

서울시내 어린이 놀이터 토양오염도 평가

이준복[†] · 김교봉 · 정 권 · 김민영
서울특별시 보건환경연구원

The Evaluation on the Pollution Level of Playgrounds for Children in Seoul Metropolitan

Jun-bok Lee[†] · Gyeo-bung Kim · Kweon Jung · Min-young Kim

*Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment

(Received July 4, 2006/Accepted August 9, 2006)

ABSTRACT

This survey study was performed to evaluate the pollution level of playgrounds for children at 49 different sampling sites in Seoul metropolitan. Results were as follows. 1. Soil pH ranged from 6.0 to 9.2. 2. Average concentrations of heavy metals were 0.101 mg/kg of Cd, 4.470 mg/kg of Cu, 0.10 mg/kg of As, 5.35 mg/kg of Pb, 0.017 mg/kg of Cr⁶⁺, 0.0051 mg/kg of Hg, which were lower than Korean soil precaution level. 3. The SPCs of all areas were below 100, which is 1st grade. In conclusion, the pollution level of playgrounds for children was safe.

Keywords: children's playground, soil, heavy metals, SPC(soil pollution score)

I. 서 론

토양은 일반적으로 지구의 겉표면을 둘러싸고 있는 층으로 정의되며, 환경적, 사회적, 경제적으로 인류에게 없어서는 안 될 중요한 자원이다. 유럽연합회는 토양의 기능을 식품, 사료, 재생 가능한 에너지 및 가공하지 않은 재료(Raw Materials)를 제공하고, 오염물질의 제거(Filtering) 및 완충기능(Buffering), 물질의 저장(Storage) 및 이동(Transforming) 기능을 통하여 홍수예방, 수원함양, 수질정화 기능은 물론 생물다양성의 원천이 되기도 한다라고 기술하고 있다. 또한, 경관 구성의 역할을 수행하며, 지구와 인류의 역사를 밝힐 수 있는 고생물학 및 고고학적 정보를 포함하고 있기 때문에 문화적 유산으로써의 기능도 한다. 그러나 인류의 활동에 의해 토양은 많은 오염물질들로 인하여 오염되어 가고 있으며, 이로 인하여 토양이 그 기능을 수행할 능력을 상실하였을 경우 결과적으로 토양은 사막화가 되며, 지하수 오염의 수반 등 제반 문제를 야기한다. 특히 서울시와 같은 도심지역에서는 토양 내 오염물질

이 먼지의 섭취, 피부접촉 또는 호흡에 의하여 쉽게 노출이 되기 때문에 주요한 위협요소가 된다.¹⁾

어린이들은 토양을 일종의 놀이도구로 생각하는 경향이 있다. 그로 인하여 토양을 직접 손으로 만지고, 그 손을 입에 접촉하는 경우가 많기 때문에 토양 내 오염물질에 직접적으로 노출되어 있다. 실제로 어린이들이 어린이 놀이터, 공원 등에서 의도적 또는 비의도적으로 섭취 또는 흡입하는 양은 평균 40~200 mg으로 토양에 가장 많이 접촉하고 있으며(Table 1), 청결에 대한 개념이 미흡하기 때문에 토양오염물질에 대한 노출위험이 가장 크다.²⁾ 특히, 토양 중의 중금속의 경우에는 어린이들에 의한 섭취 또는 흡입에 의하여 어린이들의 건강에 위해를 미칠 우려가 있다.

