

우리나라 일부도시의 중·고등학교에서 강하분진으로 형성된 축적분진에 함유된 중금속의 분포와 특성에 대한 연구

이진현[†] · 민병연*

공주대학교 사범대학 환경교육과, *대덕고등학교

Distribution and Characteristics of Heavy Metals in the Fallout Dust Deposits at the Middle and High Schools of Some Cities in South Korea

Jin Heon Lee[†] · Byoung Youn Min*

Department of Environmental Education, Kongju National University

*Daedeok High School

(Received June 13, 2003; Accepted August 4, 2003)

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the distribution and characteristics of heavy metals in the fallout dust deposits at the middle and high schools. We collected the samples at 60 schools in Kongju, Incheon and Daejeon on from September to November, 2001, and analyzed Cadmium(Cd), Copper(Cu), Lead(Pb) and Zinc(Zn) from them. Zn was the highest level as 551 ± 79.9 ppm, and the next order were Pb, Cu, and Cd as 146.0 ± 15.2 ppm, 98.7 ± 14.4 ppm and 5.21 ± 0.76 ppm, respectively. The rates of schools exceeding the soil environmental standards were 56.3% in Cd, 53.3% in Zn, 51.5% in Pb, and 31.7% in Cu, respectively. Cd and Pb were the highest levels at schools in Daejeon as 6.30 ± 0.87 ppm and 171 ± 26.1 ppm, respectively. Cu and Zn were the highest levels at schools in Incheon as 176.2 ± 55.8 ppm and 919.8 ± 185.7 ppm, respectively. At Incheon, Cu and Zn levels were significantly higher than Kongju($p=0.041$), and Daejeon($p=0.016$), respectively. Total pollution index(PI) of heavy metals was 1.51 ± 0.16 . PI was 2.00 ± 0.51 on Incheon, 1.50 ± 0.13 on Daejeon, and 0.92 ± 0.24 on Kongju. Correlations were 0.675 ($p<0.05$) between Cu and Cd, 0.663($p<0.05$) between Cu and Zn, and 0.477 between Cd and Pb. In conclusion, Among heavy metals in the fallout dust deposits at schools, Cu and Zn were the highest levels at Incheon, Cd and Pb were the highest levels at Daejeon.

Keywords: The fallout dust deposits, Heavy metals, Cd, Cu, Pb, Zn, Pollution Index(PI)

I. 서 론

산업이 발달하고 도시화가 진행됨에 따라 인구집중현상이 극대화되고, 이로 인하여 초·중등학교도 농촌지역에서는 폐교가 증가하는 반면에 도시지역에는 학교부족으로 인하여 학교설립이 증가하고 있는 실정이다.

이러한 과정에서 학교를 설립해야 하는 위치와 장소

는 자연스럽게 산업화와 도시화에 의하여 형성된 집단화된 거주지역으로 결정되기 때문에 학교가 환경오염으로부터 무방비로 노출되고 있다. 실제로 매스컴을 통하여 산업지역과 도시지역에 위치하고 있는 학교가 소음과 대기오염 등에 의하여 노출이 심각하다고 보도하고 있지만 정작, 이에 대한 연구논문은 매우 부족한 실정이다.^{1,3)}

학교는 학생들이 가장 오랫동안 머물면서 활동하는 공간이고, 학생들이 청소년으로서 신체와 정신의 성장발육이 왕성한 시기이기 때문에 학교환경의 쾌적성을 확보하는 것은 매우 중요하다. 환경오염으로부터 학교

[†]Corresponding author : Department of Environmental Education, Kongju National University
Tel: 82-41-850-8814, Fax: 82-41-850-8810
E-mail : ejhl@kongju.ac.kr

를 쾌적한 환경으로 유지하기 위해서는 학교를 오염시키고 있는 원인물질과 그 발생원을 탐색하는 것이 선행되어야 한다.

