

# 실측을 통한 대규모 실내경기장의 온열환경 분석에 관한 연구

채 문 병<sup>\*†</sup>, 양 정 훈<sup>\*\*</sup>, 최 동 호<sup>\*\*\*</sup>, 석 호 태<sup>\*\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>영남대학교 건축공학과 석사과정, <sup>\*\*</sup>영남대학교 건축학부 전임강사, <sup>\*\*\*</sup>대구가톨릭대학교 건축학과 교수,  
<sup>\*\*\*\*</sup>영남대학교 건축학부 부교수

## A Study on the Analysis of Indoor Thermal Environment in Large Enclosure through Actual Measurement

Mun-Byoung Chae<sup>\*†</sup>, Jeong-Hoon Yang<sup>\*\*</sup>, Dong-Ho Choi<sup>\*\*\*</sup>, Ho-Tae Seok<sup>\*\*\*\*</sup>

**ABSTRACT:** The purpose of this study is to grasp the characteristic of indoor thermal environment from large enclosures in connection with heating and cooling condition. This study has measured indoor thermal environment in winter and summer season. We examined indoor thermal environment of the large enclosures in this study which include vertical, horizontal temperature distribution and thermal comfort environment.

**Key words:** Large enclosures(대공간), Thermal stratification(온도성층), Vertical temperature distribution(수직온도분포), PMV(예상평균온열감)

### 1. 서 론

최근 국제공항, 스포츠시설, 아트리움, 컨벤션 센터 등 대공간 건축물이 증가하고 있으며, 지방 자치단체에서도 대표적인 랜드마크 및 수익사업에 대한 관심이 확대되면서 인기스포츠, 이벤트 및 집회 등의 사용목적에 대응할 수 있는 돔경기장 유치에 대한 논의가 이루어지고 있다

일반적으로 대공간은 천장이 높고 실용적이 크며 거주역이 전체 용적에 비해 작거나 경량화 된 외피가 외기에 직접 노출되어 실내외 열이동이 빈번하게 일어나는 특성을 가지고 있다. 또한 일반 건물과 달리 실내환경에 대한 요구 조건과 사용목적에 따른 인원수 및 거주역 등이 다양하게 변화하게 된다. 따라서 실내공간의 온열쾌적성 확보에 어려움이 있으며 실내환경제어의 문제점

으로 지적되고 있다. 이에 본 연구에서는 실험적인 방법으로 대공간의 온열환경을 예측하기 위하여 대규모 실내경기장을 측정대상 건물로 선정하여 동계 및 하계로 구분하여 실내온열환경 변화를 실측을 통해 확인하고, 실내수직 및 수평온도 분포, 실내온열쾌적성 등의 측정결과를 분석하여 대공간의 실내온열환경을 검토하고자 한다.

### 2. 실내온열환경 측정

#### 2.1 측정대상 건물 개요

측정대상 건물은 서울 올림픽 체육공원 내에 위치한 실내경기장으로, 건물개요는 Table 1 과 같다. 관중석은 가변형 객석(1,635석)과 1, 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 공

† Corresponding author  
Tel.: +82-53-810-3675; fax: +82-53-810-4625  
E-mail address: kazuya76@ynu.ac.kr

급되는 열원은 지하공동구를 통해 측정대상 건물 내의 공조기로 공급된다. 공조시스템은 각 존별로 냉난방용 1대와 환기용 1대가 각각 설치되어 아래나 벽면취출 및 2층 객석 바닥취출방식으로 냉·난방이 이루어진다. 본 측정에서는 동계 및 하계로 나누어 측정하였으며, 측정공간의 대칭성을 고려하여 전체면적의 1/2을 측정대상영역으로 선정하여 측정하였다.

