

실내외 공기중 휘발성 유기화학물질(VOCs)의 농도조사에 관한 연구

Measurements of Indoor and Outdoor Volatile Organic Compounds(VOCs) Concentrations in Ambient Air

신혜수 · 김윤신 · 허귀석¹⁾

한양대학교 환경 및 산업의학연구소

¹⁾한국표준과학연구원 분석화학실

(원고접수 : 1993. 10. 5)

Hae-Soo Shin, Yoon-Shin Kim and Gui-Suk Heo

Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University

¹⁾Chemical Analysis Laboratory, Korea Research Institute of Standards and Science

(Received 5 October 1993)

Abstract

A pilot study was conducted in order to investigate the concentrations of indoor and outdoor VOCs (Volatile Organic Compounds) at ten homes and four building offices in Seoul during March-April, 1993. The five components of VOCs (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, *o*-Xylene, *m/p*-Xylene) were collected using charcoal tube and were analysed using Gas Chromatography (GC) with a Flame Ionization Detector (FID).

The mean concentrations of indoor VOCs were shown as Benzene of $38.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Toluene of $165.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Ethylbenzene of $21.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-Xylene of $11.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and *m/p*-Xylene of $29.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, but those corresponding levels of outdoor VOCs shown Benzene of $27.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Toluene of $140.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Ethylbenzene of $17.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-Xylene of $4.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and *m/p*-Xylene of $16.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, indicating that indoor levels of VOCs were higher than corresponding outdoor levels. The ratio of indoor and outdoor VOCs concentrations was 0.99 for Benzene, 1.23 for Toluene, 5.86 for Ethylbenzene, 5.23 for *o*-Xylene, 2.41 for *m/p*-Xylene in homes, while 2.02 for Benzene, 1.15 for Toluene, 0.96 for Ethylbenzene, 1.41 for *o*-Xylene, 1.38 for *m/p*-Xylene in offices, respectively.

The mean concentrations of VOCs in homes were higher than those levels in offices, while the mean concentration of VOCs during active hour of occupants in a day were higher 1-3 times than the levels during non-active hour.

Comparing VOCs levels by building's age, the mean concentrations of Benzene, *o*-Xylene and *m/p*-Xylene were higher in new building than old building, but the mean concentrations of Toluene and Ethylbenzene in new building were lower than old building. The mean concentrations in all components of VOCs in smoking area were higher than non-smoking area.

These results suggested that the VOC levels were affected by various indoor characteristics and behavioral activity of occupants.

1. 서 론

실내공간중 주택은 사람에게 있어서 가장 기본적인 주거생활공간이고 휴식처이기도 하며, 또한 빌딩사무실은 다양한 사회생활공간중 사무실 근무자의 중심적인 생활공간이라고 할 수 있다. 최근 이러한 공간들은 생활용품의 사용증가와 에너지비용의 절감을 위해 점차 밀폐화 되어가고 있는 추세로 실내공간의 공기오염도에 대한 중요성이 인식되어 실내오염의 건강영향에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다(Jitendra and Hanwant, 1988). 국내에서 실내공기질에 대한 연구는 아직 미진하나 일부 실내 오염물질에 대한 오염도가 조사되고 있다(김윤신, 1990; 1991; 1992; 전주민, 1993).

최근 유기물질에 대한 몇몇의 연구에 의하면 공기중의 금속성분과 휘발성 유기화합물질(Volatile Organic Compounds-VOCs)은 도시환경에서 중요한 발암성물질(Paul and Joan, 1987)이거나 만성 또는 급성의 건강장해를 일으킴으로써(Clyde and Stephen, 1992; Sylvia, 1989) 공중보건상에 나쁜 영향을 미치는 것으로 조사되고 있다(Alex et al., 1989; Marie and Yukio, 1990). 특히 실내환경에서는 에너지비용증가에 따른 환기억소로 인하여 유기화합물질에 장기간 폭로됨으로써 발생하는 건강영향에 대한 연구가 진행되었다(David et al., 1992).

휘발성 유기화합물질(VOCs)은 건축자재, 가구, 접착제, 카펫, 흡연 및 연료의 연소등 다양한 오염원으로부터 방출되는 것으로 보고되고 있다(Lols, 1988). 또한 휘발성 유기화합물질(VOCs)은 빌딩중

후군(Sick Building Syndrome-SBS)의 원인물질로도 추정되고 있는데 점막 자극, 두통, 구역질 및 현기증과 같은 증상을 일으키는 것으로 알려지고 있다(Alfred and Joan, 1991).

따라서 본 연구에서는 실내환경의 공기질에 대한 조사의 일환으로 서울시에 소재하는 일반주택과 사무실을 대상으로 휘발성 유기화합물질(VOCs)중 대표적인 방향족(Aromatic) 화합물로서 발암성물질인 벤젠(Benzene)을 비롯하여(Chan et al., 1991) 톨루엔(Toluene), 에틸벤젠(Ethylbenzene), o-크실렌(o-Xylene), m/p-크실렌(m/p-Xylene)의 5가지 유기화합물질에 대한 실내·외 농도를 조사하여 휘발성 유기화합물질(VOCs)의 건강위해평가 및 실내 공기질 개선을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 연구대상 및 실험방법

2.1 연구대상 및 시료채취방법

본 연구는 1993년 3월초부터 4월말까지 약 2개월간에 걸쳐 서울시에 소재한 일반주택 10곳과 사무실 4곳을 대상으로 휘발성 유기화합물질(이하「VOCs」로 약칭한다.)의 농도를 실내(Indoor)와 실외(Outdoor)로 구분하여 측정하였다. 측정기기로는 Gillian사의 개인용 공기포집기(Personal air sampler)에 활성탄관(charcoal, coconut, 100mg/50mg : Gillian사)을 부착하여 200ml/min의 유속으로 2~3시간 시료를 포집하였다. 시료포집후 활성탄관의 양쪽 끝에 플라스틱캡을 씌워 저온에서 보관한 후 7일이내에 분석하였다.

