

## 공단지역 일부 주민들의 주택유형 및 실내/외에 따른 VOCs(Benzene, Toluene, Xylene) 농도 및 상관성에 관한 연구

이치원 · 전혜리 · 홍은주 · 유승도\* · 김대선\* · 손부순<sup>†</sup>

순천향대학교 환경보건학과, \*국립환경과학원 환경보건연구과  
(2010. 7. 26. 접수/2010. 8. 30. 수정/2010. 10. 20. 채택)

## 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

Che-Won Lee · Hye-Li Jeon · Eun-Ju Hong · Seung-Do Yu\* · Dae-Sun Kim\* · Bu-Soon Son<sup>†</sup>

*Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University, Chungnam, Korea*

*\*Environmental Epidemiology Division, Environmental Health Research Department,*

*National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea*

(Received July 26, 2010/Revised August 30, 2010/Accepted October 20, 2010)

### ABSTRACT

The objectives of this study were to understand the characteristics of residents in industrial areas and factors affecting exposure to the Volatile Organic Compounds(VOCs : Benzene, Toluene, Xylene) as well as to assess exposure levels according to house-type, and whether residents were indoors or outdoors. This research was designed to assess the differences in exposure levels to indoor, outdoor and personal VOCs in a case group and a control group across all areas, as well as in each different area, from May to October 2007, in 110 residents of the G, Y and H industrial areas of the Jun-nam province. The geometric mean-levels of airborne benzene for the case group 1.31part per billion(ppb) indoor, 1.29 ppb outdoor, and 1.32 ppb for personal exposure were significantly higher than for the control group 0.99, 0.87 and 0.57 ppb, respectively. The geometric mean level for toluene personal exposure across the G, Y and H areas was 5.70 ppb for the case group and 6.31 ppb for the control group. While the outdoor level was 4.27 ppb for the case group and 5.06 ppb for the control group, The indoor level for the case group was 4.78 ppb, similar to that of the control group 4.69 ppb. The geometric mean levels for airborne xylene across the G, Y and H areas were 0.16 ppb(outdoor), 0.12 ppb(personal exposure) and 0.10 ppb(indoor) for the case group, and for the control group were 0.17(personal exposure) and 0.09 ppb(indoor and outdoor). The indoor/outdoor(I/O) ratio for case group is 1.19, while that of the control group is 1.15, indicating that the indoor level was higher than the outdoor level. The interrelationship differences among the three different types of levels in the air in the G, Y and H areas are statistically significant, except for the difference between the indoor and outdoor figures for xylene. In terms of the different types of houses and energy type used, the geometric mean level for airborne benzene, toluene and xylene for houses were 1.61, 5.39 and 0.12 ppb, respectively. while the figures for flats were 0.67, 3.32 and 0.05 ppb, respectively. Outdoors, the levels of benzene and toluene in flats were 0.71 and 2.62 ppb, respectively. and 1.58 and 5.35 ppb in houses. For personal exposure, the house levels of benzene, toluene and xylene were all higher than for flats. Houses using oil for heating have significantly higher levels than flats, which use gas for heating.

**Keywords:** VOCs, personal exposure, control, case, geometric mean

<sup>†</sup>Corresponding author : Department of Environmental  
Health Science, Soonchunhyang University  
Tel: 82-41-530-1270, Fax: 82-41-530-1272  
E-mail : sonbss@sch.ac.kr

## I. 서 론

휘발성유기화합물은 모든 실내/외 환경과 다양한 미세환경으로부터 혼합물의 형태로 방출된다.<sup>1)</sup> 휘발성유기화합물의 노출 모니터링에 대한 몇몇 연구에서는 실외 농도 보다는 실내 농도와 개인 노출 농도가 더 높았으며, 이는 개인 활동과 실내 발생원에 의한 영향으로 개인노출에 크게 기여한다고 보고하고 있다.<sup>2)</sup> 더욱이 사회·경제적, 인구학적 요소가 개인 시간활동 양상에 중요한 영향을 주며, 휘발성유기화합물의 노출이 다양한 양상을 보이는 중요한 상관관계를 나타내고 있다는 것이다.<sup>3)</sup>

EXPLOLIS(European exposure study) 연구에서도 시간활동 양상과 사회인구학적 요소와 휘발성유기화합물의 노출사이에는 관계가 있다고 보고하고 있다.<sup>4)</sup> 또한 다환방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs), VOCs에 대한 노출요인들을 파악하고자 일반인구를 대상으로 노출요인과 생체지표간의 관련성을 파악하여 노출량을 산정하는 연구도 수행되었다.<sup>5)</sup>

즉 환경오염으로 인한 오염물질의 인체영향에 대한 연구가 세계적으로 관심을 받고 있으며, 그 중 세계보건기구(World Health Organization; WHO)와 유럽연합(European Union; EU)은 “산업국가에서 발생한 환경오염이 질환발생에 25-30% 정도 기여한다”고 추정하고 있다.<sup>6)</sup> 이에 따라 환경부에서는 환경성 질환 발생 우려가 제기되었거나 오염물질 배출량이 높은 산업단지 지역주민에 대하여 향후 20년간의 장기 건강영향조사를 2003년부터 진행하고 있다.

