

## 서울시 초등학교 실내 먼지 중 프탈레이트 오염실태 조사

이영선  · 최인자<sup>†</sup> 

원진재단부설 노동환경건강연구소

### Phthalates Contamination in Indoor Dust in Elementary Schools in Seoul: A Pilot Study

Young-Sun Lee and Inja Choi<sup>†</sup>

Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health

#### ABSTRACT

**Objectives:** This study is to examine the polyvinyl chloride (PVC) materials in elementary school classrooms and libraries in Seoul, and to investigate phthalate contamination in indoor dust.

**Methods:** PVC material was identified for building materials and furniture using portable x-ray fluorescence (XRF). Phthalates in dust samples (n=19) were extracted by ultrasonic extraction using cyclohexane and analyzed by GC-MS.

**Results:** Diethyl phthalate (DEP), di-n-butyl phthalate (DBP), and Bis (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) were found in all collected dust samples (n=19), and diisonyl phthalate (DINP) was detected in all except for one sample (n=18). The concentration of DEHP (median: 2190 mg/kg) and DINP (2960 mg/kg) were higher than other compounds, suggesting that there are many products in the school that used these compounds. When comparing the phthalate concentration in the classroom (n=11) and library dust (n=8), the total concentration in the classroom (median: 10000 mg/kg) was higher than that in the library (8030 mg/kg). DEHP was the dominant compound in the library. The library is relatively more equipped with PVC furniture (n=83) and most floors are also identified as PVC material, suggesting that floors and furniture made of PVC materials are main sources of DEHP contamination.

**Conclusions:** This study is a pilot survey for investigating phthalate contamination in elementary schools. As a result of the survey, phthalate contamination in elementary school was confirmed. However, further study requires risk assessment of children through analysis of phthalate metabolites in children based on sufficient number of samples and information about the site.

**Key words:** Phthalates, indoor dust, elementary school, exposure, polyvinyl chloride (PVC)

### I. 서론

프탈레이트는 비스페놀, 파라벤 등과 함께 대표적인 내분비계 장애물질로 알려진 물질이다. 주로 플라스틱 가소제 용도로 다양한 polyvinyl chloride (PVC) 플라스틱 제품(건축재, 식품 포장재, 의료기

구, 어린이용품)에 사용되고 있다. 또한 헤어스프레이, 향수, 화장품 등의 개인위생용품, 페인트, 의약품의 용제로도 사용되는 것으로 알려졌다.<sup>1-3)</sup> 국내에서는 2005년에 240,000톤의 프탈레이트가 사용되었으며 bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) (74%), diisononyl phthalate (DINP) (14%), diisodecyl phthal-

<sup>†</sup>Corresponding author: Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health, 53, Sagajeong-ro 49-gil, Jungnang-gu, Seoul 02221, Korea, Tel: +82-2-490-2092, Fax: +82-2-490-2099, E-mail: spanner@hanmail.net  
Received: 17 September 2020, Revised: 15 October 2020, Accepted: 16 October 2020

