

대학생들의 혈액 내 휘발성 유기화합물 노출에 영향을 미치는 요인

최정미 · 김민수 · 신원호* · 문찬석[†]

부산가톨릭대학교 산업보건학과, *부산가톨릭대학교 대학원 환경산업보건학과

Determinant Factors for Blood VOCs Exposures in College Students

Jeong Mi Choi, Min Su Kim, Won Ho Shin*, and Chan-Seok Moon[†]

Department of Industrial Health, Catholic University of Pusan, Busan 609-757, Korea

*Department of Environmental and Industrial Health, Graduate School, Catholic University of Pusan, Busan 609-757, Korea

ABSTRACT

Objectives: The objective of this study was to identify determine factors for blood VOCs levels in college students.

Methods: Venous blood samples were collected from healthy 29 male and 25 female volunteers. The samples were analyzed with solid-phase microextraction gas chromatography and mass spectrometry.

Results: Blood concentrations of benzene, toluene, ethylbenzene, *m-p*-xylene, *o*-xylene were higher in smoking group than in non-smoking group. Geometric means of smoking group and non-smoking group were 0.45 and 0.36 $\mu\text{g/L}$ in benzene, 0.82 and 0.47 $\mu\text{g/L}$ in toluene, 0.44 and 0.41 $\mu\text{g/L}$ in ethylbenzene, 0.49 and 0.39 $\mu\text{g/L}$ in *m-p*-xylene and 0.47 and 0.43 $\mu\text{g/L}$ in *o*-xylene, respectively. Gender, alcohol drinking, coffee, commuting time (30 minutes) by a car and adjacency between home and road were not associated with increasing blood VOCs concentrations of college students.

Conclusion: Smoking habit was significantly associated with blood concentrations of benzene, toluene, ethylbenzene, *o-m-p*-xylene in college students.

Keywords: blood, smoking, SPME, GC/MS, VOCs

I. 서 론

휘발성 유기화합물류(VOCs)는 생활환경 중에서 노출되기 쉬운 물질들이며 물질의 대부분은 신경계를 비롯한 간과 신장 등에 유해한 물질이다.¹⁾ 생활환경 중에서도 VOCs의 노출원은 다양하다. 새집 건축 후 실내에서 발생하는 유해 유기화합물류, 직접 및 간접흡연, 자동차 배기가스, 구두약, 살충제, 접착제와 더불어 취미 활동에서 사용되는 도료, 메니큐어에 이르기 까지 노출범위가 광범위하며 일상 생활 중에서

도 상시 노출이 일어난다고 볼 수 있다. 최근에는 VOCs를 직접 사용하고 있는 작업장뿐만 아니라 이들의 노출원에 의한 주변지역 주민들의 영향에 대한 인과관계도 규명하려는 역학연구가 행해지고 있다.²⁻⁵⁾

VOCs의 생활환경에 의한 노출에 있어 20대 연령층의 경우, 육체적 활동이 활발하고, VOCs의 노출 원인 흡연에서도 30대 연령군과 함께 가장 높은 흡연율을 나타내고 있고, 직장실내의 간접 흡연 노출률은 20대군(19세 포함)이 다른 연령군에 비하여 가장 높게 나타나고 있다. 음주의 경우는 월간 음주율

[†]Corresponding author: Department of Industrial Health, Catholic University of Pusan, Busan 609-757, Korea, Tel: +82-51-510-0633. Fax: +82-51-510-0638, E-mail: csmoon@cup.ac.kr

Received: 6 January 2015, Revised: 30 January 2015, Accepted: 25 February 2015

Table 1. Physical characteristics of participants

	Man	Woman	Total
No.	29	25	54
Age(years)*	21.5±2.2 (19-26)	20.2±0.8 (19-21)	20.9±1.8 (19-26)
Height(cm)*	174.8±5.3 (163-184)	161.0±4.8 (153-170)	168.4±8.5 (153-184)
Weight(kg)*	71.8±12.5 (51-100)	49.0±3.7 (41-56)	61.2±14.8 (41-100)
BMI*	23.5±3.6 (18.3-30.5)	18.9±1.1 (17.0-21.4)	21.3±3.5 (17.0-30.5)

*AM±ASD (Min.-Max.)

