



실내환경 중 집먼지 및 유기필름에서 기인한 프탈레이트 노출평가

전정인¹ , 이해원² , 이승현³ , 이정일⁴ , 이철민^{5*}

¹서경대학교 나노생명공학과, ²서경대학교 위해성평가연구소, ³서경대학교 환경화학공학과, ⁴한국화학융합시험연구원 건축기후대응센터, ⁵서경대학교 나노화학생명공학과

Exposure Assessment of Phthalates from House Dust and Organic Films in the Indoor Environment

Jeong-In Joen¹, Hye-Won Lee², Seung-Hyun Lee³, Jeong-Il Lee⁴, and Cheol-Min Lee^{5*}

¹Department of Nano & Biological Engineering, Seokyeong University, ²Institute of Risk Assessment, Seokyeong University, ³Department of Environmental & Chemical Engineering, Seokyeong University, ⁴Climate Change Action Center, Korea Testing & Research Institute, ⁵Department of Nano Chemical & Biological Engineering, Seokyeong University

ABSTRACT

Background: Various types of semi-volatile organic compounds (SVOCs) exist in the public's living environment. They occur in different forms in terms of their physical and chemical properties and partition coefficients. As a consequence, indoor exposure to SVOCs occurs via various routes, including inhalation of air and airborne particles, skin contact, and dust intake.

Objectives: To propose a method for assessing human exposure to the SVOCs occurring in the air of an indoor environment, the concentrations of SVOCs in house dust and organic films measured in a real residential environment were estimated in terms of gas-phase concentration using the partition coefficient. Assessment of inhalation exposure to SVOCs was performed using this method.

Methods: Phthalates were collected from samples of house dust and organic films from 110 households in a real residential environment. To perform an exposures assessment of the phthalates present in organic films, gas-phase concentration was calculated using the partition coefficient. The airborne gas-phase concentrations of phthalates from the house dust and organic films were estimated and exposure assessment was performed based on the assumption of inhalation exposure from air.

Results: As a result of the exposure assessment for gas-phase phthalates from house dust and organic films, preschool children showed the highest level of inhalation of phthalates, followed by school children, adults, and adolescents.

Conclusions: This study includes the limitation of not considering different SVOCs exposure pathways in the health impact assessment, including those of phthalates in the indoor living environment. However, this study has the significance of performing exposure assessment based on exposure to SVOCs present in indoor air that originated from organic films in the indoor residential environment. Therefore, the results of this study should be useful as basic data for exposure and health risk assessments of SVOCs associated with organic films in the indoor environment.

Key words: Semi-volatile organic compounds, organic films, house dust, exposure assessment

Received March 1, 2022

Revised March 18, 2022

Accepted April 1, 2022

Highlights:

- Exposure assessment of SVOCs in the air required.
- Air phthalates were measured using house dust and organic films.
- Preschool children were the most exposed population.
- Dust and organic film could be used as a proxy for SVOC exposure via inhalation.

*Corresponding author:

Department of Nano Chemical & Biological Engineering, Seokyeong University, 124 Seogyong-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02713, Republic of Korea
Tel: +82-2-940-7614
Fax: +82-2-740-7616
E-mail: cheolmin@skuniv.ac.kr

1. 서론

우리가 일상생활에서 사용하는 생활화학제품에는 수천 가지

화학물질이 포함되어 있으며, 제품 이용자는 제품 사용과 제품의 life cycle에 따른 방출을 통해 제품 내 화학물질에 노출될 수 있다.^{1,2)} 또한, 실내환경에서 사용되는 다양한 생활화학제품,



실내 내장재 및 생활습관을 통해 방출되는 유해화학물질은 표면흡착으로 창문 등의 불투수성 재료에 흡수·흡착·응축 메커니즘을 통해 유기필름을 형성하게 되며, 이러한 유기필름의 대부분의 성분은 SVOCs로 구성되어 있다. 유기필름은 공기 중 유해화학물질을 감소시키거나 유해화학물질에 대한 인체 노출 원인으로 작용하기도 하는 것으로 알려져 있다.³⁻⁵⁾

세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 비점이 260~380°C의 화합물을 반휘발성유기화합물(Semi-Volatile Organic Compounds, SVOCs)로 정의하고 있으며,⁶⁾ SVOCs는 거주자가 사용하는 가구나 가전제품뿐만 아니라 재료의 난연성, 가소성을 위해 바닥재, 벽재 등의 마감재에서 많이 발생한다. 또한, 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)에 비해 검출농도는 낮으나 실내에서 검출되는 물질의 종류는 많으므로 농도는 낮으나 매우 장기간에 걸쳐 노출될 가능성이 있는 것으로 보고되고 있다.⁷⁾

이들 SVOCs 중 대표적 내분비계장애물질로 알려진 프탈레이트(Phthalates)는 건설 재료, 케이블, 바닥재, 장난감, 식기류 등 다양한 곳에 사용되는 플라스틱 제품을 부드럽고 유연하게 만드는데 첨가되는 가소제이다.⁸⁾ 프탈레이트류는 급성독성이 낮은 것으로 알려져 있으나, 동물 실험에서 발달·생식 등 다양한 내분비계장애물질로 작용하여 지방 대사의 변화, 고환 위축, 생체이물 대사의 장애 등이 나타나는 것으로 보고되고 있다. 프탈레이트는 증발작용을 통해 모체로부터 떨어져 나와 공기 중으로 방출될 수 있으며, 이들 물질의 배출 계수는 온도에 따라 증가하는 것으로 알려져 있다.⁹⁻¹¹⁾ 또한, 대기 중으로 유입된 프탈레이트는 기체상 또는 입자상으로 재분배되거나 대기 중에서 산화, 광분해 작용과 같은 제거 과정을 거쳐 습식 혹은 건식으로 침적된다.¹²⁾ 프탈레이트류는 우리 생활에 밀접하게 연관된 다양한 제품에 광범위하게 이용되고 있기 때문에 경구, 흡입, 피부 등의 경로를 통해 쉽게 인체로 노출될 수 있으며, 음식의 포장이나 생산과정에서 프탈레이트가 식품으로 이행하여 간접적으로 섭취될 수 있다. 프탈레이트류의 주요 노출경로는 생활 속 다양한 제품들과의 접촉이나 공기의 흡입 등 여러 경로를 통해 노출이 이루어지며, 다양한 화장품 용기, 식품 포장 용기 등 플라스틱 제품에 일부 가소제로 사용되어 어린이의 경우 손과 입으로 가져가는 행동이나 장난감 등을 빠는 행동을 통해 노출될 가능성이 있다고 알려져 있다.¹³⁻¹⁵⁾

실내환경 내 존재하는 SVOCs는 발생원으로부터 방출된 가스상 SVOCs와 실내 부유먼지에 부착된 SVOCs로 구분할 수 있다.⁵⁾ SVOCs에 대한 노출은 공기 및 입자상 물질의 흡입, 피부 접촉 및 먼지 섭취를 포함하여 여러 노출경로별 노출량 평가가 이루어져오고 있으며, SVOCs에 대한 위해성평가는 주로 집먼지를 이용하여 수행되어지고 있다. 그러나 집먼지의 경우 청소에 의해 쉽게 제거되며, 섭취에 의한 노출만이 고려되어 최근 들어 실내환경에서 발생하는 SVOCs 노출에 의한 건강위해성

평가 방법 개발에 대한 다양한 연구들이 수행되어지고 있는 실정이다.^{4,16)}

이에 본 연구에서는 실내환경 내 실내공기 중 SVOCs의 노출 평가 방법을 제안하기 위한 목적으로, SVOCs 중 프탈레이트를 대상으로 실 거주환경에서 측정된 집먼지 및 유기필름에 포함된 농도를 분배계수를 통해 기체상 농도로 추정하여 호흡에 의한 흡입 노출평가를 수행함으로써 향후 실내 유기필름을 이용한 SVOCs의 노출평가 방법 개발에 관한 기초적 자료를 제공하고자 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상

본 연구에서는 집먼지 및 유기필름 중 프탈레이트의 노출 평가를 수행하기 위해 광범위하게 사용되고 있는 프탈레이트류 중 소비량이 가장 많고, 국내·외 선형연구^{9,13,16)}에서 공통적으로 많은 평가가 이루어진 Di (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), Dibutyl phthalate (DBP), Dimethyl phthalate (DMP), Diethyl phthalate (DEP), Diisobutyl phthalate (DiBP), Butylbenzyl phthalate (BBP), Di-n-octyl phthalate (DNOP), Di-n-hexyl phthalate (DNHP) 8종을 대상으로 측정 및 분석을 실시하였다.

