

연구참여자에 의한 주택실내 휘발성 유기화합물 농도의 측정

황윤형 · 이기영[†] · 김서진 · 홍윤철* · 전종관** · 조수현*

서울대학교 보건대학원 환경보건학과 및 보건환경연구소, *서울대학교 의과대학 예방의학과,
**서울대학교 의과대학 산부인과

Measurement of Residential Volatile Organic Compound Exposure Through A Participant-Based Method

Yunhyung Hwang, Kiyoung Lee[†], Seojin Kim, Yun-Chul Hong*,
Jong-Kwan Jun**, and Soo-Hun Cho*

Department of Environmental Health and Institute of Health and Environment,
Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea

*Department of Preventive Medicine, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea

**Department of Obstetrics and Gynecology, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea

ABSTRACT

Objectives: Exposure to hazardous chemicals during pregnancy may result incritical reproductive health outcomes. Indoor residential levels are significant component of personal exposure. The collection of residential exposure data has been hampered by the cost and participant burden of health studies of indoor air pollution. This study utilized a participant-based approach to collect volatile organic compounds concentration from homes.

Methods: Four hundred thirteen women were recruited from three major hospitals in Seoul and Gyeonggi Province and 411 agreed to participate. A passive sampler (OVM 3500, 3M, USA) with instructions were given to the participants, as well as a questionnaire. They were asked to deploy the sampler in their homes for three to five days and return them viapre-stamped envelope.

Results: Three hundred forty six participants returned the sampler. Among the returned samplers, three hundred samplers satisfied our monitoring quality criteria. The success rate of the monitoring method was 73%. The geometric mean of TVOC level was 429(2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The TVOC guideline of 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ was exceeded in 38% of the houses. The residential VOC levels were significantly associated with remodeling of the house.

Conclusions: The results suggested that a participant-based sampling approach may be a feasible and cost-effective alternative to exposure assessment involving home visits by a field technician.

Key words: Participants, Passive samplers, Pregnancy, Volatile organic compounds

I. 서 론

어린이와 노약자와 같은 민감계층은 실내에 머무는 시간이 길고 환경오염 물질에 민감하게 반응하기 때문에 실내 공기질의 영향을 받기가 더 쉽다. 특히

임산부의 경우 임신 중 산모의 오염물질에 대한 노출이 태아 및 출생 후 어린이 건강에 부정적인 건강영향을 미친다는 것이 증명됨에 따라 임산부의 노출을 평가하는 것이 더욱 중요시되고 있다.¹⁻³⁾ 캐나다 밴쿠버에서 임산부 62명을 대상으로 연구한 결

[†]Corresponding author: Department of Environmental Health and Institute of Health and Environment, Graduate School of Public Health, Seoul National University, Tel: +82-2-880-2735, Fax: +82-2-745-9104, E-mail: cleanair@snu.ac.kr
Received: 24 February 2011, Revised: 23 August 2011, Accepted: 17 October 2011

과 임신부는 하루 중 약 16.2시간(67.5%)을 집에서 보내며, 임신 주수가 증가함에 따라 집에서 보내는 시간이 증가하는 것으로 나타났다.⁴⁾ 한국인은 평일 1일 중 평균 14.2시간(59.3%)을 주택실내, 6.8시간(28.3%)을 기타실내(직장, 학교, 기타 실내환경), 1.8시간(7.3%)을 이동수단, 1.3시간(5.2%)을 실외에서 보내는 것으로 나타났으며, 주말에는 주택실내에 머무는 시간이 평균 16.1시간(67.2%)으로 평일에 비해 더 오랜 시간을 주택실내에서 보내는 것으로 조사되었다.⁵⁾

휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds; VOCs)이란 상온에서 증발 또는 기화되는 유기화합물을 총칭하는 것으로, ‘새집증후군’, ‘화학물질과민증’ 등 실내공기오염으로 인한 새로운 환경성 질환의 주원인으로 추정되고 있으며 VOCs 농도는 대체적으로 실내에서 실외에서보다 더 높은 것으로 알려져 있다.⁶⁾ 개인노출에서 VOCs의 실내 농도는 중요한 역할을 한다. 특히 주택의 실내환경은 하루 24시간 중 사람들이 머무는 시간의 비중이 높아서 개인노출에 미치는 영향이 크다. 주택실내에서의 VOCs 발생원은 합판, 벽지 등의 건축 내장재와 건축 시공시에 사용되는 접착제, 커튼이나 카펫, 가구 등의 일상 생활용품, 개방형의 난방기구, 살충제, 방향제, 흡연 등으로 알려져 있다.⁷⁻¹²⁾

