

학교 건물의 난방시스템에 따른 실내 환경 측정 연구

A Study on the Measurement of School Building Environment according to Heating Systems

○유 형 규* 박 진 철** 이 언 구***
Yu, Hyung-Kyu Park Jin-Chul Rhee, Eon-Ku

Abstract

The purpose of this study was to analyze school building environment according to heating systems. We selected two types of heating systems, the one is ceiling supply-return system and the other is radiation gas-heater; and then we conducted field measurement in school building. The results is as follows; first, comparing with radiation gas-heater, ceiling supply-return system showed fast temperature response after start-up; second, horizontal temperature distribution were somewhat good for ceiling supply-return system, third, vertical temperature distribution escapes greatly in ASHRAE Standard 55-1992 and ISO standard, but radiation gas-heater showed a small temperature difference. In the ceiling supply-return system, there were seldom occupant's dissatisfaction by local overheating, because the floor and ceiling temperature are almost equal over measurement field. And ceiling supply-return system expressed value that did not exceed standard value in CO₂ density but when occupants are included, it need action.

키워드 : 난방시스템, 학교건물, 천장형 냉난방기, 적외선 복사 가스 난방기

Keywords : Heating Systems, School Building, ceiling supply-return system, radiation gas-heater

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

최근 경제발전 및 건축기술의 급속한 발전에 따라 건축분야에서는 지속적으로 환경개선이 이루어지고 있다. 그러나 이러한 상황은 대부분 업무시설, 상업시설, 주거시설 등에 한정되고 있을 뿐, 교육시설인 학교건물은 양적인 팽창에만 주력하고 질적인 면에서의 관심은 미흡하여 상대적으로 매우 열악한 상태로 남아 있는 형편이다. 더욱이 학교건물은 충분한 투자가 이루어지지 않아 현대적 건물의 수준과는 큰 차이를 보이고 있는데, 현재 국내 대부분의 학교건물에서는 냉방설비는 물론이거니와 아직까지 적절한 난방설비조차 제대로 갖추지 않고 있으며 미흡 갖추어져 있다 하더라도 쾌적한 실내환경을 고려하지 않고 운영되고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구는 학교건물을 대상으로 난방방식에 따른 실내환경을 측정·분석함으로써 최근 정부의 21C 교육시설 현대화 정책에 맞추어 보다 쾌적한 교육환경을 창출하는 기초적 연구가 되고자 하였다.

1.2 연구 방법 및 범위

본 연구에서 수행된 연구 방법 및 범위는 다음과 같다.

- 1) 실내환경 이론고찰
- 2) 학교건물의 난방시스템에 따른 실내환경 실태조사

-천장형 냉난방기 및 적외선 복사난방(적외선 복사 가스 난방기)에 따른 온도, 습도, 기류, MRT 등의 온열환경요소와 CO, CO₂의 공기환경요소

3) 측정결과 분석

2. 실내환경 요소 이론고찰

인간의 쾌적감과 온열환경의 관계를 파악하기 위한 연구는 19세기말부터 미국, 유럽 등지에서 시작되었다. 실내온열조건과 인간의 온냉감 및 쾌적조건 등에 관해서는 많은 연구가 진행되고 있으며, 냉난방·공조의 설정 조건으로서만이 아닌 실내환경평가 지표로도 활용되고 있다.

인체가 열적으로 중립상태에 있을 경우에도, 신체부위 중 일부분은 열적 불쾌감을 일으키는 조건에 노출될 가능성이 있다. 이러한 국부 불쾌감은 불균등 복사, 국부 대류 냉각, 차가운 바닥에 대한 접촉 또는 실내 상하온도 분포의 편차에 의해 일어난다. 이 국부 불쾌감은 단순히 실내 온도를 올리거나 내림으로써 제거할 수 없고, 부분적으로 지나치게 난방되거나 냉방되는 원인을 찾아 제거하는 것이 필요하다.

2.1 수직온도차

수직온도차에 의한 국부적 불쾌감을 방지하기 위해서 ASHRAE에서는 바닥으로부터 0.1m와 1.7m 사이, 국제표준화기구 ISO(International Standard Organization)에서는 바닥으로부터 0.1m와 1.1m 사이의 수직온도차이가 3°C를 넘지 않도록 권장하고 있다.

