

충남지역 초·중·고등학교 교실의 실내 공기 중 포름알데히드(HCHO)의 농도분포에 관한 연구

홍은주 · 전용택 · 이치원 · 노선진 · 이종대 · 송미라* · 손부순†

순천향대학교 환경보건학과, *동신대학 뷰티코디네이션과

A Study on Concentration of Formaldehyde in Public Schools at Chung Nam Area

Eun-Ju Hong · Young-Taek Jeon · Che-Won Lee

Sun-Jin No · Jong-Dae Lee · Mi-Ra Song* · Bu-Soon Son†

Dept. of Environmental Health Science, Soonchunhyang University

**Dept. of Beauty Design Dong Shin University*

Abstract

A pilot study was conducted in order to investigate the concentration of formaldehyde at elementary school, middle school, the high school (108 classrooms) located in Chungchong-namdo during February - September, 2006.

Also, divide by (45 classroom) General Classroom and (63 classrooms) Stateroom.

The average concentrations of formaldehyde(HCHO) in the general classroom was high by $22.87 \pm 20.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ elementary school, $22.08 \pm 12.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ high school, $13.58 \pm 6.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ middle school.

The average concentrations of formaldehyde(HCHO) in the Stateroom was high by $27.58 \pm 30.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ elementary school, $22.03 \pm 19.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $22.87 \pm 20.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ middle school, $24.92 \pm 28.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ high school.

There was correlation between formaldehyde concentrations and temperature, humidity in general classroom ($P < 0.05$).

Key words : school, classroom, formaldehyde, indoor

*Corresponding author E-mail : sonbss@sch.ac.kr

I. 서론

환경오염으로는 수질오염, 대기오염, 토양오염, 폐기물에 의한 오염 등 주로 매체 중심의 환경오염 저감에 치중하여 왔으나, 최근 실내에서 생활하는 시간이 많고 실내공기질에 대한 관심이 높아짐에 따라 쾌적한 실내 공기질을 확보하기 위한 노력들이 계속되고 있다.¹⁾

산업화와 도시화의 진행에 의해 건물은 더욱 다양한 건축자재들의 사용으로 인해 새로운 오염 물질들이 방출되면서 실내공기의 오염은 악화되고 사람들의 건강에 영향을 주고 있다.²⁾ 건강에 영향을 주는 실내에서 발생하는 오염물질로는 휘발성 유기화합물(VOC), 포름알데히드(HCHO; Formaldehyde), 석면, 중금속 등의 다양한 화학물질이 제시되고 있으며, 특히, 포름알데히드(HCHO)는 새집증후군 등 실내공기질에 영향을 미치는 매우 중요한 유해인자로 부각되고 있다.³⁾

포름알데히드는 아세트알데히드와 함께 카르보닐화합물의 주요성분이며 일반 대기 환경에서의 발생원은 광화학반응에 의해 발생하는 스모그이며, 일반주택 및 공공건물에 많이 사용되는 단열재인 우레아폼(Urea formaldehyde form insulation)과 이 외에 실내가구의 칠, 가스난로 등의 연소과정, 접착제, 담배 연기등이 발생원이 되기도 하고, 교육시설에서의 포름알데히드 노출은 여러 교육 기자재 등이 발생원이 되는 것으로 보고 되고 있다.⁴⁾ 성장기 청소년과 기관지가 약한 사람의 경우, 성인에 비해 포름알데히드로 인한 건강 영향이 크고, 하루 6시간에서 길게는 12시간이상 한정된 공간인 교실에서 지내므로 많은 실내 오염물질의 영향을 받을 것으로 사료된다.

