

## 인천지역 일부 학교의 실내 및 대기 중 포름알데히드 농도 평가

정연희 · 최상준<sup>†</sup>

원진직업병관리재단부설 노동환경건강연구소  
(2007. 10. 2. 접수/2007. 10. 20. 채택)

## Assessment of Formaldehyde Concentration in Indoor and Outdoor Environments of Schools in Incheon

Yeon-Hee Jeung · Sang Jun Choi<sup>†</sup>

Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health  
(Received October 2, 2007/Accepted October 20, 2007)

### ABSTRACT

This study evaluated formaldehyde concentration in classrooms and on roofs at 4 elementary schools, 3 middle schools and 3 high schools in Incheon City. These schools were chosen based on their surrounding environments that included industrial site, landfill, railway, 8-lane road and harbor. Indoor concentration ranged between 4.65 and 56.25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , while that of outdoor concentration was 1.23~10.22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , both of which were below 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a formaldehyde criterion stipulated by the School Health Act. Indoor concentration was higher than outdoor concentration by 1.4~5.9 times, and there was a positive correlation between indoor and outdoor formaldehyde concentrations ( $R=0.49$ ). As for indoor concentration, multi-use practice rooms had an average 2.8 times higher than that of usual classrooms with a statistically significant difference ( $p<0.01$ ). Indoor formaldehyde concentration had a positive correlation with the construction year ( $R=0.55$ ). The school close to the industrial complex had the highest ambient formaldehyde concentration, followed by the one near a landfill. The formaldehyde concentration in school in the vicinity of the industrial complex was twice or more than that of the school located other site. In conclusion, this study suggests that it is crucial to consider surrounding environments in selecting school sites, as it can influence ambient air contamination, as well as using construction material that emit less formaldehyde, in order to protect the health of students, teachers and school staff.

**Keywords:** formaldehyde, school, indoor air quality, surrounding environment

### I. 서 론

현대인들이 실내에서 보내는 시간은 하루 24시간 중 3분의 2 이상인 80%를 차지한다.<sup>1)</sup> 청소년기의 학생들은 가정에서 뿐만 아니라 학교, 학원 등의 실내에서 보내는 시간이 많은데, 특히 신체와 정신적 발달이 왕성한 시기인 성장기 학생들의 경우는 활동량이 많아 호흡량도 많은 시기이므로, 더욱 실내 환경을 쾌적하게 만들어주고 유지해 주어야 한다.

미국환경청(U.S Environmental Protection Agency, EPA)에서는 학교 실내환경관리를 최우선 과제로 인식하며, 그에 따른 행정 조치도 매우 강력하다.<sup>2)</sup> 우리나

라에서도 최근 한 신설 초등학교의 학생이 화학물질에 의한 아토피 피부 질환을 진단받은 바 있으며, 학급 교훈 중 하나가 “창문열기”가 될 정도로 학교 실내공기 질에 대한 문제가 대두화 되었다.

포름알데히드(HCHO)는 특이한 냄새를 가지는 가연성, 무색의 기체로써 냄새의 역치는 약 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이지만 예민한 사람은 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 낮은 농도에서도 감지할 수 있다.<sup>3)</sup> 포름알데히드는 피혁제조나 사진건판, 폭약 등을 만들 때 이용되고 강한 반응성을 이용하여 요소계, 멜라민계 합성수지를 만드는 공정 등에 사용된다. 주요 실외 발생원으로는 포르말린 제조, 합판 제조, 합성수지 및 화학제품 제조, 조각로, 석유정제, 유류, 목재, 천연가스 연소시설 등 매우 광범위하다. 실내오염 원으로는 일반주택 및 공공건물에 많이 사용되는 단열재인 우레아폼(urea formaldehyde form insulation)과 실내가구의 칠, 가스난로 등에서의 연소과정, 접착제,

<sup>†</sup>Corresponding author : Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health  
Tel: 82-2-490-2089, Fax: 82-2-490-2099  
E-mail : junilane@hanmail.net

