

유아교육시설의 공기중 벤젠 및 휘발성 유기화합물 농도

윤 충 식[‡] · 박 동 옥¹⁾ · 박 두 용²⁾

대구가톨릭대학교 · 한국방송통신대학교¹⁾ · 한성대학교²⁾

Concentration of Benzene and Volatile Organic Compounds in Indoor Air of Preschool Facilities

Chung Sik Yoon[‡] · Dong Uk Park¹⁾ · Doo Yong Park²⁾

Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu, Kyongsan, Korea

Department of Environmental Health, Korea National Open University, Seoul, Korea¹⁾

Department of Industrial Safety Engineering, Hansung University, Seoul, Korea²⁾

We tested 13 volatile organic compounds(VOC) including benzene, toluene, xylene(BTX) at preschool facilities. Total 8 volatile organic compounds including benzene were analyzed. Toluene was used as surrogate for total VOC quantification.

4 of 30 benzene samples in urban classroom and 1 of 11 in urban outdoor samples were exceed UK outdoor guideline (5ppb). But in rural area, all the samples were below the guideline.

Mean total volatile organic compound calculated as toluene was $548.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ in urban classroom, $480.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ in rural classroom, $276.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ in urban outdoor, and $278.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ in rural outdoor. 19 of 40 samples(47.5%) in urban classroom and 3 of 15 rural classroom samples were exceeded

the domestic guideline($400\mu\text{g}/\text{m}^3$).

There were many sources in preschool facilities that emitted volatile organic compound, including formaldehyde. Examples include paint, lacquers, paint strippers, cleaning supplies, pesticides, building materials, new furnishings, spraying repellents, waxes, adhesives, glues and compressed wood furnishings. It is important to increase the ventilation rates and not to store opened containers of possible emission sources within the classroom.

Key Words : Benzene, Children, GC, Indoor air quality, Kindergarten, Volatile Organic Hydrocarbons, VOCs

I. 서 론

우리나라는 최근에 실내공기질에 대한 관심이 증폭되고 있다. 환경부는 2003년 5월 29일 다중이용시설등의 실내공기질 관리법(법률 6911호)을 제정 공포하였고, 노

동부도 산업보건기준에 대한 규칙을 2003년 7월 12일 개정하면서 제4장 사무실 오염으로 인한 건강장해의 예방을 새로 제정하였다(환경부, 2003; 노동부, 2003). 2004년도에는 새집증후군과 찜질방의 중독사고로 일반국민의 관심도 크게 고조되

고 있다(연합뉴스, 2004).

미국 환경보호청(EPA) 자료에 의하면 실내오염에 의한 노출 정도는 외기에 비해 2~5배정도 높으며, 심한 경우 100배까지 높다고 하였으며 현대인 대부분은 실내에서 그들 시간의 90 %이상을 보낸다고 조사되었다. 이러한 실내공기질에 대한 기준이 나라마다 상이하지만 전반적으로 좋은 실내공기질에 대한 정의는 ASHRAE에서 정의한 “유해할 정도 수준

접수일 : 2004년 6월 9일, 채택일 : 2004년 8월 20일

‡ 교신저자 : 윤충식(경북 경산시 하양읍 금락 1리 330 대구가톨릭대학교 자연대학 산업보건학전공

Tel : 053-850-3738, E-mail : csyoon@cu.ac.kr)

의 오염물질이 없고, 대다수의 사람들이 (보통 80%) 불평을 토로하지 않는 공기”라는 개념을 받아들이고 있다(ASHRAE, 1999). 반대개념으로 만족스럽지 못한 실내공기와 더불어 일련의 용어가 등장하게 되는데 그 대표적인 것들이 IAQ(Indoor Air Quality), TBS(Tight Building Syndrome), SBS(Sick Building Syndrome), IEQ(Indoor Environmental Quality), BRD(building-related Disease)등이다(Burge and Hoyer, 1997).

