

돔경기장의 급배기방식에 따른 기류분포 및 실내온도 특성

채 문 병^{*†}, 양 정 훈^{**}, 석 호 태^{***}

*영남대학교 건축공학과 석사과정, **영남대학교 건축학부 조교수, ***영남대학교 건축학부 부교수

The Characteristics of Indoor Temperature and Airflow Distribution for Air Supply and Return System in Dome Stadium

Mun-Byoung Chae^{*†}, Jeong-Hoon Yang^{**}, Ho-Tae Seok^{***}

ABSTRACT: Dome stadiums give thermal unpleasant feeling to occupants because of the radiant heat and the indoor and outdoor haet exchange from roogs or lightweight building envelopes of sidewalls. This study analyzed the indoor temperature and velocity distribution according to various air supply and return sustems in dome stadiums in summer.

Key words: Dome stadium(돔경기장), Air supply and return system(급배기방식), CFD(전산유체역학)

1. 서론

돔경기장은 각종 야외경기를 실내에서 진행할 수 있는 대공간으로서 천정이 높고 수직온도 편차가 크며 넓은 외피면적으로 인해 외기부하가 크게 발생하는 특징을 가지고 있다. 또한 실내는 경기장존과 관람석존으로 나누어져 있으며, 관람석존은 전체공간에 비해 그위치가 편재되어있어 쾌적한 실내환경을 조성하기 위하여 일반 건축공간과 차별화된 공조방식이 필요하다. 특히 하절기의 경우 지붕 또는 측벽의 경량 외피로부터 복사열 및 실내외 열교환 등으로 인하여 거주공간의 재실자에게 열적 불쾌감을 유발시킬 수 있다. 국내에서는 2006년 광명 경륜 돔경기장의 완공을 계기로 지방자치단체를 중심으로 돔경기장에 대한 관심이 높아지고 있으나 국외의 돔경기장에 비해 규모 및 시설면에서 미흡한 실정이다. 국외의 돔경기장은 다양한 규모 및 형태를 가진 돔경

기장이 건설되어 있으며, 지속적인 연구개발을 통해 대공간의 한정된 거주공간을 냉난방 하기위한 급배기방식 기술이 축척되어 있다. 따라서 대공간에서 발생하는 온도 및 기류분포를 사전에 예측하고, 거주공간의 실내환경을 해결할 수 있는 급배기방식에 대한 연구가 이루어져야 한다.

이에 본 연구에서는 올림픽제2체육관을 해석대상공간으로 선정하여 기존 급배기방식과 국외 돔경기장에서 사용한 다양한 급배기방식을 적용하여 여름철 돔경기장의 실내온도 및 기류분포를 비교·평가하였다.

2. CFD 해석개요

2.1 해석대상공간

CFD 해석대상공간은 올림픽제2체육관을 선정하였으며, Fig. 1은 해석대상공간의 평면도 및 모델링을 나타낸 것이다. 해석대상공간은 내부직경이 65 m, 바닥면적이 3,317 m²의 원형형태이며, 직경 95 m의 둥근 지붕으로 중앙부 최대높이는 21.5 m이다.

† Corresponding author
Tel.: +82-53-810-3675; fax: +82-53-810-4625
E-mail address: baeng2@hotmail.com

2.2 해석 Case

Fig. 2는 각 Case별 급배기방식의 개념도를 나타내고 있다. 올림픽제2체육관의 급배기방식인 일부 객석바닥급기/상부배기방식을 기본 Case 1로하고 거주역의 급배기구만을 변화시킨 전체객석바닥급/상부배기방식, 객석상부급기/하부배기방식, 객석상부 및 바닥급기/하부배기방식을 각각 Case 2, Case 3, Case 4로 선정하였다.

2.3 CFD 경계조건

본 연구에서는 상용 CFD 해석 소프트웨어인 STAR-CCM+의 standard k-ε turbulence model을 사용하였으며 부력효과와 중력의 영향을 고려하였다. CFD 경계조건은 Table 1과 같다.

