

대공간내 인체발열 미고려시의 하계 온열환경 조사

A Study on the Indoor Thermal Environment of the Large Enclosure Without Cooling Loads from Occupancy in Summer

정성진* 최동호** 양정훈*** 석호태****
Jeong, Seong-jin Choi, Dong-ho Yang, Jeong-hoon Seok, Ho-tae

요 약

본 연구에서는 기존 대공간의 냉방시에 발생할 수 있는 분포상의 문제점을 실측실험을 통해 확인하여, 궁극적으로는 대공간의 열환경 개선과 효율적인 냉방설계를 위한 기초데이터를 제시하고자 하였다. 본 연구에서는 인체부하 미고려시의 하계 대공간의 실내온열환경 실측실험을 실시하여 공간내 수평 및 상하온도분포특성, 취출기류의 거동특성, 실내쾌적온열환경 특성, 환기량 평가 등 대공간의 하계 실내온열환경을 포괄적으로 검토하였다.

Abstract

The purpose of this study is to provide fundamental cooling design data for the large public enclosures as gymnasium. This study executed indoor thermal environment verification of the existing gymnasium by measuring temperature distribution with cooling the space in summer. Cooling loads from human body was not considered. We examined various indoor thermal environment factors of the large enclosed space in this study which include vertical and horizontal temperature distribution, supply and return air flow feature, thermal comfort environment feature, amount of ventilation and etc.

키워드 : 대공간, 냉방 시스템, 온도성층

Keywords : Large enclosures, Cooling system, Thermal stratification

1. 서론

대공간은 실내를 인공적 기계적으로 조절하여 쾌적성을 확보하며 계절조건에 제한 없이 전천후 다목적으로 활용되기 때문에 최근 여가시간 및 집회 수요가 증가한 국내에서도 지방자치단체를 중심으로 도시 이미지 제고와 지역의 문화 공간 확충, 나아가 지역경제 활성화를 위한 하나의 방편으로 대규모 실내공간 건립의 필요성을 제기하고 있다.¹⁻⁷⁾

대공간은 실용적, 천장높이, 사용공간, 외벽면적비에서 소규모 건축물과 차별화된 특성을 지니고 있으며, 환경조절 난이도 관점에서 일반건축물과는 차별화된 실내기후조절 수법의 적용이 요구된다. 대공간의 공간용적대비 높은 외벽면적비율과 벽체

및 지붕의 상대적으로 낮은 단열·기밀성능은 외부 부하 증가로 직결될 우려가 있으며, 높은 천장고와 큰 실용적은 실내 분포상의 문제를 야기하는 원인으로 인식되고 있다.

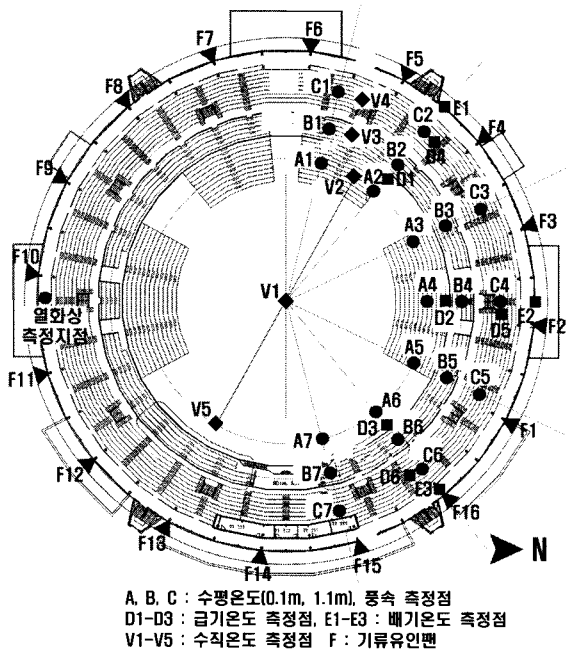
본 연구에서는 기존 대규모 실내경기장의 냉방시에 발생할 수 있는 분포상의 문제점을 실측실험을 통해 확인하여, 궁극적으로는 대공간의 열환경 개선과 효율적인 냉방설계를 위한 기초데이터를 제시하고자 하였다. 본 연구에서는 하절기 대규모 실내경기장의 공간내 수평 및 상하온도분포특성, 취출기류의 거동특성, 실내쾌적온열환경 특성, 환기량 평가 등 대공간의 실내온열환경을 포괄적으로 검토하였다.

