

## 실내사무환경에서의 환경성담배연기(ETS) 중 일부 휘발성유기화합물(VOC)에 관한 연구

하권철

\* 서울대학교 보건대학원

### A Study on Volatile Organic Compounds(VOC) in Environmental Tobacco Smoke(ETS) at Indoor Office Environments

Kwon Chul Ha

School of public Health, Seoul National University  
(Received 25 August 2001 ; Accepted 17 September 2001)

#### ABSTRACT

There has been increased interest in the health effects of the Environmental Tobacco Smoke(ETS) as a confirmed human carcinogen. It has been known to be extremely difficult to make an accurate assessment of exposure to ETS since it is consisted of a variety of components and there are a number of labile chemicals. Therefore, it is necessary to obtain, to interpretate and to provide the data of quantitative exposure assessment to ETS in the field of environmental health.

The purpose of this research is to evaluate the concentration of ETS using VOC in indoor office environments. The correlations and concentrations of benzene, RSP, 3-EP, nicotine that are indicators for ETS were investigated with smoking density, air change per hour(ventilation rate). Air samples were taken in smoking room(7 sites), smoking allowed office(3 sites), corridor outside smoking room(7 sites), non-smoking office(9 sites). The concentrations of benzene showed significant difference according to category of indoor office environments. The geometric mean concentration of benzene were  $23.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (range  $4.80\sim 192.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in smoking rooms,  $6.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in smoking allowed offices,  $1.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in the non-smoking offices respectively. The ratios of the concentration of benzene between outdoor air and smoking room, smoking allowed office, and non-smoking office are 30.6, 8.0, 1.7 respectively. The correlation coefficients between benzene concentrations and common indicators concentrations, SD, and SI were 0.82(benzene and nicotine), 0.76(benzene and RSP), 0.60(benzene and SD), 0.76(benzene and SI). It is proposed that benzene is a good indicator for ETS.

**Keywords** : Environmental Tobacco Smoke(ETS), Carcinogen, Benzene, Cadmium, Smoking Density(SD), Air Change per Hour(ACH), Smoking Index(SI)

#### I. 서 론

대표적인 실내공간인 사무환경을 제공하는 현대식 건물은 안전하고 쾌적한 작업환경으로 생각되고 있다. 그러나 1970년대 초반 석유 파동으로 인한 에너지 위기가 대두되어 에너지 절약을 위해 빌딩이나 건물의 창문이나 문을 닫아두는 밀폐하는 시간이 많아졌으며, 이로 인하여 외부의 신선한 공기가 실내로 들어오지 못하게 되어 건물 내 실내공기에는 오염물질

이 축적되게 되었다. 이로 인하여 사무실 거주자는 실내오염물질에 대한 노출 가능성이 증가하게 되자 불만을 제기하기 시작하였고 이 때부터 실내공기질(Indoor Air Quality, IAQ) 문제가 대두되기 시작하였다.<sup>1)</sup> 실내공기오염의 심각성을 알리는 계기는 건물의 30% 정도가 공기질에 문제가 있다는 1984년 WHO의 조사 결과 보고였다.<sup>2,3)</sup> 대부분 실내공기오염은 건물 내부에 노출원이 존재하는 화학물질과 생물학적 오염물질에 기인하는 것으로 알려졌다. 즉 실내 오염원인 환경성담배연기, 먼지, 포름알데히드, 석면, 생물학적 오염물질, 라돈 등에 의해 실내공기질이 주로 영향을 받고, 그 외에 실외 오염물질인 질소산화

<sup>1</sup>Corresponding author : School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea.  
Tel : 02-740-8897, Fax : 02-740-8114  
E-mail : kwonchul@kosha.net

물, 입자상 물질, 일산화탄소, 휘발성유기화합물 등에 의해 영향을 받을 수 있다. 1994년 미국 EPA에서 13개 건물을 대상으로 조사 연구한 바에 따르면 실내의 오염물질 농도가 실외보다 2~5배가 높고 특히, 실내에서 작업을 하고 난 뒤에는 최고 100배까지 높은 것으로 보고했다.<sup>4)</sup> 실내공기질을 결정하는 실내공기오염원의 중요한 인자로 인식되고 있으며 발암물질로 확인된 환경성담배연기(Environmental Tobacco Smoke, ETS)는 간접흡연을 야기하여 흡연자뿐만 아니라 어린이를 포함한 비흡연자의 건강에 악영향을 미친다는 연구 결과가 보고되었다.<sup>5,6)</sup>

미국 환경보호청(U.S. Environmental Protection Agency, EPA)에서는 환경성담배연기에 대해 궐련, 담배, 파이프 담배, 시가의 끝 부분이 탈 때 방출되어지는 연기와 흡연자의 폐에서 배출되는 연기의 혼합물이라고 정의하고 있다(ETS is a mixture of the smoke given off by the burning end of a cigarette, pipe, or cigar and the smoke exhaled from the lungs of smokers).<sup>7)</sup> 흡연자가 담배를 피울 때 발생하는 담배연기는 흡연자가 직접 들며 마시는 주류연(Mainstream Smoke, MS)과 담배를 피우는 사이에 타고있는 앞부분에서 방출되는 부류연(Sidestream Smoke, SS)으로 구분할 수 있으며 환경성담배연기는 85~90%의 부류연과 10~15%의 호기된 주류연(exhaled MS)으로 구성된다.<sup>8-10)</sup> 이를 구성하고 있는 성분은 그 물리화학적 특성에 의해 주류연 대비 부류연의 비가 다르게 나타나며 건강유해물질의 경우 대부분 부류연에서의 농도가 주류연에서의 농도보다 높게 나타난다.<sup>9)</sup> 환경성담배연기는 간접연기(secondhand smoke)라고도 불리며, 환경성담배연기에 노출되는 것을 비자발적 흡연(involuntary smoking), 간접 흡연(secondhand smoking, SHS), 또는 수동 흡연(passive smoking)이라고 한다.<sup>11)</sup>

세계보건기구(World Health Organization, WHO)에서는 1995년 현재 전세계적으로 담배로 인한 사망자가 연간 3백만 명에 달하는 것으로 추산하고 있다. 또한 흡연율이 현재와 같은 수준으로 유지되고 적절한 정책이나 프로그램이 도입되지 않을 경우 흡연관련 사망자수는 2030년에 1천만 명에 이를 것으로 추산하고 있으며, 그 중 70%가 아시아의 국가에서 일어날 것이라고 한다. 이는 1995년의 경우 성인 10명당 1명이 흡연으로 사망하는 것이며, 2030년경에는 6명당 1명에 해당된다.<sup>12)</sup>