특히 아동이 생활하는 실내의 공기질은 더욱 관심의 대상이 되는데 그 이유는 첫째, 아동 시설이 급증하고 있고 이제 아동 시설은 선택이 아닌 모든 국민이 성장기에 반드시 거치는 보육시설이면서 교육시설이기 때문이다. 보육시설은 여성의 능력개발과 사회참여 및 취업인구의 증가에 따라 1991년 영유아 보육법이 제정된 후 점차 그 수가 증가하여 2002년 22,147개에 이르고 있다. 유치원시설은 보육시설과 더불어 조기교육의 확대실시와 더불어 현재 교육법에 근거하여 유아교육기관으로 되어 2003년도 현재 8,292개에 이르고 있다. 2002년 통계청 자료에 의하면 현재 보육시설과 유치원시설에 다니는 아동이 1,351,247명에 이르고 있다(통계청, 2003). 둘째, 아동들은 성인에 비해 다음과 같은 이유로 성인에 비해 환경영향을 더 받기 때문이다. 즉, 아동은 신체발달과정에 있음으로 환경의 위험에 더 민감하다. 그들은 성장중에 급격한 변화를 겪으며, 신체기관, 조직이 덜 발달해 있으며 면역시스템도 약하다. 또한 아동은 성인에 비해 단위 체중당 더 많은 양을 음식과 물, 그리고 공기를 먹고, 마시고 숨쉬게 된다. 따라서 단위 체중당 오염물질도 더 체내에 들어오게 된다. 이와 더불어 아동은 스스로의 방어능력이 부족하다. 또한 바닥을 기거나 흙을 갖고 놀이를 함으로서 성인과는 더 많은 다른 노출경로에 접하게 된다. 즉, 아동은 신체 발달과정에 있으며 자신의 활동공간에 대한 여러 유해인자에 대하여 스스로 자신을 보호할 수 없는 입장이다. 셋째, 아동을 유해인자로부터 자유롭게 하는 것은, 건강한 아동이 새 천년

의 기초이기 때문이다. 이들을 건전한 환경에서 자라게 하는 것은 현재 아동의 건강보호와 건강한 미래세대를 준비하는 기초가 되며 다음 세대의 환경과 건강을 보호하는 것이다.

악화된 실내공기로 인한 건강영향은 여러 가지로 분류할 수 있다. 일반적인 건강영향을 보면 호흡기계 영향, 눈의 영향, 피부 영향, 생리적 영향이 있고, 실내공기질의 악화로 인한 암발생은 아주 드물게 보고되거나 논란이 되고 있다(Meininghaus et al, 2003; Lee SC et al, 2002). 이러한 건강영향의 발생원도 다양한데 발생원별로 보면 거주인(접촉성질환, 앨러진의 운반, 옷에 묻어 있는 물질), 건물의 구성물(휘발성 유기화합물, 입자상 물질, 섬유상 물질), 건물 구성물의 오염(미생물, 앨러진, 농약), 외부공기(외부공기: 외부발생화학물질, 미생물, 앨러진)등 다양하다(Burge HA and Hoyer ME, 1997).

유치원에서 발생할 수 있는 여러 가지 실내공기 오염물질중 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, 이하 VOC)은 발생가능성이 많다는 점과 벤젠은 발암성 물질이라는 점이 학문적·사회적으로 중요하다(Gomzi, 1999). 접촉제나 완구류, 다양한 교육도구, 다양한 건축자재, 페인트 등은 휘발성 유기화합물의 발생원이 될 수 있다(Lee and Chang, 2000; WHO, 2002). 특히 저농도에서도 백혈병을 일으키는 벤젠이 포함되어 있기 때문에 유치원에서 휘발성 유기화합물에 대한 평가는 매우 중요하다. 본 연구는 유치원의 지역별 위치와 실내 및 실외에서의 벤젠 농도와 휘발성 유기화합물의 농도를 평가하는데 있다.

II. 연구방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상은 총 15개의 유아교육시설을 대상으로 하였다. 도시지역은 서울지역 5곳, 경기도 5곳, 충청도 1곳이고, 시골지역은 경기 2곳, 충청도 2곳을 선정

하였다. 총 15개 어린이 교육기관중 유치원이 11곳, 어린이집이 3곳, 미술학원 1곳이었다.

