서울特別市 保健環境硏究院報 第46號 (2010)
Report of S.I.H.E., 46:134~143 (2010)

서울시 초등학교 운동장 토양 중 중금속에 관한 연구

폐기물토양팀

최낙경 · 조기찬 · 김장열 · 서광석 · 하광태 · 정혜령 · 윤중섭 · 엄석원

Assessment of the Level of Heavy Metal Pollution in Soil Collected from Elementary School Grounds in Seoul

Waste & Soil Analysis Team

Nak-gyong Choi, Gi-chan Cho, Jang-youl Kim, Kwang-suk Seo, Kwang-tae Ha, Hye-ryeong Jung, Jung-seop Yun and Seok-won Eom

Abstract

This survey was conducted to determine the current status of heavy metals including Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V and Zn in the soil of elementary school grounds in Seoul, Korea. Soils were collected from 97 different locations on elementary school grounds and analyzed for heavy metals by ICP-OES. Contamination with heavy metals was then assessed based on the enrichment factor(EF), pollution index(PI), and integrated pollution index(IPI). The results indicated that, when compared with the Korean soil precaution level and EPA screening level, elementary school grounds in Seoul were rarely contaminated. The EF, PI and IPI of the heavy metals were in the following order: Pb＞Mn＞Zn＞(Co, Ni, V, Cr, Cu). The relatively high EF and PI for Pb and Mn indicated that there is the possibility of pollution with these metals.

Key words : soil, heavy metals, EF(enrichment factor), PI(pollution index), IPI(integrated pollution index)

서 론

도시화 및 산업이 발달하면서 도시에 살고 있는 현대인들은 아파트에서 생활하는 것을 선호하고 있다. 도시가 과밀화 되면서 놀이공간이 부족한 어린이들은 아파트나 학교 놀이터에서 노는 경우

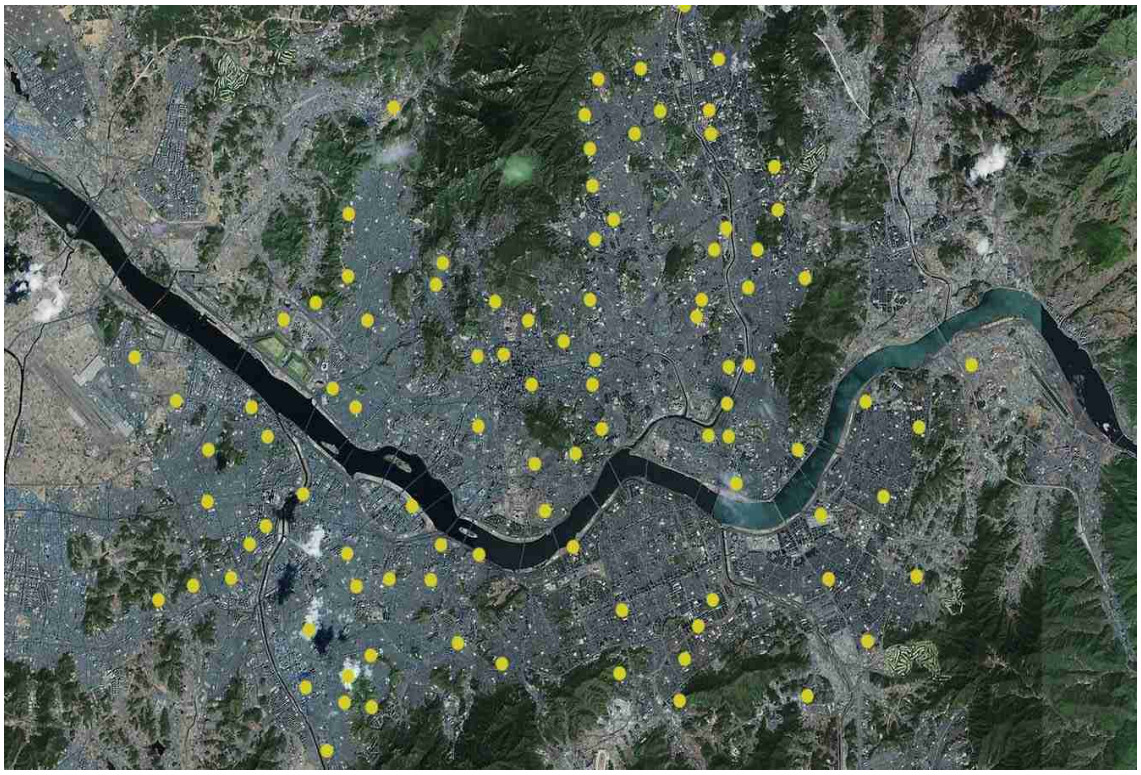

Fig. 1. Location of the sampling sites.

