 후 질산(특급, OSAKA Co., Japan) 10 ml, 과염소산(특급, Samchun Pure Chemical Ind., Japan) 5 ml, 불화수소(A.S.C급, J.T. Baker, U.S.A) 1 ml/씩을 차례로 가한 후 테프론 재질의 시계접시로 덮는다. 그후 과염소산의 백연이 발생할 때까지 130°C 열판상에서 가열한 후 시계접시를 열고 여액을 완전히 마르기 전까지 증발시킨다. 이어서 질산 1 ml와 초순수 2 ml를 다시 가하여 비이커 기벽을 세척한 후 일정 용량의 플라스크에 옮기고, 그후 수 차례 초순수를 이용해 기벽을 세척한 것을 합하여 순수로 플라스크의 표선에 맞추어 전처리 한 후 최종적으로 AAS(Varian spectrAA 220)를 이용해 5개의 중금속 원소 즉, Zn, Pb, Fe, Cd, Cr를 분석했다. 또한 이온성분 분석을 위한 전처리에는 100 ml 삼각 플라스크에 다른 하나의 절취된 시료를 분진 방향이 아래쪽을 향하게 넣은 후 초순수 10 ml를 가하고 초음파 세척기(Ultrasonic bath: Branson 3210)로 1시간 동안

추출한 후 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 이온성분을 UV (U/V Spectrophotometer, Model Smart 325)를 이용한 흡광광도법을 이용하여 분석하였고, Na, K, Mg는 AAS를 이용하여 분석하였다. 또한 기상자료는 시료채취 지점으로부터 동쪽으로 300 m 떨어져 있는 군산시 기상대 자료를 이용하였으며, 계절 구분은 12, 1, 2월을 겨울철로 3, 4, 5월을 봄철로 6, 7, 8월을 여름철로 9, 10, 11월을 가을철로 설정하였다.

### III. 결과 및 고찰

1998년 6월부터 1999년 5월까지 1년간 총 84개의 PM<sub>10</sub> 시료들을 가지고 중금속 5종과 이온성분 7종에 대한 화학분석을 행하였고, TDS meter(Cyberscan con 20)를 이용해서 총 이온 농도를 측정하였다. TDS meter를 이용한 총 이온농도와 측정 분석한 7종 이온성분의 농도의 합으로 각각의 balance 및 양이온과 음이온 간의 이온 balance를 산출하였다. 이 결과 총 이온의 평균 농도는 24.37 ppm였고, 분석을 통해 산출한 평균 이온농도들의 합은 21.85 ppm였다. 이는 분석된 이온들의 항목이 총 이온의 약 93%(총 분진 중의

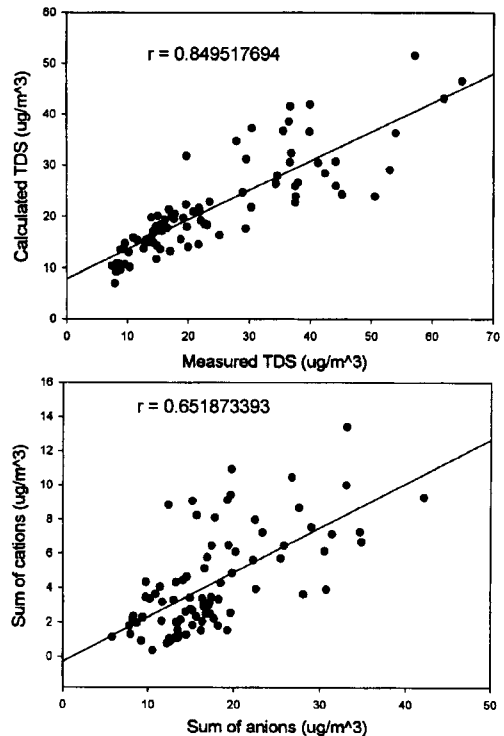


Fig. 2. TDS and ion balance of samples.

33.7%)임을 의미하며 나머지는 본 연구에서 분석되지 않은 미량 이온성분으로 사료된다. 또한 양이온 및 음이온 balance를 보면 음이온이 17.59 ppm, 양이온이 4.26 ppm으로 조사되었으며, 이는 측정지점의 PM<sub>10</sub>중의 음이온이 양이온의 4배 이상을 차지하고 있음을 나타낸 것이다. Fig. 2는 위의 두 balance 결과를 보여준 것이다.

