

Research Paper

서울시 어린이놀이터 토양의 중금속 오염 평가

박소영*^{**} · 지원현*

호서대학교 일반대학원 에너지기후환경융합기술학과*, 환경기술정책연구원**

Assessment of Heavy Metals Contamination in Children's Playground Soil in Seoul

So Young Park*^{**} · Won Hyun Ji*

Department of Energy & Climate Environment Fusion Technology, Hoseo University*
National Environment Lab.**

요약: 서울 도심에 있는 어린이 모래 놀이터의 안전한 사용을 확인하기 위해 토양 중금속(Cd, Cu, As, Pb, Zn, Ni, Hg, Cr⁶⁺) 오염현황을 조사하였다. 시료 채취 장소는 서울시 7개 자치구에서 281개소를 선정하였다. 본 연구에서 중금속의 전체 평균 농도는 Cd 0.21 mg/kg, Cu 5.97 mg/kg, As 2.40 mg/kg, Pb 7.55 mg/kg, Zn 34.08 mg/kg, Ni 4.22 mg/kg, Hg 0.02 mg/kg였다. Cr⁶⁺은 불검출되어, 이를 포함하는 중금속 7종 모두 토양오염우려기준 1 지역 기준보다 낮은 것으로 나타났다. 아울러 토양오염등급(SPC)을 평균값으로 평가했을 경우에 7개 자치구 모든 지점에서 1등급인 100 미만인 것으로 나타나 건전한 토양 상태를 보였다. 하지만 최대값으로 평가했을 경우 5개 자치구에서 일부 100 이상의 값을 나타내었다. 따라서 안전한 토양환경을 위하여 어린이 놀이터의 관리주체인 지자체의 지속적인 관리와 관심이 필요한 것으로 보인다.

주요어: 어린이 놀이터, 모래 바닥재, 중금속, 토양오염점수, 토양오염등급

Abstract: The pollution status of heavy metals in the soils of children's playground was investigated for a sustainable soil environment in urban parks of Seoul. As sampling sites, 281 locations were selected from a 7 districts in the Seoul city. The overall mean concentrations of the heavy metals (Cd 0.21 mg/kg, Cu 5.97 mg/kg, As 2.40 mg/kg, Pb 7.55 mg/kg, Zn 34.08 mg/kg, Ni 4.22 mg/kg, Hg 0.02 mg/kg and Cr⁶⁺ not detected.) in the soils of the palygrounds were lower than the worrisome level in criteria for area 1 in Korea soil environment conservation act. In addition, when the soil pollution grade (SPC) was evaluated as an average value, it was found to be less than 100, the first grade, at all points in the seven autonomous districts, indicating that the soil was in good soil condition. However, when evaluated as the maximum value, some of the five districts showed values of 100 or more. Therefore, it was found that continuous management and interest of the local government, which is the management body of children's playgrounds, is necessary for a safe soil environment.

Keywords: children's playground, sand flooring, heavy metals, SPS (soil pollution score), SPC (soil pollution class)

I. 서론

아파트와 같은 집합 주택단지 내 어린이 놀이터는 자연 친화적인 놀이 장소를 제공하고 성장 과정을 보조하는 기능을 하고 있다. 즉, 어린이 놀이터는 어린이의 육체적인 성장과 정신적 측면에서의 사회화를 이룰 수 있는 놀이행위 공간을 제공하는 공간이다(Oh and Kim 2014). 경제개발과 산업의 발달로 1960년대 이후 우리나라 주거지 개발은 효율성을 중시하는 주택공급 정책에 아파트 등의 양적 팽만이 이루어졌고, 이에 따라 주거지 내 어린이 놀이공간이 증가하였지만, 어린이를 위한 질적인 개선은 이루어지지 못했다(Yoon et al. 2006). 이러한 어린이 놀이터는 대부분 각종 놀이기구, 휴식 시설 그리고 모래밭으로 구성되어있다. 어린이들은 모래를 일종의 놀이기구로 인식하여 토양을 직접 손으로 만지고 그 손을 입에 접촉하는 경우가 발생하게 된다. 이에 따라 토양 내 오염물질이 직접적으로 어린이들에게 노출되고 있다(Jeong et al. 2009). 어린이는 성인보다 1.5 배나 높은 신진대사율을 가지고 있어 중금속 흡수율이 좋은 반면 체내에 들어온 유해 중금속을 해독하거나 체외로 배출하는 능력은 떨어진다. 따라서 성인에 비해 어린이들은 유해 중금속에 쉽게 중독될 수 있다(Huh and Weon 2015). 실제로 어린이들은 어린이 놀이터, 공원 등에서 의도적 또는 비의도적으로 섭취 또는 흡입하는 양은 평균 40 mg~200 mg으로 토양에 가장 많이 접촉하고 있으며 청결에 대한 개념이 미흡하여서 토양오염물질에 대한 노출 위험이 가장 크다고 보고하고 있다(Lee et al. 2006).

