한국실내환경학회지 제6권 제1호 pp. 15-26(2009년 3월) Vol. 6, No. 1, pp. 15-26, March 2009

실내 먼지 중 프탈레이트류 평가
- 보육시설 및 실내놀이터 중심 -

양지연 · 김호현 · 이청수 · 김선덕 · 신동천[1)] · 임영욱*
연세대학교 환경공해연구소, [1)]연세대학교 의과대학 예방의학교실

Evaluation and Analysis of Exposure Levels of Phthalate
- Focused on Indoor Playgrounds and Day-care Centers

Ji-Yeon Yang · Ho-Hyun Kim · Chung-Soo Lee · Sun-Duk Kim · Dong-Chun Shin[1)] · Young-Wook Lim*
The Institute for Environmental Research, Yonsei University
[1)]Yonsei university college of medicine, preventive medicine department

Abstract

The indoor level of phthalates in children-facilities was assessed in this study. The samples of house dust were collected at various children's facilities (40 day-care houses, 42 child-care centers, 44 kindergartens, and 42 indoor playgrounds) in summer (Jul~Sep, 2007) and winter (Jan~Feb, 2008) periods, and analyzed by GC-MS. The DEHP was detected in almost every sample (detection rate : 99%) and the detection rate of DnBP and BBzP was more than 80%. The average concentrations of DEHP, DEP, DnBP, and BBzP in house dust were 388 ㎍/g dust, 37㎍/g dust, 108㎍/g dust and 349㎍/g dust, respectively. The relationship between construction period and DEHP level was statistically significant. But, other factors such as flooring material, construction period and water leakage were not statistically significant relationship with phthalates levels. The Phthalate levels were similar or more higher than other the European country.

Keywords : Phthalates, Indoor dust, Indoor Playgrounds, Children's Facilities

* Corresponding author. Tel : +82-2-2228-1898, E-mail : envlim@yuhs.ac

1. 서론

프탈레이드류 (Phthalates)는 1930년대부터 사용하기 시작하여 오늘날에는 화장품, 장난감, 세제로부터 용매, 윤활제 및 가정용 바닥재에 이르기까지 매우 광범위한 제품에 사용된다. 내분비장애물질로 알려진 DEHP 등 프탈레이트류는 냄새와 색이 없는 액체기름으로 플라스틱을 비롯하여 로켓 연료에 이르기까지 널리 사용되는 화학물질로서 플라스틱에 첨가될 경우에 탄력성, 내열성, 광택성 등을 향상시킨다.

프탈레이트류는 오래전부터 산업재로서 사용해 왔었고, 현재도 널리 사용하고 있다. 디에틸헥실프탈레이트(DEHP), 디부틸프탈레이트(DnBP), 부틸벤질프탈레이트(BBzP)등 다양한 종류를 사용하고 있다. 사용량이 가장 많은 DEHP의 경우 전 세계적으로 약 2백만톤이 매년 생산되고 있으며, 2005년 국내 프탈레이트 총소요량은 24만톤으로서 이 중 DEHP(74%), DINP(14%), DIDP(13.0%), DnBP(2.0%) 순으로서 총 가소제 소요량의 90% 이상을 차지하고 있으며, 현재까지 알려진 프탈레이트류의 독성영향보다 그 사용되는 양만으로도 우려되는 물질이기도 하다.

DEHP의 경우 일반적으로 PVC(Poly-Vinyl-Chloride)와 같은 제품 가소제(Plasticizer)로 널리 활용되고 있다. 이러한 프탈레이트는 플라스틱 물질과 공유결합을 하지 않아 결합력이 약해 쉽게 떨어져 나오므로, 생산이나 이동 과정, 사용할 때 쉽게 인간에게 노출이 가능하며 (Becker K, et al, 2004), 음식이나 물, 고기 및 프탈레이트를 함유하는 상품들을 통해서도 노출될 수 있다 (Silva MJ, et al, 2007).

프탈레이트류의 급성독성은 낮은 편이지만 동물실험에서 발암성인 것으로 밝혀졌으며 (Becker K, et al, 2004), 내분비교란물질로 작용하여 태아사망, 기형, 고환과 간 상해, 과산화물질의 증대를 일으킬 수 있다 (Latini G, 2005). 실험동물에서의 생식 이상은 태어날 때의 체중 감소와 생존률 감소, 생식기 기형, 수컷의 성기 길이 감소 등이 포함된다 (Wittassek M, et al, 2007).

기존 연구에 의하면 대표적인 실내오염물질인 폼알데히드 (HCHO)나 휘발성유기화합물류 (VOCs)를 천식 및 아토피 질환 유발 물질로 의심해 볼 수도 있으나, Hutter 등 (2006)의 연구에 의하면 폼알데히드와 휘발성유기화합물류는 낮게 측정된 반면, 먼지 시료 중 프탈레이트류는 높은 농도로 검출되었음을 제기하였다.

