



도시 저소득층의 프탈레이트 노출수준과 관련 요인: 거주 취약집단을 중심으로

한다희¹ , 강지윤² , 한서희³ , 김수현³ , 진호현² , 김차훈² , 임호섭⁴ , 김기태^{2*} , 조용민^{1,3*}

¹서경대학교 환경보건연구소, ²서울과학기술대학교 환경공학과, ³서경대학교 나노화학생명공학과, ⁴주식회사 스마트티브 생명환경연구소

Phthalate Exposure Levels and Related Factors in the Urban Low-Income Group: Focus on a Residential Disadvantaged Community

Dahee Han¹, Jiyun Kang², Seohui Han³, Su Hyeon Kim³, Hohyun Jin², Chahun Kim², Hosub Im⁴, Ki-Tae Kim^{2*}, and Yong Min Cho^{1,3*}

¹Institute for Environmental Health, Seokyeong University, ²Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Science and Technology, ³Department of Nano Chemical and Biological Engineering, Seokyeong University, ⁴Institute for Life & Environmental Technology, Smartive Corporation

ABSTRACT

Background: Socioeconomical disadvantaged communities are more vulnerable to environmental chemical exposure and associated health effects. However, there is limited information on chemical exposure among vulnerable populations in Korea.

Objectives: This study investigated chemical exposure among underprivileged populations. We measured urinary metabolites of phthalates in urban disadvantaged communities and investigated their correlations with residential environment factors and relative socioeconomic vulnerability.

Methods: Urine samples were collected from 64 residents in a disadvantaged community in Seoul. A total of eight phthalate metabolites were analyzed by liquid chromatography-mass spectroscopy. Analytical method used by the Korean National Environmental Health Survey (KoNEHS) was employed. Covariate variance analysis and general linear regression adjusted with age, sex and smoking were performed.

Results: Several phthalate metabolites, namely monomethyl phthalate (MMP), monoethyl phthalate (MEP), mono-(2-ethyl-5-hydroxyhexyl) phthalate (MEHHP), and mono-n-butyl phthalate (MnBP) had higher levels than those reported in the adults of 4th KoNEHS. Notably, the MnBP level was higher in the lower socioeconomic group (geometric mean [GM]=47.3 µg/g creatinine) compared to non-recipients (GM=31.9 µg/g creatinine) and the national reference level (GM=22.0, 28.2 and 32.2 µg/g creatinine for adults, 60's and 70's, respectively). When age, sex and smoking were adjusted, MEP and MnBP were significantly increased the lower socioeconomic group than non-recipients (p=0.014, p=0.023). The lower socioeconomic group's age of flooring were higher than non-recipients, not statistically significant.

Conclusions: These results suggest that a relatively low income and aged flooring could be considered as risk factors for increased levels of phthalate metabolites in socioeconomic vulnerable populations.

Key words: Environmental justice, socioeconomically vulnerable group, chemical exposure, phthalate metabolites

Received November 8, 2022

Revised December 10, 2022

Accepted December 20, 2022

Highlights:

- Those with lower socioeconomic status (SES) might be at a disadvantage in chemical exposure.
- In this pilot study, the residents in a relatively low-income village showed higher levels of mono-n-butyl phthalate in their urine.
- The present findings raise the issue of environmental injustice in relation to chemical exposure.

*Corresponding author:

Ki-Tae Kim: Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Republic of Korea
Tel: +82-2-970-6642

Fax: +82-2-970-5576

E-mail: ktkim@seoultech.ac.kr

Yong Min Cho: Institute for Environmental Health, Department of Nano Chemical and Biological Engineering, Seokyeong University, 124 Seokyeong-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02713, Republic of Korea
Tel: +82-2-940-2928

Fax: +82-2-940-7616

E-mail: neworder@skuniv.ac.kr



I. 서론

환경유해물질 노출에 대한 취약성은 개인적 특성에 따라 나타날 수도 있고, 거주지에 따라 결정되기도 한다. 취약지역 거주집단(Disadvantaged communities, DAC, 이하 '취약집단')은 경제사회적으로 취약하여 환경보건 유해요인에 대한 노출과 건강영향의 위험성이 높은 집단을 의미한다.¹⁾ 사회경제적 지위의 차이로 인해 특정 사회계층이 건강과 재산에서 겪는 환경피해, 환경혜택 및 환경책입의 불평등한 상태 또는 과정을 '환경불평등'으로 정의하는데,²⁾ 이에 따라 환경보건 측면에서의 환경불평등이란 경제사회적 취약성으로 인한 환경유해인자 노출 수준의 차이라고 할 수 있을 것이다. 또한 환경보건 관점의 환경정의(environmental justice)는 환경오염으로 인한 환경유해물질 노출과 건강영향으로부터 모든 개인이 보호받고 예방대책 수립에 참여할 수 있는 것이라고 할 수 있다.³⁾

낮은 가구 소득은 환경유해인자 노출을 증가시키는 요인이 될 수 있는 것으로 보고되고 있다. 미국 National Health and Nutrition Examination Study (NHANES) 자료를 사용한 연구들은 상대적으로 소득이 낮은 사람들의 생체시료 중에서 프탈레이트, 다환방향족탄화수소, 금속류, 비스페놀 등의 유해인자 농도가 증가한다고 보고하였고,^{4,5)} 국내에서도 가구 소득수준이 낮으면 혈중 수은과 카드뮴의 농도가 유의하게 증가하는 것으로 나타났다.⁶⁻⁸⁾ 국외 연구에서는 특히 소득이 낮은 집단일수록 프탈레이트 노출수준이 높다고 보고되었으며,^{4,5,9-11)} 주거환경 요인 또한 거주자의 프탈레이트 노출수준을 높인다는 연구결과도 존재한다. 실내 바닥에 polyvinyl chloride (PVC)를 사용한 경우나 6개월 이내 리모델링한 경우, 건축연도가 오래된 경우 소변 중 프탈레이트 대사체 또는 실내 먼지 중 프탈레이트의 농도가 증가하는 것으로 나타났다.¹²⁻¹⁸⁾ 그러나 나무, 리놀륨 등 다양한 마감재를 사용하는 국외 주택과 다르게,^{15,16)} 대부분 PVC가 함유된 장판과 실크벽지를 사용하는 우리나라 특성을 고려하여 노출평가 결과를 이용해 환경보건 측면의 환경정의, 환경불평등을 살펴 본 연구는 많지 않다.

