

세 먼지, 라돈(radon), 포름알데히드(formaldehyde),

교육시설의 공기환경 실측에 관한 연구

김 선 정*, 김 병 수 **†

*한밭대학교 건축설비공학과, **한밭대학교 건축설비공학과

A Study on the Measurement of Indoor Air Pollutants in High School Building

Kim, Byoung-Soo*, Kim, Sun-Jung**

* Dept. of Building Services Engineering, Hanbat National University(sjkim@hanbat.ac.kr)

** Dept. of Building Services Engineering, Hanbat National University(bse-nuril@hanbat.ac.kr)

Abstract: This study is to measure the change of the CO₂ and floating dust concentration depending on the volume of the ventilation and the state of on/off the ventilation for the estimation of the air pollution in classroom. The results could be summarized as follows: the test cell was the two full scaled model and the one is set up with ventilation system another was not. the volume of classroom is 170.1m³ and the number of persons are 35. 1)when the ventilation system was not installed, The experimental results of the CO₂ concentration showed the average of 2,150ppm and the maximum of 2,740ppm in the classroom. This was the higher than 1,000ppm, the standard value of ASHRAE and the enforcement regulations of School Sanitation Code in Ministry of Education & Human Resources Development, 1000ppm. The CO₂ concentration was relatively increasing during school hours. 3)In case of the volume of ventilation of 800m³/h, the CO₂ concentration of classroom showed the average of 962 ppm and the maximum of 1,380 ppm. This was higher than 1,000ppm, the standard of ASHRAE and the enforcement regulations of School Sanitation Code in Ministry of Education & Human Resources Development. 4)The floating dust(PM10) was the maximum of 0.52mg/m³, the minimum of 0.25mg/m³, and the average of 0.32mg/m³ in case of the ventilation system off. Those were higher than the standard value 0.15mg/m³. In case of the ventilation system on, the floating dust(PM10) was the maximum of 0.174mg/m³, the minimum of 0.048mg/m³, and the average of 0.078mg/m³. These were the lower than 0.15mg/m³, the standard of the enforcement regulations of School Sanitation Code in Ministry of Education & Human Resources Development. 5)The concentrations of CO₂ and PM10 were largely depending on the number of students and the ventilation system, The installation of the ventilation system is necessary for the amenity environment and the management of the indoor air quality.

Key words: 공기오염물(Air pollutants), 실내공기질(Indoor Air Quality), 이산화탄소(CO₂), 부유분진(Floating dust), 환기시스템(Ventilation System)

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

현대사회는 인구증가와 함께 각종 산업이 급격히 발전되어 왔지만 그 결과 많은 실내외 환경오염의 문제가 대두되어왔다. 실내공기의 오염원으로는 미

석면, 등의 화학적인 오염원과 세균, 곰팡이, 바이러스 등의 생물학적 오염원이 있으며 이런 물질이 호흡기 질환, 폐 질환, 기관지 질환, 폐암을 비롯한 각종 질병의 원인이다. 특히 환기가 제대로 되지 않아 다습하고 공기질이 나쁠 경우 잘 증식하게 되며, 유아 및 노약자, 청소년등 면역력이 약한 사람에게는 각종 전염성질환 및 알레르기를 유발시키기도 한다. WHO의 보고서에 의하면 전세계인구의 300만명이 환경오염에 의해 사망했으며, 그 중 280만명이 실내공기오염에 의해 사망했다고 보고하였다.

† Corresponding author
Tel : +82-42-821-1787;
Fax : +82-42-821-1788
E-mail address: bse-nuril@hanbat.ac.kr

국내에서도 이러한 심각성을 인식하고 2006년도부터 공동주택과 주상복합, 다중이용시설에 부여하던 친환경 건축물 인증 대상에 학교시설을 포함시켜 운동장의 미세먼지저감, 전자재의 각종 유해물질 저함유자재 사용등을 평가해 실내환경을 개선키로 하였다.

