

## 부산 서부지역의 대기 중 PM<sub>10</sub> 농도와 화학적 조성 분석

황 용 식 · 전 병 일  
인제대학교 산업의학연구소 · 신라대학교 환경공학과  
(2003년 4월 14일 접수; 2003년 6월 19일 채택)

## PM<sub>10</sub> Concentration and Chemical Composition in Western Area of Busan

Yong-Sik Hwang and Byung-II Jeon\*

Institute of Industrial Medicine and Dept. of Environmental Occupational Medicine, Inje Univ., Gimhae 621-749, Korea  
Department of Environmental Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea  
(Manuscript received 14 April, 2003; accepted 19 June, 2003)

The PM<sub>10</sub> concentration and chemical composition in an western area of Busan were surveyed between March, 2001 and February, 2002. The mean concentration was 98.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  with a range of 18.1 to 330.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . The magnitude of metallic elements in PM<sub>10</sub> is as follows in decreasing order: K>Ca>Na>Al>Fe. The mean values of crustal enrichment factors for four elements (Cd, Ni, Pb and Zn) were all higher than 10, which presumably resulted from the effect of anthropogenic origin. Moreover, the wintertime values were higher than springtime and summertime values, possibly due to emissions westerly transported from industries around this area. The contribution of soil particle to airborne particle in the study area was estimated to be 9.5%.

Key words : PM<sub>10</sub>, Metallic elements, Crustal enrichment factor

### 1. 서 론

대기 중에 존재하는 먼지는 일반적으로 입자크기가  $10\mu\text{m}$ 이상의 거대입자와  $10\mu\text{m}$ 미만의 미세입자로 구분할 수 있다. 거대입자는 바람에 날려 올라간 토양의 먼지 및 해염을 비롯한 자연적인 원인으로부터 발생된 것이 대부분이며, 미세입자는 화석연료의 연소, 자동차 배출가스 및 화학물질의 제조과정 등과 같은 인위적인 발생원에 의한 것과 아황산가스나 휘발성 유기화합물 등이 응축과정을 거쳐 가스상 물질에서 입자상 물질로 변환된 2차 분진으로 생성된다. 거대입자는 인체유입 시에 코의 섬모나 기도 등에 걸려 폐 깊숙이 침투되지 못하지만, 미세먼지의 경우, 그 자체로서 인체피해 뿐만 아니라 금속, 유기물, 산, 이산화질소 그리고 기타 오염물질 등과 결합하여 2차 오염물질로 변한 후 인체흡입시 기관지 또는 폐포 부위에 도달, 침착하기 쉽기 때문에

건강상의 피해를 유발한다. 한 예로 미국 151개 대도시의 성인 55만 명을 대상으로 조사한 결과에 의하면, 미세먼지 오염수준 순위가 최상위인 도시는 최하위의 도시보다 사망률이 17%나 높은 것으로 분석되었다. 또한 미국 캘리포니아 주에서는 자동차의 미세먼지로 인하여 인구 100만명 당 약 1,000명 정도가 매년 암에 걸려 추가 사망하는 것으로 추정되고 있다.<sup>1)</sup>

국내의 PM<sub>10</sub>에 관한 연구는 주로 서울을 포함한 대도시에서 주로 많은 연구가 수행되었다. 특히 최재천 등<sup>2-5)</sup>은 서울지역에서 봄철 황사발생시에 PM<sub>10</sub>에 포함된 중금속과 이온성분의 특성을 고찰한 바 있으며, 김병화와 김동술<sup>6)</sup>은 수원지역에서 PM<sub>2.5</sub>와 PM<sub>10</sub>을 포집하여 화학적 조성을 연구하였다. 최성우와 송형도<sup>7)</sup>는 대구에서 PM<sub>10</sub>을 측정하여 미량금속성분의 발생원의 특성을 연구하였고, 최진수와 백성옥<sup>8)</sup>은 대구지역에서 대기 중 TSP와 PM<sub>10</sub>농도와 관련성에 대해 연구하였으며, 오진만과 김득수<sup>9)</sup>는 군산지역에서 PM<sub>10</sub>의 계절적 농도변화와 화학적 조성에 관한 연구를 하였으며, 김성천<sup>10)</sup>은 군산지역에

Corresponding Author : Byung-II Jeon, Department of Environmental Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

Phone : +82-51-309-5056  
E-mail : bijeon@silla.ac.kr

서 기후상태가  $PM_{10}$  및 일부 금속원소에 미치는 영향에 대해 연구한 바 있으며, 나덕재와 이병규<sup>11)</sup>는 울산에서 대기 중  $PM_{10}$ 의 농도와 금속원소 성분의 특성을 연구하였다. Triantafyllou<sup>12)</sup>는 그리스의 산업지대에서 고농도  $PM_{10}$ 이 나타난 날을 대상으로 종관기상학적 조건을 조사한 바 있으며, McKendry<sup>13)</sup>는 캐나다의 Lower Fraser Valley에서 고농도  $PM_{10}$  발생일에 기상학적 조건의 시간, 공간적인 변화를 연구한 바 있고, Yang<sup>14)</sup>은 타이완에서  $PM_{10}$  농도의 공간적, 시간적 변화를 체계적으로 연구한 바 있다.