우리나라 국립암센터에서 1999년 암 발생과 관련하여 발표한 자료에 따르면 폐암이 급격하게 증가하

여 1999년에 암 사망원인에 있어서 위암 다음으로 2위를 차지하고 있으며 2002년에는 1위가 될 것으로 추정하고 있다. 또한 현재의 흡연율이 지속된다면 2018년에는 폐암 사망율이 인구 10만명당 40명을 넘어설 것으로 예측하고 있다.<sup>13)</sup> 우리나라의 경우 현재 흡연자가 1,250만 명이 있는데, 그 중 100만 명은 여자이고 나머지 1,150만 명이 남자이다. 매년 3만 명 이상이 담배로 인한 질병에 이환되어 사망하며 2020년이 되면 사망자 수가 5만 명을 상회할 것으로 예상하고 있다. 보건복지부에서 발표한 자료에 의하면 이의 따른 경제적 손실은 연간 추가 의료비 2조 2천 6백억 원과 직간접 경제 손실액 3조 5천억 원(1995년)으로 추산하고 있다.<sup>14)</sup> 간접흡연에 관한 실태 조사 결과 전체 남성이 직장에서 54%, 가정에서 36% 정도가 환경성담배연기에 노출되고 있었으며 10세 이하 남아의 경우 약 70%가 가정내에서 간접흡연에 노출되고 있는 것으로 밝혀졌다. 또한 남녀 모두 50% 이상이 간접흡연에 노출되고 있었으며, 특히 여성의 경우는 20대 이후 배우자의 흡연이 간접흡연의 주 노출원이었으며 연령이 높아질수록 가정내 간접흡연율도 높아지는 경향을 보였다.<sup>15)</sup>

이러한 환경성담배연기의 위험성을 평가하기 위해서는 환경성담배연기의 성분 분석과 함께 그 노출 정도가 정확하게 평가되어야 한다. 환경성담배연기의 측정에서 중요한 점은 측정치의 신뢰도를 높이는 것이며 이를 위해 다양한 변수를 고려하여야 한다. 환경성담배연기는 약 4천가지 이상의 화학물질로 구성되어 있어 각각의 물질들을 따로따로 관리한다는 것은 매우 어려운 일이다. 이를 위해 환경성담배연기를 전반적으로 측정 평가하기 위한 지표가 개발되어 왔으며 니코틴, 3-Ethenylpyridine(3-EP), 호흡성먼지(Respirable Suspended Particulate, RSP)가 좋은 지표로 추천되고 있다.<sup>16,17)</sup> 지표를 통해 인체가 환경성담배연기에 노출되는 정도를 평가하게 되며 간접적으로 담배연기 노출과 그에 따른 건강상의 영향을 평가하고 있다.

국제암연구기관(International Agency for Research on Cancer, IARC)<sup>18)</sup>, 미국국립산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)<sup>19)</sup>, EPA<sup>7)</sup> 등 많은 보건 및 환경 관련 연구기관에서 환경성담배연기를 발암물질로 명시하고 있으나 환경성담배연기 중 발암물질에 대한 연구는 많지 않으며, 특히 기존 지표물질과의 비교분석 자료에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 연구된 일부 자료의 경우는 환경변화에 대한 고려

없이 일정한 조건하의 실험실에서 이루어지거나 환경중 농도 분포만 파악되어 있다.<sup>20)</sup> 이에 따라 실내 사무환경을 흡연조건에 따라 3가지로 나누어 환경에 따른 환경성담배연기 중 발암물질 등의 농도 분포를 조사하여 환경별로 차이가 있는 지를 확인하고 기존 지표물질과의 상관성을 조사하여 좋은 상관성을 보이는 물질이 무엇인지를 결정하여 기존 지표물질이나 새로운 지표물질의 측정 및 평가를 통해 발암물질의 수준을 추정하고 이를 위험성 평가에 활용할 필요가 있다. 특히 환경성담배연기 중 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)에 대해 실내 사무환경에서의 수준을 평가하고, 발암물질인 벤젠에 대해서는 기존 지표물질, 흡연밀도, 환기량에 따른 농도 분포 변화를 분석하여 지표물질로 활용할 수 있는 지를 평가하고자 한다.

## II. 연구 대상 및 방법

### 1. 대 상

2000년 4월부터 2001년 4월까지 서울, 평택, 구미, 창원외의 실내 사무환경에 대해 흡연실 7개소, 흡연이 허용되는 사무실 3개소, 비흡연사무실 5개소를 대상으로 시료를 채취하였다. 시료채취장소 별로 채취한 시료의 수는 흡연실 15개, 흡연허용사무실 3개, 비흡연실 17개, 실외 대기 중 10개이다.

농도 결정 시 환경요소로 제시된 것은 공간의 체적,

흡연밀도(Smoking Density, SD), 시간당 공기교환 횟수(Air Change per Hour, ACH) 그리고 이들 두 가지 요소를 동시에 고려하는 흡연지수(Smoking Index, SI) 등으로 환경요인 변화에 따른 농도 분포를 파악하고 그 상관성을 분석하여 지표로서의 적합성을 규명하였다.

### 2. 벤젠 등 휘발성유기화합물의 측정 및 분석

벤젠 등 휘발성유기화합물은 미국 EPA의 공정시험법인 EPA TO17 Method에 따라 Tenax-TA Tube를 이용하여 시료를 채취하였으며 GC(HP 6890 Plus)/MSD(HP 5973)로 분석하였다. Tenax-TA Tube를 저유량 시료채취기(Low Volume Air Sampler, SKC, US)에 연결시켜 약 0.08 l/min의 유량으로 1 시간 가량 장소시료로 채취하였다. 시료 채취 전후에 유량보정을 실시하였으며 시료 채취 후 시료는 빛에 노출되지 않게 알루미늄 호일을 이용하여 밀폐한 다음 이동하여 냉장 보관하였다.<sup>21)</sup> 환경성담배연기 중 휘발성유기화합물의 정성 및 정량 분석은 GC-MS를 사용하였으며 이의 가동조건은 Table 1과 같다.

분석대상물질 중 처음에 검출되는 벤젠, 중간에 검출되는 1,2,4-Trimethylbenzene 그리고 마지막에 검출되는 Naphthalene에 대해 검출한계를 구하였다. 각 물질의 검출한계(Limit of Detection, LOD) 값을 Table 2에 나타내었으며 여기에서 표시하지 않은 나

**Table 1.** Analytical Conditions for Identifying and Quantifying Volatile Organic Compounds for ETS

Variable	Conditions
Instrument	GC(Hewlett Packard 6890 Plus U.S.A)/MSD(Hewlett Packard 5973)
Detector	Nitrogen-Phosphorus Specific Detector
Injector	Capillary Split Mode
Column	HP-624(60 m × 0.25 mm, 1.4 μm) Hewlett Packard. U.S.A
Carruer Gas	He
Flow Rate	1 ml/min
Split Ratio	20:1
Injector Volume	1 μl
Injector Temp.	230 °C 300 °C
Temp. Program	40 °C, 3 min-5 °C/min-150 °C, 1 min-7 °C/min-220 °C, 3 min(39 min)

**Table 2.** LOD(Limit of Detection) of Volatile Organic Compounds of ETS

Indicators	LOD( μg/sample)
Benzene	0.00031
1,2,4-Trimethylbenzene	0.00080
Naphthalene	0.00085

**Table 3.** Occupational Exposure Limits and Indoor Air Quality Standards of Benzene and Camium

OELs or Standards	Adopted Values( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and Descriptions
ACGIH TLY	TWA-1,595(0.5 ppm) STEL-7,975 A1
OSHA PEL	TWA-3,190(0.1 ppm) STEL-15,950
NIOSH REL	TWA-319(0.1 ppm) STEL-3,190 NIOSH Potential Occupational Carcinogen
Korean OEL	TWA-31,900(10 ppm) A2
ASHRAE Standard for Indoor Air Quality	1/10 of ACGIH TLY

A1: Confirmed human carcinogen

OEL: Occupational Exposure Limits

머지 화합물들은 벤젠과 Naphthalene사이의 LOD 값을 가지게 된다.

