

주거환경 및 개인 생활습관에 따른 화학물질 노출수준 차이 - 국민환경보건기초조사

황문영 · 홍수연 · 권영민 · 조혜정 · 박충희†
국립환경과학원

Differences of Chemical Exposure Levels according to Residential and Personal Life-style Characteristics of Korean adult population - from Korean National Environmental Health Survey

Moon-Young Hwang, Soo-Yoen Hong, Young-Min Kwon, Hye-Jung Jo, and Choong-Hee Park†
Environmental Health Research Division, National Institute of Environmental Research

ABSTRACT

Objectives: The aim of this study was to determine environmental chemical exposure related to residential and personal lifestyle characteristics in the adult Korean population. The observations of this study can provide information useful for developing reduction approaches for exposure to chemicals among the general adult population.

Methods: The second stage of the Korean National Environmental Health Survey (KoNHES) was conducted from 2012 to 2014, with 6,478 persons participating. Using the results of the survey, the relationship between exposure levels of heavy metals and organic chemicals and exposure factors, e.g. residential and personal lifestyle characteristics, were analyzed.

Results: The exposure levels of VOCs and PAHs were significantly lower in participants living at a distance of more than 100 m from roads versus living closer to roads. Home ventilation lowered VOC and PAH exposure but did not lower chemical exposure from household products. Use of public transportation showed lower exposure to heavy metals, VOCs, and PAHs. Current smoker was significantly higher for levels of heavy metals, VOCs, and PAHs, and the exposure trend was similar for current drinkers. Physical activity was related with higher exposure to phthalates and environmental phenols.

Conclusion: Our observations based on a nationally representative population for Korea show that exposure to chemicals varies by residential and personal lifestyle, and this should be considered for developing appropriate mitigation measures and policies. Given the health concerns surrounding environmental chemicals, it is necessary to develop comprehensive measures to reduce chemical exposure.

Keywords: Biomonitoring, environmental chemicals exposure, residential and personal lifestyle

I. 서 론

바이오모니터링(biomonitoring)은 생체시료에서 화학물질의 정량적인 노출량을 확인하는데 활용된다. 바이오모니터링 연구는 복합경로의 환경노출수준과

법에 근거한 정책결정의 유효성을 확인하는 자료를 제공한다.¹⁾ 이러한 장점을 바탕으로 바이오모니터링은 화학물질의 노출수준, 생화학적 그리고 생물학적 영향분야까지 확대되고 있다.^{2,3)} 현재, 국가수준, 특정인구 집단 또는 지역사회 단위의 바이오모니터링

†Corresponding author: Environmental Health Research Division, National Institute of Environmental Research, Hwankyong-ro 42, Seo-gu, Incheon, 22689, Republic of Korea, Tel: +82-32-560-7126, E-mail: whoispch@gmail.com
Received: 03, April, 2019 Revised: 16, April, 2019 Accepted: 18, April, 2019

연구가 세계적으로 다양하게 진행되고 있다.

국가단위의 모니터링 연구는 주로 독일과 미국, 캐나다에서 진행하고 있으며, 한국에서는 2009년부터 환경보건법에 근거하여 국민환경보건기초조사(이하 기초조사)를 하고 있다.^{4,7)} 기초조사를 통하여 우리나라 국민의 환경오염물질 노출수준의 대푯값을 확인할 수 있으며, 미국 등 외국과의 노출수준을 비교하고 노출요인에 대한 평가를 하고 있다. 또한, 바이오모니터링 결과를 이용하여 환경오염물질의 노출과 건강영향과의 관련성을 보고하고 있는데, 플라스틱 가소제인 프탈레이트와 비스페놀A(BPA)와 갑상샘 호르몬과의 관련성, BPA와 비만과의 상관성 등을 포함하여 다양한 건강영향에 대한 연구가 있다.^{8,9)}

일반인구 집단의 화학물질의 노출에는 많은 요인이 관련이 되어 있다. 많은 연구에서 성과 연령에 따른 화학물질 노출수준의 차이를 보여주며, 이외에 가구월소득과 같은 사회경제수준 및 흡연 등 생활습관과 같은 요인에 따른 노출수준의 차이를 보고하고 있다.^{5,6,10,11)} 화학물질 노출에 영향을 주는 요인을 분석하여 노출저감 방안을 마련하고 건강보호를 위한 정책수단을 제안할 수 있다. 많은 연구들이 개별 화학물질의 노출수준과 영향요인을 분석하고 있으나, 거주환경 및 생활습관 등에 따른 다양한 화학물질의 노출수준을 종합적으로 분석한다면 보다 효과적인 노출저감 요인을 찾을 수 있다. 현대사회에서 화학물질에 의한 건강영향이 국민의 중요한 관심사이며, 건강피해를 예방하기 위한 노출저감 수단의 마련은 환경보건학적으로도 매우 중요한 의미를 갖는다.

본 연구는 우리나라 인구집단을 대표하는 기초조사의 결과를 이용하여, 주거환경 및 생활습관에 따른 중금속 및 유기화합물질을 포함하는 다양한 화학물질 노출수준을 평가하여, 노출저감 방안 및 정책수단 마련을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

II. 연구방법

국민환경보건기초조사는 우리나라 국민을 대표할 수 있는 바이오모니터링 프로그램으로, 인체 내 환경오염물질의 노출수준을 조사하기 위하여 3년 단위로 진행되었다.⁷⁾ 제2기 기초조사는 2010년 기준으로 집단생활을 하는 인구를 제외한 총인구가 대상이며, 전국대표 추정치를 구하기 위하여 기존의 바이오모

니터링 결과를 바탕으로 6,000명을 조사하도록 설계되었다. 2012년부터 2014년까지, 매년 2,000명씩 계절분포를 고려하여, 3년간 총 6,478명을 조사하였다. 생체시료 중 환경유해물질 분석 항목은 총 21종을 분석하였으며, 간, 신장, 혈액 및 호르몬 등 기본적인 임상검사를 포함하였다.¹²⁾

본 연구는 2단계 층화 계통추출방법으로 설계되어, 추출 및 미응답 확률의 차이와 2010년 인구주택 총조사의 사후 층화를 보정하기 위하여 설계 가중치를 이용하였다. 조사된 표본의 가중치는 설계가중치, 무응답조정 및 모집단 추계인구조정을 위한 사후층화를 반영하도록 산정되었다. 통계분석은 다단계층 표본설계뿐 아니라 인구가중치를 조정하기 위하여 표본설계를 반영한 분석법(PROC SURVEYFREQ, PROC SURVEYMEANS, and PROC SURVEYREG)을 사용하였다.