Table 1. Characteristics of homes and offices selected.

No. of site	Area	Construction (year)	Ventilation	Type of heating fuel	Type of cooking fuel	Number of smokers
Home	#1 Bongchon	1983	window	oil	gas	0
	2 Kaebong	1990	window	oil	gas	0
	3 Sukwan	1984	window	oil	gas	1
	4 Kongrung	1973	window	oil	gas	0
	5 Bangbae	1970	window	oil	gas	1
	6 Bulkwang	1990	window	oil	gas	0
	7 Bongchon	1983	window	yeontan	gas	0
	8 Mok	1986	window	central	gas	2
	9 Banpo	1979	window	central	gas	0
	10 Sadang	1993	window	central	gas	0
Office	#1 Bangbae	1988	window	oil	gas	5
	2 Hangdang	1969	window	central	gas	0
	3 Hangdang	1968	fan	central	gas	0
	4 Yongdang	1993	fan	central	unused	3

표 1은 조사대상으로 주택과 사무실에 대한 일반적인 특성을 나타낸 것으로 VOCs의 농도에 영향을 줄 것으로 생각되는 건축년수, 난방연료, 취사연료 및 흡연자수등을 조사하였다.

2.2 분석방법

VOCs추출 및 분석방법

저온에서 보관중인 VOCs가 포집된 활성탄관을 양쪽 끝을 자른 후 2부분으로 나누어진 활성탄을 합하여 auto sampler용 vial에 넣은 후 흡수액 Carbondisulfide(Aldrich사, HPLC grade) 1.0mL를 넣어 실온에서 30분간 방치하여 활성탄층의 VOCs를 추출하였다. 추출된 VOCs는 가스크로마토그래피(Gas Chromatography: GC, Hewlett Packard 5890)로 분석하였으며 VOCs의 5가지 성분을 분리하기 위하여 모세분리관(capillary column, Alltech Econo-Cap SE-54, 30m×0.25mm id×0.25μm)을 이용하였다. 검출기는 불꽃이온화검출기(Flame Ionization Detector: FID)를 이용하였고 Oven temperature는 40℃에서 150℃까지 분당 15℃씩 증가시켰으며 FID는 250℃에서 검출하였다.

표준용액제조

검량선 작성을 위하여 분석하고자 하는 5가지의 성분이 미량 함유되어 있는 표준용액을 제조하였다. 표준용액은 Benzene(Baker HPLC grade, 100%) 20μL, Toluene(Baker HPLC grade, 100%) 200μL, Ethylbenzene(일본, 동경화성, >98%) 200μL, o-Xylene(영국, BDH Chemical, >99%) 200μL 및 p-Xylene(일본, Junse Chemical, >98.5%) 200μL을 넣은 후 100mL의 CS₂로 희석하였다. 이때 m-Xylene과 p-Xylene 성분은 GC로 분석시 같은 시간대의 retention time을 가져 서로 분리가 되지 않으므로 표준용액제조시 p-Xylene만 첨가하였다. 이 용액을 다시 200배, 400배, 1000배, 2000배로 희석시켜 각 용액의 농도를 산출하고 GC로 분석하여 얻은 그림 1과 같은 Chromatogram으로부터 면적

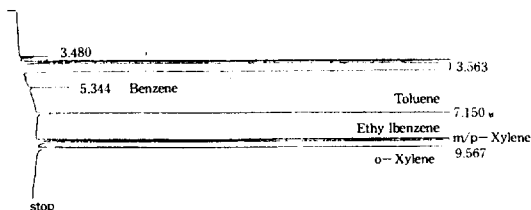


Fig. 1. Chromatogram of standard solution.

을 구한 후 농도에 따라 기율기와 절편을 구하여 검량선을 작성하였다.

2.3 측정조건 및 분석조건 검사

공공건물과 일반주택에서 발견되는 VOCs의 농도는 일반적으로 작업환경에서 발견되는 농도에 비해 상당히 낮기 때문에 보다 민감한 측정기술과 분석기술이 요구된다(David et al., 1992). 따라서 본 연구에서 이용된 측정조건 및 분석조건의 신뢰성을 평가하기 위해 다음과 같은 검사를 실시하였다.

Blank test 실험오차를 줄이기 위하여 활성탄관을 이용하여 blank test를 실시하였다. 시료채취를 하지 않은 활성탄관을 이용하여 전처리를 하고 동일한 조건에 의해 가스크로마토그래피(GC)로 분석하였다. 분석결과 벤젠의 retention time대에서 약한 peak가 나타나 미량의 벤젠이 함유된 것으로 조사되었으나 대체로 양호한 결과를 나타냈다.

Reproducibility test 분석과정에서 각 시료가 GC분석에 의해 오차가 발생하는 것을 방지하기 위하여 재현성(Reproducibility)을 조사하였다. 재현성을 조사하기 위하여 한 시료를 이용하여 2회 분석한 결과 상대표준편차값(% RSD)이 벤젠 14.5%, 톨루엔 1.2%, 에틸벤젠 3.5%, o-크실렌 1.0%, m/p-크실렌 3.5%로 나타나 모든 성분의 재현성이 양호한 것으로 조사되었다.

Breakthrough test 시료채취 과정에서 장시간의 샘플링시간이나 과잉유량에 의해 공기중에 존재하던 VOCs가 활성탄에 흡착되지 못하고 활성탄관을 그대로 통과하여 공기포집량에 오차를 발생시키는지에 관한 조사로 breakthrough volume을 검토하였다. NIOSH 1501 방법에 의하면 시료채취시 활성탄관의 front section(100mg)에 흡착된 VOCs의 농도가 back section(50mg)의 VOCs의 농도보다 10배 이상 흡착되면 breakthrough가 발생하지 않은 것으로 간주한다. 따라서 본 연구에서는 front section과 back section에서의 VOCs농도를 조사하여 시료채취시 VOCs의 breakthrough가 발생되었는지에 대하여 조사하였다.

