

학교건물의 실내공기환경 개선방안에 관한 건축계획적 연구

Architectural Implementation of the Indoor Air Quality in the Elementary School Classroom

구재오* 배선철** 김곤***
Koo, Jae-Oh Bae, Sun-Chul Kim, Gon

Abstract

Indoor air quality (IAQ) problems are not limited to large office buildings that are inadequately operated. In fact, many school buildings have significant potentials of air pollution and indoor air pollutants may be of particular concern because it is estimated that most young students who are physically weak to the pollutants spend about 90% of their time in classrooms. The goal of the study is to provide academic and architectural information on the major factors that influence indoor air quality in the elementary school. In order to gain a better understanding of IAQ problems in schools, a series of measurement studies of indoor air quality were designed and 3 different elementary school buildings located in Chuncheon were selected. The levels of CO, CO₂, and total volatile organic compounds (TVOCs) including formaldehyde (HCHO), major concern of this study, were measured in absence of students after class. As the results, it is noticeable that most indoor air pollution comes from sources inside the building, which are, for example, adhesives, upholstery, manufactured wood products, art and scientific supplies. The level of CO was measured similarly to that of outdoors, which means no impact on the indoor air problems since it is lower than the code. Ventilation played an important role in the level of CO₂ of which difference was 1.7 times in rough and 230 % of difference in the level was detected among the 3 school buildings. This concludes that indoor air problems might be result of poor building design with inadequate location of corridors within space organization or occupant activity patterns of ventilation.

키워드 : 공기질, 공기환경, 학교건축

Keyword : IAQ, Air Quality, Air Quality

1. 서론

1.1 연구의 배경

학교교실은 학생들이 등교하여 하교할 때까지 대부분의 시간을 생활하는 공간으로 단위면적 당 재실인원이 많으므로 학생들의 건강 유지와 학습효과를 높이는 쾌적한 실내 공기질 (IAQ: Indoor Air Quality)의 확보는 대단히 중요하다.

학교시설은 교육부의 교육환경개선사업 1차년도(1996 ~ 2000, 5년간), 2차년도(2001 ~ 2005, 5년간)를 통하여 에너지절약을 위한 건물단열, 창호교체 등으로 실내 열환경 분야는 많이 개선되고 있으나 건물의 밀폐화, 기밀화로 실내공기질은 오히려 악화되었다.

따라서 학교교실에서 방출되는 오염물질의 특성과 실내 공간에 미치는 영향을 조사·분석하고 합리적인 대책을 마련하는 것이 시급히 요구된다.

* 주저자, 정회원, 국립 강원대학교 교수, 공학박사

** 정회원, 강원대학교 대학원

*** 교신저자, 정회원, 국립강원대학교 교수, 공학박사
(gonkim@kangwon.ac.kr)

1.2 연구의 목적

본 연구는 최근 신축 건물에서 병든건물증후군(SBS: Sick Building Syndrome)이 발생하여 사회적으로 실내공기의 중요성이 부각되고 있는데 학교시설을 신축, 이전하거나 개·보수하는 경우에도 교실에서 이와 같은 SBS 현상이 발생하여 학생들의 건강과 학습 환경에 위협을 주고 있다. 따라서 건강하고 쾌적한 실내공기질의 확보를 위하여 학교교실의 공기환경 상태를 실측, 평가하고 특히 교실 내에서 방출되는 오염물질을 측정하여 기준치와 비교·평가한 후 건축 계획적 접근방법을 통하여 건강하고 환경친화적인 학교건축물의 설계 및 시공을 위한 기초자료를 제시하는 것을 목적으로 수행되었다.

2. 학교건물의 건축환경 특성

2.1 학교건물의 건축 특성

교육시설이란 교육이념에 기초한 교육목적을 효율적으로 달성하기 위하여 교사 및 학생들에 의해서 교육활동면에

계속적으로 이용되는 공간 및 공간의 물리적 환경 또는 형태를 총칭하는 것으로 학교의 교지 및 건물을 비롯하여 여러 가지 공작물과 설비를 포함하고 있다. 따라서 교육시설의 목적은 계획된 교육목표가 달성 될 수 있도록 환경을 조성하여 교육활동을 최선으로 지원해 주는데 있으므로 교육시설은 학교의 교육적 기능을 원활히 수행할 수 있도록 구비 되어야 한다.



그림 1. 1950년대 교실내부와 복도 전경



그림 2. 2000년대 교실내부와 복도 전경

교육시설의 구조 및 주요마감재의 시대적 변천과정을 살펴보면 1950년까지 목재구조, 흙벽돌조, 불럭조 등으로 구성되다가 1960년대에 들어와서 벽돌조 건물이 출현하였다. 1970년대에는 철근콘크리트구조로 건축되기 시작하여 1980년대에는 본격적인 철근콘크리트조로 건축되었다. 구체적으로 주요재료를 정리하면, 바닥재료는 1960년대까지는 교실과 복도가 모두 장선위에 널을 까는 마룻바닥이었으며 철근콘크리트의 도입과 함께 인조석 물갈기가 출현하였다. 1990년대 이르러서는 인조석 물갈기가 폐기물을 발생하기에 환경보호차원에서 기성제품인 테라조타일 깔기로 바뀌었으며 사용자 편의에 따라 목조후로링, 비닐시트, 2중 마루 등 다양한 형태의 바닥재료를 사용하였다.

