

돛경기장의 공조방식에 따른 겨울철 열환경 분석

The Analysis of Indoor Thermal Environment for Air Condition System in Dome Stadium

석 호 태*
Seok, Ho-Tae

양정훈**
Yang, Jeong-Hoon

채 문 병***
Chae, Mun-Byoung

요 약

본 연구에서는 국내 돛경기장을 해석대상공간으로 선정하여 기존 공조방식과 국외 돛경기장에서 사용한 공조방식을 적용하여 겨울철 실내기류 및 온도분포를 분석하고, 열고온층을 해소하기 위한 방안으로 설치된 기류유인팬의 적절성을 검토하였다.

Abstract

In this study selected the domestic dome stadium, and analyzed the indoor airflow and temperature distribution application to existing or abroad air condition system in winter. We examined the appropriateness of flow guiding fans installed to mitigate the high-temperature.

키워드 : 돛경기장, 실내기류분포, 실내온도분포, 기류유인팬

Keywords : Dome Stadium, Indoor Airflow Distribution, Indoor Temperature Distribution, Flow Guiding Fan

1. 서론

최근 국가경제의 발전과 국민소득 증가 및 생활의 질적 수준이 향상됨에 따라 국제회의센터, 전시 및 관람시설, 체육시설 등과 같은 대공간 건축물이 증가하고 있는 추세이다. 대공간 건축물 중에서 국민의 문화생활 및 국민의 건강 증진을 위한 체육시설 등에 대한 수요가 증가하고 있으며, 지방자치단체를 중심으로 돛야구장의 건립계획이 대두되면서 돛경기장에 대한 관심이 높아질 것으로 예상된다.

돛경기장은 옥외에서 행해지는 야구, 축구 및 각종 야외경기를 날씨와 계절에 관계없이 연중 실내에서 경기를 진행할 수 있도록 구성된 대공간이다. 이러한 돛경기장은 바닥면적에 비해 천장이 높기 때문에

수직적으로 온도편차가 크고, 지붕을 경량외피 재료로 사용하므로 단열성능이 낮아지며, 공간이 넓기 때문에 공기의 분배 및 거주영역에서 균일한 온도와 기류분포를 유지하는데 어려움이 있다. 국외의 경우 지속적인 연구개발을 통해 대공간의 한정된 거주영역을 냉난방 하기 위한 공조방식 기술이 축적되어 있어 다양한 규모 및 형태를 가진 돛경기장이 건설되어 있다.¹⁾ 아직까지 국내에서는 국외의 돛경기장에 비해 규모 및 시설면에서 미흡한 실정이다. 또한 돛경기장에서 발생하는 기류 및 온도를 사전에 예측하고, 거주공간의 실내환경을 해결할 수 있는 공조방식에 대한 연구가 부족하다.

돛경기장의 열적특성으로는 동계의 경우, 급기된 온풍이 경기장 공조에 사용되지 못하고 상승하여 상부에 정체되므로 열고온층이 형성되는 문제점이 발생한다.²⁾ 그러므로 돛경기장의 겨울철 열환경을 예측하고 이를 통하여 개선안을 모색할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 이용하여 올림픽제2체육관을 해석대상공간

* 정회원 · 영남대학교 건축학부 부교수, 공학박사

** 정회원 · 영남대학교 건축학부 조교수, 공학박사

*** 교신저자, 정회원 · 영남대학교 대학원 건축학부 석사과정
Tel : 053-810-2598 Fax:053-810-4625
E-mail : baeng2@hotmail.com

〈표 1〉 국내·외의 돔경기장

구분	건물명	준공년도	규모	연면적	공조방식	
국내	올림픽제2체육관	1986. 4	중규모	16,358m ²	객석바닥급기 + 아레나벽면급기방식	
	광명시 경륜 돔경기장	2000. 9	대규모	41,810m ²	객석상부급기방식 + 객석바닥급기방식	
국외 (일본)	한랭 지역	삿포로 커뮤니티 돔	1988. 3	중규모	18,882m ²	객석바닥급기방식
		삿포로 돔	2001. 5	대규모	3,270.92m ²	객석바닥급기방식
	온난 지역	도쿄 돔	1988. 3	대규모	116,463m ²	객석상부급기방식
		마에바시 그린 돔	1990. 5	대규모	59,693m ²	객석상부급기방식
		후쿠오카 돔	1993. 3	대규모	176,068m ²	객석상부급기방식
		오사카 중앙체육관	1996. 5	중규모	15,000m ²	좌석급기방식
		오사카 돔	1997. 2	대규모	156,400m ²	객석바닥급기방식 + 좌석급기방식
		나고야돔	1997. 2	대규모	119,707m ²	객석상부급기방식
		키타큐슈 미디어돔	1998. 9	대규모	91,686.28m ²	객석상부급기방식
		사이타마 슈퍼 아레나	2000. 3	대규모	132,130m ²	선회류 공조방식

으로 선정하고, 올림픽제2체육관에 설치된 기존의 공조방식과 국외 돔경기장에서 사용한 3가지의 공조방식을 적용하여 겨울철 실내온도 및 기류분포를 분석하였다. 또한 열고온층을 해소하기 위한 방안으로 설치된 기류유인팬의 유효성을 검토하였다.

2. 돔경기장의 공조방식

우리나라는 1988년 서울 올림픽을 계기로 국제기준에 따른 돔경기장을 건설하였다. 그 이후 스포츠에 대한 관심이 지속적으로 높아졌으나, 돔경기장 건설이라는 측면에서는 관심이 주춤하다가 2006년 광명시의 경륜 돔경기장의 완공을 계기로 다시 돔경기장에 대한 관심이 높아지게 되었다. 그러나 아직까지 국내의 돔경기장은 규모면에서 선진외국의 돔경기장에 비하여 시설규모면이나 수적으로 미흡한 실정이다.