본 연구의 연구대상 휘발성유기화합물 중 발암물질인 벤젠에 대해 작업환경 중 노출기준과 일반 대기 환경에서의 기준에 대해 Table 3에 정리하였다.

### 3. 공기교환횟수(ACH)의 측정 및 계산

시간당 공기교환 횟수는 이산화탄소 농도 감소법(CO<sub>2</sub> Decay Method)으로 측정하였다. 이산화탄소 농도 감소법은 일정시점에서 이산화탄소 농도를 측정하고 일정 시간 후에 다시 이산화탄소 농도를 측정하여 경과된 시간동안 감소된 이산화탄소 농도를 시간으로 나누어 구하는 것이다. 미국 TSI사의 Q-Check CO<sub>2</sub> Meter (Model 8730/8731)를 사용하여 흡연실 등을 대상으로 사람들이 모두 빠져나간 후에 압축된 이산화탄소 가스를 이용하여 실내의 이산화탄소 농도를 1700 ppm 정도로 올린 다음에 이것이 일정한 농도로 떨어지는 시간을 측정하여 식 (1)를 이용하여 환기량을 시간당 공기교환횟수로 평가했다. 1,700 ppm 정도의 농도는 실내 거주자에게 질식작용을 일으키지 않을 농도이며 ACGIH TLV 값인 5,000 ppm의 절반에도 미치지 않는 농도이다.<sup>22,23)</sup>

$$\text{ACH} = \frac{\ln(C_{\text{initial}} - C_{\text{out}}) - \ln(C_{\text{end}} - C_{\text{out}})}{\text{Hour}} \quad (1)$$

$C_{\text{initial}}$  = Concentration at Start of Test

$C_{\text{out}}$  = Outdoor Concentration, 330 ppm

$C_{\text{end}}$  = Concentration at End of Test

### 4. 흡연밀도(SD)의 측정 및 계산

위의 환경성담배연기 지표물질들을 측정 분석하였을 때 측정된 농도의 어느 정도가 흡연율에 의하여 설명 가능한 지를 제시하기 위하여 흡연율의 간접적인 지표인 흡연밀도를 계산하여 측정 물질과의 상관성을 분석하였다. 흡연율의 간접적인 지표로서도 다양한 접근법들이 이용되어 왔으나, 흡연밀도를 계산하는 것이 환경성담배연기 지표물질의 측정농도와의 상관성을 분석하는 데 있어서 의미있고 타당하다는 점에 많은 연구자들이 동의하고 있다. 흡연밀도는 채취 시간당 흡연된 담배 수를 실내의 면적으로 나누어 계산하며 그 식은 (2)와 같다.<sup>24)</sup> 흡연한 담배의 수는 시료의 채취시간동안 흡연실에서 피워진 담배꽂초를 모아서 계수 하였다.

$$\text{Smoking Density}(\text{cig}/\text{m}^3 \cdot \text{hr}) =$$

$$\frac{\text{No. of Smoked Cigarettes in Sampling Time}(\text{cig})}{\text{Area}(\text{m}^2) \times \text{Sampling Time}(\text{hr})} \quad (2)$$

### 5. 흡연지수(SI) 계산

실내환경 중 환경성담배연기에 영향을 미치는 환기율과 흡연량을 동시에 고려하는 지수로 Rando 등이 챔버실험에서 사용한 담배연기 지수(smoke index)가 있다.<sup>24)</sup> 담배연기 지수는 담배연기 발생율과 환기량으로 구성되는데 연기 발생율은 실험 시 담배연기 발생을 위해 태우는 담배의 수로 표시하였으며 환기율은 1 분당 환기량으로 계산하였다. 본 연구에서는 챔버가 아닌 현장을 대상으로 하였기 때문에 2.1항의 흡연밀도를 발생율을 나타냈으며 환기량은 2.2.항의 시간당 공기교환횟수를 희석유량으로 하여

계산하였다. 이를 흡연지수(Smoking Index, SI)라 하였으며 계산식은 (3)과 같다.

$$SI = \frac{G}{Q} \quad (3)$$

SI : Smoking Index

G : Smoke Generation Rate(Smoking Density)

Q : Dilution Flow Rate(Air Change per Hour)

6. 자료의 통계 분석

환경성담배연기의 성분들은 대체적으로 대수정규 분포를 하고 있기 때문에 대표값으로 기하평균(Geometric Mean, GM)과 기하표준편차(Geometric Standard Deviation, GSD) 등 유용하리라 생각되는 통계치를 제시하였다.

LOD는 공식로 기하표준편차의 3배로 계산하였으며, LOD 미만으로 나온 측정값들에 대해서는 검출한계의 1/2값으로 분류하여 통계처리에 이용하였다.

다변량 변수에 대한 분석으로는 흡연환경, 흡연밀도, 공기교환횟수, 흡연지수 등 흡연과 관련된 인자별로 지표물질의 농도 차이가 유의한 지에 대하여 ANOVA와 단순회귀모델의 Contrast를 실시하고 유의한 결과를 나타낸 지표에 대해서는 그 정도를 파악하기 위해서 신뢰수준 95%에서 Duncan's Multiple Range test를 실시하였다.

자료의 처리는 Sigma Plot 4.0 for Windows (Version 4.0, Jandel Corp., USA) 및 Sigma Stat. for Windows (Version 4.0, Jandel Corp., USA), Excel 7.0 for Window 98 (Microsoft Corp., USA)를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 휘발성유기화합물의 농도 분포

휘발성유기화합물은 환경성담배연기 중 가스 및 증기상 물질에 속하며 본 연구에서는 벤젠, 톨루엔, 에틸 벤젠, 1,2,4-Trimethyl Benzene(1,2,4-TMB), m-Xylene, Naphthalene 등을 채취 분석하여 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

휘발성유기화합물 6가지 중 흡연환경과 관련이 있다고 알려진 물질은 벤젠, 톨루엔, m-Xylene이다. 이중 벤젠과 m-Xylene은 기하평균 분포의 크기가 흡연실, 흡연허용사무실, 일반대기 순서였으나 톨루엔은 흡연허용사무실에서 더 높은 농도로 분포하였

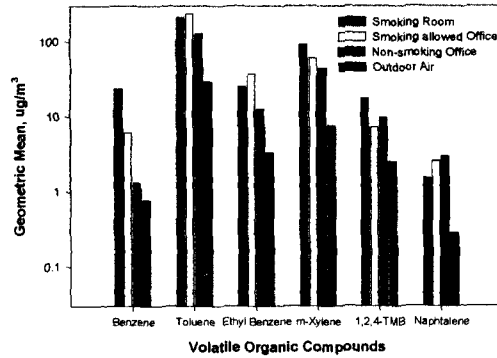


Fig. 1. Comparison of Geometric Mean Concentrations of Volatile Organic Compounds in ETS by Category of Indoor Office Environments.

