

## 어린이가 생활하는 실내공간의 바닥먼지 중 프탈레이트 농도와 노출수준: DEHP를 중심으로

전성호<sup>1,3</sup> , 김경희<sup>1,2</sup> , 최재욱<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 대학원 환경산업보건학과, <sup>2</sup>고려대학교 의과대학 예방의학교실, <sup>3</sup>한국환경산업기술원(KEITI)

## Concentrations and Exposure Levels via Intake of Phthalates in Dust Deposits in Indoor Children's Living Areas: Focusing on DEHP

Seong-ho Jeon<sup>1,3</sup>, Kyung-hee Kim<sup>1,2</sup>, and Jae-wook Choi<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental and Occupational Health, Graduate School, Korea University, <sup>2</sup>Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Korea University, <sup>3</sup>Korea Environmental Industry & Technology Institute (KEITI)

### ABSTRACT

**Background:** Few studies have evaluated the exposure to phthalates via inhalation of floor dust in children's living areas.

**Objectives:** This study evaluated the concentration and exposure level of phthalates emitted from indoor floor dust in children's living areas.

**Methods:** This study utilized the results of a survey conducted by the Ministry of Environment in 2019. Indoor dust was collected from 150 households with children aged 3-7 and 67 daycare centers or local children's centers by using vacuum cleaners. It was analyzed by gas chromatography mass spectrometry. Six types of phthalates were analyzed: Bis (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), Dibutyl phthalate (DBP), Benzyl butyl phthalate (BBP), Di-N-octyl phthalate (DNOP), Diisononyl phthalate (DINP), Di-isodecyl phthalate (DIDP).

**Results:** The medians of DEHP concentrations were 1,028 and 1,937 mg/kg in homes and daycare centers, respectively. The median and maximum values of daily intake were calculated by applying the median and 95th percentile values (the upper 5% of the total concentration) in dust measured in the homes. The DEHP median value was 1.6 µg/kg/bw/day, and a maximum A value of 7.8 µg/kg/bw/day was calculated. When the childcare center values were applied, the median daily intake of DEHP was 3.1 µg/kg/bw/day and the maximum value was 29.2 µg/kg/bw/day. As a result of calculating the daily intake by integrating the values of home and childcare facilities, the median and maximum values of daily intake were 1.9 and 10.9 µg/kg/bw/day, respectively.

**Conclusions:** This study derives phthalate concentrations among the floor dust in homes and childcare facilities where children mainly spend time, and suggests their intake of phthalates through this. In particular, it was newly suggested that the phthalate concentrations in homes and childcare facilities are different, resulting in differences in intake.

**Key words:** Phthalates, indoor dust, children's living areas

Received January 12, 2022

Revised February 18, 2022

Accepted February 18, 2022

### Highlights:

- Inhalation exposure to phthalates in floor dust needs more data for children's health.
- Exposure amounts of phthalates in floor dust via inhalation was assessed in children's living environments.
- There was a difference in phthalate content between homes and daycare centers, implying differing exposure levels.

### \*Corresponding author:

Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Korea University, 73 Incheon-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02841, Republic of Korea

Tel: +82-2-926-4777

Fax: +82-2-927-7720

E-mail: shine@korea.ac.kr

## I. 서 론

어린이는 환경유해물질 노출과 그로 인한 건강영향에 민감

한 집단으로 보다 적극적인 노출 저감 및 건강영향 예방 관리를 필요로 한다. 특히 어린이들이 하루에 8시간 이상, 연간 약 20%에 해당하는 시간을 머무르는 어린이 활동공간의 환경유

해인자 노출은 어린이들의 건강에 직간접적인 영향을 줄 수 있다.<sup>1)</sup> 어린이 활동공간(환경보건법 제2조 제8호)이란 '어린이가 주로 활동하거나 머무르는 공간'으로 정의되며 어린이 놀이시설, 영유아 보육시설, 유치원, 초등학교, 특수학교 및 학교 도서관 등을 포함한다.

어린이들이 오랜 시간동안 공간을 공유하는 어린이 활동공간은 다양한 종류의 환경유해인자가 존재한다. 특히 유해물질 노출의 상당 부분은 실내 공간의 먼지로 인하여 생겨날 수 있다. 실내 공간의 먼지는 외부에서 유입되기도 하고 건축자재, 실내 가구 및 전자 제품, 소비재 등에서 휘발되거나 변형되어 존재한다.<sup>2-4)</sup> 이러한 실내먼지는 약 350여 종의 다양한 화학성분으로 구성되는 것으로 알려지며 납 등의 금속류를 비롯하여 난연제, 플라스틱 등에 기인한 프탈레이트 등의 성분이 주로 함유되어 있는 것으로 보고되었다.<sup>5-7)</sup>