시료채취한 활성탄관을 임의로 선택하여 100mg인 front section과 50mg인 back section을 각각 분리하여 동일한 조건으로 전처리 및 분석하였다. 두 section을 각각 분석한 결과 front section에서 벤젠 14.1 μg/m³, 톨루엔 55.6 μg/m³, 에틸벤젠 17.5 μg/m³, o-크실렌 22.6 μg/m³, m/p-크실렌 26.7 μg/m³로 조사된 반면 back section의 경우 분석하고자 하는 물질이 모두 검출되지 않아 front section에 흡착

Table 2. Concentration of VOCs at indoor and outdoor.

Component	Concentration of VOCs($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								I/O Ratio
	Indoor				Outdoor				
	N	Mean	S.D.	Range	N	Mean	S.D.	Range	
Benzene	14	38.9	39.8	17.4- 156.5	14	27.8	10.6	11.5- 45.7	1.39
Toluene	14	165.0	286.3	28.8-1084.3	14	140.3	331.2	16.3-1288.1	1.17
Ethylbenzene	14	21.7	38.8	N.D.- 148.9	14	17.0	54.2	N.D.- 204.6	1.27
o-Xylene	14	11.6	12.8	N.D.- 39.3	14	4.9	12.0	N.D.- 45.0	2.36
m/p-Xylene	14	29.3	29.1	2.2- 95.8	14	16.3	28.5	N.D.- 111.9	1.79

N.D. : No detected

Table 3. Concentration of VOCs by each component at home.

Component	Concentration of VOCs($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								I/O Ratio
	Indoor				Outdoor				
	N	Mean	S.D.	Range	N	Mean	S.D.	Range	
Benzene	10	23.6	5.7	17.4- 156.5	10	23.7	8.3	11.5- 45.7	0.99
Toluene	10	57.0	16.1	28.8-1084.3	10	46.1	20.6	16.3-1288.1	1.23
Ethylbenzene	10	8.8	12.8	N.D.- 148.9	10	1.5	3.5	N.D.- 204.6	5.86
o-Xylene	10	8.9	11.5	N.D.- 39.3	10	1.7	3.6	N.D.- 45.0	5.23
m/p-Xylene	10	22.2	25.6	2.2- 95.8	10	9.2	8.6	N.D.- 111.9	2.41

N.D. : No detected

Table 4. Concentration of VOCs by each component at office.

Component	Concentration of VOCs($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								I/O Ratio
	Indoor				Outdoor				
	N	Mean	S.D.	Range	N	Mean	S.D.	Range	
Benzene	4	76.9	63.7	17.4- 156.5	4	38.0	9.0	11.5- 45.7	2.02
Toluene	4	434.8	467.4	28.8-1084.3	4	375.8	608.7	16.3-1288.1	1.15
Ethylbenzene	4	54.0	64.0	N.D.- 148.9	4	55.7	99.4	N.D.- 204.6	0.96
o-Xylene	4	18.5	15.2	N.D.- 39.3	4	13.1	21.6	N.D.- 45.0	1.41
m/p-Xylene	4	46.9	33.2	2.2- 95.8	4	33.9	52.1	N.D.- 111.9	1.38

N.D. : No detected

된 농도가 back section에 흡착된 농도보다 10배이상 되어야 한다는 조건에 합당하므로 본 연구에 사용된 시료채취시간과 유량이 적절한 것으로 조사되었다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 실내·외 공기중 VOCs 농도조사

본 연구에서 측정된 실내·외 공기중 VOCs농도는 표 2와 같다. 실내와 실외의 농도비를 비교해 보면 벤젠은 실내가 실외의 약 1.4배, 톨루엔은 약 1.2배, 에틸벤젠은 약 1.3배, o-크실렌은 약 2.4배, m/p-크실렌은 약 1.8배 높은 것으로 조사되어 실내가

실외에 비해 다소 높은 농도를 나타내었다. 이러한 결과는 외국의 조사결과(Chan, 1991; John, 1992)에서 실내가 실외보다 높은 농도를 나타낸다는 보고와 일치하는 결과이다.

본 연구로부터 조사된 각 성분들의 농도는 현재 국내 노동부에서 정하고 있는 유해물질허용기준중 시간가중평균농도(Time Weighted Average, TWA)인 벤젠 30mg/m³, 톨루엔 375mg/m³, 에틸벤젠 435 mg/m³에 비하여 낮게 나타났으나 Martin(1989), Cecilia(1990), Alfred(1991)등에 의해 조사된 주택 및 사무실의 실내·실외의 농도와 비교해 볼때 다소 높은 농도를 나타냈다. 그러나 평균실외농도는 도시 대기중의 농도인 벤젠 22.2ppb(77.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$),

톨루엔 31.8ppb(130.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 에틸벤젠 15.8ppb(74.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), *o*-크실렌 6ppb(28.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), *m/p*-크실렌 27.7ppb(131.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 비하여(이민희, 1988) 대부분 낮은 것으로 나타났다. 상기 연구에서는 교통량이 많아 VOCs의 주요오염원인 자동차 배출가스(Michael, 1991)가 다량 방출되는 서울시내 중심부에서 측정된 반면 본 연구는 대부분 주택지역의 실외에서 측정되었기 때문에 측정대상지역의 차이로 인한 결과라 사료된다.

일반주택의 실내·외 공기중 VOCs 농도조사

일반적으로 주택내 VOCs는 가스 스토브, 석유난로, 환경흡연(Environmental Tobacco Smoke-ETS), 새 옷, 청소용품, 접착제, 살충제, 화장품, 건축자재, 카페트, 새가구 및 자동차배출가스와 같은 다양한 오염원으로부터 배출된다(David et al., 1992).

본 연구의 조사대상중 10개의 일반주택내 실내 및 실외의 평균농도 조사결과를 표 3에 나타냈다. 벤젠의 경우 실내와 실외의 농도차가 거의 없었으나 톨루엔, 에틸벤젠, *o*-크실렌, *m/p*-크실렌등의 실내/외 농도비가 각각 1.2배, 5.9배, 5.2배, 2.4배로 나타나 실외농도에 비해 실내농도가 높은 것으로 조사되었다.