2. 측정 및 분석

실 거주환경에서의 집먼지 및 유기필름 중 연구대상 8종의 프탈레이트 농도 조사는 2020년 9월부터 11월까지 약 2개월 동안 수도권(서울, 경기, 인천)에 위치한 주거환경 중 사전동의를 얻은 110가구를 대상으로 이루어졌다. 프탈레이트의 시료채취는 집먼지와 유기필름으로 나누어 각각 측정하였다. 생활환경 중 집먼지는 특수 제작된 집먼지 채취용 진공청소기에 Dust filter를 Dust collector에 설치한 후 채취하였으며, 이 때 충분한 양의 집먼지를 채취하지 못 할 경우 가구 내에서 사용하는 청소기의 먼지를 일부 채취하였다. 집먼지 시료채취 시 머리카락이나 섬유 등 단백질이 채취되는 경우 속슬렛 추출할 때 응고되어 분석기기의 고장을 유발시킬 수 있어 머리카락 채취를 최소화할 수 있는 공기청정기 필터와 에어컨 필터 등에 수집된 먼지를 채취하였다. 포집된 먼지는 자외선과 프탈레이트의 노출을 피하기 위해 갈색바이알에 넣어 아이스박스에 담아 6°C 이하의 저온에서 보관하였다.

생활환경 중 유기필름은 방을 별도의 공간으로 분할하여 거실, 부엌, 화장실 각 공간에서 같은 면적으로 시료채취를 진행하였으며, 가구 내 불투수성 표면(부엌 후드, 부엌 유리창, 거실 베란다 유리창, 화장실 거울 등)에 생성된 유기필름을 Ethyl Alcohol 99.9%를 묻힌 Wiper (TX-3211 Alphawipe, Texwiper)로 Wiping하여 채취하였다. 채취완료 후 Wiper를 집먼지와 마찬가지로 자외선과 프탈레이트의 노출을 피하기 위해 갈색바

이알에 넣어 아이박스에 담아 6°C 이하의 저온에서 보관하였다.

집먼지 및 유기필름 중 프탈레이트 분석은 EPA 8270E (SW-846) 및 국립환경과학원 고시 안전확인대상 생활화학제품 시험 검사 기준에 근거하여 GC/MSD (Gas Chromatography/mass selective detector, Agilent 5977B GC/MSD, Agilent 8890, USA)를 이용하여 분석하였으며, 프탈레이트 분석을 위한 컬럼 (Column)은 DB-5 (길이 60 m×내경 0.32 mm×필름두께 0.25 μm, Agilent, USA)를 사용하였다. Injector 280°C를 유지하였으며, 컬럼 온도는 70°C에서 1분간 유지한후 120°C까지 분당 25°C씩 상승시킨 후 다시 분당 4°C까지 상승시켜 150°C에서 2분간 유지하였다. 그 후 300°C까지 분당 4°C씩 상승시켜 8분간 유지하였다. MS는 EI (Electron Ionization)에서 70 eV 상태로 분석하였다.

3. 분석의 정도관리

본 연구에서는 프탈레이트 회수율(Recovery) 시험을 진행하고자 속슬렛 추출방법을 이용하였다. 추출용액 DCM (Dichloromethane) 20% (in hexane v/v)를 이용하여 속슬렛 추출 컵에 추출용액 100 mL와 Wiper를 함께 넣은 후 240분 속슬렛 추출하고 5 mL 부피플라스크에 정량하여 회수율을 확인하였다. 회수율은 측정 농도를 스파이킹 한 이론농도로 나누어 백분율로 계산하였다. 분석 대상 프탈레이트류의 회수율은 각 표준용액으로 3회 반복하여 측정하였으며, 프탈레이트별 평균 회수율은 각각 DEHP 96.85%, DBP 101.87%, DMP 103.20%, DEP 109.15%, DiBP 91.78%, BBP 81.31%, DNOP 89.83%, DNHP 88.03%로 나타났다. 프탈레이트의 매질별 방법검출한계(Method Detection Limit, MDL)는 표준편차(Standard Deviation, S.D)에 3.14를 곱하여 계산하였으며, 방법검출한계는 먼지시료에서 각각 DEHP 22.03 ng/g, DBP 6.40 ng/g, DMP 4.80 ng/g, DEP 17.08 ng/g, DiBP 19.85 ng/g, BBP 10.98 ng/g, DNOP 23.41 ng/g, DNHP 13.80 ng/g, 유기필름에서 각각 DEHP 110.15 ng/m², DBP 32.01 ng/m², DMP 23.99 ng/m², DEP 85.40 ng/m², DiBP 99.23 ng/m², BBP 54.89 ng/m², DNOP 117.05 ng/m², DNHP 68.99 ng/m²였다.

4. 노출평가

4.1. 기체상 프탈레이트 농도 추정

본 연구에서는 집먼지 및 유기필름 노출평가를 수행하고자 분배계수를 활용하여 집먼지 및 유기필름 중 프탈레이트를 기체상 프탈레이트 농도로 추정하였으며, 산출한 공기 중 가스상 농도를 기반으로 호흡으로 인한 흡입 노출을 가정하고 평가를 진행하였다. 집먼지 및 유기필름 중 프탈레이트를 실내 기체상 프탈레이트 농도로 추정하는 식¹⁷⁾은 다음과 같다.

$$C_g = \frac{C_d}{K_d} \tag{1}$$

$$K_d = \frac{f_{om,d} \times K_{oa}}{\rho_d} \tag{2}$$

여기서 C_g은 기체상 프탈레이트 농도(μg/m³), C_d는 집먼지 중 프탈레이트 농도(μg/g), K_d는 먼지와 기체상 사이의 분배계수(m³/day), f_{om,d}는 유기물 비율, K_{oa}는 옥탄올-공기 분배계수, ρ_d는 먼지 밀도(g/m³)이다. K_d를 구하는 식은 식 (2)와 같으며, 이 때, f_{om,d}는 0.2로 가정하였으며, ρ_d는 2×10⁶ g/m³로 가정하여 계산하였다.¹³⁾

$$C_g = \frac{C_F}{K_{oa} \times f_{om} \times F_t} \tag{3}$$

여기서 C_F는 유기필름 중 프탈레이트 농도(μg/m²), f_{om}는 유기물 비율, K_{oa}는 옥탄올-공기 분배계수, F_t는 유기필름의 두께(m)이며, 식 (2)를 사용하여 유기필름 중 프탈레이트 농도를 통해 기체상 프탈레이트 농도를 추정하였다. 이 때 유기물 비율은 0.4¹⁸⁾로 가정하였으며, 유기필름 두께는 1 μm로 가정하였다.¹⁹⁾ 본 연구에서 사용된 분배계수의 값은 다음 Table 1과 같다.

