

대구시 산단지역 대기 중 SPM과 유해중금속성분의 농도

송희봉[†] · 권종대 · 박수경 · 김은경 · 윤현숙 · 주명희 · 배기수
대구광역시보건환경연구원

Concentrations of SPM and Ambient Hazardous Heavy Metals in an Industrial Complex Area in Daegu City

Hee-Bong Song[†], Jong-Dae Kwon, Su-Kyoung Park, Eun-Kyung Kim,
Hyun-Suk Yoon, Myeong-Hui Ju, and Gi-Soo Bae

Public Health and Environment Institute of Daegu Metropolitan City

ABSTRACT

Objectives: This study evaluated the regional and seasonal concentrations of ambient hazardous heavy metals in an industrial complex area in Daegu City.

Methods: A total of 64 SPM (Suspended Particulate Matter) samples were collected in non-industrial and industrial areas during 2014 and were analyzed for hazardous heavy metals elements (As, Cd, Mn, Ni, Pb) with ICP after acid extraction.

Results: SPM and hazardous heavy metals concentrations showed regional (industrial complex area>non-industrial complex area) and seasonal (spring, winter>fall, summer) variations. All of the hazardous heavy metals were influenced by anthropogenic sources. The pollution index of hazardous heavy metals was very low, showing roughly one-quarter of the level of the air quality guidelines of WHO. The correlation analysis among SPM and hazardous heavy metals indicated that components of non-industrial complex areas were more related to each other than those of industrial complex areas, and the correlation in the winter was higher than in other seasons.

Conclusion: It is necessary to control air pollution sources and establish related policy because hazardous heavy metals from industrial areas can influence residential areas.

Key words: Correlation analysis, Heavy metals, Industrial complex, Pollution index, SPM

I. 서 론

대기 중에 존재하는 유해대기오염물질(HAPs)은 중금속류(Heavy Metals), 다환방향족탄화수소류(PAHs), 휘발성유기화합물(VOCs), 폴리염화바이페닐(PCBs), 다이옥신류 등이 포함된다. 이들 가운데 일반적인 도시환경 대기 중 유해중금속 농도는 대체로 낮은 수준으로 존재하여 사람의 건강에 직접적인 영향을 미

치는 정도는 아니더라도 오랜 기간 동안 노출되는 경우에 건강피해를 고려해야 한다. 특히, 유해중금속 중에서도 보건학적으로 위해성을 지닌 As와 Cd의 경우는 유엔(UN) 산하 국제암연구소(IARC)에서 피부암, 신장암 등을 일으키는 인체발암물질(그룹 1)로 분류하고 있고,¹⁾ 세계보건기구(이하, WHO)는 대기 중의 중금속성분으로 As, Cd, Mn, Ni, Pb 등의 물질에 대해 권고기준을 마련하여 제시하고 있다.²⁾

[†]Corresponding author: Public Health and Environment Institute of Daegu Metropolitan City, 215 Muhak-ro, Suseong-Gu, Daegu 706-732, Korea, Tel: +82-53-760-1320, Fax: +82-53-760-1334, E-mail: 10000gj@daegu.go.kr
Received: 15 July 2015, Revised: 11 August 2015, Accepted: 13 August 2015

이러한 환경보건학적 중요성을 고려하여 대구지역에서 도로, 학교, 주택, 주차장 등을 대상으로 먼지 입자의 크기가 $100\ \mu\text{m}$ 이하인 축적먼지를 체계적으로 활발한 연구를 수행한 바 있다.³⁻⁸⁾ 그러나 대기 중의 특정지역을 대상으로 먼지 입자의 크기가 $100\ \mu\text{m}$ 이하인 부유먼지(Suspended Particulate Matter, 이하 SPM)를 연구한 사례는 몇몇에 불과하다.⁹⁻¹¹⁾

지역적으로 분지형태인 대구지역은 각종 중금속성분의 원료를 많이 사용하는 공장이 밀집한 대구제3산업단지(북구)와 서대구산업단지(서구), 그리고 이들 중간에 위치한 대구염색산업단지(서구) 등과 같은 공단지역이 도심에 위치하여, 이러한 공단은 주로 주거지역과 비교적 가까운 거리에 있어 주풍향이 북서풍과 같은 서풍계열로 공단지역에서 배출되는 각종 유해물질이 주거지역까지 영향을 미칠 우려가 예상된다.^{12,13)}

따라서 본 연구에서는 대구광역시에 위치한 산단 지역 및 이와 대조되는 비산단지역을 대상으로 (1) SPM과 유해중금속성분의 농도분포, (2) 농축계수를 이용한 유해중금속성분의 발생원 평가, (3) 오염지수를 이용한 유해중금속성분의 오염도 평가, (4) SPM과 유해중금속성분간의 상관성 분석을 수행하여 지역 대기오염원 관리 및 정책수립을 위한 기초자료를 제공하는데 목적을 두었다.