이 20대 청년층(19세 포함)에서 가장 높게 나타나고 있다. 이와 같이 왕성한 육체적 활동을 통한 노출 뿐만 아니라 흡연 및 음주에 의해서도 유해물의 노출 가능성이 높다고 볼 수 있다.^{6,7)} 그러나 최근까지 일반 생활 환경을 통한 저농도 생체 노출 평가연구에서, 대기를 통한 노출 요인과 개인 설문에 의해 인체 노출을 추정할 수 있는 보고는 다수 있으나, 혈액을 비롯한 생체 노출 지표에 근거한 연구는 국내외 모두 드문 편이며, 혈 중 VOCs의 노출 수준과 유해 요인과의 인과관계를 확인하는 것은 환경보건학적인 측면에서 의미가 있다.^{4,5)}

환경 노출에 따른 생물학적 모니터링으로서 혈중 원물질의 경우, 요중 대사체나 요중 원물질에 비하여 더 유효한 지표임이 과거의 많은 연구에서 보고 되어 왔다.⁸⁻¹⁰⁾ 그리고 최근에는 일반인을 대상으로 한 혈중 원물질의 경우 극히 농도가 낮고 대다수의 사람들을 대상으로 역학적 연구를 해야 하는 필요성이 제기되고 있다. 분석과정이 신속하고 정확하면서 기존의 분석방법에 비해 대다수의 시료 이므로 저가의 시료 분석방법을 필요로 하고 있다. 이와 함께 검출농도 수준과 검출율의 측면에서도 연구의 필요성이 제기되고 있다.¹¹⁾

본 연구에서는 왕성한 활동에 따른 휘발성 유기화합물 노출이 높을 것으로 생각되는 대학생들을 참여자로 하여 가장 흔히 노출되는 VOCs 6종의 생물학적 노출 지표로서 혈중 원물질의 농도를 헤드스페이스 마이크로 고체상 추출법과 GC/MS 이용하여 고찰하였다. 혈 중 농도에 따른 노출 영향 요인으로서 성, 흡연, 음주, 커피, 1일 차량이용시간 및 자택과 자동차도로의 인접성에 관해 비교 검토하였다

1. 연구 대상자

C교에 재학중인 19-26세 대학생 참여자들을 대상으로 2013년 11월 5일에 조사를 시행하였다. 조사는 각 대상자들의 신장과 체중을 측정하고, 자가설문지로 흡연 및 음주습관, 하루 중의 차량이용시간 및 자택과 자동차 도로의 인접한 거리에 관한 설문 조사를 실시하였다. 참여자들은 1:1 면접에 의하여 설문자의 충분한 설명을 바탕으로 개인별 설문지가 작성되었다. 설문지 작성 후 정맥혈을 채혈하였다. 실험 참여자는 54명(남 29명 여자 25명)으로서 모두 조사일 현재 질병을 가지고 있지 않는 건강한 자들이다. 이들 연구 참여자들은 연구참여동의와 생명윤리심의위원회의 심의를 득한 후 조사를 시행하였다. (CUPIRB-2012-003)

2. 재료 및 분석방법

1) 재료, 시약 및 분석전처리

채혈용기 및 마개는 VOCs 오염을 없애기 위하여 사전에 가열한 메탄올에 처리한 것을 사용하였으며 헤드스페이스 부분이 없도록 혈액을 최대한 가득 담았다. 혈액은 냉장 보관하였으며 채혈 후 3일 이내에 분석을 수행하였다. 헤드스페이스 고체상 마이크로 추출법(HS-SPME)과 가스크로마토그래피 질량분석법(GC/MS)을 이용하였다. 1,4-Dichlorobenzene-D4, Fluorobenzene을 내부표준용액으로 사용하였으며, CTC combiPAL을 이용하여 85 µm carboxen/PDMS StableFlex fiber로 헤드스페이스에서 흡착하였다. 혈액(2ml) 중 6종의 저농도 휘발성 유기화합물류(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, o-,m-,p-자이렌)를 대상으로 분석 결과치를 도출하였다.¹¹⁾