4.2. 노출평가

본 연구에서는 집먼지 및 유기필름의 노출평가를 수행하고자 집먼지 중 프탈레이트와 유기필름 중 프탈레이트를 구분하여 노출평가를 수행하였다. 집먼지 및 유기필름 중 프탈레이트에 포함된 농도를 기체상 농도로 전환하여 호흡으로 인한 흡입 노출을 가정하고 평가를 진행하였으며, 프탈레이트에 노출된 거주자의 노출량을 산출하고자 노출대상을 연령에 따라 미취학아동(0~6세), 취학아동(7~12세), 청소년(13~18세), 성인(19세 이상)의 네 그룹으로 구분하였다. 흡입으로 인한 노출평가는 집먼지 및 유기필름에서 기인한 프탈레이트 오염물질 농도와 노출시나리오에 따른 노출계수 값을 활용하여 일일평균

Table 1. Parameter values in this study

Pollutants	Molecular weight	LogK _{oa}	K _d (m ³ /day)
DEHP	390.57	12.557	3.63E+05
DBP	278.4	8.631	4.27E+01
DMP	194.19	6.694	4.90E-01
DEP	222.24	7.023	1.58E+00
DiBP	278.35	8.412	2.57E+01
BBP	312.37	9.018	1.05E+02
DNOP	390.57	12.079	1.20E+05
DNHP	334.45	9.8	6.31E+02

Table 2. Exposure factors in this study

Category	Age	Value	Reference
Inhalation rate (m ³ /day)	0~6	9.94	Korean Exposure Factors Handbook for Children (MoE, 2019) ²¹⁾
	7~12	11.84	
	13~18	14.68	
	19~	14.62	
Body weight (kg)	0~6	10.4	Korean Exposure Factors Handbook for Children (MoE, 2019) ²¹⁾
	7~12	36.9	
	13~18	59.9	
	19~	64.5	
Exposure frequency (day/yr)	0~6	350	This study
	7~12		
	13~18		
	19~		
Exposure duration (yr)	0~6	6	This study
	7~12	6	
	13~18	6	
	19~	70	
Exposure time (hr/day)	0~6	18.10	Korean Exposure Factors Handbook for Children (MoE, 2019) ²¹⁾
	7~12	15.93	
	13~18	13.47	
	19~	15.86	
Average time (day)	0~6	2,100	This study
	7~12	2,100	
	13~18	2,100	
	19~	25,550	

Table 3. Concentration distribution and detection rate in house dust

Pollutants	N	DR* (%)	Concentration distribution (μg/g)				
			Arithmetic mean	S.D. [†]	Min [‡]	Max [§]	Median
DEHP	110	100.0	1,870.52	5,430.43	14.90	55,257.14	939.12
DBP	110	99.1	169.80	634.40	N.D.	4,757.14	38.44
DMP	110	11.8	2.12	2.17	N.D.	7.14	1.09
DEP	110	45.5	3.60	8.73	N.D.	57.14	1.15
DiBP	110	93.6	56.83	289.89	N.D.	2,864.29	9.28
BBP	110	96.4	115.98	1,059.09	N.D.	10,914.29	6.33
DNOP	110	58.2	17.87	47.05	N.D.	311.73	4.54
DNHP	110	14.5	3.77	3.42	N.D.	10.01	2.24

*DR: detection rate.

†S.D.: standard deviation.

‡Min: minimum.

§Max: maximum.

||N.D.: Not detected.

노출량(Average Daily Dose, ADD)을 산출하였으며, 다음 식과 같다.

$$ADD(mg/kg/day) = \frac{C \times IR \times EF \times ED \times ET}{BW \times AT} \quad (4)$$

여기서, C는 기체상 프탈레이트 농도(mg/m³), IR은 호흡률(m³/day), EF는 노출 빈도(day/yr), ED는 노출 기간(yr), ET는 노출 시간(hr/day), BW는 체중(kg), LT는 평균 노출 일수(day) 그리고 AT는 평균 노출 기간(day)이다.

본 연구에서 노출평가에 사용된 노출계수 및 자료의 출처는 다음 Table 2에 나타내었다. 성인의 체중, 호흡률 및 노출 시간에 대한 노출계수는 국립환경과학원에서 발간한 한국인의 노출계수 핸드북²⁰⁾ 자료를 활용하였고, 미취학아동, 취학아동 및 청소년의 체중, 호흡률 및 노출 시간에 대한 노출계수는 국립환경과학원의 한국 어린이 노출계수 핸드북²¹⁾을 활용하였으며 0세부터 18세까지의 체중, 호흡률 및 노출 시간의 평균을 계산하여 사용하였다. 거주환경에서의 프탈레이트 노출평가를 진

행하였으므로, 한국인의 실내환경 중 주택에서 머무르는 시간을 활용하였다. 또한, 노출 빈도는 한국인이 1년간 실내에서 머무르는 일 수를 350일로 가정하여 평가를 진행하였다.

III. 결 과

1. 집먼지 및 유기필름 중 프탈레이트 농도 분포

Table 3은 집먼지 중 프탈레이트의 농도 및 검출율에 대한 조사 결과를 정리하여 나타낸 것이다. 조사된 110가구에서 집먼지 중 프탈레이트의 검출율을 살펴보면 DEHP 100%, DBP 99.1%, DMP 11.8%, DEP 45.5%, DiBP 93.6%, BBP 96.4%, DNOP 58.2% 그리고 DNHP 14.5%으로 조사되었다.

집먼지 중 프탈레이트의 평균농도를 살펴보면, DEHP가 1,870.52±5,430.43 µg/g으로 가장 높은 농도를 나타내었으며, 두 번째로 높게 검출된 물질은 DBP로 169.80±634.40 µg/g으로 나타났다. 또한, DMP가 2.12±2.17 µg/g로 가장 낮은 농도를 나타내었다. 집먼지 중 프탈레이트 농도 분포는 Fig. 1에 나타내었으며, DEHP>DBP>BBP>DiBP>DNOP>DNHP>DEP>DMP 순으로 나타났다.

Table 4는 유기필름 중 프탈레이트의 농도 및 검출율에 대한 조사 결과를 정리하여 나타낸 것이다. 조사된 110가구에서 유기필름 중 프탈레이트의 검출율을 살펴보면 DEHP 100%, DBP 100%, DMP 20%, DEP 54.5%, DiBP 96.4%, BBP 99.1%, DNOP 82.7% 그리고 DNHP 12.7%로 조사되었다.

유기필름 중 프탈레이트의 평균농도를 살펴보면, DEHP는 124.99±193.77 µg/m²으로 가장 높은 농도를 나타내었으며, 두 번째로 높게 검출된 물질은 DBP로 23.75±47.04 µg/m²으로 나타났다. 또한, 집먼지와 마찬가지로 DMP가 0.11±0.09 µg/m²로 가장 낮은 농도를 나타내었다. 유기필름 중 프탈레이트 농도 분포는 Fig. 2에 나타내었으며, DEHP>DBP>DiBP>DNOP>BBP>DNHP>DEP>DMP 순으로 나타났다.

