

신개축 교사내 실내공기중 휘발성유기화합물과 폼알데히드의 농도 특성

박정호^{1*} · 양수명²

¹경남과학기술대학교 환경공학과 · ²경남과학기술대학교 공기질검사센터

A Study for the Indoor Air Concentration of VOCs and HCHO in Newly Built and Remodeled Classrooms

Jeong Ho Park^{1*} · Su Myoung Yang²

¹Department of Environmental Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology

²Air Quality Research Center, Gyeongnam National University of Science and Technology

ABSTRACT

Objectives: The indoor air quality of newly-built(NC) and remodeled(RC) school classrooms was assessed. The primary aim was to show correlations between volatile organic compounds(VOCs) and formaldehyde(HCHO) pollutant levels.

Methods: This study investigated the indoor air concentrations of VOCs and HCHO at 26 sites of newly built and 68 sites of remodeled classrooms located in South Gyeongsang Province between 2010 and 2012. VOCs in the indoor air were determined by adsorbent tube(Tenax TA) and automatic thermal desorption coupled with GC-MS analysis. Target analytes were five VOCs: benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, and styrene. HCHO was collected with a 2,4-DNPH cartridge and analyzed by HPLC.

Conclusions: This study estimated that indoor VOCs and HCHO concentrations in the classrooms were mainly affected by interior building materials and classroom equipment. For proper indoor air quality in schools, classroom air should be improved through reduction of hazardous materials by adequate ventilation, selecting environmental friendly materials, etc.

Key words : newly built and remodeled classroom, indoor air, VOCs, HCHO

I. 서 론

최근 실내공기질 관리의 중요성이 대두됨에 따라 다중 이용시설과 신축공동주택을 대상으로 2004년 다중이용시설등의 실내공기질관리법이 제정되었다(MoE, 2012). 특히, 신축건물은 석유계 복합화학물질의 건축자재 사용으로 실내공기 중 유해화학물질인 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs) 및 폼알데히드(HCHO) 등의 농도가 높다. 실내공기질관리법에서는 페인트, 접착제, 각종용품, 건축자재로부터 오랜 기간 실내로 방출되는 VOCs 등에 대해 신축공동주택 입주 전 벤젠 등 5가지 VOCs와 HCHO에 대한 권고기준을 설정하여 실내 공기질을 관리하도록 하고 있다. 이에 최근 실내농도 실

태조사, 위해성 환경인자 분석 등에 대한 많은 연구가 진행되고 있다(Sim & Kim, 2006; Kwon et al., 2009; Lee et al., 2012).

한편, 초·중·고 학생들은 신체적, 정신적으로 성장 발육이 왕성한 시기로 많은 시간을 학교 교실에서 생활하고 있어 환경보건학적으로 학교 실내공기질의 관리의 매우 중요하다. 특히, 신축 또는 개축 교사의 경우에도 실내공기 중 VOCs나 HCHO로 인한 새학교증후군(Sick School Syndrome) 등 학생들의 건강 문제에 악영향을 미칠 수 있다(Lindstrom et al., 1995; Hodgson et al., 2000; Rehwagen et al., 2003). 기존 연구에서도 환기가 부족하고 VOCs와 HCHO 등으로 오염된 학교 교실에서는 학생들의 집중력, 계산 및 기억력

*Corresponding author: Jeong Ho Park, Tel: 055-751-3345, E-mail: jhpark@gntech.ac.kr

Department of Environmental Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, 33 Dongjin-ro, Jinju, Gyeongnam 660-758