ate (DIDP) (13%)와 같은 고분자량 프탈레이트가 대부분을 차지하고 있다.<sup>4)</sup> 환경부의 국내 화학물질배출량조사를 정리한 통계청 자료에 의하면, 프탈레이트 3종(di-n-butyl phthalate (DBP), benzyl butyl phthalate (BBP), DEHP)의 2011년 배출량 및 위탁처리량 합은 DBP는 12,500 kg, BBP는 1,250 kg, DEHP는 1,120,000 kg였으나 2017년에는 DBP는 8,540 kg, BBP는 0.1 kg, DEHP는 366,000 kg로 감소하는 경향을 보이고 있다.<sup>5)</sup> 프탈레이트는 인체에 노출될 경우, 체내로 들어가 호르몬의 유사체 또는 억제제로 작용하여 생리기능을 교란시켜 생식장애, 발달장애, 신경독성 등의 독성을 일으키는 물질로 많은 연구에서 보고되고 있다.<sup>6)</sup> 특히, 실내 환경에서의 프탈레이트 노출은 알레르기성 호흡기 질환, 아토피 장애 그리고 암 발생률 증가와의 관련성이 보고되었다.<sup>7)</sup> 가정 내 실내먼지 중 프탈레이트 노출과 어린이의 알레르기 질환과의 관련성 연구에서 BBP는 비염 및 습진, DEHP는 천식과 관련된 것으로 확인되었다.<sup>8)</sup> 이러한 건강영향으로 전 세계적으로 프탈레이트의 사용을 규제하고 있다. 1999년부터 유럽에서는 어린이제품에서 DBP, BBP, DEHP, di-n-octyl phthalate (DNOP), DINP, DIDP 등 6종의 프탈레이트 사용을 규제하기 시작했으며 2006년부터는 플라스틱 제품에서 프탈레이트 함량을 0.1% 이하로 제한하였다. 미국과 일본도 유사한 기준으로 프탈레이트 사용을 규제하고 있다.<sup>13)</sup> 국내에서는 2007년부터 어린이제품, 화장품, 의료기구 등 일부 제품에서 6종의 프탈레이트 사용을 규제하였으며 식품포장재에서 DEHP의 사용을 금지하고 있다.<sup>2,3,9)</sup> 2015년에는 「어린이제품안전특별법」 제정으로 어린이가 사용하는 제품에 대하여 기존보다 강화된 화학물질의 안전기준을 정하고 있다.<sup>10)</sup> 그러나 규제대상이 제한되어 있고 「전기용품 및 생활용품안전관리법」과 「어린이제품안전특별법」에서 명시된 안전인증 대상에 사용하는 영·유아, 아동, 어린이의 개념 및 기준이 각각 혼란스럽게 사용되고 있어 실제 초등학교 내에서는 안전기준을 초과한 제품이 여전히 사용중이다.<sup>10)</sup> 「환경보건법」 제2조 제8호에서 정하는 어린이 활동공간에는 초등학교의 교실 및 학교도서관 그리고 특수학교의 교실 등이 포함되어 2016년부터 단계적으로 ‘어린이 활동공간 환경안전진단’이 실시되고 있다.<sup>11)</sup> 실내 공간에 사용된 도료, 마감재

료와 바닥재 등에 대한 안전기준이 제시되어 있지만 주로 납 등의 중금속, 휘발성유기화합물 등이며, 프탈레이트 등의 내분비계 장애물질에 대해서는 여전히 부족한 상황이다.

실내환경 중 프탈레이트는 다양한 제품을 사용하는 과정에서 열전도율과 기화율이 높아 광범위하게 환경으로 방출되며, 먼지 형태로 경구, 흡입, 경피를 통해 체내로 노출된다.<sup>12)</sup> 어린이는 특히 이러한 화학물질의 독성에 취약한데, 더 작고 미성숙한 장기를 가지고 있으며 면역 및 대사체계가 완전히 발달하지 않았기 때문이다.<sup>3,13)</sup> 또한, 집, 학교와 같은 실내 환경에 오랜 시간 머물기 때문에 실내 환경에서의 영향에 더 민감하다.<sup>13)</sup> 다양한 제품에서의 프탈레이트 사용과 지속적인 노출로 인한 위해성을 고려할 때, 실내환경 중 프탈레이트 오염실태 조사 및 연구는 지속적으로 필요하다. 현재, 국내에서는 실내환경 중 유해물질에 대한 안전점검을 시행하고 있으나 미세먼지에 관한 조사가 주로 이뤄지고 있다.<sup>9,14)</sup> 그러나 어린이가 집을 제외하고 가장 긴 시간을 보내는 장소인 초등학교 활동공간에 대한 프탈레이트 오염실태 조사는 부족하다. 따라서, 본 연구에서는 서울시 초등학교 교실과 도서관 등의 실내환경 중 먼지 중 프탈레이트의 농도를 측정하였고, 프탈레이트의 오염원을 확인하기 위해 건축재와 가구류 등의 PVC 재질 여부를 확인하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시약 및 재료

분석 대상 물질은 프탈레이트 8종이며, dimethyl phthalate (DMP), Diethyl phthalate (DEP), DBP, BBP, DEHP, DNOP가 포함된 EPA phthalate ester Mix (P/N: CRM48805)는 SUPELCO (Merck, Darmstadt, Germany)에서, DINP (≥99%)는 Sigma-Aldrich (Merck, Darmstadt, Germany)에서, DIDP (99.9%)는 Fluka (Honeywell, Charlotte, NC, USA)에서 구입하였다. 내부표준물질로 사용된 benzyl benzoate (BBz)는 Sigma-Aldrich (Merck, Darmstadt, Germany)에서 구입하였다. 추출용매로 사용된 cyclohexane은 J.T Baker (Avantor, Radnor, PA, USA)에서 구입하였다.

