

## 광양만권 공단지역 일부 지역 주민들의 VOCs 노출농도 및 건강위해성 평가

이치원 · 최수현 · 홍성철 · 정은경<sup>1)</sup> · 정용택 · 양원호<sup>2)</sup> · 이종대 · 손부순\*

순천향대학교 환경보건학과, <sup>1)</sup>숙명여자대학교 생명과학과

<sup>2)</sup>대구가톨릭대학교 산업보건학과

(2010년 7월 26일 접수; 2011년 10월 5일 수정; 2011년 10월 20일 채택)

## Health Risk Assessment and VOCs Levels of Residents in Industrial Area

Che-Won Lee, Su-Hyeon Choi, Sung-Chul Hong, Eun-Kyung Chung<sup>1)</sup>,  
Yong-Taik Chung, Won-Ho Yang<sup>2)</sup>, Jong-Dae Lee, Bu-Soon Son\*

Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea

<sup>1)</sup>Division of Biological Science, Sookmyung Women's University, Seoul 140-742, Korea

<sup>2)</sup>Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu, Daegu 712-702, Korea

(Manuscript received 26 July, 2010; revised 5 October, 2011; accepted 20 October, 2011)

### Abstract

This research had been conducted from May to October 2007, studying 110 residents of G, Y, H industrial area in Jun-nam province. It is designed to understand the difference in levels of indoor, outdoor and personal exposure to VOCs(benzene, toluene, Ethylbenzene) and a health risk assessment was conducted to see if there was any fatal cause from carcinogenic or non - carcinogenic elements from a case group and a control group in all areas as well as each different area. In the case of benzene in the air, the geometric levels for the case group are indoor, outdoor and personal exposure; a higher than for the control group. As a results of the Monte - Carlo study about benzene, it shows that the case group's carcinogenicity is higher than that of the control group and it also shows that, on the CTE, RME condition and Monte - Carlo analysis, all subjects are seen to exceed the carcinogenicity tolerance  $10^{-6}$  of US EPA. In the case of toluene, ethylbenzene on the CTE, RME condition and Monte - Carlo analysis, these do not exceed the non - carcinogenic standard of 1, but toluene in RME condition for both groups' personal exposure and the indoor and personal exposure of ethylbenzene in Monte - Carlo show that these seem to exceed the standard.

**Key Words** : VOCs, Risk assessment, Geometric levels, Personal exposure

### 1. 서론

휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds; 이하 VOCs)은 일반적인 대기오염물질로서 실내·외에서 자연적·인위적으로 발생하며, 노출되었을 경우 감각기관의 자극, 신경계 장애, 천식, 암과 같이 광범

\*Corresponding author : Bu-Soon Son, Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea  
Phone: +82-41-530-1270  
E-mail: sonbss@sch.ac.kr

위한 급성 및 만성 건강 영향을 야기할 수 있다 (Molhave, 1991; USEPA, 1990; WHO, 2004; Brown, 2002). 실제로 대기 중 VOCs에 의한 호흡기와 자극성 건강영향을 파악하기 위한 연구에 의하면 화학단지에서 배출되는 VOCs에 대한 노출은 만성하기도 호흡기계 증상을 증가시키는 것으로 보고하였다(Filella과 Penuelas, 2006).

실외 VOCs은 주로 자동차나 공장에서 배출되는데, 전체 VOCs 배출의 35%는 자동차에서 배출되거나 증발로 인한 손실일 것으로 추정하였다(Chan 등, 2002; Khoder, 2007). 또한 석유 정제소와 석유 화학 공장은 VOCs 배출의 또 다른 발생원이며 주로 생산과정이나 저장탱크, 폐기장에서 배출된다.

일반적으로 오염물질의 실내 농도는 실외 농도보다 높기 때문에 실내 VOCs의 노출이 더 크게 영향을 미친다. 또한, 대부분의 사람들이 집이나 직장의 실내에서 80% 이상의 시간을 보내며, 특히 우리나라의 경우 여름 85%, 겨울 88% 이상을 실내에서 시간을 보내기 때문에 개인 노출에 가장 크게 기여할 것으로 보고 있다(Guo 등, 2004; Wang 등, 2007; 우 등, 2011). 실내 VOCs은 저농도로 장기간에 걸쳐 노출될 경우 잠재적인 건강 영향을 일으킬 수 있는 수준이기 때문에 실내 환경에서 VOCs에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 일부 VOCs은 단기 노출로 인한 급성 건강 영향을 고려하지 않았을 경우 장기 노출로 인한 돌연변이와 발암의 영향을 보고하였다(Son 등, 2003).

주택에서 VOCs의 발생과 농도가 실외 대기의 조건, 실내 발생원, 실내 공간, 인간 활동, 화학 반응, 환기 속도 및 계절적인 요인에 의해 영향을 받을 수 있다 (Son 등, 2003; Schlink 등, 2004). 실내 발생원은 연소 산물, 요리, 건축 재료, 가구, 페인트, 니스, 솔벤트, 접착제, 사무실 장비 및 소비자 제품을 포함하여 매우 다양하다(Jones, 1999; Watson 등, 2001; Guo 등, 2003). La Plata와 주변 지역에서 수행된 연구에서 산업단지와 인접 할수록 알켄과 방향족 화합물의 농도가 높아 VOCs 농도가 더 높은 것으로 나타났다(Herbarth 등, 1997; Ronco 등, 1998). 또한, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠 그리고 자일렌은 발생원인 자동차의 영향으로 인해 도시지역에서 높은 농도로 나타났다.