2) 기기분석

II. 연구 방법

Table 2. Analytical conditions of GC/MS for venous blood VOCs levels

Parameter	Condition
GC and MS	
GC Model	HP 6890 (Hewlett Packard Inc., USA)
Detector	HP 5973 MSD (Hewlett Packard Inc., USA)
Column	DB-5MS (60 m * 0.25 mm ID * 0.25 μm FT, 5%-phenyl siloxane)
Carrier Gas	He
Flow rate	1.0 mL/min
Oven Temp.	40°C(5 min)-1.5°C/min-55°C(0 min)-5.0°C/min-160°C(2 min)
Injector	220°C
Ionization mode	EI Auto
Innization energy	70 eV
Detection mode	Selected ion monitoring (SIM)
Selected ion and detection limit	
Selected ion (m/z)	Benzene 78,77, Toluene 91,92,77, Ethylbenzene 91,106,77, m-,p-Xylene 91,106,77, o-xylene 91,106,77, 1,4-Dichlorobenzene-D4(IS) 152, 150, Fluorobenzene(IS) 96, 70
Lower limit of quantification (LLOQ)*	Benzene 0.07 μg/L, Toluene 0.14 μg/L, Ethylbenzene 0.09 μg/L, m-,p-Xylene 0.05 μg/L, o-xylene 0.10 μg/L
HS-SPME in CTC combiPAL	
Sample volume (Blood)	2 ml
SPME reagent	NaCl 1.6 g and K ₂ CO ₃ 0.08 g in 4 ml reagent
SPME fiber	85 μm Carboxen/PDMS StableFlex (Supelco, USA)
Incubation Temp.	30°C
Agitator speed of sample vial	250 rpm
Adsorption time	50 min.
Desorption time	5 min.

분석장치 및 기기분석조건을 Table 2에 나타내었으며, 2013년 국립환경과학원의 방법에 준하였다.¹¹⁾ 분석 물질 별 선택이온에 대한 크로마토그램을 작성하고 각각 표준물질의 머무름 시간에 해당하는 위치의 피크로부터 피크 면적을 측정하였다. GC분석용 최종표준용액은 각기 다른 농도로 5개 이상 시행하

였다. 검정곡선 내 각 포인트의 농도분배는 가능한 균등하게 하였으며, 검정곡선 평가를 각기 다른 일자로 3회 반복 진행하였다. 회수율은 75~125% 이내로 관리하였다.¹¹⁾

3. 통계 분석

통계분석은 IBM SPSS Statistics 21 통계 프로그램을 사용하여 남녀 및 전체의 연령, 신장, 체중 및 체질량지수(BMI)의 산술평균, 최솟치 및 최대치를 산출하였다. 각 요인별 혈중 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, m-p-자이렌 및 o-자이렌의 기하평균과 기하표준편차를 산출하였으며, 각 요인별 기하평균치의 비교는 Student's t-test를 사용하였다.

III. 결 과

연구 참여자의 일반적인 신체적 특성으로서 대상자의 평균연령은 20.9세(남 21.5세, 여 20.2세)이며, 키는 168.4 cm(남 174.7 cm, 여 161.0 cm), 체중은 61.2 kg(남 71.8 kg, 여 49.0 kg), 체질량지수는 21.3(남 23.5, 여 18.3)이었다. (Table 1)

본 연구에서 20대의 대학생 참여자를 중심으로 혈액 중 6종의 휘발성 유기화합물류(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, o-,m-,p-자이렌)를 대상으로 유해 요인별 기하평균치와 기하표준편차를 Table 3에 나타내었다. 유해요인은 생활환경 중 휘발성유기화합물에 가장 노출이 높을 것으로 생각되는 노출 및 노출 영향요인으로서 흡연, 음주, 커피차 섭취, 1일 차량이용시간 및 자택과 자동차도로의 인접성으로 나누어 기하평균치의 차이를 비교하였다.