2008년 환경부 조사에 따르면 아파트 놀이터 모래와 고무 바닥재 조사 결과 모래 바닥재 76.7%, 고무 바닥재 23.3%로 나타났다. 동네 놀이터는 모래 바닥재 61.8%, 고무 바닥재 34.6%, 기타 4.0%로 조사되었다(KMOE 2008). 모래 바닥재 놀이터는 공업지역과 아파트 및 일반 주거지역이 혼재되고 교통량이 많은 지역의 토양에서 구리의 농도가 높게 나오거나(Lee et al. 2006), 방부목재 놀이시설 주변에서 구리와 비소가, 철재 놀이시설 주변에서 납이 높게 나타난다(Jeong et al. 2009). 즉, 놀이시설에 함유된 유

해 중금속이나 미세먼지가 낙하분진으로 작용하여 중금속 오염에 영향을 끼친다(Jeong et al. 2017; Lee et al. 2001; An et al. 2013). 또한 Kim et al.(2007)에 의하면 모래 교체가 정기적으로 이뤄지지 않으면 모래 입자가 미세화되어 입경분포가 작아져 중금속 농도가 높게 나타나고 이러한 유해 중금속의 함량이 높은 100 μm 이하의 모래는 부유분진 상태로 어린이들의 구강이나 호흡기를 통해 흡입할 때 보건상의 문제를 초래한다는 연구 결과가 있다.

모래 바닥재의 기생충 및 중금속 오염 때문에 시공과 사후관리가 용이한 고무 바닥재로 대체하고 있는 경향을 보이고 있는데(Jeong and Lee 2007; Jeong and Park 2012; Seo et al. 2012), 이러한 고무 바닥재에는 페타이어를 가공하여 생산한 고무 분말(칩)이 많이 포함되어 있으며(Kim et al. 2010), 타이어에는 희석제 등으로 사용되는 광유(15%~20%)가 혼합되어 있고, 이 광유에는 타이어 제조 공정상의 이유로 다환방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)가 많이 포함되어 있을 수 있다(Wik and Dave 2009). 해외 연구사례에서 고무 바닥재 재료로 사용되는 타이어에서 아연, 철, 카드뮴, 크롬, 납 등 15종 중금속과 벤젠, 다환방향족탄화수소(PAHs) 등 39종의 휘발성유기화합물(VOCs)이 확인되었고(Kim et al. 2013), Kim et al.(2010)의 연구에서도 놀이터에 설치되어 있는 고무 바닥재를 대상으로 다환방향족탄화수소(PAHs) 오염도를 조사하였을 때 60개 시료 중 59개 시료에서 약 한 종류 이상의 다환방향족탄화수소(PAHs)가 검출되었으며, 12개(20%) 시료에서 고무 분말 권고기준을 초과하는 다환방향족탄화수소(PAHs)가 검출되었다는 보고가 있다. 서울시 내 어린이 놀이터 14곳의 지표 토양 및 먼지 샘플을 수집해 다환방향족탄화수소(PAHs) 농도를 측정한 연구에 따르면 고무 표층이 처리된 놀이터의 토양과 먼지에서 검출된 다환방향족탄화수소(PAHs) 평균 농도가 18.01 $\mu\text{g/g}$ 으로 모래 놀이터의 4.18 $\mu\text{g/g}$ 보다 4.3배 가량 높은 결과를 나타냈다(Tarafdar et al. 2020).

모래 놀이터는 모든 연령대의 어린이가 즐겨 찾는 놀이시설이며 만 5세 이하의 영유아가 가장 선호하는 놀이시설인 만큼(Kim et al. 2017) 어린이 정서 및 신

체 발달을 위해서라도 유지관리를 통한 보존이 필요하다.

어린이놀이기구 안전관리법상 관리주체는 어린이 놀이기구의 소유자로서 관리책임이 있는자, 다른 법령에 의하여 어린이놀이기구의 관리자로 규정된 자로 정의되어 있다(KMOIS 2021). 서울특별시 기본통계에 따르면 2020년 기준 서울시 어린이공원은 1,257개, 근린공원은 419개로 조사되었다(SMG 2021). 본 연구의 조사대상지는 서울시에서 관리하고 있는 공공아파트 내의 어린이 놀이터의 모래뿐만 아니라 어린이공원과 근린공원 내의 모래 놀이터, 유아 숲으로 관리되고 있는 공원의 모래 놀이터이다. 조사대상 자치구는 매년 연1회 이상 바닥재로 사용되는 모래의 중금속 검사를 실시하고 있고 본 연구에서는 그중 2017년부터 2022년까지 7개 자치구 총 281개의 모래 바닥재 놀이터를 조사하였다. 모래의 중금속 농도를 파악하여 실태조사 자료를 제공함으로써 향후 관리방안 연구에 필요한 자료를 제공하고자 하였다.