우리나라에서는 아직 VOCs의 인체 노출량에 대한

연구가 활발하지 못한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 광양만권에 위치한 우리나라의 대표적인 산업단지인 여수 국가 산업단지, 울촌 지방 산업단지, 광양제철, 하동화력발전소 등 석유화학 및 제철관련 시설이 밀집되어있어 있는 이들 지역 주민을 대상으로 대기 오염에 의한 개인노출 농도 차이를 파악함과 동시에 노출지표인 주택 실내, 실외 공기와 개인노출을 평가하여 그에 따른 위해성을 평가하는데 그 목적이 있다.

본 연구에서 얻어지는 결과는 VOCs 노출에 따른 건강영향을 예방할 수 있는 관리와 대책을 세우는데 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1. 연구대상

본 연구는 전남에 위치한 광양, 여수, 하동 공단지역 주민을 대상으로 2007년 5월부터 2007년 10월까지 공단 반경 5 Km 이내에 거주하는 노출그룹 주민(82명)과 공단 반경 10 Km 이외에 거주하는 대조그룹 주민(28명)을 대상으로 하였다.

### 2.2. 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 또는 문밖)에서 연속 3일 이상 공기를 포집하였다. 개인노출의 경우는 참여자들의 옷깃이나 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.

VOCs의 농도 산출은 다음 식과 같다(3M Organic vapor monitor sampling and analysis guide).

$$C = \frac{W \times B}{r \times T}$$

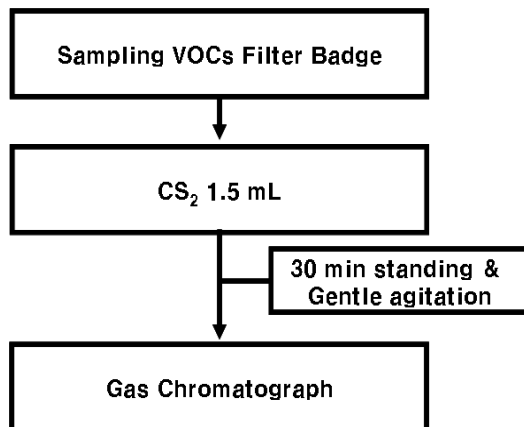
여기서, C : 농도(ppm)  
 W : 회귀방정식을 이용해서 얻어진 농도( $\mu\text{g}$ )  
 B : 계산상수(Table 2)  
 r : 회수율  
 T : 포집시간 (min)

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

Condition	
Column	Shimadzu-CBP1 25 m(length) $\times$ 0.22 mm (Column ID) $\times$ 0.25 $\mu\text{m}$ (film thickness)
Oven	60 $^{\circ}\text{C}$ (2.5 min) to 100 $^{\circ}\text{C}$ (1 min) at 30 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$
Carrier	Nitrogen(5 mL/min)
Detector	FID, 250 $^{\circ}\text{C}$
Injector	1 $\mu\text{L}$ , 250 $^{\circ}\text{C}$

**Table 2.** Target material's desorption efficiency and calculation constant

Material	Desorption efficiency	Calculation constant B
Benzene	0.97	8.82
Toluene	1.00	8.45
Ethylbenzene	0.96	8.44



**Fig. 1.** VOCs analysis procedure(in Air).

2.3. 건강위해성평가

본 연구에서는 VOCs가 발생원으로부터 배출되는 환경 중 오염물질 농도 및 개인노출 농도를 파악한 후 노출평가 자료를 토대로 하여 건강위해성평가를 수행

하였다.

비발암물질의 경우 일일평균용량을 이용하여 위해도를 산출할 수 있으며 다음의 식을 이용하였다.

$$ADDs = \frac{C \times IR \times ED}{BW \times AT}$$

where :

- ADDs : average daily doses(mg/kg-day)
- C : contaminant concentration in inhaled air( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- IR : inhalation rate( $\text{m}^3/\text{day}$ )
- ED : exposure duration(days)
- BW : body weight(kg)
- AT : averageing time(days)

발암성물질의 경우 발암이나 만성영향으로 인한 평생노출로 가정하였으며, 수명(lifetime)을 사용하여 다음의 식으로 계산하였다.

$$LADDs = \frac{C \times IR \times ED}{BW \times LT}$$

where :

- LADDs : lifetimes average doses(mg/kg-day)
- C : contaminant concentration in inhaled air( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- IR : inhalation rate( $\text{m}^3/\text{day}$ )
- ED : exposure duration(days)
- BW : body weight(kg)
- LT : lifetime(days)

발암 및 비발암 물질의 노출평가를 위해 사용된 체중은 실측값으로서 56.3kg을 사용하였으며, 평균수명은 81.89년, 호흡률은 20  $\text{m}^3/\text{day}$ (최대노출농도의 단일 평가 결과는 30  $\text{m}^3/\text{day}$ 를 이용), 노출기간 및 노출빈도는 설문을 통하여 얻어진 주말 및 평일 하루 평균 집 실내 및 실외에 거주하는 시간을 조사하여 실내 및 실외에 거주하는 총 노출시간의 평균을 이용하였다.