II. 재료 및 방법

1. 측정지점 및 기간

SPM의 채취지점은 Fig. 1과 같이 대구광역시에 위치한 비산단지역에 해당되는 주거지역 1개소(#1, 대구보건환경연구원 옥상)와 산단지역에 해당되는 공업지역 3개소(#2 : 대구삼영초등학교 옥상, #3 : 한국염색기술연구소 옥상, #4 : 대구중리초등학교 옥상) 등 4개소를 선정하였다. 이들 지점의 주변환경을 살펴보면 #1지점은 일반주택과 아파트단지가, #2지점은 대구제3산업단지(2,072업체/14년 : 금속가공 제품제조 50%, 기계 및 장비제조 16%, 자동차 및 트레일러제조 6%, 기타 28%)이, #3지점은 대구염색 산업단지(126업체/14년 : 염색가공 100%)가, #4지점은 서대구산업단지(2,049업체/14년 : 섬유 39%, 기계금속 19%, 운송장비 12%, 기타 30%)가 자리 잡고 있다.¹⁴⁻¹⁶⁾



Fig. 1. Sampling sites in Daegu city.

시료채취는 2014년 4월부터 12월까지 교통량의 변화가 적은 평일(4일, 월요일~금요일)을 택하여 지점별(4개소), 계절별(4계절)로 채취하여 총 64개의 시료를 얻었다.

2. 먼지시료 포집방법

SPM의 시료포집은 대기오염공정시험기준¹⁷⁾에 규정된 High Volume Air Sampler (Thermo Anderson, GS2313, USA)법을 이용하여 4개소에 대해 동일한 시료채취조건하에서 $1.0\pm 0.2\ \text{m}^3/\text{min}$ 의 유량으로 24±1 시간 동안 연속으로 수행하였다. 포집여지는 데시케이터에 넣어 항량이 된 $20.3\times 25.4\ \text{cm}$ Quartz Microfibre Filter(Whatman, QM-A, England)를 사용하였다. 포집된 SPM의 농도는 전자식 화학천칭(Sartorius, LE244S, Germany)으로 $0.1\ \text{mg}$ 까지 칭량한 시료포집 전후의 여지무게차와 흡인공기량으로부터 산출하였다.

3. 중금속성분의 분석

SPM에 함유된 화학성분의 분석은 대기오염공정시험기준¹⁷⁾에 규정된 질산-염산혼합액(시약 : 유해중금속 측정용)에 의한 초음파추출법(초음파추출기 : Elma, Elmasonic S300H, Germany)으로 추출한 후 ICP (Perkin Elmer, Optima 4300DV, USA)를 이용하여 As, Cd, Mn, Ni, Pb 등 5개 원소(이하, 유해중금속 성분)와 본 연구에서 유해중금속성분의 발생원 평가를 위해 기준원소로 선택한 Al 원소도 분석하였다. 추출된 유해중금속성분과 Al의 농도는 공시료에 대해 각각 보정한 후 포집된 흡인공기량으로 나눠 산출하였다.

Table 1. Regional and seasonal concentrations(in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) of suspended particulate matter

Sampling date	Non-industrial complex area	Industrial complex area				Total mean \pm S.D
	#1	#2	#3	#4		
Spring	2014.04.21-04.22	129	133	141	123	132 \pm 7
	2014.04.22-04.23	112	121	110	110	113 \pm 5
	2014.04.23-04.24	132	151	160	143	147 \pm 10
	2014.04.24-04.25	112	140	162	158	143 \pm 20
	Mean \pm S.D	121 \pm 9	136 \pm 11	143 \pm 21	134 \pm 18	134 \pm 18
Summer	2014.07.21-07.22	54	77	74	63	67 \pm 9
	2014.07.22-07.23	30	46	41	38	39 \pm 6
	2014.07.23-07.24	21	44	37	34	34 \pm 8
	2014.07.24-07.25	23	45	44	35	37 \pm 9
	Mean \pm S.D	32 \pm 13	53 \pm 14	49 \pm 15	43 \pm 12	44 \pm 16
Fall	2014.09.30-10.01	38	51	79	41	52 \pm 16
	2014.10.01-10.02	47	46	65	34	48 \pm 11
	2014.10.02-10.03	29	62	57	56	51 \pm 13
	2014.10.06-10.07	32	49	85	48	54 \pm 19
	Mean \pm S.D	37 \pm 7	52 \pm 6	72 \pm 11	45 \pm 8	51 \pm 15
Winter	2014.12.15-12.16	52	96	93	91	83 \pm 18
	2014.12.16-12.17	43	55	37	53	47 \pm 7
	2014.12.17-12.18	56	55	37	49	49 \pm 8
	2014.12.18-12.19	40	81	63	76	65 \pm 16
	Mean \pm S.D	48 \pm 7	72 \pm 18	58 \pm 23	67 \pm 17	61 \pm 20
Total mean \pm S.D	59 \pm 37	78 \pm 37	80 \pm 41	72 \pm 40	73 \pm 40	

S.D* : Standard Deviation

III. 결과 및 고찰

1. SPM과 SPM에 함유된 유해중금속성분의 농도분포 특성

대구광역시 비산단지역과 산단지역에서 측정된 대기 중 SPM의 농도와 SPM에 함유된 유해중금속성분의 농도를 지점별 및 계절별로 구분하여 Table 1 과 Fig. 2에 각각 나타내었다.