그러나 실내 프탈레이트류의 조사 연구는 기존에 많은 연구가 되어온 폼알데히드나 휘발성유기화합물류에 비해 시작 단계라고 할 수 있다. 최근 실내놀이터의 경우 시간당 이용료를 내고 이용하는 유료시설과 대형마트, 음식점, 쇼핑센터 등에서 운영하는 무료시설로 구분되며, 이러한 시설은 계속적으로 증가하고 있으며, 보육시설도 동일하다.

따라서, 본 연구에서는 놀이특성상 바닥의 먼지에 의한 노출 가능성이 높은 실내놀이터 및 보육시설을 대상으로 먼지 중 프탈레이트의 농도 및 분포 특성을 평가하고, 민감집단 시설의 환경 관리방안을 수립하기 위한 기초자료 제공에 그 목적이 있다.

2. 연구방법

2.1 연구내용

본 연구에서는 광범위하게 사용되고 있는 프탈

레이트류 중 가장 소비량이 많고, 국내 사용량이 높으며, 선행연구에서 공통적으로 평가하였던 Diethylhexylphthalate(DEHP), Diethylphthalate(DEP), Di-n-butyl phthalate(DnBP) 및 Butyl benzyl phthalate(BBzP) 4종을 정량 분석하였다.

프탈레이트류는 실외영향보다는 실내제품에서의 방출에 의한 영향이 크고, 물질 특성상 증기압이 낮고, 높은 흡수계수를 가지고 있어 계절적 영향은 크지 않다. 계절적으로는 실내누수여부(Bornehag CG, et al, 2005)에 영향을 주는 장마철이 있는 여름과 건조한 계절인 겨울을 비교하여, 환경 중 노출 정도를 파악하기 위해 실내 먼지(dust) 중 프탈레이트의 농도 분포를 파악하였다.

전국단위(서울, 대전, 경기, 부산, 시화공단지역, 여천공단지역) 놀이방 40곳, 어린이집 42곳, 유치원 44곳과 실내놀이터 42곳을 대상으로 여름(2007년 7월~9월)과 겨울 (2008년 1월~2월)을 2회 반복 측정을 통해 실내 먼지 중 프탈레이트류를 조사하였다. 연속조사를 거부하는 시설이 있어 일부 누락된 시설도 있다.

2.2 측정 및 분석방법

실내공간에서 발생될 수 있는 프탈레이트의 시료채취는 각각의 보육시설에서 수업 중인 교실에서 먼지(dust) 채취용으로 특수 제작된 진공청소기(Vacuum cleaner)를 사용하여 진공청소기 홀더(holder)에 필터 (Whatman, 125㎜)를 장착하여 실내놀이터 및 보육시설의 주요 활동 공간 즉, 실내놀이터의 경우 미끄럼틀, 구름다리 등이 설치되어 있는 주요 놀이공간의 바닥먼지, 보육시설의 주요 활동공간인 로비, 교실, 복도의 바닥 먼지를 포집하였다. 포집된 먼지는 프탈레이트의 노출을 피하기 위해 주문제작한 유리용기 (Glass dish, 130㎜)에 보관하여 실험실로 운반, 상온에서 보관하였다.

먼지 중 프탈레이트 분석을 위한 전처리를 위해 시약종이 무게를 잰 후 25mg 이상 (Bornehag CG, et al, 2004)의 일정량의 먼지를 옮긴 다음 시약종이 무게를 재어 전처리 전 먼지량을 정량하였다. 이후 10㎖ vial에 깔대기를 대고 먼지를 덜어내어 DCM (Dichloromethane) 4㎖로 먼지를 충분히 적신 다음 30분간 초음파추출을 실시 후 먼지를 10㎖ vial에 여지를 이용해 여과하였다. DCM용액을 사용하여 충분히 여과시킨 후 evaporator장치를 이용해 약 30분간 농축한 후 GC분석용 vial(1.5㎖)에 유기피펫을 사용하여 분취하였다. 다음으로 데시게이트 진공상태에서 vial을 24시간 보관한 후 메탄올 1㎖을 채운 후 packing하여 냉동 보관하였다. 모든 전처리 작업 중 플라스틱 및 고무제품은 사용하지 않았다.

