

## 보육시설 실내공기 중 휘발성유기화합물(VOCs)의 계절적 농도변화에 대한 연구

장성기\* · 천재영 · 김성연 · 박숙영 · 류정민 · 임정연 · 이우석

국립환경과학원 실내환경과  
(2007. 9. 27. 접수. 2007. 11. 9. 승인)

### Seasonal variations of volatile organic compounds (VOCs) in indoor air of daycare centers

Seong-Ki Jang\*, Jae-Young Chun, Sung-Youn Kim, Suk-Young Park, Jung-Min Ryu,  
Jung-Yeon Lim and Woo-Suk Lee

Indoor Air Quality Division, National Institute of Environmental Research, 404-708 Incheon, Korea  
(Received September 27, 2007; Accepted November 9, 2007)

**요 약:** 보육시설은 미취학전 아이들에게 중요한 실내 환경이며 하루 중 가장 많은 시간을 보내는 영유아들에 잠재적인 유해한 건강영향을 줄 수 있다. 따라서 본 연구는 2006년 2월에서 12월에 걸쳐 서울에 위치한 보육시설 29개 시설을 선정하여 실태조사를 하였다. 측정물질은 휘발성유기화합물 중 7개의 물질(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, *m, p*-자일렌, 스티렌, *o*-자일렌 및 TVOC)을 선정하였다. 보육시설에서의 TVOC, 톨루엔, *m, p*-자일렌, 에틸벤젠, 벤젠 그리고 스티렌의 평균농도는  $318.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $51.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $11.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $4.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, 정성분석된 TVOC 중 톨루엔은 17.6%로 가장 많은 비중을 차지하였다. TVOC와 톨루엔의 실내/실외 농도비는 각각 2.0, 1.6으로 나타났다. TVOCs의 계절에 따른 오염물질의 특성결과는 여름이  $433.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 나타났으며, 다른 계절은 겨울 280.5, 봄 298.3 및 가을  $264.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 비슷한 경향으로 나타났다.

**Abstract:** Daycare centers are an important indoor environment for pre-school children and exposure area with potential harmful health effects for infants and children who spend most of their daily life. Sampling was undertaken at 29 daycare centers located Seoul in Korea from January, 2006 to December 2006. The target compounds were 7 individual volatile organic compounds (benzene, toluene, ethylbenzene, *m, p*-xylene, styrene, *o*-xylene, TVOC). The mean concentrations of TVOC, toluene, *m, p*-xylene, ethylbenzene, benzene and styrene in daycare centers were  $318.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $51.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $11.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $4.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. Toluene occupied 17.6% of the concentration of individual VOCs. The ratio of indoor and outdoor (I/O) of TVOC and toluene were 2.0 and 1.6, respectively. The results of characteristics according to a season of a year, the concentration of TVOC were measured  $433.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , and these concentrations during third quarter of the year in summer were higher than the other season. In the other four seasons, TVOC were measured 280.5 in winter, 298.3 in spring and  $264.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in fall, respectively.

**Key words :** indoor air, volatile organic compounds(VOCs), daycare centers, season

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)32-560-732 Fax : +82-(0)32-561-7013

E-mail : skjang@me.go.kr

## 1. 서 론

기혼 여성들의 사회진출비율이 증가함에 따라 영·유아들은 가정이 아닌 보육시설에서 대부분의 시간을 보내고 있다. 보육시설을 이용하는 미취학 연령(1-5세)인 영·유아의 경우, 일반 성인에 비해 호흡기 계통이 취약하고, 면역시스템이 약하여 스스로의 방어능력이 부족하기 때문에 실내 오염물질에 보다 민감하며 건강의 악영향을 미칠 수 있음에도 불구하고 이러한 시설에 대한 실내공기 오염도 평가는 극히 한정적이고 미흡한 실정이다.

다양한 실내공기오염으로 인한 건강영향은 여러 가지로 분류할 수 있지만 일반적으로 호흡기계 영향, 눈의 영향, 피부영향 및 생리적 영향 등이 있으며, 이러한 실내 공기질 악화로 인한 암발생은 일부 보고되거나 논란이 되고 있다. 특히 휘발성유기화합물(volatile organic compounds, VOCs)의 경우 실내에 다양한 오염원이 존재하기 때문에 실외공기보다 실내공기 중 오염도가 높게 나타났다.<sup>1-3</sup> 이러한 VOCs의 실내 발생원은 접착제, 완구류, 다양한 교육도구, 건축자재 및 페인트 등이 있다.<sup>4</sup> 또한 대부분의 VOCs는 자체 독성<sup>5-6</sup>과 실내공기에서의 고농도 발생 빈도수가 많기 때문에 특별한 관심을 받고 있다.<sup>7-10</sup> 이러한 VOCs의 환경적 중요성 때문에 영·유아들이 대부분의 시간을 보내는 보육시설에서 VOCs에 대한 실내공기질 평가는 시급한 문제로 부각되고 있다.