산업지역과 도시지역에서 발생하는 입자상물질이 대기 중으로 비산되었다가 일정한 시간동안 학교 대기환경에 머물러 있다가 침강하게 된다. 공기 중에 배출되어 있는 부유물질에 대하여 국내에서는 박홍재 등⁴⁾이 공단지역에서 발생한 부유분진에 대한 연구를 보고했고, 변희옥 등⁵⁾이 서울시의 옥외분진에 대한 연구를 보고했으며, 최진수 등⁶⁾이 구미지역의 부유분진에 대한 연구를 보고하였다. 또한 이동석 등⁷⁾이 대기 부유분의 오염도와 위해성 평가에 대한 연구를 보고했고, 김경웅 등⁸⁾이 대전지역 도로분진에 대한 연구결과, 김성천 등⁹⁾이 대기 부유분진의 입경별 특성, 그리고 최성우 등¹⁰⁾이 대구지역의 부유분진에 대한 연구결과를 발표하였다.

이와 더불어 최근에는 공단배출가스와 황사현상 등에 의한 영향이 심각해짐에 따라 강하분진에 대한 관심이 높아지고, 이에 대한 연구가 진행되기 시작하였다. 외국에서는 Modaihsh¹¹⁾가 사우디아라비아에서 발생하였던 강하분진, Stout¹²⁾은 북미에서 발생한 강하분진, 그리고 Garty, et al.¹³⁾은 이스라엘의 공단지역에서 발생한 강하분진에 대한 연구를 발표하였다. 국내에서는 김은경 등¹⁴⁾이 부산지역에서 발생한 강하분진과 전상기 등¹⁵⁾이 태안반도 주변에서 발생한 강하분진에 대하여 연구하였다.

그러나 강하분진은 짧은 기간동안에 배출된 비산먼지에 의하여 형성된다는 단점이 있다. 주변지역에서 배출된 입자상 물질에 의한 오랜 기간동안의 영향을 평가하기 위해서는 강하분진이 오랫동안 쌓여서 형성된 축적먼지(soiling dust)를 분석하는 것이 적합하다.

본 연구의 목적은 학교건물에 오랫동안 강하분진이 쌓여서 형성된 축적먼지(soiling dust)를 채취하여, 그곳에 함유되어 있는 중금속을 분석하여 우리나라 학교 환경의 오염정도를 평가하고, 학교가 위치하고 있는 지역적 특성에 따라 이들 중금속의 분포를 분석함으로써 학교환경정착을 수립하는데 필요한 기초 자료로 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상선정 및 시료채취

본 연구에서 시료를 채취한 학교는 총 60개의 중·고등학교이다. 이들의 지역분포는 전원지역으로 공주에

서 13개 학교, 공단지역으로 인천에서 16개 학교, 그리고 도시지역으로 대전에서 31개 학교를 무작위로 선택하였다. 시료는 창틀밖에 학생들이 손이 닿지 않는 장소에 퇴적되어 있는 분진을 대상으로 채취하였고, 1개 학교 당 3곳 이상의 장소에서 시료를 채취하여 분석한 결과의 평균값을 그 학교의 측정값으로 사용하였다. 시료채취는 2001년 9월부터 11월까지 3개월 동안 총 3회에 걸쳐서 실시하였다.

2. 시료분석

시료분석 대상물질은 중금속 중에서 주요 환경오염문제와 관계가 깊은 카드뮴, 구리, 납, 그리고 아연 등 4가지 항목을 선택하였다. 시료에서 대상 중금속을 분석을 위하여 시료 250~700 mg에 2ml의 5 M 염산용액과 탈이온수 8 ml를 첨가한 후에 120 rpm에 2시간 동안 흔들어서 중금속을 용출시켰었다. 기기를 이용하여 용출된 용액에서 중금속을 분석할 수 있도록, 용출된 용액을 거름종이로 여과하여 부유물질을 제거하여 기기분석용 시료로 만들었다. 시료 중의 중금속은 원자흡수분광광도계(Atomic Absorption Spectrophotometer, Varian社, Spectr AA-300 Plus)를 이용하여 분석하였다. 분석파장은 카드뮴에서 228.8 nm, 구리에서 324.7 nm, 납에서 283.3 nm, 아연에서 213.9 nm 등을 사용하였다.

3. 오염지수(pollution index)계산

강하분진에 대한 중금속의 오염지수를 계산하기 위하여 Klocke¹⁶⁾가 제시한 토양환경기준을 사용하였다. 각 중금속의 토양환경기준은 카드뮴은 3 ppm, 구리는 100 ppm, 납은 100 ppm 그리고 아연은 300 ppm이었다. 오염지수(PI, pollution index)가 1.0을 초과하는 지역은 오염된 지역으로 추정하였다.