가 많으며, 또한 어린이들은 놀이터 토양을 일종의 놀이기구로 인식해 무의식적으로 모래성을 쌓는다든지, 모래를 집어던지면서 놀기도 한다. 그로 인하여 토양을 만진 손을 씻지 않고 입에 대거나 흡입하는 경우가 많아 위생적으로 문제를 일으킬 수 있다. 실제로 어린이들이 어린이 놀이터, 공원 등에서 모래먼지를 무의식적으로 섭취, 흡입하는 양은 매일 평균 40~200 mg으로, 토양에 가장 많이 접촉하고 있으며, 청결에 대한 개념이 미흡하기 때문에 토양오염물질에 대한 노출위험이 가장 크다(1).

정부에서는 2008년 1월 어린이 놀이시설 안전관리법을 시행하여 놀이터 모래의 유해 중금속 함유 여부 등에 대한 검사를 2년에 한 번씩 받도록 의무화하였으며(2), 서울시는 어린이 공원 모래놀이터 위생검사 계획에 따라 매년 검사를 시행하고 있다. 2010년 상반기에 90개 지점의 서울소재 어린이 놀이터 오염도 검사를 중금속 8개 항목에 대하여 실시하였다. 본 연구는 초등학교의 운동장 토양을 대상으로 중금속 농도를 측정하는 한편, 그 분포 특성을 살펴보고, 퇴적물 내 점토광물의 구성비율과 미량원소의 상대적인 함량변화를 이용하여 금속원소 농축평가에 사용되는 농축계수(enrichment factor ; EF), 환경의 질을 평가하기 위해 보편적으로 사용되는 오염지수(pollution index ; PI) 및 평균오염지수(integrated pollution index ; IPI)를 산출하여 토양 내 중금속 오염도 및 농축 평가를 하였다. 이를 통하여 저연령층인 초등학교 어린이들의 토양 중금속 오염물질에 대한 노출을 방지할 수 있는 기초 자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구는 서울시에 위치한 25개 구청의 초등학교 운동장 중 자치구별로 각각 4개의 지점을 선정하여 수행하였다. 서울시 교육청과 협의를 거친

Table 1. Heavy metal contents in the analyzed soil sample (mg/kg)

	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Mean	6.95	15.4	4.83	17,611	636	10.1	33.8	19.5	52.3
Maxium	17.17	56.3	29.5	33,688	1,182	63.0	85.6	60.0	123
Minimum	2.90	5.89	N.D	10,987	213	3.00	16.0	5.93	24.1
Median	6.11	12.2	2.58	16,612	600	6.94	31.0	18.5	48.2
RSD(%)	47.0	67.7	137	28.6	30.8	87.3	37.2	48.6	37.4
Skewness	1.29	2.14	2.37	1.03	0.51	3.09	2.09	1.34	1.43
Geometric mean[1)]	17.3	92	28	39,200	775	47	17	97	67
Guideline	23[3)]	210[3)]	150[2)]	55,000[3)]	1,800[3)]	100[2)]	200[2)]	390[3)]	300[2)]

[1)] Values recommended(4).
[2)] Korean soil precaution level(5).
[3)] EPA soil screening level(6).

후 최종 총 97개 초등학교 운동장을 대상으로 7월부터 8월 사이 하계방학 기간 동안 시료를 채취하였다. 시료 채취 지점은 그림 1에 나타내었다. 대상지역을 대표할 수 있는 토양시료를 채취하기 위해, 대상지역의 중심이 되는 1개 지점과 주변 4방위의 25~50 m 거리에 있는 1개 지점씩 총 5개 지점을 선정, 채취하여 혼합 후 분석시료 1건으로 하였다. 시료는 1 kg 이상 충분한 양을 채취하여 폴리에틸렌 백에 담아 실험실로 운반하였다. 각각의 채취한 토양시료를 폴리에틸렌제 밧트(vat) 위에 균일한 두께로 하여 직사광선이 닿지 않는 장소에서 통풍이 잘 되도록 펼쳐 놓고 풍건시킨 다음, 눈금간격 0.15 mm의 표준체(100 mesh)로 체분리 후 사분법에 의해 균일하게 혼합하여 분석용 시료로 하였다(3).

