

## 일부 미적용 다중이용시설의 실내 공기 중 알데히드류 및 휘발성유기화합물 노출로 인한 건강위해성 평가

양지연 · 김호현 · 신동천\* · 김윤신\*\* · 손종렬\*\*\* · 임준환 · 임영욱

연세대학교 환경공해연구소, \*연세대학교 의과대학 예방의학교실,  
\*\*한양대학교 환경 및 산업의학연구소, \*\*\*고려대학교 보건과학대학  
(2007년 7월 6일 접수; 2007년 12월 26일 채택)

### Health Risk Assessment of Occupants in the Small-Scale Public Facilities for Aldehydes and VOCs

Ji-Yeon Yang, Ho-Hyun Kim, Dong-Chun Shin\*, Yoon-Shin Kim\*\*,  
Jong Ryeul Sohn\*\*\*, Jun-Hwan Lim and Young-Wook Lim

*The Institute for Environmental Research, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea*

*\*Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea*

*\*\*Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University, Seoul 120-749, Korea*

*\*\*\*Department of Environmental Health, College of Health Sciences, Korea University, Seoul 136-701, Korea*

(Manuscript received 6 July, 2007; accepted 26 December, 2007)

#### Abstract

This study was to assess the lifetime cancer and non-cancer risk of exposure of worker and user at public facilities in Korea to volatile organic compounds (VOCs). We measured the concentrations of two aldehydes and five VOCs in indoor air at 424 public buildings that 8 kinds of public facilities (70 movie theaters, 86 offices, 86 restaurants, 70 academies, 22 auditoriums, 30 PC-rooms, 30 singing-rooms and 30 bars) all over the country. There were estimated the human exposure dose and risks with averages of the using-time and frequency for facility users and office workers, respectively. Carcinogens (formaldehyde, acetaldehyde, and benzene) were estimated the lifetime excess cancer risks (ECRs). non-carcinogens (toluene, ethylbenzene, xylene, and styrene) were estimated the hazard quotients (HQs). The average ECRs of formaldehyde and benzene for facility worker and user were  $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-4}$  and  $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-5}$  level, respectively, in all facilities. HQs of four non-carcinogens did not exceed 1.0 for all subjects in all facilities. The estimated ECRs for restaurant and auditorium were the highest, and the PC-room and bar were the next higher facilities. Furthermore, people in a smoking facility had the highest cancer risk. Higher ECRs of formaldehyde and benzene were observed in indoor smoking facilities such as restaurant and auditorium. Higher HQs of toluene and xylene were observed at the restaurant and office building.

**Key Words :** Health risk assessment, Public facility, Indoor air, Aldehydes, VOCs

## 1. 서 론

1970년대 초부터 에너지 절감을 위해 건물의 밀폐화가 진행되고, 건축자재, 실내 장식가구 등에서 배출되는 각종 유해물질로 인한 두통, 어지러움, 안질환 및 알레르기성 질환 등의 빌딩관련질환이 증가하고 있다. 실내에서의 유해물질 노출이 실외 대기노출 보다 실제적 건강유해영향을 유발할 수 있다<sup>1)</sup>. 국내에서는 구조적으로 실내 공기질관리가 어려운 지하공간의 활용도가 증가되면서 지하 실내공기질 악화로 인한 문제가 발생되어 1980년대 후반부터 실내공기질에 대한 연구가 시작되었다<sup>2)</sup>. 실내공기오염은 빌딩증후군 (Sick Building Syndrome, SBS), 복합화학물질 과민증 (Multi Chemical Sensitivity, MCS), 새집 증후군(Sick House Syndrome, SHS) 등을 유발시켜 인간에게 정신적 고통을 주거나 위해요소로 작용할 수 있다<sup>3)</sup>.

환경부에서는 “지하생활공간공기질관리법”의 전문개정을 추진하여 2003년 “다중이용시설등의 실내공기질관리법”을 공포하고 2004년 5월 30일부로 시행하였다. 적용대상은 지하역사, 지하도상가, 도서관, 의료기관, 찜질방, 대규모점포 등 17개 군이다. 최근 실내공기질에 대한 관심과 중요성이 더욱 인식됨에 따라 점차적으로 대상시설을 확대할 필요성을 제기하고 있으며, 현재 포함되어 있지 않은 미적용 다중이용시설에 대한 실태조사연구도 진행되고 있다.

실측자료를 바탕으로 한 건강위해성평가(Health risk assessment)시 실내공기질이 거주자의 거주기간 동안 같은 농도로 늘 노출되는 것은 아니다. 그러나 평생 동안의 노출농도를 모니터링 할 수는 없으므로 위해성 평가 방법론에서는 노출에 대한 가정, 즉 평균농도로 평생 동안 노출된다는 것을 가정하는 것이며, 실측자료가 많은 평균값일수록 그 가정에 대한 신뢰도는 높아진다고 할 수 있다. 본 연구에서 전국단위의 실태조사를 실시하였으나, 모든 시설에 대한 전수조사 및 노출조건에 대한 각각의 조사는 현실적으로 불가능하므로 위해성평가 방법론을 이용한 영화관 등 미적용 다중이용시설 및 PC방 등 소규모시설의 이용자(손님) 및 근무자의 위해도를 산출하고자 한다.

따라서, 본 연구에서는 현재 “다중이용시설등의 실내공기질관리법”의 대상 시설이 아닌 미적용 다중이용시설에 대한 전국적인 실태조사 결과를 바탕으로 다중이용시설에서 우려되는 포름알데히드 및 톨루엔 등 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)로 인한 건강 유해 영향의 추정을 통해 미적용 다중이용시설에서의 우려되는 우선물질 및 시설을 파악하여 우리나라 현재의 법 제하에 있지 않은 미적용 다중이용시설의 실내공기질 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 조사 시기 및 측정대상 시설의 선정

환경부에서는 2003년 5월 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」을 전문 개정, 17개 시설군의 실내공기질을 관리해 오고 있으나, 실내공기질 측정자료의 부족 및 업계 부담 등의 이유로 영화관, 공연장 등 다수의 시설이 법적용대상에서 제외되어 있어, 영화관 등의 미적용시설에 대한 실내 공기질 실태조사의 필요성에 의해 본 연구진은 2005년 3-10월 동안 전국적인 실태조사를 실시하였다. 전국을 4개 지역 (수도권, 충청권, 영남권, 호남권)으로 구분하여 미적용 다중이용시설 (영화관, 업무시설, 대형음식점, 학원, 문화공연장) 334개 시설과 수도권에 위치한 소규모 시설 (PC방, 노래방, 주점) 90개 시설을 대상으로 선정하였다 (Table 1).