특히 본 연구 대상지역인 여천 지역은 1967년부터 중화학공업 육성을 위한 석유화학단지를 조성하기 시작하면서 안전사고 및 환경오염으로 인한 피해분쟁이 빈발하여 환경오염에 대한 관심이 집중된 지역이다. 여천산단 주변마을의 경우 아황산가스 등 환경기준에 정해진 오염물질로 인한 오염도는 대체로 양호한 상태였으나, 지금까지 관리되지 못하였던 휘발성유기화합물 질로 인한 대기오염문제가 최초로 제기된 지역으로 휘발성유기화합물에 대한 문제가 심각한 지역이라 할 수 있다.

따라서 지속적인 안전문제 및 환경피해 발생이 우려됨에 따라 환경부에서는 1996년 9월 여천 산업단지 및 확장단지를 대기보전특별대책지역으로 지정하고 석유정제 및 석유화학제품제조시설 등에 대하여 휘발성유기화합물질 배출억제 및 방지시설을 설치토록 하는 한편, 기존 배출시설에 대하여는 엄격한 배출허용기준을, 신규배출시설에 대하여는 특별배출허용기준을 각각 적

용하여 관리하고 있다.<sup>7)</sup>

실제로 대기 중 VOCs에 의한 호흡기와 자극성 건강영향을 파악하기 위한 연구에 의하면 화학단지에서 배출되는 VOCs에 대한 개인 만성 노출은 호흡기계에 악영향을 미친다고 보고되고 있지만, 우리나라에서는 아직 VOCs의 인체 노출량 평가에 대한 연구가 활발하지 못한 실정이다.

본 연구에서는 흡착체에 대기 중의 목적물질을 분자 확산 현상에 의해 시료를 채취할 수 있도록 한 Passive sampler를 이용하여 시료를 채취하였다. Passive sampler는 전원이 필요하지 않기 때문에 공간적 제약이 없이 설치가 가능하여 경제적으로 다량의 측정 자료를 확보할 수 있으며, 대상오염 물질의 공간적인 분포를 파악하고 해석하는데 용이한 장점이 있다.<sup>8)</sup> VOCs 수동식 시료채취기(3M)는 측정기간이 증가할수록 상대표준편차(RSD)가 감소하는 것으로 즉 정밀도가 증가하는 것으로 생각할 수 있다고 하였으며, 미국 환경청(EPA)에서 실시한 VOCs 수동식 시료채취기의 정밀도 실험 결과에서도 측정기간이 증가할수록 농도값의 정밀도가 증가하는 것을 알 수 있었다.<sup>9)</sup>

이에 본 연구에서는 Passive sampler를 사용하여 공단지역 일부 주민들의 개인특성 및 노출관련 영향요인을 파악하고 다양한 발생원을 가지고 있는 환경오염물질인 VOCs(Benzene, Toluene, Xylene)의 농도를 평가하여 오염물질의 발생원(실내·외) 및 주택의 유형에 따른 상관성을 분석하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상

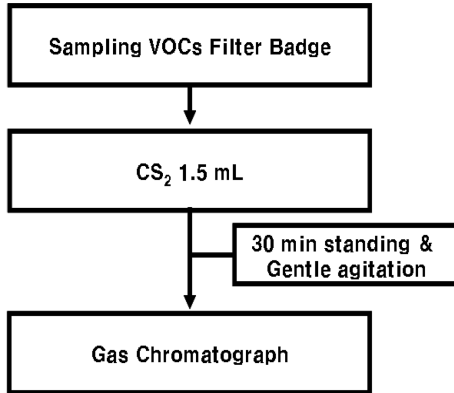
본 연구는 전남에 위치한 G, Y, H 공단지역 주민을 대상으로 2007년 5월부터 2007년 10월까지 공단 반경 5 km 이내에 거주여 공단에서 배출되는 오염물질에 노출될 것으로 예상되는 노출그룹 주민(82명)과 노출그룹에 비해 상대적으로 오염물질에 낮은 농도로 노출될 것으로 판단되는 공단 반경 10 km 이외에 거주하는 대조그룹 주민(28명)을 대상으로 공기 중 VOCs의 국소환경(주택실내·실외) 및 개인노출농도를 파악하기 위하여 실시하였다. 그리고 대상자별 개인특성 및 노출관련 영향요인 파악을 위해 질문지를 이용하였다.

### 2. 공기 중 VOCs 측정 및 분석방법

공기 중 VOCs 측정에 사용된 측정기는 badge type의 수동식 시료채취기(passive sampler)로 참여자의 개인노출과 국소환경인 주택실내(거실)와 주택실외(창문

**Table 1.** GC condition for VOCs analysis

Condition	
Column	Shimadzu-CBP1 25 m(length)×0.22 mm (Column ID)×0.25 μm(film thickness)
Oven	60°C(2.5 min) to 100°C(1 min) at 30°C/min
Carrier	Nitrogen(5 ml/min)
Detector	FID, 250°C
Injector	1 μl, 250°C



**Fig. 1.** The procedure of VOCs analysis in Air.

또는 문밖)에서 연속 3일 이상 공기를 포집하였다. 개인노출의 경우는 참여자들의 옷가치나 가슴높이 등 호흡기 위치에 가까운 곳에서 측정하였으며, 측정에 사용된 VOCs용 수동식 시료채취기는 3M사의 OVM #3500(3M, USA)이었다.