어린이들을 대상으로 하는 실내공기질 관리의 중요성 인식과 함께, 다양한 실내 활동공간의 유해인자 측정과 관련 위해성평가가 수행되었다. 해외의 경우, 금속류 오염 우려 지역에 거주하는 인구집단의 노출 및 위해성평가 연구 결과 어린이의 경우 집먼지로 인한 노출의 위해도가 가장 높았던 것으로 보고된 바 있다.<sup>8)</sup> 실내먼지를 통한 프탈레이트 노출 우려도 존재하는데, 분자량이 상대적으로 작아 주로 기체상으로 존재하는 DMP (dimethyl phthalate), DEP (diethyl phthalate), DBP (di-n-butyl phthalate) 등과 달리, 분자량이 큰 DEHP (di(2-ethylhexyl) phthalate)의 경우 먼지를 통한 노출 기여도가 높은 것으로 알려졌다.<sup>9,10)</sup> 국내 연구에서도 어린이 활동공간의 실내면지 중 DEHP의 농도가 상대적으로 높게 검출된 연구 사례가 있다.<sup>11)</sup> 어린이 이용시설에서의 실내면지와 유해물질 노출과 관련하여 그간 다양한 연구가 진행되어 왔다. 그 중 프탈레이트는 다양한 생활화학제품과 건축자재 등에서 쓰이고 있어 금속류 등과 함께 많은 연구에서 바닥면지 중 측정이 이루어졌다.<sup>12-15)</sup> 특히, 우리나라 어린이의 경우에는 어린이집이나 지역아동센터와 같은 보육시설에서 머무는 시간도 길기 때문에 실내환경의 영향이 높다.

그러나 어린이 이용시설별 공간 특성을 고려하여 한 실내공기 및 먼지라는 매체의 농도 뿐 아니라 프탈레이트류의 인체 건강 위해성평가를 수행하여 보고한 사례는 많지 않다. 특히, 어린이의 실내면지 섭취량은 20~200 mg/day로 성인에 비하여 (0.56~100 mg/day) 더 높다고 연구된 바 있다.<sup>16)</sup> 이러한 프탈레이트류 물질들은 인체에 유입되면 암, 생식독성 등 치명적인 건강영향을 야기할<sup>17,18)</sup> 수 있기 때문에 노출 수준에 대한 연구가 필요하다.

실내 공간에서 프탈레이트류 물질이 인체로 노출될 수 있음을 확인한 연구로는 PVC (Polyvinyl Chloride) 재질의 바닥재에서 DEHP가 실내면지로 184~485 µg/g 수준으로 이행됨을 확인<sup>19)</sup>하였으며, 국내 초등학교 내 실내면지에서 DEHP와 DINP

(Diisononyl Phthalate) 분석결과를 조사한 사례<sup>11)</sup>도 보고되었다. 그러나 어린이가 주로 이용하는 가정과 보육시설에서의 프탈레이트 노출 수준을 연구한 사례는 많지 않은 상황이다. 어린이의 프탈레이트 노출을 관리하기 위해서는 매체에서의 프탈레이트 농도만으로 환경유해인자를 관리하는 것보다 인체 노출수준을 고려한 위해성평가를 통한 위해도 산출과 이를 근거로 한 관리대책을 마련할 근거 제시가 필요하다. 국내 어린이의 경우에는 만 3~7세까지는 어린이 보육시설을 주로 이용하며, 8세부터 13세까지는 초등학교 입학 및 방과 후 학원을 주로 이용 등 생활환경에 변화가 발생한다. 따라서, 어린이의 프탈레이트 노출 수준을 연구하기 위해서는 이용시설별 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구는 만 3~7세가 주로 이용하는 공간인 가정과 보육시설에서 실내 바닥면지 중 프탈레이트 농도를 측정하고 바닥면지 섭취를 통한 프탈레이트의 노출량 산정을 통하여, 프탈레이트 노출에 대한 통합적인 위해성평가 기반을 마련하는데 목적이 있다.

## II. 연구 방법

### 1. 시약 및 재료

분석 대상 물질은 프탈레이트 6종이며, DBP, BBP (benzyl butyl phthalate), DEHP, DNOP (di-n-octyl phthalate)가 포함된 EPA 506 Phthalate Mix (P/N:40077-U)는 SUPELCO (Merck, Darmstadt, Germany)에서, DINP는 TRC canada (P/N:D455395, TRC, Toronto, Canada), DIDP (diisodecyl phthalate)는 TRC canada (P/N:D455385, TRC, Toronto, Canada)에서 구입하였다. 내부표준물질로 사용된 Anthracene-d10은 Sigma-Aldrich (P/N:176591, Merck, Darmstadt, Germany)에서 구입하였다. 추출용매로 사용된 Tetrahydrofuran은 J.T Baker (P/N:UN2056, Avantor, Radnor, PA, USA)에서, Acetonitrile은 J.T Baker (P/N:9017-03, Avantor, Radnor, PA, USA)에서 구입하였다.

