

대구지역 부유분진 중 미량금속성분의 발생원 특성연구 Source Characteristics of Particulate Trace Metals in Daegu Area

최 성 우 · 송 형 도

계명대학교 환경과학과

(2000년 3월 38일 접수, 2000년 9월 25일 채택)

Sung-Woo Choi and Hyung-Do Song

Department of Environmental Science and Engineering, Keimyung University, Daegu, Korea

(Received 28 March 2000; accepted 25 September 2000)

Abstract

This study was performed to understand the behavior and source characteristics of particulate trace metals in Daegu area. To do this, total of 84 samples had been collected from January to December 1999. TSP (total suspended particulate matter) and PM-10 (particulate matter with aerodynamic diameters less than 10 μm) were collected by filters on portable air sampler, and metals in TSP and PM-10 were analyzed by ICP (Inductively Coupled Plasma Spectrometer) after preliminary treatment.

The results were follow as: first, annual means of TSP and PM-10 concentration were 123 and 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively. The concentration of TSP and PM-10 were highest in winter season compared to other seasons. Second, the concentration of Al, Fe, Mn were higher in TSP than in PM-10, indicating that these metals are generally associate with natural contributions. Third, a hierarchical clustering technique was used to group 9 metals. The results from the cluster analysis of TSP and PM-10 shows a similar clustering pattern : Fe, Al in a group and the rest of the metals such as Ni, Cr, As, Mn, Cd, Pb, Zn in the other group. One group of metal such as Fe, Al is associated with natural sources such as soil and dust. The other is closely related to urban anthropogenic sources such as fuel combustion, incineration, and refuse burning. Finally, using Al as a reference element, enrichment factors were used for identifying the major particulate contributors. The enrichment factors of Al, Fe < 10 (standard value of enrichment factor) were considered to have a significant dust and soil source and termed nonenriched. Ni, Cr, As, Mn, Cd, Pb, Zn \gg 10 is enriched and has a significant fraction which is contributed by anthropogenic sources.

Key words : TSP, PM-10, trace metals, cluster analysis, enrichment factor

1. 서 론

부유분진에 관한 초기연구단계에서는 총부유분진

(TSP: Total Suspended Particulate matter)의 중량농도 분포와 이화학적 특성을 중점적으로 고찰하여 왔으나 (Ferris, 1976) 최근에 들어 미세입자인 PM (Particulate Matter)-10, PM-2.5 등에 대한 연구가 활성화

되고 있다. 이는 미세입자가 총부유분진에 비해 표면적이 상대적으로 큼으로 유해성 금속이나 가스상 오염물질의 흡착이 용이하고, 호흡기를 통해 유해성 오염물질이 폐에 침착되어 폐암 등의 질병을 유발시킬 가능성이 높기 때문이다(Fennelly, 1976; Safiotti, 1965). 특히 미세입자내의 화학적 성분의 유해성과 관련하여 미국 환경보호청(EPA)은 1987년에 PM-10, 1997년에 PM-2.5에 대한 환경기준을 설정하였으며, 우리 나라는 1996년에 PM-10의 환경기준을 마련하여 대기질을 관리하고 있다.

대기 중 부유분진은 자연적, 인위적인 원인에 의해 발생되며, 분진내 화학적 성분은 발생원에 따라 조성성분의 차이를 보임으로 부유분진의 효과적 관리 및 제어를 위해선 입자별, 조성성분별 발생원을 추정하는 것이 매우 중요하다. 부유분진의 발생원을 평가하기 위한 방법으로 지각농축계수법과 군집분석법에 의한 평가방법이 있다. 지각농축계수법(enrichment factor)은 대기 중 부유분진의 원소조성을 이해하기 위한 유용한 개념으로서 인위적 배출원이 대기 중 부유분진에 미치는 오염부하를 예측하기 위한 것으로 다수의 연구가 선행되어 왔다(Chan et al., 1997; Kewen과 Rebecca, 1997; 김형철, 1995; 천만영, 1990; 최만식 등, 1989; 이용근 등, 1988). 또한 자료의 대상이 지니고 있는 다양한 특성의 유사성을 바탕으로 동질적인 집단을 분류하는 방법인 군집분석(cluster analysis)이 발생원 평가를 위해 사용되고 있다(Wei et al., 1999).