실내환경의 건강영향을 연구하기 위해서는 주택실내 공기측정이 필요하다. 기존의 연구에서 흔히 이용되는 방법인 연구원이 각 가정을 방문하여 측정하는 방법은 데이터의 신뢰성이 높다는 장점이 있다. 그러나 많은 시간과 비용이 소모되며, 잘 모르는 사람을 집에 들이고, 방문을 위해 사전에 시간 약속을 해야 한다는 점이 연구자와 연구참여자 모두에게 부담으로 작용한다는 단점이 있다. 수동식 시료채취기를 이용한 공기질 측정의 경우, 펌프 및 흡착제가 필요한 기존의 방법보다 상대적으로 조작이 쉬워 연구참여자가 직접 시료채취기를 설치하는 방법이 가능할 수도 있다. 이 방법은 연구참여자의 부담을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 연구자의 시간과 비용을 아낄 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 이러한 방법이 실제로 어느 정도의 유효성을 갖는지에 대한 연구는 부족한 실정이다. 미국의 한 연구에서 연구참여자가 직접 자신의 주택실내 공기질을 측정하는 방법으로 천식환자 가정의 공기질을 연구한 사례가

있다.¹³⁾ 본 연구는 내원 시 수동식 시료채취기를 배부하고 착불 택배를 이용하여 이를 회수하는 방식으로 진행되었다.

이 연구의 목적은 임신부를 대상으로 하여 주택실내 공기질을 측정할 때 연구참여자가 직접 시료를 채취하는 방법을 적용하여 임신부가 있는 가정 내의 VOCs의 수준과 그와 관련된 인자를 파악하는 것이다.

II. 연구방법

시료채취는 2008년 11월부터 2009년 12월에 이르기까지 약 1년에 걸쳐 이루어졌다. 서울의 2개 병원과 경기도의 1개 병원에서 413명의 산모에게 연구참여동의를 구하였고 이 중 411명이 동의하였다. 연구참여자 모집 당시 동의서를 받은 후 수동식 시료채취기(OVM 3500, 3M, USA)와 간략한 설명서 및 설문지를 수령하였다. 각 연구참여자는 수동식 시료채취기를 이용하여 각 가정마다 한 번씩 실내 VOCs 농도를 측정하였다. 연구참여자들에게 배부한 설문지를 통해 주택실내 공기질 농도에 영향을 줄 것으로 생각되는 요인인 가족 구성원의 수, 건물형태, 넓이 및 냉난방 시스템, 요리 연료, 리모델링 여부, 4차선 이상 도로와의 거리, 그리고 가족 구성원 중 흡연자 여부를 조사하였다.

연구참여자는 각자의 집에 수동식 시료채취기를 직접 설치하였다. 수동식 시료채취기는 거실에 설치되었으며, 실내공기농도에 영향을 줄 수 있는 에어컨, 난방기 등을 피하여 측정 장소를 선정하였다. 연구참여자들은 시료채취 시작시간과 종료시간도 기록하였다. 측정이 끝난 수동식 시료채취기는 원래대로 다시 용기에 넣어 착불 택배를 통해 회수되었다. 수동식 시료채취기는 4°C에서 냉장보관되었다가 회수일로부터 10일 이내에 분석되었다. 냉장고에서 꺼낸 수동식 시료채취기를 차콜 패드와 분리해 바이알에 담고, 2 ml CS₂를 이용하여 시료를 추출하였다. 추출된 시료를 NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM) 1003에 따라 GC-FID(6890N, Agilent, USA)에 주입하여 분석하였다.¹⁴⁾