### 2. 시료 채취

시료 채취는 2019년 10~12월까지 환경부 조사에 참여한 국내 3~7세의 어린이가 거주하는 가정집 150 곳과 실내 바닥재를 PVC 재질로 사용하는 어린이집 또는 지역아동센터 중 67곳을 대상으로 실내면지를 채취하였다. 분석 대상 물질은 프탈레이트 6종이며, DEHP, DBP, BBP, DNOP, DINP, DIDP로 하였다. 특히, 실내면지는 공간적인 특성이 강한 노출매체로 어린이가 이용하는 보육시설과 가정을 구분하여 시료를 채집하고 분석하는 것이 필요하였다.

실내면지 시료 채취는 시험분석 결과의 신뢰도에 영향을 미치지 않게 PVC 바닥재 등 재질 특성이 다르고 공간이 구분되

어 있는 2곳에서 시료를 채취하여 분석<sup>20)</sup>을 수행하였다. 대상 가정과 보육시설 내 바닥에서 진공청소기를 이용하여 일정 면적(2 m×1.5 m) 내 먼지를 15분간 흡입하여 채취하였다. 흡입된 먼지 시료 카트리지를 지퍼백에 담아 밀폐상태로 -20°C 이하로 냉동 보관하여 실험실로 이송하였다.

### 3. 전처리 및 기기분석

실험실로 이송한 먼지 시료 중 프탈레이트 분석은 한국산업 표준인 KS M 1991 (2016)과 선행 연구에서 적용된 방법을 참고하였다.<sup>21,22)</sup> 먼지 시료는 40 mesh로 곱게 체친 후 코니컬 튜브에 담고 -20°C로 보관하였다. 테트라하이드로퓨란 등의 용매에 잘 녹지 않는 시료는 냉동분쇄기를 이용하여 입자의 크기를 0.5 mm 이하로 분쇄하였다.

시료의 용출을 위하여 40 mL 바이알에 시료 0.3 g을 넣고 10 mL Tetrahydrofuran을 취하여 40 mL 바이알에 넣은 후 40°C로 맞춘 초음파 추출기에 넣고 추출하여 30분 간 처리하여 시료를 용해하였다. 여기에 20 mL의 Acetonitrile을 첨가하여 분리시킨 혼합액을 실온에서 30분 방치하고 300 mg/L 농도의 Anthracene-d10 내부표준용액을 0.1 mL 취해 섞은 후에 시료 용액을 0.45 µm 실린지용 필터로 거르고 0.2 mL 바이알로 옮긴 후 가스 크로마토그래피 질량분석기(GC/MS)로 분석하였다. 전처리된 시료는 GC/MS (5977B MSD, Agilent, USA) SIM (Selected ion monitoring) 모드로 분석하였다. 컬럼은 DB-5BS UI (30 m×0.250 mm, Agilent, USA)를 사용하였다. 주입구와 인터페이스 온도는 각각 280°C, 이온 소스 온도는 230°C로 설정하였다. 분석조건은 오븐 온도를 80°C에서 2분 유지 후 10°C/min으로 280°C까지 올린 후 8분동안 유지하였다. 운반기체는 헬륨을 사용하였으며, 운반기체 유량 1.5 mL/min, 시료 주입량은 1.0 µL의 조건으로 분석을 수행하였으며, 분석대상물질의 parameter는 Table 1와 같다.

검정곡선용 표준시료는 4개 이상 제조하였으며, 0.5 mg/L ~5.0 mg/L 범위였다. 검정곡선의 직선성(linearity; R<sup>2</sup>)의 범위는 0.995~0.999였다. 기기 재현성은 중간농도의 검정표준용

액의 농도편차를 통하여 확인하였다. 검정 곡선 작성 후, 매 20개 시료 분석 후, 모든 분석 순서 완료 후 각각 검정표준용액을 측정하여 허용오차 ±25% 이내인지 확인하였다. 바탕시험은 6개 이상 20개 이하 시료마다 수행하였으며, 바탕시험값은 대부분 검출되지 않거나 시험방법 검출한계(limit of detection, LOD) 미만으로 시료농도에 영향을 미치지 않는 수준으로 검출되었다. 시료 스파이크는 6개 이상 20개 이하 시료마다 수행했으며 회수율의 허용오차가 ±30% 이내인지 확인하였다. 측정된 시료 중 하나의 시료를 6개 이상 20개 이하 시료마다 반복 측정하여, 허용오차가 ±30% 이내인지 반복성을 확인하였다.

