

야외 농구장 탄성포장재에 함유된 납과 DEHP의 위해성 평가

박정옥[†] · 정태욱 · 장은화 · 정재은 · 조정구 · 이용주

부산광역시 보건환경연구원

Risk Assessment of Pb and DEHP in Elastic Paving Materials of an Outdoor Basketball Court

Jeong-Ok Park[†], Tae-Uk Jung, Eun-Hwa Jang, Jae-Eun Jung, Jung-Gu Cho, and Yong-Joo Lee

Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment, Busan, 46616, Korea

Received January 15, 2020 / Revised February 24, 2020 / Accepted March 1, 2020

This study investigates the elastic paving material coated on the floor surfaces of athletic facilities. The concentrations of Pb and DEHP(Di-(2-ethylhexyl)phthalate)) in 13 samples obtained from the flooring of an outdoor basketball court were analyzed. Additionally, a risk assessment for the human exposure was conducted. The average concentration of Pb was 2,357.5 mg/kg and ranged from 3.1 mg/kg to 13,465.4 mg/kg. The Pb concentration of 7 out of 13 samples exceeded the KS standard for Pb, which is 90 mg/kg. The largest contribution of DEHP was caused by phthalates, which measured an average concentration of 53,546.6 mg/kg in 13 samples. The hazard quotient (HQ) estimated from the Pb concentrations obtained from 10 samples taken from the surface of the palm after one hour of activity on the basketball court ranged from 0.0001 to 0.0600 and 0.0001 to 0.0550 for teenagers and adults, respectively. An increase in the HQ value was observed when evaluating the upper 95% concentrations, more specifically, 0.0006 to 0.4470 for teenagers and 0.0006 to 0.4090 for adults. The estimated excess cancer risk (ECR) of DEHP was 10^{-6} and 10^{-5} for the mean concentration and the upper 95% levels, respectively. These results suggest that there is an inherent health effect when exposed to the elastic paving materials of sports facilities. Therefore, it is necessary to set standards for elastic paving materials with a particular focus on indoor sports facilities where hazardous pollutants can easily accumulate due to the lack of ventilation.

Key words: Risk assessment, Elastic paving materials, Outdoor basketball court, Pb, DEHP

1. 서 론

교육부에서 2016년 실시한 학교 우레탄 트랙의 유해물질 전수조사 결과 2,763개교 중 64%에 해당하는 1,767개교에서 납 등 중금속이 한국산업표준 KS기준¹⁾을 초과한 것으로 알려져 부적합 시설에 대해 전면적인 교체 계획을 발표하였다.²⁾ 정부에서는 이미 학교체육시설에서 탄성포장칩 등 원료와 인조잔디 등에 대해 유해물질기준을 정해 관리³⁾하여 왔으나 국민들의 건강보호와 불안감 해소를 위해 2016년 12월, 실외체육시설-탄성포장재 제품의 품질기준⁴⁾을 제정하면서 기존 중금속 4항목에 중금속 14종과 PAHs, 프탈레이트계 가소

제를 추가하였다.

부산시의 경우, 제정된 KS기준에 따라 관내 143개 공공체육시설의 탄성포장재에 대한 안전성 확인검사를 실시한 결과, KS기준 초과시설은 49개소였고 초과율이 가장 높은 항목은 프탈레이트류(30.8%), 납(7.7%), PAHs(6.3%) 순으로 조사되었다. 특히 EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer), SEBS(Styrene-Ethylene/Butylene-Styrene) 등 합성고무칩으로 시공된 시설에 비해 액상폴리우레탄을 사용한 농구장, 배트민턴장 등에서는 프탈레이트와 납이 16개 시설에서 모두 검출되었으며 기준 초과율은 각각 93.7%, 62.5%에 달했다.⁵⁾

납은 명확한 인체 발암물질은 아니지만, 신체 대부분

[†]To whom correspondence should be addressed.

기관에 영향을 미칠 수 있으며, 특히 어린이에게는 행동 및 학습장애, 지능 저하, 성장 둔화를 유발하고, 임신부에 축적된 납이 태반을 통해 태아에게 노출되어 태아의 성장을 저해하고 조산을 유발하고, 일반 성인에게는 심혈관계질환, 고혈압, 신장기능 저하, 생식기능 저하 등의 원인이 된다.⁶⁾

또한 DEHP(Di-(2-ethylhexyl)phthalate) 등 프탈레이트류는 급성독성은 낮은 편이지만 동물실험에서 발암성인 것으로 밝혀졌으며,⁷⁾ 내분비교란물질로 작용하여 태아 사망, 기형, 고환과 간 상해, 과산화물질의 증대를 일으킬 수 있다.⁸⁾ 실험동물에서의 생식 이상은 태어날 때의 체중 감소와 생존률 감소, 생식기 기형, 수컷의 성기 길이 감소 등이 포함된다.⁹⁾ 프탈레이트 중 사용량이 가장 많은 DEHP의 경우 전 세계적으로 약 2백만 톤이 매년 생산되고 있으며, 일반적으로 PVC(Poly Vinyl Chloride)와 같은 제품의 가소제(Plasticizer)로 널리 활용되고 있다.¹⁰⁾ 이러한 프탈레이트는 플라스틱 물질과 공유결합을 하지 않아 결합력이 약해 쉽게 떨어져 나오므로, 생산이나 이동 과정, 사용할 때 쉽게 인간에게 노출이 가능하며, 음식이나 물, 고기 및 프탈레이트를 함유하는 상품들을 통해서도 노출될 수 있다.¹¹⁾