SPM의 전체평균농도는 $73\pm 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 유해중금속성분의 전체평균농도는 $\text{Mn}(39.7 \mu\text{g}/\text{m}^3) > \text{Pb}(36.5 \mu\text{g}/\text{m}^3) > \text{Ni}(4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3) > \text{As}(3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3) > \text{Cd}(1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3)$ 순으로 높았는데, 이러한 결과는 Taylor 등¹⁸⁾이 제시한 지각성분 농도 순($\text{Mn} > \text{Pb} \cdot \text{Ni} > \text{As} > \text{Cd}$) 과도 비슷한 경향을 보였다.

지점별 SPM의 평균농도는 #3지점($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$)>#2지점($78 \mu\text{g}/\text{m}^3$)>#4지점($72 \mu\text{g}/\text{m}^3$)>#1지점($59 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 순

으로 산단지역(#2~#4)이 비산단지역(#1)에 비해 평균 1.3배(1.2~1.4배) 높았고, 유해중금속성분의 평균 농도는 대체로 #2지점>#4지점>#3지점>#1지점 순으로 산단지역(#2~#4)이 비산단지역(#1)에 비해 1.6배(Mn)~2.7배(Cd) 높았다. 이러한 원인은 산단지역의 경우에 각종 산업시설이 밀집하여 이들 환경오염물질 배출사업장에서 배출되는 다량의 입자상물질에 의한 직접적인 영향을 받은데 있다고 사료된다. 그러나 산단지역은 유해중금속성분 농도의 경향(#2>#4>#3)이 SPM 농도의 경향(#3>#2>#4)과는 다르게 나타났다. 이는 Fig. 1에서 언급했듯이 해당 산업단지에서 금속업종이 차지하는 산업체의 비중(#2>#4>#3)과도 일치하여 같은 맥락에서 설명된다.

계절별 SPM의 평균농도는 봄철($134 \mu\text{g}/\text{m}^3$)>겨울철($61 \mu\text{g}/\text{m}^3$)>가을철($51 \mu\text{g}/\text{m}^3$)>여름철($44 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로 봄철과 겨울철이 각각 여름철에 비해 평균 3.0

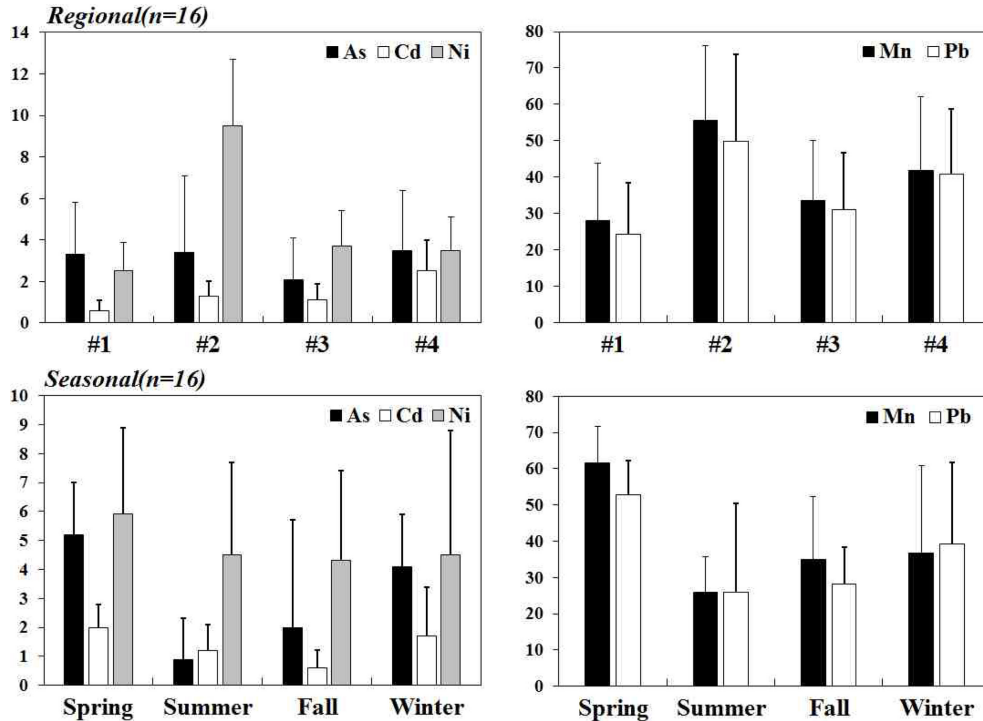


Fig. 2. Regional and seasonal concentrations of hazardous heavy metals.