## 2. 먼지시료 채취 및 휴대용 XRF 측정

2019년 6월부터 7월까지 서울시 소재 초등학교 11 곳을 방문하였다. 먼지 시료는 교실과 도서관에서 각각 1개씩 채취하였다. 미리 준비한 깨끗한 붓을 이용하여 채취하거나 각 공간에서 사용하는 진공청소기에 모인 먼지를 polypropylene (PP) 재질의 비닐백에 담아 실험실로 가져왔다. 교실 먼지는 11개 학교에서 모두 채취하였으며, 도서관 먼지는 먼지 양이 적어서 8개 학교에서만 채취하였다.

먼지시료 채취와 동일한 날에 교실과 도서관에서 휴대용 X-선 형광분석기(portable x-ray fluorescence, XRF, Innov-X, Olympus, USA)를 이용하여 건축재와 가구류를 중심으로 PVC 재질 여부를 측정하였다. 건축재는 벽재, 바닥재, 창틀 및 출입문 등을 공통적으로 측정하였고, 가구류는 교실에서는 어린이용 책상 및 의자, 사물함, 교사용 책상 및 의자, 책장, 서랍장 중심으로, 도서관에서는 책장, 책상, 수납장, 쇼파, 의자 등을 중심으로 측정하였다. 측정제품에서 염소(Cl) 함유량이 1% 이상인 경우 PVC 재질로 판단하였다.<sup>15)</sup>

## 3. 전처리 및 기기분석

먼지 시료 중 프탈레이트 분석은 Bornehag et al. (2004), Becker et al.(2004)을 참고하였다.<sup>8,16)</sup> 먼지는 머리카락 등의 이물질질을 제거한 다음, 체(100 µm, Chunggye sieve, Korea)를 이용하여 일정한 크기로 균질화하였다. 20 mL 유리 바이얼에 0.03 g의 먼지를 넣은 다음 cyclohexane 10 mL를 첨가하여 초음파 장비로 30분간 추출하였다. 추출용액은 원심분리기를 이용해 2000 rpm에서 20분간 원심분리시킨 다음, 상등액 1 mL를 분주하여 내부표준물질, benzyl benzoate 10 µL를 첨가하여 GC/MS로 분석하였다.

전처리된 시료는 GC/MS (GCMS-QP2010 Ultra, SHIMADZU, Japan) SIM (Selected ion monitoring) 모드로 분석하였다. 컬럼은 Rtx-5MS (30 m×0.25 µm×0.25 mm, RESTEK, U.S.)를 사용하였다. 주입량은 1 µL였으며, split mode (30:1)로 분석하였다. 주입구와 인터페이스 온도는 각각 300°C, 이온 소스 온도는 230°C로 설정하였다. 분석 시 컬럼의 온도 조건은 50°C에서 1분 유지 후 30°C/min으로 280°C까지 올린 후 15°C/min으로 310°C까지 올려 7분 동안 유지했다. 분석대상물질의 parameter는 Table 1과 같

Table 1. Summary of analytical parameters of GC/MS

	Retention time (min)	Quantifier ( <i>m/z</i> )	Qualifier ( <i>m/z</i> )
DMP	6.39	163	77, 133
DEP	6.97	149	177, 176
DBP	8.31	149	150, 223
BBP	9.61	149	206, 91
DEHP	10.2	149	167, 57
DNOP	10.8	279	149, 71
DINP	11.0	293	71
DIDP	11.6	307	71
*BBz	7.69	105	91, 77

\*Internal standard

다. 검출한계(Limit of detection, LOD)는 가장 낮은 농도의 표준시료를 7회 반복분석한 뒤, 그 표준편차에 3을 곱한 값으로, Table 3과 같다. 검량선용 표준시료는 6개 이상 제조하였으며, 프탈레이트에 따라 0.18-5.9 µg/mL 또는 7.0-150 µg/mL 범위였다. 검량선의 직선성(linearity;  $R^2$ )의 범위는 0.991-0.999였다. 시료 분석 시 바탕시료(lab blank) 분석을 시행하였으며 그 결과 대부분 검출되지 않거나 시료 농도에 영향을 미치지 않는 수준으로 검출되었다.