분석용 시료는 각각 0.5 g씩을 테프론 베셀에 넣은 후 EPA Method 3051A방법에 따라 질산 7 mL와 염산 3 mL를 주입하여 마이크로웨이브 전처리 장비로 분해하였다. 시료액은 최종 100 mL로 하여 유도결합플라즈마 원자발광분광법(inductively coupled plasma-optic emission spectrometer ; Spectrociros ccd, Germany)을 사용하여 Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V, Zn 항목에 대하여 분석하였다. 분석의 정확성을 위해 표준인증물질(certified reference material ; CRM 026-050, RTC)을 사용하여 0.5 g씩 7개 시료를 EPA Method 3051A방법으로 시료와 동일하게 전처리 후 분석결과를 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 토양 중금속 농도

서울시 소재 초등학교 내 97개의 조사대상 지역의 중금속 농도를 측정하고 토양오염우려기준과 비교하였으며, 기준이 없는 Co, Cr, Fe, Mn, V은 EPA soil screening level(resident soil)을 참조한 결과를 표 1에 나타내었다. Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V, Zn의 평균농도는 각각 6.95, 15.4, 4.83, 17,611, 637, 10.1, 33.8, 19.5, 52.3 mg/kg으로 표 1에서 guideline으로 표기한 토양오염우려기준(1지역)과 EPA soil screening level(resident soil)에 비하여 매우 낮게 조사되었다. 미국의 soil screening level과 비교하여 Co, Fe, Mn이 30~35 %, Cr이 7% 수준으로 나타났으며, 토양오염우려기준과 비교하여 Pb, Zn이 17 %, Ni, Cu은 10 % 이하의 수준으로 나타났다. 각 원소들의 최대값도 guideline을 넘

Table 2. CRM observed value and recovery

(n=7)	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Mean(mg/kg)	8.51	37.5	22.5	22,094	680	17.4	26.9	44.3	166
RSD(%)	3.13	3.06	2.93	1.70	4.25	0.940	2.42	3.61	3.01
CRM[1] certified value(mg/kg)	6.77±0.477	27.2±2.33	18.8±0.616	21,900±1,080	633±21.8	14.4±1.09	25.6±1.33	32.0±3.33	140±5.01
Recovery(%)	126	138	119	101	107	121	105	138	119

[1] CRM 026-050, RTC.

지 않았다. 원소들 중 Fe은 상대표준편차(RSD)가 28.6으로 가장 낮게 나타났다.

토양 분석의 정밀, 정확성을 확보하기 위하여 표준인증물질을 분석한 결과는 표 2에 나타내었다. 항목 간에 차이가 있지만 상대표준편차(RSD)는 1.70~4.25, 회수율(recovery)은 101~138 %로 양호하였다.

2. 토양 중금속 농축 평가

토양의 중금속 오염 또는 인위적 영향 등을 평가하기 위해서 농축계수(enrichment factor ; EF), 오염지수(pollution index ; PI), 평균오염지수(integrated pollution index ; IPI)를 산출하였다(7~11).

농축계수(이하 EF)는 Chester and Stoner (1973)와 Zoller 등(1974)에 의해 일반화 되었으며, 퇴적물 내 점토광물의 구성비율과 미량원소의 상대적인 함량변화를 이용하여 금속원소 농축평가에 사용된다(7~11). EF를 구하는 식은 (3-1)과 같다(9).