흡연 등에 의해 발생한다.<sup>4)</sup>

최근 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 포름알데히드가 비인강암(nasopharyngeal cancer)을 일으키는 확실한 증거가 있으며, 백혈병과는 연관성이 강하지만 증거가 불충분(strong but not sufficient)하다는 연구결과를 토대로 인체에 확실한 발암물질인 'Group 1'으로 등급을 상향 조정하였다.<sup>4)</sup>

우리나라 노동부에서는 직업적 노출기준으로 8시간 평균 1 ppm, 단시간 기준 2 ppm을 제시하고 있고,<sup>5)</sup> 환경부에서는 실내 공기질 유지기준으로 120 µg/m<sup>3</sup>(0.1 ppm)를 제시하고 있다.<sup>6)</sup>

최근 각종 유해요소로부터 교사 안의 공기의 질을 적정 수준으로 유지·관리하기 위한 환경위생의 기준이 마련되어야 한다는 인식이 생겨나면서 학교보건법 시행규칙(2006. 1. 1 시행)이 일부 개정이 되고 유지·관리 기준 등이 구체화 되었다.<sup>7)</sup> 기존의 미세먼지, 이산화탄소 기준에서 새학교 증후군의 원인물질인 포름알데히드, 휘발성유기화합물 등 10개의 항목을 추가한 12개 항목에 대한 유지 기준이 마련되었으며, 포름알데히드는 100 µg/m<sup>3</sup> 이하로 유지하도록 하고 있다.

실내 공기 중 포름알데히드에 대한 연구에서 70-140 µg/m<sup>3</sup> 수준인 가정의 아이들이 천식이나 만성기관지염을 일으킬 확률이 높은 것으로 나타났으며, 특히 흡연 유무를 고려 시 흡연 가정의 아이들이 더 큰 영향을 받는다는 연구결과도 있다. 게다가 천식이 있는 어린이와 건강한 어린이를 대상으로 40 µg/m<sup>3</sup> 수준의 포름알데히드에 노출 후 최고 호기유속(peak expiratory flow rates, PEFR) 테스트 결과 의미 있게 나타났다.<sup>8)</sup>

최근 홍콩에서의 조사결과에 따르면, 가정, 식당, 쇼핑물, 학교, 사무실 등의 실내공기 평가 시 포름알데히드의 수준이 18-43 µg/m<sup>3</sup> 수준인 것으로 나타났다. 장

소별 농도수준으로 볼 때 쇼핑물이 가장 높게 나타났는데, 이것은 목재가구나 인테리어 소재, 흡연 등의 영향이 있는 것으로 조사되었다.<sup>9)</sup>

국내에서도 1989년 김운신과 김미경은 지하역사와 지하상가를 대상으로 포름알데히드 농도를 조사한 결과 지하상가의 평균 농도는 122.2 ppb로 지하역사(60.1 ppb)보다 2배 이상 높다는 보고가 있다.<sup>10)</sup> 하(2004)은 2003년부터 2004년까지 경남 지방의 지하공간에 대해 포름알데히드 농도를 조사한 결과 온, 습도가 높은 날씨에 지하상가 내부의 농도가 실내 환경기준(0.1 ppm) 초과하였다고 보고하였다.<sup>11)</sup> 2004년 윤 등은 도시와 농촌지역의 유치원을 대상으로 실내, 외 포름알데히드 농도를 조사한 바 있으며, 도시지역 유치원 실내 농도는 평균 34.9 ppb, 농촌지역 유치원 실내 평균 농도는 36.4 ppb로 실내 농도는 지역과 무관하게 나타나 포름알데히드의 주요 발생원은 실내라고 보고한 바 있다.<sup>12)</sup> 그러나 일반 초, 중, 고등학교를 대상으로 포름알데히드의 노출 특성을 조사한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 인천광역시에 소재한 일부 초, 중, 고등학교를 대상으로 교실 실내 및 대기 환경 중 포름알데히드의 농도 특성을 평가하여 향후 학교환경 개선에 이용될 수 있는 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