이같은 결과는 Cecilia(1990)등이 캐나다 주택에서 VOCs농도를 조사한 결과와 비교해 볼때 실내농도는 벤젠이 1.6배(14.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 톨루엔 1.1배(53.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)로 본 조사대상주택이 높았으며 에틸벤젠(12.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), *o*-크실렌(18.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 및 *m/p*-크실렌(31.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)등은 캐나다의 주택에서 높은 것으로 조사되었다. 또한 VOCs 각 성분에 대한 실외농도를 Cecilia(1990)의 조사결과와 비교해 보면 벤젠 3.2배(7.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 톨루엔 2.5배(18.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), *m/p*-크실렌 1.1배(8.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)로 본 조사주택이, 에틸벤젠(3.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)과 *o*-크실렌(3.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)은 캐나다 주택이 높은 것으로 조사되었다.

한편 성분별에 따른 각 주택에서의 VOCs 실내·외농도와 주택의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

Home 1. 봉천동에 위치한 주택으로 실내농도는 벤젠이 28.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 80.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 19.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-크실렌 19.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, *m/p*-크실렌 31.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었고, 실외농도는 벤젠 28.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 41.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, *m/p*-크실렌 9.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었으며, 에틸벤젠과 *o*-크실렌은 미검출되었다. 조사결과로부터 실내농도가 실외농도에 비해 높은 것을 알 수 있는데, 이것은 이 주택이 대로변에서 멀리 떨어져 있고 산이 인접한 곳에 위치하였기 때문에 VOCs의 실외오염원인 자동차배출가스의 영향

을 적게 받기 때문인 것으로 생각된다. 주택(1)에서는 다른 주택에 비해 실내공기중 VOCs의 각 성분농도가 높았으며 특히 톨루엔의 농도가 가장 높은 것으로 조사되었다. 이것은 측정장소인 거실의 밀폐되지 않은 장식장에 살충제, 접착제등을 넣어 두어 이들로 부터 톨루엔이 방출되었기 때문인 것으로 생각된다.

Home 2. 개봉동에 위치한 이 주택의 실내농도는 벤젠이 20.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 73.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 12.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-크실렌 19.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, *m/p*-크실렌 30.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 실외농도는 벤젠 32.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 87.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 미검출, *o*-크실렌 미검출, *m/p*-크실렌 13.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다. 에틸벤젠과 크실렌은 실내에서 높게 나타났으나 벤젠과 톨루엔은 오히려 실외에서 높은 것으로 나타났다. 주택(2)는 버스종점이 집 근처에 위치해 있어 차량의 왕래가 빈번하므로 벤젠과 톨루엔의 주요 오염원인 자동차배출가스로부터 이들 성분이 배출됨으로써 실내보다 실외에서 높은 농도를 보인 것으로 추측된다.

Home 3. 석관동에 위치한 주택(3)에서의 VOCs성분별 실내농도는 벤젠 28.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 52.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 7.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-크실렌과 *m/p*-크실렌이 각각 7.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 17.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 실외농도는 벤젠 29.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 64.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 4.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-크실렌 7.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, *m/p*-크실렌 16.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 벤젠, 톨루엔, *o*-크실렌은 실외농도가 약간 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 실내농도보다 실외농도가 높은 것은 주택(3)이 6m이상의 대로변에 위치하여 교통량이 많기 때문에 자동차배출가스로부터 VOCs 각 성분이 배출되었기 때문인 것으로 추측된다.

Home 4. 공릉동에 위치한 주택으로 실내농도는 벤젠 21.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 60.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 2.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-크실렌 3.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, *m/p*-크실렌 16.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타난 반면, 실외농도는 벤젠 22.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 38.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠과 *o*-크실렌 미검출, *m/p*-크실렌은 5.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 벤젠을 제외한 모든 성분에서 실내농도가 높은 것으로 조사되어 실내에서 사용하는 취사 및 난방연료등으로부터 VOCs가 배출되리라 생각된다.

Home 5. 방배동에 위치한 주택(5)에서 실내농도는 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, *o*-크실렌, *m/p*-크실렌이 각각 35.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 66.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 40.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 33.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 89.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 실외농도는 각각 37.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 55.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 9.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 28.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나 실내농도가 실외농도보다 매우 높은 것으로 나타났다. 특히 이 주택의 경우 다른 가

정에 비해 톨루엔을 제외한 VOC의 4가지 성분에서 모두 가장 높은 농도를 보였는데, 이는 타주택의 측정장소가 거실인데 비해 이 주택은 측정공간이 협소하고 밀폐된 방으로서 거주자의 많은 흡연량이 벤젠의 농도에 영향을 주었으며 6개월전의 주택수리에 의하여 에틸벤젠과 각 크실렌의 농도에 영향을 준 것으로 사료된다.

Home 6. 불광동에 위치한 이 주택의 경우 실내에서 벤젠, 톨루엔, m/p-크실렌의 농도가 각각 $17.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $33.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고 에틸벤젠과 o-크실렌의 경우 검출되지 않았다. 또 실외 VOCs농도는 벤젠 $11.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $16.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠, o-크실렌, m/p-크실렌이 미검출된 것으로 조사되어 실내 및 실외농도 모두 다른 주택에 비해 낮은 것으로 조사되었다. 실내농도가 낮은 이유는 거주자들이 모두 외출하여 늦게 귀가하므로 주택내에서 활동하는 시간이 다른 주택에 비해 짧아 취사, 난방 및 흡연등의 활동이 적기 때문이며, 실외농도가 낮은 이유는 도로에서 많이 떨어진 곳이며 골목이 좁아 차량의 출입이 거의 없는 지역이기 때문인 것으로 생각된다.