* 학생회원, 대구가톨릭대학교 건축학과, 석사과정

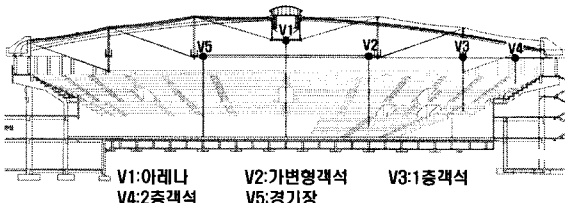
** 정회원, 대구가톨릭대학교 건축학과 교수, 공학박사

*** 정회원, 영남대학교 건축학부 전임강사, 공학박사

**** 정회원, 영남대학교 건축학부 부교수, 공학박사

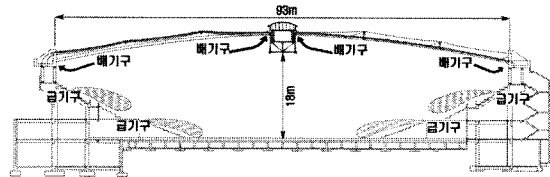


(a) 평면도



(b) 단면도

<그림 1> 실측대상 건물



<그림 2> 공조개념도(냉방)

2. 실험개요

2.1 실측대상공간

수도권 소재 체육공원 내에 위치한 실내체육관을 실측대상 건물로 선정하였다(그림 1, 2). 실측대상 건물은 1986년 준공된 지하1층, 지상3층(높이:22.4m, 직경:97m)의 철근콘크리트 구조로서 건축면적 8,658㎡, 연면적 16,358㎡ 규모이다. 1,2층 객석 5,223석, 가변형 객석 1,635석을 갖추고 있으며, 지하층은 기계실, 전기실, 1층은 경기장 아레나, 가변형 객석, 사무실, 2층은 객석, VIP실,

<표 2> 측정항목별 측정위치

측정항목	측정위치	
	온도	수직
	수평	A,B,C(42점)
	1층객석	B2,B4,B6(3점)
흑구온도	2층객석	C2,C4,C6(3점)
온습도	급기구	D1-D6(6점)
	배기구	E1,E2,E3(3점)
풍속	급기구	D1,D3(2점)
	배기구	E1,E3(2점)
	1층객석	B1-B7(7점)
	2층객석	C1-C7(7점)
PMV,MRT	B4(1점)	
환기량	아레나 중앙(1점)	
기상스테이션	대상건물 외부 (1점)	
열화상	열화상 측정점(1점)	

3층은 객석으로 배치되었다. 지붕구조는 케이블 돔 구조로서 실리콘 코팅 유리섬유로 마감되었다. 실험대상 건물의 열원설비는 공원내 중앙공급실 (Power Plant)에서 공급된 냉수를 경기장 존과 사무실 존으로 나누어 지하공동구를 통해 실험대상 건물내 공조기로 공급하고 있다. 공조시스템은 경기장 존에 냉난방용 1대와 환기용 1대, 사무실 존에 냉난방용 1대와 환기용 1대가 각각 설치되어 이들이 경기장 존(189,000Kcal)과 사무실 존(128,700Kcal)에 정풍량 방식으로 온풍을 공급한다. 실험은 공간의 대칭성을 고려하여 전체 실내면적의 1/2을 실측대상영역으로 선정하여 실측하였다.

2.2 측정항목 및 측정방법

대규모 실내경기장의 온열환경 특성을 평가하기 위하여 외부기상, 실내온도, 온열환경지표(MRT, PMV), 풍속, 기류가시화, 환기량을 측정하였다. 또한 체육관 외부에는 외부기상 계측을 위한 풍향풍속계, 일사량계, 상대습도계 등의 기상계측 장비를 설치하여 시시각각 변화하는 외부기상 데이터를 실시간으로 파악할 수 있도록 하였다(표 2). 측정점은 계측대상영역을 7등분하여 각 영역의 중심에 등 간격으로 측정점을 배치하였다. 본 연구에서는 경기장 내에 다수의 Thermistor 센서를 설치하여 높

이별, 위치별 온도를 계측하였으나, 본 논문에서는 각 부분의 기준점, 기준 높이의 측정값 위주로 나타내었다. 모든 온도데이터는 Data logger를 통해 컴퓨터에 자동적으로 저장되도록 하였다. 또한 급기구, 배기구의 온도와 상대습도는 휴대형 디지털 온습도계를 해당위치에 설치하여 계측하였다.