분석용 시료의 준비과정에서는 모든 실험 용기를 유리제품을 사용하여 실시하였고, GC-MSD (Gas Chromatograph/Mass Selective Detector)를 이용하여 분석하였다. 표준용액 조제를 위해 Glass tube를 먼지 wasing 한 후 glass tube에 DEHP, DEP, DnBP, BBzP를 각각 메탄올에 1㎎/㎖ 로 녹여 표준액을 만들어 4℃에 저장한 후 표준물질을 10, 20, 50, 100, 200, 400, 800, 1000 ㎍/㎖로 희석하여 4℃에 저장하였다. 다음으로 기기분석을 위한 컬럼(Column)은 25-m capillary column(HP 1C; Agilent, Folsom, CA, USA; inner diameter, 0.2 mm; stationary phase, polydimethyl siloxane)을 사용하였고, Injector 온도는 280℃를 유지하였고, 컬럼 온도는 100℃에서 3분간 유지한 후 300℃까지 분당 8℃씩 상승시켜 20분간 분석하였다. Total Ion

Chromatogram을 이용하여 물질을 확인하였고, Selective Ion Monitoring mode로 프로그램 하여 신호/잡음비(S/N ratio)를 향상시켜 프탈레이트류를 정량하였다. 회수율 평가는 Clausen 등(2003)의 선행연구에 제시된 'Standard dust'를 이용하여 프탈레이트 표준용액을 임의의 농도로 spiking 한 후, 시료와 동일한 전처리 및 기기 분석 조건을 적용하여 회수율을 평가하였다. 또한, 시료분석은 Dibutyl phthalate-*d*4를 10㎍을 주입하여 내부표준법으로 정량하여 검량선 작성결과 R^2 값이 0.97이상으로 나타나 선형성과의 상관성은 양호한 결과를 나타내었다. 본 연구에서 적용한 프탈레이트 분석 방법의 조건, 검출한계 및 회수율은 Table 1과 같다.

2.3 통계분석

측정 된 모든 결과는 평균, 표준편차를 제시하였고, 모든 자료의 통계분석은 SPSS 12.0 (Statistical package for the social science) 통계 package를 사용하였고, ANOVA-test, Kruskall-Wallis, Mann-Whitney-U test 분석을 사용하여 시설 특성별 통계적 유의성을 보았다.

3. 연구결과

3.1 실내 먼지 중 프탈레이트 평가

조사된 시설에 대한 농도분포를 살펴보면, DEHP의 경우 놀이방에서 평균 398㎍/g dust로 약간 높게 나타났으며, 전체적으로 비슷하게 농도를 나타냈다.

DEP의 경우는 검출율이 낮지만 유치원과 놀이방에서 평균 52㎍/g dust, 50㎍/g dust로 높게 나타났고, 어린이집에서 가장 낮게 검출되었다. DnBP의 경우 실내놀이터에서 다른 시설에 비해 조금 높게 나타났으며, 검출율도 가장 높았다. BBzP도 실내놀이터에서 390㎍/g dust로 높게 나타나고 계절과 시설별로 약간씩의 차이가 있지만 전체적으로 실내놀이터가 프탈레이트류의 사용이 많은 것으로 평가되었다. 또한, 각 시설별로 프탈레이트류의 농도와 관련하여 통계적으로 유의한 차이는 없었다 (Table 2).

Fromme 등 (2004)의 연구에서 가정내 먼지 중 프탈레이트류의 분포는 DEHP가 연구대상물질 중 대략 80%정도의 구성 비율을 차지한다고 보고하였다. 본 연구에서도 DEHP가 가장 큰 구성 비율을 가지지만, 선행 외국연구결과에 비해 DnBP의 구성 비율이 다소 높았다 (Fig 1).

Table 1. The phthalate dust, their respective retention times(RT) from GC-MS and Standard dust Limits of Detection (LOD) and recoveries.

Target Compound	RT (min)	Selective ion(m/z)	LOD (㎍/g dust))	Recovery (%)
Diethyl phthalate	4.87	149, 177.05, 76, 150, 65	0.003	92
Di-n-butyl phthalate	7.08	149, 150, 76, 104, 56.1	0.657	125
Butyl benzyl phthalate	9.33	149, 91, 206, 103.9, 65	0.017	89
Di(2-ethylhexyl) phthalate	10.34	149, 57.1, 167, 71.1, 70	0.015	80

Table 2. Concentration of phthalate in indoor dust(㎍/g dust).

Compound*	DEHP		DEP		DnBP		BBzP	
	Mean±S.D (Min~Max)	Detection rate (%)	Mean±S.D (Min~Max)	Detection rate (%)	Mean±S.D (Min~Max)	Detection rate (%)	Mean±S.D (Min~Max)	Detection rate (%)
Day-care Home	398±102 (222~673)	98.7	50±89 (9~210)	6.6	90±88 (30~532)	96.0	349±364 (3~1431)	84.2
Child-care Center	386±105 (8~624)	100	13±3 (11~17)	3.6	106±133 (30~909)	95.2	332±340 (3~1369)	80.7
Kinder -garten	375±91 (67~556)	100	52±70 (1~170)	8.9	116±131 (32~719)	92.4	333±372 (3~1422)	86.1
Indoor Playground	389±121 (132~706)	98.7	19±29 (2~73)	6.6	119±120 (30~542)	98.7	390±378 (3~1400)	88.1