벤젠을 포함한 VOC를 측정하기 위하여 총 55개를 채취하였다. 각 시설의 교실뿐 아니라 해당 시설의 바로 인근의 외부공기에서도 시료를 채취하였다. 도시지역에 위치한 유아교육시설의 교실에서 채취한 시료가 30개, 도시 실외지역의 교실에서 채취한 시료가 11개였으며, 시골지역에 위치한 유아교육시설이 실내에서 채취한 시료가 10개, 실외에서 채취한 시료가 4개였다. 시료를 채취할 때 일반 현황을 조사하였으며 건강증상에 대하여 인터뷰도 실시하였다.

2. 시료채취 및 분석방법

공기중 VOC를 미국 환경보호청 공정시험법(TO-01)을 근거로 하여 열탈착 튜브(Tenax tube)를 이용하여 시료를 채취한 다음 가스크로마토그래피/질량분석기(HP 5973 MSD, USA)로 분석하였다. 모두 장소시료를 채취하였으며 교실은 실내 중앙에서 채취하였으며 실외는 유아교육시설 바로 옆 실외공기에서 채취하였다. 70-100 ml/분의 저유량(Gilian LFS-113DC, Sensidyne, USA)으로 하여 오전에 약 60-100분을 채취하였으며 시료채취전에 유량보정을 하였다. Aerotrap(Tekmar 6000, USA)을 이용하여, 시료를 고온(250℃)에서 열탈착한 후, 초저온(-150℃)에서 한번 더 농축한 다음, GC(HP 6890 Plus, Hewlett Packard, USA)/MSD(HP 5973, Hewlett Packard, USA)로 주입하였다. 컬럼은 HP-5MS(30m×0.25mm, 0.25μm, Hewlett Packard, USA)를 사용하였으며, 주입구는 250℃로 유지하였다. 컬럼 유량은 1ml/min으로 유지하였으며, 분리방식(split mode 20:1)을 사용하였다.

유아 교육시설의 공기중 VOC를 GC/MSD로 정성분석한 결과 공통적으로 확인된 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, 스티렌, 브로모벤젠, 1,3,5-트리메틸벤젠, 1,2,4-트리메틸벤젠, 이소프로필톨루엔, 부틸벤젠, 1,2,4-트리클로로벤젠, 1,2,3-트

리클로로벤젠, 나프탈렌의 총 13가지 VOC를 확인하였고 그중 주피크로 농도가 높은 8개의 방향족 화합물을 선택하여 정량분석하였다. 이중 백혈병의 주된 원인인 벤젠을 따로 평가하였고, 다른 방향족 휘발성 유기화합물은 톨루엔으로 환산하여 농도를 계산하였다.

작업장이 아닌 일반 실내에 대한 벤젠은 국내 기준이 없어 영국의 대기 기준($16.25\mu\text{g}/\text{m}^3=5\text{ ppb}$)과 비교하였고, 총 휘발성 물질은 국내 환경부 실내공기질 기준인 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 비교하였다.

공기중 농도는 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 또는 ppb로 표시하였으며, 벤젠인 경우는 기하분포를 하지 않아 산술평균과 표준편차로 표시하였고, 지역간 또는 교실내와 실외의 농도에 차이가 있는지를 보기위하여 95% 유의수준에서 일원분산분석을 실시하였다. VOC인 경우는 산술평균과 표준편차, 기하평균과 기하표준편차를 모두 제시하였다. 공기중 노출자료는 대개 기하정규분포를 한다고 알려져 있으나 실제로 측정한 자료가 정규분포를 하는지 기하정규분포를 하는지를 결정하기 위하

여 유의수준 5%에서 Shapiro and Wilk Test(일명 W-test)를 실시하였다(Mulhausen and Damiano, 1998).

III. 연구결과 및 고찰

1. 공기중 벤젠 및 휘발성 유기화합물 농도

연구대상인 13개의 VOC중 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, 스티렌, 1,3,5-트리메틸벤젠, 1,2,4-트리메틸벤젠, 나프탈렌의 8가지 물질을 정량하였다. 그중 발암성 물질인 벤젠을 따로 표시하였고, 다른 8가지 물질을 모두 합하여 톨루엔을 기준으로 하여 휘발성 물질(VOC)로 평가한 것이 표 1 및 표 2이다.