Home 7. 봉천동에 위치한 주택(7)에서 실내농도는 벤젠이 $19.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $28.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 미검출, o-크실렌 미검출, m/p-크실렌 $6.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 나타내어 실외의 모든 VOCs 농도(벤젠 $17.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $24.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 미검출, o-크실렌 미검출, m/p-크실렌 $4.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 높은 농도를 나타내었다. 이 주택의 경우 지하에 위치한 까담으로 취사 및 난방연료로부터 배출된 VOCs성분들이 환기의 부족으로 인해 실내에 머물러 있으므로 실내의 VOCs농도가 높은 것으로 생각된다.

Home 8. 목동에 위치한 아파트로 각 VOCs성분에 따른 농도를 살펴보면 실내에서 벤젠 $17.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $53.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 미검출, o-크실렌 미검출, m/p-크실렌 $8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되어 각각 $14.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $39.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 미검출, 미검출, $5.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 나타낸 실외농도보다 1.2배에서 1.5배까지 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 실내농도가 실외농도보다 높은 이유는 이 주택이 흡연자가 2인에 아파트로서 통풍이 부족한 원인인 것으로 추측된다.

Home 9. 반포에 위치한 이 주택에서는 실내농도가 벤젠 $25.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $58.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 미검출, o-크실렌 미검출, m/p-크실렌 $7.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타냈고, 실외농도는 실내농도에 비해 약간 낮은 농도(벤젠 $24.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $57.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 미검출, o-크실렌 미검출, m/p-크실렌 $7.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)를 나타내 별 차이는 없었다. 이 주택은 아파트 6층으로 실외에서의 자동차 배기가스 유입에 의한 영향

은 크지 않으리라 생각되며, 각 VOCs성분이 실내에서 사용된 취사연료인 가스와 난방연료로부터 배출된 것으로 추측된다.

Home 10. 주택(10)은 사당동에 위치한 아파트로 실내농도가 벤젠 $22.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $62.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o-크실렌 $6.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, m/p-크실렌 $11.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고 실외농도는 벤젠 $18.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $36.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠과 크실렌이 모두 미검출되어 실외에 비해 실내가 1.2배 이상의 높은 농도를 나타내 오염원이 실내에 존재하는 것으로 조사되었다. 이 주택의 경우는 건축된지 1년미만인 주택으로 각종 건축자재로부터 VOCs가 방출된 것으로 사료된다.

사무실의 실내·외 공기중 VOCs의 농도조사

본 연구의 조사대상인 4개의 사무실에서의 실내 및 실외의 평균농도를 조사한 결과를 표 4에 나타냈다. 실내/실외 비는 벤젠이 2.0배, 톨루엔 1.2배, o-크실렌과 m/p-크실렌이 각각 1.4배로 나타났으나 에틸벤젠의 경우에는 실외농도가 약간 높은 것으로 조사되었다.

사무실에서의 VOCs의 오염원으로는 건축자재 및 인테리어자재, 가구, 사무용품, 사무기기등을 들 수 있다(Alfred, 1991). 따라서 본 연구결과도 사무실내의 특성에 따라 모든 VOCs농도가 높은 것으로 나타나 이러한 결과는 Alfred(1991)등이 사무실내에서 조사한 벤젠($15.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 톨루엔($34.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 에틸벤젠($7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)의 농도에 비해 매우 높은 것으로 조사되었다.

각 사무실별 VOCs의 성분별 실내·실외농도와 사무실의 특성을 보면 다음과 같다.

Office 1. 사무실(1)은 방배동에 위치한 사무실로 근무자가 5인이며 측정당시 방문자가 3인이었고 흡연자가 5인이상이었다. 또한 석유난로와 전기콘로를 사용하였고 환기는 주로 창문(자연환기)을 이용하고 있었다. 사무실(1)의 실내농도는 벤젠 $99.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $1084.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $148.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o-크실렌 $39.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, m/p-크실렌 $95.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 실외농도는 각각 $45.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1288.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $204.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $45.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $111.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 벤젠농도는 실외보다 실내에서 2.2배 높은 것으로 조사되어 벤젠의 주 오염원인 흡연으로 인한 담배연기로부터 배출된 것임을 알 수 있다. 한편 벤젠을 제외한 4가지 성분은 실외에서 모두 높은 농도를 나타내었는데, 그 이유는 사무실(1)이 고속도로로 통하는 대로변에 위치해 있으며 근처에 건물을 신축하고 있어 이에 사용되는 각종 건축자재(특히 페

인트)등이 각 성분의 실외농도에 영향을 준 것으로 생각된다.

Office 2. 사무실(2)는 행당동에 위치한 사무실로 교통량이 많은 대로변 건물의 5층에 위치하였으며, 근무자가 5인으로 주로 창문을 이용한 환기를 실시하고 있었다. 사무실내에서 금연이었고, 가스콘로를 취사용으로 사용하고 있었다. 실내의 VOCs 성분별 농도를 살펴보면 벤젠 $22.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $59.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $14.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-크실렌 $6.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *m/p*-크실렌 $22.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 실외농도(벤젠 $25.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $44.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $13.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-크실렌 미검출, *m/p*-크실렌 $6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)에 비해 실내에서 벤젠을 제외한 4가지 성분의 농도가 높은 것으로 나타나 오염원이 실내에 존재하는 것으로 시사되었으며 취사시 사용되는 가스콘로가 각 성분의 주발생원으로 추측된다.

Office 3. 행당동에 위치한 병원내 사무실로 대로변에서는 다소 떨어진 곳에 위치하고 있다. 근무자는 3인이며 흡연은 전혀 허용하지 않는 사무실로 전기콘로를 사용하고 있었고 환풍장치가 설치되어 있었으며, 창문은 항상 밀폐되어 있었다. 본 사무실의 각 성분별 농도는 실내에서 벤젠 $29.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $132.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $36.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-크실렌 $8.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *m/p*-크실렌 $32.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 실외는 벤젠 $40.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $66.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠과 *o*-크실렌 미검출, *m/p*-크실렌 $6.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었다. 벤젠농도는 실내보다 실외에서 높은 것으로 조사되었는데 이러한 결과는 그 건물에 주차장이 있어 주차장을 이용하는 자동차들의 배출가스로부터 벤젠이 배출된 것으로 추측되며, 나머지 4가지 성분은 실내농도가 높아 실내생활용품 또는 병원에서 사용되는 각종 약품으로부터 방출된 것으로 추측된다.