II. 조사대상 및 시험방법

1. 조사대상

본 연구는 환경보건법 환경안전관리기준 제4호 가목에 의한 환경유해인자 어린이 활동공간에 대한 조사의 일환으로 수행되었다. 대상지는 서울시 7개 자치구에 존재하는 어린이공원 및 근린공원의 모래 놀이터를 대상으로 하였으며, 2017년부터 2022년에 걸쳐 총 281개소의 모래 놀이터를 조사하였다. 이때 조사된 항목으로는 환경유해인자 분석항목인 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 비소(As), 납(Pb), 수은(Hg), 6가크롬(Cr^{6+})과 그 외 항목으로 아연(Zn), 니켈(Ni)을 포함

Table 1. Sampling site and frequency count

Site	Number of playground	Frequency count of analysis
A-GU	37	1 ~ 4
B-GU	34	1 ~ 5
C-GU	20	1 ~ 3
D-GU	109	1 ~ 5
E-GU	15	1 ~ 5
F-GU	30	1 ~ 3
G-GU	36	1 ~ 2

하여 조사하였다. 모래 채취지점은 아파트 단지외 근린공원 내 어린이공원 모래 놀이터, 유아 숲, 미끄럼틀과 같은 놀이기구 아래 토양으로 비교적 아이들의 신체 접촉이 빈번히 일어날 수 있는 곳을 대상으로 채취하였다. 전체 조사대상지를 매해 동일 자치구의 동일 지점을 반복적으로 조사하지 못하는 경우가 있어 조사대상 및 조사 빈도수는 Table 1에 나타내었다.

2. 시료 채취 방법 및 분석시료 조제

시료의 채취 방법은 토양오염공정시험기준(NIER 2018)의 시료 채취 방법에 따라 모래 놀이터나 미끄럼틀 부근을 중앙 1지점으로 하고 주변 4방위의 5 m ~ 10 m 거리에 있는 1개 지점씩 총 5개 지점에서 채취하여 혼합 후 1개의 분석시료로 하였다. 이후 토양오염공정시험기준(NIER 2018)의 분석용 시료 조제 방법에 따라 6가크롬을 제외한 카드뮴, 구리, 비소, 납, 아연, 니켈, 수은은 각각의 채취지점에서 채취한 토양시료를 폴리에틸렌제 바트(Vat) 위에 균일한 두께로 하여 직사광선이 닿지 않는 장소에서 통풍이 잘 되게 펼쳐 놓고 풍건 후, 나무망치 등으로 파쇄한 뒤 균일하게 혼합한 후 2 mm의 표준체(10메쉬)로 체 거름 한 시료를 0.15 mm의 표준체(100메쉬)로 체 거름

Table 2. Standard Test Method for Soil Pollution

	Standard Test Method for Soil Pollution (NIER 2018)
Sample preparation method	As, Cd, Cu, Pb, Ni, Zn, Hg: 100 mesh (0.15 mm) sieving → (total contents analysis) Cr^{6+} : natural soil
Pretreatment method	As, Cd, Cu, Pb, Ni, Zn: aqua regia digestion (HNO_3 : HCl = 1:3) Cr^{6+} : ($NaOH + Na_2CO_3$) + $MgCl_2$ + 0.1M phosphate buffer solution extraction
Extraction Time and Temp.	As, Cd, Cu, Pb, Zn, Ni: 2hr, heating Cr^{6+} : 1hr, 90°C ~ 95°C heating

Table 3. Criteria of heavy metals for the soil playground in soil environment conservation act of Korea (Unit: mg/kg)

Pollutant	Cd	Cu	As	Pb	Zn	Ni	Hg	Cr ⁶⁺
Worrisome	4	150	25	200	300	100	4	5
Countermeasure	12	450	75	600	900	300	10	15

하여 분석용 시료로 하였다. 6가크롬은 채취 시료에서 돌, 나무 등 험잡물을 제거한 후 분석용 시료로 하였고, 공정시험기준에서 제시하고 있는 수분함량 측정 방법을 따라 105℃에서 4시간 건조하여 건조 전과 건조 후의 무게 차를 구하여 수분보정 건조중량으로 값을 구하였다. Table 2에 토양시료의 조제 및 추출 방법에 대하여 나타내었다.