인천광역시에 소재한 초등학교 4곳, 중학교 3곳, 그리고 고등학교 3곳을 대상으로 2005년 5월~6월까지 조사하였다. 대상 학교의 선정은 도로(최소 2차선 이상의 통행량이 많은 곳) 인접지역, 주택밀집지역, 공단 인접지역, 기타 특수지역(매립지 주변, 항구 배후지역)등 지

**Table 1.** Characteristics of schools surveyed in this study

School	ID	Opening year	Surrounding	Average number of students per class
Elementary	ES-1	1995	Landfills	31.6
	ES-2	1997	Residential street	35.4
	ES-3	2002	Eight-lane load	33.4
	ES-4	1979	Railroad	34.1
Middle	MS-1	1960	Industrial complex	41.5
	MS-2	1983	Residential street	40.6
	MS-3	1994	Residential street	41.3
High	HS-1	1997	Apartment complex	35.8
	HS-2	1971	Residential street	39.1
	HS-3	1945	Harbor	33.8

**Table 2.** Analysis condition of formaldehyde

Item	Condition
Instrument	HPLC(Waters 2690 XE Separations Module)
Column	Phenomenex Luna C <sub>18</sub> (150 mm × 4.6 mm × 5 μm)
Mobile phase	Acetonitrile/water=45:55 (v/v)
Detector	Waters 2487 Dual λ UV-absorbance detector, 360 nm
Flow rate	1.5 ml/min
Injection volume	20 μl

역적 주변 특성을 고려하고 학교 설립년도를 고려하여 선정하였다. 최종 선정된 학교의 기본 특성을 정리하면 Table 1과 같다.

**2. 측정 및 분석방법**

각 학교별로 교실 실내(indoor) 한 곳과 선정된 교실이 위치한 건물 옥상(outdoor)에서 포름알데히드를 측정하였다. 학교 내에 최근 신축한 건물이나 remodeling 한 건물이 있을 경우 건축년도를 고려하여 실내 측정을 추가하였다. 측정은 학생들이 교실 내에 상주하는 전체 시간을 포함하도록 오전 8시부터 오후 5시까지 실시하였다.

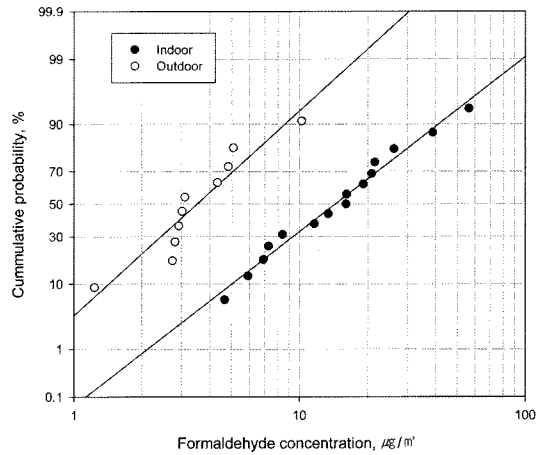
포름알데히드의 측정 및 분석방법은 환경부 실내공기질공정시험방법<sup>13)</sup>과 미국 산업안전보건연구원(NIOSH)의 공정시험법인 NMAM 2016<sup>14)</sup>을 참조하여 2,4-DNPH가 코팅된 실리카겔(SKC 226-119)을 저유량 펌프에 연결하여 채취하였고, 측정이 끝난 시료는 차광하여 4°C 이하의 냉암소에서 보관하였다. 아세트니트릴 용매 3ml로 추출(30분간 방치, 가끔 흔들어줌)하여 HPLC/UV를 이용하여 Table 2와 같은 조건으로 분석하였다.

