

## 대공간의 실내온열환경 실측 및 분석

### The Field Measurement and Analysis of Indoor Thermal Environment in Large Enclosures

채 문 병\*                      양 정 훈\*\*                      최 동 호\*\*\*                      석 호 태\*\*\*\*  
Chae, Mun-Byoung          Yang, Jeong-Hoon              Choi, Dong-Ho                  Seok, Ho-Tae

#### 요 약

본 연구에서는 대공간을 동계 및 하계로 구분하여 실내온열환경의 변화를 실측하고 냉·난방조건과 관련하여 대공간에서 형성되는 실내온열환경의 특성을 파악하는 것을 목적으로 하여, 대공간의 수직 및 수평온도분포, 객석온도분포, 실내표면온도분포, 실내온열쾌적성 등의 실내온열환경을 검토하였다.

#### Abstract

This research aims to divide the large enclosures according to summer and winter seasons, and to measure changes in the indoor thermal conditions. Also, with regard to air conditioning and exterior environments, it aims to identify the characteristics of indoor thermal environments such as indoor vertical and horizontal temperature distribution in large enclosures, temperature distribution in the audience's seating, indoor surface temperature distribution, wind speed distribution in the audience's seating, and indoor thermal comfort.

**키워드 :** 대공간, 온도성층, 수직온도분포, PMV

**Keywords :** Large enclosures, Thermal stratification, Vertical temperature distribution, PMV

## 1. 서 론

최근 국가 경제의 발전과 생활의 질적 수준이 향상됨에 따라 대규모의 국제회의센터, 대공간의 전시·관람 집회 시설, 대형 스포츠 시설, 아트리움 등과 같은 대공간 건축물이 증가하고 있는 추세이다. 이러한 대공간은 바닥면적에 비해 천장이 높고 실용적이 크며 지붕을 경량외피 재료로 사용하기 때문에 실내의 열이동이 빈번하게 일어난다. 또한 간헐적으로 많은 인원을 한정된 시간 동안 집중적으로 수용하고 있으며, 상·하 및 수평 방향으로 온도 편차가 크고, 거주영역은 바닥 근처로 한정되어 있다. 따라

서 냉·난방부하가 크게 나타날 뿐만 아니라 거주영역에서의 공조가 효과적으로 이루어지지 않아 실내공간의 온열쾌적성 확보에 어려움이 있으며 실내환경 제어의 문제점으로 지적되고 있다. 이에 본 연구에서는 기존 대공간의 실내환경에서 발생할 수 있는 문제점 및 대공간의 온열환경을 예측하기 위하여 대규모 실내경기장을 측정대상 건물로 선정하였다.

이에 본 논문에서는 동계 및 하계로 구분하여 실내온열환경의 변화를 실측을 통해 확인하고, 측정결과를 바탕으로 실내수직 및 수평온도분포, 객석온도분포, 실내표면온도분포, 환기량, 실내온열쾌적성 등을 분석하여 대공간의 실내온열환경을 검토하고자 한다.

## 2. 실내온열환경 측정

### 2.1 측정대상 건물 개요

측정대상 건물은 서울 올림픽 체육공원 내에 위

\* 정회원 · 영남대학교 건축공학과 석사과정  
\*\* 정회원 · 영남대학교 건축학부 전임강사, 공학박사  
\*\*\* 정회원 · 대구가톨릭대학교 건축학과 교수, 공학박사  
\*\*\*\* 교신저자, 정회원 · 영남대학교 건축학부 부교수, 공학박사  
Tel : 053-810-2423 Fax : 053-810-3675  
E-Mail : hotstone@ynu.ac.kr

치한 실내경기장으로 선정하였으며, 건물개요는 <표 1>과 같이 나타내었다. 관중석은 가변형 객석(1,635석)과 1층 객석, 2층 객석의 고정 객석(5,223석)으로 6,858명을 수용할 수 있으며, 건물의 복도에는 사무실이 배치되어 있다. 열원설비는 공원내 중앙공급실에서 증기가 공급되는 경기장 존과 지역난방공사에서 중온수가 공급되는 사무실 존으로 구분되며, 각 존에서 공급되는 열원은 지하공동구를 통해 측정대상 건물내의 공조기로 공급된다. 공조시스템은 각 존별로 냉난방용 1대와 환기용 1대가 각각 설치되어 아레나 벽면취출 및 2층 객석 바닥취출방식으로 냉·난방이 이루어진다. 본 측정에서는 동계 및 하계로 나누어 측정하였으며, 측정공간의 대칭성을 고려하여 전체면적의 1/2을 측정대상영역으로 선정하여 측정하였다.

<표 1> 측정대상 건물의 개요

준공	1986. 4
규모	지하 1층, 지상 3층 (직경 : 97m, 높이 : 22.35m)
구조	철근콘크리트구조
지붕구조	케이블 막 구조
건축면적	8,658m <sup>2</sup>
연면적	16,358m <sup>2</sup>

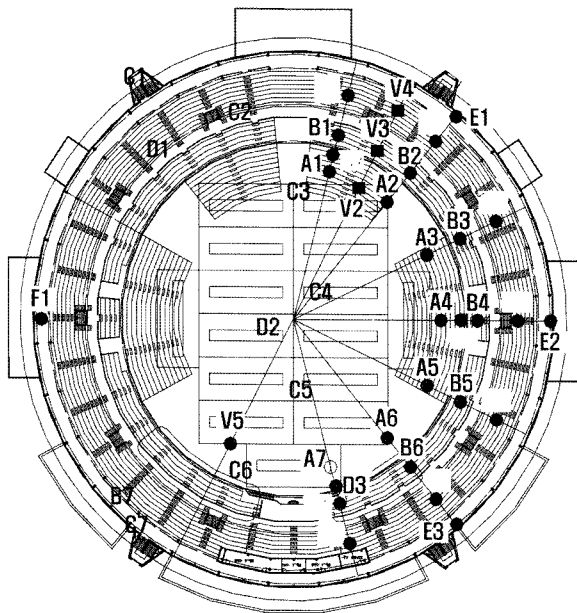
<표 2> 측정기간 및 측정조건

구분	측정기간		측정조건		
	동계	비난방조건	2007. 2. 7.	난방 off	
간헐난방조건		2007. 2. 8.	1th	09:00~11:00	난방 on (20℃)
				11:00~11:50	난방 off (21℃)
			2th	11:50~13:30	난방 on (21℃)
				13:30~14:00	난방 off (24℃)
				3th	14:00~15:30
15:30~	난방 off (24℃)				
난방조건 (인체부하고려)	2007. 2. 24.	08:00~12:00	난방 on		
		14:00~18:00	배구경기		
하계	비냉방조건	2007. 8. 24.	냉방 off		
	간헐냉방조건	2007. 8. 22	1th	09:00~11:00	냉방 on
				11:00~12:00	냉방 off
			2th	12:00~14:00	냉방 on
				14:00~15:00	냉방 off
			3th	15:00~17:00	냉방 on
17:00~	냉방 off				
냉방조건 (인체부하고려)	2007. 8. 25	10:00~17:00	냉방 on		
		12:00~18:00	고등학교 축제 및 입시설명회		

## 2.2 측정범위 및 측정방법

대공간의 온열환경을 평가하기 위하여 동계 및 하계로 구분하여 비공조조건, 간헐공조조건, 인체부하를 고려한 공조조건으로 나누어 측정을 실시하였다. <표 2>에서 보는 바와 같이 비공조조건은 냉·난방을 하지 않은 상태에서 측정을 하였으며, 간헐공조조건은 냉·난방을 실시하는 시간을 1차, 2차, 3차로 나누어 측정하였고, 공조조건은 경기 및 행사가 진행되는 동안 측정을 실시하였다. <그림 1>과 같이 측정공간내 대칭성을 고려하여 실내전체면적의 반원면적을 측정면적으로 선택하여 등간격으로 측정지점을 선정하였다.