제품 사용과정에서의 유해물질 노출로 인한 피해가 국민 건강의 위해요소로 등장함에 따라 안전한 제품 사용에 대한 욕구가 증대하고 있어 제품 및 시설에 대한 위해성 관리가 시급한 과제로 대두되고 있다.¹²⁾ 하지만 유해물질 농도가 높다 하더라도 인체에 노출되는 정도가 약하다면 위해성은 우려 수준보다 낮을 가능성이 높다.

본 연구의 목적은 아의 운동시설 중 바닥이 액상우레탄으로 시공되어 있고 바닥과 접촉 빈도가 높아 손을 통해 유해물질에 노출될 가능성이 많은 농구 경기장을 대상으로 탄성포장재 유해물질 관련 선행연구^{5,13,14)}에서 검출률과 기준초과율이 높은 납과 DEHP의 함유 농도를 조사하고 일정시간 활동 후의 유해물질 노출량과 유해지수를 산출하여 우레탄 트랙의 합리적인 안전관리 방안과 연구방향을 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료채취

2017년 7월부터 11월까지 부산시 주요 공공체육시설 중에서 액상폴리우레탄으로 바닥재가 시공되어 있는 대저2공원, 명진근린공원, 서부산근린공원 등 13개 농구장에서 KS F 3888-2:2014의 위해성 시험분석 시료채

취 방법에 따라 진행하였다.¹⁾ 조사시설의 대표값 선정을 위해 10 m 이상의 간격을 두고 3지점에서 채취하였으며 커터 등을 이용하여 2 mm 이하의 크기로 잘라서 혼합한 후 분석시료로 사용하였다.

시설 표면의 접촉으로 인한 납과 DEHP의 노출을 고려하기 위하여 선행연구¹⁵⁾ 등에서 사용한 표면 중 샘플링방법과 미국 EPA¹⁶⁾에서 사용한 샘플링방법 중 젖은 천을 사용하는 방법을 참고하여 응용하였다. 납의 표면 농도분석을 위해 폴리에스테르 재질의 시료채취용 천(Alpha wipe, TX1009) 7.5 cm × 7.5 cm(56.25 cm²)을 증류수로 골고루 적신 후, 바닥에서 20 cm × 8 cm(160 cm²)의 면적을 20초간 왕복 5회 문질러 시료를 채취하여 갈색 유리병에 담아 밀봉하여 냉장 보관하였다. DEHP 시료채취는 Cotton gauze pads(4 in. × 4 in.)에 Isopropyl Alcohol 2 mL(50% water solution)을 적셔 납의 시료채취를 하지 않은 위치에서 동일한 방법으로 진행하였다.

농구장을 이용할 때 손을 통해 노출될 수 있는 유해물질의 농도를 측정하기 위하여 성인 남성이 활동 전에 100 mL의 증류수로 손을 깨끗이 씻은 후 천으로 물기를 닦고 물기가 완전히 마른 후 1시간 동안 농구장에서 활동을 하도록 했다. 활동 전과 활동 후의 손바닥을 중금속 시료는 증류수를 적신 천(Alpha wipe, TX1009, 7.5 cm × 7.5 cm(56.25 cm²))으로, DEHP 시료는 Isopropyl Alcohol 2 mL(50% water solution)을 적신 Cotton gauze pads(4 in. × 4 in.)로 채취하여 분석하였다.

2.2. 연구방법

2.2.1. 납 정량분석

납의 함량 분석은 한국산업표준(KS M 6956)¹⁷⁾을 응용하여 시료 0.5 g을 1 mg 단위까지 정확히 달아 질산 10 mL를 넣고 마이크로파 분해장치(Anton Paar, Multiwave PRO, Austria)에 장착하여 180°C에서 10분간 600 W에서 분해 후 냉각시켜 5C 여지로 여과하고 최종 액량을 50 mL로 맞춘 것을 시료로하여 유도결합플라즈마 분광분석기(Agilent, 720-ES, USA)로 분석하였다.

바닥 표면 및 손 표면 분석은 채취한 거즈를 용기에 넣고 10%의 질산 20 mL를 가하고 초음파 시료분해장치에서 60°C에서 1시간 가열하였고 방냉 후 5C 여지로 여과하고 증류수로 50 mL로 맞추어 ICP-OES로 분석하였다. 시료채취 및 전처리 과정에서의 오차를 보정하기 위하여 공시료와 미사용 거즈를 바탕시료로 하여 시료와 동일한 방법으로 진행하였다.