## 4. 통계 분석

프탈레이트 농도에 대한 통계 분석은 SPSS (version 18.0, SPSS Inc., Chicago, USA) 프로그램을 사용하였다. Shapiro-Wilk 정규성 검정을 통한 정규분포 여부 확인 결과 정규분포를 따르지 않기 때문에 먼지 중 농도는 로그로 변환시킨 후에 독립표본 t검정을 사용하여 집단 간의 차이를 비교하였다. 그리고 Spearman 상관분석을 사용하여 유의성을 가진 상관관계를 추정하였다. 통계분석에는 검출률이 50% 이상인 물질만 적용하였으며 검출한계(LOD) 이하의 값은 검출한계의 1/2로 처리하였다.<sup>17)</sup> 유의수준은  $p < 0.05$ 로 적용하였다.

## III. 결 과

### 1. 휴대용 XRF을 이용한 PVC재질여부 확인

초등학교 교실 및 도서관 건축재 및 비치된 가구류의 PVC조사 결과는 Table 2와 같다. 휴대용 XRF

**Table 2.** Identification of PVC material for wall, floor and furniture of elementary school (n=11) using portable XRF

ID	Classroom			Library		
	Wall	Floor	*Furniture (Total N)	Wall	Floor	Furniture (Total N)
A	<sup>†</sup> N	N	63.6 (11)	-	-	-
B	N	N	71.4 (14)	N	Y	32.0 (25)
C	N	<sup>‡</sup> Y	53.8 (15)	N	Y	40.6 (32)
D	N	N	30.8 (13)	Y	Y	9.09 (11)
E	N	Y	53.8 (13)	-	-	-
F	N	Y	58.3 (12)	Y	Y	38.9 (18)
H	N	N	62.5 (16)	N	Y	35.7 (28)
G	N	N	50.0 (10)	N	Y	45.0 (20)
I	N	N	50.0 (14)	Y	Y	60.7 (28)
J	N	N	57.1 (14)	N	Y	35.7 (28)
K	N	N	33.3 (12)	N	N	44.4 (18)
Total	0	3	53.5 (144)	3	8	39.9 (208)

\*Furniture (Total N)=Percentage of furniture identified by PVC; unit % (Total number of furniture)

<sup>†</sup>N=No PVC

<sup>‡</sup>Y=PVC-verified

측정 결과, 교실의 벽재에서는 PVC 재질이 확인되지 않았으며 바닥재에서도 11곳 중 3곳의 초등학교에서만 PVC 재질로 확인되었다. 그에 반해, 도서관에서는 9곳 중 3곳의 초등학교가 벽재에서 PVC 재질이 확인되었고 바닥재에서는 1곳을 제외한 8곳의 초등학교에서 PVC 재질로 확인되었다. 특히, 가구류는 PVC 재질이 많았는데, 교실에서는 초등학교별로 33.3-71.4% 그리고 도서관에서는 9.09-60.7%가 PVC 재질로 확인되었다. 각 초등학교에서 동일한 종류와 개수에 대해 측정하지 않았기 때문에 직접적인 비교는 어렵지만, 교실에서 도서관보다 PVC 재질의 비율이 더 높았다.

## 2. 먼지 중 프탈레이트 농도

초등학교 교실 및 도서관 먼지에서의 프탈레이트 분석 결과는 Table 3과 같다. 8종의 프탈레이트 중 DEP, DBP, DEHP는 19개 시료 모두에서 검출되었으며 DINP는 1개 시료를 제외한 18개 시료에서 검출되었다. BBP는 도서관 1곳에서만 검출되었으며(374 mg/kg), DMP, DNOP, DIDP는 모든 먼지 시료에서 검출되지 않았다. 검출된 프탈레이트 농도를 비교하였을 때, DINP가 가장 높은 농도로 검출되었으며(중양값: 2,960 mg/kg, 범위: 불검출-19,000 mg/kg), 다음으로 DEHP가 높은 농도로 검출되었다(2,190

mg/kg, 470-13,800 mg/kg). DEP (중양값: 31.7 mg/kg, 범위: 28.1-39.2 mg/kg), DBP (70.4, 48.4-317 mg/kg), BBP는 상대적으로 낮은 농도로 검출되었다. 교실과 도서관 먼지 중 프탈레이트 농도를 비교한 결과는 Table 3과 같다. 두 공간에서의 먼지 중 프탈레이트 농도를 비교한 결과, 교실에서의 총 프탈레이트 농도가(중양값: 10,000 mg/kg) 도서관보다(8,030 mg/kg) 높게 나타났다. 교실에서는 DINP (중양값: 3,870 mg/kg)가, 도서관에서는 DEHP (3,720 mg/kg)의 농도가 가장 높게 나타났다.