### 2.2. 평가 대상 물질 및 발암성 평가 분류

본 연구는 실내 유해화학물질로 인한 인체 유해 영향을 예측하기 위해 미국 환경보호청 (United States Environmental Protection Agency, US EPA)에서 제안하고 있는 ‘화학물질의 건강 위해성 평가 (Chemical Health Risk Assessment)’ 기법을 활용하였다<sup>4)</sup>. 따라서 “다중이용시설 등의 실내공기질관리법 (이하 실내공기질관리법)”의 시행규칙에서 제시하고 있는 물질 중 유해화학물질인 포름알데히드 (Formaldehyde)와 벤젠 (Benzene), 톨루엔 (Toluene), 에틸벤젠 (Ethylbenzene), 자일렌 (Xylene), 스티렌 (Styrene)의 5 종 VOCs를 대상물질로 선정하였다. 또한 국내 실내공기질관리법에서는 제외되어 있으나, 선진국에서 실내공기질관리물질로 제안하고 있

**Table 1.** Description of the 424 facilities surveyed in this study

	Metropolitan	Chungcheong	Honam	Yeongnam	Total
Movie theater	28	14	14	14	70
Office	26	23	14	23	86
Restaurant	28	22	14	22	86
Academy	28	14	14	14	70
Auditorium	10	4	4	4	22
PC-room	30	0	0	0	30
Singing-room	30	0	0	0	30
Bar	30	0	0	0	30
Total	210	77	60	77	424

는 아세트알데히드 (Acetaldehyde)를 추가하였다<sup>5)</sup>.

현행 실내공기질관리법의 대상 물질 중 미세먼지 (PM-10), 이산화질소, 오존, 이산화탄소, 일산화탄소로 인한 건강 위해성 평가를 위해서는 국내에서 이들 물질의 만성 노출로 인한 질병 사망률 평가를 실시하여야하나, 아직까지 공식적으로 발표된 국내 자료 부재로 이들 물질은 본 연구의 평가 대상물질에서 제외하였다.

총 7종의 평가 대상물질은 미국 환경보호청 (US EPA) 물질분류 범주에 따라 포름알데히드 (B1: Probable human carcinogen), 아세트알데히드 (B2: Probable human carcinogen), 벤젠 (A: Human carcinogen)은 발암물질로 분류하여 평가하며, 인체 발암성이 없는 물질 (D: Not classifiable as to human carcinogen)로 분류되거나 현재 자료로는 인체 발암성에 대해 분류할 수 없는 물질인 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌 및 스티렌은 비발암물질로 분류하여 평가하였다<sup>6)</sup>.

### 3. 측정 및 분석 방법

#### 3.1. 시료 채취 및 분석방법

실내공기 중 알데히드류 및 VOCs는 “다중이용시설 등의 실내공기질관리법”에서 규정하고 있는 실내공기질 공정시험방법에 준하여 측정 및 분석하였고, 대상 시설의 영업시간대에 채취하는 것을 원칙으로 하였다. 시료채취장소 및 지점은 측정하려는 대상 시설의 구조와 업체별 특성, 예상되는 오염물질의 발생원, 환기시설의 운영패턴, 시설의 이용빈도 및 특성 등을 고려하여 선정하였다.

공기 중 알데히드류는 개인 공기 포집 채취기

(Personal Air Sampler, SIBATA)에 오존스크러버 및 DNPH 카트리지를 장착하여 0.2 l/min의 유량으로 채취하였으며, 카트리지(Waters Corp, USA) 내 DNPH (2, 4-dinitrophenylhydrazone)에 흡착된 알데히드류를 유도체화하여 HPLC (High Performance Liquid Chromatography)로 분석하였다.

공기 중 휘발성유기화합물류의 경우도 개인 공기 포집 채취기(Personal Air Sampler, SIBATA)에 Tenax-TA(1/4×20 cm, Supelco, USA) 고체 흡착관을 장착하여 0.1 l/min 유량으로 채취하였으며, 흡착된 VOCs는 고체 열탈착 장치에 의해 1차 고온탈착시키고, 다시 저온농축관에서 농축시킨 후, GC (Gas Chromatography)내 컬럼에 자동 주입되는 열탈착 장치가 장착된 GC/MSD (Mass Selective Detector)로 분석하였다. 모든 시료는 분석 전 밀봉 상태로 시료 분석 전 까지 -70℃에서 냉장 보관하였고, 냉장 보관 후 2~3일 내에 분석 실시하였다.

#### 3.2. 분석의 정도관리

본 연구는 전국 규모의 조사이기 때문에 측정 및 분석의 효율을 고려하여 전국 5개 기관에서 각각 시료 포집 및 정량분석을 담당하였다. 여러 기관에서의 측정 및 정량결과에 대한 정도관리를 위해 개인 공기 채취 펌프의 보정, VOCs 흡착관 청정도 평가, VOCs 흡착관 이력관리 및 RRT (Round Robin Test), 즉 임의의 농도의 측정시료의 상호비교시험을 3차에 걸쳐 실시하였다. 참여기관의 측정/분석에 대한 정도 관리를 위해 1-2차는 동일 지점에서 동시에 시료를 채취한 후 정량 분석하였으며, 3차는 분석자료의 신뢰성 제고를 위해 VOCs 물질만을 대상으로 표준가스 대비 허용오차를 평가하였다. 1-2차의 측

정 결과는 각 참여 기관에서 13.7~13.8%의 허용오차범위내의 오차비율을 나타냈고, 3차의 표준가스에 대한 분석기관별 농도는 표준편차는 10%이내의 재현성을 나타냈다.

알데히드류의 경우에도 마찬가지로 공기 채취 펌프의 보정을 실시하였고, 기관별 HPLC 분석에 의한 오차 발생 정도를 평가하기 위해 재현성평가를 위해 표준혼합용액을 이용한 5회 반복 실험에서 0.05%~0.5%의 상대표준편차(RSD)를 나타내었다.