일반적으로 위해도평가시 노출 경로는 복수 노출 경로로 가정되는데(Lee, 1992; 이 등, 1996), VOCs의 환경 매체 내 잔류시간은 짧기 때문에 2차 오염 후 간접 노출 경로를 통한 위해도는 미미한 수준일 것이다. 따라서 직접 노출 경로인 호흡 경로만을 고려하여

benzene을 비롯하여 toluene, ethylbenzene을 대상으로 하여 몬테카를로 시뮬레이션 모의실험(Monte-Carlo simulation)을 이용하여 위해성평가를 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 공기 중 VOCs 농도

참여자 중 화학물질 취급자 및 세탁소 근무자의 개인노출 농도는 26.4 ppb 및 27.5 ppb를 나타내었고, 전체적 평균 농도에 영향을 고려하여 Table에서 제외하였다.

Benzene의 경우 실내, 실외 및 개인노출 농도는 노출군에 비해 대조군이 낮은 농도분포를 보였다. 이는 실외 교통량, 주변에 석유정제시설 등과 같은 산업시설, 자동차 수리소, 주유소와 같은 시설이 있을 경우 공기 중 오염물질의 흡입에 의해 높은 농도의 benzene에 노출된다고 보고하고 있어(Harrison 등, 1999; Steffen 등, 2004; Karakitsios 등, 2007) 이로 인해 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

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.

Ethylbenzene의 노출군과 대조군의 기하평균 농도는 실내, 실외, 개인 모두 유사한 수준을 보이고 있었다. 개인노출 농도의 경우는 미국의 텍사스 공단지역

의 평균농도인 0.66 ppb에 비해 높은 수준이나(TNRCC, 1994) 멕시코 시티의 개인노출 농도인 8.56 ppb보다 낮은 수준이며(Horacio 등, 2007), 김(2007)의 개인노출 기하평균 농도인 5.48 ppb과 비슷한 수준을 보이고 있었다.

#### 3.2. 건강위해성평가

공단지역 주민의 주택실내, 실외와 개인에게 노출되는 VOCs 중 benzene, toluene, ethylbenzene에 대한 발암 및 비발암위해도의 위해성평가를 수행하였는데, 대상지역 주민 중 대부분의 남성의 경우 집에 머무르는 경우가 드물었으며, 또한 비흡연자를 대상으로 개인노출 대상자를 선정한 배경에 의해 여성만을 대상으로 위해성평가를 수행하였다.

위해도는 단일평가치인 CTE(central tendency exposure), RME(resonable maximum exposure) 결과와 변수들의 불확실성을 줄이기 위해 몬테카를로 분석 결과의 평균, 범위, percentile값을 각각 제시하였다.

##### 3.2.1. Benzene

Benzene에 대한 연구 대상지역의 노출군과 대조군의 단일평가치인 CTE, RME, 몬테카를로 분석을 통한 위해성평가 결과를 Table 4에 제시하였다.

CTE, RME 상태 및 몬테카를로 분석결과 개인노출의 발암위해도가 높게 산출되었으며, 본 연구대상 모두 US EPA의 발암위해도 허용기준치인  $10^{-6}$ 을 모두 초과하고 있는 것으로 조사되었다. 김(2005)의 CTE, RME 및 몬테카를로 분석결과 기준(완공 4년 초과)

Table 3. Residential indoor, outdoor and personal exposure levels of VOCs

(unit : ppb)

		Case Area (n=82)				Control Area (n=28)			
		ND% <sup>a</sup>	M ± SD <sup>b</sup>	GM <sup>c</sup>	Range	ND% <sup>a</sup>	M ± SD <sup>b</sup>	GM <sup>c</sup>	Range
Benzene	Indoor	13.4	1.95 ± 1.62	1.31	0.10 - 6.20	10.7	1.23 ± 0.79	0.99	0.20 - 3.50
	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
	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
Toluene	Indoor	23.2	6.82 ± 6.56	4.78	0.76 - 38.76	21.4	5.75 ± 3.89	4.69	0.92 - 18.28
	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
	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
Ethylbenzene	Indoor	34.1	4.70 ± 2.26	4.10	1.05 - 10.53	35.7	5.26 ± 2.12	4.79	1.09 - 9.22
	Outdoor	40.2	5.87 ± 9.76	4.50	1.48 - 72.01	39.3	4.97 ± 1.51	4.77	3.17 - 7.90
	Personal	28.0	5.38 ± 3.65	4.67	0.84 - 26.37	46.4	5.32 ± 2.16	4.75	0.92 - 9.24

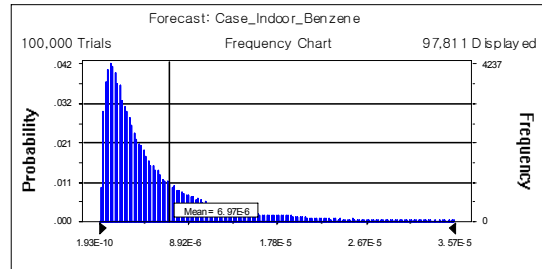
<sup>a</sup>Percentage of samples in which compound was not detected