어린이 놀이터 토양의 오염실태를 파악하기 위하여 이 등³⁾과 이 등⁴⁾은 어린이 놀이터 토양의 중금속 농도를 조사하였고, 서울시에서는 매년 토양오염 실태조사

Table 1. Human's average ingestion amount (unit : mg/day)²⁾

Component	Ingestion amount
Adult	about 40
Child (>5 age)	about 40
Child (1~5 age)	200
Geophagia Child	20,000

[†]Corresponding author : Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment
Tel: 82-2-570-3372, Fax: 82-2-570-3267
E-mail : leo2402@hanmail.net

지점으로 어린이놀이터 몇 개 지점을 선정하여 오염실태를 조사하고 있다. 그러나 이제까지의 조사 자료들은 단순히 오염물질의 분석결과에 대한 수치들로서 전문성이 없는 사람들이 정확하게 이해하기 어려운 단점이 있었다. 이에 따라, 토양오염에 대한 전문성이 없는 일반 대중이 토양의 질(오염상태)을 쉽게 인식할 수 있으며, 정책결정자가 토양의 오염상태를 판단할 수 있는 종합적인 토양오염지표⁶⁾의 개발에 대한 필요성이 대두되었다. 토양오염지표를 위하여 박⁶⁾은 토양중의 6개 중금속 농도에 의한 토양질의 상태를 종합적으로 판단할 수 있는 토양오염지표를 개발하였다. 한편, 현재 농촌진흥청 농업과학기술원은 국내 토양화학성의 변동양상에 대한 데이터베이스를 구축하여 토양의 질을 계량화하기 위한 본격적인 연구를 추진 중에 있다.⁷⁾

본 연구는 서울시내 49곳의 어린이 놀이터 토양을 3개 지점으로 구분하여 각 용도별 오염특성을 파악하였고, 일반 대중이 쉽게 알 수 있도록 개발된 박⁶⁾의 토양오염점수(Soil Pollution Score: SPC)를 산출하여 서울시내 어린이 놀이터 토양오염도를 평가하였다. 이를 통하여 어린이놀이터의 세부관리지침 마련을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

II. 조사대상 및 시험방법

1. 조사대상

Fig. 1은 시료채취지점을 표시한 것이다. 어린이 놀이터 주변의 미세먼지가 토양의 오염물질 농도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 서울시 25개 자치구 중 중소공장이 많이 밀집되어 있는 2개의 자치구를 공장지역(A, C)으로, 대부분 일반주거지역이 밀집되어 있는 2개의 자치구를 주거지역(D, E)으로, 아파트가 많이 밀집

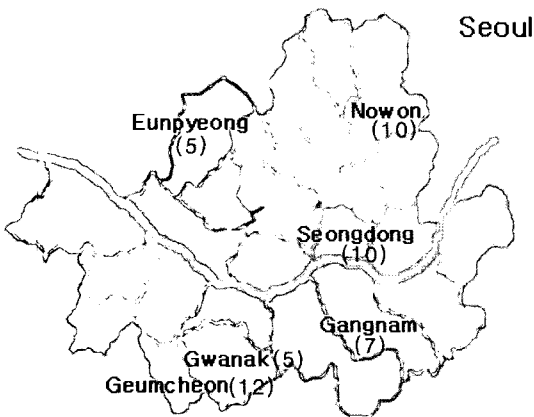


Fig. 1. Location of the sampling sites.

되어 있는 2개의 자치구를 아파트 지역(B, F)으로 구분하여, 포장되지 않은 어린이 놀이터의 토양을 채취하였다.

2. 시료채취 방법 및 분석시료 조제

본 연구를 위하여 어린이들이 가장 많이 이용하는 놀이기구인 미끄럼틀과 그네 부근을 중앙 1지점으로 하고, 주변 4방위의 5~10 m 거리에 있는 1개 지점씩 총 5개 지점에서 시료를 채취하여 혼합 후 분석시료 1건으로 하였으며, 총 분석시료는 49건이다. 수은을 제외한 중금속 5개 항목(카드뮴(Cd), 구리(Cu), 비소(As), 납(Pb), 6가 크롬(Cr⁶⁺))은 각각의 채취지점에서 채취한 토양을 폴리에틸렌 바트(Vat) 위에 균일한 두께로 직사광선이 닿지 않는 장소에서 통풍이 잘 되게 헤쳐 놓고 풍건시킨 다음, 눈금간격 2 mm의 표준체(10메쉬)로 체 걸음하여 균일하게 혼합한 후 분석용 시료로 하였다. 수은(Hg)은 채취지점에서 채취한 토양에서 헹잡물을 제거한 후 분석용 시료로 하였다.⁸⁾

3. 분석 및 평가방법

평가항목은 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 비소(As), 납(Pb), 수은(Hg), 6가 크롬(Cr⁶⁺), 토양 pH 등 7개 항목이다. 우리나라 토양오염공정시험법⁸⁾에 의하여 전처리를 한 후 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 비소(As), 납(Pb)의 분석을 위해 ICP(Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy; *Spectro사, 독일)를 이용하였다. 분석에 이용된 파장은 Table 2와 같다.