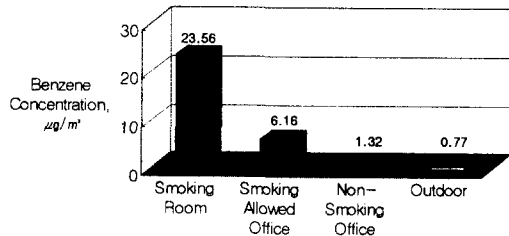
다(Table 4). 휘발성유기화합물 중 벤젠의 농도 분포를 분석한 결과 흡연실에서 23.56 µg/m³으로 가장 높게 나타났으며 일반대기를 대상으로 측정된 시료에서는 0.77 µg/m³가 검출되어 가장 낮았다. 톨루엔의 경우는 흡연허용사무실에서 기하평균이 233.36 µg/m³으로 가장 높게 나타났으며 일반대기에서 28.93 µg/m³으로 가장 낮게 나타났다. 이는 톨루엔 등은 환경성담배연기와의 관련성은 떨어지며 주된 발생원이 실내에 존재한다는 것을 의미한다. 실내사무환경 중 에서 사용하고 있는 화이트보드의 유성펜, 신나, 벽면 페인트 칠 성분과 인체활동 등이 그 발생원으로 생각 된다. 흡연환경에 따른 m-Xylene의 농도 분포는 가장 높게 나온 시료채취장소는 흡연실로 91.00 µg/m³의 농도 분포를 보였으며 일반 대기 중에서 7.57 µg/m³으로 가장 낮은 농도 분포를 하는 것으로 밝혀졌다.(Table 4)

환경성담배연기의 구성분 중에는 인간이나 동물에 게 암을 일으킬 수 있는 발암성을 가졌다는 충분한 증거가 있는 화학물질이 42종이나 된다. 미국 ACGIH 에서 A1 (Confirmed Human Carcinogen) 물질로 지정한 벤젠의 농도 분포를 파악하기 위하여 흡연조건 별로 분석한 결과 Fig. 16과 같이 나타났다.<sup>25)</sup> 흡연과 관련하여 예상한 바와 같이 흡연실에서 가장 높은 농도 분포를 보였으며 흡연허용 사무실, 비흡연사무환경, 일반대기 순으로 나타났다. 특히 이러한 사무 환경별로 α=0.05 수준에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(p<0.012). 이는 흡연의 영향으로 인하여 벤젠의 농도 분포가 달라졌다고 할 수 있다.

흡연조건별 벤젠 농도의 누적확률분포도를 Fig. 3 에 나타내었다. 환경에 따라서 모두 대수정규분포를 하고 있음을 알 수 있다. 일반대기의 경우는 낮은 농

**Table 4.** Summary Statistics for volatile Organic Compounds, Benzene, Toluene and m-Xylene, in ETS by Category of Office Environments

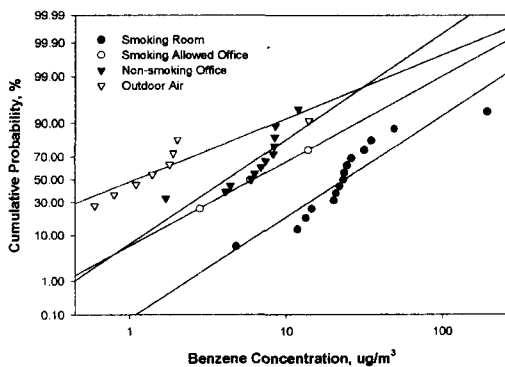
	Benzene			Toluene			m-Xylene		
	n	GM, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	GSD	n	GM, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	GSD	n	GM, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	GSD
Smoking Room	15	23.56	2.21	15	211.16	2.05	15	91.00	2.77
Smoking allowed Office	3	6.16	2.21	3	233.36	4.39	3	59.57	2.24
Non-smoking Office	17	1.32	12.41	17	127.76	2.41	17	43.68	3.18
Outdoor Air	10	0.77	6.49	10	28.93	2.82	10	7.57	8.39



**Fig. 2.** Geometric Mean Concentrations of Benzene by Category of Office Environments( $p=0.012$ ).

도에 주로 분포해 있고 흡연실의 경우는 높은 농도에 분포되어 있어 흡연환경별 농도분포 차이를 확인 할 수 있다.

벤젠의 산업보건기준은 Table 3에 표시한 바와 같이 ACGIH가 제안한 0.5 ppm( $1,595 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )에서부터 우리나라 노동부에서 노출기준으로 설정하고 있는 10 ppm( $31,900 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )까지 비교적 넓은 범위의 기준이며 본 연구의 결과는 이 기준을 초과하지는 않았다. 벤젠에 대한 실내공기질 관리 기준은 아직 설정되어 있지 않았으나 ASHRAE가 제안하고 있는 ACGIH TLV의 1/10에 해당하는  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 적용



**Fig. 3.** Cumulative Probability Distributions of Benzene Concentrations by Category of Indoor Office Environments.

시켜 보았을 때 흡연실의 3개 시료가 이를 초과하였으며 최고  $193 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지의 농도 분포를 보였다. 그러나 그 시료채취장소의 기하평균 농도 값은 실내공기질 기준을 초과하지 않았다.

미국 EPA에서 미국내 실내 사무환경을 제공하는 100개의 빌딩을 대상으로 실시한 “Building Assessment Survey and Evaluation(BASE)” 연구에서 환경성 변수 중 벤젠에 대한 조사를 통해 평균 농도가  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 밝힌 바 있다. 이 수치는 본 연구의 대상이었던 흡연허용사무실에서 조사된 벤젠의 기하평균 값  $6.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 비슷한 값이다. 그러나 BASE 연구결과와 흡연실의 기하평균 농도 값인  $23.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 비교해 보면 흡연실에서의 농도분포가 매우 높은 수치임을 알 수 있다.<sup>26)</sup>

지금까지 환경성담배연기 중 벤젠에 대한 연구 자료에서 흡연지역과 비흡연지역에서의 농도 차이가 명확하지 않는 것으로 알려졌다. 1989년 Proctor 등이 연구한 바에 따르면 오히려 흡연구역에서  $15.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 비흡연구역에서  $60.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다고 보고했다.<sup>27,28)</sup> 그러나 본 연구에서는 흡연환경별로 다른 일반 지표물질과 동일하게 흡연실과 비흡연사무실 등 흡연조건에 따른 농도분포 차이가 명확하게 나타났다.

