

창원지역 신축학교의 실내공기질 현장평가 연구

유종훈*, 강은혜**, 손영환**, 하석용**, 최정민***

* 창원대학교 산업정보대학원 건축공학과, ** 창원대학교 대학원 건축공학과, *** 창원대학교 건축학부

A Study on the Field Evaluation about the Indoor Air Quality of Schools Newly Built in Changwon

Jong-Hoon Yoo*, Eun-Hye Kang**, Young-Hwan Son**, Suk-Yong Ha**, Jeong-Min Choi***

ABSTRACT: Because students are spending more time in their classroom for learning and study, indoor air quality problems in school classrooms are very important. When the classroom is built for the first time, namely newly built school, the selection of inside finishing material is directly connected with indoor air quality problems especially with HCHO and TVOC. But until now, there is no plenty of study about this. Moreover, there are some concerns about the desks and chairs which are used in classroom will affect the air quality, but almost no study is being made at all. Therefore, this study focuses on the field survey and analysis of classroom indoor air quality in newly built schools in Changwon.

In this study filed surveys and analysis are conducted as follows.

- 1) The effect of the material difference in general classroom.
- 2) The effect of the material and loading ratio difference in special classroom.
- 3) The effect of the desks and chairs in general classroom

Key words: Newly Built School(신축학교), Indoor Air Quality(실내공기질), HCHO(포름알데히드), VOCs(휘발성유기화합물), Classroom(교실)

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건물에서의 실내공기질은 환경문제의 부각 및 '심신의 건강과 쾌적'을 보다 적극적으로 추구하는 의식의 확산 등과 결부되어 이에 대한 관심과 개선 요구가 증대되고 있다. 특히 학교시설에서의 실내공기질은 에너지 절약을 위한 단열강화 및 고기밀화로 실내 환기량이 충분히 확보되지 못한 상태에서 포름알데히드(HCHO)나 휘발성유기화합물(VOCs)등 각종 유해물질을 방출하는 건축자재

및 교구류 등이 다량 사용되면서 날로 악화되어 가고 있는 상황이다. 반면 생활수준 향상에 따라 삶의 질적(Quality of Life) 측면이 상대적으로 부각되고 학생들의 건강 및 쾌적에 대한 관심이 높아지게 되면서, 학교 건물에서 발생하는 유해물질 및 이를 해결함으로써 체계적으로 실내공기질을 개선하고자 하는 사회적 공감대 또한 널리 형성되고 있다.

특히 신체와 정신의 성장발육이 왕성한 시기에 있는 성장기 학생들의 경우에는 활동량이 많아 개인이 흡입하는 호흡량은 많은데 비해 아직 전반적인 면역력이 약해서 오염된 실내공기로 인한 피해가 심할 것으로 염려되며, 학교 실내공기질 관리가 적절치 않을 경우 학생들에게 나쁜 학습

†Corresponding author

Tel.: +82-55-279-7612; fax: +82-55-285-1120

E-mail address: kang-eun-hye@hanmail.net

환경을 제공하여 불쾌감 내지는 질병, 결석 등을 유발하고 교사들의 업무효율 저하시킬 수 있으며, 심지어는 기침, 눈병, 두통, 천식 등 장·단기 건강문제의 증가 및 공기감염성 질병을 확산, 촉진시킬 가능성이 매우 높다.

신축학교의 경우에는 이와 같은 현상이 더욱 문제가 될 수 있는데 아직까지 이에 대한 연구 및 자료가 부족한 실정이다. 또한 건축시 선정되는 교실 바닥이나 벽체의 마감자재 또는 교실내 책걸상 등 교구재 설치에 따른 실내 공기질 검토가 필수적이거나 이에 대한 연구도 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 창원에 위치한 신축학교를 중심으로 일반 및 특별교실에서의 마감자재 변화 및 교실내 책걸상 등 교구재 설치에 따른 실내 공기질 측정하여 관련된 자료를 제시하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 창원지역에 소재한 신축학교를 대상으로 실내공기질 현장 평가를 실시하였으며, 선정된 학교들에 대해 다음과 같이 3가지로 분류하여 측정, 평가를 실시하였다.

