

# 산업도시 대기 중 PM<sub>10</sub>의 농도 및 금속원소 성분의 특성 연구

## A Study on the Characteristics of PM<sub>10</sub> and Air-borne Metallic Elements Produced in the Industrial City

나 덕 재 · 이 병 규  
울산대학교 토목환경공학부  
(1999년 10월 18일 접수, 1999년 12월 22일 채택)

Deok-Jae Na and Byeong-Kyu Lee  
*Dept. of Civil & Environmental Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea*  
(Received 18 October 1999; accepted 22 December 1999)

### Abstract

PM<sub>10</sub>, which is below 10 μm in a diameter, has a high deposition in the lung or the bronchus by breathing and is generally composed of a lot of organic matters, viruses, algae, mold, and metallic elements that are very toxic to people.

This study identified the characteristics of concentration of PM<sub>10</sub> and air-borne metallic elements produced in the industrial city, Ulsan, and analyzed the correlation between sources and generation patterns of PM<sub>10</sub> and metallic elements.

We classified the five areas (green, residential, heavy traffic, mechanic, and petrochemical and non-ferrous metal) which might have different characteristics of sources of PM<sub>10</sub> and metallic elements. The average concentrations of PM<sub>10</sub> in the five areas were as follows (petrochemical and non-ferrous metal (99.9 μg/m<sup>3</sup>) > mechanic (77.5 μg/m<sup>3</sup>) > heavy traffic (47.1 μg/m<sup>3</sup>) > residential (39.3 μg/m<sup>3</sup>) > green (32.8 μg/m<sup>3</sup>)). Those of petrochemical and non-ferrous metal areas were higher than other areas. In this study, the average concentration trend of metallic elements contained in PM<sub>10</sub> are shown as follows: Fe > Zn > Pb > Cu > Mn > Cr > As > Cd > Sn > Hg, respectively. The metallic elements identified in PM<sub>10</sub> showed the highest concentration in the petrochemical and non-ferrous areas.

Metal combinations showed that a high correlation among concentrations of heavy metals were as follows: As, Cd and Fe in the residential area; Zn, Mn, Cu and Pb in the mechanical area; and Zn, Cu, As, Pb in the petrochemical and non-ferrous industrial area.

**Key words** : Industrial city, PM<sub>10</sub>, Metallic elements, Industrial complex

### 1. 서 론

현대화된 시대인 오늘날은 인구, 산업, 경제 활동

이 도시에 집중되어 발달되고 있으며, 도시에서의 활동증가로 인한 교통량도 급격히 증가하고 있다. 급격히 증가된 인간의 생활환경 변화로 인한 오염 물질의 배출도 역시 급격히 증가하여 우리의 주변

환경을 심각하게 오염시키고 있다.

대기 오염물질 중에 부유분진(Suspended Particulate Matters)은 대기 중에 부유하는 미세한 고체상의 또는 액체상의 입자이며, 상당기간 동안 대기 중에 체류하는데 1차 입자와 2차 입자로 구분된다. 1차 입자는 해염입자와 토양입자 등의 자연 발생원에서 유래하는 물질들이며, 2차 입자는 기체로 방출되는 물질들이 다양한 화학반응에 의하여 입자상 물질로 변환된 것이다.

대기 중의 부유분진은 대기오염을 측정하는 일반 지표중의 한 항목으로 보통 대기의 단위체 적당 무게( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )로써 그 오염정도를 판단하고 있다. 대기 중에는 오염물질의 오염원만도 130개 이상이 존재할 뿐만 아니라, 단일 화학물질로는 약 2,800여 가지 이상의 화학물질이 포함되어 있다. 따라서, 대기 부유분진은 응축핵을 중심으로 가스상, 입자상 물질들이 혼합되어 있는 화학적 복합체라고 할 수 있다(신동천 등, 1996; Graedel *et al.*, 1986)

입경이  $10\mu\text{m}$  이하의 입자( $\text{PM}_{10}$ )들은 자동차, 트럭, 버스와 같은 이동 오염원과 각종 공장의 굴뚝이나 물리화학적 공정 등과 같은 고정오염원에 의해 주로 인위적으로 방출된다. 분진의 입경이  $10\mu\text{m}$ 보다 큰 입자는 호흡시 구강이나 코에서 대부분 걸러지나,  $10\mu\text{m}$  보다 작은 입자는 호흡기관을 통해 기관지나 폐의 허파피리 부분까지 침투하는 경향이 있다. 또한, 분진은 입자의 크기가 작을수록 상대적으로 표면적이 증가하여 각종 중금속과 유해 대기 오염물질과의 흡착이 용이하여 인체에 미치는 악영향을 가중시킨다(이해문 등, 1996; Simpson, 1992; John *et al.*, 1990). 이처럼  $10\mu\text{m}$  이하의 미세부유분진이 인체에 더욱 유해한 것으로 알려짐으로써 우리나라에서도 “총부유분진(Total Suspended Particulate : TSP)” 기준과 더불어 “ $\text{PM}_{10}$ ” 기준을 신설하여 1995년 1월 1일부터 시행하고 있으며, 기준치는 연평균  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$  및 일평균  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 그러나 1996년부터 선진국에서는 인간의 호흡시 체내축적률이 가장 높은 영역인  $2.5\mu\text{m}$  근처의 입자( $\text{PM}_{2.5}$ )에 대한 규제를 실시하고 있다(U.S. EPA, 1996).

대기 중 부유분진에는 여러 가지 금속성분, 유기물질, virus, 조류 및 곰팡이 등이 포함되어 있고, 금속원소 및 다환 방향족 탄화수소 등의 발암성 물질이 포함되기도 한다. 그래서, 입자상 물질들은 대기

환경을 오염시켜 진폐 allergy성 질환, 피부질환, 점막성 질환 및 암을 유발시키고 있으며, 가스상 물질과 함께 관심의 대상이 되고 있다(황재석, 1991).

중금속은 가장 오래전부터 알려진 독성물질로서, 주기율표내 원소 중 약 80개의 원소가 중금속으로 분류된다. 그 중 약 30가지 금속이 사람에게 독성을 발현하는 것으로 알려져 있고, 그 중 일부 중금속이 발암성을 가지고 있다. 또한, 중금속은 조직내 그들의 지속성 때문에 다른 유기성 발암물질에 대해 촉진제(Promoter) 또는 공동 발암원(Cocarcinogen)으로도 작용할 수 있다(신동천 등, 1994) 그럼에도 불구하고, 우리나라의 경우는 대기 중의 금속원소 중에 납(Pb) 한가지에 대해서만 3개월 평균치로  $1.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 규제하고 있다.

최근에는 High Volume Air Sampler 등을 이용하여 인위 발생원에 의한 대기 중 부유분진 농도 및 금속원소 함량에 대한 연구들이 활발하게 진행되고 있으나, 울산시와 같은 산업도시에서의 미세부유분진에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 산업도시인 울산시를 대기오염물 발생 특성이 다른 지역별로 구분하고, 이들 지역 각각에서  $\text{PM}_{10}$ 을 채취하여 각 지역별  $\text{PM}_{10}$  농도 특성을 분석하고,  $\text{PM}_{10}$  속에 함유된 금속원소의 성분 및 농도 특성을 분석하여 금속원소별 발생경향과 상관성을 규명해 보고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 시료채취 및 기간

시료채취 지점은 산업도시인 울산시를 성격이 다른 5개 지역(녹지지역, 주거지역, 교통밀집지역, 기계공단지역, 화학 및 비철금속 공단지역)으로 크게 구분한 뒤, 각 지역 특성별로 가장 대표적인 지점을 4~5개씩을 선정하였다. 본 연구에서 수행된 대기 중의  $\text{PM}_{10}$ 에 대한 시료채취 위치를 그림 1에 나타내었다.