일본의 경우 다수의 돔경기장을 보유하고 있으며, 1964년 도쿄올림픽을 기점으로 1990년대 대규모 돔경기장 건설 붐을 거쳐 현재는 다양한 규모 및 형태의 돔경기장을 보유하고 있다. 〈표 1〉을 살펴보면, 한랭지역과 온난지역의 기후적 차이에 의해 크게 2가지의 공조방식 패턴이 나타나게 된다. 한랭지역에서는 난방이 주체가 되며, 전용의 공기조절기에 의한 객석바닥급기방식을 채용하고 있다. 온난지역에서는 냉방이 주체가 되어 경기장내 거주영역에 객석상부급기방식(냉기 강하에 의한 성층 공기조절)이나 선회류 공조방식(실내기류를 선회하는 방식)에 의해 냉방 효율을 올리는 방식을 채용하고 있다.³⁾⁴⁾⁵⁾

1995년 이전 일본 돔경기장에서는 돔경기장의 거주영역 공조를 위한 공조방식으로 거주영역을 향한 객석상부급기방식이 주류를 이루고 있다. 이러한 공조방식은 냉방시 객석을 송풍기류로 공조하기 때문에 낮은 위치의 천장이나 벽에서 송풍을 하고 공기를 아레나에서 회수하는 방식을 채용하고 있다. 1995년 이후에는 거주영역의 부하 밀집지역에 밀착하여 급기구를 배치한 객석바닥급기방식을 찾아볼 수 있다.6) 객석바닥에 설치된 급기구에서 저풍속으로 비교적 실내 설정온도에 가까운 온도로 급기하여 콜드 드래프트(Cold Draft) 등의 문제를 해결함으로써 거주영역 내의 급기구 배치가 가능하게 되었다.

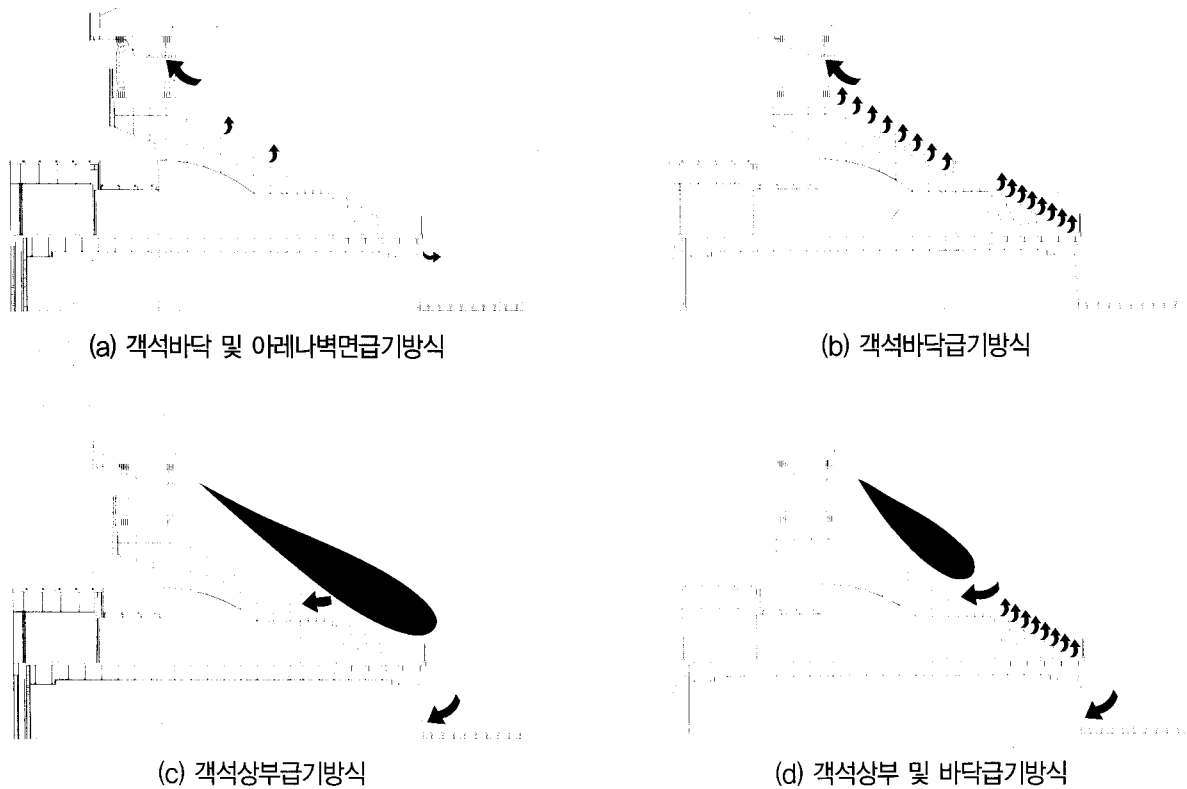
돔경기장의 공조방식별 개념도는 〈그림 1〉과 같다.

2.1 객석바닥 및 아레나벽면급기방식

객석바닥 및 아레나벽면급기방식은 일부 객석의 하단석 및 아레나벽면에서 급기된 공기가 저속의 급기속도로 실내에 급기되고, 급기된 공조공기는 거주영역의 공기와 혼합되어 거주영역의 공조환경을 유지하게 된다. 냉방시 천장부근의 일사부하에 의한 고온공기와 난방시 부력에 의해 상승한 급기온풍은 객석상부에서 배기된다.

2.2 객석바닥급기방식

객석바닥급기방식은 공조된 공기를 저속의 급기속도로 바닥면 하부공간을 이용하여 실내에 급기하고, 급기된 공조공기는 거주영역의 공기와 혼합되어



〈그림 1〉 돛경기장의 공조방식

거주영역에서 쾌적한 공조환경을 유지하게 된다. 냉방시에는 실내의 각종 발열체에 의한 발열을 흡수하여 고온이 된 공기가 상승한 후 천장부근에 고온층을 형성하게 되며, 배기는 객석상부에서 이루어진다.

2.3 객석상부급기방식

객석상부 벽면에 주로 노출형 급기구를 설치하는 방식이다. 냉방시에는 급기각도를 수평 또는 상향으로 하여 급기하고 난방시에는 급기각도를 하향으로 조정하여 급기한다. 경사면의 객석을 감싸는 냉·온풍은 객석 맨 앞부분의 슬릿이나 중간층의 출입구에서 배기된다. 특히 난방시에는 온풍의 상승을 억제하는 것이 중요하다.