한편, 6가 크롬(Cr⁶⁺)은 흡광광도법(디페닐카르바지드법)으로 분석하였으며, 분석기기는 흡광광도계(UV-HP 8453)이다. 또한, 수은(Hg)은 수은분석기(NIC, 일본, MA-1S(Atomizer), D-2(Detector))로 분석하고, 토양 pH는 EA 940(Orion사)으로 분석하였다.

토양질을 평가하기 위하여 박⁶⁾의 토양오염지표 산출공식을 이용하여 토양오염점수(Soil Pollution Score : SPC)를 산출하였다.

$$SPC = \sum \frac{Ci}{TVi} \times 100$$

i : As, Cd, Cr⁶⁺, Cu, Hg, Pb

Ci : 각 중금속의 분석 농도

TVi : 각 중금속의 토양오염 우려기준

Table 2. The wavelength for analyzing

Heavy metal	Cd	Cu	As	Pb
Wavelength (nm)	226.502	324.754	228.812	220.353

토양오염점수가 300점 이상이면 4등급, 300~200점이면 3등급, 200~100점이면 2등급, 100점 미만이면 1등급으로 분류한다. 토양오염 4등급은 토양이 오염된 지역이라고 할 수 있고, 2, 3등급은 토양오염이 우려되어 이 지역에 대한 토양 상태의 재검측이 필요한 지역, 토양오염 1등급은 토양상태가 건전한 지역으로 볼 수 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 토양 pH

조사대상 지역의 토양 pH는 6.0~9.2의 범위이고, 대체적으로 중성에서 약알칼리성의 범위를 나타내었다 (Fig. 2).

이는 대부분의 도시림이 산성 강하물로 인하여 산성화가 가속화되고 있다는 연구결과^{9,10)}와는 다른 양상이지만, 김과 전¹¹⁾이 서울시 도로 주변에 위치한 건물의 화단상부 토양(10 cm)을 채취하여 분석한 pH 값 7.1~8.9와 비슷한 양상을 보여주고 있다. 위의 연구결과에 견주어 어린이 놀이터는 대부분이 도시림보다는 서울시 도심의 도로 주변이나 아파트 단지에 위치해 있는 경우가 많기 때문에 후자의 결과와 비슷한 양상을 보이는 것으로 판단된다. 김 등¹²⁾은 도심내부 도로 주변 토양의 pH가 도시림 토양의 pH보다 높게 나타난 것은 제설용으로 살포되고 있는 CaCl₂나 산성우에 의해서 콘크리트로부터 용해되어 흘러나오는 알칼리 성분 때문인 것이라고 보고하였다.

한편 공장지역(A, C), 아파트지역(B, F), 주거지역(D, E)의 각 지역별 어린이 놀이터 토양 pH는 거의 비슷한 수준을 나타내었다. 그러나 B 지역의 어린이 놀이터의 pH는 다른 구보다 특히 낮았고, 그 범위도 훨씬 넓었다. 이는 B 지역 중 일부 지점의 토양이 관리가 제대로 되어 있지 않아 이물질이 많이 혼재되어 있는 상태

였고, 토양의 교환이 장시간 이루어지지 않아 풍화로 인하여 토양의 입자도 아주 미세한 상태였는데, 이 지점들에서의 토양 pH가 대부분 약산성을 나타내었기 때문이다. 이는 산성강하물의 장시간 축적에 의한 것으로 판단된다.

