

학교교실의 냉방시 실내열·공기환경 실태

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

최윤정* 김혜경** 황진아** 이선아** 정연홍***
Choi, Yoon Jung Kim, Hye Kyeong Hwang, Jin A Lee, Seon A Jeong, Youn Hong

Abstract

The purpose of this study were to make clear the present condition of indoor thermal and air environment by air-conditioning 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(1,000ppm). 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.

키워드 : 실내온열환경, 실내공기환경, 학교교실, 냉방, 생활요인

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

1. 서론

최근 많은 학교에서는 신축학교는 물론 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(대전일보, 2005.09.13).

그러나 여름철 냉방기의 사용은 세균과 미세먼지로 인한 인후염, 건조한 공기로 인한 성대부종을 발생시킬 수 있다(세계일보, 2006.07.09). 즉, 학교 냉방시설 개선 사업이 진행됨에 따라 많은 학급에서는 냉방시설을 가동하여 여름철 실내환경을 조절하게 되겠지만, 이로 인하여 실내 공기오염의 문제들도 발생할 수 있기에 냉방시 실내환경에 대한 관리가 중요하며, 이를 위해서는 우선 이에 대한 실태파악이 필요하다.

지금까지 학교교실의 실내환경 실태측정 관련 연구들은, 대부분의 연구가 초·중·고등학교의 실내공기질을 주제로 하고 있으며 그 중 손종렬·노영만·손부순·양원호(2005) 연구와 최한영(2003) 연구에서는 냉방시의 경

우를 측정대상에 포함하고 있었으나 냉방에 의한 측정결과를 구분하여 제시하지는 않고 있어 학교교실의 냉방시 실내환경 실태에 대한 연구는 거의 없는 것으로 파악된다.

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

II. 연구방법

1. 측정대상

청주시에 소재하고 있는 중·고등학교 56곳을 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 표1과 같다.

2. 측정방법 및 내용

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

측정항목은 냉방시 실내열·공기환경의 실태파악을 위

* 정회원, 충북대학교 주거환경·소비자학과 부교수

** 준회원, 충북대학교 주거환경·소비자학과 학사과정

*** 정회원, 충북대학교 일반대학원 주거환경학전공 석사과정

한 대표적 측정요소인 실내온도, 상대습도, 미세먼지, CO₂로 하였고, 실내공기에 기타 다른 오염원이 있는지 파악하기 위한 배경항목으로 CO를 포함하였다.

측정은 학생들의 자연스러운 생활을 그대로 수용한 상태에서 진행하였으며, 실내환경에 영향을 미치는 요인들은 자세히 관찰·기록하였다. 기기는 현장직독식으로서 사전점검과 측정치의 오차보정을 거쳐 사용하였다(표2).

표1. 측정대상의 개요

학교명		A교		B교		C교	
측정교실명		a교실	b교실	c교실	d교실	e교실	f교실
건축 요인	교실 크기	705cm× 870cm	705cm× 870cm	900cm× 870cm	660cm× 885cm	720cm× 840cm	733cm× 813cm
	에어컨 종류 및 개수	개별조절 스탠드형 1대		중앙조절 천장형 2대 천장형 1대		개별조절 스탠드형 1대	
설비 요인	선풍기 수 (위치)	벽걸이형 3대 (좌·우·후)		벽걸이형3대 (좌·우·후) 스탠드형 1대 (전)		벽걸이형 4대 (천장)	
	학생수	중1 42명 (여)	중2 34명 (남)	고1 38명 (여)	고2 35명 (여)	고1 36명 (여)	고1 37명 (여)
생활 요인	학 생 수	중1 42명 (여)	중2 34명 (남)	고1 38명 (여)	고2 35명 (여)	고1 36명 (여)	고1 37명 (여)
	착의량 ¹⁾	0.58clo	0.58clo	0.58clo	0.58clo	0.58clo	0.58clo

※ 측정교실은 모두 남향이고 환기설비는 없었으며, 철근콘크리트구조에 창호의 유형은 패어글라스 이중창 이었다. 마감재는 천장은 흡음형 천장재, 벽면은 모르타르마감 위 페인트, 바닥은 A교는 테라조 B, C교는 데코타일로 마감되어 있었다.

표2. 측정내용 및 방법

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

* 측정입자크기는 10 μm이하이며, 1분간 평균농도를 측정함.
** 측정범위는 0~5,500 ppm, 그 이상의 농도는 over로 표시되며(5,500 ppm으로 간주), 순간치를 측정함.

III. 측정결과 및 해석

현장측정결과는 표3과 같다.