본 연구는 대기 중 미량금속성분의 발생원 관리 및 제어를 위한 기초적 자료를 제공할 목적으로 대구지역을 대상으로 부유분진 및 미량금속성분의 계절적 추이를 분석하였으며, 군집분석과 지각농축계수법을 이용하여 유해성 미량금속성분의 발생원별 기여도를 평가하였다. 본 연구의 결과는 추후 지역 대기질 관리를 위한 대책 수립 및 규제를 위한 자료로 이용될 수 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 시료채취방법

시료채취지역은 대구지역의 발생원 특성이 다를 것으로 예상되는 4개 지역을 선택하여 1999년 1월부터 12월까지 24시간 주기로 포집하였다. 각 시료

는 3공단내 서대구초등학교 옥상, 주거 및 교통지역에 위치하고 있는 계명대학교 대명동 캠퍼스 수산관 옥상, 교통이 혼잡하고 정체가 심한 서문시장 인근 지인 계성초등학교 옥상, 비교적 대구에서 청정지역인 지산동의 한 아파트 옥상에서 채취하였다. 포집된 시료의 수는 각 지점별 21개이며, 총 84개의 시료를 확보하였다.

대기 중 부유분진의 포집은 PM-10 portable sampler(AIRMETRICS, U.S.A.)와 TSP portable sampler(GRASEBY, U.S.A.)를 이용하였으며, 포집유량은 각각 5 l/min, 550 l/min이었다. 분진포집을 위해 PM-10은 pore size 0.42 µm인 glass fiber filter(PAL-LFELEX PRODUCTS: Type T60A20)를 사용하였으며 TSP는 glass fiber filter(Whatman EPM2000, 8"×10")를 사용하였다. 각 여지는 포집 전후 항온, 항습상태의 데시케이터 내에 보관 후 감도 0.1 mg의 전자저울(YMC: Model 307276)로 칭량하였다. 대기 중 분진의 농도는 포집 전후의 여지 무게 차이를 총포집유량으로 나누어 산출하였다.

2.2 분석방법

대기 부유분진 중 미량금속성분을 추출하기 위해

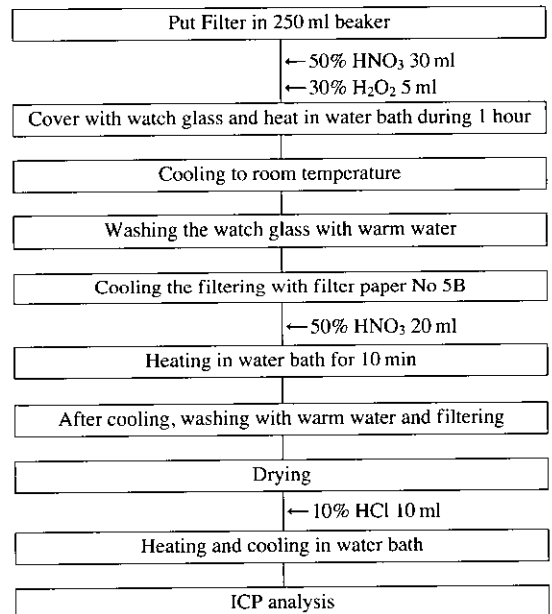


Fig. 1. The preliminary treatment of chemical analysis by ICP.

Table 1. Recoveries of 9 metals by extraction and analytical methods used in this study (n = 5).

Metals	Recovery (%)	R.S.D. (%)
Fe	96	1.3
Al	84	1.2
Zn	92	2.3
Pb	95	3.2
Mn	93	1.8
As	87	1.5
Ni	89	5.3
Cr	89	4.2
Cd	90	6.7

여지를 4회 분할하여 질산-과산화수소법을 이용하여 시료를 전처리하였다. 전처리과정을 거친 분석검역을 ICP (Inductively Coupled Plasma Spectrometer, JOBIN-YVON: Model JY38-4, FRANCE)를 이용하여 정성, 정량분석을 하였으며, 구체적인 절차는 그림 1과 같다.

또한 추출방법 및 분석과정의 정확성을 기하기 위해 각 금속의 표준물질을 이용하여 실제시료와 동일한 방법으로 회수율실험을 실시하였으며 그 결과를 표 1에 나타내었다. 본 연구에서 이용한 산추출법은 전반적으로 높은 회수율을 보이는 것으로 나타났다.