2.2 드래프트

인체 주위의 공기온도가 너무 낮거나 기류속도가 클

* 정희원, 중앙대 건축공학과 박사과정
** 정희원, 경민대 건축과 교수, 공학박사
*** 정희원, 중앙대 건축학과 교수, 건축학박사

때 인체에 국부적인 불편감을 야기할 수 있다. 드래프트는 기류의 평균속도, 난류강도, 기온에 의해서 결정되는데 특히, 드래프트에 대한 민감도는 머리와 발목이 노출되었을 때 크게 나타난다.

2.3 평균복사온도(MRT: Mean Radiant Temperature)

평균복사온도는 주변 공간 구조체의 표면온도 평균값으로 경우에 따라서는 기온보다 더 큰 영향을 미칠 수 있다. ASHREA에 의하면, 가장 쾌적한 상태는 MRT가 기온보다 약 2℃ 높을 때이다.

3. 난방방식에 따른 열환경 측정

3.1 측정 개요

학교건물의 난방시스템에 따른 실내환경을 평가하기 위하여 2001년 1월22일~2월6일 난방기간에 걸쳐 측정을 실시하였다. 대상 학교는 서울 광진구에 위치한 고등학교이며, 대상 교실은 5층 건물의 최상층에 위치하고 있다. 기존에 설치되어 사용해온 적외선 복사 가스 난방기와 천장형 냉난방기를 대상으로 운전조건에 따른 온열환경을 측정하였다. 측정항목은 외기 온습도, 실내 수평 및 수직 온도 분포, 상대습도, 수평 기류 분포, 평균복사온도, CO, CO₂ 등의 항목을 측정 대상으로 하였다. 측정에 이용된 기자재의 종류는 표 1과 같으며 설치 모습은 그림 1~3과 같다.

표 1. 측정기자재 및 측정항목

측정기기	모델	측정요소
Data Scan	7320	외기온, 냉난방기 송풍온도
열전대	T-type	수평·수직온도 분포
적외선 표면온도 측정기	Potable	바닥, 벽체, 천장온도
실내 환경 측정기	BABUC	속구·실내온도, 기류속도 등
디지털 온습도계		실내외온도 및 습도,
노트북 컴퓨터		데이터 기록
CO, CO ₂ 측정기	BABUC CARBOTEC	

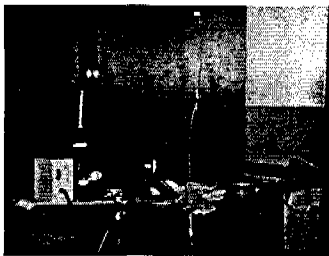


그림 1. 수직온도 측정



그림 2. 수평온도 측정



그림 3. 데이터로거



그림 4. 측정 대상 교실

3.2 난방방식에 따른 열환경 측정

그림 4는 측정대상 교실의 내부 모습이며 그림 5, 6은 대상 교실에 설치된 천장형 냉난방기와 적외선 복사 가스 난방기이다. 그림 7은 측정 대상 교실의 평면도로서 방학 중 학생들이 없는 빈 교실에서 측정이 이루어졌다. 실의 중앙에 천장형 냉난방기 2대가 설치되어 있고 이때

운전 모드는 실내온도 20℃, 강풍으로 설정하였다. 또한 적외선 복사 가스난방기는 실 후면벽 상단에 2대가 설치되어 있고 이때 운전모드는 최대운전으로 하였다. A1-D4는 실내 수평 온도 분포 측정을 위해서 설치한 열전대의 위치를 보여준다. 각각 가로 4지점, 세로 4지점씩 총 16지점을 설치하였으며 센서 사이의 거리는 180cm로 하였다. 센서의 측정 높이는 앉은 상태일 경우의 가슴부분 높이인 바닥에서 1m 높이로 설정하였다.