2.2 학교건물의 환경위생기준

학교교실에서 쾌적한 실내공기환경여건 확보를 위하여 교육인적자원부에서는 2002년 4월 학교보건법을 개정하고 학교보건법시행규칙(교육인적자원부령 제804호, 2002. 4. 18)을 제정하여 학생 및 교직원의 건강을 보호·증진하여 학교교육의 능률화를 기할 수 있도록 학교교실의 환경위생기준을 설정하여 유지·관리하도록 하였다

1) 교실의 면적

일반교실의 적정면적은 교실의 단변:장변의 비가 1:1.2인

표 1. 교육시설의 구조 및 주요마감재 (강원도교육청, 강원교육시설변천사, 2001. p45)

구분	1947년 이전	1990 이후
구조	목조	con'c, 철판구조
주요 구조 부재료	바닥	마루 라왕후로링 테라조타일 비닐시트 난연성강화후로링 인조화강석
	벽체	회반죽 바름 목재비닐판막 적벽돌치장쌓기 몰탈마감 외벽단열마감
	내벽	회반죽 바름 몰탈위수성페인트
	창호	이중창 ┌ 내부-목재 └ 외부-알미늄 하이샤시창 칼라알미늄창 특수피복철재창 ┌ 내부-목재 └ 외부-플라스틱 칼라알미늄
	천장	12mm목조천장판 합판붙임 경량천장틀위텍스마감 벌레무늬텍스 마이튼텍스
지붕	목조트러스합석지붕 목조트러스스레이트지붕 소골스레이트 목조기와지붕 con'c경사사라브지붕처리 평스라브 평스라브도막방수 라운드con'c지붕	
화장실	수거식	수세식(좌변기)
난방	솔방울	심야전력을 이용한 전기난방 유류, 중앙집중식 히트펌프(전기냉난방)
전기	전등미설치	형광등 6~8 COMPUTER TV, VTR, LAN망

표 2. 학교교실의 환경위생 기준(학교보건법 시행규칙)

구분	기준내용
온도	· 겨울철 : 18℃ 이상 20℃ 이하 · 여름철 : 26℃ 이상 28℃ 이하
습도	· 상대습도 : 30% 이상 80% 이하
환기	· 1인당 환기량 21.6m ³ /시간
CO ₂	· 1인당 평균 1,000 ppm 이하
미세먼지	· 24시간 평균 1m ³ 당 15mg
조도	· 300Lux 이상
채광	· 옥외수평조도와 실내조도와의 비가 평균 5% 이상 (최소 2% 이상) · 최대조도와 최소조도와의 비율이 10:1을 넘지 않을 것 · 교실 바깥의 반사물로부터 눈부심이 발생되지 않을 것
소음	· 55dB 이하

7.5m×9.0m가 일반화되어 있는데 이 면적은 67.5m²(20여 평)로 일반교실형의 경우 칠판과의 대변길이, 일조분포

및 공간활용을 고려할 때 적절한 크기이다.

교사와 학생과의 적정시야 거리로서 칠판에 쓰인 4cm 크기의 정사각형 문자를 명시할 수 있는 거리는 5m이고 예코현상이 일어나지 않는 보통음성의 명칭거리는 8.5m이다. 또 수평각도는 15°이어야 하고 두 눈의 공통의 동시시야는 중앙으로부터 60°씩, 즉 120°범위이다.

시야거리와 시야범위, 음의 청취거리, 음의 예코현상을 방지하기 위해서는 아래와 같은 교실형이 되어야 하고 이상적인 시야거리의 적정 교실비율은 1:1.2이어야 한다.¹⁾

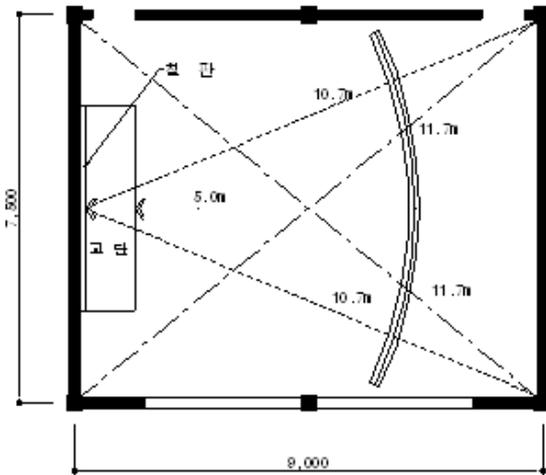


그림 3. 교실평면도 시야거리

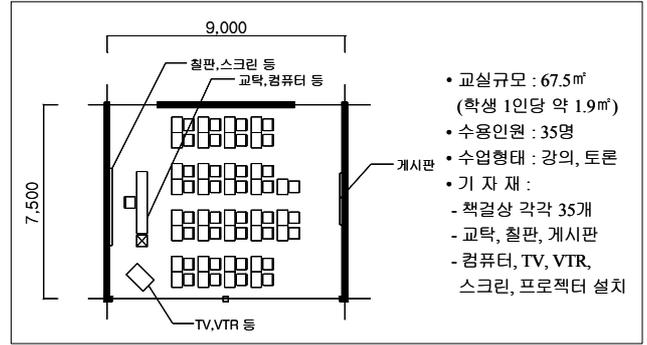
2) 교실높이

천장은 교실내부공간의 상부를 한정하는 면으로 천장높이의 높고 낮음은 그 지방의 기후와 관계가 있으며 실내공기환경은 물론 조도, 분위기 및 심리적 영향을 주는 요인이 되기도 한다. 천장높이는 1982년까지 건축법시행령에서 교실면적이 50㎡ 이상인 경우 마룻바닥부터 측정된 높이가 3.0m 이상으로 규정하였으나 1982년에 본 조항을 개정하여 교실의 천장높이를 2.1m 이상으로만 규정했기 때문에 학교의 천장높이가 3.0m에 미치지 못하는 평균 2.5m~2.7m로 설계와 시공이 이루어지고 있다.