- (1) 일반교실의 바닥 마감재 차이에 따른 실내공기질 측정, 평가
- (2) 특별교실(음악실)의 마감재 차이에 따른 실내공기질 측정, 평가
- (3) 일반교실의 교구재(책걸상) 설치에 따른 실내공기질 측정, 평가

2. 예비적 고찰

2.1 국내 학교보건법

사회가 산업화·도시화되기 시작할 무렵인 1967년 야간학교 및 도서실의 조도기준(50 Lux)을 ‘학교의 시설 기준’에 규정한 것이 학교 교사내 환경위생에 대한 기준의 시초이고 그 후 1997년 9월 23일에 개정된 “고교 이하 각급 학교의 설립·운영에 관한 규정”에는 조도기준, 온·습도기준, 소음기준 등이 규정되어 있으며, 2002년 개정된 학교보건법 시행규칙에는 상기내용에다 추가로 교실공기중의 이산화탄소와 미세먼지(PM10) 기준이 제시되었었고, 2005년 개정된 학교 보건법 시행규칙에는 포름알데히드, 휘발성유기화합물 등 12개 유해물질에 대한 유지관리 기준이 Table 1과 같이 마련되었다.

Table 1. 학교의 실내공기질 유지기준

오염물질항목	기준	적용 시설
미세먼지 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹⁾	100	모든 교실
이산화 탄소 (ppm) ²⁾	1,000	
포름알데히드 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	100	
총부유세균 (CFU/ m^3)	800	
낙하세균 (CFU/실당)	10	보건실, 식당
일산화탄소 (ppm) ³⁾	10	개별난방 및 도로변교실
이산화질소 (ppm) ³⁾	0.05	
라돈 (pCi/L)	4.0	지하교실
총휘발성유기화합물 (TVOC) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁴⁾	400	건축한 때로부터 3년이 경과되지 아니한 학교
석면 (개/cc) ⁵⁾	0.01	석면을 사용하는 학교
오존 (ppm) ⁶⁾	0.06	교무실 및 행정실
진드기 (마리/ m^2)	100	보건실

- 주) 1) 10마이크로미터 이하
 2) 기계환기시설은 1,500ppm
 3) 직접연소에 의한 난방의 경우
 4) 증축 및 개축 포함
 5) 단열재로 석면을 사용한 학교의 경우
 6) 오존 발생시키는 사무기가 있는 경우

이외에도 관리기준에 있어서는 신축학교의 경우 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법” 제11조의 규정에 의한 오염물질방출 건축자재의 사용을 제한 할 것과 교사 안에서의 원활한 환기를 위하여 환기시설을 설치할 것, 책상·의자·컴퓨터 등 학교의 비품은 포름알데히드 방출량이 작은 것을 사용할 것, 교사안에서의 포름알데히드 및 휘발성유기화합물이 유지기준에 적합하도록 필요한 조치를 강구하고 사용할 것 등이 명시되어 있다.

2.2 외국의 학교관련 기준

(1) 일본

문부과학성에서는 2004년 2월에 학교환경위생기준을 개정하여 실내공기질 관리강화(학교보건법)하여 온열 및 공기청정도에 대한 기준 및 포름알데히드와 주요 휘발성유기화합물에 대한 기준을 설정하여 운영하고 있다.

(2) WHO 가이드라인

세계보건기구에서는 1987년 제정 후 2000년 재검토를 통해 Table 3과 같이 개정하여 권장치로 대기와 실내에 모두 적용되는 가이드라인이다.

Table 2. 일본 학교 실내공기질 기준

대상물질	기준
이산화탄소 (ppm)	1,500
일산화탄소 (ppm)	10
이산화질소 (ppm)	0.06
부유분진 (mg/m ³)	0.10
낙하세균 (CFU/m ³)	10
포름알데히드 (μg/m ³)	100
톨루엔 (μg/m ³)	260
자일렌 (μg/m ³)	870
파라디클로로벤젠 (μg/m ³)	240
에틸벤젠 (μg/m ³)	3,800
스티렌 (μg/m ³)	220

Table 3. WHO 가이드라인

항 목	가이드라인 (μg/m ³)	평균 폭로시간
카드뮴	0.005	연간
이황화탄소	100	24시간
일산화탄소	100,000	15분
	60,000	30분
	30,000	1시간
	10,000	8시간
1,2-디클로로에탄	700	24시간
1,4-디클로로메탄	3,000	24시간
	450	1주일
포름알데히드	100	30분
황화수소	150	24시간
납	0.5	연간
망간	0.15	연간
무기수은	1	연간
이산화질소	200	1시간
	40	연간
오존	120	8시간
스티렌	260	1주일
이산화황	500	10분
	125	24시간
테트라클로로에틸렌	50	연간
	250	연간
톨루엔	260	1주일
바나듐	1	24시간
라돈	100 (Bq/m ³)	연간