보존성원소의 농도는 보통 Al, Fe, Ti, Si, Sr, K 등이 쓰이며(10), 본 연구에서는 그 기원이 대부분 지각물질로 알려져 있고, 연구지역에서 상대적으로 함량 변화 편차가 적은(RSD = 28.6) Fe을 사용하였다. 배경농도는 R. L. Rudnick이 제시한 지각 평균값을 사용하였다(4). 기본적으로 EF는 표 3과 같이 5단계로 나누어 평가한다(10, 11). EF는 인위적인 농축정도를 판가름하는데 쉽고 유용하지만, 좀 더 조심스럽게 사용할 필요가 있다. 지역적 토양 성분의 차이나 지각평균값의 선택에 따라 EF가 변화가 있을 수 있으므로 EF가 5가 넘지 않는 수치들은 큰 의미를 부여하지 않는다. 지역적으로 다른 배경농도를 구체적인 조사값에 기초하여 사용하면 세밀하고 향상된 평가가 가능하며,

$$\text{농축계수}(EF) = \frac{\text{측정된 원소성분의 농도}/\text{측정된 보존성 원소의 농도}}{\text{원소성분의 배경농도}/\text{보존성원소의 배경농도}} \quad \cdots\cdots (3\text{-}1)$$

Table 3. Five contamination categories of EF

EF	Contamination category
<2	States deficiency to minimal enrichment
2 ~ 5	Moderate enrichment
5 ~20	Significant enrichment
20 ~ 40	Very high enrichment
>40	Extremely high enrichment

우리나라도 지역적으로 다른 배경농도를 정밀하게 조사할 필요가 있다(9, 10).

각 토양 시료의 EF를 구한 결과는 표 4와 같으며 항목별 평균값이 5를 넘는 것이 없었다. Pb의 EF는 평균 4.71로 원소 중 가장 높은 EF를 나타내었고, Mn과 Zn은 각각 1.91, 1.77을 나타냈으며 다른 원소들은 그 값이 1을 넘지 못했다. 그림 2와 같이 토양 중 중금속의 농축정도는 Pb>Mn>Zn>Co, Ni, V, Cr, Cu 순으로 나타났다. 이는 대부분 원소가 농축되지 않았으며 Pb만이 어느 정도 인위적인 요인에 의하여 농축되었음을 시사하고 있다. Pb은 이동원의 배기가스에서 흔히 볼 수 있는 오염원이며, 석탄 화력발전, 세라믹 제조, 광산, 채굴, 납 합금의 생산, 사용, 재활용과 소각 과정, 각종 산업활동과, 그 공정의 폐기물 처리 등에서 발생된다. 또한, 전 지구적인 유기금속화합물의 증가로 Pb을 포함한 As, Bi, Cd, Ge, Hg, Sb, Se, Sn, Ti 등의 원소들은 지역적 오염원과 관계없이도 광범위하게 농축되고 있다(9, 12). Pb의 농축은 서울의 지역적 요인과 지구적 경향이 동시에 작용할 수 있으며, 서울의 지역적 오염원이 원인이라 단정 할 수 없는 것으로 사료된다.

오염지수(이하 PI)와 평균오염지수(이하 IPI)는 환경의 질을 평가하기 위해 보편적으로 사용된다. PI를 구하는 식은 (3-2)와 같다(10, 11). 또한, IPI는 각 원소들의 PI의 평균으로 정의된다. PI와

$$\text{오염지수(PI)} = \frac{\text{측정된 원소의 농도}}{\text{원소의 배경농도}} \quad \cdots\cdots (3\text{-}2)$$

Table 4. EF of heavy metals in the elementary school grounds in Seoul

Statistical values	Heavy metal							
	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Mean	0.86	0.36	0.36	1.91	0.47	4.71	0.43	1.77
Maximum	1.35	1.02	2.24	3.94	3.91	12.40	0.84	4.13
Minimum	0.51	0.12	0.00	0.77	0.12	1.86	0.18	0.85