1982년 이전 학교건물에서는 복도측 하부에 환기창을 설치하여 실내공기를 원활히 소통하였으나 최근의 학교건물은 열환경을 중시하여 복도측 환기창을 아예 설치하지 않고 있어 실내공기가 적체되어 있는 실정이다.

3) 교실내부 공간구성²⁾

현재 시행되고 있는 다양한 교과활동을 지원하는 제7차 교육과정은 교실 내에 책상과 걸상 및 각종 교수학습기자재, 사물함 등이 있다.



- 교실규모 : 67.5㎡ (학생 1인당 약 1.9㎡)
- 수용인원 : 35명
- 수업형태 : 강의, 토론
- 기 자 재 :
 - 책걸상 각각 35개
 - 교탁, 칠판, 게시판
 - 컴퓨터, TV, VTR, 스크린, 프로젝터 설치

그림 4. 교과교실의 일반적 규모

3. 학교건물의 실내공기환경 측정

3.1 측정대상학교 개요

학교교실의 실내공기오염 정도를 측정·분석하기 위한 대상학교로 춘천지역 도심지의 아파트 밀집지역에 위치한 초등학교 3개교를 선정하였다.

건축경과연수에 따른 실내오염물질의 정도를 비교·분석하기 위하여 개교 또는 건축된 지 1년 미만, 5년 이상, 10년 이상으로 각 1개교씩 선정하였다. 측정지점은 일반교실로 학년구분 없이 임의의 교실을, 교실층수는 2층 교실 2개교, 4층 교실 1개교를 선정하였다. 복도형태로는 중복도 교실 2개교, 편복도 교실 1개교였다.

표 3. 측정 학교에 대한 환경 조건

측정 장소	건축경과연수	학급당 인원	교실바닥 청소방법	난방방법	신발상태	복도
B 초등학교	1년 미만	40명	비닐계쉬트 청소기	중앙난방 (심야전기) 냉방:개별	실내화 착용	중복도
S 초등학교	5년 이상	37명	후로링 왁스	중앙난방 (가스) 냉방:개별	실내화 착용	편복도
N 초등학교	10년 이상	38명	후로링 왁스	중앙난방 (가스) 냉방:개별	실내화 착용	중복도

학급당 인원은 각각 37명, 38명, 40명이었고, 교실의 면적은 67.5㎡(20평)으로 동일하였으며, 용적 역시 천장고 2.7m로서 모두 182.25㎡이었다.

측정위치는 일반교실이며, 측정 시기는 2004년 11월 13일 측정하였으며 교실중앙지점의 책상위에 측정 기구를 놓고 측정하였다.

3.2 측정내용 및 방법

측정항목은 실내공기환경에 주된 영향을 미치는 CO, CO₂, PM₁₀, 폼알데하이드(HCHO), 휘발성유기화합물(TVOC_s)을 대상으로 한정하였다.

춘천지역 3개 초등학교 교실의 실내공기환경을 측정하기 위한 측정항목, 측정기기 및 조건은 다음과 같다.

1) 신원식, 초·중등학교 교실의 변천과 건축계획적 개선방안, 2004. p75
 2) 교육인적자원부, 학교시설기준 개정에 관한 연구, 2003. p86

표 4. 측정항목 및 조건

측정학교	측정일자	측정항목	조건
B초등학교 S초등학교 N초등학교	2004. 11.13	CO CO ₂ PM ₁₀ 폼알데하이드 TVOC _s	측정에 앞서 교실의 출입구 및 창문을 열어 사전 환기를 시킨 후 밀폐한 후에 측정

표 5. 측정항목별 측정기기

측정 항목	측정기기	
	측정기기명	모델명
CO CO ₂	Laboratori di Strumentazione Industriale s.p.a	babuc/a/m
폼알데하이드	High Performance Liquid Chromatograph	Waters Model 600
VOC _s	Gas Chromatograph	Hewlett packard Model 5890 Series II

4. 학교건물의 실내공기환경 분석 및 평가

4.1 측정결과 분석 및 평가

측정학교별 시료 채취시 2004년 11월 13일의 평균 온도 습도 및 기압은 표6과 같다.

표 6. 학교별 시료채취시 온도 및 압력

측정학교	온도(℃)	습도(%)	압력(mb)
B초등학교	6.9	40.5	1010
S초등학교	7.1	41	1009
N초등학교	7.2	42	1020

1) CO₂, CO, PM₁₀의 측정결과

학생들이 하교한 교실에서 CO₂, CO, PM₁₀를 측정한 결과 치는 표7에 나타내었다.