보육시설 실내공기질의 중요성에 부응하여 일부 국내 실내공기질 연구는 유치원을 대상으로 도시와 시골로 구분하여 VOCs의 농도조사를 실시하였다. 그러나 국내 선행연구는 일부 농도조사, 측정시기 및 측정횟수의 한계성으로 보육시설의 전반적인 오염도 농도 조사결과가 항상 적합한 것만은 아니다. 따라서 본 연구에서는 보육시설의 전반적인 실태조사를 계절별(봄, 여름, 가을, 겨울)로 나누어 실내오염물질의 농도 변화의 특성에 대한 연구를 4회 반복 측정하여 자료의 대표성과 신뢰성을 확보 하였다. 또한 보육시설의 연간 각 실내오염물질의 구성비를 조사하였으며, 오염물질의 주요 발생경로를 파악하기 위하여 실내/실외 농도비를 조사하였다. VOCs는 환경인자에 영향을 받을 수 있을 것으로 판단하여 실내/실외 온·습도등 기타 인자를 동시에 조사 및 측정하였다.

본 연구는 전형적인 일반 실내 공기질과 관련되면서도 높은 건강 영향을 유발시키는 보육시설에서 발생할 가능성이 높은 VOCs의 계절적 농도변화 조사를

통해 보육시설 실내공기 오염도 특성평가를 실시하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 연구대상 및 연구범위

본 연구의 조사대상은 서울지역에 있는 대상시설 중 강동구 4개 시설, 강북구 5개 시설, 광진구 4개 시설, 노원구 6개 시설, 동작구 4개 시설, 서초구 1개 시설, 영등포구 5개 시설 등 총 29개의 보육시설을 대상으로 2006년 1월부터 12월까지 계절별로 나누어 실내공기 오염도에 대한 실태조사를 실시하였다. 계절별 실태조사는 겨울(2~3월), 봄(4~5월), 여름(7~8월), 가을(10~11월)로 나누어 실시하였으며, 측정지점은 영·유아의 활동량이 가장 많을 곳으로 예상되는 놀이방 1지점 및 식당 또는 로비 1지점을 선정하여 실내 오염도를 조사하였다. 시료채취는 벽으로부터 최소 1m 이상 떨어진 위치에서 바닥면으로부터 1.2~1.5 m 높이에 시료채취 장치를 설치하여 놀이방 중앙부에서 채취되었다.

측정대상물질은 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌 등 44개 개별 휘발성유기화합물과 총 휘발성유기화합물(Total Volatile Organic Compound, TVOC)을 측정 분석하였다.

### 2.2. 시료채취방법

휘발성유기화합물 시료채취는 MP-Σ30H(Sibata, Japan) 펌프를 사용하여 30분간 2회 채취로 Tenax-TA 200 mg이 충전된 흡착관(1/4"×9 cm, Perkin Elmer, UK)을 이용하여 채취하였다. 또한, 시료채취 시 마다 시료채취용으로 사용되는 흡착관 이외의 Field blank(나사형 마개로 밀봉된 상태)를 마련하여 시료채취 및 운반·보관기간 동안 발생할 수 있는 오염에 대한 보정을 하였다. 본 연구에 사용된 흡착관은 자동 전처리

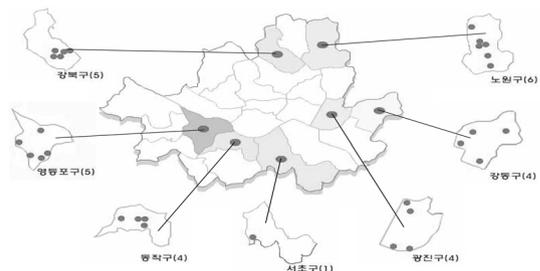


Fig. 1. Sampling site in this study.

Table 1. Analytical condition of Thermal desorptor (STD 1000, DANI, Italy) and GC/MS (GC-2010, Shimadzu, Japan)

	Parameter	Analysis Condition
STD 1000, DANI, Italy		
Thermal Desorptor	Purge temperature and time	40°C, 0.5 min
	Desorption temperature	300°C
	Desorption time and flow	15 min, 50 mL/min
	Cold trap low temperature	-10°C
	2nd desorption temperature	300°C
	Cold trap holding time	15 min
	Cold trap packing	Tenax-TA
	In Split	No
	Valve temperature	200°C
	Transfer line temperature	200°C
GC-2010, Shimadzu, Japan		
GC/MS	GC column	VB-1ms (60 m×0.32 mm×0.25 μm)
	Initial temperature	40°C (10 min)
	Oven ramp rate 1	4°C/min (40~180°C)
	Oven ramp rate 2	20°C/min (180~250°C)
	Final temperature	250°C (10 min)
	Column flow	1.5 mL/min
	MS source temperature	200°C
	Detector type	EI (Quadrupole)
	Mass Range	35~350 amu
	Electron energy	70 eV

장치인 Tube conditioner (ATC 1200, ACEN)를 이용해 고순도 질소가스가 분당 100 mL로 흐르는 조건 하에서 320°C에서 1시간 전처리하여 사용하였다. 한편, 시료는 채취 후 1주일 이내에 분석되었으며, 채취된 시료는 밀봉된 상태로 분석 전까지 4 °C의 냉장고에 보관하였다.