### 1. PM<sub>10</sub> 및 이온성분의 계절적 변동

연구기간 동안 측정지점에서 PM<sub>10</sub> 농도는 평균 67.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였으며, 이 중 연평균 대기환경기준인 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과한 경우도 전체 측정기간의 27.4%를 차지했다. Fig. 3은 PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>10</sub>에 함유된 이온 및 금속성분의 계절별 농도변화를 보여준 것이다. Fig. 3에서 군산시의 PM<sub>10</sub> 농도는 겨울철에 평균 77.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 여름철에 52  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮게 조사되었다. 겨울철에 높은 농도를 보인 이유는 겨울철 난방용 연료 소비 등 일반적인 배출뿐만 아니라 1998년 겨울철이 황사 기간에 속해 있었던 것도 한 요인이 될 수 있을 것으로 사료된다.

이온 성분에 대해 살펴보면, 본 연구에서 PM<sub>10</sub> 중 TDS meter로 측정된 총이온 성분은 24.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 약 36%를 차지했고, 분석대상 7개 이온성분의 농도 합은 22.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 전체의 33.7%로 조사되었다. 항목별로 보면 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 NO<sub>3</sub>와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>는 매우 유사한 유형의 계절적 변동 경향을 보이면서 이온 성분 중 계절적 변동폭이 최고 농도를 보인 봄철과 최저

농도를 보인 가을철의 차가 4배 이상으로 가장 크게 조사되었으며, 봄 > 겨울 > 여름 > 가을 순이었다. 또한 K, Mg의 계절변동을 볼 수 있었는데, 특히 Mg는 겨울철을 제외하고는 NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 유사한 계절적 농도 패턴을 보여주었다. 그리고 여름 및 가을철 평균 농도는 각각 K 0.51  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Mg 0.11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 두 계절의 패턴이 일치하였고 가장 낮은 농도를 나타내었으며, 봄철 및 겨울철에 각각 높은 농도를 보여 주었다. 그러나 겨울철에 Cl<sup>-</sup>, 여름철에 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na가 가장 높은 농도를 나타냈다.

한편 본 연구에서, 대표적인 산성물질인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 평균 14.32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 총 이온의 63% 이상을 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 이어서, Cl<sup>-</sup>의 경우 Na와 함께 대부분 인접해 있는 해양으로부터 기원되었을 것으로 보이나, Na와 유사한 패턴을 보이나 겨울철에 높은 농도를 보인 이유는 98년 겨울동안에 난방 및 자동차 연료 연소와 인위적 오염원에 속하는 화석연료 연소에 의해 심한 영향을 받았으리라 사료된다. 한편, Na는 특별한 인위적 오염원이 존재하지 않은 물질로서 해양 기원 물질량의 추적자 역할을 하며 지금까지 널리 사용되어온 물질이며, 보통 해염 중의 Cl<sup>-</sup>은 Na의 1.8배인 것으로 알려져 있다.<sup>11)</sup> 본 조사에서 Cl<sup>-</sup>/Na<sup>+</sup>는 1998년 여름철에 1.92, 가을철에 2.14, 겨울철에 3.05, 봄철에 2.52의 비를 보였는데, 이로 미루어 보아 겨울철에 Cl<sup>-</sup>이 상대적으로 인위적 오염이 가장 심했음을 나타낸다. 또한 총 이온농도는 여름 = 겨울 > 봄 > 가을 순이었다. 가을철에 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K, Mg 등 대부분의