공기중 벤젠은 총 55개 시료중 4개가 영국의 대기기준을 초과하였다(표 1). 기준을 초과한 것은 도시지역에 위치한 유아교육시설 30개 교실중 3곳(10 %)과 실외지역(11개 지역중 1곳, 9 %)이었으며 시골 및 도시외곽지역의 교실에서는 기준

을 초과하지 않았다. 각 지역별로 평균 농도에는 유의한 차이가 없으나($p=0.34$) 도시지역이 시골지역보다 높다. 도시지역인 경우 교실내에 발생원이 있을 뿐 아니라 실외의 자동차, 주유소 등도 벤젠 발생원이 될 수 있다. 따라서 교실에서의 벤젠 농도가 높은 것은 실내의 벤젠 발생뿐 아니라 실외의 벤젠이 유입될 가능성도 고려하여야 한다. 벤젠은 공기중 농도가 검출한계인 $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만인 곳도 많았다. 즉, 실내인 경우 총 40개의 시료중 15개의 시료가 검출한계미만으로 검출되었으며, 실외인 경우 총 15개의 시료 중 1개가 검출한계 미만으로 분석되었다. 검출한계미만의 시료가 있을 경우에 대한 기하평균 및 표준편차를 구하는 방법이 제시되기도 하였지만(Hornung and Reed, 1990; Perkins et al., 1990) 표 1에서는 이런 기법을 사용하지 않고, 산술평균 및 표준편차를 표시하였다. 기하평균 및 기하표준편차를 표시하지 않은 이유는 실내의 경우 너무 많은 시료(37.5%)가 검출한계미만으로 표시되었기 때문이다.

VOC는 벤젠보다 환경부 기준의 초과율

Table 1. Benzene concentration in preschool facilities

		No. of Samples	Concentration, $\mu\text{g}/\text{m}^3$			No. of exceeding guideline	Percentage of exceeding guideline
			Mean	SD	Range		
Urban	Indoor	30	8.08	8.12	<2-33.17	3	10
	Outdoor	11	8.57	8.21	<2-30.36	1	9.1
Rural	Indoor	10	3.53	3.81	<2-8.62	0	0
	Outdoor	4	6.02	1.78	3.78-7.65	0	0

* LOD of benzene; $2\mu\text{g}/\text{m}^3$, UK air guideline $16.25\mu\text{g}/\text{m}^3=5\text{ ppb}$

Table 2. Concentration of volatile organic compounds in preschool facilities

		No. of Samples	Concentration, $\mu\text{g}/\text{m}^3$			No. of exceeding guideline	Percentage of exceeding guideline	p-value ($\alpha=0.05$)
			GM(GSD)	AM(SD)	Range			
Urban	Indoor	30	387.9(2.4)	548.0(465.6)	73.34-1927.7	15	50	0.014
	Outdoor	11	134.9(3.4)	276.9(404.4)	13.21-1322.9	2	18	
Rural	Indoor	10	189.6(5.2)	480.9(581.4)	16.07-1783.0	4	40	
	Outdoor	4	74.4(6.6)	278.3(470.0)	16.94-981.2	1	25	

* Indoor air quality standard of Ministry of Environment in Korea : $400\mu\text{g}/\text{m}^3$

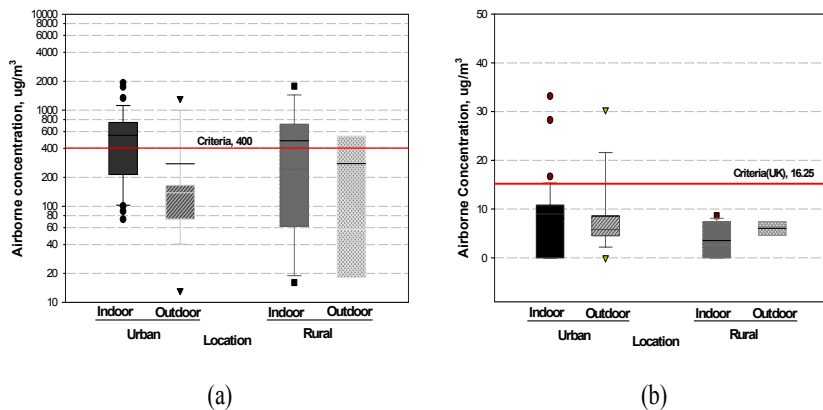


Fig 1. Benzene concentration(a) and VOC concentration(b) in preschool facilities.