수동식 시료채취기의 시료채취 기간이 8일 이내이면서 수동식 시료채취기 배부 후 60일 이내에 회수된 것을 유효한 자료로 하였다. 검출한계는 분석할 때마다 공시료를 7번 주입하여 나오는 분석결과

표준편차의 3배로 정하고, 검출한계보다 낮은 농도는 검출한계의 1/2로 처리하였다. 본 연구의 통계분석은 SPSS(SPSS for Windows, version 18.0, USA)를 통해 이루어졌으며, 실내 공기질 공정시험법에 의한 기준과 비교하기 위하여 벤젠, 톨루엔, 자일렌, 에틸벤젠을 대상으로 하였다. 총휘발성 유기화합물(Total Volatile Organic Compounds; TVOC)은 헥산부터 헥사데칸 사이에 있는 모든 VOCs로 하였고, Kolmogorov-Smirnov 검정을 통해 벤젠, 톨루엔, 자일렌, 에틸벤젠, TVOC의 농도값이 대수정규분포함을 확인하였다. 리모델링과 흡연 여부에 따른 농도 차이를 알아보기 위해 대수정규분포를 하는 경우 로 그로 변환한 자료를 Student's t-test를, 나머지 요인들에 대해서는 ANOVA를 적용하였다.

III. 결 과

연구참여자의 모집에서부터 연구에 참여하고 측정을 끝낸 경우에 대한 설명을 Fig. 1에 나타내었다. 연구에 참여한 411명 중 346명이 시료채취를 완료하고 시료채취기를 돌려보냈다. 회수하지 못한 65개의 시료채취기 중 연락이 끊긴 경우가 13개, 배송

중 분실은 2개, 참여 동의 후 측정을 거부한 경우가 2개, 정확한 이유를 알 수 없이 분실된 것이 48개였다. 시료채취를 완료한 346명 중 300개가 시료채취 시간이 8일 이내이면서 동시에 60일 이내에 회수되어 유효한 자료로 분류되었다. 유효하지 않은 시료채취기로 분류된 46개 중 시료채취기간이 8일 이상인 경우가 6개였으며, 60일 이내로 회수되지 않은 경우가 43개였고 두 조건을 모두 충족하지 않은 경우가 3개였다. 연구참여자를 통해 이루어진 측정의 성공률은 73.0%(300/411)였다.

임산부가 있는 300개 가정의 TVOC의 산술평균 농도는 552±542 µg/m³이었고 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌의 산술평균 농도는 각각 2±3 µg/m³, 117±321 µg/m³, 7±14 µg/m³, 14±17 µg/m³이었다. 각 물질의 농도는 대수정규분포를 따르며 기하평균은 TVOC 429(2) µg/m³, 벤젠 2(1) µg/m³, 톨루엔 54(2) µg/m³, 에틸벤젠 5(2) µg/m³, 자일렌 10(2) µg/m³이었다(Table 1).

연구 기준에 부합하게 시료채취를 마친 300명의 임산부 중 68%가 아파트에 거주하고 있었으며 나머지는 다세대주택(25%), 단독주택(4%) 등으로 나타났다. VOCs 농도는 건물 형태에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다. 가족 구성원이 2명으로 이루어진 가정이 56.8%이었다. 가족 구성원의 수가 많을수록 VOCs 농도가 증가하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 주택의 넓이를 20평을 기준으로 하여 VOCs 농도의 차이를 분석한 결과 TVOC를 제외하고는 집이 넓을 때 개별 VOCs의 농도가 높은 것으로 나타났으나 그 차이는 유의하지 않았다. 중앙난방 시스템인 가정이 약 70%였으며 95%의 가정이 난방연료로 가스를, 나머지는 석유를 사용하고 있었다. 냉방의 경우 84%가 개별 냉방이었다. 요리

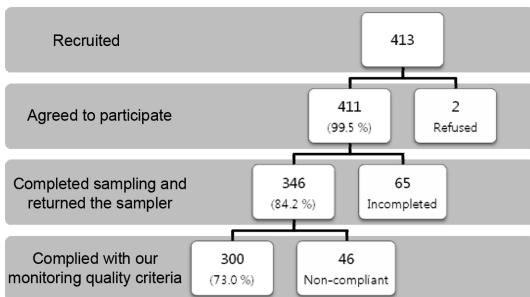


Fig. 1. Diagram of research participation.