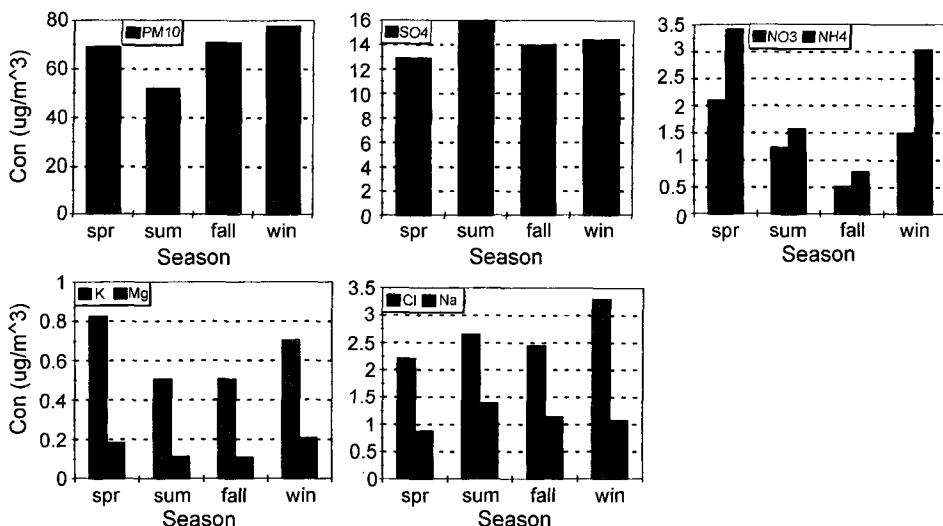


Fig. 3. Seasonal variations of PM<sub>10</sub> and ionic components.

이온종이 다른 계절에 비해 대체적으로 낮은 농도 경향을 보였는데, 그 이유는 풍향과 관련이 있을 것으로 사료된다. 참고로 군산시는 봄, 여름, 겨울철에 대부분 공단 쪽에서 불어오는 서풍계열의 바람에 영향을 받고, 가을철에는 상대적으로 동풍의 영향을 크게 받는 지역이다.

그리고 PM<sub>10</sub> 중의 이온성분비를 보면, 한진석 등<sup>12)</sup>의 연구에서 이온성분 함량비가 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> > Na<sup>+</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > Cl<sup>-</sup> > K<sup>+</sup> > Mg<sup>2+</sup> 순으로 나타난 것과는 달리 본 연구에서는 Fig. 4와 같이 연평균으로 볼 때 거의 전체 이온성분의 농도 중 대부분이 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(63.2%)이고, Cl<sup>-</sup>(11.8%), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(10.3%), NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(6.2%), Na<sup>+</sup>(5.0%), K<sup>+</sup>(2.9%), Mg<sup>2+</sup>(0.7%) 순으로 조사되었다. 이 중 Cl과 Na는 인접해 있는 공단 및 해양에 큰 영향을 받았을 것으로 사료된다. 또한, 대표적인 산성물질인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 평균적으로 조사대상 이온성분의 70% 이상을 차지하였고, 이러한 화학 성분이 분진의 발생원과 큰 관련이 있다고 볼 때 적절한 배출원 규제가 필요하다고 사료된다. 한편, 주 이온성분인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 비율은 계절에 따라 상당히 변화되고 있으며, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 농도 변화가 큰 역할을 하고 있는 것을 알 수 있다. 계절별로 보면

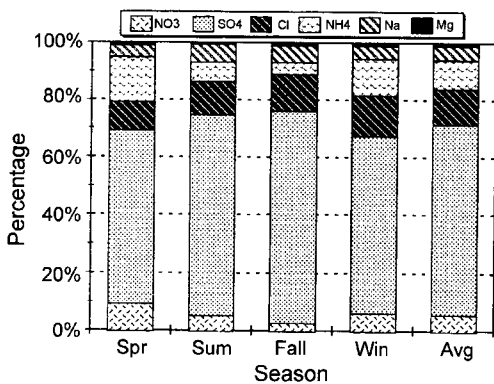


Fig. 4. Seasonal fraction of ionic components in PM<sub>10</sub>.

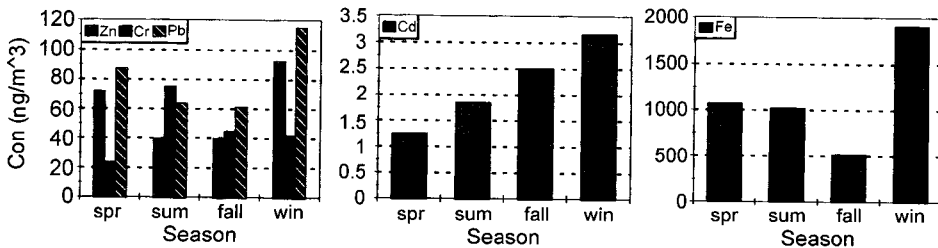


Fig. 5. Seasonal variations of metallic elements.