한편, 분석 자료의 통계적 해석을 위하여 SPSS PC+9.0 (Statistical Package for Social Science)의 프로그램을 이용하여 자료를 응집위계분석법(hierarchical)을 이용한 평균결합법(average linkage)으로 군집화를 시키고, 비유사도는 유클리디안 제곱거리(squared euclidean distance)를 이용한 군집분석(cluster analysis)을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 부유분진의 농도분포

TSP와 PM-10 portable sampler를 이용하여 1999년 1월부터 12월까지 발생원적 특성이 다른 4개 지역(공단지역, 교통지역, 교통 및 주거지역, 주거지역)을 대상으로 포집한 대기 중 부유분진의 계절별 평균농도를 표 2에 나타내었다. TSP의 연평균 농도는 123 µg/m³, PM-10은 69 µg/m³으로 TSP의 농도가 약 1.8배 더 높은 것으로 나타났다. 이는 국내 대기질 환경기준의 연간기준치보다 낮은 결과를 나타내

Table 2. Seasonal concentrations (µg/m³) of atmospheric TSP and PM-10 in Daegu area.

Season	N	PM-10	TSP
		Mean ± S.D	Mean ± S.D
Winter	24	76 ± 29	143 ± 55
Spring	20	75 ± 14	127 ± 32
Summer	20	49 ± 11	87 ± 18
Fall	20	47 ± 5	94 ± 12
Total	84	69 ± 25	123 ± 34

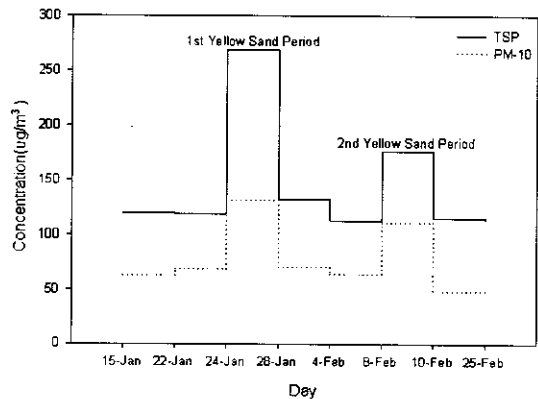


Fig. 2. Variation of particulate matter concentration during winter yellow sand periods.

었다. 한편 PM-10의 경우 지역간 비교시 서울보다는 높고 울산지역보다는 낮은 경향을 보여주었다(나덕재와 이병규, 1999; 유정석 등, 1995). 계절별 평균농도는 겨울(TSP 143 µg/m³, PM-10 76 µg/m³), 봄(127 µg/m³, 75 µg/m³), 가을(94 µg/m³, 47 µg/m³), 여름(87 µg/m³, 49 µg/m³)순으로 높게 나타났으며 겨울철이 여름철보다 TSP의 농도는 1.7배, PM-10은 1.6배 가량 높게 나타났다. 일반적으로 부유분진의 농도는 봄철에 가장 높은 경향을 보이나 본 연구기간 중 1월과 2월에 겨울철 황사가 발생하여 예년과는 달리 부유분진의 농도가 겨울철에 가장 높아진 현상이 나타났으며 봄철이 겨울철에 비해 부유분진의 농도가 낮은 이유는 시료수나 시료포집일의 황사유무에 따른 것으로 사료된다.

겨울철 황사기간 중 부유분진의 변화양상을 살펴보기 위해 황사현상을 전후한 일별 TSP 및 PM-10의 농도변화를 그림 2에 나타내었다. 겨울철 황사는 1999년도 1월 24일과 2월 8일경에 나타났고 황사

기간 중 TSP의 농도는 269 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 176 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위로 나타났으며, PM-10의 농도는 132 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 111 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위로 나타났다. 비황사기간의 TSP 평균농도 119 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM-10 평균농도는 61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