1. 실내온도

6개 교실의 실내온도 측정결과 평균 24.7~26.6℃로 측

- 1) 착의량은 학생이 착의한 각 항목의 열저항값을 ASHRAE Handbook(1993)에서 제시한 표에서 읽어 계산식 $I_{cl,i} = 0.835 \sum I_{clo,i} + 0.161$ 에 의해 산출한 후 소수점 이하 두자리까지 반올림하였다. ($I_{clo,i}$ = 의복 I의 유효 열저항치(clo), I_{cl} = 의복 조합의 총 열저항치)

정치의 대부분이 「학교보건법 시행규칙」의 유지·관리 기준(26~28℃)에 포함되지 않은 것으로 나타났다.

냉방온도가 관리자에 의해 조절이 되고 있는 c, d교실 경우나, 학생들 스스로 그들의 온열감에 따라 에어컨 설정온도를 조절하는 4개 교실의 경우 모두 유지·관리 기준보다 낮게 유지되고 있었다. 「학교보건법 시행규칙」 유지·관리 기준은 에너지 절약이나 학생 건강 등을 고려한 바람직한 범위이나, 학생들의 실제 선호온도와는 차이가 있다고 볼 수 있다. ASHRAE Standard(1992)와 ISO Standard(1994)는 0.5 clo 조건일 때 O.T(Operative Temperature)를 23~26(24.5)℃로 정하고 있다. 측정대상 교실의 학생들 평균 착의량이 0.58 clo이므로, 이들 기준을 고려하면, 학생들이 실내온도를 평균 24.7~26.6℃로 유지하는 것은 당연하다고 생각된다. 따라서 에너지 절약이나 건강을 고려하면서 체감온도를 낮출 수 있는 조절 방안이 요구된다.

측정시간동안 6개 교실의 실내온도의 변동폭은 1.9~4.9℃를 나타냈으며, 교실별로 분석(지면관계상 생략)한 내용을 종합해보면 6개 교실 모두 에어컨의 설정온도에 따라 실내온도가 상승하거나 하강하였고, 에어컨의 가동을 멈추었을 때나 개구부를 개방하였을 때 실내온도가 다소 상승하였다. 즉, 실내온도에 영향을 미치는 주된 요인은 에어컨 설정온도이며, 에어컨의 가동중지와 개구부의 개방도 실내온도의 다소간 상승의 영향요인이었다.

2. 상대습도

6개 교실의 상대습도 측정결과 평균 51.3~72%로 6개 교실 모두 유지·관리 기준(30~80%)에 포함된다. 측정시간동안 변동폭은 15~37%로, 교실별로 분석(지면관계상 생략)한 내용을 종합해보면 6개 교실 모두 에어컨의 가동시간이 길어질수록 상대습도가 점점 하강하여 에어컨의 제습기능에 의한 것으로 생각되며, 에어컨 가동을 중지하거나 개구부를 개방하였을 때 외기의 영향에 의하여 상대습도가 상승하고 있었다. 즉, 교실 내 상대습도에 영향을 미치는 주된 요인은 에어컨의 가동여부와 가동시간, 개구부의 개방임을 알 수 있었다.

3. 미세먼지 농도

6개 교실의 미세먼지 농도 측정결과 평균 3.5~23.1 μg/m³로 유지·관리 기준(100 μg/m³이하) 이하로서, 매우 낮은 상태였다. 학생들의 활동내용이 다양한 것에 비해 낮은 수치는 에어컨의 필터기능에 의한 것으로 생각된다. 이러한 해석은 학교교실의 실내환경을 측정한 선행연구 결과에서 뒷받침 해준다. 최한영의 연구(2003)에서 냉방방시(121.4 μg/m³) 보다 냉방시(98.4 μg/m³) 미세먼지의 농도가 낮게 나타났다. 전정우의(2006)의 연구에서 냉방기를 가동하지 않는 기간인 2005년 12월부터 2006년 4월까지 서울시내 일부 학교 건축물의 실내공기질을 조사한 결과 미세먼지 농도가 평균 70 μg/m³으로 나타났고, 역시 냉방기간이 아닌 2004년 10월에 학교의 실내공기질을 측정 연구(손부순의, 2006)에서도 일반교실에서의 농도가

표3. 현장측정결과

■ : 유지기준을 벗어남

측정교실		a교실	b교실(이동수 업제외)	c교실	d교실	e교실	f교실	유지기준*
실내온도 (°C)	최저	25.1	23.4(23.4)	22.9	25.7	24.6	23.6	냉방 : 26-28°C
	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-실 내온도 (°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	30-80%
	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	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
	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	1000ppm 이하
	최고	5500초과***	4147(4147)	1939	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	10ppm 이하
	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, 실내온열환경의 측정시간대(9시-3시)의 값임.