Table 1. Descriptive statistics of residential VOC levels (µg/m³) (N=300)

	Toluene	m,p-Xylenes	Ethylbenzene	Benzene	o-Xylene	TVOC
Mean±SD	117±321	10±12	7±14	2±3	4±5	552±542
Min	3	1	1	0	1	46
25 th percentile	28	4	2	1	2	273
50 th percentile	47	8	5	1	2	405
75 th percentile	90	12	7	2	4	635
Max	3988	120	218	26	45	6276
GM (GSD)	54 (3)	7 (2)	5 (2)	2 (2)	3 (2)	429 (2)

Table 2. Effect of renovation on selected VOCs levels ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Renovated (N = 72)				Not Renovated (N = 222)			
	Toluene	<i>m,p</i> -Xylenes	Ethylbenzene	TVOC	Toluene	<i>m,p</i> -Xylenes	Ethylbenzene	TVOC
Mean \pm SD	184 \pm 549	14 \pm 19	11 \pm 26	665 \pm 805	97 \pm 201	9 \pm 9	6 \pm 6	516 \pm 428
Min	6	1	1	142	3	1	1	46
25 th percentile	29	5	4	303	28	4	2	261
50 th percentile	55	9	6	468	44	7	5	391
75 th percentile	101	12	9	770	87	12	7	624
Max	3988	120	218	6276	1851	94	48	3445
GM (GSD)	62 (3)	8 (2)	6 (2)	493 (2)	51 (3)	7 (2)	5 (2)	408 (2)

*Benzene and o-Xylene did not show significant difference by renovation

연료로는 가스를 사용하는 경우가 97%로 가장 많았다. 집에서 가장 가까운 4차선 이상 도로와의 거리를 50미터 이내, 100미터 이내, 500미터 이내, 500미터 이상으로 구분하여 VOCs 농도를 분석한 결과 집에서 가장 가까운 4차선 이상 도로와의 거리는 유의한 관계가 없는 것으로 나타났다. 측정기간 중 집 안에서 담배를 피운 사람이 있는 가정은 7%였으며, 분석 결과 VOCs 농도는 흡연여부에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다. 측정기간 중 집에서 간접흡연에 노출되는 경우는 7%였다.

본 연구에서 조사한 여러 요인 중 리모델링만이 주택실내 VOCs 농도와 유의한 관계를 갖는 것으로 나타났다. 연구참여자 중 29%가 현재 살고 있는 집을 리모델링한 것으로 조사되었다. 리모델링 여부에 따른 농도 차이는 벤젠을 제외한 톨루엔($p=0.022$), 에틸벤젠($p=0.006$), *m,p*-자일렌($p=0.007$), TVOC($p=0.013$)에서 유의한 것으로 나타났다. 리모델링을 한 가정의 평균 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, *m,p*-자일렌, TVOC의 기하평균 농도는 각각 2(2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 62(3) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 6(2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 8(2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 493(2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였으며, 리모델링을 실시하지 않은 가정에서는 각각 2(2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 51(3) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 5(2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 7(2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 408(2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다(Table 2).

IV. 고 찰

임산부를 대상으로 연구참여자가 직접 주택실내 공기질 시료를 채취하는 방법을 이용하여 수동식 시료채취기가 적절한 기간 내에 돌아온 유효측정시료의 수는 73%였다. 이번 연구와 유사한 방법으로 연

구참여자가 직접 측정을 한 Johnson 등의 연구에서도 분석에 이용할 수 있는 경우가 62.5%로 나타났다.¹³⁾ Johnson 등의 연구에서도 수동식 시료채취기를 이용하였는데, 아동기 천식에 대한 연구(Mechanistic Indicators of Childhood Asthma, MICA)에 참여한 가정 중 천식을 앓고 있는 아동이 있는 가정을 대상으로 하였다. 114개 가정에 연구참여의사를 물어 104개 가정이 연구에 참여했으며, 92개 가정이 시료채취를 마쳤고 이 중 시료채취와 관련된 모든 정보를 기입하여 농도값을 이용할 수 있는 자료의 수는 65개였다.

