

학교교실의 냉방시 실내열·공기환경 실태

Present Condition of Indoor Thermal and Air Environment by Cooling in School Classrooms

최윤정*
Choi, Yoon-Jung

정연홍**
Jeong, Youn-Hong

이선아***
Lee, Seon-A

김혜경****
Kim, Hye-Kyeong

황진아*****
Hwang, Jin-A

Abstract

The purpose of this study were to make clear the present condition of indoor thermal and air environment by cooling in school classrooms and to analyze the relation of the living conditions with indoor environment. The measurements on physical elements and observations on living conditions were carried out in 6 classrooms of 3 middle or high schools. Measuring elements were indoor temperature, relative humidity, PM10 and CO₂ concentration. As results, the averages of indoor temperature each classrooms were 24.9~26.6°C. Most of classrooms were lower than the Maintenance standard (26~28°C) of School Health Law. The means of relative humidity were 51.3~72%, all classrooms were ranged within the standard (30~80%). The means of PM10 concentration were 3.5~23.1 µg/m³, all classrooms were kept within the standard (100 µg/m³). The means of CO₂ concentration were 1218.7~4705.4 ppm, all classrooms were exceed the standard (1,000 ppm). The results of analysis on relations of living conditions with the physical elements are as follow; the air conditioner set of temperature, windows and doors opening elapsed time, the number of students in classrooms and activities of students had certain effect on indoor environment.

Keywords : Indoor thermal environment, Indoor air quality, School classroom, Cooling, Living condition

주 요 어 : 실내온열환경, 실내공기환경, 학교교실, 냉방, 생활요인

I. 서 론

학교교실은 학생과 교사가 하루 중 5~10시간 또는 그 이상 한정된 공간에서 함께 생활하고 있다. 특히 어린이 및 청소년의 경우 실내에서 생활하는 시간이 길고 성인에 비해 호흡량이 많으므로 오염물질에 노출될 가능성이 많고 오염물질에 대한 면역력이 약하기 때문에 적절한 조치가 필요하지만 현실은 부족한 설정이다(손종렬 등, 2005).

최근 신축학교뿐만 아니라 기존 학교에서도 각 교실의 냉방시설 설치율이 증가되고 있다. 충청북도 교육청은 냉방시설을 확충하여 학생들로 하여금 쾌적한 환경 속에서 학습 활동에 전념할 수 있는 면학분위기 조성을 위해 52.1%까지 되어 있는 각급 학교교실의 냉방시설을 2007년까지 완료하는 방안을 마련 중에 있는 것으로 알려졌다(대전일보웹기사, 2005. 09. 13).

그러나 여름철 냉방기의 사용은 당장은 시원하고 작업 능률을 증가시켜주기는 하지만 과잉냉방으로 인해 실내의

온도차가 5~8°C 이상되는 주거환경에 오래 노출되면 냉방 증후군에 해당하는 신체증상이 나타나게 된다(이상도, 2002).

이는 두통을 일으킬 수 있고, 어지럼고, 졸리거나 장운동의 변화에 의한 다양한 위장증상을 일으킬 수 있고, 요통, 월경불순, 피로감 등을 일으킬 수 있다(최현석, 2003).

또한 신은상 등의 연구(2002)에서 수원시내 총 6개 학교 학생(1024명)을 대상으로한 설문조사 결과 학교 실내 공기오염이 자신의 건강에 영향을 미친다고 답한 학생이 91.1%로 그 중 상당수가 불쾌감이나 호흡기 질병 등을 느낀다고 대답한 것으로 보아, 학교교실의 실내환경이 신체적 뿐만 아니라 심리적으로도 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

즉, 학교 냉방시설 개선 사업이 진행됨에 따라 많은 학급에서는 냉방시설을 가동하여 여름철 실내환경을 조절하게 되겠지만, 이로 인하여 실내공기오염의 문제들도 발생 할 수 있기에 냉방시 실내환경에 대한 관리가 중요하며, 이를 위해서는 우선 이에 대한 실태파악이 필요하다.

현재 학교교실의 실내환경 관리 관련법규로는 「학교보건법」(일부개정 2005. 12. 29)이 해당된다. 「학교보건법」에서는 학교의 환경위생 및 식품위생에 대하여 각 요소들을 적절히 유지·관리해야 한다고 규정하고 있다. 이렇듯 학교교실의 실내환경에 대한 중요성은 인식되어 제도화되어 있지만, 각 학교에서 점검 및 유지·관리를 실시

*정회원(주저자, 교신저자), 충북대학교 주거환경·소비자학과
부교수

**정회원, 충북대학교 일반대학원 주거환경학 전공 석사과정

***정회원, 청주시 서원중학교 교육보조교사

****정회원, 대전 한인인테리어 디자이너

*****정회원, 충북대학교 제8행정실 근무

하고 있는지는 확인된 바 없다. 또한 지금까지 학교교실의 실내환경에 대한 연구들은 매우 다수 진행되었으나, 그 중 손종렬 등의 연구(2006)와 최한영의 연구(2003)는 측정기간에 냉방기가 포함은 되어 있으나 냉방시의 결과를 구분하여 제시하지는 않았다.

따라서 본 연구는 학교교실 실내환경의 쾌적성 향상을 위한 기초연구로서, 학생이나 일반교사가 스스로 관리하는데 도움이 될 수 있도록, 학교교실의 냉방시 실내열·공기환경의 실태를 파악하고, 이에 영향을 미치는 생활요인을 분석하는 것을 목적으로 하였다.

II. 문헌고찰

1. 선행연구

학교교실의 실내환경 실태측정 관련 연구를 살펴보면 다음과 같다. 공경화 등(2005)은 대학교 대형 계단강의실을 대상으로 실내 열환경 쾌적도에 영향을 미치는 온도 분포, 습도, 기류, PMV를 난방시와 비난방시로 나누어 측정하여, 유일하게 학교 온열환경 연구를 하였다.

신은상 등(2002)은 수원시내 총 6개 학교를 대상으로 설문조사와 CO, CO₂, SO₂, NO₂, 미세먼지 항목을 측정하였으며, 최한영(2003)은 서울지역 15학교의 교실에서 수업시간동안에 온열환경·조도·CO·CO₂·SO₂·NO₂·미세먼지를 측정하였다. 정지원 등(2004)은 24년된 초등학교를 선정하여 휴일과 휴식시간, 수업시간에 먼지 입경 분포의 농도변화를 측정하였으며, 정지원 등(2005)은 1980년에 준공된 수도권 소재 초등학교의 4층 교실을 대상으로 자연 상태에서 온도·습도·미세먼지의 시간별, 입경 분포별 CO₂를 측정하였고, 이정재 등(2005)은 부산시 5개 신축학교를 대상으로 온·습도, CO, CO₂, PM10을 측정하였으며, 손종렬 등(2006)은 2004년 6월~2005년 3월 전국의 유치원, 초, 중, 고등학교 55개교를 대상으로 교실과 과학실 및 특별실 3개 지점을 선정하여 여름, 가을 및 겨울에 온도, 습도, 조도, 소음, 미세먼지, CO₂, 포름알데히드, 총부유세균, CO, 라돈, 총휘발성유기화합물, 석면, 오존을 측정하였다. 전정우 등(2006)은 2005년 12월~2006년 4월 서울시내 일부 학교에서 학교당 3지점씩 선정하여 3회에 걸쳐 실내공기질(온도, 습도, 조도, 미세먼지, CO₂, 소음, 총부유세균, 라돈, 포름알데히드, 총휘발성유기화합물)을 측정하였고, 손부순 등(2006)은 2004년 10월에 3일간 일반교실과 도서실, 음악실, 미술실등의 다중이용교실에서 총부유분진, 미세먼지, 포름알데히드를 측정하였다.

이상에서 학교교실의 실내환경 실태측정 관련 선행연구를 살펴본 결과, 대부분의 연구가 초·중·고등학교의 실내공기질을 주제로 하고 있었다.