1차 시료채취는 1997년 8월 29일부터 1997년 10월 26일까지를 1차 시료 채취기간(가을 시료)으로 간주하였고, 1차와 동일 채취 지점에서 1998년 2월 25일부터 1998년 4월 30일까지를 2차 시료 채취기간(봄 시료)으로 간주하였다. 채취 장비로서는  $\text{PM}_{10}$ 용 High Volume Air Sampler (Kimoto Electric Co.,

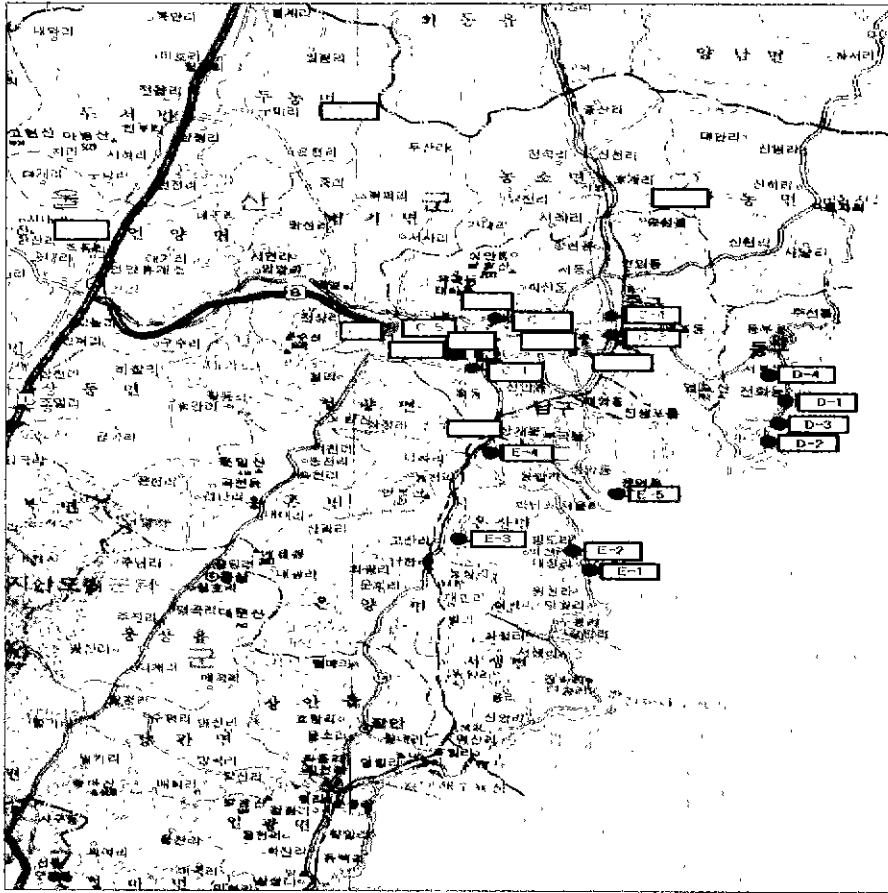


Fig. 1. Sampling sites for PM<sub>10</sub> and air-borne metallic elements.  
 A : Green, B : Residential, C : Heavy traffic, D : Mechanic, E : Petrochemical and non-ferrous areas

Ltd Model-121)를 사용하였는데, 흡인유량을 0.9~1.2 m<sup>3</sup>/mm로 조정하여 Glass Fiber Filter (GF-2000)에 20시간 이상씩 충분히 PM<sub>10</sub> 시료를 흡인 포집하였다. 각 지점별로 채취한 날은 모두 맑은 날을 택하여 채취하였고, 시료채취시 우천에 의한 오차를 줄이기 위하여 우천 후 2일 이후부터 시료를 포집하였다.

2.2 PM<sub>10</sub> 및 금속원소의 농도분석 방법

PM<sub>10</sub>의 농도 분석은 Glass Fiber Filter에 포집된 부유먼지의 양을 Gravimetric 방법을 이용하였다. 포집 전·후의 Filter를 항온·항습 상태의 메시케이터에서 3일간 보관하여 충분히 항량이 되게 한 후,

0.1 mg까지 측정 가능한 전자저울 (Fisher Scientific A-200DS)을 이용하여 포집 전·후의 무게차로 PM<sub>10</sub>의 농도를 산출하였다. PM<sub>10</sub> 시료 중에 함유된 금속원소의 성분 및 농도 분석은 유도결합플라즈마 방출분광기 (ICP : ARL Co., Model 3580-OES)를 이용하였다. ICP 분석을 위해서는 먼지 여과지에 포집된 먼지의 전처리가 필요한데, 본 연구에서 사용된 전처리 방법에 대한 Flow Sheet를 그림 2에 나타내었다. 즉, 먼지가 포집된 여과지를 세라믹 가위를 이용하여 적당한 크기로 잘라서 1.03 M 질산과 2.23 M 염산의 혼합액 (1 : 1)을 30.1 ml 가한 다음, 초음파 추출기 (Bransonic Co., Model 1210)에서 50 kHz로 1 시간 동안 추출한다. 초음파 처리가 끝난 후 방냉한

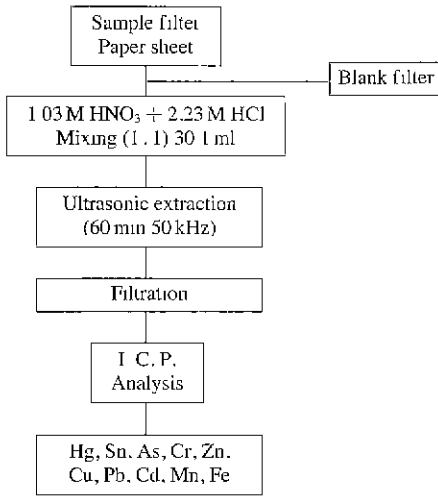


Fig. 2. Schematic of pretreatment for an analysis of metallic elements in PM<sub>10</sub>.

다음 여과지 (5A)를 이용하여 시료용액을 여과한 후 증류수로서 최종액량을 100 ml가 되도록 여과지를 행구어준다. 이렇게 전처리된 시료를 ICP로써 각 금속소 성분의 정성 및 정량 분석을 수행하였다.

### 3. 결과 및 토의

#### 3.1 연구대상 전지점의 PM<sub>10</sub> 농도

본 연구 기간 동안 산업도시인 울산광역시의 특성이 다른 5개 지역의 23개 전 지점에 대한 PM<sub>10</sub>의 농도는 8.1~128.9 µg/m<sup>3</sup>의 범위였다. 두 차례의 조사기간 동안의 평균 PM<sub>10</sub> 농도가 57.86 µg/m<sup>3</sup>으로 나타났는데, 이는 국내 대기질 환경기준의 연간 기준치인 80 µg/m<sup>3</sup>보다는 낮은 결과를 나타냈다. 이러한 농도는 유정석 등(1995)이 1993년에 서울특별시 성동구 행당동의 한양대학교에서 이단분진포집기(Cascade Impactor)로 조사한 PM<sub>10</sub>의 평균농도 89.2 µg/m<sup>3</sup>보다 훨씬 낮은 결과를 나타냈다. 그러나 조사된 특정 지역별로는 이러한 평균농도보다 높은 지역도 있었다.

우리나라의 대표적인 산업도시인 울산에서 PM<sub>10</sub>용 High Volume Air Sampler를 이용하여 시료채취 전체 지점에서 본 연구기간 동안에 얻어진 PM<sub>10</sub> 농도 분포는 표 1과 같다.

Table 1. Concentration of PM<sub>10</sub> in the study areas.

