

I시 어린이 놀이터의 토양 중 중금속 오염에 관한 연구

이충대 · 이윤진 · 조남영 *

건국대학교 환경공학과
* 재능대학 환경공학과

Evaluation of Heavy Metal Pollution in Soil on the Playgrounds for Children in I area

Choong Dae Lee, Yoon Jin Lee and Nam Yong Cho *

Department of Environment Engineering, Konkuk university

*Department of Environment Engineering, Jaeneung college

(Received 1 August 2001 ; Accepted 1 September 2001)

ABSTRACT

The study was conducted to measure the heavy metal pollution of soils at the playgrounds for children and to investigate the characteristics of heavy metals distribution in I city. The studied area was divided into two: the residential area and the industrial area. The samples of the sands and soils were collected from both areas. The results were obtained as follows.

All average concentration of 6 different heavy metals was found to be lower than the standard of soil pollution. Zn, Pb and Cu concentrations were higher than other species of heavy metals. The contents of heavy metals in the soils were higher than the sands. The average contents of Zn, Pb, Cu, As, Hg and Cd in soil were 38.36, 9.53, 7.31, 0.03, 0.18 and 0.09 mg/kg respectively. Comparing with the residential area, heavy metal concentrations of the industrial area were 4.60, 1.49, 2.60 and 4.29 times for Zn, Pb, Hg and Cd in soils, respectively.

I. 서 론

토양은 무수한 생물군들의 서식지이며 자원의 생산과 오염물질의 자연정화 장소일뿐만 아니라 생태계의 형성과 기능의 항상성을 유지시키는 기본적인 필수적인 틀이다.¹⁾ 이러한 토양환경을 건강하게 보호하며 관리해 나가는 것은 우리 인류의 생존에 있어서 매우 중요하다. 현재 인간의 활동에 의한 환경오염은 매우 심각한 상태에 도달하고 있으며 특히 토양은 대기권 및 수권과 다르게 그 구조적인 측면이 기능적 측면만큼이나 복잡하고 다양하므로 오염이 되면 복원시키는 것이 쉽지 않다.²⁾

토양의 중금속 오염은 생태계의 먹이사슬을 파괴할 뿐만 아니라 인간생활과 환경에 대한 독성과 위험

성을 가져올 수 있기 때문에 주요 관심사가 되고 있다.³⁾ 토양을 오염시키는 중금속 성분은 공장이나 광산으로부터 배출된 폐수에 의해 유입되거나^{4,5)}, 자동차 등에서 배출되는 매연 및 분진 중에 함유되었다가 중금속이 강하하여 축적되기도 하며⁶⁾ 도시하수 또는 산업폐수 등의 토양의 유입등의 경로가⁷⁾ 일반적이다.

국내에서는 1996년 토양환경보전법이 제정되어 시행되고 있으나 현재까지는 국내 토양오염 현황 조사, 오염된 토양의 처리 및 정화기술의 확보가 부족한 실정이다.⁸⁾ 더구나, 어린이들이 이용하는 놀이시설의 토양이 중금속으로 오염되었을 경우에는 중금속 성분이 피부에 노출되거나 구강을 통해 인체에 직접적으로 악영향을 줄 수 있으나 아직까지 이에 대한 기초적 연구도 수행되고 있지 않고 있다. 더구나 현재까지는 국내에는 놀이터 토양 및 모래의 설치, 교환 및 관리에 대한 지침 및 제도적 장치가 미흡하여 성인에 비해 유해물질에 대한 저항력이 약한 어린이들이 중

†Corresponding author : Department of Environment Engineering, Konkuk University.
Tel : 02-447-8367
E-mail : yjlee@konkuk.ac.kr

금속의 위험에 무방비 상태로 노출되어 있는 상황이다.

토양층의 중금속은 자연계에 존재하는 물질이기 때문에 토양의 특성에 따라 배경농도가 모두 다르다.⁹⁾ 따라서 토양의 오염정도를 평가하기 위해서는 토양층의 전체 중금속 원소들을 분석하고 비교지역의 토양이나 정상적인 토양의 바탕값과 비교할 수 있다.¹⁰⁾

본 연구에서는 *I*시를 대상으로 16개의 지점을 선정하여 놀이터 토양 및 모래의 중금속용출농도를 측정하여 토양의 바탕값과 비교하였다. 연구지역을 주거단지와 공업지역을 분류하여 각 지역별 오염 특성을 파악하고 중금속의 분포현황을 고찰하여 보았다.