* Kruskal-Wallis test

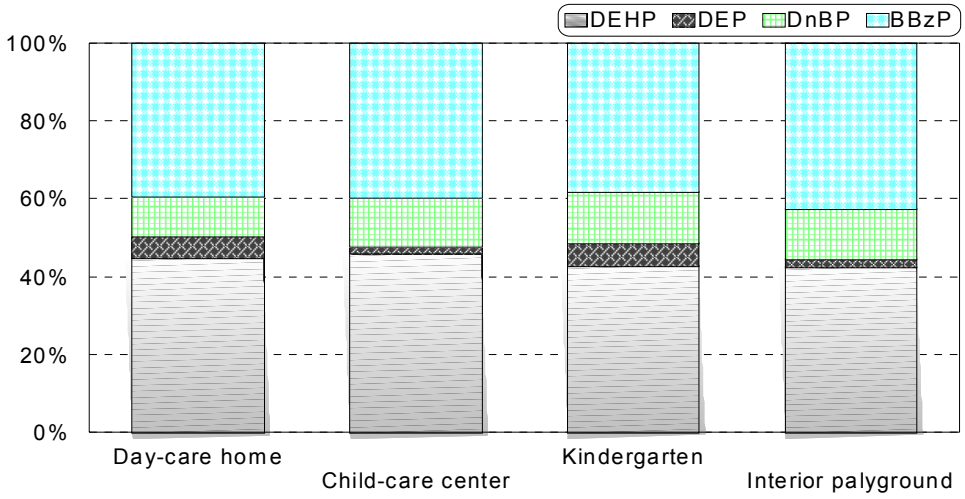

Fig 1. Contribution of single phthalates to the total content in indoor dust.

3.2 실내 특성에 따른 실내 먼지 중 구분에 의한 실내 먼지 중 프탈레이트 평가

실내 특성에 따른 먼지 중 프탈레이트류의 농도 분포를 살펴보기 위해 바닥 및 제품 재질, 건축년도, 최근 1년간의 누수여부에 의한 평가를 하였다.

가장 먼저 바닥재 형태에 따른 시설별 프탈레이트류의 평가는 일부 시설에서는 PVC 바닥재 사용하는 경우가 약간 높게 나타났고, 전체적으로 농도가 비슷하게 나타났다. 통계적으로도 PVC 바닥재 사용과 프탈레이트류는 유의한 차이가 없었다(Table 3). 또한, 바닥재와 용품 형태에 따른 분류

Table 3. Concentrations(㎍/g dust) for different phthalate in settled dust from type floor.

Phthalate	type floor	N	Mean ± S.D	p-value*
DEHP	PVC No PVC	389 82	389.07±102.15 381.10±113.94	.358
DEP	PVC No PVC	16 4	41.56±66.68 24.25±32.66	-
DnBP	PVC No PVC	194 72	107.65±121.68 110.81±115.35	.747
BBzP	PVC No PVC	220 80	346.28±365.19 346.28±365.19	.346

* Mann-Whitney-U test

를 세 가지 category로 나누어 평가 한 결과 전체적으로 농도는 비슷하게 나타났다 (Fig 2).

건축년도에 따른 먼지 중 프탈레이트류를 건축년도가 신축(1년미만), 2~10년, 11년 이상의 세 분류로 나누어 농도를 비교하였다. DEHP의 경우 신축 288㎍/g dust, 2~10년 388㎍/g dust, 11년 이상 395㎍/g dust로 통계적으로 유의하게 ($P<0.05$) 평균값이 상승하는 것으로 나타났다. DEP, DnBP, BBzP의 경우 뚜렷한 경향을 보이지는 않았으며, 통계적으로도 건축년도에 따른 유의한 차이는 없었다 (Table 4).

최근 1년간 누수 여부에 의한 프탈레이트 측정 결과 전체적으로 큰 차이를 보이지는 않았고, 통계적으로도 누수여부와 프탈레이트류는 유의한 차이가 없었다 (Table 5).

대상 시설별 특성에 따라 면적을 3가지 구분하

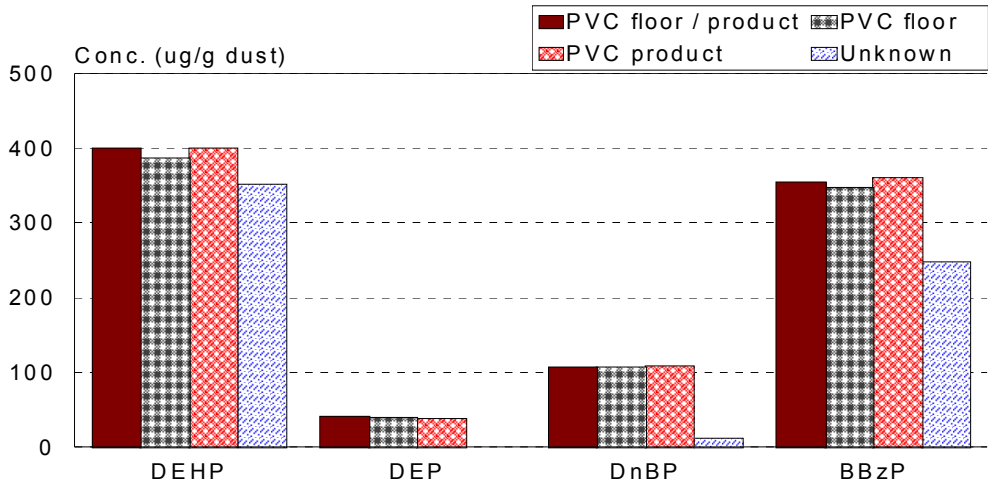

Fig 2. Concentrations for different phthalates in settled dust from type of floor/product.