3. 분석 및 평가 방법

토양오염공정시험기준(NIER 2018)에 따라서 전처리한 후, 카드뮴, 구리, 비소, 납, 아연, 니켈의 분석을 위해 ICP-OES (model 8300, Perkin-Elmer Inc.)를 이용하여 그 농도를 정량하였다. 이외 6가크롬은 자외선/가시선 분광법(디페닐카바지드법)으로 분석하였으며, 분석기기는 UV-Vis (model Lambda 365, Perkin-Elmer Inc.)이고, 수은(Hg)은 수은분석기(model DMA-80, Milestone s.r.l)로 분석하였다.

토양오염도 평가를 위해 토양환경보전법(KMOE 2023)에 따른 토양오염우려기준 1 지역 기준을 적용하였다. 항목별 기준치는 Table 3과 같다. 토양환경보전법에서 토양오염의 우려기준은 사람의 건강·재산이나 동물·식물의 생육에 지장을 줄 우려가 있는 토양오염의 기준을 말하며, 1 지역은 『공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률』에 따른 지목으로 분류하고, 『어린이놀이시설 안전관리법』 제2조 제2호에 따라 어린이 놀이시설 부지(실외에 설치된 경우에만 적용한다)가 이에 해당한다. 또한 환경보전법(KMOE 2021)상 어린이활동공간의 바닥에 사용된 모래 등 토양에 대한 환경안전관리기준은 토양보전법상 토양오염우려기준 1지역 기준 이하로 관리하도록 되어있다. 본 연구에서 토양오염도의 평가는 차지구별 오염현황을 비교하기 위한 구별 분석과 5년 이상 반복 측정된 조사지역에 대한 추이분석으로 구분하여 진행하였다.

토양오염기준과 비교하는 것뿐만 아니라 토양질을

Table 4. Soil pollution class (SPC) based on the soil pollution score (SPS)

Total soil pollution score	Soil pollution class
> 300	4
300 - > 200	3
200 - 100	2
< 100	1

평가하기 위하여 토양오염지표 산출 공식(Park 1996)을 이용하여 토양오염점수(Soil Pollution Score; SPS)를 산출하였고, 그 산출방식은 다음과 같다. 6가크롬의 경우 전체 조사대상지에서 불검출을 나타내었기에 토양오염점수를 산출할 때 제외하였다. C_i 는 중금속 평균 농도로 하였고, 전체 조사대상지의 농도가 포함된 농도이다.

$$SPS = \sum_i \frac{C_i}{TV_i} \times 100$$

i : Cd, Cu, As, Pb, Zn, Ni, Hg

C_i : 각 중금속의 분석농도

TV_i : 각 중금속의 토양오염 우려기준

토양오염등급(Soil Pollution Class ; SPC)(Park 1996)은 Table 4와 같이 토양오염점수에 의하여 4개의 등급으로 등급화하는 것으로 토양오염점수가 300점 이상이면 4등급, 300~200점이면 3등급, 200~100점이면 2등급, 100점 미만이면 1등급으로 분류하였다. 등급평가를 위해 토양환경보전법(KMOE 2023)에 따른 토양오염우려기준 1 지역 기준을 가지고 산출하였다.

토양환경보전법상 토양오염을 사업활동이나 그 밖의 사람의 활동에 의하여 토양이 오염되는 것으로서 사람의 건강·재산이나 환경에 피해를 주는 상태를 말하고, 토양오염우려기준을 사람의 건강·재산이나 동물·식물의 생육에 지장을 줄 우려가 있는 토양오염의 기준을 정하였기에 평가의 기준을 토양의 안전성을 토양의 건전함으로 고려하여 평가하였다.

4등급은 토양질의 오염 우려 지역이며 2와 3등급은 토양오염이 우려되는 지역으로 향후 검증이 필요한 지역, 토양오염 1등급은 토양 상태가 건전한 지역으로 볼 수 있다. 토양오염점수가 100점 미만이라는 것은 토양에 존재하는 중금속 농도가 어떠한 경우에도 토양오염우려기준 1지역 기준을 초과할 수 없는 경우로 매우 건전한 토양환경을 유지하고 있는 상태라 할 수 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 중금속 농도