이 더 높았다(표 2). 유아교육시설 실내는 총 40개교실중 19개가 기준을 초과하여 초과율 47.5%였고, 실외지역은 15지역중 3곳만 초과(20%)하였다. 그러나 실제로는 본 연구의 초과율은 과소평가된 것으로 판단된다. 왜냐 하면 환경부기준에서 제정한 측정대상물질은 C6~C16까지 모두 포함되고 이에 대해 환경부의 권고기준으로 평가할 수 있는데 비해 본 연구에서 정량한 총 VOC는 그렇지 못하기 때문이다. 즉, 본 연구에서 제시한 초과율은 환경부에서 정한 VOC중 일부물질에 대해 정량된 값으로 계산된 것으로 직접 비교의 제한점이 따른다.

평균 농도도 도시지역의 교실내는 $548.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (기하평균 $387.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 기준($400 \mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하며 도시의 실외지역의 평균농도 $276.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (기하평균 $134.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 훨씬 높다. 시골지역에 있는 교실내 농도도 $480.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (기하평균 $189.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

으로 기준을 초과하며 역시 시골 실외지역의 농도 $278.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (기하평균 $74.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 높은 농도를 나타내었다. 측정농도를 대수전환하여 분산분석한 결과 95 % 유의수준에서 유의한 차이가 있었다($p=0.014$). 그림 1은 지역별로 벤젠 및 VOC의 농도분포를 표시한 것이다.

표 3에서 보듯이 VOC 화합물중에서 가장 많이 검출된 것은 톨루엔이다. 도시지역 교실내의 톨루엔 농도는 $86.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 실외의 농도는 $31.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 시골지역의 톨루엔 농도는 각각 $36.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $13.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 도시지역의 절반 수준이었다. 또한 교실내와 실외지역을 비교해도 교실내가 높아 톨루엔의 발생원도 역시 실내에 많이 있다는 것을 알 수 있다. 톨루엔 이외에 많이 검출된 것은 키실렌, 에틸벤젠 순으로 검출되었다. 표 3에서 보듯이 벤젠을 제외한 모든 휘발성 유기화합물은 실내의 농도가 실외농도보다 높

다. 따라서 벤젠의 발생원은 실내보다는 실외가 많고, 그 외 다른 휘발성 유기화합물은 실내에 발생원이 더 많다고 판단된다. 실제로 벤젠은 백혈병을 일으키므로 공산품이나 건축자재에 사용되면 안 되도록 각종 규제를 하고 있다. 표 3에서 보듯이 정량 분석한 8가지 VOC의 농도는 검출된 모든 VOC를 톨루엔으로 환산하여 표기한 총 VOC중 차지하는 비율이 평균 22.1(14.7~29.3)% 수준이다. 즉, 본 연구에서 정량한 8가지 물질 이외에 많은 다른 VOC 물질들이 존재함을 알 수 있다. 그림 2는 지역 실내외에 따른 VOC의 기하분포도를 나타내고 있다. W-test를 한 결과 지역 및 실내외 모두 95% 신뢰수준에서 기하분포를 하고 있었다.

휘발성 유기화합물의 농도가 도시지역은 물론 시골지역에서도 교실의 농도수준이 실외보다 높은 것으로 보아 휘발성 유기화합물의 발생원이 유아교육시설 내부에 많이 존재함을 알 수 있다. 이런 휘발성 유기화합물의 발생원으로는 페인트, 접착제, 스프레이, 방향제, 건축자재 및 마감재료, 왁스 등이 가능하며 특히 유아교육시설에서는 각종 접착제, 물감, 페인트, 신나, 각종 교육 재료, 복사기 토너, 건물유지용품(각종 세척제 등) 등이 휘발성 유기화합물의 발생원이 될 수 있다. 신축 건물일 경우 휘발성 유기화합물의 공기중 농도가 더 높는데 이는 시공 후 초기단계에 다량의 휘발성 유기화합물이 건축자재에서 방출하게 되며, 시간이 지남에 따라 점차 감소되기 때문이다. VOC의 배출원은 실외에 있을 수도 있는데 이는 일반 도시지역의 실외 배출원은 자동차, 세탁소,