2.3 측정조건 및 측정기간

냉방설정조건을 <표 3>에 나타내었다. 실측대상공간의 모든 출입구는 실험기간 중 항상 닫힌 상태를 유지함으로써 외기유입에 의한 영향을 최소화 하였으며, 조명부하에 의한 영향을 해소하기 위하여 실측 중에는 최소한의 실내조명만을 점등하였다. 또한 1층 객석부의 중앙지점인 B4지점을 기준점으로 설정하여 기준점온도가 1차 냉방에서 26℃ On, 25℃ Off로 설정 하였으나, 냉방이 유지되더라도 기준점의 온도가 25℃ 이하로 내려가지 않았으므로 2, 3차 냉방 공급 시에는 시간제어로 실내냉방을 설정하여 2시간 ON, 1시간 OFF로 제어하며 실험을 실시하였다.

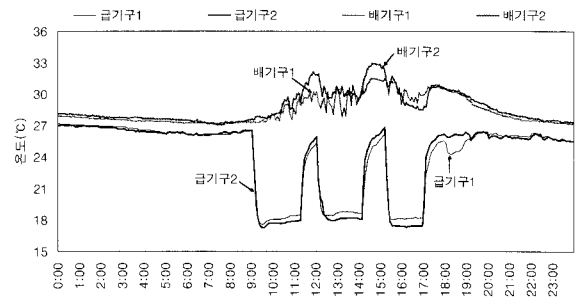
<표 3> 냉방설정조건

날짜	상세 냉방설정조건		
2007 08.22	1차	09:00-11:00	냉방 On
		11:00-12:00	냉방 Off
	2차	12:00-14:00	냉방 On
		14:00-15:00	냉방 Off
	3차	15:00-17:00	냉방 On, 기류유인팬 On
		17:00-	냉방Off

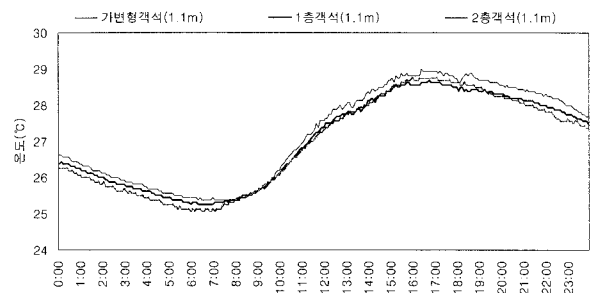
3. 실험결과 분석 및 고찰

3.1 급배기온도

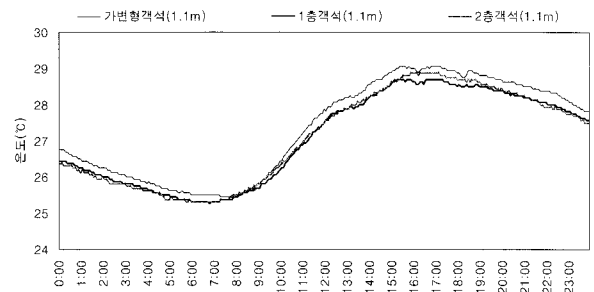
급배기온도 측정결과를 <그림 3>에 나타내었다. 실측대상건물의 열원공급은 지역내 중앙공급실에서 생산된 냉수를 지하공동구를 통해 원격지인 실측대상건물내 공조기로 공급받아 냉방하므로 공조제어의 빠른 응답성은 기대하기 어려웠다. 2개소에서 측정된 급기온도는 최저 급기온도기준 1℃ 전후의 온도차가 관측되었으며, 급기온도는 공조가동 중에는 평균 19℃ 이하의 급기온도를 유지하였다. 한편 2개