3.2 대기 중 미량금속성분의 농도분포

대구지역 대기 중 미량금속성분의 농도분포를 그림 3에 나타내었다. Fe, Al 등의 농도는 TSP와 PM-10 모두에서 동일하게 높았으며 TSP내의 미량금속성분의 농도는 $\text{Mn} > \text{As} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Cd}$ 순으로, PM-10의 경우 $\text{Cr} > \text{Ni} > \text{As} > \text{Mn} > \text{Cd}$ 순으로 높게 나타났다. 본 연구에서 확인된 PM-10 중 미량금속성분의 농도는 이용근 등(1988), 황재석(1991), 이태정과 김동술(1992)이 연구한 결과와 유사한 경향을 보이고 있었다. 토사 및 도로먼지의 재비산과 같은

자연 발생원으로 유래되는 Al, Fe, Mn은 주로 TSP 내에서 높게 나타났고, Pb, As, Ni, Cr, Cd와 같이 인위적 발생원으로부터 유래된 금속성분은 PM-10내에서 우세하게 존재하는 것으로 조사되었다. 이런 결과는 1996년 광주광역시에서 연구(이세형, 1997)된 Fe, Al가 조대입자군에서 높은 농도를 보이고, Zn, Pb 등의 금속은 미세입자군에 높은 결과와 유사함을 알 수 있었다. 또한 대구지역의 미량금속성분의 계절별 변화 추이를 평가하기 위해 계절별 평균 농도를 표 3에 나타내었다. 자연 발생원에 연계된 Al, Fe와 같은 금속은 부유분진의 농도와 같은 양상으로 겨울철에 가장 높은 농도를 나타냈고, 또한 인위적 발생원과 연계된 Zn, Pb, As, Ni, Cr, Cd 등의 금속들은 계절에 관계없이 비슷한 농도를 나타내어 인위적 발생원이 계절에 관련없이 일정한 비율로 영향을 주고 있음을 알 수 있다(Lioy와 Zhang, 1999; Seinfeld와 Pandis, 1998).

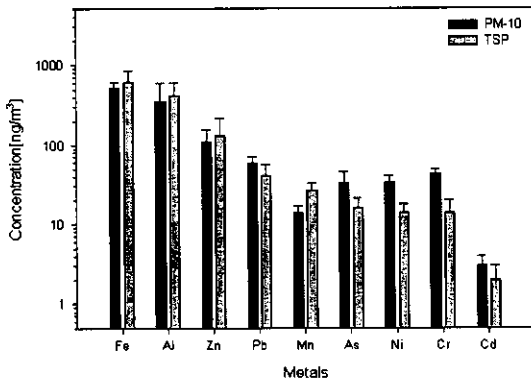


Fig. 3. Mean concentration (ng/m³) of trace metals in PM-10 and TSP in Daegu area.

3.3 대기 중 미량금속성분의 발생원 평가

대구지역 대기 중 미량금속성분의 발생원 평가를 위해 통계적 분석방법인 군집분석을 실시한 후 농축계수평가법을 실시하여 각 평가법에 따른 결과를 비교 분석하였다. 군집분석은 자료의 대상들이 지니고 있는 다양한 특성의 유사성을 바탕으로 동질적인 집단을 분류하는 방법이다. 본 연구의 기초자료를 응집위계분석법을 이용하여 평균결합법으로 군집화를 시키고, 비유사도는 유클리디안 제곱거리를 이용하였다. 비유사도의 기준으로 사용된 유클리디안 제곱거리는 일반적인 환경자료의 거리를 측정하는데 있어 적절하다고 알려져 있다(Hopke, 1983).

Table 3. Seasonal variation of mean concentration (ng/m³) of trace metals in TSP and PM-10 in Daegu area.