특히 국내의 경우 중고등학생들이 하루중 약 80%이상을 학교를 포함한 학교관련시설에서 생활하는 것으로 나타났다. 하지만 대부분의 학교에서는 냉난방설비와 같이 온열환경 개선에 치우쳐져 있고 실내공기환경에 대한 특별한 규제가 없어 실내공기가 더욱 악화되고 있다.

따라서 본 연구에서는 교실의 실내공기질의 개선을 위해 교육인적자원부가 권고하고 있는 미세먼지와 이산화탄소량을 측정하여 필요환기량을 구하고, 천장형 환기시스템을 설치할 경우 기대되는 실내공기환경 개선효과를 분석하는데 연구의 목적이 있다.

1.2 연구의 진행방법

본 연구는 학교 교실의 실내공기환경의 평가 및 개선방안에 대한 연구로 그 진행과정은 다음과 같다. 1) 국내외 문헌을 통해 건물의 용도별 실내공기환경의 오염인자와 그 원인을 파악하고, 관련규정을 분석한다. 2) 교실의 환기회수 부족과 최근 설치되고 있는 환기시스템의 성능분석을 위해 환기시스템을 설치한 교실과 설치하지 않은 동일한 크기의 교실을 실험모델로 선정한 후 실내외 CO₂와 미세먼지(PM10), 실내온도를 중심으로 측정하였다. 3) 측정된 결과를 분석하여 효과적인 환기시스템과 필요환기량을 제안하였다.

2. 국내의 현황

정부는 쾌적한 실내환경 조성을 통한 국민건강 보호를 위하여 범정부 차원의 실내공기질 관리 중장기('04~'08) 로드맵인 「실내공기질 관리 기본계획」을 수립하였다. 최근 국민들의 웰빙(Well-Being)의식 확대로 '새집증후군' 등 실내공기 오염에 대한 불안감이 매우 높아지고 있으며, 지난 6월 중앙환경분쟁조정위원회의 신축 아파트 실내공기질 관련 배상 결정으로 실내공기 오염의 인체 유해성이 공식적으로 밝혀진 바 있다. 이에 따라 정부는 실내공기 오염으로부터 국민의 건강을 보호하기 위하여 각계 의견수렴과 관계부처(국무조정실, 교육부, 행자부,

산자부, 보건복지부, 환경부, 노동부, 건교부 등 8개 부처) 협의를 통한 「실내공기질 관리 기본계획」 수립으로 과학적이고 체계적인 실내공기질 관리기반을 구축하게 되었다. 교육인적자원부(학교보건법), 노동부(산업안전보건법), 보건복지부(공중위생관리법), 건설교통부(주차장법) 등 여러 부처가 개별법에 의해 학교·사무실 등에 대한 실내공기질 관리를 하고 있다.

3. 학교건물의 실내공기질 측정실험

3.1 건물의 개요

학교건물의 실내공기환경의 측정을 위해 대전 시내에 소재한 고등학교를 대상으로 실험을 실시하였다. 이 학교는 2004년에 지상5층 지하1층 규모로 개교를 하였으며 냉난방시스템으로 GHP와 EHP, 패키지 에어컨등을 적용하였다.

Table 1. Overview of the Building

구분	내용
건물용도	고등학교
바닥면적	3,470.34m ²
연면적	11,855.21m ²
시스템	GHP, EHP + PAC

Table 2. The type of Building System (Units:Kcal/h)