<표 3>은 측정항목 및 측정장비를 나타내고 있다. 외부기상의 측정은 측정대상 건물 외부에 기상스테이션을 설치하여 온도, 습도, 일사량 등의 데이터를 실시간으로 저장하였다. 급배기구의 온도 및 습도는 SK-sato를 이용하여 10초 간격으로 저장하였으며, 급배기구의 풍속은 열선풍속계를 사용하여 측정하였다. 수직온도는 V2~V5지점 모두 3m 높이까지는 0.5m 간격으로, 3m 이상의 높이에서는 1.5m 간격으로 온도센서를 설치하였으며, 수평온도는 A1~A7, B1~B7, C1~C7 지점에 객석바닥을 기준으로 0.1m



<그림 1> 측정대상 건물의 측정지점

와 1.1m에 온도센서를 설치하여 Monitoring Device를 통해 10초마다 저장하였다. 실내표면온도는 실내 전체면적의 1/2인 반원면적이 한눈에 보이는 F1 지점에서 촬영하였다. 객석의 풍속은 열선풍속계를 사용하여 5초 단위로 12회 측정하여 평균값을 측정치로 하였으며, 후구온도는 후구안에 센서를 설치하여 10초마다 저장하였다. 환기량은 공간내 이산화탄소 농도의 감소속도를 모니터링하여 측정하였다. PMV는 1층객석의 중간지점인 B4에서 열쾌적측정기를 사용하여 ISO-7730에 따라 동계시 측정은 착의량 1.2 clo, 활동량은 1 met로 설정하였으며, 하계시 측정은 착의량 0.5 clo, 활동량은 1 met로 설정하여 20분 간격으로 측정하였다.

### 3. 측정결과 및 분석

#### 3.1 외부기상

##### 3.1.1 동계 외부기상

동계 외부기상조건은 <그림 2>와 같이 나타내었다. 비난방조건 측정일인 2월 7일의 외기온도는 최고 영상 13.3℃, 최저 영하 1.8℃로 나타났으며, 상대습도는 34~94%를 나타내었다. 간헐난방조건을 측정한 2월 8일의 외기온도는 1.3~6.4℃, 상대습도는

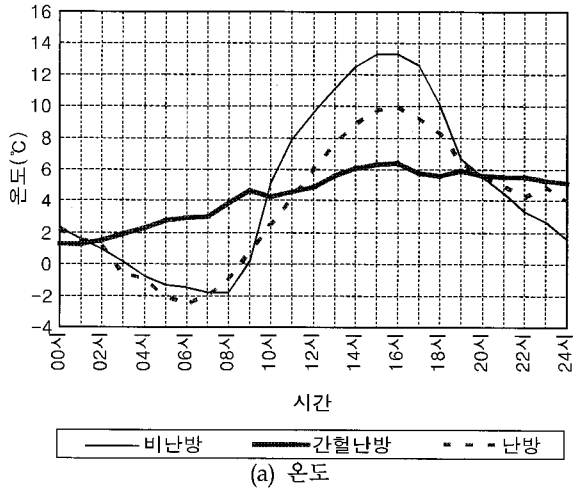
<표 3> 측정항목 및 측정장비

측정항목	측정지점		측정장비
외부기상	측정대상 건물 외부		1 DAVIS/sechang Instrument
급기구 배기구 온도·습도	급기구	D1, D2, D3 C2, C4, C6	6 SK-sato/ KEIRYOKI
	배기구	E1, E3	2
급기구 배기구 풍속	급기구	D1, D3 C2, C4, C6	5 Hotwire Anemometer
	배기구	E1, E3	2 /8570
수직온도	V2~V5		76 SOAM-TLS Monitoring Device(TLS)
수평온도	0.1m	A1~A7 B1~B7 C1~C7	42
	1.1m		
실내표면 온도	F1		1 THERMO TRACER/ TH5104R
객석의 풍속	1층객석	B1~B7	7 Hotwire Anemometer /8570
	2층객석	C1~C7	7
후구온도	1층객석	B2, B4, B6	3 SOAM-TLS Monitoring Device
	2층객석	C2, C4, C6	3
환기량	아레나중앙		1 TESTO
PMV (Predicted Mean Vote)	B4		1 Hermal Comfort Meter /AM-101

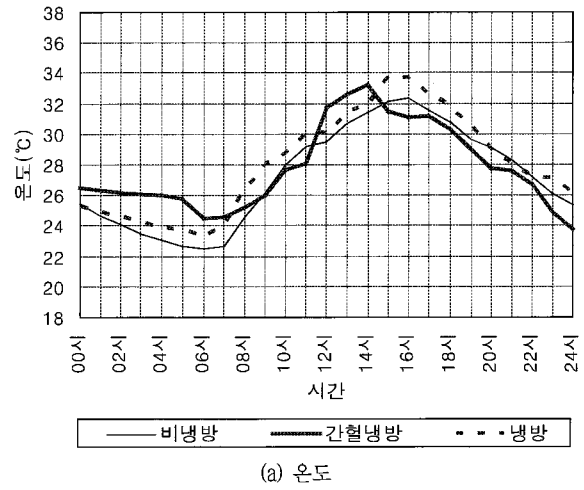
73~91%를 나타내었으며, 2월 24일에 측정한 난방조건 건의 외기온도 및 상대습도는 -2.6~9.9℃, 21~51%를 나타내었다. 측정일의 하루 중 최고온도는 비난방조건, 난방조건, 간헐난방조건 순으로 관찰되었으며, 겨울날씨는 비교적 높은 외기온도를 나타내었다.

##### 3.1.2 하계 외부기상

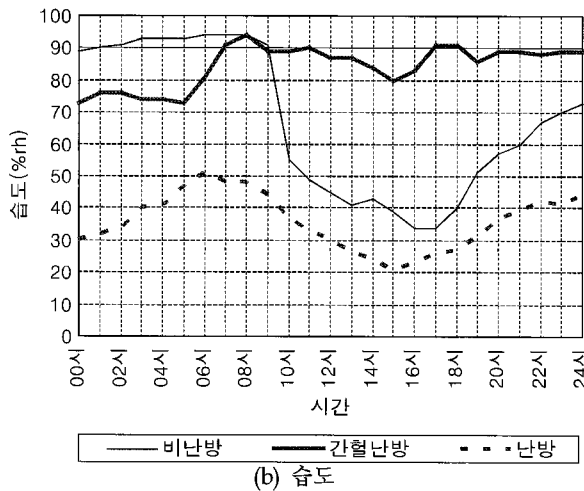
비냉방조건인 측정일인 8월 24일의 외기온도는 22.5~32.4℃, 상대습도는 48~83%로 나타났으며, 간헐냉방조건을 측정한 8월 22일의 외기온도는 24.5~33.2℃, 상대습도는 43~90%를 나타내었다. 8월 25일에 측정한 냉방조건 건의 외기온도는 최고 33.8℃, 최저 23.3℃로 나타났으며, 상대습도는 48~89%를 나타내었다. 측정대상 건물의 하계 외부기상조건은 <그림 3>과 같다.