본 연구지역인 부산에서는 최근 찬 등<sup>15)</sup>이 입자상 물질을 조대입자와 미세입자로 분급 포집하여 농도의 특성을 고찰한 바 있고, 전보경 등<sup>16)</sup>이 particulate sampler로  $PM_{2.5}$ 를 포집하여 이온 및 미량 금속 성분의 화학적 성분을 조사한 있으며, 정장표 등<sup>17)</sup>은  $PM_{10}$ 의 화학적 성분을 낮과 밤으로 나누어 그 특성을 고찰하였으며, 전병일 등<sup>18)</sup>은 1999년 1월의 황사발생이 부산의 부유분진농도에 미치는 영향을  $PM_{10}$ 으로 설명한 바 있다.

본 연구에서는 2001년 3월부터 2002년 2월까지(7월부터 11월까지 측정하지 못함) 부산 서부지역에서  $PM_{10}$ 을 포집하여,  $PM_{10}$ 의 질량농도 특성과 화학적 조성을 고찰하는 것이 본 연구의 목적이다.

## 2. 측정 및 분석방법

시료채취 지점은 Fig. 1과 같이 부산시 사상구 괘법동 백양산 기슭에 위치한 신라대학교 자연관 6층 옥상에서 실시하였으며, 측정지점의 주위는 백양산으로 둘러싸여 있으며 남서쪽으로 계곡이 있고 약 3km 떨어진 지역에 사상공업지역이 위치하고 있으나, 최근에는 많은 공장이 타 지역으로 이주하여 점

오염원의 영향이 많이 소멸한데 비해, 대형 유통단지가 들어섬에 따라 자동차의 증가가 뚜렷하여 선오염원에 의한 영향이 증가되고 있다. 측정지점 주위의 특별한 점오염원은 사상지역에서 남쪽으로 5km떨어진 신평·장림공단에 많이 분포하고 있고, 남서풍이 유입될 경우에는 신평·장림공단과 사상지역에서 오염물질이 이류하여, 본 측정지점에 영향을 미칠 수 있다.

$PM_{10}$ 의 측정은 2001년 3월 5일, 20일, 4월 5일, 20일, 5월 7일, 20일, 6월 8일, 20일, 12월 5일, 20일, 2002년 1월 5일, 20일, 2월 5일, 20일로 총 14일이다. 측정일은 강우가 없는 날만을 대상으로 매월 5일과 20일 전·후의 날짜를 선택하였으며, 해당 월의 대표성을 확보하기 위해 노력하였다. 그러나 7월부터 11월까지는 측정기기의 이상으로 하계와 추계의 자료는 본 연구에서 사용하지 못하였다. 측정시간은 24시간으로 당일 오전 9시에 측정을 개시하여 익일 오전 9시에 종료하였다.  $PM_{10}$  측정은 Mini Volume Air Sampler(미국 Air Metrics사 제품)를 사용하였으며, 흡인유속은 5.0 l/min으로 조정하여 47mm Membrane Filter(Gelma Sciences)에 24시간  $PM_{10}$  시료를 흡인 포집하였다. 이 포집장치는 진공도가 높고 유량이 크며, 운반이 용이하고 맥동이 없이 고르게 작동하는 것이 특징이며 관성충돌방식에 의해 10μm이하 되는 입자를 분리하는 시료도입방식을 사용하고 있다. 시료포집장치는 MINI PUMP(Model MP- 603T)로 최대 흡기량 5 l/min(무부하시)의 pump로 광범위한 유량변화가 가능하며 유해가스와 일반가스의 sampling에 사용할 수 있다.

$PM_{10}$ 의 질량농도를 측정하기 위하여 여과지를 105°C에서 2시간 건조하고, 감도가 0.01mg인 전자저울(Saritorious microbalance, Germany)로 먼지시료 채취 전·후의 무게를 칭량한 후의 중량차로서  $PM_{10}$ 의 농도를 구하였다. 그리고  $PM_{10}$  중의 미량 금속 성분을 정량하기 위하여 대기오염공정시험법<sup>19)</sup>에 의거하여 질산-염산 혼합액에 의한 초음파 추출법(먼지가 포집된 여과지를 비커에 옮기고, 1.3M 질산과 2.23M 염산의 혼합액(1:1)을 7.5 ml 가한 다음 초음파 처리가 끝나면 비커를 꺼내어 식힌 다음 여과지(Whatman, No.5A)를 이용하여 시료 용액을 여과하고, 종류수로 최종액량이 25 ml가 되도록 하여 최종액의 질산-염산 농도가 0.31M 질산과 0.67M 염산의 혼합액(1:1)이 되도록 한다.)으로 전처리 한 후 Table 1과 같은 조건으로 ICP/AES(ICP -IRIS, Thermo Jarrell Ash Co., USA)를 이용하여 Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Si 그리고 Zn을 분석하였으며,