여름철에는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> > Na<sup>+</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 가을철에는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > Na<sup>+</sup> > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 겨울철 및 봄철에는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > Na<sup>+</sup> 순이었다. 한편, 가을철에는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>이온이 타 계절에 비해 매우 낮음을 볼 수 있는데, 주원인은 타 계절의 주풍이 서풍인 것에 반해, 이 계절에는 동풍계열의 풍향이 상대적으로 많았기 때문으로 사료된다.

2. PM<sub>10</sub> 중의 중금속 성분의 계절적 변동

Fig. 5는 PM<sub>10</sub> 중 중금속 성분의 계절적 농도 변동을 나타낸 것이다. Cl을 제외한 모든 금속성분은 겨울철에 가장 높은 농도를 보였으며, 평균 농도는 Fe (1,182.7 ng/m<sup>3</sup>), Pb(83.9 ng/m<sup>3</sup>), Zn(63.0 ng/m<sup>3</sup>), Cr (46.3 ng/m<sup>3</sup>), Cd(2.17 ng/m<sup>3</sup>) 순으로 조사되었다. 또한 Pb, Zn은 PM<sub>10</sub>과 유사한 경향의 계절적 변동을 나타냈으며 겨울철에 가장 높은 농도를 보였다. 여기에서 Zn이 겨울철에 고농도로 조사된 이유는 미세 입자 중 Zn의 대부분이 연소 등과 같은 인위적 배출원을 가지고 있기 때문인 것으로 사료된다. Cd의 경우는 최고의 농도를 기록한 겨울철에 3.2 ng/m<sup>3</sup>를, 최저 농도를 기록한 봄철에 1.2 ng/m<sup>3</sup>를 나타내어 타 원소에 비해 매우 낮은 농도를 보였으며, Fe의 경우는 겨울철에 최고 농도를, 가을철에 최저 농도를 보였으며 타 금속에 비해 절대적으로 높은 농도를 보였다. 한편, Cl의 경우는 타 금속원소와 비교해 매우 상이하게 1998년 여름철 이후 계속 감소하는 경향을 보이고 있고, Zn, Pb, Fe, Cr도 이온성분의 경우와 유사하게 대체적으로 가을철에 낮은 농도를 보이고 있으며, 이 또한 풍향이 원인으로 사료된다.

3. 풍향에 따른 각 성분의 농도 변화 및 해염비

군산시의 풍향은 조사기간 동안 대부분 서풍계열의 바람이 주류를 이루고 있었으며, 이중 약 25% 정도의 동풍계열의 바람이 불었다(Fig. 6). 서풍계열의 바람에서는 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 동풍계열보다 해양의 영향을 많이 받을 것으로 사료되며 해안선을 따라 공단

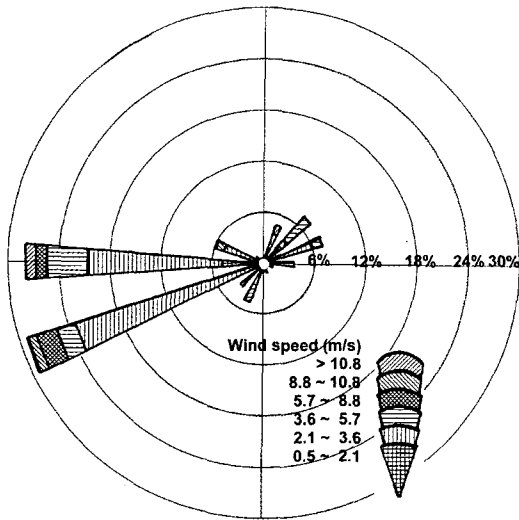


Fig. 6. Windrose during sampling period.