Area	No.	Conc. (µg/m <sup>3</sup> )	Min.	Max	S.D	Mean
Green area	A-1	16.02	8.12	61.36	18.86	32.77
		32.43				
	A-2	25.15				
		28.82				
	A-3	30.87				
A-4	59.38					
Residential area	B-1	8.12	9.93	63.94	16.68	39.27
		61.36				
	B-2	47.71				
	B-3	50.38				
		55.54				
	B-4	63.94				
B-5	30.59					
Heavy traffic area	C-1	23.41	18.03	83.48	20.59	47.09
		47.79				
	C-2	9.93				
	C-3	26.16				
		41.12				
C-4	39.85					
C-5	34.61					
Mechanic area	D-1	39.05	43.10	113.55	20.47	77.50
		18.03				
	D-2	34.98				
	D-3	69.87				
		83.48				
D-4	62.85					
Petrochemical and non-ferrous metal area	E-1	69.26	64.25	128.94	24.34	99.96
		74.22				
	E-2	113.55				
	E-3	67.46				
		81.26				
E-4	43.10					
E-5	93.48					

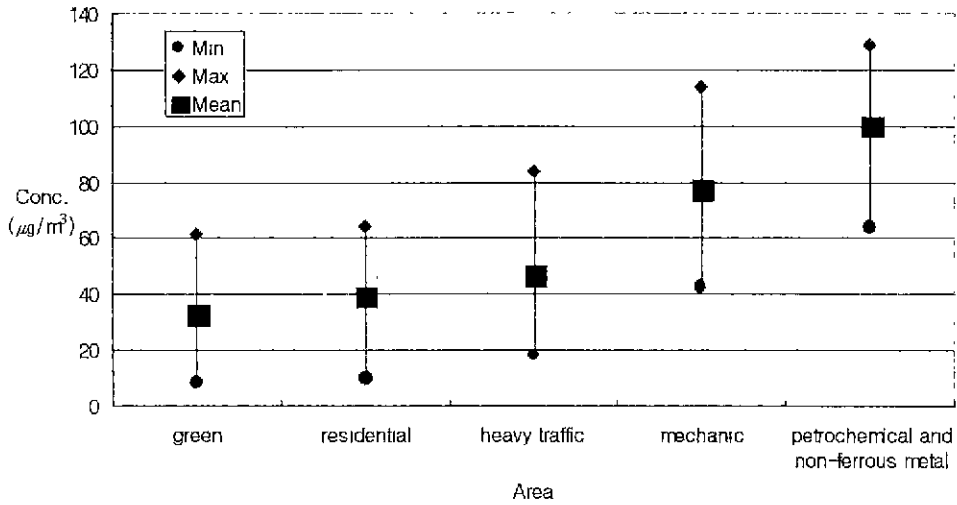


Fig. 3. Maximum, minimum and mean concentrations of PM<sub>10</sub> in the study areas.

또한 지역별로 PM<sub>10</sub> 평균농도를 살펴보면, 녹지지역 (33.8 µg/m<sup>3</sup>) < 주거지역 (39.3 µg/m<sup>3</sup>) < 교통밀집지역 (47.1 µg/m<sup>3</sup>) < 기계공단지역 (77.5 µg/m<sup>3</sup>) < 화학 및 비철금속 공단지역 (99.9 µg/m<sup>3</sup>)의 순으로 나타났다. 이러한 경향은 황재석(1991)이 청주에서 조사한 연구에서 녹지지역 < 주거지역 < 상업지역 < 공업지역의 결과와도 유사함을 알 수 있다.

연구기간 동안 녹지지역의 PM<sub>10</sub> 농도는 8.1~61.4 µg/m<sup>3</sup>의 범위로 나타났는데, 특히 A-5 지점인 호계 지점에서 61.4 µg/m<sup>3</sup>으로 타지점에 비해 월등히 높은 값을 나타냈다. 녹지지역임에도 이러한 높은 PM<sub>10</sub> 농도가 관찰된 이유는 호계지점이 신흥 주거 지역으로 등장함으로써 많은 인구의 유입이 있고, 울산공단과 다른 도시를 연결하는 산업도로가 인접하여 있어서 이로 인한 교통량의 증가에 기인한 것으로 보인다. 또한, 봄철인 2차 포집시 울산의 대표적인 녹지지역인 두동 (A-3)에서도 59.4 µg/m<sup>3</sup>으로 높은 값을 나타냈는데, 이는 측정일자가 1998년 4월 21일로 측정 당시에 일어났던 약한 황사현상 때문인 것으로 판단된다 (4월 21일 울산지역의 평균풍속은 3.3m/s, 주풍향은 274.5°).

인구가 밀집되어 있어 입자상 물질의 농도가 다소 높을 것으로 예상되는 주거지역의 경우는 녹지 지역과 큰 차이가 나지 않는 것으로 관찰되었다. 주

거지역에서의 PM<sub>10</sub> 농도의 범위는 9.9~63.9 µg/m<sup>3</sup> 이었고, 평균농도는 39.3 µg/m<sup>3</sup>으로 녹지지역의 평균값과 유사함을 알 수 있다. 주거지역 중 야음동의 S APT(B-2) 지역 (63.9 µg/m<sup>3</sup>)은 인근에 대규모 아파트 건설 공사장에서 발생하는 비산먼지의 영향으로 다소 높게 관찰되었다. 반면에 B-5 지점인 태화동 (9.9 µg/m<sup>3</sup>)의 경우는 상당히 낮은 농도로 측정되었는데, 이는 측정지점의 위치가 공업단지 또는 교통 밀집지역과 상당히 떨어져 있고 또 주위에 산들이 위치해 있어 삼림에 의한 입자상 물질의 제거 때문이라고 판단된다.

산업도시인 울산에서 가장 교통량이 많다고 볼 수 있는 4곳의 Rotary (공업탑 Rotary, 태화 Rotary, 효문 Rotary, 신복 Rotary)와 학교 지점에서 교통 밀집지역에 대한 PM<sub>10</sub> 농도를 조사하였다. 표 1에서 보아 알 수 있듯이 교통밀집지역 중에서도 다른 지점에 비해 상대적으로 교통량이 적은 학생교지점 (C-3)에서 가장 낮은 값인 18.0 µg/m<sup>3</sup>으로 관찰되었고, 주위에 택지개발사업이 진행중인 신복 Rotary 지점 (C-5)에서는 83.5 µg/m<sup>3</sup>으로 가장 높은 값을 보였다. 전체적으로 교통밀집지역에서는 차량통행이 많은 중심에서 포집이 어려워 중심에서 조금 떨어진 지점에서 시료를 채취하였으므로 Rotary 등에서의 실제농도보다 다소 낮은 값으로 측정된 것으로

판단된다.

대규모의 조선 및 기계 공장들이 밀집해 있는 기계공단지역에서는 앞서 언급된 녹지, 주거, 교통밀집 지역보다 월등히 높은 PM<sub>10</sub>의 농도가 관찰되었다. 농도 범위는 43.1~113.6 μg/m<sup>3</sup>이었고, 조사기간 동안의 이러한 높은 농도는 기계 및 조선 공업의 각종 프로세스와 시료 채취 지점 근처의 해양에 의한 해염 입자 등의 농도에 기인한 것으로 판단된다. 조사기간 동안의 일일 PM<sub>10</sub> 농도는 비록 일일 환경기준치인 150 μg/m<sup>3</sup>을 초과하지는 않지만, 이러한 농도는 국내 연간 기준치인 80 μg/m<sup>3</sup>에 육박하는 값이다 따라서 이러한 지역에서의 PM<sub>10</sub>에 대한 계속적인 모니터링과 PM<sub>10</sub> 농도 저감을 위한 적절한 대책이 요구된다.

주로 온산공단과 울산 석유화학단지를 위주로 PM<sub>10</sub> 시료 채취가 이루어진 화학 및 비철금속 공단 지역에서는 PM<sub>10</sub> 농도의 범위가 64.3~128.9 μg/m<sup>3</sup>이었고, 조사기간 동안의 10회 측정치에 따른 평균값은 99.9 μg/m<sup>3</sup>이었다. 이는 국내 PM<sub>10</sub>의 연간 환경기준치 80 μg/m<sup>3</sup>을 훨씬 상회하는 높은 값이다. 특히, 기존의 온산공단지역에서 이주해온 이주민들이 많은 덕신지구(E-3)에서의 관찰 농도는 128.9 μg/m<sup>3</sup>으로 가장 높은 값을 보였다. 이는 공단에서 발생하는 부유분진이 낮 동안의 해풍의 영향으로 함께 유입되고, 또 덕신지구의 지형이 분지형인 것에 기

인하는 것으로 판단된다. 또한, 온산공단에는 대규모의 비철금속 제조업체들이 많이 모여 있어 원광석의 파쇄 등에 의해 많은 비산먼지가 발생함을 알 수 있다. E-5지점인 남구 용연동(113.2 μg/m<sup>3</sup>)의 경우는 주위의 매립공사와 근처의 석유화학공단 등에서 발생된 여러 분진의 영향으로 높은 농도로 관찰된다고 판단된다.