2.4 객석상부 및 바닥급기방식

객석상부급기와 객석바닥급기를 모두 적용한 방식이다. 이방식은 전체 객석중 하단석에는 객석바닥 급기방식이 이루어지며, 상부 열고임 현상 및 부하의 영향을 받기 쉬운 상단석은 객석상부급기방식으로 냉·온풍을 급기하는 방식이다. 배기구는 객석바닥

입상부에 배치해 냉·온풍이 상단석 거주영역을 감싸는 형태로 이루어진다.

3. 돛경기장의 공조방식별 열환경 분석을 위한 CFD 해석개요

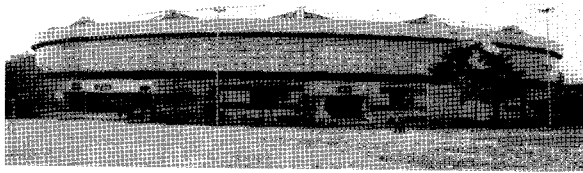
본 논문에서는 돛경기장의 공조방식별 겨울철 열환경을 분석하기 위하여 상용화된 전산 유체 해석 프로그램인 STAR-CCM+를 이용하여 해석하였다.

3.1 해석대상공간

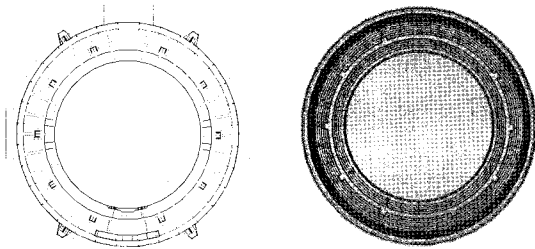
CFD 해석대상 건물은 〈그림 2〉의 올림픽제2체육관을 선정하였으며, 해석대상공간은 〈그림 3〉과 같이 내부직경이 65m, 바닥면적이 3,317m²의 원형형태이며, 직경 95m의 동근지붕으로 중앙부 최대높이는 21.5m이다.

3.2 해석 Case

올림픽제2체육관의 급배기방식인 일부객석바닥 급기/상부배기방식(Case1)을 기본 Case로하고 거주

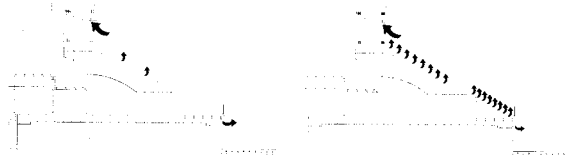


〈그림 2〉 해석대상 건물 전경

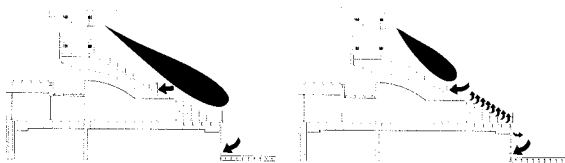


(a) 평면도 (b) 모델링

〈그림 3〉 해석대상공간의 평면도 및 모델링



(a) Case 1-일부객석바닥 급기/상부배기방식 (b) Case 2-전체객석바닥 급기/상부배기방식



(c) Case 3-객석상부급기/하부배기방식 (d) Case 4-객석상부 및 바닥급기/하부배기방식

〈그림 4〉 해석 Case

영역의 급배기구만을 변화시킨 전체객석바닥급기/상부배기방식(Csae2), 객석상부급기/하부배기방식(Case3), 객석상부 및 바닥급기/하부배기방식(Case4)을 각각 선정하였다. 〈그림 4〉는 공조방식별 해석 Case를 나타내고 있다.

3.3 CFD 경계조건

본 연구에서 STAR-CCM+의 standard k-ε turbulence model을 사용하였으며 중력 및 복사 의

영향을 고려하였다. 모든 적용모델의 풍량및 급기온도를 고정하여 풍속 및 급기구의 개수를 산정하였다.

〈표 2〉 CFD 해석의 경계조건

급기구	풍량	118281.6 CMH		
	온도	27°C		
	풍속	case1	1.48m/s	
		case2	1.19m/s	
case3		9m/s(32EA)		
		2.76m/s(64EA)		
크기	case4	1.19m/s(192EA)		
	case3	2.84m/s(96EA)		
		r=0.15m		
	case4	r=0.15m		
수량	case1	0.15m × 1m		
	case2	0.15m × 0.4m		
	case3	0.15m × 0.4m		
	case4	0.15m × 0.4m		
배기구	크기	case1	148 EA	
		case2	460 EA	
		case3	96 EA	
		case4	288 EA	
	수량	case1	0.3m × 1m	
		case2	0.3m × 1m	
		case3	0.2m × 1m(10EA)	
			0.2m × 1.2m(32EA)	
수량	case4	0.2m × 1m(10EA)		
	case4	0.2m × 1.2m(32EA)		
		case1	32EA	
	case2	32EA		
case3	42EA			
case4	42EA			
지붕	상당외기온도	23.3°C		
	열관류율	0.34W/m²K		
상부벽체	상당외기온도	17.3°C		
	열관류율	1.64W/m²K/ 3.1W/m²K		
객석통로	온도	22°C		
	열관류율	2.57W/m²K		
아레나벽체	온도	22°C		
	열관류율	2.57W/m²K		
아레나바닥	지중온도	8.4°C		
	열관류율	1.94W/m²K		
1층/2층객석	heat flux	71.4 W/m²		

풍량은 118,281.6CMH이며, 난방시 급기온도는 27 °C로 설정하여 모든 Case에 적용하였다. 재실 인원수는 1층 및 2층객석부분 총 좌석수를 고려하여 총 5,000명으로 선정하였으며, 활동량은 착석상태의 경작 작업시 조건인 1.1met, 착의량은 겨울철 1.2clo로 가정하여 이중 성인남성의 현열 열전달량 70W를 기준으로 5,000명의 관람객에 대한 발열량을 1층 및 2층 바닥에 균등하게 분배하였다. 천장은 외기에 면한 부분으로 상당외기온도 및 열관류율을 적용하였다. 벽면은 경기장의 사무실과 복도에 인접하기 때문에 외기에 대해 버퍼존 역할을 하고 있다. 따라서 객

석통로 및 아레나벽체는 버퍼존 온도를 설정하여 열 관류가 발생하는 것으로 계산하였다. 조명부하는 본 연구에서 고려하지 않았다. CFD 해석의 경계조건은 <표 2>와 같이 나타내었다.