지금까지의 국내 환경정의 연구들은 건강영향 또는 지역단위 환경 매체를 중심으로 한 노출평가가 주를 이루고 있어, 취약집단의 거주 및 생활환경을 고려하여 거주자들의 유해인자 노출수준을 평가한 연구는 일부에 머물고 있다.^{2,19,20)} 특히 국내에서 취약집단의 화학물질 노출수준을 환경정의 측면에서 해석하고, 환경보건정책 보안을 위해 고려해야 할 사회경제적 요인을 도출한 연구는 찾기 어려운 실정이다.

따라서 본 연구는 도시 지역에 거주하는 사회경제적 취약집단의 화학물질 노출수준이 높은지 확인하고, 집단 내에서도 사회경제적 취약성 정도에 따라 노출수준에 차이가 있는지 알아보기 위해 수행되었다. 특이한 주거형태를 보이는 서울의 한 지역 거주민들을 대상으로 소변을 채취하여 소변 중 프탈레이

트 대사체를 분석하였고, 주거환경 중 프탈레이트 노출에 기여하는 요인을 탐색하고자 설문조사를 진행하였다.

II. 재료 및 방법

1. Study area and subjects

서울특별시 N구에 위치한 B마을은 1967년부터 청계천, 중앙천 등지의 판잣집 철거민들이 강제 이주되면서 조성된 서울의 대표적 저소득층 집단 거주지역이다.²¹⁾ 1971년부터 2008년까지 개발제한구역으로 지정되어 인위적인 개발이 불가능하였던 탓에 마을이 처음 조성된 1960년대의 주거환경을 유지하고 있어 대부분의 주민이 단독주택에 거주하며,²²⁾ 거주자들 중 상당수가 기초생활수급대상 가구로 B마을이 속하는 J동에 거주하는 기초생활수급자 147가구 중 73.5%가 B마을에 거주하는 것으로 보고되고 있다.²³⁾

본 연구는 B마을에서 지역사회 홍보를 통하여 연구의 목적과 방법 등을 알린 후 참여에 희망하는 주민들을 모집하였다. 이후 대면 안내를 통하여 연구의 취지를 한번 더 설명한 후 자필 서명으로써 연구참여 동의를 득하였다. 대상 지역은 연구가 수행된 2021년 10월, 마을 재개발 논의가 진행되고 있었으며, 이에 따라 상당수의 주민들이 이주하고 100가구 남짓만 남아 있었다.²⁴⁾ 이들 중 85명이 연구참여에 동의하였으며, 대상 지역 비거주자 8명, 소변시료 미수거자 4명, 소변 중 크레아티닌 농도가 WHO 권고 범위인 30~300 mg/dL 내에 들지 않는 대상자 9명을 제외하고 총 64명에 대해 분석을 수행하였다.²⁵⁾

또한 설문조사를 통해 일반적 특성, 주거환경, 생활습관 등을 조사하였다. 설문조사의 내용 중 건물형태, 건축시기, 바닥재/벽재 교체 시기 등의 주거환경은 대상자들이 자가응답하였으며, 바닥재와 벽재 교체 시기를 모르거나 거주하는 동안 교체한 적 없다고 응답한 경우에는 건축시기를 바닥재/벽재 사용기간으로 대체하여 사용하였다. 사회경제적 취약집단(lower SES group)은 대상자 또는 대상자 가구가 기초생활수급자 또는 차상위계층에 해당되는 경우로 정의하였다.

본 연구는 연구의 목적 및 방법, 인체유래물 채취와 분석, 연구대상자 안전대책 및 개인정보보호대책 등에 대하여 서울과학기술대학교 생명윤리위원회의 심의를 받았다(IRB No. 2021-0025).

2. Samplings and laboratory analysis

현장에서 채취한 소변은 코니컬 튜브에 담아 실험실로 이송하여 분석일까지 -80°C에 보관하였고, 생체시료 분석은 국민환경보건 기초조사 프탈레이트류 분석 지정기관에서 수행하였다(Smartive Co., Hanam-si, Gyeonggi-do, Korea). 분석대상물질은 제4기 국민환경보건 기초조사에서 이루어지고 있는 소변 중 분석항목인 프탈레이트 대사체류 8종(MMP, mono methyl

phthalate; MCP, mono-3-carboxy-propyl phthalate; MEP, mono ethyl phthalate; MECPP, mono(2-ethyl-5-carboxypentyl) phthalate; MEHHP, mono(2-ethyl-5-hydroxyhexyl) phthalate; MnBP, mono-n-butyl phthalate; MEOHP, mono(2-ethyl-5-oxohexyl) phthalate; MBzP, mono-benzyl phthalate) 으로 하였으며, 분석방법은 국제 바이오모니터링 프로그램에서 적용하고 있는 방법들을 참고로 하여 국민환경보건 기초조사와 같이 액체크로마토그래피 질량분석기 방법을 적용하였다.²⁶⁻²⁸⁾

시료의 전처리하는 상온에서 녹인 시료에 각 분석 대상 물질에 해당하는 내부표준혼합용액 50 µL, 1 M Ammonium acetate 완충용액(pH 6.5) 1 mL와 β-glucuronidase from E. coli 10 µL를 첨가하여 37°C에서 180 rpm으로 16시간 가수분해 및 진탕하였다. 가수분해가 끝난 시료를 냉각시켜 2 N HCl 100 µL, 50% HCl 410 µL, 내부표준혼합용액 50 µL와 ethyl acetate 3 mL를 첨가한 후, 180 rpm으로 1시간 동안 진탕하였다. 이후 3,000 rpm으로 10분간 원심분리하여 액-액 추출 및 질소 농축하여 60% 아세토니트릴 용액(pH 4) 400 µL을 첨가한 후 2 mL vial에 옮겨 액체-크로마토그래피 질량분석기(Agilent 6490 Triple Quad LCMS; Agilent, Santa Clara, CA, USA)로 분석하였다.