2. 중금속 농도 분포

조사대상 지역의 중금속 농도를 Table 3에 나타내었다. 항목별 평균농도는 카드뮴(Cd) 0.101 mg/kg, 구리(Cu) 4.470 mg/kg, 비소(As) 0.10 mg/kg, 납(Pb) 5.35 mg/kg, 6가 크롬(Cr⁶⁺) 0.017 mg/kg, 수은(Hg) 0.0051 mg/kg으로 나타났다. 이러한 수치는 토양오염우려기준 가지역 기준의 1/10 이하 수준이며 이와 유¹³⁾가 금강 유역의 토양 중 Cd 0.32~0.91 mg/kg, Pb 5.59~21.55 mg/kg보다 오히려 낮은 것으로 나타났다. 한편, 대구광역시 보건환경연구원의 환경분석사랑회에서는 대구시의 놀이터 14개소를 무작위로 선정하여 조사한 결과 비소(As), 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 납(Pb)이 토양오염 우려기준에 훨씬 못 미치는 수준임을 발표하였다(2005. 12. 14 연합뉴스 보도자료).

카드뮴(Cd)은 공장지역(A, C), 아파트지역(B, F), 주거지역(D, E)의 구분에 의한 차이가 없이 대체적으로 낮은 농도를 나타내었다.

비소(As)는 공장지역 중 C 지역을 제외한 다른 지역에서는 거의 비슷한 수준을 나타내었다. C 지역은 다른 지역보다 높은 수준을 보였는데, 이는 주변의 공장에서 기인한 것으로 판단된다.

구리(Cu)는 공장지역(A, C)에서 높은 농도를 나타내었다. 특히, C 지역의 1개 지점은 토양오염우려기준 가지역 기준에 근접하였다. C 지역의 경우 준공업지역으로 많은 중소규모의 공장이 아파트 및 일반 주거지역과 혼재된 상태로 밀집되어 있고, 교통량도 많은 지역이기 때문에 공장 및 자동차의 영향에 의한 것으로 판단된다. Howells¹³⁾은 구리(Cu)의 오염원이 채광 및 제

The variations of pH

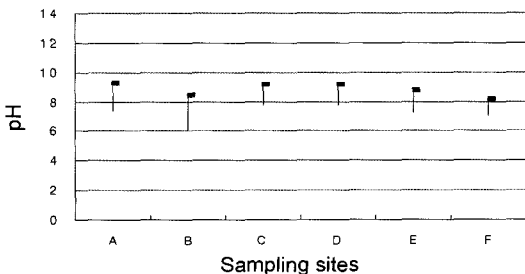


Fig. 2. The variations of pH.

Table 3. The concentration of the children's playground (unit: mg/kg)

Classification	Avg.	Max.	Min.	Excess No. (%)
Cd	0.101	0.225	0.050	0(0)
Cu	4.470	39.998	0.750	0(0)
As	0.10	1.21	0.04	0(0)
Pb	5.35	21.78	0.82	0(0)
Cr ⁶⁺	0.017	0.101	0.000	0(0)
Hg	0.0051	0.0305	0.0013	0(0)

련활동, 판금 및 제강 등의 금속산업 활동, 가정 쓰레기의 소각, 비료나 살균제의 살포 등이며, 자동차의 타이어 및 부품의 합금 등으로 이용된 구리(Cu)가 도로 주행 시 마찰 또는 마모되어 도로주변으로 배출된다고 하였다. 또한, 박⁶⁾은 교통량과 토양 중의 구리(Cu) 농도는 $r=0.64\sim 0.96$ 의 상관관계를 가진다고 하였다.

