

PS12(IA8) 일반 주택에서의 실내 VOCs 농도 조사 연구

A study on the indoor VOCs concentration at residences in Seoul

문지영·신동천·양지연·이석주·조성준
연세대학교 환경공해연구소

1. 서론

최근 경제적 수준의 향상과 더불어 도시인의 생활 양식에도 큰 변화가 초래되어 1일 실내 생활 활동 시간이 증대되고 있다. 따라서 실내 생활의 비중이 많은 현대인에게는 실외 대기 오염 물질에 대한 노출 기회보다 실내 공기 오염물질에 대한 노출 기회가 많아 실내 오염의 중요도가 높다(Bloemen and Burn, 1993).

VOCs의 실내 발생원은 주로 건축자재 혹은 가구 및 담배연기 등이며, 페인트나 유기용제 등을 사용하는 생활용품에서도 다량 배출되어 인체에 직접적인 노출의 원인이 되고 있다. 이러한 VOCs 노출에 대한 증상으로는 피로감, 두통, 졸음, 현기증, 무력감, 관절통, 말초신경마비/자통, 도취감, 흉부의 당김, 불안감, 눈의 침침함, 피부 과민증, 눈과 호흡기계의 과민증, 심부정맥 등이 있는 것으로 밝혀지고 있다(Rosenberg, 1990). "Solvent encephalopathy(용매에 의한 뇌장애)"라는 말은 VOCs 노출에 의해 나타나는 증상(두통, 흥분, 집중력 감퇴 등)을 모두 일컫는 용어로서, Hodgson(1988)에 의하면 미국의 사무실 및 일반 주택에서의 실내의 VOCs 농도는 Solvent encephalopathy를 일으킬 정도의 농도로 존재하는 것으로 평가되고 있다. 또한 VOCs의 노출은 SBS(Sick Building Syndrome)의 전형적인 증상을 야기하는 것으로 보고되고 있으며, MØlhave는 총 VOCs(22종) 농도가 5~25mg/m³인 실내에서 거주하는 건강한 사람에게서 점막 과민성과 기억력 손상이 증가되는 것을 관찰하였다.

따라서 본 연구에서는 서울 및 경기지역에 위치한 일부 주거 전용 주택에서의 실내 공기 중 VOCs의 농도를 평가하고, 이로 인한 인체 위해성을 예측하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 서울 지역의 주거 전용 주택 108가구를 대상으로 1999년 9월부터 11월 동안 실내·외 및 개인 VOCs 노출량을 조사하였다. 시료 채취는 실내 1지점(거실), 실외 1지점(실외 현관 또는 실외 대기와 인접해 있는 대형 창문의 실외 지점), 개인의 호흡역 부근 1지점에 OVM 3520 badge(3M Co. USA)를 부착하여, 이를 24시간 동안 노출시켰다. 특히 개인 시료 채취 대상으로는 대부분의 시간을 집에서 보내고, 흡연을 하지 않는 주부를 선정하였다. 수거는 OVM badge 전용 수거 용기를 이용하여 밀폐시킨 후 냉장상태에서 운반하여 분석 전까지 -70℃ 이하로 냉동 보관하였다.

시료 전처리에는 3M사에서 제시한 protocol(3M, 1991)에 따라 passive monitor에 흡착되어 있는 VOCs를 추출하였다. 먼저 시료를 상온으로 녹인 후, 2ml amber glass vial에 흡착 pad를 넣고 acetone/CS₂(2:1, V/V) 추출용매 900µl와 내부 표준물질(fluorobenzene, 50µg/ml, v/v) 100µl를 가하여 완전 밀봉하고 40분간 초음파 추출을 하였다. 초음파 추출 동안 시료 vial의 온도가 10℃ 이상 올라가지 않도록 ice pack을 이용하였다. 시료 vial을 Liquid Auto Sampler(Hewlett Packard, USA)가 장착된 HP 6890 series GC/MS(Hewlett Packard, USA)를 사용하여 분석하였다. 분석 컬럼은 J&W 123-5062(5% phenylmethylsiloxane(id 0.32mm, 60m, thickness 0.25µm))를 사용하였으며, 검출기로는 HP5973-MSD를 이용하여, TIM(total ion monitoring) 방법을 적용하였다. 연구 대상물질은 1,1,1-trichloroethane, 1,2-dichloroethane, benzene, carbon tetrachloride, trichloroethylene, toluene, tetrachloroethylene, chlorobenzene, ethylbenzene, m,p-xylene, styrene, o-xylene, bromobenzene의 13종을 선정하였으며, SIM(selective ion monitoring) mode를 적용하여 각각의 VOCs를 정량하였다. 농도 정량시 OVM badge 및 추출용매에 의한 영향을 배제하기 위하여 시료 바탕값(blank level)을 5~7회 측정하여 분석 결과를 보정하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 사용한 OVM badge 자체의 회수율을 검토해 본 결과, Styrene(41%)과 o-Xylene(50%)을 제외한 11종의 대상물질에 대해서는 80% 이상으로 나타났다. 표 1에서 보는 바와 같이 VOCs 농도는 13종의 항목 중 toluene이 실내와 개인에서 평균 $61\mu\text{g}/\text{m}^3$, 실외에서는 평균 $45\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높게 나타났으며, benzene과 o-xylene은 평균 $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, m,p-xylene은 평균 $11\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 검출되었다. 또한 toluene, ethylbenzene, m,p-xylene은 100%, benzene과 tetrachloroethylene에서는 90% 이상의 높은 검출율을 보인 반면, chlorobenzene은 전 시료에서 검출되지 않았다. I/O ratio의 결과를 보면 toluene, ethylbenzene, m,p-xylene에 있어서는 실내보다는 실외에 의한 오염 source가 더 크게 나타났고, benzene, trichloroethylene, tetrachloroethylene은 실내와 실외 사이에 차이가 없는 것으로 나타났다(표 1). 측정 기간동안의 온도 및 상대습도의 변화에 대한 영향은 없는 것으로 평가되었다. 그림 1은 실내, 실외, 개인간의 총 VOCs 농도 상관성을 나타낸 결과로서, 실내와 개인간의 상관성이 다른 것들에 비해 높았음을 보여주고 있다. 현재 본 연구는 측정 자료의 정량이 진행중인 관계로 본 초록에 제시한 결과는 총 시료의 30% 정도만을 제시한 것으로서, 본 학술대회에서는 완전한 연구 결과를 제시하고자 한다.