metals	Winter		Spring		Summer		Fall	
	PM-10	TSP	PM-10	TSP	PM-10	TSP	PM-10	TSP
Fe	456 ± 105*	767 ± 275	529 ± 107	547 ± 208	546 ± 89	558 ± 150	591 ± 118	499 ± 206
Al	316 ± 94	519 ± 208	410 ± 358	391 ± 160	309 ± 51	365 ± 89	270 ± 44	319 ± 95
Zn	72 ± 36	78 ± 28	125 ± 43	164 ± 113	143 ± 19	149 ± 55	134 ± 13	123 ± 17
Pb	54 ± 7	48 ± 10	62 ± 17	35 ± 12	57 ± 6	45 ± 21	60 ± 3	47 ± 26
Mn	15 ± 3	25 ± 8	14 ± 2	26 ± 7	11 ± 2	27 ± 5	14 ± 0.8	29 ± 5
As	38 ± 18	12 ± 2	32 ± 8	17 ± 5	28 ± 10	17 ± 7	29 ± 6	22 ± 0.5
Ni	41 ± 2	13 ± 2	34 ± 6	15 ± 5	27 ± 5	16 ± 5	26 ± 3	13 ± 7
Cr	49 ± 2	15 ± 7	42 ± 8	13 ± 6	36 ± 2	17 ± 6	37 ± 2	16 ± 4
Cd	4 ± 0.6	2.2 ± 0.5	3.3 ± 1.4	1.6 ± 0.4	2.1 ± 0.8	2.3 ± 2	2.4 ± 0.3	1.7 ± 0.3

*Mean ± Standard deviation

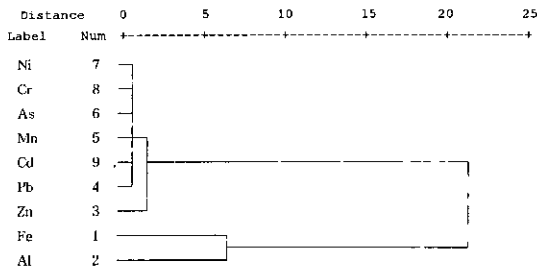


Fig. 4. Dendrogram using average linkage with squared Euclidean distance after logarithmic transformation for trace metal in PM-10.

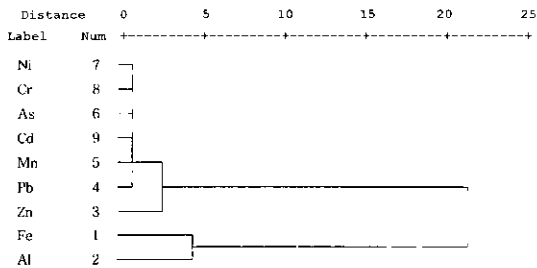


Fig. 5. Dendrogram using average linkage with squared Euclidean distance after logarithmic transformation for trace metal in TSP.

보통 군집분석에서 case별 군집화 방법을 이용하지만 본 연구에서는 variable별 군집화를 시켜 군집분석의 특성을 이용하여 해석하였다. TSP와 PM-10 내 중금속농도의 자료를 이용하여 군집분석한 결과, 유사도 (degree of similarity)를 나타내고 있는 수상도 (dendrogram)를 그림 4와 5에 나타내었다. TSP

와 PM-10수상도의 군집형태는 대체로 유사한 경향을 보이거나 각 군집의 유사도는 차이를 보여 주었다. 유사도를 나타내는 군집의 거리는 좌측으로 갈수록 군집의 수는 증가하지만 유사도는 높아졌다. 각 부유분진내 미량금속성분의 수상도는 Al, Fe가 한 군집, 그리고 나머지 중금속인 Ni, Cr, As, Mn, Cd, Pb, Zn이 한 군집으로 크게 두 개의 군집으로 나누어졌다. 특히 Al과 Fe의 군집 유사도는 PM-10보다 TSP에서 더 높은 것으로 나타났으며 이는 정충영과 최이규(1998) 등의 연구와 일치하는 경향을 보여주었다. 발생원 추정과 관련하여 각 군집의 특성을 분석한 결과 Al, Fe의 군집은 전형적인 지각물질인 토양 관련 발생원에 배출되는 것으로 평가할 수 있으며, Ni, Cr, As, Mn, Cd, Pb, Zn의 군집은 화석 연료와 쓰레기소각, 자동차연료의 연소와 같은 인위적인 발생원으로부터 배출되는 것으로 평가할 수 있다(Lioy와 Zhang, 1999).

또한 대기 중 미량금속성분의 발생원을 농축계수 (enrichment factor)를 이용하여 평가한 후 군집분석의 결과와 관련지어 설명하였다. Rahn *et al.* (1971)에 의해 제안된 농축계수는 대기 중 부유분진의 원소조성을 이해하기 위한 유용한 개념으로서 인위적 배출원이 대기 중 부유분진에 미치는 오염부하를 예측하기 위한 것이다. 일반적으로 지각물질의 원소 조성 중 비교적 균일하고 다량으로 함유되어 있는 Si이나 Al, Mn을 기준원소로 이용하고 있다(손동현 등, 1993; Rojas *et al.*, 1990; Watson, 1988).