Table 4. Concentrations (㎍/g dust) for different phthalate in settled dust from construction period.

Phthalate	Construction year	N	Mean ± S.D	P-value*
DEHP	< 1year	9	288.44±98.61	.014**
	2~10year	231	388.02±105.43	
	> 10year	72	395.95±100.52	
DEP	< 1year	-	-	.636
	2~10year	12	43.58±65.59	
	> 10year	8	29.87±56.85	
DnBP	< 1year	9	124.33±139.65	.891
	2~10year	198	109.01±126.83	
	> 10year	59	104.56±90.48	
BBzP	< 1year	9	466.55±455.77	.590
	2~10year	225	343.01±359.19	
	> 10year	66	361.79±363.64	

* ANOVA-test, ** <0.05

Table 5. Concentrations (㎍/g dust) for different phthalate in settled dust from water leakage during previous 1 years.

Phthalate	Water leakage	N	Mean ± S.D	P-value*
DEHP	Yes	29	366.96±114.23	.208
	No	279	388.31±104.33	
DEP	Yes	-	-	n.s
	No	20	38.10±61.06	
DnBP	Yes	24	71.25±57.46	.093
	No	239	111.14±122.08	
BBzP	Yes	28	352.75±394.79	.653
	No	268	353.58±361.97	

* Mann-Whitney-U test

여 프탈레이트류 측정 결과를 비교 해 본 결과, DEHP·DEP·DnBP의 경우 100평 미만에서 조금 높게 나타났고, 시설의 면적이 커질수록 농도가 낮아지는 경향을 나타냈다. BBzP도 통계적으로 대상 시설의 면적에 따른 유의한 차이는 없었다 (Table 6).

4. 고찰

가소제는 PVC 수지 내에서 화학적으로 결합하지 않아 용출 및 휘발의 가능성이 높다. PVC 분자는 전기적으로 양전하와 음전하가 편재된 극성을 가지고 있고, 또 가소제 분자 내에 양전하와 음전

Table 6. Concentrations (㎍/g dust) for different phthalate in settled dust from indoor area.

Phthalate	Area	N	Mean ± S.D	P-value*
DEHP	< 100㎡	100	390.93±124.78	.818
	100～150㎡	131	387.63±90.12	
	> 150㎡	81	381.04±102.68	
DEP	< 100㎡	4	54.75±103.50	.706
	100～150㎡	11	40.36±58.07	
	> 150㎡	5	19.80±23.13	
DnBP	< 100㎡	87	119.20±121.17	.351
	100～150㎡	111	109.96±134.62	
	> 1500㎡	68	92.92±88.58	
BBzP	< 100㎡	96	330.96±346.30	.815
	100～150㎡	126	362.51±383.62	
	> 150㎡	78	359.23±352.66	

* ANOVA-test

하를 띈 극성부분과 비극성 부분으로 되어 있어, PVC와 가소제는 이 극성부가 전기적으로 결합하게 되고, 가소제의 비극성부가 PVC 분자와 PVC 분자간의 간격을 넓혀 PVC 수지에 연성을 부여하게 된다 (환경부 2006).

DEHP의 경우 일반적으로 PVC 제품에 가소제로 쓰이는 대표적인 물질이다. Mannsvillle Chemical Products Corporation (1999)에 따르면, PVC 제품의 가소제로써 95%이상이 DEHP를 사용한다. 일반적인 제품으로 바닥재, 비닐벽지, 테이블보, 마루타일, 가구 장식품, 샤워 커텐, 분무용 호스, 비옷, 인형, 장난감, 신발, 의료용 튜브 및 혈액보관용기 등이 포함된다. 또한 PVC는 의료시험 및 수술용 장갑 및 투석과 수혈 도구에도 포함되므로 인체 노출이 가능하다 (NTP, 1989).

환경부는 2007년 2월 의료용품 중 링거백과 혈액보관용기, 어린이 완구용품 및 육아용품 내 프탈레이트 사용 제한 관련 입법 추진을 발표했으며, 3월에는 어린이 완구에 추가하여 문구학습용·공예용까지 사용금지 규제를 발표하였다. 그러나 산업자원부와 관련업체의 반대로 입법 추진 대신 업체와의 자발적 협약을 체결하는 것으로 규제를 대신하였다. 자발적 협약 체결의 근거로는 환경부의 유해화학물질관리법과 산업자원부의 품질경영 및 공산품 안전관리법을 제시하였다.