Table 1. Concentration of VOCs for indoor, outdoor, personal at residences in Seoul ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

VOCs 물질	Indoor	Outdoor	Personal	I/O ratio	검출율(%)
1,1,1-Trichloroethane	$0.02 \pm 0.10(0.00-0.42)$	$0.06 \pm 0.24(0.00-1.04)$	ND	0.40	3.70
1,2-Dichloroethane	$0.07 \pm 0.23(0.00-0.91)$	$0.09 \pm 0.28(0.00-1.16)$	$0.06 \pm 0.17(0.00-0.68)$	0.87	12.96
Benzene	$2.87 \pm 2.33(0.00-9.07)$	$2.44 \pm 1.69(0.00-6.15)$	$1.92 \pm 1.50(0.00-4.95)$	1.17	90.74
Carbon tetrachloride	$0.01 \pm 0.05(0.00-0.21)$	$0.08 \pm 0.35(0.00-1.49)$	$0.02 \pm 0.10(0.00-0.42)$	0.14	5.56
Trichloroethylene	$0.86 \pm 1.03(0.00-3.92)$	$0.93 \pm 1.09(0.00-4.13)$	$0.71 \pm 0.81(0.00-2.89)$	0.92	72.22
Toluene	$61.01 \pm 52.34(16.36-193.89)$	$44.65 \pm 20.55(16.14-96.23)$	$60.55 \pm 36.47(25.52-155.65)$	1.37	100.00
Tetrachloroethylene	$1.43 \pm 1.10(0.00-4.81)$	$1.54 \pm 1.84(0.00-8.60)$	$2.47 \pm 3.34(0.67-15.12)$	0.93	96.30
Chlorobenzene	ND	ND	ND	-	0.00
Ethylbenzene	$8.23 \pm 12.23(0.53-54.52)$	$4.59 \pm 2.12(1.27-9.27)$	$5.93 \pm 3.23(2.14-15.41)$	1.79	100.00
m,p-Xylene	$10.86 \pm 25.11(0.27-110.65)$	$4.43 \pm 2.14(1.27-10.14)$	$5.54 \pm 2.53(2.10-11.01)$	2.45	100.00
Styrene	$0.59 \pm 0.72(0.00-2.09)$	$0.82 \pm 0.92(0.00-3.33)$	$0.63 \pm 0.73(0.00-2.10)$	0.72	57.41
o-Xylene	$3.27 \pm 13.87(0.00-58.85)$	ND	ND	-	1.85
Bromobenzene	$0.92 \pm 0.89(0.00-3.10)$	$1.61 \pm 1.81(0.00-7.22)$	$1.10 \pm 0.92(0.00-2.89)$	0.57	79.63
Total VOCs	90.14 ± 77.72 (20.46-290.37)	61.24 ± 26.84 (23.65-115.97)	78.93 ± 42.07 (33.94-187.58)	1.47	-

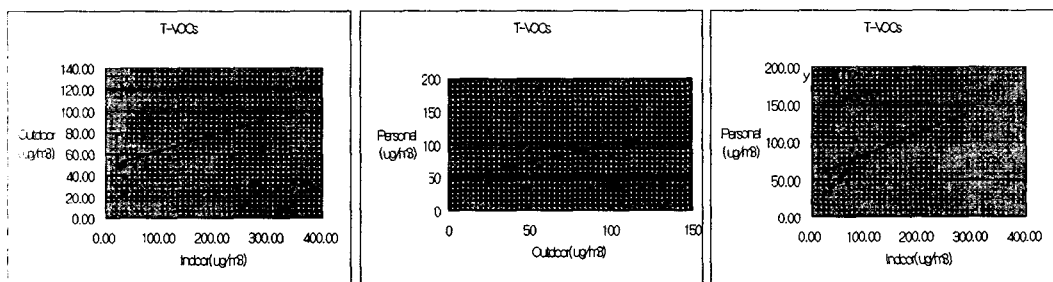


Fig1. Correlation of T-VOCs for Indoor, Outdoor, Personal

참 고 문 헌

- Bloemen HJ, and Burn J. (1993) Chemistry and analysis of volatile organic compounds in the environment. Blackie academic & professional, 1-2
- Hodgson MA (1988) Health risks of indoor pollutants, ASHRAE, 284-293
- MØlhave L (1982) Indoor air pollution due to organic gases and vapours of solvents in building materials. Environ Int. 8: 117-127
- Rosenberg J. (1990) Solvents. Occupational medicine, 27