#### 4. 인체 위해성 평가 방법

##### 4.1. 인체위해성 평가를 위한 대상 시설의 분류

미적용 다중이용시설 및 소규모시설에서 지역별, 흡연, 지상/지하, 개업시기, 시설교체 및 공사여부, 방향제 사용, 환기여부 등의 변수가 모든 물질에 대해 통계적으로 유의하고 일관성 있는 농도 차이는 관찰되지 않았다. 그러나 실외공기질에 의한 지역적 영향<sup>7)</sup>과 실내흡연에 의한 실내공기질 영향<sup>8)</sup>은 최근 연구에서도 유의한 변수로 인식되어 있는 바 본 연구에서는 서울 및 기타지역과 설문조사를 통한 시설내 흡연여부를 파악하여 연구대상시설별로 4그룹으로 분류하였다 (Table 2). 대상 시설 중 실내흡연 시설은 29%로 비흡연 시설에 비해 비율은 낮은 수준이었으나, 모든 대상시설에 실내 흡연 시설이 포함되어 있었다.

##### 4.2. 인체노출량 평가 및 불확실성 분석

임의의 농도로 오염된 실내공기에 평생 노출되며 생활할 경우의 인체 노출량은 오염농도, 일일 호흡율 (Inhalation Rate), 체중 (Body Weight), 노출빈도 (Exposure Frequency), 노출기간 (Exposure Duration), 기대수명 등을 고려하여 산출할 수 있다. 일일호흡율은 시설 근무자 및 이용자의 특성에 따라 적용하

였으며, 국내의 일반인에 대한 호흡을 평가 자료 없기 때문에 미국 환경보호청 (US EPA)의 'Exposure Factor Handbook'의 연령별 권고치를 적용하였다. 미국 성인의 경우, 호흡 경로만을 고려한 평생 만성 노출 평가는 평균 호흡량, 20 m<sup>3</sup>/day (90th값)을 적용하며, 다매체 노출 평가에서는 13 m<sup>3</sup>/day (평균)로 가정한다. 단기 노출에서 휴식은 0.4 m<sup>3</sup>/hr, 앉아서 하는 가벼운 운동은 0.5 m<sup>3</sup>/hr, 가벼운 운동은 1.0 m<sup>3</sup>/hr, 중간활동시 1.6 m<sup>3</sup>/hr, 격렬한 운동은 3.2 m<sup>3</sup>/hr로 제안하고 있다. 본 연구에서는 대상 시설의 이용 특성을 고려하였다. 영화관, 학원, PC방의 경우 0.5 m<sup>3</sup>/hr, 음식점은 1.0 m<sup>3</sup>/hr, 공영장 및 주점은 1.6 m<sup>3</sup>/hr, 노래방은 3.2 m<sup>3</sup>/hr로 적용하였으며, 각 시설의 근무자는 다양한 활동을 복합적으로 하므로, 단일 만성 노출시 적용하는 호흡율, 20 m<sup>3</sup>/day (90th값)에 노출 시간을 고려하여 위해도를 산출하였다.

체중은 설문 조사 자료에 의한 대상 시설별 이용자 연령 분포에 따라 2004년 한국기술표준원(KATS)<sup>9)</sup>의 연령별 평균 체중을 이용하였다. 평균수명의 경우 한국인의 기대수명 70년을 적용하였으며, 마지막으로 노출 시간 (시간/일) 및 기간은 실태조사시 근무자 및 이용자(손님)의 현장설문을 바탕으로 최종 산정하였다.

노출시나리오별로 노출빈도가 가장 많은 근무자 (Worst Inhalation Exposure Scenario ; WIES), 설문조사 된 값의 최대값을 사용한 최빈이용자 (Moderate Inhalation Exposure Scenario ; MIES), 다소 노출이 적은 것으로 판단되는 평균값을 사용한 평균이용자 (Lowest Inhalation Exposure Scenario ; LIES), 3그룹으로 구분하여 노출빈도를 적용하였다 (Table 3).

대상 시설의 노출 시나리오별 인체 노출량은 노출 시기별 노출 조건을 고려할 수 있도록 수식을 일부 변형하여 적용하였다.

Table 2. Criteria of targeting group for health risk assessment

Group	Criteria
1	Metropolitan_nonsmoking_facility
2	Metropolitan_smoking_facility
3	Chungcheong, Honam, Yeongnam_nonsmoking_facility
4	Chungcheong, Honam, Yeongnam_smoking_facility

$$LADD(mg/kg/day) = \sum C_{IA} \times \frac{IR_{kj} \times ET_{kj} \times EF_{kj} \times ED_{kj}}{BW_i \times AT} \quad (1)$$

Where LADD : Lifetime average daily dose (mg/kg/day)

$C_{IA}$  : Concentration of chemicals in indoor air at facility (mg/m<sup>3</sup>)

$IR_{kj}$  : Inhalation rate for exposure scenario, k and facility, j (m<sup>3</sup>/hr)

$ET_{kj}$  : Exposure time for exposure scenario, k

**Table 3.** Exposure factors for subject's facilities

Exposure factors		Theater	Office	Restaurant	Academy	Auditorium	PC-room	Singing-room	Bar
Inhalation ( $\mu\text{g/hr}$ )	Worker	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
	User (sedentary)	0.5	-	1.0 (light)	0.5 (sedentary)	1.6 (moderate)	0.5 (sedentary)	3.2 (heavy)	1.6 (moderate)
Exposure time (hr/day)	Worker	8	8	8	8	8	8	8	8
	User-Mean	2.3	-	1.5	3.0	2.8	2.5	2.2	2.5
	User-Max	3.0	-	3.0	6.0	4.0	6.0	3.0	4.0
Exposure frequency (days/yr)	Worker	300	300	300	300	300	300	300	300
	User-Mean	30	-	100	240	40	100	50	100
	User-Max	60	-	240	300	60	300	180	240
Exposure duration (years)	Worker	40	40	40	40	40	40	40	40
	User (age : 5-65)	60	-	69 (age : 1-70)	60 (age : 5-65)	60 (age : 5-65)	50 (age : 5-55)	60 (age : 5-65)	45 (age : 20-65)
Body weight (kg)	Worker	60	60	60	60	60	60	60	60
	User	-	-	-	-	-	-	-	-
	age 1-4years	-	-	10	-	-	-	-	-
	age 5-13years	30	-	30	30	30	30	30	-
	age >13years	60	-	60	60	60	60	60	60

- and facility, j (hrs/day)
- EF<sub>kj</sub> : Exposure frequency for exposure scenario, k and facility, j (days/yr)
- ED<sub>kj</sub> : Exposure durations for exposure scenario, k and facility, j (yrs)
- BW<sub>i</sub> : Body weight at age, I (kg)
- AT : Average time for lifetime (days)

**4.3. 물질별 용량-반응평가 자료 결정**

발암잠재력, q<sub>1</sub>\*은 용량-반응 곡선에서 선형계수의 95% 상한값으로서, 단위 체중 및 용량당 발생 가능한 발암 확률이며, 단위 위해도는 건강한 성인이 임의의 오염물질이 단위 농도 (1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )로 오염된 공기에서 평생동안 노출되어 생활할 때 이로 인해 발생될 수 있는 초과 발암 확률이다.