(a) 온도

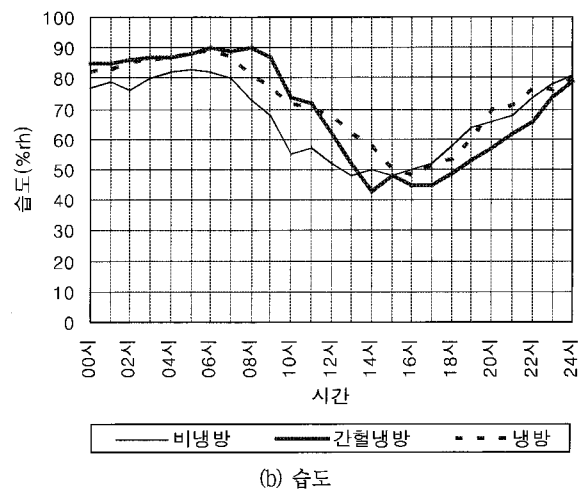


(a) 온도



(b) 습도

〈그림 2〉 동계 외부기상조건



(b) 습도

〈그림 3〉 하계 외부기상조건

### 3.2 급기구·배기구 온도

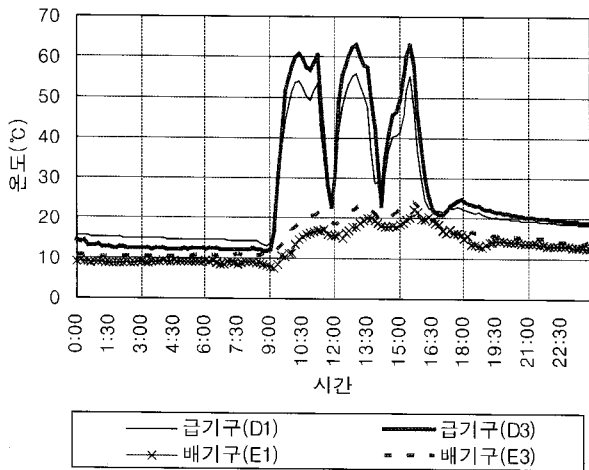
#### 3.2.1 동계 급기구·배기구 온도

동계 급기구·배기구 온도측정결과는 <그림 4>에 나타내었다. 간헐난방조건의 경우, 난방가동 중 D1, D3에서 측정된 급기온도는 7°C 전후의 온도차가 나타났으며, 공조가동 중에는 50°C 이상의 급기온도를 유지하였다. 배기온도는 측정위치에 따라 5°C 전후의 온도차가 나타났다. 난방조건의 경우, 난방가동 중 D1, D3에 위치한 급기구의 급기온도는 11.7°C의 온도차를 보였으며, 배기구 E1, E3의 온도는 최대 22.6°C, 26.6°C로 4°C 전후의 온도차가 나타났다. D3에 위치한 급기구에서 4시~8시, 19시~21시에 온도가 상승한 것은 측정대상 건물의 인접건물에서 종교집회행사가 개최되어 4시~8시, 19시~21시

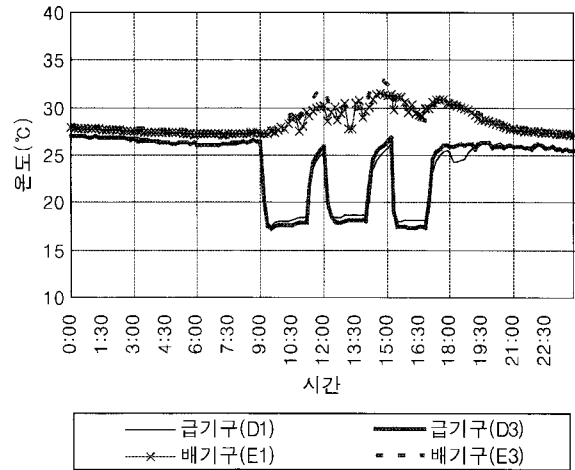
에 난방이 실시된 것으로, 난방이 실시된 열원은 중앙공급실에서 수동으로 제어하는 밸브를 열어 지하공동구를 통해 각 건물내 공조기로 공급받아 난방이 이루어진다. 따라서 측정대상 건물에 공급된 열원이 D3에 위치한 급기구를 통해 온풍이 급기되어 온도가 상승한 것으로 판단된다.

#### 3.2.2 하계 급기구·배기구 온도

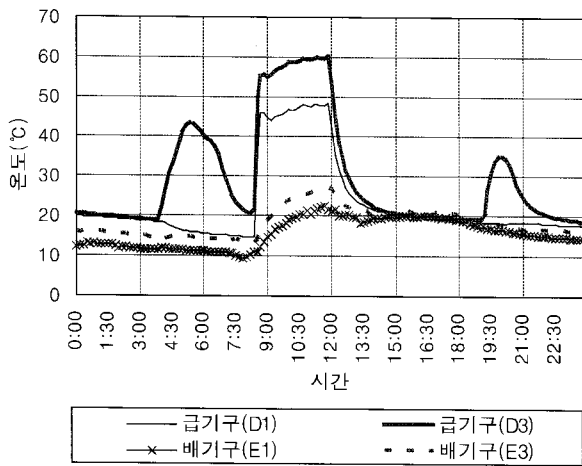
하계 급기구·배기구 온도측정결과는 <그림 5>에 나타내었다. 간헐냉방에서의 D1, D3의 급기온도는 냉방가동 중 0.5~0.8°C의 온도차가 나타났으며, 배기온도는 12시, 15시를 제외하고는 비슷한 온도를 보였다. 냉방조건의 급기온도는 D1, D3 모두 비슷한 온도가 나타났으며, 배기온도는 냉방시 1°C 전후의 온도차가 나타났다.



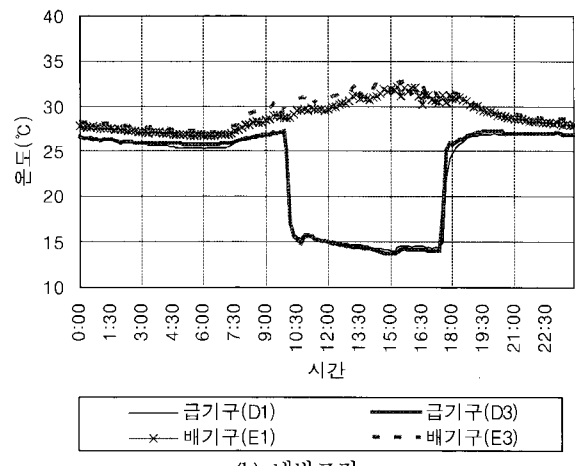
(a) 간헐난방조건



(a) 간헐냉방조건



(b) 난방조건



(b) 냉방조건

<그림 4> 동계 급배기온도

<그림 5> 하계 급배기온도

### 3.3 수직온도분포 분석

#### 3.3.1 동계 수직온도분포

비난방조건에서의 실내온도는 일출직후에 각 위치 및 높이에 관계없이 균등한 온도분포를 보이며 하루중 최저 실내온도를 나타내었으며, <그림 6(a)>와 같이 16시 전후로는 외기온도의 영향으로 하루 중 최고 실내온도를 나타내었다. 비난방조건에서 아래나 바닥상부 9m 높이를 기준으로 상부공간에서는 하부공간에 비해 수직온도가 상승한 것은 천정 조명부하 및 시간대별 일사량의 차이에 의한 것으로 판단된다. 간헐난방조건에서는 시간대별로 설정된 난방조건에 따라 온도성층 및 형성범위의 차이가 발생하였다. 난방이 가동되기 전에는 높이별 수직온도가 균등하게 나타났으며, 난방을 가동한 후 2시간이 경과된