오염지(PI) =

$$\frac{\left(\frac{\text{Cd 함량}}{3\text{ppm}}\right) + \left(\frac{\text{Cu 함량}}{100\text{ppm}}\right) + \left(\frac{\text{Pb 함량}}{100\text{ppm}}\right) + \left(\frac{\text{Zn 함량}}{300\text{ppm}}\right)}{4}$$

4. 자료분석

시료분석을 통하여 얻는 자료는 PC SPSS 10.0 (Window용)을 이용하여 통계처리를 하였다. 공주, 인천, 그리고 대전 지역의 중·고등학교 중금속에 대한 오염도를 비교하기 위하여 ANOVA 분석을 하였고, 유의한 집단에 대하여 Tukey's HSD test를 실시하여 각 집단 간의 유의수준을 분석하였다.¹⁷⁾

III. 연구결과

1. 중·고등학교에서 강하분진으로 형성된 축적분진에 함유되어 있는 중금속 농도

공주, 인천, 대전지역의 중·고등학교의 강하분진으로 형성된 축적분진에 함유되어 있는 중금속의 농도와 Kloke¹⁶⁾가 제시한 토양환경기준을 초과한 비율이 Table 1과 같다.

아연농도가 551.9±79.9 ppm으로 가장 높게 나타났고, 그 다음 순서는 납 농도(146.0±15.20 ppm), 구리 농도(98.7±16.35 ppm)이었고, 가장 낮은 농도로 카드뮴이 5.21±0.76 ppm이었다. 토양환경기준을 초과한 학교의 비율이 카드뮴에서 56.3%로 가장 높았고, 아연에서 53.3%, 납에서 51.5%, 그리고 구리에서 31.7%로 각각 나타났다.

2. 중·고등학교에서 강하분진으로 형성된 축적분진에 함유된 중금속 농도의 지역간 차이

공주, 인천, 대전지역에 있는 중·고등학교에서 강하분진으로 형성된 축적분진에 함유되어 있는 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 납(Pb) 그리고 아연(Zn)의 농도가 Table 2와 같고, 이들의 분포도가 Figs. 1~4와 같다.

카드뮴 농도는 대전지역 학교에서 6.30 ppm으로 가장 높았고, 인천지역에서 5.65 ppm, 공주지역에서 2.05 ppm 등으로 나타났다(p=0.083). 그러나 카드뮴농도분포의 왜곡도(skewness)는 인천지역 학교에서 2.3605로 가장 크게 나타났고, 대전지역에서 1.8046, 공주지역에서 0.4582 등이었다.

구리농도는 인천지역 학교에서 176.2 ppm으로 가장 높았고, 대전지역 학교에서 81.9 ppm, 공주지역 학교에서 54.5 ppm 등이었으며(p=0.030), 인천지역 학교가

Table 1. Concentration of heavy metals(Cd, Cu, Pb and Zn) in the fallout dust deposits at middle and high schools in several cities of South Korea

Heavy metals	Mean ± S.E. (ppm, µg/g)	95% Confidence limit about mean (ppm)		Number of samples exceeding soil environmental standard	
		Lowest	Highest	Number(Total : 60)	%
Cadmium(Cd)	5.21 ± 0.76	3.70	6.72	34	56.7
Copper(Cu)	98.7 ± 16.35	66.0	131.4	19	31.7
Lead(Pb)	146.0 ± 15.20	115.6	176.4	31	51.5
Zinc(Zn)	551.9 ± 79.9	392.0	711.7	32	53.3

Soil environmental standard proposed by Kloke(1979) : Cd, 3 ppm; Cu, 100 ppm; Pb, 100 ppm; Zn, 300 ppm. S.E. : Standard Error

Table 2. Concentration of heavy metals(Cd, Cu, Pb and Zn) in the fallout dust deposits at middle and high schools in several cities of South Korea