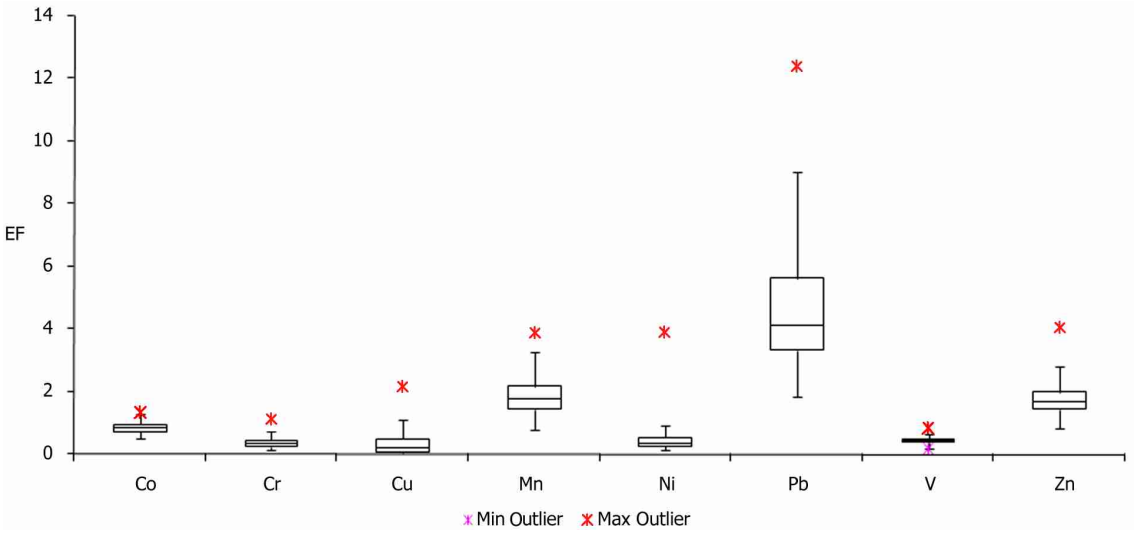

Fig. 2. Box-plot of enrichment factor(EF).

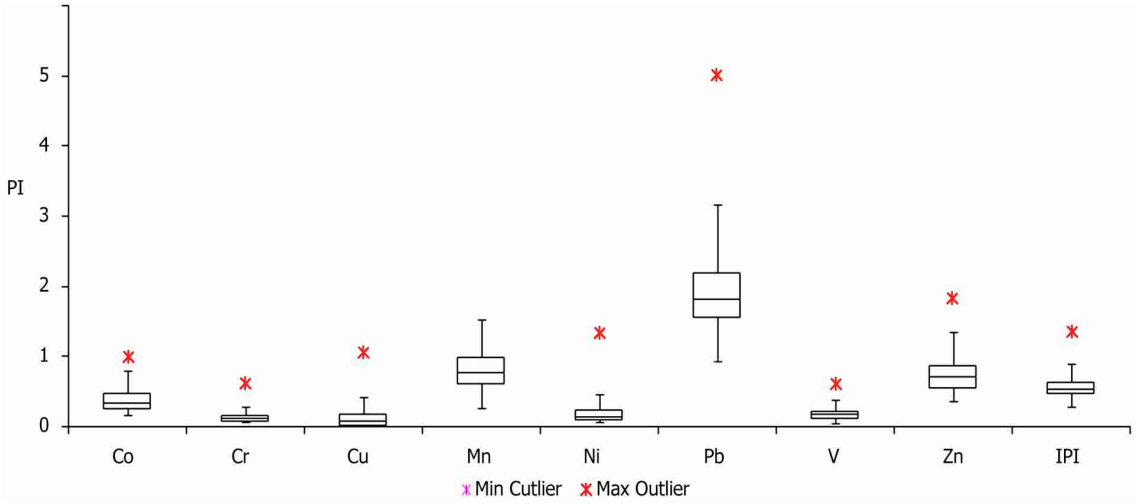

Fig. 3. Box-plot of pollution index(PI) and integrated pollution index(IPI).

IPI는 기본적으로 3단계로 평가하는데 표 5와 같다(10, 11).

Table 5. Three contamination categories of PI and IPI

PI, IPI	Contamination category
<1	Low
1~2	Midium
>2	High

표 1의 지각 평균값을 배경농도로 하여 PI와 IPI를 계산 한 결과는 표 6, 그림 3에 나타내었다. 그림 3과 같이 PI는 Pb>Mn>Zn>Co, Ni, V, Cr, Cu 순으로 나타났다. PI는 EF와 같은 순서를 나타냈으며, PI는 Pb이 평균 1.99로 항목 중에 제일 높지만 오염지수로는 중간 수준의 오염수치를 나타내었다. 다음으로 Mn, Zn이 각각 평균 0.82, 0.78, 그 밖에 원소들은 그 평균이 0.4이하의 수치를 나타내어 Pb 이외의 원소들은 오염도가 거의 없는 것으로 나타났다. IPI도 97개 지역 중 5개 지역만 1이 넘었으며 그 수치도 1.4를 넘지 않아 우려할 만한 수치를 나타내지 않았다.

3. 토양 중금속 분포 특성.