3. 실내공기질 측정개요 및 측정방법

3.1 측정대상 신축학교 개요

창원에 소재하고 있는 2006년 3월 개교예정인 신축 고등학교 A, B 2개 고등학교를 대상으로 A 고등학교는 일반교실 2실을 선정하여 교실내 교

구재(책·결상)가 이미 설치되어 있었던 실과 설치되지 않은 실을 선정하였고, B고등학교는 바닥 마감재가 서로 다른 일반교실 2실을 선정하여 측정하였다. 또한 일반교실 이외에 추가로 각 학교의 음악실을 선정하여 재료 차이에 따른 실내 공기질에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

여기서, 측정 주요 오염물질은 휘발성유기화합물과 포름알데히드를 대상으로 하였고, 기타 오염물질인 CO 및 CO₂ 온·습도, 복사온도의 항목을 추가하여 실측하였으며 측정일자는 2006년 1학기 개교 직전이었던 2월 20일에 실시하였다.

교실내 실내마감재는 바닥재의 경우 일반적으로 플로어링을 설치하였으나 B고등학교에서는 일부 테라조가 설치되기도 하였고, 벽체의 경우는 일반교실에는 수성페인트가 음악실에는 흡음계열의 재료가 설치되었다. 천장의 경우에는 석고보드 내지는 흡음텍스를 사용하였다.

측정대상 학교 개요는 Table 4와 같고 실내마감재는 Table 5와 같다.

Table 4. 측정 신축고등학교 개요

구 분	A 고등학교		B 고등학교	
위 치	경남 창원시 소재		경남 창원시 소재	
공사 기간	2002/12 ~ 2005/03		2002/12 ~ 2005/03	
규모	지하 1층, 지상 6층		지하 1층, 지상 5층	
	건축면적 : 10,975m ² 연면적 : 10,975m ²		건축면적 : 2,791m ² 연면적 : 10,754m ²	
교실 크기	7.5m × 9m ¹⁾		8.1m × 8.1m ¹⁾	
측정 교실	2층	일반교실 책결상, 가구재 미반입상태 ²⁾	2층	일반교실 책결상, 가구재 미반입 상태
	5층	일반교실 책결상, 가구재 미반입상태	5층	일반교실 책결상, 가구재 미반입 상태
	6층	음악실 책결상, 가구재 미반입상태	5층	음악실 책결상, 가구재 미반입상태

주) 1) 일반교실 기준

2) 학생 35명 기준의 책결상 반입

Table 5. 교실의 실내 마감재 종류

구분	A고등학교			B고등학교		
	2층 일반교실	5층 일반교실	6층 음악실	2층 일반교실	5층 일반교실	5층 음악실
바닥재	플로어링	플로어링	플로어링	테라조	플로어링	테라조
벽	수성 페인트	수성 페인트	흡음보드 코펜하겐 리브	수성 페인트	수성 페인트	흡음재
천장	석고보드	석고보드	석고보드	석고보드	석고보드	흡음텍스

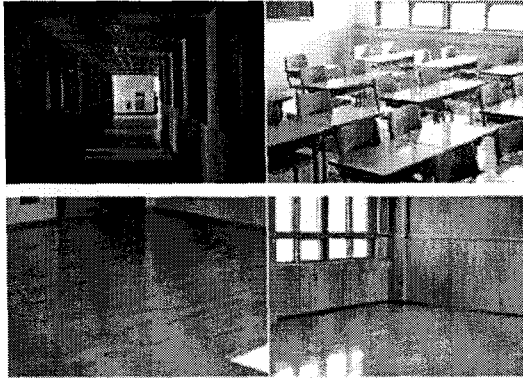


Fig 1. A고등학교 현황 및 건축자재 사용실태



Fig 2. B고등학교 현황 및 건축자재 사용실태

3.2 측정방법

실내공기오염물질의 채취는 환경부에서 규정한 실내공기질공정시험방법에 의거하여 실시하여, 각각의 일반교실에서 30분 환기 후 5시간을 밀폐, 기밀한 상태를 유지하여 실내의 오염물질 농도를 안정시킨 후 이동식 측정 장비를 설치하여 시행하였다. 포름알데히드와 휘발성유기화합물의 채취는 다음과 같이 포집하였다.