### 2.3. 시료분석

VOC의 농도 정량을 위한 검량선(calibration curve)은 표준시료 함침 장치를 이용하여 액상 표준물질(Japanese indoor air standards mix, Supelco, USA)을 흡착관에 함침받아 만든 5단계 농도수준(20 ng, 50 ng, 100 ng, 200 ng, 500 ng) 표준시료들을 분석하여 작성하였다. TVOC는 액상표준물질을 이용한 외부 보정법으로 톨루엔 검량식에 대입하여 농도를 구하였으며, 그 외 개별 VOC는 각 해당되는 표준물질에 대한 감응계수를 이용하여 농도를 정량하였다. 이때 감응계수 및 검량식에 사용된 물질별 피크면적은 총이온크로마토그램을 이용하였다.

표준시료 및 현장시료에 함유된 VOC 대상물질의 분석에는 열탈착장치(STD 1000, DANI, Italy)가 가스

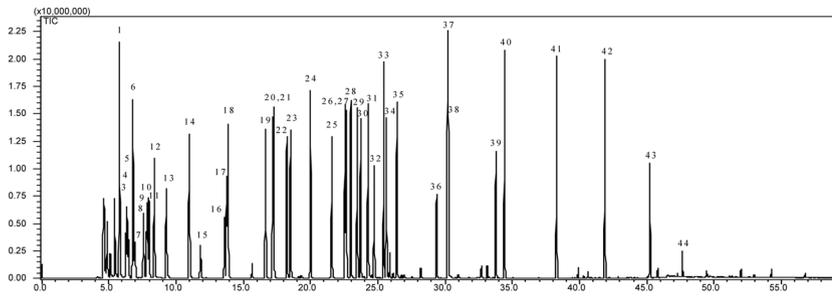
크로마토그래프(GC)칼럼(VB-1 ms, 60 m×0.32 mm×0.25 μm)으로 직접 연결된 가스크로마토그래프/질량분석기(Shimadzu, GC-2010, Japan)시스템을 사용하였다. 흡착관에 채취된 분석대상 VOC는 일차적으로 300 °C에서 50 mL/min의 유량으로 15분간 열탈착된다(운반가스 He). 탈착된 시료는 다시 -10°C의 저온응축트랩에서 농축된 후 300°C에서 이차 열탈착되어 GC의 분석칼럼으로 주입되게 된다. VOC시료 분석에 사용된 열탈착장치와 GC/MS의 운전조건은 Table 1에 나타내었다.

위와 같은 분석조건에서 분석된 표준시료에 대한 GC/MS의 크로마토그램은 Fig. 2에 나타내었다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 정도관리

본 연구에서는 보육시설 내에서 발생하는 실내공기 오염물질을 측정함에 있어 시료 채취 및 분석 시 사용된 고체흡착관/자동열탈착장치(GC/MS)의 전반적인 성능을 평가하기 위하여 재현성, 시료의 검출한계 및 회수율을 평가하였다.



1	n-Hexane	23	o-Xylene
2	Chloroform	24	n-Nonane
3	1,2-Dichloroethane	25	alpha-Pinene
4	2,4-Dimethylpentane	26	n-Ethyltoluene
5	1,1,1-Trichloroethane	27	p-Ethyltoluene
6	n-Butanol	28	1,3,5-Trimethylbenzene
7	Benzene	29	n-Ethyltoluene
8	Carbon Tetrachloride	30	Beta-Pinene
9	1,2-Dichloropropane	31	1,2,4-Trimethylbenzene
10	Bromodichloroethane	32	n-Decane
11	Trichloroethylene	33	1,4-Dichlorobenzene
12	2,2,4-Trimethylpentane	34	1,2,3-Trimethylbenzene
13	n-Heptane	35	D-Limonene
14	Methyl Isobutyl Ketone	36	Nonanal
15	Toluene	37	n-Undecane
16	Dibromochloroethane	38	1,2,4,5-tetramethylbenzene
17	n-Butyl acetate	39	Decanal
18	n-Octane	40	n-Dodecane
19	Tetrahydroethylene	41	n-Tridecane
20	Ethylbenzene	42	n-Tetradecane
21	m,p-Xylene	43	n-Pentadecane
22	Styrene	44	n-Hexadecane

Fig. 2. Chromatogram of VOCs standard solution.