4. CFD 해석결과

4.1 공조방식별 열환경 분석

CFD 모델에 대한 신뢰성 확보를 위하여 서울 올림픽 제2체육관의 공조방식인 일부객석바닥급기/상부배기방식(case1)을 바탕으로 시뮬레이션의 타당성을 검증하였다.⁷⁾

4.1.1 Case1(일부객석바닥급기/상부배기방식)

1) 실내기류분포

<그림 5>는 Case1의 실내기류 및 온도분포를 나타내었다. 2층객석 5열 및 2열, 아레나벽면 급기구에서 급기된 온풍은 공기의 밀도차에 의해 상승기류가 형성되었으며 천정 중앙부분에서 합세한 기류는 하강하여 객석을 거쳐 다시 상승하는 기류패턴을 보였다. 각 급기구에서 급기된 온풍은 공기의 밀도차이에 의한 상승기류로 아레나 영역에서는 0.03~0.07m/s의 정온한 기류가 발생하였으며, 급기구 주변영역에서는 0.25~0.27m/s의 풍속이 나타났다. 그 외의 영역에서는 0.2m/s이하의 기류가 형성되었다. 급기구가 설치되어 있지 않은 1층객석 거주영역의 평균풍속은 0.18m/s로 나타나 기류속도가 낮게 형성되었다. 2층객석 중앙부 및 2층객석 출입문 양쪽에 설치된 급기구에서 1.48m/s의 속도로 급기된 온풍은 상부로 상승하면서 속도가 점차 감소하여 2층객석 거주영역에서 0.16~0.35m/s의 기류분포로 공조공간의 거주영역에서 권장하는 최대 풍속인 0.5m/s이하를 만족하는 것으로 나타났다.

2) 실내온도분포

급기온풍의 상승기류로 인하여 정온한 기류가 형성된 아레나 영역에서는 23.2~26.1℃의 온도분포가 나타났으며, 27℃로 급기된 온풍과 객석의 열부하는 상승기류와 합세하여 5.5m높이 이상에서는 27.1~

27.7℃의 온도분포를 보였다. 급기된 온풍으로 온도가 상승한 천장부분과 온도가 낮은 바닥부분의 수직 온도편차는 약 4.5℃로 나타났다. 1층객석 거주영역의 평균온도는 27.3℃로 나타났으며, 2층객석 거주영역에서는 평균온도가 28.0℃로 나타났다. 2층객석 거주영역의 평균온도는 1층객석 거주영역 평균온도보다 약 0.5℃ 높게 나타났다.

4.1.2 Case2(전체객석바닥급기/상부배기방식)

1) 실내기류분포

<그림 6>은 Case2의 실내기류 및 온도분포를 나타내었다. 실내 전체의 기류분포는 Case1과 유사한 기류분포를 보이고 있다. 1층 및 2층객석, 아레나벽면 급기구에서 급기된 온풍은 공기의 밀도차이에 의해 상승하였고, 천장 중앙부분에서 합세한 기류는 하강하여 객석을 거쳐 다시 상승하는 기류가 보였다. 따라서 아레나 높이영역을 제외하고 전 영역에서 0.2m/s이하의 기류분포를 보이며, 아레나 영역에서는 0.01~0.06m/s의 정온한 기류가 형성되었다. 1층 및 2층객석에 설치된 급기구에서 1.19m/s의 속도로 급기된 온풍은 상부로 상승하면서 속도가 점차 감소하여 1층객석 거주영역에서 0.19~0.28m/s의 기류분포를 나타내었다. 2층객석의 거주영역에서는 0.17~0.31m/s의 기류분포를 나타내어 공조공간의 거주영역에서 권장하는 최대 풍속인 0.5m/s이하를 만족하는 것으로 나타났다.

2) 실내온도분포

아레나 영역에서는 21.4~26.3℃의 온도성층이 발생하였다. 객석의 열부하와 급기된 온풍의 상승기류에 의해 5.5m높이 이상에서 27℃이상의 온도분포가 나타났다. 급기된 온풍으로 온도가 상승한 천장부분과 온도가 낮은 바닥부분의 수직온도편차는 약 5.0℃로 Case1보다 0.5℃ 높게 나타났다. 1층객석 거주영역의 온도분포는 27.1~27.6℃, 2층객석 거주영역의 온도분포는 27.7~28.1℃로 나타났다.

1층 및 2층객석 전체에 설치된 급기구에서 급기된 온풍에 의하여 1층 및 2층 거주영역에서 유사한 온도분포가 나타났다.

4.1.3 Case3(객석상부급기/하부배기방식)

1) 실내기류분포

Case3의 실내기류 및 온도분포는 <그림 7>과 같다. 2층객석 상부 급기구에서 급기된 온풍은 1층 및 2층객석을 거쳐 상부로 상승하는 기류패턴이 나타났다. 2층객석 상부 급기구에서 9m/s로 급기된 온풍은 1층 및 2층 거주영역 열부하와 합세하여 상승기류를 발생하였다. 상승된 기류는 실내 중앙의 하강기류와 합세하여 객석으로 순환하는 기류가 형성되었다. 상부 급기구에서 급기된 온풍은 공기의 밀도차에 의한 부력으로 인한 상승기류에 의해 1층 및 2층객석 상부 주변에서는 0.38~0.66m/s의 기류가 형성되었다. 객석 거주영역의 기류분포를 살펴보면, 2층객석 상부 급기구에서 급기된 온풍은 1층 및 2층객석을 거쳐 상부로 상승하여 1층객석 거주영역에서 0.34~0.41m/s, 2층객석 거주영역에서는 0.2~0.38m/s의 기류분포를 나타내어 공조공간의 거주영역에서 권장하는 최대 풍속인 0.5m/s이하를 만족하는 것으로 나타났다.