표 1에 의한 PM<sub>10</sub> 농도의 분석에 있어서 기계공단지역과 화학 및 비철금속 공단지역에서 먼지 및 PM<sub>10</sub>의 주요 발생원인 사업장내에서의 시료채취가 어려웠던 것을 감안하면, 이 두 지역의 사업장 내에서의 실제농도는 이보다 훨씬 높을 것으로 판단되고, 먼지 및 PM<sub>10</sub>의 농도감소를 위한 대책 등이 요구되어진다.

그림 3은 각각의 지역별로 PM<sub>10</sub> 농도의 최소값, 최대값, 표준편차 그리고 산술평균값을 표현하였다.

### 3.2 PM<sub>10</sub>의 계절별 농도

입자상 오염물질은 계절별로 농도 차이를 나타내는데, 본 연구에서는 1997년 가을과 1998년 봄기간 동안 각 지역별 PM<sub>10</sub>의 평균농도를 비교하였다(그림 4참조). 1997년 가을의 기상은 매우 맑고 건조한 날씨가 이어졌었고, 반면에 1998년 봄은 몇 차례의 황사현상이 있었고 잦은 강우도 있었다. 그럼에도 1997년 가을의 5개 지역 23개 전 지점의 평균 농도

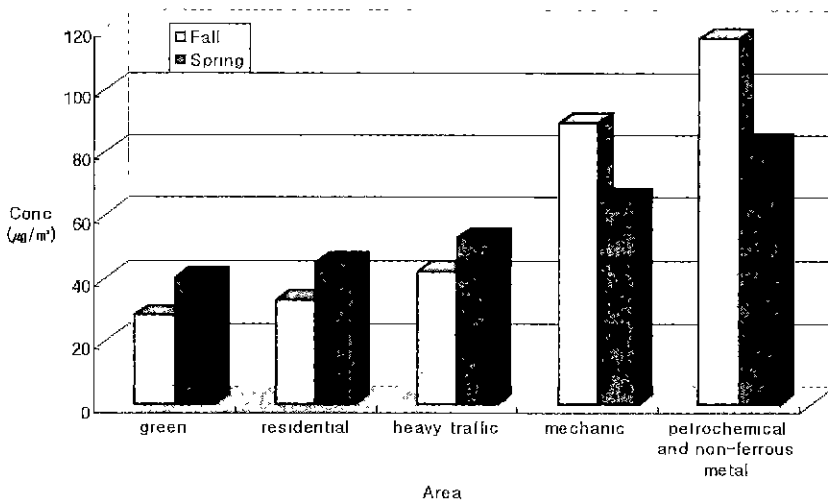


Fig. 4. Comparison of PM<sub>10</sub> concentrations during Fall and Spring.

는 58.5 µg/m<sup>3</sup>이었고, 같은 지점에서 포집한 1998년 봄의 5개 지역 20개 전 지점에서의 평균 PM<sub>10</sub> 농도는 57.6 µg/m<sup>3</sup>으로 전년도 가을의 평균농도와 유사한 결과를 나타냈다.

연구 대상 지역 중 녹지, 주거, 교통밀집지역에서는 1998년 봄철의 PM<sub>10</sub> 농도가 1997년 가을의 농도보다 대체로 10~12 µg/m<sup>3</sup> 정도씩 높았다. 이는 봄철 황사현상 등의 영향으로 설명될 수 있다. 그러나 기계공단, 화학 및 비철금속 공단지역은 가을의 PM<sub>10</sub> 농도가 봄철의 농도보다 대체로 20~30 µg/m<sup>3</sup> 가량 높은 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 97년 말 정부에서 시작된 IMF(International Monetary Funds)의 영향으로 판단된다 즉, IMF 이전의 울산 및 온산 인근의 공장 가동률은 90% 정도였지만, IMF 이후 98년도 초의 공장 가동률은 65% 정도였기 때문이다. 즉 공단지역에서 봄철의 PM<sub>10</sub> 농도가 가을철보다 낮은 것은 봄철에 잦은 강우와 IMF 이후 국내 경기의 불황으로 산업활동의 위축으로 공단지역에서의 PM<sub>10</sub> 농도가 감소된 것으로 판단된다.

3.3 PM<sub>10</sub> 중의 금속원소 평균농도

1997년 가을과 1998년 봄에 채취한 5개 지역, 23개 지점, 43개 지점에서의 PM<sub>10</sub> 시료에 포함된 금속원소(Hg, Sn, As, Cr, Zn, Cu, Pb, Cd, Mn, Fe 등)의 평균농도를 살펴보면, 각각 0.6, 2.0, 4.1, 5.6, 49.5, 11.9,

24.6, 2.2, 6.5, 67.7 ng/m<sup>3</sup>으로 조사되었다(그림 5 참조).

본 연구에서 확인된 PM<sub>10</sub> 중의 금속원소 평균농도는 Fe>Zn>Pb>Cu>Mn>Cr>As>Cd>Sn>Hg 순이었다. 이러한 결과는 이태정 등(1992)이 1998년부터 1991년까지 경희대학교 수원캠퍼스에서 XRF로 측정분석한 결과와 같았고, 또한 이용근 등(1988)이 연세대학교에서 1986년에서 1988년까지 ICP로 측정분석한 결과와 황재석(1991)이 1990년에 청주에서 AAS로 분석한 결과 등과 일치함을 알 수 있었다.

3.4 연구대상 지역별 PM<sub>10</sub> 중의 금속원소 농도

3.4.1 녹지지역

그림 6-A에는 녹지지역에서의 대기 중 PM<sub>10</sub> 시료에 포함된 금속원소의 농도를 ng/m<sup>3</sup> 단위로 나타내었다. 녹지지역 중에서 두동지점(A-3)에서 Cu, Fe 성분이 높은 농도로 검출되었는데, 이는 녹지지역이기는 하지만 인근의 소규모 농공단지, 기계공장 등에서 배출된 대기 오염물에 의한 것으로 판단된다. 또한, 언양 상복지점(A-1)에서도 Zn과 Fe 성분이 다량 검출되었는데, 시료를 채취한 지점이 경부고속도로와 근접한 지점이어서 미세입자 영역에 포함된 금속원소가 검출되는 것으로 판단된다. As와 Hg은 거의 대부분 지점에서 검출되지 않았고,

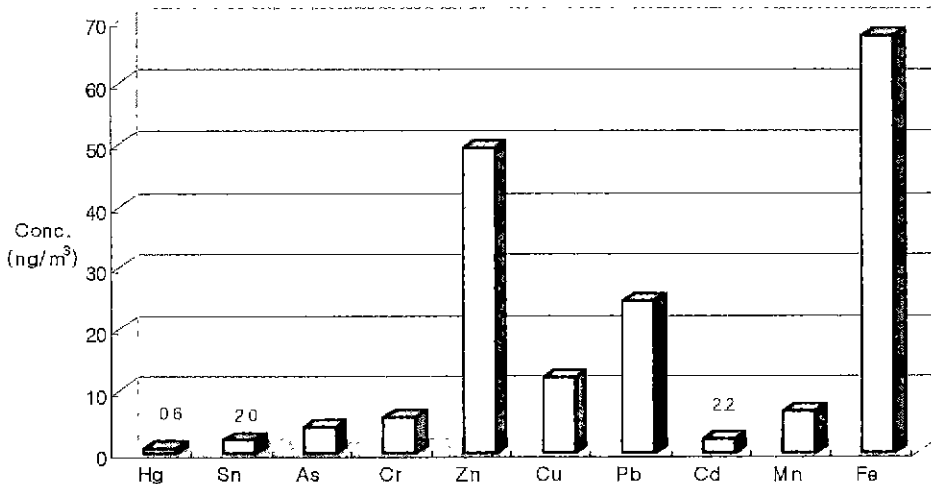


Fig. 5. Average concentrations of metallic elements in PM<sub>10</sub> collected at all sampling sites.

나머지 금속원소들도 낮은 농도를 형성하는 것을 알 수 있었다.