Table 2. Repeatability of GC/MS analysis

Pollutant	Response Factor	Retention Time
Benzene	4.7	0.04
Toluene	10.3	0.03
Ethylbenzene	3.8	0.02
m,p-Xylene	4.3	0.12
Styrene	4.6	0.02
o-Xylene	3.0	0.02

Table 3. Estimation of method detection limits for VOCs by GC/MS

Pollutant	MDL	
	ng	µg/m <sup>3</sup>
Benzene	0.64	0.11
Toluene	1.72	0.29
Ethylbenzene	2.18	0.36
m,p-Xylene	3.21	0.54
Styrene	0.59	0.10
o-Xylene	3.39	0.56

3.1.1. 분석기기의 재현성 평가

휘발성유기화합물은 5단계 농도수준(5 ng, 10 ng, 20 ng, 50 ng, 100 ng)의 표준물질을 고체흡착관에 주입하여 열탈착 전처리 후 GC/MS를 이용하여 분석하였으며, 재현성 분석결과는 감응계수의 RSD가 20% 이내로 나타났으며, 체류시간에 대한 재현성은 RSD가 0.1% 이하로 나타나 상당히 양호한 것으로 나타났다.

3.1.2. 검출한계 평가

본 연구에 사용된 방법검출한계(Method detection limits, MDL)는 피크면적의 검출에 적용된 signal 대 noise값을 고려하여 추정된 값(IDL)의 3~5배 되는 낮은 농도의 액상표준물질을 대상으로 7회 반복 분석을

Table 4. Recovery test for the analysis of VOCs by thermal desorption

Pollutant	DI(ng)	TD(ng)	RE(%) <sup>a</sup>
Benzene	473.27	482.95	102.0
Toluene	650.28	611.11	94.0
Ethylbenzene	609.11	651.48	107.0
m,p-Xylene	428.20	368.76	86.4
Styrene	577.36	602.13	104.3
o-Xylene	660.40	750.18	113.6

Note) <sup>a</sup>Recovery Efficiency (RE) = TD (Thermal Desorption) / DI(Direct Injection) × 100

수행한 후 각 물질의 측정농도에 대한 표준편차를 적용하여 계산하였다. 방법검출한계를 평가한 결과, 휘발성유기화합물의 종류에 따라 0.64~3.36 ng의 범위로 나타났으며, 이 값을 본 연구에서 사용한 현장 시료채취유량 6 L로 나누어 공기 중 농도로 환산하면 0.10~0.56 µg/m<sup>3</sup>에 해당하였다.

3.1.3. 열탈착장치(Thermal Desorber TD)의 회수율 평가

휘발성유기화합물에 대한 열 탈착장치의 회수율을 평가한 결과, 회수율이 86.4~113.6%로 나타나 U. S. EPA 기준인 80~120%의 범위를 만족하였다(Table 4). 따라서 본 연구에서는 열 탈착과정에서 시료손실의 가능성이 거의 없다고 판단하여 시료의 농도 계산 시 회수율 보정은 하지 않았다.

3.2. 보육시설 실내오염물질 실태조사

3.2.1. 휘발성유기화합물

보육시설에서 측정 분석한 44개의 개별 물질 중 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, m,p-자일렌, 스티렌 및 o-자일렌의 농도를 산술평균값, 표준편차, 최대값, 중앙값, 최소값으로 구분하여 Table 5에 나타내었다.

Table 5. Concentration of volatile organic compounds in daycare centers

Pollutant	N	Mean	S.D	Max	Median	Min	I/O
Benzene	183	4.2	3.4	13.1	3.6	N.D	2.2
Toluene	199	51.6	29.3	162.1	44.6	6.3	1.6
Ethylbenzene	200	6.5	4.6	24.6	5.3	N.D	1.6
<i>m,p</i> -Xylene	198	11.7	7.6	38.7	10.7	N.D	2.0
Styrene	195	3.6	5.3	31.6	1.8	N.D	1.9
<i>o</i> -Xylene	199	3.6	2.9	15.3	3.4	N.D	2.0
TVOC	201	318.7	168.5	891.5	282.9	46.6	2.0

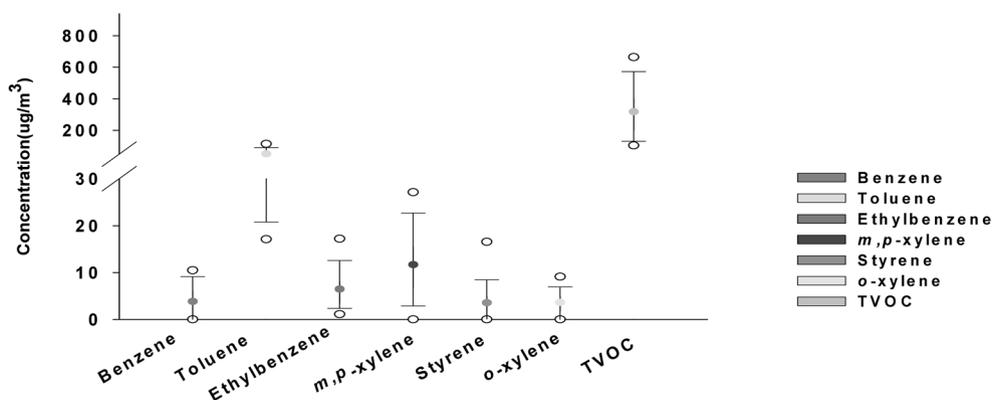


Fig. 3. Box-Plot for concentration of VOCs measured indoor air.