표 7. CO₂, CO, PM₁₀의 측정결과

측정 항목	구분	외기	실내공기		
			B초등학교	S초등학교	N초등학교
CO ₂ (ppm)	최대	425	724	557	514
	최소	353	471	283	207
	평균	392	686	504	468
CO (ppm)	최대	0.42	0.44	0.4	0.38
	최소	0.34	0.4	0.34	0.32
	평균	0.37	0.42	0.37	0.35
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	최대	178	131	125	147
	최소	58	11	23	17
	평균	89	43	56	50

CO₂의 외기 평균농도가 392ppm으로 실내공기와 차이가 크지 않은 것으로 나타났으나 최근에 건축한 B초등학교는 약 1.75배 차이가 나는 것으로 나타났다. 그러므로 CO₂에 영향을 미치는 것은 교실의 고정창, 단열 등에 따른 건물의 기밀화, 밀폐화와 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

CO는 학교별 평균농도가 0.42ppm, 0.37ppm, 0.35ppm으로 비슷한 수준이었으며, 외기 평균농도 0.37ppm에 비하여 같거나 최근에 건축된 B초등학교는 1.14배 높았다.

PM₁₀의 경우는 3개 초등학교 평균농도가 43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 학교 간에 비슷한 수준을 나타내었고 외기 평균농도 89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 최고 2.07배 낮은 것은 측정시간이 교실 내에 학생들이 수업하지 않는 토요일 오후에 측정하므로 이와 같이 나타난 것으로 판단된다.

이러한 측정결과는 환경부령 제156호(2004.5.28.)로 시행되는 다중이용시설등의 실내공기질관리법 시행규칙 제3조의 실내공기질유지기준(CO₂ : 1000ppm이하, CO : 10ppm이하, PM₁₀ : 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하)에 비교하여 볼 때 CO₂, CO, PM₁₀은 기준치 이하로 나타났다.

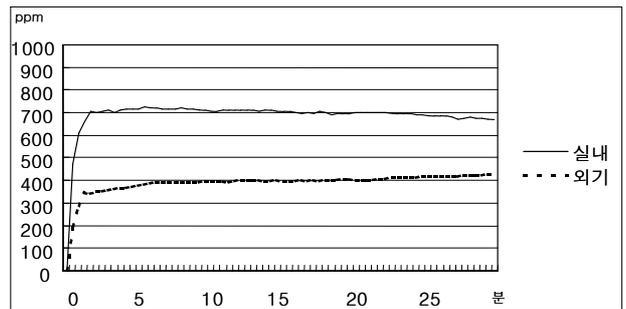


그림 5. B초등학교 CO₂ 측정내용

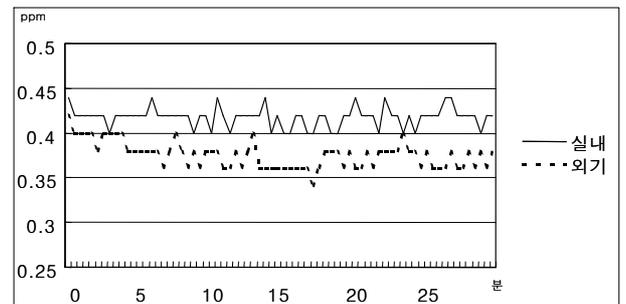


그림 6. B초등학교 CO 측정내용

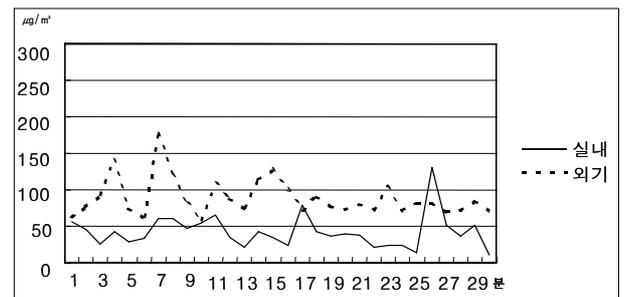


그림 7. B초등학교 분진 측정내용

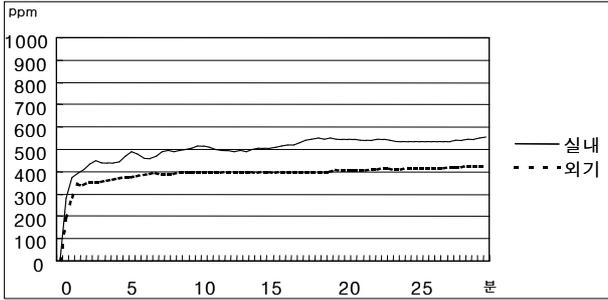


그림 8. S초등학교 CO₂ 측정내용

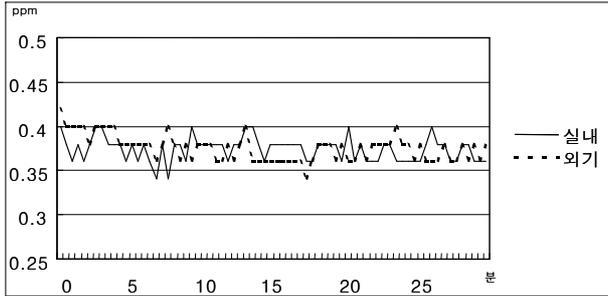


그림 9. S초등학교 CO 측정내용

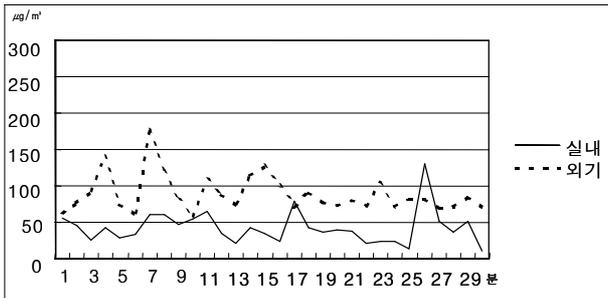


그림 10. S초등학교 분진 측정내용

formaldehyde이고 머무름 시간 10.9분 봉우리가 아세트알데히드, 뒤를 이어 3번 14.2분대가 아세톤과 아크로레인의 혼합물, 4번의 15분대 봉우리가 프로피온알데하이드, 5번의 18.8분대 봉우리가 뷰티르알데하이드, 6번의 20.8분대 봉우리가 벤즈알데히드 봉우리이다.