Heavy metals	Cities	Mean ± S.E. (ppm, µg/g)	95% Confidence limit about mean(ppm)		F (p-value)
			Lowest	Highest	
Cadmium (Cd)	Kongju	2.05 ± 0.45	1.08	3.02	2.597 (0.083)
	Incheon	5.65 ± 2.16	1.05	10.25	
	Daejeon	6.30 ± 0.87	4.52	8.08	
Copper (Cu)	Kongju	54.5 ± 10.0	32.5	76.5	3.717 (0.030)
	Incheon	176.2 ± 55.8	48.2	286.2	
	Daejeon	81.9 ± 8.86	63.8	100.0	
Lead (Pb)	Kongju	94.1 ± 14.25	63.0	125.1	2.097 (0.132)
	Incheon	138.7 ± 20.05	96.0	181.5	
	Daejeon	171.5 ± 26.11	118.2	224.8	
Zinc (Zn)	Kongju	453.0 ± 190.8	37.1	868.9	4.326 (0.018)
	Incheon	919.8 ± 185.7	524.0	1315.6	
	Daejeon	403.4 ± 77.9	244.4	562.5	

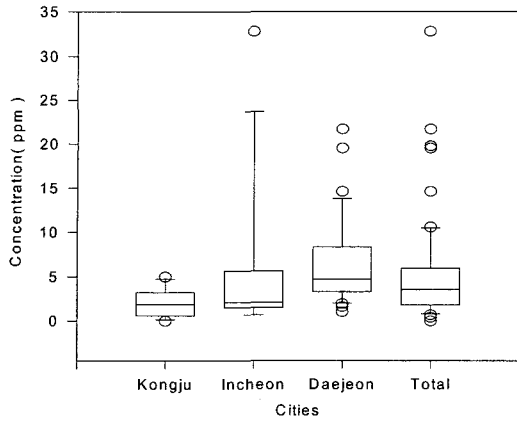


Fig. 1. Distribution of cadmium (Cd) concentration in the fallout dust deposits at the middle and high schools in several cities of South Korea. O is the data outside the 10th and 90th percentile.

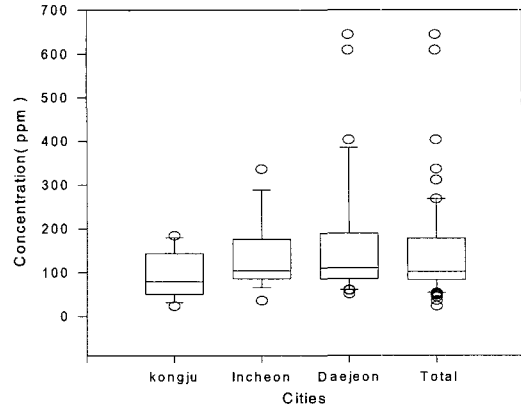


Fig. 3. Distribution of lead (Pb) concentration in the fallout dust deposits at the middle and high schools in several cities of South Korea. O is the data outside the 10th and 90th percentile.

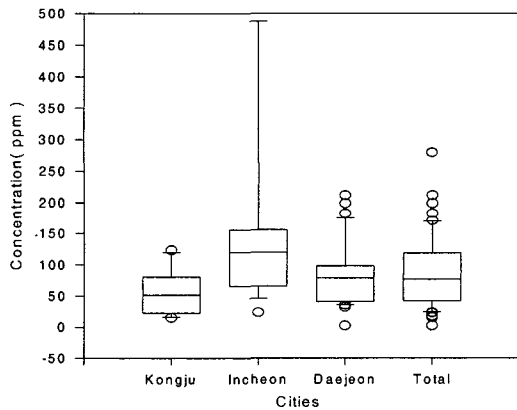


Fig. 2. Distribution of copper (Cu) concentration in the fallout dust deposits at the middle and high schools in several cities of South Korea. O is the data outside the 10th and 90th percentile.