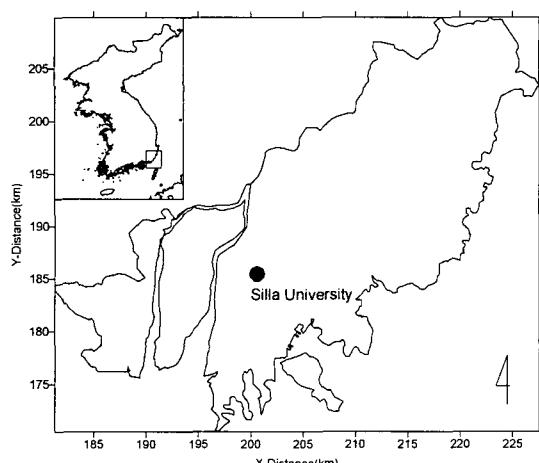


Fig. 1.  $PM_{10}$  monitoring site at Busan.

## 부산 서부지역의 대기 중 PM<sub>10</sub> 농도와 화학적 조성 분석

AAS(Perkin Elmer 4100ZL, Flameless method)을 이용하여 Cd, Cr, Mn, Ni 그리고 Pb를 정량하였다. 또한 이를 각 금속 성분들의 정도를 관리하기 위하여 NIST SRM(3087a)을 이용하였다.

### 3. 측정결과 및 고찰

#### 3.1. PM<sub>10</sub>의 질량농도와 화학적 조성

Table 2는 본 연구지역인 신라대학교 6층 옥상에서 측정된 PM<sub>10</sub>의 질량농도와 PM<sub>10</sub> 중에 포함된 각 금속원소의 평균값, 최소값, 최대값 그리고 표준편차를 나타낸 것으로, Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Si 및 Zn의 8개 항목은  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb의 5개 항목은  $\text{ng}/\text{m}^3$ 으로 나타내었다. 먼저 PM<sub>10</sub>의 질량농도는 평균  $98.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 최대  $330.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 최소  $18.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 측정자료 중 최대농도는 2002년 2월 5일 09시부터 22일 09시까지 측정한 날에 나타났으며, 최저농도는 2001년 12월 20일로 측정일의 몇 일전 연속 3일간 강수현상이 있었고, 평균 풍속이 2.5 %로 강하지 않아 대기 중 PM<sub>10</sub>농도가 낮게 측정되었다고 판단된다.

Al의 평균농도는  $0.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 최대농도와 최소농도는 각각  $3.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, Ca의 평균농도는  $1.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 최대농도와 최소농도는 각각  $4.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $0.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. Fe는 암석의 풍화와 같은 토양에 기인하여 자연적으로 발생하는 것과 석탄, 중유의 연소, 산화철의 비산 등과 같은 인위적인 오염원으로부터 발생하며, 평균농도는  $0.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 최대농도와 최소농도는 각각  $3.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. K과 Mg의 평균농도는 각각  $1.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $0.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 최대농도와 최소농도는 각각  $2.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과  $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. Na는 해염, 농작물 소각, 유리제조업 등에서 발생하며, 평균농도는  $0.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 최대  $1.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 최소  $0.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 이었으며, Si농도는 평균  $0.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 최대  $1.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 최소  $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 이었다. Zn은 기름연료의 사용, 자동차 타이어 마모, 브레이크 라이닝 마모, 윤활유와 같은 자동차에 의한 영향으로 발생하며, 평균농

도는  $0.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 최대농도와 최소농도는 각각  $0.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 이는 산업도시인 울산지역을 중심으로 조사한 나덕재와 이병규<sup>11)</sup>의  $49.5 \text{ ng}/\text{m}^3$ 보다 높은 농도를 보였다.

Cd은 내식성이 강해 니켈, 알루미늄 등의 합금, 전기도금에 널리 사용되며, 금속의 용접, 반도체, 자동차 엔진, 항공기, 축전지, 색소, 살충제 및 유리제조 등에 광범위하게 활용되어 발생할 수 있고, 평균농도는  $2.72 \text{ ng}/\text{m}^3$ , 최대농도와 최소농도는 각각  $5.32 \text{ ng}/\text{m}^3$ ,  $0.48 \text{ ng}/\text{m}^3$ 이었다. Cr은 크롬철 생성, 광석제련과정, 화학 및 내화공정, 도금 및 합금, 화학연료의 연소 등에서 발생하며, 평균농도는  $5.53 \text{ ng}/\text{m}^3$ , 최대농도와 최소농도는  $18.06 \text{ ng}/\text{m}^3$ ,  $0.35 \text{ ng}/\text{m}^3$ 이었다. Mn의 평균농도는  $17.16 \text{ ng}/\text{m}^3$ , 최대농도와 최소농도는 각각  $70.49 \text{ ng}/\text{m}^3$ ,  $2.43 \text{ ng}/\text{m}^3$ 이었다. Ni은 석탄이나 유류의 연소, 니켈 제련 및 도시 폐기물 소각 등에서 주로 발생하며, 평균농도는  $8.60 \text{ ng}/\text{m}^3$ , 최대농도와 최소농도는 각각  $22.95 \text{ ng}/\text{m}^3$ ,  $1.63 \text{ ng}/\text{m}^3$ 이었다. Pb은 자동차의 배기ガ스, 석탄의 연소, 인쇄소, 페인트제조, 유연휘발유 연소와 같은 오염원에 의해 발생하며, 평균농도는  $39.11 \text{ ng}/\text{m}^3$ , 최대농도와 최소농도는 각각  $97.57 \text{ ng}/\text{m}^3$ ,  $16.32 \text{ ng}/\text{m}^3$ 이었다.