VOCs 농도분석은 각 샘플의 OVM 중간 포트에 이황화탄소(CS<sub>2</sub>)를 1.5 ml 주입하고 30분간 정치 및 가볍게 흔들어준 후 GC(gas chromatography)를 이용하여 분석하였다(Fig. 1). 이용된 GC의 분석 조건은 다음 Table 1과 같다.

### III. 연구결과 및 고찰

#### 1. 설문 결과

총 110명의 주민을 대상으로 설문조사를 실시하여 비응답자 5명을 제외한 105명을 대상으로 분석을 실시하였으며, 개인노출은 비흡연자를 대상으로 하였다. 설문에 응답한 참여자들의 평균 연령은 44.33±13.58세 이었으며, 주부 중 2명이 흡연을 하고 있었다. 간접흡연 여부를 묻는 질문 중 주택에서 29.1%, 직장에서는 2.7%만이 간접흡연을 하고 있다고 응답하여 주택에서 간접흡연으로 인한 노출가능성을 보였다. 또한, 주택의 형태는 단독주택 59.1%, 아파트 31.8%로 대부분이 단독

**Table 2.** Characteristics of subjects

Characteristics		Number (%)
Smoking	Yes	2( 1.8)
	No	103(93.6)
Indirect smoking	Residential indoor	Yes 32(29.1) No 72(64.6)
	Workplace indoor	Yes 3( 2.7) No 69(62.7)
	House type	Single-family house 65(59.1) Multiplex house 5( 4.5) Apartment 35(31.8)
	Construction years	≤1 year 0( 0.0) 1-4 years 8( 7.3) 4-10 years 39(34.5) 10-20 years 39(35.5) 20 years < 18(16.4)
Road type near house	four-lane	21(19.1)
	Two-three lane	37(33.6)
	Single lane	32(29.1)
	The others	13(11.8)

주택 및 아파트에 거주하고 있었으며, 응답자의 86.4%가 4년 이상된 주택에서 거주하고 있었다(Table 2).

#### 2. 공기 중 VOCs 농도

##### 1) Benzene

노출군과 대조군의 공기 중 benzene의 주택실내, 실외 및 개인노출 농도는 Table 3과 같다. 노출군 benzene의 주택실내, 실외, 개인노출의 기하평균 농도는 각각 1.31, 1.29, 1.32 ppb이었으며, 대조군은 0.99, 0.87, 0.57 ppb로 조사되었다. 참여자 중 화학물질 취급자 및 세탁소 근무자의 개인노출 농도는 26.4 ppb 및 27.5 ppb를 나타내었고, 전체적 평균 농도에 영향을 고려하여 표에서 제외하였다. 실내, 실외 및 개인노출 농도는 노출군에 비해 대조군이 낮은 농도분포를 보였으며, 노출군과 대조군간의 농도는 통계적으로 유의하게 나타났다(p<0.01).

환경부(2005)에서 운영중인 유해대기물질 측정망의 실외 benzene의 농도 범위는 0.02-1.50 ppb 수준이었으며, 서울 도곡동(1.23 ppb), 인천 연희동(1.50 ppb), 시흥 정왕동(1.16 ppb), 부산 온천동(1.21 ppb) 등의 지역과 노출군 실외 농도가 비슷한 경향을 띄고 있었다. 그러나 울산 여천동(0.65 ppb), 울산 야음동(0.44 ppb), 대구 남산동(0.49 ppb), 대전 구성동(0.57 ppb), 태안 파도리(0.15 ppb) 등은 본 연구결과에 비해 낮은 연평균 농도

**Table 3.** Resident in indoor or outdoor and personal exposure levels of benzene

	Case Area (n=82)					Control Area (n=28)					t
	ND% <sup>a</sup>	M ± SD <sup>b</sup>	GM <sup>c</sup>	Range	I/O <sup>d</sup>	ND% <sup>a</sup>	M ± SD <sup>b</sup>	GM <sup>c</sup>	Range	I/O <sup>d</sup>	
Indoor	13.4	1.95 ± 1.62	1.31	0.10-6.20	1.13	10.7	1.23 ± 0.79	0.99	0.20-3.50	1.36	.005**
Outdoor	13.4	1.83 ± 1.37	1.29	0.05-6.16		7.1	1.13 ± 0.95	0.87	0.22-4.22		.006**
Personal	6.1	2.09 ± 2.04	1.32	0.02-10.61		35.7	0.94 ± 1.07	0.57	0.08-3.75		.002**

\*\*p<0.01.

<sup>a</sup>Percentage of samples in which compound was not detected.

<sup>b</sup>Arithmetic mean ± Arithmetic standard deviation.

<sup>c</sup>Geometric mean.

<sup>d</sup>Indoor/Outdoor ratio.

를 보이고 있었다.

실외 교통량, 주변에 석유정제시설 등과 같은 산업시설, 자동차 수리소, 주유소와 같은 시설이 있을 경우 공기 중 오염물질의 흡입에 의해 높은 농도의 benzene에 노출된다고 보고하고 있다.<sup>10)</sup>

본 연구 대상지역의 경우 국가산업단지가 위치해 있으며, 이로 인한 교통량 증가 및 지형적 특성으로 인해 향후 benzene에 노출될 가능성을 보이고 있다.

