

## PG7) 충남지역 일부 학교 실내공기질 및 초등학생의 휘발성유기화합물의 노출평가에 관한 연구

### A Study of School Indoor Air Quality and Exposure Assessment for Chung-nam Area

이종대 · 전용택 · 조혜미 · 홍성철 · 임득순 · 최재현 · 손부순  
순천향대학교 환경보건학과

#### 1. 서 론

실내공기질(Indoor Air Quality, IAQ)에 대한 문제의 발생배경은 1970년대 초반 석유 파동으로 인한 에너지위기가 대두되어 에너지 절약 및 효율을 높이기 위한 노력으로 건물의 단열을 위한 밀폐화로 인하여 외부의 신선한 공기가 실내로 들어오지 못하게 되어 실내의 오염물질이 축적 되게 되었고, 이로 인하여 실내거주자들이 오염물질의 노출 가능성에 주목하기 시작하면서부터 실내공기질에 대한 문제가 대두되기 시작하였다(NAS, 1993). 국내의 경우 2001년 환경부에서 전국 성인 838명을 대상으로 일일 활동내역을 조사한 결과 실내에서 거주하는 시간이 약 20.3시간이며, 교통수단이 약 3시간으로 조사되어 한국인의 경우 하루 중 약 97%의 시간을 실내에서 보내는 것으로 조사되어 현대인들 대부분이 실내에서 생활하고 있는 것을 알 수 있다(환경부, 2001).

실내오염으로 인한 장기간의 노출로 실내 거주자 또는 근로자들에게 다양한 형태의 건강영향 증상을 나타낼 수 있으며, 그 원인물질로는 포름알데히드(이하, HCHO), 휘발성 유기화합물(이하, VOCs), 분진, 이산화탄소(이하, CO<sub>2</sub>) 등과 같은 실내공기오염물질이 알려져 있다(Jones, 1999). 실내 공기오염물질의 농도가 낮더라도 노약자, 유아, 환자들은 실내환경에서 장기간 생활과 면역력 결핍에 따라 건강영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 실내공기오염물질 중 포름알데히드는 건축자재, 가구, 접착제, 흡연, 의류, 가정용품, 흡연 등으로 인하여 실내에 배출되며 특히 건축자재 중 단열재, 페인트 카펫 등에서 많이 발생한다(Morrison et al., 2002). 특히 학교 실내공기질은 매우 열악한 상태이며 전국적으로 우리나라에는 약 11,000여개의 초·중·고등학교가 있으며, 이곳에 재학 중인 학생만도 약 850만 명에 이르고 있다.

따라서 본 연구는 실내공기 중 HCHO, VOCs의 농도를 교실의 특성별로 정량 및 정성적으로 조사하고 학생을 대상으로 예상되어지는 건강위해성을 파악하여 향후 학교 실내환경에 의한 거주자의 건강보호에 있어 정책결정에 자료로서 중요한 의의가 있다고 할 수 있다.

#### 2. 연구 방법

##### 2.1 포름알데히드(Formaldehyde)

Aldehydes의 시료채취는 증축 또는 개축 기간이 3년 미만인 교실을 대상으로 실시하였으며, 측정지점은 벽으로부터 최소 1m 이상 떨어진 위치의 바닥면으로부터 1.2~1.5m 높이를 기본으로 하고, 개인용 펌프(Gilian Air-3, USA)에 오존의 간섭을 제거하기 위한 KI(potassium iodide)가 충전된 오존스크러버(Supelco Inc, USA)와 350mg의 실리카로 코팅된 2,4-DNPH(2,4-Dinitrophenylhydrazine) cartridge(Supelco Inc, USA)를 연결시켜 장착한 뒤 500mL/min 유량으로 30분씩 2회 채취한다.