흡연요인의 경우, 6종의 혈중 VOCs 모두에서 기하평균치가 흡연군이 높게 나타났다. 벤젠의 경우 흡연군이 0.45 μg/L, 비흡연군이 0.36 μg/L로서 비흡연군의 혈중농도에 비하여 흡연군이 27% 높게 나타났다($p<0.01$). 톨루엔의 경우는 흡연군이 0.82 μg/L, 비흡연군이 0.48 μg/L로서 흡연군이 비흡연군 보다 73% 더 높게 나타났다($p<0.01$). 에틸벤젠(7%, $p<0.05$), m-,p-자이렌(24%, $p<0.01$) 및 o-자이렌(9%, $p<0.05$) 모두 흡연군이 비흡연군에 비해 높은 평균치를 나타내었다.

음주습관의 경우는 1주일에 1회 이하 소주 1잔 이하를 마시는 경우는 비 음주군으로 정하였으며 일주일에 음주 횟수가 1회를 초과하거나 소주1잔을 초

Table 3. Geometric mean (geometric standard deviation) of blood VOCs concentrations ($\mu\text{g/L}$)

	No.	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	<i>m,p</i> -xylene	<i>o</i> -xylene
Gender						
Male	29	0.41(1.23)**	0.63(1.80)	0.43(1.10)	0.45(1.26)*	0.45(1.14)
Female	25	0.36(1.15)	0.49(1.78)	0.42(1.09)	0.40(1.21)	0.43(1.12)
Smoking						
Smoker	17	0.45(1.22)**	0.82(1.65)**	0.44(1.11)*	0.49(1.25)**	0.47(1.14)*
Non-smoker	37	0.36(0.15)	0.48(1.74)	0.41(1.08)	0.39(1.20)	0.43(1.12)
Alcohol drinking						
Drinker	24	0.37(1.17)	0.67(1.79)†	0.42(1.10)	0.40(1.24)	0.43(1.12)
Nondrinker	30	0.40(1.24)	0.49(1.76)	0.43(1.09)	0.44(1.24)	0.46(1.14)
Coffee						
Nondrinking	8	0.39(1.13)	0.81(1.92)	0.43(1.05)	0.42(1.27)	0.46(1.13)
Drinking	46	0.38(1.23)	0.53(1.76)	0.42(1.10)	0.42(1.25)	0.44(1.13)
Commuting time (30 minutes) by a car						
Excess 30 min	35	0.39(1.24)	0.61(1.89)	0.43(1.11)	0.43(1.25)	0.45(1.13)
Below 30 min	19	0.37(1.14)	0.50(1.62)	0.41(1.05)	0.41(1.25)	0.44(1.14)
Adjacency between home and road						
Adjacency	36	0.38(1.20)	0.61(1.82)	0.42(1.09)	0.42(1.22)	0.45(1.12)
Non-adjacency	18	0.39(1.24)	0.48(1.74)	0.43(1.12)	0.42(1.30)	0.44(1.16)
Smokers and non-smokers in male participants						
Smoker	16	0.46(1.22)**	0.87(1.58)**	0.45(1.11)**	0.49(1.26)*	0.48(1.14)*
Non-smoker	13	0.36(1.14)	0.43(1.64)	0.41(1.05)	0.40(1.21)	0.43(1.12)
Total	29	0.41(1.23)	0.63(1.80)	0.43(1.10)	0.47(1.26)	0.45(1.14)
Non-smoking participants						
Male	13	0.35(1.15)	0.50(1.79)	0.42(1.10)	0.39(1.20)	0.44(1.12)
Female	25	0.36(1.14)	0.43(1.64)	0.41(1.05)	0.40(1.21)	0.43(1.12)
Total	38	0.36(1.15)	0.48(1.74)	0.41(1.08)	0.39(1.20)	0.43(1.12)