2. 관련법규

「학교보건법」과 「학교보건법 시행규칙」(일부개정 2005. 11. 14), 「학교 환경위생 및 식품위생 점검기준」(2006)에

표 1. 학교교실의 환경위생 유지·관리 기준
(냉방환경 관련 요소 발췌)

항목	주요 유지·관리 기준
실내온도	• 18~28°C (난방: 18~20°C, 냉방: 26~28°C)
비교습도	• 30~80%
미세먼지	• 100 µg/m ³ 이하
이산화탄소	• 1,000 ppm 이하 단, 기계식환기시설은 1,500 ppm 이하

출처 : 교육인적자원부, 「학교 교사내 환경위생 및 식품위생 관리 매뉴얼」(2006). p.6에서 실내환경 요소 중 냉방환경과 관련된 본 연구 측정 항목만 부분 발췌

서는 학교 환경위생의 유지·관리 기준과 점검 및 측정 방법, 점검결과의 기록 및 확인에 대해 규정하고 있으며, 교육인적자원부에서는 「학교 교사(校舍)내 환경위생 및 식품위생 관리 매뉴얼」(2006)을 별도로 발행하였다. 그 중 냉방환경과 관련된 학교교실의 실내환경 요소의 유지·관리 기준은 <표 1>과 같다.

3. 관련이론: 냉방증후군

여름철 과잉냉방으로 인해 실내외 온도차가 5~8°C 이상되는 주거환경에 오래 노출되면 냉방증후군에 해당하는 신체증상이 나타나게 된다(이상도, 2002). 비정상적인 냉감에 의해 말초혈관의 수축, 혈액순환의 이상과 자율신경계 기능에 문제가 생기면 장운동의 조절이나 뇌의 혈류량, 혈압, 스트레스에 대한 적응 등에 영향을 미치게 된다. 이는 두통, 어지럼고, 졸리거나 위장증상을 일으킬 수 있다. 또 근육수축에 불균형이 나타나 요통이 생기고 여성에게는 호르몬 이상으로 월경불순이 오기도 한다. 또 혈류의 변화로 인해 얼굴과 손, 발 등에 냉감을 느끼고 얼굴이 화끈거리고 가슴이 두근거리기도 하며 체내에서는 열을 보충하기 위해 계속 열을 생산하기 때문에 피로가 쉽게 온다(최현석, 2003). 또 대형 건물의 중앙 냉방장치의 냉각수가 레지오넬라균에 오염되어 공기를 통해 빌딩 전체로 퍼져서 나타나는 기침, 두통, 고열, 설사, 의식혼란, 가슴통증, 폐렴 등의 감염증상도 역시 냉방증후군으로 분류하고 있다(정경연, 2006). 즉, 냉방증후군은 실내열·공기환경과 관련이 있음을 알 수 있다.

III. 연구방법

1. 측정대상

충북 C시에 소재하고 있는 중·고등학교 총 56곳 중 본 연구 대상으로 적합하지 않은 곳(냉방시설이 갖추어져 있지 않은 학교와 특별교실에서의 수업이 많은 실업계 고등학교, 특성화 고등학교)을 제외한 24곳을 대상으로 본 연구에 대해 설명한 결과, 3개교에서 방문을 허락하여 각 학교의 2개 교실, 총 6개의 일반교실에서 2006년 7월 12일부터 7월 14일까지 현장측정을 하였다. 측정대상의 개요는 <표 2>와 같다.

표 2. 측정대상의 개요

학교명	A교		B교		C교	
측정교설명	a교실	b교실	c교실	d교실	e교실	f교실
건축 요인	전축년도 1993년		1981년		2003년	
	교실크기	705 cm 870 cm	705 cm 870 cm	900 cm 870 cm	660 cm 885 cm	720 cm 840 cm
설비 요인	에어컨 종류 및 개수 개별조절 스탠드형 1대		중앙조절 천장형 2대		개별조절 스탠드형 1대	
	선풍기 수 (위치)	벽걸이형 3대 (좌·우·후)	벽걸이형 3대 (좌·우·후) 스탠드형 1대 (전)	벽걸이형 4대 (천장)		
생활 요인	학생수 42명 (여)		중1 34명 (남)	고1 38명 (여)	고2 35명 (여)	고1 36명 (여)
	학급수 10		0.58clo	0.58clo	0.58clo	0.58clo

※ 측정교실은 모두 남향이고 환기설비는 없었으며, 철근콘크리트구조에 창의 유형은 페어글리스 이중창 이었다. 5개 교실은 편복도형이고, 6개 교실은 복도 끝에 위치하여, 복도 없이 교실 남북측창이 외기에 면하고 있었다. 마감재는 천장은 흡음형 천장재, 벽면은 모르타르마감 위 페인트, 바닥은 A교는 테라조, B, C교는 데코타일로 마감되어 있었다.

표 3. 측정항목 및 방법

측정항목	측정기기		측정시간	측정위치
실내온도 상대습도	디지털 온습도계 (TR-72S)	디지털 온습도계 (TR-72S)		벽으로부터
미세먼지 농도	Digital Dust Monitor KANOMAX 3421*	Digital Aerosol Monitor KANOMAX 3411*	9:00 ~ 15:00 (10분간격)	1 m 이상 떨어진 교실 뒤편의 중앙부.
CO ₂ 농도 CO농도	IAQ Monitor KANOMAX 2332**	IAQ-CALC TSI 8762-M-EU**		바닥면으로 부터 1.2 m

*측정입자크기는 10 μm 이하이며, 1분간 평균농도를 측정함

**측정범위는 0~5,500 ppm, 그 이상의 농도는 over로 표시되며(5,500 ppm으로 가주하여 분석), 순간치를 측정함.

2 측정내용 및 방법

측정내용 및 방법은 교육인적자원부 고시 「학교 환경 위생 및 식품위생 점검기준」(2006. 01)과 「학교 교사내 환경위생 및 식품위생 관리 매뉴얼」(2006. 03)의 정기점검 방법에 따라 측정하였다.

측정 및 분석 항목은 냉방시 실내열·공기환경의 실태 파악을 위한 대표적 측정요소인 실내온도, 상대습도, 미세먼지, CO₂로 하였고, 실내공기에 기타 다른 오염원이 있는지 파악하기 위한 배경항목으로 CO를 측정하였다.

측정은 학생들의 자연스러운 생활을 그대로 수용한 상태에서 진행하였으며, 실내환경에 영향을 미치는 요인들을 자세히 관찰·기록하였다. 기기는 현장직독식으로서 사전점검과 제로교정을 거쳐 사용하였다<표 3>.

1) 착의량은 교복착의 상태이므로, 학생들이 착의한 전형적인 상태를 계산하였다. 각 착의 항목의 열저항값을 ASHRAE Handbook(1993)에서 제시한 표에서 읽어 계산식 $I_{cl} = 0.835 \sum I_{cl,i} + 0.161$ 에 의해 산출한 후 소수점 이하 두자리까지 반올림하였다. ($I_{cl,i}$ = 의복 I 의 유효 열저항치(clo), I_{cl} = 의복 조합의 총 열저항치)

3. 분석방법

1) 현장측정 자료는 각 교실별, 측정요소별로 측정치의 시간변동과 함께 생활요인(에어컨 설정온도, 학생 활동내용, 창문·교실문 상태, 재실자수, 선풍기 가동상태)을 그 래프를 작성하고 평균 등의 단순통계를 구하여 분석하였다.

2) 창문 상태의 표기는 창문 면적 중 개방된 면적의 비율로 표시하였고, 교실문의 경우 문을 개방할 수 있는 면적만큼 모두 개방된 것을 ‘최대’로 표기하였으며, 개방가능면적 대비 열린 정도에 따라 1/2, 1/3로 나타내었다.

3) 이동수업시간에는 측정자만이 재실하여 학생들에게 노출된 환경이 아니며, 학생들이 실내환경 조절을 전혀 하지 않았으므로, 그래프에만 측정치를 표시하고 해석 논의에서는 제외하였다.

IV. 측정결과 및 해석

측정결과는 <표 4>와 같다.

1. 교실별 측정결과

6개 교실의 그래프를 각각 작성하여 분석하였으나 지면 관계상 특징별로 a, b, c교실의 그래프만을 제시한다.

1) a교실

실내온도 측정결과, 25.1~27.0°C(평균 25.8°C)로 나타났다. 하루 측정횟수의 약 1/4정도만이 「학교보건법 시행 규칙」의 유지·관리기준(26~28°C)에 해당되고, 대부분의 측정치가 기준에 포함되지 않았다. 외부온도와 실내온도의 차는 -0.2~4.2°C(평균 2.4°C)로 냉방증후군을 유발할 정도는 아니었다. 실내온도의 변동특성은, <그림 1>에서 보면 에어컨 가동온도와 관계가 있었으며, 쉬는시간에 교실앞문이 최대로 열렸을때와 점심시간에 에어컨 가동이 멈추고 복도창, 앞문 등이 열렸을때 실내온도가 상승하였다.