GHP	1)Outdoor Unit				
	a)Cooling Capacity	38,700	Heating Capacity	45,580	14EA
	b)Cooling Capacity	48,160	Heating Capacity	57,620	2EA
	2)Heater/Cooler				
	a)Cooling Capacity	3,870	Heating Capacity	4,300	3EA
	b)Cooling Capacity	4,816	Heating Capacity	5,418	3EA
	c)Cooling Capacity	6,106	Heating Capacity	6,880	30EA
	d)Cooling Capacity	7,740	Heating Capacity	8,600	3EA
	e)Cooling Capacity	9,632	Heating Capacity	10,750	31EA
	EHP	1)Outdoor Unit			
a)Cooling Capacity		24,080	Heating Capacity	27,090	2EA
b)Cooling Capacity		48,160	Heating Capacity	54,180	1EA
c)Cooling Capacity		72,240	Heating Capacity	81,270	1EA
d)Cooling Capacity		96,320	Heating Capacity	108,360	1EA
2)Heater/Cooler					
a)Cooling Capacity		3,870	Heating Capacity	4,300	10EA
b)Cooling Capacity		4,816	Heating Capacity	5,418	1EA
c)Cooling Capacity		6,106	Heating Capacity	6,880	6EA
d)Cooling Capacity		7,740	Heating Capacity	8,600	7EA
e)Cooling Capacity	9,632	Heating Capacity	10,750	10EA	
Boiler : 0.3TON(Steam Boiler) * 2EA					

조닝별 열원방식으로는 1층-5층에 GHP 및 EHP 냉·난방방식, 주방내 영양사실 PAC에어컨, 강당 에는 가스 온풍기를 설치하였다. 환기시설은 화장실, 기계실, 전기실, 주방 등에는 급·배기팬에 의한 급·배기시설을 설치하였다.

자동제어설비는 DDC에 의한 CCMS(Central Control & Monitoring System)방식과 정풍량 AHU이 환기덕트에 설치된 온도감지기 및 습도감지기에 의한 3방향 제어밸브 및 가습밸브 On-Off제어가 되어 있으며, 이와 연계하여 팬도 On-Off 제어가 되고 있다.

3.2 실험장치 및 방법

1) 실험장치

본 연구에서는 교실의 실내공기환경 오염의 실태조사와 천장형 환기시스템의 성능검증을 위해 동일한 규모의 교실을 실험모델로 선정하였다.

실험모델의 규모는 넓이 63.8m², 부피 170.1m³, 재실인원은 33명에서 35명이며, 1인당 바닥면적은 1.93m²~1.82m²으로 재실자의 밀도가 다른 용도의 건물에 비해 매우 높다.

천장형 환기시스템을 설치한 경우 교실에 적용한 환기량은 교육인적자원부의 학교보건법 시행규칙에서 규정하고 있는 1인당 환기량을

21.6m³/h을 적용하였다. 이 규정에 의해 35명의 필요 환기량은 756m³/h이다. 이것은 환기회수로 환산할 경우 시간당 4.5회/h에 해당하며, 5%의 여유율을 적용하여 환기시스템의 필요 환기량을 800m³/h으로 적용하여 측정하였다.



Fig 3. Test equipments

환기장치 구성은 환기구, 환기덕트, 환기용량 콘트롤러, 외부 흡기구, 급기구, 전열교환기로 구성된다. 작동원리는 교실창문에 설치한 외부 흡입구를 통해 신선한 외기는 교실내로 유입되며, 실내의 오염되어진 공기는 배기용 환기기와 급기구를 통해 실외로 방출된다. 그림2는 교실의 크기와 교실에 설치된 환기장치의 도면을 나타내고 있다.