노출수준의 영향요인인 예측변수로 주거지와 도로와의 거리(<50 m, 50-100 m, 100-500 m, ≥500 m), 가정에서의 환기시간(1시간 미만, 1시간 이상), 대중교통 이용여부(예, 아니오), 대중교통 이외의 교통수단(없음, 자동차, 오토바이, 기타), 흡연(비흡연, 과거흡연, 현재흡연), 음주(비음주, 과거음주, 현재음주), 운동(없음, 저강도, 땀이 날 정도의 운동)을 사용하였다. 종속변수로 사용한 화학물질은 Table 1에 나 타내었으며, 중금속과 환경성 페놀류는 원 물질을, 나머지는 대사체를 분석하였으며, 분석방법은 다른 보고서에서 확인할 수 있다.¹²⁾

빈도표는 전체 표본의 인구학적 및 사회경제학적 변수에 따른 특성을 보여주기 위하여 작성하였다. 측정된 화학물질의 노출수준과 영향요인과의 관련성 평가는 표본설계를 반영하여 분석하였다. 모델은 화학물질 농도를 종속변수로, 거주환경 및 생활습관 요인을 독립변수로, 공변량으로는 성, 연령, 흡연, 가구 월 소득을 포함하였다. 또한, 요 중에서 측정된 화학물질의 희석효과를 반영하여 위하여 요 중 크레아티닌 농도는 공변량에 포함하였다. 가구 월 소득은 2013년 통계청의 가구 월 소득 분위수를 기준으로 구분하였다. 측정된 화학물질 농도 값이 정규분포를 하지 않는 경우에는 로그변환을 하였고, 검출한계 미만의 값은 정량한계(minimum detection limit, MDL)의 1/2 또는 $1/\sqrt{2}$ 로 대체하였다.

통계분석은 SAS 소프트웨어 9.4버전을 사용하였다.

Table 1. Measured chemicals and metabolites from blood and urines

Matrics	Chemicals		Metabolites
Blood	Metals ($\mu\text{g/L}$)	Hg	-
		Pb ($\mu\text{g/dL}$)	-
Urine ($\mu\text{g/L}$)	Phthalate	Cd	-
		Hg	-
		DEHP	MEHHP+MEOHP+MECPP
	Phenol	DBzP	MBzP
		DBP	MnBP
		BPA	-
	Insecticide	TCS	-
		Pyrethroids	3-PBA
		Toluene	Hippuric Acid (g/L)
	VOCs (mg/L)	Benzene	Muconic Acid
		EthylBenzene	Phenylglyoxylic Acid
		Styrene, Ethylbenzene	Manderic Acid
		Xylene	Methyl Hippuric Acid
		Pyrene	1-OH-Pyrene
	PAHs	Naphthalene	b-Napthol
Phenanthrene		OH-Phenathrene	
Fluorene		OH-Fluorene	

III. 연구결과 및 고찰

1. 참가자의 일반특성

본 연구의 참여자는 19세 이상 성인 6,478명이며 응답율은 62.1%이다(Table 2). 참여자 중 남성은 2,774명, 여성은 3,704명 이었다. 연령대별로 40대가 21.4%로 가장 많았으며, 60대 이상의 노령층은 21.6%로 나타났다. 가구 월 소득은 월 3,600 US\$인 경우가 37.1%로 가장 많았고, 1,300 US\$인 경우가 19.5%로 가장 작았다. 생활습관과 관련하여 현재 흡연을 한다고 응답한 사람은 21.9%로, 현재 음주를 하는 사람은 64.7%인 3,824명 이었다. 운동과 관련하여 땀이 날 정도의 고강도 운동을 하는 사람은 2,329명 (36.7%), 저강도 운동을 한다고 응답한 사람은 735명(11.3%)이며 운동을 전혀 하지 않는다고 응답한 사람은 3,414명(52.0%)로 나타났다.

참여자들의 주거환경 및 생활습관에 따른 분포는 Table 3에 나타내었다. 거주지에서 도로까지의 거리가 50 m 이내인 경우는 30.4%였으며, 100-500 m 사이에 거주하는 사람이 38.0%로 가장 많았다. 93.2%

Table 2. Characteristics of participants in KoNEHS2

	N	Weighted percent
Total	6,478	100
Gender		
Male	2,774	49.2
Female	3,704	50.8
Age (years)		
19-29	537	17.7
30-39	1,056	19.7
40-49	1,226	21.4
50-59	1,439	19.4
60-69	1,335	11.0
70+	885	10.6
Monthly household income (US\$/month)		
Low (<1,300)	1,797	19.5
Mid-Low (1,300-2,600)	1,626	23.6
Mid-High (2,600-3,600)	1,090	19.8
High ($\geq 3,600$)	1,941	37.1

의 참여자가 거주지로부터 500 m 이내에 도로가 있는 것으로 응답하였다. 가정에서 환기시간이 하루에

Table 3. Weighted percent of residential and personal life style characteristics of the second round of KoNEHS

Variables	Categories	Count (%)
Distance from the roads	≥500 m	440 (6.80)
	100-500 m	2,463 (38.0)
	50-100 m	1,606 (24.8)
	<50 m	1,969 (30.4)
Ventilation time	more than 1 hour per day	2,777 (42.9)
	none or less than 1 hour per day	3,701 (57.1)
Use of public transportation	Yes	3,364 (51.9)
	No	3,114 (48.1)
Main transportation (except public transportation)	Etc	63 (0.68)
	Motorbikes	103 (1.59)
	Automobile	3,882 (59.9)
	None	2,450 (37.8)
Smoking	Current	1,392 (21.5)
	Former	1,022 (15.8)
	Never	4,064 (62.7)
Drinking	Current	4,193 (64.7)
	Former	360 (5.56)
	Never	1,925 (29.7)
Physical activity	High intensity	2,379 (36.7)
	Low intensity	732 (11.3)
	Never	3,367 (52.0)

1시간 미만이라고 응답한 사람은 42.9%이었다. 대중교통을 이용하는 사람은 51.9%였으며, 별도의 항목인 대중교통 이외의 운송수단으로는 자동차를 이용하는 사람이 59.9%로 가장 많았다.