Chan 등<sup>29)</sup>이 조사한 자료에 따르면 일반대기 중 벤젠의 농도는  $1\sim 11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 본 연구에서는  $0.001\sim 13.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도분포로 나타나 비슷한 결과를 보여주었다. Proctor 등<sup>27)</sup>이 실내사무환경을 대상으로 조사한 벤젠 농도의 분포는  $3\sim 31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 본 연구의 흡연허용사무실을 대상으로 측정된 벤젠 농도 분포  $2.8\sim 13.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 더 높은 농도를 보여주었다. Proctor 등<sup>28)</sup>이 사무환경 중 비흡연실과 흡연실에 대한 벤젠 농도분포를 조사한 결과  $13, 12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 거의 차이가 없는 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 흡연 허용 사무실과 비흡연사무실의 벤젠 농도분포가  $6.16, 1.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으나 두 장소간 벤젠의 농도 분포 차이는  $\alpha = 0.05$  수준에서 통계적

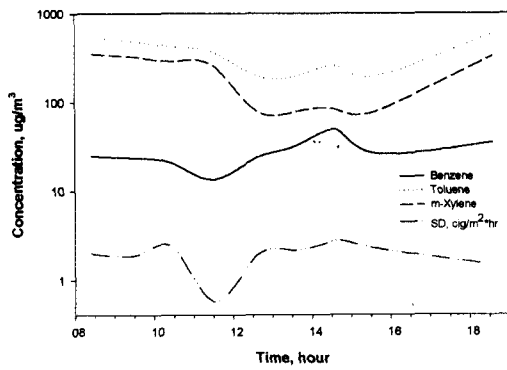


Fig. 4. Concentrations of VOCs in Smoking Room and Smoking Density by Time.

으로 유의하지 않았다( $p=0.313$ ).

Fig. 4는 흡연실에서의 휘발성유기화합물의 농도 분포를 시간에 따라 나타낸 자료이다. 벤젠의 경우는 흡연밀도에 따라 농도분포가 변화하는 것을 확인할 수 있었으나 톨루엔이나 m-Xylene의 경우는 업무 시작 전과 끝날 때쯤이 높은 수치를 보였다. 이와 같은 현상은 업무종료 후 환기시설 가동을 중단하여 톨루엔이나 m-Xylene의 농도가 잔류하거나 벽면 등의 발생원에서 재유출 되어 농도가 올라간 것으로 생각되며 익일 아침까지 계속 증가되다가 다시 환기시설을 가동함에 따라 농도가 점차 낮아지다가 다시 발생원인 흡연밀도가 증가함에 따라 농도가 증가되었을 것이라고 생각된다.

2. 흡연환경에 따른 농도 비

환경성담배연기를 관리하기 위해서는 각 구성분에 따라 작업환경에 적용하는 산업보건기준이나 환경관련 기준을 적용시켜야 한다. 그러나 많은 환경성담배연기의 성분은 작업환경이나 일반 환경기준을 초과하는 경우는 매우 드물다고 할 수 있다. 오히려 여러 화학물질의 상승작용(Synergism)을 통해 건강에

해롭게 작용할 수 있다는 사실에 주목하여야 한다. 따라서 환경성담배물질을 전반적으로 규제할 수 있는 법이 마련되어야 하며, 여기에는 지표물질과 그 구성 성분간 비(Ratio) 조사 결과가 위험성평가를 위한 노출정도를 파악하는 데 유용하게 사용될 것이다. 즉 환경성 담배연기 성분을 직접적으로 평가한다는 것은 불가능하므로 지표물질을 개발하여 다른 성분과의 비를 안다면 추후 이를 활용하여 노출량을 추정할 수 있기 때문이다.

Table 5에서 벤젠은 일반대기를 기준으로, 니코틴과 호흡성먼지, 3-EP는 비흡연사무환경을 기준으로 하여 실내 사무환경의 흡연조건이 달라짐에 따라 농도비를 보여준다. 벤젠의 경우는 일반대기를 1로 보았을 때 흡연실에서 30.6배가 검출되었으며 흡연허용사무실의 경우는 8.0배가 검출되는 것으로 밝혀졌다. 니코틴의 경우는 비흡연사무실을 1로 보았을 때 흡연실 75.7배, 흡연허용사무환경 10.7배를 나타냈으며, 3-EP의 경우는 흡연사무실에서 31.2배, 흡연허용사무실이 4.7배의 농도차이를 보였다. 호흡성먼지의 경우는 흡연실에서 9.8배, 흡연허용환경에서 2.6배에 해당하는 농도분포를 보였다.

환경성담배연기와 같은 다양한 성분의 복합물질에서는 지표물질의 중요성이 대두되고 있다. 특히 지표물질이 극미량이 존재하는 발암물질에 대해 적절한 비율을 제시할 수 있다면 노출평가에 많은 도움이 되리라 생각한다.

노출평가는 위험성평가의 중요한 부분으로 그 역할을 다음과 같이 세 가지로 생각해 볼 수 있다. 첫째, 유해인자의 존재 확인(Health Hazard Identification), 둘째, 양/노출-반응 관계(Dose/Exposure-Response Relationship)에 대한 역학조사 자료, 셋째, 관심을 갖는 그룹에 대한 노출정도 추정에 활용할 수 있다.

본 연구를 통해서 밝혀진 일반 지표물질과 발암물질의 상관성 및 그 비는 흡연에 의한 발암물질에 노출 정도를 시간활동(Time-Activity) 조사를 통해

Table 5. The Ratios of Indicator Concentration to Concentration of Non-smoking or Outdoor Air(Benzene) according to Indicator respectively

	Ratio			
	Benzene	Nicotine	3-EP	RSP
Non-smoking Office	1.7(1.32)	1(1.48)*	1(0.33)	1(48.6)
Outdoor Air	1(0.77)	-	-	-
Smoking Room	30.6(23.56)	75.7(112)	31.2(10.3)	9.8(475)
Smoking allowed Office	8.0(6.16)	10.7(15.8)	4.67(1.54)	2.6(126)

\* Geometric Mean values( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) included in parentheses.

서 추정할 수 있으며 이는 흡연자와 비흡연자의 노출 정도에 있어 차이를 추정할 수 있다. 또한 흡연자와 비흡연자에게서 환경성담배연기에 대한 노출 정도의 차이가 밝혀지게 되면 지표물질과 발암물질의 흡수율에 따른 차이를 보정하여 실제 어느 정도가 인체에 침투하여 용량으로 되어 영향을 주는 지를 파악할 수 있어 궁극적으로는 흡연자와 비흡연자에게서 암발생의 위험도 차이를 추정할 수 있게 될 것이다.

3. 벤젠의 지표물질로서의 적합성

환경성담배연기의 농도 분포에 영향을 주는 인자로는 담배연기의 배출량, 사람의 활동 정도, 환기량, 온도, 습도, 산소 농도 등이다. 이들 요소 중 다른 인자보다 영향력이 크다고 알려진 환경요인과 흡연량 그리고 환기량을 본 연구의 대상으로 하였다.