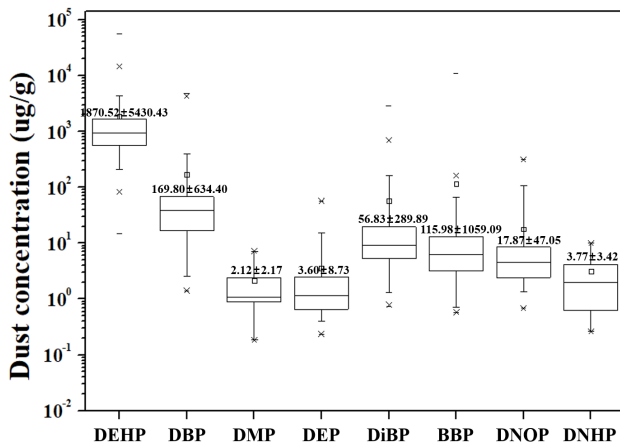


Fig. 1. Distribution of concentration of phthalates in house dust

Table 4. Concentration distribution and detection rate in organic films

Pollutants	N	DR (%)	Concentration distribution (µg/m ²)				
			Arithmetic mean	S.D.	Min	Max	Median
DEHP	110	100.0	124.99	193.77	3.28	1,239.20	61.56
DBP	110	100.0	23.75	47.04	0.06	251.15	6.90
DMP	110	20.0	0.11	0.09	N.D.	0.31	0.07
DEP	110	54.5	0.52	0.65	N.D.	3.07	0.29
DiBP	110	96.4	9.90	22.04	N.D.	158.85	2.15
BBP	110	99.1	1.49	2.30	N.D.	15.08	0.58
DNOP	110	82.7	6.76	28.51	N.D.	216.26	0.39
DNHP	110	12.7	1.10	0.76	N.D.	2.34	1.27

2. 집먼지 및 유기필름에서 기인한 기체상 프탈레이트 농도 추정

본 연구의 대상물질인 프탈레이트 8종의 집먼지 및 유기필름 농도와 분배계수를 이용하여 집먼지 및 유기필름에서 기인한 기체상 프탈레이트 농도를 추정하였으며 결과는 다음 Table 5에 나타내었다.

집먼지에서 측정된 프탈레이트의 농도와 분배계수를 이용하여 추정된 기체상 프탈레이트 농도의 중앙값을 살펴보면 DMP가 $2.22 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 가장 높은 농도를 나타낸 반면, DNOP가 $3.78 \times 10^{-4} \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 가장 낮은 농도를 나타내었다. 또한,

DEHP는 $4.10 \times 10^{-4} \sim 1.52 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 넓은 농도범위를 나타내는 것으로 조사되었다.

유기필름에서 측정된 프탈레이트의 농도와 분배계수를 이용하여 추정된 기체상 프탈레이트의 농도의 중앙값을 살펴보면 DEP가 $6.76 \times 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 가장 높은 농도를 나타낸 반면, DNOP가 $8.17 \times 10^{-7} \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 가장 낮은 농도를 나타내었다. 또한, DBP는 $3.36 \times 10^{-4} \sim 1.47 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 넓은 농도범위를 나타내는 것으로 조사되었다.

3. 기체상 프탈레이트 노출평가

집먼지 및 유기필름에서 기인한 기체상 프탈레이트에 대해 연령대별 흡입 노출에 대한 평균일일노출량 산출 결과는 다음 Table 6과, Fig. 3에 나타내었다.

실측 조사된 집먼지 및 유기필름 중 프탈레이트 농도의 정규 분포 검정을 수행한 결과 데이터가 한쪽으로 치우쳐있는 것으로 조사되어, 프탈레이트의 노출평가는 중앙값(median)을 사용하여 흡입 노출량을 산출하였다. 집먼지 중 프탈레이트 농도를 기체상 프탈레이트 농도로 추정 후 연령대별 흡입 노출에 대한 평균일일노출량 산출 결과 연구대상 오염물질인 DEHP, DBP, DMP, DEP, DiBP, BBP, DNOP, DNHP 모두 미취학아동에서 각각 $1.86 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3$, $6.49 \times 10^{-4} \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.60 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$, $5.25 \times 10^{-4} \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2.60 \times 10^{-4} \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4.35 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2.73 \times 10^{-7} \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2.56 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 연령층에 비해 높은 것으로 나타났다.

집먼지에서 기인한 기체상 프탈레이트의 경우 조사된 모든

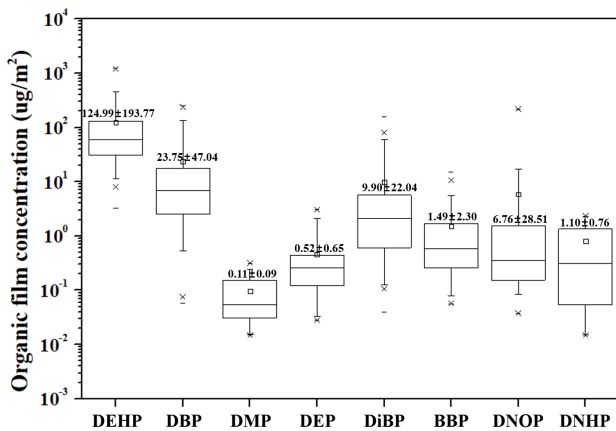


Fig. 2. Distribution of concentration of phthalates in organic films

Table 5. The estimated gas-phase phthalate concentration using house dust and organic films

	Pollutants	Concentration distribution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		Mean	Min	Max	Median
House dust	DEHP	5.15×10^{-2}	4.10×10^{-4}	1.52×10^1	2.59×10^{-2}
	DBP	3.98×10^1	3.27×10^{-2}	1.11×10^2	9.00×10^{-1}
	DMP	4.32×10^1	3.78×10^{-1}	1.43×10^1	2.22×10^1
	DEP	2.28×10^1	1.49×10^{-1}	3.62×10^1	7.28×10^{-1}
	DiBP	2.21×10^1	2.82×10^{-2}	1.11×10^2	3.61×10^{-1}
	BBP	1.10×10^1	5.37×10^{-3}	1.04×10^2	6.03×10^{-2}
	DNOP	1.49×10^{-3}	5.70×10^{-5}	2.60×10^{-2}	3.78×10^{-4}
	DNHP	5.97×10^{-3}	4.14×10^{-4}	1.59×10^{-2}	3.55×10^{-3}
Organic films	DEHP	8.67×10^{-5}	2.27×10^{-6}	8.59×10^{-4}	4.27×10^{-5}
	DBP	1.39×10^{-1}	3.36×10^{-4}	1.47×10^1	4.03×10^{-2}
	DMP	5.50×10^{-2}	1.22×10^{-2}	1.59×10^{-1}	3.50×10^{-2}
	DEP	1.24×10^{-1}	2.16×10^{-2}	7.27×10^{-1}	6.76×10^{-2}
	DiBP	9.58×10^{-2}	1.03×10^{-3}	1.54×10^1	2.09×10^{-2}
	BBP	3.57×10^{-3}	1.35×10^{-4}	3.62×10^{-2}	1.40×10^{-3}
	DNOP	1.41×10^{-5}	2.52×10^{-7}	4.51×10^{-4}	8.17×10^{-7}
	DNHP	4.37×10^{-4}	4.95×10^{-5}	9.29×10^{-4}	5.03×10^{-4}