주거환경 및 생활습관에 따른 화학물질의 인체 노출수준과의 관련성은 Table 4 및 Fig. 1-3에 나타내었다.

2. 주거환경과 화학물질 노출수준

거주지에서 도로까지의 거리가 멀수록 휘발성유기화합물(VOCs)과 다환방향족탄화수소(PAHs)의 노출수준이 낮았다(Fig. 1 A-C). 거주지에서 도로까지의 거리가 50 m 미만인 참여자(reference)와 비교 시, 50-100 m 사이에 거주하는 사람은 BPA, mandelic acid의 농도가 각각 0.879 (95% CI: 0.746, 1.011), 0.923 (95%CI: 0.861, 0.989)배 유의하게 낮았으며, muconic acid, phenylglyoxilic acid는 경계수준($p<0.1$)에서 낮은 노출수준을 보였다. VOCs의 경우, 100-500 m 사이에 거주하는 사람은 muconic acid

(APCs=0.917), phenylglyoxylic acid (APCs=0.802), mandelic acid (APCs=0.845), methyl hippuric acid (APCs=0.888)의 노출수준이 유의하게 낮았으며, PAHs 중 1-OH-pyrene (APCs=0.905), 1-OH-phenanthrene (APCs=0.931)도 유의하지는 않았으나 낮은 수준이었다. 도로까지의 거리가 500 m 이상 떨어진 곳에 거주하는 사람은 100-500 m 사이에 거주하는 사람과 경향은 비슷하였으나, muconic acid, phenylglyoxilic acid 및 1-OH-Pyrene만 통계적으로 유의하게 낮았으며, 요 중 카드몐은 50 m 이내에 거주하는 사람보다 높은(APCs=1.092) 수준이었다.

이러한 결과는 도로에서 가까울수록 도로발생 오염물질인 VOCs와 PAHs의 노출수준이 높다는 기존의 연구결과와 일치하는데, 주거지와 도로사이의 거리를 100 m를 기준으로 100 m보다 가까운 주거지에 사는 사람의 PAHs 4종의 평균이 높았다.¹³⁾ 도로교통은 도시지역의 PAH의 주요 오염원으로 알려져 있으며,¹⁴⁾ PM을 포함하는 일반대기오염물질과 VOCs

Table 4. Adjusted proportional changes (APCs) of exposure to environmental chemicals with residence and personal life style factors of Korean Adult population

Variables	Categories	Blood Pb		Blood Hg		Urinary Cd		Urinary Hg	
		APC	<i>p</i> -value	APC	<i>p</i> -value	APC	<i>p</i> -value	APC	<i>p</i> -value
Distance from the roads	≥500 m	0.996	0.91	1.021	0.71	1.092	0.08	1.001	0.99
	100-500 m	0.996	0.85	1.013	0.67	1.033	0.30	1.014	0.69
	50-100 m	1.012	0.60	1.000	1.00	0.985	0.67	1.010	0.75
	<50 m					ref.			
Ventilation time	≥1 hour	0.970	0.05	1.036	0.15	1.054	0.03	1.000	0.99
	<1 hour					ref.			
Public transportation	Yes	0.941	0.00	0.931	0.00	0.933	0.00	0.932	0.00
	No					ref.			
Main transportation (except public transportation)	Etc	1.016	0.82	1.109	0.25	0.925	0.54	1.127	0.36
	Motorbikes	0.969	0.49	1.242	0.01	1.029	0.74	1.238	0.00
	Automobile	1.066	0.00	1.228	<.0001	1.026	0.37	1.145	<.0001
	None					ref.			
Smoking	Current	1.206	<.0001	1.216	<.0001	1.133	0.00	1.083	0.03
	Former	1.089	0.00	1.195	<.0001	1.003	0.92	1.129	0.00
	Never					ref.			
Drinking	Current	1.117	<.0001	1.133	<.0001	0.972	0.26	1.225	<.0001
	Former	0.986	0.69	0.918	0.08	1.065	0.17	1.139	0.05
	Never					ref.			
Physical activity	High intensity	0.999	0.93	1.077	0.00	0.973	0.19	1.009	0.70
	Low intensity	0.955	0.02	1.057	0.06	1.009	0.77	1.035	0.38
	Never					ref.			

bold: $p < 0.05$, Italic blod: $p < 0.10$

및 입자상 PAHs의 노출수준은 노출원과의 거리가 중요한 요인이다.¹⁵⁾ 납의 인체노출원 중에 가솔린이 포함된다는 연구결과에 따라,¹⁶⁾ 본 연구진은 혈 중 납 농도도 도로와 주거지 사이의 거리에 반비례할 것으로 추정하였으나 노출수준의 차이를 확인하지 못하였다. 이는 도로교통이 일반 환경에서는 납의 주요 노출원 중 하나이나, 기여도가 크다고 알려진 식품섭취를 고려하지 못한 결과로 판단된다.^{17,18)}

3. 가정의 환기시간과 화학물질 노출수준

하루에 1시간 이상 환기를 한다고 응답한 참여자는 1시간 미만 환기하는 참여자에 비하여 VOCs의 대사체인 phenylglyoxilic acid, mandelic acid, methyl hippuric acid와 PAHs 대사체인 1-OH-Pyrene의 노출수준이 낮았다(Fig. 1-D). 반면, fluorene의 대사체는 경계수준에서 높았으며, 프탈레이트 대사체, BPA

및 피레스로이드계 살충제의 대사체도 높은 수준이었다.