## 3. 국내외 학교 먼지 중 프탈레이트 농도 비교

학교 내 먼지 중 프탈레이트를 분석한 국내외의 기존 연구 결과와 비교는 Table 4와 같다. 본 연구와 기존 연구는 공통으로 DEHP 또는 DINP가 주요 물질로 검출되었다. 국외 연구와 비교한 결과, 본 연구의 DEHP (중양값: 2,190 mg/kg)는 일본(1,110 mg/kg), 프랑스(1,430 mg/kg), 스페인(1,390 mg/kg), 대만(860 mg/kg)에 비해 높은 농도로 검출되었고 DINP도 마찬가지로 본 연구의 농도(DINP중양값: 2,960 mg/kg)가 일본(139 mg/kg), 프랑스(1,030 mg/kg), 대만(436 mg/kg)에 비해 높게 나타났다.<sup>1,6,13,18)</sup> 국내에서의 다른 연구와 비교했을 때, DEHP와 DINP 농도는 2005년 연구(DEHP: 439 mg/kg, DINP: 분석

**Table 3.** Total concentrations of phthalates and comparison of phthalates concentrations in dust collected from classroom and library (unit: mg/kg)

	Total (n=19)				Classroom (n=11)		Library (n=8)		<sup>§</sup> p
	*DR (%)	<sup>†</sup> LOD	Range	Median	Range	Median	Range	Median	
DMP	<LOD	12.9	<LOD	<sup>‡</sup> NV	<LOD	NV	<LOD	NV	
DEP	100	6.89	28.1-39.2	31.7	29.7-39.2	32.9	28.1-32.0	30.9	0.031
DBP	100	7.64	48.4-317	70.4	56.1-317	70.4	48.4-136	72.4	0.426
BBP	5.26	4.00	<LOD-374	NV	<LOD	NV	<LOD-374	NV	
DEHP	100	7.61	470-13,800	2,190	1,030-7,160	2,190	470-13,800	3,720	0.672
DNOP	<LOD	14.3	<LOD	NV	<LOD	NV	<LOD	NV	
DINP	94.7	97.2	<LOD-19,000	2,960	2,180-19,000	3,870	<LOD-5,120	2,840	0.049
DIDP	<LOD	148	<LOD	NV	<LOD	NV	<LOD	NV	
<sup>  </sup> ∑Phth			1,170-20,500	10,000	3,370-20,500	10,000	1,170-16,500	8,030	0.849

\*DR=Detection rate

<sup>†</sup>LOD=Limit of detection<sup>‡</sup>NV=Not available<sup>§</sup>p=P value of comparison of phthalates concentrations in dust collected from classroom and library<sup>||</sup>∑Phth=Sum of 8 phthalates**Table 4.** Comparison of median concentrations of phthalates in dust collected from schools and kindergartens cited in the previous study (unit: mg/kg)

Country	Year	N	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	DNOP	DINP	DIDP
Korea (This study)	2019	19	*<LOD	31.7	70.4	<sup>†</sup> NV	2,190	<LOD	2,960	<LOD
Korea <sup>2)</sup>	2005	21	<sup>‡</sup> NA	<sup>§</sup> ND	143	45.0	439	NA	NA	NA
Korea <sup>14)</sup>	2012	64	2.10	ND	52.0	50.4	3,030	ND	946	ND
Japan <sup>13)</sup>	2008-2010	128	NA	NA	16.6	2.00	1,110	NA	139	NA
France <sup>18)</sup>	2009-2010	89	0.252	2.89	38.2	105	1,430	NA	1,030	NA
Spain <sup>6)</sup>	-	6	0.121	5.27	14.7	2.76	1,390	NA	NA	NA
Taiwan <sup>1)</sup>	2012-2014	53	ND	ND	7.90	2.00	860	212	436	43.0