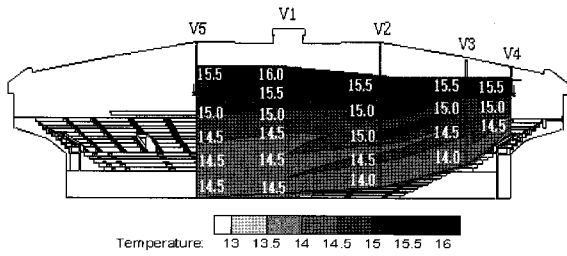
<그림 6(b)>의 경우, 아래나의 상하온도차는 6°C로 비교적 크게 나타났으나, 1층 객석 및 2층 객석에서는 상대적으로 낮은 층고의 영향으로 3°C의 상하온도차가 나타났다. 이는 부력에 의해 상승한 고온의 취출기류가 상부공간에 위치함에 따라 저온의 공기는 하부공간으로 이동하여 공기층이 나타난 것으로 판단된다. 난방공급을 중단한 후 50분이 경과된 <그림 6(c)>의 경우, 약 3.5°C의 상하온도차가 나타남으로써 난방이 공급된 11시에 비해 전반적으로 상하온도차가 줄어들었다. 인체부하를 고려한 난방조건인 경우, 12시에 난방이 종료된 <그림 6(d)>에서는 각 위치별 수직온도차가 6~7.5°C로서 급속한 온도상승과 공기층이 발생하였으며, 난방종료 후 2시간이 경과된 <그림 6(e)>에서는 배구경기가 시작되면서 수직온도차가 1.5~2.5°C로 나타나 난방 중 생성된 온도

성층이 서서히 완화되었다. 완화된 공기층은 거주영역에서 20~22.5℃의 실내온도로 경기종료시까지 유지되었다. 이는 간헐공조조건의 1차 난방설정온도 20~21℃를 유지하고 있으므로 배구경기 관람객의 인체발열이 실온을 유지하데 작용한 것으로 판단된

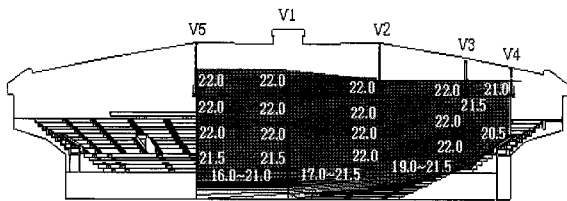
다. 경기종료 후부터는 급격한 실온강하가 발생한 것은 경기종료 후 출입구의 개폐에 의해 인체발열이 제거되면서 실내 열에너지가 실외 저온공기와 에너지 교환이 발생되면서 기인된 결과로 판단된다.

### 3.3.2 하계 수직온도분포

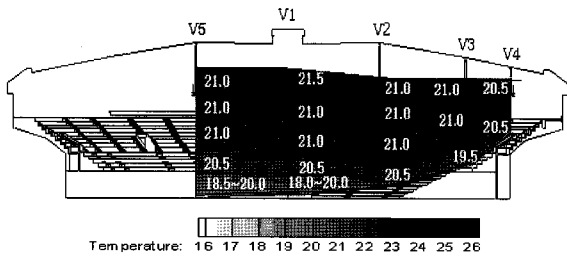
하계측정은 비냉방 및 인체부하를 고려한 냉방조건의 데이터 오류 및 손실로 인하여 간헐냉방조건에 대해서만 수직온도분포를 분석하였다. 1차 냉방이 가동된 9시~11시에서는 <그림 6(b)>의 동계 간헐난방과는 달리 상부에서 고열 공기층이 형성되었다. 이는 밀도가 큰 저온의 취출기류가 하부로 이동하게 되어 각 위치별 하부공간에서는 24.5℃의 실내온도를 유지하지만 천장의 상부공간에서는 상승된 고온의 공기가 축적되어 온도성층이 형성된 것으로 판단된다. 냉방공급을 중단한 <그림 7(b)>의 경우, 상부에 형성된 고온의 공기는 지속적인 열전달에 의해 거주영역까지 영향을 미치게 되어 각 위치별 하부공간에서의 온도가 <그림 7(a)>보다 약 2℃ 정도 높게 나타나 냉방설정온도 26℃ 이상의 온도분포가 나타났다.



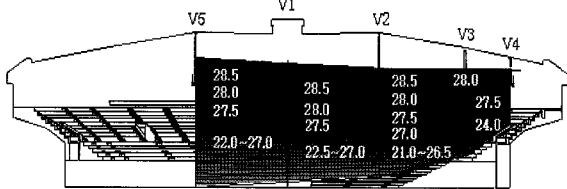
(a) 비난방조건 - 16:00



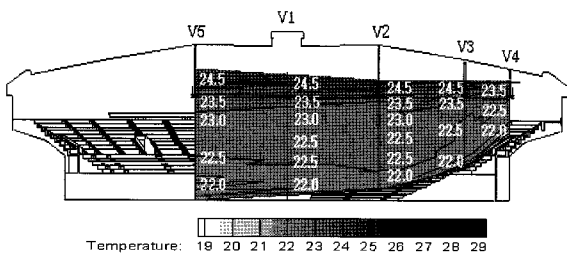
(b)간헐난방조건 - 11:00 (난방 on)



(c) 간헐난방조건 - 11:50 (난방 off)

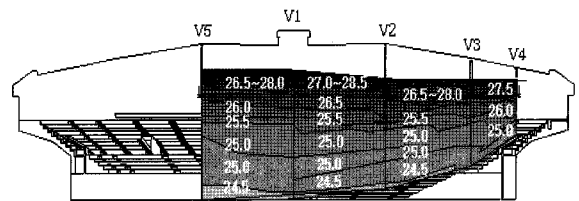


(d) 난방조건 - 12:00 (난방 off)

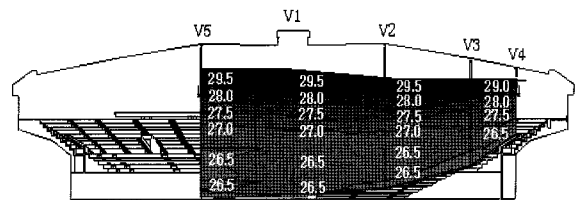


(e) 난방조건 - 14:00 (배구경기시작)

<그림 6> 동계 수직온도



(a) 간헐냉방조건 - 11:00 (냉방 on)



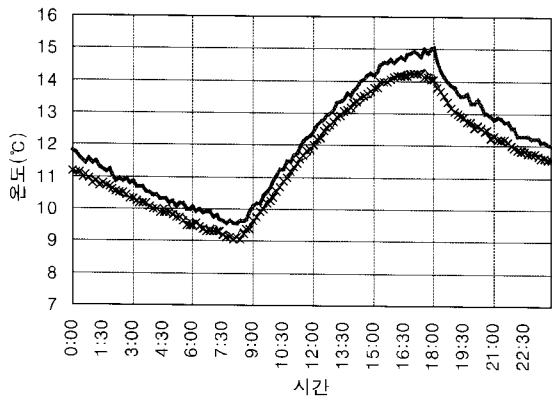
(b)간헐냉방조건 - 12:00 (냉방 off)