본 연구에서 각 기준원소 중 Al을 선정하여 아래와 같은 Taylor식에 의해 각각의 중금속 성분에 대한 농축계수를 산출하였다.

Table 4. Enrichment factors for the trace metals in TSP and PM-10 in Daegu area.

Metals	Winter		Spring		Summer		Fall		*Crustal Rock (µg/g)
	TSP	PM-10	TSP	PM-10	TSP	PM-10	TSP	PM-10	
Fe	2.2	2.1	2	1.9	2.2	2.6	2.3	3.2	56300
Al	1	1	1	1	1	1	1	1	82300
Zn	176	268.6	491	358.2	480.3	541.8	455.2	583.4	70
Pb	609.8	1124.1	585.1	995.4	811.8	1206.4	972.2	1474.2	12.5
Mn	4.1	4	5.9	3	6.4	3	7.8	4.5	950
As	1092.5	5496.5	1938	3519.7	2175.3	4123.9	3119.1	4940.9	1.8
Ni	27	141.2	41.3	90.5	47.6	94.8	46.1	104.9	75
Cr	2338.6	12797.1	2721.4	8397	3908.7	9505.1	4013.9	11206.2	1
Cd	1733.7	5186.6	1744.2	3312.2	2627.6	2782.3	2232.8	3584.9	0.2

*Compositional data for the material provided by Ahrens-Taylor

Table 5. Comparison of enrichment factor of metals in ambient air.

Location area Period Season Particulate	This study urban 1999		Seoul urban 1990	Cheju urban 1995	Brisbane urban 1994		California urban 1994	
	TSP	Annual PM-10	Spring-Summer TSP	Spring TSP	Annual PM-2.5	PM-10	Summer-Fall PM-2.5	PM-10
Fe	2.2	2.4	1.2	1(1.1)	3.7	1.7	47	3.1
Si	-	-	-	-	1	1	1	1
Al ^a	1	1	1	1	-	-	-	-
Zn	378.7	426.5	148.2	-	1400	50	1900	1600
Pb	722.3	1175.3	277.2	538.5(149.9)	13000	330	11000	330
Mn	5.8	3.6	1.04	2.9(2.4)	15	1.7	35	3.2
As	1952.5	4434.9	-	-	-	-	-	-
Ni	39	106.7	2.7	4.5(1.2)	-	-	-	-
Cr	3126.6	10303.9	-	-	-	-	260	9.9
Cd	2043.1	3696.2	-	677.5(167.6)	-	-	-	-
Cu	-	-	18.9	164.2(44.6)	-	-	-	-

*Reference element, () Yellow sand period

$$\text{Enrichment Factor (E.F.)} = \frac{(X/Al) \text{ aerosol}}{(X/Al) \text{ crust}}$$

여기서 (X/Al) aerosol의 X는 측정된 원소성분의 농도이며 Al은 정규화하기 위한 기준원소성분인 Al의 농도를 뜻한다. 또 (X/Al) crust는 지각물질의 원소조성을 나타내는 것으로 Ahrens-Taylor의 지각성분표를 이용하였다. 농축계수의 평가법은 그 값이 1에 가까우면 그 원소의 기원은 지표원소와 동일함을 의미하며 10 이하가 되면 지각물질의 조성의 변화와 연계 지어 설명 가능하고 10 이상일 경우는 인위적인 오염원에서 배출되어 대기 중에 상당량이 농축되어 있는 것으로 평가하게 된다(Watson, 1988).