II. 실험방법

1. 연구대상

본 연구는 *I*시의 놀이터 토양을 대상으로 총 16개 지점, 즉 주거지역 12개지점, 공장주변 4개 지역으로 분류하여 각각의 오염특성을 고찰하였다. 놀이시설 지반 층의 상층 20~60 cm는 모래층로 되어있으며 그 하층은 토양층으로 구성되어 있었다. 따라서 본 연구에는 놀이터 시설의 토양 특성상 입경에 따른 일반적인 분류법이 아닌 상층의 모래층(sand로 표기)과 하층의 토양층(soil로 표기)으로 분류하여 제시하였다. 조사기간은 2000년 6월부터 10월까지 2개월 단위로 총 3회 측정된 값의 평균값을 제시하였다.

2. 시료채취

시료는 대표성을 높이기 위해 모래와 토양을 각각의 놀이터별로 5개 지점을 선정하여 시료를 일정량씩(약 100 cm³) 채취해 혼합한 뒤 분석용 시료(약 500 g)으로 하였다. 채취한 시료를 실험실로 운반한 후 스테인레스쟁반이나 폴리에틸렌 받트(vat)에 넣고 자갈이나 나무조각 등의 이물질을 제거한 후, 일정한 두께로 하여 직사광선이 닿지 않고 통풍이 잘되는 곳에서 풍건(風乾)하였다. 시료들을 가끔 섞어주고 건조가 완료되면 2 mm체(8 mesh)에 통과시켰다. 토양시료는 눈금간격 0.16 mm 표준체(100 mesh)에 통과시키고 모래시료는 입경 2~0.2 mm(이하 거친 모래라 표기)와 입경 0.2 mm 이하

(이하 고운 모래라 표기)로 구분하여 사분법에 의해 균일하게 분류하였다.

3. 분석방법

시료 10 g을 정확히 달아 100 mL 삼각플라스크에 넣고 0.1 N HCl 50 mL(단 As, Hg의 경우 1 N)를 주입하였다. 항온 수평진탕기(100회/분, 진폭 10 cm)를 사용하여 30℃를 유지하면서 1시간 진탕한 다음 0.45 μ m filter를 통과시켜 이를 원자흡수분광광도기(Varian SpectrAA 800 AAS)로 측정하였다.¹¹⁾

III. 결과 및 고찰

1. 주거지역에 위치한 놀이시설의 중금속 오염도

*I*시 주거지역의 각 지역별 중금속의 오염도를 나타내면 Table. 1과 같다. *S*₂지역의 Pb와 Cu의 농도가 높게 검출되었는데 특히 Cu의 토양 중 검출농도는 전국 평균농도의 약 20배에 해당되며 토양오염 우려 기준치인 50 mg/L을 초과하는 값을 나타내고 있어 이에 대한 대책이 요구된다. 또한 같은 장소에서 Pb의 농도가 모래와 토양층에 모두 높게 검출되었는데 *S*₂지역이 도로와 인접한 지역에 위치한 것에 기인한 것으로 생각된다. 본 연구에서는 유기인, 6가크롬, 시안에 대해서도 측정하였으나 모든 실험에서 불검출되었다.

주거지역 놀이터의 토양과 모래에서는 중금속의 용출 농도가 대부분 그 기준치를 초과하지 않았지만 전국의 평균농도를 상회하였다. 놀이시설 특성상 어

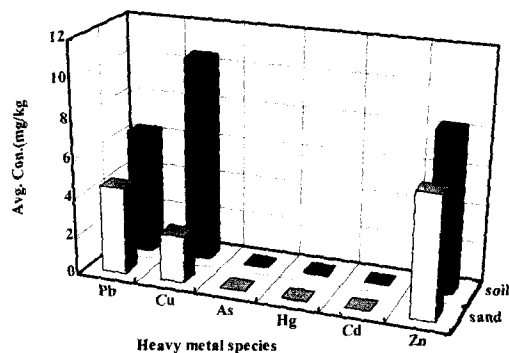


Fig. 1. Heavy metal means concentrations of coarse sand and soil on playground for the residential area.