가정에서의 환기가 VOCs 및 PAHs의 노출수준을 낮추지만, 실내공기질과 관련된 대기오염물질 이외의 화학물질은 높은 수준이었다. 일반적으로 프탈레이트와 BPA는 남성보다는 여성이, 연령이 많아질수록, 소득이 낮을수록 노출수준이 높으며, 식이와 플라스틱 재질의 용기가 주요 노출원인 것으로 알려져 있다.¹⁹⁾ 본 연구에서는 가정환기는 창문을 이용한 자연환기가 대부분(96.6%)이며, 환기시간에 따른 소득수준의 차이를 확인할 수 있었다. 1시간 이상 환기하는 가구 중 소득분위 1/4에 해당하는 가구가 약 10%정도 많았으며, 4/4에 해당하는 가구는 약 10% 정도 적었다(테이타는 수록하지 않음). 가정에서 1시간이상 환기를 하는 인구집단이 VOCs와 PAHs의 노출수준이 낮다는 것은 확인되었으나, 주로 생활용품이나 식이를 통하여 노출되는 프탈레이트, 피레스로이드계 농약의

Table 4. Continued

Variables	Categories	DEHP		DBzP		DBP		BPA		Triclosan	
		APC	p-value	APC	p-value	APC	p-value	APC	p-value	APC	p-value
Distance from the roads	≥500 m	0.929	0.181	1.026	0.806	1.151	0.082	0.868	0.068	1.069	0.654
	100-500 m	0.987	0.630	1.008	0.894	1.065	0.129	0.971	0.601	0.867	0.062
	50-100 m	0.986	0.635	0.933	0.302	0.959	0.293	0.879	0.012	0.924	0.312
	<50 m	ref.									
Ventilation time	≥1 hour	1.048	0.035	1.183	0.000	1.310	<.0001	1.141	0.002	1.009	0.876
	<1 hour	ref.									
Public transportation	Yes	0.971	0.136	0.979	0.616	1.002	0.934	1.034	0.399	1.093	0.127
	No	ref.									
Main transportation (except public transportation)	Etc	1.207	0.119	1.378	0.046	1.438	0.001	1.078	0.611	0.867	0.403
	Motorbikes	1.131	0.048	0.891	0.330	1.101	0.304	0.763	0.061	1.040	0.815
	Automobile	0.999	0.984	0.957	0.269	1.019	0.518	1.023	0.593	1.009	0.890
	None	ref.									
Smoking	Current	0.985	0.625	1.050	0.373	0.986	0.701	0.973	0.660	1.068	0.459
	Former	0.958	0.160	1.055	0.329	1.021	0.593	1.020	0.745	1.071	0.462
	Never	ref.									
Drinking	Current	0.998	0.928	1.024	0.593	0.954	0.105	1.000	0.997	1.113	0.059
	Former	1.054	0.380	1.016	0.861	1.055	0.335	1.024	0.766	0.993	0.948
	Never	ref.									
Physical activity	High	1.058	0.007	1.076	0.054	1.124	<.0001	1.061	0.142	1.137	0.032
	Low	1.028	0.485	1.035	0.565	1.058	0.194	1.163	0.002	1.251	0.022
	Never	ref.									

노출수준이 높은 것으로 나타났다. 환기방법과 시간 이외에 사회경제수준과 가정에서의 VOCs와 PAHs의 발생특성을 고려한 추가적인 분석이 필요하다.

4. 교통이용과 화학물질 노출수준

참여자 중 대중교통을 이용한다고 응답한 사람은 그렇지 않다고 응답한 사람에 비하여 혈 중 납과 수은, 요 중 카드뮴과 수은이 유의하게 낮았으며, VOCs 대사체 중 muconic acid, PAHs 대사체 중 1-OH-pyrene, 1-OH-phenanthrene, 1-OH-fluorene의 노출수준도 유의하게 낮았다(Fig. 2-A). 대중교통을 이용하는 사람은 대중교통을 이용하지 않은 사람에 비하여 본 연구에서 측정된 모든 화학물질의 노출수준이 낮았다. 대중교통 이외의 주요 교통수단 중, 교통수단을 이용하지 않은 사람과 자동차를 이용하는 사람의 화학물질 노출수준은 Fig. 2-B에 나타내었다. 자동차를 이용하는 사람은 혈 중 납과 수은 및 요 중 수

은, VOCs 대사체 중 hippuric acid와 muconic acid의 노출수준이 유의하게 높았으며, 다른 화학물질의 노출수준은 차이가 없었다.

사용연료가 휘발유나 경유와 상관없이 자동차 내부는 VOCs와 PAHs에 노출되며,²⁰⁾ 디젤엔진은 천연가스엔진에 비하여 VOCs의 배출량은 적지만 PAHs의 배출량은 더 많다.²¹⁾ 휘발유와 천연가스 및 LPG를 연료로 사용하는 택시내 공기중 VOCs는 휘발유 차량에서 가장 높았다.²²⁾ 그러나 연료 및 교통수단의 종류에 따른 VOCs, PAHs 등 교통유발 오염물질에 의한 노출은 연구자들마다 상이한 보고를 하고 있어, 대중교통을 이용하는 사람의 VOCs와 PAHs 노출수준이 낮은 원인에 대한 추가 분석이 필요하다. 본 연구에서의 대중교통 이용여부와 대중교통 이외의 주요 교통수단에 대한 설문은 독립된 설문으로 직접 연계하여 해석하는 데에는 주의해야 하지만, 대중교통을 이용하는 것은 자동차를 이용하는 것에 비

Table 4. Continued

Variables	Categories	Hippuric		Muconic		Phenylglyoxylic		Mandelic		Methyl hippuric	
		APC	p-value	APC	p-value	APC	p-value	APC	p-value	APC	p-value
Distance from the roads	≥500 m	1.044	0.526	0.809	0.001	0.820	0.019	0.909	0.176	0.990	0.893
	100-500 m	1.038	0.433	0.917	0.029	0.802	<.0001	0.845	<.0001	0.888	0.020
	50-100 m	0.978	0.727	0.934	0.073	0.926	0.082	0.923	0.024	1.043	0.462
	<50 m										ref.
Ventilation time	≥1 hour	0.973	0.573	1.014	0.640	0.781	<.0001	0.821	<.0001	0.860	0.000
	<1 hour										ref.
Public transportation	Yes	0.971	0.457	0.935	0.012	0.952	0.192	0.997	0.912	0.994	0.892
	No										ref.
Main transportation (except public transportation)	Etc	1.085	0.715	0.912	0.377	0.685	0.035	0.908	0.404	0.773	0.025
	Motorbikes	0.945	0.638	1.011	0.905	1.031	0.753	1.029	0.692	1.097	0.408
	Automobile	1.100	0.042	1.078	0.026	1.004	0.904	0.975	0.375	1.002	0.958
	None										ref.
Smoking	Current	0.846	0.020	1.959	<.0001	1.646	<.0001	1.716	<.0001	3.182	<.0001
	Former	0.999	0.995	1.037	0.471	1.059	0.215	1.025	0.546	1.103	0.087
	Never										ref.
Drinking	Current	0.914	0.048	0.978	0.481	1.053	0.098	1.012	0.673	1.001	0.976
	Former	0.912	0.377	1.021	0.691	1.099	0.108	1.030	0.582	0.984	0.800
	Never										ref.
Physical activity	High	1.133	0.009	1.003	0.923	0.974	0.410	0.990	0.720	0.960	0.279
	Low	0.988	0.864	0.981	0.638	0.888	0.008	0.909	0.015	0.860	0.002
	Never										ref.