상대습도 측정결과, 50~69%(평균 58.3%)로 모두 「학교보건법 시행규칙」의 유지·관리기준(30~80%)에 포함되었다. 상대습도의 변동특성은, 에어컨의 가동이 지속되면 상대습도는 낮아졌고, 에어컨의 가동이 멈추었을 때와 교실문과 창문이 개방되었을 때 상대습도가 상승하였다.

미세먼지 농도 측정결과, 0~60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 14.1 mg/m^3)로 모두 「학교보건법 시행규칙」의 유지·관리기준(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 미만 이었다. 미세먼지 변동특성은, 쉬는시간이나 점심시간과 같이 학생들의 움직임이 많은 시간대에는 농도가 높았고, 움직임이 거의 없고 착석상태인 수업시간에는 쉬는시간에 상승한 농도가 낮아졌다. 특히, 점심시간에는 급식실로 이동하기위해 학생들의 움직임이 쉬는시간 보다 많아져 미세먼지의 농도가 급격히 상승하였다.

CO_2 농도 측정결과, 1,950~5,500 ppm(평균 4,132 ppm)으로 모두 「학교보건법 시행규칙」의 유지·관리기준(1000 ppm)을 초과하였다. CO_2 농도의 변동특성은, 측정시작시(오전 9시) 1,950 ppm으로 이미 기준치를 초과 하였고, 이후 개구부가 거의 개방되지 않고 1시간 50분 동안 수업

표 4. 현장측정결과

■: 유지기준을 벗어남

요인 \ 측정교실	a교실	b교실 (이동수업제외)	c교실	d교실	e교실	f교실	유지기준*
실내온도 (°C)	최저	25.1	23.4(23.4)	22.9	25.7	24.6	23.6
	최고	27.0	27.8(26.6)	27.8	28.0	27.7	28.1
	평균	25.8	24.9(24.7)	25.1	26.6	25.7	26.0
외기온도** (°C)	최저	25.9	25.9(25.9)	27.4	27.4	29.5	29.5
	최고	30.0	30.0(30.0)	31.2	31.2	32.2	32.2
	평균	28.4	28.4(28.1)	29.2	29.2	30.5	30.5
외기온도- 실내온도(°C)	최저	-0.2	-0.7(-0.7)	-0.2	-0.4	2.9	3.2
	최고	4.2	5.9(5.9)	6.4	5.2	7.4	7.9
	평균	2.4	3.3(3.1)	4.0	2.6	4.8	4.8
상대습도 (%)	최저	50	48(48)	60	55	45	45
	최고	69	85(85)	87	84	63	60
	평균	58.3	63.1(61.3)	72.0	65.0	51.3	52.0
외기습도** (%)	최저	65	65(66)	62	62	55	55
	최고	84	84(84)	79	79	71	71
	평균	72.3	72.3(73.5)	70.0	70.0	62.0	62.0
미세먼지 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	최저	0	0(0)	0	0	0	10
	최고	60	50(50)	20	50	30	60
	평균	14.1	18.4(19)	8.4	3.5	8.4	23.1
CO_2 농도 (ppm)	최저	1950	423(423)	347	294	1337	2783
	최고	5500초과***	4147(4147)	1938	3137	4622	5500초과***
	평균	4131.5	1994.3(2235.2)	1218.7	1993.2	3044.1	4705.4
외부 CO_2 **** 농도(ppm)	388~402(평균 400)		250~347(평균 307)		368~447(평균 399)		
CO 농도 (ppm)	최저	1.4	0.0	1.5	0.0	0.5	1.0
	최고	1.7	1.9	1.6	3.8	1.4	2.1
	평균	1.6	1.4	1.0	1.5	0.9	1.4
외부 CO**** 농도(ppm)	0~1.5(평균 0.5)		0~1.3(평균 0.4)		0.0~0.0(평균 0.0)		

*학교보건법 시행규칙(일부개정 2005. 12. 29) 유지 · 관리기준.

**외기온 · 습도는 청주 기상청 자료를 이용하였으며, 교실 측정시간대(9시~3시)의 값임.

***측정기기의 측정기능범위(0~5500)를 초과. 5500 ppm으로 간주함.

****외부 CO_2 , CO 농도는 기초항목으로서 1시간 동안의 측정값임.

이 지속되자 3500 ppm 증가하여 오전 10시 50분에 최고치인 5500 ppm 을 기록하였다. 이 교실의 경우 수업시간에는 재실자수가 많고 개구부가 거의 개방되지 않아 측정시작 후 CO_2 농도가 계속 상승하였는데 쉬는시간에 앞문이 최대로 개방되자 $1,000 \text{ ppm}$ 가량 감소하였다. 하지만 개구부가 열렸다 금방 닫힌 경우는 CO_2 농도에 영향을 주지 못하였다. 점심시간에는 재실자수가 줄어들고 복도창 하나와 앞뒷문 최대 개방이 20분 이상 지속되면서 $3,000 \text{ ppm}$ 가량 감소되었으나 이후 오후수업 때 다시 상승하였다. 쉬는시간에 다시 앞문이 최대로 열리자 CO_2 농도가 $1,000 \text{ ppm}$ 가량 감소되었다가 수업이 시작되면서 다시 증가하였다.

2) b교실

b교실은 측정일에 12시 45분부터 1시 30분까지 45분동안 이동수업이 포함되어 있었다.

이동수업으로 에어컨의 가동이 중지된 시간을 제외하면 실내온도는 $23.4\sim26.6^\circ\text{C}$ (평균 24.7°C)로 대부분의 측정치가 기준에 포함되지 않았다. 외부온도와 실내온도의 차는

$-0.7\sim5.9^\circ\text{C}$ (평균 3.1°C)로 오후 3시에 5.9°C 로 냉방중후군을 유발할 수도 있는 온도차를 보였고, 그 외 시간은 냉방중후군을 유발할 정도는 아니었다. 실내온도의 변동 특성은, 에어컨의 가동 시작시간부터 에어컨 설정온도가 18°C 로 매우 낮게 설정되어 실내온도가 점점 하강하다가 9시 50분경 에어컨 가동중지와 쉬는시간 개구부의 개방에 의하여 실내온도가 약간 상승하였다. 에어컨이 다시 가동되자 실내온도는 다시 하강하였다. 이동수업시간에 에어컨 가동이 중지되고 개구부가 닫힌 상태로 45분 지속되면서 실내온도가 점점 상승하였다. 이동수업이 끝난 후 학생들이 교실로 돌아와 에어컨을 다시 가동하면서 실내온도는 점점 하강하였다가 쉬는시간 개구부가 개방되자 약 2°C 상승하였고 수업시간에 개구부가 모두 닫히자 다시 하강하였다.

이동수업시간을 제외한 상대습도 측정결과, 48~85%(평균 61.3%)로 측정시작 시간인 9시와 9시 10분에 기준을 초과하였고, 그 외의 측정치는 모두 기준에 포함되었다. 상대습도의 변동특성은, 에어컨의 가동시간이 길어질수록