### 4. 실내먼지를 통한 프탈레이트 노출량 산정식

실내 바닥먼지 중 프탈레이트 분석 결과를 이용하여 아동 집단의 실내먼지를 통한 프탈레이트 노출량을 산정하였다. 본 연구대상 집단인 7세 미만 아동들의 경우에는 실내의 바닥먼지의 섭취가 중요한 프탈레이트 노출경로이다. 때문에 본 연구에서는 노출량 평가를 위해 경구 노출평가를 수행하였다.<sup>23)</sup>

바닥먼지를 통한 프탈레이트 경구 노출량 산정방법은 식품의약품안전처에서 발간한 유해물질 인체 통합위해성평가 연구보고서(2019)과 독일 BfR(Bundesinstitut für Risikobewertung)의 보고서를 인용하여 식품의약품안전처에서 제시한 공식을 적용하였다(식 (1)).<sup>24)</sup>

$$ADD = \frac{C \times IR_{dust}}{BW} \quad (1)$$

ADD, average daily dose (mg/kr, bw/day)

C, Concentration of phthalates in dust samples (mg/kg)

IR, Ingestion rate (kg/day)

BW, body weight (kg)

먼지 중 프탈레이트의 농도(식 (1)의 C)는 본 연구에서 측정된 결과의 중앙값과 95퍼센타일 값을 각각 적용하여 계산하였다. 먼지 중 프탈레이트의 섭취율은 미국 환경청(US EPA)에서 제시한 바에 따라 2~6세의 일일 먼지 섭취량인 30 mg으로 적용하였다.<sup>25)</sup> 한편 아동들의 체중은 질병관리청에서 개발한 소아청소년 성장도표의 3~7세 남녀 중위수인 19 kg을 적용하였다.<sup>26)</sup>

### 5. 통계분석

본 연구에서 생산한 자료는 가정 및 보육시설에서 채취한 먼지 시료 중 프탈레이트 6종의 농도와 이를 적용하여 산출한 프탈레이트의 일일평균 섭취량으로 모두 연속형 변수에 해당한다. 먼지 중 프탈레이트의 농도 값은 왜도와 첨도가 각각 3과 10을 초과하였으므로 정규분포를 가정할 수 없어, 평균 비교 시 로그로 치환한 값을 사용하였다.<sup>27)</sup> 아울러, 분석 결과 검출

**Table 1.** Summary of analytical parameters of GC/MS

	Retention time (min)	Quantifier (m/z)
DBP	16.8	223
BBP	20.4	206
DEHP	21.9	279
DNOP	23.6	279
DINP	24.5	293
DIDP	26.0	307
*Anthracene-d <sub>10</sub>	15.4	188

\*Internal standard.

한계 미만의 농도가 도출된 경우 검출한계의 1/2 값을 적용하였다.

가정과 보육시설 먼지의 프탈레이트 농도를 비교하기 위하여 Student's t-test를 수행하였다. 통계적 유의성은 95% 신뢰수준 하에서 검정하였으며, 통계 프로그램으로는 IBM SPSS version 23 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 사용하였다.

### III. 결 과

#### 1. 가정집과 어린이 보육시설 실내 바닥먼지 내 프탈레이트 비교 분석

분석을 수행한 6개 프탈레이트 중 중 모든 시료에서 검출한계 이상의 농도가 검출된 종은 DEHP 한 종이었으며, 가정과 보육시설에서 각각 60%와 80%가 검출된 DINP를 제외한 나머지 4개 종은 10% 미만의 검출률을 나타내었다. 따라서 유효한 대표 값(백분위수와 중앙값)을 나타내는 항목은 DEHP

와 DINP이며, DEHP의 중앙값은 가정과 보육시설에서 각각 1,028, 1,937 mg/kg이고, DINP는 132, 112 mg/kg이었다 (Table 2). 그 밖에 DBP, BBP, DNOP, DIDP는 검출률이 상대적으로 낮아 중앙값을 산출할 수 없었다.

전체 먼지 시료의 프탈레이트 성분 중 DEHP의 농도 비율은 가정에서 67.3%, 보육시설에서 65.2%를 차지하였다. 한편 DINP는 가정과 보육시설에서 각각 30.7%, 31.8%를 차지하였고 나머지 항목들은 1% 미만의 비율을 보였다(Fig. 1). 가정과 보육시설의 각 프탈레이트 농도 비율 구성은 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다.

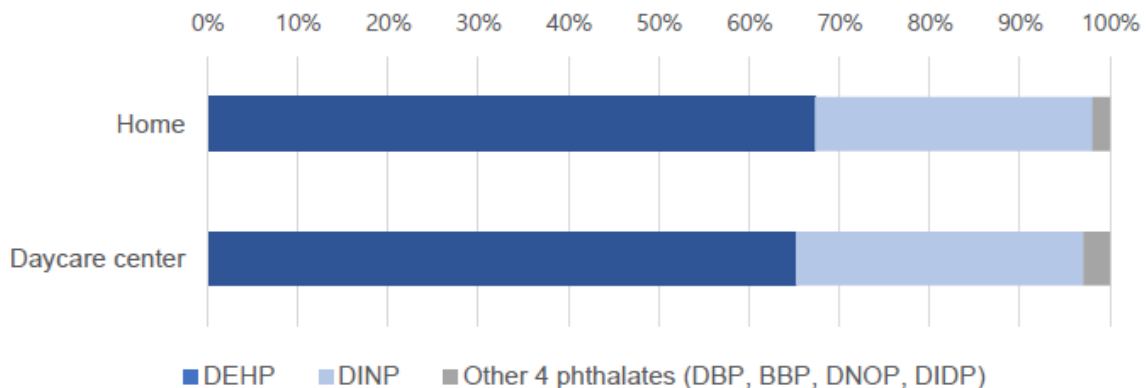
#### 2. 가정집과 어린이 보육시설 실내 바닥먼지 내 프탈레이트 기여율 분석