실내공기중 환경성담배연기 수준을 평가한다는 것은 담배연기가 입자상 및 가스상 구성분으로 복잡한 화학물질이며 또 구성 성분 자체가 물리화학적 제거 기작, 분해, 반응 등으로 시간에 따라 변화하는 속성이 있어 매우 어렵다.<sup>30)</sup>

Rando 등의 실험에 따르면 지표물질들과 담배연기 지수와의 상관성은 담배연기가 증가함에 따라 직선형으로 증가하는 양의 상관성을 보였다.<sup>24)</sup> 환경성담배연기 농도에 영향을 미치는 요소에는 환기량과 흡연밀도가 있으며 환경성담배연기 농도는 환기량과는 반비례 관계이고 흡연밀도와는 비례관계를 나타내게 된다. 따라서 지표물질이 환경요인과의 관계에서 설명력이 있으며 좋은 지표라고 할 수 있다. 이를 확인하기 위하여 흡연밀도와 환기량의 함수인 흡연지수(SI)와의 관계를 파악하고자 하였다. 또한 지표물질로 인식되고 있는 이들 물질간 상관성을 조사함으로써 좋은 지표물질 인지를 확인하였다. 환경성담배연기의 농도와 흡연밀도(SI)는 양의 상관성을 갖고 시간당공기교환횟수(ACH)는 음의 상관성을 갖는다. 즉 흡연밀도가 높을수록 환경성담배연기의 농도는 높아질 것이고 시간당 공기교환 횟수가 작을수록 환경성담배연기의 농도는 높아질 것이다. 흡연밀도의 경우 지표물질과 직접 상관성 분석을 하였으며, 흡연밀도와 환기량을 동시에 고려하는 흡연지수(SI)를 이용하여 상관성을 분석하였다. 실내사무환경을 흡연 조건에 따라 흡연밀도와 시간당 공기교환횟수를 조사하여 Table 6에 나타내었으며, 시료채취대상인 큰 건물의 실내사무환경에서는 HVAC(Heating, Ventilating and Air Conditioning) 시스템으로 중앙

제어하여 실내공기질에 적절한 공기를 공급하고 있었으나 작은 건물의 경우는 배기 팬을 통해 실내공기질 조절을 하고 있었다.

흡연실에서 나타나는 흡연밀도의 범위는 0.6에서부터 4.0까지 나타났으며 평균 2.3  $\text{cig}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 로 나타났다. 타 지역의 경우 흡연실을 마련하여 흡연자가 흡연을 할 때 격리하도록 하여 환경성담배연기에 노출되는 것을 최소화하였으나 일부 흡연실의 경우 흡연구역을 따로 지정하지 않고 사무실에서 흡연할 수 있도록 하였다. 흡연이 허용된 사무실의 경우는 평균 0.4  $\text{cig}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 의 흡연밀도를 보였으며 최소 0.2에서 0.6  $\text{cig}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 까지의 흡연밀도를 보였다. 흡연실과 흡연허용사무실에서 통계적으로 유의한 흡연밀도의 차이를 보였다( $p < 0.01$ ).

환경요인에 따른 발암물질의 농도분포를 알아보기

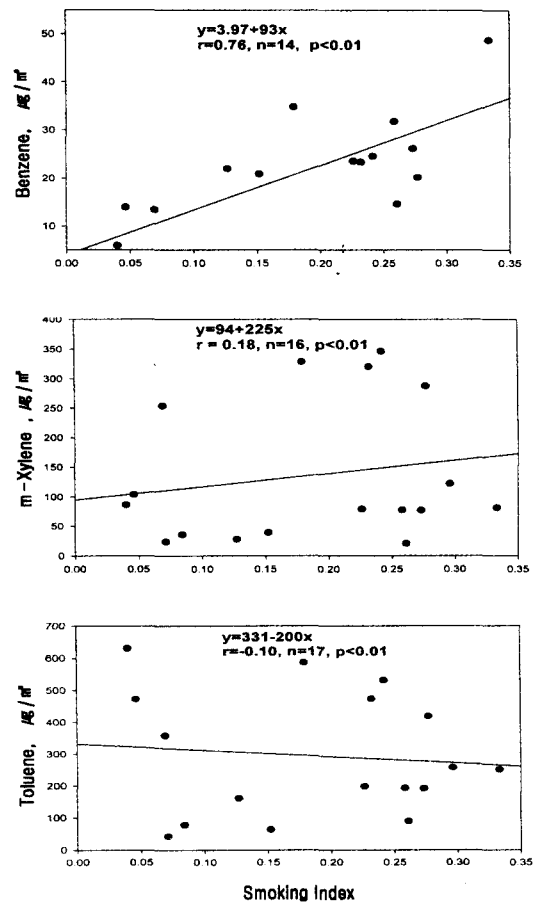


Fig. 5. Correlations of VOCs Compounds and Smoking Index.



**Table 6.** Summary Statistics for ACH(Air Change per Hour) and Smoking Density in Smoking Room and Smoking allowed Office

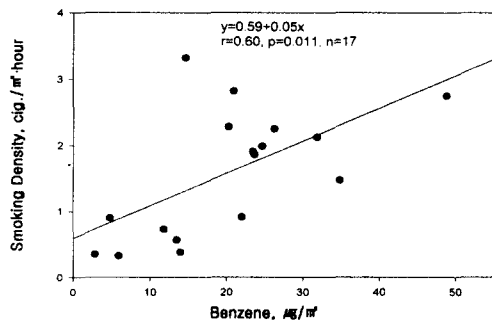
	ACH(Air Change/Hour)			ACH(Air Change/Hour)		
	Mean	min.	max	Mean	min.	max
Smoking Room	10.3	7.2	18.6	2.3	0.6	4.0
Smoking allowed Office	5.5	5.0	5.9	0.4	0.2	0.6

위하여 흡연지수(SD/ACH)에 따른 Benzene을 포함한 휘발성유기화합물의 농도 분포를 Fig. 5와 같이 상관성 관계로 표시하였다. 환경성담배연기 중 휘발성유기화합물을 대상으로 흡연지수와 가장 좋은 상관관계를 보인 물질은 벤젠이었다. 벤젠과 흡연지수의 상관계수 값이 가장 높은 0.76(p<0.01)으로 나타났으며 이는 기존 문헌에서 좋은 지표물질이라고 알려진 니코틴과 같은 값이다. m-Xylene, 톨루엔의 경우는 각각 0.18(p<0.01), 0.10(p<0.01)으로 낮은 상관성을 보였다. 벤젠의 경우 흡연밀도와와의 상관관계에서도 0.60(p=0.011)의 값을 보였다. 이를 통해 휘발성유기화합물 중에서 벤젠이 환경적 요소를 잘 반영하므로 지표물질로도 활용할 수 있다는 연구결과가 될 수 있다.

환경요인으로 고려한 흡연밀도의 경우 양의 상관성을 가져 흡연밀도가 증가할수록 지표물질의 농도는 증가하리라고 예상된다. 벤젠이 0.60의 상관성을 보여 비교적 높은 상관성을 보였다(Fig. 6).