Table 1. Analytical results of heavy metals of sand and soil on playground for the residential area (unit : mg/kg)

Site	Pb		Cu		As		Hg		Cd		Zn	
	sand	soil	sand	soil	sand	soil	sand	soil	sand	soil	sand	soil
S ₁	2.434	6.654	3.339	4.122	0.031	0.089	ND	0.0854	0.003	0.008	7.404	14.540
S ₂	17.372	22.959	4.168	96.389	0.032	0.028	0.0940	0.1218	0.008	0.038	12.029	22.650
S ₃	2.969	3.332	1.472	2.364	0.061	0.011	0.0008	0.0025	ND	0.009	4.461	7.950
S ₄	6.697	10.433	4.395	3.740	0.031	0.031	ND	0.0558	0.031	0.019	8.965	8.687
S ₅	4.108	7.840	3.035	3.269	0.036	0.033	0.0300	0.2295	0.002	0.042	9.523	9.644
S ₆	2.043	4.532	1.167	5.957	0.037	0.073	ND	0.0502	0.002	0.039	1.893	11.390
S ₇	2.879	3.351	2.538	1.459	0.045	0.023	ND	0.0594	ND	0.011	4.169	2.368
S ₈	3.582	4.495	1.374	2.288	0.038	0.050	0.0008	0.1047	0.015	0.034	8.608	7.896
S ₉	2.681	2.881	2.034	2.721	0.026	0.107	ND	0.0259	0.005	0.009	3.073	3.578
S ₁₀	1.448	6.672	2.355	1.980	0.053	0.109	ND	0.0180	0.010	0.022	3.970	5.194
S ₁₁	1.120	0.698	0.954	0.501	0.029	0.035	ND	ND	0.009	0.003	2.445	0.989
S ₁₂	6.572	2.876	2.242	2.009	0.042	0.033	0.0200	0.0598	0.024	0.019	9.078	5.222
Mean	4.492	6.394	2.423	10.567	0.038	0.052	0.012	0.068	0.009	0.021	6.302	8.342
±S.D	±4.42	±5.845	±1.132	±27.06	±0.010	±0.034	±0.028	±0.064	±0.01	±0.014	±3.339	±5.930

린이들에게 쉽게 접촉할 수 있고 또 중금속이 생체내에 축적되는 성질을 고려한다면 이에 대한 적정관리 방안이 제시되어야 할 것으로 생각된다.

I시의 주거지역에 위치한 아파트와 공원의 놀이시설 모래와 토양 중에 평균 용출 중금속 농도 값을 제시하면 Fig. 1와 같다. 주거지역의 놀이시설의 토양 중에 Zn, Pb, Cu, As, Hg, Cd은 각각 8.34, 6.40, 10.57, 0.05, 0.07, 0.02 mg/kg이 검출되었고 모래중에서는 각각 6.30, 4.5, 2.42, 0.04, 0.01, 0.01 mg/kg이 검출되었다.

Cu, Zn, Pb의 검출농도가 상대적으로 높게 검출되었으며 토양중의 중금속 함유량이 모래보다 1.4~6.0배 더 높았다. 주거지역의 오염수준은 토양오염우려 기준을 초과하지 않았지만 Cu는 10.6 mg/kg로 검출되어 동일연도의 용출중금속의 전국 평균값과 자연 함유량의 각각 2.2, 2.7배를 나타냈다.¹²⁾

2. 공장지역에 위치한 놀이시설의 중금속 오염도
Table 2에서 공장지역에 위치한 놀이터의 각 지

역별 용출 중금속 농도를 나타내었다. 공장주변 놀이 시설중 S₁₄와 S₁₆지역에서 Pb과 Cu의 농도가 상대적으로 높게 검출되었으나 우려할 정도의 수준은 아니었다. 또한 중금속의 농도가 높게 나타난 두 지역은 공장지역일 뿐아니라 도로변에 위치한 놀이터

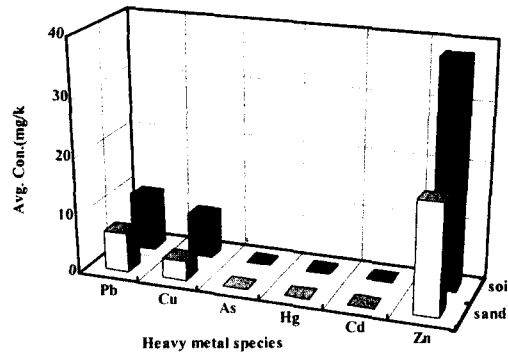


Fig. 2. Heavy metal means concentrations of sand and soil on playground for the industrial area.