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

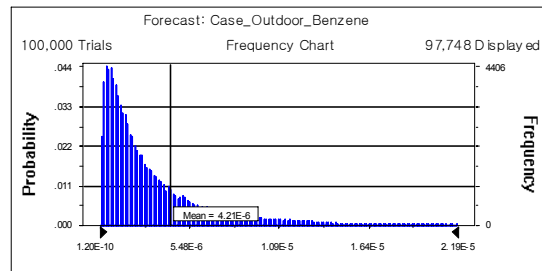
<sup>c</sup>Geometric mean

주택에서 각각  $2.33 \times 10^{-6}$ ,  $1.67 \times 10^{-5}$ ,  $5.53 \times 10^{-6}$ 이었으며, 신축(완공 4년 이하) 주택의 경우  $1.83 \times 10^{-6}$ ,  $1.39 \times 10^{-5}$ ,  $5.52 \times 10^{-6}$ 으로 US EPA의 발암위해도 허용기준치인  $10^{-6}$ 을 초과하고 있어 본 연구결과와 같았다. 또한 본 연구결과, 공동주택을 대상으로 한 정(2005)의 연구결과 보다 낮은 발암위해도를 보이고 있었다. 이와 같이 위해성평가 결과의 차이는 노출기간, 노출빈도, 체중, 평균수명 등의 불확실성이 큰 변수에 대한 가정이 연구별로 차이가 있으며, 측정 및 분석 방법의 차이 또한 위해성평가 결과에 영향을 미치는 것으로 판단한다.

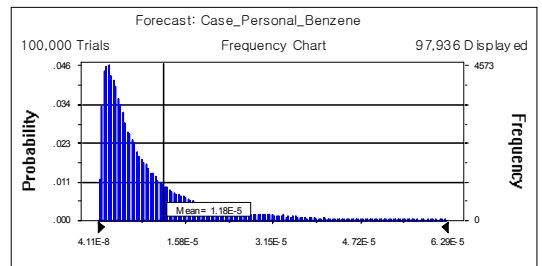
개인노출의 발암위해도가 실내 및 실외의 발암위해도보다 높은 값을 나타낸 것은 개인노출 발암위해도의 경우 실내 및 실외 거주시간의 노출빈도를 고려하여 나타낸 값으로, 주택실내 및 실외 등의 국소환경의 발암위해도 평가 결과보다 직접적으로 개인에게 노출될 수 있는 오염물질의 농도를 측정하여 평가함으로써 국소환경의 인체위해성 평가결과 보다 개인의 인체위해성에 대한 위해도가 더 잘 반영됐을 것으로 생각한다. 그러나 본 연구의 경우 측정된 국소환경이 주택의 실내와 실외로 기타 국소환경의 노출평가에 제한이 있으나, 대부분이 직장을 가지고 있지 않은 전업주부로서 하루의 대부분을 주택 실내에서 생활하고 있어 이러한 불확실성이 활동 및 생활환경이 다양한 남성 및 직장인에 비해 상대적으로 감소되었을 것으로 판단한다.



a. Cancer risk of benzene for indoor in case group.



b. Cancer risk of benzene for outdoor in case group.



c. Cancer risk of benzene for personal in case group.

Fig. 2. Frequency charts of cancer risk for benzene in case group.

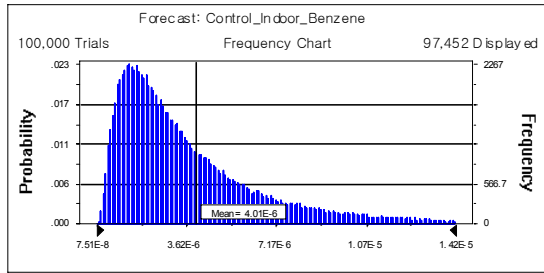
Table 4. Cancer risk for carcinogenic benzene in case and control group

Site	Fixed point			Cancer risk(Monte-Carlo)							
	CTE <sup>a</sup>	RME <sup>b</sup>	M <sup>c</sup>	Range	25th	50th	75th	90th	95th	100th	
Case	Indoor	3.99E-06	2.03E-05	6.97E-06	1.93E-10 - 6.74E-04	1.72E-06	3.72E-06	8.02E-06	1.57E-05	2.35E-05	6.74E-04
	Outdoor	2.20E-06	9.42E-06	4.21E-06	1.20E-10 - 2.70E-04	9.27E-07	2.14E-06	4.80E-06	9.70E-06	1.47E-05	2.70E-04
	Personal	6.47E-06	3.08E-05	1.18E-05	4.11E-08 - 7.63E-04	2.82E-06	6.12E-06	1.33E-05	2.66E-05	4.03E-05	7.63E-04
Control	Indoor	2.45E-06	8.65E-06	4.01E-06	7.51E-08 - 9.67E-05	1.62E-06	2.86E-06	5.01E-06	8.27E-06	1.11E-05	9.67E-05
	Outdoor	1.41E-06	7.87E-06	2.40E-06	1.23E-10 - 7.40E-05	7.69E-07	1.54E-06	2.98E-06	5.25E-06	7.36E-06	7.40E-05
	Personal	3.10E-06	2.12E-05	5.31E-06	2.67E-08 - 2.28E-04	1.36E-06	2.88E-06	6.10E-06	1.19E-05	1.77E-05	2.28E-04

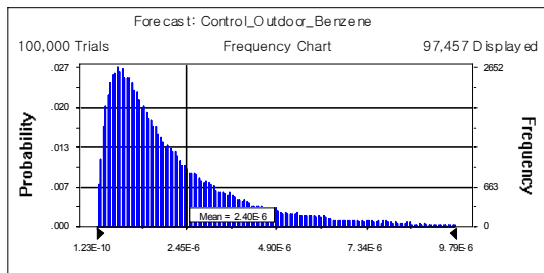
<sup>a</sup> CTE: central tendency exposure

<sup>b</sup> RME: resonable maximum exposure

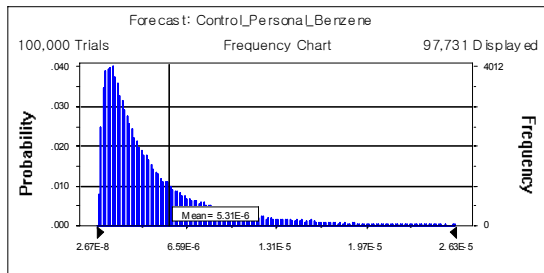
<sup>c</sup> Arithmetic mean



a. Cancer risk of benzene for indoor in control group.



b. Cancer risk of benzene for outdoor in control group.



c. Cancer risk of benzene for personal in control group.