### 3. 4. 2 주거지역

주거지역 대기 중  $PM_{10}$  시료에 포함된 금속원소 농도는  $Fe > Zn > Pb > Cu$ 의 순으로 나타났고(그림 6-B 참조), B-2 지점인 야음동 S 아파트지점은 다른 주거지역보다 거의 대부분의 항목에서 월등히 높은 값을 보였는데, 이는 야음 S 아파트 인근에 대규모의 아파트 건설 현장에서 발생된 것으로 판단된다. 인체에 가장 해로운 중금속인 Hg과 Cd은 주거지역에서는 거의 검출되지 않았다.

### 3. 4. 3 교통밀집지역

그림 6-C에는 울산에서 가장 교통량이 많은 4개의 Rotary 위주로 시료를 채취한 교통밀집지역 대기 중  $PM_{10}$  시료에 포함된 금속원소 분석결과를 나타내었다. 금속원소 농도의 순서는 주거지역과 마찬가지로  $Fe > Zn > Pb$  등의 순으로 관찰되었고, 1차 조사시의 학성교 지점(C-3)에서 Zn의 농도가 높게 관찰된 것은 다른 측정지점에 비하여 가까운 거리에 Zn의 배출량이 많은 화학 및 비철금속 공단지역이 위치해 있기 때문으로 판단된다 또한, 전체적으로 교통밀집지역에서의 Zn의 농도가 다른 지역에 비하여 높게 관찰됨은 자동차 브레이크 등의 마모에 의해 발생된 것으로 판단된다.

### 3. 4. 4 기계공단지역

울산시의 동구를 위주한 기계공단지역의 대기 중  $PM_{10}$  시료에 포함된 금속원소 성분은 Fe 성분이  $55.1 \text{ ng/m}^3$ 으로 가장 높게 나왔다(그림 6-D 참조). 특히, H 백화점 근처(D-4)에서 Fe 성분이 높게 검출되었는데, 이는 시료채취 위치가 대규모의 조선공장과 바로 인접해 있어 사업장내에서의 철판재단이나 용접 등의 작업에 의해 발생된 것으로 판단된다. 또한, 시료채취 위치가 교통이 많은 도로와도 인접해 있어 차량통에 의한 Zn 성분도 높게 검출됨을 알 수 있다. 반면에 해안가에 위치한 D-1 지점에서는 다른 측정지점과는 달리 Hg, Sn, As, Cr 등의 성분은 검출되지 않았고, 나머지 성분들도 녹지지역의 평균농도보다도 낮게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 해풍에 의해 대기 중의 금속원소 성분들이 다른 지역으로의 확산이나 해양으로의 확산 때문인 것으로

판단된다.

### 3. 4. 5 화학 및 비철금속 공단지역

온산공단지역과 울산석유화학단지 위주한 석유화학 및 비철금속 공단지역에서의 대기 중  $PM_{10}$  시료에 포함된 금속원소의 농도는  $Zn > Pb > Fe > Cu$ 의 순으로 나타났다(그림 6-E 참조). 특히, 화학 및 비철금속 공단지역인 E-2 지점에서는 Zn, Cu, Pb 등이 상당히 높게 검출되었다. 이는 시료채취 위치가 온산공단의 가장 중심 위치였고, 대규모의 Zn 공장 과 연(鉛)제련 공장이 있어서 높은 농도로 검출됨을 알 수 있다. 또한, 인근에 각종 비철금속 회사들이 밀집해 있어 비철금속의 원광석 분쇄나 용련작업 등에서도 많은 금속원소가 발생될 것으로 판단된다.

## 3. 5 금속원소 항목별 농도

표 2는 본 연구에서 조사된 5개 지역 총 23개 지점 43개 대기 중  $PM_{10}$  시료에 대한 금속원소 분석자료를 지역, 계절, 금속원소 항목별로 구분하여 평균한 값을 나타낸 것이다.

미나타타병을 발생시키는 수은(Hg)의 경우 1997년 가을철에는 녹지, 교통밀집, 기계공단지역에서 낮은 농도로 검출되었다. 또한, 1998년 봄철에는 화학 및 비철금속 공단지역에서 높은 농도로 측정되었다. 그러나, 주거지역에서는 가을철 및 봄철 모두 검출되지 않았다 본 연구에서 연구대상 전지점의 Hg의 평균농도는  $0.6 \text{ ng/m}^3$ 으로 이는 임영옥 등(1989)이 AAS로 서울시의 신천과 불광동을 대상으로 분석한 Hg의 평균농도  $0.35 \text{ ng/m}^3$ 보다는 다소 높게 나타났다. 계절별 변화가 크고 시료수가 제한되어 있지만, 공단지역을 제외한 녹지, 주거, 교통밀집지역을 비교한다면 유사한 값이라 볼 수 있다.

의약품, 색소, 안료, 농약의 생산공정에서 주로 발생되며 인체에 매우 유해한 것으로 알려진 비소(As)는 화학 및 비철금속 공단지역에서 높게 검출되었고, 타지역에서는 거의 검출되지 않았다. 이는 온산공단을 포함하는 화학 및 비철금속 공단지역에는 농약이나 안료 등을 생산하는 많은 화학공장들이 있으므로 이들에게서 주로 발생되는 것으로 추정된다. As의 경우 임영옥 등(1989)의 연구에서는 평균농도가  $9.3 \text{ ng/m}^3$ 이었으나, 본 연구에서는 연구대



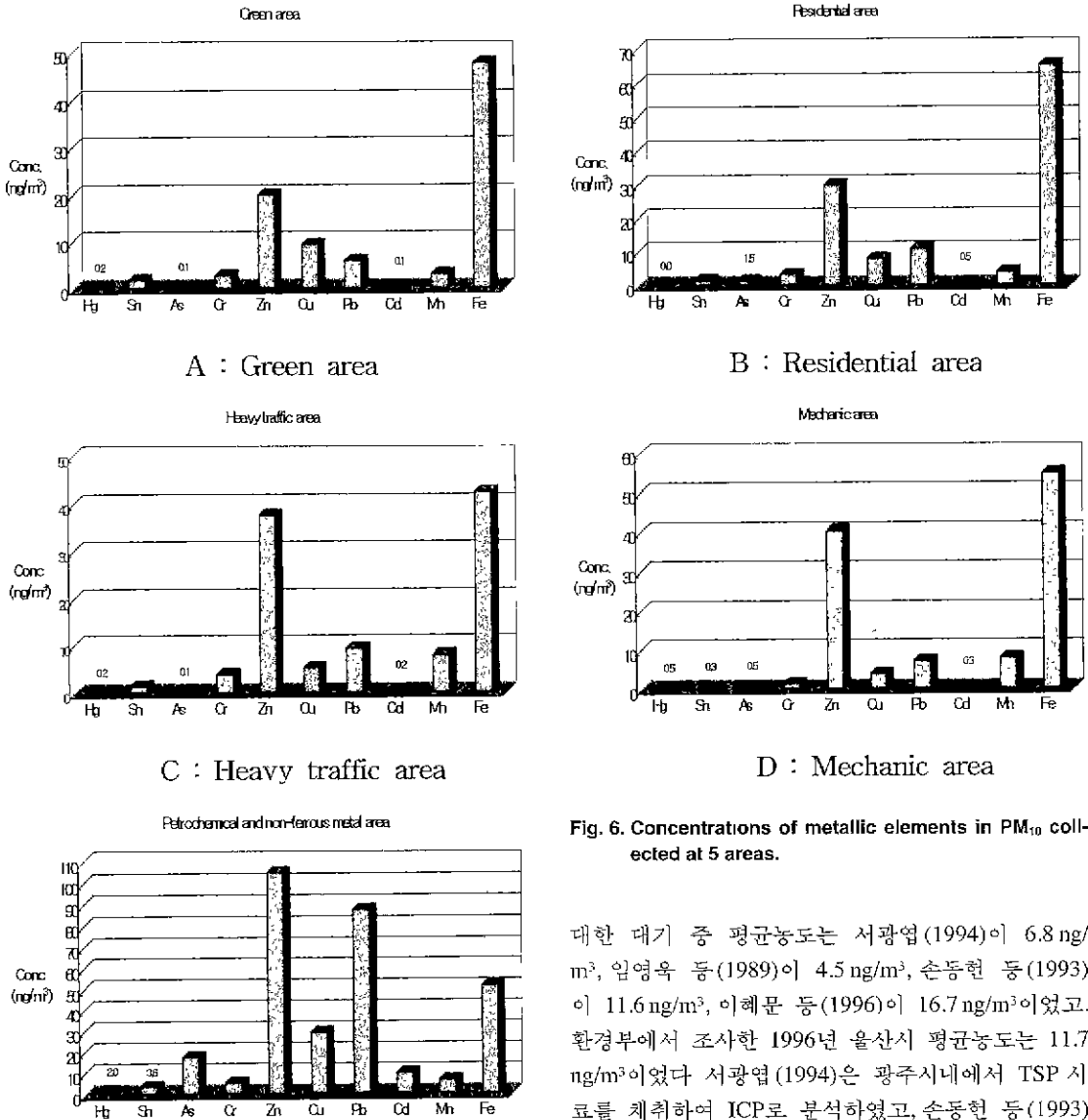


Fig. 6. Concentrations of metallic elements in PM<sub>10</sub> collected at 5 areas.