국내에서 2010년부터 적용되고 있는 benzene의 대기환경기준인 1.57 ppb를 만족하고 있었으며, 영국 1.57 ppb, 일본의 0.94 ppb로, 대조군은 기준을 만족하고 있고, 노출군의 경우 일본의 기준을 초과하고 있었다.

노출군과 대조군의 I/O 비는 각각 1.13, 1.36으로 실내가 실외보다 농도가 높게 조사되었으며, 대조군의 경우 노출군에 비해 상대적으로 I/O 비가 높게 나타났다.

제철소 근로자를 대상으로 한 김(2007)의 연구결과와 비교하면 주택 실내, 주택 실외와 개인노출의 기하평균 농도는 경우 각각 0.37, 0.36, 0.80 ppb로 본 연구결과가 다소 높거나 비슷한 농도 수준을 보였다. 또한 국립환경과학원(2009)<sup>9)</sup>의 연구결과 평일 여름의 대구, 아산, 서울, 순천의 주택실내 기하평균이 각각 0.78, 0.73, 0.27, 0.57 ppb, 실외 1.02, 0.89, 0.31, 0.61 ppb

로 실내는 본 연구결과가 높았으며, 실외의 경우 대구는 비슷한 수준이었으며, 아산, 서울, 순천은 낮은 기하평균값을 보이고 있었다. 개인노출은 대구, 아산, 서울, 순천이 각각 1.04, 0.85, 0.55, 0.70 ppb로 서울을 제외한 대구, 아산, 순천은 대조군에 비해 높고 노출군에 비해 낮은 농도 경향을 띄고 있었다.

## 2) Toluene

노출군과 대조군에서 측정된 toluene의 개인노출 기하평균 농도는 각각 5.70 ppb, 6.31 ppb, 실외 노출군 4.27 ppb, 대조군 5.06 ppb로 노출군에 비해 대조군이 높게 나타났으며, 실내 농도는 노출군 4.78 ppb, 대조군 4.69 ppb로 비슷한 농도로 조사되었다. 이는 전 등(2003)<sup>25)</sup>이 보고한 2000-2001년 여수산단 실외 대기 중 toluene의 평균 농도인 3.01 ppb 보다 높은 수준이었으며, 대구 및 서울 도심지역의 도로변의 평균 농도인 18.4, 38.96 ppb 보다는 낮은 수준이었다. 또한 WHO(1990)의 대기환경 1주일 평균(63 ppb) 및 30분 평균(243 ppb)의 참고치를 만족하고 있었다. 그러나 toluene, xylene에 만성적으로 노출되게 되면 신경계, 간과 신장에 영향을 줄 수 있다고 보고하고 있어,<sup>27,28)</sup> 본 연구 대상 지역의 경우 VOCs 배출사업장이 밀집

**Table 4.** Resident in indoor or outdoor and personal exposure levels of toluene

	Case Area (n=82)					Control Area (n=28)					t
	ND% <sup>a</sup>	M ± SD <sup>b</sup>	GM <sup>c</sup>	Range	I/O <sup>d</sup>	ND% <sup>a</sup>	M ± SD <sup>b</sup>	GM <sup>c</sup>	Range	I/O <sup>d</sup>	
Indoor	23.2	6.82 ± 6.56	4.78	0.76-38.76	1.51	21.4	5.75 ± 3.89	4.69	0.92-18.28	1.25	.361
Outdoor	26.8	6.40 ± 7.27	4.27	0.66-42.26		14.3	6.24 ± 4.52	5.06	1.24-22.69		.921
Personal	17.1	8.80 ± 11.12	5.70	1.11-67.47		46.4	11.59 ± 17.57	6.31	1.36-70.65		.436

<sup>a</sup>Percentage of samples in which compound was not detected.

<sup>b</sup>Arithmetic mean ± Arithmetic standard deviation.

<sup>c</sup>Geometric mean.

<sup>d</sup>Indoor/Outdoor ratio.

**Table 5.** Resident in indoor or outdoor and personal exposure levels of xylene

	Case Area (n=82)					Control Area (n=28)					t
	ND% <sup>a</sup>	M ± SD <sup>b</sup>	GM <sup>c</sup>	Range	I/O <sup>d</sup>	ND% <sup>a</sup>	M ± SD <sup>b</sup>	GM <sup>c</sup>	Range	I/O <sup>d</sup>	
Indoor	59.8	0.12 ± 0.08	0.10	0.02-0.46	1.19	57.1	0.10 ± 0.04	0.09	0.04-0.21	1.15	.463
Outdoor	74.4	0.27 ± 0.57	0.16	0.04-2.76		50.0	0.09 ± 0.01	0.09	0.08-0.11		.260
Personal	61.0	0.15 ± 0.10	0.12	0.03-0.52		75.0	0.13 ± 0.08	0.17	0.07-0.30		.728

<sup>a</sup>Percentage of samples in which compound was not detected.

<sup>b</sup>Arithmetic mean ± Arithmetic standard deviation.

<sup>c</sup>Geometric mean.

<sup>d</sup>Indoor/Outdoor ratio.

되어 오염을 가중시켰을 영향을 배제할 수 없을 것으로 판단한다.