Table 3은 본 연구에서의 PM<sub>10</sub> 중 금속성분들과 타 지역의 연구결과를 비교한 것이다. 토양기원인 Al, Ca, Fe 및 Si는 봄철(3~5월), 여름철(6월) 및 겨울철(12~2월) 순으로서 봄철에 가장 높은 농도를 보였다. 특히, Al의 경우 봄철의 농도는 이탈리아의 Milan<sup>21)</sup>과 유사하였으나, 평균농도는 대구지역<sup>7)</sup>보다 높았다. Ca의 경우 토양기원과 각종 건축물 및 건설

Table 2. Descriptive statistics of metallic elements in PM<sub>10</sub>, 2002 in Busan

Elements	Items				Units
	Mean	Minimum	Maximum	Std. Dev.	
Mass	98.21	18.06	330.56	84.72	
Al	0.76	0.03	3.50	1.02	
Ca	1.12	0.26	4.52	1.12	
Fe	0.75	0.03	3.21	0.90	
K	1.23	0.02	2.56	0.89	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Mg	0.33	0.03	1.51	0.39	
Na	0.79	0.00	1.25	0.35	
Si	0.36	0.03	1.17	0.35	
Zn	0.30	0.07	0.62	0.16	
Cd	2.72	0.48	5.32	1.43	
Cr	5.53	0.35	18.06	5.02	
Mn	17.16	2.43	70.49	19.82	$\text{ng}/\text{m}^3$
Ni	8.60	1.63	22.95	6.79	
Pb	39.11	16.32	97.57	25.07	

Table 1. ICP/AES operating conditions

ICP/AES (ICP-IRIS)	
Maker	Thermo Jarrell Ash (USA)
Max power	2.0 KW
RF frequency	27.12 MHz
Wavelength range	174~800 nm
Detector	CID
Injection flow rate	2.035 ml/min
Nebulizer pressure	32 psi
RF power	1150 W

## 황 용 식 · 전 병 일

Table 3. Comparison of metal concentrations(ng/m<sup>3</sup>) of PM<sub>10</sub> in various cities

Elements	This study				Seoul <sup>a)</sup>	Seoul <sup>b)</sup>	Daegu <sup>c)</sup>	Milan <sup>d)</sup> (Italy)
	Spring	Summer	Winter	Mean				
Al	1460.7	543.4	129.6	759.2	1322±916	1800	326.3	1420
Ca	1810.2	703.1	557.3	1115.1	893±604	1280		1415
Cd	2.0	3.1	3.3	2.7		2.4	3.0	
Cr	9.1	1.0	3.5	5.5	6.3±3.4	8.6	41.0	7
Fe	1443.3	517.4	133.7	749.8	1001±490	1320	530.5	1835
K	1109.4	276.0	1670.4	1230.8	851±459			480
Mg	565.4	208.3	136.6	330.6		460		
Mn	31.0	12.0	5.1	17.2	34.5±16.6	42.0	13.5	35
Na	853.5	745.5	733.8	786.8	559±237	510		
Ni	6.8	20.6	6.5	8.6	33.6±11.7	7.3	32.0	5
Pb	42.3	18.2	42.9	39.1	248±137	70.5	58.3	215
Si	505.6	401.0	205.4	362.0	2761±1899			4160
Zn	358.8	347.2	231.5	302.6	323±152	202	118.5	213

<sup>a)</sup> 신은상 등<sup>22)</sup>, mean of 60 samples (PM<sub>10</sub>) during the annual

<sup>b)</sup> 최재천 등<sup>4)</sup>, mean of 45 samples (PM<sub>10</sub>) during the spring

<sup>c)</sup> 최성우와 송형도<sup>7)</sup>, mean of 84 samples (PM<sub>10</sub>) during the annual

<sup>d)</sup> Marcazzan *et al.*<sup>21)</sup>, mean of 47 samples (PM<sub>10</sub>) during the winter and summer