대한 대기 중 평균농도는 서광엽(1994)이 6.8 ng/m<sup>3</sup>, 임영욱 등(1989)이 4.5 ng/m<sup>3</sup>, 손동헌 등(1993)이 11.6 ng/m<sup>3</sup>, 이혜문 등(1996)이 16.7 ng/m<sup>3</sup>이었고, 환경부에서 조사한 1996년 울산시 평균농도는 11.7 ng/m<sup>3</sup>이었다 서광엽(1994)은 광주시내에서 TSP 시료를 채취하여 ICP로 분석하였고, 손동헌 등(1993)도 서울시 중앙대학교에서 ICP로서 TSP에서의 Cr의 농도를 정량하였다 반면에 이혜문 등(1996)은 경희대 수원캠퍼스에서 PM<sub>10</sub>을 시료채취하여 AAS로 Cr의 농도를 정량한 것이다. 본 연구에서 연구대상 전 지역의 Cr의 평균농도는 5.6 ng/m<sup>3</sup>으로 다른 연구에서의 평균농도보다 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다 이러한 이유는 TSP 대신에 PM<sub>10</sub>중에 포함된 금속원소 농도를 AA 대신에 ICP로 분석한 결과이기 때문인 것으로 판단된다.

필수 미량 원소인 아연(Zn)은 화학 및 비철금속

상 전지점의 평균농도는 4.1 ng/m<sup>3</sup>으로 조사되었다.

도금 및 합금, 시멘트 제조, 잉크 산업 등에서 발생하는 크롬(Cr)은 화학 및 비철금속 공단지역을 제외한 나머지 지역에서는 봄철이 가을철보다 훨씬 높은 농도를 보였다. 그러나, 화학 및 비철금속 공단 지역에서는 반대로 가을이 봄보다 높은 농도를 나타냈다. 이것 역시 IMF 전후의 공단의 공장 가동률의 차이 때문으로 판단된다. 다른 연구에서의 Cr에

공단지역에서 매우 높은 농도로 검출되었고 가을철에서 특히 높은 농도를 보였다. 나머지 다른 지역에서 계절에 따른 아연농도는 큰 차이를 보이지는 않았지만, 어느 정도 높은 농도로 확인되었다. 이러한 이유는 전 지역에서 차량 등의 교통에 의한 타이어 마모나 브레이크 라이닝 마모 등에 의한 것으로 판단된다. 본 연구에서의 PM<sub>10</sub> 중의 Zn의 평균농도는 49.5 ng/m<sup>3</sup>으로 이는 서광엽(1994)의 91.4 ng/m<sup>3</sup>, 황재석(1991)의 147.6 ng/m<sup>3</sup>보다 낮은 농도를 보였다. 이 역시 PM<sub>10</sub> 중의 Zn 농도와 TSP 중의 농도와와의 직접 비교에 다소 문제점이 있음을 나타내고 있다.

화학 및 비철금속 공단지역 중 온산공단에는 많은 비철금속 제조업체가 있는데, 본 연구에서도 화학공단지역에서(특히, 가을) 구리(Cu)의 높은 농도를 보였다. 다른 연구에서 Cu의 평균농도는 이태정 등(1992)이 19.9 ng/m<sup>3</sup>, 서광엽(1994)이 24.5 ng/m<sup>3</sup>, 황재석(1991)이 26.7 ng/m<sup>3</sup>이었고, 본 연구에서는 Cu의 평균농도가 10.5 ng/m<sup>3</sup>로 조사되었다. 본 연구보다 다른 연구에서 농도가 높은 것도 역시 다른 연구에서는 TSP에 대한 금속원소를 정량하였기 때문이다.

국내에서 3개월 기준치 1.5 µg/m<sup>3</sup>의 기준으로 규제되고 있는 납(Pb)의 경우는 앞서 기술된 Sn, As, Cr, Zn, Cu 등의 결과와 마찬가지로 가을철 화학공단지역에서 가장 높은 농도를 보였다. 과거 비행기나 자동차에 Octane가를 높이고 노킹(knocking)을 방지하기 위해 4-에틸납(TEL)이 사용되었으나, 이제는 법적으로 무연 연료를 쓰도록 함으로써 교통

이 많은 지역에서도 납의 농도는 이전보다는 상대적으로 낮게 검출됨을 알 수 있다. Pb의 경우도 본 연구에서는 평균농도가 24.6 ng/m<sup>3</sup>으로 조사되었다. TSP 중의 Pb 농도에 대한 서광엽(1994)의 연구에서는 57.2 ng/m<sup>3</sup>, 1996년 울산시의 환경부 자료는 67.7 ng/m<sup>3</sup>, 황재석(1991)의 연구에서는 146.7 ng/m<sup>3</sup> 등으로 본 연구의 결과보다 다소 높은 농도를 나타내었다.

철(Fe)의 경우는 전지역에서 모두 봄철이 가을철보다 높게 검출되었다.

### 3.6 기상요소, PM<sub>10</sub> 및 금속원소 간의 상관관계

#### 3.6.1 주거지역의 상관관계

주거지역의 경우는 여러 금속원소들이 높은 상관성을 보였는데(표 3 참조), 차량 등의 통행과 난방을 위한 연료의 연소 등에서 많은 종류의 금속원소가 발생하므로 높은 상관관계를 보임을 알 수 있다. 주거지역에서는 As와 Cd, Fe, Cu, Pb 등이 높은 상관관계를 보이는 군임을 알 수 있었고, Zn과 Cu도 여러 금속원소와 높은 상관성을 보였다. 연료별 배출 금속원소는 석탄연소에서 Fe, Mn, Cu 등이 배출되고, 가솔린의 연소과정에서 Pb, Zn, Cu, Fe, Mn 및 Cd이 배출되며, 석유연료의 연소에서는 V, Ni 및 Mn이 발생된다고 하였다(Lee *et al.*, 1975; Lee R.E., 1973). 이는 주거지역에서 발견된 금속원소는 주로 가정의 난방연료 및 가솔린 연소(차량연료) 등에 의해 배출된 것임을 알 수 있다.

Table 2. Average concentrations of metallic elements in PM<sub>10</sub>.