보육시설의 TVOC의 평균농도는 약  $318.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 톨루엔이  $51.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , *m, p*-자일렌  $11.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 에틸벤젠  $6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 벤젠  $4.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  및 스티렌  $3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 순으로 나타났다(Fig. 3).

2005년 유치원, 초등학교, 중학교 및 고등학교를 대상으로 한 연구에서 유치원의 TVOC 평균 농도는  $642.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 초등학교  $496.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 중학교  $634.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 고등학교  $518.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 보고되었으며,<sup>11</sup> 윤 등의 연구에서는 도시 유아교육시설에서 휘발성유기화합물을 측정된 결과, 벤젠이  $8.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 톨루엔이  $86.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , TVOC이  $548.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되어 본 연구결과보다 높은 결과가 나타났다.<sup>12</sup>

실내/실외 농도비(I/O ratio)에서 TVOC는 2.0, 톨루엔은 1.6으로 대부분 실내에서 높게 나타났다. EPA의 노출평가 보고에서도 실내의 VOCs 농도가 실외보다 2~5배 높다고 보고되었다.<sup>22</sup> Lioy 등의 연구에서도 실외보다 실내 VOCs 농도가 높은 것으로 보고되었는데 이는 실내에 존재하는 가구, 난방을 위한 연소, 음식 조리, 건물 내벽 페인트, 접착제, 물감, 각종 학습우드 제품, 마감재료, 복사기 토너 등으로부터 VOCs가 배출되기 때문인 것으로 평가되었다.<sup>23</sup>

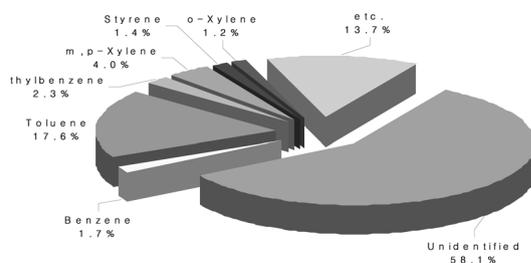


Fig. 4. Composition ratio of volatile organic compounds (VOCs).

### 3.3. 실내공기오염물질의 구성

보육시설 내 실내공기오염물질 TVOC 중 정성분석된 물질이 41.9%이고 그 중, 개별 VOC 구성비는 톨루엔이 17.6%로 가장 많은 비중을 차지하였으며, *m, p*-자일렌(4.0%), 에틸벤젠(2.3%)순으로 나타났다. 반면 벤젠, 스티렌 및 *o*-자일렌의 구성비 범위는 1.2~1.6%로 낮게 나타났다(Fig. 4).

### 3.4. 계절별 실내공기 오염도

VOCs 3종(톨루엔, *m, p*-자일렌, TVOC)의 계절(1/4, 2/4, 3/4, 4/4)별 실내오염도 결과를 Table 6에 나타내

Table 6. Comparison of VOCs concentration according to a season in indoor air (Unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Site No.	Winter			Spring			Summer			Fall		
	TVOC	Toluene	<i>m,p</i> -Xylene	TVOC	Toluene	<i>m,p</i> -Xylene	TVOC	Toluene	<i>m,p</i> -Xylene	TVOC	Toluene	<i>m,p</i> -Xylene
1	226.1	44.1	8.2	158.6	32.2	0.0	307.2	38.2	10.2	323.9	25.2	11.9
2	273.0	46.0	15.1	272.5	67.0	12.6	414.5	63.1	17.5	229.4	23.9	7.5
3	187.7	39.3	10.1	163.8	43.1	0.0	244.8	26.5	5.7	225.3	36.6	13.8
4	199.6	44.8	8.3	364.3	83.8	14.8	875.1	45.3	NA	351.7	63.3	29.1
5	175.4	36.6	11.5	208.1	40.5	6.9	409.0	36.3	10.5	75.6	21.3	3.9
6	674.7	121.9	15.2	254.9	39.6	8.6	696.5	81.6	16.8	262.5	36.2	13.2
7	197.1	51.0	8.5	-	-	-	388.5	49.5	16.4	219.5	30.6	8.4
8	302.5	63.0	11.5	-	-	-	403.4	48.8	14.9	313.1	51.7	11.5
9	195.3	51.9	11.7	430.4	40.3	0.0	393.3	25.9	8.1	375.0	38.8	11.2
10	310.7	69.2	8.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	277.6	50.5	8.2	-	-	-	356.9	52.7	11.4	227.9	57.3	14.8
12	347.1	83.8	13.9	250.5	45.5	6.8	702.7	64.8	20.4	226.6	51.6	7.0
13	350.0	41.3	14.6	450.7	77.7	15.2	-	-	-	190.1	14.9	8.2
14	493.6	111.1	18.5	374.9	93.4	7.2	628.3	63.7	27.6	57.3	10.1	2.3
15	388.6	73.3	5.7	172.7	33.0	2.6	238.0	18.0	11.5	133.7	25.6	12.3
16	606.3	NA	6.4	427.5	61.8	8.9	573.8	81.4	29.3	414.0	134.6	23.6
17	315.9	57.5	15.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	203.8	26.3	10.5	190.6	28.9	4.7	744.2	119.3	36.3	252.6	27.2	7.2
19	121.0	23.7	3.0	397.7	65.9	19.0	370.7	84.0	15.5	213.6	20.3	12.3
20	193.6	43.1	8.2	249.2	42.0	0.0	-	-	-	162.9	21.6	7.2
21	343.7	55.2	15.5	199.3	51.0	14.9	297.0	60.1	22.9	421.0	25.2	9.2
22	416.6	76.2	13.7	152.2	36.5	1.5	523.1	79.1	14.7	294.7	22.1	5.7
23	210.3	36.3	12.4	239.8	53.3	4.4	449.3	34.7	14.8	396.2	68.2	10.6
24	295.3	33.0	10.1	404.2	59.7	16.1	531.3	77.4	19.8	336.5	42.6	14.2
25	70.1	20.6	3.8	419.1	44.2	22.4	81.3	6.7	7.2	296.9	21.7	6.3
26	152.8	61.5	3.0	168.5	74.3	0.0	200.1	65.1	27.9	309.8	63.4	10.8
27	153.3	25.7	4.7	515.3	66.9	21.7	202.6	25.3	21.5	237.3	39.5	7.8
28	385.9	69.5	10.2	325.9	70.6	0.0	451.6	115.5	25.3	252.6	27.2	7.2
29	217.2	53.3	11.0	466.4	64.1	29.4	363.8	115.8	14.3	473.6	89.8	17.1
Average	280.5	53.3	10.1	298.3	54.3	8.8	433.9	59.2	17.3	264.6	40.0	10.8
Standard	400.0	-	-	400.0	-	-	400.0	-	-	400.0	-	-
ER(%)	13.7	-	-	29.1	-	-	56.0	-	-	11.1	-	-