Table 3. Concentration of each aromatic compounds in preschool facilities

			Mean Concentrations(SD), $\mu\text{g}/\text{m}^3$								
No. of samples			Benzene	Toluene	Ethyl Benzene	Xylene	Styrene	1,3,5-trimethyl benzene	1,2,4-trimeth yl benzene	naphthalene	Total
Urban	Indoor	30	8.1(8.1)	86.1(68.6)	13.5(6.6)	30.3(21.9)	4.9(2.8)	2.8(1.6)	8.1(4.3)	6.5(6.8)	548.0(465.6)
	Outdoor	11	8.6(8.2)	31.1(20.4)	8.4(4.2)	15.1(12.2)	2.6(1.8)	1.7(1.0)	4.5(2.1)	2.1(1.4)	276.8(404.4)
Rural	Indoor	10	3.5(3.8)	35.6(30.9)	10.6(3.9)	19.1(15.2)	5.6(1.7)	1.8(1.3)	4.9(2.6)	4.1(2.4)	480.9(581.4)
	Outdoor	4	6.0(1.8)	13.2(10.8)	6.7(2.0)	7.7(5.5)	3.2(3.8)	0.3(0.7)	2.2(2.6)	1.7(0.7)	278.3(470.0)

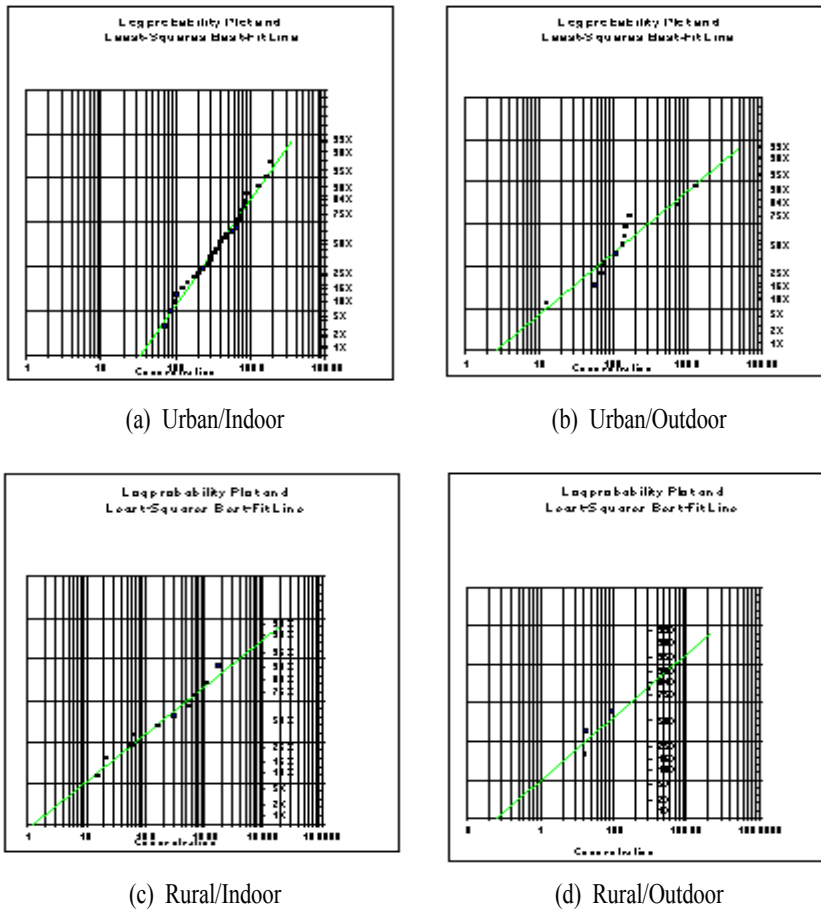


Fig 2. Geometric distribution of VOC concentration.

주유소 등이 있으며, 실내의 주요 발생원은 위에서 언급한 건축자재, 접착제, 방향제, 페인트 등이 된다.