포름알데히드는 실온에서 가스로 존재하기 때문에 공기를 통해 80% 이상 노출되는 발암성 물질로서 눈, 코, 목 등에 대

한 자극성 물질이며, 0.12 mg/m³이하 또는 그 이상의 농도로 노출될 경우 급성 상기도 자극, 두통, 메스꺼움 등을 유발하고, 시각적인 자극 및 상기도의 자극을 유발한다고 알려져 있다.⁵⁾

현행 우리나라에는 “다중이용시설등의 실내 공기질 관리법”에 포름알데히드의 유지기준이 0.1ppm으로 규정되어 있다. 세계보건기구(WHO)에서는 포름알데히드 가이드라인을 100 μ g/m³로 정하고 있으며, 노출로 인한 인체의 보건학적인 영향은 1970년대 이후로 과학적인 문제와 더불어 대중적인 관심이 집중되었다.⁶⁾ 알데히드류의 노출이 성인에 비해 천식 증상이 있는 사람들이나 어린이들에게 민감하게 반응하여 더 위대한 영향을 미친다는 연구 보고^{7),8)}와 인테리어 장식재의 노출로 인한 어린이의 기관지 폐쇄 및 천식 질환 연구⁹⁾, 야행성 호흡곤란과 실내 포름알데히드 농도의 관계등도 보고되고 있다.¹⁰⁾

교육인적 자원부는 학교 실내공기질에 관한 학교보건법을 2006년 1월에 시행하였고, 교사안에서의 공기질을 관리하기 위하여 미세먼지(PM₁₀), 포름알데히드(HCHO), 총부유세균, 낙하세균, 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO₂), 라돈(Rn), 총 휘발성유기화합물(VOCs), 석면(Asbestos), 오존(O₃)와 진드기를 포함한 총 12가지를 점검항목으로 하고 있으며, 2006년을 기준으로 3년 이내 신축·중·개축한 학교에 대해서 포름알데히드(HCHO)와 총휘발성유기화합물(VOCs)을 연 1회 측정해야 한다고 규정하고 있다.¹¹⁾

따라서, 본 연구는 3년 이내 신축·중·개축한 충남 지역의 초·중·고등학교시설의 실내 공기 중 포름알데히드의 농도분포를 파악하여, 학교 실내공기 중 포름알데히드에 의한 오염방지 및 개선대책을 세우는데 있어서 기초 자료로 활용하고자 실시하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상

2006년 2월부터 9월에 걸쳐 3년 이내 신축·증·개축 한 충남에 위치한 초·중·고등학교 108개 교실 (초등학교 43, 중학교 38, 고등학교 27)을 선정하여 실내의 포름알데히드 농도와 온도 및 습도를 측정 하였다. 또한, 일반교실 43, 특수교실(과학실, 음악실, 컴퓨터실 등) 63 교사로 구분하여 포름알데히드와 온도, 습도를 파악하였다.

2. 연구방법 및 분석

포름알데히드의 시료 채취와 분석을 위해 우리나라 환경부의 실내 공기 질 공정시험법을 적용하였다.¹²⁾

2.1. 시료측정 방법

포름알데히드는 personal air sampler(Gilian Air-3)를 사용하여 유량 0.5 L/min으로 30분간 2회 측정하였고, 포름알데히드 채취시간 동안의 실내 온도 및 습도를 측정하였다.

2.2. 채취 및 분석 방법

시료의 채취 및 분석 방법은 표1과 표2에서 보는 바와 같이 4cm의 폴리프로필렌 튜브에 고 순도로 정제된 2,4-DNPH(2,4-DNPH ; 2,4-Dinitrophenylhydrazine)가 코팅되어 있는 2,4-DNPH cartridge (Supelco S10, USA)를 이용하였고, 포집된 시료를 고속 액체크로마토그래피(HPLC)로 분석하였다.