2.2.2. DEHP 정량분석

DEHP 분석은 시료 0.5 g을 1 mg 단위까지 정확히 달아 가속용매 용출장치(Buchi, E916, Swiss) 스테인레스 튜브에 넣고 수분 제거와 공극 확보를 위해 규조토와 sea sand를 적당히 혼합하여 n-헥산과 Ethyl Ether를 8:2로 혼합하여 120°C에서 추출하여 진공 농축기로 농축하였다. 농축한 시료는 플로리실 2 g 카트리지를 사용하여 유분을 제거하고 n-헥산 100 mL로 씻어 정제하여 진공 농축기로 최종 액량이 1 mL가 되도록 농축하였고 내부 표준물질로 안트라센-d10(Accustandard, USA) 10 mg/L 용액을 100 µL 주입하여 질량분석기(Agilent, 7890B/5977B, USA)로 분석하였다.

분석용 시료의 준비과정에서는 모두 유리제품을 사용하였고, 제품 표면 및 손 표면 거즈 시료도 동일한 방법으로 진행하였다. 시료채취 및 전처리 과정에서의 오차를 보정하기 위하여 공시료와 미사용 거즈를 바탕시료로 하여 시료와 동일한 방법으로 분석하여 보정하였다.

2.2.3. 분석의 정도관리

정량분석의 정도관리를 위해 검정곡선 작성용으로 5개 이상의 표준물질을 단계별로 희석하여 0.99 이상의 값을 얻을 수 있었고, 정밀도와 정확도를 산정하기 위해 같은 농도의 시료를 4개 이상 분석하여 정확도는 98% 이상, 정밀도는 모두 10% 이내의 표준편차를 구할 수 있었다.

방법검출한계와 회수율 확인을 위하여 납이 함유되지 않은 매질과 시료채취에 사용된 wipe에 최종 농도가 10 mg/kg, 0.005 µg/wipe가 되도록 표준용액(Merck, Germany)을 첨가하여 7회 이상 반복 측정하여 구하였다. DEHP는 DEHP가 함유되지 않은 매질과 시료채취에 사용된 wipe에 최종 농도가 30 mg/kg, 0.005 µg/wipe가 되도록 표준용액(Accustandard, USA)을 첨가하여 7회 이상 시료와 동일한 전처리 및 기기 분석 조건을 적용하여 회수율을 평가하였다 (Table 1).

2.2.4. 농구장 이용자의 위해물질 노출계수 및 시나리오 구성

탄성포장재 중 중금속 함량이 높은 농구장 이용자에게

노출될 수 있는 위해성 평가를 위해 환경부 조사,^{13,14)} 한국 노출계수 핸드북,¹⁸⁾ 어린이 노출계수 핸드북¹⁹⁾ 등의 자료를 참고하여 노출시나리오를 구성하였다.

생리학적 노출계수는 중학생과 고등학생 이상 연령층이 주로 농구장을 이용한다고 가정하여 청소년(13세~18세)과 성인(19세~64세)으로 구분하여 설정하였다. 국내 선행연구¹⁴⁾를 참고하여 운동시간이 가장 많은 계절인 가을에 조사하였고, 운동시설의 평균 일일 이용시간은 1시간, 상위 5% 이용시간은 3시간이며, 연간 평균 이용빈도는 112일, 상위 5% 이용자는 260일의 연구결과²⁰⁾를 적용하여 평균 노출과 95%일 때의 최악의 시나리오로 각각 구성하였다.

유해물질의 노출경로는 흡입, 섭취, 피부접촉 등이 있지만 야외에서 행해지는 활동이라는 점과 탄성포장재 유해물질과 주변 대기환경 조사결과 간에 유의성을 보이지 않는다는 기존 연구¹³⁾를 적용하여 흡입노출 가능성은 배제하였다. 그리고 시설 이용대상이 13세 이상의 청소년과 성인은 직접 입으로 가져가서 인체로 유입되는 경우는 흔하지 않은 현상임을 감안하여 경구노출도 배제하였고 농구공을 통해 손으로 전이되는 경피노출에 대해서만 고려하였다. 특히 유기납은 피부를 통해서 매우 흡수가 잘되는 물질로 알려져 있다.²¹⁾

농구 경기 중 공을 통해 바닥의 유해물질이 손바닥으로 전이되므로 실제 손바닥이 공을 치거나 잡는 횟수와 접촉시간이 매우 중요한 변수가 될 수 있다. 이는 실제 촬영한 농구 경기 장면을 관찰하면서 청소년 5명과 성인 5명 각각의 시간당 손 접촉빈도와 회당 손 접촉시간을 분석하여 Table 2에 나타내었다.