Table 6. The estimated phthalate inhalation exposure

	Pollutants	Age	ADD (mg/kg/day)			
			Mean	Min	Max	Median
House dust	DEHP	0~6	3.71×10^{-5}	2.96×10^{-7}	1.10×10^{-3}	1.86×10^{-5}
		7~12	1.10×10^{-5}	8.74×10^{-8}	3.24×10^{-4}	5.51×10^{-6}
		13~18	7.09×10^{-6}	5.65×10^{-8}	2.09×10^{-4}	3.56×10^{-6}
		19~	7.40×10^{-6}	5.90×10^{-8}	2.19×10^{-4}	3.72×10^{-6}
	DBP	0~6	2.87×10^{-3}	2.36×10^{-5}	8.03×10^{-2}	6.49×10^{-4}
		7~12	8.47×10^{-4}	6.97×10^{-6}	2.37×10^{-2}	1.92×10^{-4}
		13~18	5.47×10^{-4}	4.50×10^{-6}	1.53×10^{-2}	1.24×10^{-4}
		19~	5.71×10^{-4}	4.70×10^{-6}	1.60×10^{-2}	1.29×10^{-4}
	DMP	0~6	3.12×10^{-3}	2.73×10^{-4}	1.05×10^{-2}	1.60×10^{-3}
		7~12	9.21×10^{-4}	8.05×10^{-5}	3.10×10^{-3}	4.72×10^{-4}
		13~18	5.95×10^{-4}	5.20×10^{-5}	2.01×10^{-3}	3.05×10^{-4}
		19~	6.21×10^{-4}	5.43×10^{-5}	2.09×10^{-3}	3.19×10^{-4}
	DEP	0~6	1.64×10^{-3}	1.08×10^{-4}	2.61×10^{-2}	5.25×10^{-4}
		7~12	4.85×10^{-4}	3.18×10^{-5}	7.70×10^{-3}	1.55×10^{-4}
		13~18	3.13×10^{-4}	2.06×10^{-5}	4.97×10^{-3}	1.00×10^{-4}
		19~	3.27×10^{-4}	2.15×10^{-5}	5.19×10^{-3}	1.05×10^{-4}
	DiBP	0~6	1.59×10^{-3}	2.04×10^{-5}	8.03×10^{-2}	2.60×10^{-4}
		7~12	4.71×10^{-4}	6.01×10^{-6}	2.37×10^{-2}	7.69×10^{-5}
		13~18	3.04×10^{-4}	3.88×10^{-6}	1.53×10^{-2}	4.97×10^{-5}
		19~	3.18×10^{-4}	4.06×10^{-6}	1.60×10^{-2}	5.19×10^{-5}
	BBP	0~6	7.96×10^{-4}	3.87×10^{-6}	7.49×10^{-2}	4.35×10^{-5}
		7~12	2.35×10^{-4}	1.14×10^{-6}	2.21×10^{-2}	1.28×10^{-5}
		13~18	1.52×10^{-4}	7.38×10^{-7}	1.43×10^{-2}	8.30×10^{-6}
		19~	1.59×10^{-4}	7.71×10^{-7}	1.49×10^{-2}	8.66×10^{-6}
DNOP	0~6	1.07×10^{-6}	4.11×10^{-8}	1.87×10^{-5}	2.73×10^{-7}	
	7~12	3.17×10^{-7}	1.21×10^{-8}	5.53×10^{-6}	8.06×10^{-8}	
	13~18	2.05×10^{-7}	7.87×10^{-9}	3.57×10^{-6}	5.21×10^{-8}	
	19~	2.14×10^{-7}	8.19×10^{-9}	3.73×10^{-6}	5.44×10^{-8}	
DNHP	0~6	4.30×10^{-6}	2.98×10^{-7}	1.14×10^{-5}	2.56×10^{-6}	
	7~12	1.27×10^{-6}	8.81×10^{-8}	3.38×10^{-6}	7.57×10^{-7}	
	13~18	8.21×10^{-7}	5.69×10^{-8}	2.18×10^{-6}	4.89×10^{-7}	
	19~	8.57×10^{-7}	5.94×10^{-8}	2.28×10^{-6}	5.10×10^{-7}	
Organic films	DEHP	0~6	6.25×10^{-8}	1.64×10^{-9}	6.19×10^{-7}	3.08×10^{-8}
		7~12	1.85×10^{-8}	4.84×10^{-10}	1.83×10^{-7}	9.09×10^{-9}
		13~18	1.19×10^{-8}	3.13×10^{-10}	1.18×10^{-7}	5.87×10^{-9}
		19~	1.24×10^{-8}	3.27×10^{-10}	1.23×10^{-7}	6.13×10^{-9}
	DBP	0~6	1.00×10^{-4}	2.42×10^{-7}	1.06×10^{-3}	2.91×10^{-5}
		7~12	2.96×10^{-5}	7.17×10^{-8}	3.13×10^{-4}	8.59×10^{-6}
		13~18	1.91×10^{-5}	4.63×10^{-8}	2.02×10^{-4}	5.55×10^{-6}
		19~	1.99×10^{-5}	4.83×10^{-8}	2.11×10^{-4}	5.79×10^{-6}
	DMP	0~6	3.97×10^{-5}	8.82×10^{-6}	1.15×10^{-4}	2.52×10^{-5}
		7~12	1.17×10^{-5}	2.61×10^{-6}	3.39×10^{-5}	7.46×10^{-6}
		13~18	7.57×10^{-6}	1.68×10^{-6}	2.19×10^{-5}	4.82×10^{-6}
		19~	7.90×10^{-6}	1.76×10^{-6}	2.28×10^{-5}	5.03×10^{-6}

Table 6. Continued

Pollutants	Age	ADD (mg/kg/day)				
		Mean	Min	Max	Median	
Organic films	DEP	0~6	8.92×10^{-5}	1.56×10^{-5}	5.24×10^{-4}	4.87×10^{-5}
		7~12	2.63×10^{-5}	4.61×10^{-6}	1.55×10^{-4}	1.44×10^{-5}
		13~18	1.70×10^{-5}	2.98×10^{-6}	1.00×10^{-4}	9.30×10^{-6}
		19~	1.78×10^{-5}	3.11×10^{-6}	1.04×10^{-4}	9.71×10^{-6}
	DiBP	0~6	6.91×10^{-5}	7.42×10^{-7}	1.11×10^{-3}	1.50×10^{-5}
		7~12	2.04×10^{-5}	2.19×10^{-7}	3.28×10^{-4}	4.44×10^{-6}
		13~18	1.32×10^{-5}	1.42×10^{-7}	2.12×10^{-4}	2.87×10^{-6}
		19~	1.38×10^{-5}	1.48×10^{-7}	2.21×10^{-4}	3.00×10^{-6}
	BBP	0~6	2.58×10^{-6}	9.75×10^{-8}	2.61×10^{-5}	1.01×10^{-6}
		7~12	7.61×10^{-7}	2.88×10^{-8}	7.71×10^{-6}	2.98×10^{-7}
		13~18	4.92×10^{-7}	1.86×10^{-8}	4.98×10^{-6}	1.92×10^{-7}
		19~	5.13×10^{-7}	1.94×10^{-8}	5.20×10^{-6}	2.01×10^{-7}
	DNOP	0~6	1.02×10^{-8}	1.82×10^{-10}	3.25×10^{-7}	5.89×10^{-10}
		7~12	3.00×10^{-9}	5.37×10^{-11}	9.60×10^{-8}	1.74×10^{-10}
		13~18	1.94×10^{-9}	3.47×10^{-11}	6.20×10^{-8}	1.12×10^{-10}
		19~	2.02×10^{-9}	3.62×10^{-11}	6.47×10^{-8}	1.17×10^{-10}
DNHP	0~6	3.15×10^{-7}	3.57×10^{-8}	6.69×10^{-7}	3.63×10^{-7}	
	7~12	9.31×10^{-8}	1.05×10^{-8}	1.98×10^{-7}	1.07×10^{-7}	
	13~18	6.01×10^{-8}	6.81×10^{-9}	1.28×10^{-7}	6.92×10^{-8}	
	19~	6.28×10^{-8}	7.11×10^{-9}	1.33×10^{-7}	7.23×10^{-8}	

물질에서 미취학아동에서 프탈레이트의 흡입량이 가장 높은 것으로 나타났으며, 미취학아동>취학아동>성인>청소년 순으로 흡입 노출량이 높은 것으로 나타났다. 흡입 노출량은 모든 연령대에서 DMP가 가장 높았으며, DNOP에서 가장 낮은 것으로 나타났다.