Note) NA: Not Available  
ER(%): Excessive rate

었다. 계절별 실내오염도를 비교한 결과, 여름철에 TVOC, 톨루엔 및 *m,p*-자일렌의 평균 농도는 각 433.9, 59.2 및 17.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 오염도를 보였다. 이러한 이유는 휘발성유기화합물들이 온도가 높은 여름철에 다량 방출되었기 때문인 것으로 추정되었다. 여름철을 제외한 총휘발성유기화합물(TVOC) 오염도는 겨울 280.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 봄 298.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 가을 264.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 계절별 차이를 보이지 않았다.

일부 교육기관에 대한 손 등의 연구에서도 여름철

의 TVOC 농도가 577.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높고, 가을철에 325.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 겨울철에 219.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 보고되었으며 국내 다른 연구자의 연구결과와 비교한 결과 본 연구결과가 다소 낮게 검출되었다(Table 7).<sup>11-14</sup> 또한 영국주택 179곳에 대한 Brown 등의 연구에서 TVOC 실내 평균농도는 200~500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 보고되었다.<sup>24</sup>

각 분기별 TVOC 기준 초과율은 여름철에 56.0%로 가장 높았으며 봄(29.1%), 겨울(13.7%), 가을(11.1%)의 순으로 나타났다. TVOC 기준을 초과한 보육시설

Table 7. Comparison of several survey results on indoor VOCs concentration

		No of samples	Mean Concentrations, $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
			Benzene	Toluene	Ethy benzene	Xylene	Styrene	TVOC
Paek <i>et al.</i> (1995)	Summer	-	0.7	2.6	1.7	10.0	4.3	-
	Winter	-	17.8	77.1	8.1	33.0	3.9	-
Kim <i>et al.</i> (2002)	Fall	2	9.2	24.75	1.95	5.6	1.85	-
Yoon <i>et al.</i> (2003)	Summer	30	8.1	86.1	13.5	30.3	4.9	-
Son <i>et al.</i> (2005)	Summer	12	-	-	-	-	-	577.3
	Fall	12	-	-	-	-	-	325.8
	Winter	12	-	-	-	-	-	219.2
This study (2007)	Summer	56	2.5	59.2	8.5	17.3	7.8	433.9
	Winter	54	3.3	53.3	5.9	10.1	0.6	280.5

Table 8. Concentration of volatile organic compounds to season in daycare centers

Pollutant	Summer						Winter						p-value
	N	Mean	S.D	Max	Median	Min	N	Mean	S.D	Max	Median	Min	
Benzene	50	2.5	2.2	11.1	2.3	N.D	54	3.3	3.9	11.6	N.D	N.D	>0.05
Toluene	50	59.2	33.3	154.5	54.9	6.3	52	53.3	30.1	162.3	43.8	18.9	>0.05
Ethylbenzene	49	8.5	5.8	22.2	6.1	2.3	54	5.9	3.8	24.6	5.5	N.D	<0.05
<i>m,p</i> -Xylene	47	17.3	7.9	38.7	15.7	4.2	54	10.1	5.1	26.4	10.6	N.D	<0.05
Styrene	48	7.8	6.1	24.3	6.3	N.D	54	0.6	1.6	7.8	N.D	N.D	<0.05
<i>o</i> -Xylene	48	5.6	3.5	15.3	4.5	0.8	54	2.7	1.9	6.3	2.9	N.D	<0.05
TVOC	50	433.9	211.7	891.5	391.6	60.3	54	280.5	151.0	674.7	241.4	68.5	<0.05