대구지역 미량금속성분별 농축계수를 산출한 결과를 표 4에 나타내었다. Fe, Al, Mn은 부유분진의 종류와 계절에 상관없이 10 이하의 낮은 값을 보여 토사의 재비산 등의 자연적인 발생원에 의해 영향을 받고 있는 것으로 사료된다. 또한 연료유 또는 석탄의 연소 및 폐기물 소각 등과 관련된 Zn, Pb, Ni 및 Cd은 부유분진의 종류와 계절에 상관없이 높은 값을 보이고 있어 인위적 배출원으로부터의 발생 기여도가 큰 것으로 나타났다(Rabano *et al.*, 1989; Schooler *et al.*, 1987). 특히 인위적으로 발생 가능한 미량금속성분의 농축계수는 대체로 TSP보다는 PM-10에서 높은 경향을 보여주었다. 특히 As, Cr은 PM-10에서 높은 값을 보이는 반면 TSP에서는 상대적으로 낮은 값을 보이고 있어 인위적인 배출원의 영향과 함께 미세입자군에 이러한 성

분이 비교적 높게 농축되어 있다고 볼 수 있다.

농축계수법과 군집분석을 이용하여 대기 중 미량금속성분의 발생원을 추정한 결과 각 미량금속성분의 발생원은 비교적 유사하게 나타났으나 Mn의 경우 군집분석에서는 인위적발생원으로 농축계수법에서는 자연적 배출원에 기인하는 금속으로 평가되어 발생원 평가법간의 상이성을 보여주었다.

표 5는 본 연구에서 조사된 평균농축계수와 타 연구의 결과를 비교 분석한 것이다. Brisbane, California 도시에서의 연구는 Si를 기준원소로 하여 타 금속성분의 농축계수를 산출하였다. 그 결과 Ni와 Zn 등은 타도시와 다소 큰 차이를 보이지만 나머지 금속성분은 서울(천만영, 1990), 제주도(김형철, 1995), Brisbane(Li, 1994), California(Chow *et al.*, 1994)에서 측정된 농축계수와 전반적으로 비슷한 경향으로 나타났다. Ni와 Zn의 차이는 지역적 발생원 특성에 기인하는 것으로 농축계수의 의미에 큰 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 대구지역을 대상으로 1999년 1월부터 12월까지 TSP와 PM-10을 포집후 각 부유분진과 미량금속성분의 계절적 변화를 조사 분석하였으며, 통계적 분석방법인 군집분석과 지각농축계수법을 이용하여 미량금속성분의 발생원을 추정 평가하였다. 본 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 조사기간 중 대구지역 TSP의 평균농도는 123 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM-10의 농도 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 TSP의 농도가 약 1.8배 더 높은 것으로 나타났다. 각 부유분진의 계절별 평균농도는 겨울철 황사현상으로 인하여 겨울>봄>가을>여름 순으로 높게 나타났다.

둘째, 각 부유분진내의 미량금속성분의 농도를 분석한 결과 자연발생원에서 유래되는 Fe, Al은 TSP, PM-10 모두에서 높게 나타났으며, 인위적 발생원에 기인한 금속인 Pb, As, Ni, Cr, Cd 등은 TSP, PM-10 내에서 서로 다른 경향을 보여주었다. 또한 각 부유분진내 미량금속성분농도의 계절적 변화는 부유분진 농도변화와 동일하였다.

셋째, 미량금속성분의 발생원 특성을 추정하기 위해 군집분석을 수행한 결과 자연적인 발생원에 기인한 Al, Fe가 한 군집으로, 그리고 인위적 발생원에 기인한 Ni, Cr, As, Mn, Cd, Pb, Zn이 한 군집으로 나누어졌으며, 각 군집의 형태는 TSP, PM-10에서 유사한 경향을 보였다.

넷째, 군집의 특성을 평가하기 위해 지각농축계수를 산출한 결과 토사성분과 연계된 Fe, Al, Mn의 금속은 지각농축계수가 10 이하의 낮은 값을 보여 자연적 원인인 지각 구성물질에 기인한 것으로 사료되며, Zn, Pb, Ni 및 Cd는 지각농축계수가 378에서 3127로 인위적 발생원으로 인한 기여분이 매우 큰 것으로 분석되었다. 또한 지각농축계수와 군집분석을 이용한 발생원 평가결과 Mn을 제외한 모든 미량금속성분이 유사한 발생원적 특성을 가지는 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

김형철 (1995) 황사시와 평상시에 제주지역 부유분진의 조성 비교, 제주대학교, 해양환경공학과 석사학위논문, 52pp.
 나덕재, 이병규 (1999) 산업도시 대기 중 PM-10의 농도 및 금속원소 성분의 특성 연구, 한국대기환경학회지, 16(1), 23-35.
 손동현, 신혜숙, 정성윤, 정원태 (1993) ICP법에 의한 도시 대기 중 중금속 농도 측정 - 중앙대학교를 중심으로, 한국대기보전학회지, 9(3), 222-229.
 유정석, 김동술, 김윤신 (1995) 서울시 PM-10 오염원의 정량적 기여도 추정, 한국대기보전학회지, 11(3), 279-289.