유기필름 중 프탈레이트 농도를 기체상 프탈레이트 농도로 추정 후 연령대별 흡입 노출에 대한 평균일일노출량 산출 결과 연구대상 오염물질인 DEHP, DBP, DMP, DEP, DiBP, BBP, DNOP, DNHP 모두 미취학아동에서 $3.08 \times 10^{-8} \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2.91 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2.52 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4.87 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.50 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.01 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$, $5.89 \times 10^{-10} \mu\text{g}/\text{m}^3$, $3.63 \times 10^{-7} \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 연령층에 비해 높은 것으로 나타났다.

유기필름에서 기인한 기체상 프탈레이트의 경우 조사된 집먼지와 마찬가지로 조사된 모든 물질에서 미취학아동에서 프탈레이트의 흡입량이 가장 높은 것으로 나타났으며, 미취학아동>취학아동>성인>청소년 순으로 흡입 노출량이 높은 것으로 나타났다. 흡입 노출량은 모든 연령대에서 DEP가 가장 높았으며, DNOP가 가장 낮은 것으로 나타났다.

IV. 고 찰

다양한 생활화학제품에서 여러 종류의 SVOCs가 방출되어 지는 것으로 알려져 있으며, 이와 같이 방출된 SVOCs는 물리·화학적 특성에 따라 공기 중 입자, 집먼지 또는 유기필름 등 다양한 형태로 실내환경 중에 존재하는 것으로 보고되어지고 있다.^{3,4)} 그 중 유기필름 중 SVOCs는 분배계수를 통해 기체상, 입자상 SVOCs 및 집먼지에 부착되는 것으로 알려져 있다.¹⁸⁾ 또한, 유기필름은 동적 흡착 모델과 결합하여 일정 기간 동안 수동 공기 샘플러로서 기체상 농도를 근사할 수 있는 것으로 알려져 있으므로,⁵⁾ 본 연구는 유기필름과 분배계수를 통해 집먼지 및 유기필름 중 프탈레이트 농도를 공기 중 가스상 농도로 추정하여 호흡으로 인한 흡입 노출평가를 수행하였는데 큰 의의를 가지며, 향후 실내 유기필름을 이용한 SVOCs의 노출평가를 위한 기초적 자료로 활용되어질 수 있을 것으로 기대된다.

집먼지 중 프탈레이트의 농도 조사 결과 검출율이 90% 이상인 물질 중 DEHP, DBP, BBP 및 DiBP 순으로 높은 농도로 존재하는 것으로 나타났으며, 각각의 평균 농도는 $1,870.52 \pm 5,430.43 \mu\text{g}/\text{g}$, $169.80 \pm 634.40 \mu\text{g}/\text{g}$, $115.98 \pm 1,059.09 \mu\text{g}/\text{g}$ 및 $56.83 \pm 289.89 \mu\text{g}/\text{g}$ 으로 나타났다. 중국 가정집과 미

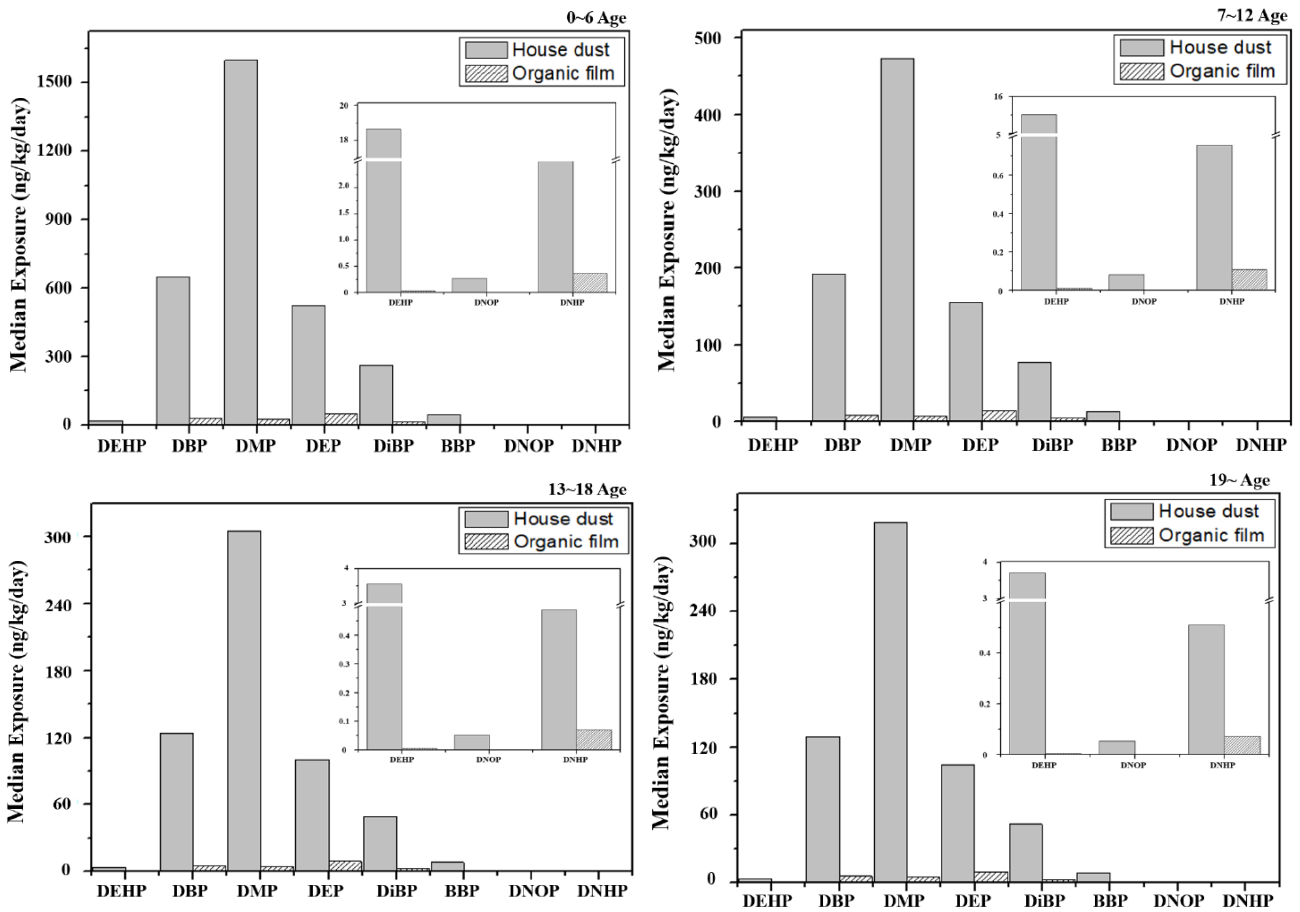


Fig. 3. Inhalation exposure to gas-phase phthalates from house dust and organic films