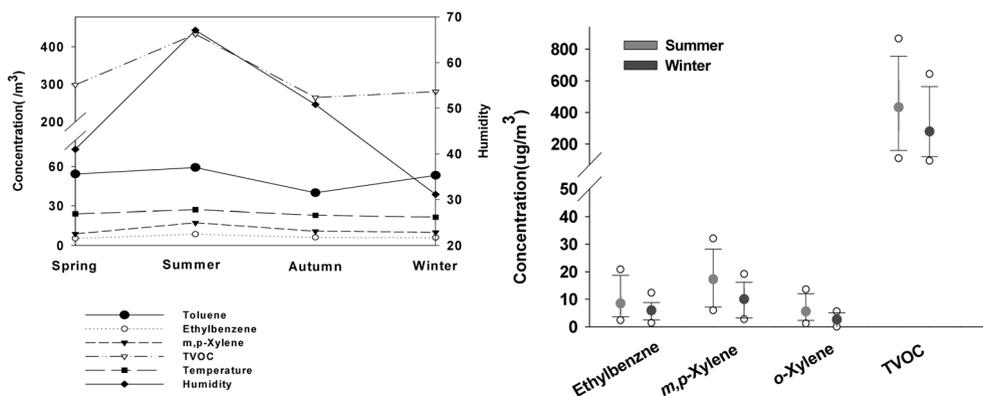


Fig. 5. Concentration of VOCs according to season.

들은 대부분 실내 장식작업과 리모델링(페인트, 벽지) 등을 한 것으로 조사되었다.

여름철과 겨울철의 휘발성유기화합물의 농도를 비교해 본 결과 TVOC와 개별 VOCs중 벤젠과 톨루엔을 제외한 모든 물질은 여름철에 높은 농도를 나타냈고 특히 TVOC는 여름철이 겨울철보다 1.5배 높은 수준을 보였다( $p < 0.05$ ). 여름철에 높게 나타난 이유는

VOCs의 휘발성이 강하기 때문인 것으로 판단된다 (Table 8, Fig. 5).

또한 온습도와 주요오염물질간의 상관분석을 실시한 결과 스티렌과 *o*-자일렌의 경우 온도와 상관성이 있는 것으로 나타났으며( $p < 0.05$ ), 에틸벤젠과 자일렌, 스티렌, TVOC의 경우 습도와 유의수준이 0.01이하의 매우 높은 상관성을 나타내어, 주요오염물질과 온습도

Table 9. Spearman's rank correlation coefficients of VOCs

	Temp.	Hum.	Benzene	Toluene	E-B	<i>m,p</i> -Xylene	Styrene	<i>o</i> -Xylene	TVOC
Temp. (°C%)	1.00								
Hum.(%)	0.48**	1.00							
Benzene	-0.08	-0.13	1.00						
Toluene	0.04	0.05	0.33**	1.00					
Ethyl-benzene	0.07	0.29**	0.13	0.53**	1.00				
<i>m,p</i> -Xylene	0.10	0.31**	0.01	0.41**	0.86**	1.00			
Styrene	0.27**	0.58**	-0.14	0.15*	0.45**	0.41**	1.00		
<i>o</i> -Xylene	0.19*	0.37**	0.10	0.46**	0.82**	0.84**	0.50**	1.00	
TVOC	0.13	0.34**	0.16*	0.68**	0.62**	0.56**	0.49**	0.55**	1.00

Note) \*\*Correlation is significant at 0.01 level (2-tailed)  
 \*Correlation is significant at 0.05 level (2-tailed)

간의 상관성이 높은 것으로 나타났다(Table 9).

#### 4. 결 론

보육시설의 실내공기오염물질 중 휘발성 유기화합물의 계절별 농도비교 및 외기와의 관련성을 조사함으로써 휘발성유기화합물에 관련된 영향인자를 파악하기 위해 서울지역 29개 보육시설에 대해 실태조사를 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 본 연구에서는 보육시설 내에서 발생하는 실내공기 오염물질을 측정함에 있어 시료 분석시 전반적인 성능을 평가하기 위하여 재현성, 시료의 검출한계 및 회수율을 평가한 결과 모두 양호한 것으로 나타났다.