4. 벤젠과 지표물질간 상관관계

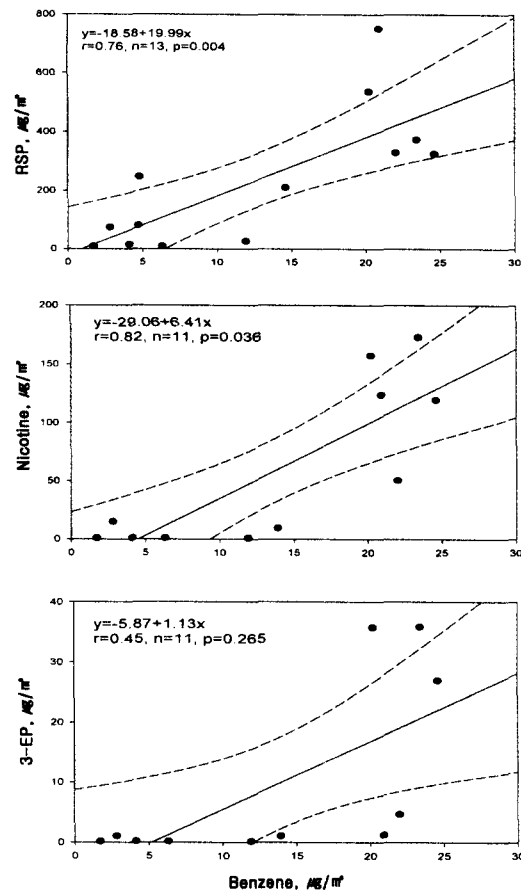
환경성담배연기 중 지표물질과 발암물질간의 상관성을 알아보기 위해서 발암물질인 벤젠을 대상으로 기존의 연구결과 지표물질로 추천되고 있는 니코틴, 3-EP, 호흡성먼지와 상관성 분석을 실시하였다. 그러나 벤젠의 경우 시료채취시간이 짧아서 다른 지표



**Fig. 6.** Correlations between Benzene Concentrations and Smoking Density.

들과 동일 시간대별로 짝지어서 비교할 수가 없어서 온습도 등의 짝 구성에 영향을 미칠 수 있는 인자들을 최소화시키기 위하여 동일한 날짜에 동일한 장소에 대해 짝을 지은 후 상관성 분석을 한 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

벤젠과의 상관성이 가장 좋은 지표물질은 호흡성먼지로 상관계수 값이 0.76(p<0.04)이었으며 다음이 3-EP로 상관계수 값이 0.49(P<0.001), 니코틴은



**Fig. 7.** Regression Plot between Benzene Concentration and RSP, Nicotine, 3-EP Concentration(Dotted Line:95% Confidence Interval).

0.27( $p < 0.001$ )의 상관계수를 보였다. 이는 Benzene이 주로 가스상 물질에서 유래하므로 역시 가스상 물질인 3-EP와 니코틴에서 높은 상관관계를 보일 것으로 예상하였으나 입자상 물질에서 유래하는 호흡성먼지와 상관관계가 가장 높게 나타났다.

환경성담배연기는 많은 화학물질로 구성된 복잡한 혼합물이며 그 농도는 경과 시간, 담배연기의 여과 정도, 타르농도, 공간의 크기, 환기량, 노출시간, 흡연량, 발생원에서의 거리 등에 따라 달라진다.<sup>31)</sup> 이러한 이유로 환경성담배연기의 노출 평가와 노출과 관련한 건강상의 영향도 정확하게 평가하기 힘들다. 간접흡연의 정량적 노출 측정은 모든 환경성담배연기 성분을 직접적으로 평가하는 것은 거의 불가능하므로 몇 가지 제한 사항을 충족시키는 환경성담배연기 지표 물질을 활용한다면 정량적 노출측정에 많은 도움이 된다.

벤젠의 경우는 흡연밀도, 흡연지수, 니코틴과의 상관성 분석에서 좋은 결과를 확인하였으며 벤젠은 기존 연구에서 밝혀진 니코틴, 3-EP, 호흡성먼지와도 비슷하거나 더 좋은 상관관계 수 값을 나타내어 지표물질로 사용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

즉 벤젠이 환경성담배연기의 지표물질이 될 수 있는 이유로는 첫째, 흡연과 관련하여 흡연실과 비흡연실간에 농도 분포가 명확하게 차이가 나며, 둘째, 흡연밀도나 환기량에 대해 좋은 상관관계를 보이며, 셋째, 다른 지표물질들과도 좋은 상관관계를 나타낸다. 담배의 전체 카드뮴 양의 44%가 환경성담배연기로 발생되며 마지막으로 환경성담배연기 중 카드뮴의 농도가 제거되는 속도가 느리며 발생원의 강도와 직선형의 상관성이 나타난다는 것을 들고 있다.

미국 National Academy of Sciences에서는 환경성담배연기 지표물질이 되기 위해서는 다음과 같은 4가지 조건을 만족시켜야 한다고 하였다.<sup>17)</sup>

첫째, 환경성담배연기에만 존재하거나 거의 유일한 성분이어야 한다. 즉 다른 발생원의 물질이 환경성담배연기에 미치는 기여도가 낮아야 하며, 둘째, 매우 적은 양이라도 분석할 수 있는 방법이 있어야 하며, 셋째, 다양한 담배에서 유사한 발생인자가 되어야 하며, 넷째, 건강상 악영향을 미치는 다른 환경성담배연기 구성분과 일정한 비율로 존재해야 한다.

본 연구에서는 환경성담배연기 중 대표적 발암물질인 벤젠이 위의 네가지 조건을 모두 만족시켰다고 생각된다. 벤젠의 농도는 흡연환경과 밀접한 관련성을 보여주어 첫째, 넷째의 조건을 만족시켰으며, GC/MS 등의 발달로 미량의 벤젠농도에 대한 분석이

가능하므로 둘째 조건을 만족시키며, 현장에서 시료를 채취했기 때문에 다양한 담배 종류가 사용되었으나 흡연환경에 따라 농도 차이가 있었으므로 셋째 조건을 만족시킨다고 할 수 있다.

그러나 벤젠의 단점이라고 생각될 수 있는 것은 니코틴과 동일하게 증기상으로 존재하므로 Hammond 등<sup>32)</sup>이 니코틴의 단점으로 지적한 담배연기 전체나 입자상 물질에 대한 지표로서의 효용성은 떨어진다고 할 수 있다. 또한 본 연구에서는 흡연 여부에 따라 흡연실과 비흡연실에서 농도 차이가 명확하였으나 일부 연구에서는 실내의 다른 발생원이 존재한다는 연구 결과가 있어 단점으로 지적될 수 있다. 하지만 니코틴도 증기상이나 지표물질로 사용되고 있으므로 이를 감안하고 활용한다면 좋은 지표가 될 것이다. 또한 앞으로 실험실 연구 등을 통해 실내 환경에서의 제거속도와 흡연양에 따른 실제 벤젠 발생 양 등 상기의 지표물질로서의 조건을 세부적으로 만족하는 지에 대한 연구가 좀 더 광범위한 수행된다면 발암물질에 대한 유력한 지표물질로 활용할 수 있을 것이다.

#### IV. 요약 및 결론

2000년 4월부터 2001년 4월까지 서울, 평택, 구미, 창원의 실내 사무환경에 대해 흡연환경에 따라 흡연실 7개소, 흡연이 허용되는 사무실 3개소, 비흡연 사무실 9개소, 흡연실 인접 지역을 대상으로 구분하여 환경성담배연기로 인한 휘발성유기화합물의 농도 분포를 조사하고 흡연환경 요인(흡연유무, 흡연밀도, 공기교환횟수)과 일반적으로 사용하고 있는 지표물질과의 상관성 조사를 통해 발암물질인 벤젠의 지표로서의 활용 가능성을 평가하였다. 연구결과는 다음과 같다.