지대가 위치해 있기 때문에 공단으로부터 풍하 지역으로 오염물질이 수송될 것으로 예측된다. 또한 동풍계열

의 바람에서는 바다의 영향을 받기는 하나 정도 면에서 약하고 육상 오염원의 영향을 많이 받을 것으로 사료된다. Table 1에서는 서풍계열의 풍향일 때와 동풍계열의 풍향일 때의 PM<sub>10</sub>과 각 성분의 농도를, 그리고 해양기원 물질의 경우 Na와의 비를 분류 비교하였다. 대부분의 이온성분과 중금속 성분은 서풍계열의 풍향에서 더 높은 농도를 보였는데, 이는 공단지역의 영향을 크게 받았기 때문일 것으로 사료된다. 그러나 Cr만은 동풍계열에서 더 높은 농도를 보임으로써 측정지점으로부터 동쪽방향에 Cr의 불특정 오염원이 존재한 것으로 보여진다. 한편 Na를 추적원소로 하여 해양기원 물질의 인위적 오염도를 보면 K, Mg는 공단지역이 위치한 서풍계열의 풍향이 동풍계열 풍향에 비해 더 높은 비를 보여 인위적 오염도가 보다 높음을 보여주었다. 그러나 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>와 Cl는 동풍계열에서 더 높은 비를 보여 주거 및 상업 지역 등 시내 중심부로부터 더 큰 영향을 받았을 것으로 사료된다. 그러나 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 해염비가 0.25인 점을 감안할 때 자연적 발생원은 인위적 발생원에 비해 무시할 수준의 농도였다. 또한 Mg는 대

Table 1. Concentration of ionic and metallic elements and sea salt ratio by wind direction

	PM <sub>10</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na	K	Mg	Zn	Cd	Cr	Pb	Fe
Western	74.7	1.60	14.98	2.71	2.58	1.16	0.71	0.17	65.5	2.4	42.0	95.1	1257
Eastern	50.8	1.03	13.18	2.68	2.00	0.95	0.51	0.12	63.4	1.9	58.0	63.7	1053
Ele/Na <sup>+</sup> (w)	-	-	12.9	2.34	-	-	0.61	0.15	-	-	-	-	-
Ele/Na <sup>+</sup> (e)	-	-	13.8	2.81	-	-	0.54	0.12	-	-	-	-	-
Salt ratio	-	-	0.25	1.8	-	-	0.036	0.12	-	-	-	-	-

Table 2. Correlation coefficient of PM<sub>10</sub> and each components

	PM <sub>10</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na	K	Mg	Zn	Cd	Cr	Fe	Pb	Hum	W.S
PM <sub>10</sub>	1.000														
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.702**	1.000													
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.735**	0.494**	1.000												
Cl <sup>-</sup>	0.067	-0.066	-0.001	1.000											
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.723**	0.759**	0.605**	-0.051	1.000										
Na	0.185	0.001	0.294**	0.355**	0.042	1.000									
K	0.831**	0.680**	0.724**	-0.014	0.811**	0.203	1.000								
Mg	0.582**	0.469**	0.239*	0.263*	0.383**	0.056	0.468**	1.000							
Zn	0.204	0.136	0.075**	0.181	0.094	-0.005	0.089	0.243*	1.000						
Cd	0.275*	0.071	0.372**	0.226*	0.076	0.121	0.185	0.148	0.078	1.000					
Cr	0.000	-0.193	0.277*	-0.049	-0.224*	0.137	-0.067	-0.243*	-0.261*	0.200	1.000				
Fe	0.532**	0.387**	0.334**	0.321**	0.429**	0.096	0.352**	0.521**	0.283**	0.177	-0.063	1.000			
Pd	0.623**	0.658**	0.476**	0.057	0.593**	0.059	0.536**	0.510**	0.145	0.343**	-0.016	0.383**	1.000		
Hum	-0.156	-0.131	0.108	-0.033	0.076	0.178	0.033	-0.199	-0.066	-0.138	0.063	-0.225*	-0.110	1.000	
W.S	-0.432**	-0.343**	-0.444**	-0.011	-0.406**	-0.041	-0.436**	-0.036	-0.091	-0.170	-0.161	-0.157	-0.198	-0.109	1.000

tailed significant(2-tailed) : \* : 0.05, \*\* : 0.01.