## 2.2 측정범위 및 측정방법

대공간의 온열환경을 평가하기 위하여 동계 및 하계로 구분하여 비공조조건, 간헐공조조건, 공조조건(인체부하고려)으로 나누어 측정을 실시하였다. Table 2 와 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 공조를 하여 측정을 실시하였다. 실내전체면적의 반원면적을 측정면적으로 선택하여 Fig. 1 과 같이 중앙을 기준으로 하여 등간격으로 측정지점을 선정하였다.

외부기상의 측정은 기상스테이션을 설치하여 온도, 습도, 일사량 등의 데이터를 실시간으로 저장하였다. 급·배기구의 온도 및 습도는 SK-sato를 이용하여 10초 간격으로 저장하였으며, 급·배기구의 풍속은 열선풍속계를 사용하여 측정하였다. 수직 온도는 V2~V5지점 모두 3 m 높이까지는 0.5 m

간격으로, 3 m 이상의 높이에서는 1.5 m 간격으로 온도센서를 설치하였으며, 수평온도는 A1~A7, B1~B7, C1~C7 지점에 객석바닥을 기준으로 0.1 m와 1.1 m에 온도센서를 설치하여 Monitoring Device를 통해 10초마다 저장하였다.

Table 1 Summary of measuring building

Completion	1986. 4
Scale	B1F, 3F (diameter : 97 m, height : 22.35 m)
Structure	Reinforced concrete
Roof structure	Cable
Building area	8,658 m <sup>2</sup>
Floor area	16,358 m <sup>2</sup>

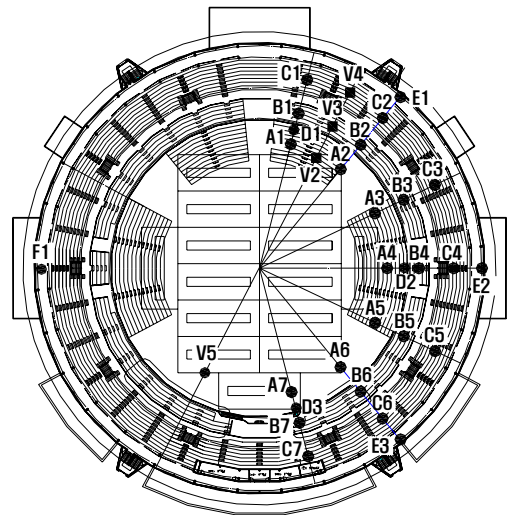


Fig. 1 Measuring point of building

Table 2 Measuring schedule and condition

Division	Measuring schedule		Measuring condition		
	Non heating condition	2007. 2. 7.	Heating off		
Winter season	Intermittent heating condition	2007. 2. 8.	1th	09:00~11:00	Heating on (20℃)
				11:00~11:50	Heating off (21℃)
			2th	11:50~13:30	Heating on (21℃)
				13:30~14:00	Heating off (24℃)
			3th	14:00~15:30	Heating on (21℃)
15:30~	Heating off (24℃)				
	Heating condition (With heat loads from occupant)	2007. 2. 24.	08:00~12:00	Heating on	
			14:00~18:00	Volleyball game	
Summer season	Non cooling condition	2007. 8. 24.	cooling off		
	Intermittent cooling condition	2007. 8. 22	1th	09:00~11:00	Cooling on
				11:00~12:00	Cooling off
			2th	12:00~14:00	Cooling on
				14:00~15:00	Cooling off
			3th	15:00~17:00	Cooling on
				17:00~	Cooling off
Cooling condition (With heat loads from occupant)	2007. 8. 25	10:00~17:00	Cooling on		
		12:00~18:00	High school festival		