Received: June 3, 2013, Revised: September 4, 2013, Accepted: September 5, 2013

을 필요로 하는 학습수행능력의 저하를 가져올 수 있으며, 천식 등 호흡기 질환을 야기할 수 있다고 보고되고 있다(Daisey et al., 2003). 국내 신축 교실의 실내공기 중 유해화학물질 농도와 초등학교의 신경행동기능 연구에서도 친환경건축물이라 하더라도 준공초기에는 높은 유해화학물질의 농도 증가로 인해 통계적으로 유의한 수준의 인지기능 저하를 보고하고 있다(Kwaak & Sakong, 2011). 또한, 신축 교실이 대조 교실에 비해 HCHO 1.8배, 벤젠 3.0배, 톨루엔 1.9배, 에틸벤젠 2.7배, 자일렌 2.1배, 스티렌 1.5배 높은 것으로 나타났다. 2006년 학교보건법 시행규칙을 개정하여 HCHO와 VOCs 등을 추가하여 학교 교사 내 실내공기질의 정기적인 측정이 실시되고 있으며, 특히 신축 학교의 경우에도 HCHO 및 VOCs의 실내공기 중 농도를 측정하고 유지기준에 적합하도록 관리를 규정하고 있다(MoE, 2010). 신축 교사는 유해화학물질의 오랜 기간 방출되고 성장기 학생들이 많은 시간을 생활하게 됨으로 이들이 생활하는 공간인 실내환경을 쾌적하고 건강에 위해가 없도록 안정하게 유지 관리하는 일은 매우 중요하다. 또한 신축건물의 실내공기 중 유해화학물질 관리의 필요성에 대한 사회적 공감대가 널리 형성되고 있는 배경 하에 신축 교실의 실내공기질과 관련된 더 많은 연구보고가 필요하다.

이에 본 연구에서는 2010년부터 3년간 경상남도 소재 초·중·고등학교 신축 교사 총 94개를 대상으로 실내공기 중 VOCs 및 HCHO의 농도 특성을 파악하여 향후 보다 쾌적한 학교 실내공기질 관리의 기초자료로 제공하고자 한다.

Table 1. Sampling sites in this study

	Newly built classroom(NC)	Remodeled classroom(RC)
General classroom(GC)	12	20
School health room(HR)	0	16
Wee class(WC)	0	10
Gym(Gym)	6	1
Theater's room(TR)	0	7
Lunch room(Lu)	4	1
Computer room(CR)	0	5
Science classroom(SC)	1	4
Library(Li)	0	4
Dormitory(DR)	3	0
Total	26	68

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구에서는 Table 1에 나타난 바와 같이 경상남도 소재 초·중·고등학교 신축 교사 26개 및 개축 교사 68개 등 총 94개 교사를 대상으로 하였으며, 시료채취 교사는 일반교실, 보건실, 상담실, 체육관, 교무실, 급식소, 컴퓨터실, 과학실, 도서관, 기숙사 등이다.

2. 시료의 채취

대상시설에서 환경부 신축공동주택 실내공기질공정시험방법에 준하여 밀폐 상태에서 각 교실별 VOCs 및 HCHO의 시료를 각 2회 채취 후 평균농도로 특성을 파악하였다. 조사대상 신·개축 교사의 실내공기 중 VOCs 및 HCHO의 농도는 평균, 표준편차, 최소값, 최대값 등으로 산출하였으며, 개별 VOCs 물질의 농도 수준은 환경부 신축공동주택에 대한 권고기준과 비교하였다. 여기서 총휘발성유기화합물(Total Volatile Organic Compounds, TVOC)은 실내공기질공정시험기준에 C6~C16 사이의 휘발성유기화합물질을 톨루엔으로 정량토록 되어 있으나, 본 연구에서는 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌의 5가지 항목물질의 합으로 TVOC를 산출하여 분석하였다(Lee et al., 2012).

한편, 실내공기중 VOCs의 시료채취 방법은 Tenax TA로 충전한 스테인레스 스틸 흡착관(4.6cm×9cm, Supelco, USA)과 휴대용 펌프(MP-Σ30, SIBATA, Japan)를 사용하여 100 mL/min 유속으로 30분씩 2회 연속 채취하였다. 흡착관은 시료채취 전 고순도 질소를 이용하여 열탈착시켜 불순물을 깨끗하게 탈착시킨 후 사용하였으며, 시료채취 전 오염을 막기 위하여 마개로 막고 파라필름, 알루미늄 호일 등으로 완전히 밀봉하였다.