본 연구에서 어린이 놀이터 모래의 중금속 평균 농도는 Table 5에 나타난 바와 같이 카드뮴 0.21 ± 0.13 mg/kg, 구리 5.97 ± 6.56 mg/kg, 비소 2.40 ± 1.58 mg/kg, 납 7.55 ± 5.09 mg/kg, 아연 34.08 ± 22.5 mg/kg, 니켈 4.22 ± 3.95 mg/kg, 수은 0.02 ± 0.03 mg/kg, 6가크롬은 불검출로 조사되었다. 이전 연구(Lee et al, 2006)에 의하면 서울시 내 어린이 놀이터 토양오염도 조사 결과 카드뮴 0.101 mg/kg, 구리 4.470 mg/kg, 비소 0.10 mg/kg, 납 5.35 mg/kg, 수은 0.0051 mg/kg, 6가크롬 0.017 mg/kg으로 보고되었고, Ju et al.(2016)은 서울시 주거지역 내 어린이 놀이터에서 중금속 평균 농도가 카드뮴 0.050 mg/kg, 구리 0.229 mg/kg, 납 0.315 mg/kg, 6가크롬 0.071 mg/kg으로 조사하였다. 또 다른 연구 결과

(An et al, 2013)에 의하면 수도권 어린이 놀이터 모래의 중금속 농도는 카드뮴 0.04 mg/kg, 구리 1.75 mg/kg, 비소 0.75 mg/kg, 납 3.42 mg/kg 으로 조사되었다. 이처럼 본 연구의 결과가 이전 연구 결과들과 다르게 비교적 높은 농도로 확인되었는데 그 이유는 중금속 분석 때 사용되는 시료 조제 방법인 토양 입경의 차이, 산의 종류와 농도, 용출 방법에 따른 차이로 판단된다. 가용성 함량을 분석할 때 입경이 2 mm인 토양을 이용하여 분석하고, 총 함량을 분석하는 토양오염공정시험기준(NIER 2018)의 경우에는 더 작은 입경인 0.15 mm 토양을 사용하여 분석한다. 이는 입경이 작을수록 토양 중 중금속의 농도가 높다는 연구 결과(Kim and Ji 2022)와 유사한 것으로 보인다. 또한 가용성 함량을 분석할 때 전 함량 분석 시 사용된 산보다 더 약산으로 추출되고 추출 시간도 더 짧기 때문에 중금속의 농도가 더 낮은 것으로 판단된다. Seo et al. (2010)에 의하면 가용성 함량 결과와 전함량 분석으로 측정된 농도가 비소 $8.8 \sim 21.6$ 배, 카드뮴 $10.2 \sim 16.3$ 배, 납 $4.6 \sim 7.8$ 배, 구리 $4.5 \sim 9.5$ 배 높게 나타난 것으로 확인하였으며, 이는 본 연구 결과와도 유사한 경향을 보인다.

또한 토양환경보전법에서 토양오염의 우려기준은 사람의 건강·재산이나 동물·식물의 생육에 지장을 줄 우려가 있는 토양오염의 기준을 말하고 지목이 1 지역, 2 지역, 3 지역으로 구분되어 있다. 본 연구의 조사 대상인 어린이 모래 놀이터는 1 지역에 해당한다.

Table 5. Average concentration of heavy metals in children playground (Unit: mg/kg)

Classification	Criteria ¹⁾	Avg.±SD	Max.	Min.
Cd	4	0.21 ± 0.13	0.69	0.003
Cu	150	5.97 ± 6.56	62.28	0.015
As	25	2.40 ± 1.58	11.58	0.001
Pb	200	7.55 ± 5.09	56.60	0.670
Zn	300	34.08 ± 22.5	84.24	2.560
Ni	100	4.22 ± 3.95	42.72	0.125
Hg	4	0.02 ± 0.03	0.23	0.001
Cr ⁶⁺	5	N.D. ²⁾	N.D. ²⁾	N.D. ²⁾

¹⁾ Criteria for soil from soil environment conservation act of Korea

²⁾ Not Detected, The quantification limit of Cr⁶⁺ was 0.5 mg/kg in the soil contamination process test standard, and values below the quantification limit were set as non-detection.

* Avg.: average, Max.: maximum, Min.: minimum

Table 5를 보면 모든 항목에서 최대값이 1 지역 기준 보다 낮은 값으로 나타난 것을 확인할 수 있다. 이처럼 본 연구에서 조사한 놀이터의 중금속 결과를 보면 토양환경보전법 토양오염우려기준(KMOE 2022)의 1 지역 기준 이하보다 낮은 수준으로 잘 관리하고 있음을 알 수 있다. 이는 모래 놀이터의 관리가 잘되고 있는 것으로 판단된다.

일정한 빈도수로 분석하여 모래의 중금속 농도 변화의 추이를 비교해보고자 전체 조사대상 지역 중 최소 5년 이상 5회 반복적으로 조사를 진행한 어린이공원 모래 놀이터를 선별하여 중금속 농도의 평균을 연

도별로 비교하여 Figure 1에 나타냈고, 각 놀이터의 지명은 영어 약자로 표기하였다. Table 6은 이 6개 지역의 놀이터 5회 이상 조사 결과를 나타낸 표이다.