Table 3 Measuring contents and equipments

Measuring Items	Measuring points		Measuring equipment
Atmospheric phenomena	Outdoor of measuring building		1 DAVIS/sechang Instrument
Temperature & Humidity	Air supplying opening	D1, D2, D3 C2, C4, C6	6 SK-sato/KEIRYOKI
	Exhaust opening	E1, E3	2
Wind velocity	Air supplying opening	D1, D3 C2, C4, C6	5 Hotwire Anemometer /8570
	Exhaust opening	E1, E3	2
Vertical temperature	V2~V5		76 SOAM-TLS Monitoring Device(TLS)
Horizontal temperature	0.1m	A1~A7 B1~B7 C1~C7	42
	1.1m		
Indoor surface temperature	F1		1 THERMO TRACER/ THE104R
Seat Wind velocity	1F seats	B1~B7	7 Hotwire Anemometer /8570
	2F seats	C1~C7	7
Globe temperature	1F seats	B2, B4, B6	3 SOAM-TLS Monitoring Device
	2F seats	C2, C4, C6	3
PMV (Predicted Mean Vote)	B4		1 Hermal Comfort Meter /AM-101

객석의 풍속은 열선풍속계를 사용하여 5초 단위로 12회 측정하여 평균값을 측정치로 하였으며, 흑구온도는 흑구안에 센서를 설치하여 10초마다 저장하였다. PMV는 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.

Table 3은 측정항목 및 측정장비를 나타내고 있다.

### 3. 측정결과 및 분석

#### 3.1 수직온도분포 분석

##### 3.1.1 동계 수직온도분포

Fig. 2 (a)에서 보는바와 같이 비난방조건의 실내온도는 일출직후에 각 위치 및 높이에 관계없이 균등한 온도분포를 보이며 하루중 최저 실내온도를 나타내었으며, 16시 전후로는 외기온도의 영향으로 하루중 최고 실내온도를 나타내었다. 비난방 조건에서 아래나 바닥상부 9 m 높이를 기준으로 상부공간에서는 하부공간에 비해 수직온도가 상승한 것은 천정 조명부하 및 시간대별 일사량의 차이에 의한 것으로 판단된다.