**III. 연구결과 및 고찰**

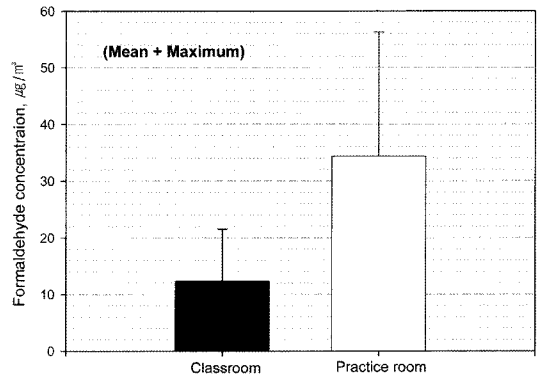
포름알데히드 측정결과는 Fig. 1에서와 같이 실내 · 외 농도 모두 대수정규분포를 하였으며, Table 3에서 보는 바와 같이 교실 실내 농도는 4.65~56.25 μg/m<sup>3</sup>으로 측정한 10개 학교 모두 학교보건법 시행규칙 제3조 「교사 안에서의 공기의 질에 대한 유지 · 관리 기준」에서 규정하고 있는 포름알데히드 유지기준인 100 μg/m<sup>3</sup> 미만 수준이었다.

**1. 실내 포름알데히드 농도 특성**

실내에서 측정한 총 15개의 포름알데히드 측정값을



**Fig. 1.** Log-normal distribution of formaldehyde concentration.



**Fig. 2.** Comparison of formaldehyde concentration between classroom and practice room.

측정공간의 용도에 따라 일반 교실과 다목적 실습실로 나누어 비교하면 Fig. 2와 같이 실습실 내부 농도가 일반 교실 보다 평균 2.8배 높게 나타났으며, 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(p<0.01).

일반 교실은 학생들이 상주하며 매일 빈번하게 창문을 열고 환기를 하거나 청소를 하는 반면, 다목적 실습실은 사용빈도가 많지 않아 평소에는 모든 문과 창문을 잠근 상태로 방치되는 경우가 많아 환기가 되지 않기 때문에 상대적으로 포름알데히드 농도가 높아질 수 있다.

본 연구에서 가장 높은 농도로 검출된 HS-2 학교의 별관 다목적교실은 2002년도에 신축되었으며 Fig. 3과 같이 접착식 나무 무늬 커버로 만들어진 넓은 책상을 갖추고 있으며 학생들의 사용빈도가 높지 않기 때문에 평소에는 문을 잠그고 창문도 닫혀 있어 환기가 잘 되지 않고 있었다. 오히려 교실을 이용하지 않는 동안 창

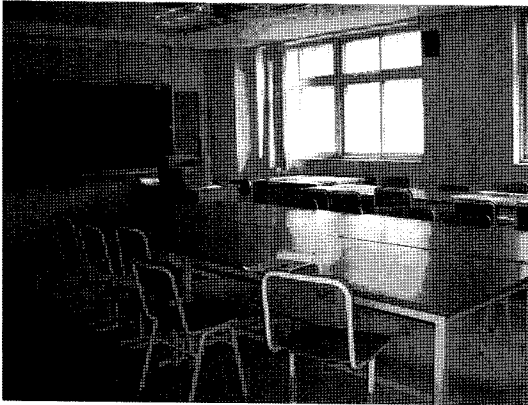


Fig. 3. Photo of practice room in HS-2.

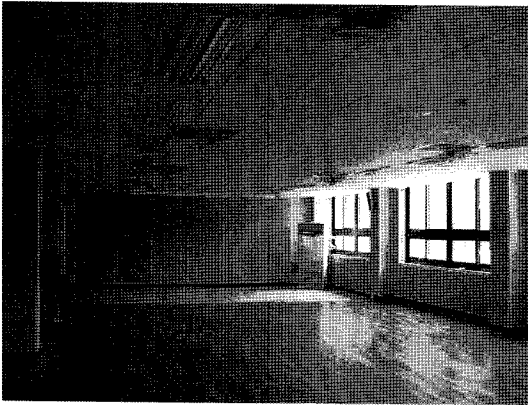


Fig. 4. Photo of practice room in MS-2.