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

**** 외부 CO₂, CO 농도는 기초항목으로서 1시간 동안의 측정값임.

평균 95.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나 냉방 가동시 측정된 본 연구에 비해 훨씬 높은 수치를 나타냈다.

측정시간동안 미세먼지 농도의 변동폭은 20~60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 교실별로 분석(지면관계상 생략)한 내용을 종합해보면 대부분의 교실에서 쉬는시간과 점심시간에 학생들의 움직임이 많아짐에 따라 미세먼지의 농도가 높아지고, 학생들의 움직임이 줄어드는 수업시간에 미세먼지의 농도가 낮아지는 경향을 보였다. f교실의 경우는 미세먼지의 최대농도와 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 평균농도가 다른 교실과 비슷하게 나타난 것은 실내공기에 영향을 주는 개구부 개방의 횟수가 많았기 때문으로 생각된다. 또한 c교실은 미세먼지 농도의 최대치가 6개 교실 중 가장 낮게 나타났는데, 이는 6개 교실 중 가장 많이 개구부의 개방이 이루어졌고, 교실이 건물 끝에 위치하여 복도 없이 남북측창 모두 외측창으로 이루어졌으며, 교실의 면적 또한 다른 교실에 비해 가장 컸기 때문인 것으로 생각된다. d교실은 미세먼지 농도 평균이 6개 교실 중 가장 낮게 나타났는데, 측정

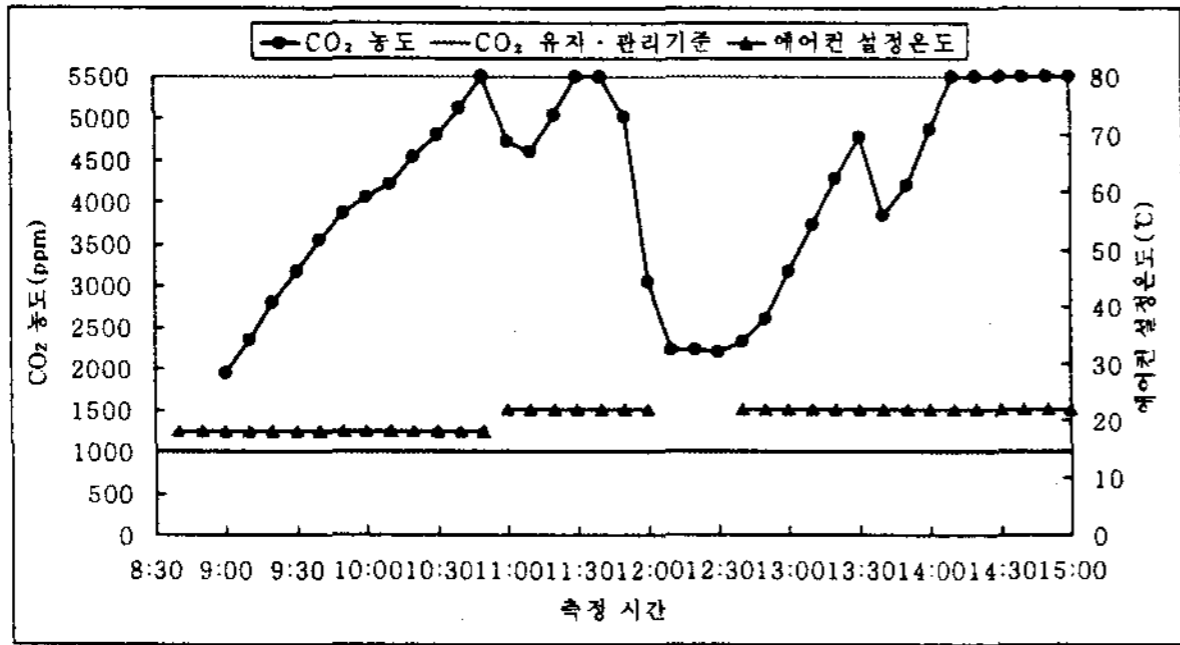
시작시부터 에어컨을 장시간 가동하였고, 첫 번째 쉬는시간을 제외하고는 교실에서 뛰거나 장난하는 등의 큰 움직임이 없어 장시간동안 미세먼지의 농도가 매우 낮게 유지되었다. 즉, 미세먼지 농도에 영향을 미치는 주된 요인은 에어컨의 필터기능과 재실자의 활동, 개구부의 개방이었고, 교실의 구조 및 면적이 전체적인 미세먼지 농도에 다소 영향을 미치는 것으로 해석된다.