Table 2. Analytical results of heavy metals of sand and soil on playground for the industrial area

Site	Pb		Cu		As		Hg		Cd		Zn	
	sand	soil	sand	soil	sand	soil	sand	soil	sand	soil	sand	soil
S ₁₃	1.875	4.937	1.330	3.444	0.023	0.011	0.0446	0.0746	ND	0.028	2.292	6.922
S ₁₄	10.886	19.497	2.607	9.327	0.051	0.036	0.0153	0.1449	0.039	0.102	23.780	28.579
S ₁₅	4.731	3.238	3.183	4.336	0.032	0.032	0.0083	0.3381	0.019	0.116	14.707	27.295
S ₁₆	9.718	10.459	6.621	12.133	0.035	0.029	0.0193	0.1469	0.067	0.113	35.534	90.626
Mean	6.803	9.533	3.435	7.310	0.035	0.027	0.022	0.176	0.031	0.090	19.107	38.356
±S.D	±4.233	±7.323	±2.261	±4.128	±0.012	±0.011	±0.016	±0.113	±0.029	±0.042	±14.061	±36.232

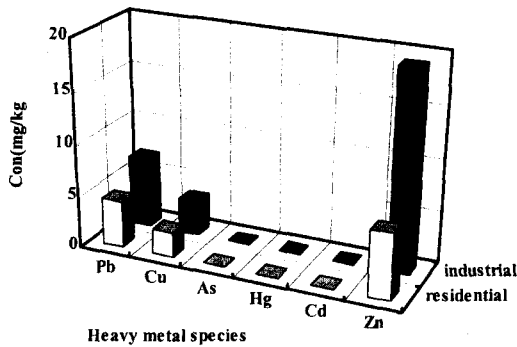


Fig. 3. Comparison of habitable, industrial area for heavy metal means concentrations of sand.

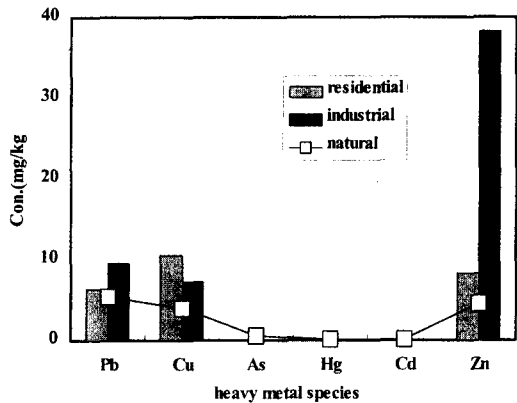


Fig. 4. Comparison of habitable, industrial area and natural values of heavy metal.

이기 때문에 이에 대한 영향을 받은 것으로 생각된다.

S₁₄, S₁₆지역의 중금속의 농도는 타 지역의 오염도에 비해 높았는데, 두 지역의 대기 중 총 비산먼지의 농도는 각각 153, 165 μ g/m³으로 I시의 타지역의 농도에 비해 다소 높은 것으로 나타나 모래중의 중금속 오염의 원인에 대해 낙하분진의 영향을 간과할 수 없을 것으로 보여진다.

공장 주변지역의 놀이터 토양 및 모래중의 평균 중금속 용출량을 분석한 결과는 Fig. 2와 같다. 공장인접지역 놀이시설의 토양 중에 Zn, Pb, Cu, As, Hg, Cd은 각각 38.36, 9.53, 7.31, 0.03, 0.18, 0.09 mg/kg이 검출되었고 모래중에서는 각각 19.08, 6.80, 3.44, 0.04, 0.02, 0.04 mg/kg이 검출되었다.

