

일본 돔경기장의 냉난방 설비 시스템에 관한 사례연구

A Case Study on the Cooling and Heating System of Domed Stadiums in Japan

양 정 훈*
Yang, Jeong-Hoon

김 동 우**
Kim, Dong-Woo

송 두 삼***
Song, Doo-Sam

요 약

본 논문은 향후 국내 돔경기장 냉난방 시스템 설계시 고려사항에 대해 고찰하고 있다. 대공간의 실내 온열환경계획은 지속적인 연구와 풍부한 경험을 통한 관련 기술의 축적이 필요한 분야이다. 따라서 다수의 돔경기장을 보유하고 있는 일본을 중심으로 돔경기장에 도입된 최신의 냉난방 설비시스템 사례를 조사하고 요소기술의 분석을 실시하였다. 또한 연구결과는 대공간의 쾌적한 실내온열환경 조성을 위한 냉난방 시스템 계획시의 기초 자료로 활용하고자 한다.

Abstract

The purpose of this study is to make suggestions for considerable factors about planning of the cooling and heating system of domed stadiums. Planning of the thermal environment of large enclosure is needed the accumulation of the data base based on continuous research and experience. Therefore this paper shows and analyzes the typology of the cooling and heating system of Japanese domed stadiums. And the results of this study purpose a basic data for planning of the cooling and heating system to make comfortable indoor thermal environment of large enclosures.

키워드 : 대공간, 돔경기장, 냉난방 시스템, 좌석취출공조

Keywords : Large enclosures, A domed stadium, Cooling and heating system, Air-conditioning system supplying jets from seats

1. 서 론

최근 국내 지방자치단체를 중심으로 도시 이미지 제고와 지역의 문화공간 확충, 나아가 지역경제 활성화를 위한 하나의 방편으로 대규모 돔경기장의 건립에 관한 논의가 활발히 진행 중이다. 특히 몇몇 지방자치단체를 중심으로 각종 세계 스포츠대회의 유치에 적극적으로 참여함에 따라 앞으로 돔경기장의 수요가 지속적으로 발생할 것으로 판단된다. 이러한 돔경기장은 전용 스포츠공간으로서의 기능뿐만 아니라 전천후형 공간 조성과 더불어 많은 사람

들이 모이는 콘서트, 박람회, 각종 이벤트 등 집회 공간으로써의 기능이 요구되고 있다. 따라서 최근의 돔경기장은 다양한 이용형태의 변화에 적절히 대응하여 쾌적한 실내온열·공기환경을 조성할 수 있는 냉난방 설비시스템이 필요하게 되었다.

일반적으로 돔경기장은 대공간 조성을 목적으로 막구조 및 스페이스 프레임 등 경량 외피를 이용하여 자중을 최소화 하고 있다. 이러한 경량 외피는 단열능력이 매우 취약한 구조로 되어 있어 외기에 직접 노출됨에 따라 실내외간 열 교환이 빈번히 발생하게 된다. 이로 인해 돔경기장의 온열환경이 악화되고 냉난방 부하가 급증하게 된다. 또한 공간 내의 상하간 온도 구배가 크게 발생하고 거주영역이 한정되어 있어 실내 온열환경 제어에 많은 어려움을 갖고 있다. 따라서 돔경기장의 냉난방 설계를 위

* 정회원, 영남대학교 건축학부 전임강사, 공학박사

** 정회원, 영남대학교 건축공학과 석사과정

*** 교신저자, 정회원, 성균관대학교 건축공학과 조교수, 공학박사
Tel : 031-290-7551 Fax : 031-290-7570
E-mail : dssong@skku.edu

<표 1> 일본 돛경기장의 분류

구분	규모			이용형태			건물명	
	규모	연면적(㎡)	돛직경(m)	전문 스포츠	시민 스포츠	이벤트	온난지역	한랭지역
시민돛	소규모	8,000~15,000	약 100m	-	어린이 축구, 게이트볼, 테니스, 발레		-	아키타 스카이돛, 아오모리 산돛
	중규모	15,000~20,000	약 130m		농구, 배구		오사카 중앙체육관	
				-	연식야구, 어린이축구, 게이트볼, 테니스, 발레		이즈모돛, 구마모토돛, 코마츠돛, 타지마돛	쓰돛, 오다테돛
				수영장, 스케이트링크	콘서트, 전시, 박람회	나미하야돛	-	
-		연식야구, 어린이축구, 테니스, 집회	센다이돛	-				
홍행 이벤트돛	대규모	100,000이상	200m 이상	프로야구	-	콘서트, 전시, 박람회	도쿄돛, 후쿠오카돛, 오사카돛, 나고야돛	-
				축구, 육상경기		콘서트, 전시, 박람회	오이타돛	-
				경륜	-	콘서트, 전시, 박람회	마에바시 그린돛, 키타큐슈 미디어돛	-
				축구, 프로야구	-	콘서트, 전시, 박람회, 집회	-	삿포로 돛
				미식축구, 발레, 농구, 프로복싱		콘서트, 전시, 박람회, 집회	사이타마 슈퍼 아레나	-

해서는 실내온열환경에 대한 정량적이고 경험적인 관련 데이터베이스가 필요하다.