그림 8은 측정실의 단면과 실내 수직 온도 분포 측정을 위해서 설치한 열전대의 위치를 보여 준다. 이 때, 적외선 표면온도측정기로 천장과 바닥표면온도를 순시측정함과 동시에 바닥에서부터 높이별로 10, 30, 110, 170cm에 대해 4지점 총 16개의 센서를 설치하여 측정하였다.

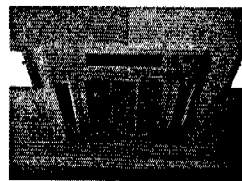


그림 5. 천장형 냉난방기

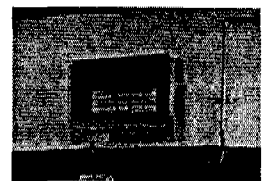


그림 6 적외선 복사 가스 난방기

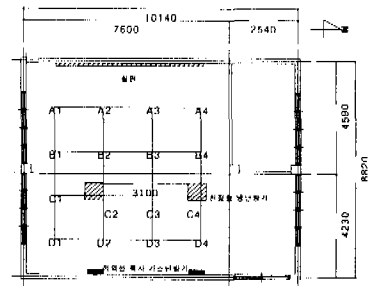


그림 7. 평면도 및 센서 설치 위치

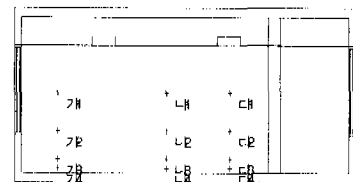


그림 8. 단면도 및 센서 설치 위치

3.3 측정 결과

3.3.1 외기조건

1) 외기온도 및 습도

측정기간 동안 최고온도는 1월 25일 오전 11시 17.7℃, 최저 온도는 2월 2일 오전 7시~11.1℃를 기록하였다.

외기습도는 최소 20%, 최대99%까지의 변화를 보이고 있었으며, 측정시간인 오전 8시에서 오후 6시까지 평균 상대습도는 약 45%로 나타났다.

2) 외기 CO, CO₂ 농도

측정기간 중 대기의 CO가스는 평균 1.0ppm미만을 기록하였으며, CO₂의 경우 평균 523ppm을 기록하였다.

3.3.2 천장형 냉난방기 측정결과

그림 9는 천장형 냉난방기의 송풍온도 측정결과로서 중앙측은 약 35℃의 일정한 온도로 취출하는 것을 볼 수 있는데 비하여 창가측은 온도가 갑자기 급상승과 급하강을 반복하는 매우 불안정한 온도 패턴을 보였다.

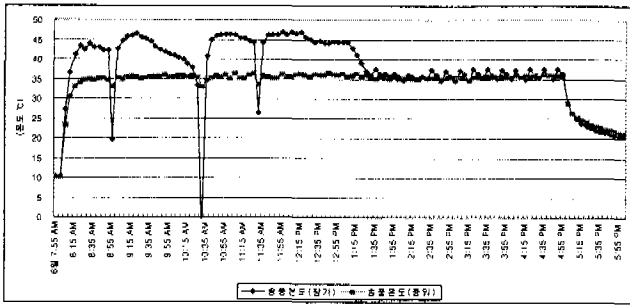


그림 9. 수평온도 (06일 08:00~18:00)

1) 수평 공기온도 분포)

그림 10은 시간에 따른 각 측정지점의 온도변화를 나타낸 것이다. 운전 개시 30분전부터 운전 종료 후 1시간까지의 온도변화 추이를 볼 수 있다. 운전 개시 후 실내 온도 20°C까지 도달하는데 약 1시간 정도 소요되었다. 1시 이후의 최대온도는 22.51°C이며, 각 지점의 온도차는 최대 2.88°C, 평균 1.47°C로 온도차이가 없는 거의 균일한 상태를 유지하였다.