본 연구에서는 실내 바닥 먼지를 채취하여 4종의 프탈레이트류를 분석하였으며, DEHP는 시설의 99.4%에서 검출되었으며, DEP를 제외하고는 80% 이상의 검출율을 보였다. 전체 대상 시설에서 DEHP는 평균 388㎍/g dust, DEP 37㎍/g dust, DnBP 108㎍/g dust, BBzP는 349㎍/g dust로 측정되어, DEHP> BBzP> DnBP> DEP 순으로 나타났다. DEHP의 경우 놀이방에서 평균 398㎍/g dust로 높게 나타났고, 전체적으로 비슷한 농도를 나타냈다. Clausen 등 (2003)은 덴마크의 일반가구(n=23)에서의 평균농도를 858㎍/g DEHP dust의 농도로 제시

하였다. Bornehag 등 (2004) 스웨덴의 일반가정 내 어린이들의 침실(n=346)에서의 먼지 중 DEHP의 농도를 770㎍/g 수준으로 제시하였으며, Fromme 등 (2004)의 연구에서 가정 내 먼지 중 DEHP가 대략 80%정도의 구성 비율을 차지한다고 보고하였다. 본 연구에서도 DEHP가 가장 큰 구성 비율을 차지하였지만, 선행 외국연구결과에 비해 DnBP의 구성 비율이 다소 높게 나타났다. 일반적으로, DnBP의 경우 가공성이 뛰어나 주로 프린트 잉크, 접착제, 실란트, 페인트, 필름코팅 및 유리섬유 등에 다양하게 사용된다. 특히 DnBP는 소비재 중 화장품, 향수, 헤어스프레이, 윤활제, 피부 완화제 및 매니큐어 제거제 등의 용도로 사용된다 (CIR, 1985). 본 연구에서 DnBP의 구성 비율이 높은 원인은 명확하게 밝혀내지 못했고, 추후 연구에서 실내 특성에 따른 조사를 통해 추가적인 분석을 진행할 계획이다.

실내 특성에 따른 먼지 중 프탈레이트류 농도특성 평가 결과, PVC 바닥재 사용에 따른 평가 결과 통계적으로는 PVC 바닥재 사용과 프탈레이트류는 유의한 차이가 없었다. 대상 시설의 건축년도를 신축 (1년 미만), 2~10년, 11년 이상으로 구분하여 살펴보면 DEHP의 경우 통계적으로 유의하게 ($p<0.05$) 평균값이 상승하는 것으로 나타났다. 이는 대부분의 오래된 PVC 제품에 프탈레이트류 중 DEHP의 함량이 높아 나온 결과로 추정된다 (Bornehag et al., 2005)

최근 1년간 대상 시설별 누수 여부에 따른 프탈레이트 측정 결과 전체적으로 큰 차이를 보이지는 않았고, 통계적으로도 누수여부와 프탈레이트류는 유의한 차이가 없었다. 'Bornehag 등 (2005) 에 의하면 누수 등으로 인한 습기 원인으로 인해 PVC바닥재의 성능저하 (degradation)로 인한 추가 노출가능성을 언급하였고, 최근 3년간 누수가 있었던 실내공간의 프탈레이트류 중 BBzP 농도가 통계적으로 유의하게 높았음을 보고하였다. 본 연구에서는 누수여부에 대한 문답조사시 실내공간의 누수 장소 및 정도에 따른 차이로 명확한 결과가 제시되지 못한 것으로 판단된다.

김호현 등(2008)의 초등학교 실내바닥먼지 중 프탈레이트류의 조사결과에서도 통계적으로 유의하지는 않았지만, PVC 바닥재를 사용하는 공간에서의 프탈레이트류의 농도가 높았고, 건축년도에 의한 뚜렷한 경향성은 없는 것으로 보고하였다.

본 연구에서 통계적 유의성은 관찰되지 않았지만, 실내 바닥재, 벽지 등 PVC 사용 여부가 실내 먼지 중 프탈레이트 농도에 영향을 미치는 것으로 관찰되었다. 또한 다양한 PVC 제품 사용이 많을수록 실내 프탈레이트 농도가 증가될 우려가 있음을 알 수 있었다. 기존의 여러 연구에 의해 프탈레이트류는 PVC 바닥재 사용에 의해 실내 프탈레이트류의 농도가 증가할 수 있으며 (Bortoli MD, et al, 1993; Jann O, et al, 1997; Pleil and Whiton, 1990; Reitzig M, et al, 1998), 실내 공간 약 1㎡/㎥의 면적에 비닐 벽지를 사용한 공간의 경우 실내 공기 및 먼지에서 유의하게 프탈레이트류가 높게 검출되었다 (Wilkins CK, et al, 1993)