간헐난방조건에서는 시간대별로 설정된 난방조

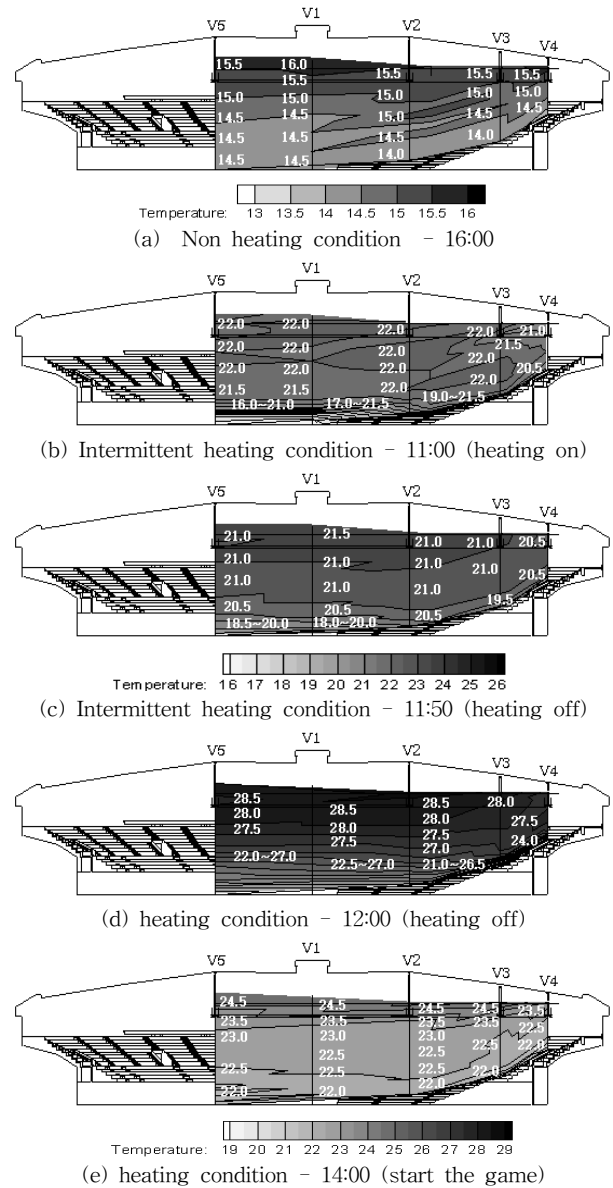


Fig. 2 Vertical temperature in winter season

건에 따라 온도성층 및 형성범위의 차이가 발생하였다. 난방이 가동되기 전에는 높이별 수직온도가 균등하게 나타났으며, 난방을 가동한 후 2시간이 경과된 Fig. 2 (b)의 경우, 아래나의 상하온도차는 6℃로 비교적 크게 나타났으나, 1층 객석 및 2층 객석에서는 상대적으로 낮은 층고의 영향으로 3℃의 상하온도차가 나타났다. 이는 부력에 의해 상승한 고온의 취출기류가 상부공간에 위치함에 따라 저온의 공기는 하부공간으로 이동하여 공기층이 나타난 것으로 판단된다. 난방공급을 중단한 후 50분이 경과된 Fig. 2 (c)의 경우, 약 3.5℃의 상하온도차가 나타남으로써 난방이

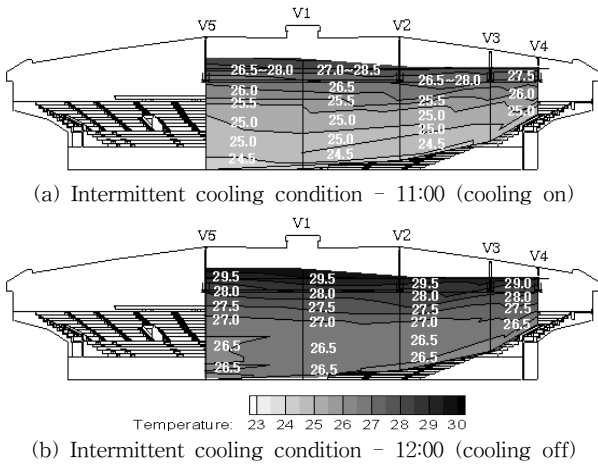


Fig. 3 Vertical temperature in summer season

공급된 11시에 비해 전반적으로 상하온도차가 줄어들었다. 난방조건(인체부하고려)의 경우 난방이 가동중인 Fig. 2 (d) 에서는 각 위치별 수직온도차가 6~7.5°C로서 급속한 온도상승과 공기층이 발생하였으며, 난방종료 후 2시간이 경과된 Fig. 2 (e)에서는 배구경기가 시작되면서 수직온도차가 1.5~2.5°C로 나타나 난방중 생성된 온도성층이 서서히 완화되었다. 완화된 공기층은 거주영역에서 20~22.5°C의 실내온도로 경기종료시까지 유지되었으나, 경기종료후부터는 급격한 실온강하가 발생하였다. 이는 간헐공조조건에서의 1차 난방설정온도 20~21°C를 유지하고 있으므로 배구경기 관람객의 인체발열이 실온을 유지하는데 작용한 것으로 판단되며, 경기종료후 출입구의 개폐에 의해 인체발열이 제거되면서 실내 열에너지가 실외 저온공기와 에너지 교환이 발생되면서 기인된 결과로 판단된다.