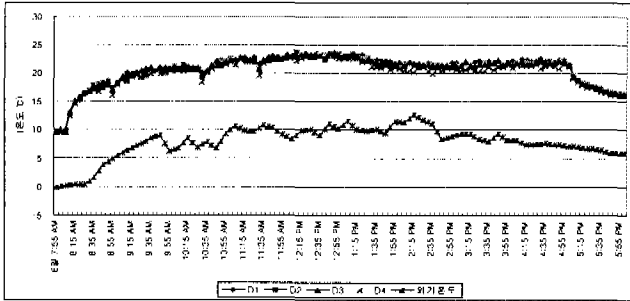


그림 10. 수직온도분포 (D열 ; 6일 08:00~18:00)

2) 수직 공기온도 분포

그림 11은 수직 온도 분포를 나타낸 것으로써, 1시 이후의 온도차는 각 지점에서 최대 11.6°C, 평균 8.8°C를 나타내고 있다.

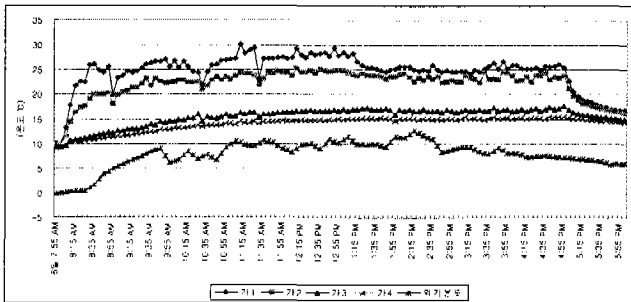


그림 11. 수직온도분포 (가열(남측창가) ; 08:00~18:00)

3) 천장 및 바닥 표면온도

표 2에서 천장형 냉난방기의 천장 평균 표면 온도는 22.1°C, 바닥 평균 온도는 16.9°C로 나타났으며, 바닥 및 천장면에서 비교적 균등한 분포를 나타내고 있었다.

4) 기류 분포

각 온도 측정 지점에서 최대, 최소, 평균 기류속도를 5분 동안 측정하였다. 천정송풍출구에서 기류속도는 최대 3.72m/s, 평균 2.57m/s로 나타났으나, 수평 평균 기류속도는 0.07m/s로 교실 각 지점에서 채실자가 실내 기류분

1) 본 연구에서는 총 16 지점을 측정하였으며, 중앙부분 수평(D열) 및 수직(가열) 온도만을 도시하였다.

느끼지 못할 정도의 미약한 기류분포를 보이고 있었다.

표 2. 천장바닥온도분포

단위 : [°C]

천장(방사율=0.91)	1	2	3	4
A	21.4	21.3	19.6	19.9
B	20.9	21.7	21.1	20.7
C	23.4	26.0	25.5	20.4
D	22.1	24.7	22.4	22.2
평균	22.1			
바닥(방사율=0.71)	1	2	3	4
A	16.0	16.2	15.2	12.4
B	15.5	15.5	15.3	13.7
C	18.8	20.1	19.5	17.0
D	18.0	19.5	20.0	17.0
평균	16.9			

표 3 측정 지점별 기류속도 (최대, 최소, 평균)

단위 : [%s]

		1	2	3	4
A	평균	0.06	0.22	0.09	0.04
	최대	0.18	0.58	0.18	0.20
	최소	0.01	0.01	0.01	0.01
B	평균	0.10	0.05	0.04	0.03
	최대	0.20	0.16	0.10	0.06
	최소	0.01	0.01	0.01	0.01
C	평균	0.08	0.04	0.07	0.06
	최대	0.15	0.06	0.21	0.14
	최소	0.01	0.02	0.01	0.01
D	평균	0.07	0.05	0.08	0.09
	최대	0.18	0.14	0.16	0.21
	최소	0.01	0.01	0.01	0.01

5) CO, CO₂ 농도

그림 12에서 보는바와 같이, CO₂ 는 최대 1058ppm, 평균 654ppm의 농도분포를 나타내었으며, CO 는 1ppm 미만으로 거의 외기와 같은 농도분포를 나타내었다.