I/O 비는 대조군 1.25, 노출군이 1.51로 1보다 높아 주택 실내특성에 따른 발생원에 의한 영향이 상대적으로 큰 것으로 판단된다(Table 4).

### 3) Xylene

노출군 전체의 기하평균 농도는 실외(0.16 ppb), 개인노출(0.12 ppb), 실내(0.10 ppb) 순이었고, 대조군의 경우 개인노출(0.17 ppb), 실내와 실외(0.09 ppb) 순이었다. 전체 대상자의 50% 이상에서 xylene이 불검출 되었으며, 국소환경 및 개인노출 농도의 차이는 모두 통계적으로 유의하지 않았다. I/O 비는 노출군 1.19, 대조군 1.15로 실외의 농도에 비해 실내 농도가 높았다(Table 5). Xylene의 농도는 WHO(1990)의 1주일 평균(184 ppb) 및 30분 평균(1013 ppb)의 guideline에 크게 못 미치는 농도 수준으로 나타났다.

본 연구에서 Benzene, Toluene, Xylene의 I/O 비는 모두 1보다 컸다. I/O 비가 1 보다 큰 경우 실내에 발생원이 있다고 보고하고 있으며,<sup>11)</sup> Egeghy 등에 의하면 실내의 경우 흡연이나 요리, 난방을 위한 연료의 사용 또는 개인의 생활양식 등에 원인이 있다고 보고하고 있어,<sup>12)</sup> 본 결과 역시 실내에 Benzene, Toluene, Xylene의 발생원에 의한 것으로 판단된다. 일반적으로 저농도에서는 실외 농도보다 실내 농도가 통계적으로 유의하게 높다고 보고하고 있으나,<sup>13)</sup> 실외에 주요한 발생원이 있는 경우는 실외의 농도도 개인노출에 영향을 줄 수 있다고 보고하고 있다.<sup>14)</sup>

본 연구 결과 Benzene, Toluene, Xylene의 실외와 실내의 기하평균 농도는 큰 차이를 보이고 있지 않아 국가산업단지, 석유화학단지, 제철소, 화력발전소 및 연관단지 등과 이로 인한 교통량 증가 등의 실외 발생원에 의한 실내 및 개인노출 농도에 영향을 주었을 것으로

로 생각된다. 또한, 시료채취 시점이 5월에서 10월인 점을 감안할 때 환기량의 증가로 인한 실외에서 실내로의 유입을 배제할 수 없다. benzene 노출군, toluene과 xylene 대조군의 개인노출 농도가 다소 높게 나타났는데, 이것은 개인노출 농도의 경우 측정시간 동안의 개인 활동행태에 영향을 받았기 때문<sup>15)</sup>으로, 실제 노출군의 경우 대부분 도시형 생활, 대조군의 경우 농촌형 생활 형태가 많아 이로 인한 영향을 받을 것이다.

타 연구결과와의 비교시 시료채취 지점의 선정, 기상 조건 및 시료채취 방법의 차이에 따라 농도 차이를 보이고 있다고 판단된다. 그러나 이러한 농도범위들은 국내외 도심지역 및 산업지역에서 관찰되는 수준<sup>16,18)</sup>으로 보고되고 있다.

다만, 일부 지역주민을 대상으로 한 연구 결과이기는 하나 발암물질로 알려진 Benzene의 경우 노출군이 대조군에 비해 2배 이상 높은 농도를 보이고 있어 향후 더욱 다양한 국소 환경의 지속적인 모니터링연구를 통해 정확한 발생원의 규명이 필요하다고 생각한다.

### 3. 주택실내, 주택실외 그리고 개인노출 농도간의 상관관계

Benzene의 개인노출과 국소환경간 상관성을 분석한 결과를 Table 6에 나타내었다. 주택실내, 실외, 개인노출 농도의 상관성 분석 결과 개인노출은 실내 및 실외 농도와 유의한 상관성을 나타냈다(p<0.01). 이 같은 결과는 측정시기가 5-10월임을 감안할 때 주택의 환기에 의한 영향과 참여자 대부분이 주로 주택의 실내에서 생활하고 있었기 때문인 것으로 생각한다.

국소환경과 개인노출 간 toluene 농도는 통계적으로 유의한 상관성을 보였다(p<0.01).

Xylene의 개인노출 농도는 주택실내 및 실외와 유의한 상관관계를 보였으며(p<0.01), 실외에 비해 실내가 더 높은 상관관계를 보였다. 이는 실내에서 xylene의 발생원이 있는 것으로 판단한다.

**4. 주택 유형 및 사용 연료에 따른 공기 중 VOCs 농도**

주택 유형과 난방 연료에 따른 실내 공기 중 BTX의 농도를 살펴보면 Table 7과 같다. 단독주택과 아파트에 거주하는 대상자는 각각 41가구, 32가구이었으며, 그 중 단독주택에 거주하면서 석유를 난방연료로 사용하

는 가구는 35가구, 아파트에 거주하면서 가스를 난방연료로 사용하는 가구는 29가구이었다. 그 외에 전기, 연탄 등을 연료로 사용하는 가구가 있었으나 해당 가구가 적어 분석에서 제외하였다.