배와 1.4배 높았고, 유해중금속성분의 평균농도도 SPM의 경우처럼 봄철>겨울철>가을철>여름철 순으로 봄철과 겨울철이 각각 여름철에 비해 1.3배(Ni)~5.8배(As)와 1.0배(Ni)~4.6배(As) 높았다. 이러한 원인은 특히, 꽃가루먼지가 많이 날리는 봄철의 경우에 측정당일 바람이 약해(평균풍속 : 봄 1.6 m/s, 여름 2.0 m/s, 가을 1.9 m/s, 겨울 2.7 m/s)¹⁹⁾ 대기 정체가 심했기 때문으로, 그리고 겨울철의 경우에 난방을 위한 연료사용량과 차량 워밍업(예열)에 따른 오염물질의 배출량이 늘어났기 때문으로 사료된다.

2. SPM에 함유된 유해중금속성분의 발생원 평가

SPM에 함유된 유해중금속성분의 발생원 평가는 Rahn²⁰⁾에 의해 제안된 농축계수를 이용하였다. 지각물질의 원소조성과 SPM의 원소조성을 비교해 그 발생원이 자연적 혹은 인위적 영향인지를 정성적으로 추정하기 위해 지각물질 중 비교적 균일하고 다량으로 함유되어 있는 Al을 기준원소로 선정하였다. SPM에 대한 중금속의 농축계수(Enrichment Factor, E.F)는 Taylor 등¹⁸⁾이 지각물질의 원소조성을 제시한 지

각성분표(Al 80400 ppm, As 1.5 ppm, Cd 0.098 ppm, Mn 600 ppm, Ni 20 ppm, Pb 20 ppm)를 이용하여 아래와 같은 식으로부터 산출한 결과는 Table 2와 같다. 이때 SPM에 함유된 기준원소인 Al의 평균농도는 비산단지역인 #1지점이 386.9±237.3 ng/m³ (135.5~803.8 ng/m³), 산단지역인 #2지점이 485.4±190.0 ng/m³(300.9~831.9 ng/m³), #3지점이 381.2±191.4 ng/m³(206.5~792.4 ng/m³), #4지점이 425.6±218.2 ng/m³(150.3~771.1 ng/m³)이었다.

농축계수(E.F) =

$$\frac{\text{SPM 중 원소성분의 농도} / \text{SPM 중 Al의 농도}}{\text{지각물질 중 원소성분의 농도} / \text{지각물질 중 Al의 농도}}$$

위 식으로부터 산출된 농축계수가 10 이하인 값을 나타내면 자연적인 발생원(예 : 암석의 풍화)의 영향을 받은 것으로 간주하고, 농축계수가 10 이상인 값을 나타내면 인위적인 발생원(예 : 인간의 활동)의 영향을 받은 것으로 간주하였다.²¹⁾

산출된 전체평균농축계수는 Cd(2753.7)>As(407.1)>Pb(368.2)>Ni(49.8)>Mn(13.2) 순으로 농축정도가

Table 2. Enrichment factor of hazardous heavy metals

		Reference (Al)	Hazardous heavy metals				
			As	Cd	Mn	Ni	Pb
Non-industrial complex area	#1 (n=16)	(1.0)	526.0	1355.8	10.3	30.7	267.8
	#2 (n=16)	(1.0)	408.9	2247.0	15.9	86.1	445.9
Industrial complex area	#3 (n=16)	(1.0)	312.1	2343.7	12.2	44.4	343.1
	#4 (n=16)	(1.0)	381.3	5068.3	14.4	37.9	415.8
Total mean (n=64)		(1.0)	407.1	2753.7	13.2	49.8	368.2

Table 3. Enrichment factor of hazardous heavy metals in SPM in Daegu city

	This study [*]	Lee ⁹⁾ , [*]	Ghoi et al. ¹⁰⁾ , ^{**}	Do et al. ¹¹⁾ , [*]
Sampling site	4 (R.1, I.3)	4 (R.2, C.1, I.1)	4 (R.2, C.1, I.1) [†]	30 (Subway station)
Sampling period (year)	2014 (annual)	2001-2002 (annual)	1999 (annual)	2008 (annual)
Particle size	< 100 μm	< 100 μm	< 100 μm	< 100 μm
Al	(Reference=1.0)	-	(Reference=1.0)	(Reference=1.0)
As	407.1	-	1952.5	-
Cd	2753.1	333.0	2043.1	401.2
Mn	13.2	(Reference=1.0)	5.8	5.4
Ni	59.8	11.7	39.0	13.0
Pb	368.2	41.8	722.3	61.7

* : Used elemental composition of the earth's crust by Taylor-McLennan

** : Used elemental composition of the earth's crust by Ahrens-Taylor

† : R. = Residential area, C. = Commercial area, I. = Industrial area

높았다. 유해중금속성분인 As, Cd, Mn, Ni, Mn 성분은 지점별 모든 지점(#1~#4)에서 농축계수 10 이상인 값을 보여 자동차배출가스, 연료연소(석탄·석유), 폐기물소각, 작업공정 등 인위적인 발생원의 영향을 받은 것으로 추정되었다.