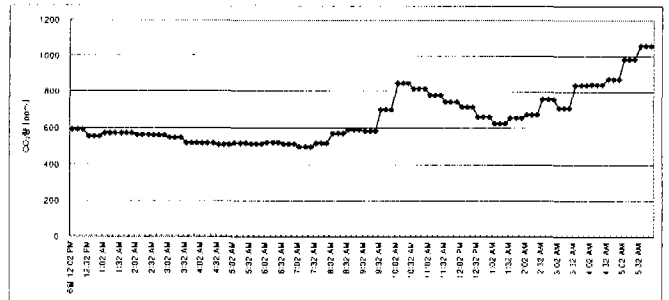


그림 12. CO 및 CO₂ 가스

3.3.3 적외선 복사 가스 난방 측정결과

1) 수평 공기온도 분포

운전 개시 후 실내 온도 20°C에 도달하는 시간은 난방 개시 시간 오전 8시 이후, 측정 위치에 따라 A열은 약 오후 1시, B열은 12시, C열과 D열은 오전 11시가 되어 약 4시간 정도 소요되었다. 각 지점의 온도차는 최대 4°C, 평균 2.6°C로 나타났다.

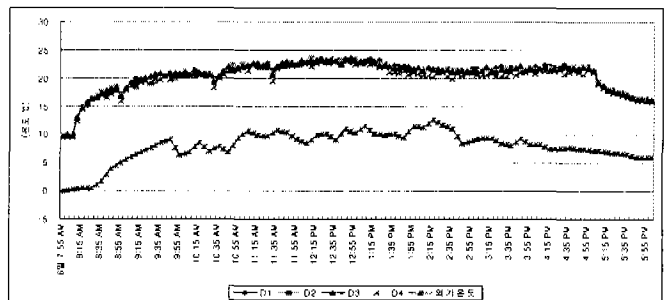


그림 13. 수평온도분포 (D열 ; 06:00~20:00)

2) 수직 공기온도 분포

그림 14에서 가1과 가4의 상하 온도차는 최대 10.9℃, 평균 4.2℃의 차이가 나는 것을 볼 수 있다.

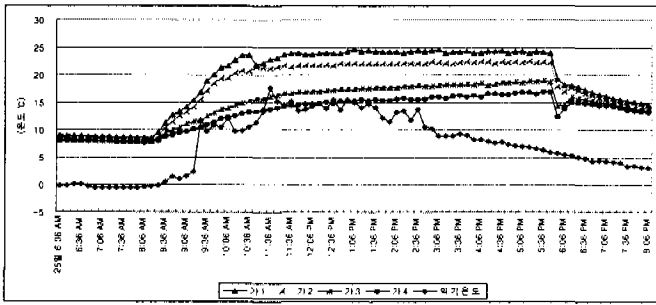


그림 14. 수직온도분포 (가열 : 06:00~20:00)

3) 천장 및 바닥 표면온도

표 4에서 적외선 복사 가스 난방기의 천장 평균 표면 온도는 29.5℃, 바닥 평균 온도는 14.5℃의 분포로 나타났으며, 특히 난방기의 위치와 거리에 따라 서로 큰 차이를 나타냈다.

표 4. 천장바닥온도분포

단위 : [℃]

천장(방사율=0.91)	1	2	3	4
A	18.0	19.0	19.0	17.0
B	21.0	23.0	23.0	22.0
C	35.0	34.0	34.0	33.0
D	52.0	38.0	41.0	43.0
평균	29.5			
바닥(방사율=0.71)	1	2	3	4
A	10.0	11.0	11.0	10.0
B	11.0	12.0	12.0	11.0
C	15.0	16.0	18.0	17.0
D	19.0	20.0	20.0	19.0
평균	14.5			

4) CO, CO₂ 농도

그림 15에서 난방 개시 시점부터 CO와 CO₂의 농도가 급격히 증가하여 CO의 경우는 최고 7.5ppm, 평균 5.8ppm, CO₂의 경우 최고 5077ppm, 평균 4068ppm을 나타내었다.