본 연구는 연구참여자가 조작방법이 상대적으로 단순한 수동식 시료채취기를 직접 설치하는 방법을 이용하여 비교적 적은 비용으로 측정을 하였다. 수동식 시료채취기의 이용은 적절할 것으로 고려되는데 이는 수동식 시료채취기의 저장안정성이 상온보관과 냉장보관 시 차이가 거의 없으며, 시료채취 후 약 4주 및 그 이상에서도 양호하게 유지되는 것으로 알려져있기 때문이다.¹⁵⁾ 본 연구에서는 수동식 시료채취기 교부 시 사용방법에 대한 충분한 안내와 함께 사진으로 자세한 설명서를 배부하였다. 이런 조건은 비교적 높은 측정 성공률에 필요한 것으로 고려된다. 하지만 실제 측정 시 설치한 자료에 대한 신뢰성을 확인하는데 한계가 있을 수 있다. 실제로 연구참여자가 수동식 시료채취기를 요구한 대로 설치하였는지 또는 측정시간의 기입이 정확히 되었는지에 대해 확인할 수 없다. 또 연구참여자를 임산부라는 민감계층으로 하였는데, 이 집단은 주택실내의 환경이 태아에 미치는 영향에 관심이 있을 수 있어 측정에 더 적극적이었고 이번 연구 결과가 일반인들

이 참여하는 경우의 측정의 성공률을 대표하지는 않을 것이다.

연구기준에 부합하게 시료채취를 마친 300개 가정에서 VOCs 농도를 직접적으로 비교할 수 있는 기준은 없었다. 개별 VOCs의 농도를 환경부 신축공동주택의 실내 공기질 기준(벤젠 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 자일렌 $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$)과 비교하였을 때 톨루엔의 경우만 6개(총 시료 중 2%)의 가정에서 기준을 초과하였다. 신축공동주택의 TVOC 기준은 없기 때문에 다중이용시설 공기질 관리기준인 $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 적용하였다. 그 결과 300개 가정 중 115개 가정에서 기준을 초과하였다. 그러나 이번 연구 결과는 며칠 동안의 일상생활 상의 평균 농도로, 창문을 닫고 펌프를 이용하여 단시간에 측정하는 실내 공기질 공정시험방법에 의한 기준과는 측정방법이 다르므로 직접적으로 비교하기 어렵다.

다른 연구에서도 본 연구와 같이 거주중인 주택의 실내공기질을 측정하였다. 거주자가 없는 신축건물에서의 VOCs 농도에 대한 연구는 더 많으나 이들 연구결과는 실제 거주자가 있는 실내환경을 측정할 본 연구와 직접 비교할 수 없었다. 2002년 12월부터 2003년 1월까지 활성탄관을 이용하여 서울시내 96채의 주택을 대상으로 측정한 연구에서는 검출된 15가지 VOCs의 산술평균 농도의 합을 $177 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 제시하고 있으나 TVOC 농도는 제시하지 않았다. 산술평균 농도는 톨루엔의 경우 $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 본 연구 결과에 비해 낮게 나타났으며, 에틸벤젠의 농도는 $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 본 연구 결과에 비해 다소 높게 나타났다.¹⁶⁾ 서울시에 있는 10개의 주택을 대상으로 하여 1993년 3월부터 2개월간 실내 공기질을 조사한 결과에서는 산술평균 농도가 벤젠 $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 자일렌 $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 톨루엔을 제외한 나머지 물질의 농도는 본 연구 결과에 비해 높은 것으로 나타났다.¹⁷⁾ 신축공동주택 120세대를 대상으로 입주 후 2개월에서 10개월까지 2개월 간격으로 총 5회에 걸쳐 실내공기질을 조사한 연구에서는 TVOC 산술평균 농도는 $689 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며, 벤젠 $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $147 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 자일렌 $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 본 연구 결과에 비해 높았다. 또한 대부분의 VOCs는 입주 후 거주기간이 증가함에 따라 농도가 감소하는 경향을 나타냈다.¹⁸⁾

본 연구의 대상은 임산부이기 때문에, 조사된 거주 환경 조건은 일반 가정과 차이가 있을 것으로 생각된다. 특히 7%의 가정에서 측정기간 중 간접흡연에 노출되는 것으로 나타났다. 이는 2008년 우리나라 가정실내 간접흡연노출률(현재 비흡연자 중 가정의 실내에서 다른 사람이 피우는 담배연기를 맡은 비율, 만 19세 이상) 15.5%에 비해 적게 나타난 것이다.