Fig. 3. Frequency charts of cancer risk for benzene in control group.

3.2.2. Toluene

Table 5는 toluene에 대한 노출군과 대조군의 비발암위해도 지수를 제시하고 있다. 실내 노출에 대한 몬테카를로 분석결과 노출군 1.55 × 10<sup>-1</sup>, 대조군 1.27 × 10<sup>-1</sup>로 노출군에서 다소 높은 값을 보이고 있었으며, 실외는 노출군과 대조군에서 각각 8.97 × 10<sup>-2</sup>, 9.01 × 10<sup>-2</sup>, 개인노출 2.82 × 10<sup>-1</sup>, 3.49 × 10<sup>-1</sup>로 노출군에 비해 대조군의 비발암위해도 지수가 높았다.

CTE와 RME 상태 및 몬테카를로 분석결과 toluene에 의한 인체유해영향을 판단하는 기준인 1을 초과하지 않았으며, 다만 RME 상태에서 개인노출의 경우 노출군 1.00에 비해 대조군이 1.58로 높은 결과를 보였고 기준을 초과하고 있었다. 이는 이(2004), 김(2005), 류(2005), 정(2005) 결과의 CTE 및 몬테카를로 분석결과 모두 인체유해영향을 끼치지 않는 것으로 보고하고 있었으며, 일부 RME 상태에서는 기준을 초과하고 있어 본 연구결과와 같았다.

3.2.3. Ethylbenzene

Ethylbenzene에 대한 위해성평가 결과를 노출군과 대조군으로 나누어 Table 6에 제시하였다. 노출군과 대조군 개인노출의 몬테카를로 결과가 각각 1.09, 1.11로 가장 높았으며, 주택실내, 실외의 순이었다. 노출군과 대조군의 실외에서는 단일평가치 및 몬테카를로 분석결과 모두 인체에 유해한 영향을 줄 수 있는 US EPA에서 권장하는 기준치인 1 미만이었으며, 노출군과 대조군의 실내 및 개인노출의 RME의 조건과 몬테카를로 결과에서 기준치 1을 초과하고 있었다. 이와 같은 결과는 주택실내(김, 2005; 류, 2005; 정, 2005),

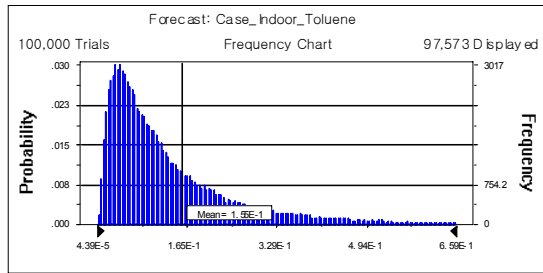
Table 5. Hazard index for non-carcinogenic toluene in case and control group

Site	Fixed point			Hazard index(Monte-Carlo)								
	CTE <sup>a</sup>	RME <sup>b</sup>	M <sup>c</sup>	Range	25th	50th	75th	90th	95th	100th		
Case	Indoor	9.60E-02	4.17E-01	1.55E-01	4.39E-05	- 4.35E+00	4.86E-02	9.60E-02	1.87E-01	3.41E-01	4.81E-01	4.35E+00
	Outdoor	5.22E-02	2.12E-01	8.97E-02	4.54E-06	- 5.32E+00	2.28E-02	4.99E-02	1.06E-01	2.04E-01	2.98E-01	5.32E+00
	Personal	1.78E-01	1.00E+00	2.82E-01	3.18E-03	- 8.48E+00	1.01E-01	1.88E-01	3.45E-01	5.98E-01	8.29E-01	8.48E+00
Control	Indoor	7.59E-02	2.88E-01	1.27E-01	2.46E-03	- 3.09E+00	5.08E-02	8.98E-02	1.58E-01	2.60E-01	3.52E-01	3.09E+00
	Outdoor	5.26E-02	1.86E-01	9.01E-02	1.66E-07	- 2.32E+00	3.12E-02	6.05E-02	1.13E-01	1.94E-01	2.66E-01	2.32E+00
	Personal	2.54E-01	1.58E+00	3.94E-01	1.66E-03	- 2.59E+01	9.82E-02	2.09E-01	4.47E-01	8.87E-01	1.34E+00	2.59E+01

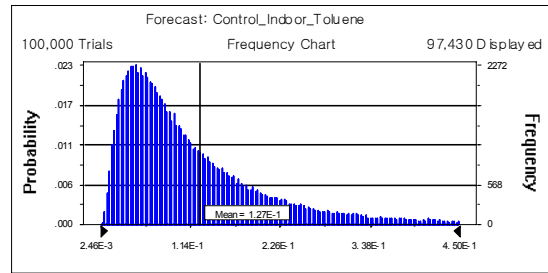
<sup>a</sup> CTE: central tendency exposure