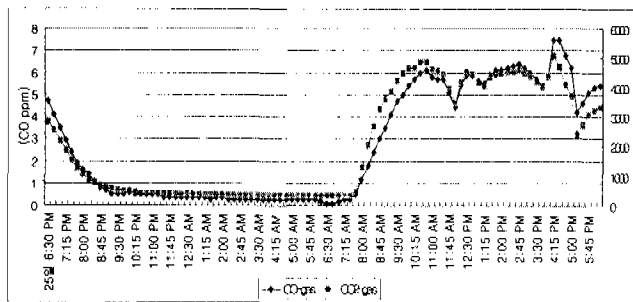


그림 15. CO 및 CO₂ 가스

4. 결론

본 연구는 학교건물을 대상으로 난방방식에 따른 실내 환경을 측정·분석한 것으로서 연구결과는 다음과 같다.

1) 운전 개시 후 실내실정온도인 20℃까지 도달하는데 천장형 냉난방기는 약 1시간, 적외선 복사 가스 난방기는 약 4시간 정도가 걸려 천장형 냉난방기가 예열기간이 짧아 비교적 부하에 빠른 응답을 보이는 것임을 알 수 있었다.

2) 교실 각 지점의 수평온도차는 천장형 냉난방기가 최대 2.88℃, 평균 1.47℃, 적외선 복사 가스 난방기는 최대 4.4℃, 평균 2.6℃로 나타나 천장형 냉난방기가 수평온도차가 적게 나타났다.

3) 교실 각 지점의 수직온도차는 천장형 냉난방기가 최대 11.6℃, 평균 8.8℃, 적외선 복사 가스 난방기는 최대 10.9℃, 평균 4.2℃로 나타나 적외선 복사 가스 난방기가 적게 나타났다.

4) 한편, 적외선표면온도기로 측정된 천장 및 바닥 표면온도분포는 천장형 냉난방기의 경우 천장표면 22.1℃, 바닥표면 16.9℃, 적외선 복사가스 난방기는 천장표면 29.5℃, 바닥표면 14.5℃로 나타났다. 특히, 적외선 복사난방기의 경우 난방기의 위치와 거리에 따라 온도분포가 큰 차이를 보이고 있었다.

5) 기류 속도는 천정송풍출구에서 최대 3.72m/s, 평균 2.57m/s로 나타났으나, 수평 평균 기류 속도는 0.07m/s로 교실 각 지점에서 거의 체감자가 실내의 기류를 느끼지 못할 정도의 미약한 기류분포임을 알 수 있었다.

6) CO, CO₂ 오염 농도는 천장형 냉난방기의 경우 CO는 1ppm 미만, CO₂는 최대 1058ppm, 평균 654ppm이 검출되었다. 적외선 복사 가스 난방기는 CO는 최고 7.5ppm, 평균 5.8ppm, CO₂는 최고 5077ppm, 평균 4068ppm을 나타내었다.

본 연구 결과를 종합하면, 천장형 냉난방기가 적외선 복사 가스 난방기에 비하여 예열기간이 짧아 부하응답이 비교적 빠른 것으로 나타났다. 또한, 수평공기 온도분포에서는 천장형 냉난방기가 매우 균등한 분포를 보였고, 수직공기 온도분포에서는 적외선 복사 가스 난방기가 상하공기온도차가 적게 나타났다. 그러나, 적외선 복사 가스 난방기인 경우 천장 및 바닥표면온도는 난방기에서 거리가 멀어짐에 따라 큰 차이가 나타났다.

한편, CO, CO₂ 의 오염가스 농도는 가스를 실내에서 연소하는 적외선 복사 가스 난방기가 기준치를 훨씬 초과하는 농도분포를 보임으로써 이에 대한 대책이 요구된다. 그러나, 천장형 냉난방기는 기준치이하의 수준을 나타냈는데, 이는 측정시 실내에 체감자가 거의 없는 상태로 측정된 결과이며, 천장형 냉난방기가 외부공기를 도입하지 않고 실내공기를 계속 순환시키는 것임을 감안할 때, 교실에 많은 학생들이 있는 경우를 고려한다면 역시 이에 대한 대비책이 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 박효순, 2000, 학교건물의 에너지절약형 냉난방시설 모형개발에 관한 연구, 교육부
2. 차희운, 2000, 중앙공조시스템이 사용된 아파트의 여름철 실내열환경 평가, 한양대학교 석사논문
3. ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS 1997
4. ASHRAE Standard 55-1992