<그림 7> 하계 수직온도

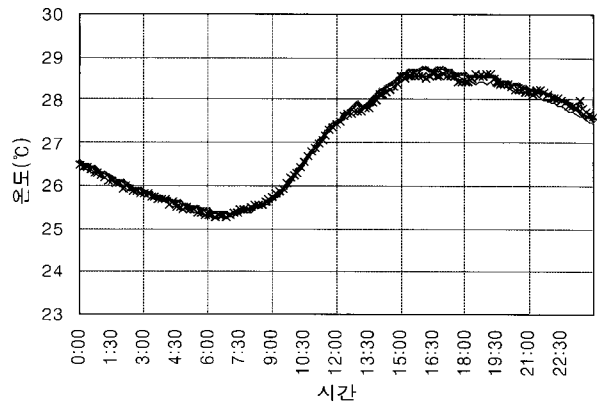
### 3.4 수평온도분포 분석

#### 3.4.1 동계 수평온도분포

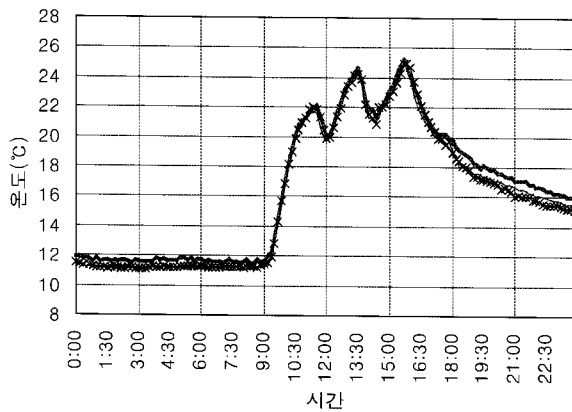
동계시 1층 객석 1.1m 높이의 수평온도는 <그림 8>에 나타내었다. 비난방조건시 1층 객석은 관람객



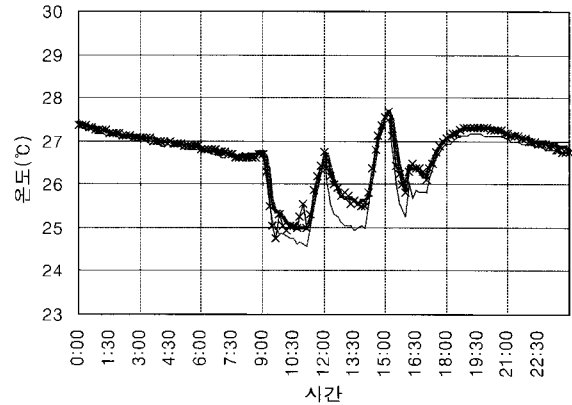
(a) 비난방조건 - 1층객석



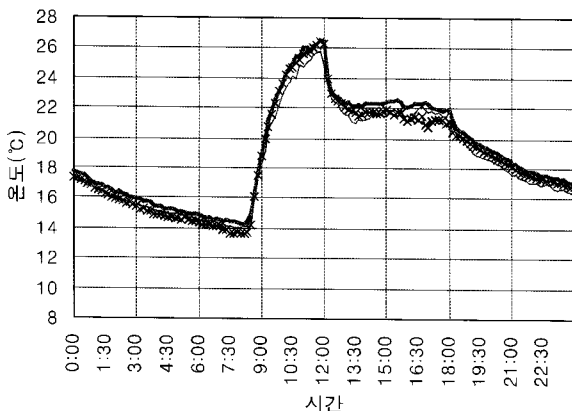
(a) 비냉방조건 - 1층객석



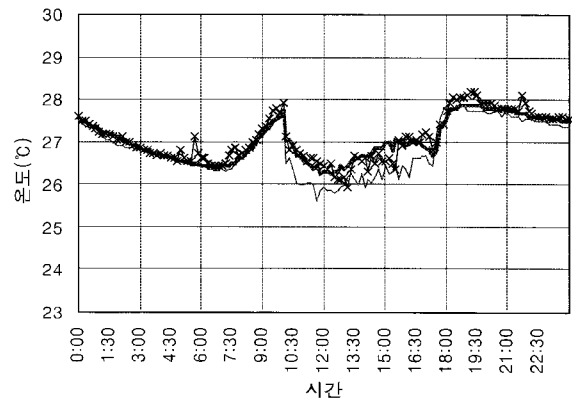
(b) 간헐난방조건 - 1층객석



(b) 간헐냉방조건 - 1층객석



(c) 난방조건 - 1층객석



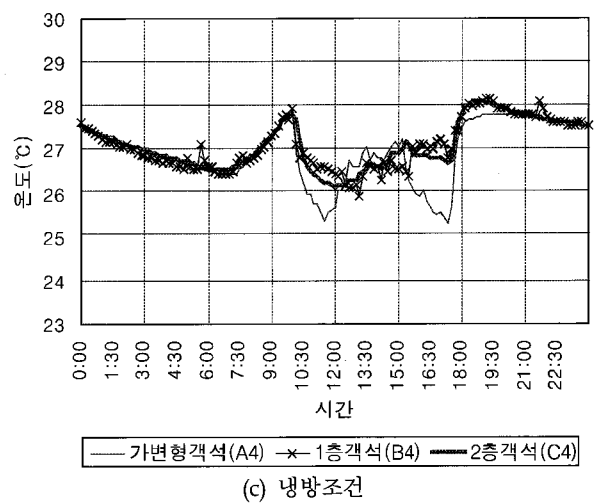
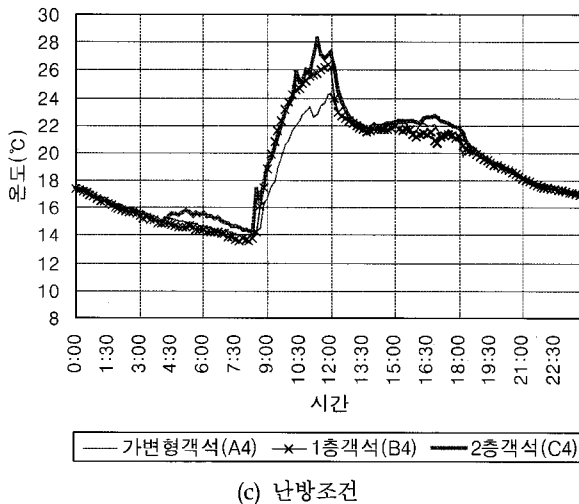
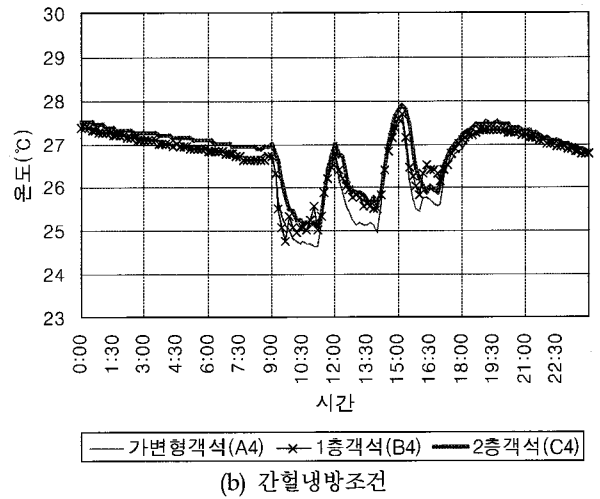
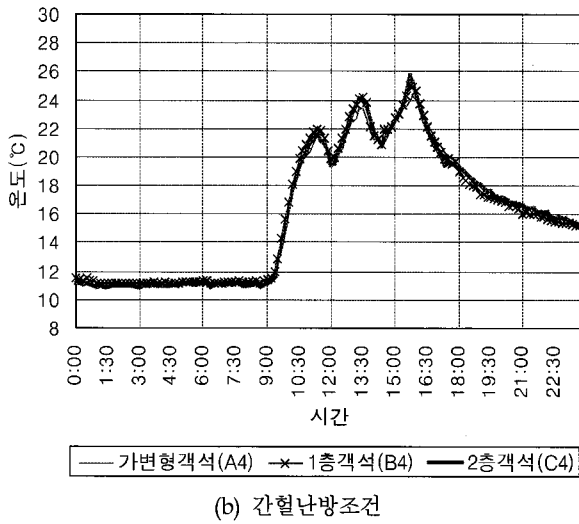
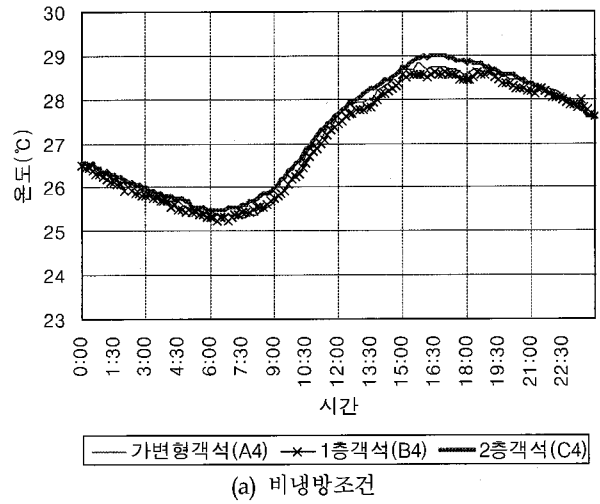
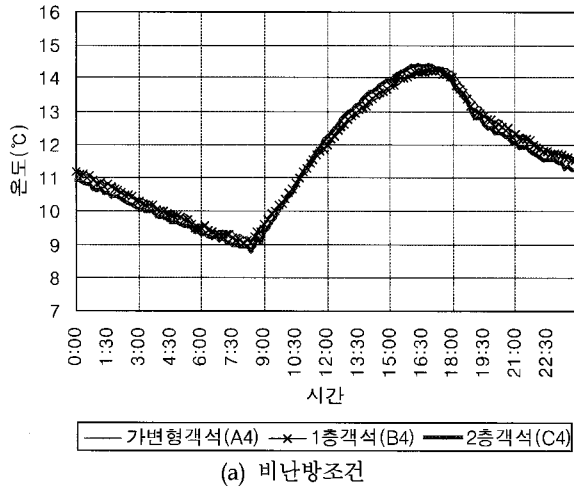
(c) 냉방조건 - 1층객석