주택 유형 별로 측정 기간 중 난방 시간을 살펴보면 난방 연료로 가스와 석유를 사용하는 주택의 하루 평균 난방시간은 각각 1.47 hr/day, 0.67 hr/day로 가스를 연료로 사용하는 주택의 난방 사용시간 비율이 높았다.

단독주택 중 실내에서의 Benzene, Toluene, Xylene 농도의 기하평균은 각각 1.61, 5.39, 4.55, 0.12 ppb이었으며, 아파트의 경우 0.67, 3.32, 2.86, 0.05 ppb이었다. 실내에서 이들 오염물질의 농도 평균은 단독주택에서 석유를 난방연료로 사용하는 가구가 아파트에서 가스를 난방연료로 사용하는 가구보다 Benzene, Toluene, Xylene의 농도가 높았고 통계적으로도 유의한 상관관계를 보였다.

실외의 경우, 실내와 마찬가지로 Benzene, Toluene의 농도는 아파트에 비해 단독주택이 높았으며, 통계적으로도 유의한 상관관계를 보였다(p<0.01). xylene의 경우

**Table 6.** Correlations between personal exposure and micro-environments levels of benzene

		Indoor	Outdoor	Personal
Benzene	Indoor	1		
	Outdoor	.902**	1	
	Personal	.734**	.757**	1
Toluene	Indoor	1		
	Outdoor	.612**	1	
	Personal	.537**	.377**	1
Xylene	Indoor	1		
	Outdoor	-.098	1	
	Personal	.717**	.537**	1

\*\*p<0.01

**Table 7.** Indoor levels of VOCs in each house type & heating oil

		House type	N	Heating oil	N	ND% <sup>a</sup>	M ± SD <sup>b</sup>	GM <sup>c</sup>	Range	p-value
Indoor	Benzene	Single-family house	41	petroleum	35	0.00	2.21 ± 1.53	1.61	0.24-5.89	.000**
		Apartment	32	liquefied petroleum gas	29	0.00	0.85 ± 0.62	0.67	0.10-3.25	
	Toluene	Single-family house	41	petroleum	27	22.86	7.91 ± 7.74	5.39	0.92-38.76	.037*
		Apartment	32	liquefied petroleum gas	28	3.45	4.26 ± 4.27	3.32	0.76-24.10	
	Xylene	Single-family house	41	petroleum	18	48.57	0.14 ± 0.09	0.12	0.03-0.46	.033*
		Apartment	32	liquefied petroleum gas	7	75.86	0.06 ± 0.04	0.05	0.02-0.13	

\*p<0.05, \*\* p<0.01.

<sup>a</sup>Percentage of samples in which compound was not detected.

<sup>b</sup>Arithmetic mean ± Arithmetic standard deviation.

<sup>c</sup>Geometric mean.

**Table 8.** Outdoor levels of VOCs in each house type & heating oil

		House type	N	Heating oil	N	ND% <sup>a</sup>	M ± SD <sup>b</sup>	GM <sup>c</sup>	Range	p-value
Outdoor	Benzene	Single-family house	41	petroleum	35	0.00	2.08 ± 1.27	1.58	0.22-4.17	.000**
		Apartment	32	liquefied petroleum gas	29	0.00	0.86 ± 0.47	0.71	0.13-1.78	
	Toluene	Single-family house	41	petroleum	30	14.29	7.36 ± 6.64	5.35	0.99-35.18	.001**
		Apartment	32	liquefied petroleum gas	26	10.34	2.83 ± 0.96	2.62	0.65-4.73	
	Xylene	Single-family house	41	petroleum	18	48.57	0.28 ± 0.62	0.15	0.04-2.76	-
		Apartment	32	liquefied petroleum gas	0	100.00	-	-	-	-

\*\*p<0.01.

<sup>a</sup>Percentage of samples in which compound was not detected.

<sup>b</sup>Arithmetic mean ± Arithmetic standard deviation.

<sup>c</sup>Geometric mean.

**Table 9.** Personal exposure levels of VOCs in each house type & heating oil

		House type	N	Heating oil	N	ND% <sup>a</sup>	M ± SD	GM	Range	p-value
Personal	Benzene	Single-family house	41	petroleum	35	0.00	2.31 ± 1.61	1.62	0.20-5.38	.000**
		Apartment	32	liquefied petroleum gas	29	0.00	0.78 ± 0.50	0.60	0.02-2.15	
	Toluene	Single-family house	41	petroleum	31	11.43	9.77 ± 12.58	6.24	1.36-67.47	.021*
		Apartment	32	liquefied petroleum gas	28	3.45	4.17 ± 2.34	3.70	1.38-11.79	
	Xylene	Single-family house	41	petroleum	15	57.14	0.16 ± 0.08	0.14	0.02-0.33	.000**
		Apartment	32	liquefied petroleum gas	8	72.41	0.06 ± 0.02	0.05	0.03-0.08	

\*p<0.05, \*\*p<0.01.

<sup>a</sup>Percentage of samples in which compound was not detected.

<sup>b</sup>Arithmetic mean ± Arithmetic standard deviation.

<sup>c</sup>Geometric mean.