매 배치마다 직선성, 재현성, 정확도 검정을 포함한 내부정도 관리를 수행하였다. 직선성 검정에서 검정곡선의 R²는 0.999 이상이었으며, 재현성 검정 결과 변동계수는 15% 이내, 회수율은 89.6~116.5% 사이였다. 검출한계는 MMP 0.06 µg/L, MCP 0.064 µg/L, MEP 0.103 µg/L, MECPP 0.070 µg/L, MEHHP 0.072 µg/L, MnBP 0.089 µg/L, MEOHP 0.069 µg/L, MBzP 0.044 µg/L였다. 정확도 검정을 위한 외부정도관리는 68th the German External Quality Assessment Scheme (G-EQUAS) 표준시료를 사용하여 수행하였고 적합 범위를 인정받았다.

3. Statistical analysis

소변 중 프탈레이트 대사체의 농도는 모두 크레아티닌 보정 단위(µg/g creatinine)를 사용하였고, 검출한계 미만 값은 검출한계/√2로 계산하여 적용하였다. 또한 소변 중 프탈레이트 농도는 정규분포를 나타내지 않고 우로 치우친(right skewed) 분포를 하였으므로, 기하평균을 대푯값으로 사용하여 통계분석을 실시하였다.

B마을 주민들의 소변 중 프탈레이트 농도를 우리나라 참고치와 비교하기 위해 제4기(2018~2020) 국민환경보건 기초조사(Korean National Environmental Health Survey, KoNEHS)의 성인, 60대, 70대 기하평균을 각각 자연로그 변환하여 일표본 t 검정을 수행하였다.²⁹⁾ 또한 Spearman's correlation test를 통해 소변 중 프탈레이트 대사체 농도 간 상관관계를 확인했고, Mann-Whitney test를 수행하여 인구학적 특성에 따른 소

변 중 프탈레이트 대사체 농도를 확인하였다. 이후 성별과 연령, 흡연을 보정한 후에도 기초생활수급자 여부가 프탈레이트 대사체 농도에 영향을 미치는지 확인하기 위해 공변량 분산분석을 수행하였다. 통계분석 프로그램은 SPSS 18.0 (IBM SPSS Statistics, Armonk, NY, USA)과 R 4.1.2 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)을 사용하였고, 양측 유의수준이 0.05 미만일 때 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 보았다.

Table 1. General characteristics and residential environment of study subjects (N=64)

Variables	N (%)	Mean±SD
Sex		-
Male	30 (46.9)	
Female	34 (53.1)	
Age (yr)	-	68.9±11.6
Residential period (yr)*	-	33.8±14.4
Job history [†]		
Yes	13 (20.3)	-
No	51 (79.7)	-
Lower SES group [‡]		-
Yes	16 (25.0)	
No	47 (73.4)	
Unknown	1 (1.6)	
Smoking		
Non-smoker	53 (82.8)	
Smoker	11 (17.2)	
House type		
Detached house	54 (84.4)	
Multi-family house	9 (14.0)	
Apartment	1 (1.6)	
Flooring material		
PVC	52 (81.2)	
Wood	1 (1.6)	
Unknown	11 (17.2)	
Age of house (yr)	-	49.6±13.6
Age of flooring (yr)	-	22.4±19.4
Age of wall (yr)	-	22.1±18.7

M: mean, SD: standard deviation, SES: socioeconomic status, PVC: polyvinyl chloride.

*Residential history in the study area.

[†]Lifetime history in chemical industries, mines, paint manufacturing, spraying, welding, smelting, fusing, plating, printing, petrochemistry, and plastic industries, etc.

[‡]Public aid recipients - basic living security received and near poor families.

III. 결 과

연구 대상자들의 일반적 특성과 주거 환경은 Table 1과 같다. 총 64명 중 여성이 34명(53.1%)으로 더 많았고, 평균 연령

은 68.9세였다. B마을에 거주한 기간은 평균 33.8년이었으며, 광산, 페인트 제조/도장, 배터리 제조 등 유해물질에 노출될 가능성이 있는 직업력을 가진 사람은 13명(20.3%)이었다. 기초생활수급자 및 차상위계층(이하 “기초생활수급자”)인 사람이

Table 2. Concentrations of phthalate metabolites and national references ($\mu\text{g/g}$ creatinine)

		Subjects (n=64)			4th KoNEHS		
		GM	Min	Max	Adults (n=3,796)	60's (n=924)	70's (n=492)
					GM		
Phthalate metabolites	MMP	4.93	0.93	33.4	3.14	4.32	4.69
	MCPP	0.27	0.03	15.2	0.43	0.53	0.56
	MEP	5.51	0.10	784	4.28	6.48	6.15
	MECPP	22.7	3.68	183	16.7	21.3	26.5
	MEHHP	17.8	4.51	87.6	13.0	16.9	19.7
	MnBP	35.1	14.8	160	22.0	28.2	32.2
	MEOHP	10.3	3.24	58.0	7.01	9.27	11.5
	MBzP	1.41	0.18	26.6	0.97	1.41	2.06

GM: geometric mean, KoNEHS: Korean National Environmental Health Survey, MMP: monomethyl phthalate, MCPP: mono-3-carboxy-propyl phthalate, MEP: mono ethyl phthalate, MECPP: mono(2-ethyl-5-carboxypentyl) phthalate, MEHHP: mono(2-ethyl-5-hydroxyhexyl) phthalate, MnBP: mono-n-butyl phthalate, MEOHP: mono(2-ethyl-5-oxohexyl) phthalate, MBzP: mono-benzyl phthalate.