프탈레이트류는 섭취(ingestion), 흡입(inhalation), 피부흡수(skin absorption)등의 경로로 노출된다고 보고되고 있으며, 우선 섭취 경로를 통해 가장 노출이 많은 음식물의 경우 DEHP maximal daily intake 4.9-18 ㎍/㎏/day (MAFF, 1999), 의학도구 (maximal daily intake 9.5 ㎍/㎏/day, 성인 0.1 ㎎/㎏/day, 유아 2.5 ㎎/㎏/day노출되고 있고, 성인에 비

해 유아 및 어린이의 노출로 인한 위해도가 높다고 FDA (2001)에서는 보고하고 있다. 일반적으로 DEHP 노출의 가장 중요한 노출원은 음식물이며, Meek and Chan (1994)등의 연구에서는 DEHP의 일일노출량을 10㎍/kg/day로 평가하였다. 장난감으로 인한 노출은 어린이의 mouthing activity에 의해 5.7～44㎍/kg/day 정도의 노출을 예상하였다.

흡입의 주요한 매개체는 실내공기 또는 실내먼지이다. 선행 연구에서 대기 중의 노출 영향은 미미하므로 주로 실내 먼지 중 포함된 프탈레이트의 흡입으로 인한 노출은 매우 중요하다. 프탈레이트류의 특성상 (증기압이 낮고 높은 흡수계수를 가짐) 실내대기 중 가스상의 농도는 높지 않으며, 낮은 농도의 분석에 의한 근본적인 차이는 있을 수 있다 (Uhde E, et al, 2001). 캐나다 환경청(1994a, b) 및 미국 NPT 센터 (CERHR, 2000)에서도 먹는 물 또는 대기 중 프탈레이트류 수준은 매우 낮으며, 허용할만한 수준이라고 보고하였다.

본 연구에서는 6개 도시지역 결과가 전국을 대표하지 못하는 실태조사로서의 해석에서의 한계점은 있다. 그러나 실내놀이터 및 보육시설의 경우 놀이형태가 손, 온몸을 이용한 놀이 및 교육형태가 많고, 미끄럼틀, 모형, 책상, 의자, 찰흙 등 교육 자재로 인한 프탈레이트류의 노출가능성이 일반 실내 환경에 비해 높은 공간이므로, 해당 물질의 시설별 농도 분포 특성, 피부로의 전이가능성 등에 대한 다양한 노출 시나리오에 의한 위해도 평가가 필요하다.

5. 결론

실내놀이터와 보육시설을 대상으로 실내 바닥먼지 중 프탈레이트류 농도를 하계 및 동계 실내먼지 중 프탈레이트류를 조사한 결과, 실내 주요 활동공간에서의 바닥먼지 농도분포는 외국선행연구와 유사하며, 계절적 차이는 관찰되지 않았다.

DEHP는 시설의 99.4%에서 검출되었으며, DEP를 제외하고는 80% 이상의 검출율을 보였다. 전체 대상 시설에서 DEHP는 평균 388㎍/g dust, DEP 37㎍/g dust, DnBP 108㎍/g dust, BBzP는 349㎍/g dust로 측정되어, DEHP> BBzP> DnBP> DEP 순으로 나타났다.

실내놀이터와 보육시설별 시설에 의한 4종 프탈레이트류의 뚜렷한 농도 차이는 없었으나, 외국에 비해 BBzP(Butyl benzyl phthalate)의 농도 비율이 높은 경향이 있는 것에 대한 실내공간 제품 특성 등의 추가평가가 필요하다.

건축년도에 따른 먼지 중 DEHP의 경우 신축 288㎍/g dust, 2～10년 388㎍/g dust, 11년 이상 395㎍/g dust로 통계적으로 유의하게 ($P<0.05$) 평균값이 상승하는 것으로 나타났다. 통계적으로 유의하지는 않지만 실내 건축 소재 및 제품 중 PVC 사용 정도가 실내 먼지 중 프탈레이트 농도에 영향을 미치는 것으로 관찰되었다. 따라서, 실내 바닥먼지의 노출가능성이 높은 유아 및 어린이들의 유해 환경 노출에 대한 관리가 필요하다.

감사의 글

이 연구는 환경부(환경정책실 환경보건정책과) “어린이 위해성평가·관리를 위한 어린이 시설 유해물질 오염실태 조사 사업(’07-’08)”의 일부 결과이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

김호현, 임영욱, 김창수, 김진용, 이청수, 양지연, 박중원, 신동천(2008), 천식발생률에 따른 초등학교 내 유해 환경 평가, 한국실내환경학회지, 5(1), 59-73.

환경부(2006), 프탈레이트 가소제의 안전사용 대책에 관한 연구.