<그림 8> 동계 수평온도

<그림 9> 하계 수평온도

출입구를 통해 기류가 유입됨으로써 위치에 따라 최대 0.8°C 전후의 온도차가 나타났으며, 간헐난방조건에서 간헐난방이 진행되고 있는 9시~15시 30분까지는 수평온도의 변화가 작게 나타났다. 인체부하를 고려한 난방조건에서 배구경기가 진행되고 있는 14

시~18시에서는 각 위치별 수평온도분포가 21~21.5°C로서 간헐공조조건인 1차 난방온도조건 20~21°C보다 0.5~1°C 높게 나타나 배구경기 종료시까지 수평온도가 21~21.5°C로 유지되는 것을 확인할 수 있었다.



<그림 10> 동계 객실별 온도

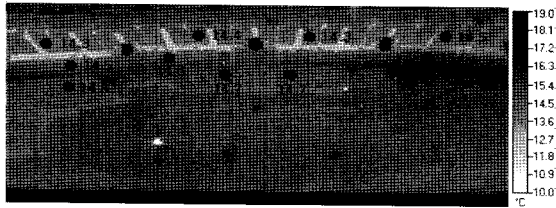
<그림 11> 하계 객실별 온도

### 3.4.2 하계 수평온도분포

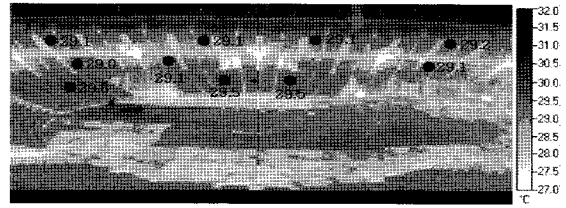
하계시 1층 객실 1.1m 높이의 수평온도는 <그림 9>에 나타내었다. 비냉방조건에서는 수평온도가 비

슷한 양상을 보이고 있으며, 간헐냉방조건에서는 B1 지점을 제외하고는 수평온도의 차이가 크지 않는 것으로 나타났다. 인체부하를 고려한 냉방조건에서는

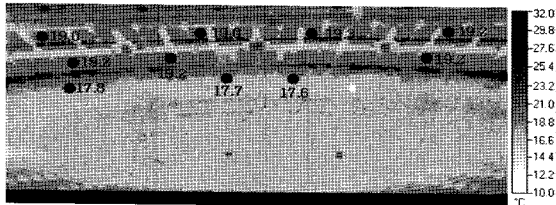




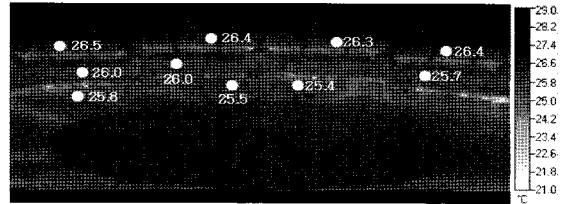
(a) 비난방 - 16시



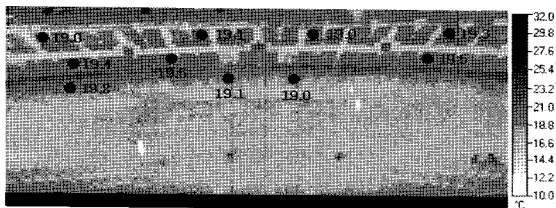
(a) 비냉방 - 16시



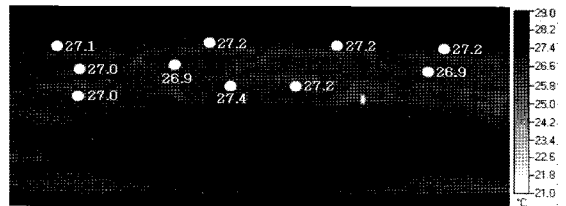
(b) 간헐난방 - 11시 (난방 on)



(b) 간헐냉방 - 11시 (냉방on)



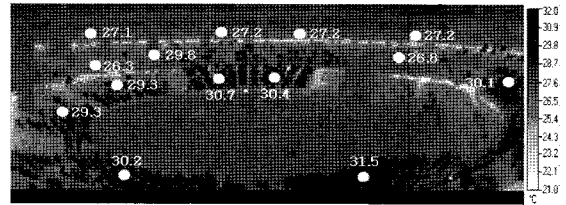
(c) 간헐난방 - 11시 50분 (난방 off)