\*LOD=Limit of detection

<sup>†</sup>NV=Not available<sup>‡</sup>NA=Not analyzed<sup>§</sup>ND=Not detected

되지 않음)보다 2012년 연구(DEHP: 3,030 mg/kg, DINP: 946 mg/kg)와 본 연구에서의 농도가 훨씬 높게 나타났다.<sup>2,14)</sup> 또한, 2012년 연구에서는 DINP보다 DEHP의 농도가 더 높게 나왔으나(DEHP: 3,030 mg/kg>DINP: 946 mg/kg), 본 연구에서는 DEHP보다 DINP 농도가 더 높게 나타났다(DEHP: 2,190 mg/kg <DINP: 2,960 mg/kg). 특히 기존 국내·외 연구에서는 DEP 농도가 검출되지 않거나 또는 2.89 mg/kg 또는 5.27 mg/kg으로 비교적 낮았으나, 본 연구에서는 31.7 mg/kg으로 높게 나타났다. 반면에 본 연구에서 BBP는 1개 시료에서만 검출되었으나, 기존

연구에서는 2.00-50.4 mg/kg로 검출되었다.

#### IV. 고찰

서울시 소재 초등학교를 대상으로, 교실과 도서관의 가구류에서 PVC 재질(%)이 주로 확인되었다. 또한, 먼지에서 검출된 프탈레이트 중 DEHP (중양값: 2,190 mg/kg)와 DINP (2,960 mg/kg)가 상대적으로 높은 농도로 검출되었다. 이는 우리나라에서 2007년부터 규제가 진행되고 있음에도 DEHP와 DINP가 함유된 PVC 제품이 초등학교 교실 및 도서관에 많

다는 것을 의미하는 것으로 볼 수 있다. 그에 반해, DEP (중양값: 31.7 mg/kg), DBP (70.4 mg/kg), BBP 와 같은 저분자량 프탈레이트는 상대적으로 낮은 농도로 검출되었는데 이는 저분자량 프탈레이트가 물리화학적 특성에 따라 어린이용품보다는 다른 제품에 사용되기 때문이거나 상대적으로 높은 휘발성과 낮은 먼지/가스상 분배계수로 먼지보다는 기체 상으로 잔류하는 것으로 추정된다.<sup>19,20)</sup> 그러나, DEP, DBP 의 경우, 농도는 낮지만 모든 시료에서 검출되었으며 이는 교실 내에 방향제 사용여부, 교사 및 어린이의 개인위생용품과 화장품 등의 사용에 따른 오염원이 존재할 가능성이 있다고 판단된다.

교실과 도서관 내 건축재와 가구류의 PVC 재질 확인 결과, 도서관 9곳 중 8곳의 바닥재가 PVC 재질로 확인되었다. 교실과 도서관의 먼지 중 프탈레이트 농도를 비교했을 때, 교실에서는 DINP (중양값: 3,870 mg/kg)가, 도서관에서는 DEHP (3,720 mg/kg)의 농도가 가장 높게 나타났다. 기존 연구에 따르면, PVC로 된 바닥재와 먼지 중 DEHP의 농도가 유의한 상관성을 보였다.<sup>8,14)</sup> 또한, 유일하게 non-PVC 재질의 바닥재가 사용된 K초등학교 도서관 먼지 중에서는 DEHP의 농도(1,330 mg/kg)가 전체 도서관 중양값(3,720 mg/kg)보다 낮게 나타났다. 따라서, 도서관에서 DEHP의 높은 농도는 PVC 재질의 바닥재가 주요 오염원일 가능성이 크다. 이러한 결과를 통해 초등학교 내에서 규제대상에 속하지 않는 PVC 재질의 가구류와 바닥재가 여전히 사용되고 있어 어린이가 프탈레이트에 노출될 가능성이 있으며 어린이활동공간에 관한 프탈레이트의 관리가 필요하다고 판단된다. 정확한 오염원 추정을 위해 Spearman 상관분석을 사용한 교실과 도서관의 먼지 중 프탈레이트 농도와 PVC 가구류 수 사이에는 유의한 상관성은 보이지 않아 별도로 결과를 제시하지 않았다. 이는 본 연구의 조사대상 초등학교의 수가 너무 작고, 건축연도 및 개정연도, 측정장소의 면적 등 환경요인 조사가 제대로 이루어지지 않아서 충분한 분석이 불가능했기 때문인 것으로 사료된다.