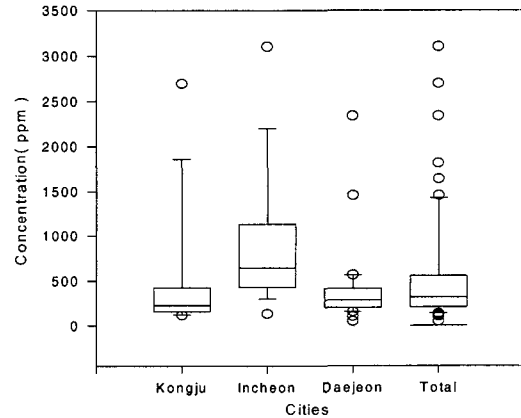


Fig. 4. Distribution of zinc (Zn) concentration in the fallout dust deposits at the middle and high schools in several cities of South Korea. O is the data outside the 10th and 90th percentile.

공주지역에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났다 ($p=0.041$). 또한 구리농도분포의 왜곡도(skewness)도 인천지역 학교에서 3.1997로 가장 크게 나타났고, 대전지역에서 1.1013, 공주지역에서 0.7740으로 낮게 나타났다.

납 농도는 대전지역 학교에서 171.5 ppm으로 가장 높았고, 인천지역에서 138.7 ppm, 공주지역에서 94.1 ppm 등으로 나타났다. 또한 납 농도분포의 왜곡도(skewness)는 대전지역 학교에서 2.1433으로 가장 크게

나타났고, 인천지역에서 1.1760, 공주지역에서 0.5517로 낮게 나타났다.

아연농도는 인천지역 학교에서 919.8 ppm으로 가장 높았고, 공주지역에서 453.0 ppm, 대전지역에서 403.4 ppm 등으로 나타났으며($p=0.018$), 인천지역 학교가 대전지역에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났다($p=0.016$). 그러나 아연농도분포의 왜곡도(skewness)는 대전지역 학교에서 3.4159로 가장 크게 나타났고, 공주지역에서 2.9425, 인천지역에서 1.7316으로 낮게 나타났다.

Table 3. Pollution index(PI) of heavy metals(Cd, Cu, Pb and Zn) in the fallout dust deposits at the middle and high schools in several cities of South Korea

City	Number of samples	PI > 1.0		PI Mean ± S.E.	value	
		Number	%		F	p
Kongju	13	4	30.8	0.92 ± 0.24	2.767	0.071
Incheon	16	10	62.5	2.00 ± 0.51		
Daejeon	31	22	71.0	1.50 ± 0.13		
Total	60	36	60.0	1.51 ± 0.16		

PI : Pollution Index, S.E. : Standard Error.

3. 오염지수(PI)의 지역간 비교

공주, 인천, 대전지역에 있는 중·고등학교에서 강하분진으로 형성된 축적분진에 함유되어 있는 카드뮴, 구리, 납, 아연 등의 중금속에 대한 오염지수(PI)는 Table 3과 같다.

전체지역의 평균 오염지수는 1.51±0.16이었는데, 인천지역의 오염지수가 2.00±0.51로 가장 높았고, 대전지역이 1.50±0.13, 공주지역은 0.92±0.24로 나타났다. 그러나 오염지수가 1.0을 초과하는 학교수는 대전지역이 71.0%로 가장 높았고, 인천지역에서 62.5%, 공주지역에서 30.8%이었다.

4. 강하분진으로 형성된 축적분진에 함유된 중금속 사이의 상관관계

공주, 인천, 대전지역에 있는 중·고등학교에서 강하분진으로 형성된 축적분진에 함유되어 있는 카드뮴, 구리, 납 그리고 아연 농도들 사이의 상관관계는 Table 4와 같다.

상관계수가 구리와 카드뮴에서 0.675(p<0.01), 구리와 아연에서 0.663(p<0.01)으로 매우 높았고, 카드뮴과 납에서 0.478(p<0.01), 카드뮴과 아연에서 0.477(p<0.01)로 다소 높게 나타났다. 반면에 상관계수가 납과 구리에서 0.280(p<0.05), 납과 아연에서 0.210(p<0.05) 등으로 다소 낮게 나타났다.

Table 4. Pearson coefficient(r) among some heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) in the fallout dust deposits at the middle and high schools in several cities of South Korea

	Cd	Cu	Pb	Zn
Cd	1.000			
Cu	0.675**	1.000		
Pb	0.478**	0.280*	1.000	
Zn	0.477**	0.663**	0.210*	1.000

* : p<0.05, ** : p<0.01.