선별된 6개의 어린이공원 모래 놀이터의 경우 연 1회, 5년 이상 동안 반복적으로 조사한 분석 결과이다. 6개 지역의 중금속 농도는 카드뮴의 경우 CS어린이공원 모래 놀이터 지역의 1회차 조사에서 0.28 mg/kg의 농도를 보이는 것을 제외하고 6개의 조사대상지에서 불검출의 결과를 나타냈다. 비소는 0.30 mg/kg~5.68 mg/kg, 구리는 0.77 mg/kg~46.95 mg/kg, 납은 2.90 mg/kg~13.68 mg/kg, 아연은 14.19 mg/kg



Figure 1. The change of heavy metal concentration within a year

Table 6. Comparison of heavy metals concentrations in 6 locations for 5 years (Unit: mg/kg)

Pollutant	Criteria ¹⁾	Avg.±SD	Max.	Min.
Cd	4	0.28 ± 0.05	0.28	0.28
Cu	150	7.73 ± 9.20	46.95	0.77
As	25	2.43 ± 1.39	5.68	0.30
Pb	200	7.49 ± 2.92	13.68	2.90
Zn	300	36.92 ± 15.5	74.50	14.19
Ni	100	5.34 ± 5.54	29.21	0.32

¹⁾ Criteria for playground soil from soil environment conservation act of Korea

²⁾ Not Detected

~74.50 mg/kg, 니켈은 0.32 mg/kg~29.21 mg/kg 사이의 결과 값을 나타냈다. BM어린이공원 놀이터는 구리가 1회~3회 조사시보다 4회 조사 시 22.59 mg/kg, 5회 조사 시 46.95 mg/kg으로 증가하고, 아연은 26.56 mg/kg~74.50 mg/kg의 값을 보였다. 구리의 농도는 증가 추이를 보이고, 아연은 100 mg/kg 이하의 농도에서 변화하는 모습을 보였지만 이는 토양오염우려기준 1 지역 기준인 카드뮴 4 mg/kg, 구리 150 mg/kg, 비소 25 mg/kg, 납 200 mg/kg, 아연 300 mg/kg, 니켈 100 mg/kg인 기준치보다 아주 낮은 수치로서 5년이라는 단기간의 비교이지만 오염도가 크게 증가하지 않았고, 기준치 이하로 잘 관리되고 있음을 알 수 있다.

2. 토양오염지표에 의한 토양질 평가

토양오염지표에 의한 토양질 평가는 토양오염점수와 토양오염등급을 통해 평가하였다. 평가항목은 전체 조사대상지에서 불검출로 나타난 6가크롬을 제외한 카드뮴, 구리, 비소, 납, 아연, 니켈, 수은 등 7항

목에 관한 결과치를 사용하였다. 토양오염우려지역 1 지역 기준을 적용하여 토양오염점수를 산출하였고, 각 조사대상의 토양오염점수(SPS)와 토양오염등급(SPC)을 Table 7에 나타내었다.

조사대상을 자치구별로 분류하여 토양오염점수를 산정하였다. 산출된 토양오염점수를 보면 7종의 중금속 농도의 최대 값과 최소 값으로 산출된 토양오염점수가 D구에서 최대 값 208.7점, 최소 값 3.8점을 나타내었다. 모든 조사대상 자치구의 토양오염점수는 평균 27.2점~43.0점 수준으로 모두 100 미만의 값을 나타내고 있다 산출된 토양오염점수를 토양오염등급별로 구분하였을 때 전체 토양오염등급이 1등급이었으며, 이로써 조사 대상지점의 토양 상태가 건강한 상태로 평가되었다. 다만, 최대 값으로 평가한 점수를 보면 5개의 자치구에서 128.5~208.7 사이의 점수를 나타냈다. 이는 1등급의 100점 이상의 값으로 이 5개의 자치구 놀이터는 지속적인 관심 및 관리가 필요한 것으로 보인다.