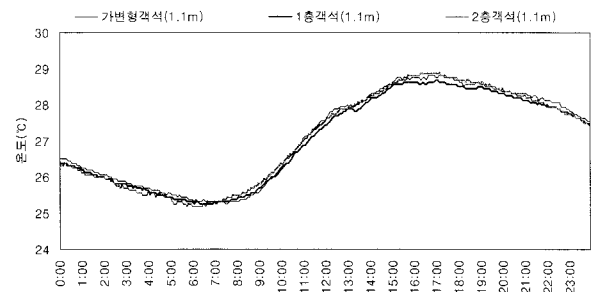
<그림 3> 급·배기온도



(a) 좌측영역



(b) 기준영역



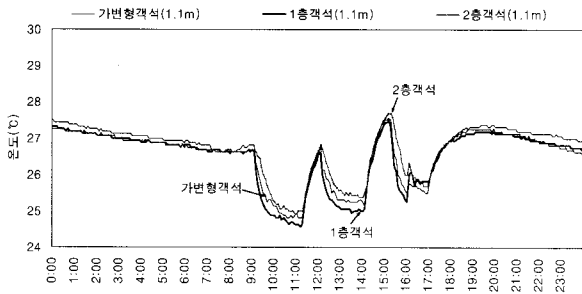
(c) 우측영역

<그림 4> 객석 위치별 온도변화추이(비냉방)

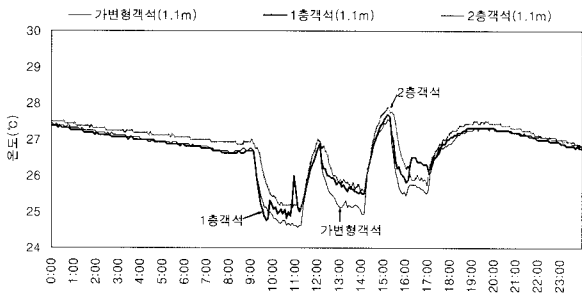
소에서 측정된 배기온도는 배기구위치에 따라 1℃ 전후의 온도차가 확인되었다.

3.2 객석높이별 온도 변화추이

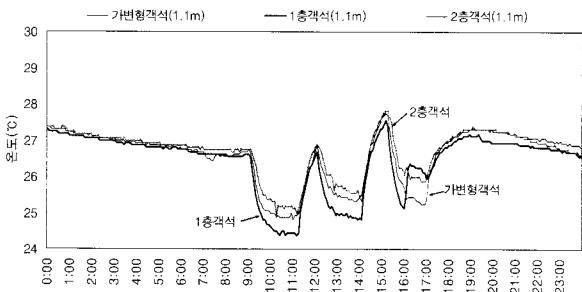
가변형객석, 1층객석, 2층객석의 높이에 따른 온도



(a) 좌측영역



(b) 기준영역

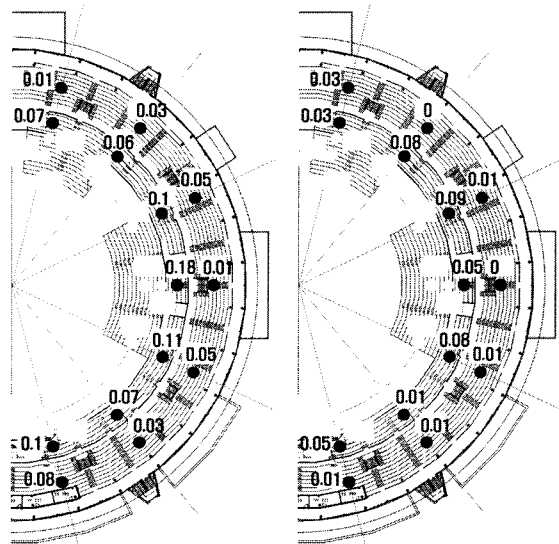


(c) 우측영역

<그림 5> 객석 위치별 온도변화추이(냉방)

변화추이를 <그림 4, 5>에 나타내었다. 비냉방시의 객석부 온도는 외기온도에 연동되어 일출직전에 일중 최저치를, 16시를 전후하여 일중 최고치를 나타내었다(<그림 4>). 비냉방시에 각 객석부 기온차이는 가변형 객석, 1층 객석, 2층 객석부 모두 0.5°C 전후의 작은 온도차만이 관측되었다. 한편 냉방시의 온도 변화추이는 비냉방시와는 상이한 양상을 나타내어 설정된 냉방운전조건에 따라 다양한 변화를 나타내었다. 냉방개시 전에는 모든 위치에서 객석부 높이에 관계없이 균일한 온도를 나타내었으나, 냉방이 개시된 9시 이후부터 냉방이 1차 공급되는 11시까지 급격한 온도변화를 관찰할 수 있었다(<그림 5>). 상대적으로 높은 위치인 2층 객