IV. 고 찰

강하분진으로 형성된 축적분진에 함유되어 있는 중금속은 주변지역에서 오랫동안 배출되고 있는 오염원의 특성을 나타내기 때문에 매우 중요하다.

본 연구에서 공주, 인천, 대전지역의 중·고등학교에서 강하분진으로 형성된 축적분진에 함유되어 있는 중금속 농도는 아연농도가 551.9±79.9 ppm으로 가장 높게 나타났고, 그 다음 순서는 납 농도(146.0±15.20 ppm), 구리농도(98.7±16.35 ppm)이었고, 가장 낮은 농도로 카드뮴이 5.21±0.76 ppm이었다. 이것은 최 등¹⁰⁾이 대구지역에서 부유분진에 함유된 중금속들에 대한 농도 순서와 일치하고 있다. 그리고 Kloke¹⁶⁾가 제시한 토양환경기준을 초과한 학교가 카드뮴에서 56.7%로 가장 높았고, 아연에서 53.3%, 납에서 51.5%, 그리고 구리에서 31.7%로 각각 나타났다.

카드뮴은 도시환경에서 자동차 타이어와 고무의 마모, 각종 장식산업, 가정용 및 산업용 쓰레기에서 발생하며, 일반토양 중에는 카드뮴이 평균 0.1-0.5 ppm 범위로 존재한다.¹⁸⁾ 본 연구결과에서 카드뮴 농도가 대전지역 학교에서 6.30±0.87 ppm으로 인천지역과 공주지역에 비하여 높은 수준으로 나타났다. 이런 결과는 변 등⁵⁾의 연구결과와 일치하며, 따라서 강하분진의 카드뮴 농도가 교통량과 밀접한 관계가 있기 때문인 것으로 생각된다.

구리는 채광과 제련, 판금과 제강 등 각종 금속산업 활동에 의하여 분진이 발생하며, 일반토양 중에는 구리가 평균 15 ppm정도로 존재한다.¹⁸⁾ 본 연구결과에서 구리농도는 인천지역 학교에서 176.2±55.8 ppm으로 가장 높았고, 대전지역에서 81.9±8.86 ppm, 공주지역에서 54.5±10.0 ppm으로 나타나서 지역 사이에 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며(p=0.030), 특히 공주지역과 인천지역 사이의 차이가 112.7±45.3 ppm으로 유의한 차이가 나타났다(p=0.041). 이런 결과는 변 등⁵⁾의 결과와 일치하며, 따라서 강하분진의 구리농도가 공단지역

과 밀접한 관계가 있기 때문인 것으로 생각된다.

납은 배터리, 페인트, 납땀, 그리고 건축물의 연관 등에 사용되고 있으며, 자동차 휘발유의 녹킹방지를 위하여 유기성 형태(tetra-ethyl-lead)로 많은 양의 납이 사용되고 있는데, 일반토양 중에는 납이 평균 17 ppm 정도 존재하고 있다.¹⁸⁾ 본 연구결과에서 납 농도는 대전지역 학교에서 171.5 ± 26.11 ppm으로 가장 높았고, 인천지역에서 138.7 ± 20.05 ppm, 공주지역에서 94.1 ± 14.25 ppm이었다($p=0.132$). 이런 결과는 변 등(1996)의 연구결과와 일치하고 있으며, 따라서 강하분진의 납 농도가 교통량과 밀접한 관계가 있기 때문인 것으로 생각된다.

아연은 비철금속산업, 각종 기계부품, 연료 연소 후의 남은 재 등에 의하여 분진에 함유하게 되는데,¹⁹⁾ 일반 토양 중에는 평균 36 ppm 정도 존재한다.¹⁸⁾ 본 연구결과에서 아연농도는 인천지역 학교에서 919.8 ± 185.7 ppm으로 가장 높았고, 공주지역과 대전지역에서 각각 453.0 ± 190.8 ppm과 대전지역이 403.4 ± 77.9 ppm으로 나타나서 지역사이에 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다($p=0.018$). 특히 대전지역과 인천지역 사이의 차이가 516.3 ± 180.5 ppm으로 통계적으로 유의하였다($p=0.016$). 이런 결과는 변 등⁹⁾의 연구결과와 일치하고 있으며, 따라서 강하분진의 아연농도가 공단지역과 밀접한 관계가 있기 때문인 것으로 생각된다.