부분 자연적 기원에 속하고 있으며, Cl<sup>-</sup>은 해양에 영향을 받고 있음을 추정할 수 있다. 참고적으로 Saskia<sup>13)</sup>는 도심 쪽 풍향과 해양 쪽(비도심) 풍향을 비교해 몇 개의 이온성분(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)과 원소(Fe, Na, K 등) 농도가 해풍에 의해서 감소한다고 보고한 바 있으나 본 연구가 수행된 군산시는 해양쪽에 공단지대가 위치하고 있어 결과는 상이하게 조사되었다.

#### 4. PM<sub>10</sub>과 각 항목간의 상관분석

Table 2는 PM<sub>10</sub> 및 각 성분의 상관분석 결과를 나타낸 것이며, SPSS Spearman 상관계수를 이용하였다. 여기에서 PM<sub>10</sub>은 해염 기원인 Na<sup>+</sup>와 Cl<sup>-</sup>를 제외한 모든 이온성분과 매우 유의한 상관을 보였는데, 이는 Na<sup>+</sup> 및 Cl<sup>-</sup>과 다른 이온종류는 그 기원이 다름을 시사한다. 그리고 이온 성분들은 Na<sup>+</sup>와 Cl<sup>-</sup>를 제외하고는 대부분 상호 유의한 상관성을 보였다. 또한 Cl<sup>-</sup>과 Na<sup>+</sup>의 경우를 보면, Cl<sup>-</sup>과 Mg<sup>2+</sup> 그리고 Na<sup>+</sup>와 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>은 상관성이 있었으나 다른 이온성분과의 관계에서는 유의한 상관성이 없는 것으로 나타나 위의 사실을 보충해 준다. 한편 Fe는 Na<sup>+</sup>를 제외한 모든 이온성분과 상관성이 있었다. 그밖에, 많은 종에서 상호 원소간의 상관성을 가지고 있었으며 이런 유의한 상관성분 관계의 대부분은 오염원과 관계 있다<sup>14)</sup>는 점에서 Na<sup>+</sup>와 Cl<sup>-</sup>외의 대부분의 성분들은 유사한 오염원을 가지고 있음을 내포하며, 이는 인접한 공단지역에서의 오염물 배출 때문인 것으로 사료된다. 한편, PM<sub>10</sub>은 Pb, Fe에 대해 매우 유의한 상관성(p<0.01)을, Cd과는 유의한 상관성(p<0.05)을 보였으나, 풍속과의 역상관성이 나타나 풍속이 강할 때 금속원소 농도가 감소한다는 사실과 일치하였다. 또한, 풍속과 PM<sub>10</sub> 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>는 강한 음의 상관성을 나타내었으며 나머지 성분도 유의하지는 않지만 모두 음의 상관성을 나타내었다. 또 습도와의 관계에서도 많은 성분들이 음의 상관성을 나타내었고 Fe와의 관계에서도 유의한 음의 상관성을 보였다.

## IV. 결 론

본 연구는 1998년 6월부터 1999년 5월까지 1년간 총 84개의 PM<sub>10</sub> 시료를 이용하여 중금속 5종과 이온 성분 7종에 대한 화학분석을 하고 기상인자와의 관련성을 조사한 결론은 다음과 같다.

1. 연구 기간동안 PM<sub>10</sub>의 평균 농도는 67.2 µg/m<sup>3</sup>이었고, 이 중 27.4%는 연평균 대기허용기준을 초과했다. 또한 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K, Mg 등은 겨울철에 높고 가을철에 낮았고, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>는 여름철에 높고 봄철에

낮은 계절적 경향을 보였다. 또한 총 이온농도는 여름과 겨울에 높았고, 가을철에 가장 낮은 농도를 보였는데 이는 풍향의 영향으로 사료된다.

2. 측정지점에서 PM<sub>10</sub> 중 이온 성분비는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 평균 66%로 가장 높았고, Cl<sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 순이었고, 음이온이 양이온의 4배 이상을 차지하였다.

3. 각 금속원소의 평균 농도는 Fe 1182 ng/m<sup>3</sup>, Pb 83.9 ng/m<sup>3</sup>, Zn 62.98 ng/m<sup>3</sup>, Cr 46.3 ng/m<sup>3</sup> 그리고 Cd 2.2 ng/m<sup>3</sup>로 었으며, Cr 이외의 원소는 겨울철에 높은 경향을 보였고, 이온 성분의 경우와 유사하게 대체적으로 가을철에 낮은 농도를 보였다.