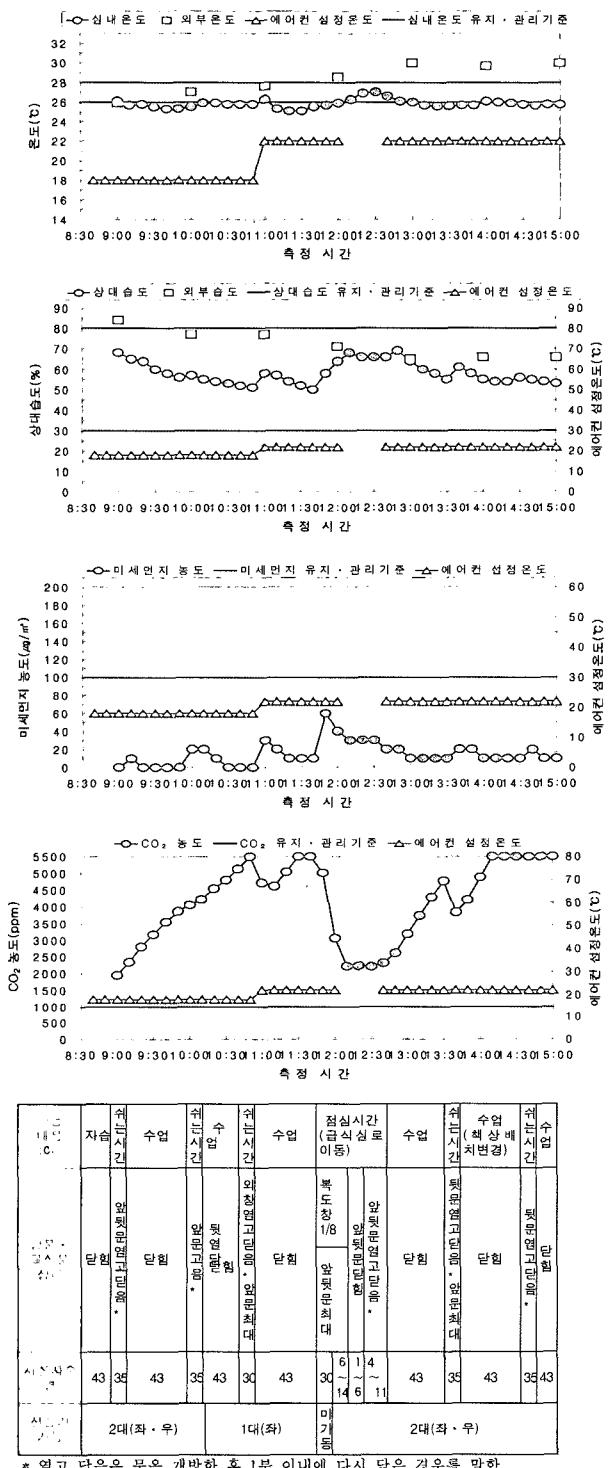


그림 1. a교실의 실내열·공기요소 측정결과

상대습도가 낮아졌고, 교실문과 창문이 개방되었을 때 상대습도가 상승하였다. 이동수업 중에는 에어컨이 가동되지 않아 상대습도가 높아졌고 이동수업이 끝난 후 다시 에어컨이 가동되자 상대습도가 내려갔다.

이동수업시간을 제외한 미세먼지 농도 측정결과, 0~50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)로 모두 기준치 미만이었다. 미세먼지 농도의 변동특성은, 학생들의 움직임이 많은 쉬는시간

에는 높은 농도를 나타냈으며, 착석상태인 수업시간에는 농도가 다시 낮아졌다. 쉬는시간에 교실 뒤편에서 공을 교실 바닥에 티기는 활동을 했던 시간에는 미세먼지의 농도가 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 급격히 상승하였다. 점심시간 직후 이동수업이 예정되어 있어 미리 특별실로 학생들이 이동함으로써 점심시간에는 교실내 재실자수가 줄어들고 학생들 움직임이 거의 없었기 때문에 공놀이를 했던 1회를 제외하고는 모두 낮은 농도를 유지하였던 것으로 생각된다.

이동수업시간을 제외한 CO₂ 농도 측정결과, 423~4,147 ppm(평균 2,235.2 ppm)으로 측정치의 대부분이 기준치를 초과하였다. CO₂ 농도의 변동특성은, 측정시작시 423 ppm으로 최저치였는데, 수업시간에는 재실자수가 많고 교실문과 창문이 개방되지 않아 CO₂ 농도가 계속 상승하였다. 개구부가 개방되지 않은 상태로 50분이 지속되자 약 2,500 ppm이 증가하였고, 쉬는시간에 앞뒷문이 최대로 개방되자 약 400 ppm이 감소하였다. 수업이 다시 시작되면서 개구부가 개방되지 않은 상태로 40분이 지속되자 약 1,600 ppm이 증가하여 4,147 ppm으로 최고치를 기록하였는데, 이때가 오전 10시 50분이었다. 11시경 쉬는시간에는 학생들의 잦은 이동에 따라 앞뒤 교실문이 최대로 개방되면서 CO₂ 농도가 1,500 ppm 가량 감소하였다. 그러나 이후 수업시간에 환기가 되지 않자 다시 CO₂ 농도가 상승하였다. 이동수업시 측정자 2인만 재실하고 있을 때는 개구부가 모두 닫혀있었음에도 CO₂ 농도가 1,000 ppm이 하로 유지되어, 학교교실의 CO₂ 농도는 재실자의 호흡에 의한 것이며 재실자수가 영향요인임을 알 수 있다.

3) c교실

실내온도 측정결과, 22.9~27.8°C(평균 25.1°C)로 오전 10시 20분부터 약 한 시간만 기준에 포함되고, 나머지 시간은 기준에 포함되지 않았다. 외부온도와 실내온도의 차는 -0.2~6.4°C(평균 4.0°C)였으며, 점심시간 이후에는 모두 5°C 이상으로 나타나 냉방증후군을 유발할 수도 있는 온도차를 보였다. 실내온도의 변동특성은, 에어컨의 가동 시작시 설정온도는 22°C였으나 측정시작 시간에 잠시 에어컨 가동이 멈추었을 때 27.8°C였다. 창문이 개방된 상태에서 에어컨 설정온도 20°C로 약 한 시간정도 가동되자 실내온도가 약 5°C 하강하였고, 에어컨 설정온도가 26°C로 되자 실내온도도 함께 상승하였으며, 다시 에어컨 설정온도가 낮아지자 실내온도도 함께 낮아졌다. c교실은 다른 교실과 달리 에어컨 2대가 가동되고 있어 단시간에 에어컨 설정온도의 영향을 받은 것으로 생각된다.

또한 점심시간과 쉬는시간에 교실문을 개방하였을 때 실내온도가 약간 상승하였으나 11시 30분부터 계속해서 에어컨 설정온도를 일정하게 유지하면서 큰 변동이 없었다.

상대습도 측정결과, 60~87%(평균 72%)로 오전의 9시~9시 10분, 10시 20분~10시 40분에 기준을 벗어났고, 나머지 측정치는 기준에 포함되었다. 상대습도의 변동특성은, 에어컨의 가동시간이 길어질수록 상대습도가 점점 낮아졌고, 오전에 창이 개방되었을 때, 쉬는시간과 점심시간

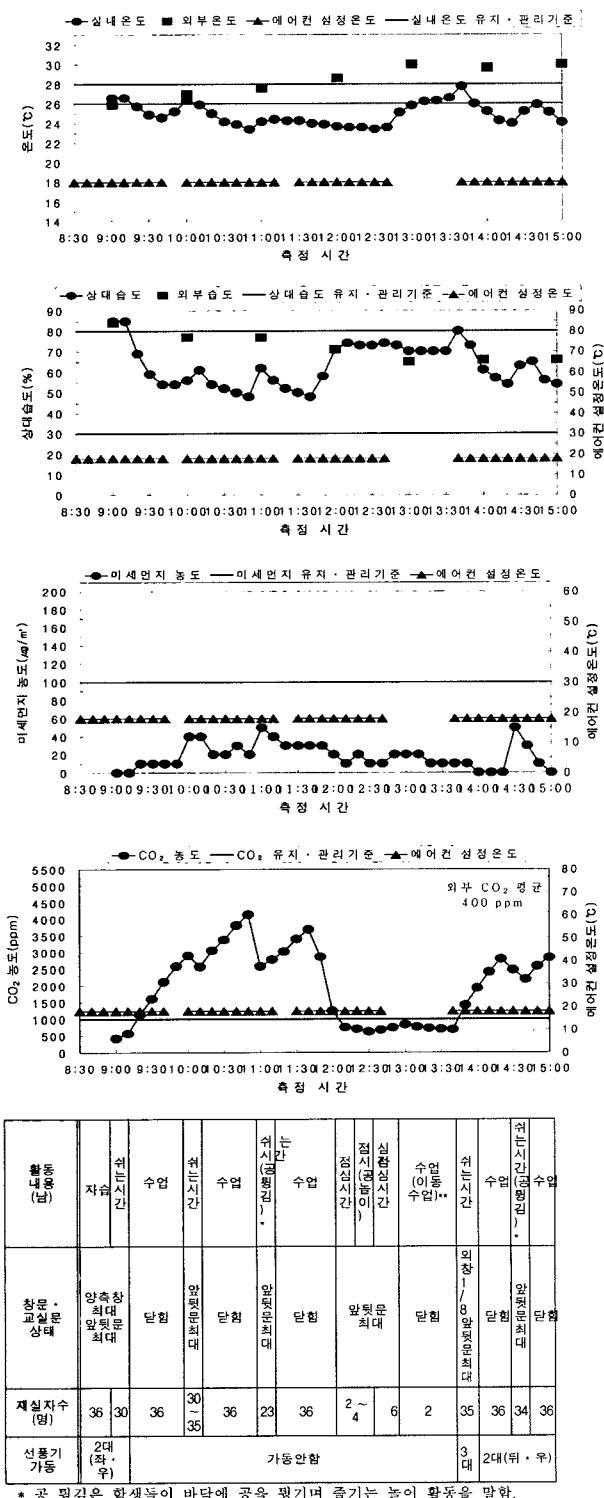


그림 2. b교실의 실내온도·공기요소 측정결과

에 교실문이 개방되었을 때 상대습도가 상승하였다.