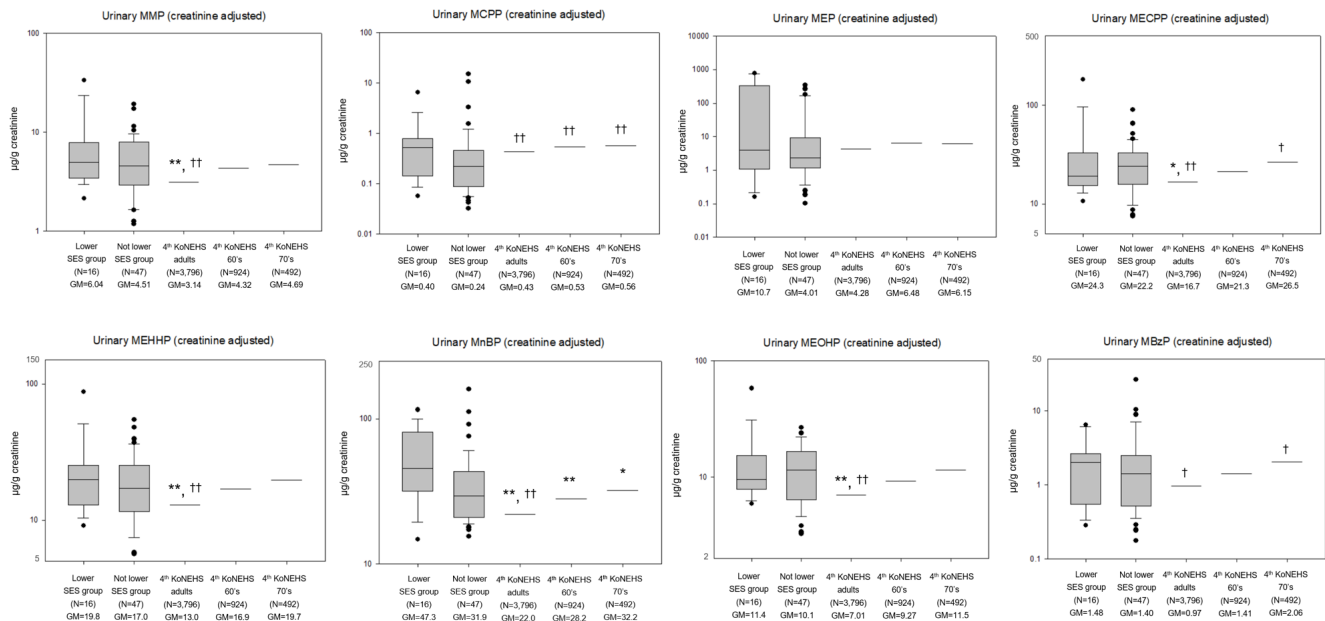


Fig. 1. Comparison of phthalate metabolites of each SES group and the national references.

MMP: monomethyl phthalate, MCPP: mono-3-carboxy-propyl phthalate, MEP: mono ethyl phthalate, MECPP: mono(2-ethyl-5-carboxypentyl) phthalate, MEHHP: mono(2-ethyl-5-hydroxyhexyl) phthalate, MnBP: mono-n-butyl phthalate, MEOHP: mono(2-ethyl-5-oxohexyl) phthalate, MBzP: mono-benzyl phthalate, SES: socioeconomic status, KoNEHS: Korean National Environmental Health Survey 4th (2018~2020), GM: geometric mean.

*Statistically significant by one-sample t-test with lower SES group ($p < 0.05$).

**Statistically significant by one-sample t-test with lower SES group ($p < 0.01$).

†Statistically significant by one-sample t-test with lower SES group ($p < 0.05$).

††Statistically significant by one-sample t-test with lower SES group ($p < 0.01$).

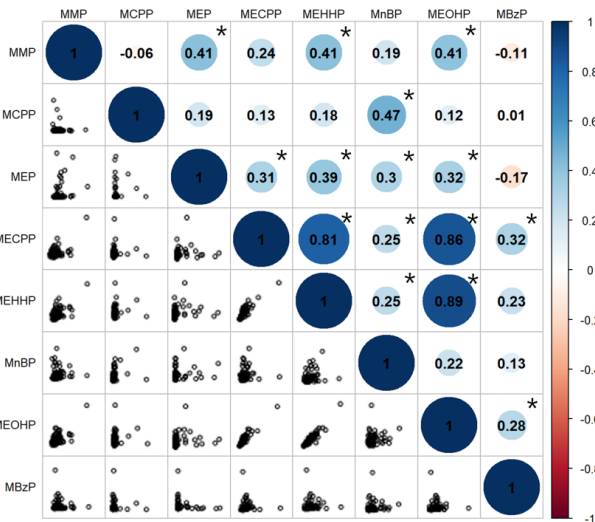


Fig. 2. Coefficients of correlations and scattered plots of urinary phthalate metabolites.

MMP: monomethyl phthalate, MCPP: mono-3-carboxy-propyl phthalate, MEP: mono ethyl phthalate, MECPP: mono(2-ethyl-5-carboxypentyl) phthalate, MEHHP: mono(2-ethyl-5-hydroxyhexyl) phthalate, MnBP: mono-n-butyl phthalate, MEOHP: mono(2-ethyl-5-oxohexyl) phthalate, MBzP: mono-benzyl phthalate.