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 ppm에 해당되어 이론적으로²⁾ 매우 불량한 상태이며, a교실과 f교실의 경우 아주 심한 불량상태를 나타내는 농도인 5,000 ppm이 넘는 시간대를 포함하고 있었다.

6개 교실의 CO₂ 농도 변동 모습은 그림1~그림6과 같다. 측정시간동안 CO₂의 변동폭은 1,591~3,724 ppm으로

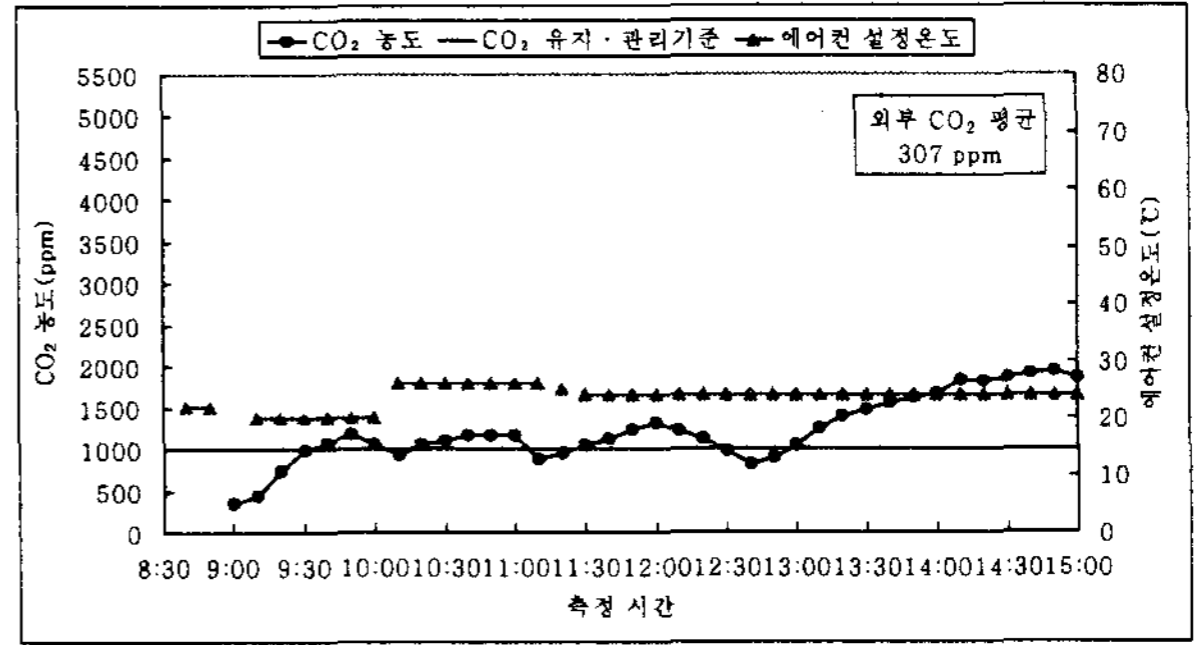
2) 윤정숙(2002). 주거환경학. 문운당. p.182. CO₂ 농도 2,000~5,000 ppm은 매우불량하다고 인정되는 양이며, 5,000 ppm 이상은 아주 심한 불량상태에 해당된다. 또한 1,000 ppm 이상의 CO₂ 농도는 인체의 호흡기, 순환기, 대뇌기능에 영향을 줄 수 있다.



측정구분	자습		수업		수업		수업		수업		수업		수업		수업	
	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시
수업시간	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
교실상태	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실
교사	36	30	36	30	36	30	36	30	36	30	36	30	36	30	36	30
학생	2대(화·우)				1대(화)						2대(화·우)					