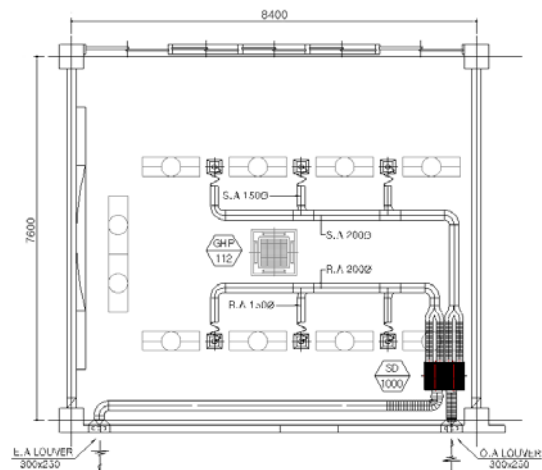


Fig 4. The ventilation system drawing

2) 실험방법

본 연구의 목적이 환기시스템의 사용현황 및 사용후의 실내공기환경을 평가하기 위해 실시한 실험이기 때문에 환기시스템을 설치한 교실의 현황

과 동일한 조건에서 실험을 실시하였다. 대부분 환기시스템을 사용하는 교실의 경우 개구부가 닫혀 있는 상태이기 때문에 환기시스템의 성능평가를 위해서 환기시스템이 설치되지 않은 동일한 크기의 교실을 선정하여 동일한 조건에서 실험을 실시하였다.

환기시스템을 설치한 곳에서는 환기구와 급기구를 각각 3개씩 설치하였다. 그림2와 같이 급기구와 환기구가 양옆으로 분포되어 있으나 실내공기의 유동을 균일하게 분포시키기 위해 천장에 설치된 냉방장치를 실내온도와 동일한 온도조건으로 설정한 후 가동시켰다.

교실의 실내공기 측정실험은 실내온도가 높을 하절기나 환기량이 적은 동절기에 실시하는 것이 바람직하지만 이 시기에는 방학기간이 대부분이기 때문에 정확한 측정이 불가능 했다. 따라서 본 연구에서는 2005년 9월초에 실시하였다.

외기 공기환경측정을 위해서 교실정면, 후면, 그리고 운동장 중앙에서 CO₂와 미세먼지를 측정하였다.

교실의 실내공기환경을 분석하기 위해 천장형 환기시스템이 설치된 교실과 설치되지 않은 동일한 크기의 교실을 선정한다. 교실의 창문과 출입문의 개구부 개폐상태는 수업중에는 창문과 문을 닫은 상태였으며, 쉬는 시간과 점심시간은 자연스럽게 창문과 문이 개방되도록 하여 미세먼지와 CO₂ 농도, 실내온도를 측정하였다.

센서의 위치는 교실 중앙지점에서 높이 80cm에서 측정하였다.

측정장치는 온도, 습도, CO₂를 동시에 측정가능한 Q-Trak TSI를 사용하였으며, 데이터 측정간격은 10분으로 하였으며 30분간 측정된 데이터를 평균 처리하도록 설정하였다.

3.3 실험분석결과

교실밖의 CO₂농도 측정결과 교실에서 5m떨어진 전후면의 농도는 평균 150ppm으로 나타났으며 운동장 중앙의 농도는 거의 0ppm으로 나타났다.

왜냐하면 학교의 위치가 도심지에서 약 5km 떨어져 있고 산중턱에 위치해 있기 때문에 인근 지역이나 도로에서 발생하는 오염물질의 영향이 없기 때문으로 사료된다.

교실의 실내공기환경 측정결과는 그림 3과 그림4에 나타내었다.

그림3에 나타난 것과 같이 천장형 환기시스템을 설치하지 않은 경우 실내의 온도에 따라 CO₂ 농도가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 특히 25℃와 26℃사이에서 이러한 현상이 두드러지는 것으로 나타났다. 교실에서 발생한 CO₂농도는 평균 2,150ppm, 최대 2,740ppm으로 이는 ASHRAE Standard와 교육인적자원부의 학교보건법 시행규칙(2004. 4. 18)에서 규정하고 있는 1,000ppm보다 평균 200% 높게 나타났다. 이 결과는 교실의 학생들이 착석상태에서 정적인 작업을 하고 있지만 학생 1인당 바닥면적이 1.93m²/인 으로 재실자의 밀도가 다른 용도의 건물에 비해 매우 높고 창을 통한 자연환기에 의해 필요환기량을 매시간 일정하게 공급할 수 없기 때문에 실내의 CO₂ 농도가 매우 높게 나타난 것으로 분석되었다.