표 4는 이번 조사결과와 국내 다른 연구자의 연구결과를 비교한 것이다. 본 연구는 여름에 실시되었으며 같은 유아시설에

서 9, 10월에 실시한 자료(유치원 시설 1곳, 어린이집 1곳으로 시료수가 2개로 한계성)와 비교해보면 벤젠을 제외하고는 연구의 결과가 다소 높게 검출되고 있다. 그러나 공통점은 실내의 휘발성 유기화합물 농도가 모두 실외의 농도보다 높다는 점이다. 여름과 겨울에 비교한 다른 논문에서는 겨울에 실내(사무실, 가정집, 식당)의 농도가 매우 높아짐을 알 수 있다. 이는 아마 난방연료의 사용과 창문의 밀폐로 적절한 환기가 안되기 때문일 것이다. 따라서 본 조사도 여름에 실시하였으므로, 겨울동안에는 창문의 밀폐와 각종 난방기구의 사용으로 인해 실내의 휘발성 유기화합물 수준이 더 올라갈 수 있다고 판단할 수 있다. 그러면 벤젠을 비롯한 다른 성분의 농도가 더 높아질 수 있다.

EPA의 노출평가 연구(Total Exposure Assessment Methodology; TEAM)에 의하면 물질의 종류에 따라서 다르기는 하지만, 도시나 시골지역에 상관없이 실내의 휘발성 유기화합물 농도가 실외보다 2~5배 정도 높다고 보고되었으며, 유기화합물을 사용하는 활동이 있으면 그 농도는 더 높이 올라가며 그 활동이 종료되고 나서도 실내 농도가 오랜 시간동안 높게 유지된다고 보고하였다(EPA, 2004).

유아교육시설에서도 교실에 페인트칠, 왁스칠뿐 아니라 접착제, 물감을 이용한 여러 가지 활동 후에는 휘발성 유기화합

Table 4. Comparison of several survey results on indoor VOC concentration

				Mean Concentrations, $\mu\text{g}/\text{m}^3$							
			No. of samples	Benzene	Toluene	Ethyl Benzene	Xylene	Styrene	1,3,5-trimethyl benzene	1,2,4-trimethyl benzene	naphthalene
Paek et al. (1995)	Summer	Indoor	-	0.7	2.6	1.7	10.0	4.3	1.0	3.3	4.1
		Outdoor	-	0.6	3.1	1.8	10.1	4.0	1.1	3.6	1.7
	Winter	Indoor	-	17.8	77.1	8.1	33.0	3.9	4.6	10.5	7.8
		Outdoor	-	12.2	76.3	6.4	15.5	2.9	3.4	6.0	2.4
Kim et al. (2002)	Fall	Indoor	2	9.2	24.75	1.95	5.6	1.85	0.4	1.6	-
		Outdoor	2	5.2	26.7	2.1	3.75	0.75	0.4	0.75	-
This Study (2003)	Summer	Indoor	30	8.1	86.1	13.5	30.3	4.9	2.8	8.1	6.5
		Outdoor	11	8.6	31.1	8.4	15.1	2.6	1.7	4.5	2.1

Kim et al(2002): Measured at Preschool

Paek et al(1995): Measured at Office room, Home, Restaurant

물의 농도수준이 급격히 높아질 수 있으므로 환기를 잘 시켜야 한다.

2. 일반 현황

한 교육시설당 교실 수(원장실 제외한 교실)는 평균 5.4개였으며 평균 인력은 8.4명으로 행정관리 및 원장을 제외한 교사는 평균 5.3명이었다. 한 기관당 아동수는 평균 115명이었으며 운영시간은 평균 7.1시간이었다. 조사대상 시설은 매일 진공청소기 또는 물걸레 청소를 하고 있었다. 1곳은 진공청소기가 없이 비질을 하고 물걸레로 청소하고 있었다. 유아교육 시설에 근무하는 교사가 가장 많이 호소하는 질병은 호흡기 질환이었다. 설문지 및 인터뷰에서 유치원 시설과 관련한 선생님의 질환을 주관식으로 질문한 결과 감기, 후두염, 기관지염, 비염, 기침, 편도선, 목, 코 자극 및 통증 등 대부분 호흡기 질환을 호소하였고, 일부 알러지성 결막염을 호소하였다. 교사들이 호소하는 이러한 증상은 실내공기질과 많은 연관이 있는 것으로 알려져 있다(Meininghaus et al., 2003).