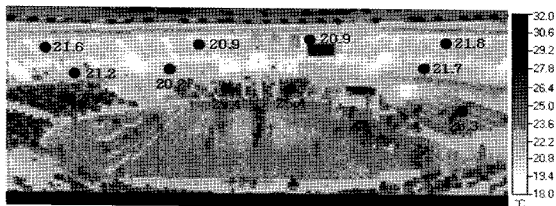
(c) 간헐냉방 12시 (냉방off)



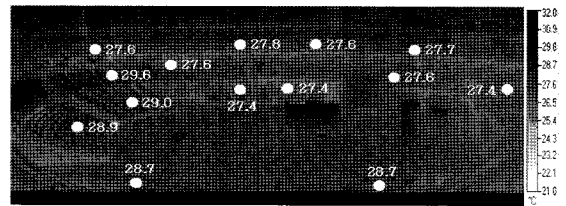
(d) 난방 - 12시 난방 off



(d) 냉방 14시 (냉방on, 고등학교축제)



(e) 난방 - 14시 (배구경기시작)



(e) 냉방 18시 (냉방off, 고등학교축제 종료)

<그림 12> 동계 표면온도분포

<그림 13> 하계 표면온도분포

수평온도의 차이에 대한 변화가 발생하였으며, 10시~17시까지 지속적인 냉방에도 불구하고 고등학교 축제가 진행되고 있는 12시~18시에서는 학생들의 공연 및 학부모들의 입시설명회로 인한 인체발열에 의해 수평온도가 서서히 상승하는 것으로 나타났다.

### 3.5 객석온도분포 분석

#### 3.5.1 동계 객석온도분포

<그림 10>에서 보는 바와 같이 비난방조건 및 간헐

난방조건에서는 가변형 객석과 1층 객석, 2층객석 모두 비슷한 온도분포를 나타내고 있으며, 인체부하를 고려한 난방조건에서는 난방가동 중 2층 객석, 1층 객석, 가변형 객석 순으로 온도가 높게 나타났으나, 난방 종료 후 배구경기가 진행된 14시~ 18시의 객석별 온도 분포비교에서는 가변형 객석과 1층 객석, 2층 객석 모두 비슷한 온도분포를 나타내었다. 경기가 종료된 18시까지 각 객석별 온도가 22℃ 전후로 유지되는 것은 관람객의 인체발열에 의해 나타난 것으로 판단된다.

### 3.5.2 하계 객석온도분포

<그림 11>는 하계 객석별 온도분포를 나타내고 있다. 비냉방조건에서는 2층 객석이 가변형 객석, 1층 객석보다 온도가 다소 높게 나타났으나, 그 차이는 작은 것으로 나타났다. 간헐냉방조건의 경우, 가변형 객석의 온도가 1층 객석, 2층 객석보다 0.3~0.7℃ 낮게 나타난 것은 밀도가 큰 저온의 취출기류가 하부로 이동하여 나타난 것으로 판단된다. 인체부하를 고려한 냉방조건에서는 냉방이 지속적으로 가동된 10시~17시의 경우, 가변형 객석의 온도가 12시~16시에 급격하게 상승하였다. 이것은 고등학교 축제에서 학생들의 공연에 의하여 발생하는 인체발열로 인해 온도상승이 나타난 것으로 판단된다.

## 3.6 표면온도분포 분석

### 3.6.1 동계 표면온도분포

<그림 12>는 동계 표면온도분포를 나타내고 있다. 비난방조건에서 객석의 표면온도는 14.3~15.6℃로 비슷한 온도분포를 나타내고 있으며, 간헐난방조건에서 난방을 가동한 후 2시간이 경과된 11시의 가변형 객석표면온도는 17.6~17.8℃로 나타나, 난방을 중단한 후 50분 경과된 11시 50분의 경우보다 1.4℃가 높아 난방이 중단된 가변형 객석의 표면온도차가 경감되는 것으로 나타났다. 인체부하를 고려한 난방조건에서 난방이 시작되어 종료된 12시의 객석표면온도는 23.4~24.6℃로 나타났으며, 배구경기가 진행된 14시에서 관람객이 착석해 있는 가변형 객석 및 1층 객석은 관람객이 비어 있는 객석보다 3.5~6.3℃ 높게 나타나 관람객의 인체부하에 의한 영향으로 표면온도가 상승한 것으로 판단된다.

### 3.6.2 하계 표면온도분포

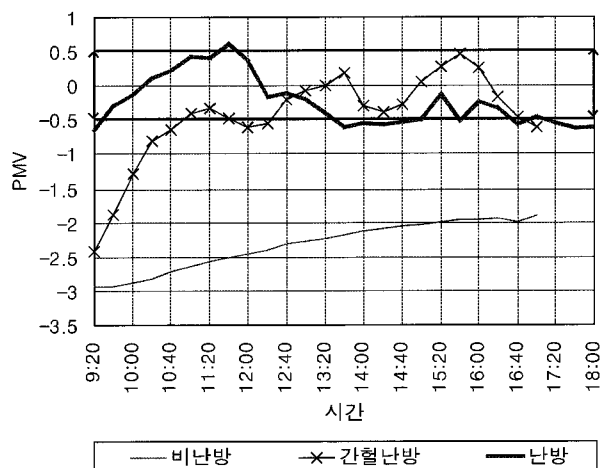
<그림 13>은 하계 표면온도분포를 나타내고 있다. 비냉방조건에서는 객석표면온도가 29.0~29.6℃로 나타나 균일한 표면온도가 나타났으며, 간헐냉방조건의 경우, 1차 냉방이 중단된 12시에서는 26.6~27.4℃의 표면온도로 1차 냉방이 가동된 11시보다 0.4~2.0℃ 정도 높게 나타났다. 인체부하를 고려한 냉방조건의 경우, 고등학교 축제가 진행된 14시에서 학생들이

착석해 있는 가변형 객석은 학생들이 비어 있는 객석보다 표면온도가 2.1~5.2℃ 높게 나타났으며, 고등학교 축제가 종료된 후 학생들이 착석하고 일어난 객석의 표면온도는 학생들이 착석하지 않은 객석보다 0.9~1.6℃ 높게 나타났다. 이것은 학생들의 인체발열로 인하여 객석의 표면온도가 상승한 것으로 판단된다.

## 3.7 실내온열쾌적성 검토

### 3.7.1 동계 실내온도쾌적성

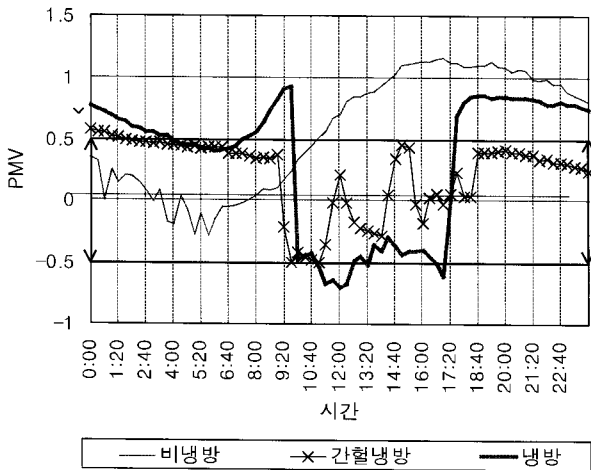
<그림 14>에서 보는 바와 같이 비난방조건에서의 PMV는 -1.89 ~ -2.99로서 저온으로 인한 불쾌적감을 나타내었으나, 간헐난방조건에서 난방개시후 2시간이 경과한 11시 이후에는 PMV가 ISO-7730 쾌적기준인 -0.5 ~ +0.5에 만족하였다. 인체부하를 고려한 난방조건에서는 난방이 종료된 이후부터는 PMV값이 급격히 떨어졌으며, 2경기가 진행된 배구경기의 시작과 종료에 따른 관람객의 이동으로 인해 PMV값은 다소 변화하는 양상을 나타내고 있으나 배구경기가 진행되고 있는 15시~17시까지의 PMV값이 -0.46 ~ -0.12로 나타나 ISO-7730 쾌적기준을 만족하여 실내온열환경을 유지하는 것으로 나타났다.