우리나라는 1988년 서울올림픽을 계기로 국제기준에 따른 돛경기장을 건설하였다. 그 이후 돛경기장 건설이 주춤하다가 2006년 광명 경륜 돛경기장의 완공을 계기로 다시 돛경기장에 대한 관심이 높아지게 되었다. 그러나 아직까지 국내의 돛경기장은 개최 가능한 행사의 종류와 그 규모면에서 선진외국의 그랜드형 돛경기장에 비하여 시설규모면이나 수적으로 매우 미흡한 실정이다. 또한 대공간의 냉난방 설계기술 축적이 열악한 실정이다. 이에 반해 다수의 돛경기장을 보유한 일본의 경우 1964년 도쿄올림픽 이후 지속적인 연구개발을 통해 대공간의 냉난방 시스템 설계 기술을 축적해 왔고, 1980년대

소규모 체육관형 돛경기장을 거쳐 현재와 같은 다양한 규모와 형태의 돛경기장을 보유하고 있다.

본 연구는 국내에 돛경기장 건설시 이용될 냉난방 설계에 대한 가이드라인의 제시를 연구의 목적으로 하고 있다. 따라서 일본의 돛경기장에 도입된 최신의 냉난방 설비시스템 사례를 조사하여 돛경기장의 쾌적한 실내온열환경 조성을 위한 냉난방 요소기술을 분석한다. 또한 향후 국내 돛경기장 설계시 고려사항에 대해 고찰하고자 한다.

2. 일본 돛경기장의 최근 경향

<표 1>에서 나타낸 바와 같이 1990년 이후 일본에 건축된 돛경기장은 시설 이용형태에 따라 시민

돛과 흥행 이벤트돛으로 구분할 수 있다. 시민돛은 주로 지역 주민들의 체육 및 레크레이션 활동과 지역 커뮤니티를 위한 집회공간으로써 이용되고 있다. 반면 흥행 이벤트돛은 야구, 축구, 육상경기 등을 위한 전문 스포츠 시설로써 이용됨과 동시에 수익성 부가사업으로 콘서트, 전시, 박람회 등 대규모 집회행사에 이용되고 있다. 또한 흥행 이벤트돛은 직경 200m 이상의 그랜드형 돛으로 대다수가 대도시에 위치하여 광역도시 단위의 체육문화시설로 이용되고 있다.

이상과 같이 최근 건설된 일본 돛경기장의 특징은 ‘공간의 대형화’, ‘행사의 다양화’, ‘공간의 가변화’로 요약할 수 있다.

2.1 공간의 대형화

1990년대 이전에 건축된 일본의 돛경기장은 대부분 실내 행사를 위한 공간으로 계획되었다. 따라서 최근에 지어진 일본의 돛경기장에 비해 그 규모가 상대적으로 작고, 수천명의 관객을 수용하며 음향 및 조명설비 등을 강화시킨 극장형 다목적 공간에 가까운 형태였다. 당시 돛경기장의 냉난방 설비시스템은 어느 정도 대공간의 공기조절 특징을 가지면서도 본질적으로는 극장형 공간의 공기조절이 중심이 되었다.

1990년 이후 오늘날까지 이어진 돛경기장의 경우 본래 옥외에서 실시하는 야구, 축구 및 각종 육상 경기 등의 야외행사를 날씨와 계절에 관계없이 연중 실내에서 실시할 수 있도록 공간을 구성하고 있다. 그 결과 공간의 규모가 매우 거대해졌으며, 이에 따라 외피가 경량화되고 열적으로 취약한 부분이 발생하게 되었다. 이와 같이 공간의 대형화에 따라 쾌적한 실내온열환경 조성의 어려움이 가중되었다.

2.2 행사의 다양화

돛경기장은 대규모 공간으로서 일반 건축물에 비하여 많은 유지관리 비용을 요한다. 따라서 안정적인 재정보호를 위하여 돛경기장의 사용률을 높이는 것이 관건이다. 최근 건설된 돛경기장은 계획단계에서부터 프로야구, 프로축구 등의 전문 스포츠 시설

로서의 기능을 확보함은 물론 콘서트, 전시회, 박람회, 집회 등의 다양한 행사를 수행할 수 있도록 계획하고 있다. 이처럼 동일 공간내에서 각기 다른 사용패턴의 행사가 개최됨에 따라 행사의 성격과 목적에 따른 가변적 냉난방 시스템이 필요하게 되었다.

2.3 공간의 가변화

돛경기장에서 개최되는 행사가 다양화 됨에 따라 이를 만족시키기 위하여 2000년 이후부터 가변형 공간 시스템을 갖춘 돛경기장이 건설되었으며, 대표적인 돛경기장으로는 사이타마 수퍼 아레나와 삿포로 돛을 들 수 있다. 공간의 가변화가 채택됨에 따라 냉난방 설비시스템의 가변화 기술을 확보하고 가변 냉난방 설비시스템의 적용에 따른 실내온열쾌적성에 대한 검토가 필요하게 되었다.

3. 일본 돛경기장의 냉난방 시스템

다음에서는 <표 1>에서 소개된 일본의 돛경기장 중 온난지역과 한랭지역의 대표적 시민돛인 오사카 중앙체육관과 삿포로 커뮤니티 돛, 흥행 이벤트 돛인 사이타마 수퍼 아레나와 삿포로 돛에 대하여 분석한다.