미세먼지 측정결과, $0\sim20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 $8.4 \text{ mg}/\text{m}^3$)로 모두 기준치 미만이었다. 미세먼지의 변동특성은, 학생들의 움직임이 많은 쉬는시간과 점심시간에 높은 농도를 나타냈으며, 착석상태인 수업시간에는 미세먼지의 농도가 다시 낮아졌다.

CO_2 농도 측정결과, $347\sim1,938 \text{ ppm}$ (평균 $1,218.7 \text{ ppm}$)

으로 측정치의 3/4 이상이 기준치를 초과하였으나, 평균 $1,218 \text{ ppm}$ 으로 기준치에 거의 근접한 상태였으며, 6개 교실 중 가장 양호한 상태였다. CO_2 농도의 변동특성은, 측정시작시 CO_2 농도는 347 ppm 으로 최저치로 나타났다. c 교실의 최고치는 오후 늦게 나타났는데, 측정시작 시간부터 개구부의 개방면적이 커고 그 후 개방 면적은 줄어들었지만 점심시간까지 지속적으로 개방하였으며 6개 교실 중 교실 면적이 가장 크고, 교실의 남북측 창이 모두 외측창인 것이 CO_2 농도가 낮게 유지된 원인으로 생각된다. 수업시간에 우측창 1개와 좌측창 1개가 번갈아 개방된 정도로 2시간 지속되자 약 800 ppm 이 증가하였다가, 점심시간에 재실자의 수가 줄어들고 교실문이 개방된 상태로 30분 이상 지속되자 약 500 ppm 이 감소하였다. 이후 수업시간에 개구부가 거의 개방되지 않고 2시간 지속되자 CO_2 농도가 약 $1,000 \text{ ppm}$ 증가하여 $1,938 \text{ ppm}$ 으로 최고치를 기록하였는데 이때가 오후 2시 50분이었다.

4) d교실

d교실 실내온도 측정결과, $25.7\sim28.0^\circ\text{C}$ (평균 26.6°C)로 대부분의 측정치가 기준에 포함되었다. 외부온도와 실내온도의 차는 $-0.4\sim5.2^\circ\text{C}$ (평균 2.6°C)로 오후 2시에만 5°C 이상으로 냉방증후군을 유발할 수 있는 온도차였고, 그 외는 냉방증후군을 유발할 정도는 아니었다. 실내온도의 변동특성은, 앞의 교실들과 마찬가지로 에어컨 설정온도의 영향을 받고 있었으며, 이 교실은 쉬는시간과 점심시간에도 개구부의 개방시간이 적어 실내온도는 큰 변동이 없이 일정하게 유지되었다.

상대습도 측정결과, $55\sim84\%$ (평균 65%)로 측정시작 시간인 9시와 9시 10분에 기준을 벗어났고, 나머지 시간은 기준에 포함되었다. 상대습도의 변동특성 역시, 앞의 교실들과 마찬가지로 에어컨의 가동시간이 길어질수록 상대습도가 낮아졌고, 교실문과 창문이 개방되었을 때 상대습도가 상승하였다.

미세먼지 농도 측정결과, $0\sim50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)로 측정치는 모두 기준치 미만이었다. 미세먼지 농도의 변동특성은, 9시 10분 쉬는시간에 학생들의 움직임이 증가하여 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도로 급격히 높아진 이후, 학생들의 움직임이 거의 없는 수업시간에는 미세먼지의 농도가 점점 낮아졌다. 쉬는시간과 점심시간 등 학생들의 잦은 움직임에 따라 미세먼지의 농도가 상승과 하락을 반복하였으나, 점심시간 급식실 이동 이후에는 미세먼지의 농도가 $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 장시간동안 매우 낮게 유지되었다.

CO_2 농도 측정결과, $294\sim3,137 \text{ ppm}$ (평균 $1,993.2 \text{ ppm}$)으로 측정시작 시간대와 점심시간에만 기준치 이하일 뿐 대부분의 측정치가 기준을 초과하였다. CO_2 농도의 변동특성은, 측정시작시에는 294 ppm 으로 최저치였다. 수업시간에 개구부가 거의 개방되지 않고 1시간 50분 지속되자 CO_2 농도가 $2,000 \text{ ppm}$ 증가하였고 쉬는시간에 개구부가 열렸다가 금방 닫힌 경우에는 큰 영향을 주지 못하였다. 12시부터 시작된 점심시간에는 재실자의 수가 급격히 작

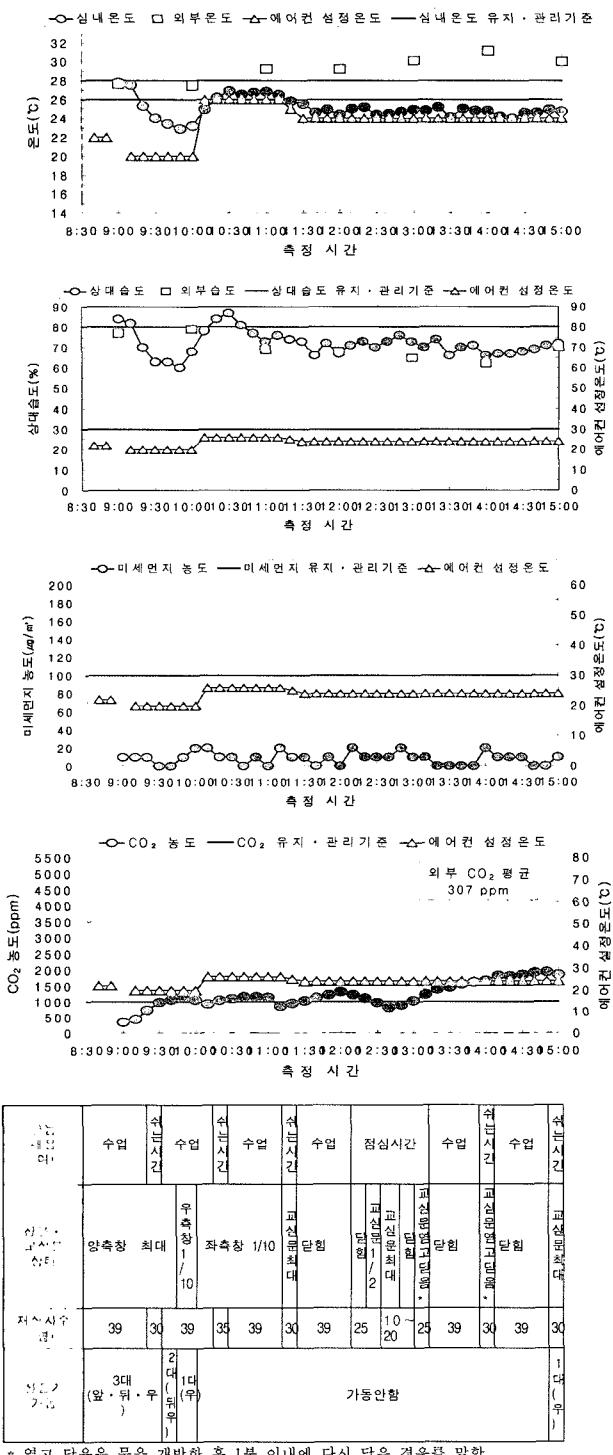


그림 3. c교실의 실내열·공기요소 측정결과

아졌고 교실문과 복도창이 20분 동안 개방되어 CO_2 의 농도가 약 1,500 ppm 정도 낮아져 기준치 이하인 752 ppm을 기록하였다. 이후 개구부가 거의 개방되지 않고 2시간 20분 동안 수업이 지속되자 약 2,200 ppm 증가하여 오후 2시 50분에 3,137 ppm으로 최고치를 기록하였다.