하여 교통관련 오염물질의 발생을 줄일 뿐만 아니라, 중금속 및 VOCs, PAHs의 노출수준을 줄이고 대중교통을 이용하기 위하여 움직이는 신체활동에 의한 건강상의 이점도 있다.

5. 생활습관과 화학물질 노출수준

참여자의 흡연, 음주 및 운동과 관련된 설문과 화학물질 노출수준을 분석한 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

흡연자는 비흡연자에 비하여 프탈레이트와 환경성 페놀류, hippuric acid를 제외한 모든 중금속 및 VOCs 및 PAHs 대사체 모두에서 노출수준이 높았다. 특히 PAHs 대사체인 β-2-naphthol (APCs=5.322)과 1-OH-fluorene (APCs=5.012)이 상대적으로 매우 높았다 (Fig. 3-A). 음주자는 비음주자 비하여 혈 중 납 및 수은, 요 중 카드뮴, PAHs 대사체인 1-OH-pyrene이 유의하게 높았으며, triclosan과 VOCs 대사체인 phenylglyoxylic acid는 경계수준에서 높았다(Fig. 3-

B). 땀을 흘릴 정도의 고강도 운동 및 저강도 운동으로 구분하여 운동을 하는 않는 사람과의 노출수준을 비교하였다(Fig. 3-C, D). 고강도 운동을 하는 사람은 혈 중 수은과 프탈레이트 대사체 및 triclosan과 hippuric acid가 운동을 하지 않는 사람에 비하여 높았으며, 저강도 운동을 하는 사람들은 혈 중 납과 수은, BPA, triclosan의 노출수준은 높았으나, VOCs 대사체인 phenylglyoxylic acid, mandelic acid, methyl hippuric acid의 농도는 유의하게 낮았다.

흡연이 혈중 납 등 중금속, VOCs, PAHs 노출의 주요원인이라는 많은 보고가 있다.^{23,24,25} 흡연여부와 음주여부와 화학물질 노출사이에 유의성에는 차이가 있었으나 경향성이 비슷하였다. 흡연과 음주는 일반적으로 동시에 하는 경우가 많다. 본 연구에서 비흡연자 중에서 비음주자와 음주자의 비율은 각각 40, 56%였으나, 흡연자 중 비음주자와 음주자의 비율은 각각 12, 84%이었다. 운동의 경우, 저강도 운동을

Table 4. Continued

Variables	Categories	3-PBA		1-OHP		2-Naptol		1-OH Phenanthrene		1-OH Fluorene	
		APC	p-value	APC	p-value	APC	p-value	APC	p-value	APC	p-value
Distance from the roads	≥500 m	0.956	0.516	0.859	0.005	0.954	0.528	0.946	0.286	1.050	0.421
	100-500 m	1.059	0.154	0.905	0.007	1.028	0.595	0.931	0.025	1.013	0.730
	50-100 m	1.041	0.391	0.954	0.150	0.979	0.649	0.956	0.124	1.018	0.645
	<50 m	ref.									
Ventilation time	≥1 hour	1.111	0.001	0.905	0.002	1.005	0.892	0.959	0.121	1.063	0.093
	<1 hour	ref.									
Public transportation	Yes	0.944	0.051	0.927	0.004	0.962	0.259	0.941	0.006	0.947	0.036
	No	ref.									
Main transportation (except public transportation)	Etc	1.223	0.128	0.766	0.104	0.972	0.805	1.052	0.634	1.155	0.476
	Motorbikes	0.802	0.053	1.061	0.403	1.239	0.044	1.096	0.248	1.045	0.560
	Automobile	1.000	0.989	1.011	0.665	1.020	0.636	1.010	0.668	0.949	0.130
	None	ref.									
Smoking	Current	0.979	0.682	2.122	<.0001	5.322	<.0001	1.650	<.0001	5.012	<.0001
	Former	1.038	0.405	1.144	0.000	1.158	0.008	1.023	0.515	1.112	0.022
	Never	ref.									
Drinking	Current	1.007	0.850	1.091	0.002	0.955	0.218	0.994	0.774	1.007	0.807
	Former	0.962	0.549	1.048	0.314	0.923	0.263	0.998	0.966	1.049	0.361
	Never	ref.									
Physical activity	High	1.082	0.024	0.976	0.290	1.043	0.204	1.031	0.152	0.946	0.051
	Low	0.999	0.980	0.936	0.114	1.006	0.912	1.033	0.333	0.978	0.616
	Never	ref.									

하는 사람은 VOCs 대사체 일부가 유의하게 낮았으나, 일부 증금속 및 프탈레이트, 환경성 페놀류의 노출수준은 고강도 운동을 하는 사람들과 경향성이 비슷하였다. 운동시간과 물 소비량사이에 통계적으로 유의한 관련성이 있으며²⁶⁾ 프탈레이트와 페놀류의 노출원 중 하나가 생활용품이나 개인위생용품임을 고려할 때,^{27,28)} 운동을 하는 사람의 경우 일회용 음료용기 및 운동 후 세정 등과 같은 활동이 노출수준에 영향을 줄 가능성이 있다. 운동은 모든 원인의 사망을 낮추는데 기여를 하고 있어,^{29,30)} 본 연구 결과와 연계하여 볼 때, 운동과정에서 음료수 용기 및 세정제의 선택을 신중히 하다면 개인의 건강문제와 사회의 환경보건수준 향상에 도움이 될 것이다.