IV. 결 론

15개의 유아교육시설의 교실내와 외부에서 13가지 휘발성 유기화합물을 측정하고 결과 8가지 방향족 휘발성 유기화합물이 검출되었고, 그중 발암성 물질인 벤젠과 또 8가지 물질을 모두 합하여 톨루엔을 기준으로 하여 휘발성 물질을 평가하였다. 벤젠은 국내 기준이 없어 영국의 대기 기준($16.25\mu\text{g}/\text{m}^3=5\text{ppb}$)과 비교하였고, 휘발성 물질은 국내 환경부 실내공기질 기준 예정인 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 비교하였다.

벤젠은 총 55개 시료중 4개가 기준을 초과하였는데 도시지역의 교실 3곳(10%)과 도시 실외지역 1곳(9%)에서 초과하였으며 시골지역에서의 벤젠은 기준을 초과하지 않았다. 각 지역별로 평균 농도에는 유의한 차이가 없었다($p=0.34$).

VOC는 총 40개 교실내 시료중 19개가

기준을 초과하여 초과율 47.5%였고, 실외 지역은 15시료중 3곳만 초과(20%)하였다. 평균 농도도 도시지역의 교실내는 $548.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 실외지역($277.0\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 훨씬 높았다.

따라서 벤젠을 비롯한 휘발성 유기화합물의 발생원은 유아교육시설 내부에 많이 존재하며 주요 발생원으로는 페인트, 접착제, 스프레이, 방향제, 건축자재, 왁스, 각종 접착제, 물감, 페인트, 신나, 각종 교육 재료 등이 휘발성 유기화합물의 발생원이 될 수 있다. 따라서 향후 이런 발생원에 대한 체계적인 관리 방안이 모색되어야 한다.

REFERENCES

김신도, 김운신, 박성규, 박진수, 김정호, 등. 실내공간 실내공기오염특성 및 관리방안연구, 환경부 최종 보고서, 2002. (26쪽, 92쪽, 107-110쪽.)
노동부. 산업보건기준에 관한 규칙(노동부령 제 195호). 노동부 2003. Available from: URL:<http://www.molab.go.kr>
백성옥 외. 대구지역 일반실내환경 중 VOC 농도, 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문초록집; 1995. (348~351쪽.)
연합뉴스. 신축아파트 입주자 36.5% '새집 증후군'. 연합뉴스. 2004.4.29
통계청. 한국의 사회지표. 통계청. ISSN 1599-0907; 2003. (235쪽, 438 쪽.)
환경부. 다중이용시설등의 실내공기질 관리법(법률 6911호). 환경부, 2003. Available from: URL:<http://www.moe.go.kr>
American Society for Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers(ASHRAE). Ventilation for acceptable indoor air quality(ASHRAE 62-1999). ASHRAE Inc. ISSN 1041-2336; 1999. p.2.
Burge HA, Hoyer ME. Indoor air quality. In: Dinardi SR, editor. The occupational environment-its evaluation and

control. American Industrial Hygiene Association, AIHA Press; 1997. p. 391-421.
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>
Gomzi M. Indoor air and respiratory health in preadolescent children. Atmospheric Environment 1999;33:4081-4086
Hornung RW, Reed LD. Estimation of average concentration in the presence of Nondetectable Values. Applied Occupational and Environmental Hygiene 1990; 5(1):46-51
Lee SC, Chang M. Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong. Chemosphere 2000;41:109-113
Lee SC, Guo H, Li WM, Chan LY. Inter-comparison of air pollutant concentrations in different indoor environmental in Hong Kong. Atmospheric Environment 2002; 36:1929-1940
Meininghaus R, Kouniali A, Mandin C, Cicolella A. Risk assessment of sensory irritants in indoor air-a case study in a French school. Environment International 2003; 28:553-537
Mulhausen JR, Damiano J. A Strategy for assessing and managing occupational exposures(2nd ed.). AIHA Press, VA, USA. ISBN 0-932627-86-2, 1998, p. 241-250.
Perkins JL, Cutter GN, Cleveland MS. Estimating the mean, variance, and confidence limits from censored(<Limit of Detection), lognormally distributed exposure data. American Industrial Hygiene Association Journal 1990; 51:416-419
WHO. Guidelines for air quality. WHO. Geneva. 2000. p. 72-79.