3.1 일본 돛경기장 냉난방 시스템 사례

3.1.1 오사카 중앙체육관

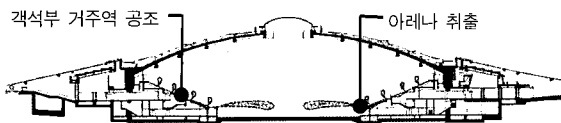
오사카 중앙체육관은 지역민의 체육활동과 일부 국제 규모의 실내 스포츠 경기까지 개최할 수 있도록 계획된 전용 체육시설이다. 이 돛경기장은 최대



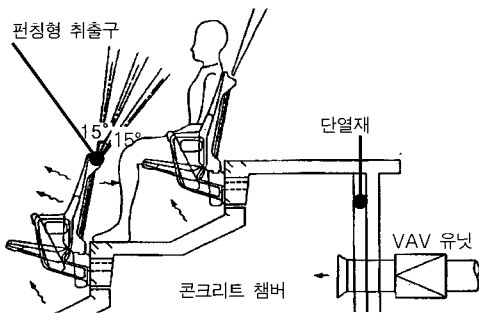
<그림 1> 오사카 중앙체육관의 외관

10,000명 정도 수용 가능한 주경기장과 보조경기장으로 구성되어 있으며, 돔경기장의 지붕부분을 흡으로 덮고 모든 시설물을 지하에 배치함으로써 단열성과 돔 주변부 미관을 향상시킨 특징이 있다. 거주역의 공조는 좌석 등반이 상부의 취출구를 통한 좌석취출방식을 채택하고 있다.

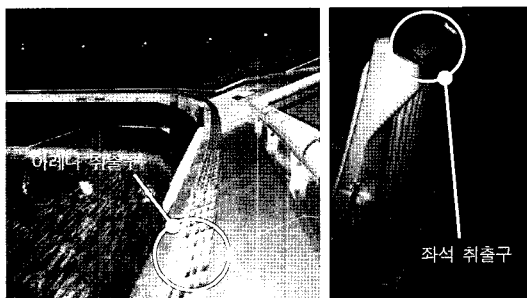
1) 좌석 등반이 상부 취출구를 통한 거주역 공조
 오사카 중앙체육관에서는 객석 바다 아래의 구조체를 취출 챔버로 하고 각 좌석의 등반이 공동부를 거쳐 등반이 상부의 편칭형 취출구를 통해 취출하는 거주역 공조 방식이 적용되었다(<그림 3> 참조). 이 방식은 등반이의 공동부를 통해 냉각 공기가 공급됨에 따라 좌석의 냉각효과를 얻을 수 있으며, 이로 인해 착석자의 열적 쾌적감을 향상시킬 수 있다. 또한 착석자 가까이에서 냉각공기를 취출함에 따라 취출구에서 취출된 1차 공기가 직접적으로 인체발열 부



<그림 2> 오사카 중앙체육관 공조 개념도



<그림 3> 좌석취출 공조 개념도



<그림 4> 아레나 취출구(좌), 좌석 취출구(우)

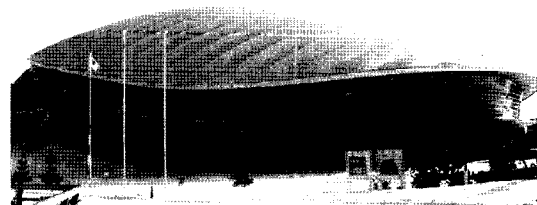
하를 제거할 수 있는 장점이 있다. 취출구는 75°의 경사각을 기준으로 개인의 성향에 따라 상하 15°씩 가변할 수 있는 시스템으로 각 개인의 성향에 대응하도록 적용되었다. 이러한 좌석공조는 최근에 주목받고 있는 퍼스널공조와 그 맥을 같이 하고 있다.

2) 공조 조닝과 부하변동에의 대응

돔경기장은 불특정 다수가 이용하는 시설물이다. 따라서 에너지 절약을 위해 간헐적 사용과 부하변동에의 대응을 위한 고려가 필요하다. 오사카 중앙체육관에서는 고정석 약 80개의 좌석을 하나의 조닝으로 전체 75분할하여 각 존마다 대표점에 설치된 서모스탯에 의해 VAV 풍량제어를 할 수 있는 시스템을 도입하였다. 또한 7대의 방재용 적외선 카메라를 응용해 각 존의 관객수를 검지해 VAV의 ON/OFF를 제어함으로써 돔경기장 객석의 수평적 부하변동에 적절히 대응할 수 있는 에너지 절약형 시스템을 채택하고 있다.

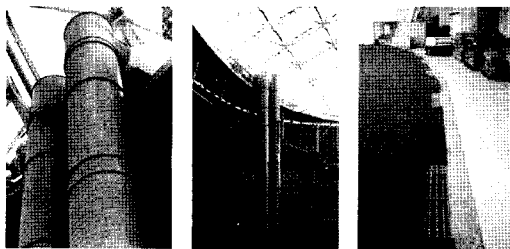
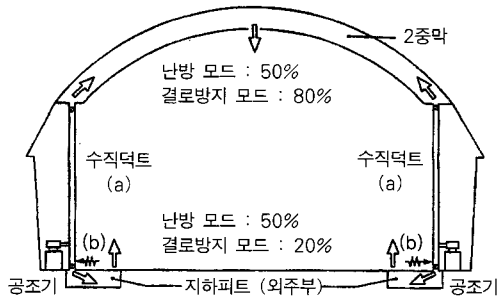
3.1.2 삿포로 커뮤니티 돔 (쓰돔)

삿포로 커뮤니티 돔은 눈이 많이 내리는 한랭지에 건설된 대표적인 시민돔으로서 날씨와 계절의 영향을 받지 않는 지역민의 체육활동을 위한 공간으로 계획되었다. 이 돔경기장은 삿포로시 히가시구에 위치하며 최대 수용인원 1,000명 규모의 객석을 갖추고 있다. 아레나 난방의 경우 2중막 지붕의 해설(解雪)을 위한 온풍 급기와 겸용하여 사용하고 있고, 객석부의 난방은 좌석취출 방식의 거주역 공조 시스템으로 계획되었다.