<sup>b</sup> RME: resonable maximum exposure

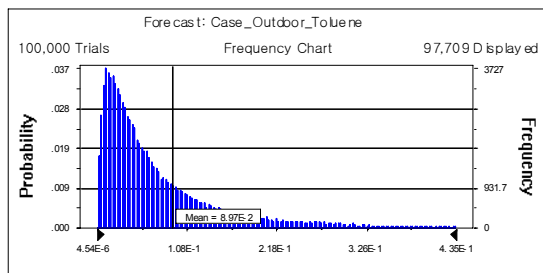
<sup>c</sup> Arithmetic mean



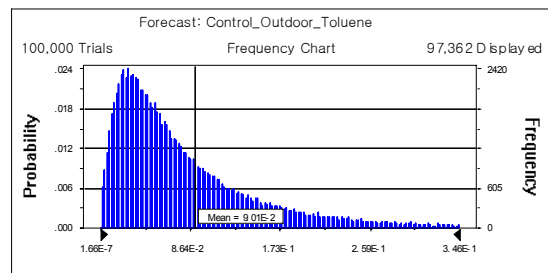
a. Hazard index of toluene for indoor in case group.



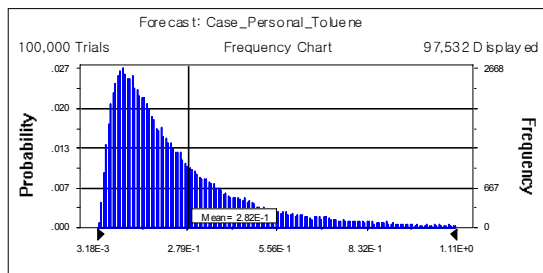
a. Hazard index of toluene for indoor in control group.



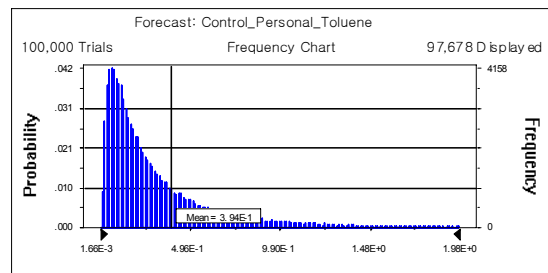
b. Hazard index of toluene for outdoor in case group.



b. Hazard index of toluene for outdoor in control group.



c. Hazard index of toluene for personal in case group.



c. Hazard index of toluene for personal in control group.

Fig. 4. Frequency charts of hazard index for toluene in case group.

Fig. 5. Frequency charts of hazard index for toluene in control group.

다중 실내환경(이, 2004)을 대상으로 하여 위해성평가를 수행한 결과 CTE 상태 및 몬테카를로 결과 기준치 1 미만으로, 본 연구결과와 같았다.

본 연구에서 개인노출에 대한 위해성평가 결과가 높게 조사된 것은 각 국소환경 보다 개인이 노출되는

오염물질의 농도가 높고, 노출빈도 또한 실내 및 실외 노출빈도를 반영하고 있어 각 환경에서 개인에게 노출될 수 있는 물질별 총 위해성의 개념으로 위해성평가를 수행하였기 때문으로 판단한다.

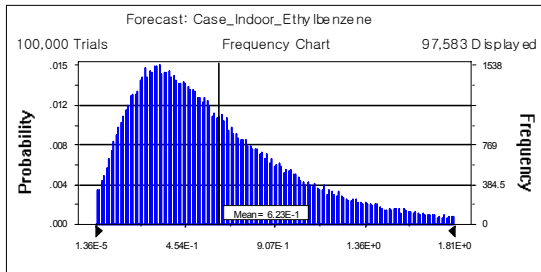
**Table 7.** Hazard index for non-carcinogenic ethylbenzene in case and control group

Site	Fixed point			Hazard index(Monte-Carlo)								
	CTE <sup>a</sup>	RME <sup>b</sup>	M <sup>c</sup>	Range	25th	50th	75th	90th	95th	100th		
Case	Indoor	3.76E-01	1.36E+00	6.23E-01	1.37E-05	- 6.52E+00	2.97E-01	5.13E-01	8.29E-01	1.22E+00	1.52E+00	6.52E+00
	Outdoor	2.83E-01	7.27E-01	4.24E-01	1.40E-05	- 9.62E+00	1.63E-01	3.05E-01	5.46E-01	8.94E-01	1.19E+00	9.62E+00
	Personal	6.46E-01	2.28E+00	1.09E+00	3.79E-02	- 1.60E+01	5.72E-01	8.89E-01	1.37E+00	2.03E+00	2.55E+00	1.60E+01
Control	Indoor	4.09E-01	1.34E+00	6.56E-01	1.61E-04	- 4.79E+00	3.44E-01	5.53E-01	8.57E-01	1.23E+00	1.50E+00	4.79E+00
	Outdoor	2.41E-01	7.14E-01	4.05E-01	6.71E-05	- 3.69E+00	2.00E-01	3.33E-01	5.33E-01	7.85E-01	9.76E-01	3.69E+00
	Personal	6.72E-01	2.01E+00	1.11E+00	1.45E-04	- 7.40E+00	6.33E-01	9.76E-01	1.45E+00	2.00E+00	2.38E+00	7.40E+00