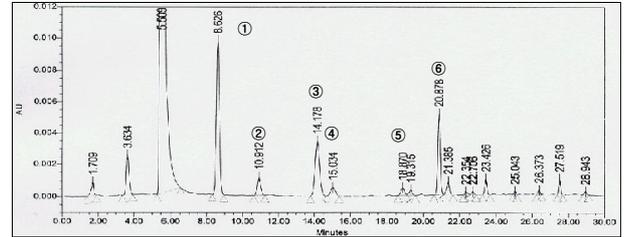


그림 11. B초등학교 알데히드 크로마토그램

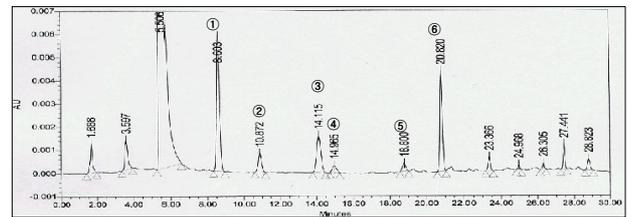


그림 12. S초등학교 알데히드 크로마토그램

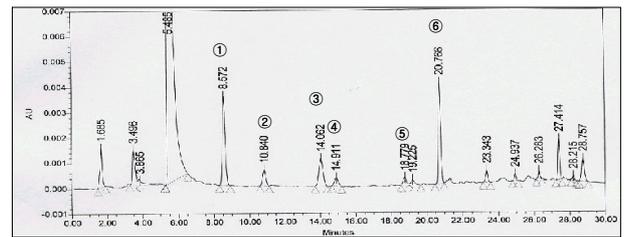


그림 13. N초등학교 알데히드 크로마토그램

다만 CO₂ 및 PM₁₀의 경우 학생들이 수용되어 있지 않은 상태에서 학교별 평균농도는 실내공기질 유지기준 이하로 나타났다. 이러한 농도는 학교간에 비슷한 수준을 나타냈으며 이는 교실건축경과년수와는 관계가 없고 교실의 환기조건과 밀접한 관계가 있는 것으로 알 수 있다. 즉 이중창 및 중복도교실은 열림창 및 편복도형태의 교실보다 환기가 불량함을 알 수 있다.

2) 폼알데하이드 및 VOCs

① 폼알데하이드

폼알데하이드와 VOCs의 측정은 실내공기질 공정시험방법을 근거로 실시하였다. 측정에 앞서 교실의 출입구 및 창문을 열어 사전환기 시킨후 밀폐하여 시료채취를 하였다. 단 공정시험방법에서는 30분이상 사전환기를 시키고 5시간이상 밀폐를 유지한 후에 시료를 채취하기로 되어 있으며 채취는 교실중앙에서 바닥으로부터 1.5m 높이에서 시료를 채취하기로 되어있다. 채취는 교실중앙에서 바닥으로부터 1.5m 높이에서 각각 20분간 측정하였다.

크로마토그램에서 머무름 시간 5.5분대의 큰 봉우리는 미반응 DNP, 머무름 시간 8.6분대의 봉우리가 DNP-

각 학교의 교실내 공기 중에서 폼알데하이드를 비롯한 Acetaldehyde, Acetone+Acroreïn, Propionaldehyde, Butyraldehyde, Benzaldehyde가 검출되었다. 표8에 나타난 바와 같이 폼알데하이드가 96.1µg/m³ ~ 30.7µg/m³로 가장 높은 농도를 나타냈으며 뒤를 이어 벤즈알데히드가 20.5µg/m³ ~ 12.3µg/m³의 순으로 나타났다.

표 8. 측정학교의 교실내외 알데히드농도의 비교

구분	대기	B 초등학교	S 초등학교	N 초등학교
Form	µg/m ³	13.6	96.1	32.9
-aldehyde	I/O		7.0	2.4
Acet	µg/m ³	3.1	6.9	5.4
-aldehyde	I/O		2.2	1.7
Acetone	µg/m ³	20.2	11.2	8.4
+Acroreïn	I/O		0.6	0.4
Propion	µg/m ³	4.2	3.8	2.8
-aldehyde	I/O		0.9	0.7
Butyr	µg/m ³	0.8	4.8	3.7
-aldehyde	I/O		6.0	4.6
Benz	µg/m ³	20.4	20.5	12.1
-aldehyde	I/O		1.0	0.6

*I/O : indoor(초등학교교실)/outdoor(대기) 비율

그러나 실내외의 알데히드 농도비를 보면 폼알데하이드가 7.0~2.3배, 뷰틸알데히드가 6.0~3.1배 정도 교실내 공기중 농도가 외기에 비하여 높은 것으로 나타났다. 그 외의 알데히드류는 실외에 비해 교실내 공기중 농도가 낮거나 거의 비슷한 정도로 나타났다. 이는 교실 내에서 실외보다 높은 농도비를 나타낸 것들은 이들 알데히드류의 발생원은 교실 내에 있고 다른 알데히드류는 교실외의 발생원에 기인하는 것이라고 생각된다.