<그림 14> 동계 PMV

### 3.7.2 하계 실내온도쾌적성

<그림 15>는 하계 PMV를 나타내고 있다. 비냉방조건에서는 외기온도의 영향으로 상승한 실내온도와 연동되어 11시 이후에는 PMV가 0.52~1.16으로서 고온으로 인



〈그림 15〉 하계 PMV

한 불쾌적감이 나타났다. 간헐냉방조건에서는 시간대별로 설정된 냉방조건에 따라 PMV가 변화하였으며, 새벽 시간대를 제외하고는 PMV가 ISO-7730 쾌적기준을 만족하였다. 인체부하를 고려한 냉방조건에서는 지속적인 냉방과 기류유인팬의 작동으로 인해 PMV는 급격하게 떨어지지만, 행사가 진행되고 있는 12시 40분~16시에서는 습도가 53.1~59.2%, 기류가 0.43~0.86%으로서 PMV는 -0.35 ~ -0.49로 나타나 ISO-7730 쾌적기준을 만족하여 실내온열환경을 유지하는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

이에 본 연구에서는 기존 대공간의 실내환경에서 발생할 수 있는 문제점 및 대공간의 온열환경을 예측하기 위하여 동계 및 하계로 구분하여 실내온열환경 변화를 실측을 통해 확인하고, 측정결과를 바탕으로 실내수직 및 수평온도분포, 객석온도분포, 실내표면온도분포, 환기량, 실내온열쾌적성 등을 분석하여 대공간의 실내온열환경을 검토하였다.

(1) 수직온도분포를 분석한 결과, 동계의 경우 간헐난방조건 및 인체부하를 고려한 난방조건에서 아레나의 상하온도차는 약 6℃ 전후로 비교적 크게 나타났으며, 1층 객석과 2층 객석에서는 상대적으로 낮은 층고의 영향으로 수직온도차가 크게 줄어들었다. 인체부하를 고려한 난방조건에서 난방이 종료된 이후 완화된 온도성층이 경기종료시까지 유지되는 것은 배구경기 관람객의 인체발열에 의한 것으로 판

단된다. 하계시의 경우 밀도가 큰 저온의 취출기류가 하부로 이동하여 각 위치별 하부공간에서는 24.5℃의 실내온도를 유지하였으나 천장의 상부공간에서는 상승된 고온의 공기가 축적되어 온도성층이 형성되었다. 상부공간에 형성된 고열의 온도성층은 상층부에 배기팬을 설치함으로써 고열의 공기가 거주영역까지 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

- (2) 수평온도분포를 분석한 결과, 동계시 배구경기가 진행되고 있는 14시~18시에서는 각 위치별 수평온도분포가 21~21.5℃로서 간헐공조조건의 1차 난방온도조건 20~21℃보다 0.5~1℃ 높게 나타나 배구경기 종료시까지 수평온도가 21~21.5℃로 유지되는 것은 배구경기 관람객의 인체발열에 의해 작용한 것으로 판단된다. 하계시 인체부하를 고려한 냉방조건에서는 10시~17시까지 지속적인 냉방에도 불구하고 고등학교 축제가 진행되고 있는 12시~18시에서는 학생들의 공연 및 학부모들의 입시설명회로 인한 인체발열의 영향으로 수평온도가 상승한 것으로 판단된다.
- (3) 객석온도분포를 분석한 결과, 동계시 난방조건에서는 배구경기가 시작되어 종료된 14시~18시에서 각 객석별 온도가 22℃ 전후로 유지되는 것은 관람객의 인체발열에 의해 나타난 것으로 판단된다. 하계시 인체부하를 고려한 냉방조건에서는 냉방이 가동되고 있는 동안 가변형 객석의 온도가 12시~16시에 급격하게 상승한 것은 고등학교 축제에서 학생들의 공연에 의하여 발생하는 인체발열로 인해 온도상승이 나타난 것으로 판단된다.
- (4) 실내표면온도분포를 분석한 결과, 동계 및 하계시 모두 객석의 착석 유·무에 따라 표면온도가 달라지는 것으로 나타났다. 이는 인체발열이 실내온도변화에 영향을 미치는 것으로 파악되었다.
- (5) 실내온열쾌적성 검토결과, 동계시 인체부하를 고려한 난방조건에서 난방이 종료된 이후 15시~17시까지 PMV값이 -0.46 ~ -0.12로 나타나 ISO-7730 쾌적기준을 만족하는 것은 경기진행중 재실자의

인체발열에 의한 것으로 판단된다. 하계시 인체부하를 고려한 냉방조건에서 행사가 진행되고 있는 12시 40분~16시 20분에서는 습도가 53.1~59.2%, 기류가 0.43~0.86%으로서 PMV는 -0.35 ~ -0.49로 나타나 ISO-7730 쾌적기준을 만족하여 실내온열환경을 유지하는 것으로 나타났다.

### 감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(과제번호#06 R&D B03)에 의해 수행되었습니다. 또한 실측실험을 수행함에 있어서 많은 협조와 도움을 주신 국민체육진흥공단 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 이상욱, "대공간 공조, 환기 설비 사례 및 분석에 관한 연구", 쌍용건설기술연구소, 가을호 V.40 2006, pp.54~59
2. 김두성 외, "대공간 열환경 검토 사례", 설비저널 제30권 제4호, 2001, pp.25~32
3. 최동호 외, "대규모 실내경기장의 동계 온열환경 특성 실측조사", 한국공간구조학회지, 제7권 제3호, 2007, pp.67~77
4. 석호태 외, "인체부하를 고려한 대규모 실내경기장의 동계 온열환경 특성 실측조사", 한국공간구조학회지, 제7권 제 3호, 2007, pp.97~107
5. 井啓明, 外 3名, "東京ドームの設備計画と実施(その2)空気設備", 空気調和・衛生工学, 第64巻 第4号, 1990.01, pp.60~70
6. 村上周三 外 2名, "大規模屋内体育館の温熱空気環境に関する実測調査 東京体育館における 暖房時の結果", 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 1990, pp.1293~1296
7. 中原利之 編集委員会, "ドームの建築, ドーム建築の事例", 空気調和・衛生工学 第73巻 第10号, pp.11-51
8. 川瀬貴晴 외 3명, "さいたまスーパーアリーナの空気調和・衛生設備", 空気調和・衛生工学 第77巻 第10号, pp.19-25
9. 大黒雅之 外 7名, "空間形状が変化する大空間観覧場における空調方式に関する研究, 第1報 冬期における暖房実測", 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 2000, pp.1465~1467
10. 原広司 외 5명, "札幌ドームの熱環境計画と実施", 空気調和・衛生工学 第78巻 第10号, pp.47-54
11. 大高一博, "ドーム建築の空調設備, ドーム型スポーツホールと居住域空調", 空気調和・衛生工学 第73巻 第10号, pp.1-6
12. ISO-7730, Moderate thermal environments-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, 1984