Office 4. 영동에 위치하고 2개월전에 새로 개업을 한 사무실로 근무자가 5인이었으며 근무자중 3인이 흡연을 하고 있었다. 또한 대로변에 위치하고 있어 자동차의 통행량이 상당히 많은 지역이다. 사무실(4)에서의 VOCs농도를 살펴보면 벤젠 $156.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $463.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $17.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-크실렌 $20.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *m/p*-크실렌 $37.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타난 반면, 실외는 벤젠 $41.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $104.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-크실렌 $7.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *m/p*-크실렌 $10.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되어 실내농도가 실외농도에 비해 2.8배 이상 높은 것으로 조사되어 오염원이 실내에 존재하는 것을 알 수 있었다. 그 이유는 새로 개업하여 페인트등 새로운 내장재 및 가구등으로부터 각 성분들이 다량 방출된 것으로

추측되며, 또한 흡연에 의한 담배연기로부터 각 VOCs성분들이 방출된 것으로 사료된다.

주택과 사무실에서의 VOCs 농도비교

본 연구에서 선정된 주택과 사무실내의 VOCs 성분별 농도를 비교해 보면 사무실에서의 각 성분별 농도는 가정에 비해 벤젠의 경우 3.3배, 톨루엔 7.6배, 에틸벤젠 6.1배, *o*-크실렌 2.1배, *m/p*-크실렌 2.1배가 높은 것으로 조사되었다(그림2). 이는 생활용품중 VOCs의 오염원이 될 수 있는 용품을 일반 주택에 비해 사무실에서 많이 사용하며(사무용품, 왁스등), 사무실내의 흡연자수나 흡연량이 주택보다 훨씬 많기 때문인 것으로 추측된다.

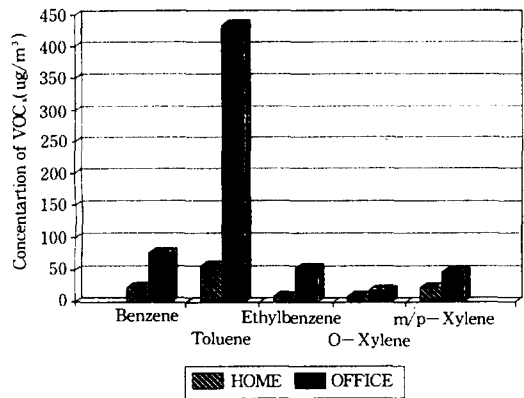


Fig. 2. Comparison of VOCs concentration at home with office.

3.2 실내에서의 생활시간별 VOCs 농도조사

본 연구에서는 VOCs 농도조사시 거주자의 활동시간과 비활동시간으로 분류하여 측정하였다. 주택의 경우 거주자의 활동이 가장 많은 시간인 출·퇴근시간대와 수면을 취하거나 활동량이 거의 없는 늦은 밤 또는 새벽시간대(23:00-06:00)로 분류하였다. 사무실내에서의 활동시간대와 비활동시간대의 분류는 근무자들의 근무여부에 따라 분류하였는데, 즉 근무자가 근무를 하는 평일의 근무시간을 활동시간대로, 근무자가 퇴근한 이후나 휴일을 비활동시간대로 하여 측정하였다.

주택내에서의 활동시간대의 VOCs 성분별 농도를 살펴보면 벤젠 $27.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $58.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $10.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-크실렌 $9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *m/p*-크실렌 $24.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었으며, 비활동시간대에는 벤젠이 $20.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $54.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $7.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-크실렌 $7.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *m/p*-크실렌 $19.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다. 분석한 5가지 성분이 모두 비활

동시간대에 비해 활동시간대에서 높게 나타났는데 벤젠은 약 1.3배, 톨루엔 1.1배, 에틸벤젠 1.4배, o-크실렌 1.3배, m/p-크실렌 1.2배 높은 것으로 조사되어 거주자의 각종 생활활동(취사, 난방, 흡연)이 VOCs로 인한 실내오염 발생의 원인이라는 것을 알 수 있다.

사무실내에서의 활동시간대의 각 성분별 농도를 살펴보면 벤젠 79.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 652.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 80.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o-크실렌 25.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, m/p-크실렌 64.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었으며 비활동시간대에 벤젠 74.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 217.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 27.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o-크실렌 11.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, m/p-크실렌 29.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다. 이는 활동시간대가 비활동시간대에 비해 벤젠 1.1배, 톨루엔 3.0배, 에틸벤젠 2.9배, o-크실렌 2.3배, m/p-크실렌 2.2배 높은 것으로 조사되어 사무실에서도 역시 근무자들의 활동에 의하여 VOCs의 각 성분들이 배출되는 것으로 추측된다.

3.3 건축년수별 VOCs 농도조사

VOCs의 주요오염원중 하나는 건축자재로 알려져 있는데 페인트, 락카, 합판등의 건축자재는 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠등을 방출하는 것으로 보고되고 있다(Bruce and Mark, 1989). 따라서 본 연구에서는 건축자재에 따른 VOCs의 농도변화를 조사하기 위하여 주택 또는 사무실이 건축되거나 수리한 지 1년을 기준으로 신축건물과 구건물로 분류하여 VOCs농도를 비교하였다. 그림 3은 신축건물과 구건물에서의 VOCs농도를 나타낸 것이다. 신축건물일 경우 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, o-크실렌, m/p-크실렌등이 각각 45.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 121.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 12.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 13.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 29.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었으며 오래된 건물에서는 각각 34.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 197.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 28.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 28.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다. 신축건물이 오래된 건물에 비해 벤젠은 1.3배, o-크실렌 1.2배 정도 높은 것으로 나타났으며, m/p-크실렌도 신축 건물에서 약간 높은 농도를 나타내어 건축년수에 따라 VOCs 농도에 영향을 주는 것으로 조사되었다. 이는 페인트, 락카등의 건축자재가 VOCs의 각 성분의 배출원임을 시사한다. 그러나 톨루엔과 에틸벤젠의 경우 오래된 건물에서 각각 1.6배, 2.3배 높은 것으로 조사되어 이 두 성분은 건축년수에 따라 VOCs농도에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