(1) 포름알데히드

포름알데히드 채취는 오존 스크루버와 DNPH-Silica Cartridge, 펌프순으로 연결하여, 2,4-DNPH Cartridge를 이용하는 DNPH 유도체화 방법을 사용하였다. 현재 이 방법은 ISO 16000-3, EPA METHOD TO-11, 실내공기질 공정시험방법에 명시되어 있다. 공기 중의 오존은 포름알데히드의 채취시 영향을 미치므로 오존 스크루버를 장착하여 700ml/min으로 30분간 측정하여 21ℓ의 공기를 포집한다.

(2) 휘발성유기화합물

휘발성유기화합물 채취는 Tenax Tube, 펌프 등의 순서로 연결하여, 150ml/min으로 30분간 측정하여 4.5ℓ의 공기를 포집하였다.

4. 측정결과 및 분석

4.1 측정결과

실측대상 신축학교중 A고등학교는 개교전에 이미 공사가 완공된 상태였고, B고등학교는 실내외 마무리 공사를 진행하고 있는 상태에서 측정을 실시하였으며 각 항목별 측정결과는 다음과 같다.

(1) 온습도 측정 결과

실내공기질은 온습도와 밀접한 관계가 있고, 특히 새집증후군의 주요물질인 포름알데히드와 휘발성유기화합물은 온도가 증가할수록 방출량도 증가되는 것으로 알려져 있다.

온습도 측정결과 Table 6에서와 같이 시기가 2월이었고 난방도 이루어지지 않은 조건이었기 때문에 실내 온습도는 8.8~9.7°C, 상대습도는 28~36% 내외를 보이고 있었다.

(2) 일산화탄소와 이산화탄소 측정 결과

A고등학교 일산화탄소 농도 평균값은 0.1ppm으로 학교보건법 권고치인 10ppm을 넘지 않고 있었으며, 이산화탄소 농도 평균값은 383ppm으로 학교보건법 권고치인 1,000ppm을 넘지 않고 있었다. 이는 아직 개교를 하지 않은 상태였기 때문에 재실자가 없어서 재실자의 활동성에 의한 이산화탄소 발생이 없었기 때문인 것으로 추정된다. 한편, B고등학교는 실내외 마무리 공사를 하고 있는 중이어서 일산화탄소, 이산화탄소를 측정하지 않았다. 일산화탄소 농도가 인체에 미치는 영향을 보면 5ppm부터 인체에 피해가 있음이 보고되고 있으며, 일산화탄소 농도 5ppm의 공기를 20분 이상 흡입했을 때 신경계 반사작용에 변화가 생기므로 외기를 이용하는 적극적인 환기가 요구된다.

Table 6. 실내의 온·습도 측정결과

구분	A고등학교			B고등학교		
	2층 일반교실	5층 일반교실	6층 음악실	2층 일반교실	5층 일반교실	5층 음악실
실내온도(°C)	9.6	9.5	8.8	8.1	9.7	9.2
상대습도(%)	36.4	34.9	30.9	34.7	30.6	27.8
CO(ppm)	0.2	0.1	0.0			
CO ₂ (ppm)	409	375	390			

(3) 포름알데히드(HCHO) 측정 결과

포름알데히드 측정결과는 Table 7에 나타난 바와 같이, A고등학교의 포름알데히드 농도 평균값은 $3.80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고 B고등학교의 포름알데히드 농도 평균값은 $17.16\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나 학교보건법 권고치인 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 넘지 않고 있었다.

Table 7. 포름알데히드 적산유량 및 측정결과

구분	A고등학교			B고등학교		
	2층 일반교실	5층 일반교실	6층 음악실	2층 일반교실	5층 일반교실	5층 음악실
측정결과 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3.11	4.69	3.59	10.09	21.19	20.19
A고등학교 5층 일반교실 기준	0.66	1.0	0.77	2.15	4.52	4.30

(4) 휘발성유기화합물(VOCs) 측정 결과

휘발성유기화합물은 여러가지 화합물이 혼합한 것으로 총휘발성유기화합물(TVOC)의 농도값을 사용하였으며 특히 실내공기질에 그 영향이 비교적 높은 벤젠(Benzene), 톨루엔(Toluene), 에틸벤젠(Ethylbenzene), 자일렌(Xylene), 스틸렌(Styrene)에 대해서도 측정결과 값을 Table 8에 나타내었다.