*Statistically significant by Spearman’s correlation test ($p < 0.05$).

16명(25.0%), 이에 해당하지 않는 사람(이하 “비수급자”)이 47명(73.4%), “모름”이라고 응답한 사람이 1명(1.6%)이었다. 현재 흡연 중인 사람이 11명(17.2%), 흡연하지 않는 사람이 53명(82.8%)이었다. 살고 있는 주택의 건물 형태는 단독주택이라고 응답한 사람이 54명(84.4%)으로 가장 많았고, 다음으로 다세대주택이 9명(14.0%)이었으며 아파트는 1명(1.6%)이었다. 주거지의 바닥재로는 PVC(장판)가 52명(81.2%)으로 가장 많았고, 나무가 1명(1.6%), “모름” 또는 무응답이 11명(17.2%)이었다.

Table 2는 대상자들의 요 중 프탈레이트 대사체 농도 분포와 국가 참고치인 KoNEHS 성인, 60대, 70대 대푯값(기하평균, GM) 비교 결과를 보여준다. MMP, MEP, MEHHP, MnBP 농도가 우리나라 성인 대푯값보다 높았으며, 그 중 MMP, MnBP는 70대 대푯값보다도 높은 수준을 보였다.

다음으로, 대상자들을 기초생활수급자와 비수급자로 구분하여 소변 중 프탈레이트 대사체의 기하평균을 KoNEHS 성인, 60대, 70대 기하평균과 비교하였다(Fig. 1). MMP, MECPP, MnBP, MEHHP, MEOHP는 B마을에 거주하는 기초생활수급자, 비수급자가 KoNEHS 성인 기하평균보다 유의하게 높았다($p < 0.05$). 그 중 MnBP는 기초생활수급자 기하평균이 KoNEHS 성인, 60대, 70대보다 유의하게 높았으며($p < 0.01$), 비수급자의 기하평균 또한 KoNEHS 성인보다 높았다($p < 0.05$).

Table 3. General characteristics and concentrations of phthalate metabolites ($\mu\text{g/g}$ creatinine)

Variables	N*	MMP	MCPP	MEP	MECPP	MEHHP	MnBP	MEOHP	MBzP
Sex									
Male	30	4.145	0.246	3.630	18.878	15.596	29.433	8.980	1.196
Female	34	5.735	0.297	7.971	26.716	20.075	41.014	11.729	1.629
p-value [§]		0.098	0.435	0.078	0.020	0.080	0.013	0.093	0.143
Job history [†]									
Yes	13	5.677	0.229	8.533	21.158	16.306	43.084	9.933	1.360
No	51	4.750	0.285	4.932	23.114	18.246	33.321	10.457	1.422
p-value [§]		0.390	0.499	0.634	0.458	0.321	0.159	0.623	0.588
Lower SES group [‡]									
Yes	16	6.039	0.403	10.655	24.285	19.816	47.331	11.411	1.480
No	47	4.512	0.239	4.006	22.185	16.984	31.876	10.077	1.398
p-value [§]		0.394	0.056	0.328	0.875	0.570	0.017	0.693	0.740
Smoking									
Non-smoker	53	5.164	0.278	6.757	22.951	18.253	36.409	10.485	1.433
Smoker	11	3.922	0.247	2.068	21.543	15.950	29.454	9.717	1.301
p-value [§]		0.244	0.200	0.089	0.729	0.298	0.306	0.637	0.742

Bold characters mean statistically significant results ($p\text{-value} < 0.05$).

GM: geometric mean, SES: socioeconomic status, Unit: $\mu\text{g/g}$ creatinine.

*Missing values (“Unknown”) were excluded.

[†]Lifetime history in chemical industries, mines, paint manufacturing, spraying, welding, smelting, fusing, plating, printing, petrochemistry, and plastic industries, etc.

[‡]Public aid recipients - basic living security received and near poor families.

[§]Mann-Whitney test.

MCP가 비수급자의 기하평균이 모든 연령대의 KoNEHS 대포 값보다 유의하게 낮은 것으로 나타났고($p < 0.01$), MBzP의 경우 비수급자의 기하평균이 KoNEHS 성인보다는 유의하게 높았으나 70대보다는 유의하게 낮았다($p < 0.05$).

소변 중 프탈레이트 대사체 농도 간 상관관계 분석 결과, MnBP와 MBzP를 제외하고 모두 하나 이상의 프탈레이트 대사체와 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 보였다(Fig. 2). 특히 MEHHP와 MEOHP 간의 상관관계수(Spearman's rho)가 0.89로 가장 큰 것으로 나타났다($p < 0.05$).

연구 대상자의 일반적 특성에 따른 소변 중 프탈레이트 대사체 농도는 Table 3에서 보여준다. MCP와 MnBP는 여성이 남성보다 통계적으로 유의하게 높았으며($p = 0.020$, $p = 0.013$), MnBP는 기초생활수급자가 비수급자보다 유의하게 높았다($p = 0.017$).

기초생활수급자 여부에 따라 소변 중 프탈레이트 대사체 농도를 비교한 결과는 Table 4와 같다. 성별과 연령, 흡연을 보정한 후에도 MEP와 MnBP는 기초생활수급자가 비수급자보다 유의하게 높았다($p = 0.014$, $p = 0.023$).

이후 기초생활수급자 여부에 따른 주거환경 요인을 비교하였다(Table 5). 기초생활수급자의 평균 바닥재 사용기간이 24.6년, 벽재 사용기간이 23.1년인 반면 비수급자의 평균 바닥재 사용기간은 17.3년, 벽재 사용기간은 18.0년으로, 기초생활수급자의 바닥재 및 벽재 사용기간이 더 길었으나 이는 95% 신뢰수준 하에서 통계적으로 유의하지는 않았다($p = 0.076$, $p = 0.247$).