본 연구 결과의 해석에 있어서 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 본 연구는 단면연구(cross-sectional study)로 진행되어 개인내의 편차(intra-personal variation)

를 반영하지 못하였다는 한계점이 있다. 한번의 분석이 반감기가 짧은 화학물질의 노출량을 정확히 반영하지 못하였을 수도 있다. 그러나 대규모의 인구 집단을 대상으로 한 조사로 우리나라 인구집단의 일반적인 생체부하량(body burden)을 대표하는 것에는 문제가 없을 것으로 판단된다. 둘째, 화학물질의 노출의 환경요인에 초점을 맞춘 것으로, 다른 중요한 노출요인인 식이에 대한 고려를 하지 않았다는 것이다. 대기, 수질 등 환경관련 요인이외에 식품섭취가 화학물질의 노출에 중요한 요인임을 고려할 때, 본 연구결과를 해석하는데 주의할 필요가 있다.

이러한 한계점에도 불구하고 우리나라 인구집단을 대표하도록 대규모 인구집단(n=6,478)을 대상으로 설계되어, 주거환경 및 개인의 생활습관에 따른 화학물질의 노출에 대한 일반화가 용이하며, 일반적인 가설설정에 유용할 것으로 생각한다.

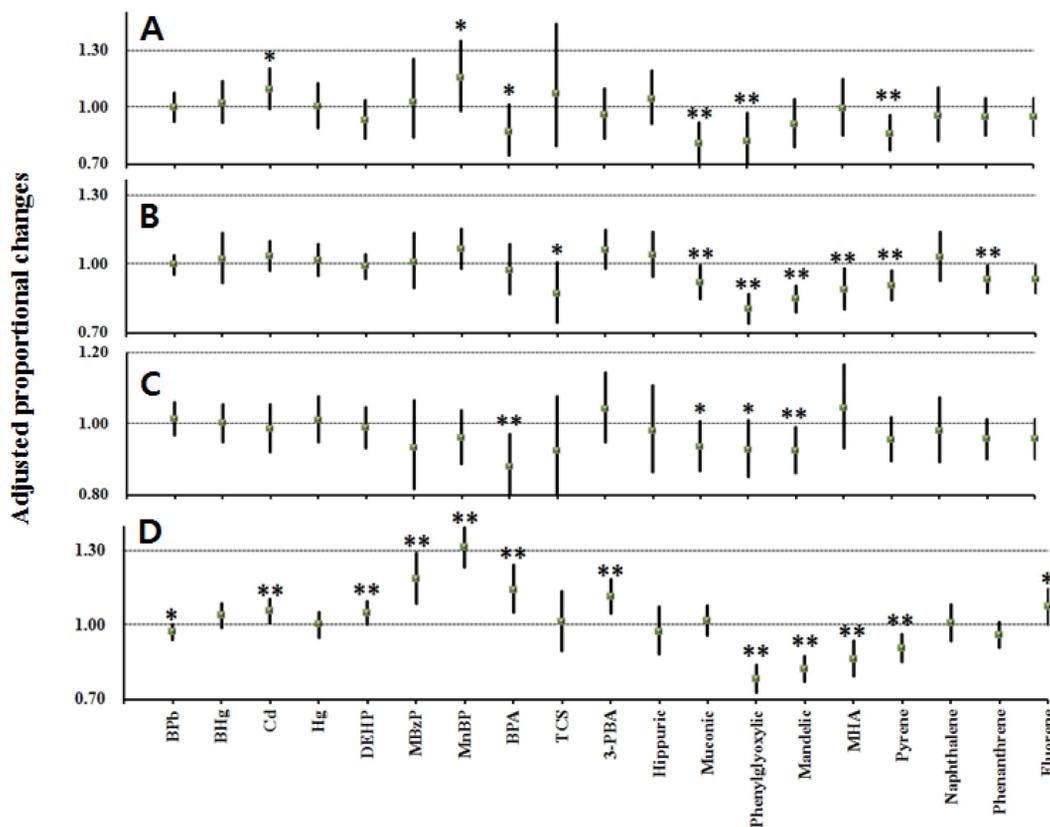


Fig. 1. Association of environmental chemicals with residential factors. Distance from road (A: ≥ 500 m, $100 \text{ m} \leq B < 500$ m, $50 \text{ m} \leq C < 100$ m, reference: < 50 m). Ventilation time (D: more than 1 hours, reference: less than 1 hour)

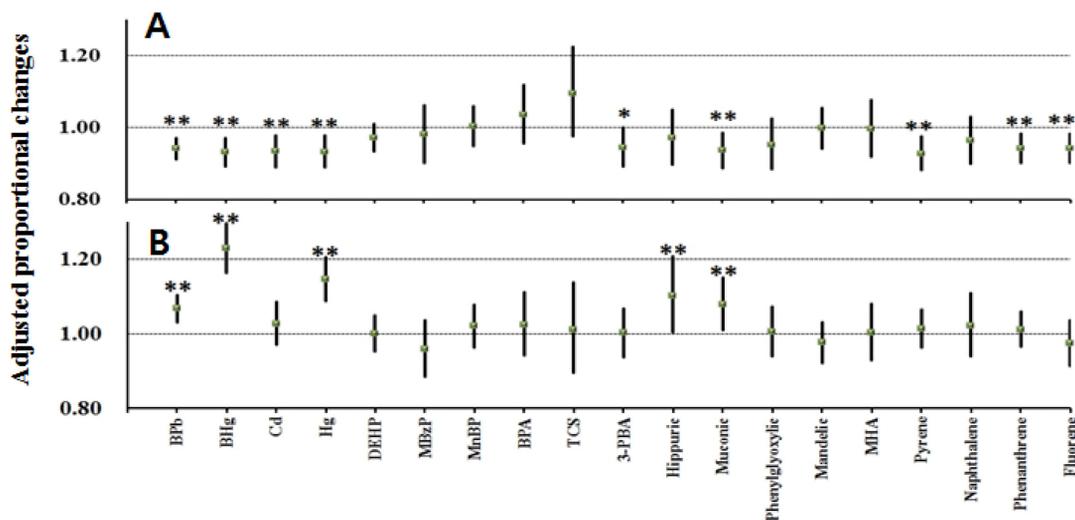


Fig. 2. Association of environmental chemicals with use of public transportation. Use of public transportation (A: yes, reference: no). Use of automobile except public transportation (A: car, reference: none)