지점별로는 산단지역(#2~#4) 비산단지역(#1)에 비해 Cd와 Mn, Ni, Pb이 뚜렷하게 높았다. 특히, #4 지점은 #1지점에 비해 Cd이 3.7배, #2지점은 #1지점에 비해 Mn과 Ni, Pb이 1.5~2.8배 높았다. 이는 이들 성분을 취급하는 산업체(#2, #4)의 작업공정에서 배출되는 양이 주거형태인 아파트나 주택(#1) 및 염색가공업체(#3)에 비해 상대적으로 많았기 때문으로 사료된다. 이와는 달리 인위적 오염원에 비해 자연적(토양) 오염원의 기여도가 크다고 알려진²²⁾ As는 비산단지역(#1)이 산단지역(#2~#4)에 비해 오히려 1.3~1.7배 높았다. 이는 산업체의 작업공정에서 배출되는 양에 비해 인구밀도가 높은 주거지역에서 많은 차량의 왕래로 배출되는 양과 농약(살충제, 살초제)의 사용량이 상대적으로 많았기 때문으로 추정되

나 추가 연구가 필요하다.

그동안 대구지역에서 수행된 본 연구와 타 연구⁹⁻¹¹⁾의 평균농축계수를 비교 분석하여 Table 3에 나타내었다. 이들 농축계수는 적용된 측정지점, 기준원소, 지각성분표 등에 따라 차이가 나지만 공통적으로 As, Cd, Ni, Pb이 10 이상으로 인위적인 발생원에 의해 영향을 받은 것으로 나타났다. 그러나 Mn의 경우는 본 연구에서 인위적인 발생원의 영향을, 타 연구에서 자연적인 발생원의 영향을 받은 것으로 나타나 이에 대한 좀 더 세밀한 연구가 필요하다고 생각된다.

3. SPM에 함유된 유해중금속성분의 오염도 평가

SPM에 함유된 유해중금속성분의 오염정도를 평가하기 위해 WHO에서 제시한 대기중금속 연평균 권고기준²⁾을 적용하였다. 이때의 기준은 각각 As* 6.6 ng/m³, Cd 5 ng/m³, Mn 150 ng/m³, Ni* 25 ng/m³, 그리고 Pb 500 ng/m³이었다(* : Cancer risk estimates for lifetime risk level 10⁻⁵). 유해중금속성분의 오염

Table 4. Pollution index of hazardous heavy metals

		PI > 1.0		PI < 1.0		PI**
		Sample size (n)	Frequency (%)	Sample size (n)	Frequency (%)	Mean±S.D*
Regional (each,n=12)	#1	0	0	16	100	0.19±0.12
	#2	0	0	16	100	0.32±0.15
	#3	0	0	16	100	0.20±0.10
	#4	0	0	16	100	0.31±0.16
Seasonal (each,n=12)	Spring	0	0	16	100	0.39±0.08
	Summer	0	0	16	100	0.16±0.06
	Fall	0	0	16	100	0.18±0.15
	Winter	0	0	16	100	0.29±0.14
Total(n=64)		0	0	64	100	0.25±0.15

S.D* : Standard Deviation, P.I** : Pollution Index

지수(Pollution Index, P.I)는 위의 기준값을 이용하여 아래와 같은 식으로부터 산출한 결과는 Table 4와 같다.

$$\text{오염지수(P.I)} = \frac{\text{As함량}}{6.6 \text{ ng/m}^3} + \frac{\text{Cd함량}}{5 \text{ ng/m}^3} + \frac{\text{Mn함량}}{150 \text{ ng/m}^3} + \frac{\text{Ni함량}}{25 \text{ ng/m}^3} + \frac{\text{Pb함량}}{500 \text{ ng/m}^3}$$

위 식으로부터 산출된 오염지수가 1.0 이하인 값을 나타내면 중금속으로부터 오염되지 않은 것으로 간주하고, 오염지수가 1.0 이상인 값을 나타내면 중금속으로부터 오염되어 있는 것으로 간주하였다.

산출된 유해중금속성분의 전체평균오염지수는 0.25±0.15로 오염지수기준인 1.0의 1/4로 크게 밑돌았다. 이 수치는 SPM이 사람의 건강에 지장을 주지 않을 정도로서 중금속이 거의 오염되지 않은 낮은 수준이었다.

지점별 오염지수는 #2지점(0.32)>#4지점(0.31)>#3지점(0.20)>#1지점(0.19) 순으로 산단지역(#2~#4)이 비산단지역(#1)에 비해 높았고, 계절별 오염지수는 봄철(0.39)>겨울철(0.29)>가을철(0.18)>여름철(0.16) 순으로 높았다. 또한 전체시료로 볼 때는 총 64개 시료 중 한군데도 오염지수 1.0을 초과하지 않은 점으로 보아 산단지역과 비산단지역의 경우에 중금속으로부터 거의 오염되지 않은 것으로 나타났다. 따라서 대구지역 대기 중의 SPM에 함유된 유해중금속으로부터 장시간 노출로 인해 사람의 건강에 지장을 초래할 만한 정도의 우려수준은 아니라고 사료된다.