### 3.1.2 하계 수직온도분포

하계측정은 비냉방 및 냉방(인체부하고려)조건에서의 데이터 오류 및 손실로 인하여 간헐냉방조건에 대해서만 수직온도분포를 분석하였다. 1차 냉방이 가동된 9시~11시에서는 Fig. 2 (b)의 간헐난방과는 달리 상부에서 고열 공기층이 형성되었다. 이는 밀도가 큰 저온의 취출기류가 하부로 이동하여 각 위치별 하부공간에서는 온도가 24.5°C의 실내온도를 유지하지만 천장의 상부공간에서는 상승된 고온의 공기가 축적되어 온도성층이 형성된 것으로 판단된다. 냉방공급을 중단한 Fig. 3 (b)의 경우, 상부에 형성된 고온의 공기는 지속

적인 열전달에 의해 거주영역까지 영향을 미치게 되어 각 위치별 하부공간에서의 온도가 Fig. 3 (a)보다 약 2°C정도 높게 나타나 냉방설정온도 26°C 이상의 온도분포가 나타났다.

## 3.2 수평온도분포 분석

### 3.2.1 동계 수평온도분포

동계시 2층 객석 1.1 m 높이의 수평온도는 Fig. 4에 나타내었다. 비난방조건시 2층 객석은 관람객 출입구를 통해 기류가 유입됨으로써 위치

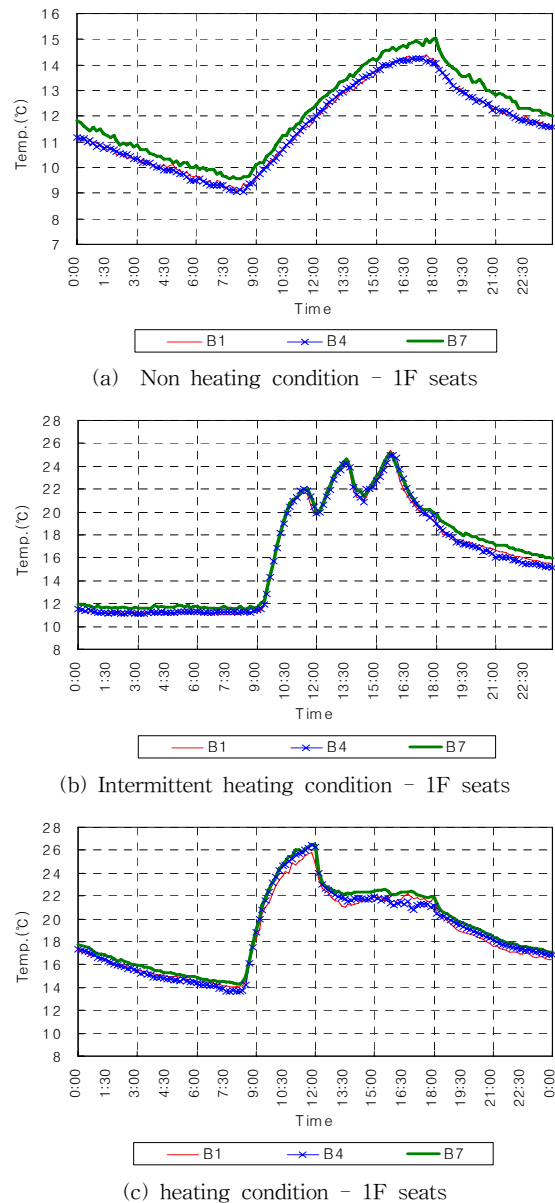
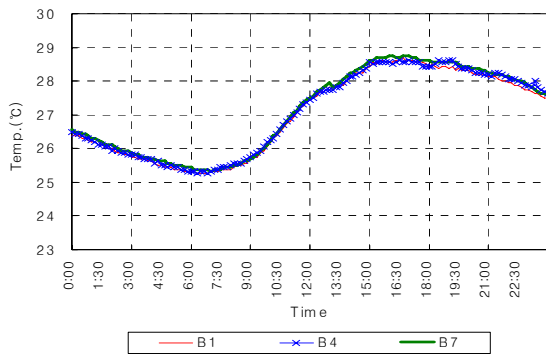
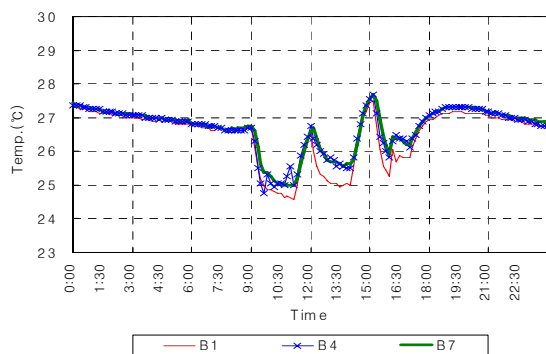