2) 실내온도분포

2층객석 상부 급기구에서 급기된 온풍은 1층 및 2층객석을 거쳐 상부로 상승하는 기류 및 객석의 열부하로 인한 상승기류로 인해 1층 및 2층객석 상부에는 28℃이상의 고온이 형성되었다. 급기된 온풍으로 인해 온도가 상승한 천장부분과 온도가 낮은 바닥부분의 수직온도편차는 약 3.6℃로 나타났다. 1층객석 거주영역의 평균온도는 28.0℃로 나타났으며, 2층객석 거주영역에서는 28.7℃의 평균온도를 보였다. 9m/s로 급기된 온풍은 거주영역 열부하의 열상승류와 합세하여 1층 및 2층 거주영역에서 유사한 온도분포가 발생하였다.

4.1.4 Case4(객석상부 및 바닥급기/하부배기방식)

1) 실내기류분포

Case4의 실내기류 및 온도분포를 <그림 8>에 나타내었다. 상부 급기구 및 1층객석 급기구에서 급기된 온풍은 공기의 부력에 의해 상승하는 기류패턴을

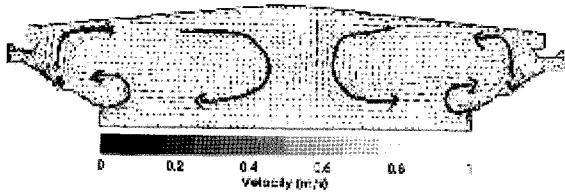
보였다. 상부 급기구에서 급기된 온풍은 2층객석 거주영역을 미치지 못하고 상승기류와 합세하여 상승하였다. 아래나 영역 및 급기구 주변을 제외하고 0.2m/s의 기류가 형성되었다. 2층객석 상부 급기구에서 급기된 온풍은 상부로 상승하여 1층객석 거주영역에서 0.19~0.22m/s의 기류분포를 나타내었다. 2층객석 거주영역에서는 0.22~0.26m/s의 기류분포가 나타나 공조공간의 거주영역에서 권장하는 최대 풍속인 0.5m/s이하를 만족하는 것으로 나타났다.

2) 실내온도분포

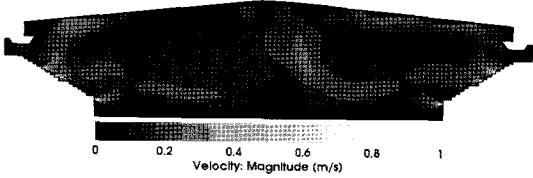
2층객석 상부 급기구에서 부력에 의해 상승된 급기온풍은 천장을 지나 중앙부분에서 하강하여 1층객석 급기구에서 급기된 온풍과 만나 순환하는 기류가 형성됨으로 3m높이 이상부터 28℃이상의 고온이 형성되었다. 급기된 온풍으로 인해 온도가 상승한 천장부분과 온도가 낮은 바닥부분의 수직온도편차는 약 4℃로 나타났다. 1층객석 거주영역의 온도분포는 28.3~28.4℃이며 평균온도는 28.3℃로 나타났다. 2층객석 거주영역에서는 28.4~28.6℃의 온도분포를 보이며, 평균온도는 28.5℃로 나타났다. 27℃의 급기온도와 거주영역의 열부하는 상대적으로 크게 작용하여 실내온도를 고온으로 형성시키는 원인으로 작용하였다.

4.1.5 Case별 기류 및 온도분포 비교분석

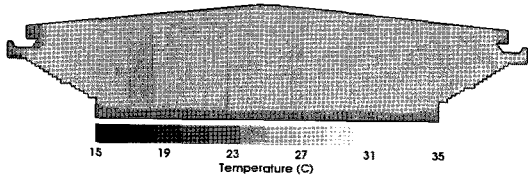
각 Case별 특징 비교는 <표 3>과 같이 나타내었다. 아래나 영역에서는 부력에 의해 상부로 상승한 급기온풍에 의해 4가지 Case 모두 정온한 기류가 형성되었다. 1층 및 2층객석 거주영역에서 Case1과 Case2는 가장 낮은 기류분포가 나타났으며, Case3, Case4 순으로 높은 기류분포가 형성되었다. 아래나 거주영역(1.7m)의 온도분포에서는 Case2가 가장 낮은 온도분포가 나타났으며, Case3과 Case4는 비슷한 온도분포로 가장 높은 온도를 보여 모든 Case 중 가장 불리한 실내 환경조건이 나타났다. 1층 및 2층객석의 거주영역(1.1m)의 분포에서는 4가지 Case 모두 27℃이상으로 나타난 것은 객석의 발열량과 27℃로 급기되는 온풍에 의한 영향인 것으로 판단되며, 급기온도를 낮출 경우 실내 환경조건이 개선될 것으로



기류분포 - vector (x=2)

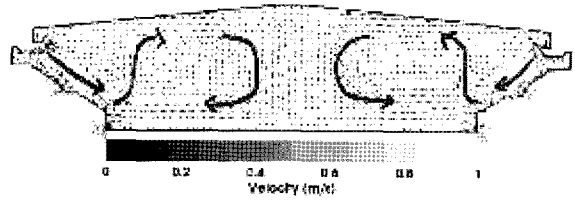


기류분포 - scalar (x=2)

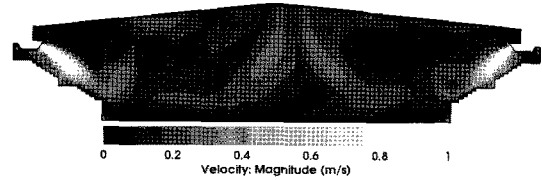


온도분포 - scalar (x=2)

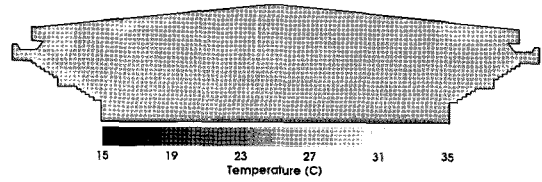
<그림 5> Case1의 기류 및 온도분포



기류분포 - vector (x=0)

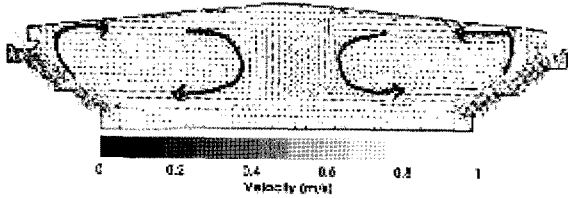


기류분포 - scalar (x=0)