국 가정집에서 집먼지 중 프탈레이트 노출을 조사한 선행연구⁷⁾에 따르면 중국 가정집의 집먼지는 DEHP, DBP 및 DiBP 순으로 높은 농도로 존재하는 것으로 나타났으며, 각각의 농도 범위는 9.9~8,400 µg/g, 1.5~1,160 µg/g 그리고 2.6~299 µg/g으로 나타났다. 또한, 미국 가정집의 집먼지는 DEHP, BBP 및 DBP 순으로 높은 농도로 존재하는 것으로 나타났으며, 각각의 농도 범위는 37.2~9,650 µg/g, 3.6~393 µg/g 그리고 4.5~94.5 µg/g으로 나타났다. 본 연구에서 조사된 집먼지 중 프탈레이트의 농도 분포는 Guo et al.⁹⁾ 연구 결과와 유사하게 DEHP, DBP, BBP, DiBP의 농도가 높았으며, 태국 방콕에서 연구된 Promte et al.¹⁵⁾ 연구에서도 집먼지 중 프탈레이트 분석 결과 DEHP가 2,382 µg/g로 매우 높은 농도를 나타냈으며, DEHP>BBP>DBP>DiBP>DMP>DEP 순으로 높은 농도로 존재하는 것으로 나타났다. 이들의 농도 분포 차이에 대한 결과는 연구 표본 추출의 차이와 국가별 생활화학제품 사용패턴 및 생활환경 패턴의 차이에서 기인한 결과인 것으로 사료된다.

Fromme et al.²²⁾ 연구에 따르면 일반 거주환경에서 집먼지 중 프탈레이트 중 DEHP가 약 80% 정도를 차지한다고 보고하

였으며, 본 연구에서도 DEHP가 가장 높은 것으로 나타났으며, 이는 집먼지 중 프탈레이트는 DEHP가 대부분을 구성한다는 것을 나타내는 것으로 사료된다. 또한, 집먼지에서는 프탈레이트류 중 DEHP, DBP, BBP, DiBP가 대부분 높은 농도로 존재하는 것으로 나타났다.²²⁾

유기필름 중 프탈레이트의 농도 조사 결과 DEHP와 DBP가 각각 124.99±193.77 µg/m², 23.75±47.04 µg/m²으로 높은 농도를 나타내는 것으로 나타났다. 중국의 대학 기숙사에서 유기필름 중 프탈레이트 노출을 조사한 Wang et al.¹³⁾ 연구에 따르면 DEHP, DCHP (Dicyclohexyl phthalate) 및 DBP의 평균 농도가 각각 456 µg/m², 431 µg/m², 205 µg/m²으로 높은 농도로 나타났으며, Huo et al.⁵⁾ 연구에 따르면 DEHP>DBP>DiBP>DMP>BBP>DEP 순으로 높은 농도로 존재하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 유기필름 중 프탈레이트 구성 비율도 DEHP와 DBP가 높게 측정되어 유사한 결과를 나타내었다.

선행연구에 따르면 프탈레이트의 분자량이 증가함에 따라 증기압은 감소하고, 증기압이 낮은 프탈레이트는 입자상 물질

과 표면에 결합할 가능성이 높은 것으로 알려져 있으며, 증기압이 높은 프탈레이트는 기체상에서 더 풍부한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 공기 중에 존재하는 가스상 프탈레이트 농도 산출 결과 DBP, DMP, DEP 및 DiBP가 다른 프탈레이트에 비해 높은 농도로 존재하는 것으로 나타났으며, 이는 이들 물질이 프탈레이트류 중 상대적으로 낮은 분자량이기 때문에 공기 중 가스상에서 더 많이 존재하는 것으로 사료된다.^{3,18,23)}

본 연구에서 유기필름을 이용한 공기 중 가스상 프탈레이트의 흡입 노출에 따른 성인에 대한 노출평가 수행 결과 DEHP 6.13×10^{-9} mg/kg/day, DBP 5.79×10^{-6} mg/kg/day, DMP 5.03×10^{-6} mg/kg/day, DEP 9.71×10^{-6} mg/kg/day, DiBP 3.00×10^{-6} mg/kg/day, BBP 2.01×10^{-7} mg/kg/day, DNOP 1.17×10^{-10} mg/kg/day 그리고 DNHP 7.23×10^{-8} mg/kg/day 으로 나타났다. Wang et al.¹³⁾에 따르면 여자 기숙사와 남자 기숙사에서 유기필름을 이용하여 공기 중 가스상 프탈레이트 농도의 흡입 노출을 통해 노출평가를 수행하였으며, 각각의 노출량은 DEHP는 7.1×10^{-6} mg/kg/day, 4.3×10^{-6} mg/kg/day, DBP는 1.8×10^{-4} mg/kg/day, 2.0×10^{-4} mg/kg/day, DMP는 1.2×10^{-3} mg/kg/day, 8.6×10^{-4} mg/kg/day, DEP는 1.3×10^{-3} mg/kg/day, 8.2×10^{-4} mg/kg/day, DiBP는 8.3×10^{-5} mg/kg/day, 8.9×10^{-5} mg/kg/day, BBP는 6.2×10^{-8} mg/kg/day, 2.3×10^{-7} mg/kg/day, DNOP는 2.4×10^{-7} mg/kg/day, 2.7×10^{-7} mg/kg/day 그리고 DNHP는 1.8×10^{-6} mg/kg/day, 2.1×10^{-6} mg/kg/day로 나타났다. 본 연구의 모든 물질에서 흡입 노출량이 Wang et al.¹³⁾의 결과보다 낮은 값을 나타내고 있는 것으로 조사되었다.

그러나 본 연구는 실 거주환경에서 측정된 집먼지 및 유기필름 농도를 통해 기체상 프탈레이트 농도를 추정하여 흡입 노출평가를 수행한 연구로 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 실 거주환경에서 집먼지 및 유기필름 중 프탈레이트에 관한 측정은 2020년 9월부터 11월에 단기간에 측정되었으며, 수도권 지역(서울, 경기, 인천)에서만 측정이 이루어졌기 때문에 다양한 주거지역 거주자에 대한 노출평가를 수행하기에는 한계점이 있었다. 둘째, 집먼지 및 유기필름 중 프탈레이트의 노출평가를 수행함에 있어 대상 어린이의 연령 구분을 취학 여부에 따라 계층화하였으며, 어린이 노출계수의 경우 어린이 노출계수 핸드북에 제시되어 있는 연령대 구간별 노출계수의 평균을 계산하여 사용함으로써, 연령에 따라 노출계수의 차이가 확연한 저연령층 어린이의 노출평가에서 과대평가 혹은 과소평가가 이루어졌을 것으로 사료된다. 이에 향후 반복적인 조사를 통해 검정 및 보완이 필요하다고 사료된다. 셋째, 유기필름 중 SVOCs의 농도 분석 및 분배계수를 통해 실내환경 중 다양한 환경 매체에서의 농도 추정이 가능하여 다양한 노출경로를 통한 SVOCs의 노출평가가 가능한 것으로 알려져 있으나, 본 연구에서 노출평가를 수행함에 있어 집먼지 및 유기필름에서 기인한 기체상 프탈레

이트의 흡입 노출만을 고려하여 노출량을 산출하였다. 이에 본 연구의 노출평가는 생활환경에서 발생하는 SVOCs의 노출을 대표할 수 없음을 시사하고 있으며, 생활환경 내 프탈레이트를 포함한 SVOCs 노출에 따른 건강영향 평가 시 다양한 노출경로를 고려한 노출평가가 이루어지는 것이 필요하다고 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 실내 유기필름을 이용한 SVOCs의 노출평가 및 건강위해성평가 방법을 제안하는 기초자료를 제공하기 위한 선행연구의 일환으로 수행되었으며, 실 거주환경에서 측정된 집먼지 및 유기필름 농도와 분배계수를 통해 기체상 농도로 추정하여 흡입으로 인한 노출평가를 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하여 제시하면 다음과 같다.