시나리오에 반영된 피부흡수 관련 생리적 노출계수는 평균값을 사용하였고 시설 이용자의 운동시간과 운동일수는 평균일수와 95% 노출 일수에 대해 평균노출계수와 최악노출계수로 각각 Table 3에 제시하였다. 피부흡수율(Dermal Migration Ratio)은 화학물질의 특성과 인체의 노출경로 등에 따라 인체에 흡수되는 비율로 캐나다 보건부²²⁾에서 제시된 피부흡수 자료를 사용하였고 비발암 독성참고치(RfD, Reference Dose)는 노출(식품 및 환경매체 등)을 통하여 환경유해인자가 인체에 유입되었을 경우 유해한 영향이 나타나지 않는다

Table 1. Method detection limit and recoveries of the multi-media samples

QC. value	Method detection limit		Recovery (%)	
	Paving material(mg /kg)	Wipe(µg/wipe)	Paving material(mg /kg)	Wipe(µg/wipe)
Pb	0.4	0.053	101.2	95.2
DEHP	1.3	0.005	92.3	82.6

Table 2. Exposure factor and exposure time used in the risk assessment

Exposure Factor	Units	Teenagers(13~18yr)		Adults	
		Mean	95%	Mean	95%
Contact time	sec/ Number of times	0.9	0.9	1.03	1.03
Contact frequency	Number of times /hr	845	845	877	877
Exposure time	hr/day	1	3	1	3
Exposure frequency	day/yr	112	260	112	260
Weight	kg	58.7	58.7	70.6	70.6
Palm surface area	cm ²	394	394	419	419

Table 3. Dermal migration ratio and reference dose used in the risk assessment

	Dermal Migration Ratio	Rfd
Pb	0.006	0.00063
DEHP	0.02	0.05

고 판단되는 노출량²³⁾을 말하며 기존 설정값으로 위해도 평가를 하였다.

2.2.5. 위해도 평가

‘환경유해인자의 위해성 평가를 위한 절차와 방법 등에 관한 지침(환경부 예규 제415호)’의 인체 노출시나리오 및 알고리즘에 의해 추정된 인체 노출량과 분석 결과에 따라 유해지수를 산출하였다. 피부흡수로 인한 위해성 평가를 위해서 평균 노출값과 95% 최악노출일 경우에 대해 피부노출량(Dermal Exposure Dose)을 산출하고(식 (1)) 용량-반응평가를 통해 알려진 독성참고치(Reference Dose)를 반영하여 유해지수(Hazardous Quotient)를 추정(식 (2))하였다. 고용노동부 2군 발암성 물질인 DEHP에 대해서는 초과발암위해도를 (3)식에 따라 평가하였다.

$$ADD = HS \times FT \times ET \times MR / (BW \times AT) \quad (1)$$

Where

ADD : Dermal Exposure Dose (mg/kg bw-day)
 HS : Concentration of Surface at Hands (mg/hand.hr)
 FT : Exposure Frequency for Scenario (day/yr)
 ET : Exposure Time for Scenario (hr/day)
 MR : Dermal Migration Ratio
 BW : Body Weight (kg)
 AT : Averaging Time (day)

$$HQ = ADD(mg/kg/day) / Rfd \quad (2)$$

Where

HQ : Hazardous Quotient
 ADD : Dermal Exposure Dose (mg/kg bw-day)
 Rfd : Reference Dose (mg/m³)

$$ECR = ADD(mg/kg \text{ bw-day}) \times CPF \quad (3)$$

Where

ECR : Excess Cancer Risk
 ADD : Dermal Exposure Dose (mg/kg bw-day)
 CPF : Cancer Potency Factor

3. 결과 및 고찰

3.1. 시료분석 결과

3.1.1. 바닥재 분석

13개의 농구장 A~M(Fig. 1) 시설 바닥재에서의 납과 DEHP의 함량 분석결과는 시설별로 농도 편차가 매우 큰 것으로 조사되었다. 납의 평균 농도는 2,357.5 mg/kg이었고, 3.1 ~ 13,465.4 mg/kg 범위였으며 13개 시설 중 7개소에서 KS기준치인 90 mg/kg을 초과하였다. 선행연구¹⁴⁾에서 구기종목장 우레탄 트랙시설에서 납이 평균 8,431.5 mg/kg 농도로 검출된 결과와 비슷한 양상을 보였다. 납의 검출은 액상 폴리우레탄으로 바닥 시공 시 빨리 고형화 시키기 위한 경화제와 유기 또는 무기 안료로 많이 사용되는 것이 주원인으로 추정된다.