<그림 5> 삿포로 커뮤니티 돔의 외관

1) 막지붕 해설(解雪)과 겸용하는 아레나 난방
 삿포로 커뮤니티 돔이 위치한 삿포로 지역은 겨울철 적설량이 많은 지역이다. 따라서 적설하중의



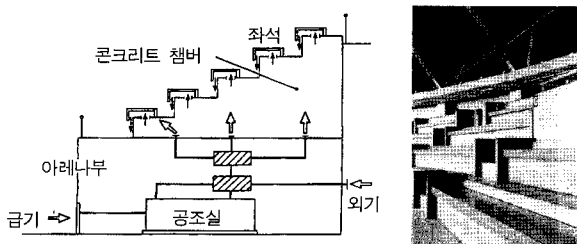
(a) 수직덕트 (b) 아레나 취출구

〈그림 6〉 삿포르 커뮤니티 돔 난방 개념도

경감과 지붕면 결로 방지를 목적으로 2중막 지붕 막사이로의 온풍 급기를 통한 해설 시스템을 갖추고 있다. <그림 6>과 같이 공조실에서 공급된 온풍은 막지붕의 말단부에 연결된 수직덕트와 아레나 바닥에 위치한 취출구로 공급되어 각 난방 모드에 따라 풍량조절이 이루어진다. 막지붕에 공급된 온풍은 해설의 역할을 수행함과 동시에 지붕면으로부터의 복사 영향을 감소시키는 역할을 하고있다. 또한 아레나 난방을 위한 취출구는 아레나 외주부를 따라 바닥에 설치되어 있으며, 난방과 동시에 외주부의 콜드 드래프트를 감소시키는 역할을 한다.

2) 좌석취출 방식의 객석 난방

삿포르 커뮤니티 돔의 주용도는 지역민의 문화·체육활동을 위한 공간으로서 소규모의 객석만 계획되었다. 따라서 주된 거주역은 아레나 부분이며, 부수적으로 객석부가 거주역으로 설정될 수 있다. 객

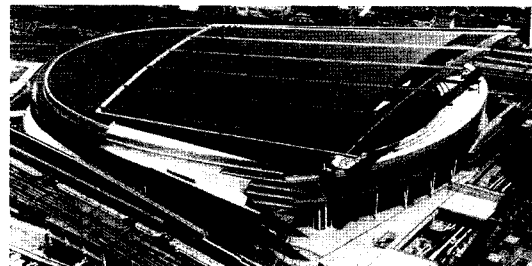


〈그림 7〉 좌석취출 개념도(좌), 객석형상(우)

석 난방의 경우는 객석부 사용시만 국부적으로 난방할 수 있는 시스템으로 전체 객석을 평면상의 편중된 위치에 배치하고 필요시 난방할 수 있는 시스템으로 계획되었다. 객석의 난방은 객석 하부의 콘크리트 챔버에 온풍이 공급되고, 목재 좌석과 스탠드 입상부 사이의 틈으로 바닥을 향해 온풍이 취출된다. 취출된 온풍은 주변 공기와의 밀도차에 의해 착석자 상반신 방향으로 상승하며 난방을 하게 된다.

3.1.3 사이타마 수퍼 아레나

사이타마 수퍼 아레나는 최대 수용인원 27,000명 규모의 다목적 돔경기장으로서 사이타마현 요노시에 위치하고 있다. 다양한 행사 내용에 대응하기 위해 약 9,000석 규모의 좌석과 화장실 등을 포함한 돔경기장의 일부분(무빙블록, Moving Block)을 수평이동하여 평면을 변화하는 특징을 가지고 있다. 이러한 평면 변화에 대응하기 위해 냉난방 설비의 분리·접합이 가능한 가변 시스템을 채택하고 있다. 또한 돔경기장에는 행사의 성격과 사용목적에 따라 적절한 냉난방을 수행할 수 있도록 3방향 취출 유닛 시스템을 도입하고 있다.



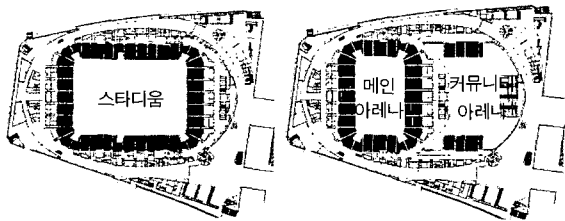
〈그림 8〉 사이타마 수퍼 아레나의 외관

1) 다양한 공조패턴

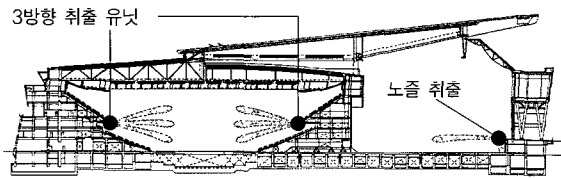
사이타마 수퍼 아레나는 다양한 이벤트에 대응하기 위해 공간 가변 시스템을 채택하고 있으며, 스타디움, 메인아레나, 커뮤니티 아레나의 3가지 공간으로 구획된다(<그림 9> 참조). 따라서 가변 공간 및 다양한 이벤트의 내용에 대응하기 위해 냉난방 시스템 또한 다양한 운전 패턴이 도입되었다.

즉 변화된 공간에 따라 총 26대의 공조기 중 가동하는 기기의 편성을 선택후 개최되는 이벤트의 성격에 맞는 공조방식으로 공조하는 시스템을 갖추고

있다. 공조방식은 3방향 취출 유닛을 이용한 정속, 성층, 선회류 취출 방식이 있다.