특히 폼알데하이드는 합판, 파티클 보드등 교실마감재에 사용되는 목재류에서 많이 발생하는 것으로 알려져 있다. 우리나라의 다중이용시설 등에 관한 실내공기질관리법에서도 폼알데하이드만 기준을 정하여 규제하고 있다.

실측한 B초등학교, S초등학교, N초등학교의 교실내 공기 중 폼알데하이드의 농도는 각각 $96.1\mu\text{g}/\text{m}^3$, $32.9\mu\text{g}/\text{m}^3$, $30.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, 이는 우리나라에서 규정하고 있는 실내 공기질 유지기준(HCHO: $120\mu\text{g}/\text{m}^3$) 보다 훨씬 낮은 것으로 나타났다.

그리고 준공 후 기간경과에 따른 영향을 보면 학교별 교실 건축 경과년수가 B초등학교는 6개월, S초등학교는 5년, N초등학교는 10년이므로 준공기간이 오래된 학교일수록 폼알데하이드 농도가 낮게 나타났다. 폼알데하이드는 주로 건물내부 마감자재 등에서 발생되므로 교실건축의 경과년수와 밀접한 관계가 있음을 확인하였다.

② TVOCs

TVOCs는 n-Hexane에서 n-Hexadecane까지의 범위로 정성이 가능한 물질에 대해서는 각각의 물질에 대한 농도를 산출하였고, 정성이 불가능한 물질에 대해서는 톨루엔 검량선식에 의한 톨루엔 등가로 환산하여 농도를 산출하였다. 측정학교별 크로마토그램을 그림 16, 17, 18에 각각 나타내었다.

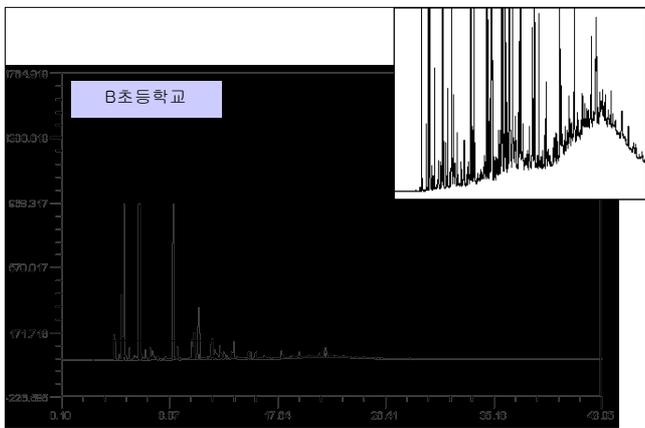


그림 14. B초등학교 VOCs 크로마토그램

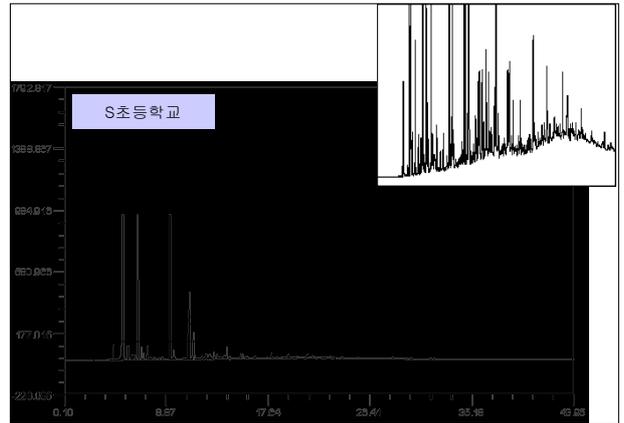


그림 15. S초등학교 VOCs 크로마토그램

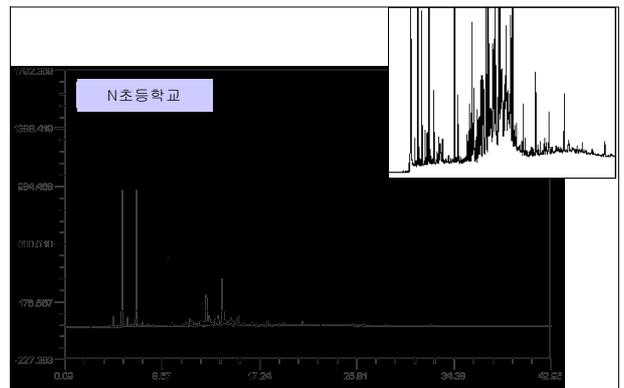


그림 16. N초등학교 VOCs 크로마토그램

각 크로마토그램에 나타난 바와 같이 교실 내에서 펜탄, 헥산, 톨루엔이 큰 봉우리로 나타났다. 표9는 C6에서 C16 사이에 용출된 유기화합물들을 톨루엔 등가로 환산한 각 학교 교실내의 공기 중 TVOCs를 보여준다.