납(Pb)은 B 지역이 다른 지역보다 높은 수치를 보였는데, B 지역의 경우 시료채취지점 10곳 중 3곳이 대형 먼처리장 앞의 도로변에 위치해 있는 놀이터였다. 이 지점들은 토양을 장시간 교환하지 않아 많은 이물질의 혼입과 풍화로 인하여 토양의 입경이 작아 먼지가 많이 날리는 상황이었다. 이 3지점의 납(Pb)의 농도가 다른 지점보다 월등히 높았으며, 이 때문에 B 지역의 납(Pb) 농도가 다른 지역보다 높은 값을 나타내었다. 김 등¹²⁾은 서울시 주로 도로변의 토양오염을 조사하였는데, 이 연구에서 우리나라는 1993년부터 유연휘발유 공급을 전면 중단하면서 대기 중 납(Pb)의 농도는 점차 감소되고 있지만, 토양 중에는 유연휘발유를 사용했던 1993년 이전과 그 이후의 대기 강하분진에 의하여 납(Pb)이 축적되었고, 이동성이 거의 없기 때문에 현재까지도 토양 중에 남아 검출되는 것이라고 하였다. Lagerwerff와 Specht¹⁴⁾는 대기 중에 배출되는 납(Pb)은 도로에서 15 m 내에 축적된다고 보고하였다. 한편 놀이시설에 칠해져 있는 페인트에서도 다량의 납이 함유되어 있는 것으로도 보고되었다(2001. 10. 15 한겨레신문 기사). 그러나 무엇보다도 토양을 자주 교체해 주었다면 어린이 놀이터 토양에 납(Pb)이 계속 잔류되어 축적되는 것을 예방할 수 있었을 것으로 판단된다.

6가 크롬(Cr⁶⁺)은 B, E 지역이 다른 지역보다 약간 높았고, 수은(Hg)은 A, C 지역 다른 지역보다 약간 높았으나 거의 비슷한 수준을 나타내었다.

3. 토양오염지표를 이용한 토양질 평가

박⁶⁾에 의하여 개발된 토양오염지표를 이용하여 토양오염점수를 산출한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. The SPC of children's playgrounds

Sites	Avg.	Min.	Max.	Classification
A	26.3	13.1	62.0	1st
B	20.1	9.6	33.0	1st
C	29.0	8.4	104.3	1st
D	18.3	11.2	25.0	1st
E	21.5	13.7	39.3	1st
F	19.6	16.1	23.4	1st

구리(Cu) 농도가 특히 높았던 공장지역(C) 지역 중 한 지점을 제외한 모든 조사지점이 토양오염점수 1등급이었으며, 각 지역의 평균은 1등급 기준인 토양오염점수 100의 약 20~30% 수준을 나타내었다. 이로써 서울시내 어린이 놀이터 토양상태는 건전한 것으로 판명되었다.

IV. 결 론

본 연구에서 서울시내의 어린이 놀이터 총 49개 지점에 대하여 토양 오염도를 조사·평가한 결과는 다음과 같다.

1. 토양 pH는 6.0~9.2의 범위로 대체적으로 중성에서 약알칼리성의 범위를 나타내었다.

2. 항목별 평균농도는 카드뮴(Cd) 0.101 mg/kg, 구리(Cu) 4.470 mg/kg, 비소(As) 0.10 mg/kg, 납(Pb) 5.35 mg/kg, 6가 크롬(Cr⁶⁺) 0.017 mg/kg, 수은(Hg) 0.0051 mg/kg으로 나타났다. 이러한 수치들은 토양오염우려기준 가지역 기준의 1/10 이하 수준이다.

3. 어린이 놀이터의 입지에 따른 분석결과는 카드뮴(Cd)의 경우 각 지역구분에 의한 차이없이 대체적으로 낮은 농도를 나타내었다. 비소(As)는 공장지역 중 C지역을 제외한 다른 지역에서는 거의 비슷한 수준을 나타내었고, 구리(Cu)는 공장지역(A, C)에서 높은 농도를 나타내었다. 특히, C 지역의 1개 지점은 토양오염우려기준 가지역 기준에 근접하였다. 또한, 납(Pb)은 B 지역이 다른 구보다 높은 수치를 보였고, 6가 크롬(Cr⁶⁺)은 B, E 지역이 다른 지역보다 약간 높았으며, 수은(Hg)은 A, C 지역이 다른 지역보다 약간 높았으나 거의 비슷한 수준을 나타내었다.