환기시스템을 운전할 경우 그림4와 같이 교실의 실내온도는 전열교환기를 이용한 외기의 도입으로 실내온도가 약 2℃정도 낮게 나타났다. 하지만 온도가 24℃부근에서 CO₂ 농도가 규정값 이상으로 상승하여 최대 CO₂농도는 1,380ppm으로 나타났지만 평균 CO₂농도는 962ppm으로 나타났다. 최대농도는 규정값 1,000ppm보다 높았지만 평균농도는 약 4%낮게 나타났다.

이 결과 천장형 환기시스템의 설치 전후 실내의 CO₂농도변화는 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 실내온도가 상승할 때 CO₂농도가 급격히 상승하기 때문에 냉방과 환기시스템의 동시에 작동되는 것이 유리한 것으로 나타났다.

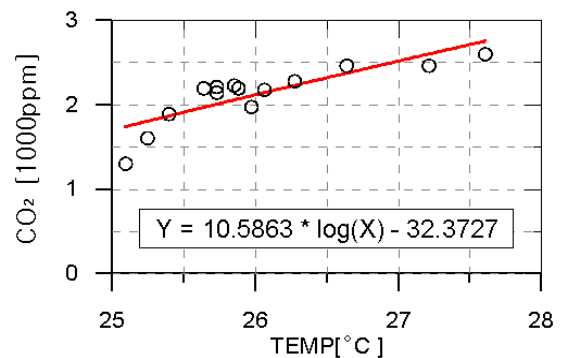


Fig 5. CO₂ change when the ventilation system was installed

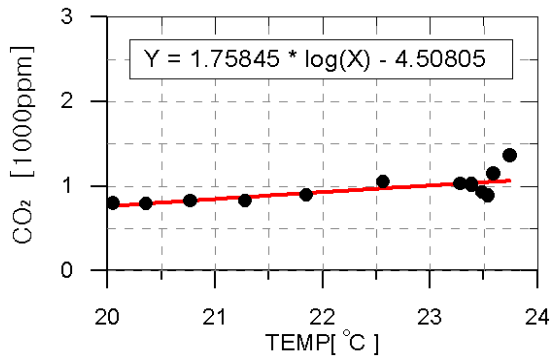


Fig 6. CO₂ change when the ventilation system was not installed

그림 5는 환기시스템의 설치유무에 따른 미세먼지 측정결과를 나타낸 것이다. 환기시스템을 적용하지 않은 교실의 경우 미세먼지는 최대 0.52mg/m³, 최소 0.25mg/m³, 평균 0.32mg/m³으로 기준값 0.10mg/m³ 보다 모두 높은 값을 나타내었다. 이는 실내온도 상승과 비례하여 증가하였으며 기준치보다 2-3배 높게 나타났다. 이것은 자연환기가 잘 이루어지지 않고, 재실자들의 이동량과 이동시간이 다른 시간보다 상대적으로 긴 점심시간에 이러한 현상이 두드러지게 나타났다.

환기시스템이 설치되었을 때 미세분진은 최대 0.174mg/m³, 최소 0.048mg/m³, 평균 0.078mg/m³으로 나타났다. 이는 기준값 0.10mg/m³ 보다 낮은 값을 나타내어 쾌적한 실내환경 유지가 되는 것으로 나타났다. 특히 학생들의 이동시간이 긴 점심시간에 발생한 미세먼지의 양이 현저히 낮게 나타났으며, 규정값과 유사하게 유지되고 있다는 점에서 자연환기보다는 강제환기의 적용이 시급하다고 할 수 있다.