표 9. 측정학교 교실내외의 TVOCs 농도 비교

구 분	TVOCs	
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	I/O
대기(out door)	159.0	-
B초등학교	382.6	2.4
S초등학교	415.4	2.6
N초등학교	428.4	2.7

*I/O : indoor(초등학교교실)/outdoor(대기) 비율

각 학교 교실 내의 TVOCs 측정은 토요일 오후 학생들이 하교한 후 출입문등 개구부를 밀폐한 상태에서 한번의 측정이 이루어져 각 학교 간에 적절한 환기상태의 조건과는 비교할 수 없지만 전반적으로 매우 유사한 농도를 나타냈다. 특히 실외 공기 중 TVOCs의 농도도 $159\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타나 실외로부터의 영향도 있었을 것으로 판단된다.

그러나 교실 내 TVOCs의 농도는 실외보다 2.7배 정도 높게 나타나 휘발성유기화합물의 오염원이 교실 내에 다수 존재하고 있음을 알 수 있었다.

TVOCs농도는 다중이용시설 등의 실내공기질관리법시행규칙의 권고기준이 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 규정하고 있으므로 3개 학교 모두 기준을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

TVOCs농도에 큰 원인을 제공하는 것은 각 교실에서 청소 시 사용되는 도구 및 세제에 의해서 TVOCs의 농도가 좌우될 수 있다는 것이다. 준공 후 오래된 N초등학교의 교실은 기름걸레로 교실바닥을 청소하고 S초등학교에서는 교실바닥을 바닥청소용 왁스를 사용하여 청소하는 것을 간접적으로 알 수 있었다.

따라서 교실에 TVOCs의 농도는 준공 후 기간경과에 의한 농도경향뿐 아니라 교실청소에 사용되는 도구 및 세제 등에 의한 영향을 받을 수 있다고 생각된다.

또한 측정된 3개 교실에 공통적으로 비치되어 있는 각종 교육기자재, 학습도구 및 교실 내에 전시되어있는 전시물, 지점토, 공작물, 사물함 등에 의해 영향을 받을 수 있다고 사료된다. 그러므로 TVOCs를 저감시키기 위하여 청소방법을 적절히 개선하고 각종 오염물질을 방출하고 있는 각종 교수학습기자재와 전시물 등을 적극 관리할 필요가 있다고 판단된다.

즉 TVOCs를 적게 방출하는 학습도구를 개발하거나 사용하고 또한 교실내부에 있는 사물함과 전후 벽면 등에 전시되어 있는 전시물, 공작물 및 작품 등을 복도 또는 별도의 공간으로 유도하여 학습공간과 전시공간을 분리하는 것이 바람직하다. 아울러 학습공간은 물론 전시공간에도 환기시설을 충분히 갖추어야 한다.

4.2 설문조사 결과 분석 및 평가

1) 설문조사 내용 및 방법

설문조사는 학교교실 실내공기환경 측정대상 학교인 춘천시내 3개 초등학교의 학생 및 교사를 대상으로 실내공기질이 수업에 미치는 영향 및 건강과의 관련성, 실내공기질에 영향을 미치는 인자 등에 대하여 실시하였다. 조사대상학생은 3개 초등학교 6학년 3개 반으로 학교당 120명씩 전체 360명이며, 교사는 학교당 20명으로 3개 학교 60명을 대상으로 하였다.

학생 및 교사에게 동일한 문항이 제시되었으며 각각을 비교하였다.

2) 실내 공기질의 수업 영향도

교실의 실내 공기질이 수업에 영향이 있다고 응답한 학생들이 77%, 교사들은 98%로 나타났다. 특히 교사들은 수업에 영향이 매우 크다고 했으며 주요원인은 불쾌감으로 나타났다.

표 10. 교실의 실내 공기질과 수업의 영향도

문항	학생				교사			
	A	B	C	비율	A	B	C	비율
매우 영향이 있다	16	9	15	12%	1	8	13	39%
영향이 조금 있다	53	40	64	47%	6	4	5	26%
영향이 있다	17	29	14	18%	10	7	2	33%
영향이 없다	31	24	21	23%	1			2%
계	117	102	114	100%	18	19	20	100%

표 11. 실내공기질의 건강영향 인식도

문항	학생				교사			
	A	B	C	비율	A	B	C	비율
불쾌감	51	50	42	43%	8	4	2	24%
알레르기증상	8	6	6	6%	2	4	3	15%
호흡기질병	40	39	45	37%	12	13	11	61%
기타	17	7	21	14%				0.0%
계	116	102	114	100%	22	21	16	100%

3) 실내 공기질에 영향을 미치는 인자

교실에서 가장 먼지를 많이 발생시키는 원인은 학생, 교사 모두 학생들의 움직임으로 인식하고 있으며 시간대별로는 쉬는 시간(59%), 점심시간(29%)이라 느끼고 있다.

표 12. 교실에서 먼지를 가장 많이 발생시키는 원인분석

문항	학생				교사			
	A	B	C	비율	A	B	C	비율
바람	5	3	4	4%			1	2%
교실내 학생들의 움직임	78	75	82	69%	16	15	10	68%
실내화	8	4	1	4%	1		1	3%
바닥재 (마루,콘크리트)	10	19	18	14%	3	6	6	25%
기타	15	3	12	9%			1	2%
계	116	104	117	100%	20	21	19	100%

새로 지은 건물의 마감부분에서 나는 냄새가 해로운 공기오염물질이라고 학생(62%), 교사(91%)가 응답하여 새 건물 냄새의 유해도 인식이 교사들이 훨씬 높았다.