HCHO의 시료채취는 2,4-DNPH 카트리지(Supelco)와 휴대용 펌프(MP-Σ100H, SIBATA, Japan)를 사용하여 1 L/min 유속으로 30분씩 2회 연속 채취하였다. HCHO 포집 시 2,4-DNPH 유도체를 감소시키거나 인위적인 불순물을 형성하는 방해물질로 존재하는 오존의 영향을 제거하기 위해 2,4-DNPH 카트리지 전단부에 오존 스크리버(Supelco, USA)를 부착하였다. 시료채취 후 VOCs 흡착관 및 2,4-DNPH 카트리지는 완전히 밀봉한 후 현장에서 냉장보관 상태로 실험실로 가져와 48시간 이내에 분석하였다.

3. 시료의 분석

Table 2에는 VOCs 및 HCHO의 분석조건을 나타내었다. Tenax TA 흡착관에 채취된 VOCs 시료는 자동열탈착장치(ATD 400, Perkin Elmer, USA)와 연결된 GC/MS(Clarus 500, Perkin Elmer, USA)를 사용하여 분석하였다. VOCs 항목별 정성 및 정량분석을 위하여 Benzene 등 13종의 VOCs 측정항목을 주요 분석항목으로 고려하고 미국 환경청(Environmental Protection Agency, EPA)의 TO-14 분석용으로 제조된 VOCs 기체상 혼합표준물질(TO-14A Calibration Mix, Spectra Gases)을 사용하였다.

또한, 채취된 2,4-DNPH 카트리지는 HPLC grade 아세토니트릴 용매 5 mL로 추출하고 추출 직후 시료를 분석하였다. 추출된 시료용액의 HPLC(Series 200, Perkin Elmer, USA) 분석은 역상칼럼(C18, 4.6 mm×250 mm)을 사용하고 이동상은 초순수, 테트라하이드로퓨란, 아세토니트릴 혼합용액을 사용하였다. 알데히드물질과 DNPH의 반응에 의해 생성된 DNPH 유도체는 자외선 영역에서 흡광성이 있으며 350~380 nm에서 최대의 감도를 나타냄으로 UV 검출기를 이용하여 360 nm의 파장에 고정시킨 후 HPLC로 분석하였다.

한편, VOCs 분석의 신뢰성 확보를 위하여 국립환경과학원이 실시하고 HCHO 및 벤젠 등 6종의 VOCs 숙련도검사 평가를 받고 있으며, 최근평가에서는 Z값(Z-SCORE)이 항목별로 -0.2~0.92 범위로 나타나 분석 적합 판정기준인 Z-SCORE < |2| 이내의 적합판정을 받았다.

Table 2. Analysis conditions of VOCs and HCHO

Compounds	Method	Analysis system
VOCs	Tenax TA Tube (4.6 cm×9 cm, Supelco)	Thermal desorption apparatus(ATD 400, Perkin Elmer) Oven temp. 320°C / Desorb flow 30 mL/min, 10min / Trap high temp. 320°C / Trap low temp. -30°C GC/MS system(Clarus 500, Perkin Elmer) Column Elite-1(60 m, 0.32 mm, 1 µm) / Carrier gas Helium / Flow 1.0 mL/min / Final temp. 40°C→ 8°C→ 200°C / MS ion source temp. 230°C
		HPLC(Series 200, Perkin Elmer) Detector UV/vis. 360 nm / Column C18 reverses Mobile phase Acetonitrile / Flow 1.0 mL/min
HCHO	2,4-DNPH Cartridge (Supelco)	

4. 자료의 분석

본 연구에서 분석된 VOCs 및 HCHO의 농도자료는 MS Excel(Microsoft, USA)를 사용하여 상관분석(Correlation analysis)과 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)의 통계분석을 실시하였다.