포름알데히드는 Kerns 등<sup>10)</sup> 연구의 용량-반응 자료를 바탕으로 선형화 다단계 모델 (Linearized multistage model)에 의해 발암잠재력이  $4.6 \times 10^{-2}$  (mg/kg/day)<sup>-1</sup>으로 산출되었다. 아세트알데히드<sup>11)</sup> 및 벤젠<sup>12)</sup>의 발암잠재력은 각각  $7.7 \times 10^{-2}$  (mg/kg/day)<sup>-1</sup>,  $3.6 \times 10^{-2}$

(mg/kg/day)<sup>-1</sup>으로 산출되었다 (Table 4).

비발암성 물질은 평생 노출되어도 독성 영향이 발생되지 않을 노출 참고농도, RfC (reference Concentration)를 바탕으로 위해도를 평가한다. 톨루엔의 RfC는 역학자료에 의해 톨루엔 호흡노출로 인한 독성 영향이 유발되지 않을 가장 낮은 농도, NOAEL (No Observed Adverse Effect Level)이 119 mg/m<sup>3</sup>으로 결정되었으며<sup>13)</sup>, 이를 바탕으로 독성 결과의 불확실성 상수를 고려하여 호흡 노출 참고치, RfC를 0.4 mg/m<sup>3</sup>으로 산출하였다. 비발암독성 물질은 이와 같은 과정에 의해 호흡 노출 참고치를 결정하였으며, 각 물질별 RfC<sup>14-16)</sup>를 Table5에 제시하였다.

**4.4. 실내공기노출을 통한 발암 및 비발암 위해도 추정**

위해도 추정단계는 위해성 평가단계에서 용량-반응평가와 노출평가에서 산출된 결과를 조합하는 과정으로 실제 오염물질의 노출에 따른 평생 초과발암위해도 (Excess Cancer Risk, ECR) 또는 비발암독

**Table 4.** Cancer potencies and unit risks for subject's carcinogens

Carcinogens	Toxicological endpoint	Dose-response model	Cancer potency (mg/kg/day) <sup>-1</sup>	Unit risk ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>-1</sup>
Formaldehyde	squamous cell carcinoma	Linearized multistage model	$4.60 \times 10^{-2}$	$1.30 \times 10^{-5}$
Acetaldehyde	Nasal squamous cell carcinoma or adenocarcinoma	Linearized multistage model	$7.70 \times 10^{-3}$	$2.20 \times 10^{-6}$
Benzene	leukaemia	Linearized multistage model	$3.60 \times 10^{-2}$	$6.00 \times 10^{-6}$

**Table 5.** Reference concentration (RfC) for subject's chemicals

Chemicals	Toxicological endpoint	Toxicity data (mg/m <sup>3</sup> )	RfC (mg/m <sup>3</sup> )
Toluene	CNS effects	LOAEL = 119	0.4
Ethybenzene	Developmental toxicity	NOAEL = 434	1.0
Xylene	Impaired motor coordination	NOAEL = 39	0.1
Styrene	CNS effects	NOAEL = 34	1.0

1) Lowest Observed Adversed Effect Level 2) No Observed Adversed Effect Level

성위험값 (Hazard Quotient, HQ)를 산정하는 과정이다<sup>17)</sup>.

대상 시설 이용자 특성에 따른 건강 위해성 평가를 위해서 노출 시나리오에 의한 시설별 인체노출량과 대상 물질의 용량-반응 평가 결과를 이용하였다. 발암성 물질에 의한 평생 초과발암위해도, ECR과 비발암 물질에 의한 독성위험값, HQ는 각각 수식 (2)와 (3)을 이용하였다. 참고적으로 인체노출량 (LADD)은 오염농도 일일호흡율, 체중, 노출빈도, 노출기간 및 기대수명 등을 고려하여 산출할 수 있으며, 발암력 (Cancer potency)은 단위노출용량당 (mg/kg/day) 초과발암률로써 용량-반응곡선에서 기울기 (Slope factor) 또는 선형 계수 (Linear coefficient)의 95% 상한값을 의미한다. 비발암물질의 RfC값은 US EPA에서 미국 일반 성인의 일일호흡률 (20 m<sup>3</sup>/day) 및 체중 (60 kg)을 이용하여 단위 환산을 하였기에 본 연구에서는 이를 다시 고려하여 RfC의 단위를

인체일일노출량과 동일한 mg/kg/day로 보정하여 HQ를 산출하였다.

$$ECR = LADD(\text{mg/kg/day}) \times Slope\ factor((\text{mg/kg/day})^{-1}) \quad (2)$$

$$HQ = \frac{LADD(\text{mg/kg/day})}{RfC(\text{mg/m}^3) \times 20(\text{m}^3/\text{day}) / 70(\text{kg})} \quad (3)$$

## 5. 결 과

### 5.1. 실내 유해물질 측정결과

전국 미적용 다중이용시설 및 소규모시설의 실내 공기 중 포름알데히드 (n=402)의 농도범위는 불검출 ~ 829.53 µg/m<sup>3</sup>, 평균값 75.20 µg, 중앙값 39.21 µg/m<sup>3</sup>으로 나타났다. 톨루엔 (n=398)의 농도범위는 불검출 ~ 1106.50 µg/m<sup>3</sup>, 평균값 143.80 µg/m<sup>3</sup>, 중앙값 62.17 µg/m<sup>3</sup>였다. 기타 자세한 농도분포는 Table 6에 제시하였다.