실내 바닥먼지 중 가장 많은 농도기여율을 나타낸 DEHP의 농도를 비교한 결과, 보육시설에서 DEHP 농도의 기하평균은 1,982 mg/kg으로 가정의 기하평균인 1,092 mg/kg에 비하여

**Table 2.** Concentrations of phthalates in dust deposits in homes and daycare centers (mg/kg)

Area	Variable	DEHP	DBP	BBP	DNOP	DINP	DIDP
Home	N	150	150	150	150	150	150
	25th	656.9	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	Median	1,027.6	<LOD	<LOD	<LOD	131.5	<LOD
	75th	1,966.2	<LOD	<LOD	<LOD	618.8	<LOD
	95th	4,922.1	103.3	120.5	<LOD	3,436.4	119.1
	Detection rate (%)	100.0	9.3	8.0	0.0	60.0	6.7
Daycare center	N	67	67	67	67	67	67
	25th	1,154.2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	Median	1,936.9	<LOD	<LOD	<LOD	112.0	<LOD
	75th	3,201.9	108.2	<LOD	<LOD	2,006.0	<LOD
	95th	18,499.2	227.7	155.6	<LOD	11,544.9	<LOD
	Detection rate (%)	100.0	41.8	14.9	0.0	80.0	0.0

\*LOD (Limit Of Detection): <50 mg/kg for all phthalate compounds.



**Fig. 1.** Compositional profiles of individual phthalate analogue in homes and daycare centers

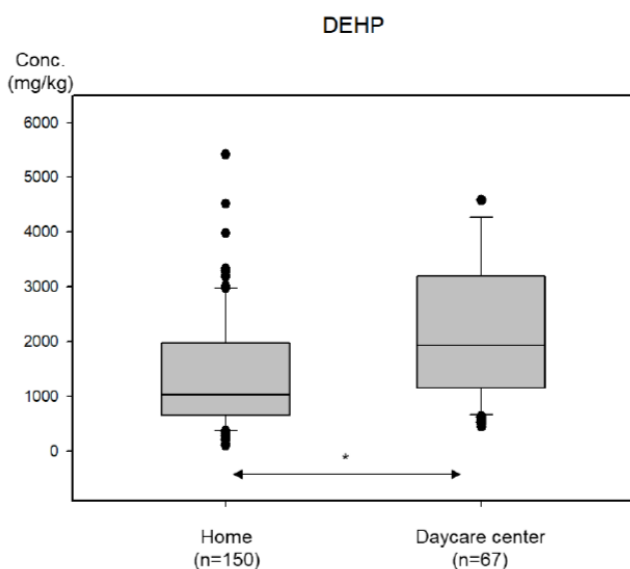


통계적으로 유의하게 높았다( $p$ -value < 0.01, Fig. 2).

100%의 검출률을 나타낸 DEHP의 측정값을 이용하여 아동들의 실내 바닥먼지 중 프탈레이트의 일일 섭취량을 예측하였다. 가정에서 측정된 먼지 중 DEHP 농도 중앙값과 95퍼센타일(전체 농도의 상위 5% 값) 값을 각각 적용하여 일일 섭취량의 중앙값과 최대값을 계산한 결과, 중앙값은 1.6  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{bw}/\text{day}$ , 최대값은 7.8  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{bw}/\text{day}$ 가 산출되었다. 보육시설의 값을 적용하였을 때, DEHP의 일일 섭취량 중앙값은 3.1  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{bw}/\text{day}$ , 최대값은 29.2  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{bw}/\text{day}$ 로 계산되었다. 가정과 보육시설에서 산출된 값을 통합하여 일일 섭취량을 산출한 결과, 일일 섭취량의 중앙값과 최대값은 각각 1.9, 10.9  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{bw}/\text{day}$ 로 나타났다(Table 3).