##### 2.2 휘발성유기화합물(VOCs)

시료채취는 증축 또는 개축 기간이 3년 미만인 교실을 대상으로 실시하였으며, 측정지점은 벽으로부터 최소 1m 이상 떨어진 위치의 바닥면으로부터 1.2~1.5m 높이를 기본으로 하고, 개인용 펌프(Gilian Air-3, USA)에 고체흡착관인 Tenax-TA(20/40mesh, Supelco Inc, USA)을 연결한 후 200mL/min의 유량으로 30분 씩 2회 채취한다. 채취한 시료는 즉시 분석을 실시하였고, 분석을 하지 않은 시료는 4℃ 이하의 냉암소에서 보관하였다. 보관된 시료는 3일 안에 분석을 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

교실의 특성을 일반교실과 특별교실로 구분하여 농도분포를 조사한 결과 VOCs의 경우 일반교실(251.67±565.91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이 특별교실(181.59±354.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )보다 높게 조사되었으나 통계적으로는 유의하지 않은 결과를 나타냈다. HCHO의 경우는 특별교실(34.22±43.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이 일반교실(24.61±23.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )보다 높게 조사되었으며 통계적으로도 유의한 차이를 나타냈다(표 1).

Table 1. Concentration of indoor air pollutants by type of classroom.

	General classroom(n=133)	Special classroom(n=223)	t	p-value*
Temperature(°C)	20.03±5.79	19.66±6.22	0.614	0.540
Humidity(%)	46.76±11.75	47.25±12.25	-0.321	0.748
HCHO( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24.61±23.83	34.22±43.16	-2.227	0.012*
TVOCs( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	251.67±565.91	181.59±354.86	1.426	0.155

\* T-Test

본 연구결과 중 특별교실을 강당, 과학실, 급식실, 도서실, 체육관, 컴퓨터실, 기타 학교내 실내공간으로 분류하여 HCHO의 농도와 총 VOCs의 농도를 비교한 결과 HCHO의 농도는 도서실 27.78±36.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 강당 48.75±48.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 과학실 29.52±25.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 급식실 27.78±36.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 체육관 22.12±19.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 컴퓨터실 18.78±12.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  순으로 조사되었다(표 2). 사후검정결과 도서실과 강당이 동일 집단으로, 도서실, 과학실, 급식실이 동일 집단으로, 과학실, 급식실, 체육관 컴퓨터실이 동일 집단으로 각각 분류되었으며, 특별교실 실내 HCHO의 평균농도는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 총 VOCs의 농도는 과학실 377.84±834.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 강당 268.73±332.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 도서실 173.89±233.49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 컴퓨터실 143.94±203.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 체육관 117.49±166.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 급식실 97.77±104.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  순으로 나타났다. 본 결과를 사후검정한 결과 모두 동일집단으로 분류되었으며 평균의 차이역시 통계적으로 유의한 결과를 나타내지 않았다. 특히, 특별교실의 경우 교실의 용도에 따라 VOCs는 평균이 약 2배, HCHO의 경우 약 5배정도의 차이를 보이고 있어 실내공기의 오염도가 교실내부를 구성하고 있는 구성물의 특성에 따라 많은 영향을 미치고 있다고 판단된다.

Table 2. Concentration of indoor air pollutants by type of Special classroom.

	Assembly hall(n=20)	Science Class(n=22)	Lunchroom (n=43)	Library (n=31)	Sports room(n=14)	Computer room(n=11)	Other (n=82)	p-value*
HCHO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	48.75 ±48.73	29.52 ±25.23	27.78 ±36.29	64.23 ±68.31	22.12 ±19.53	18.78 ±12.46	34.95 ±39.80	0.00*
	c	a, b	a, b	b, c	a	a	a, b	
TVOCs ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	268.73 ±332.26	377.84 ±834.25	97.77 ±104.11	173.89 ±233.49	117.49 ±166.08	143.94 ±203.05	170.55 ±293.86	0.251
	a	a	a	a	a	a	a	

a, b, c : Group with the same letter were not significantly different by Duncan test.