**Table 6.** Distribution of concentrations for VOCs in indoor air at all subject's facilities

Chemicals	Concentration (µg/m <sup>3</sup> )							
	Theater (n=70)	Office (n=86)	Restaurant (n=86)	Academy (n=70)	Auditorium (n=22)	PC-Room (n=30)	Singing-Room (n=30)	Bar (n=30)
Formaldehyde	54±55.6 (5.4~426.5)	43.5±36.5 (ND~252.5)	39±42.9 (ND~829.5)	74.8±58.6 (56~617.6)	63.2±53.7 (4.2~732.8)	63.2±53.7 (ND~388.2)	51.4±44.4 (12.5~187.2)	84.5±81.6 (4.15~352.6)
Acetaldehyde	34.5±28.5 (ND~150.2)	23.8±22.6 (ND~95.7)	35.2±27.4 (ND~188.3)	32.8±27.4 (9.7~331.8)	40.8±59.8 (ND~218.7)	37.2±23.6 (ND~110.9)	26.4±20.4 (4.8~98.7)	46±33.7 (9.4~227.7)
Benzene	12.8±11.9 (0.4~52.2)	8.7±12.4 (ND~102.3)	8.4±7.6 (ND~104.1)	8.2±9.1 (0.9~121.1)	12.2±12.8 (2.0~114.2)	29.9±19 (1.9~123.9)	26±20.2 (0.4~94.5)	29.4±19.6 (2.1~188.9)
Toluene	145.6±155.8 (0.9~565)	97.8±164.4 (0.4~1089)	82.5±101.5 (ND~633.2)	127.3±192.3 (0.47~980.1)	136.9±144.8 (10.3~643.9)	186.8±127.7 (17.7~1106)	143.4±109.3 (0.6~849.6)	177.9±115.6 (1~746.7)
Ethylbenzene	14.8±14.7 (ND~56.9)	8.5±9.7 (ND~126.7)	9.2±8.0 (ND~61.3)	8.4±7.6 (0.9~57)	10.0±10.8 (0.2~43.8)	20.3±24.8 (0.3~113.8)	14.4±13.2 (0.3~400)	18.2±16.8 (1.4~54.8)
Xylene	34.6±37.4 (ND~124.3)	18.7±21.9 (0.7~416.4)	13.7±13.1 (0.5~281.5)	20.0±21.1 (0.3~255)	38.6±45.7 (ND~103.7)	47.2±45.4 (3.3~221.2)	31.4±24.3 (0.5~815.5)	36.3±28.8 (0.5~225.3)
Styrene	6.6±6.9 (ND~34.5)	3.5±5.0 (ND~86.4)	4.6±4.9 (ND~106.2)	5.9±7.1 (0.1~417.6)	4.3±3.8 (ND~13.9)	10.0±9.0 (ND~77.5)	7.6±7.1 (0.7~206.4)	7.0±6.8 (0.7~51.5)

ND: Not detected, N: Facilities Number

대상 물질 중 현행 실내공기질관리법에서 규제 또는 권고 기준이 제시되어 있는 물질은 포름알데히드뿐이며, VOCs는 TVOCs (Total Volatile Organic Compounds)로 권고하고 있을 뿐, 개별 물질별 관리 기준을 제시되어 있지 않다. 포름알데히드의 권고 기준은  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 연구대상 시설군별 다중이용 시설 기준치 초과율은 공연장 31.8%, 주점 26.7%, 학원 20.0%, 노래방, 16.7%, PC방 13.3%, 영화관 11.4%, 음식점 9.3%, 업무시설 8.1%의 순으로 조사되었다. 위해성 평가를 위한 물질별 농도는 평균값을 대푯값으로 사용하였다.

## 5.2. 건강 위해성평가

### 5.2.1. 발암성 물질의 평가

연구대상시설 노출시나리오별 포름알데히드의

평생 초과발암해도는 영화관의 경우 서울-비흡연시설 근무자의 경우 평균 인구 만명당  $1.34 \times 10^{-4}$ , 최빈이용자의 경우 평균 인구 십만명당  $1.04 \times 10^{-4}$ , 평균이용자의 경우 평균 인구 백만명당  $3.99 \times 10^{-4}$ 로 근무자는 다소 높은 인체 위해도로 산출되었다. 미적용 다중이용시설 및 소규모 시설의 근무자들의 포름알데히드의 평생 초과발암해도는 대부분 만명당 1명 ( $1 \times 10^{-4}$ ) 이상으로 산출되어 근무자들의 근무여건을 개선하기 위한 저감 조치가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 미적용 다중이용시설 중 대형음식점, 학원, 공연장 및 소규모시설 중 노래방, 주점의 최빈이용자들의 포름알데히드의 평생 초과발암위해도가 대부분 만명당 1명 ( $1 \times 10^{-4}$ ) 수준으로 산출되었으며, 평균이용자들은 7개 시설

**Table 7.** Excess cancer risks of formaldehyde in indoor air for the subject's facilities

Facilities	Exposure scenarios	Groups			
		M-NS <sup>a)</sup>	M-S <sup>b)</sup>	O-NS <sup>c)</sup>	O-S <sup>d)</sup>
Movie theater	Worst	1.34E-04	1.20E-04	2.65E-04	- <sup>e)</sup>
	Moderate	1.04E-05	9.34E-06	2.06E-05	-
	Lowest	3.99E-06	3.58E-06	7.89E-06	-
Office	Worst	3.45E-04	1.62E-04	1.05E-04	1.07E-04
	Moderate	NA <sup>f)</sup>	NA	NA	NA
	Lowest	NA	NA	NA	NA
Restaurant	Worst	3.77E-04	4.48E-04	1.51E-04	3.24E-04
	Moderate	2.64E-04	3.13E-04	1.06E-04	2.27E-04
	Lowest	5.60E-05	6.66E-05	2.24E-05	4.81E-05
Academy	Worst	3.19E-04	2.64E-04	2.97E-04	-
	Moderate	1.76E-04	1.46E-04	1.63E-04	-
	Lowest	6.94E-05	5.75E-05	6.45E-05	-
Auditorium	Worst	4.87E-04	1.01E-03	3.41E-04	1.80E-04
	Moderate	1.61E-04	3.34E-04	1.13E-04	5.95E-05
	Lowest	7.39E-05	1.53E-04	5.17E-05	2.73E-05
PC-room	Worst	1.77E-04	2.66E-04	-	-
	Moderate	7.95E-05	1.20E-04	-	-
	Lowest	1.11E-05	1.68E-05	-	-
Singing-room	Worst	1.20E-04	1.52E-04	-	-
	Moderate	1.30E-04	1.64E-04	-	-
	Lowest	2.59E-05	3.26E-05	-	-
Bar	Worst	3.95E-04	2.90E-04	-	-
	Moderate	3.34E-04	2.45E-04	-	-
	Lowest	8.76E-05	6.43E-05	-	-

a) M-NS : Metropolitan\_nonsmoking\_facility, b) M-S : Metropolitan\_smoking\_facility

c) O-NS : Chungcheong, Honam, Yeongnam\_nonsmoking\_facility

d) O-S : Chungcheong, Honam, Yeongnam\_smoking\_facility

e) The object does not exist and can not presume

f) An assessment impossibility about different scenario because a main user of the office worker

(본 연구에서는 업무시설 이용자가 없는 것으로 평가) 모두 포름알데히드의 평생 초과발암해도가 대부분 만명당 1명 ( $1 \times 10^{-4}$ ) 이상으로 산출되어 관리가 필요할 것으로 사료되며, 포름알데히드로 인한 초과발암위해도의 결과만으로는 실내흡연이 가능한 대형음식점과 문화공연장이 문제가 될 수 있다 (Table 7). 아세트알데히드의 경우 포름알데히드보다 위해도가 낮으므로 언급하지 않는다.