조사 중금속중 Zn, Pb, Cu의 검출농도가 상대적

으로 높게 검출되었으며 토양중의 중금속 함유량이 모래에서 보다 1.4~8.0배 더 높았다. 특히, Hg은 토양에서의 함유량이 모래의 함유량에 비해 8배이상 높았다. 공장지역에서 Pb, Cu, Hg와 같은 항목은 동일연도 전 국토평균토양오염농도의 각각 1.6, 1.5, 4배 높게 검출되었으나 As, Cd은 이보다 낮게 검출되었다.¹²⁾ 중금속의 농도가 공장주변의 놀이터의 토양에서도 토양오염기준이하로 측정되었지만 놀이시설의 토양은 어린이들의 피부와 직접 접촉하고 구강으로 투여될 수 있는 가능성이 있으므로 비록 기준이하의 중금속이 함유되었을 지라도 간과할 수 없다.

3. 주거지역과 공장지역의 놀이터 토양 중 중금속 함유량 비교

Fig. 3에서 주거지역과 공장지역의 놀이터 모래에 함유된 중금속의 용출농도의 평균값을 제시하였다. 주거지역과 공장지역의 공장인접지역 놀이시설 모래중의 Zn, Pb, Cu, Hg, Cd은 주거지역의 농도에 비해 약 3.0, 1.5, 1.4, 1.8, 4.7배 더 검출되었다. 단 As의 경우에는 두 지역 모두 유사한 농도가 검출되었다. 또한 토양중에서는 공장지역의 중금속 용출농도가 주거지역의 중금속 용출 농도보다 Zn, Pb, Hg, Cd이 각각 4.60, 1.49, 2.60, 4.29배 더 높았으나 Cu, As의 경우 오히려 주거지역이 1.45, 1.92배 더 높았다.

Fig. 4에서 대상지역의 중금속 오염도를 토양 중 자연함유량과 비교해 보았다. I시의 주거지역의 토양 중의 중금속 농도는 전국평균 농도보다¹²⁾ 약간 상위하

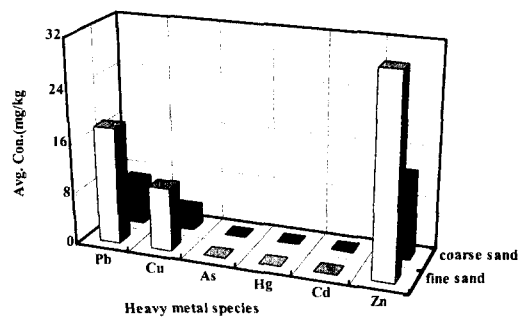


Fig. 5. Heavy metal concentrations of coarse and fine sand on playground for the apt. area.

여 존재하는 정도였으나 공장지역에서는 이보다 매우 높은 농도로 존재하였다. 특히 Zn의 경우에는 자연에 존재하는 값의 8배 이상이나 존재하였다. 또한 주거지역에서 토양중의 Cu의 농도가 공업지역에 비해 약 1.5배 더 높게 검출되었다.

4. 아파트의 놀이시설 모래 중의 중금속 함유량

전체 연구대상지역 중 아파트 단지내에 위치한 놀이터(S₁, S₂, S₄, S₆, S₉, S₁₂, S₁₄, S₁₅, S₁₆)을 대상으로 상층 20~60 cm의 모래를 대상으로 거친 모래(입경 0.2~2 mm)와 가는 모래(입경 0.2 mm 이하)로 분류하여 중금속의 함유량을 조사한 결과는 Fig. 5와 같다. 거친 모래 중 Pb, Cu, As, Hg, Cd, Zn의 함유량은 각각 7.02, 3.30, 0.04, 0.03, 0.02, 12.94 mg/kg 이었고 가는 모래에서는 각각 18.29, 9.82, 0.07, 0.07, 0.08, 31.10 mg/kg이었다. 아파트의 놀이시설의 모래중에서 검출된 중금속 중 Zn, Pb, Cu의 검출량이 비교적 높았다.