〈그림 9〉 사이타마 수퍼 아레나의 가변평면

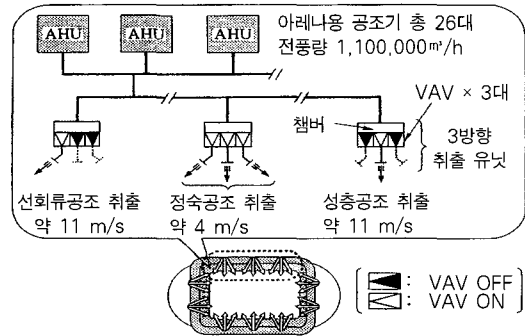


〈그림 10〉 사이타마 수퍼 아레나 공조 개념도

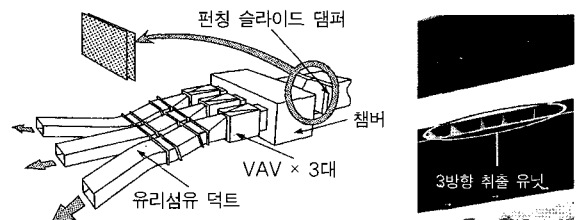
2) 3방향 취출 유닛

사이타마 수퍼 아레나의 실내공조는 3방향 취출 유닛을 이용하여 3가지의 공조방식(정속, 성층, 선회류) 중 이벤트 내용에 따라 선별하여 사용한다. 3방향 취출 유닛은 객석 2층 바닥 하부에 연속된 환형으로 설치되어 있으며, 각기 다른 취출각도(중앙을 기준으로 좌우 30°, 상하 30°)로 설정된 3개의 VAV 유닛의 개폐 조합에 따라 공조방식이 결정된다.

정속공조는 음악회 등 실내 소음 또는 기류에 민감한 행사의 경우 VAV 3대를 모두 가동하여 취출 풍량은 다른 공조방식과 유사하게 유지하는 한편 취출풍속을 낮게하여 실내의 소음과 기류 발생을 억제하며 거주역의 원활한 공조를 수행할 수 있도록 하는 방식이다. 선회류공조의 경우 VAV 1대를 하향 30°로 취출하여 냉방시 거주역에 선회기류를 발생시켜 착석자에게 기류감을 느낄 수 있도록 하는 공조방식이다. 이 공조방식은 실내 온도를 다소 높게 설정하더라도 실내 기류의 형성을 통해 동일한 온열 쾌적감을 확보할 수 있으며, 에너지 저감을 꾀하는 방식이다. 또한 성층공조는 VAV 1대의 취출구에서 고품속으로 취출하여 아레나 부분 위주의 공조 또는 공조 시작시 예열 또는 예냉 시간의 단축을 목적으로 한 공조방식이다.



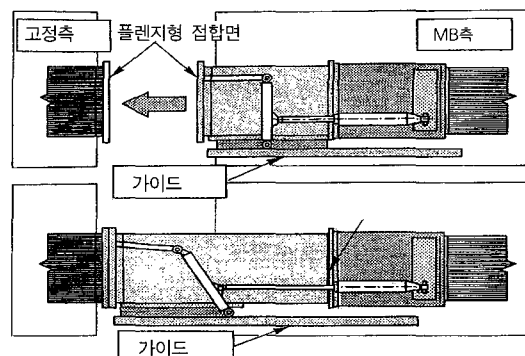
〈그림 11〉 3방향 취출 유닛에 의한 공조개념



〈그림 12〉 3방향 취출 유닛의 구조(좌), 설치모습(우)

3) 덕트분리접합 시스템

공간 가변 시스템이 채택됨에 따라 냉난방 공기 덕트 및 각종 배관에 대하여 분리접합 시스템이 도입되었다. 덕트분리접합 시스템은 무빙블록과 고정축 돔경기장 벽면 간 2, 3, 7층의 해당 개소에 덕

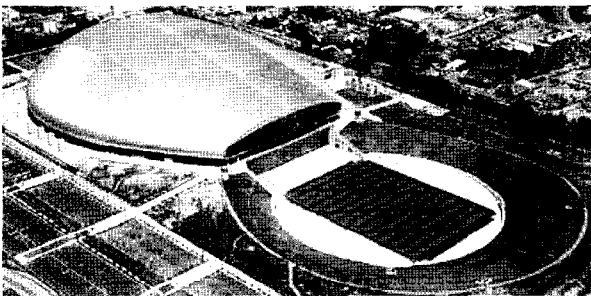


〈그림 13〉 덕트분리방법(상), 접합부 모습(하)

트 접합부를 설치하여, 무빙블록 이동전 덕트를 분리한 후 이동 후 다시 접합하는 방식이다. 덕트의 접합은 에어실린더를 이용하여 서로 압착 접합하는 방법을 채택하고 있고, 기밀성은 해당 덕트 풍량의 99.5% 이상을 확보하였다. <그림 13>은 덕트분리접합 방법과 접합부 모습을 나타낸다.

3.1.4 삿포로 돔

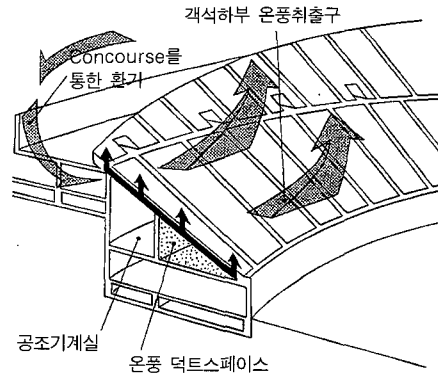
삿포로 돔은 최대 수용인원 54,000명 규모의 다목적 돛경기장으로서 홋카이도 삿포로시에 위치하고 있다. 실외와 실내의 경기장이 연결된 듀얼 경기장의 형태로 천연잔디 축구필드가 실내·외로 이동할 수 있는 특징을 가지고 있다. 실내 거주역의 공조는 객석 스탠드 입상부 슬릿을 통한 좌석취출 방식에 의해 이루어진다.