III. 연구 결과

1. 전체 교사내 VOCs 및 HCHO의 농도 분포 특성

Table 3에는 총 94개 교사내 VOCs 및 HCHO의 농도 특성을 나타내었다. 전반적으로 VOCs 농도는 권고기준과 비교하여 벤젠의 경우 2개 교실에서 초과하였으나, 대부분 권고기준 이하로 나타났다. 개별 VOCs 평균농도는 톨루엔 57.95 µg/m³, 자일렌 56.02 µg/m³, 에틸벤젠 28.46 µg/m³, 벤젠 13.22 µg/m³, 스티렌 11.41 µg/m³의 농도 순으로 나타났다. TVOS의 농도 기여율은 톨루엔 > 자일렌 > 에틸벤젠 > 벤젠 > 스티렌의 순으로, 톨루엔이 가장 높은 기여도가 나타난 반면, 스티렌은 가장 낮게 나타났다. 대표적인 새학교증후군 유발물질인 HCHO의 평균농도는 33.33 µg/m³이며, 최고농도는 206.20 µg/m³으로 신축 공동주택 권고기준(210 µg/m³ 이하)을 모든 지점에서 만족하는 것으로 나타났으나, 학교보건법의 학교 교사내 HCHO 유지관리 기준(100 µg/m³ 이하)과 비교하면 총 교사 중 5.3%가 기준을 초과하는 것으로 나타났다.

Table 4에는 VOCs 및 HCHO 농도의 상관성을 분석한 것으로, 에틸벤젠과 자일렌 사이에서 가장 높은 상관관계($r=0.915$)를 보였으며, 이는 통계적으로 유의하였다($p<0.01$). 또한 벤젠은 자일렌과 $r=0.852$, 에틸벤젠과 $r=0.732$ 등 높은 양의 상관관계를 보인 반면, 스티렌은 에틸벤젠과 $r=-0.004$ 로 낮은 음의 상관관계를 보이고 있었다. HCHO는 대부분 VOCs 물질과 낮은 상관관계를 나타내었다.

2. 신축 및 개축 교사별 농도 특성

건축물에 사용되는 건축자재 및 내장재는 매우 많은 종류가 있으며, 특히 학교의 경우 신축 또는 교사 개축 시 사용되는 건축자재 및 내장재는 다소 차이가 있을 수 있다.

Table 5에는 신축교사(NC)와 개축교사(RC)별 각각의 VOCs 및 HCHO의 농도 특성 및 일원배치 분산분석 결과를 나타내었다.

Table 3. Distribution of VOCs and HCHO concentrations

Chemicals	Standard* ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Detection Ratio(%)	Concentration($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
			Mean \pm S.D.*	Min~Max	Median
Benzene	30	98.9	13.22 \pm 7.59	ND~40.18	12.21
Toluene	1,000	100	57.95 \pm 59.53	6.30~269.00	36.63
Ethylbenzene	360	100	28.46 \pm 17.53	0.60~84.44	28.37
Xylene	700	100	56.02 \pm 37.29	0.80~129.96	53.13
Styrene	300	93.6	11.41 \pm 12.20	ND~60.50	3.54
HCHO	210	100	33.33 \pm 34.88	2.40~206.20	21.25
TVOC	-	-	166.19 \pm 94.86	15.10~433.60	174.67

* Standard for newly-built collective housing

† S.D. : Standard Deviation

Table 4. Results of correlation analysis of each pollutant

Chemicals	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	Xylene	Styrene	HCHO
Benzene	1.000					
Toluene	0.053**	1.000				
Ethylbenzene	0.732**	0.331**	1.000			
Xylene	0.852**	0.141**	0.915**	1.000		
Styrene	0.029**	0.217**	-0.004**	-0.012**	1.000	
HCHO	0.046**	-0.125**	0.097**	0.106**	0.317**	1

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

우선 Figure 1의 TVOC 중 개별물질별 구성비는 신축의 경우 톨루엔(50.62%) > 자일렌(21.67%) > 에틸벤젠(14.15%) > 스티렌(7.30%) > 벤젠(6.26%)의 순으로, 톨루엔의 구성비가 거의 절반을 차지하는 것으로 나타났다. 개축의 경우 자일렌(37.85%) > 톨루엔(28.91%) > 에틸벤젠(18.08%) > 벤젠(8.49%) > 스티렌(6.67%)의

순으로 신축의 경우와 큰 차이를 보였다. 또한 VOCs 농도는 톨루엔의 경우 신축 $81.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 개축 $48.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 약 1.66배 높게 나타났다. 반면, 벤젠, 에틸벤젠, 자일렌 등의 농도는 신축보다 개축이 높게 나타났다. 전체 대상지점에서 VOCs 중 상대적으로 가장 낮은 농도를 보인 스티렌의 경우는 신축 $11.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 개축 $11.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 거의 유사한 농도로 나타났다. TVOCs는 신축 $158.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 개축 $169.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와의 농도비가 0.94로 개축이 신축에 비해 다소 높은 농도로 나타났다. 하지만 HCHO는 신축 $15.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 개축 $40.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 0.38배 즉, 개축이 신축보다 2.65배나 높게 나타났다.