국내외에서 조사된 기존 연구에서는 본 연구와 동일하게 DEHP와 DINP가 가장 높은 농도로 검출되었다. 이는 물리화학적 특성상 먼지 시료에 고분자량 프탈레이트가 잔류하기 쉽기 때문이며 또한, 사용량이 가장 많은 물질이기 때문으로 보인다.<sup>4)</sup> 국외

연구와 비교했을 때, 본 연구에서 가장 높은 DEHP와 DINP 농도를 나타냈다. 이를 통해 다른 나라보다 국내 학교에서의 고분자량 프탈레이트가 첨가된 PVC 제품 사용이 많은 것으로 판단된다. 국내 연구와 비교했을 때, 본 연구에서는 이전 연구보다 프탈레이트의 농도가 높아지는 경향을 보였으며 특히, DEHP에 비해 DINP의 농도가 높게 나타났다. 이는 국내에서 제품 중 프탈레이트 함량의 변화가 있을 가능성을 보여준다. 또한, DEHP보다 DINP의 농도가 높아지는 최근 연구의 경향과 일치하며 DEHP의 대체제로 DINP가 사용되고 있기 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다.<sup>1)</sup> 반면에 본 연구에서 BBP는 1개 시료에서만 검출되었으나, 기존 연구에서는 2.00-50.4 mg/kg로 검출되었으며 이는 최근 국내 BBP의 배출량 및 위탁처리량의 감소 경향을 보였을 때, 그 사용량이 줄고 있는 것으로 판단된다.<sup>5)</sup>

## V. 결 론

프탈레이트는 다양한 물리화학적 특성으로 플라스틱 가소제뿐만 아니라 많은 제품에서 사용되고 있는 화학물질 중 하나이다. 그러나 프탈레이트가 인체에 노출되면, 내분비계 장애, 발달 장애 등의 독성을 가지고 있음이 알려져 전 세계적으로 규제 또는 금지하고 있다. 어린이는 미성숙한 장기, 체중, 주변 환경 등 여러 가지 이유로 성인보다 화학물질 노출에 더 민감하지만, 국내에서 실내환경 중 프탈레이트 노출 실태 조사는 미흡하다. 본 연구에서는 11개의 초등학교 내 먼지 시료 중 8종의 프탈레이트를 분석하였고 DEP, DBP, BBP, DEHP, DINP가 검출되었다. 모든 시료에서 DEHP와 DINP가 높은 농도로 검출되었으며 이는 규제 전에 생산된 제품을 여전히 사용하고 있고 여전히 규제가 미비하기 때문인 것으로 보인다. 이러한 결과는 어린이가 초등학교에서 프탈레이트에 노출되고 있음을 시사하고 있다. 교실과 도서관을 비교했을 때, 도서관보다 교실에서의 프탈레이트의 농도가 높게 나타났으며 교실은 DINP, 도서관에서는 DEHP가 가장 높은 농도를 나타냈다. 도서관에서의 DEHP의 높은 농도는 PVC 재질의 바닥재가 주요 오염원으로 추정된다. 그뿐만 아니라 교실과 도서관에서 많은 PVC 가구류가 확인되어 어린이활동공간 환경안전진단에 프탈레이트와 같은 내

분비계 장애물질의 관리의 필요성을 확인하였다. 어린이는 초등학교 내에서 규제 대상에 포함되지 않는 가구류와 바닥재 등의 건축재료로부터 프탈레이트가 노출될 위험이 있으며 이에 따른 추가적인 조사 및 규제가 필요하다. 본 연구는 초등학교 내 프탈레이트 오염실태 조사를 위한 예비조사이다. 조사 결과, 현재 초등학교 내 프탈레이트 오염실태를 확인하였다. 그러나 정확한 조사를 위해서는 충분한 시료 수 및 현장에 대한 정보를 바탕으로 어린이의 체내 프탈레이트 대사체 분석을 통한 노출평가와 위해성 평가가 필요하다.