Table 1. Condition of DNPH cartridge

조 건	내 용
입자크기	150~250 μm (60/100 mesh)
DNPH 부하량	0.29 % (1 mg/cartridge)
베드(Bed) 무게	약 350 mg
용량	전체 카르보닐 화합물의 약 75 μg
배경농도	0.1 μg 이하

Table 2. Analytical conditions of HPLC for formaldehyde detection

조 건	내 용
Column	4.6(I.D.) \times 250mm, 5 μm (Mightysil RP-18, Kanto Chemical Co..)
Wavelength	360nm
Injection volume	5 μl
Mobile phase	Acetonitrile : Water=60:40
Flow rate	1.2ml/min

2.3. 통계 처리

포름알데히드 농도는 SPSS(ver. 12.0) 통계프로그램을 이용하여 평균, 표준편차, 상관관계를 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 포름알데히드 농도 측정 결과

일반교실의 포름알데히드 농도와 실내 온도 및 상대습도의 평균 측정값을 표3에 나타냈다. 초등학교 $22.8 \pm 20.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 중학교 $13.5 \pm 6.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 고등학교 $22.0 \pm 12.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 초, 중, 고 모두 학교보건법에서 제시된 기준치 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하지 않았으나, 초등학교에서 가장 높았고, 고등학교, 중학교 순이었다. 프랑스

의 경우 교실에서의 포름알데히드 농도는 $14.9 \sim 103.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, 홍콩에서는 $14.7 \sim 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 보고되었다.^{13),14)} 또한, 환경부¹⁵⁾의 연구보고서에 따르면 어린이집에서 HCHO 농도가 $12.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 보고되어 본 연구결과와 비슷한 경향을 보였다. 그러나, 새로 증축된 서산의 U 초등학교에서는, 포름알데히드 농도가 $106.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준치를 초과하였다.

이는, 서산의 U초등학교의 경우, 교사 내 마감 재료와 가구종류 등 포름알데히드 농도를 배출하는 배출원이 교사 내에 존재 하고 있기 때문에 높은 농도 분포를 나타낸 것으로 판단되며, 이러한 결과는 신축교실에 대한 실내 공기 질 대책의 필요성을 강하게 요구하는 것으로 판단된다.

Table 3. Concentration of HCHO in General Classroom

General Classroom				
	Number of sample	HCHO Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Temperature($^{\circ}\text{C}$)	Humidity(%)
	N	Mean \pm S.D ¹⁾ (Range)	Mean \pm S.D (Range)	Mean \pm S.D (Range)
Elementary school	21	22.8 ± 20.6 (4.5~106.8)	15.0 ± 4.0 (13.1~16.8)	43.4 ± 7.3 (40.1~46.8)
Middle school	17	13.5 ± 6.6 (5.3~26.7)	16.8 ± 3.8 (14.8~18.8)	45.4 ± 11.0 (39.7~51.1)
High school	7	22.0 ± 12.7 (9.3~47.0)	24.1 ± 24.8 (11.7~23.6)	52.7 ± 14.8 (38.9~66.4)
Total	45	19.2 ± 15.8 (4.5~106.8)	16.1 ± 4.4 (11.7~23.6)	45.6 ± 10.4 (38.9~66.4)

1) S. D. : Standrd Deviation

Table 4. Concentration of HCHO in Stateroom

Stateroom				
	Number of sample	HCHO	Temperature(℃)	Humidity(%)
		Concentration (μg/m ³)		
	N	Mean±S.D ¹⁾ (Range)	Mean±S.D (Range)	Mean±S.D (Range)
Elementary school	22	27.5 ± 30.5 (5.2~149.9)	12.9 ± 3.85 (11.2~14.6)	44.2 ± 8.3 (40.1~46.8)
Middle school	21	22.0 ± 19.1 (4.4~59.7)	16.1 ± 4.8 (13.8~18.3)	47.0 ± 10.5 (42.2~51.8)
High school	20	24.9 ± 28.1 (7.2~128.9)	18.5 ± 5.9 (18.7~21.3)	51.3 ± 11.7 (45.8~56.8)
Total	63	24.8 ± 25.9 (4.4~128.9)	15.7 ± 5.4 (11.2~21.3)	47.4 ± 12.7 (40.1~56.8)