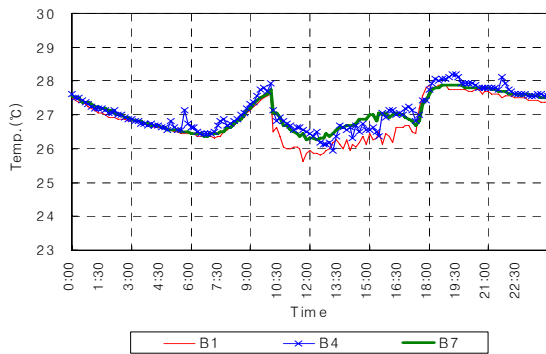
Fig. 4 Horizontal temperature in winter season



(a) Non cooling condition - 1F seats



(b) Intermittent cooling condition - 1F seats



(c) cooling condition - 1F seats

Fig. 5 Horizontal temperature in summer season

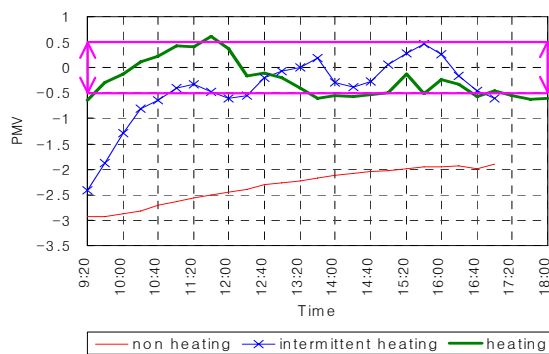


Fig. 6 PMV in Winter season

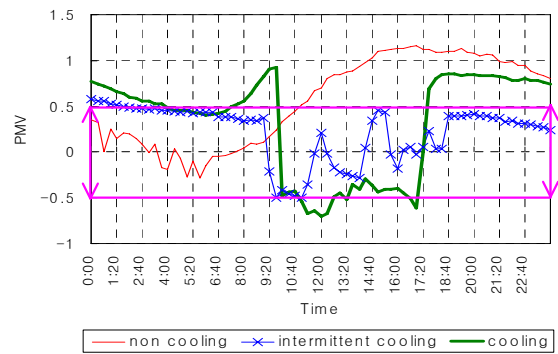


Fig. 7 PMV in Summer season

에 따라 최대 0.8°C 전후의 온도차가 나타났으며, 간헐난방조건에서 간헐난방이 진행되고 있는 9시~15시 13분까지는 수평온도의 변화가 작게 나타났다. 난방조건(인체부하고려)에서 배구경기가 진행되고 있는 13시 30분~18시에서는 각 위치별 수평온도분포가 21~21.5°C로서 간헐공조조건 1차 난방온도조건 20~21°C보다 0.5~1°C 높게 나타나 배구경기 종료시까지 수평온도가 21~21.5°C로 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.2.2 하계 수평온도분포

하계시 2층 객석 1.1 m 높이의 수평온도는 Fig. 5 에 나타내었다. 비냉방조건에서는 수평온도가 비슷한 양상을 보이고 있으며, 간헐냉방조건에서는 B1 지점을 제외하고는 수평온도의 차이가 크지 않는 것으로 나타났다. 냉방조건(인체부하고려)에서는 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

### 3.3 실내온열쾌적성

#### 3.3.1 동계 실내온열쾌적성

비난방조건에서의 PMV는 -1.89 ~ -2.99로서 저온으로 인한 불쾌적감을 나타내었으나, 간헐난방조건에서는 난방개시후 2시간이 경과한 11시 이후에는 PMV가 ISO-7730 쾌적기준인 -0.5 ~ +0.5에 만족하였다. 난방조건(인체부하고려)에서는 난방이 종료된 이후부터는 PMV값이 급격히 떨어졌

으며, 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.