바닥 중 DEHP 농도는 평균 53,546.6 mg/kg으로 검출되었으며, 농도범위는 17.9 ~ 154,679.3 mg/kg로 넓은 농도의 분포를 나타내었다. 실외 체육시설에 대한 탄성포장재의 KS기준³⁾에서 프탈레이트류는 DEHP와 DBP(Dibutyl phthalate), BBP(Butyl benzyl phthalate), DINP(Diisononyl phthalate), DIDP(Diisodecyl phthalate), DNOP(Di-n-octyl phthalate) 6종의 합이며, 허용기준은 1,000 mg/kg 이하로 정해져 있다. 13개소 중 12개소에서 DEHP는 1,000 mg/kg을 초과하여 검출되어 프탈레이트류 6종 총합 기준보다 고농도이며 검출 농도만으로도 우려할 만한 수준임을 알 수 있다. 실제 DEHP는 총가소제 사용량의 74% 정도를 차지하며, PVC 필름, 전선, 성형품, 도료에 사용되고 있으며, 프탈레이트 중 유일하게 발암성 물질이고 동물에서는 발암성 있으나 인체

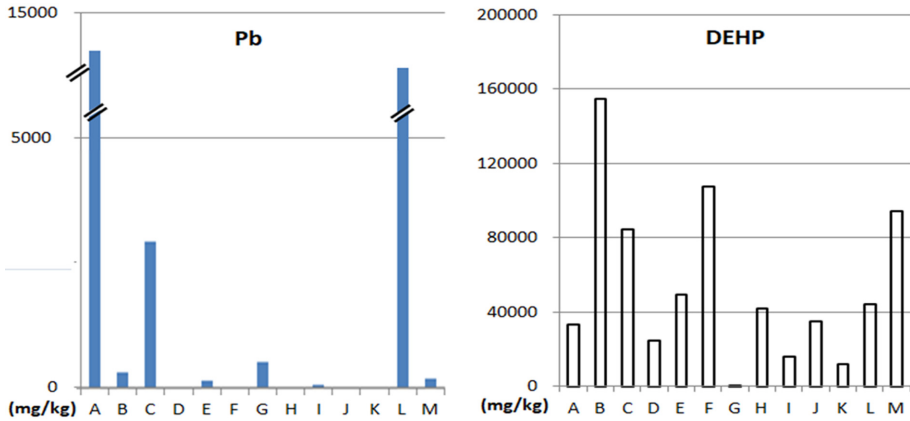


Fig. 1. Concentration of Pb and DEHP in elastic paving materials in the basketball court.(n=13)

에서는 발암성이 확인되지 않는 물질로 알려져 있다.⁸⁾

3.1.2. 바닥 표면

농구장 시설을 이용할 때 바닥 표면 접촉을 통해서 노출이 이루어지므로 시설 표면의 납과 DEHP의 농도를 분석한 결과 Table 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 13개 농구장 중에서 납의 검출농도가 10 mg/kg 미만으로 검출된 D, J, K 시설은 제외하고 10개소를 선정하여 진행하였다. 바닥표면 납 농도는 평균 28.1 µg/wipe, 0.6 ~ 174.2 µg/wipe, DEHP는 평균 91.2 µg/wipe, 35.0 ~ 151.7 µg/wipe의 범위로 분석되었다.

3.1.3. 손바닥 표면

10개소의 농구장에서 1시간 동안 농구 활동을 한 후에 손에서 묻어 나오는 납과 DEHP의 농도는 Table 5와 같다. 평균농도는 납은 125.7 µg/wipe, DEHP는 122.6 µg/wipe이었고, 환경부에서 발표한 우레탄으로 시공된 운동시설에서 평균 2.2 ± 2.6 µg/wipe으로 검출된

Table 4. Concentration of Pb and DEHP on the surface of the basketball court flooring

Substance	Concentration (µg/wipe)	
	Mean ± SD.	Range
Pb (n = 10)	28.1 ± 57.2	0.6 ~ 174.2
DEHP (n = 10)	91.2 ± 39.8	35.0 ~ 151.7

Table 5. Concentration of Pb and DEHP on the surface of the palm after playing a basketball game

Substance	Concentration (µg/wipe)	
	Mean ± SD.	Range
Pb (n = 10)	125.7 ± 241.1	0.9~644.6
DEHP (n = 10)	122.6 ± 51.3	68.4~51.3

연구결과²⁴⁾에 비해 높은 농도 값으로 조사되어 여타 체육시설에 비해 농구장일 경우 바닥재의 유해물질에 의한 노출량이 많은 것을 알 수 있었다. 국외 연구결과에서 어린이의 경우, 혈 중 납 농도는 먼지 중 납 농도 보다 바닥의 납 농도가 더 많은 영향을 준다는 보고^{25,26,27)}가 있어 연령대가 낮아질수록 바닥재 등에서 피부를 통해 노출되는 경로 관리가 매우 중요하다고 할 수 있겠다.

3.1.4. 탄성포장재 시설 유해물질 함량과 표면 농도의 상관성 분석

10개의 농구장 바닥재에 함유되어 있는 납과 DEHP의 농도가 실제 바닥표면과 손 표면으로 어느 정도 전이되는지를 알아보기 위하여 함량과 바닥표면, 손 표면간의 상관성을 엑셀 통계분석 프로그램을 사용하여 알아보았다. 납에서 함량과 바닥 표면의 Pearson's correlation coefficient는 0.9797이었고 함량과 손 표면 농도와는 0.9885로 나타나 높은 상관성을 보였다. DEHP는 바닥 함량과 표면 농도는 0.6505의 상관성을 보였고 손 표면 농도와는 0.8038로 평가되었다. DEHP는 납에 비해 상관성은 높지 않으나 양의 상관계수를 보여 DEHP 또한 바닥재 유해물질 함량의 영향을 받는 것으로 조사되었다.