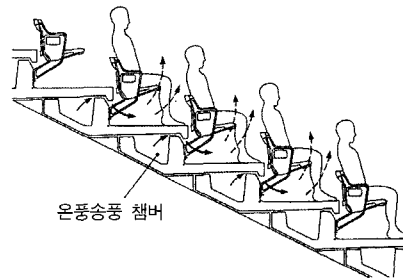
<그림 14> 삿포로 돔의 외관

1) 슬릿형 취출구를 통한 거주역 공조

삿포로 돔은 일본의 한랭지에 건설된 최초의 대규모 돛경기장으로서 겨울철 난방부하를 줄이기 위해 지면 하부에 아레나와 객석을 배치하였다. 또한 난방시 공급손실을 줄이기 위해 객석 하부에 기계실, 급기챔버를 배치하고 있다. 난방공기는 객석 하부의 콘크리트 챔버를 거쳐 객석 스탠드 입상부의 슬릿형 취출구를 통해 취출되며, 부하를 제거하고 공조 기계실로 리턴된다. 즉 삿포로 돔의 난방 시스템은 객석 스탠드 입상부의 슬릿형 취출구에서 난방 공기를 취출함에 따라 부하영역의 가장 밀접한 곳에서 부하를 제거하고 신속히 비부하영역으로 이동할 수 있는 시스템으로 구성되어 있다. 슬릿형 취출구의 시공 또한 각 좌석마다 개별의 취출구를 설



<그림 15> 삿포로 돔 난방 개념도

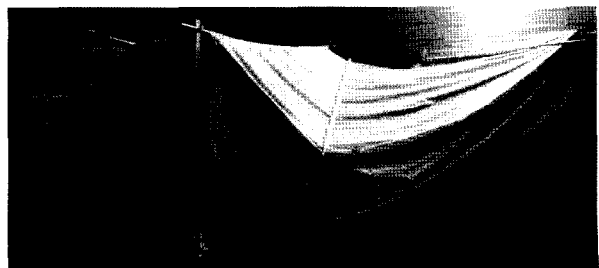


<그림 16> 좌석취출 개념도

치하는 것이 아니라, 객석 하부의 PC판 적층을 통해 연속 슬릿을 형성하여 시공성·경제성의 향상과 각 좌석취출 풍량의 균질화를 도모하였다.

2) 플렉시블(Flexible) 덕트

삿포로 돔은 크게 야구모드와 축구모드로 평면을 변환할 수 있는 가변 시스템을 도입하고 있다. 각 모드로의 변환시 가변석(개폐식, 회전식)이 돛경기장 구조체에 수납 또는 회전하여 돛경기장의 평면 형상을 변화시킨다. 이때 가변좌석의 수납·개폐 및 회전에 대응하기 위해 가변좌석부의 취출구로 연결되는 덕트는 가변 가능한 플렉시블 덕트가 적용되었다.



<그림 17> 플렉시블 덕트

3.2 일본 돛경기장 냉난방 시스템 분석

최근 일본 돛경기장은 대형화, 다목적화, 가변공간화라는 경향에 맞추어 냉난방 시스템 또한 다양한 방식이 도입되었다. 이상의 사례를 분석한 결과 다음과 같이 일본 돛경기장 냉난방 시스템의 특징을 요약할 수 있다.

3.2.1 거주역 내에 위치한 취출구 위치

돛경기장의 냉난방 시스템은 편재된 거주역의 쾌적한 온열환경 조성이 공조의 기본이 된다. 돛경기장의 거주역 공조에서는 특히 공조를 위한 취출구의 위치 선정이 관건이다.

1995년 이전 일본 돛경기장에서는 돛경기장의 거주역 공조를 위한 취출방식으로 거주역을 향한 노출취출 방식이 주류를 이루었다. 그러나 최근의 사례에서는 거주역의 부하 밀집지역에 밀착하여 취출구를 배치한 사례를 다수 찾아볼 수 있었다. 이는 과거의 경우 냉방시 콜드 드래프트 등의 문제를 고려하여 거주역 내에 취출구를 배치하는 것을 기피하였으나, 최근의 경우 취출구에서 저풍속으로 비교적 실내 설정온도에 가까운 온도로 취출하여 콜드 드래프트 등의 문제를 해결함으로써 거주역 내의 취출구 배치가 가능하게 되었다.

거주역 내에 위치한 취출구의 위치 및 형태는 <표 1>의 일본 돛경기장의 분류에서 언급한 사례 중 좌석 등받이 부분을 이용한 좌석취출방식과 객석 스탠드 입상부의 구조체를 통한 취출 방식이 가장 많았다. 좌석취출과 객석 스탠드 입상부를 통한 취출방식은 취출구까지의 덕트를 따로 마련하지 않고 객석하부 구조체 전체를 에어챔버로 사용하여 구조체의 냉각 또는 가열을 통해 간접적인 복사냉난방의 효과를 얻을 수 있는 장점이 있다.

거주역 내에 위치한 취출구의 위치는 대공간의 거주역 공조 관점에서 가장 합리적인 방법이다. 또한 부하의 근접한 곳에서 취출이 이루어지므로 냉난방 공기가 직접적으로 인체에 전달되는 장점이 있다.