특수교실에서의 포름알데히드 농도와 실내 온·습도의 측정결과를 표4에 나타내었다. 초등학교 27.5 ± 30.5 μg/m³, 중학교 22.0 ± 19.1 μg/m³, 고등학교 24.9 ± 28.1 μg/m³으로 초등학교가 가장 높게 나타났다. 일반교실의 경우 고등학교가 중학교보다 포름알데히드농도가 높았으나 특수교실에서는 중학교가 고등학교보다 높은 농도를 보이는 것으로 나타나고 있다. 대부분의 교사에서는 HCHO 농도가 기준치 100μg/m³을 넘지 않았지만, 서산에 위치한 U초등학교 급식실과, 공주에 위치한 K여고 기숙사 열람실에서 각각 149.9μg/m³와 128.9μg/m³의 포름알데히드 농도를 보여 기준치를 넘는 것으로 제시되었다.

본 연구대상 학교 중 서산 U초등학교 급식실의 경우 일반 교실 측정치 중 포름알데히드의 농도가 가장 높았던 교실과 동일한 학교로써, 급식 실 또한 기준치 이상으로 측정 되었다. 이는 건축 시 사용한 건축 자재 및 마감재가 같았기 때문에 일반교실과 특수교실모두 포름알데히드의 농도가 기준치 이상으로 측정된 것으로 판단된다. 문경환 등¹⁶⁾과 환경부 연구 보고서¹⁷⁾에 따르

면 포름알데히드의 농도 분포에 영향을 미치는 인자에는 건축 시 사용한 건축자재, 데커레이션 시 성분, 가구나 실내 가구의 칠, 난방연료의 연소과정, 흡연, 생활용품, 접착제, 의약품등에서 배출된다고 보고하고 있다.

또한, 공주의 K여고의 기숙사 열람실은 2005년 9월에 입사 하였으며 측정은 2006년 6월에 실시하였는데, 주요 마감 재료는 내부바닥은 테라조(terrazzo) 타일, 온돌마루타일, 벽은 몰탈위 천연수성페인트, 천정은 친환경텍스, 열경화성수지판 이며 외부는 화강석 버너구이, 토석벽돌, 외 단열 시스템, 지붕엔 우레탄 방수처리, 창호의 내측은 플라스틱, 외측은 알루미늄을 사용하였는데, 이 학교는 대부분의 마감 재료를 친환경계로 사용했음에도 포름알데히드농도가 높게 측정되었다. 측정 시 온열조건을 보면 시기적으로 6월, 실내 온도가 26℃ 였으며 비교습도 56%로 학교보건법상 냉방온도 26℃~28℃와 비교습도 30%~80%를 충족하고 있다. 이는 온열조건에 따라 포름알데히드의 농도 분포가 달라지기도 하겠지만, 열람실의 특성상 환기가 잘 이루어지고 있

지 않고, 건축자재 및 마감재료 뿐 아니라 열람실 용 책상과 의자 등 포름알데히드를 배출 할 만 한 어떤 매체에 의해 단시간 고 농도로 배출되는 것으로 사료된다. Meyer and Hermanns¹⁸⁾의 연구에 의하면 포름알 데히드는 4~5년 이상 된 건물에서는 단열 재인 건축 자재를 사용한 건물 자체에서의 발생이 거의 없다고 보고하고 있는데, 기준 치를 넘고 있는 학교에 대하여 시공 시 마감 재료 등의 역학조사를 실시하며, 각 학교별 신축, 증, 개축 시 마감 재료나 접착제를 친환경 제품으로 사용하도록 권고하고, 학교 보건법상 제시 하고 있는 1인 필요 환기 량인 21.6m³을 확보 할 수 있도록 환기 시스템을 설치하도록 하는 것이 중요 할 것으로 생각된다.

일반교실과 특수교실의 포름알데히드 농

도를 보면 모두 기준치는 초과 하지 않았지만, 일반 교실보다는 특수 교실에서 포름알 데히드의 농도가 다소 높게 조사 되었다. 이는, 특수교실이 일반교실에 비해 포름알 데히드가 배출 될 만한 미술도구나, 과학기 자재 및 생활 용품 등이 많기 때문인 것으로 생각된다. 따라서, 각 학교별 또한 교실 별로 실내 공기오염에 대한 실질적인 대책 이 필요 할 것으로 판단된다.