1. 집먼지 중 프탈레이트의 평균농도를 살펴보면, DEHP>DBP>BBP>DiBP>DNOP>DNHP>DEP>DMP 순으로 나타났으며, 유기필름 중 프탈레이트의 평균농도를 살펴보면, DEHP>DBP>DiBP>DNOP>BBP>DNHP>DEP>DMP 순으로 나타났다.

2. 집먼지에서 측정된 프탈레이트의 농도와 분배계수를 이용하여 추정된 기체상 프탈레이트 농도의 중앙값을 살펴보면 DMP가 2.22×10^1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 가장 높은 농도를 나타내었으며, DNOP가 3.78×10^{-4} $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 가장 낮은 농도를 나타내었다. 유기필름에서 측정된 프탈레이트의 농도와 분배계수를 이용하여 추정된 기체상 프탈레이트의 농도의 중앙값을 살펴보면 DEP가 6.76×10^{-2} $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 가장 높은 농도를 나타내었으며, DNOP가 8.17×10^{-7} $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 가장 낮은 농도를 나타내었다.

3. 집먼지 및 유기필름에서 기인한 기체상 프탈레이트 노출평가 결과 모든 물질에서 미취학아동에서 프탈레이트의 흡입량이 가장 높은 것으로 나타났으며, 미취학아동>취학아동>성인>청소년 순으로 흡입 노출량이 높은 것으로 나타났다. 집먼지의 경우 흡입 노출량은 모든 연령대에서 DMP가 가장 높았으며, DNOP에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 유기필름의 경우 흡입 노출량은 모든 연령대에서 DEP가 가장 높았으며, DNOP가 가장 낮은 것으로 나타났다.

본 연구를 수행함에 있어 집먼지 및 유기필름에서 포함된 프탈레이트의 농도 및 분배계수를 통해 기체상 프탈레이트 농도를 추정하였으며, 기체상 프탈레이트 농도를 기반하여 호흡으로 인한 흡입 노출만을 가정하고 노출평가를 진행하였다. 이에 생활환경 내 프탈레이트를 포함한 SVOCs 노출에 따른 건강영향 평가 시 다양한 노출경로를 고려하지 못하였다는 데에 한계를 지니고 있으나, 본 연구는 실내 유기필름에서 기인한 실내공기 중 SVOCs의 흡입 노출에 따른 노출평가를 수행함으로써 본 연구결과가 향후 실내 유기필름을 이용한 SVOCs의 노출평가를 위한 기초적 자료로 활용되어질 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 생활화학제품 안전관리 기술개발사업(No. 2020002970006)의 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사드립니다.

본 연구는 2021년도 환경부 주관 「화학물질 안전관리 전문인력 양성사업」의 화학물질 특성화대학원 지원 사업을 통한 성과물임을 밝힙니다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

- National Institute of Environmental Research. The Study of Safety Standards on the Risk Concerned Products(I). Incheon: National Institute of Environmental Research; 2016.
- Huang L, Ernstoff A, Fantke P, Csiszar SA, Jolliet O. A review of models for near-field exposure pathways of chemicals in consumer products. *Sci Total Environ.* 2017; 574: 1182-1208.
- Weschler CJ, Nazaroff WW. SVOC partitioning between the gas phase and settled dust indoors. *Atmos Environ.* 2010; 44(30): 3609-3620.
- Li Y, Lu J, Yin X, Liu Z, Tong Y, Zhou L. Indoor phthalate concentrations in residences in Shihezi, China: implications for preschool children's exposure and risk assessment. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2019; 26(19): 19785-19794.
- Huo CY, Liu LY, Zhang ZF, Ma WL, Song WW, Li HL, et al. Phthalate esters in indoor window films in a Northeastern Chinese Urban Center: film growth and implications for human exposure. *Environ Sci Technol.* 2016; 50(14): 7743-7751.
- World Health Organization. Indoor Air Quality: Organic Air Pollutants: Report on a WHO Meeting, Berlin (West), 23-27 August 1987. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 1989.
- Seo JH. Consideration of measurement method for SVOCs emission rates. *Korean J Air-Cond Refrig Eng.* 2011; 23(5): 375-382.
- Sim KT, Song KB, Kim H, Kim IG, Lee CH, Park S, et al. Probabilistic exposure assessment of phthalates in children's products. *J Korean Soc Environ Anal.* 2018; 21(1): 41-51.
- Guo Y, Kannan K. Comparative assessment of human exposure to phthalate esters from house dust in China and the United States. *Environ Sci Technol.* 2011; 45(8): 3788-3794.
- Wittassek M, Wiesmüller GA, Koch HM, Eckard R, Dobler L, Müller J, et al. Internal phthalate exposure over the last two decades - a retrospective human biomonitoring study. *Int J Hyg Environ Health.* 2007; 210(3-4): 319-333.
- Baek KM, Seo YK, Baek SO. Occurrence of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons and phthalates in the ambient air of Yeosu-Gwangyang area. *J Korean Soc Atmos Environ.* 2019; 35(6): 767-785.
- 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 Korean Soc Environ Eng.* 2010; 32(5): 443-454.
- Wang L, Zhao A, Wang K, Liu F. Phthalates in glass window films in university dormitories in Beijing, China, and exposure implications. *Build Environ.* 2021; 196: 107813.
- Abb M, Heinrich T, Sorkau E, Lorenz W. Phthalates in house dust. *Environ Int.* 2009; 35(6): 965-970.
- Promtes K, Kaewboonchoo O, Kawai T, Miyashita K, Panyapinyopol B, Kwonpongsagoon S, et al. Human exposure to phthalates from house dust in Bangkok, Thailand. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.* 2019; 54(13): 1269-1276.
- Zhu Q, Jia J, Zhang K, Zhang H, Liao C, Jiang G. Phthalate esters in indoor dust from several regions, China and their implications for human exposure. *Sci Total Environ.* 2019; 652: 1187-1194.
- Rayne S. Using exterior building surface films to assess human exposure and health risks from PCDD/Fs in New York City, USA, after the World Trade Center attacks. *J Hazard Mater.* 2005; 127(1-3): 33-39.
- Weschler CJ, Nazaroff WW. Semivolatile organic compounds in indoor environments. *Atmos Environ.* 2008; 42(40): 9018-9040.
- Diamond ML, Gingrich SE, Fertuck K, McCarry BE, Stern GA, Billeck B, et al. Evidence for organic film on an impervious urban surface: characterization and potential teratogenic effects. *Environ Sci Technol.* 2000; 34(14): 2900-2908.
- National Institute of Environmental Research. Korean Exposure Factor Handbook. Incheon: National Institute of Environmental Research; 2019.
- National Institute of Environmental Research. Korean Exposure Factor Handbook for Children. Incheon: National Institute of Environmental Research; 2019.
- Fromme H, Lahrz T, Piloty M, Gebhart H, Oddoy A, Rüdén H. Occurrence of phthalates and musk fragrances in indoor air and dust from apartments and kindergartens in Berlin (Germany). *Indoor Air.* 2004; 14(3): 188-195.
- Weschler CJ, Nazaroff WW. SVOC exposure indoors: fresh look at dermal pathways. *Indoor Air.* 2012; 22(5): 356-377.

<저자정보>

전정인(대학원생), 이해원(연구원), 이승현(대학원생), 이정일(센터장), 이철민(교수)