입경이 0.2 mm 이하의 모래가 그 이상의 크기의 모래에 비해 중금속의 함유량이 높았다. 가는 모래는 Pb, Cu, As, Hg, Cd, Zn에 대해 거친 모래에 비해 2.61, 2.97, 1.75, 1.33, 4.00, 2.40배 더 높았다. Cd의 경우 거친 모래와 가는 모래에서 각각 0.02, 0.08 mg/kg 검출되어 4배의 차이를 보였다. 이는 표면적이 큰 가는 모래의 경우 거친 모래에 비해 양 이온을 띄고 있는 중금속을 더 많이 흡착한 결과라고 보여진다.¹³⁾

IV. 결 론

본 연구는 I시의 놀이터를 대상으로 모래와 토양중의 중금속 오염도를 파악하고 그 분포 특성을 파악하기 위해 수행되었다. 연구로부터 도출된 결론은 다음과 같다.

1. 주거지역에서 중금속의 평균농도는 상층 모래보다 토양중에서 1.4~6배 더 높게 검출되었으며 토양중 Cu의 농도는 전국 평균농도의 2.2배 더 검출되었다. 모래중의 Zn, Pb 농도는 각각 6.30, 4.50 mg/kg으로 상대적으로 높았다.

2. 도로와 인접한 주거지역인 S₂지역의 토양에서 Pb, Cu의 농도가 높게 검출되었는데, 특히 Cu의 농도는 토양오염우려기준치를 초과하여 검출되었으며 이 값은 전국평균농도의 약 20배에 해당되

었다.

3. 공장주변지역 놀이터 토양중의 Pb, Cu, Hg의 평균 농도는 전국평균농도보다 각각 1.6, 1.5, 4배 높게 검출되었으나 As, Cd에 대해서는 오히려 낮게 검출되었다. 공장주변지역에서도 상층 모래중의 중금속 함유량보다 토양중의 중금속 함유량이 더 높았는데 특히 Hg의 경우 8배 이상 높았다.

4. 공장주변지역 놀이터 상층 모래중의 Pb, Cu, Hg, Cd, Zn의 평균농도가 주거지역보다 높게 검출되었다. 토양중에서는 공장지역의 중금속 평균농도가 주거지역 중금속의 평균농도보다 Zn, Pb, Hg, Cd이 각각 4.60, 1.49, 2.60, 4.29배 더 높았으나 Cu, As의 경우 오히려 주거지역이 1.45, 1.92배 더 높았다.

5. I시의 주거지역의 토양 중의 중금속 농도는 자연중에 농도보다 약간 상위하여 존재하는 정도로 나타났으나 공장지역에서는 이보다 높은 농도로 존재하였다. 특히 Zn의 경우에는 자연에 존재하는 값의 8배 이상이나 존재하였다.

참고문헌

- 1) Alloway, B. J. : Heavy Metals in soils. Blackie academic and professional, 1995.
- 2) 표희수, 박송자, 박성수, 홍지은, 이강진 : 오염토양중의 유류 분석법, 3, 3-12, 1998.
- 3) Tate, R. L. : Soil microbiology, John Wiley and Sons, 21-30, 1995.
- 4) 이민효, 유홍일, 서운수 : 연·아연 금속광산주변 농경지 토양 중 중금속의 수직분포와 토양특성과의 관계, 대한지하수환경학회지, 1(2), 80-84, 1994.
- 5) Su, X., Prevention of acid mine drainage by agglomeration of reactive tailings with selected binders and bactericides, University of Nevada-Reno, M. S. Thesis, 1994.
- 6) 이진하 : 도로변 대기오염도와 토양오염 수준의 관계, 한국환경농학회지, 15(4), 494-500, 1996.
- 7) 장암, 김인수 : 광산성폐수에 함유된 중금속 처리를 위한 Chemical Fixation와 Bentonite의 흡착, 한국토양환경학회지, 5(2), 33-43, 2000.
- 8) 장인성 : 토양오염지표에 따른 천안시 토양환경평가, 한국토양환경학회지, 4(2), 185-192, 1999.

- 9) Chon, H. T., Kim, K. W., and Kim, J. Y. : Metal contamination of soils and dusts in seoul metropoliitan city, *Korea. Environ. Geochem. and health*, **17**, 139~146.
- 10) 김경웅 : 달성광산지역의 토양의 중금속함량 분석결과의 평가, **4**(1), 20~26.
- 11) 환경부 : 토양오염공정시험방법, 122~135, 1998.
- 12) 환경부 : 2000년 토양측정망운영결과, 3~4, 2001.
- 13) Wallace, H. F. and Arthur, W. W : Soils in waste treatment and utilization, CRC press, 36~41, 1985.