서울지역 초등학교 운동장의 토양 중 중금속 분포 특성을 연구지역의 데이터와 FOREGS(Forum of the European Geological Surveys)의 데이터 비교를 통해 고찰하였다. 연구 지점의 위도, 경도의 좌표를 각 원소의 농도와 같이 회기분석 하였다. 그 결과는 표 7과 같다.

유럽은 FOREGS를 결성(1994)하여 광범위한 유럽대륙의 토양을 조사하였고, 실험의 오차를 줄이기 위해 중금속은 핀란드에서 일괄적인 분석이

Table 6. PI and IPI of heavy metals in the elementary school grounds soils in Seoul

Statistical values	Heavy metal								
	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn	IPI
Mean	0.40	0.17	0.17	0.82	0.22	1.99	0.20	0.78	0.59
Maximum	0.99	0.61	1.05	1.53	1.34	5.04	0.62	1.84	1.40
Minimum	0.17	0.06	N.D	0.28	0.06	0.94	0.06	0.36	0.29

Table 7. Correlation matrix of heavy metals

	X(axis)	Y(axis)	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
X(axis)	1										
Y(axis)	0.25	1									
Co	-0.02	-0.29	1								
Cr	-0.09	-0.26	0.80	1							
Cu	-0.21	-0.17	0.57	0.76	1						
Fe	0.06	-0.197	0.92	0.62	0.43	1					
Mn	-0.43	-0.15	0.25	-0.01	0.03	0.38	1				
Ni	-0.06	-0.39	0.53	0.66	0.52	0.39	-0.07	1			
Pb	-0.45	-0.21	0.18	0.22	0.48	0.16	0.47	0.15	1		
V	0.15	-0.22	0.94	0.76	0.44	0.88	0.11	0.48	0.03	1	
Zn	-0.19	-0.20	0.62	0.53	0.65	0.62	0.43	0.31	0.50	0.48	1

이루어졌다. 이 중 인위적인 영향을 덜 받을 것으로 예상되는 심토(50~200 cm)의 자료를 참조하였으며, 표 8과 같다.

표 8과 같이 유럽 토양 심토에서 Fe은 V과 매우 강한 상관성을, Co, Mn, Cu와도 강한 상관성을 나타내었다. Cr은 Ni과 강한 상관성을, Fe, V 등과도 좋은 상관성을 나타내었다. 본 연구의 초등학교 운동장 토양은 표 7과 같이 V, Co, Cr은 지역적으로 편차가 적은 Fe과 높은 상관성을 나타냈다. 이는 유럽 토양에서 심토의 원소 간 상관성과 유사하다. 따라서 Fe, V, Co, Cr 등의 원소들은 운동장 토양의 자연함량에 기인한 것으로 판단하며, 이는 낮은 EF, PI에서도 유추할 수 있다. Ni은 Cr과 좋은 상관성을 나타냈었고, 이는 FOREGS의 심토 분석 결과와 유사하고, 앞서 고찰한 EF, PI가 낮은 것 보아 자연적 함량에 기인하는 것으로 판단하였다.

Pb과 Mn은 다른 원소들과 상관성이 매우 낮고 둘 간의 상관성이 다른 원소보다 상대적으로 높은 것은 EF, PI에서 고찰하였듯이, 인위적인 오염원에 의한 것으로 그 오염원 또한 유사한 것으로 생각한다.

Zn은 Pb과 Mn과 같이 인위적인 오염이 예상되는 원소들과의 상관성과 Fe 등 자연함량에 기인할 것이라 예상되는 원소들과의 상관성을 모두 적절히 나타내었다. 앞서 고찰한 EF, PI가 Pb와 Mn에 비해서는 낮지만 Fe 등의 다른 원소들에 비하여 높은 것으로 보아, 어느 정도 인위적인 오염원이 존재하나 그 자연적 함량 또한 충분히 많다고 생각한다.

인위적인 오염으로 예상되는 Pb과 Mn의 경우 -0.45, -0.43의 위도(표 7에서 X(axis))와 음의 상관성을 나타내었는데. 전체적으로 서쪽이 좀 더 오염물질의 농도가 높은 경향이 있었다. Pb과 Mn 이외의 자연적 함량으로 보이는 물질들에서는 위도와 경도에서 상관성을 보이지 않았다.