3.2.2 이벤트에 따른 다양한 공조모드

돛경기장은 그 시설 규모로 인해 건축시 막대한

비용이 소요된다. 따라서 신속한 초기투자비 회수와 안정적인 운영경비 확보를 목적으로 설계 단계에서부터 다양한 이벤트를 고려하여 계획하는 것이 바람직하다. 이에 따라 돛경기장의 다양한 이벤트에 대응하는 다양한 냉난방 방식의 계획이 필요하게 된다. 이에 가장 대표적인 사례로서 사이타마 수퍼 아레나와 삿포로 돛을 들 수 있으며, 이들 돛경기장은 이벤트의 내용에 따라 거주역이 변화하고 이에 따라 공조모드를 선별하여 실내공조를 수행하고 있다.

3.2.3 다양한 용도에 대응하는 가변형 냉난방 시스템

최근 일본의 돛경기장은 다목적화 되는 경향이 있다. 이에 따라 하나의 돛경기장에서 각각의 이벤트에 적합한 공간형상을 구현하기 위해 가변형 평면을 적용하는 사례가 있다. 가변형 평면을 적용하는 돛경기장에서 가변부분은 주로 객석의 좌석부분이며, 좌석의 위치가 변함에 따라 공조를 실시해야 할 거주영역의 위치 또한 변하게 된다. 이에 따라 냉난방 설비의 가변화 기술이 필요하며, 덕트분리접합 시스템, 플렉시블 덕트 시스템 등을 적용한 사례를 찾아볼 수 있다.

3.2.4 에너지 절약 기법

돛경기장은 불특정 다수가 이용하는 시설로서 단기간에 많은 에너지를 소비하는 시설물이다. 따라서 운영의 효율 및 유지관리 비용을 고려한 에너지 절약 기법의 적용이 필요하다.

돛경기장에서의 거주역은 수직적으로 바닥 근처에 편중되어 있다. 또한 돛경기장의 주 거주역인 객석부는 수평적으로 넓은 범위에 걸쳐 있으며, 사용자의 재실 상황에 의해 부하 분포가 편재되는 경향이 강하다. 따라서 거주역 공조와 수평적인 공조 조닝을 통한 부분적 ON/OFF의 제어는 에너지 절약적 관점에서 매우 유효한 방법이다.

이 외에도 실내로 유입되는 급기를 지중덕트를 통하여 함으로써 지열을 이용하는 방법, 실내 환기량 제어를 실내 CO₂ 농도를 기준으로 함으로써 환기량을 최소한으로 하며 적정 실내공기질을 유지할 수 있도록 계획된 에너지 절약 방법을 찾아볼 수 있었다.

4. 국내 돛경기장 냉난방 시스템 설계시 고려사항

현재까지 국내의 돛경기장은 그 절대적 수와 규모 면에서 선진외국에 크게 미치지 못하고 있는 실정이다. 하지만 생활수준의 향상에 따른 대규모 집회공간 수요의 증가로 인해 돛경기장의 건설은 증가될 것으로 판단된다. 또한 다목적 공간으로서 집회시설의 기능을 갖는 돛경기장에서의 냉난방 시스템 계획은 필수라 할 수 있다. 이에 따라 일본 돛경기장의 냉난방 시스템 사례분석을 바탕으로 돛경기장 냉난방 시스템 설계시 고려사항에 대하여 알아보았다.

4.1 대공간의 열부하 특성

돛경기장은 층고가 높고 구획이 없는 단일공간으로 이루어진 대공간이다. 대공간은 일반적으로 구조적 문제, 채광과 환기의 목적으로 인해 천정면 외피가 경량화 되고 그에 따라 천정면을 통한 열관류가 커진다. 대공간의 천정면을 통한 열관류는 크게 대류와 복사로 구분된다. 대류를 통한 열부하의 경우 대공간 거주역의 공간 하부 편재 특성상 천정 배기구를 이용한 상부 고인 열의 배기를 통해 쉽게 해결될 수 있다. 하지만 복사의 경우 천정면 온도 상승 또는 하강에 따른 복사의 영향으로 거주역의 냉난방부하를 상승시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 천정면의 단열을 강화해야 하는데, 이는 대공간의 자연채광과 환기를 위한 천정의 채광면 및 환기구 배치와 대치되는 문제점을 가진다. 따라서 적절한 비율의 채광부 및 환기구 계획과 천정면 재료 선택에 신중을 기하는 계획이 필요하다.

대공간은 넓은 외피면적으로 인해 외기부하가 크며, 대규모 인원이 모이는 집회시설로서 인체발열 부하 또한 크다. 외기부하의 경우 여름철과 겨울철 피크시에 최대가 되고, 인체발열 부하의 경우 객석부에 집중되며 재실상황에 따라 부하변동의 폭이 크게 달라지는 특징이 있다. 따라서 버퍼존(돛경기장 외주부에 사무실 등 관리부를 배치) 등을 통한 돛경기장 외피의 단열성능 향상 계획이 필요하고, 전열교환기 등을 통한 외기부하의 경감과 간헐적 사용이나 부하변동을 고려한 냉난방 시스템 계획이 필요하다.

4.2 에너지 절약 계획

돛경기장은 불특정 다수가 이용하는 시설로서 단기간에 많은 에너지를 소비하는 시설물이다. 따라서 돛경기장의 냉난방 시스템에서는 운영의 효율 및 유지관리 비용을 고려한 에너지 절약 기법의 적용이 필요하다. 특히 돛경기장의 에너지 절약을 위해서는 중간기 자연환기를 통해 냉난방 에너지를 저감하는 방법이 유효하다. 돛경기장의 자연환기를 위해서는 해당 지역의 주풍향을 파악해 돛경기장의 배치를 적절히 하고, 전용의 개구부를 설치하여야 한다. 자연환기를 위한 개구부는 돛경기장의 대응적으로 인해 상당한 면적이 필요하다. 따라서 출입을 위한 통로와 겸용하거나 전용의 전동 개폐구를 설치하는 방법 등이 검토될 수 있다. 이 외에도 지열을 이용한 외기부하의 감소, 축열조를 이용한 피크컷, 냉방시 기류를 이용한 쾌적성의 향상 등 대공간 냉난방 시스템 계획에서 다양한 에너지 절약적 방법이 시도될 수 있다.