문을 조금씩 열어 꾸준히 환기를 시키는 것이 바람직할 것이다.

두 번째로 농도가 높게 검출된 MS-2 학교의 신관 다목적교실은 Fig. 4와 같이 바다재는 접착식 무늬목으로 되어있고 벽면과 천장재는 직물로 이루어진 고급 내장재로 이루어져 있었다. 고급 내장재일수록 내구성을 위해 방부제 처리가 되어 있을 가능성이 크며 포름알데히드 발생양도 증가할 위험이 있다. 조사 당시 MS-2 학교에서는 교직원들이 요가 등 실내 운동도 실시하고 있었는데 적절한 환기가 되지 않은 상태에서의 운동은 오히려 포름알데히드 노출위험을 증가시킬 수가 있다. 특히 여름에는 운동 중에도 창문을 열지 않고 에어컨과 선풍기 등을 가동시키는 경우가 많은데 주의해야 한다. 이 교실도 평소에는 잘 사용하지 않기 때문에 문을 잠그고 창문도 닫힌 상태로 있는 경우가 많은데 평소 창문을 열어 주기적으로 환기를 시켜야 한다.

Matthews 등(1986)은 건축자재의 단위면적( $m^2$ )에 대한 시간당 포름알데히드 발생률을 조사한 결과 파티클

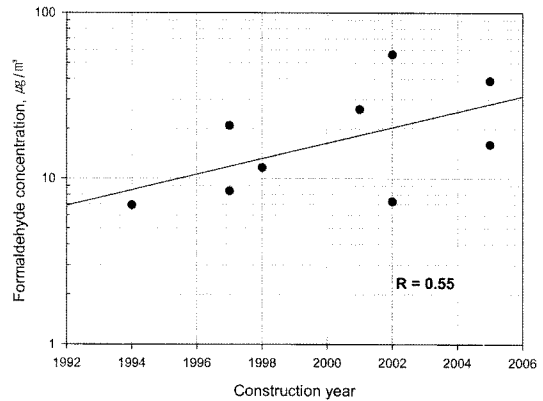


Fig. 5. Correlation between construction year and formaldehyde concentration.

보드는  $300 \mu g$ , 무늬가 인쇄된 합판  $170 \mu g$ , 섬유상 보드  $1,500 \mu g$  등으로 보고하고 있다.<sup>15)</sup>

본 조사에서 1990년대와 2000년대에 건축된 경우 실내의 포름알데히드 농도와 건축년도와는 양의 상관성 ( $R=0.55$ )을 보이고 있어 신축 건물일수록 실내 포름알데히드 농도에 대한 관리가 더욱 중요함을 알 수 있다 (Fig. 5). 심상호와 김윤신도 2004년부터 2005년까지 신축건물을 대상으로 실내 휘발성유기화합물(VOCs)과 포름알데히드의 농도를 조사한 결과, 신축건물의 문과 창문을 닫고 5시간이 지나면 급격히 농도가 높아진다고 보고하고 있다.<sup>16)</sup>

본 연구에서 2000년대에 신축된 신관 건물 내부의 다목적 실습실의 포름알데히드 농도는  $16.04\sim56.25 \mu g/m^3$  수준으로 민감한 사람의 경우 눈이 따끔거리는 증상을 느낄 수 있는 수준이므로 신축건물일수록 완공 후 초기에 집중적인 환기를 통해 최대한 실내 포름알데히드 농도를 낮출 수 있도록 관리해야 하며, 학생들이 눈, 코, 목 등이 따끔거리는 증상을 호소하지 않는 수준의 깊게 관찰해야 한다.

## 2. 실외 포름알데히드 농도 특성

동일 건물의 교실 실내와 옥상 외기에서 측정된 포름알데히드 농도를 비교하면 실내와 실외 포름알데히드 농도간에는 양의 상관성( $R=0.49$ )을 나타내었으며, 실외 농도에 비해 실내 농도가 1.4배에서 5.9배까지 높게 나타났다(Table 3).