5) e교실

실내온도 측정 결과, 24.6~27.7°C(평균 25.7°C)로 11시

이전과 점심시간만이 대체로 기준에 포함되고, 그 외 시간은 기준을 벗어났다. 외부온도와 실내온도의 차는 2.9~7.4°C(평균 4.8°C)로 12시 이후에는 5°C 이상으로 나타나 냉방증후군을 유발할 수도 있는 온도차였다. 실내온도의 변동특성은, 역시 다른 교실과 마찬가지로, 에어컨 설정온도의 영향을 받고 있었으며 점심시간의 창문 개방과 쉬는시간의 개구부 개방에 의하여 약간씩 상승하였다가 수업시간에는 일정하게 유지되었다.

상대습도 측정결과, 45~63%(평균 51.3%)로 측정치 모두 기준에 포함되었다. 상대습도의 변동특성은, 앞의 교실들과 마찬가지였다.

미세먼지 농도 측정결과, 0~30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 8.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)로 측정치는 모두 기준치 미만이었다. 미세먼지 농도 변동특성은, 쉬는시간에 학생들의 움직임이 있으면 미세먼지 농도가 상승하였으며, 착석상태인 수업시간에는 미세먼지 농도가 다시 낮아졌다. 그러나 그 변동폭이 작았으며, 학생들의 움직임이 있었던 시간 외에는 대체로 미세먼지 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 낮게 유지되었다.

CO_2 농도 측정결과, 1,337~4,622 ppm(평균 3,044.1 ppm)으로 측정치 모두 기준치를 초과하였다. CO_2 농도 변동특성은, 측정시작 1,337 ppm으로 최저치였으나, 이미 기준을 초과한 상태였다. 측정시작 후 CO_2 농도가 계속 상승하였는데 개구부가 개방되지 않고 수업이 1시간 30분 지속되자 약 2,600 ppm이 증가하였다. 쉬는시간이라도 개구부가 열렸다 금방 닫힌 경우는 CO_2 농도에 영향을 주지 못하다가 10시 30분경에 뒷문이 1분 정도 개방되었을 때 CO_2 농도가 600 ppm 가량 감소되었다. 그 후, 개구부가 거의 개방되지 않고 수업이 1시간 동안 지속되자 CO_2 농도가 1,300 ppm 증가하여 오전 11시 40분에 4,622 ppm으로 최고치를 기록하였다. 점심시간에는 재설 자수가 줄어들고 창문 개방이 20분 이상 지속되면서 CO_2 농도가 1,700 ppm 감소하여 약 1,550 ppm까지 낮아졌다. 점심시간 이후 개구부가 거의 개방되지 않고 수업이 1시간 30분 지속되자 CO_2 농도가 약 2,200 ppm 증가하였다.

6) f교실

실내온도 측정 결과, 23.6~28.1°C(평균 26.0°C)로 12시 이전에는 대체로 기준에 포함되었으나 오후에는 측정치의 대부분이 기준을 벗어났다. 외부온도와 실내온도의 차는 3.2~7.9°C(평균 4.8°C)으로 1시에 7.9°C, 2시에 6.4°C로 냉방증후군을 유발할 수 있는 온도차가 있었다. 실내온도의 변동특성은, 에어컨의 가동 시작시간에 설정온도 18°C로 실내온도가 약 26°C가 되자 에어컨 가동이 중지되었다. 이후, 실내온도가 상승하자 다시 에어컨이 가동되었고, 실내온도가 26°C 이하로 떨어지자 에어컨 가동이 중지되었다. 이 교실은 실내온도가 약 26°C로 유지되면 에어컨 가동을 중지하고 실내온도가 높아지면 에어컨을 재가동하는 상황이 세 번 반복되어, 26°C 정도가 학생들의 선호온도인 것으로 생각된다.

상대습도 측정결과, 45~60%(평균 52%)로 측정치는 모

두 기준에 포함되었다. 상대습도의 변동특성은, 앞의 교실들과 마찬가지였다.

미세먼지 농도 측정결과, $10\sim60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 $23.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$)로 측정치 모두 기준치 미만이었다. 미세먼지 농도의 변동특성은, 학생들의 움직임이 많은 쉬는시간에 미세먼지의 농도가 높게 상승하고, 수업시간에는 다시 미세먼지의 농도가 낮아지는 경향을 보였으나, 변동이 반복되었다. 이는 측정시기가 기말고사 이후, 여름방학 직전이어서 일반적인 수업과는 달리 자율학습과 비디오시청으로 진행되었기 때문에 수업시간에도 학생들의 움직임이 많아서인 것으로 생각된다.

CO_2 농도 측정결과, $2,783\sim5,500 \text{ ppm}$ (평균 $4,705 \text{ ppm}$)으로 측정치 모두가 기준치를 초과하였고 6개 교실 중 평균이 가장 높았다. CO_2 농도의 변동특성은, 측정시작시 $2,783 \text{ ppm}$ 으로 하루 중 최저치였으나 이미 유지·관리 기준을 크게 초과한 상태였다. 수업시간에 개구부가 거의 개방되지 않고 2시간 20분 동안 지속되자 CO_2 농도는 약 $2,800 \text{ ppm}$ 증가하여 $5,500 \text{ ppm}$ 으로 최고치를 기록하였는데, 이때가 오전 11시 20분이었다. CO_2 농도가 최고치까지 증가하는 동안에 쉬는시간에 문개방이 있었지만 도어락으로 금방 닫혀 CO_2 농도에 영향을 주지 못하였다. 최고치를 기록한 후에도 개구부가 거의 개방되지 않자 CO_2 농도는 최고치 상태로 1시간 이상 지속되었다. 점심 시간에 재실자의 수가 줄어들고, 개구부가 자주 열리고 닫히면서 CO_2 농도가 약 $1,500 \text{ ppm}$ 감소하여 약 $4,000 \text{ ppm}$ 으로 낮아졌다. 점심시간 이후 수업시간에 개구부가 거의 개방되지 않고 1시간 30분 이상 지속되자 CO_2 농도가 상승하여 다시 최고치를 기록하였고, 측정종료시까지 최고치가 거의 지속되었다.

2. 측정요소별 종합분석

1) 실내온도

6개 교실의 실내온도 측정결과, 평균 $24.7\sim26.6^\circ\text{C}$ 로 측정치의 대부분이 유지·관리 기준($26\sim28^\circ\text{C}$)에 포함되지 않은 것으로 나타났다.

냉방온도가 관리자에 의해 중앙조절이 되고 있는 c, d 교실의 경우나, 학생들 스스로 그들의 온열감에 따라 에어컨 설정온도를 조절하는 4개 교실의 경우 모두 실내온도가 유지·관리 기준보다 낮게 나타났다. 학생들 스스로 에어컨 가동을 조절했으므로 측정된 실내온도가 학생들의 선호온도라고 볼 수 있다. 즉, 「학교보건법 시행규칙」의 유지·관리 기준은 에너지 절약이나 냉방증후군을 예방하는 학생 건강을 고려한 바람직한 범위이나, 학생들의 실제 선호온도와는 차이가 있다고 볼 수 있다. 따라서 에너지 절약이나 건강을 고려하여 학교보건법의 기준을 유지하면서도 체감온도를 낮출 수 있는 조절방안이 요구된다.

6개 교실의 실내온도 변동폭은 $1.9\sim4.9^\circ\text{C}$ 를 나타냈으며, 6개 교실 모두 에어컨 설정온도에 따라 실내온도가 상승하거나 하강하였고, 에어컨의 가동이 중지되었을 때나 개

구부가 개방되었을 때 실내온도가 다소 상승하였다. 즉, 실내온도에 영향을 미치는 주된 생활요인은 에어컨 설정온도이며, 에어컨의 가동중지와 개구부의 개방도 실내온도의 다소간 상승의 영향요인이었다.

2) 상대습도

6개 교실의 상대습도 측정결과, 평균 $51.3\sim72\%$ 로 6개 교실 모두 유지·관리 기준($30\sim80\%$)에 포함되었다. 변동폭은 $15\sim37\%$ 로 나타났고, 6개 교실 모두 에어컨의 가동시간이 길어질수록 상대습도가 하강하였고, 에어컨 가동을 중지하거나 개구부를 개방하였을 때 외기의 영향에 의하여 상대습도가 상승하였다. 즉, 에어컨의 제습기능에 의한 것으로 생각되며, 교실 내 상대습도에 영향을 미치는 주된 생활요인은 에어컨의 가동여부와 가동시간, 개구부의 개방임을 알 수 있었다.