석부 기온은 가변형 객석, 1층 객석부보다 1°C 전후로 높게 관측되었다. 이는 급기구에서 취출된 저온의 취출기류가 부력에 의하여 아래나쪽으로 하강하면서 나타난 것으로 사료된다. 또한 객석 높이별 온도차는 냉방가동시가 중지시보다 크게 형성되었으며, 상부에 위치한 기류유인팬이 가동된 16시 이후부터는 온도변화 폭이 급격한 변화를 나타내었다. 이는 기류유인팬에 의하여 발생된 선회류가 도달하는 1층 객석부(B1, B3, B5)영역에서는 상대적으로 고온을 나타냄으로서 상층부의 고온의 공기가 선회류에 의하여 하층부에 도달하여 발생한 것으로 파악되었다. 기류유인팬은 거주역의 온도에 영향을 주고 있으며, 기류유인팬의 배치 및 작동조건에 따라서 다양한 결과가 나타날 것으로



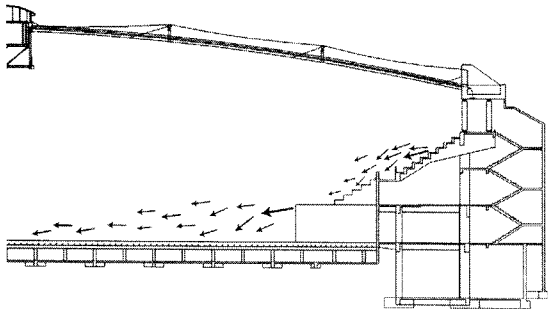
(a) 10:00시 (b) 14:00시

<그림 6> 풍속분포 (단위:m/s)

파악되었으며 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

3.3 풍속분포

경기장 내 각 위치별 풍속측정결과를 <그림 6>에 나타내었다. 냉방실험일인 8월 22일 10시와 14시의 두 차례 측정된 1, 2층 객석 풍속분포는 두 측정시점 모두 0~0.18m/s의 저풍속만이 계속되어 급기구에 의한 드래프트는 발생하지 않은 것으로 조사되었다.



<그림 7> 기류가시화 스케치(냉방)



(a) 2층객석 취출구

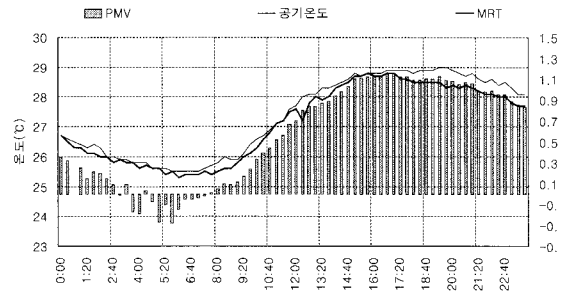


(b) 아레나 취출구

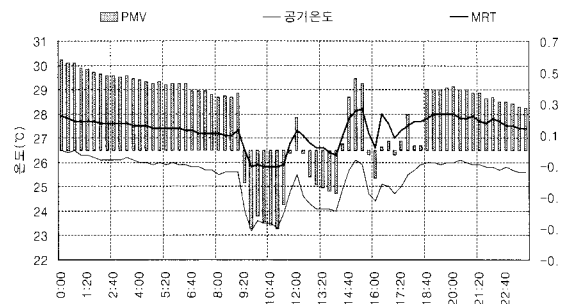
<사진 1> 기류가시화(냉방)

3.4 기류 분포

냉방시의 기류가시화 사진 및 기류스케치를 <그림 7>, <사진 1>에 나타내었다. 냉방시의 취출기류는 1층 객석 선단 급기구에서 아레나로 향해 취출된 후 급기기류의 부력에 편승하여 공간하부로 서서히 하강한 후 아레나에 근접한 위치에서 주변으로 서서히 확산되는 양상을 나타내었다. 2층 객석 급기구에서는 객석바닥부근에서 저속으로 취출된 급기기류가 서서히 하강한 후 1층 객석 상부에서 확산되는 모습을 확인할 수 있었다.