Table 8. TVOC와 주요물질의 측정결과

구분	A고등학교			B고등학교		
	2층 일반교실	5층 일반교실	6층 음악실	2층 일반교실	5층 일반교실	5층 음악실
벤젠 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2.734	12.06	8.87	0.00	1.24	4.12
톨루엔 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	322.47	296.05	121.64	0.48	181.44	482.34
에틸벤젠 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	27.41	67.03	11.56	0.00	54.75	32.83
자일렌 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	67.33	210.01	26.11	0.00	81.21	66.78
스티렌 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	13.54	53.67	2.78	0.00	30.47	15.49
TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,634.55	4,334.38	548.88	160.51	995.55	1,913.15
A고등학교 5층 일반교실 기준(%)	1.99	1.00	0.13	0.04	0.23	0.44

학교보건법 권고치인 총휘발성유기화합물 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 비교해 0.4배 내지는 많게는 무려 21.6배나 높게 나왔다.

4.2 측정분석

(1) 일반교실의 바닥마감재 차이에 따른 비교

Fig 3은 B고등학교의 일반교실중 테라조마감재와 플로어링마감재에서 측정된 포름알데히드 농도와 총휘발성유기화합물 농도를 나타낸 것으로, 포름알데히드 농도는 플로어링 바닥마감이 테라조 바닥마감보다 2.1배 정도 높게 나타났다. 이는 플로어링 바닥마감재 시공을 위해 사용한 접착제의 영향으로 추정된다. 그리고 총휘발성유기화합물의 농도는 플로어링 바닥마감이 테라조 바닥마감보다 5.8배 이상 높게 나타났다. 이는 포름알데히드와 마찬가지로 접착제의 영향으로 추정된다.

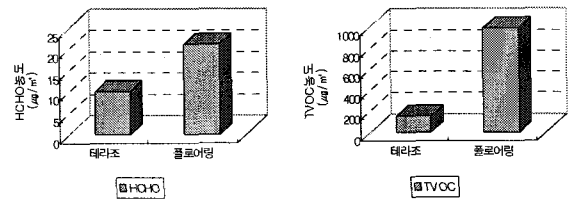


Fig 3. 바닥마감재 차이에 따른 농도 비교

(2) 특별교실(음악실)의 마감재 차이에 따른 비교

Fig 4는 A, B고등학교 특별교실인 음악실의 포름알데히드와 총휘발성유기화합물의 농도를 비교한 것으로, 각각의 농도는 A고등학교 $3.59\mu\text{g}/\text{m}^3$, $548.88\mu\text{g}/\text{m}^3$, B고등학교 $20.19\mu\text{g}/\text{m}^3$, $1,913.15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타나 B고등학교가 A고등학교 보다 각 유해물질에 대해 각각 5.6배, 3.5배 정도 높게 측정되었다. 대상학교의 음악실 마감재 면적과 체적이 다르므로 먼저 오염물질의 농도와 비례관계를 나타내는 오염물질부하율(m^2/m^3)을 구해 살펴보면 A고등학교는 $0.6\text{m}^2/\text{m}^3$, B고등학교는 $0.5\text{m}^2/\text{m}^3$ 로 B고등학교가 오염물질부하율값이 오히려 더 적었다.

따라서 이러한 오염물질부하율값이 작음에도 불구하고 오히려 B고등학교가 오염물질 농도값이 크게 나타난 이유는 A고등학교는 교실내 벽체 마감재를 흡음보드+코펜하겐 리브의 재료로 사용한 반면, B고등학교는 단순히 흡음재를 사용하였고, 천장재에서도 A고등학교는 석고보드, B고등학교는 흡음텍스 등 서로 다른 재료를 사용한 점, 시공시의 공정상 마감공사 완료시점이 각기 다른

점등이 복합하여 나타났기 때문으로 추정된다.