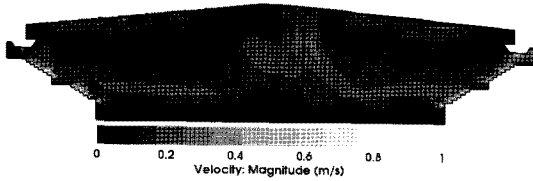


온도분포 - scalar (x=0)

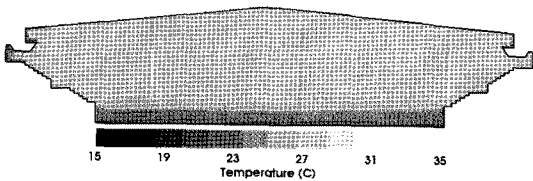
<그림 7> Case3의 기류 및 온도분포



기류분포 - vector (x=0)

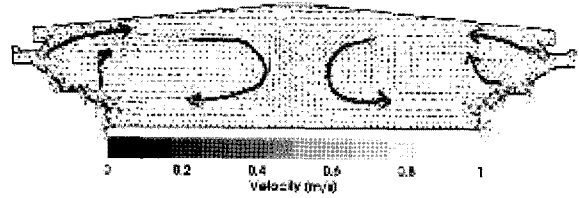


기류분포 - scalar (x=0)

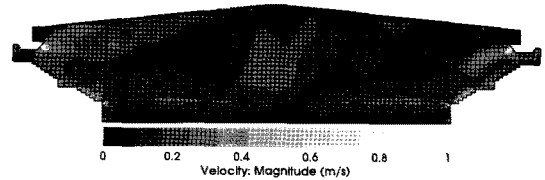


온도분포 - scalar (x=0)

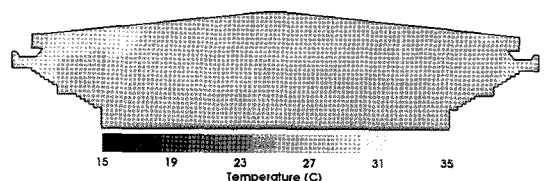
<그림 6> Case2의 기류 및 온도분포



기류분포 - vector (x=0)



기류분포 - scalar (x=0)

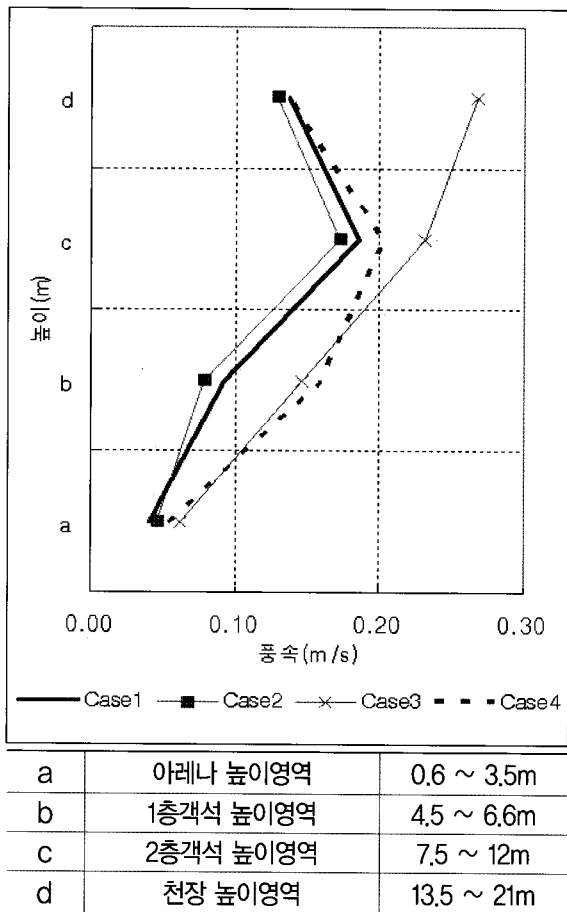


온도분포 - scalar (x=0)