초·중·고별 각각의 오염물질 농도분포를 조사한 결과 휘발성유기화합물의 경우 초등학교(210.79±449.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 중학교(207.79±467.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 고등학교(195.96±406.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 순으로 조사되었으며, 포름알데히드의 경우 고등학교(36.03±43.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 초등학교(29.84±36.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 중학교(29.16±36.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 순으로 조사되었으나(표 3) 두가지 오염물질 모두 평균농도의 차이를 사후 검정한 결과동일하게 분류 할 수 있을 정도로 조사되어 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다.

Table 3. Concentration of indoor air pollutants by academic grades.

구분	primary school(n=183)	middle school(n=86)	high school(n=55)	p-value*
Temperature (°C)	19.74±5.91 (7.00-32.10) a	19.43±6.51 (8.00-33.50) a	20.62±5.95 (8.00-29.50) a	0.507
Humidity (%)	46.39±11.44 (17.00-89.00) a	46.25±12.59 (17.00-90.00) a	50.98±12.97 (26.00-77.00) b	0.032
HCHO (µg/m³)	29.84±36.24 (N.D-287.33) a	29.16±36.34 (N.D-251.72) a	36.03±43.22 (N.D-287.22) a	0.504
TVOCs (µg/m³)	210.79±449.08 (1.45-3742.24) a	207.79±467.29 (1.10-3359.60) a	195.96±406.21 (1.097-3742.24) a	0.976

a, b : Group with the same letter were not significantly different by Duncan test.

건축년도에 따른 오염물질 농도분포를 조사한 결과 VOCs의 경우 1년 미만의 교실(410.93±588.07µg/m³), 3년 미만의 교실(156.52±480.24µg/m³), 2년 미만의 교실(120.18±185.86 µg/m³) 순으로 농도분포가 조사되었으며, 특히 1년 미만의 경우 평균농도가 학교보건법에서 정하고 있는 400µg/m³를 초과하는 것으로 조사되었다. 평균농도의 차이를 사후 검증한 결과 1년 미만의 농도가 다른 두 그룹과도 평균차이에 있어 유의한 것으로 조사되었다. HCHO의 경우 역시 1년 미만 교실(41.37±47.73µg/m³)의 실내에서 2, 3년 미만 교실(31.50±34.89µg/m³, 22.21±28.96µg/m³)의 실내보다 평균적으로 유의하게 높게 나타났다(표 4).

Table 4. Concentration of indoor air pollutants by school building.

구분	<1yr(n=91)	1 ~ 2yr(n=130)	<3yr(n=356)	p-value*
Temperature (°C)	18.75 ± 6.38 (8.00-32.10) a	21.08±5.55 (8.00-33.50) b	19.20±6.14 (7.00-31.00) a	0.008*
Humidity (%)	48.12±13.58 (17.00-90.00) a	48.62±10.44 (27.00-77.00) b	44.72±12.20 (17.00-89.00) b	0.022*
HCHO (µg/m³)	41.37±47.73 (N.D-251.72) b	31.50±34.89 (N.D-242.22) a	22.21±28.96 (N.D-287.22) a	0.000*
TVOCs (µg/m³)	410.93±588.07 (2.47-3359.60) b	120.18±185.86 (1.15-1757.15) a	156.52±480.24 (1.097-3742.24) a	0.000*

a, b : Group with the same letter were not significantly different by Duncan test

### 참 고 문 헌

- 손종렬, 변상훈, 김영환, 김종혁, 조운수, 이재영, 박윤주 (2003) 서울시 일부 학교의 실내 공기질 조사 및 인식도 평가, 대한위생학회지, 18(3), 101-110.
- 통계청 (1999) 생활시간조사보고서, 생활시간량편, 통계청, 1, 29-50.
- Edwards, R.D., J. Jurvelin, K. Saarela, M. Jantunen (2001) VOC concentrations measured in personal samples and residential indoor, outdoor and workplace microenvironments in EXPOLIS - Helsinki, Finland, Atmospheric Environment, 35, 4531-4543.
- Jones, A.P. (1999) Indoor air quality and Health, Atmospheric Environment, 33, 4536-4564.