* 열고 닫힘은 수시로 문을 개방한 후 1분 이내에 다시 닫은 경우를 말함

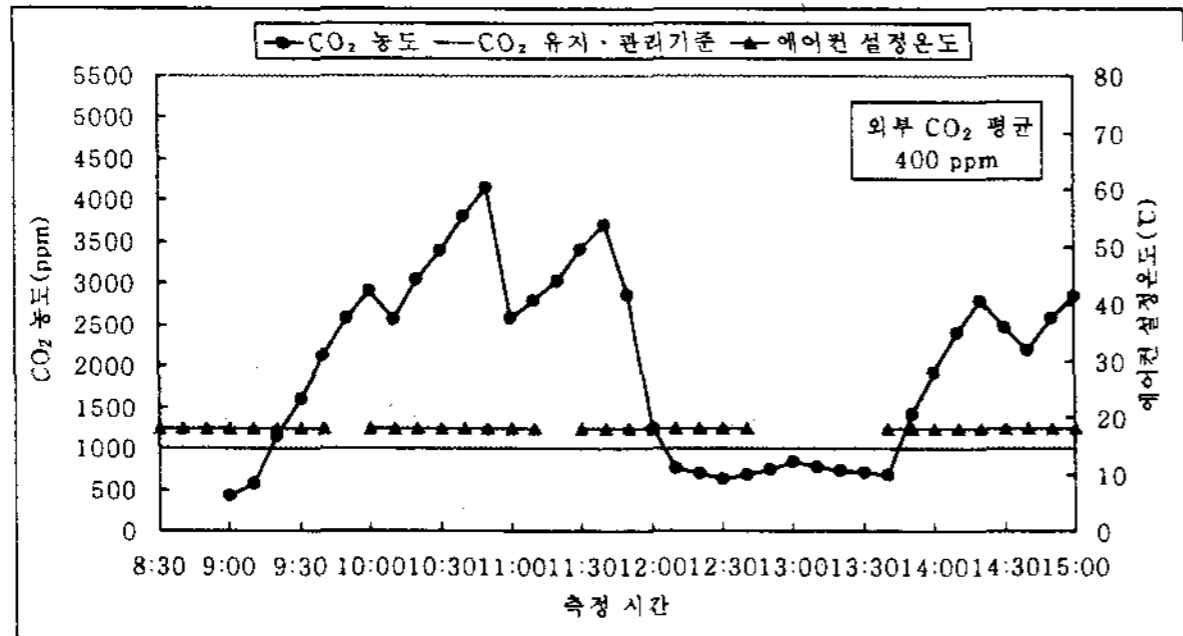
그림1. a교실의 CO₂ 농도 측정결과



측정구분	자습		수업		수업		수업		수업		수업		수업		수업	
	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시
수업시간	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
교실상태	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실
교사	39	30	39	30	39	30	39	30	39	30	39	30	39	30	39	30
학생	3대(화·우)				1대(화)						가동인합					

* 열고 닫힘은 수시로 문을 개방한 후 1분 이내에 다시 닫은 경우를 말함

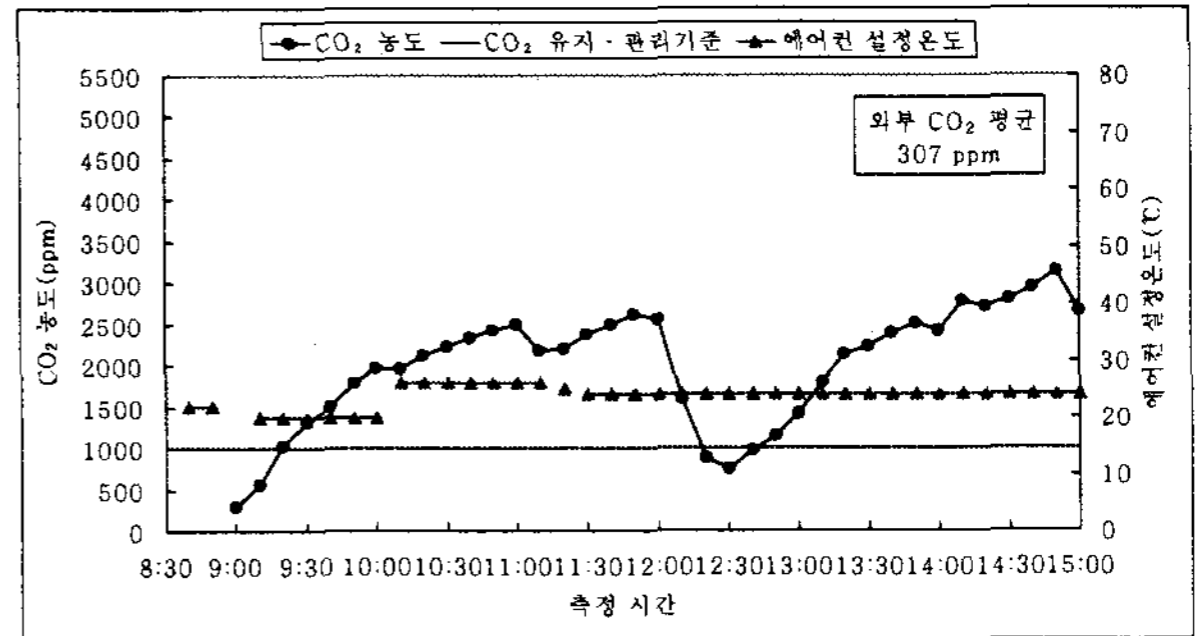
그림3. c교실의 CO₂ 농도 측정결과



측정구분	자습		수업		수업		수업		수업		수업		수업		수업	
	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시
수업시간	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
교실상태	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실
교사	36	30	36	30	36	30	36	30	36	30	36	30	36	30	36	30
학생	2대(화·우)				가동인합						3대(화·우)					