4. SPM과 유해중금속성분간의 상관성 분석

SPM과 유해중금속성분간의 상관관계를 분석한 결과는 전체 및 지점별, 계절별로 구분하여 Table 5에 나타내었다.

전체자료는 통계적으로 유의한 상관성(P<0.01)을 보인 성분으로 두 항목간(Ni과 As, Cd)을 제외하고는 모두 신뢰할 만한 상관성을 보였다. 즉, 부유먼지인 SPM은 유해중금속성분간(As, Cd, Mn, Ni, Pb : 0.433, 0.415, 0.742, 0.390, 0.606), As와 Cd, Mn, Pb간(0.340, 0.388, 0.379), Cd과 Mn, Pb간(0.396, 0.491), Mn과 Ni, Pb간(0.731, 0.744), Ni과 Pb간(0.539)에 유의한 양의 상관성을 보였다. 이는 대부분의 성분들이 연료연소, 폐기물소각, 작업공정 등에서 유래된 동일한 계통 즉, 동일한 무리를 이루는 인위적인 발생원을 지녔기 때문으로 사료된다.

지점별로는 통계적으로 유의한 상관성(P<0.05)을 보인 성분으로 비산단지역(#1 : 14개)이 산단지역(#2 : 3개, #3 : 11개, #4 : 10개)에 비해 뚜렷하게 많이 나타났다. 즉, 비산단지역(#1)의 경우는 SPM과 As, Cd, Mn, Ni, Pb간(0.708, 0.903, 0.921, 0.577, 0.811), 유해중금속성분인 As와 Cd, Mn, Pb간(0.750, 0.573, 0.652), Cd과 Mn, Ni, Pb간(0.876, 0.739, 0.804), Mn과 Ni, Pb간(0.773, 0.882), Ni과 Pb간(0.716)에 유의한 양의 상관성을 보였다. 반면에 산단지역(#2~#4)의 경우는 비산단지역(#1)에 비해 유의성이 뚜렷하지 않았으나 SPM과 Mn간(#2 : 0.703, #3 : 0.858, #4 : 0.789) 및 Ni과 Mn간(#2 : 0.802, #3 : 0.684, #4 : 0.586)에는 공통적으로, 그리고 Pb

Table 5. Correlation coefficients among SPM and hazardous heavy metals

• Total(n=64)

	SPM	As	Cd	Mn	Ni	Pb
SPM	(1.000)					
As	<u>0.433</u>	(1.000)				
Cd	<u>0.415</u>	<u>0.340</u>	(1.000)			
Mn	<u>0.742</u>	<u>0.388</u>	<u>0.396</u>	(1.000)		
Ni	<u>0.390</u>	0.163	0.178	<u>0.731</u>	(1.000)	
Pb	<u>0.606</u>	<u>0.379</u>	<u>0.491</u>	<u>0.744</u>	<u>0.539</u>	(1.000)

Correlation coefficients of underlined value are significant at a level of 0.01.

• Regional(each, n=16)

#1	SPM	As	Cd	Mn	Ni	Pb
SPM	(1.000)					
As	<u>0.708</u>	(1.000)				
Cd	<u>0.903</u>	<u>0.750</u>	(1.000)			
Mn	<u>0.921</u>	<u>0.573</u>	<u>0.876</u>	(1.000)		
Ni	<u>0.577</u>	0.306	<u>0.739</u>	<u>0.773</u>	(1.000)	
Pb	<u>0.811</u>	<u>0.652</u>	<u>0.804</u>	<u>0.882</u>	<u>0.716</u>	(1.000)
#2	SPM	As	Cd	Mn	Ni	Pb
SPM	(1.000)					
As	0.133	(1.000)				
Cd	<u>0.502</u>	0.049	(1.000)			
Mn	<u>0.703</u>	0.361	0.492	(1.000)		
Ni	0.466	0.258	0.460	<u>0.802</u>	(1.000)	
Pb	0.333	0.050	0.171	0.494	0.175	(1.000)
#3	SPM	As	Cd	Mn	Ni	Pb
SPM	(1.000)					
As	<u>0.500</u>	(1.000)				
Cd	<u>0.571</u>	0.077	(1.000)			
Mn	<u>0.858</u>	0.363	<u>0.644</u>	(1.000)		
Ni	<u>0.515</u>	-0.199	<u>0.578</u>	<u>0.684</u>	(1.000)	
Pb	<u>0.857</u>	0.386	<u>0.629</u>	<u>0.933</u>	<u>0.684</u>	(1.000)
#4	SPM	As	Cd	Mn	Ni	Pb
SPM	(1.000)					
As	<u>0.721</u>	(1.000)				
Cd	0.396	<u>0.701</u>	(1.000)			
Mn	<u>0.789</u>	0.424	0.199	(1.000)		
Ni	<u>0.692</u>	0.388	0.230	<u>0.586</u>	(1.000)	
Pb	<u>0.735</u>	<u>0.855</u>	<u>0.655</u>	<u>0.611</u>	<u>0.603</u>	(1.000)

Correlation coefficients of underlined value are significant at a level of 0.05.