개별성분별 신축 및 개축 교사별 유의확률(p-value)은 벤젠 0.014, 톨루엔 0.017, 에틸벤젠 0.050, 자일렌 0.000, HCHO 0.001로 유의수준 $p < 0.05$ 보다 작아 신축 및 개축교사에 따른 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 그러나 TVOCs 중 농도 기여율이 가장 작은 스티렌은 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

3. 교사별 농도 특성

일반 교실 및 특수 교실 등 교실의 사용특성에 따

Table 5. VOCs and HCHO concentrations in newly built and remodeled classroom

Chemical	Concentration($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		NC/RC Ratio	p-value
	Newly Built Classroom (Sampling number = 26)	Remodeled Classroom (Sampling number = 68)		
Benzene	10.06 \pm 9.83 (ND~40.18)	14.38 \pm 6.27 (0.30~24.84)	0.70	0.014
Toluene	81.39 \pm 81.88 (6.30~269)	48.98 \pm 46.07 (9.50~217)	1.66	0.017
Ethylbenzene	22.75 \pm 21.30 (1.80~85.44)	30.64 \pm 15.49 (0.60~75.77)	0.74	0.050
Xylene	34.84 \pm 39.02 (1.10~129)	64.12 \pm 33.49 (0.80~130)	0.54	0.000
Styrene	11.73 \pm 11.86 (ND~31.30)	11.31 \pm 12.40 (ND~60.50)	1.04	0.888
HCHO	15.19 \pm 14.89 (2.40~56.50)	40.27 \pm 37.81 (4.50~206)	0.38	0.001
TVOC	158.58 \pm 126.80 (17.10~433.60)	169.10 \pm 80.37 (15.10~423.05)	0.94	0.633

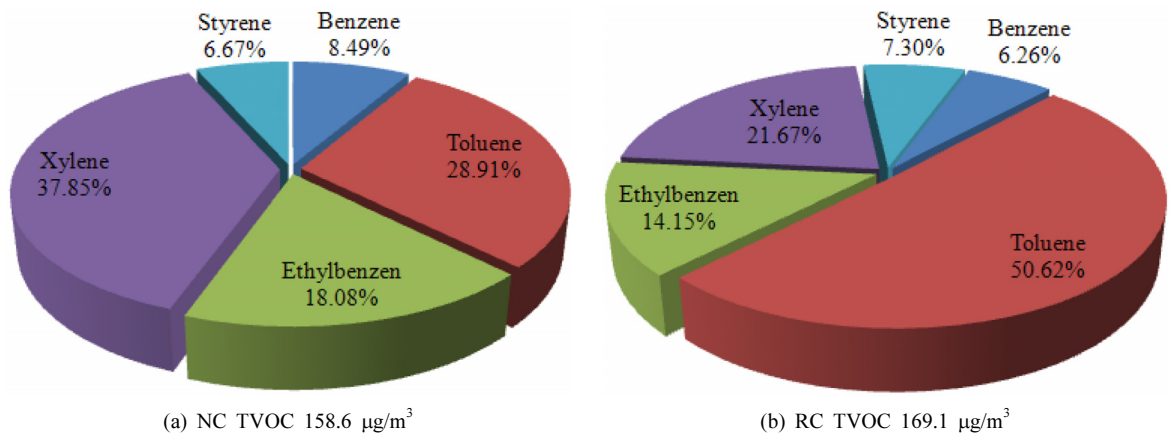


Figure 1. The composition of TVOC concentration in(a) Newly built and(b) Remodeled classroom