Area	Season	Concentration of heavy metal (ng/m <sup>3</sup> )									
		Hg	Sn	As	Cr	Zn	Cu	Pb	Cd	Mn	Fe
Green	Fall	0.4	1.6	0.2	0.4	14.8	12.5	5.1	0.1	2.4	15.6
	Spring	ND	2.3	ND	6.9	28.9	4.5	7.6	0.1	4.4	101.6
Residential	Fall	ND	2.3	0.1	0.4	22.8	6.9	9.4	0.2	4.5	38.3
	Spring	ND	1.1	2.8	6.9	37.3	9.3	12.5	0.8	3.9	92.8
Heavy traffic	Fall	0.4	2.2	0.1	0.3	48.5	5.6	13.9	0.3	13.3	25.8
	Spring	ND	0.9	ND	8.5	24.3	5.1	4.3	0.1	1.3	63.6
Mechanic	Fall	1.0	0.2	0.3	ND	40.2	2.9	4.7	0.1	8.4	32.9
	Spring	ND	0.4	0.6	3.1	40.8	5.1	9.8	0.6	7.3	77.4
Petrochemical and non-ferrous metal	Fall	ND	5.7	26.5	7.2	145.5	48.0	125.0	18.7	6.1	37.3
	Spring	4.0	1.4	9.3	3.8	64.8	11.4	50.9	1.9	7.6	65.9

**Table 3. Correlation between PM<sub>10</sub> and air-borne metallic elements in the residential areas.**

	RH(%)	WS	PM-10	Hg	Sn	As	Cr	Zn	Cu	Pb	Cd	Mn	Fe
RH(%)	1.00												
WS	-0.07	1.00											
PM-10	0.17	-0.82 <sup>a</sup>	1.00										
Hg	0.00	0.00	0.00	1.00									
Sn	0.21	-0.64 <sup>a</sup>	-0.45 <sup>a</sup>	0.00	1.00								
As	-0.32 <sup>a</sup>	-0.53 <sup>a</sup>	0.66	0.00	0.32	1.00							
Cr	-0.08	-0.20	0.46 <sup>a</sup>	0.00	-0.14	0.81 <sup>a</sup>	1.00						
Zn	0.10	-0.66 <sup>a</sup>	0.81 <sup>a</sup>	0.00	0.53 <sup>a</sup>	0.89 <sup>a</sup>	0.72 <sup>a</sup>	1.00					
Cu	-0.08	-0.57 <sup>a</sup>	0.62 <sup>a</sup>	0.00	0.42 <sup>a</sup>	0.92 <sup>a</sup>	0.77 <sup>a</sup>	0.89 <sup>a</sup>	1.00				
Pb	-0.21	-0.71 <sup>a</sup>	0.78 <sup>a</sup>	0.00	0.59 <sup>a</sup>	0.85 <sup>a</sup>	0.49 <sup>a</sup>	0.86 <sup>a</sup>	0.81 <sup>a</sup>	1.00			
Cd	-0.41	-0.49 <sup>a</sup>	0.65 <sup>a</sup>	0.00	0.11	0.96 <sup>a</sup>	0.81 <sup>a</sup>	0.80 <sup>a</sup>	0.84 <sup>a</sup>	0.80 <sup>a</sup>	1.00		
Mn	0.35	-0.59 <sup>a</sup>	0.71 <sup>a</sup>	0.00	0.79 <sup>a</sup>	0.61 <sup>a</sup>	0.35 <sup>a</sup>	0.87 <sup>a</sup>	0.67 <sup>a</sup>	0.74 <sup>a</sup>	0.45 <sup>a</sup>	1.00	
Fe	-0.03	-0.48	0.69 <sup>a</sup>	0.00	0.26	0.94 <sup>a</sup>	0.90 <sup>a</sup>	0.93 <sup>a</sup>	0.93 <sup>a</sup>	0.76 <sup>a</sup>	0.90 <sup>a</sup>	0.68 <sup>a</sup>	1.00

<sup>a</sup> significant at a level of 0.05

**Table 4. Correlation between PM<sub>10</sub> and air-borne metallic elements in the mechanic industrial complex.**

	RH(%)	WS	PM-10	Hg	Sn	As	Cr	Zn	Cu	Pb	Cd	Mn	Fe
RH(%)	1.00												
WS	-0.50 <sup>a</sup>	1.00											
PM-10	0.02	-0.05	1.00										
Hg	0.10	-0.05	0.32	1.00									
Sn	-0.34 <sup>a</sup>	0.07	-0.47 <sup>a</sup>	0.04	1.00								
As	-0.75 <sup>a</sup>	0.30	0.21	-0.18	0.50 <sup>a</sup>	1.00							
Cr	-0.80 <sup>a</sup>	0.22	-0.23	-0.16	0.76 <sup>a</sup>	0.85 <sup>a</sup>	1.00						
Zn	0.24	0.57	0.28	0.45 <sup>a</sup>	-0.02	0.01	0.03	1.00					
Cu	-0.94 <sup>a</sup>	0.44 <sup>a</sup>	0.00	0.19	0.39	0.68 <sup>a</sup>	0.79 <sup>a</sup>	0.41 <sup>a</sup>	1.00				
Pb	-0.78 <sup>a</sup>	0.23	-0.06	0.39 <sup>a</sup>	0.64	0.62	0.77 <sup>a</sup>	0.22	0.86 <sup>a</sup>	1.00			
Cd	-0.93	0.32	-0.16	-0.11	0.34 <sup>a</sup>	0.53	0.71 <sup>a</sup>	0.21	0.86 <sup>a</sup>	0.75 <sup>a</sup>	1.00		
Mn	0.02	0.48 <sup>a</sup>	0.21	0.22	-0.11	-0.16	-0.14	0.92 <sup>a</sup>	0.12	-0.11	-0.03	1.00	
Fe	-0.68 <sup>a</sup>	0.80 <sup>a</sup>	-0.01	0.02	0.22	0.44 <sup>a</sup>	0.50 <sup>a</sup>	0.78 <sup>a</sup>	0.73 <sup>a</sup>	0.42 <sup>a</sup>	0.55 <sup>a</sup>	0.67 <sup>a</sup>	1.00

<sup>a</sup> significant at a level of 0.05

3.6.2 기계공단지역의 상관관계

조선소와 중공업 및 중기계 산업을 위주로 한 기계공단지역에서는 상대습도와 PM<sub>10</sub>은 낮은 상관성을, 그리고 대부분의 금속원소는 상대습도 또는 PM<sub>10</sub>과 역상관성을 나타냈다(표 4 참조). 금속원소 항목간의 상관성은 낮은 상관성을 보였으나, Zn과 Mn, Cu와 Pb, Cu와 Cd 등이 높은 상관성을 보였다. 이는 주로 기계공단지역에서 검출된 금속원소는 이 지역에 밀집된 철강이나 철합금 산업(Mn)과 교통량 증가(도로면의 페인트 마모(Pb) 및 브레이크 라이닝 마모(Cu)) 때문인 것으로 판단된다. 미국의 경우 대기 중 Mn의 배출원은 95%가 철강이나 철합금 관련산업과 인위적인 배출원에서 배출되는 것으

로 알려져 있으며(Spengler, 1983), Zn의 경우도 철 및 비철금속 관련산업 등이 주배출원임으로 두 물질간의 상관성이 높은 것을 확인할 수 있다. 또한 기계공단지역은 교통량이 많아 도로면의 페인트가 자동차 운행 등에 따라 마모되면서 대기 중의 Pb 농도를 증가하고(최금찬 등, 1996), 자동차의 브레이크 라이닝 등으로부터 Cu 등이 배출됨으로 역시 이들도 상관계수가 높은 것을 알 수 있다.

3.6.3 화학 및 비철금속 공단지역의 상관관계

본 연구에서 특성이 다른 5개 지역중 금속원소의 농도가 가장 높게 검출된 화학 및 비철금속 공단지역에서 기상요소, PM<sub>10</sub> 및 금속원소 간의 상관관계 분석에서(표 5 참조) 대부분의 금속원소와 상대습도

**Table 5. Correlation between PM<sub>10</sub> and air-borne metallic elements in the petrochemical and non-ferrous metal industrial complex.**