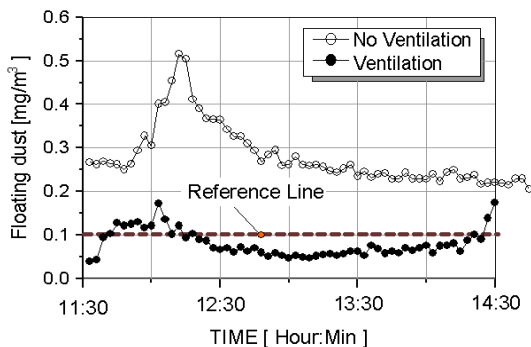


Fig 7. the measurement result of floating dust

Table 3. the results of CO₂ and floating dust

Vent Type	Item	CO ₂ (ppm)		PM10(mg/m ³)		Outdoor	
		Max	Avg	Max	Avg	CO ₂ (ppm)	PM10(mg/m ³)
자연환기		2,740	2,150	0.52	0.32	210	0.0023
천장형 강제환기		1380	962	0.174	0.078		
허용농도		1000		0.15		1000	0.15

4. 결론

본 연구는 학교 교실의 실내공기오염도를 평가하기 위하여, 교실내 CO₂농도, 미세먼지량을 측정 한 결과는 다음과 같다.

1. 환기시스템을 가동하지 않았을 때 재실인원 35명의 교실 (170.1m³)내 CO₂ 농도 변화 측정 결과, 평균 2,150 ppm, 최대 2,740 ppm 으로 나타났다. 이는 ASHRAE 규격과 교육인적자원부의 학교보건법 시행규칙에서 규정하고 있는 1,000 ppm 보다 높은 수치이다.

2. 환기시스템을 가동하여 환기용량을 800m³/h 하였을 경우, 교실내 CO₂ 농도는 평균 962 ppm, 최대 1,380 ppm으로 규정값인 1,000ppm 보다 최대값은 다소 높았지만 평균값은 약 4%낮게 나타났다.

3. 미세먼지(PM10)은 환기시스템 미가동시 최대값 0.52mg/m³, 최소값 0.25mg/m³, 평균값 0.32mg/m³으로 기준값 0.10mg/m³ 보다 모두 높은 값을 나타내었다. 가동시의 미세먼지농도는 최대값 0.174mg/m³, 최소값 0.048mg/m³, 평균값 0.078mg/m³으로 나타났다. 이는 교육인적 자원부의 학교보건법 시행규칙 기준값 0.10mg/m³ 보다 낮은 값을 나타내어 만족스러운 결과를 가져왔다.

4. CO₂와 미세먼지는 실내온도에 따라 비례적으로 상승하였다. 따라서 교실의 실내공기환경 조건을 만족시키기 위해서는 실내온도가 25℃ 이상 상승하지 않게 해야 하며, 환기량을 5회/h로 유지해야 하는 것으로 나타났다.

5. CO₂와 미세먼지는 학생수와 운동량, 작업의 종류에 따라 크게 변하는 것으로 나타났으며, 교실의 실내공기환경을 고려할 때 자연환기시스템

보다는 일정하게 환기량이 공급되는 강제환기시스템의 효과적인 것으로 나타났다.

참고문헌

- 1.Chang-Nam Kim, Yun-Gyu Lee.,2005, A Study on Concentration Chage of Volatile Organic Compounds; VOCs by using Mock-up Test, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, v.17 n.5, PP487-495
- 2.ASHRAE 2005, ASHRAE Handbook Fundamentals: Ventilation And Infiltration, Atlanta, USA.
- 3.Alfred Micallef et al.,1998., The Influence of Human Activity on the Vertical Distribution of Airborne Particle Concentration in Confined Environments, Indoor Air 2/98, Vol 8, No 2, 131-136.
- 4.Markus Reitzig et al. 1998., VOC Emissions after Building Renovations : Traditional and Less Common Indoor Air Contaminants, Potential Sources, and Reported Health Complaints, Indoor Air 2/98, Vol 8, No 2, 91-102
- 5.L.E. Sparks et al., 1996., Gas-Phase Mass Transfer Model for Predicting Volatile Organic Compound (VOC) Emission Rates from Indoor Pollutant Sources, Indoor Air, Vol 6,No. 1, pp 31-40.