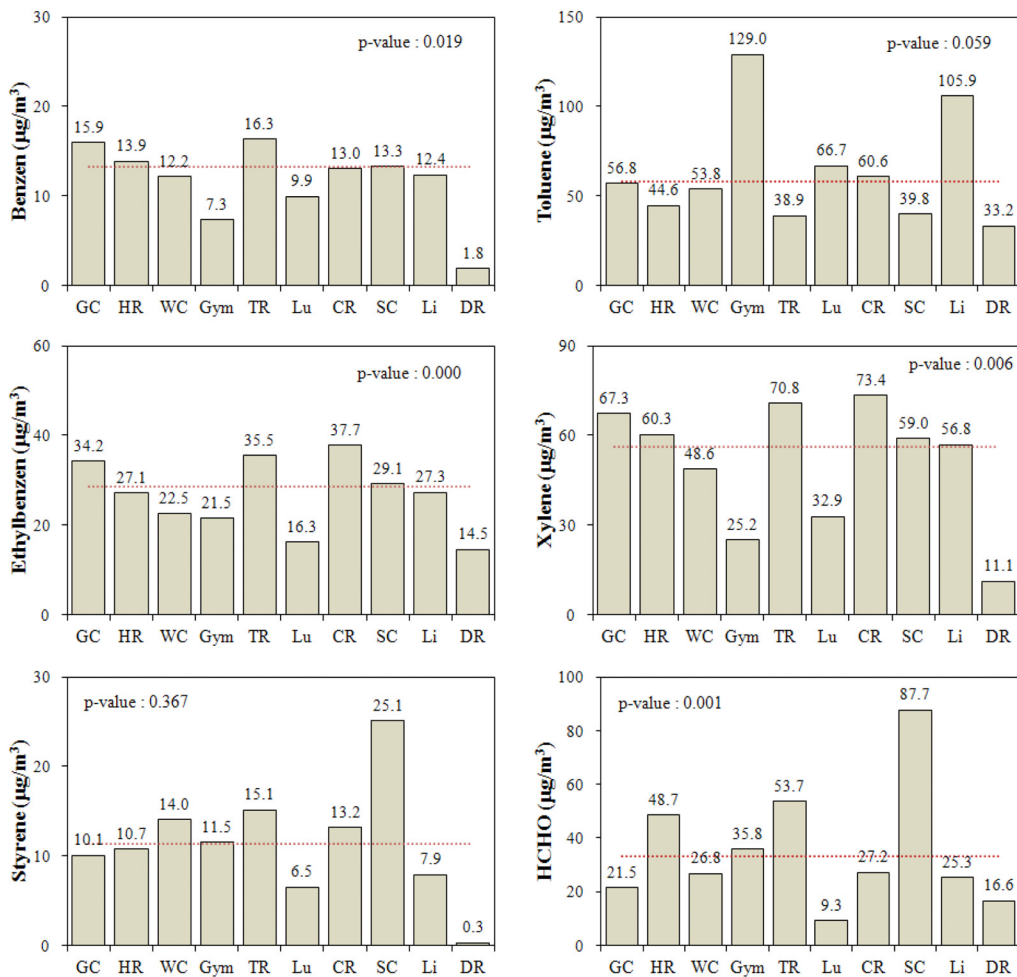


Figure 2. Concentrations of VOCs and HCHO in general and special classrooms(Dotted line is average concentration)

른 농도 특성을 파악하기 위하여 Table 1에서 나타난 일반교실의 농도 특성과 보건실, 상담실, 체육관, 교무실, 급식소, 컴퓨터실, 과학실, 도서관, 기숙사 등 10개 종류의 교사별로 구분하여 그 농도 특성을 비교하여 Figure 2에 나타내었다.

VOCs 및 HCHO 농도는 교사별로 차이가 있는 것으로 나타났다. 특히 벤젠의 농도는 교사별 평균 $1.83 \sim 16.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도 범위를 나타내고 있으며, 이중 교무실(TR) $16.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 일반 교실(GC) $15.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 평균값 $13.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 약간 초과하는 것으로 나타났다. 톨루엔은 체육관(Gym) $129.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 도서관(Li) $105.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 등으로 평균값 $57.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 약 2배 이상 초과하는 것으로 나타났다.

HCHO의 농도범위는 $9.26 \sim 87.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최저 및 최고의 농도비가 9.48배로 교사별 큰 농도차이를 보였으며, 특히 과학실(SC)은 $87.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 일반교실(GC) $21.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 4.08배나 높았다.