EF를 한강 이북의 북부, 이남의 남부, 서초, 성동, 동대문, 성북구를 포함한 동쪽을 동부, 이외지역을 서부로 나누어 구분하였을 때 그림 4, 그림 5와 같고, 남북 간 EF의 차이는 미비했다. 동서 간의 차이는 Mn은 28%, Pb은 27% 정도 동쪽이 더 낮은 수치를 나타내었다. Pb과 Mn은 상대적으로 다른 원소들에 비해 EF, PI가 큰 원소들로 인위적으로 농축된다고 볼 수 있는 원소들이었다. 지정학적으로 우리나라는 주풍인 편서풍의 풍하지역에 위치해 중국의 영향을 받을 수 있다. 중국의

Table 8. Median concentrations of heavy metals in subsoil samples by FOREGS(14)

Elements	Extraction	Median (mg/kg)	Correlation
Co	Aqua regia(ICP-MS)	8.00	Strong correlations(>0.6) with Ni, Cr, V, Sc, Fe, Cu, Ti and Mn
	Total(ICP-MS)	8.97	
Cr	Aqua regia(ICP-MS)	24.0	Very strong correlation(0.89) with Ni Good correlations(>0.4) with Fe, Sc, V and U
	Total(ICP-MS)	62.0	
Cu	Aqua regia(ICP-MS)	13.0	Strong correlations(>0.6) with Fe, V, Sc and Co
	Total(ICP-MS)	13.9	
Fe	Aqua regia(ICP-MS)	21100	Very strong correlations with V, Sc and Ti Strong correlations(>0.6) with Co, Al, Ga, In, Mn and Cu
	Total(XRF)	29200	
Mn	Aqua regia(ICP-MS)	337	Strong correlations(>0.6) with Fe and Co
	Total(ICP-MS)	465	
Ni	Aqua regia(ICP-MS)	18.0	Very strong correlation(0.89) with Cr Strong correlation(>0.6) with Co
	Total(ICP-MS)	21.8	
Pb	Aqua regia(ICP-MS)	10.0	Strong correlation(0.64) with Zn
	Total(ICP-MS)	33.0	
V	Aqua regia(ICP-MS)	62.8	Very strong correlations with Fe(0.91) and Sc(0.91) Strong correlations(>0.6) with Co, Cu, Ti, Al, Ga, In ane Eu
	Total(ICP-MS)	17.2	
Zn	Aqua regia(ICP-MS)	44.0	Strong correlations(>0.6) with Pb and In
	Total(ICP-MS)	47.0	

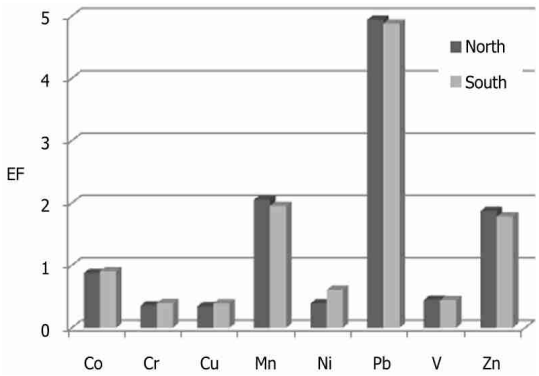

Fig. 4. EF of north and south.

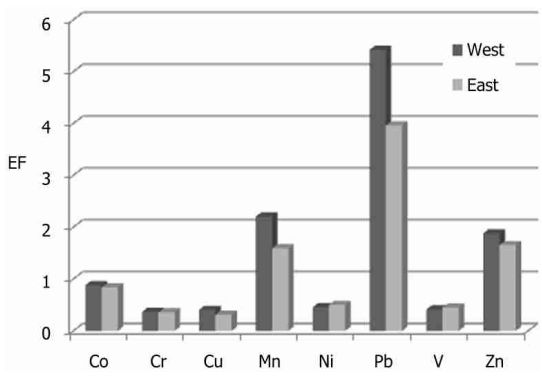

Fig. 5. EF of east and west.

황산화물, 질소산화물의 배출은 70%이상이 석탄 연소과정에서 발생한다. 연소과정에 의해 가스상 물질뿐만 아니라, 입자상 물질도 상당량 배출되며, 이에 포함된 중금속 등 유해물질이 다소 영향을 미친 것으로 생각한다. 한 예로 황사의 경우 서울 양재동 중금속 자료를 살펴보면 05년~08년 비황사 평균에 비해 Pb 2.3배, Mn 8.8배, Fe 10배, Cr 2.8배, Cd 3배, Ni 3.6배에 달했다(14, 15).