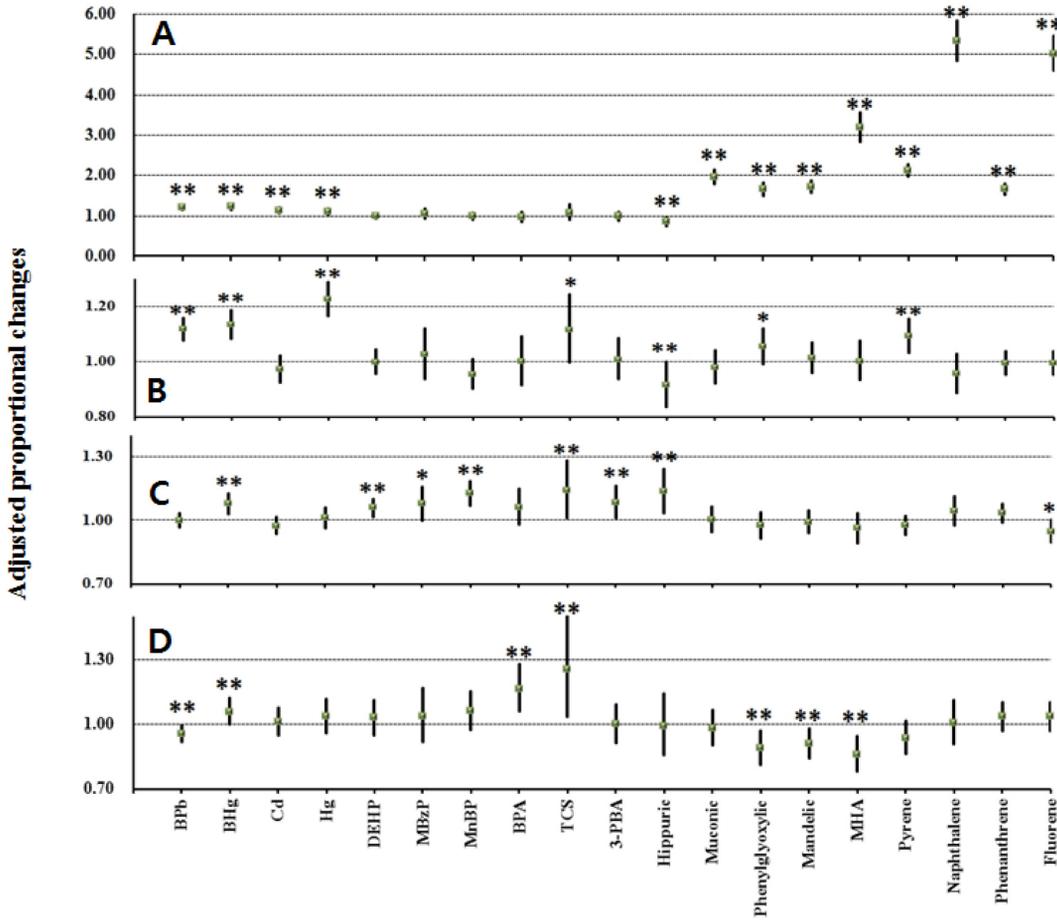


Fig. 3. Association of environmental chemicals with personal lifestyle factors. A: current smoker, B current drinker, C: high intensity physical activity D: low intensity physical activity (references: never or none)

IV. 결 론

본 연구는 우리나라 국민의 화학물질노출 수준의 대푯값을 확인하기 위해 제2기 국민환경보건기초조사 자료를 이용하였다. 거주지와 도로사이의 거리가 멀수록 VOCs 및 PAHs의 노출수준이 낮았으며, 가정환기도 이들 물질의 노출수준을 낮춘다는 것을 확인하였다. 자동차를 사용하는 것보다 대중교통을 이용하는 것이 중금속 및 VOCs 등 화학물질의 노출수준을 낮출 수 있다. 흡연과 음주는 생활용품을 통하여 노출되는 화학물질 이외의 중금속, VOCs, PAHs 등의 노출수준을 높이고, 운동과 관련하여 생활화학제품의 사용을 줄일 필요성을 확인하였다.

화학물질의 노출은 다양한 건강영향과 관련이 있어 이들 화학물질의 노출수준과 노출과 관련된 생활습관 등의 요인을 분석하는 것은 개인뿐만 아니라 사회단위에서 환경보건학적으로 매우 중요하다.

감사의 글

본 논문은 국립환경과학원 연구사업 R&D예산으로 수행되었습니다(NIER-2012-00-01-944).