IV. 고 찰

본 연구 결과, 일부 프탈레이트(MnBP)는 국민 대포 값에 비하여 도시 지역에 거주하는 사회경제적 취약집단인 B마을 주민들의 노출 수준이 높고, 그 중 소득수준이 더 낮은 집단(기초생활수급자 및 차상위계층)에서 더 높은 양상을 보여 기존의 연구 결과와 일치하였다. Tyrrell 등(2013)⁴⁾의 연구에서는 소

독이 감소할수록 소변 중 MBzP, MnBP, MiBP가 증가하였고, Bastiaensen 등(2021)⁹⁾의 연구에서는 가구 소득이 낮은 청소년들에게서 소변 중 MEP, MiBP, MEHHP, MEOHP가 통계적으로 유의하게 높았다. 또한 가구소득이 낮은 비백인 또는 여성에서 소변 중 MiBP, MnBP가 높다고 보고되었다.^{5,11)}

기존의 연구들에서 오래된 건물에 거주하는 것이 소변 중 프탈레이트 대사체의 농도를 높인다는 것이 밝혀져,¹⁶⁻¹⁸⁾ 주거 환경의 노후는 일부 프탈레이트의 노출을 증가시키는 원인이 될 수 있는 것으로 전해진다. 본 연구에서는 이와 같이 건물 연식과 소변 중 프탈레이트 대사체 농도 간의 연관성이 확인되지 않았다. 다만, 95% 신뢰수준 하에서는 통계적으로 유의하지 않았으나 기초생활수급자 및 차상위계층의 바닥재 노후 정도가 비수급자보다 높은 것으로 조사되었다.

프탈레이트는 일반적으로 플라스틱 및 위생용품, 화장품 등 생활화학제품 또는 PVC 계열의 인테리어 용품 등과 관련이 있는 것으로 알려져 있다.^{30,31)} 기존의 연구에서 냉장 음식 보관

Table 5. Comparison of residential conditions by SES

Lower SES group	N*	Mean±SD	p-value
Residential period (yr)			
Yes	16	38.3±17.4	0.181
No	47	32.8±12.8	
Age of house (yr)			
Yes	7	47.1±12.5	0.497
No	23	50.4±14.1	
Age of flooring (yr)			
Yes	11	24.6±16.7	0.076
No	39	17.3±17.4	
Age of wall (yr)			
Yes	12	23.1±17.0	0.247
No	39	18.0±16.8	

SD: standard deviation, SES: socioeconomic status.

*Missing values ("Unknown") were excluded.

Table 4. Comparison for concentrations of urinary phthalate metabolites by SES ($\mu\text{g/g creatinine}$)

Variable	N*	MMP	MCP	MEP	MCCP	MEHHP	MnBP	MEOHP	MBzP
Lower SES group [†]									
Yes	16	6.039	0.403	10.655	24.285	19.816	47.331	11.411	1.480
No	47	4.512	0.239	4.006	22.185	16.984	31.876	10.077	1.398
p-value [‡]		0.236	0.959	0.014	0.740	0.647	0.023	0.841	0.472

Bold characters mean statistically significant results ($p\text{-value} < 0.05$).

GM: geometric mean, SES: socioeconomic status, Unit: $\mu\text{g/g creatinine}$.

*Missing values ("Unknown") were excluded.

[†]Public aid recipients - basic living security received and near poor families.

[‡]Age, sex and smoking were adjusted for ANCOVA.

용기 중 플라스틱 용기를 사용하는 대상자들의 소변 중 MnBP 농도가 가장 높았으며 주 1회 이상 플라스틱 팩 음료를 섭취하는 경우 MEHHP, MEOHP, MECPP가, 주 1회 이상 랩 포장 배달식품을 섭취할 경우 MBzP가 가장 높았다.³²⁾ 이러한 생활습관 요인들 외에, 프탈레이트 노출은 건축환경과도 중요한 관계를 가지는데, 실내 바닥재로 PVC를 사용하는 경우 실내 먼지 중 BBzP, DEHP와 거주자의 소변 중 MBzP가 높다고 보고되었다.¹¹⁻¹⁴⁾ 본 연구에서 여성들의 MECPP와 MnBP의 농도가 남성에게 비하여 높았는데, 상대적으로 가사 활동이나 도시락을 많이 이용하는 취약계층 여성들의 경우 냉장 음식 보관용기의 사용도 많고 주택 내 실내활동 시간이 많으므로 관련 프탈레이트 노출이 높았던 것으로 생각할 수 있으나 본 연구 결과만으로는 노출의 원인을 파악하기는 어렵다.

프탈레이트 노출 및 이로 인한 건강영향에 대한 우려와 함께, 바닥재를 비롯한 건축자재, 개인위생용품과 조리 및 포장 제품 등에서 프탈레이트 함유를 금지하거나 제한하는 법령이 시행되었다. 그러나 경제적 형편으로 인하여 보다 유해성이 적은 자재 및 제품 등으로의 구매 전환이 어려운 저소득층 집단에게는 이러한 제도의 혜택이 미치지 못할 수 있다. 영미권 국가들에서도 전국적인 환경 노출수준이 개선되고 있지만 저소득층, 소수 민족 등에게는 이러한 개선 효과의 적용이 늦어 오히려 환경불평등이 커질 수 있음을 보고하고 있다.^{33,34)} 국내의 한 연구에서 2002년도에 생산된 PVC벽지에서는 2005년에서 2006년도 사이에 생산된 벽지보다 두 배 이상 높은 DEHP가 검출되었다.³⁵⁾ 특히 본 연구대상 지역인 B마을은 판자집 형태의 열악한 주거단지가 형성된 이후 건축물과 부자재들이 환경안전 관련 규제의 혜택을 받지 못한 채로 유지되고 있다는 점을 고려하면 노후 주거환경이 프탈레이트 노출요인이 될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 단순한 노출수준의 차이 뿐 아니라, 경제사회적으로 취약한 집단의 주거환경이 프탈레이트의 노출을 높이는 요인이 될 수 있음을 시사하며 환경정의 측면에서 도시 저소득층 집단의 환경불평등에 대한 가능성을 제시하고자 한다. 그간의 취약집단 대상 환경유해물질 노출평가 연구들이 입자상물질, 생물학적 유해요인, 연소 부산물 등에 집중하였던 반면, 전통적인 유해요인 뿐 아니라 프탈레이트와 같은 내분비계장애물질도 노출 측면에서의 환경불평등 요인이 될 수 있다.