설문지를 이용하여 분석한 주택 특성 중 VOCs의 실내농도와 연관성이 있는 요인은 리모델링 한 가지였다. 개별 VOCs 중 리모델링과 연관성이 있는 물질은 톨루엔, *m,p*-자일렌, 에틸벤젠, TVOC이었다. 이 VOCs들이 리모델링에 사용되는 건축자재, 마감재, 접착제 등에서 방출되기 때문에 농도가 증가할 수 있다.²⁰⁾ 그러나 벤젠은 리모델링과 유의한 관계가 없었는데, 이는 벤젠의 오염원이 배기가스 등 외기에 의한 것이기 때문이다.²¹⁾ 서울시 강서구에 위치한 10개 아파트 중에서 거실, 다용도실에 리모델링을 시공한 4세대의 벤젠 평균 농도는 $0.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 리모델링하지 않은 6세대보다 약 2배 이상 유의하게 증가하였다($p=0.019$).²²⁾ 경기도 안산에 위치한 신축 중인 아파트를 대상으로 조사한 결과 벽체, 바닥 등 구조체 시공이 완료된 세대에서 주방가구, 불박이장 등 가구재 반입 및 마루바닥의 접착제 시공완료 후 TVOC 농도가 더 높게 나타났다.²³⁾ 신축건물과 마찬가지로, 리모델링을 하면 VOCs 농도가 높아지며, 리모델링 후 농도가 점점 낮아져 약 2개월이 지난 후에는 원래 농도 수준을 회복한다.²⁴⁾ 본 연구에서는 리모델링 시기를 묻는 항목에 대한 미응답률이 높아 리모델링 시기에 따른 농도 수준을 분석하는 데에 한계점이 있었다.

V. 결 론

본 연구 결과, 주택실내 VOCs 농도를 측정하는데 있어 연구참여자가 직접 측정을 수행하는 방법은 측정의 성공률과 효율성이 높은 것으로 나타났다. 이 결과는 비용-효과적인 측면에서 연구자가 대상 가정을 방문하지 않고도 주택실내 공기질을 측정하는 대안으로 적용될 수 있을 것이다. 이런 연구는 작동이 수월한 시료채취기를 이용하여야 하며 시료채취기 사용방법 및 측정시간 등의 데이터 기록이 정확하도록 이에 대한 설명이 충분해야 한다. 수동식 시료채

취기를 이용하여 입산부가 있는 가정의 실내공기를 측정된 결과 TVOC 기하평균 농도는 429(2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 300개 가정 중 115개 가정에서 다중이용시설 공기질 관리기준인 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하였다. 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌의 기하평균 농도는 각각 2(2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 54(3) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 5(2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10(2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 톨루엔, 에틸벤젠, *m,p*-자일렌, TVOC의 농도는 리모델링을 실시한 가정에서 유의하게 높은 것으로 조사되었다.

감사의 글

이 연구는 정부(환경부)의 재원으로 환경보건센터 사업으로 수행되었습니다(과제번호: 0411-20080045, 0411-20090049). 이 연구에 참여하여 주택실내에서 측정하는데 도움을 주신 분들께 감사드립니다.