연구대상시설 노출시나리오별 벤젠의 평생 초과발암위해도는 대형음식점 (서울-비흡연시설)의 경우 근무자는 평균 인구 만명당 1.01명 ( $1.01 \times 10^{-4}$ ), 최빈이용자는 평균 인구 백만명당 7.04명 ( $7.04 \times 10^{-5}$ ), 평균이용자는 평균 인구 백만명당 1.05 ( $1.05 \times 10^{-5}$ )

으로 근무자가 다소 높은 인체 위해도로 산출되었다. 미적용 다중이용시설 및 소규모시설의 근무자들의 벤젠의 평생 초과발암해도는 업무시설, 대형음식점, 학원, PC방, 주점이 만명당 1명 ( $1 \times 10^{-4}$ ) 이상으로 산출되어 관리가 필요하며, 또한, 미적용 다중이용시설 중 음식점, 학원 공연장 및 노래방을 제외한 소규모 시설의 경우 최빈이용자들의 평생 초과발암해도가 대부분 십만명당 1명 ( $1 \times 10^{-5}$ ) 이상으로 산출되었으며, 노래방의 경우, 최빈이용자가 근무자보다 더 높은 초과발암위해도를 가져 이용자들을 위한 저감 조치가 필요할 것으로 판단된다 (Table 8).

**Table 8.** Excess cancer risks of benzene in indoor air for the subject's facilities

Facilities	Exposure scenarios	Groups			
		M-NS <sup>a)</sup>	M-S <sup>b)</sup>	O-NS <sup>c)</sup>	O-S <sup>d)</sup>
Movie theater	Worst	8.60E-05	5.33E-05	1.39E-05	- <sup>e)</sup>
	Moderate	6.67E-06	4.13E-06	1.08E-06	-
	Lowest	2.56E-06	1.58E-06	4.14E-07	-
Office	Worst	1.20E-04	1.09E-04	5.63E-06	7.46E-06
	Moderate	NA <sup>f)</sup>	NA	NA	NA
	Lowest	NA	NA	NA	NA
Restaurant	Worst	1.01E-04	1.34E-04	1.61E-05	1.38E-05
	Moderate	7.04E-05	9.34E-05	1.13E-05	9.66E-06
	Lowest	1.50E-05	1.99E-05	2.39E-06	2.05E-06
Academy	Worst	1.09E-04	1.05E-04	1.58E-05	-
	Moderate	6.03E-05	5.76E-05	8.68E-06	-
	Lowest	2.38E-05	2.27E-05	3.43E-06	-
Auditorium	Worst	9.35E-05	1.40E-04	1.11E-05	4.63E-06
	Moderate	3.10E-05	4.63E-05	3.68E-06	1.54E-06
	Lowest	1.42E-05	2.12E-05	1.69E-06	7.04E-07
PC-room	Worst	5.76E-05	1.23E-04	-	-
	Moderate	2.59E-05	5.53E-05	-	-
	Lowest	3.63E-06	7.74E-06	-	-
Singing-room	Worst	9.62E-05	6.81E-05	-	-
	Moderate	1.04E-05	7.36E-05	-	-
	Lowest	2.07E-05	1.47E-05	-	-
Bar	Worst	1.02E-04	1.22E-04	-	-
	Moderate	8.64E-05	1.03E-04	-	-
	Lowest	2.27E-05	2.69E-05	-	-

a) M-NS : Metropolitan\_nonsmoking\_facility, b) M-S : Metropolitan\_smoking\_facility

c) O-NS : Chungcheong, Honam, Yeongnam\_nonsmoking\_facility

d) O-S : Chungcheong, Honam, Yeongnam\_smoking\_facility

e) The object does not exist and can not presume

f) An assessment impossibility about different scenario because a main user of the office worker



### 5.2.2. 비발암성 물질의 평가

연구대상시설 노출시나리오별 톨루엔의 독성위험값 (HQ)은 대형음식점 (서울\_비흡연시설)을 예로 들어, 근무자의 경우 평균 0.17, 최빈이용자의 경우 평균 0.11, 평균이용자의 경우 평균 0.02로 산출되었으나, 현재의 오염수준이 허용 가능한 수준 (독성위험값, HQ, 1)을 초과하지 않으므로 유해영향이 발생할 가능성이 없는 것으로 평가되었다. 미적용 다중이용시설 및 소규모시설의 근무자들의 톨루엔의 독성위험값 (HQ)은 0.01~0.35 사이로 산출되었는데, 이 중 대형음식점 (서울-흡연시설)의 독성위험값이 0.35로 가장 높았다. 또한, 미적용다중이용시설 및

소규모시설 중 노래방, 주점의 최빈 및 평균이용자들은 7개 시설 (업무시설 이용자가 없는 것으로 본 연구에서는 평가) 모두 톨루엔의 독성위험값 (HQ)이 1 이하로 산출되어 위해도가 낮은 것으로 평가되었다 (Table 9).