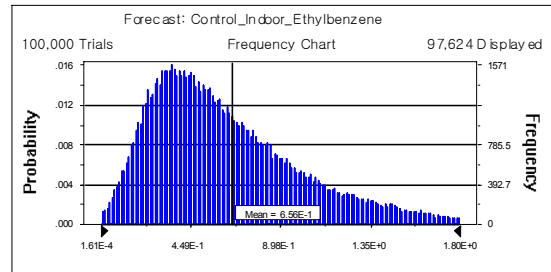
<sup>a</sup> CTE: central tendency exposure

<sup>b</sup> RME: resonable maximum exposure

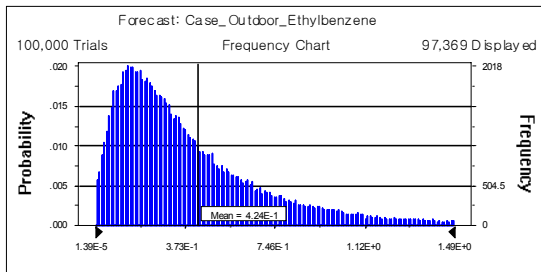
<sup>c</sup> Arithmetic mean



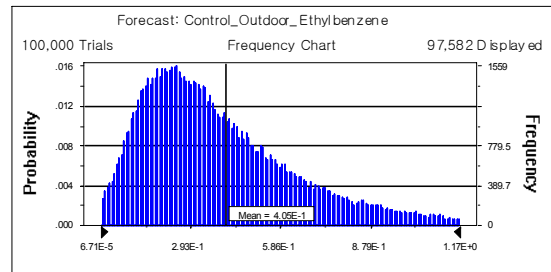
a. Hazard index of ethylbenzene for indoor in case group.



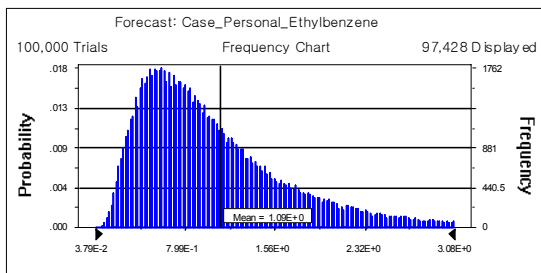
a. Hazard index of ethylbenzene for indoor in control group.



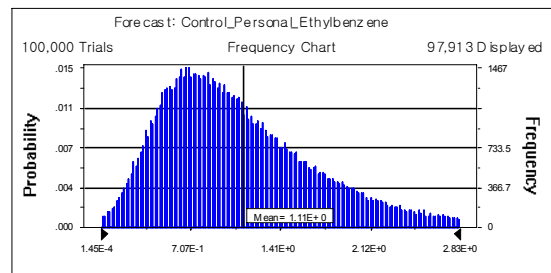
b. Hazard index of ethylbenzene for outdoor in case group.



b. Hazard index of ethylbenzene for outdoor in control group.



c. Hazard index of ethylbenzene for personal in case group.



c. Hazard index of ethylbenzene for personal in control group.

**Fig. 6.** Frequency charts of hazard index for ethylbenzene in case group.

**Fig. 7.** Frequency charts of hazard index for ethylbenzene in control group.



4. 결론

본 연구는 2007년 5월부터 10월까지 공단지역에서 발생원을 중심으로 5 km 이내의 노출지역과 10 km 이외의 지역을 대조지역으로 선정하여 총 110명(노출군: 82명, 대조군: 28명)에 대한 실내, 실외, 개인노출에 대한 VOCs 농도를 측정·분석 하였다.

개인노출에 대한 VOCs를 분석한 결과 Benzene은 노출군이 Toluene은 대조군이 높은 농도 경향을 보였고 Ethylbenzene은 유사한 수준을 보였다. 분석 결과를 토대로 건강위해성평가를 실시한 결과 benzene의 몬테카를로 시뮬레이션에서 실내, 실외, 개인노출 모두 대조군에 비해 노출군의 발암위해도가 높게 조사되었으며, 단일평가치인 CTE, RME 상태 및 몬테카를로 분석결과 모두 US EPA의 발암위해도 허용기준치인 10<sup>-6</sup>을 모두 초과하고 있는 것으로 조사되었다. Toluene, Ethylbenzene의 경우 CTE, RME 상태 및 몬테카를로 분석결과 비발암물질의 인체유해 영향 기준인 1을 초과하지 않았으나, Toluene RME 상태의 노출군과 대조군의 개인노출 및 Ethylbenzene 개인노출의 몬테카를로 결과와 실내와 개인노출의 RME 값이 기준을 초과하고 있는 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 공단지역을 대상으로 공기 실내·실외, 개인노출 VOCs 농도 조사하여 건강위해성 평가를 실시하였다. 본 연구는 일부 소수 주민을 대상으로 시행되었기 때문에 지역주민 전체 및 지역의 대표성을 띠는다고는 판단 할 수 없으나, 유해오염물질의 노출에 대한 중요한 데이터로 활용될 것으로 생각되며, 지방 자치단체의 지역주민을 대상으로 한 환경관리 대책을 수립하는데도 도움이 될 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