#### IV. 고 찰

본 연구는 아동들이 생활하는 가장 중요한 공간인 가정과 보육시설을 대상으로 바닥먼지 중 프탈레이트 농도를 산출하고 경구를 통한 노출량을 산출하였다. 가정과 보육시설은 7세 미만의 아동들에게 있어 하루 중 대부분의 시간을 보내는 실내 장소로 본 연구에서 도출된 프탈레이트 농도는 일일 노출량의 대부분을 차지하는 대표 값이 될 수 있을 것으로 판단된다. 프탈레이트 성분들 중 가장 많은 농도 비율을 차지하는 DEHP의 경우 본 연구에서 검출된 농도의 대표 값은 가정 1,008 mg/kg, 보육시설 1,937 mg/kg으로, 가정을 대상으로 하는 국내 선행 연구에서 보고된 값인 1,394 mg/kg과 유사한 수준을 나타내었다.<sup>28)</sup>



**Fig. 2.** DEHP concentration in homes and daycare centers  
\*Means  $p$ -value < 0.01,  $p$ -value was calculated by Student's t-test.

한편 본 연구의 가정 바닥먼지를 통한 DEHP 일일 섭취량은 1.6  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{bw}/\text{day}$ 로 산출되었으며, 이는 국내에서 보고된 3~6세 아동의 일일 섭취량 2.2  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{bw}/\text{day}$  (가정 내 먼지를 대상)에 비하여 낮았지만, 보육시설에서 도출된 3.1  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{bw}/\text{day}$ 은 기존 보고에 비하여 높은 수준이었다.<sup>20)</sup> 게다가, 본 연구에서 보육시설별로 DEHP를 비롯한 프탈레이트 성분 농도의 분산이 높았는데, 높은 경우 중앙값의 10배 달하는 농도를 보이는 가정 또는 보육시설도 존재하므로 위해성평가의 최악의 상황 고려 원칙을 감안하여 95퍼센타일 값을 이용하면 일일 섭취량은 중앙값은 10배 가까이 높아지게 된다.

실내 바닥먼지 중 프탈레이트의 농도를 분석하고 이를 통한 노출량을 산정한 연구는 국내외에서 일부 보고된 바 있지만 가정과 보육시설을 구분하여 측정을 수행하고 이를 서로 비교한 연구는 거의 없었다. 특히 본 연구의 대상이 된 소규모 보육시설은 가정형 보육시설을 포함하고 있으며 이는 외국에서는 찾기 힘든 형태로, 국외 결과와의 절대적인 비교는 어려울 것으로 판단된다.

본 연구에서 가정과 보육시설의 바닥먼지 중 프탈레이트 농도가 서로 차이를 보였는데, 특히 전 시료에서 검출되어 유효한 농도를 나타낸 DEHP의 농도는 가정에 비하여 보육시설에서 유의하게 높은 농도를 보였다. DEHP는 프탈레이트 성분 중 가장 많이 사용되고 있으며 전체 사용량의 97% 가량이 PVC-polymer 가소제로 사용된다.<sup>24)</sup> 보육시설의 경우 바닥 매트, 각종 교구와 완구류 등에서 PVC가 중요한 소재로 사용될 수 있는 상황으로 본 연구결과를 지지할 수 있다. 특히 본 연구의 측정기가 가을과 겨울철에 실시되었으므로 환기가 잘 이루어지지 않아 다소 높은 농도가 산출되었을 가능성도 존재한다. 아울러, DBP, BBP의 검출률이 가정과 어린이집에서 차이를 보인 점도 공간적 특성이나 어린이 용품 취급 상의 특성 등 추가적인 규명이 필요하다. 그러나 가정과 보육시설 내 PVC 제품의 사용량을 본 연구에서 조사하지는 못하였고, 계절적 영향을 정량적

**Table 3.** Average daily dose (ADD) of DEHP via dust deposits in homes and daycare centers of children ( $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ )

Area	DEHP concentration in dust deposit	ADD ( $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{bw}$ day)
Home	Median	1.6
	Max	7.8
Daycare center	Median	3.1
	Max	29.2
Total	Median	1.9
	Max	10.9

The median values of ADD applied the median concentration of DEHP (1,028, 1,937, and 1,215 mg/kg respectively). The max values of ADD applied the 95th concentration of DEHP (4,922, 18,499 and 6,928 mg/kg respectively).

으로 산출하기 어려우므로 본 연구에서 도출된 농도 값에 대한 깊은 고찰은 제한적이다. 본 연구는 실내환경의 프탈레이트 발생원이나 농도 기여요인 등을 탐색하기 보다는 측정된 농도를 바탕으로 재실자들의 노출량을 산출하는데 초점을 두고 있다.

본 연구는 일부의 가정과 보육시설을 대상으로 하였으나 본 연구결과에서 가정에 비하여 보육시설의 바닥면지 중 프탈레이트 농도가 높았던 것을 일반화하기는 어렵다. 또한 대상 아동과 시설의 특성을 구체적으로 구분하고 개별 지표를 적용한 것이 아니므로 본 연구에서 제시한 결과는 일부를 대상으로 하는 부분적 값을 제시하는 한계를 가진다. 특히 아동들의 먼지 섭취량을 집과 보육시설에서 모두 동일하게 30 mg으로 적용하였는데, 활동량의 차이, 공간에 따른 먼지 비산량의 차이 등으로 아동들의 먼지 섭취량이 두 공간에서 차이가 있을 수 있지만 이에 대하여 정확히 산출하는 것은 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 가정과 보육시설에서 먼지 섭취량이 동일하다는 가정을 전제로 하였으며 두 공간에서 프탈레이트 노출수준의 차이는 농도에만 기반하고 있는 결론이다.