3) 미세먼지 농도

6개 교실의 미세먼지 농도 측정결과, 평균 $3.5\sim23.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 유지·관리 기준($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하) 미만으로서, 매우 낮은 상태였다. 학생들의 활동내용이 다양한 것에 비해 낮은 농도는 에어컨의 미세먼지 필터기능²⁾에 의한 것으로 생각된다. 이러한 경향은 학교교실의 실내환경을 측정한 선행연구에서도 나타난바 있다. 최한영의 연구(2003)에서 비냉방시($121.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 보다 냉방시($98.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 미세먼지의 농도가 낮게 나타났고, 전정우 등(2006)의 연구에서 냉방을 가동하지 않는 기간에 서울시내 일부 학교 건축물의 실내공기질을 조사한 결과 미세먼지 농도가 평균 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, 역시 냉방기간이 아닌 2004년 10월에 학교의 실내공기질을 측정한 연구(손부순 등, 2006)에서 일반교실에서의 농도가 평균 $95.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나 냉방 가동시 측정한 본 연구에 비해 훨씬 높은 수치를 나타냈다.

미세먼지의 변동폭은 $20\sim60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 대부분의 교실에서 쉬는시간과 점심시간에 학생들의 움직임이 많아짐에 따라 미세먼지의 농도가 높아지고, 학생들의 움직임이 줄어드는 수업시간에 미세먼지의 농도가 낮아지는 경향을 보였다. f교실의 경우는 미세먼지의 최고농도와 평균농도가 6개 교실 중 가장 높게 나타났는데, 이 학급 학생들의 특성이 쉬는시간과 점심시간은 물론 수업시간에도 움직임이 많았고, 개구부의 개방이 거의 이루어지지 않았기 때문으로 생각된다. 이에 비해 b교실의 경우는 남학생 교실로서, 실내에서 공을 바닥에 튕기고 던지는 것과 같은 활동시에 미세먼지 농도가 급격히 상승하였지만 평균 농도가 다른 교실과 비슷하게 나타난 것은 실내공기에 영향을 주는 개구부 개방의 횟수가 많았기 때문으로 생각된다. 또한 c교실은 미세먼지 농도의 최고치가 6개 교실 중 가장 낮게 나타났는데, 이는 6개 교실 중 가장 많이

2) 측정대상 공간중 A교(a, b교실)와 C교(e, f교실)의 에어컨은 플라즈마 필터 장착으로 공기정화 및 미세먼지를 걸러주는 기능이 사양 설명서에 포함되어 있었다.

개구부의 개방이 이루어졌고, 교실이 건물 끝에 위치하여 복도 없이 남북측창 모두 외측창으로 이루어졌으며, 교실의 면적 또한 다른 교실에 비해 가장 커기 때문인 것으로 생각된다. d교실은 미세먼지 농도 평균이 6개 교실 중 가장 낮게 나타났는데, 측정시작시부터 에어컨을 장시간 가동하였고, 첫 번째 쉬는시간을 제외하고는 교실에서 뛰거나 장난하는 등의 큰 움직임이 없었기 때문으로 생각된다. 즉, 미세먼지 농도에 영향을 미치는 주된 생활요인은 에어컨의 필터기능과 재실자의 활동, 개구부의 개방이었고, 교실의 구조 및 면적이 전체적인 미세먼지 농도에 다소 영향을 미치는 것으로 해석된다.

4) CO₂ 농도

6개 교실의 CO₂ 농도는, 평균 1,218.7~4,705.4 ppm을 나타냈으며, 모든 교실의 평균이 CO₂ 유지·관리 기준(1,000 ppm 이하)을 초과하였다. c교실을 제외한 5개 교실은 평균 2,000~5,000 ppm로, 이는 이론적으로³⁾ 매우 불량한 상태에 해당되며, a교실과 f교실의 경우 아주 심한 불량한 상태인 5,000 ppm이 넘는 시간대를 포함하고 있었다.

CO₂의 변동폭은 1,591~3,724 ppm으로 나타났다. CO₂ 농도 변동특성이 유사한 5개 교실을 종합해보면 <표 5>와 같다. 측정시작시 CO₂ 농도는 423~2,783 ppm으로 3개 교실이 이미 측정시작시부터 유지·관리 기준을 초과하였고, 4개 교실이 냉방 가동 후 1시간 50분~2시간 40분 만에 즉, 11시~12시 사이에 이미 최고치를 기록하였다. 그 중 f교실은 5,500 ppm 이상인 최고치 상태가 1시간 이상 지속되었다.

6개교실 모두 측정당시 외부 CO₂ 농도는 양호한 상태였고, 외부 CO 농도, 교실내 CO 농도 역시 매우 낮게 측정되어 교실의 CO₂ 농도는 외부나 기타 오염원에 의한 것이 아니라 생활요인에 의한 것으로 볼 수 있다. CO₂ 농도와 생활요인을 살펴보면, 40분~1시간 동안 개구부가 거의 개방되지 않고 수업을 지속한 경우 CO₂ 농도가 약 1,300~2,500 ppm이 증가하였고, 1시간 30분~2시간 20분 동안 지속시 약 1,500~3,500 ppm이 증가하였다. 점심시간에는 재실자가 줄어들고 개구부를 20~30분 동안 개방한 경우 약 1,500~3,000 ppm이 감소하였다. b교실의 이동수업시 교실에 재실자가 2인인 경우에는 1000 ppm 이하로 유지되었다. 쉬는시간에 10분 이상 앞뒷문 개방으로 CO₂ 농도가 약 400~1,500 ppm이 감소하였으나, 개구부를 열었다가 금방 닫은 경우에는 CO₂ 농도에 영향을 주지 못하였다.

그 외 CO₂ 농도가 가장 양호한 상태인 c교실은 앞의 5개 교실에 비해 개구부가 지속적으로 개방되고 있었고, 교실 면적이 가장 크고 교실이 건물 끝에 위치하여 복도 없이 남북측창이 모두 외기에 면한 구조였다.

따라서 CO₂ 농도에 영향을 미치는 주된 생활요인은 개

3) 윤정숙(1995). 주거환경학. 문운당. p. 182. CO₂ 농도 2,000~5,000 ppm은 매우 불량하다고 인정되는 양이며, 5,000 ppm 이상은 아주 심한 불량상태에 해당된다. 또한 1,000 ppm 이상의 CO₂ 농도는 인체의 호흡기, 순환기, 대뇌기능에 영향을 줄 수 있다.

표 5. CO₂ 농도 변동특성 종합(5개 교실)

요약	교실	영향요인	변동특성
측정 시작시	a	측정시작	1,950 ppm으로 최저치
		측정시작 1시간50분 후	5,500 over* ppm으로 최고치
	b	측정시작	423 ppm으로 최저치
		측정시작 1시간 50분 후	4147 ppm으로 최고치
	d	측정시작	294 ppm으로 최저치
		측정시작 5시간 50분 후	3137 ppm으로 최고치
측정 시작시	c	측정시작	1,337 ppm으로 최저치
		측정시작 2시간 40분 후	4622 ppm으로 최고치
	f	측정시작	2,783 ppm으로 최저치
		측정시작 2시간 20분 후	5,500 over* ppm으로 최고치 (1시간이상 지속)
	a	개구부가 개방되지 않고 50분 지속	약 2,500 ppm 증가
	b	개구부가 개방되지 않고 50분 지속	약 2,500 ppm 증가
개구부 개방되지 않고 40분~1시간	b	개구부가 개방되지 않고 40분 지속	약 1,600 ppm 증가하여 4,147 ppm으로 최고치
	b	개구부가 개방되지 않고 40분 지속	약 2,000 ppm 증가
	e	개구부가 거의 개방되지 않고 1시간 지속	약 1,300 ppm 증가하여 4,622 ppm으로 최고치
	f	개구부가 거의 개방되지 않고 1시간 이상 지속	5,500 over* ppm 지속
	a	개구부가 거의 개방되지 않고 1시간 50분 지속	약 3,500 ppm 증가하여 5,500 over* ppm으로 최고치
	d	개구부가 거의 개방되지 않고 1시간 50분 지속	약 2,000 ppm 증가
개구부 개방되지 않고 1시간 30분~2시간	d	개구부가 거의 개방되지 않고 2시간 20분 지속	약 2,200 ppm 증가하여 3,317 ppm으로 최고치
	e	개구부가 거의 개방되지 않고 1시간 30분 지속	약 2,200 ppm 증가
	c	개구부가 거의 개방되지 않고 1시간 30분 지속	약 2,600 ppm 증가
	f	개구부가 거의 개방되지 않고 2시간 20분 지속	약 2,800 ppm 증가하여 5,500 over* ppm으로 최고치
	f	개구부가 거의 개방되지 않고 1시간 30분 이상 지속	약 1,500 ppm 증가
	a	재실자수 줄어들고 복도창 하나와 앞뒷문이 개방된 상태로 20분 이상 지속	약 3,000 ppm 감소
점심시간	b	재실자수 줄어들고 앞뒷문이 개방된 상태로 30분 이상 지속	약 3,000 ppm 감소
	d	재실자수 줄어들고 복도창 하나와 앞뒷문 개방된 상태로 20분 이상 지속	약 1,500 ppm 감소
	e	재실자수 줄어들고 복도창 하나가 개방된 상태로 20분 지속	약 1,700 ppm 감소
	f	재실자수 줄어듬	약 1,500 ppm 감소
	a	앞문 최대 개방	약 1,000 ppm 감소
CO ₂ 농도에 영향을 준 쉬는 시간	b	앞뒷문 최대 개방	약 400 ppm 감소
	b	재실자수 조금 줄어들고 앞뒷문 최대 개방	약 1,500 ppm 감소
	b	앞뒷문 최대 개방	약 600 ppm 감소
	d	뒷문 최대 개방	약 500 ppm 감소
	e	뒷문 1분 개방	약 600 ppm 감소
CO ₂ 농도에 영향을 주지 못한 쉬는 시간	a	개구부를 금방 닫은 경우	영향주지 못함
	d	앞문을 최대로 개방하거나 금방 닫은 경우	큰 영향주지 못함
	e	금방 닫은 경우	영향주지 못함
	f	개구부를 금방 닫은 경우	영향주지 못함
	*5,500 ppm 이상의 농도는 over로 표시되며 5,500 ppm으로 간주함		