	RH(%)	WS	PM-10	Hg	Sn	As	Cr	Zn	Cu	Pb	Cd	Mn	Fe
RH(%)	1.00												
WS	-0.66 <sup>b</sup>	1.00											
PM-10	0.30	-0.41 <sup>c</sup>	1.00										
Hg	0.17	0.49 <sup>a</sup>	-0.32 <sup>d</sup>	1.00									
Sn	0.64 <sup>b</sup>	-0.80 <sup>b</sup>	0.81 <sup>d</sup>	-0.30	1.00								
As	0.31 <sup>b</sup>	-0.22	0.68 <sup>d</sup>	0.19	0.65 <sup>b</sup>	1.00							
Cr	0.51 <sup>b</sup>	-0.40 <sup>b</sup>	-0.10	-0.22	0.15	-0.58 <sup>b</sup>	1.00						
Zn	0.45 <sup>b</sup>	-0.52 <sup>b</sup>	0.72 <sup>d</sup>	-0.10	0.70 <sup>b</sup>	0.83 <sup>b</sup>	-0.37 <sup>b</sup>	1.00					
Cu	0.40 <sup>d</sup>	-0.56 <sup>b</sup>	0.69	-0.16	0.76 <sup>b</sup>	0.88 <sup>b</sup>	-0.42 <sup>d</sup>	0.96 <sup>b</sup>	1.00				
Pb	0.48 <sup>d</sup>	-0.34 <sup>b</sup>	0.63 <sup>b</sup>	0.23	0.68 <sup>d</sup>	0.97 <sup>b</sup>	-0.46 <sup>d</sup>	0.88 <sup>b</sup>	0.91 <sup>b</sup>	1.00			
Cd	0.22	-0.45 <sup>b</sup>	0.75	-0.24	0.76 <sup>d</sup>	0.90 <sup>b</sup>	-0.48 <sup>b</sup>	0.83 <sup>d</sup>	0.94 <sup>d</sup>	0.86 <sup>d</sup>	1.00		
Mn	0.44 <sup>d</sup>	-0.37 <sup>b</sup>	0.01	-0.17	0.03	-0.25	0.41 <sup>b</sup>	0.27	0.04	-0.09	-0.23	1.00	
Fe	-0.65 <sup>c</sup>	0.49 <sup>a</sup>	-0.47 <sup>c</sup>	-0.34 <sup>a</sup>	-0.72 <sup>d</sup>	-0.84	0.25	-0.76 <sup>d</sup>	-0.80 <sup>b</sup>	-0.92 <sup>d</sup>	-0.70 <sup>b</sup>	0.04	1.00

<sup>1</sup> significant at a level of 0.05

는 정상관 관제를 나타내었고, 풍속과는 대부분 역 상관 관계를 보였다. PM<sub>10</sub>과 금속원소간의 상관성은 PM<sub>10</sub>과 Sn, PM<sub>10</sub>과 Cd이 높은 상관계수를 보였다. 금속원소간의 상관성은 As, Cu, Cd, Zn과 Pb 등이 높은 상관성을 나타냈는데, 이들 금속원소들은 온산공단 등에 많은 비철금속 제련소 등이 밀집해 있기 때문에 이러한 제련소 등에서 많은 금속원소들이 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

산업도시인 울산시를 특성이 다른 5개 지역(녹지, 주거, 교통밀집, 기계공단, 화학 및 비철금속 공단)으로 구분하고, 각 지역당 4~5개의 대표적인 지점을 선정하고 1997년 가을과 1998년 봄 동안 총 23개 지점에서 43개의 PM<sub>10</sub> 시료를 반복 채취하여, 각 지역별 PM<sub>10</sub>의 농도분포와 PM<sub>10</sub>에 함유된 금속원소 성분 특성에 관한 본 연구 수행결과는 다음과 같이 요약되었다.

1. PM<sub>10</sub>의 지역별 평균농도를 살펴보면, 화학 및 비철금속 공단지역(99.9 µg/m<sup>3</sup>) > 기계공단지역(77.5 µg/m<sup>3</sup>) > 교통밀집지역(47.1 µg/m<sup>3</sup>) > 주거지역(39.3 µg/m<sup>3</sup>) > 녹지지역(32.8 µg/m<sup>3</sup>)의 순으로 나타났다.

2. PM<sub>10</sub>의 계절별 평균농도 분석에서 녹지지역, 주거지역 그리고, 교통밀집지역에서는 봄철이 가을철보다 높았고, 기계공단지역과 화학 및 비철금속 공단지역에서는 가을철이 봄철보다 높은 결과를 보

였다. 공단지역에서의 가을철에 비하여 봄철의 농도가 낮은 것은 IMF로 인한 공장가동의 위축 등으로 인한 오염물 발생감소 현상으로 시료된다.

3. 측정기간 동안(봄철 및 가을철)의 일부 기계공단지역과 화학 및 비철금속 공단지역에서의 PM<sub>10</sub> 평균농도는 국내 PM<sub>10</sub> 연간 환경기준치인 80 µg/m<sup>3</sup>을 넘어서는 결과를 보였다. 따라서, 앞으로도 지속적인 Monitoring과 배출감소 노력이 필요하다.

4. 본 연구에서 시료 채취한 5개 지역 23개 지점에 대한 대기 중 PM<sub>10</sub> 시료 중의 금속원소 평균농도는 Fe > Zn > Pb > Cu > Mn > Cr > As > Cd > Sn > Hg의 순으로 분석되었고, Fe과 Mn을 제외한 나머지 금속원소 항목들은 모두 화학 및 비철금속 공단지역에서 가장 높은 농도를 나타냈다.

5. 오염물질의 발생원이 유사할수록 상관성이 높은데, 본 연구에서 각 지역별 상관관계는 주거지역에서는 As, Cd, Fe, Cu 등이 높은 상관성을 보였고, 기계공단지역에서는 Zn과 Mn, Cu와 Pb이 화학 및 비철금속 공단지역에서는 Zn과 Cu, As와 Pb이 높은 상관성을 보였다.

#### 참 고 문 헌

서광염(1994) 대기 부유먼지의 시간대별 특성에 관한 연구, 조선대학교 대학원 환경공학과 석사학위논문  
 손동현, 신혜숙, 정성윤, 정원태(1993) ICP법에 의한 도시 대기 중 중금속 농도 측정 - 중앙대학교를 중심으로

- 으로-, 한국대기보전학회지, 9(3), 222-229.
- 신동천, 임영욱, 박성은, 정 용 (1996) 교통 혼잡지역의 대기 부유분진중 유기혼합물에 의한 발암위해성 평가 한국대기보전학회지, 12(5), 567-576.
- 신동천, 정 용, 김종만, 임영욱 (1994) 서울시 대기 부유분진중 중금속에 대한 발암 위해성 평가, 한국대기보전학회지, 10(2), 105-115
- 유정석, 김동술, 김윤신 (1995) 서울시 PM<sub>10</sub> 오염원의 정량적 기여도 추정.
- 이용근, 김남훈, 명노승, 황규자 (1988) 이단 필터 샘플러에 의한 대기 부유분진의 포집 및 금속 성분의 계절별 거동에 관한 연구. 한국대기보전학회지, 4(2), 20-27.
- 이태정, 김동술 (1992) X-선 형광분광법을 이용한 대기부유분진중 중금속의 농도분포에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 8(1), 20-28
- 이혜분, 김동술, 이진홍 (1996) PM<sub>10</sub>내 중금속의 장기간 평균농도 및 위해도 평가, 한국대기보전학회지, 12(5), 555-566.
- 임영욱, 정 용 (1989) 호흡성분진 중의 중금속 오염도에 관한 조사연구, 한국대기보전학회지. 5(1), 68-78.
- 최금찬, 임경택, 조정규, 김태형 (1996) PIXE 분석법에 의한 도로변 분진의 원소분석, 한국대기보전학회지, 12(5), 523-528.
- 황재석 (1991) 청주시의 지역별 대기 중 부유분진의 농도와 중금속 함량에 관한 연구, 청주대학교 환경공학과 석사학위논문.
- Gracdel, T.E., D.T. Hawkins, and L.D. Claxton (1986) Atmospheric Chemical Compounds : Source, Occurrences, and Bioassay, Academic Press, Orlando, Florida, U.S.A.
- John. W., S M Wall. J.L Ondo, and W. Winklmay (1990) Modes in the size distribution of atmospheric inorganic aerosol, Atmospheric Environment 24A (9), 2349-2359
- Lee, R.E and D.J. Lehmden (1973) Trace metal pollution in the environment JAPCA, 23 (10), 853-857
- Lec, R.E., H.L. Crist. and A.E. Riley (1975) Concentration and size of trace metal emissions from a power plants, a steel plant, and a cotton gin, ES&T, 9 (7), 643-647
- Simpson, R W. (1992) A statistical analysis of particulate data sets in Brisbane, Australia Atmospheric Environment, 26B(1), 99-105
- Spengler, J D. and Thurston (1983) Mass and elemental composition of fine and coarse particles in six U S. cities, JAPCA, 33 (12), 1162-1171
- U S EPA (1996) National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) for the year.