참고문헌

- Sherriff A, Farrow A, Golding J, Henderson J, Team AS. Frequent use of chemical household products is associated with persistent wheezing in pre-school age children. *Thorax*. 2005; 60(1): 45-49.
- Herbarth O, Fritz GJ, Rehwagen M, Richter M, Roder S, Schlink U. Association between indoor renovation activities and eczema in early childhood. *Int J Hyg Environ Health*. 2006; 209(3): 241-247.
- Silbergeld EK, Patrick TE. Environmental exposures, toxicologic mechanisms, and adverse pregnancy outcomes. *Am J Obstet Gynecol*. 2005; 192(5): 11-21.
- Nethery E, Brauer M, Janssen P. Time-activity patterns of pregnant women and changes during the course of pregnancy. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2008; 19(3): 317-324.
- Yang W, Lee K, Yoon C, Yu S, Park K, Choi W. Determinants of residential indoor and transportation activity times in Korea. *J Expos Sci Environ Epidemiol*. 2011; 21(3): 310-316.
- Environmental Protection Agency. Reducing risk: Setting priorities and strategies for environmental protection. SAB-EC-90-021, 1990.
- Wallace LA, Pellizzari E, Leaderer B, Zelon H, Sheldon L. Emissions of volatile organic-compounds from building-materials and consumer products. *Atmos Environ*. 1987; 21(2): 385-393.
- Sack TM, Steele DH, Hammerstrom K, Remmers J. A survey of household products for volatile organic-compounds. *Atmos Environ A-Gen*. 1992; 26(6): 1063-1070.
- Seifert B, Mailahn W, Schulz C, Ullrich D. Seasonal-variation of concentrations of volatile organic-compounds in selected german homes. *Environ Int*. 1989; 15(1-6): 397-408.
- Knoppel H, Schauenburg H. Screening of household products for the emission of volatile organic-compounds. *Environ Int*. 1989; 15(1-6): 413-418.
- Meininghaus R, Gunnarsen L, Knudsen HN. Diffusion and sorption of volatile organic compounds in building materials - impact on indoor air quality. *Environ Sci Technol*. 2000; 34(15): 3101-3108.
- Wolkoff P, Clausen PA, Nielsen PA, Mølhav L. The danish twin apartment study; part i: formaldehyde and long-term voc measurements. *Indoor Air*. 1991; 1(4): 478-490.
- Johnson M, Hudgens E, Williams R, Andrews G, Neas L, Gallagher J, Özkaynak H. A participant-based approach to indoor/outdoor air monitoring in community health studies. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2009; 19(5): 492-501.
- National Institute of Occupational Safety & Health. NIOSH Manual of Analytical Methods(NMAM). METHOD. 1003; 2003.
- Jeon H, Korea Occupational Safety & Health Agency. Evaluation of QA/QC for passive sampler in vapor generation chamber. *Korea Occupational Safety & Health Agency*; 2006. p.56-62.
- Chun CY, Park JS, Sohn JY, Kouichi I. Measurement study on indoor organic compounds air pollution in winter-in case of 96 houses in Seoul. *J Architectural Inst Korea, Planning & Design*. 2004; 20(5): 167-173.
- Shin HS, Kim YS, Heo GS. Measurements of indoor and outdoor volatile organic compounds (VOCs) concentrations in ambient air. *J Korean Soc Atmospheric Environ*. 1993; 9(4): 310-319.
- Jang SK, Ryu JM, Seo SY, Lim JY, Lee WS. Tendency of the indoor pollutants along with increased dwelling periodat new apartme. *Analytical Sci & Technol*. 2007; 20(5): 453-459.
- Korea Centers for Disease Control and Prevention. The Fourth Korea National Health and Nutrition Examination Survey. ISSN 2009; p.2005-6362.
- Reitzig M, Mohr S, Heinzow B, Knöppel H. VOC Emissions after building renovations: Traditional and less common indoor air contaminants, Potential Sources, and Reported Health Complaints. *Indoor Air*. 1998; 8(2): 91-102.

21. Wallace LA. Major sources of benzene exposure. *Environ Health Perspect.* 1989; 82: 165-169.
22. Park S, Kim H, Sim SH, Lee SH, Koo JW. Concentrations of VOCs and formaldehyde in newly constructed apartment buildings before and after residence. *Korean J Environ Health.* 2007; 33(2): 98-103.
23. Park JC. A study on the field survey of indoor air quality in a newly built apartment house according to interior building material. *J Architectural Inst Korea, Planning & Design.* 2007; 23(6): 305-312.
24. Herbarth O, Matysik S. Decreasing concentrations of volatile organic compounds (VOC) emitted following home renovations. *Indoor Air.* 2010; 20(2): 141-146.