이세형 (1997) 공사장 및 교통혼잡지역의 PM-10과 먼지 입경별 중금속 농도분포에 관한 연구, 조선대학교 환경공학과 석사학위논문.
 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 대기부유분진 중 중금속의 농도분포에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 8(1), 20-28.
 정충영, 최이규 (1998) SPSSWIN을 이용한 통계분석, 3판, 무역경영사, 390-426.
 천만영 (1990) 서울시 대기분진의 중금속 농도 및 발생원에 관한 연구, 건국대학교 대학원 논문집, 제 31권.
 최만식, 조성록, 이동수 (1989) 서해안 대기분진의 화학조성 및 기원에 관한 연구 (1), 한국대기보전학회지, 5(2), 72-83.
 황재석 (1991) 청주시의 지역별 대기 중 부유분진의 농도와 중금속 함량에 관한 연구, 청주대학교, 환경공학과 석사학위논문.
 Chan, Y.C., R.W. Simpson, G.H. Mctainsh, and P.D. Wovles (1997) Characterization of chemical species in PM-2.5 and PM-10 aerosols in Brisbane, Australia Atmos. Environ., 31(22), 3773-3785.
 Chow, J.C., J.G. Watson, E.M. Fujita, Z. Lu, and D.R. Lawson (1994) Temporal and spatial variations of PM-2.5 and PM-10 aerosol in the southern California air quality study, Atmos. Environ., 28, 2061-2080.
 Fennelly, P.F. (1976) The origin and influence of airborne particulates, American Scientist, 46, 64pp.
 Ferris, B.G. (1976) Health effect of exposure to low levels of regulated air pollutants, A Critical Review JAPCA, 28, 482pp.
 Hopke, P.K. (1983) Introduction to multivariate analysis of environmental data, John Wiley & Sons Inc., New York.
 Kewen Liu, and Rebecca M. Dickhut (1997) Surface micro-layer enrichment of polycyclic aromatic hydrocarbons in southern Chesapeake Bay, Environ. Sci. Technol., 31, 2777-2781.
 Li, C.S. (1994) Elemental composition of residential indoor PM-10 in the urban atmosphere of Taipei, Atmos. Environ., 28(19), 3139-3144.
 Lioy, P.J. and J. Zhang (1999) In air pollutants and the respiratory tract, Marcel Dekker, 128, 1-38.

- Rabano, E.S., N.T. Castillo, K.J. Torre, and P.A. Solmon (1989) Speciation of arsenic in ambient aerosols collected in Los Angeles, JAPCA, 39, 76-80.
- Rahn, K.A. (1971) Sources of trace elements in aerosols—an approach to clean air, Ph.D. Thesis, University of Michigan. Ann Arbor, 325pp.
- Rojas, C.M., P. Artaxo, and R. VanGrieken (1990) Aerosols in Santiago De Chile—a study using receptor modeling with XRF and single particle analysis. Atmos. Environ., 24B, 227-241.
- Saffioti, U. (1965) Experimental studies of the conditions of exposure to carcinogens for lung cancer induction, JAPCA, 15, 23pp.
- Schooler, W.H., M. Dobbs, D.M. Bane, and N.D. Johnson (1987) Toxic trace elements associated with airborne particulate matter, JAPCA, 37(1), 1267-1283.
- Seinfeld, J.H. and S.N. Pandis (1998) Atmospheric chemistry and physics, from air pollution to climate change, John Wiley & Sons, New York.
- Watson, J.G. (1988) Transections receptor models in air resources management, An international specialty conference, San Francisco, California, 491pp.
- Wei, F., E. Teng, G. Wu, W. Hu, W.E. Wilson, R.S. Chapman, J.C. Pau, and J. Zhang (1999) Ambient concentrations and elemental composition of PM-10 and PM-2.5 in four Chinese cities. Environ. Sci. Technol., 33, 4188-4193.