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, † $p = 0.05$

과하는 경우는 음주군으로 정하여 이들 두 군간의 혈중 VOCs 농도를 비교하였다. 혈중 톨루엔($p=0.05$)만 기하평균 $0.67 \mu\text{g/L}$ 로 음주군이 비음주군($0.49 \mu\text{g/L}$)에 비해 높게 나타났으며 다른 휘발성유기화합물(벤젠, 에틸벤젠, *m,p*-자이렌 및 *o*-자이렌)은 음주군과 비음주군 간의 유의한 차이를 나타내지 않았다. ($p > 0.05$)

기호품으로서 커피차 섭취군과 섭취하지 않는 군으로 나누어 혈중 VOCs의 차이가 나타나는 지를 비교하였다. 톨루엔의 경우 비섭취군이 $0.81 \mu\text{g/L}$ 이며 섭취군이 $0.50 \mu\text{g/L}$ 로서 비섭취군이 높은 혈중 농도치를 나타내었으나 통계적인 유의성을 나타내지 않았다. 벤젠, 에틸벤젠, *m,p*-자이렌 및 *o*-자이렌은 거

의 비슷한 평균치를 나타내었다. ($p > 0.05$)

차량의 연료는 휘발성 유기화합물을 다량 함유하고 있으므로 연구참여자의 하루 중 통학시간을 기준으로 설문을 통하여 1일 차량승차시간 30분을 기준으로 30분 이하의 시간으로 승차하는 군과 30분을 초과하는 군으로 나누어 혈 중 VOCs의 증감을 비교하였다. 승차시간이 30분을 초과하는 군과 30분 이하의 군을 비교하였을 때, 혈 중 벤젠은 $0.39 \mu\text{g/L}$ (30분 초과군), $0.37 \mu\text{g/L}$ (30분 이하군), 혈 중 톨루엔은 $0.61 \mu\text{g/L}$ (30분 초과군), $0.50 \mu\text{g/L}$ (30분 이하군), 혈 중 에틸벤젠은 $0.43 \mu\text{g/L}$ (30분 초과군), $0.41 \mu\text{g/L}$ (30분 이하군), 혈 중 *m,p*-자이렌은 $0.39 \mu\text{g/L}$ (30분 초과군), $0.37 \mu\text{g/L}$ (30분 이하군), 혈 중 *o*-자

이렌은 0.45 µg/L(30분 초과군), 0.44 µg/L(30분 이하군)을 나타내며 30분 초과군에서 높은 기하평균값을 나타내었으나 모든 분석항목에서 유의한 차이를 나타내지는 않았다.

자택과 도로와의 인접성은 본인이 현재 주거하고 있는 자택과 차량이 통행하고 있는 도로와의 인접성으로 나누었다. 자택이 도로와 직접 인접해 있는 군과 그렇지 않은 군으로 나누어 비교하였다. 도로에 인접한 군과 인접해 있지 않은 군의 혈중 벤젠은 0.38 µg/L 인접해 있지 않은 군의 혈중 벤젠은 0.39 µg/L, 톨루엔의 경우 0.61 µg/L, 0.48 µg/L, 에틸벤젠의 경우 0.42 µg/L, 0.43 µg/L, *m,p*-자이렌의 경우 0.42 µg/L, 0.42 µg/L, *o*-자이렌의 경우 0.45 µg/L, 0.44 µg/L을 나타내었다. 모든 분석항목에서 도로에 인접한 그룹과 인접해 있지 않은 그룹간에 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다.

III. 고 찰

본 연구에서 혈중 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, *m,p*-자이렌, *o*-자이렌 농도(혈중 BTEX) 모두 비흡연군에 비해 흡연군의 농도가 유의하게 높게 나타났으며 흡연요인이 혈중 BTEX에 영향을 나타낼 수 있는 요인으로 생각된다.³⁾ 혈중 BTEX 농도와 흡연과의 연관성에 관해서는 미국의 일반인을 대상으로 한 NHAHES 조사의 결과에서 볼 때 명확한 연관성을 나타내고 있는 것으로 보고하고 있다.^{12,13)} 특히 Lin 등은(2008) 혈중 BTEX에 있어, 대기중의 노출 농도와 혈중 농도간의 상관성을 보고하면서 이 상관관계에 영향을 미치는 요인으로서 흡연을 비롯하여 성별, 연령별 또는 체질량지수 (BMI)를 들고 있다.^{13,14)} 본 연구에서도 흡연은 명확히 혈 중 BTEX의 상승 요인으로 확인할 수 있었다. 그러나 영향요인으로서 음주, 커피 음용, 자택과 도로와의 인접성이나 1일 중 차량이용시간의 경우, 본 연구에서는 혈 중 BTEX 의 상승요인으로서 확인할 수 없었다.