아울러, 일일 섭취량에 근거한 경구 노출의 위해성평가를 수행하지 못한 한계를 가진다. 바닥면지 중 프탈레이트 노출에 대한 위해성평가를 수행하기 위해서는 보다 많은 독성 값과 참고치가 필요하다. 바닥면지 중 100%의 검출률을 보인 DEHP만을 대상으로 하였으므로 본 연구가 전체 프탈레이트를 대표한다고 보기도 어렵다. DINP의 경우 가정과 보육시설에서 각각 60%와 80%의 검출률을 보여 다른 프탈레이트 항목에 비하여 높은 검출률을 보였지만 노출량의 대표값을 추정하기에는 불확실성을 가지는 것으로 판단하여 본 연구에서는 대표적인 프탈레이트 항목인 DEHP만을 노출량 추정에 포함하였다.

여러 제한을 가지지만, 본 연구는 아동들이 주로 생활하는 가정과 보육시설의 바닥면지 중 프탈레이트 농도를 도출하고, 이를 통하여 프탈레이트의 섭취량을 제시하였다는 점, 특히 가정과 보육시설의 프탈레이트 농도가 서로 다르고 이로 인하여 섭취량이 차이를 가진다는 점을 새롭게 제시하였다. 향후 보다 대표성 있는 참고 값의 도출과 위해성 평가가 필요하다.

## V. 결 론

초등학교 미취학 어린이(3~7세)가 주로 머무는 집과 보육시설에서의 프탈레이트 노출 수준을 연구하고자, 환경부에서 수행한 조사결과를 바탕으로 프탈레이트 노출량을 분석하였으며 국내 연구사례와 비교하는 연구를 수행하였다. 가정과 보육시설에서 각각 60%와 80%가 검출된 DINP를 제외한 나머지 4개 종은 10% 미만의 검출률을 나타냈으며 유효한 대표 값(백분위수와 중앙값)을 나타내는 항목은 DEHP와 DINP이며, DEHP의 중앙값은 가정과 보육시설에서 각각 1,028, 1,937 mg/kg이고, DINP는 132와 112 mg/kg이었다.

본 연구는 국내 3~7세의 어린이가 거주하는 가정집 150곳과 실내 바닥재를 PVC 재질로 사용하는 어린이집 또는 지역아동센터 중 67곳을 대상으로 실내면지를 채취하여 프탈레이트 6종(DEHP, DBP, BBP, DNOP, DINP, DIDP)을 분석하여 노출평가를 진행하였다. 본 연구결과에서는 가정과 보육시설에서의 섭취량에 차이가 발생한 것으로 볼 때, 8~13세의 어린이가 이용하는 시설에서의 프탈레이트 섭취량에도 차이가 발생할 수 있기 때문에 구분할 필요가 있다고 판단된다.

본 연구는 일부 지역에 대한 가정과 보육시설을 대상으로 하였으므로, 조사지역 및 시설 수 확대를 통해 대표성을 확보하기 위한 추가 연구가 필요하다. 또한 8~13세 어린이가 이용하는 초등학교 및 학원시설 등의 노출특성이 다를 것으로 예상되므로, 국내 어린이들의 프탈레이트 노출모니터링이 추가적으로 필요할 것으로 여겨진다.