3.4 흡연유무별 VOCs 농도조사

14개의 측정장소를 흡연자의 유무에 따라 분류하여 각각의 실내농도를 조사하였다. 그 결과 그림 4에서 보는 바와 같이 흡연자가 있는 측정장소에서

VOCs의 각 성분 모두 훨씬 높은 농도를 나타내었다. 흡연자가 있는 장소에서의 각 성분별 농도를 살펴보면 흡연이 주요오염원으로 보고된 벤젠이 67.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 344.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 42.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o-크실렌 20.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, m/p-크실렌 49.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다. 이에 비해 흡연자가 없는 장소에서는 벤젠 22.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 65.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 10.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o-크실렌 6.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, m/p-크실렌 17.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 따라서 흡연자/비흡연자의 농도비를 보면, 벤젠 3.0배, 톨루엔 5.2배, 에틸벤젠 4.2배, o-크실렌 2.9배, m/p-크실렌 2.8배로 나타나 조사 성분중 톨루엔이 흡연자 유·무에 따라 가장 농도차가 큰 것으로 나타났다. 따라서 담배연기는 측정된 VOCs성분들의 농도에 많은 영향을 미치는 것을 시사한다.

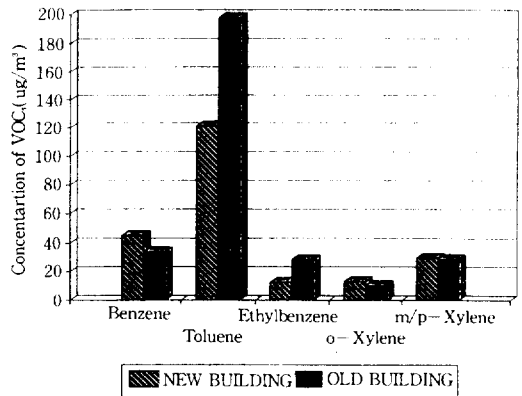


Fig. 3. Comparison of VOCs concentration with new building and old building.

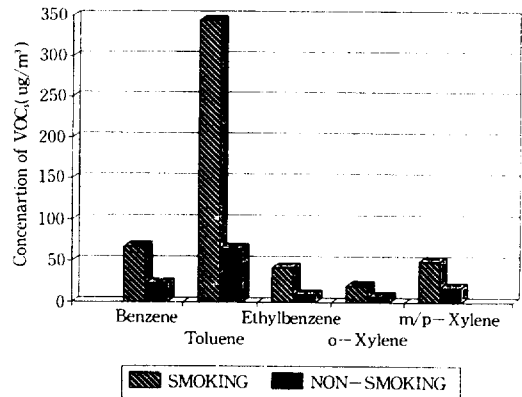


Fig. 4. Comparison of VOCs concentration with smoking and non-smoking area.

이상의 연구조사결과 주택과 사무실의 VOCs농도는 실외농도에 비해 실내농도가 높은 것으로 나타났고 외국의 주택과 사무실내에서의 조사결과와 비교해 볼 때도 본 조사결과가 약간 높은 농도를 나타내고 있어 VOCs의 만성노출로 인한 인체영향을 고려할 때 이에 대한 장기적이고 계속적인 실내환경조사 연구와 실내공기오염 예방대책이 수립되어야 한다.

4. 결 론

본 연구는 1993년 3월부터 동년 4월까지 2개월간 서울시에 소재하는 10개의 일반주택과 4개의 사무실을 선정하여 개인용 공기포집기(Personal air sampler)를 이용하여 활성탄관에 공기중 휘발성 유기화합물(VOCs)를 포집한 후 가스크로마토그래피(Gas Chromatography)를 이용하여 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, *o*-크실렌, *m/p*-크실렌의 5가지 성분에 대한 실내·외 농도를 조사하였다. 본 연구로부터 조사된 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 연구대상인 주택과 사무실에서 측정된 휘발성 유기화합물(VOCs)의 각 성분에 대한 평균실내농도를 조사한 결과 벤젠 $38.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $165.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $21.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-크실렌 $11.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *m/p*-크실렌 $29.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 또한 평균실외농도는 각각 $27.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $140.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $17.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $16.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타나 실내농도가 실외농도에 비해 1.2배에서 2.4배까지 높은 것으로 나타났다.

2. 주택에서의 휘발성 유기화합물(VOCs)농도를 조사한 결과 실내농도는 벤젠 $23.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $57.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-크실렌 $8.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *m/p*-크실렌 $22.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 실외농도는 각각 $23.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $46.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $9.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되어 대부분 실내농도가 높은 것으로 나타나 이들 각 VOCs 성분들의 오염원이 실내에 존재하는 것을 시사한다.

3. 사무실내의 VOCs농도를 조사한 결과 벤젠 $76.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 $434.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $54.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-크실렌 $18.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *m/p*-크실렌 $46.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 사무실외부의 공기중 각 성분에 대한 농도는 각각 $38.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $375.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $55.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $13.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $33.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타나 실내농도가 실외농도에 비해 높은 것으로 조사되었으며 특히 주택에서의 휘발성 유기화합물(VOCs)농도보다 성분에 따라 2.1배에서 7.6배 가량 높아 사무실이 주택보다 실내오염발생원이 다량 존재함을 시사한다.

4. 각 측정장소에서의 시간대에 따른 휘발성 유기화합물(VOCs)농도를 조사한 결과 거주자의 활동 시간대가 비활동시간대에 비해 높은 농도를 보여 주택에서는 성분에 따라 1.1배에서 1.4배 높은 것으로 조사되었으며, 사무실에서는 1.1배에서 3.0배 높은 것으로 조사되어 거주자의 난방, 취사, 흡연등의 생활활동양식에 따라 휘발성 유기화합물(VOCs)의 농도가 변화됨을 알 수 있다.