본 연구의 남녀간 성별에 따른 요인에서는 혈중 벤젠과 *m,p*-자이렌 농도가 남자군에서 유의하게 높게 나타났다. 그러나 성별영향을 확인하기에 앞서 성별차이 자체에 흡연의 영향인자가 내재되어 있는 것으로 생각되었다. 즉, 여자 참여자의 경우 모두 비흡연자이고 남자의 경우는 일부만 비흡연자이므로

성별인자와 흡연인자에 대한 층화분석을 시도할 경우는 여성 중 흡연자가 없으므로 부득이 남자 대상자 중에서 흡연자와 비흡연자를 구분하여 나타내었다. 그리고 성별 영향에 관해서는 남녀 비흡연자들을 다시 추출하여 결과치를 나타내었다. 남자 대상자를 흡연군과 비흡연군으로 나누었을 때, 혈중 BTEX에서 흡연군의 혈중 농도가 유의하게 높게 나타났다. 그리고 남녀 비흡연자의 혈중 BTEX 농도를 비교하였을 때, 이들 분석 대상물질 모두에서 비슷한 농도를 나타내었으며 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그러므로 본 연구에서는 흡연요인을 제외한 경우에 혈중 대상 물질들의 성에 따른 차이를 나타내지 않으므로 혈중 벤젠과 *m,p*-자이렌은 흡연요인에 의한 편견 (bias)으로 유추할 수 있었다.

우리나라 20대 연령군(19세 포함)의 흡연율은 2012년 조사 기준으로 28.0%로서 30대 연령군 (32.5%) 다음으로 높은 흡연율을 나타내고 있다.⁷⁾ 1998년 전체 흡연율은 35.2%였으며 2012년에 28.0%로서 13.2%p 감소하는 경향을 나타내었다. 남자의 경우는 1998년에 흡연율이 70.7%였으나 2012년 41.5%로서 확연한 감소경향을 나타내고 있다. 여자의 경우는 1998년 5.1%였으나 현재 13.6%로서 과거 1998년에 비하여 증가된 흡연율을 나타내었다.⁷⁾ 비흡연자의 직장실내 간접흡연노출률의 경연변화를 볼 때, 남자군 및 여자군 모두에서 간접흡연노출률은 조금씩 증가하고 있음을 보였다. 2012년 조사에서 비흡연자의 직장실내 간접흡연노출률은 전체 59.1%였으며 남자군이 65.0%, 여자군이 55.3%로서 남자가 조금 높게 나타났다.⁷⁾ 그러므로 흡연요인은 우리나라의 20대 연령군(19세 포함)에서 VOCs의 노출에 유의한 영향을 줄 수 있는 요인으로 판단된다. 다만 최근의 담배가격의 인상으로 인하여 20대 연령군의 흡연율의 변화는 발생 가능할 것으로 생각되며 추후 연구가 되어야 할 것이다.

20대 연령층(19세 포함)의 월간 음주율을 다른 연령군과 비교하여 보았을 때, 20대 연령군(19세 포함)은 2012년 조사에서 66.6%로서 다른 연령군에 비해 가장 높은 음주율을 나타내고 있다. 연간 추이에서는, 2005년에 65.5%이며 2012년에 66.6%로서 현저한 증감은 확인되지 않았다. 성별로 나누어 보았을 때, 남자의 경우는 2005년에 78.4%에서 2012년에 73.4%로 약간 낮아졌고, 여성의 경우는 2005년에

51.8%에서 57.7%로 약간 증가하는 경향을 나타내고 있다. 음주의 경우는 대다수의 20대 청소년층에서 나타나고 있는 상황으로서 혈중 VOCs의 상승요인으로 작용할 가능성은 있으나, 본 연구 결과에서는 음주자와 비음주자 간의 명확한 차이는 발견할 수 없었다.