본 연구의 제한점으로는, 첫 번째로 특정 지역에 국한하여 도출한 결과를 우리나라의 모든 사회경제적 취약집단의 결과로 일반화하기 어렵다는 점이다. 사회경제적 취약집단을 구분하는 기준은 소득수준, 거주환경 등의 여러 개인적, 집단적 특성이 될 수 있지만, 본 연구에서는 대상자 중 단독주택 거주자, 기초생활수급자의 비율이 높고 국민환경보건 기초조사 외에 중산층 이상의 집단을 대표하는 실제 관측값이 없어 다양한 특성을 모두 고려하지는 못하였다. 두 번째로 바닥먼지 등 거주

환경 중 프탈레이트 외부 노출수준에 대한 조사를 수행하지 못하여 환경매체를 통한 노출 경로를 증명하지 못했다는 점이다. 세 번째로, 개인의 감수성에 따른 차이를 배제할 수 없고 B마을 주민들의 생활화학제품 사용 등에 대한 정보가 부족하여 프탈레이트 노출원과 생체지표 간의 관계를 규명하기는 어렵다. 또한 단면연구조사 설계로 이루어진 본 연구는 시간, 공간, 계절적 변이 등을 설명할 수 없다는 제한을 가진다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 사회경제적 취약지역의 환경정의와 환경불평등 측면에서 환경유해물질 노출평가를 적용한 첫 연구사례로, 그간 국내에서 보고가 미흡했던 사회취약집단의 체내 노출평가를 수행하였다는 의미를 가진다. 본 연구의 결과는 사회경제적 취약계층의 노출수준에도 관심을 가지고 모니터링할 필요가 있으며, 유해물질 배출 시설 뿐 아니라 개인의 주거 환경 측면에서 현재의 환경정의, 환경보건 정책이 놓치고 있는 부분은 없는지 확인할 필요가 있음을 보여준다. 아울러, 곰팡이, 미세먼지, 가스상물질(일산화탄소 등) 등 이미 알려진 물질 외에 생활습관과 관계를 가지는 대표적인 환경호르몬인 프탈레이트를 대상으로 한 점, 바닥재 노후 등의 주거환경과 사회경제적 수준을 연결하여 분석한 점에서 의미를 둘 수 있다.

V. 결 론

본 연구는 사회경제적 취약집단의 주거환경 및 프탈레이트 노출 수준을 확인하기 위해 대표적 도시 취약지역인 B마을 주민들을 대상으로 소변 중 프탈레이트 대사체 8종을 채취 및 분석하였다. 모니터링된 물질 중 일부 프탈레이트 대사체가 제4기 국민환경보건 기초조사에서 보고하는 노출수준보다 높은 것으로 나타났다. 특히, 소변 중 MnBP 농도는 B마을 거주자 내에서도 상대적 저소득층인 기초생활수급자에서 더 높았으며, 기초생활수급자의 바닥재 노후 정도는 비수급자보다 높은 양상을 보였다. 결과적으로, 상대적 저소득층 해당 여부와 바닥재 노후 정도는 소변 중 일부 프탈레이트 대사체의 농도를 높이는 요인이 될 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 사회경제적 취약성과 주거환경을 고려하여, 바이오모니터링을 통해 환경정의의 관점에서 개인의 노출특성을 살펴보았다는 의미를 가진다.

감사의 글

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다(NRF-2020R1A6A1A03042742). 또한 이 논문은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 환경성질환 예방관리 핵심 기술개발 사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2021003320003).