Table 7. The SPS and SPC of children playground by the areas

Site	SPS			SPC (Avg.) Classification
	Avg.	Max.	Min	
A-GU	35.0	147.8	4.7	1
B-GU	38.1	139.1	5.3	1
C-GU	34.4	154.1	8.2	1
D-GU	39.7	208.7	3.8	1
E-GU	43.0	128.5	8.9	1
F-GU	27.2	73.2	6.3	1
G-GU	32.2	98.6	6.3	1

IV. 결론

본 연구는 서울시 자치구의 어린이공원 모래 놀이터에서 모래를 채취하여 중금속 오염실태와 토양오염점수 산출을 통한 토양오염도를 평가한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 놀이터 모래의 중금속 항목별 평균 농도는 카드뮴 0.21 mg/kg, 구리 5.97 mg/kg, 비소 2.40 mg/kg, 납 7.55 mg/kg, 아연 34.08 mg/kg, 니켈 4.22 mg/kg, 수은 0.02 mg/kg이었으며, 6가크롬(Cr⁶⁺)은 검

출되지 않았다. 이 기준은 환경보건법 어린이 활동 공간에 대한 환경안전관리기준에서 어린이 활동공간의 바닥에 사용된 모래 등 토양 기준 중 기생충란을 제외한 중금속 기준에 적합하다. 또한 토양환경보건법 토양오염우려기준 중 1지역 기준보다 낮은 수준으로 어린이공원 모래 놀이터의 토양이 적절하게 잘 관리되고 있는 것으로 평가된다. 다만, 환경보건법 어린이 활동 공간에 대한 환경안전관리기준에서 합성고무 재질 바닥재에 대한 기준은 표면재료에 대한 기준 충족으로만 정해져 있기에 선행연구에서 조사한 것처럼 고무 바닥재의 PAHs 오염도에 대한 관심과 관리도 필요할 것을 보인다.

2. 5년 동안의 어린이공원 모래 놀이터의 중금속 오염도 추이 변화를 조사한 결과, 중금속의 평균 농도는 카드뮴 0.28 mg/kg, 구리 7.73 mg/kg, 비소 2.43 mg/kg, 납 7.49 mg/kg, 아연 36.92 mg/kg, 니켈 5.34 mg/kg이었다. 이는 토양오염우려기준 1지역 기준치보다 낮은 수치로서 5년이라는 단기간의 비교이지만 오염도가 크게 증가하지 않았고, 기준치 아래로 잘 관리되고 있음을 알 수 있다.

3. 자치구별 토양오염점수를 산출하여 평균 토양오염등급(SPC)을 평가한 결과 조사대상 모두 1등급으로 토양에 존재하는 중금속 농도가 낮고 토양오염 기준을 초과할 수 없는 건전한 토양환경을 유지하고 있는 상태라 할 수 있다. 단, 최대 값이 1등급을 초과하는 5개 자치구 놀이터에 대해서는 지속적인 관심 및 관리가 필요한 것으로 나타났다.

모래 놀이터가 어린이 정서 및 지능 발달에 도움이 된다고 알려지면서 모래 놀이터 수요가 다시 늘어나는 추세이고, 고무 바닥재 놀이터의 안전성과 환경오염 문제가 제기됨에 따라 모래 놀이터의 유지가 필요하다고 생각된다. 따라서 어린이 놀이터의 관리주체인 지자체가 바닥재로 사용되고 있는 모래 토양환경을 안전하게 유지할 필요가 있고, 조사대상 자치구는 연 1회 이상 모래 바닥재의 중금속 검사를 실시하여 지속적으로 관리하고 있다. 본 연구 결과 대부분 지역이 안전하게 관리되고 있으며, 지속적인 관심과 관리가 필요하다.

References

- An HS, Kim JH, Hyun SH. 2013. Environment Parameters Affecting Heavy Metal Concentration in Sand Collected from children Playground in Seoul Metropolitan Area. *Journal of Soil Science and Fertilizer*, 46(3): 193-202. [Korean Literature]
- Huh SH, Weon JI. 2015. Analysis of Hazardous Heavy Metal in Colored Materials of Playground Facility for Children. *Journal of the Korean Society of Safety*, 30(2): 14-20. [Korean Literature]
- Jeong MY, Lee EH. 2007. Environmental evaluation of children's playgrounds in apartment complexes. *Proceedings of the Korean Institute of Landscape Architecture Conference*, pp. 58-61. [Korean Literature]
- Jeong SG, Park YJ. 2012. A Study on Preference of Pavement Materials for Children's outing Playground in Apartment Complex-With Focus on Jeonju City. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, 15(4): 97-109. [Korean Literature]
- Jeong SK, Song HM, Yoon SH, Lee JC, Kim YH, Paik KJ, Park JT, Kim DS. 2009. A Study on the Soil Pollution in the Children's Playground of Gwangju Area. *Journal of Korea Society of Waste Management*, 26(2): 168-174. [Korean Literature]
- Jeong WJ, Kim YH, Lee YG, Cho MC, Jeong HY, Cho YG, Kim ES, Kim DS. 2017. Study on Playing Equipment and Environmental Factors Influencing Heavy Metal Concentration in the Sand Flooring of Children's Playgrounds in Gwangju Area. *Journal of Korea Society of Waste Management*, 34(4): 369-377. [Korean Literature]
- Ju JH, Park JY, Choi EY, Yoon YH. 2016.