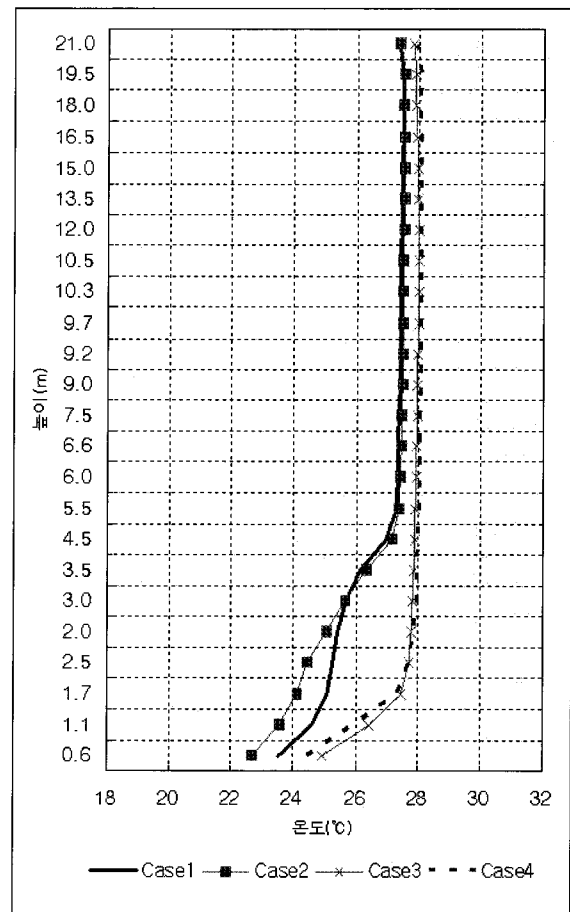
<그림 8> Case4의 기류 및 온도분포

〈표 3〉 Case별 특징 비교

구분		Case1	Case2	Case3	Case4
공조방식		일부객석바닥급기/ 상부배기방식	전체객석바닥급기/ 상부배기방식	객석상부급기/ 하부배기방식	객석상부 및 바닥급기/ 하부배기방식
기후지역		온난지역	한랭/온난지역	온난지역	온난지역
공조		객석/아레나공조	객석공조	객석공조	객석공조
아레나기류형성		정온한 기류	정온한 기류	정온한 기류	정온한 기류
수직온도차		4.5℃	5.0℃	3.6℃	4.0℃
기류분포	아레나(1.7m)	0.04~0.06m/s	0.02~0.05m/s	0.05~0.12m/s	0.04~0.08m/s
	1층객석(1.1m)	0.1~0.25m/s	0.19~0.28m/s	0.34~0.41m/s	0.19~0.22m/s
	2층객석(1.1m)	0.16~0.35m/s	0.17~0.31m/s	0.2~0.36m/s	0.22~0.26m/s
온도분포	아레나(1.7m)	24.6~25.1℃	24.1~24.2℃	26.9~27.4℃	26.9~27.3℃
	1층객석(1.1m)	27.0~27.6℃	27.1~27.6℃	27.9~28.1℃	28.3~28.4℃
	2층객석(1.1m)	27.7~28.3℃	27.7~28.1℃	28.3~29.0℃	28.4~28.6℃



〈그림 9〉 해석 Case별 높이영역에 따른 평균기류



〈그림 10〉 Typical waffle slab panel at level 3.

사료된다. 〈그림 9〉와 같이 Case1, Case2, Case3은 비슷한 양상을 보이고 있으며, 급기구에서 급기된 온풍은 부력에 의해 상승함으로써 상층으로 갈수록 기류가 높아지는 경향을 보이고 있다. Case별 수직온도 분포는 〈그림 10〉과 같다. 바닥면 부근의 온도강하로

인하여 Case1 및 Case2는 4.5m까지 수직온도차가 3.8℃, 4.7℃로 나타났으며, Case3 및 Case4는 2.5m까지 2.8℃, 3.3℃로 나타나 Case2의 수직온도차가 가장 높게 나타났다. 이는 부력에 의해 상승한 공기는 천장을 따라 형성된 기류와 만나 1층객석으로

순환기류를 형성하여 아래나 영역까지 도달하지 못하기 때문이다. 따라서 아래나 영역을 제외한 모든 공간에서 고온으로 형성되는 문제점이 발생하였다.

4.2 기류유인팬 적용시 열환경 분석

4.2.1 시뮬레이션 개요

동계시 공조방식별 열환경을 분석한 결과 급기된 온풍으로 인하여 아래나 영역을 제외한 모든 공간에서 고온으로 형성되는 문제점이 발생하였으며, 4가지 Case 중 수직온차가 가장 높은 공조방식은 Case2(전체객석바닥급기/상부배기방식)로 나타났다. 따라서 수직온도가 가장 높은 Case2(전체객석바닥급기/상부배기방식)를 채택하여 열고온층을 해소하기 위한 방안으로 설치된 기류유인팬의 유효성을 검토하고자 한다.

기류유인팬은 천장에 등간격으로 16대가 위치되어 있으며, 수평으로는 반시계방향으로 인접한 팬을 향해 10°, 수직으로는 하향 20°로 기울어져 설치되어 있다. 열고온층을 해소하기 위한 방안으로 설치된 기류유인팬의 유효성을 검토하기 위해 채택한 Case2(전체객석바닥급기/상부배기방식)의 CFD 경

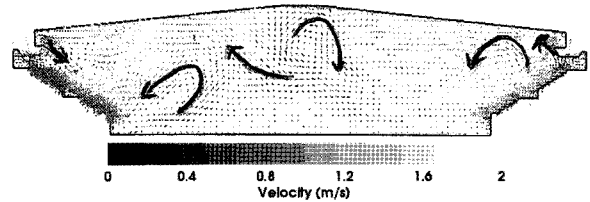
〈표 4〉 기류유인팬의 CFD 해석 경계조건

구 분	입력 변수
풍량(CMH)	4500
풍속(m/s)	16.8
수량(EA)	16
크기(m)	r = 0.154
위 치	2층객석 상부

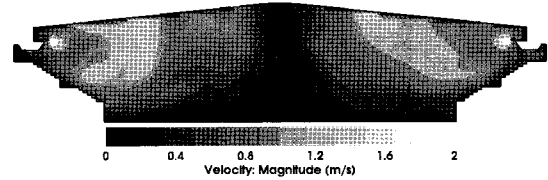
계조건은 〈표 4〉에서 적용한 조건과 동일하게 설정하였다. 기류유인팬의 CFD 해석 경계조건은 〈표 4〉에 나타내었다.

4.2.2 실내기류분포

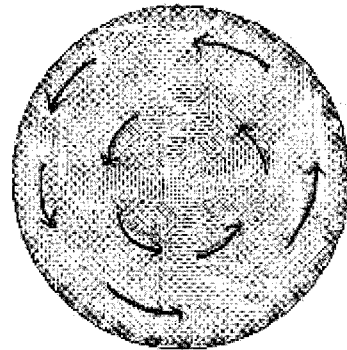
기류유인팬 적용시 실내기류 및 온도분포를 〈그림 11〉에 나타내었다. 실내 기류는 기류유인팬의 설치방향에 의해 아래나 중앙지점을 중심으로 반시계방향으로 선회하는 기류가 형성되었다. 선회하는 객석에서 더 활발하게 형성되며 중앙으로 갈수록 약하게 형성되었다. 객석으로 선회하는 기류의 특성으로



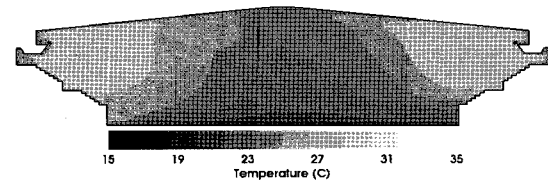
기류분포 - vector (x=0)



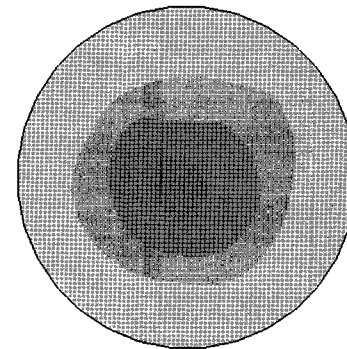
기류분포 - scalar (x=0)