공사장으로부터 기인될 수 있는 성분으로서, 봄철의 경우 서울지역<sup>4)</sup>보다 높게 나타났으나, 평균농도는 Milan<sup>21)</sup>보다는 낮았으며 서울지역<sup>22)</sup>보다는 높았다. Fe의 경우 봄철에 가장 높은 농도를 보였으며, 서울지역<sup>4)</sup>보다 높게 나타났다. 평균농도는 대구지역<sup>7)</sup>보다 높고 서울지역<sup>22)</sup>과 Milan<sup>21)</sup>보다는 낮았다. 토사 및 도로변 먼지가 기원인 동시에 철강공업에서 기인되는 Mn은 서울지역<sup>4,22)</sup>과 Milan<sup>21)</sup>보다는 낮았으나, 대구지역<sup>7)</sup>보다는 높게 나타났다.

Cd, Cr, Ni, Pb 및 Zn은 인위적 기원으로서 연구 지역의 대기오염을 평가하는데 중요한 지표로 활용할 수 있다. Cd은 겨울철에 가장 높게 나타났으며, 봄철의 경우 서울지역<sup>4)</sup>보다는 다소 낮았으나 지역별로 큰 편차를 보이지는 않았다. Cr은 봄, 겨울 및 여름철 순으로 조사되었으며, 봄철의 경우 서울지역<sup>4)</sup>보다는 다소 높았으나 평균농도는 서울지역<sup>22)</sup>과 Milan<sup>21)</sup>보다는 다소 낮았으며, 대구지역<sup>7)</sup>과는 많은 차이를 보였다. Ni은 여름, 봄 및 겨울철 순으로 나타났으며, 평균농도는 서울지역<sup>22)</sup>과 대구지역<sup>7)</sup>보다는 낮았으나 Milan<sup>21)</sup>보다는 높게 나타났다. 또한 Pb는 겨울철에 가장 높은 농도를 보였으며, 다른 지역에 비하여 인위적인 오염원의 영향을 적게 받는 것으로 생각되지만, 겨울철의 고농도는 인근 도로와 공단지역으로부터 이류되였음을 알 수 있었다. 여름철의 저농도는 많은 강수의 빈도에 의하여 대기가 세정되어 미세입자의 일부가 제거됨으로서 봄과 겨

울철에 비하여 낮게 나타난 것으로 볼 수 있다. 차량의 타이어나 라이닝의 마모에 기인하는 Zn의 평균 농도는 서울지역<sup>22)</sup>과는 유사한 분포를 보였으나, 대구지역<sup>7)</sup>과 Milan<sup>21)</sup>보다는 높았다. K의 경우 해양뿐만 아니라 건초의 소각에 의해서 많은 농도의 차이를 볼 수 있다. 특히, 겨울, 봄 및 여름철 순으로 조사되어 연구지역의 서쪽에 위치한 김해 평야에서 겨울철 다량의 미세입자가 유입되어 고농도 현상을 보였다. 이러한 현상은 부산지역의 강하먼지<sup>23)</sup>에서도 확인된 바 있다. 평균농도는 서울지역<sup>22)</sup>과 Milan<sup>21)</sup>보다 높게 나타났다.

### 3.2. 지각 농축계수

Fig. 2는 대기부유분진 중 각 원소의 농도를 기준으로 각 원소의 지각농축계수를 계산하여 나타낸 것이다. 기준물질을 Al로 하고 각 원소의 지각 구성비는 식 (1)을 사용하여 구하였다.

$$EF = \frac{[x/Al]_{\text{sample}}}{[x/Al]_{\text{crust}}} \quad (1)$$

여기서, [x/Al]은 대기부유분진 중 또는 토양 중의 원소 x와 Al의 농도비를 나타낸다. Al은 토양입자 유래의 전형적인 원소이기 때문에 EF값이 높을 수록 인위적인 발생원 유래의 원소라고 할 수 있다. 대기먼지시료에서 측정한 Na, K, Ca, Mg 및 Fe의 EF값은 Al과 거의 비슷한 1에 가까워 이러한 원소들은 토양입자에 많이 함유된 자연발생원에 의한

## 부산 서부지역의 대기 중 PM<sub>10</sub> 농도와 화학적 조성 분석

것으로 추정된다.

봄철(3~5월), 여름철(6월) 및 겨울철(12~2월)로 구분하여 살펴본 결과, Cd, Ni, Pb 및 Zn은 평균 지각농축계수가 10이상으로서 인위적인 기원으로 나타났다. 봄철과 여름철에 비하여 서풍계열의 바람이 우세한 겨울철에 매우 높은 값을 보였으며, 연구 지역의 서쪽에 인접한 사상공단과 서남쪽에 위치한 신령·장림공단으로부터 서풍계열의 바람을 타고 측정지점으로 이동되었음을 간접적으로 알 수 있었다. 이러한 먼지의 계절적 차이는 한반도 전역에서 관측될 수 있는 현상으로 북서 계절풍의 영향을 받으며 주변 지역의 대기오염에 따라서 큰 차이를 줄 수 있다.<sup>24)</sup>