4. 주풍인 서풍계열에서와 비 주풍인 동풍계열의 풍향에서 PM<sub>10</sub> 및 각 성분들간의 농도관계는 Cr을 제외한 모든 원소에서 서풍계열의 바람이 불 때 높은 농도를 나타냈는데 이는 공단지역의 오염원에 큰 영향을 받고 있다고 사료된다.

5. PM<sub>10</sub> 및 각 성분간의 상관분석결과 Na<sup>+</sup>와 Cl<sup>-</sup>을 제외한 대부분의 성분에서 상호간의 유의한 상관성을 보였는데, 이는 Na<sup>+</sup> 및 Cl<sup>-</sup>과 일부 물질들을 제외한 나머지는 서로 유사한 발생원을 가지고 있음을 시사하고, Na<sup>+</sup>와 Cl<sup>-</sup>은 해양기원으로 추정된다.

## 감사의 글

이 논문은 1999년 군산대학교 수산과학연구소에서 일부 출연한 학술연구비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) Schwartz, J.: Particulate air pollution and chronic respiratory disease. *Envir. Res.* **62**, 7-13, 1993.
- 2) Pope, A. and Dockery, D. W.: Acute health effects of PM<sub>10</sub> pollution on symptomatic and asymptomatic children. *Am. Rev. Dis.* **145**, 1123-1128, 1992.
- 3) Dockery, D. W., Pope, C. A., Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., Ferris, B. G., and Speizer, F. E.: An association between air pollution and mortality in six U. S. cities. *New Eng. J. Med.* **329**, 1753-1759, 1993.
- 4) Seaton, A., MacNee, W., Donaldson, K. and Godden, D.: Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet* **345**, 176-178, 1995.
- 5) Braun, Ch, Ackermann, U., Schwartz, J., Gnehm, H. P., Rutishauser, M. and Wanner, H. U.: Air Pollution and respiratory symptoms in preschool children. *Am. Rev. Respir.* **145**, 42-47, 1992.
- 6) Ackermann-Liebrich, U. A., Leuenberger, Ph.,

- Schwartz, J., Schindler, Ch., Monn, Ch. and SAPALDIA-team: Lung function and long term exposure to air pollutants in Switzerland. *Am. J. Respir. Crit. Care. Med.* **155**, 122-129, 1997.
- 7) QUARG: Quality of Urban Air Review Group: Airborne Particulate Matter in the United Kingdom, Third Report. Department of the Environment, United Kingdom. ii+176 pp, 1996.
  - 8) Chow, J.: Measurement methods to determine compliance with ambient air quality standards for suspended particles. *Journal of Air Waste Management Association* **45**, 320-382, 1995.
  - 9) Spengler, J. D., Koutrakis, P., Dockery, D. W., Raizenne, M. and Speizer, F. E.: Health effects of acid aerosols on north american children: air pollution exposures; *Environ. Health Perspect.*, **104**(5), 492-499, 1996.
  - 10) 김성천 : 기후 상태가 PM<sub>10</sub> 및 일부 금속원소 농도에 미치는 영향, *한국환경위생학회지*, **25**(2), 39-47, 1999.
  - 11) 김기현, 이강웅 : 해양환경의 에어로졸 화학-농도와 함량비를 이용한 이온성분간의 관계에 대한 추론, *한국대기보전학회지*, **14**(2), 143-152, 1998.
  - 12) 한진석, 김신도 : 서울시 대기 중 입자상 오염물질의 조성에 관한 연구, *한국대기보전학회지*, **12**(4), 389-398, 1996.
  - 13) Saskia C. Van Der Zee, Hock, Gerard, Harssema, Hendrik and Brunekreef. Bert: Characterization of particulate air pollution in urban and non-urban areas in the Netherlands. *Atmospheric Environment*, **21**, 3717-3729, 1998.
  - 14) Stasangi, A. Lankhani, P. Khare, Singh, S. P., Kumari, K. M. and Srivastava, S. S.: Composition of rain water at a semi-arid rural site in india. **21**, 3783-3793, 1998.