기류분포 - vector (z=9)



온도분포 - scalar (x=0)



온도분포 - scalar (z=9)

〈그림 11〉 기류유인팬 사용시 기류 및 온도분포

인해 선회류 중심부분의 경우 7.5m까지는 1.0m/s이하, 7.5m높이 이상에서는 0.2m/s이하의 정온한 기류가 나타났으며, 그 외의 영역에서는 0.5m/s이상의 기류가 형성되었다. 급기구에서 급기된 온풍은 대부분 선회기류를 형성하며 이동하지만 객석 상부에서는 기류재순환이 발생하였으며, 실내 공기는 전체영역에서 상승과 하강을 하며 원활히 순환하였다. 따라서 실내 전 영역에서 정온한 기류가 나타나는 영역은 거의 없는 것으로 나타났다. 1층객석 거주영역에서는 0.60~0.98m/s의 기류분포가 나타났으며, 2층객석 거주영역에서의 기류분포는 0.37~0.83m/s로 나타났다. 1층 및 2층객석 모두 0.5m/s이상의 기류분포가 나타난 것은 기류유인팬에서 급기된 기류가 안정화되면서 객석으로 강하게 선회하는 기류가 형성되었기 때문이다.

4.2.3 실내온도분포

실내 온도를 살펴보면 거주영역 열부하 및 급기된 온풍에 의한 상승기류와 실내 측면으로 선회하는 기류가 혼합되어 관람객석 상부에서는 27℃이상의 온도가 발생하였다. 아레나 중앙높이에서는 20.4~24.4℃로 실 전체에서 가장 낮은 온도가 나타났다. 이는 실내 측면으로 선회하는 기류로 인하여 객석 상부에서는 강한 기류가 형성되었고, 실내 중앙으로 갈수록 기류가 점차 약해져 실내 중앙에서는 정온한 기류가 발생하여 급기된 온풍이 미치지 못함으로써 아레나 중앙에서는 객석보다 낮은 온도가 형성되었다. 따라서 아레나 영역에서는 기류유인팬의 순환기류에 의해 급기된 온풍이 상승하여 발생한 고온층을 해소할 수 있었다. 1층객석 거주영역의 온도분포는 26.6~27.1℃로 나타났으며, 2층객석 거주영역에서는 27.2~28.0℃의 온도분포가 나타났다. 이는 관람객석으로 강하게 선회하는 기류 및 관람객석 상부에 발생하는 재순환기류가 거주영역까지 미치게 되어 거주영역에서는 약 27.0℃의 온도가 형성되었다.

5. 결론

본 연구에서는 올림픽제2체육관을 해석대상공간으로 선정하여 기존 공조방식과 국외 돔경기장에서

사용한 3가지의 공조방식을 적용하여 겨울철 실내온도 및 기류분포를 분석하고, 열고온층을 해소하기 위한 방안으로 설치된 기류유인팬의 유효성을 검토한 것으로서, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 아레나에서는 4가지 Case 모두 부력에 의해 상부로 상승한 급기온풍에 의해 정온한 기류가 나타났다.

2) 1층 및 2층객석 거주영역의 기류분포에서 Case1과 Case2는 가장 낮은 기류분포가 나타났으며, Case3, Case4 순으로 높은 기류분포가 형성되었다.

3) 아레나 거주영역(1.7m)의 온도분포에서 Case3과 Case4는 비슷한 온도분포로 가장 높은 온도분포를 보였으며, 모든 Case 중 가장 불리한 실내 환경조건이 나타났다.

4) 1층 및 2층객석의 거주영역(1.1m)의 온도분포에서는 객석의 발열량과 27℃로 급기되는 온풍에 의한 영향으로 4가지 Case 모두 27℃이상으로 나타났으며, 급기온도를 낮출 경우 실내 환경조건이 개선될 것으로 판단된다.

5) 4가지 Case 모두 부력에 의해 상승한 공기는 천장을 지나 중앙부분에서 하강하여 1층객석으로 순환하는 기류가 나타나 고온으로 형성되는 문제점이 발생하였다. 그 중에서도 Case2(전체객석바닥급기/상부배기방식)의 수직온도차가 가장 높게 나타났다.

6) 4가지 Case 중 수직온도차가 가장 높은 Case2를 채택하여 열고온층을 해소하기 위한 방안으로 설치된 기류유인팬의 유효성을 검토한 결과, 기류유인팬이 설치된 Case2의 경우 선회류의 중심부분을 제외한 그 외 영역에서 순환기류에 의한 영향으로 0.5m/s이상의 기류가 형성되었으며, 아레나부분에서 약 24℃이하의 온도분포가 나타나 기류유인팬 적용시 실내의 기류정체영역 해소 및 급기된 온풍이 상승하여 발생한 고온층을 해소할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 심우식, “대공간의 공조설비 계획”, 한국건축설비학회지 1권 2호, 1998
2. 박종수 외, “대공간 건축물의 열환경 예측에 관한 연구”, 한국생활환경학회지, 제5권 2호, 1998
3. 최동호, “좌석취출 공조시스템을 채용한 대공간의 흡입구 위치가 거주역내 온열 환경에 미치는 영향”, 대한건축학회논문집, 제15권 제4호, 1999
4. 김윤일, “사례연구를 통한 중규모 공연장의 공조 시스템 개선 방안에 관한 연구”, 중앙대학교 석사학위논문, 2001
5. 박종수, “아트리움을 갖는 대공간 건물의 열환경 평가에 관한 연구”, 한양대학교 석사학위논문, 2002
6. 양정훈 외, “일본 돛경기장의 냉난방 설비 시스템에 관한 사례연구”, 한국공간구조학회 논문집, 제7권 제3호, 2007
7. 채문병, “돛경기장의 공조방식에 따른 열환경 평가에 관한 연구”, 영남대학교 석사학위논문, 2008
8. 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
9. 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 学術講演会講演论文集, 2001.9.26-28, 京都, pp.1465-1467

접수일자 : 2009년 2월 2일
 심사완료일자 : 2009년 4월 15일
 게재확정일자 : 2009년 4월 24일