농구장 바닥재의 유해물질 함량에 따라 일정시간 활동 후에 손바닥을 통해 흡수될 가능성이 높은 점과 인체 노출 위험성을 줄이기 위해서는 제품 품질관리 기준을 강화해야 할 필요성을 확인하였다.

3.2. 위해성 평가

3.2.1. 유해지수(HQ)

피부 흡수로 의한 위해성을 알아보기 위하여 농구장

Table 6. Hazardous quotient of harmful substance concentration on the surface of the palm

	Teenagers		Adults	
	Average	95% value	Average	95% value
Pb	0.0001 ~ 0.060	0.0006 ~ 0.447	0.0001 ~ 0.055	0.0006 ~ 0.409
DEHP	0.0003 ~ 0.001	0.0020 ~ 0.007	0.0002 ~ 0.001	0.0018 ~ 0.007

Table 7. Excess cancer risk due to harmful substance concentration on the surface of the palm

	Teenagers		Adults	
	Average	95% value	Average	95% value
DEHP	$4.77 \times 10^{-7} \sim 1.69 \times 10^{-6}$	$3.32 \times 10^{-6} \sim 1.18 \times 10^{-5}$	$4.36 \times 10^{-7} \sim 1.55 \times 10^{-6}$	$3.04 \times 10^{-6} \sim 1.08 \times 10^{-5}$

시설 10개에서 운동 경기 후에 손 표면 농도에 대한 유해지수(HQ, Hazard Quotient)를 계산하였다. 국내 환경보건 시행규칙 및 화학물질 위해성평가의 구체적 방법 등에 관한 규정에서 위해성은 초과발암위해도를 적용할 경우에는 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 으로 정하고 있으며, 그렇지 않을 경우에는 유해지수가 1 이상일 경우에 위해성이 있다고 판단한다. 일부 문헌²⁸⁾에서는 유해지수가 0.1을 초과할 경우에는 잠재적인 위해 가능물질로 판단하기도 한다.

납은 평균노출 수준에서는 유해지수가 청소년과 성인 모두 0.06 이하였고, DEHP는 0.001 이하로 위해성 판단 기준치인 1보다 낮게 조사되었다. 그러나 환경부에서 최근 실시한 연구¹⁴⁾ 결과에서 육상 트랙과 놀이장 등에 설치된 탄성포장재에 대한 납의 유해지수 0.001 ~ 0.01 결과보다는 높게 나타났다. DEHP의 유해지수는 0.001 이하로 비슷한 수준으로 조사되었다 (Table 6).

최악노출시나리오에 따른 유해지수는 납은 청소년과 성인 모두 0.4 범위로 산출되어 잠재적인 위험 수준이라고 볼 수 있으나 DEHP는 0.01 이하로 나타나 납보다는 위해성이 낮게 조사되었다. DEHP의 검출 농도는 납보다 10배 이상 높지만 유해지수는 납의 100분의 1 수준으로 낮게 조사되어 농구장 바닥시설에서 납에 대한 필요성이 더 중요하다고 할 수 있겠다.

하지만 DEHP는 가소제로 쓰이는 대표적인 물질로 PVC 등 수지 내에서 화학적으로 결합하지 않아 용출 및 휘발의 가능성이 높다.¹⁰⁾ 본 연구에서 납 보다 위해도는 낮게 조사되었지만 DEHP의 특성상 먼지 중에 포함되거나 휘발되어 흡입으로 인해 노출될 수 있어 소홀히 다루어서는 안된다.

운동시설에서의 활동은 행동 반경이 넓고 바닥에 충격을 가하는 동작이 많아 비산되는 먼지 중에 납이 함유되어 있을 가능성이 있으며 과격한 움직임으로 폐활량이 높아지므로 실제 호흡으로 인해서도 인체에 흡수되어 위해도 증가가 우려된다. 실내 체육시설일 경우에

는 공기 확산이 적으므로 바닥재에 대한 영향을 많이 받을 수 있어 바닥재 품질관리가 더욱더 요구된다. 특히 연령대가 낮을수록 위해도는 증가하는데 미국 EPA에서도 어린이의 주된 노출 경로는 공기 중 납 뿐만 아니라 바닥이나 벽면, 토양 등의 표면 납이 주된 노출원 이므로 이에 대한 관리가 필요하다고 강조하고 있다.²⁹⁾

본 연구는 실외에 설치되어 있는 농구장의 바닥에 함유되어있는 유해물질 농도가 바닥 표면과 손바닥을 통한 흡수 경로만 가정하여 연구를 진행하였으나 실내 운동시설의 경우에는 환기가 용이하지 않은 점을 감안하면 경피 노출과 흡입 노출을 함께 적용한다면 위해도는 이번 연구 결과보다 높아질 것으로 보여진다. 따라서 현재 국가표준에서는 실외체육시설의 인조잔디와 탄성포장재에 대해서만 유해물질을 관리하고 있지만 향후 실내체육시설에 대한 실태조사와 기준도 마련되어야 할 것으로 보여진다.