Table 5. Continued

• Seasonal(each, n=16)

Spring	SPM	As	Cd	Mn	Ni	Pb
SPM	(1.000)					
As	-0.194	(1.000)				
Cd	0.020	0.383	(1.000)			
Mn	<u>0.518</u>	-0.322	0.187	(1.000)		
Ni	0.370	-0.326	-0.067	<u>0.772</u>	(1.000)	
Pb	0.068	0.034	0.449	<u>0.546</u>	<u>0.353</u>	(1.000)
Summer	SPM	As	Cd	Mn	Ni	Pb
SPM	(1.000)					
As	-0.182	(1.000)				
Cd	0.404	-0.259	(1.000)			
Mn	<u>0.783</u>	-0.428	0.327	(1.000)		
Ni	<u>0.754</u>	-0.304	0.279	<u>0.881</u>	(1.000)	
Pb	0.370	-0.235	0.077	<u>0.596</u>	<u>0.340</u>	(1.000)
Fall	SPM	As	Cd	Mn	Ni	Pb
SPM	(1.000)					
As	0.042	(1.000)				
Cd	0.126	0.237	(1.000)			
Mn	0.034	0.255	<u>0.626</u>	(1.000)		
Ni	0.227	0.431	0.376	<u>0.642</u>	(1.000)	
Pb	0.262	0.388	0.553	<u>0.665</u>	<u>0.696</u>	(1.000)
Winter	SPM	As	Cd	Mn	Ni	Pb
SPM	(1.000)					
As	0.077	(1.000)				
Cd	0.448	0.351	(1.000)			
Mn	<u>0.851</u>	0.245	0.251	(1.000)		
Ni	<u>0.729</u>	0.220	0.095	<u>0.960</u>	(1.000)	
Pb	<u>0.840</u>	0.348	<u>0.551</u>	<u>0.852</u>	<u>0.770</u>	(1.000)

Correlation coefficients of underlined value are significant at a level of 0.05.

과 Cd간(#3 : 0.629, #4 : 0.655), Pb과 Mn간(#3 : 0.933, #4 : 0.611), Pb과 Ni간(#3 : 0.684, #4 : 0.603)에도 유의한 양의 상관성을 보였다. 이는 공업지역인 산단지역의 경우에 산업체가 다양한 업종으로 형성되어 복잡한 오염원의 영향을 받았고, 비산단지역의 경우에 아파트와 주택 등의 일반 주거형태로 형성되어 비교적 단순한 오염원의 영향을 받기 때문으로 사료된다.

계절별로는 통계적으로 유의한 상관성(P<0.05)을

보인 성분으로 겨울철(7개)이 다른 계절(봄 : 3개, 여름 : 4개, 가을 : 5개)에 비해 그나마 뚜렷하게 나타났다. 즉, 겨울철의 경우는 SPM과 Mn, Ni, Pb간(0.851, 0.729, 0.840), 유해중금속성분인 Cd과 Pb간(0.551), Mn과 Ni, Pb간(0.960, 0.852), Ni과 Pb간(0.770)에 유의한 양의 상관성을 보였다. 게다가 Ni과 Mn간(봄 : 0.772, 여름 : 0.881, 가을 : 0.642, 겨울 : 0.960), Pb과 Mn간(봄 : 0.546, 여름 : 0.596, 가을 : 0.665, 겨울 : 0.852)에는 사계절 모두 공통적으로, 그리고 SPM과 Mn간(봄 : 0.518, 여름 : 0.783, 겨울 : 0.851), SPM과 Ni간(여름 : 0.754, 겨울 : 0.729), Pb과 Ni간(가을 : 0.696, 겨울 : 0.770), Pb과 Cd간(가을 : 0.553, 겨울 : 0.551), Mn과 Cd간(가을 : 0.626)에도 유의한 양의 상관성을 보였다. 이는 여름철의 경우에 비·바람 등의 영향이 많아 대기층이 비교적 불안정하였고, 겨울철의 경우에 비·바람 등의 영향이 적어 대기층이 비교적 안정된 상태였기 때문으로 사료된다.

IV. 결 론

2014년 4월부터 12월에 대구광역시의 비산단지역(1개소)과 산단지역(3개소)을 대상으로 지점별 및 계절별로 구분, 총 64개의 SPM 시료를 채취하여 산추출한 후 ICP로 유해중금속성분(As, Cd, Mn, Ni, Pb)을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 분석자료를 이용한 SPM과 유해중금속성분의 농도는 산단지역이 비산단지역에 비해 높았고, 봄철 > 겨울철 > 가을철 > 여름철 순으로 높았다.
- 2) 농축계수를 이용한 유해중금속성분의 발생원은 모두 인위적인 발생원의 영향을 받았고, 농축정도는 Cd > As > Pb > Ni > Mn 순으로 높았다.
- 3) 오염지수를 이용한 유해중금속성분의 오염도는 WHO에서 제시한 대기중금속 권고기준의 1/4 수준으로 낮았고, 사람의 건강에 지장을 줄 만한 정도는 아니었다.
- 4) 상관계수를 이용한 SPM과 유해중금속성분간의 상관성은 비산단지역이 산단지역에 비해 유의한 상관성이 많았고, 겨울철이 타 계절에 비해 유의한 상관성이 많았다.