2. 온·습도와 포름알데히드 상관성 조사

일반 교실에서 분석한 포름알데히드의 농도와 실내 온도와의 상관성을 표5에 나타 내었다. 포름알데히드 농도와 실내 온도와 는 유의한 상관성을 보이지 않았고, 습도는 양의 상관성을 보였다.

Table 5. Correlation coefficient among Formaldehyde, Temperature, Humidity in the general classroom

Variables	HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Humidity(%)
HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.000		
Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	.048	1.000	
Humidity(%)	.343*	-.097	1.000

*, p<0.05

Table 6. Correlation coefficient among Formaldehyde, Temperature, Humidity in the elementary school Stateroom

Variables	HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Humidity(%)
HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.000		
Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	.007	1.000	
Humidity(%)	.085	.093	1.000

특수교실에서는 표6에서 보는 바와 같이 포름알데히드와 온도 간에는 유의한 관계를 보이지 않았고, 습도 또한 유의한 관계를 보이지 않았다. 이는 실내 공기 질은 온·습도와 밀접한 관계가 있으며, 특히 새집증후군의 주요물질인 HCHO와 VOC(Volatile Organic Compounds)는 온도가 증가할수록 방출량도 증가되는 것으로 알려져 있으나, 본 연구에서는 상관성이 나타나지 않았다. 이러한 결과는 일반교실, 특수교실 모두 실내 온도가 실내위생학적 온도인 $18 \pm 2^\circ\text{C}$ 범위로 실내 온도가 높지 않았기 때문인 것으로 보인다. 단지, 공주의 K여고의 기숙사 열람실에서 실내온도가 학교 보건법상 여름철 실내 위생학적 온도인 26°C 상태에서 포름알데히드 농도가 $128.91\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. 이는 온도에 의한 영향이 보다 실내 공기질에 영향을 주는 다른 요인에 의한 것으로 판단된다. 이로써, 포름알데히드의 농도는 높은 온도에서 더 많은 배출을 하겠지만, 건축자재 및 마감재, 환기 등 다른 원인이 존재할 가능성이 있는 것으로 생각 된다.

조완재 등¹⁹⁾의 연구결과에 의하면 베이크아웃(Bake-out) 실시 후 포름알데히드 보다는 TVOC(총 휘발성유기 화합물)에서 큰 감소를 보이지만 포름알데히드의 방출량 또한 0.2~0.89배로 감소한다고 보고하고 있다. 그러므로, 학교를 신축, 증, 개축한 후 베이크아웃(Bake-out)을 실시하고 실내공기질에 영향을 줄만한 실내 기상 인자들에 대한 관리를 함으로써 쾌적한 공기질을 유지하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

따라서, 학교 실내공기질을 적정하게 유지하기 위해서는 포름알데히드 농도가 검출된 특수교실과 일반 교실에는 적절한 환기 시설은 물론이고, 교사로 사용되기 이전에 Bake out을 실시한 후 학생들이 생활할 수 있도록 제도화 하는 것이 필요 할 것으로 생각된다.

IV. 결론

본 연구는 2006년 2월부터 9월에 걸쳐 충남에 위치한 초·중·고등학교 108개 교실(초등학교 43개실, 중학교 38개실, 고등학교 27개실)을 선정하여 실내의 포름알데히드 농도와 그 때의 온도 및 습도를 함께 측정 하였다. 일반교실(45개실)과 특수교실(63개실)로 구분하여 온·습도 및 포름알데히드 농도 분포를 측정 분석 결과는 다음과 같다.