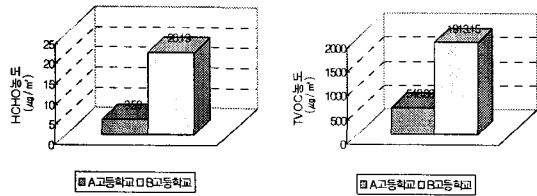


Fig 4. 대상학교의 특별교실(음악실) 농도 비교

(3) 일반교실의 교구재(책걸상) 설치에 따른 비교

Fig 5는 A고등학교를 대상으로 일반교실의 교구재인 책걸상 설치에 따른 포름알데히드와 총휘발성유기화합물 농도를 비교하여 나타낸 것이다.

총휘발성유기화합물의 경우 책걸상이 설치된 2층 일반교실이 책걸상이 설치되지 않은 5층 일반교실보다 약 2.0배 정도 많은 양이 검출됨을 알 수 있었다. 그러나, Table 8에서와 같이 휘발성유기화합물중 주요 유기화합물인 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌중 톨루엔을 제외한 나머지 유기화합물들은 책걸상이 설치되지 않은 5층 일반교실이 오히려 더 높게 나타났다. 한편, 포름알데히드는 5층 일반교실이 2층 일반교실보다 약간 더 높게 나타났는데, 그 양이 매우 적으므로 큰 의미가 있는 것은 아닌 것으로 판단된다.

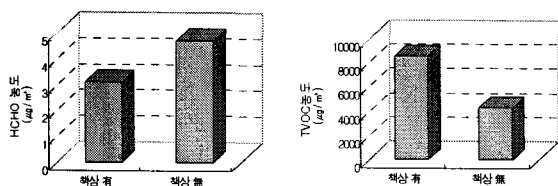


Fig 5. 교구재 유무에 따른 농도비교

5. 결 론

본 연구는 경남 창원지역에 소재한 신축학교 교실의 실내공기질에 대한 현장 조사 및 실측을 통하여 일반 및 특별교실에서의 마감재 변화 및 교실내 책걸상 등 교구재 설치에 따른 실내 공기질 측정하여 관련자료를 제시하고자 하였으며, 본 연구의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) B고등학교의 일반교실가운데 바닥재가 테라조마감과 플로어링마감으로 서로 다른 두교실

을 비교한 결과, 플로어링 마감재를 사용한 교실의 포름알데히드 농도와 총휘발성유기화합물 농도를 테라조 바닥마감보다 각각 2.1배, 5.8배 정도 더 높게 나타났다. 이는 플로어링 바닥마감제 시공을 위해 사용한 접착제의 영향으로 추정된다.

일반교실의 경우 학교 구분없이 포름알데히드는 학교보건법 권고치를 모두 다 만족하고 있으나 총휘발성유기화합물은 바닥을 테라조마감으로 하며 아직 교구재가 설치되지 않은 B고등학교의 2층 일반교실만이 충족하고 있었고 그 외의 일반교실들은 기준을 2.5~21.6배 이상 초과하고 있었다.

(2) 특별교실인 음악실의 경우 일반교실에 비해 각 교실마다 면적과 체적에서 차이가 나타나고 또 사용되는 재료에서도 큰 차이가 나타날 수 있으므로, 체적대비 발생면적 비율인 오염물질부하율값이나 사용재료, 공정상 마감공사 완료시점을 복합적으로 고려해야 할 것이며, 총휘발성유기화합물은 학교보건법상 권고치와 비교해보면 약 1.4~4.8배 이상 초과하고 있었다.

(3) 책걸상등 교구재 설치에 따른 비교에서는 총휘발성유기화합물 농도는 책상이 있는 곳이 책상이 없는 곳보다 2.0배 정도 많은 양이 측정되었는데 이는 교구재에서 발생하는 휘발성유기화합물의 영향이 크다고 하는 것을 보여주는 것이다.

이상의 연구결과, 신축학교 교실내의 유해물질 성분중 포름알데히드는 큰 문제가 되지 않고 있었으나, 휘발성유기화합물은 그 값을 대부분 초과하고 있었으므로 농도저감을 위한 실내 마감재 및 교구재의 선정시 이러한 점을 특히 고려해야 할 것으로 사료된다.

- 후 기 -

“이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임“ (KRF-2005-041-D00857)

참고문헌

(1) Yee J. J., Kim, S. K., and Choi, S. Y., 2005, A Field Survey on the Indoor Air Quality of Newly Built Schools in Busan, Korean Journal of Architectural Institute of Korea, Vol 21. No. 6, pp. 175~182