Becker K, Seiwert M, Angerer J, Heger W, Koch HM, Nagorka R, Roβkamp E, Schluter C, Seifer B and Ullrich D(2004), DEHP metabolites in urine of children and DEHP in house dust. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 207(5), 409-417.

Bornehag CG, Sundell J, Weschler CJ(2004), The association between asthma and allergic symptoms in children and phthalates in house dust: A nested case-control study. Environ. health perspect, 112-114.

Bornehag CG, Lundgren B, Weschler ChJ, Sigagaard T, Hagerhed-Engman U, Sundell J(2005), Phthalates in Indoor Dust and Their Association with Building Characteristics. Environ. health perspect, 113, 1399-1404.

Bortoli MD, Pecchio, E, Schauenburg, H, Schlitt, H. and Vissers, H(1993), Emission of formaldehyde, vinyl, chloride, VOCs and plasticizers from different wallcoating materials. In: Proceedings of Indoor Air 93, Helsinki, Finland, International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Vol. 2, 413-418.

CEPA (Canadian Environmental Protection Act) (1994), Priority substances list assessment report . Bis(2-ethylhexyl) phthalate. In: Environment Canada and Health Canada, Ottawa, Canada.

CEPA (Canadian Environmental Protection Act) (1994) Priority substances list assessment report . Dibutyl phthalate. In: Environment Canada and Health Canada, Ottawa, Canada.

CIR (Cosmetic Ingredient Review Committee)(1985), "Final Report on the Safety Assessment of Dibutyl Phthalate, and Diethyl Phthalate," Journal of the American College of Toxicology, 4, 267-303.

Clausen PA, Bille RLL, Nilsson T, Hansen V, Svensmark B, Bowadt S(2003), Simultaneous extraction of di(20ethylhexyl)phthalte and non-ionic sufactants form house dust, Concentrations in floor dust form 15 Danish schools, Journal of Chromatography, A 986, 179-190.

CERHR (NTP Center for the Evaluation of Risks to Human Reproduction)(2000), NTP-CERHR expert panel report on Di(2-ethylhexyl) phthalate, Research Triangle Park, NC, USA.

Fromme H, Lahrz T, Piloty M, Gebhart H, Oddoy A, Rüden H(2004), Occurrence of phthalates and musk fragrances in indoor air and dust from apartments and kindergartens in Berlin (Germany). Indoor Air, 14, 188–195.

FDA(2001), Safety Assessment of di(2-ethylhexyl) Phthalate(DEHP) Released from Medical Devices. US Food and Drug Administration, Washington DC.

Hutter HP, Moshammer H, Wallner P, Damberger B, Tappler P, Kundi M(2006), Health complaints and annoyances after moving into a new office building: a multidisciplinary approach including

analysis of questionnaires, air and house dust samples. Int J Hyg Environ Health, 209(1), 65-68.

Jann O, Wilke O and Brodner D(1997), Procedure for the determination and limitation of VOC emissions from furniture and coated wood based products. In: Proceedings of Healthy Building 97, Washington, DC, 593-598.

Latini G(2005), Monitoring phthalte exposure in humans. Clinica Chimica Acta, 361(1-2), 20-29.

MAFF(1999) Food Surveillance Information Sheet - Phthalates in Food. Joint Food Safety and Standards Group, MAFF, UK.

Meek M. and Chan P(1994), Bis(2-ethylhexyl) phthalate: evaluation of risks to health from environmental exposure in Canada. Journal of Environmental Science and Health, Part C 12, 179-194.

NTP (National Toxicology Program)(1989), Fifth Annual Report on Carcinogens: Summary 1989. National Institute of Environmental Health Sciences, Research Triangle Park, NC.

Pleil JD and Whiton RS(1990), Determination of organic emissions from new carpeting, Appl. Occup. Environ. Hyg, 5, 693-699.

Reitzig M, Mohr S, Heinzow B and Kno¨ppel H(1998), VOC emissions after building renovations: traditional and less common indoor air contaminants, potential sources, and reported health complaints, Indoor Air, 8, 91-102.

Silva MJ, Samandar E, Preau JL Jr, Reidy JA, Needham, LL and Calafat AM(2007), Quantification of 22 phthalate metabolites in human urine. Journal of Chromatography B, 860, 106-112.

Uhde E, Bednarea M, Fuhrmann. Salthammer T(2001), Phthalic Esters in the Indoor Environment-Test Chamber Studies on PVC-Coated Wallcoverings. Indoor air, 11, 150-155.

Wilkins CK, Wolkoff P, Gyntelberg F, Skov P. and Valbjorn O(1993), Characterization of office dust by VOCs and TVOC release identification of potential irritant VOCs by partial least squares analysis, Indoor Air, 3, 283-290.

Wittassek M, Wiesmuller GA, Koch HM, Eckard R, Dobler L, Muller J, Angerer J and Schluter C(2007), Internal phthalate exposure over the last two decades-A retrospective human biomonitoring study. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 210(3-4), 319-333.