둘째, 휘발성유기화합물의 경우, TVOC의 평균 농도는 318.7 µg/m<sup>3</sup>, 톨루엔의 평균 농도는 51.6 µg/m<sup>3</sup>이었으며 *m, p*-자일렌(11.7 µg/m<sup>3</sup>), 에틸벤젠(6.5 µg/m<sup>3</sup>), 벤젠(4.2 µg/m<sup>3</sup>), 스틸렌(3.6 µg/m<sup>3</sup>)의 순으로 나타났다. 실내/실외 농도비(I/O ratio)는 TVOC가 2.0, 톨루엔이 1.6으로 실외보다 실내에서 높은 농도를 나타내었다.

셋째, 보육시설에서 발생하는 TVOCs 중 정성분석된 물질이 41.9%로 구성되었으며, 그 중 톨루엔이 17.6%로 가장 많은 비중을 차지하였고, *m, p*-자일렌(4.0%), 에틸벤젠(2.3%)순으로 나타났다.

넷째, 총휘발성유기화합물(TVOC)의 계절별 실내공기 오염도를 비교·분석한 결과, 여름철에 433.9 µg/m<sup>3</sup>으로 가장 높은 농도를 나타내었으며, 겨울, 봄 및 가을은 각 280.5 µg/m<sup>3</sup>, 298.3 µg/m<sup>3</sup> 및 264.6 µg/m<sup>3</sup>으로 유사한 농도를 나타내었다.

본 연구 결과는 보육시설의 실내공기질 현황에 대한 기초 자료로 활용 될 수 있을 것으로 판단되며, 교

육인적자원부 산하 각급 교육청들은 성인들에 비해 오염물질에 취약한 아동보호대책에 더욱 적극적인 노력을 해야 할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. C. E. Higgins, W. H. Greist and G. Olerich, *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, **66**, 1074-1083 (1983).
2. L. A. Wallace, E. D. Pellizzari, T. D. Hartwell, V. Davis, L. C. Michael and R. W. Whitmore, *Environ. Res.*, **50**, 37-55 (1989).
3. P. Schneider, G. Lorinci, I. L. Gebefugi, J. Heinrich, A. Kettrup and H. E. Wichmann, *J. Expos. Anal. Environ. Epidemiol.*, **9**, 282-292 (1999).
4. S. C. Lee and M. Chang *Chemosphere* **41**, 109-113 (2000).
5. M. R. Tancrede, W. L. Zeise and E. A. C. Crouch, *Atmos. Environ.*, **21**, 2187-2205 (1987).
6. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Cancer risk from outdoor exposure to air toxics, PA-450/1-90-0004a (1990).
7. L. Wallace, Nelson, R. Ziegenfus, E. Pellizzari, L. Michael, R. Whitmore, H. Zelon, T. Hartwell and R. Perritt, *J. Expos. Anal. Environ. Epidemiol.*, **1**, 157-192 (1991).
8. D. L. Heavner, W. T. Morgan and M. W. Ogden, *Environ. Int.*, **21**, 3-21 (1995).
9. E. Ilgen, N. Karfich, K. Levsen, J. Angerer, P. Schneider, J. Heinrich, H. Wichmann, L. Dunemann and J. Begerow, *Atmos. Environ.*, **35**, 1235-1252 (2001).
10. C. Y. Chan, L. Y. Chan, X. M. Wang, Y. M. Liu, S. C. Lee, S. C. Zou, G. Y. Sheng and J. M. Fu. *Atoms. Envi-*

- ron.*, **36**, 2039-2047 (2002).
11. 손종렬, 학교 교사 내 환경위생 및 식품위생 실태조사 (2005).
  12. 윤충식, 백동욱, 박두용, 한국산업위생학회지, **14**(2), 175-180 (2004).
  13. 김윤신, 노영만, 이철민, 김기연, 김종철, 전형진, 한국환경보건학회지, **33**(1), 49-56 (2007).
  14. 김영민, 박상근, 백성욱, 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문초록집, 348-351 (1995).
  15. M. Gomzi, *Atmospheric Environment* **33**, 4081-4086 (1999).
  16. WHO. Guidelines for air quality. WHO. Geneva.72-79 (2000).
  17. 김윤덕, 임수영, 한국교육시설학회지, **14**(1), 52-57 (2007).
  18. 김도형, 이경훈, 김종수, 이제근, 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집. 540-541 (2006).
  19. US EPA. Definition and procedure for the determination of the method detection limit, Code of Federal Regulations, Part 136, Appendix B, 537 (1990).
  20. 최윤정, 한국가정과학회지, **9**(2), 5-20 (2006).
  21. 김신도, 김윤신, 박성규, 박진숙, 김정호 등, 실내공간 실내공기오염특성 및 관리방안연구. 환경부 최종보고서, 107-110 (2002).
  22. Environmental Protection Agency (EPA). Sources of Indoor Air Pollution - Organic Gases Volatile Organic Compounds - VOCs. (2004). Available from : URL:<http://www.epa.gov/iaq/voc.html>.
  23. P. J. Liroy, *Environ Sci Technol.*, **24**, 938-945 (1990).
  24. V. M. Brown and D. R. Crump, The vuilding Research Establishment Endoor Enironment Study. Part I. Construction Research Communications. London, UK, 1996.