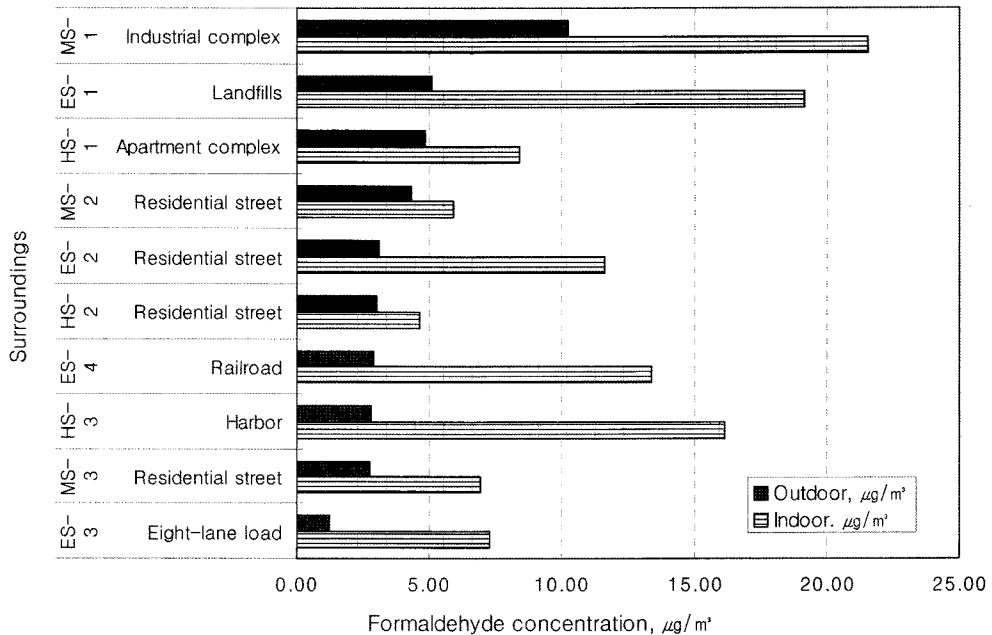
따라서 실내의 포름알데히드 농도는 실내오염원 뿐만 아니라, 공단지역처럼 외기의 질이 악화되어 있고 포름알데히드가 그 성분에 포함되어 있을 경우 외기의 영향도 받을 수 있음을 나타낸다.

각 학교 본관 건물 옥상에서 측정된 대기 중 포름알

**Table 3.** Summary of formaldehyde measurements

School ID*	Building	Construction Year	Indoor				Outdoor		I/O ratio
			Site	Floor	Floor material	Con. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Floor	Con. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
ES-1	Main	1955	Classroom	2	Wood	19.15	3	5.08	3.8
ES-2	Main	1998	Classroom	5	Urethane rubber	11.62	5	3.10	3.7
ES-3	Main	2002	Classroom	5	Patterned lumber	7.27	6	1.23	5.9
ES-4	Main	1979	Classroom	4	Patterned lumber	13.39	5	2.91	4.6
MS-1	Main	1984	Classroom	2	Wood	21.55	5	10.22	2.1
MS-1	Annex	1997	Classroom	2	Patterned lumber	20.83			
MS-2	Main	1983	Classroom	4	Marble	5.90	5	4.32	1.4
MS-2	Annex	2005	Practice room	1	Patterned lumber	38.91			
MS-3	Main	1994	Classroom	5	Marble	6.91	6	2.73	2.5
MS-3	Annex	2005	Practice room	1	Patterned lumber	16.04			
HS-1	Main	1997	Classroom	4	Marble	8.39	6	4.83	1.7
HS-2	Main	1971	Classroom	2	Marble	4.65	5	3.01	1.5
HS-2	Annex	2002	Practice room	1	Marble	56.25			
HS-3	Main	1945	Classroom	4	Marble	16.13	5	2.80	5.8
HS-3	Annex	2001	Practice room	3	Marble	26.18			
Arithmetic mean						18.21		4.02	3.30
Standard deviation						13.92		2.46	
Geometric mean						14.4		3.50	
Geometric standard deviation						2.0		1.7	