References

1. National Research Council, 2006. Human biomoni-

- toring for environmental chemicals. In: Committee on Human Biomonitoring for Environmental Toxicants. The National Academies Press, Washington, DC.
2. Angerer J, Bird MG, Burke TA, Doerr NG, Needham L, Robison SH, Sheldon L, Zenick H. Meeting Report: Strategic Biomonitoring Initiatives: Moving the Science Forward. *Toxicol. Sci.* published online June 19th, 2006, doi:10.1093/toxsci/kfl042.
 3. Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes, Human- biomonitoring: Definitionen, Möglichkeiten und Voraussetzungen. *Bundesgesundheitsbl.* 1996; 39, 213-214.
 4. Becker K, Kaus S, Krause C, Lepom P, Schulz C, Seiwert M, Seifert B, German Environmental Survey 1998 (GerES III): environmental pollutants in blood of the German population. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 2002; 205, 297-308.
 5. CDC (Centers for Disease Control and Prevention). 2015. Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, Update Tables. Washington, DC: CDC.
 6. Health Canada. 2013. Second Report on Human Biomonitoring of Environmental Chemicals in Canada: Results of the Canadian Health Measures Survey Cycle 2 (2009-2011).
 7. Park CH and Ryu SD. Status and prospects of Korean National Environmental Health Survey (KoNEHS). *J Environ Health Sci.* 2014; 40(1): 1-9.
 8. Park CH, Choi WH, Hwang MY, Lee YM, Kim SJ, Ryu SD, Lee IA, Paek DM, Choi KH. Association between urinary phthalate metabolites and bisphenol A levels, and thyroid hormones among Korean adults population-Korean National Environmental Health Survey (KoNEHS) 2012-2014. *Sci. Total Environ.* 2017; 584-585: 950-957.
 9. Hwang MY, Lee YM, Kung SW, Hong SY, You JY, Park CH. Relationship between bisphenol A exposure and obesity in Korean adults from the second stage of KoNEHS (2012-2014). *J Environ Health Sci.* 2018; 44(4): 370-379.
 10. Deshmukh-Taskar P, Micklas TA, Yang SJ, Berenson GS. Does food group consumption vary by differences in socioeconomic, demographic, and lifestyle factors in young adults? The Bogalusa Heart Study. *J Am Diet Assoc.* 2007; 223-234.
 11. Kobrosly RW, Parlett LE, Stahlhut R, Barrett ES, Swan SH. Socioeconomic factors and phthalate metabolite concentrations among United States women of reproductive age. *Environ Research.* 2012; 115: 11-17.
 12. Park CH, Hwang MY, Kim HJ, Ryu SD, Lee KJ, Choi KH, Paek DM. Early snapshot on exposure to environmental chemicals among Korea adults-results of the first Korean National Environmental Health Survey (2009-2011). *Int. J. Hyg Environ Health.* 2016; 219: 398-404.
 13. Park HG, Ha NY, Kim DH, Kim JH, Lee CK, Kim KH, Ryu JY. Relationship between residence characteristics and polycyclic aromatic hydrocarbon exposure in housewives: second Korean National Environmental Health Survey (2012-2014). *Ann of Occupa and Environ Medicine.* 2018; 30: 23.
 14. Castro D, Sleza K, Delerue_Matos C, Alvim-Feraz MC, Morais S, Pereira MC. Contribution of traffic and tobacco smoke in the distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons on outdoor and indoor PM2.5. *Global Nest Journal.* 2010; 12: 3-11.
 15. Oh ES, Kim GB, Hwang SH, Ha MN, Lee KM. 2017. Longitudinal trends of blood lead levels before and after leaded gasoline regulation in Korea. *Environ Health Toxicol.* doi:10.5620/eh2017019.
 16. Pasquier A and Andre M. 2016. Considering criteria related to spatial variabilities for the assessment of air pollution from traffic. 14th World Conference on Transport Research (WCTR 2016), Transport Research Procedia. <hal-01453177>.
 17. Benfenati E, Valzacchi S, Mariani G, Airoidi L, Fanelli R. PCDD, PCDF, PCB, PAH, cadmium and lead in roadside soil: relationship between road distance and concentration. *Chemosphere.* 1992; 24(8): 1077-1083.
 18. Lee HS, Cho YH, Park SO, Kye SH, Kim BH, et al. Dietary exposure of the Korean population to arsenic, cadmium, lead and mercury. *J Food Comp and Analysis.* 2006; 19: S31-S37.
 19. Park CH, Hwang MY, Baek YW, Jung SW, Lee YM, Paek DM, Choi KH. 2019. Urinary phthalate metabolites and bisphenol A levels in the Korean adult population in association with sociodemographic and behavioral characteristics: Korean National Environmental Health Survey (KoNEHS) 2012-2014. *Int J Hygiene & Environ Health.* https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.02.003.
 20. Jo WK and Lee JH. In-vehicle levels of naphthalene and monocyclic aromatic compounds according to vehicle type. *Environ Eng Res.* 2009; 14(3): 180-185.
 21. Hesterberg TW, Lapin CA, Bunn WB. A comparison of emissions from vehicles fueled diesel or

- compressed natural gas. *Environ Sci Technol.* 2008; 42(17): 6437-6455.
22. Bakhtiari R, Hadei M, Hopke PK, Shahsavani A, Rastkari N, Kermani M, Yarahmadi M, Ghaderpoori A. Investigation of in-cabin volatile organic compounds (VOCs) in taxi; influence of vehicle's age, model, fuel, and refueling. *Environ pollution.* 2018; 237: 248-355.
 23. Kho YL and Lee EH. Comparison of concentration of urinary metabolites of PAHs from smokers and nonsmokers. *J Environ Health Sci.* 2011; 37(6): 474-481.
 24. Ha KC. A study on volatile organic compounds (VOC) in environmental tobacco smokers (ETS) at indoor office environments. *J Environ Health Sci.* 2001; 27(3): 87-98.
 25. Oh JS and Lee SH. Pb, Hg and Cd concentration of blood and exposure-related factors. *J Korea Academia-industrial cooperation Society.* 2015; 16(3): 2089-2099.
 26. Sui Z, Zheng M, Zhang M, Rangan A. 2016. Water and beverage consumption: Analysis of the Australian 2011-2012 National Nutrition and Physical Activity Survey. *Nutrients.* 6,678. doi:10.3390/nu8110678.
 27. Erythropel HC, Maric M, Nicell JA, Leask RL, Yargeau V. Leaching of the plasticizer di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) from plastic containers and the question of human exposure. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2014; 98: 9967-9981.
 28. Harley KG, Kogut K, Madrigal DS, Cardenas M, Vera IA, et al. Reducing phthalate, paraben, and phenol exposure from personal care products in adolescent girls: Findings from the HERMOSA Intervention Study. *Environ Health Perspect.* 2016; 124(10): 1600-1607.
 29. Kelly P, Kahlmeier S, Götschi T, et al., 2014. Systematic review and meta-analysis of reduction in all-cause mortality from walking and cycling and shape of dose response relationship. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* 11(1), 132. <http://dx.doi.org/10.1186/s12966-014-0132-x>.
 30. Mueller N, Rojas-Rueda D, Cole-Hunter T, et al., 2015. Health impact assessment of active transportation: A systematic review. *Prev. Med. (Baltim)* <http://dx.doi.org/10.1016/j.ypmed.2015.04.010>.

<저자 정보>

황문영(보건연구사), 홍수연(전문위원), 권영민(전문위원), 조혜정(전문위원), 박충희(환경연구관)