아파트에서 발견출 되었다(Table 8). 주택 유형 및 난방 연료에 따른 개인노출의 농도를 Table 8에 제시하였다. Benzene, Toluene, Xylene 모두 단독주택이 아파트에 비해 높은 농도 수준을 보이고 있었으며 통계적으로 유의한 상관관계를 보이고 있었다(p<0.05, p<0.01).

이는 Son 등(2003)의 연구결과에 의하면 아파트에 비해 다세대주택의 실내 및 개인노출 농도가 높다고 보고하고 있으며, 농도 평균의 차이 또한 통계적으로 유의한 상관관계를 보이고 있었다(p<0.05). 이러한 결과는 일반적으로 단독주택이 아파트에 비해 실내공기의 유입이 상대적으로 높으며, 사용연료의 연소에 의한 실외공기의 오염도 증가로 환기를 통한 실내 유입 결과 실내 오염물질의 농도를 높이는 원인이 될 수 있으며, 그로 인해 개인노출에 영향을 끼친 것으로 판단한다. 그러나 연료의 연소, 차량배기가스 그리고 기타 공장 등으로 부터의 오염물질 배출 가능성을 배제할 수 없다.

#### IV. 결 론

본 연구는 2007년 5월부터 10월까지 G, Y, H 공단 지역에서 발생원을 중심으로 5 km 이내의 노출지역과 10 km 이외의 지역을 대조지역으로 선정하여 총 110명(노출군: 82명, 대조군: 28명)에 대한 VOCs 농도를 측정·분석하였다. 주택실내, 실외, 개인노출 등의 VOCs (Benzene, Toluene, Xylene) 농도 차이와 상관성을 분석하였다.

1. 공기 중 benzene은 노출군의 주택실내, 실외, 개인노출의 기하평균 농도가 각각 1.31, 1.29, 1.32 ppb이었으며, 대조군은 0.99, 0.87, 0.57 ppb로 대조군에 비해

노출군의 농도가 높은 것으로 나타났고, 통계적으로도 유의하였다(p<0.01). 노출군과 대조군의 I/O 비는 각각 1.13, 1.36으로 실내 발생원에 의한 영향이 있을 것으로 생각된다.

2. 전체 노출군과 대조군에서 측정된 공기 중 toluene의 개인노출 기하평균 농도는 각각 5.70 ppb, 6.31 ppb, 실외 4.27 ppb, 5.06 ppb로 노출군에 비해 대조군이 높게 나타났으며, 실내 농도는 노출군 4.78 ppb, 대조군 4.69 ppb로 비슷한 농도로 조사되었다.

3. Xylene의 노출군의 기하평균 농도는 실외 0.16 ppb, 개인노출 0.12 ppb, 실내 0.10 ppb 순이었고, 대조군의 경우 개인노출 0.17 ppb, 실내와 실외 0.09 ppb 순이었다. I/O 비는 노출군 1.19, 대조군 1.15로 실외 농도에 비해 실내농도가 높았다.

4. 주택실내, 실외 및 개인노출 농도간의 상관관계는 xylene의 주택실내와 실외를 제외하고 주택실내·실외와 개인노출간 모두 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다(p<0.01).

5. 주택 유형 및 사용 연료에 따른 단독주택 실내의 농도 기하평균은 Benzene, Toluene, Xylene에서 각각 1.61, 5.39, 0.12 ppb이었으며, 아파트의 경우 0.67, 3.32, 0.05 ppb이었다. 이는 단독주택에서 석유를 난방 연료로 사용하는 가구가 아파트에서 가스를 난방연료로 사용하는 가구보다 농도가 높았으며, 통계적으로도 유의한 상관관계를 보였다(p<0.05, p<0.01). 실외의 경우, 실내와 마찬가지로 Benzene, Toluene의 농도는 아파트 0.71, 2.62 ppb에 비해 단독주택이 1.58, 5.35 ppb로 높았으며, 통계적으로도 유의한 상관관계를 보였다(p<0.01). 개인노출의 경우 Benzene, Toluene, Xylene 모두 단독주택이 아파트에 비해 높은 농도 수준을 보이고 있었다.