분진에 함유된 여러 종류의 중금속이 체내에 동시에 흡수되면 상가작용 및 상승작용에 의하여 복합적인 영향을 끼치기 때문에 이들을 결부시켜 산출된 오염지수(PI)가 필요하다. 본 연구에서 Kloke¹⁶⁾가 제시한 중금속의 토양환경기준을 기준으로 산출된 오염지수의 평균값이 1.51 ± 0.16 이었다. 이것은 오염지수가 1.0을 초과하여 학교가 중금속에 의하여 오염된 지역으로 추정할 수 있다. 지역별로 보면 통계적으로 매우 유의한 차이를 나타내고 있는데($p=0.071$), 인천지역이 2.00 ± 0.51 로 매우 심하게 오염되었고, 대전지역도 1.50 ± 0.13 으로 높게 오염되었음을 알 수 있다. 그러나 오염지수가 1.0을 초과한 학교수는 대전지역에서 71.0%로 가장 많았고, 인천지역에서 62.5%, 공주지역에서 30.8%이었다.

강하분진으로 형성된 축적분진에 함유된 중금속들 사이의 상관관계가 구리와 카드뮴에서 0.675이었고, 구리와 아연에서 0.663으로 매우 높게 나타났다. 또한 상관관계수가 카드뮴과 납에서 0.471이었고, 카드뮴과 아연에서 0.477로 나타났다. 그러나 상관관계가 납과 구리에서 0.280($p<0.05$), 납과 아연에서 0.210($p<0.05$)으로 낮게 나타났다. 이러한 결과는 공단지역에서 많이 발생하는 분진에는 카드뮴, 구리, 그리고 아연이 다량으로

함유되어 있고, 자동차의 통행에 많은 곳에서 발생하는 분진에는 카드뮴과 납의 함량이 다량으로 함유되어 있기 때문인 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 2001년 9월부터 11월 사이에 공주지역, 인천지역, 그리고 대전지역에 위치하고 있는 60개 중·고등학교에서 강하분진으로 형성된 축적분진을 채취하여 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 납(Pb), 아연(Zn) 등의 중금속 농도를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

강하분진으로 형성된 축적분진 함유되어 있는 중금속 농도는 아연농도가 551.9 ± 79.9 ppm으로 가장 높게 나타났다, 그 다음 순서는 납 농도(146.0 ± 15.20 ppm), 구리농도(98.7 ± 16.35 ppm)이었고, 카드뮴이 5.21 ± 0.76 ppm로 가장 낮았다. 그러나 토양환경기준을 초과한 학교의 비율은 카드뮴에서 56.3%로 가장 높았고, 아연에서 53.3%, 납에서 51.5%, 그리고 구리에서 31.7%로 각각 나타났다.

대전지역 학교에서는 카드뮴 농도(6.30 ± 0.87 ppm)와 납 농도(171.5 ± 26.11 ppm)가 다른 지역에 비하여 다소 높았고, 인천지역 학교에서는 구리농도(176.2 ± 55.8 ppm, $p=0.041$)와 아연농도(919.8 ± 185.7 ppm, $p=0.016$)가 다른 지역에 비하여 매우 높게 나타났다. 특히 구리농도는 인천지역 학교가 공주지역에 비하여 112.7 ± 45.3 ppm 만큼 유의하게 높았고($p=0.041$), 아연농도는 대전지역에 비하여 516.3 ± 180.5 ppm만큼 유의한 차이로 높았다($p=0.016$).

중금속 오염지수(PI)의 전체평균은 1.51 ± 0.16 이었고, 지역별로 인천지역이 2.00 ± 0.51 로 가장 높았고, 대전지역이 1.50 ± 0.13 , 공주지역이 0.92 ± 0.24 이었다. 오염지수를 1.0 초과한 학교는 대전지역에서 71.0%로 가장 많았고, 인천지역에서 62.5%, 공주지역에서 30.8%이었다.

강하분진으로 형성된 축적분진에 함유된 중금속들 사이의 상관관계수는 구리와 카드뮴에서 0.675이었고, 구리와 아연에서 0.663 등으로 높았다. 또한 상관관계수는 카드뮴과 납에서 0.471, 카드뮴과 아연에서 0.477 등으로 나타났다.