결 론

1. 본 연구에서는 Pb, Ni 등 9항목의 중금속 농도와 EF, PI, IPI를 산출하여 서울지역 초등학교 운동장 토양의 오염도, 농축정도를 연구하였다. 초등학교 운동장 토양 중 Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V, Zn의 평균농도는 각각 6.95, 15.4, 4.83, 17,611, 636, 10.1, 33.8, 19.5, 52.3 mg/kg이였다. 전 조사지점에서 토양오염우려기준(1지역)과 EPA soil screening level을 넘지 않았으며, 전반적으로 기준에 비해 낮은 수치를 나타내었다.

2. 토양 중 Fe의 농도와 지각평균값을 사용하여 EF, PI, IPI를 계산한 결과 Pb이 중간정도 오염도와 농축정도를 나타냈고, 이외의 원소는 오염도, 농축정도가 낮은 수준이었다. EF, PI의 결과수치는 Pb>Mn>Zn>Co, Ni, V, Cr, Cu 순으로 나타났다. IPI는 97개 지점 중 5지점을 제외하고는 모두 1이하로 오염도가 낮았다.

3. 지점의 위도, 경도, 각 원소의 농도의 상관성을 살펴본 결과 Pb, Mn는 다른 원소들 간의 상관성이 거의 없고 둘 간의 농도 상관성이 0.4 이상 이었다. 지역적으로 서쪽이 더 농축되는 경향이 공통적으로 나타났다. 두 원소 모두 상대적으로 다른 원소들에 비해 EF, PI가 높은 원소임을 고려할 때 Pb, Mn는 유사한 인위적 오염원에 의하여 농축되고 있으며 향후 보다 정밀한 조사가 필요하다.

4. 토양 오염도 평가의 정확성을 위하여 추후 우리나라 지역적 배경농도 조사가 수행되어야 할 것이다. 또한, 주기적으로 교체되는 학교 운동장 토양은 초기 마사토를 사전에 검사함으로써 섬세하고 정확한 농축계수 및 오염지수 평가가 가능할 것이다.

참고문헌

1. 환경부 : 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003.
2. 어린이놀이시설 안전관리법 법률 제 9156호.
3. 토양오염공정시험기준, 환경부고시 제2009-255호.
4. Rudnick RL : Treatise on Geochemistry, Elsevier, volume 3.01 Composition of the continental Crust, p18, 2003.
5. 토양환경보전법 시행규칙〔별표 3〕 〈개정 2009.6.25〉.
6. U.S. Environmental Protection Agency, Region 9 : http://www.epa.gov/region9/superfund/prg(summary tale).
7. 김주용, 은고요나, 고영구, 윤석태, 오강호, 김동주 : 전남 나주·영암지역의 영산강 하류 시추 퇴적물의 퇴적환경과 지구화학적 특성. 한국지구과학회지, 22:301~317, 2001.
8. 오강호, 고영구, 김주용, 김해경 : 한반도 남서해안 상부조간대의 퇴적상 및 지구화학적 특성. 한국지구과학회지, 23:722~735, 2002.
9. Clemens R and Patrice DC : Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment : regional geochemical surveys versus enrichment factors. Science of The Total Environment, 337(1~3):91~107, 2005.
10. Lu XW, Wang LJ, Lei K, Huang J and Zhai YX : Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China.

Journal of Hazardous Materials, 161 (2~3):1058~1062, 2009.
11. Semra M, Berna YA and Savas K : Assessment of the levels of heavy metal pollution in roadside soils of Eskisehir, Turkey. Environmental Toxicology and Chemistry, 29(12):2720~2725, 2010.
12. U.S. Environmental Protection Agency : http://www.epa.gov/ecotox/ecossl (lead).
13. Geological Survey of Filand : http://www.gtk.fi/publ/foregsatlas/text.
14. 김영성 : 대기중 잔류성 유기오염물질과 중금속의 특성과 현황. 한국대기환경학회지, 19:217~229, 2003.
15. 환경부 : 지난 12월의 반짝 황사, 전국 미세먼지 농도에 큰 영향, 보도자료, 2010.3.18.