\*School ID: ES-elementary school, MS-middle school, HS-high school



**Fig. 6.** Comparison of formaldehyde concentrations by surroundings.

데히드 농도를 학교 주변 특성과 함께 비교해 보면 Fig. 6과 같이 공단 주변에 위치한 MS-1에서 가장 높

게 나타났으며, 다음으로 높은 곳은 매립지 주변에 위치한 ES-1이었다.

특히 이 두 학교는 건물의 건축연도가 1990년대 이전이면서도 실내 포름알데히드 농도는 타 학교에 비해 높게 나타나고 있어 학교 주변 조건에 따른 대기 중 포름알데히드 농도가 교실 내 농도에도 영향을 줄 가능성이 있음을 확인할 수 있다. 학교 교실 내부의 포름알데히드 농도를 낮추기 위해서는 실내의 오염원에 대한 관리와 함께 창문을 통한 환기를 이용해야 하는데, 이때 학교 주변 입지조건에 따른 대기 오염도가 높을 경우 오히려 실내 오염도를 증가시킬 수 있는 것이다. 이러한 결과는 기존의 결과와<sup>12)</sup> 상반되는 결과인데, 기본적으로 포름알데히드 발생원이 실내이기는 하지만 실외공기가 이미 포름알데히드에 오염되어 있는 경우(본조사의 공단지역) 이의 영향을 받기 때문인 것으로 추정된다. 따라서 교직원 및 학생들의 건강 보호를 위해 포름알데히드 농도를 낮추기 위해서는 포름알데히드 방출이 적은 건축내장재의 사용뿐만 아니라, 초기에 학교의 부지 선정에 있어 대기 오염도에 영향을 주는 주변 입지조건을 고려하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

본 논문은 학교 주변의 입지조건을 고려하여 초, 중, 고 학교 실내와 실외의 포름알데히드 농도를 동시에 평가함으로써 실내의 포름알데히드 오염도의 주요 원인을 밝혀려 하였다. 그러나 학교 주변 조건, 건축연도, 실내 건축내장재의 종류 등 여러 변수에 따른 조사 대상 수가 적은 한계점을 갖고 있어 향후 유사한 특성을 가진 군별로 확대된 조사가 필요할 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

본 연구는 공단, 매립지, 철도, 8차선 도로, 항구 등 학교 주변의 입지조건을 고려하여 인천광역시에 위치한 초등학교 4곳, 중학교 3곳, 고등학교 3곳을 대상으로 교실 내부와 학교 옥상에서 포름알데히드 농도를 평가하였다.

측정결과 교실 실내 농도는 4.65~56.25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 실외 농도는 1.23~10.22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 모두 학교보건법에서 규정하고 있는 포름알데히드 유지기준인 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  미만 수준이었다.

실외 농도에 비해 실내 농도는 1.4배에서 5.9배까지 높게 나타났으며, 실내와 실외 포름알데히드 농도 사이에는 양의 상관성( $R=0.49$ )을 나타내었다. 이는 실내의 포름알데히드 농도는 실외 요인보다는 실내 요인에 의한 기여도가 크며, 또한 학교 주변 조건에 따른 대기 오염도가 높을 경우 실내 오염도도 높을 수 있음을 시사한다.

실내 포름알데히드 농도는 일반 교실보다 상대적으로 환기가 되지 않는 다목적용 실습실이 평균 2.8배 높았으며( $p<0.01$ ), 건축연도와 양의 상관성( $R=0.55$ )을 보이고 있어 다목적 실습실의 환기상태 관리와 신축 건물에 대한 실내 포름알데히드 농도에 대한 관리가 더욱 중요하다고 할 수 있다.