또한, 학교 교실별로 에틸벤젠, HCHO, 자일렌, 벤젠 등은 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

IV. 고 찰

전체 94개 신·개축 교사에 대한 VOCs 및 HCHO 농도수준은 일부지점을 제외하고는 전반적으로 권고기준 이하로 나타났으며, 이는 최근 실내공기질의 중요성에 대한 관심 증대와 친환경제품의 건축자재 사용 등 실내공기질 개선 실천노력에 따른 결과로 판단된다.

한편, TVOC 중 기여도는 톨루엔(34.69%) > 자일렌(33.54%) > 에틸벤젠(17.03%) > 벤젠(7.91%) > 스티렌(6.83%)의 순으로 나타났다. 특히, 톨루엔이 기여도가 가장 높고 스티렌이 가장 낮게 나타나는 경향은 기존 신축학교나 신축아파트의 VOCs 조사연구 등에서도 유사하게 보고되고 있다(Kwak et al., 2006; Choi et al., 2010; Lee, et al. 2012). 따라서 톨루엔은 신·개축 학교 실내공기질에 영향을 미치는 대표적인 유해물질로 판단된다.

또한, Sim & Kim(2006)과 Kwon et al.(2009)은 신축아파트의 경우 개별 VOCs 사이의 상관성이 모두 양의 상관관계로 같은 발생원에서 배출되고 있음을 보고하고 있으나, 본 연구에서는 일부 VOCs 물질간에 음의 상관관계가 나타났다. 이는 일반교실을 비롯한 다양한 학교 교사 시설과 사용되는 건축자재, 책·결상 등 학교

비품 등의 차이에 의한 원인으로 추정된다(Hwang et al., 2006).

신축 교사 및 개축 교사별 VOCs 및 HCHO의 농도 특성에서 물질별로 큰 농도 차이를 보이고 있었는데, 특히 HCHO는 개축이 신축보다 2.65배나 높게 나타났다. Yoo et al.(2006)은 신축학교 실내공기질 조사에서 건축마감 재료나 접착제 사용 그리고 교구재(책결상) 설치 유무에 따라 HCHO 및 VOCs의 농도 차이가 큰 것으로 보고하고 있다. 본 연구에서는 현장 조사 시 일반적으로 신축교사의 경우 교사 벽면 등을 목재 등 건축자재를 사용하지 않고 수성페인트로만 마무리하거나 각종 학교비품 등이 완전하게 갖추어져 있지 않은 상태가 많았다. 개축교사의 경우 과거 오래된 교사 벽면이나 바닥을 말끔하게 단장하기 위하여 목재 등의 마감자재를 사용하여 리모델링하는 경우가 많아 신축 교사보다 HCHO 방출이 상대적으로 많은 이유로 판단된다.

한편, 10개 교사별 VOCs 및 HCHO의 농도 특성 분석에서도 교사별로 농도 차이가 있는 것으로 나타났으며, 특히 에틸벤젠, 자일렌, 벤젠, HCHO 등은 교사별에 따른 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 기존 Hwang et al.(2006)의 연구에서도 일반교실과 컴퓨터 실에서의 HCHO 농도는 과학실에 비해 약 12~14배 높게 나타나는 등 교실 특성에 따른 농도 차이를 보고하고 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 경남소재 초·중·고등학교 총 94개 신·개축 교사를 대상으로 실내공기중 VOCs 및 HCHO 농도 측정결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 총 94개 교사 내 VOCs의 농도 특성은 대부분 신축공동주택의 권고기준 이하로 나타났으나, 상대적으로 가장 높은 농도로 톨루엔이 가장 높은 기여를 나타내어 신·개축 학교 실내공기질에 영향을 미치는 대표적인 유해물질로 판단되었다. 또한 HCHO 농도는 총 교사 중 5.3%가 학교 교사 내 유지관리 기준을 초과하는 등 지속적인 학교 실내공기질의 관리가 필요한 것으로 나타났다.