## 참고문헌

1. Jia, C., Batterman, S. and Godwin, C. : VOCs in industrial, urban and suburban neighborhoods, part 1 : indoor and outdoor concentrations, variation, and risk drivers. *Atmospheric Environment*, **42**, 2083-2100, 2008.
2. Adgate, J. L., Eberly, L. E., Stroebel, C., Pellizzari, E. D. and Sexton, K. : Personal, indoor, and outdoor VOC exposures in a probability sample of children. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, **14**(Suppl. 1), S4-S13, 2004.
3. Edwards, R.D., Schweizer, C., Llacqu, V., Lai, H. K., Jantunen, M., Bayer-Oglesby, L. and Kunzli, N. : Time-activity relationships to VOC personal exposure factors. *Atmospheric Environment*, **40**(29), 5685-5700, 2006.
4. Jurvelin, J., Edwards, R., Saarela, K., Laine-Ylijoki, J., De Bortoli, M., Oglesby, L., Schlapfer, K., Georgoulis, L., Tischerova, E., Hanninen, O. and Jantunen, M. : Evaluation of VOC measurements in the EXPOLIS study. *Journal of Environmental Monitoring*, **3**(1), 159-165, 2001.
5. Filella, I. and Penuelas, J. : Weekly and seasonal time courses of VOC concentrations in a semi-urban area near barcelona. *Atmospheric Environment*, **40**, 7752-7769, 2006.
6. Ministry of Environment : White Paper of Environment, 2006.
7. Ministry of Environment : Air Pollution Survey at 2005, Atmospheric Conservation Bureau, Atmospheric Policy Division.
8. Philip, F. and Rein, O. : Assessment of the influence of climatic factors on concentration levels of volatile organic compounds(VOCs) in canadian homes. *Atmospheric Environment*, **28**, 3581-3586, 1994.
9. National Institute of Environmental Research, A study on Personal Exposure assessment by using daily patterns of Time Consumption on Activities of the Public, 2009.
10. Karakitsios, S. P., Delis, V. K., Kassomenos, P. A. and Pilidis, G. A. : Contribution to ambient benzene concentrations in the vicinity of petrol stations. Estimation of the associated health risk. *Atmospheric Environment*, **41**(9), 1889-1902, 2007.
11. Fundelli, M. C., Bavazzano, P., Grechi, D., Gorini, G., Miligi, L., Marchese, G., Cenni, I., Scala, D. and Chellini, E. : Benzene exposure in a sample of population residing in a district of Florence. Italy, *Sci. Total Environ*, 2007.
12. Egeghy, P. P., Tomero-Velez, R. and Rappaport, S. M. : Environmental and biological monitoring of benzene during self-service automobile refueling. *Environmental Health Perspectives*, **108**(12), 1195-1202, 2000.
13. Schneider, P., Gebefugi, I., Richter, K., Wolke, G., Schnelle, J., Wichmann, H. E. and Heinrich, J. : Indoor and outdoor BTX levels in German cities. *Science of the Total Environment*, **267**, 41-45, 2001.
14. Chatzis, C., Alexopoulos, E. C. and Linos, A. : Indoor and outdoor personal exposure in Athens Greece. *Science of the Total Environment*, **349**, 72-80, 2005.
15. Yang, W. H., Son, B. S., Park, J. A., Jang, B. K., Pack, W. M., Kim, Y. S., Eo, S. M., Yun, J. S., Ryu, I. C. : Volatile organic compounds concentrations and its personal exposure in Indoor and outdoor environments in Summer. *The Korean Environmental Sciences Society*, **12**(9), 967-976, 2003.
16. Na, K. S. and Kim, Y. P. : Seasonal characteristics of ambient volatile organic compounds in Seoul, Korea. *Atmospheric Environment*, **35**, 2603-2614, 2001.
17. Derwent, R. G., Davies, T. J., Delaney, M., Dollard, G. J., Field, R. A., Dumitrean, P., Nason, P. D., Jones, B. M. R. and Pepler, S. A. : Analysis and interpretation of continuous hourly monitoring data for 26 C2-C8 Hydrocarbons at 12 United Kingdom Sites during 1996. *Atmospheric Environment*, **34**, 297-312, 2000.
18. Mohan Rao, A. M., Pandit, G. G., Sain, P., Sharma, S., Krishnamoorthy, T. M. and Nambi, K. S. V. : Non-methane hydrocarbons in industrial locations of Bombay. *Atmospheric Environment*, **31**(7), 1077-1085.
19. Son, B., Breyse, P. and Yang, W. : Volatile organic compounds concentrations in residential indoor and outdoor and its personal exposure in Korea. *Environmental International*, **29**, 79-85, 2003.
20. Health Effects Institute/National Urban Air Toxics Research Center : Boston, MA/Houston, TX. Available from: <http://pubs.healtheffects.org/view.php?id/431>, 2007.
21. Jutta Begerow, Erich Jermann, Türkan Keles and Lothar Dunemann : Performance of two different types of Passive sampler for GC/ECD\_FID determination of environmental VOC level in air. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, **363**(4), 399-403, 1999.
22. Kim, J. C. : Application of risk assessment for establishment of the standard of HAPs in new/old apartments. HanYang University Graduate School, 2005.
23. Kim, Y. H. : Contribution of Job Exposure to Volatile Organic Compounds and Nitrogen Dioxide for Iron Mill Workers in Total Exposure Assessment. Catholic University of Daegu Graduate School, 2007.
24. Edwards, R. D. : VOCs concentrations measured in personal samples and residential indoor, outdoor and workplace microenvironments in EXPOLIS-Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment*, **35**, 4531-4543, 2001.
25. Jeon, J. M., Hur, D., Ko, O. S. and Kim, D. S. : Measurement and concentration trend of VOCs in the ambient Yeosu industrial area. *Journal of Korean for Society for Atmospheric Environment*, **19**(6), 663-677, 2003.
26. WHO : Guidelines for Air Quality, Geneva, 190, 2000.



27. ATSDR : Toxicological profile information sheet. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Department of Health and Human Services, Public Health Service, USA, 2003.
28. US EPA : Integrated Risk Information System(IRIS) Substance List Website. United States Environmental Protection Agency, Office of research and development, National Cancer for Environmental Assessment, USA, 2004.
29. Jou, H. M., Cho, T. J., Yang, W. H., Lee, J. H. and Son, B. S. : Lead levels in blood of residents in industrial area. *Journal of Environmental Health Sciences*, **35**(2), 86-94, 2009.