* 공 땡김은 학생들이 바닥에 공을 땡기며 즐기는 놀이 활동을 말함.
** 이동수업시간에는 2인의 측정자만 세심하며, 학생들이 노출된 환경이 아니며, 학생들이 실내환경 조절을 전혀 하지 않았으므로 분석에서 제외함.

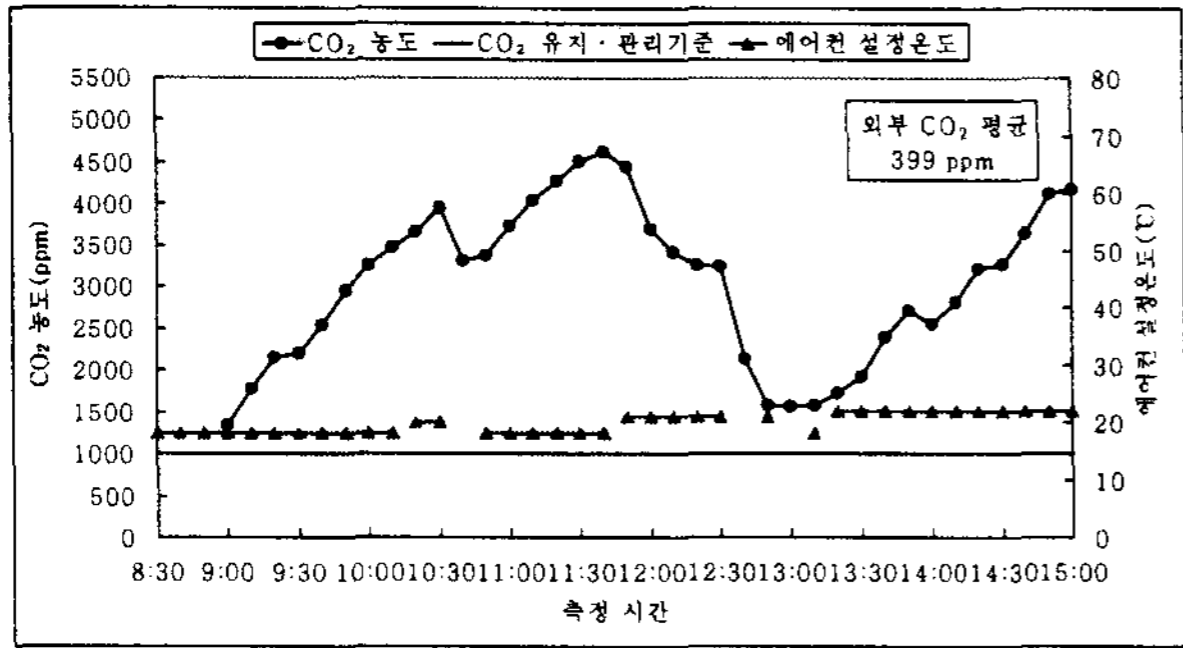
그림2. b교실의 CO₂ 농도 측정결과



측정구분	자습		수업		수업		수업		수업		수업		수업		수업	
	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시	시시
수업시간	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
교실상태	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실	교실
교사	37	14	37	28	37	26	37	12-13	30	37	25	37	25	37	25	25
학생	3대(화·우)		4대(화·우)		3대(화·우)		2대(화·우)		1대(화)					2대(화·우)		