3.2.2 초과발암위해도

DEHP는 IARC(International Agency for Research on Cancer) Group 2B, ACGIH(American Conference of Industrial Hygienists) A3, NTP(National Toxicology Program) R, EPA(Environmental Protection Agency) Group B2, NIOSH(National Institute of Occupational Safety and Health) 등에서 발암성 관리물질로 정해져 있다.³⁰⁾

DEHP의 운동활동 노출시간에 따른 평균값과 상위 95% 값에 대해 초과발암위해도를 산출한 결과, 청소년은 $4.77 \times 10^{-7} \sim 1.18 \times 10^{-5}$, 성인은 $4.36 \times 10^{-7} \sim 1.08 \times 10^{-5}$ 범위로 평가되어 청소년에게서 약간 높게 나타났다.

최악의 노출 환경에서는 성인과 청소년에서 10^{-5} 이상 수준으로 평가되었으며 선행연구¹⁴⁾ 성인에게서 10^{-6} 보다 높은 값으로 나타났다 (Table 7).

본 연구에서 부산시 소재 10개 야외 농구경기장 우

레탄 바닥재에서의 납과 DEHP의 위해성평가를 실시하였다. 그러나 현장에서 이용자 섭외 등의 한계점으로 인해 표본 추출 수가 많지 않은 점과 10개 시설에서의 가을철 1회 측정으로 인한 실측자료의 대표성 문제 등 근본적인 제한점을 가지고 있다. 또한 노출량 산정을 위한 시나리오 도출에서 기존 연구자료를 인용하여 전체 연구결과를 해석한 점과 아의 시설에서의 운동 형태로 인해 흡입 노출을 배제한 근본적인 한계점은 존재하며 체육시설에서의 위해성 평가 연구에서 앞으로 보완되어야 할 부분이다.

4. 결 론

부산시 소재 공공체육시설 중 액상 우레탄으로 시공된 농구장에 대해 사전연구^{13,14)}에서 검출빈도와 검출농도가 높게 발표된 납과 DEHP를 정량분석 하였고 일정 시간 활동을 통해 건강에 위해를 줄 수 있는 노출량과 시설 주이용자인 청소년과 성인을 대상으로 유해지수를 평가하였다.

10개 농구장에서 1시간 활동 후에 손 표면 농도 값을 기준으로 유해지수(HQ)를 분석한 결과, 납의 유해지수는 평균과 상위 95% 구간인 최악의 시나리오에서 모두 위해성 판단 기준 값인 1보다 낮게 조사되었다.

DEHP의 경우도 평균노출과 최악의 시나리오로 가정 한 노출에서 모두 위해성 판단 기준 값인 1보다 낮은 값으로 나타났고, 검출 농도는 납보다 10배 이상 높지만 유해지수는 납의 100분의 1 수준으로 낮게 조사되었다. DEHP의 초과발암위해도도는 평균노출계수에서 청소년 성인 모두 $10^{-7} \sim 10^{-6}$ 으로 산출되어 발암위험성이 높지 않은 것으로 보이지만 95% 해당 값은 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ 범위로 산출되어 잠재적인 위해 가능성이 있다고 보여진다.

최근에 환경부에서 우레탄트랙 위해성관리 가이드라인을 마련하여 함량을 고려한 위해도 점수를 산정하고 트랙의 상태를 고려한 관리점수를 배점하여 교체 우선 순위를 선정하는 방법을 제시하는 프로그램을 배포하여 운용하게 된 사실은 매우 고무적인 일이다.

하지만 현재 프로그램에서 납의 경우에는 기준인 90 mg/kg을 초과하면 “즉시교체”의 대상으로 정해져서 해당 지자체는 시설교체를 시급히 진행하도록 프로그래밍 되어있다. 하지만 탄성포장재가 설치된 실외체육시설은 부산시의 경우 산책로, 자전거도로 등으로 사용하는 경우도 많아 실제 위해도는 우려할 수준보다 낮을 가능성이 있다. 따라서 현재 프로그램은 실외체육시설

에 대해 구기종목장, 놀이장, 육상트랙 3개의 시설로 구분하여 위해도를 평가하지만 시설 용도별로 보다 세분화하여 시설교체 비용에 소모되는 예산낭비를 줄일 수 있는 실효성 있는 보완이 필요하며, 아울러 실내체육시설 바닥재 기준 설정에 대한 연구도 필요하다.