연구대상시설 노출시나리오별 자이렌의 독성위험값은 음식점 (서울-비흡연시설)-근무자의 경우 평균 0.22, 최빈이용자의 경우 평균 0.15, 평균이용자의 경우 평균 0.03로 산출되어 근무자와 최빈이용자가 평균이용자에 비해 높은 독성위험값을 가졌으나, 현재의 오염수준이 허용 가능한 수준 (위험값 1)을 초과하지 않으므로 유해영향이 발생할 가능성은

**Table 9.** Hazardous quotient (HQ) of toluene in indoor air for the subject's facilities

Facilities	Exposure scenarios	Groups			
		M-NS <sup>a)</sup>	M-S <sup>b)</sup>	O-NS <sup>c)</sup>	O-S <sup>d)</sup>
Movie theater	Worst	0.12	0.067	0.027	- <sup>e)</sup>
	Moderate	0.01	0.005	0.002	-
	Lowest	<0.01	<0.01	<0.01	-
Office	Worst	0.33	0.25	0.02	0.02
	Moderate	NA <sup>f)</sup>	NA	NA	NA
	Lowest	NA	NA	NA	NA
Restaurant	Worst	0.17	0.35	0.03	0.01
	Moderate	0.11	0.25	0.02	0.01
	Lowest	0.02	0.05	<0.01	<0.01
Academy	Worst	0.21	0.19	0.06	-
	Moderate	0.11	0.11	0.04	-
	Lowest	0.05	0.04	0.01	-
Auditorium	Worst	0.17	0.16	0.02	0.03
	Moderate	0.06	0.05	0.01	0.01
	Lowest	0.03	0.02	<0.01	<0.01
PC-room	Worst	0.12	0.13	-	-
	Moderate	0.05	0.06	-	-
	Lowest	0.01	0.01	-	-
Singing-room	Worst	0.06	0.08	-	-
	Moderate	0.07	0.09	-	-
	Lowest	0.01	0.02	-	-
Bar	Worst	0.10	0.11	-	-
	Moderate	0.08	0.09	-	-
	Lowest	0.02	0.02	-	-

a) M-NS : Metropolitan\_nonsmoking\_facility, b) M-S : Metropolitan\_smoking\_facility

c) O-NS : Chungcheong, Honam, Yeongnam\_nonsmoking\_facility

d) O-S : Chungcheong, Honam, Yeongnam\_smoking\_facility

e) The object does not exist and can not presume

f) An assessment impossibility about different scenario because a main user of the office worker

없는 것으로 평가되었다. 미적용 다중이용시설 및 소규모시설의 근무자들의 자이렌의 독성위험값 0.02~0.28 사이로 산출되었는데, 이 중 업무시설(서울-흡연시설)의 독성위험값이 0.28로 가장 높았다. 또한, 미적용시설 및 소규모시설 중 노래방, 주점의 최빈 및 평균이용자들은 7개 시설(업무시설 이용자)가 없는 것으로 본 연구에서는(평가)모두 자이렌의 독성위험값이 대부분 1 이하로 산출되어 위해도가 낮은 것으로 평가되었다. 그 외 에틸벤젠, 스티렌의 독성위험값은 톨루엔과 자이렌의 결과보다 낮은 독성위험값을 나타내었다 (Table 10).

## 6. 고 찰

일반적으로 빌딩 및 시설에서의 오염원은 부적절

한 난방, 환기, 에어컨 시스템 및 스토브 등의 연소 시설이 될 수 있으며, 담배연기 또한 휘발성유기화합물류의 노출원이다<sup>18)</sup>. 또한 포름알데히드는 생산량의 절반정도는 결합제, 접착제, 합판, 직물코팅제를 만드는데 사용하는 요소-포름알데히드와 페놀-알데히드를 만드는데 사용된다<sup>19)</sup>. 본 연구에서는 다양한 미적용시설과 노출상황이 고려되어야 했으므로, 이들 변수에 의한 명확한 조사는 이루어지지 않았고, 조사된 내용을 분석한 결과 뚜렷한 경향성은 관찰되지 않았다. 추가적인 대규모 실태조사 뿐만 아니라 건축자재 및 주요변수를 감안한 추가적인 연구가 필요하다.

실태조사를 바탕으로 한 평가의 경우 정확한 현장 측정으로 인한 신뢰성 있는 분석이 무엇보다도

**Table 10.** Hazardous quotient (HQ) of xylene in indoor air for the subject's facilities

Facilities	Exposure scenarios	Groups			
		M-NS <sup>a)</sup>	M-S <sup>b)</sup>	O-NS <sup>c)</sup>	O-S <sup>d)</sup>
Movie theater	Worst	0.12	0.06	0.03	- <sup>e)</sup>
	Moderate	0.01	<0.01	<0.01	-
	Lowest	<0.01	<0.01	<0.01	-
Office	Worst	0.17	0.28	0.02	0.03
	Moderate	NA <sup>f)</sup>	NA	NA	NA
	Lowest	NA	NA	NA	NA
Restaurant	Worst	0.21	0.16	0.04	0.02
	Moderate	0.15	0.11	0.03	0.01
	Lowest	0.03	0.02	0.01	<0.01
Academy	Worst	0.24	0.11	0.07	-
	Moderate	0.13	0.06	0.02	-
	Lowest	0.05	0.02	0.01	-
Auditorium	Worst	0.14	0.16	0.02	0.03
	Moderate	0.04	0.05	0.01	0.01
	Lowest	0.02	0.02	<0.01	<0.01
PC-room	Worst	0.08	0.20	-	-
	Moderate	0.04	0.09	-	-
	Lowest	0.01	0.01	-	-
Singing-room	Worst	0.07	0.17	-	-
	Moderate	0.08	0.18	-	-
	Lowest	0.02	0.04	-	-
Bar	Worst	0.16	0.13	-	-
	Moderate	0.13	0.11	-	-
	Lowest	0.03	0.03	-	-

a) M-NS : Metropolitan\_nonsmoking\_facility, b) M-S : Metropolitan\_smoking\_facility

c) O-NS : Chungcheong, Honam, Yeongnam\_nonsmoking\_facility

d) O-S : Chungcheong, Honam, Yeongnam\_smoking\_facility

e) The object does not exist and can not presume

f) An assessment impossibility about different scenario because a main user of the office worker

중요하다. 본 연구에서 가장 큰 현실적인 제한점으로 실내흡연은 벤젠 등의 노출의 중요한 변수이지만, 해당 시설내 측정이 정상적인 영업에 큰 지장을 준다는 일부 업주의 반대로 인해 측정이 업종별 영업 중인 시간대에는 측정하지 못한 현실적인 제한점 등으로 인해 본 연구에서의 평가가 흡연시설의 경우 다소 낮게 평가된 경향이 있으므로, 본 평가에서는 흡연여부에 따른 평가를 실시하였음에도 불구하고, 일부 시설에서 흡연시설에 대한 위해도가 크지 않은 것으로 평가되었다.

본 연구에서 실시한 미적용 다중이용시설의 실내 공기 오염으로 인한 건강 위해성평가는 현재 운영 중인 시설의 실내 오염도 자료를 이용하여, 같은 조건으로 평생 (70년) 동안 노출될 경우를 가정하여 (worst condition) 인체 위해 수준을 평가함으로써 이에 따른 불확실성이 존재할 것이다.