동일 학교 건물의 교실 실내와 옥상에서 측정한 포름알데히드 농도를 비교한 결과 대기 중 포름알데히드 농도는 공단 주변에 위치한 학교가 가장 높았으며, 다음으로 매립지 주변에 위치한 학교가 높았다. 또한 교실 실내의 포름알데히드 농도도 공단 주변에 위치한 학교가 타 학교에 비해 2배 이상 높게 나타났다.

학교 교실 내부의 포름알데히드 농도를 낮추기 위해서는 실내의 오염원에 대한 관리와 함께 창문을 통한 환기를 이용해야 하는데, 이때 학교 주변 입지조건에 따른 대기 오염도가 높을 경우 오히려 실내 오염도를 증가시킬 수 있다. 따라서 교직원 및 학생들의 건강 보호를 위해 포름알데히드 농도를 낮추기 위해서는 포름알데히드 방출이 적은 건축내장재의 사용뿐만 아니라, 초기에 학교의 부지 선정에 있어 대기 오염도에 영향을 주는 주변 입지조건을 고려하는 것이 중요하다고 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 인천광역시 전국교직원노동조합협의회 지원으로 이루어졌으며, 연구에 협조해 주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Levy, J. I., Lee, K., Spengler, J. D. and Yanagisawa, Y. : Impact of residential nitrogen dioxide exposure on personal exposure: an international study. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **48**, 553-60, 1998.
2. EPA: Indoor air quality(IAQ) tool for school, IAQ coordinator's guide. 2nd ed, EPA, 2000.
3. NRC: Formaldehyde and other aldehydes. National Academy Press, National Research Council, National Academy of Sciences, Committee on Aldehydes, Board on Toxicology and Environmental Health Hazards, 1981.
4. International Agency for Research on Cancer(IARC): IARC monographs Vol. 88 formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tert-butoxy-2-propanol. IARC, Lyon, France, 2005.
5. 노동부 : 화학물질 및 물리적인자의 노출기준. 노동부 고시 제2007-25호, 2007.

6. 환경부 : 다중이용시설등의 실내공기질 관리법 시행규칙 제3조 별표 2. 실내공기질유지기준. 환경부령 제 201호, 2006.
7. 교육인적자원부: 학교보건법 시행규칙 제3조 별표 4의 2. 교사안에서의 실내공기질 유지·관리기준. 교육인적자원부령 제905호, 2007.
8. WHO : Air quality guidelines. 2nd ed, Formaldehyde Chapter 5.8, 2001.
9. Lee, S. C., Guo, Hai., Li, W. and Chan, L. : Inter-comparison of air pollutant concentrations in different indoor environments in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, **36**, 1929-1940, 2002.
10. 김윤신, 김미경 : 실내의 포름알데히드 농도에 관한 조사연구. 한국환경보건학회지, **15**(2), 1-9, 1989.
11. 하권철 : 경남지역 지하생활공간 중 미량 유해물질인 포름알데히드의 농도 분포 특성. 한국환경보건학회지, **30**(5), 353-357, 2004.
12. 윤충식, 정지연, 이광용, 박동욱, 박두용 : 유아교육시설의 위치 및 실내·실외에 따른 포름알데히드 농도 변화. 한국환경보건학회지, **30**(3), 259-263, 2004.
13. 환경부: 실내공기질관리 업무편람 2004. 2004.
14. National Institute for Occupational Safety & Health (NIOSH): NIOSH manual of analytical methods. 4th ed, DHHS(NIOSH), Method No. 2016, 3rd Supplement 2003-154, 2003.
15. Matthews, T. G., Funga, K. W., Tromberg, B. J. and Hawthorne, A. R. : Surface emission monitoring of pressed-wood products containing urea-formaldehyde resins. *Environment International*, **12**(1-4), 301-309, 1986.
16. 심상효, 김윤신: 신축공동주택의 실내공기질 특성 및 평가-휘발성 유기화합물 및 포름알데히드 중심으로. 한국환경보건학회지, **32**(4), 275-281, 2006.