* 열고 닫힘은 수시로 문을 개방한 후 1분 이내에 다시 닫은 경우를 말함

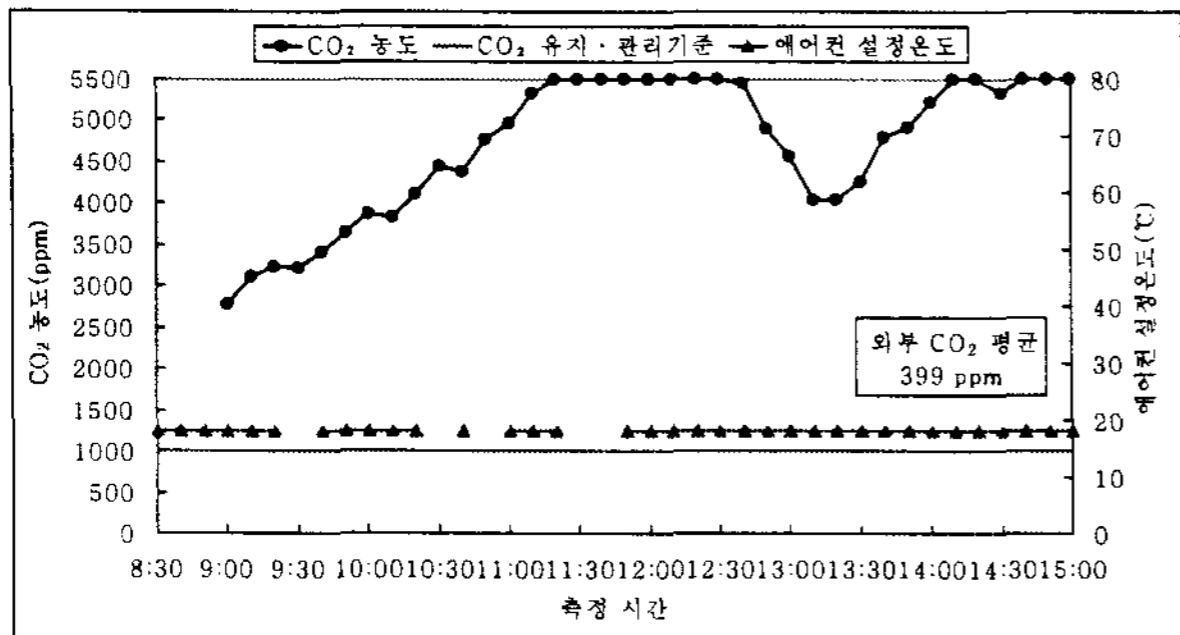
그림4. d교실의 CO₂ 농도 측정결과



활동 내용 (시)	자습	쉬는 시간	수업	쉬는 시간	수업	쉬는 시간	수업	점심시간	수업	쉬는 시간	수업
활동 내용 상세	복문 최대	앞뒷문 열림	단합	앞뒷문 열림	복문 열림	앞뒷문 열림	단합	외출 창문 닫힘	앞뒷문 열림	앞뒷문 열림	단합
재실자수 (명)	38	28	38	35	38	30	36	16	2-11	35	38
전통기 가류	가류인합										

* 열고 닫음은 수시로 문을 개방한 후 1분 이내에 다시 닫은 경우를 말함

그림5. e교실의 CO₂ 농도 측정결과



활동 내용 (시)	자습	쉬는 시간	수업	쉬는 시간	수업	쉬는 시간	수업	점심시간	수업	쉬는 시간	수업
활동 내용 상세	단합	앞뒷문 열고 닫음	단합	앞뒷문 열림	복문 열림	앞뒷문 열림	단합	앞뒷문 열고 닫음	앞뒷문 열림	앞뒷문 열림	단합
재실자수 (명)	39	27-30	39	30	39	28	39	38	1-12	25-30	39
전통기 가류	가류인합										

* 열고 닫음은 수시로 문을 개방한 후 1분 이내에 다시 닫은 경우를 말함

그림6. f교실의 CO₂ 농도 측정결과

표4. 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
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)	
개구부 개방되지 않고 40분~1시간 수업지속	a	개구부가 개방되지 않고 50분 지속	약 2,500 ppm 증가
		개구부가 개방되지 않고 50분 지속	약 2,500 ppm 증가
	b	개구부가 개방되지 않고 40분 지속	약 1,600 ppm 증가하여 4,147 ppm으로 최고치
		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
		개구부가 거의 개방되지 않고 1시간 이상 지속	5,500 over* ppm 지속
개구부 개방되지 않고 1시간 30분~2시간 수업지속	a	개구부가 거의 개방되지 않고 1시간 50분 지속	약 3,500 ppm 증가하여 5,500 over* ppm으로 최고치
		개구부가 거의 개방되지 않고 1시간 50분 지속	약 2,000 ppm 증가
	d	개구부가 거의 개방되지 않고 2시간 20분 지속	약 2,200 ppm 증가하여 3,317 ppm으로 최고치
		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
		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	
	점심시간	a	재실자수 줄어들고 복도창 하나와 앞뒷문이 개방된 상태로 20분 이상 지속
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 줄어듦	약 1,500 ppm 감소
CO ₂ 농도에 영향을 주는시간	a	앞문 최대 개방	약 1,000 ppm 감소
	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
c	뒷문 1분 개방	약 600 ppm 감소	
CO ₂ 농도에 영향을 주지 못한 쉬는시간	a	개구부를 금방 닫은 경우	영향주지 못함
	d	앞문을 최대한 개방 하거나 금방 닫은 경우	큰 영향주지 못함
	c	금방 닫은 경우	영향주지 못함
	f	개구부를 금방 닫은 경우	영향주지 못함