Table 4는 PM<sub>10</sub>으로부터 구해진 각종 금속 성분들의 지각농축계수를 다른 지역과 비교하였다. Cd은 PM<sub>10</sub>을 대상으로 한 대구지역<sup>7)</sup>보다는 낮았으나, TSP를 대상으로 한 제주지역<sup>24)</sup>과 소백산<sup>25)</sup>의 지각농축계수보다는 높았다. Ni의 경우 대구지역<sup>7)</sup>보다 8.7배 낮게 나타났으며, Zn은 대구지역<sup>7)</sup>보다 다소 높았으나 다른 금속들은 낮았다. 특히 Cd, Ni 및 Zn과 같은 인위적 기원의 중금속은 TSP를 중심으로 제주지역<sup>24)</sup>과 소백산<sup>25)</sup>에서 조사된 지각농축계수보다 높게 나타나 최성우와 송형도<sup>7)</sup>의 연구에서 보인 PM<sub>10</sub>과 TSP의 차이와 마찬가지로 이들 성분들은 PM<sub>10</sub>과 같은 미세입자 영역에서 많은 조성을 보였다.

### 3.3. 토양입자의 기여율

대기 중에 부유하는 토양입자의 양을 정량적으로 구하기 위하여 토양입자의 지표원소인 알루미늄(Al)을 이용하여 황사로부터 유래된 토양입자의 농도를 추정하였으며, 토양 기여율은 식 (2)를 이용하였다.<sup>23)</sup>

$$C = \frac{C_{\text{soil}}}{C_{\text{PM10}}} \times 100 = \frac{C_{\text{Al}}/0.0813}{C_{\text{PM10}}} \times 100 \quad (2)$$

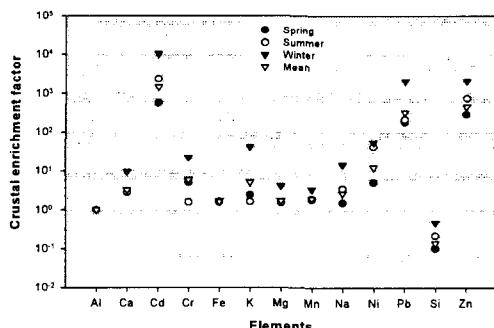


Fig. 2. Enrichment factor of each element relative to crustal composition and normalized by Al at Busan.

여기서, C<sub>soil</sub>은 먼지 중 토양입자의 농도( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), C<sub>PM10</sub>은 부유분진의 농도( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), C<sub>Al</sub>은 부유분진 중의 Al의 농도( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 0.0813은 토양 중 Al의 농도이다.

토양입자의 기여율은 12월에 33.6%로서 가장 높았으며, 2월이 0.5%로 가장 낮게 나타났다. 특히 봄철인 3월과 4월은 각각 20.1%와 32.6%로서 토양입자의 영향을 많이 받고 있음을 보였고, 2월의 경우는 PM<sub>10</sub>의 농도가 266.67  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 매우 높았으나 토양입자의 기여율은 0.5%로 가장 낮았다. 그리고 평균 토양입자의 기여율은 9.5%로 나타났다. 전병일과 황용식<sup>26)</sup>의 2002년 봄철 부산지역의 황사/비황사시의 토양입자의 기여율을 조사에 의하면, 황사시에 21.7%, 비황사시에 9.3%인 것과 비교하여 보면, 본 연구의 평균 토양입자의 기여율은 비황사시의 값과 매우 유사하며, 황사시 보다는 매우 낮은 값을 나타내었다. 그러나 12월과 4월의 토양입자 기여율은 황사시의 값보다 높은 값을 나타내었다.

### 3.4. 원소간의 상관관계

Table 5는 PM<sub>10</sub> 중에 함유된 각 금속성분간의 상관관계를 조사하여 나타낸 것이다. Al은 Ca, Fe, Mg 및 Mn과 0.9이상으로 매우 높은 상관( $P<0.01$ )을 나타내었으며, Ca은 Fe, Mg 및 Mn과 0.9이상으로 유의한 상관( $P<0.01$ )을 보였다. 또한 Fe는 Mg 및 Mn 그리고 Mg는 Mn과 0.9이상의 매우 높은 상관( $P<0.01$ )을 나타내어 화학적 조성의 유사성을 알

Table 4. Comparison of crustal enrichment factors of PM<sub>10</sub> and TSP in various sites

Elements	This study	Daegu <sup>a)</sup>	Jeju <sup>b)</sup>	Mt Soback <sup>c)</sup>
Al	1.0	1.0	1.0	1.0
Ca	3.3		2.1	2.87
Cd	1455.3	3696.2	1156	827
Cr	5.9	10303.9		
Fe	1.6	2.4	1.9	0.94
K	5.1			
Mg	1.7		2.6	0.85
Mn	1.9	3.6	2.2	1.33
Na	2.6		26.9	1.02
Ni	12.3	106.7	4.1	2.5
Pb	322.2	1175.3	621	675
Si	0.1			
Zn	462.9	426.5	62	50.0