결론적으로 학교에 강하분진으로 형성된 축적분진에 함유된 중금속은 전체적으로 인천지역 학교가 대전지역과 공주지역에 비하여 높은 것으로 평가되지만, 중금속 종류별로 보면 구리와 아연은 인천지역 학교에서 높았고, 카드뮴과 납은 대전지역 학교에서 높은 것으로 평가된다.

참고문헌

1. 박성은, 김진용, 신동천 : 학교시설의 실내공기 중 라돈의 위해성. 한국환경교육학회지, **12**(2), 81-90, 1999.
2. 지준명, 전의찬 : 밀폐 및 공기조화시설 학교의 낙하세균평가. 한국환경교육학회지, **12**(2), 91-99, 1999.
3. 장길수, 전의찬, 국 찬 : 공조시설 학교의 실내 열환경평가. 한국환경교육학회지, **12**(2), 100-109, 1999.
4. 박홍재, 이성욱, 박원우 :공단지역에서 대기 중 총부유분진의 입자크기 분포와 화학적 성분에 관한 분석과 연구. 한국환경과학회지, **2**(3), 201-206, 1993.
5. 변희옥, 김규한, 전효택 : 서울시 영등포구와 구로구에 소재한 중학교 운동장의 토양과 옥외분진의 중금속 오염. *J. Korean Earth Science Society*, **17**(2), 192-204, 1996.
6. 최진수, 전찬준, 백성욱 : 구미지역 대기 중 부유분진 농도측정 및 발생원별 기여도 추정. 대한환경공학회지, **20**(4), 519-532, 1998.
7. 이동석, 임영옥 : 대기 부유분진 오염도 및 위해성 평가. 한국환경관리학회지, **3**, 142-153, 1997.
8. 김경용, 명재훈, 안주성 : 대전지역 도로분진 및 실내분진의 중금속 농도. 한국자원공학회 97년도 춘계발표회지, 65-68, 1997.
9. 김성천, 강달선, 차영희 : 대기 부유분진의 입경별 특성에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **26**(2), 108-115, 2000.
10. 최성우, 송형도 : 다변량 통계분석을 이용한 대구지역 부유분진의 오염원 기여도 추정. 한국환경위생학회지, **26**(4), 1-8, 2000.
11. Modaihsh, A. S. : Characteristics and composition of the falling dust sediments on Riyadh city, Saudi Arabia. *J. Arid Environments*, **36**, 211-223, 1997.
12. Stout, J. E. : Dust and environment in the southern high plains of the North America. *J. Arid Environments*, **47**, 425-441, 2001.
13. Garty, J., Weissman, L., Cohen, Y., Karnieli, A. and Orlovsky, L. : Transplanted lichens in and around the Mount Carmel National Park and the Haifa Bay Industrial Region in Israel : Physiological and chemical responses. *Environmental Research Section A*, **85**, 159-176, 2001.
14. 김은경, 옥 곤, 김여섭 : 부산지역 대기 중 강하분진의 특성에 관한 연구. 한국환경과학회지, **5**(4), 463-471, 1996.
15. 전상기, 김용철, 이성철 : 태안반도주변 강하분진량의 계절변화와 그 성상에 관한 연구. 환경영향평가, **7**(2), 127-133, 1998.
16. Kloke, A. : Content of arsenic, cadmium, chromium, fluorine, lead, mercury and nickel in plant growth on contaminated soil, Paper presented on United Nations-ECE Symposium. 1-180, 1979.
17. Daniel, W. W. : Biostatistics : A foundation for analysis in the health sciences, 3rd ed., 161-260, 1983.
18. Rose, A. W., Hawkes, H. E. and Webb, J. S. : geochemistry in mineral exploration. Academic Press, 549-581, 1979.
19. Phung, E. K. : Trace elements in fly ash and their release in water and treated soils. *J. Environ. Qual.*, **8**, 171-175, 1979.
20. Saffiotti, U. : Experimental studies of the conditions of exposure to carcinogens for lung cancer induction. *JAPCA*, **15**, 23, 1965.