4.3 행사의 종류 및 이벤트 패턴 파악

돛경기장의 계획은 사용률을 높이기 위하여 다목적으로 계획하는 것이 바람직하다. 다목적으로 계획된 돛경기장에서는 하나의 공간에 다수의 다른 성격을 가진 행사가 개최됨에 따라 냉난방 시스템 계획의 다양성을 요하게 된다. 즉 행사의 종류 및 이벤트 패턴에 따른 다양한 공조모드의 계획이 필요하다. 돛경기장의 공조모드는 이벤트의 성격에 따른 요구사항과 주 거주역의 변화에 의해 결정된다. 예를 들면 음악회나 콘서트의 경우 정숙성을 요하며, 일부 기류에 민감한 스포츠 경기의 경우 냉난방 계획시 기류 발생을 억제하는 계획이 필요하다. 또한 거주역 공조를 중심으로 하는 돛경기장의 공조특성상 행사의 종류에 따라 주 거주역이 달라지게 되므로 돛경기장에서 개최될 행사의 종류 및 이벤트의 패턴 파악을 통한 주 거주역의 설정이 필요하다.

4.4 거주역 공조

많은 에너지를 소비하는 대공간의 특성상 돛경기장의 공조에서는 공조에 소요되는 에너지의 저감 계획이 매우 중요한 과제가 된다. 거주역 공조는 대공간의 에너지 절약적 공조계획의 한 방법으로서

대공간의 전체 공간 크기에 비해 사람이 거주하는 공간이 일부분인 점에 착안해 공조의 대상을 거주역으로 한정하는 공조 방법을 말한다. 거주역 공조에서는 취출구의 위치, 취출 온·습도, 기류속도, 취출 각도를 적절히 조정하여 거주역 전역의 균일한 공조를 하는 것이 중요하다.

거주역 공조방식 중 특히 좌석취출 방식은 신선외기를 관객에 직접 공급이 가능하고, 냉방시 최대 열부하 요소인 인체 근방에 냉각 공기를 공급함에 따라 돔경기장의 공조에 가장 적합한 공조방식이다. 또한 거주역 내에 취출구가 위치함에 따라 비교적 높은 온도로 공조할 수 있고 공조 풍량을 저감할 수 있는 효과가 있다. 이때 냉방시 객석부만 공조하더라도 객석에 취출된 냉각공기가 주위 공기와의 밀도차에 의해 아래나로 하강하여 아래나에서도 충분히 온열 쾌적성을 확보할 수 있는 장점을 가지고 있다.

5. 결 론

본 연구는 일본 돔경기장의 최신 냉난방 시스템 사례를 분석하고 향후 국내 돔경기장 건설시 냉난방 시스템 설계의 고려사항에 대해 고찰한 것으로 그 연구결과는 다음과 같다.

1) 최근 일본의 돔경기장은 본래 야외에서 실시되던 행사(야구, 축구 등)를 실내에서 실시할 수 있도록 계획함에 따라 공간의 대형화, 행사의 다양화, 공간의 가변화의 경향이 있다.

2) 1990년 이후 건설된 일본 돔경기장의 냉난방 시스템 사례를 분석한 결과는 에너지 절약을 위해 거주역 공조를 중심으로 국부적 공조를 위한 좌석 취출 방식이 가장 많았다.

또한 동일 공간내의 다양한 이벤트에 대응한 여러 가지 공조 방식을 도입한 사례를 찾아볼 수 있었다. 가변공간 시스템을 적용한 돔경기장은 덕트분리 접합 시스템, 플렉시블 덕트 등 가변형 냉난방 시스템을 적용한 사례가 있었다.

3) 돔경기장은 대공간이 가지는 열적 장단점을 적절히 활용하여 돔경기장의 냉난방 시스템 계획을 하는 것이 필요하다. 돔경기장의 냉난방 설계에서는 얼마만큼의 냉난방에 소요되는 에너지를 절약하는

가가 관건이 된다. 따라서 거주역 공조를 기본으로 좌석취출을 통한 국부적 공조가 바람직하다. 또한 다양한 행사의 종류 및 이벤트 패턴의 파악을 통한 거주역의 설정 및 다양한 공조모드의 계획이 필요하다. 이러한 돔경기장의 냉난방 시스템 계획은 건축 디테일과의 연관성이 높기 때문에 초기 계획 단계에서부터 설계와의 면밀한 공동작업을 요한다.

감사의 글

본 연구는 “건설교통부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(#06 R&D B03)에 의해 수행되었습니다.”

참고문헌

1. 高井啓明 외 1명, "ドームの計画, V.設備計画", 建築技術, 1997.2, pp.138-147
2. 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, 1999.10, pp.11-51
3. 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, 1999.10, pp.1-6
4. 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, 2003.10 pp.19-25
5. 大黒雅之 외 7명, "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, 2001.9.26-28, 京都, pp.1465-1467
6. 石尾明久, "寒冷地のドーム建築の特徴とその設備計画", 大成建設 (株) 札幌支店設計部
7. 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, 2004.10, pp.47-54
8. 金泰彦, "環境調和型全地下体育館の自然エネルギー利用・空調計画-大阪中央体育館", 空気調和・衛生工学 第72巻 第11号, 1998.11, pp.95-98