IV. 결 론

대학생 참여자를 대상으로 하여 성, 흡연, 음주습관, 커피음용, 1일 차량승차시간 및 자택과 자동차도로와의 인접성에 따른 혈중 휘발성유기화합물의 농도 차이를 검토하였다. 흡연습관에 따라 혈중 휘발성유기화합물 중 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, m-,p-자이렌, o-자이렌 및 스티렌의 농도는 상승하였으며 영향요인으로 파악되었다. 성별, 음주습관, 차량승차시간 및 자택과 도로와의 인접성 요인에 관한 노출 요인과 혈중 BTEX 농도와의 용량-반응관계에 관해서는 지속적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 부산가톨릭대학교 2012년도 학술연구비 지원으로 수행되었음.

References

1. Moon C-S, Lee JT, Chum JH, Ikeda M. Use of solvents in industries in Korea: experience in Sinyeong-Jangrim industrial complex. *Int Arch Occup Environ Health*. 2001; 74(2): 148-152.
2. Hwang Y, Lee K, Kim S, Hong Y-C, Jun J-K, Cho S-H. Measurement of residential volatile organic compound exposure through a participant-based method. *J Environ Health Sci*. 2011; 37(5): 369-375.
3. Ha CH. A study on volatile organic compounds (VOC) in environmental tobacco smoke (ETS) at indoor office environments. *Korean J Environ Health Soc*. 2001; 27(3): 87-98.
4. Kim D-S, Ahn SC, Ryu JM, Yu SD. Monitoring Study on Exposure Levels of Environmental Pollutants in Residents of a Non-Industrial Area, Korea. *J Environ Health Sci*, 2012; 38(6): 482-492.
5. Lee C-W, Jeon H-L, Hong E-J, Yu S-D, Kim D-S, Son B-S. A Study on the Correlation and Concentration in Volatile Organic Compounds(Benzene, Toluene, Xylene) Levels According to the Indoor/Outdoor and the Type of Residents' House in Industrial Area. *J Environ Health Sci*. 2010; 36(5): 351-359.
6. Moon C-S, Paik JM. Dietary intake and body burden of cadmium and lead among Korean college students. *J Kor Soc Occup Environ Hyg*. 2011; 21(1): 25-32.
7. Korea Centers for Disease Control and Prevention. Korea Health Statistics 2012: Korea National Health and Nutrition Examination Survey [KNHANES V-3]. Osong: Korea Centers for Disease Control and Prevention Press; 2012.
8. Ikeda M. Solvents in urine as exposure markers. *Toxicol Lett* 1999; 108: 99-106.
9. Kawai T, Yasugi T, Mizunuma K, Horiguchi S, Iguchi H, Ikeda M. Crivi-linear relation between acetone in breathin air and acetone in urine among workers exposed to acetone vapor. *Toxicol Lett* 1993; 62: 85-91.
10. Kawai T, Yasugi T, Mizunuma K, Horiguchi S, Ikeda M. Comparative evaluation of blood and urine analysis as a tool for biological monitoring of n-hexane and toluene. *Int Arch Occup Environ Health* 1993; 65: S123-S126.
11. National Institute of Environmental Research. Development and standardize of analytical method of environmental pollutants in body fluids II. Incheon: National Institute of Environmental Research Press; 2013.
12. Chambers DM, Ocariz JM, McGuirk MF, Blount BC. Impact of cigarette smoking on Volatile Organic Compound (VOC) blood levels in the U.S. Population: NHANES 2003-2004. *Environ Int*. 2011; 37: 1321-1328.
13. Lin YS, Egeghy PP, Rappaport SM. Relationships between levels of volatile organic compounds in air and blood from the general population. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2008; 18(4): 421-429.
14. Ashley DL, Bonin MA, Cardinali FL, McCraw JM, Wooten JV. Measurement of volatile organic compounds in human blood. *Environ Health Perspect*. 1996; 104(5): 871-877.