a) 비냉방 조건



b) 냉방 조건

<그림 8> 기준점의 MRT, PMV 분포

3.5 실내온열환경평가

1층 객석 기준점에서 측정된 MRT, PMV 산출결과를 <그림 8>에 나타내었다. 비냉방시의 MRT는 25.3~29°C의 값을 나타내어 실내기온과 거의 동일한 값을 나타내었으며, PMV는 11시 이후로 0.5~1.16사이에서 분포함으로서 고온으로 인한 열적 불쾌감을 나타낸 것으로 조사되었다(<그림 8(a)>). 한편, 냉방시 MRT는 전반적으로 실내기온과 유사한 분포를 나타내었으나 상대적으로 1°C~2°C 높게 나타났으며, 일부시간대에서는 기온보다 최대 2.6°C 정도 높은 것으로 조사되었다(<그림 13(b)>). PMV는 냉방개시시점인 09시 이후부터 0.46~-0.5사이의 값을 나타냄으로서 쾌적범위인 -0.5~+0.5사이의 열적중립상태를 유지한 것으로 조사되었다. MRT, PMV분포는 냉방조건에 따라 다소 변화하는 양상을 나타내었다.

4. 결론

하계 대규모 실내경기장 실측실험을 통해 냉방시와 비냉방시의 객석부 온도분포, 취출기류의 확산거동특성, 실내 온열환경과 분포상의 문제점을 파악할 수 있었다. 본 연

구를 통해 도출된 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 객석부 온도 실측데이터를 분석함으로써 객석부의 온도변화를 효과적으로 파악할 수 있었다. 냉방시 객석높이별 온도차는 낮은 곳에 위치한 아래나, 가변형 객석의 경우 상대적으로 높은 곳에 위치한 2층 객석부보다 비교적 낮은 온도분포를 나타내었다. 또한 급기구 위치보다 높은 곳에 위치한 2층 객석상부의 경우 취출기류의 직접적인 영향을 받지 못한 것으로 파악되었다.

2) 경기장 상부에 설치된 기류유인팬의 작동으로 인하여 형성된 선회류가 도달하는 영역에서는 1℃ 전후의 온도상승이 관측되었으나 선회류에 의한 객석부에 정체된 기류의 이동에 따른 열적쾌적감은 상대적으로 증가할 것으로 판단된다.

3) 실측대상 대공간의 수평온도분포를 분석한 결과 경미한 수준의 온도차를 제외하고는 주목할 만한 수평온도분포는 발생하지 않은 것으로 파악되었다.

4) 냉방시의 기류가시화 실험결과, 급기기류는 취출직 후 강한 부력에 편승하여 공간하부로 하강함으로써 하부의 거주역 온열환경조성에는 효과적으로 작용한 것으로 파악되었다.

5) 실내온열환경(MRT, PMV) 평가 결과, 냉방이 개시된 09시부터 냉방이 종료된 17시 이후까지 열적 중립온도를 유지하여 열적으로 쾌적한 것으로 조사되었다.

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. 原広司, 高井啓明, 市橋隆, 大宮由紀夫, 石尾明久, 似鳥雅則, “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, p.47~54, 2004.10
2. 川瀬貴晴, 山村真司, 市橋隆, 石尾明久, “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, p.19~25, 2003.10
3. 荒川一郎, 高井啓明, 岩田英二, 小川洋充, 高橋紀之, 樋口埤明, 佐藤稔, 松田珠由樹, “福岡ドームの空気調和・衛生設備”, 空気調和・衛生工学, 第69巻 第12号, p.37~52, 1995.12
4. 高井啓明, 松縄堅, 伊香賀俊治, 小野塚一宝, “東京ドームの設備計画と実施(その1), 空気膜構造維持設備”, 空気調和・衛生工学, 第64巻 第1号, p.53~67, 1990.01
5. 高井啓明, 松縄堅, 伊香賀俊治, 小野塚一宝, 半澤久, “東京ドームの設備計画と実施(その2), 空調設備”, 空気調和・衛生工学, 第64巻 第4号, p.59~70, 1990.04
6. 高井啓明, 伊香賀俊治, 松縄堅, 小野塚一宝, 吉田克之, 小田原健治, 山川公一郎 “東京ドームの設備計画と実施(その3), 衛生・防災関連設備”, 空気調和・衛生工学, 第64巻 第5号, p.59~68, 1990.05
7. 최동호, 정성진, 석호태, “대규모 실내경기장의 동계 온열환경 특성 실측조사” 한국공간구조학회논문집, 제7권 제3호, 2007, pp.67~77.