아울러 2014년 대구지역의 주풍향은 서북서풍으로,¹⁹⁾ 본 연구에서 선정된 측정지점 중 산단지역이 모두

서북쪽에 위치하여 이들 지역에서 배출되는 유해중금속성분이 주택이나 아파트가 밀집한 동남쪽의 주거지역까지 영향을 줄 수 있기 때문에 이에 대한 적절한 대기오염원 관리와 정책수립이 필요하다고 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 환경부 “환경분야 시험검사의 국제적 적합성 기반구축” 사업의 일부 지원으로 완성되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. International Agency for Research on Cancer Home page. Available: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>. [accessed 2013].
2. WHO. Air Quality Guidelines for Europe, 2nd ed; 2000.
3. Song HB, Lee EY, Do HS, Jung CS, Shin DC, Lee MS, Paek YK, Jeon SS, Shin WS. Trace elements and source assessment of street dust in daegu, korea. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 2007; 29(7): 793-800.
4. Song HB, Do HS, Lee MS, Shin DC, Yoon HS, Kwak JH, Jung CS, Kang JH. Trace elements analysis and source assessment of school dust in Daegu, Korea. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 2007; 29(12): 1390-1399.
5. Do HS, Song HB, Jung YW, Yoon HS, Kwak JH, Han JU, Kang HJ, Phee YG. Trace element analysis and source assessment of household dust in Daegu, Korea. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 2010; 32(1): 69-78.
6. Song HB, Do HS, Kwak JH, Kim JW, Kang JH, Phee YG. Characteristics of trace element concentrations in dust by facilities and areas in Daegu, Korea. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 2010; 32(3): 287-295.
7. Bae GH, Jung CS, Park KT, Lee MS, Shin DC, Kim YH, Yoon MH, Han YJ, Choi H, Baek SO. Trace element analysis and source assessment of apartment parking lot dust in Daegu, Korea. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 2011; 33(10): 756-766.
8. Song HB, Ahn JE, Jung YW, Yoon HS, Keum JL, Do HS, Kim SS, Kim JW. Trace element analysis and source assessment of parking lot dust in large

- shopping mall. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 2012; 34(3): 168-176.
9. Lee CH. Trace metals of ambient TSP in Daegu Area. *Korean Journal of Environmental Health*. 2003; 29(1): 67-73.
 10. Choi SW, Song HD. Source characteristics of particulate trace metals in Daegu area. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*. 2000; 16(5): 469-476.
 11. Do HS, Song HB, Shin DC, Kwak JH, Lee MS, Yoon HS, Kang HJ, Phee YG. Characteristic assessment of heavy metals in dusts collected by the air filtration system at subway stations in Daegu, Korea. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 2009; 31(1): 42-50.
 12. Kim EK, Song HB, Park MS, Lim JK, Kwon JD, Choi SJ, Park SK, Han GH. The concentrations of ambient VOC_s at industrial complex area in Daegu city. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 2014; 36(7): 498-505.
 13. Maeil Newspaper. Available: http://www.imaail.com/sub_news/sub_news_view.php?news_id=56474&yy=2013. [accessed 15 July 2015].
 14. DAEGU 3RD INDUSTRIAL COMPLEX. Available: http://www.dg3rd.or.kr/html/sub.html?sub=s02_3. [accessed 15 July 2015].
 15. DAEGU DYEING INDUSTRIAL CENTER. Available: http://www.dyecen.or.kr/sub02/list.asp?p_page=10&p_search=&p_keyword=&v_cate=. [accessed 15 July 2015].
 16. WEST DAEGU INDUSTRIAL COMPLEX ASSOCIATION. Available: <http://www.seodaegu.or.kr/>. [accessed 15 July 2015].
 17. Ministry of Environment Republic of Korea : Methods of air pollution, 2008.
 18. Taylor SR, McLennan SM. The Continental Crust : Its Composition and Evolution. Blackwell Sci., Cambridge, Mass, 1985. p.46-47.
 19. Korea Meteorological Administration. Available: http://www.kma.go.kr/weather/climate/past_table.jsp?stn=108&yy=2015&obs=06&x=9&y=10. [accessed 15 July 2015].
 20. Rahn KA. Sources of trace elements in aerosols-an approach to clean air. Ph. D. Thesis, University of Michigan, Ann Arbor, 1971. p.325.
 21. Watson JG. Transections receptor models in air resources management. An international specialty conference, San Francisco, California, 1988. p.491.
 22. Han Y, Du P, Cao J, Eric SP. Multivariate analysis of heavy metal concentration in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment*. 2006; 355: 176-186.