<sup>a)</sup> 최성우와 송형도<sup>7)</sup>, Daegu, E.F. of 84 samples (PM<sub>10</sub>)

<sup>b)</sup> 최만식과 박은주<sup>24)</sup>, Jeju Sungsan, E.F. of 76 samples (TSP)

<sup>c)</sup> 최만식 등<sup>25)</sup>, Mt. Soback, E.F. of 22 samples (TSP)

## 황 용 식 · 전 병 일

수 있었다. Ni은 Cd, Na 및 Si를 제외하고는 모두 음의 상관을 나타내었다. 또한 특히 인위적인 기원에 바탕을 둔 Mn이 Al, Ca, Cr, Fe, Mg 등 인위적 및 토양에 기원을 둔 물질과 동시에 높은 상관성을 갖는 것은 특이한 현상이라고 할 수 있다. 따라서 PM<sub>10</sub>의 조성에 관여하는 금속 원소들은 토양, 해양 및 인위적인 오염물질에 의한 기원을 동시에 포함하고 있으나 해양기원보다는 토양 및 인위적인 기원들 간의 상관성이 우세하게 나타났다.

### 4. 요 약

2001년 3월부터 2002년 2월까지 부산의 신라대학교 옥상에서 측정한 PM<sub>10</sub>의 질량농도와 화학적 성분을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

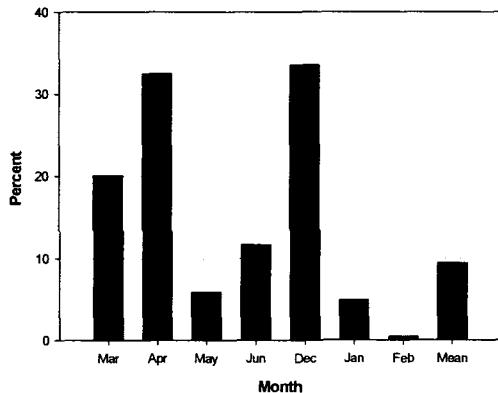


Fig. 3. Predicted contributions of soil to PM<sub>10</sub> in Busan from March 2001 to February 2002.

- PM<sub>10</sub>의 질량농도는 평균 98.21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며, 최고농도는 330.56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 연간 기준치인 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하였다. 또한 K(1.23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )>Ca (1.12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )>Na(0.79  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )>Al(0.76  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )>Fe (0.75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 순으로서 높은 조성을 보였고, Cd (2.72 ng/m<sup>3</sup>)이 가장 낮은 질량 농도를 보였다.
- Cd, Ni, Pb 및 Zn은 평균 지각농축계수가 10이상의 인위적인 기원으로 봄철과 여름철에 비하여 서풍계열의 바람이 우세한 겨울철에 매우 높은 값을 보였으며, 연구 지역의 서쪽에 인접한 사상공단과 서남쪽에 위치한 신평·장림공단으로부터 서풍계열의 바람을 타고 이동되었음을 알 수 있었다. 또한 이들 중금속은 미세입자의 조성에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 평균 토양입자의 기여율은 9.5%로 나타났다.
- PM<sub>10</sub>의 조성에 관여하는 금속 원소들은 토양, 해양 및 인위적인 오염물질에 의한 기원을 동시에 포함하고 있으나 해양기원보다는 토양 및 인위적인 기원들 간의 상관성이 우세하게 나타났다.

### 참 고 문 헌

- 김운수, 1997, 서울시 미세먼지 저감 및 관리방안, 서울시정개발연구원, 178pp.
- 최재천, 조하만, 김지영, 김산, 박기준, 1999a, 1998년 봄철 서울지역 에어로솔 중 TSP와 PM<sub>10</sub>의 화학적 특성 비교, 한국기상학회지, 35(1), 38-46.
- 최재천, 조하만, 박기준, 김산, 1999b, 서울과 안면도에서 관측된 에어로솔의 화학적 측성 비교, 한국기상학회지, 35(3), 396-404.

Table 5. The correlation matrix between each metallic elements in PM<sub>10</sub>

	Al	Ca	Cd	Cr	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Si
Al												
Ca	0.93**											
Cd	0.15	0.22										
Cr	0.84**	0.82**	0.21									
Fe	0.97**	0.96**	0.08	0.86**								
K	0.08	0.23	0.54*	0.41	0.11							
Mg	0.97**	0.98**	0.26	0.86**	0.97**	0.25						
Mn	0.96**	0.95**	0.13	0.84**	0.98**	0.09	0.96**					
Na	0.08	0.05	0.20	0.25	0.05	0.30	0.13	-0.01				
Ni	-0.21	-0.19	0.14	-0.28	-0.16	-0.34	-0.19	-0.18	0.02			
Pb	0.42	0.47	0.69**	0.44	0.35	0.46	0.47	0.40	0.16	-0.36		
Si	0.56*	0.49	0.22	0.35	0.55*	-0.28	0.51	0.56*	-0.21	0.21	0.34	
Zn	0.43	0.54*	-0.01	0.37	0.52	0.14	0.53*	0.54*	0.32	-0.03	0.01	-0.02