## References

1. Salthammer T, Uhde E, Schripp T, Schieweck A, Morawska L, Mazaheri M, et al. Children's well-being at schools: impact of climatic conditions and air pollution. *Environ Int*. 2016; 94: 196-210.
2. Mitro SD, Dodson RE, Singla V, Adamkiewicz G, Elmi AF, Tilly MK, et al. Consumer product chemicals in indoor dust: a quantitative meta-analysis of U.S. studies. *Environ Sci Technol*. 2016; 50(19): 10661-10672. Erratum in: *Environ Sci Technol*. 2016; 50(24): 13611.
3. Mercier F, Glorennec P, Thomas O, Le Bot B. Organic contamination of settled house dust, a review for exposure assessment purposes. *Environ Sci Technol*. 2011; 45(16): 6716-6727.
4. Shan Y, Wu W, Fan W, Haahtela T, Zhang G. House dust microbiome and human health risks. *Int Microbiol*. 2019; 22(3): 297-304.
5. Dong T, Zhang Y, Jia S, Shang H, Fang W, Chen D, et al. Human indoor exposome of chemicals in dust and risk prioritization using EPA's ToxCast database. *Environ Sci Technol*. 2019; 53(12): 7045-7054.
6. Dong C, Liu J, Harvey P, Yan C. Characteristics and sources of Pb exposure via household dust from the urban area of Shanghai, China. *Sci Total Environ*. 2022; 811: 151984.
7. Tan SY, Praveena SM, Abidin EZ, Cheema MS. A review of heavy metals in indoor dust and its human health-risk implications. *Rev Environ Health*. 2016; 31(4): 447-456.
8. Zheng J, Chen KH, Yan X, Chen SJ, Hu GC, Peng XW, et al. Heavy metals in food, house dust, and water from an e-waste recycling area in South China and the potential risk to human health. *Eco-toxicol Environ Saf*. 2013; 96: 205-212.
9. Bu Z, Zhang Y, Mmereki D, Yu W, Li B. Indoor phthalate concentration in residential apartments in Chongqing, China: implications for preschool children's exposure and risk assessment. *Atmos Environ*. 2016; 127: 34-45.
10. Hwang YJ, Park YH, Seo YK, Seo GK, Baek SO. Determination of phthalates compounds in the ambient atmosphere (I) - evaluation of a measurement method and its application to a field study. *J Ko-*

- rean Soc Environ Eng. 2010; 32(5): 443-454.
11. Lee YS, Choi I. Phthalates contamination in indoor dust in elementary schools in Seoul: a pilot study. *J Environ Health Sci.* 2020; 46(5): 548-554.
  12. Al Qasmi NN, Al-Thaiban H, Helaleh MIH. Indoor phthalates from household dust in Qatar: implications for non-dietary human exposure. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2019; 26(1): 421-430.
  13. Kubwabo C, Rasmussen PE, Fan X, Kosarac I, Wu F, Zidek A, et al. Analysis of selected phthalates in Canadian indoor dust collected using household vacuum and standardized sampling techniques. *Indoor Air.* 2013; 23(6): 506-514.
  14. Wan D, Han Z, Liu D, Yang J. Risk assessments of heavy metals in house dust from a typical industrial area in Central China. *Hum Ecol Risk Assess Int J.* 2016; 22(2): 489-501.
  15. Wan Y, North ML, Navaranjan G, Ellis AK, Siegel JA, Diamond ML. Indoor exposure to phthalates and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) to Canadian children: the Kingston allergy birth cohort. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2022; 32(1): 69-81.
  16. Oomen AG, Janssen PJ, Dusseldorp A, Noorlander CW. Exposure to Chemicals via House Dust. Bilthoven: National Institute for Public Health and the Environment; 2008. Report No.: RIVM Report 609021064/2008. p.87.
  17. Weaver JA, Beverly BE, Keshava N, Mudipalli A, Arzuaga X, Cai C, et al. Hazards of diethyl phthalate (DEP) exposure: a systematic review of animal toxicology studies. *Environ Int.* 2020; 145: 105848.
  18. Rocha PR, Oliveira VD, Vasques CI, Dos Reis PE, Amato AA. Exposure to endocrine disruptors and risk of breast cancer: a systematic review. *Crit Rev Oncol Hematol.* 2021; 161: 103330.
  19. Jeon SH. Study on migration of DEHP from some PVC floorings into house dust [dissertation]. [Seoul]: Seoul National University; 2011.
  20. US Environmental Protection Agency (EPA). Method 3052, Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices. Washington, D.C.: EPA; 1996. p.1-20.
  21. 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.
  22. 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.
  23. Ginsberg G, Ginsberg J, Foos B. Approaches to children's exposure assessment: case study with diethylhexylphthalate (DEHP). *Int J Environ Res Public Health.* 2016; 13(7): 670.
  24. Park SS, Koo YE, Hwang MS, Jeon WJ, Kim EJ, Seo MK, et al. Study on the Aggregated Risk Assessment of Phthalates to Human Health. Cheongju: Ministry of Food and Drug Safety; 2019. Report No.: 19161위해기095. p.155.
  25. US Environmental Protection Agency (EPA). Update for Chapter 5 of the Exposure Factors Handbook (Soil and Dust ingestion). Washington, D.C.: EPA; 2017. Report No.: EPA/600/R-17/384F. p.100.
  26. Yun S, Lim D, Oh K, Moon JS, Kim JH. Development of the 2017 Korean National Growth Charts for children and adolescents. *Wkly Health Dis.* 2018; 11(25): 813-820.
  27. Kline T. Psychological Testing: A Practical Approach to Design and Evaluation. Thousand Oaks: Sage; 2005. p.174.
  28. Yoon H, Lee B, Lee B, Park K, Kim P, Yu S. Study on Human Risk Assessment Using Biomonitoring Data (I). Incheon: National Institute of Environmental Research; 2018. Report No.: NIER-RP2018-216. p.60.

#### 〈저자정보〉

전성호(대학원생), 김경희(교수), 최재욱(교수),