1. 발암물질인 벤젠 농도 분포의 경우 흡연환경에 따라 유의한 차이를 보였다. 흡연실에서 기하평균 농도가  $23.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (범위:  $4.80 \sim 192.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 이었으며 흡연허용사무실에서는  $6.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 비흡연사무실에서는  $1.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 분포하고 있었다. 이러한 농도분포는 산업보건기준은 초과하고 있지 않았으나 일부 흡연실 시료는 미국 ASHREA에서 제안하고 있는 실내공기질 기준을 초과하고 있었다.

2. 지표물질들간 비는 흡연실에서 니코틴을 기준으로 호흡성먼지 4.24, 3-EP 0.09, 벤젠 0.21의 값을 보였다. 벤젠의 경우 실외대기를 기준으로 비흡연사무실 1.7, 흡연실 30.6, 흡연허용사무실 8.0배로 높은 분포를 보였다.

3. 발암물질인 벤젠과 지표물질 및 환경요인간 상관성을 분석한 결과 벤젠은 니코틴과의 상관성이 가장 높은 0.82의 상관계수 값을 보였으며, RSP 0.76, 3-EP 0.45, 흡연밀도 0.60, 흡연지수 0.76으로 나타났다. 따라서 벤젠은 환경성담배연기의 지표로서 활용될 수 있다고 생각된다.

### 참고문헌

- 1) Pahwa, D., New Ventilation Standards for Indoor Air Quality (IAQ) VS. Energy Conservation : Enthalpy Wheels Meet the Challenge, Proceedings of the Asia-Pacific Conference on sustainable Energy and Environmental Technology, World Scientific Publication, 1996.
- 2) National Health and Medical Research Council(NHMRC), Chapter 2. The Nature and assessment of exposure to environmental tobacco smoke(in The Health Effects of Passive Smoking) 1997.(<http://www.health.gov.au/nhmrc/>)
- 3) World Health Organization(WHO), International Consultation on Environmental Tobacco Smoke(ETS) and Child Health. Division of Noncommunicable Diseases, Tobacco Free Initiative, WHO, Geneva, Switzerland, 1999.
- 4) US Environmental Protection Agency(EPA), A Citizen's Guide to Radon, 1986.
- 5) United States Environmental Protection Agency(EPA), Building Air Quality ; A Guide for Building Owners and Facility Managers, 1991.
- 6) Repace, J. L., A. H. Lowery, Indoor Air Pollution, Tobacco Smoke and Public Health. Science 208 : 464, 1980.
- 7) US Environment Protection Agency(EPA), <http://www.epa.gov/iaq/ets.html>. Environmental Tobacco Smoke. 1999.
- 8) United States Environmental Protection Agency(EPA), Respiratory Health Effects of Passive Smoking : Lung Cancer and Other Disorders. Washington DC, US Environment Protection Agency, Office of Health and Environmental Assessment, Office of Research and Development. 1992 : EPA/600/6-90/006F.
- 9) First, M. W., Indoor Air and Human Health, Lewis Publishers Inc., Chelsea, MI, 195~303, 1984.
- 10) Smith, C. J., J. C. Sears and P. C. Deluka, Environmental Tobacco Smoke : Current Assessment and Future Directions, Toxicologic Pathology, 20 : 289~305, 1992.
- 11) United States Environmental Protection Agency(EPA), Secondhand Smoke, Washington DC, US Environment Protection Agency, : EPA-402-F-93-004, 1993.
- 12) Peto, R., J. Boreham, M. Thun, *et al.*, Mortality from smoking in developed countries, 1950-2000. Oxford, Oxford University Press, New York, 1994.
- 13) 국립암센터, 1999년 한국중양암등록사업결과, 2001.
- 14) 보건복지부, 국민건강영양조사(1998년 자료), 1999.
- 15) 백도명, 이선화, 양원호 등, 우리나라에서의 여성의 간접흡연실태와 폐암과의 연관성, '99 흡연위생연조보고서, 2000.
- 16) Repace, J. L., A. H. Lowery, Indoor Air Pollution, Tobacco Smoke and Public Health, Science 208 : 464, 1980.
- 17) National Academy of Sciences, National Academy of Sciences Report : Environmental Tobacco Smoke, Measuring Exposure and Assessing Health Effect : GPO : Washington, DC, 1986.
- 18) International Agency for Research on Cancer(IARC), IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans-Tobacco Smoking, Vol. 38, 1985.
- 19) The National Institute of Occupational Safety and Health(NIOSH), Current Intelligence Bulletin 54 : Environmental Tobacco Smoke in the Workplace-Lung Cancer and Other Health Effects. NIOSH Publication No. 91-108. 1991.
- 20) Holcomb, L. C., Indoor Air Quality and Environmental Tobacco Smoke : Concentration and Exposure, Environ. Int., 19 : 9-40, 1993.
- 21) National Institute for Occupational Safety Health(NIOSH), Manual of Analytical methods, 4th ed, U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease control and Prevention, NIOSH, 1994.

- 22) Olcerst, R., A Technique to use Data Loggers to Measure Effective Ventilation and Air Exchange Rates by Carbon Dioxide tracer, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 55(9) : 833-835, 1994.
- 23) Jankovic, J. T., R. Ihle, D. O. Vick, Occupant generated carbon dioxide as a measure of dilution ventilation efficiency. *American Industrial Hygiene Association Journal* 57 : 756-759. 1996.
- 24) Turner, S., L. Cyr, A. J. Cross, The Measurement of Environmental Tobacco Smoke in 585 Office Environments, *Environment International*, 18 : 19-28. 1992.
- 25) American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH), *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices*, 2001.
- 26) National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), The Clean Air Act, [http : //www.epa.gov/airs/criteria.html](http://www.epa.gov/airs/criteria.html), NAAQS. 2001.
- 27) Proctor, C. J., A Comparison of the Volatile Organic Compounds Present in the Air of Real-World Environments with and without Environmental Tobacco Smoke, Presented at 82nd Annual Meeting Air and Waste Management Association, Anaheim, CA, 1989.
- 28) Proctor, C. J., N. D. Warren, M. A. J. Beven, Measurement of Environmental Tobacco Smoke in an Air-Conditioned Office Buildings Present and Future of IAQ, *Excerpta. Medica*, 1989.
- 29) Chan, C. C., L. Vainer, *et al.*, Determination of Organic Contaminants in Residential Indoor Air Using in Adsorption Technique, *J. Air Waste Manage*, 40 : 62-67, 1990.
- 30) U.S Department of Health and Human Services, *The Health Consequences of Involuntary Smoking : A Report of the Surgeon General*, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1986.
- 31) Jaakkola, M. S., J. J. K. Jaakkola, Assessment of Exposure to Tobacco Smoke, *Eur Respir* 10 : 2384~2397, 1997.
- 32) Hammond, S. K., B. P. Leaderer, A. C. Roche and M. Schenker, Collection and Analysis of Nicotine as a Marker for Environmental Tobacco Smoke, *Atmos. Environ.* 21 : 245-462, 1987.