감사의 글

이 연구는 국립환경과학원의 「환경분야 시험·검사의 국제적 적합성 기반구축사업」에 따른 국고보조금 지원으로 수행되었습니다

참고문헌

1. 국가기술표준원, “KSF 3888-2:2014(학교체육시설-운동장부대시설(탄성포장재))”, 2014.
2. 환경부, “유해 우레탄트랙, 전면 교체한다”, 2016, 환경보전정책과 보도자료(2016. 9. 30.).
3. 국가기술표준원, “KSF 3888-2:2016(실외체육시설-탄성포장재)”, 2016.
4. 국가기술표준원, “KSF 3888-1:2013(학교체육시설-인조잔디)”, 2013.
5. 부산광역시보건환경연구원, “공공체육시설 탄성포장재 위해성 검사 최종결과 보고”, 2018.
6. 박민규, 손희식, 손지영, 이호영, 조인규, 최성득, “우레탄 트랙 납 오염 현황과 위해성평가에 관한 제언”, *한국환경분석학회지*, 2017, 20, 59-67.
7. K. Becker, M. Seiwert, J. Angerer, W. Heger, H. M. Koch, R. Nagorka, E. Roßkamp, C. Schluter, B. Seifer, and D. Ullrich, “DEHP metabolites in urine of children and DEHP in house dust”, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2004, 207(5), 409-417.
8. G. Latini, Monitoring phthalate exposure in humans. *Clinica Chimica Acta*, 2005, 361(1-2), 20-29.
9. M. Wittassek, G. A. Wiesmuller, H. M. Koch, R. Eckard, L. Dobler, J. Muller, J. Angerer, and C. Schluter, “Internal phthalate exposure over the last two decades-A retrospective human biomonitoring study”, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2007, 210(3-4), 319-333.
10. 양지연, 김호현, 이청수, 김선덕, 신동천, 임영욱, “실내 먼지 중 프탈레이트류 평가”, *한국실내환경학회지*, 2009, 6(1), 15-26.
11. M. J. Silva, E. Samandar, J. L. Preau Jr., J. A. Reidy, L. L. Needham, and A. M. Calafat, “Quantification of 22 phthalate metabolites in human urine”, *Journal of Chromatography B*, 2007, 860, 106-112.
12. 김우일, 조윤아, 김민선, 이지영, 강영렬, 신선경, 정성경, 연진모, “PVC 바닥재 인체 노출에 따른 위해성

- 평가 연구”, *한국분석과학회*, **2014**, 27, 5, 261-268.
13. 환경부, “인조잔디와 탄성포장재의 유해성 평가 및 관리대책 마련”, **2010**, 49-95
 14. 환경부, 교육부, 국토교통부, 문화체육관광부, “우레탄트랙 유해성관리 가이드라인 마련을 위한 연구”, **2017**.
 15. 양지연, 김호현, 양수희, 김선덕, 이청수, 김태훈, 손종렬, 신동천, 임영욱, “어린이 주요 활동공간에서의 금속 원소류 다경로 노출에 의한 건강 유해성 평가”, *한국 실내환경학회지*, **2011**, 8, 20-38.
 16. United States Environmental Protection Agency (US EPA), “Lead”, <https://www.epa.gov/lead>, March **2017**.
 17. 국가기술표준원, “KSM 6956(재활용 고무분말의 유해물질 측정방법)”, **2010**, 2-9.
 18. 환경부, “한국 노출계수 핸드북”, **2007**.
 19. 국립환경과학원, “어린이 노출계수 핸드북”, **2016**.
 20. 환경부, 교육부, 국토교통부, 문화체육관광부, “우레탄트랙 유해성관리 가이드라인 마련을 위한 연구”, **2017**, 31.
 21. 국립환경과학원, 납의 매체통합 유해성 보고서, **2017**, 10.
 22. Canadian Institute for Health Information, Health Care in Canada, **2007**.
 23. 환경부, “환경유해인자의 유해성 평가를 위한 절차와 방법 등에 관한 지침”, **2016**.
 24. 환경부, 교육부, 국토교통부, 문화체육관광부, “우레탄트랙 유해성관리 가이드라인 마련을 위한 연구”, **2017**, 76-78.
 25. J. L. Adgate, C. Weisel, Y. Wang, G. G. Rhoads, and P. J. Liou, “Lead in house dust: relationships between exposure metrics.”, *Environmental Research*, **1995**, 70, 134-147.
 26. M. Edward, B. Lanphear, A. Watts, and S. Eberly, “Measurement error and its impacts on the estimated relationship between dust lead and children’s blood lead.”, *Environmental Research*, **1997**, 72, 82-92.
 27. B. P. Lanphear and K. J. Roghmann, “Pathways of lead exposure in urban children”, *Environmental Research*, **1997**, 74, 67-73.
 28. 양지연, 김호현, 양수희, 김선덕, 전준민, 신동천, 임영욱, “어린이 주요 활동 공간의 휘발성 유기화합물 노출로 인한 건강 유해성 평가”, *J. ENVIRON. TOXICOL.* **2010**, 25(1), 57-68.
 29. United States Environmental Protection Agency (US EPA) : Residential Lead-Based Paint Hazard Reduction Act of 1992, Public Law, **1992**, 102-550.
 30. 식품의약품 안전평가원, <https://www.nifds.go.kr>, **2019**.