### 3.3.2 하계 실내온열쾌적성

비냉방조건에서는 외기온도의 영향으로 상승한 실내온도와 연동되어 11시 이후에는 PMV가 0.52 ~ 1.16으로서 고온으로 인한 불쾌적감이 나타났다. 간헐냉방조건에서는 시간대별로 설정된 냉방조건에 따라 PMV가 변화하였으며, 새벽시간대를 제외하고는 PMV가 ISO-7730 쾌적기준을 만족하였다. 냉방조건(인체부하고려)에서는 지속적인 냉방과 기류유인팬의 작동으로 인해 PMV는 급격하게 떨어지지만, 행사가 진행되고 있는 12시 40분~16시에서는 습도가 53.1~59.2%, 기류가 0.43~0.86 %/s로서 PMV는 -0.35 ~ -0.49로 나타나 ISO-7730 쾌적기준을 만족하여 실내온열환경을 유지하는 것으로 나타났다.

## 4. 결 론

이에 본 연구에서는 실내경기장을 측정대상 건물로 선정하여 동계 및 하계로 구분하여 실내온열환경 변화를 실측을 통해 확인하고, 실내수직 및 수평온도분포, 실내온열쾌적성 등의 측정결과를 분석하여 대공간의 실내온열환경을 검토하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 수직온도분포를 분석한 결과, 동계의 경우 간헐난방조건 및 난방조건(인체부하 고려)에서 아레나의 상하온도차는 약 6℃ 전후로 비교적 크게 나타났으며, 1층 객석, 2층 객석에서는 상대적으로 낮은 층고의 영향으로 수직온도차가 크게 줄어들었다. 난방조건(인체부하고려)에서 난방이 종료된 이후 완화된 온도성층이 경기종료시까지 유지되는 것은 배구경기 관람객의 인체발열에 의한 것으로 판단된다.

하계시의 경우 밀도가 큰 저온의 취출기류가 하부로 이동하여 각 위치별 하부공간에서는 온도가 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.

(3) 수평온도분포를 분석한 결과, 동계시 배구경기가 진행되고 있는 13시 30분~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 냉방조건(인체부하고려)에서는 10시~17시까지 지속적인 냉방에도 불구하고 고등학교 축제가 진행되고 있는 12시~18시에서는 학생들의 공연 및 학부모들의 입시설명회로 인한 인체발열의 영향으로 수평온도가 상승한 것으로 판단된다.

(4) 실내온열쾌적성 검토결과, 동계난방조건(인체부하고려)에서 난방이 종료된 이후 15시~17시까지 PMV값이 -0.46 ~ -0.12로 나타나 ISO-7730 쾌적기준을 만족하는 것은 경기진행중 채실자의 인체발열에 의한 것으로 판단된다. 하계시 냉방조건(인체부하고려)에서 행사가 진행되고 있는 12시 40분~16시 20분에서는 습도가 53.1~59.2%, 기류가 0.43~0.86 %/s로서 PMV는 -0.35 ~ -0.49로 나타나 ISO-7730 쾌적기준을 만족하여 실내온열환경을 유지하는 것으로 나타났다.

## 후 기

이 연구는 건설교통부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(과제번호#06 R&D B03)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. Choi, D. H. et al., 2007, A Study on the Indoor Thermal Environment of the Large Gymnasium Space in Winter, Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol. 7, No. 3, pp. 67-77
2. Hong, J K, 2002, Equipment plan of Dome Architecture, KARSE Journal, Vol.19, pp.68-73