김영희, 2007, 제철소 근로자의 VOCs 및 NO<sub>2</sub> 직장노출 기여도 추정에 관한 연구, 석사학위논문, 대구가톨릭대학교.  
 김종철, 2005, 신·구 공동주택내 실내유해공기오염물질(HAPs)의 기준설정을 위한 위해성평가 적용에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교.  
 류정민, 2005, 신축공동주택 내 Aldehyde와 VOCs에 의한 실내공기질 및 건강영향평가에 관한 연구, 석사

학위논문, 순천향대학교.  
 우병렬, 김동건, 이현수, 손부순, 황문영, 박충희, 유승도, 양원호, 2011, 시간활동 및 개인노출 양상을 이용한 국소환경의 이산화질소 농도 예측, 한국실내환경학회지, 8(1), 53-61.  
 이진홍, 류영태, 유인석, 서용철, 조승호, 1996, 방사성 폐기물의 소각으로 인한 주변 주민의 방사선 피폭 평가, 춘계학술연구발표회 논문집, 대한환경공학회, 59-62.  
 이철민, 2004, 다중 실내환경에서의 주요 오염물질의 위해성평가 방법의 적용에 관한 연구, 박사학위논문, 한양대학교.  
 정순원, 2005, 공동주택내 NO<sub>2</sub>와 VOCs에 의한 실내공기질 및 위해성 평가에 관한 연구, 석사학위논문, 순천향대학교.  
 Brown, S. K., 2002, Volatile organic compounds in new and established buildings in Melbourne, Australia, Indoor Air, 12(1), 55-63.  
 Chan, C., Chan, L., Wang, X., Liu, Y., Lee, Y., Zou, S., Sheng, G., Fu, J., 2002, Volatile organic compounds in roadside microenvironments of metropolitan Hong Kong, Atmos. Env., 36(12), 2039-2047.  
 Filella, I., Penuelas, J., 2006, Daily, Weekly and seasonal time courses of VOC concentrations in a semi-urban area near barcelona, Atmos. Env., 40(40), 7752-7769.  
 Guo, H., Lee, S. C., Chan, L. Y., Li, W. M., 2004, Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments, Environ. Res., 94(1), 57-66.  
 Guo, H., Lee, S., Li, W., Cao, J., 2003, Source characterization of BTEX in indoor microenvironments in Hong Kong. Atmos. Env., 37(1), 73-82.  
 Harrison, R. M., Leung, P. L., Somerville, L., Smith, R., Gilman, E., 1999, Analysis of incidence of childhood cancer in the West Midlands of United Kingdom in relation to proximity to main roads and petrol stations, Occup. Environ. Med., 56(11), 774-780.  
 Herbarth, O., Rehwagen, M., Ronco, A., 1997, The influence of localized emittants on the concentration of volatile organic compounds in the ambient air measured close to ground level, Environ. Toxicol. Water Qual., 12(1), 31-37.  
 Horacio, T. A., Lawrence, W., 2007, Personal exposures

- to volatile organic compounds among outdoor and indoor workers in two Mexican cities, *Sci Total Environ.*, 376(1-3), 60-71.
- Jones, A., 1999, Indoor air quality and health, *Atmos. Env.*, 33(28), 4535-4564.
- Karakitsios, S. P., Delis, V. K., Kassomenos, P. A., Pilidis, G. A., 2007, Contribution to ambient benzene concentrations in the vicinity of petrol stations. Estimation of the associated health risk, *Atmos. Env.*, 41(9), 1889-1902.
- Khoder, M. I., 2007, Ambient levels of volatile organic compounds in the atmosphere of Greater Cairo, *Atmos. Env.*, 41(3), 554-566.
- Lee, J. H., 1992, Risk assessment of indirect exposure from municipal solid waste incinerators., *J Kor. Pub. Health Asso.*, 18(2), 65-74.
- Molhave, L., 1991, Volatile organic compounds, indoor air quality and health, *Indoor Air*, 4(1), 357-376.
- Ronco, A., Rehwagen, M., Herbarth, O., 1998, Compuestos orgánicos volátiles en el aire del Gran La Plata, *Gerencia Ambiental.*, 5(42), 106-111.
- Schlink, U., Rehwagen, M., Damm, M., Richter, M., Borte, M., Herbarth, O., 2004, Seasonal cycle of indoor-VOCs: comparison of apartments and cities, *Atmos. Env.*, 38(8), 1181-1190.
- Son, B., Breyse, P., Yang, W., 2003, Volatile organic compounds concentration in residential indoor and outdoor and its personal exposure in Korea, *Environ. Int.*, 29(1), 79-85.
- Steffen, C., Auclerc, M. F., Auvrignon, A., Baruchel, A., Kebaili, K., Lambilliotte, A., Leverger, G., Sommelet, D., Vilmer, E., Hemon, D., Clavel, J., 2004, Acute Childhood leukaemia and environmental exposure to potential sources of benzene and other hydrocarbons: a case-control study, *Occup. Environ. Med.*, 61(9), 773-778.
- TNRCC, 1994, Community air toxics monitoring program report, US Texas Natural Resource Conservation Commission, USA.
- Wang, S., Ang, H. M., Tade, M. O., 2007, Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation: State of the art, *Environ. Int.*, 33(5), 694-705.
- Watson, J., Chow, J., Fujita, E., 2001, Review of volatile organic compound source apportionment by chemical mass balance, *Atmos. Env.*, 35(9), 1567-1584.
- WHO, 2004, Protection of the Human Environment. The health effects of indoor air pollution exposure in developing countries. Geneva: World Health Organization.