5. 신축건물과 구건물에 대한 휘발성 유기화합물(VOCs)의 성분별 농도조사 결과 신축건물에서 구건물에 비해 약 1.2배정도 높은 것으로 조사되어 건축자재가 이들 성분의 농도에 영향을 주는 것을 시사한다. 그러나 톨루엔과 에틸벤젠의 경우 구건물에서 더 높은 것으로 조사되었다.

6. 측정장소중 흡연자가 있는 장소와 흡연자가 없는 장소에서의 휘발성 유기화합물(VOCs)성분별 농도를 측정된 결과 흡연자가 있는 장소에서 흡연자가 없는 장소에 비해 약 2.8배이상 높은 것으로 조사되었다. 따라서 담배연기는 본 연구에서 조사된 5가지 VOCs 농도에 영향을 주는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 김윤신 외 2인(1990) 일산화탄소의 가정내 농도 및 주부의 개인 폭로량에 관한 조사연구, 한국 대기보전학회지, 6(1), 97~102.
- 김윤신 외 2인(1991) 서울시 일부 택시기사의 이산화질소 개인폭로량에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 17(2), 9~16.
- 김윤신(1992) 우리나라 실내공기질에 관한 고찰, 대한보전학회지, 18, 147~165.
- 전준민, 김윤신(1993) 서울시 지하상가 공기중 다환방향족 탄화수소의 농도조사에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 9(1), 81~92.
- 이민희 외 5인(1988) 대기중의 미량오염물질에 관한 연구, 국립환경연구원.
- Alex R. Gholson, Julia F. Storm and R.K.M. Jayanty(1989) Evaluation of Canisters for Measuring Emissions of Volatile Organic Air Pollutants from Hazardous Waste Incineration, JAPCA, 39, 1210~1217.
- Alfred T. Hodgson and Joan M. Daisey(1991) Sources and Source Strengths of Volatile Organic Compounds in a New Office Building, Air & Waste Management Association, 41, 1461~1468.
- Bruce A. Tichenor, Mark A. Mason(1988), Organ-

- ic Emissions from Consumer Products and Building Materials to the Indoor Environment, JAPCA 38, 264~268.
- Cecilia C. Chan, Leon Vainer and John W. Martin (1990) Determination of Organic Contaminants in Residential Indoor Air Using an Adsorption-thermal Desorption Technique, J. Air Waste Manage. Assoc., 40, 62~67.
- Chan Chang-Chuan, Haluk Ozkaynak, John D. Spengler, and Linda Sheldon (1991) Driver Exposure to Volatile Organic Compounds CO, Ozone, and NO₂ under Different Driving Conditions, Environ. Sci. Technol., 25, 5, 964~972.
- Chan Chang-Chuan, John D. Spengler, Haluk Ozkaynak, Myrto Lefkopoulou (1991) Commuter Exposures to VOCs in Boston, Massachusetts, J. Air Waste Manage. Assoc. 41, 1594~1600.
- Clyde W. Sweet and Stephen J. Vermette(1992) Toxic Volatile Organic Compounds in Urban Air in Illinois, Environ. Sci. Technol., 26, 1, 165~173.
- David L. Heavner, Michael W. Ogden and Paul R. Nelson(1992) Multisorbent Thermal Desorption/Gas Chromatography/Mass Selective Detection Method for the Determination of Target Volatile Organic Compounds in Indoor Air, Environ. Sci. Technol., 26, 9, 1737~1746.
- Jitendra J. Shah, Hanwant B. Singh(1988) Distribution of volatile organic chemicals in outdoor and indoor air, Environ. Sci. Technol., 22, 12, 1381~1388.
- John C. Little(1992) Applying the Two-Resistance Theory to Contaminant Volatilization in Showers, Environ. Sci. Technol., 26, 7, 1341~1349.
- Lols R. Ember(1988) Survey Finds High Indoor Levels of Volatile Organic Chemicals, C&EN, December 5, 23~25.
- Marie V. Tancrede and Yukio Yanagisawa(1990) An Analytical Method to Determine Henry's Law Constant For Selected Volatile Organic Compounds At Concentrations And Temperatures Corresponding To Tap Water Use, J. Air Waste Manage. Assoc., 40, 1658~1663.
- Martin A. Cohen, P. Barry Ryan and Yukio Yanagisawa(1990) The Validation of a Passive Sampler for Indoor and Outdoor Concentrations of Volatile Organic Compounds, Air and Waste Management Association, 40, 993~997.
- Martine A. Cohen, P. Barry Ryan, Haluk Ozkaynak, Paul S. Epstein(1989) Indoor/Outdoor Measurements of Volatile Organic Compounds in the Kanawha Valley of West Virginia, JAPCA 39, 1086~1093.
- Michael A. J. Bevan, Christopher J. Proctor, Joanna Baker Rogers and Nigel D. Warren (1991) Exposure to Carbon Monoxide, Respirable Suspended Particulates, and Volatile Organic Compounds While Commuting by Bicycle, Environ. Sci. Technol., 25, 4, 788~791.
- Peter M. Eller(1984) NIOSH manual of analytical methods, U.S. Department of Health and Human Services, Method number 1501.
- Paul J. Lioy and Joan M. Daisey(1987) Toxic Air Pollution, Lewis Publishers, Inc., pp. 69~90.
- Sylvia A. Edgerton, Michael W. Holdren, and Deborah L. Smith(1989) Inter-Urban Comparison of Ambient Volatile Organic Compound Concentrations in U.S. Cities, Air and Waste Management Association, 39, 5, 729~732.
- Wallace, L. A. (1987) The Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) Study: Summary and Analysis: Volume 1., U.S. Environmental Protection Agency.
- Wallace, L. A. et al(1989), The Influence of Personal Activities on Exposure to Volatile Organic Compounds, Environmental Research, 50, 37~55.