표 13. 새로 지은 건물에서 나는 냄새에 대한 유해도 인식

문항	학생				교사			
	A	B	C	비율	A	B	C	비율
예	85	42	83	62%	19	17	17	91%
아니오	2	8	7	5%			1	2%
잘모르겠다	29	54	27	33%		2	2	7%
계	116	104	117	100%	19	19	20	100%

교실바닥 관리방법에 있어 학생들은 바닥칠하기(35%), 물걸레질(30%), 진공청소기(21%)의 순서였으나, 교사들은 진공청소기(60%), 물걸레질(20%), 바닥칠하기(18%) 순으로 나타나 교실바닥 관리방법에 경험 등에 의한 인식차이가 있는 것으로 나타났다.

5. 학교건물의 실내공기환경 개선방안

학교교실의 실내공기오염의 원인으로는 복합 화학물질로 만들어진 단열재, 내화재 등의 내부건축마감자재, 에너지 절약과 고효율을 위한 건물의 밀폐화에 따른 환기량 부족, 부적절한 청소방법, 학생들의 활동 및 학생의류, 다양한 학생수업행위를 위한 분필수업, 프로젝션TV 및 컴퓨터 수업, 도화지 등이 있다. 이와 같이 학교교실의 실내 공기오염원인은 매우 다양하고 복합적인 원인에 의해 나타난다. 따라서 교실의 실내공기환경을 개선하기 위한 방법으로는 오염물질 방출량이 상대적으로 적은 친환경건축자재의 사용, 환기에 의한 오염물질 배출, 청소방법 개선, 실내공기오염원의 제거, 오염물질 저감 건축자재 사용 등으로 크게 나눌 수 있다. 아울러 법적규정의 제·개정 정도 이루어져야 한다.

6. 결 론

조사결과 교실내의 실내공기환경은 외부대기의 영향보다는 교실내부에 존재하는 오염원에 따른 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 특히 학생들이 수용되어 있지 않은 상태에서도 다양한 교수학습기자재, 내부마감재, 교실건축경과년수, 환기시설 등을 포함한 교실 자체에서 기인되는 것으로 판단된다. CO는 별 문제가 없으나 CO₂, PM₁₀, 폼알데하이드, TVOC₅는 비록 측정 농도가 실내공기질기준에 미치지 못하여도 실내 공기오염 발생원의 영향으로 외기에 비하여 높은 농도를 나타내고 있으므로 이에 대한 적절한 관리가 요구되며, 주요 실내공기오염 원인으로는 교실 내 환기 부족과 공기오염물질 방출 건축자재 사용 및 공기오염물질을 방출하는 교수학습기자재·사물·각종 전시물 등의 교실 내 비치에 기인한 것으로 판단된다.

따라서 교실 내 환기율을 높이기 위하여 고정창을 환기가 용이한 열림창으로 개선 확충하되 실내에서 환기교류가 용이하게 환풍기를 상하 간에 적절히 배치하고 교실 배치는 층수를 높이더라도 중북도의 집중화된 교실형태보다 환기가 용이하고 채광 및 심리적인 안정감에도 효과가 있는 편북도의 교실형태가 적절한 것으로 판단되며, 목재교실 건축 등 친환경성 건축자재를 사용하여 공기오염물질의 방출을 차단하거나 교실건축공사기간을 조정하여 공기오염물질을 최대한 방출시킨 후 학생을 수용하는 방안을 적극 검토하고, 공기오염물질을 적게 방출하는 학습도구를 개발하거나 사용하고 특히 교실내부에 있는 사물함과 다양한 전시물, 공작물 등을 복도 또는 별도의 공간으로 유도하여 학습공간과 전시공간을 분리해서 운영하여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 구재오 외, 건축환경계획론, 태림문화사. 1992
2. 김만구 외, 확산청소에 기인한 실내공기중 휘발성유기화합물의 용도변화, 한국대기보전학회지. 1997 제13권 제3호
3. 김신도, 윤동원, 실내공간의 휘발성유기화합물특성 파악 및 제어방안에 관한 기초조사, 환경부 보고서. 2000. 12
4. 대한건축학회, “21세기 실내공기환경의 질 세미나” 발표집. 1998
5. 신원식, 초·중등학교 교실의 변천과 건축계획적 개선방안. 충북대학교 대학원 건축공학과 박사학위논문. 2004
6. 신은상, 김진우, 수원지역 초,중,고등학교 교실의 실내공기 오염도에 관한 연구. 대한위생학회 제17권 제1호
7. 임호진, CFD 해석을 이용한 과밀폐쇄공간의 공기환경 평가방법에 관한 연구. 연세대학교 대학원 건축공학과 박사학위논문. 1998
8. 정해진, 장문석, 건물의 실내환경 개선에 관한 연구. 한국에너지기술연구소. 1993
9. 한국공기청정협회, 제 17회 공기청정 기술 세미나 “2000 자료집. 2000
10. ASHRAE, ASHRAE HANDBOOK(SI edition) : Heating, Ventilating and Air Conditioning APPLICATIONS, 1995.
11. David Etheridge, Mats Sandberg, Building, Ventilation, John Wiley & Sons, 1996.
12. 南 雄三, 高斷熱高機密住宅の 換氣設計, 建築技術, 1997. 7.