인체 위해성 평가를 바탕으로 환경 중 유해화학물질을 관리하고 있는 미국, 유럽 및 세계보건기구에서는 건강 보호를 위한 건강 목표치 설정에 위해성 평가 기법을 활용하고 있다. 원칙적으로는 ALARA (As Low As Reasonably Achievable)에 의해 인체 위해성 평가에 근거한 건강 목표치는 발암물질의 경우 목표치는 '0 (zero)'이어야 하지만, 실질적으로 이는 도달할 수 없는 이상치이므로, 실질적인 건강 목표치로서 미국 환경보호청에서는  $10^{-6}$ ~ $10^{-4}$ 의 위해도 범위 내에서 기술·사회·경제적인 부분을 고려하여 설정하고 있으며, 세계보건기구에서는  $10^{-5}$ 의 인체 위해도에 해당하는 농도를 근거로 권고 기준을 제안하고 있다. 비발암물질의 경우에는 비발암 독성 참고치를 기준으로 안전수준을 고려하여 평생노출이 되어도 유해영향이 나타나지 않을 농도를 산출하고, 이를 건강 목표치로서 활용하게 된다. 우리나라의 경우도 이러한 시설별 노출패턴을 고려한 위해도에 바탕을 둔 건강위해성평가 기법을 활용하고 현실적인 상황을 반영한 다중이용시설의 건강보호 기준이 마련 되어야 한다.

## 7. 결 론

영화관, 업무시설, 대형음식점, 공연장, 학원의 미적용 다중이용시설과 PC방, 노래방 및 주점의 소규모

다중이용시설의 실내 공기질 실태 조사 결과를 바탕으로 인체 위해성 평가를 수행하였다. 포름알데히드와 벤젠의 발암에 의한 소규모 다중이용시설의 최빈이용자 및 상시 근무자들의 평생 초과발암 위해도는 대부분 만명당 1명 ( $1 \times 10^{-4}$ ) 이상 수준으로 산출됨으로서, 소규모 다중이용시설에서 장시간 거주하는 사람들을 위해 포름알데히드 및 벤젠의 발암성 물질에 대한 관리가 필요할 것으로 평가되었다. 비발암물질의 경우, 모든 시설에서 모든 대상 비발암성 물질의 독성위험값 (HQs)이 1.0을 초과하지는 않았다. 다만, 톨루엔과 자일렌의 경우 비발암 독성위험값 (HQs) 이 0.1을 초과하는 경우가 있어 잠재적인 인체 유해 물질로 평가되었다.

대상 시설별로는 흡연 유무에 상관없이 음식점, 학원 및 주점과 흡연이 가능한 PC방이 다른 시설에 비해 인체 위해도가 높게 산출되어 이들 시설에 대한 관리가 필요한 것으로 나타났다.

## 감사의 글

이 연구는 환경부(생활공해과) 2005년 연구용역 사업인 “미적용 다중이용시설 및 소규모 시설 실태 조사 I”에 의해 수행한 연구결과의 일부이며, 이에 대해 수고해주신 여러분께 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌

- 1) Jones A. P., 1999, Indoor air quality and health, Atmospheric Env., 9, 4535-4564.
- 2) 환경부, 2001, 실내공기오염물질의 위해성 평가 지침서.
- 3) 심상효, 김윤신, 양원호, 2006, 실내공기질 모델을 이용한 신축공동주택의 VOCs 및 HCHO 배출량 추정, 한국환경과학회지, 15(10), 929-933.
- 4) US Environmental Protection Agency (1989), Risk assessment guidance for superfund: volume I, Human health evaluation manual, Office of emergency and remedial reponse, EPA/540/1-89/002.
- 5) 국립환경과학원, 2005, 신축 공동주택 실내공기질 권고기준 설정 연구II.
- 6) U.S. EPA., 1997, NCEA(National Center For Environmental Assessment), Exposure Factors Handbook I.
- 7) Michael K., Christin V., 2005, Health determinants in Europe for indoor and outdoor pollutions from a pub-

- lic health and social medicine view, *Experimental and Toxicological Pathology*, 57, 9-17.
- 8) Juexin X., Xingming W., Guoying S., Xinhui B., Jiamo F., Determination of tobacco smoking influence on volatile organic compounds constituent by indoor tobacco smoking simulation experiment, *Atmospheric Env.*, 37, 3365-3374.
  - 9) KATS, 2004, Korean for Technology and Standards.
  - 10) Kerns W. D., Pavkov K. L., Donofrio D. J., 1983, Carcinogenicity of formaldehyde in rats and mice after long-term inhalation exposure, *Cancer Res.*, 43, 4382-4392.
  - 11) Woutersen R., Appelman A., 1984, Lifespan inhalation carcinogenicity study of acetaldehyde in rats. III. Recovery after 52 weeks of exposure. Report No. V84.288/190172. CIVO-Institutes TNO, The Netherlands.
  - 12) WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2000, Air Quality Guidelines-Second Edition.
  - 13) Foo S. C., Phoon W. O., Khoo N. Y., 1988, Toluene in blood after exposure to toluene, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 49, 255-258.
  - 14) Hardin B. D., Bond G. P., Sikov M. R., Andrew, F. D., Beliles R. P., Niemeier R. W., 1981, Testing of selected workplace chemicals for teratogenic potential, *Scand. J. Work Environ. Health.*, 7, 66-75.
  - 15) Korsak Z., Wisniewska-Knypl J., Swiercz R., 1994, Toxic effects of subchronic combined exposure to n-butyl alcohol and m-xylene in rats, *Int J Occup Med Environ Health.*, 7, 155-166.
  - 16) Mutti A., Mazzucchi A., Rustichelli P., Frigeri G., Arfini G., Franchini I., 1984, Exposure-effect and exposure-response relationships between occupational exposure to styrene and neuropsychological functions, *Am. J. Ind. Med.*, 5, 275-286.
  - 17) 정 용, 황만식, 양지연, 조성준, 1999, 납의 다경로 노출에 의한 건강위해성평가 : 우리나라 일부 지역 성인들을 대상으로, *환경독성학회지*, 14, 203-216.
  - 18) U.S. EPA, 1987, Assessment of Health Risk to Garment Workers and Certain Home Residents from Exposure to Formaldehyde., Office of Toxic Substances, Washington, DC.
  - 19) Imbus J. R., Tochilin S. J., 1988, Acute effect upon pulmonary function of low level exposure to phenol-formaldehyde-resin-coated wood, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 49, 434-437.