구부의 개방과 재실자의 수였으며, 그 외 교실 면적이나 구조와 같은 건축적 특성이 다소 영향을 미칠 수 있다고 해석된다.

V. 결론 및 제언

본 연구는 학교교실 실내환경의 쾌적성 향상을 위한 기초연구로서, 학생이나 일반교사가 스스로 관리하는데 도움이 될 수 있도록, 학교교실의 냉방시 실내열·공기환경의 실태를 파악하고, 이에 영향을 미치는 생활요인을 분석하는 것을 목적으로 하여, 3개교 6개 교실에서 수업시간 동안 실내 열·공기요소를 측정하여 생활요인을 관찰조사하였다.

그 결과 냉방시 교실의 실내온도는 학생들이 선호온도에 따라 학교보건법의 유지·관리 기준보다 다소 낮게 유지하고 있었고, 상대습도는 에어컨의 제습기능에 의해 기준에 포함되었으며, 미세먼지 농도도 에어컨의 먼지 필터 기능에 의해 기준 이하로 유지되고 있었다. 그러나 CO₂ 농도는 환기부족으로 유지·관리 기준을 크게 초과하고 있었다.

따라서 학교교실의 냉방시 건강한 실내환경을 위해서 다음과 같은 방법을 제안한다.

1) 학생과 교사를 대상으로한 실내환경 교육이 필요하다. 실내환경을 유지·관리 기준에 맞게 유지하는 것의 의미와 실내환경이 인체에 미치는 영향, 그리고 본 연구에서 나타난 실내환경의 생활요인에 대해 교육할 필요가 있다.

특히, 가장 심각한 상태로 나타난 CO₂ 농도는 수업시간 시작부터 기준을 초과한 상태일 수 있으며, 오전 중에 이미 최고치에 달한다는 것과 이러한 농도는 호흡기, 순환기, 대뇌기능에 영향을 주어 학습능률을 저하시킬 수 있다는 것을 인식시켜야한다. CO₂ 농도를 감소시키기 위해서는 개구부를 열었다가 금방 닫은 경우는 거의 효과가 없고 앞뒷문을 최대로 10분 정도는 개방해야만 약 1,000 ppm 정도의 감소 효과가 있다는 것을 교육해야한다.

2) 냉방시 학교교실의 실내환경을 개선할 수 있는 계획 방안을 도입해야한다. 본 연구에서 학생들은 온열감에 맞추어 기준보다 실내온도를 낮게 조절하며, 선풍기는 물건이 날리는 방향이므로 잘 사용하지 않았다. 그러나 에너지 절약과 냉방증후군 예방을 위해서는 실내온도를 유지·관리 기준에 포함되도록 조절하고, 체감온도를 낮추는 조절방안을 모색해야 한다. 체감온도를 저감시킬 수 있는 기류속도를 보완하기 위해 선풍기 위치를 변경하여 물건이 날리지 않도록 방향과 세기를 조절하여 설치한다. 상대습도 저감을 위해 조습작용을 하는 건축마감재를 사용하거나, 창을 통해 들어오는 일사열 차단 방법으로 차양을 설치하거나 열선차단유리 등을 선택하여 복사열에 의한 체감온도를 낮출 수 있도록 제안한다.

연구결과, 학교교실의 CO₂ 농도를 1,000 ppm에 가깝게

유지하기 위해서는 교실에서와 같이 냉방시에도 창문 하나를 지속적으로 개방해야 하지만, 이는 냉방효율의 문제가 있으므로 또 다른 CO₂ 농도 저감 방안이 필요하다. 자연형 조절방법으로 학교건물에는 자연환기구 또는 자연환기시스템, CO₂ 센서에 의한 창 자동개폐 장치 등을 설치하거나 교실내에 실내정원을 설치하여 CO₂를 감소시키고 산소의 발생을 높이는 방법을 제안한다. CO₂ 농도 감소를 위한 설비형 조절방법으로 기계환기설비를 설치할 것을 제안한다.

참 고 문 헌

1. 공경화 · 윤재옥(2005), 난방 · 비난방시 대형 계단강의실의 실내 열환경 실측에 관한연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 21(1), 565-568.
2. 대전일보 웹기사 2005.09.13. ‘2007년 전학교 냉방시설’.
3. 손부순 · 장봉기 · 이치원 · 전용택 · 최윤나(2006), 중학교 교실의 실내공기오염에 관한 연구, 2006년도 한국실내환경 학회 연차학술대회논문집, 3, 287-288.
4. 손종렬 · 노영만 · 손부순 · 양원호(2005), 전국 일부 학교 교실의 실내 공기질 평가, 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집, 60-62.
5. 손종렬 · 노영만 · 손부순(2006), 국내 일부학교 건축물의 실내공기질 평가, 한국환경보건학회지, 32(2), 140.-148.
6. 신은상 · 김진우(2002), 수원지역 초·중·고등학교 교실의 실내 공기오염도에 관한 연구, 대한위생학회지, 17(1), 20-27.
7. 윤정숙(1995), 주거환경, 문운당, 182.
8. 이상도(2002), 냉방병, 대한의사협회지, 45(7), 912-912.
9. 이정재 · 김석근 · 최석용(2005), 부산지역의 신축학교 실내공기질 현장측정, 대한건축학회논문집 계획계, 21(6), 175-182.
10. 전정우 · 윤승욱 · 손종렬 · 이정재 · 이진성(2006), 서울 일부 학교 건축물의 실내공기질 평가, 2006년도 한국실내환경학회 연차학술대회논문집, 3, 267-269.
11. 정경연(2006), 샐러리맨 구출하기, 고려원북스, 133.
12. 정지원 · 이희관(2004), 초등학교 교실에서 학생활동에 따른 먼지 농도 구성의 변화, 한국대기환경학회 춘계학술대회논문집, 253-254.
13. 정지원 · 이희관(2005), 초등학교 교실내의 실내공기질 개선에 관한 연구, 한국대기환경학회 춘계학술대회논문집, 172-173.
14. 최한영(2003), 서울지역 학교 교실의 실내환경 조사연구, 대한위생학회, 대한위생학회지, 18(2), 67-74.
15. 최현석(2003), 내 몸의 생사병로 내가 먼저 챙겨보기, 에디터, 251.
16. ASHRAE(1993), ASHRAE Handbook-1993 Fundamentals, ASHRAE, Atlanta.
17. www.moe.go.kr(교육인적자원부)
학교보건법[일부개정 2005.12.29 법률 7799호]
학교보건법 시행규칙[일부개정 2005.11.14 교육인적자원부
고 시 제2006-10호(2006.1.20)]
학교 환경위생 및 식품위생 점검기준[교육인적자원부고시
제 2006-10호(2006.1.20)]
학교 교사(校舍)내 환경위생 및 식품위생 관리 매뉴얼 (2006)

(接受: 2007. 3. 30)