2. 신축 및 개축 교사별 농도 특성에서 물질별로 농도 차이를 보이고 있었다. 특히, 톨루엔의 경우 신축이

개축보다 약 1.66배 높게 나타난 반면, 벤젠, 에틸벤젠, 자일렌, HCHO 등은 신·개축의 농도비가 각각 0.70, 0.74, 0.54, 0.38배로 개축이 높았다.

3. 10개 교실별 농도 특성에서는 HCHO의 경우 과학실은 $87.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 일반교실 $21.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 4.08배나 높은 등 교사별 농도차이를 나타내고 있었다. 또한 교사 별로 에틸벤젠, HCHO, 자일렌, 벤젠 등의 농도는 통계적으로 유의한 차이가 있었다.

한편, 본 연구에서는 신축 및 개축 교사뿐만 아니라 일반 교실 및 특별 교실 등 교사의 용도에 따른 VOCs 및 HCHO의 농도 특성에 큰 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 건축자재의 종류나 책걸상 등 각종 교구재의 설치 유무 등이 실내공기에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다. 최근 오염물질 다량방출 건축자재의 사용 제한과 건축물의 친환경인증제도 실시 등으로 인해 과거에 비해 실내공기질의 개선이 기대되고 있다. 그러나 학교의 신·개축 교사의 경우 초기에는 유해오염물질이 다량 방출될 수 있고 소량의 유해물질이라도 학생들의 건강에 미치는 영향은 매우 크기 때문에 환기 시설의 설치 등 지속적인 학교 교사의 실내공기질 관리 개선이 필요할 것이다

감사의 말씀

이 논문은 2013년도 경남과학기술대학교 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

- Choi JS, Huh YK, Kim MH. Measurement of Indoor VOC Concentrations at New School in Metropolitan City. Proceeding of The Meeting of KOSAE; 2010. p. 407
- Daisey JM, Angell WJ, Apte MG. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. *Indoor Air* 2003;13:53-64
- Hodgson AT, Rudd AF, Beal D, Chandra S. Volatile organic compounds concentrations and emission rates in new manufactured and site-built houses. *Indoor Air* 2000;10:178-192
- Hwang YJ, Park HS, Jang SI, Roh KC, Son TJ, Han JW, Bae GS, Choi IJ. The Characterization of Carbonyl Compounds in the Newly-Built Schools, Daegu City. *J. KOSAE* 2006;22(6):831-841
- Kwaak HT, Sakong J. Hazardous Organic Compounds Concentration of Newly Built School Classroom and Neurobehavioral Performance of Elementary School Children. *The Environmental Education* 2011;24(3):18-25
- Kwak J, Kim SY, Kim SN. A Study on Indoor Air Quality Variation with Time in New Apartment. *The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment* 2006;16(1):146-153
- Kwon MH, Jang SK, Ryu JM, Seo SY, Won SR, Jung SJ, Lim JH. A Study on Management of Major Indoor Air Pollutants by House Type in Korea(I)-Indoor Air Pollution and Health Effects in Residential Apartment. NIER Report; 2009. p. 42-47
- Lee SH, Kim NH, Lee KS, Park KS, Park SY, Kim DS, Kang YJ, Kim ES, Kim DS. Analysis of VOCs Influencing Environment Factors Using Statistics in Apartment House. *J. KOSAE* 2012;28(4):435-445
- Lindstrom AB, Proffitt D, Fortune CR. Effects of modified residential construction on indoor air quality. *Indoor Air* 1995;5:258-269
- Ministry of Environment(MoE). Indoor Air Quality Control in Public Use Facilities, etc. Act. 2012.
- Rehwagen M, Schlink U, Herbarth O. Seasonal cycle of VOCs in apartments. *Indoor Air* 2003;13:283 - 291
- Sim SH, Kim YS. Characterization and Assessment of Indoor Air Quality in Newly Constructed Apartments-Volatile Organic Compounds and Formaldehyde. *Kor. J. Env. Hlth.* 2006;32(4): 275-281
- Yoo JH, Kang EH, Son YH, Ha SY, Choi JM. A Study on the Field Evaluation about the Indoor Air Quality of Schools Newly Built in Changwon. Proceeding of The Meeting of SAREK; 2006. p. 1244-1249