1. 일반교실의 포름알데히드(HCHO)농도는 초등학교 $22.87 \pm 20.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 중학교 $13.58 \pm 6.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 고등학교 $22.08 \pm 12.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 초등학교, 고등학교, 중학교 순으로 높았다.
2. 특수교실에서 포름알데히드 농도는 초등학교 $27.58 \pm 30.5\mu\text{g}/\text{m}^3$, 중학교 $22.03 \pm 19.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 고등학교 $24.92 \pm 28.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 초등학교, 중학교, 고등학교 순으로 높았다.
3. 일반교실의 포름알데히드와 온도, 습도와의 상관관계에서 습도와 포름알데히드 농도가 양의 상관관계를 나타냈다 ($P < 0.05$).

향후 특수교실에 대한 용도별, 사용 시간 등을 고려한 포름알데히드 농도에 관한 연구가 이루어져야 할 것이며, 각 학교의 포름알데히드의 농도에 원인이 될 만한 인자들을 역학 조사하여 보다 실질적인 대책을 강구해야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. (사)한국환경정보·연구센터, 2003 건축자재로 인한 실내공기질오염에 관한 제도적 개선방안.

2. 신동천, 양지연, 임영욱, 김호현, 박성은, 홍천수, 2003, 실내환경오염이 거주자의 건강에 미치는 영향평가 및 예방모델 개발. 한국대기환경학회, Vol.35, 69-70.
3. 하권철, 2004, 경남지역 지하생활공간 중 미량 유해물질인 포름알데히드의 농도 분포특성. Vol.30, No.5, 353-357.
4. ToxFAQs, ASTDR, 1999, Agency for Toxic Substances and Disease Registry(ASTDR) : Formaldehyde.
5. Stenton SC, 1994, Hendrick D J. Immunol Allergy Clin North Am, 14:635-657.
6. Kay A, et al., 1981, Formaldehyde exposure in nonoccupational environments. Archives of environmental health 49(3); 175-181.
7. Burr ML, 1999, Indoor air pollution and the respiratory health of children. Pediatric pulmonology, supp, 18: 3-5.
8. Garrett MH, et al., 1999, Increased risk of allergy in children due to formaldehyde exposure in homes. Allergy, 54: 330-337.
- 9) Jaakkola Jouni JK, et al., 1999, Interior surface materials in the home and the development of bronchial obstruction in young children in Oslo, Norway. Am. J Public Health, 89(2):188-91.
10. Norback D, et al., 1995, Asthmatic symptoms and volatile organic compounds, formaldehyde, and carbon dioxide in dwelling. Occupational and environmental medicine, 52: 388-395.
11. 교육인적자원부, 2005, 학교보건법의 개정
12. 환경부, 2003, 다중이용시설 등의 실내 공기 질 공정시험법(법률 6911호)
13. Lee, S. C., Guo, H., Li, W. M. and Chan, L. Y., 2002, Inter-comparison of air pollutant concentrations in different indoor environments in Hong Kong. Atmospheric Environment, Vol.36, 1929-1940.
14. Meininghaus, R., Kouniali, A., Mandin, C. and Cicolella, A., 2003, Risk assessment of sensory irritants in indoor air-a case study in a French school. Environmental International, Elsevier Science Ltd. Vol.28, 223-557.
15. 환경부, 2002, 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구, 연구보고서
16. 문경환, 변상훈, 최달웅, 이은일, 오은하, 김영환, 2006, 실내 공기 중 일부 알데히드류에 대한 위해도 평가 - 일부 주택 및 아토피 환자 주택을 대상으로- Vol.32, No.1, 19-26. 17) 환경부, 2002, 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구, 연구보고서
18. Meyer B, Hermanns K. 1985. Formaldehyde release from pressed wood products. In: Turoski V. editor. Formaldehyde: analytical chemistry and toxicology. Proceedings of the symposium at the 187th meeting of the American Chemical Society; 1984 Apr 8-13; St. Louis, MO. Washington: American Chemical Society,
19. 조완제, 전주영, 김성와, 심장보, 2005, 공동주택의 실내공기질 개선방안 ; 베이크 아웃을 중심으로, 대한설비공학회