* 5,500 ppm 이상의 농도는 over로 표시되며 5,500 ppm으로 간주함

나타났다. CO₂ 농도 변동특성이 유사한 5개 교실을 종합해보면 표4와 같다. 측정시작시 CO₂ 농도는 423~2,783 ppm으로 3개 교실이 이미 측정시작시부터 유지·관리 기준을 초과하였고, 4개 교실이 냉방 가동 후 1시간 50분~2시간 40분만에 즉, 11시~12시 사이에 이미 최고치를 기록하였다. 그 중 f교실은 5,500 ppm 이상인 최고치 상태가 1시간 이상 지속되었다.

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 개방하여 약 1,500~3,000 ppm이 감소하였다. 쉬는 시간에 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.

즉, CO₂ 농도에 영향을 미치는 주된 요인은 개구부의 개방과 재실자의 수였으며, 그 외 교실 면적과 구조가 다소 영향을 미친 것으로 해석된다.

IV. 결 론

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

따라서 학교교실의 냉방시 건강한 실내환경을 위해서는 다음과 같은 방법을 제안한다.

1) 학생과 교사를 대상으로 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 인식시키고, CO₂ 농도를 감소시키기 위해서는, 개구부를 열었다가 금방 닫은 경우는 CO₂ 농도에 영향을 주지 못하고 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 실내

온도를 낮게 조절하며, 선풍기는 물건이 날리는 방향이므로 잘 사용하지 않았다. 그러나 에너지 절약과 냉방중후군 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 사용한다. 또한 창을 통해 들어오는 일사열 차단 방법으로 차양을 설치하거나 열선차단유리 등을 사용하여 복사열에 의한 체감온도를 낮출 수 있도록 제안한다.

본 연구에서 (c교실과 같이) CO₂ 농도를 1,000 ppm에 가깝게 유지하기 위해서는 냉방시에도 창문 하나를 지속적으로 개방해야 하는 것으로 나타났다. 그러나, 이는 냉방효율의 문제가 있으므로 또 다른 CO₂ 농도 저감 방안이 필요하다. CO₂ 농도 감소를 위한 설비형 조절방법으로 학교교실에 설치되는 에어컨은 산소발생기능이 추가된 에어컨을 설치한다. 자연형 조절방법으로는 학교건물에는 자연환기구 또는 자연환기시스템을 설치하거나 교실내에 실내정원을 설치하여 CO₂ 농도를 감소시키는 방법을 제안한다.

참고문헌

1. 손부순·장봉기·이치원·전용택·최윤나(2006). 중학교 교실의 실내공기오염에 관한 연구. 2006년도 한국실내환경학회 연차학술대회 논문집. 제3권 : 287-288.
2. 전정우·윤승욱·손종렬·이정재·이진성(2006). 서울 일부 학교 건축물의 실내 공기질 평가. 2006년도 한국실내환경학회 연차학술대회 논문집. 제3권 : 267-269.
3. 최한영(2003). 서울지역 학교 교실의 실내환경 조사연구. 대한 위생학회, 대한위생학회지. 18(2) : 67-74.
4. 윤정숙(1995). 주거환경학. 문운당. p.182.
5. ASHRAE(1992). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ANSI/ASHRAE Standard 55-1992.
6. ASHRAE(1993). ASHRAE Handbook-1993 Fundamentals, ASHRAE, Atlanta.
7. ISO (1994). Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for Thermal comfort-. ISO Standard 7730.
8. www.moe.go.kr (교육인적자원부)
학교보건법[일부개정 2005.12.29 법률 7799호]
학교보건법 시행규칙[일부개정 2005.11.14]
학교 환경위생 및 식품위생 점검기준[교육인적자원부고시 제 2006-10호(2006.1.20)]
학교 교사(校舍)내 환경위생 및 식품위생 관리 매뉴얼 (2006)
9. 대전일보 웹기사 2005.09.13. 2007년 숲학교 냉방시설.
10. 세계일보 웹기사 2006.07.09. 내 목소리가 이상해요, 목소리 냉방병 조심.