## References

- Huang CN, Chiou YH, Cho HB, Lee CW. Children's exposure to phthalates in dust and soil in Southern Taiwan: a study following the phthalate incident in 2011. *Sci. Total Environ.* 2019; 696: 133685.
- Kim HH, Lim YW, Yang JY, Shin DC. Occurrence of phthalates in indoor dust from children's facilities and apartments in Seoul. *J. Korean Soc. Atmos.* 2009; 25(5): 382-391.
- Kim W, Gye MC. Maleficent effects of phthalates and current states of their alternatives: a review. 2017; *Korean J. Environ. Biol.* 35(1): 21-36.
- Yang JY, Kim HH, Lee CS, Kim SD, Shin DC, Lim YW. Evaluation and analysis of exposure levels of phthalate-focused on indoor playgrounds and day-care centers. *J. Korean Soc. Indoor Environ.* 2009; 6(1): 15-26.
- Statistics Korea (KOSTAT). Emissions and consigned processing volume by chemicals: [http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=106&tblId=DT\\_106N\\_13\\_0200011&conn\\_path=I2](http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=106&tblId=DT_106N_13_0200011&conn_path=I2) [accessed 27 September 2020].
- Velázquez-Gómez M, Hurtado-Fernández E, Lacorte S. Differential occurrence, profiles and uptake of dust contaminants in the Barcelona urban area. *Sci. Total Environ.* 2019; 648: 1354-1370.
- Choi J, Hong S, Kim, K. Relationship between risk assessment based on urinary bisphenol A concentration and allergic diseases in children. *J. Environ. Health Sci.* 2019; 45(1): 18-29.
- Bornehag CG, Sundell J, Weschler CJ, Sigsgaard T, Lundgren B, Hasselgren M, et al. The association between asthma and allergic symptoms in children and phthalates in house dust: a nested case-control study. *Environ. Health Perspect.* 2004; 112(14): 1393-1397.
- Choi IS, Choi SC. Contents and migration of heavy metals and phthalates in children's products and phthalates in children's products. *J Korean Soc Environ Eng.* 2014; 36(2): 127-138.
- Cho T, Lee H. Current status and tasks of endocrine disruptor management in Korea: regulation of bisphenol A, phthalate and nonylphenol. *J Law Politic Res.* 2018; 18: 73-107.
- "Environmental Health Act" in Article 2 (8).
- Choi J, Kim J, Choi G, Kim K. Relationship between dietary habits and urinary phthalate metabolite concentrations in elementary school children. *J. Environ. Health Sci.* 2018; 44(5): 433-443.
- Kishi R, Ketema RM, Bamai YA, Araki A, Kawai T, Tsuboi T, et al. Indoor environmental pollutants and their association with sick house syndrome among adults and children in elementary school. *Build Environ.* 2018; 136: 293-301.
- Kim W, Choi I, Jung Y, Lee J, Min S, Yoon C. Phthalate levels in nursery schools and related factors. *Environ. Sci. Technol.* 2013; 47(21): 12459-12468.
- Healthy Stuff. Product rating: <https://www.ecocenter.org/healthy-stuff/product-rating> [accessed 05 October 2020].
- Becker K, Seiwert M, Angerer J, Heger W, Koch HM, Nagorka R, et al. DEHP metabolites in urine of children and DEHP in house dust. *Int. J. Hyg. Environ. Health.* 2004; 207(5): 409-417.
- Hornung RW, Reed LD. Estimation of average concentration in the presence of nondetectable values. *Appl Occup Environ Hyg.* 1990; 5(1): 46-51.
- Raffy G, Mercier F, Blanchard O, Derbez M, Dasonville C, Bonvallot N, et al. Semi-volatile organic compounds in the air and dust of 30 French schools: a pilot study. *Indoor air.* 2017; 27(1): 114-127.
- Bu S, Wang Y, Wang H, Wang F, Tan Y. Analysis of global commonly-used phthalates and non-dietary exposure assessment in indoor environment. *Build Environ.* 2018; 106853.
- Tang B, Christia C, Malarvannan G, Liu YE, Luo XJ, Covaci A, et al. Legacy and emerging organophosphorus flame retardants and plasticizers in indoor microenvironments from Guangzhou, South China. *Environ Int.* 2020; 143: 105972.

### <저자정보>

이영선(연구원), 최인자(책임연구원)