- Assessment of Heavy Metals Contamination in Children's Playground and Surrounding Area Soils Depending on Land Use Types in Seoul. *Seoul Studies*, 17(1): 115-124. [Korean Literature]
- Kim JE, Ji WH. 2022. Effect of Soil Sample Pretreatment Methods on Total Heavy Metal Concentration. *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 27(4): 63-74. [Korean Literature]
- Kim MH, Lee J, Lee JH. 2017. Suggestion on Improvement of Amusement Facilities Based on the Correlativity between Utilization Rate of Sangsang Children's Park and Play Form by Age. *Journal of Korea Institute of Spatial Design*, 12(6): 113-124. [Korean Literature]
- Kim YH, Kim JH, Kim KT, Heo JG, Chu WJ, Kim OM, Lee YJ, Eom JG. 2010. Inorganic and construction waste treatment and recycling; Investigation of PAHs contamination of playground rubber flooring, *Proceedings of Journal of Korea Society of Waste Management*, 11: 311-313. [Korean Literature]
- Kim YH, Kim JM, Song HM, Kim SH, Ahn BY, Kang YJ, Kim ES, Kim DS. 2013. A Study on Exposure Status of Harmful Substances from Flooring Material of Children's Playground in the Gwangju Area. *Journal of the Korean Society for Environmental Analysis*, 16(2): 138-144. [Korean Literature]
- Kim YH, Ro JI, Gang HG, Lee SM, Choi CS. 2007. Study on the Exchange Period of Children-playground Sand Soil by Evaluation of Heavy Metal Pollution. *Journal of Korea Society of Waste Management*, 24(4): 323-329. [Korean Literature]
- Lee CD, Lee YJ, Cho NY. 2001. Evaluation of Heavy Metal Pollution in Soil on the Playgrounds for Children in I area. *Journal of Environmental Health Sciences*, 27(3): 57-62. [Korean Literature]
- Lee JB, Kim GB, Jung K, Kim MY. 2006. The Evaluation on the pollution level of playgrounds for children in seoul metropolitan. *Journal of Environmental Health Sciences*, 32(4): 249-253. [Korean Literature]
- KMOE (Korea Ministry of Environment). 2023. Act. Soil Environment Conservation Act.
- KMOE (Korea Ministry of Environment). 2008. Investigation of environmental harmful factors in children's playground flooring and preparation of improvement plans.
- KMOE (Korea Ministry of Environment). 2022. Regulation. Enforcement decree of the environmental health act.
- KMOE (Korea Ministry of Environment). 2021. Act. Enforcement Decree of the Environmental Health Act.
- KMOIS (Korea Ministry of the Interior and Safety). 2021. Act. Children's Play Facilities Safety Management Act.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2018. Korea standard methods for soil analysis.
- Oh KJ, Kim HE. 2014. The Environmental Status of the Playgrounds located in the Apartment Housings' Area. *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, 14(3): 127-132. [Korean Literature]
- Park YH. 1996. Designing and Applicability of Soil Pollution Indices for Estimating Quality of Soil Polluted with Heavy Metals and Arsenic. *Journal of KOSES*, 1(1): 47-54. [Korean Literature]
- Seo IS, Kim JB, Kim TH, Kim EA, Han HS, Ah WS, Lee MG, You SJ. 2012. A study on

- the Evaluation of the Pollution Level on Flooring Materials of Children's Playgrounds. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 3(1): 1-11. [Korean Literature]
- Seo KS, Kim JY, Ha KT, Choi NG, Jung HR, Cho GC, Yun JS, Eom SW. 2010. Distribution Characteristics of Heavy Metal in the Soil in Seoul. *Report of S.I.H.E.*, 46: 125-133. [Korean Literature]
- SMG (Seoul Metropolitan Government). 2021. 61th Seoul Statistical Yearbook.
- Tarafdar A, Oh MJ, Nguyen-Phuong Q, Kwon JH. 2020. Profiling and potential cancer risk assessment on children exposed to PAHs in playground dust/soil; a comparative study on poured rubber surfaced and classical soil playgrounds in Seoul. *Environmental Geochemistry and Health*, 42: 1691-1704.
- Wik A, Dave G. 2009. Occurrence and effects of tire wear particles in the environment-A critical review and an initial risk assessment. *Environmental Pollution*, 157(1): 1-11.
- Yoon SH, Kim JS, Yang WH. 2006. Case Analysis and Planning Guidelines of Children Parks in Low-rise House Residential Area. *Journal of the Korean Housing Association*, 17(2): 27-39. [Korean Literature]