\* P<0.05, \*\* P<0.01

## 부산 서부지역의 대기 중 PM<sub>10</sub> 농도와 화학적 조성 분석

- 4) 최재천, 조하만, 전영신, 박기준, 1999c, 1998년 봄철 서울에서 관측된 에어로솔의 금속 성분에 관한 연구, 한국기상학회지, 35(2), 263-271.
- 5) 최재천, 오성남, 박기준, 2000, 1998년 서울의 봄 철 에어로솔 중 이온성분과 금속원소에 관한 연구, 한국기상학회지, 36(5), 551-560.
- 6) 김병화, 김동술, 2000, 수원지역 대기 중 PM<sub>2.5</sub>와 PM<sub>10</sub>의 환경거동에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 16(2), 89-101.
- 7) 최성우, 송형도, 2000, 대구지역 부유분진 중 미량금속성분의 발생원 특성연구, 한국대기환경학회지, 16(5), 469-476.
- 8) 최진수, 백성옥, 1998, 대기 중 TSP와 PM<sub>10</sub> 농도의 관련성, 한국대기보전학회지, 14(1), 1-10.
- 9) 오진만, 김득수, 2001, 군산지역 부유분진의 계절적 농도변화와 화학적 조성에 대한 연구, 한국대기환경학회지, 17(6), 475-485.
- 10) 김성천, 1999, 기후상태가 PM<sub>10</sub> 및 일부 금속원소 농도에 미치는 영향, 한국환경위생학회지, 25(2), 39-47.
- 11) 나덕재, 이병규, 2000, 산업도시 대기 중 PM<sub>10</sub>의 농도 및 금속원소 성분의 특성 연구, 한국대기환경학회지, 16(1), 23-35.
- 12) Triantafyllou, A. G., 2001, PM<sub>10</sub> pollution episodes as a function of synoptic climatology in a mountainous industrial area, Environmental Pollution, 112, 491-500.
- 13) McKendry, I. G., 2000, PM<sub>10</sub> levels in the Lower Fraser Valley, British Columbia, Canada: An overview of spatiotemporal variations and meteorological controls, J. Air & Waste Manage. Assoc., 50, 443-452.
- 14) Yang, K. L., 2002, Spatial and seasonal variation of PM<sub>10</sub> mass concentration in Taiwan, Atmos. Environ., 36, 3403-3411.
- 15) 최금찬, 유수영, 전보경, 2000, 부산지역의 입자 상 대기오염물질의 농도특성에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 26(2), 41-48.
- 16) 전보경, 서정민, 최금찬, 2001, 부산지역 PM<sub>2.5</sub>의 이온 및 미량 금속성분의 화학적 특성, 한국환경위생학회지, 27(4), 63-71.
- 17) 정장표, 이승묵, 윤항목, 2001, 부산시 PM<sub>10</sub>의 화학적성분에 대한 낮과 밤의 농도 특성, 대한환경공학회지, 23(3), 353-362.
- 18) 전병일, 박재림, 박종길, 2002, 1999년 1월의 황사 발생시 부산지역의 부유분진 특성, 한국환경과학회지, 11(10), 1,081-1,087.
- 19) 대기오염연구회, 2000, 환경분석을 위한 대기환경시험법, 동화기술, 514pp.
- 20) 기상청, 기상월보(2001, 2002)
- 21) Marcazzan, G. M., V. Stefano, V. Gianluigi, and V. Rroberta, 2001, Characterization of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> particulate matter in the ambient air of Milan(Italy), Atmospheric Environment, 35, 4639-4650.
- 22) 신은상, 최민규, 선우영, 정용삼, 2002, 서울지역의 PM<sub>10</sub> 중 미량원소의 특성 평가, 한국대기환경학회지, 18(5), 363-372.
- 23) 황용식, 2003, 부산지역 강하먼지의 화학적 조성과 대기환경적 특성, 부산대학교 박사학위논문, 250pp.
- 24) 최만식, 박은주, 1999, 제주도 대기 분진 중 미량금속의 농도 특성, 한국대기환경학회지, 15(6), 727-738.
- 25) 최만식, 이선기, 최재천, 이민영, 1995, 소백산 대기 중 입자상 물질의 화학적 특성에 관한 연구(II)-금속원소의 계절적인 변화와 기원을 중심으로, 한국대기보전학회지, 11(2), 191-198.
- 26) 전병일, 황용식, 2003, 2002년 부산지역 봄철 황사/비황사시 PM<sub>10</sub> 중의 중금속 농도 특성, 환경영향평가학회지, 투고중.