Conflict of Interest

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

References

- Medina CY, Kadonky KF, Roman FA Jr, Tariqi AQ, Sinclair RG, D'Aoust PM, et al. The need of an environmental justice approach for wastewater based epidemiology for rural and disadvantaged communities: a review in California. *Curr Opin Environ Sci Health*. 2022; 27: 100348.
- Chu JM, Park CS, Lee CH, Bae HJ, Shin JY, Lim YR, et al. Environmental Policy for Low-income People in Urban Areas II. Seoul: Korea Environment Institute; 2008. p.1-465.
- Agyeman J. Sustainable Communities and the Challenge of Environmental Justice. New York: New York University Press; 2005. p.245.
- Tyrrell J, Melzer D, Henley W, Galloway TS, Osborne NJ. Associations between socioeconomic status and environmental toxicant concentrations in adults in the USA: NHANES 2001-2010. *Environ Int*. 2013; 59: 328-335.
- Belova A, Greco SL, Riederer AM, Olsho LE, Corrales MA. A method to screen U.S. environmental biomonitoring data for race/ethnicity and income-related disparity. *Environ Health*. 2013; 12: 114.
- Oh JS, Lee SH. Pb, Hg and Cd concentration of blood and exposure-related factors. *J Korea Acad Ind Cooper Soc*. 2015; 16(3): 2089-2099.
- Shin H, Paik M. How does social class modify the relationship between environmental pollution and health? *Health Soc Sci*. 2020; 55: 137-163.
- Yoo I. The blood levels of lead, mercury, and cadmium and metabolic syndrome of Korean adults. *J Korean Soc Living Environ Syst*. 2014; 21(2): 251-259.
- Bastiaansen M, Gys C, Colles A, Malarvannan G, Verheyen V, Koppen G, et al. Biomarkers of phthalates and alternative plasticizers in the Flemish Environment and Health Study (FLEHS IV): time trends and exposure assessment. *Environ Pollut*. 2021; 276: 116724.
- Koo JW, Parham F, Kohn MC, Masten SA, Brock JW, Needham LL, et al. The association between biomarker-based exposure estimates for phthalates and demographic factors in a human reference population. *Environ Health Perspect*. 2002; 110(4): 405-410.
- Kobrosly RW, Parlett LE, Stahlhut RW, Barrett ES, Swan SH. Socio-economic factors and phthalate metabolite concentrations among United States women of reproductive age. *Environ Res*. 2012; 115: 11-17.
- Larsson K, Ljung Björklund K, Palm B, Wennberg M, Kaj L, Lindh CH, et al. Exposure determinants of phthalates, parabens, bisphenol A and triclosan in Swedish mothers and their children. *Environ Int*. 2014; 73: 323-333.
- Preece AS, Shu H, Knutz M, Kraus AM, Bekö G, Bornehag CG. Indoor phthalate exposure and contributions to total intake among pregnant women in the SELMA study. *Indoor Air*. 2021; 31(5): 1495-1508.
- 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.
- Carlstedt F, Jönsson BA, Bornehag CG. PVC flooring is related to human uptake of phthalates in infants. *Indoor Air*. 2013; 23(1): 32-39.
- Bornehag CG, Lundgren B, Weschler CJ, Sigsgaard T, Hagerhed-Engman L, Sundell J. Phthalates in indoor dust and their association with building characteristics. *Environ Health Perspect*. 2005; 113(10): 1399-1404.
- Yang JY, Shin DC, Lee SE, Lee GW, Kim JH, Lee YJ, et al. Study on the indoor exposure factors of phthalates using bio-monitoring data. *J Odor Indoor Environ*. 2018; 17(4): 315-321.
- Shiue I, Bramley G. Environmental chemicals mediated the effect of old housing on adult health problems: US NHANES, 2009-2010. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2015; 22(2): 1299-1308.
- Youn I, Kim Y. A study on the relationship between income level and environmental inequality. *Disput Resolut Stud Rev*. 2015; 13(2): 77-104.
- Kim T, Park H, Kim T. Analysis of the relationship between environmental pollution, susceptible and damage: focusing on air and water quality. *J Environ Policy Adm*. 2018; 26(2): 1-18.
- Choi S. Formation and transformation of women's community in 104-village. *J Seoul Folklor*. 2014; 1: 209-238.
- Jang YH, Lee YH. The study on street facade characteristics of Junggye-dong 104 village in Seoul. *J Korea Inst Ecol Archit Environ*. 2013; 13(5): 5-15.
- Hong H, You YJ. Landscape analysis on the urban decline region - a case of 104 village in Nowon-gu, Seoul. *J Assoc Korean Photo Geogr*. 2012; 22(1): 77-90.
- The Fact. Redevelopment Countdown Baeksa Village - People Who Hesitate Because of Affection. Available: <http://news.tf.co.kr/read/life/1899401.htm> [accessed 25 July 2022].
- World Health Organization. Office of Occupational Health. Biological Monitoring of Chemical Exposure in the Workplace: Guidelines. Volume 1. Geneva: World Health Organization; 1996.
- 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.
- Silva MJ, Samandar E, Preau JL Jr, Reidy JA, Needham LL, Calafat AM. Quantification of 22 phthalate metabolites in human urine. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*. 2007; 860(1): 106-112.
- Koch HM, Gonzalez-Reche LM, Angerer J. On-line clean-up by multidimensional liquid chromatography-electrospray ionization tandem mass spectrometry for high throughput quantification of primary and secondary phthalate metabolites in human urine. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*. 2003; 784(1): 169-182.
- KOSIS(KOrean Statistical Information Service). Results of the Ko-

- rean National Environmental Health Survey (KoNEHS). Available: https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?vwcd=MT_OTITLE&menuId=M_01_02 [accessed 1 August 2022].
30. Guo Y, Kannan K. A survey of phthalates and parabens in personal care products from the United States and its implications for human exposure. *Environ Sci Technol.* 2013; 47(24): 14442-14449.
 31. Wormuth M, Scheringer M, Vollenweider M, Hungerbühler K. What are the sources of exposure to eight frequently used phthalic acid esters in Europeans? *Risk Anal.* 2006; 26(3): 803-824.
 32. Choi J, Kim J, Choi G, Kim KS. Relationship between dietary habits and urinary phthalate metabolite concentrations in elementary school children. *J Environ Health Sci.* 2018; 44(5): 433-443.
 33. Bravo MA, Warren JL, Leong MC, Deziel NC, Kimbro RT, Bell ML, et al. Where is air quality improving, and who benefits? A study of PM_{2.5} and ozone over 15 years. *Am J Epidemiol.* 2022; 191(7): 1258-1269.
 34. Horton A, Jones SJ, Brunt H. Air pollution and public health vulnerabilities, susceptibilities and inequalities in Wales, UK. *J Public Health (Oxf).* 2022. doi: 10.1093/pubmed/fdac083. [Epub ahead of print]
 35. Lee CW, Jung TK, Kim MG. Content of plasticizers and heavy metals in the selling PVC wallpapers. *Anal Sci Technol.* 2008; 21(2): 135-142.

〈저자정보〉

한다희(연구원), 강지윤(석사과정), 한서희(연구원),
 김수현(연구원), 진호현(석사과정), 김차훈(학사과정),
 임호섭(대표이사), 김기태(교수), 조용민(교수)