4. 토양오염점수(SPC)를 산출한 결과는 구리(Cu) 농도가 특히 높았던 공장지역(C) 지역 중 한 지점을 제외한 모든 조사대상 지점이 1등급이었으며, 각 지역의 평균은 100점보다 낮은 1등급의 20~30% 정도로 서울시내 어린이 놀이터 토양질은 건전한 것으로 판명되었다.

그러나 토양오염은 지속성 및 잔류성이 있기 때문에 어린이 놀이터의 세심한 관리가 무엇보다도 중요하며, 이를 위한 모래의 교체주기, 어린이 놀이터에 관한 기준 등 세부지침 마련을 위한 연구가 좀 더 필요함을 밝혀둔다. 또한 본 논문을 위한 평가지표는 중금속의 농도와 토양오염 우려기준만을 고려한 것으로 우리나라의 토양오염 기준이 인체 및 환경독성평가에 의한 농도기준이 아니라 외국의 자료를 수집·분석하여 정한 것이고, 중금속 물질의 분석방법이 유럽, 미국 등

대부분 선진국과 다르기 때문²⁾에 좀 더 정확한 평가를 위해 위해성 평가에 근거를 둔 오염물질의 기준 설정 및 분석방법의 개선이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Abrahams, P. W. : Soils : their implications to human health. *The Science of the Total Environment*, **291**, 1-32, 2002.
2. 환경부 : 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구. 환경부, 서울, 21, 2003.
3. 이충대, 이윤진, 조남영 : I시 어린이 놀이터의 토양 중 중금속 오염에 관한 연구. *한국위생학회지*, **27**(3), 57-62, 2001.
4. 이동우, 이태관, 오정민, 이신미 : 놀이터 모래오염 실태조사. 대한환경공학회 2003 추계학술발표회 논문집, 1052-1055, 2003.
5. 박용하 : 중금속 및 비소오염 토양질 평가를 위한 토양오염지표의 고안과 응용 가능성. *한국토양환경학회지*, **1**, 47-54, 1996.
6. 박용하 : 토양질 측정자료의 관리체계 구축방안. KEI 연구보고서, 147, 1997.
7. 옥용식, 양재의, 박용하, 정영상, 유경열, 박철수 : 지속가능한 토양환경 관리를 위한 토양질 지표의 선정과 평가체계. KEI 환경정책연구, **6**, 72, 2005.
8. 환경부 : 토양오염공정시험법, 2002.
9. 장관순, 이수욱 : 산성우에 대한 산림생태계의 민감도 및 자정기능(II). *한국임학회지*, **84**(1), 103-113, 1995.
10. 김동엽, 유정환, 채지석, 차순형 : 대기오염물질의 산림생태계 내 유입과 토양의 화학적 특성변화. *한국임학회지*, **85**(1), 84-95, 1996.
11. 김주용, 전효택 : 서울지역 토양과 분진층의 Cu, Pb, Zn, Cd의 지구화학적 분산. *한국자원공학회지*, **130**, 163-176, 1993.
12. 김권래, 이현행, 정창욱, 강지영, 박순남, 김계훈 : 서울시 주요 도로변 토양오염 조사 II. 강동구, 광진구, 노원구, 서대문구, 성동구 내 주요 도로변 토양. *한국농화학회지*, **45**(2), 92-96, 2002.
13. Howells, J. : In Kead minerals in soils contaminated by mine-waste : implications for human for health, University of London. 250, 1991.
14. Lagerwerff, J. V. and Specht, A. W. : Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead and zinc. *Environmental Science & Technology*, **4**(7), 583-586, 1970.
15. 이종섭, 유일수 : 금강 유역의 수중, 토양, 쌀 및 주민의 노출 중금속 함량에 관한 연구. *한국위생학회지*, **18**(1), 69-75, 1992.
16. 박기학 : 교통량 과밀 도로주변의 토양과 가로수, 대기중 Pb, Cu, Zn 중금속 농도와 그 상관성에 관한 연구. *한국위생학회지*, **18**(2), 19-25, 1992.