전 Case에 있어서 급기풍량과 급기온도를 동일하게 고정하여 동일한 급기온도와 풍량에서 급배기방식에

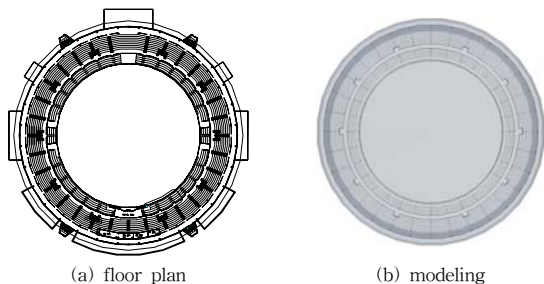


Fig 1. Floor plan and modeling of the target space for analysis.

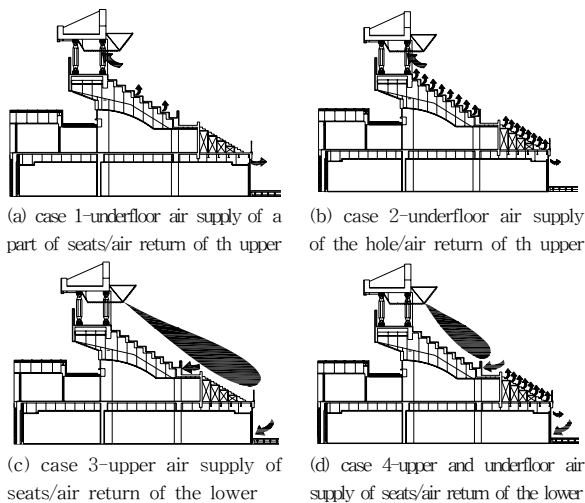


Fig 2. Concept picture of air supply and return system in each case.

Table 1 Boundary conditions of CFD

Supply Air	flow rate	118281.6 CMH		
	temperature	16°C		
	velocity	case 1	1.48 m/s	
		case 2	1.19 m/s	
		case 3	9 m/s, 2.76 m/s	
		case 4	1.19 m/s, 284 m/s	
	size	case 1	0.15m × 1 m	
		case 2	0.15m × 0.41 m	
		case 3	0.15m radius	
		case 4	0.15m radius 0.15m × 0.4 m	
quantity	case 1	148 EA		
	case 2	460 EA		
	case 3	96 EA		
	case 4	288 EA		
Return Air	size	case 1	0.3 m × 1 m	
		case 2	0.3 m × 1 m	
		case 3	0.2 m × 1 m	
			0.2 m × 1.2 m	
	quantity	case 4	0.2 m × 1 m 0.2 m × 1.2 m	
		case 1	32 EA	
		case 2	32 EA	
		case 3	42 EA	
case 4	42 EA			
Roof	out temperature	43.4°C		
	heat transfer coefficient	0.34 W/m ² K		
Wall	outdoor temperature	26°C, 37.4°C		
	heat transfer coefficient	1.64 W/m ² K, 2.57 W/m ² K 3.1 W/m ² K		
1F/2F seat	heat flux	71.4 W/m ²		

따른 실내기류 및 온도분포를 검토하였다. 해석대상 공간의 지붕은 외기에 면한 부분으로 지붕의 상단외기온도 및 열관류율을 적용하였으며, 객석 및 아래나 벽면은 버퍼존으로 둘러싸여져 있으므로 버퍼존과 경기장 실내 벽 사이에는 대류 열전달이 일어나는 것으로 가정하였다. 인체발열은 성인 남성의 현열 대류열전달량 70 W를 기준으로 최대수용인원 5,000명의 관람객에 대한 발열량을 1층 및 2층바닥에 균등하게 분배하였다. 아래나 바닥은 단열조건으로 설정하였다.

3. CFD 해석결과

3.1 일부객석바닥급기/상부배기방식(Case 1)

Fig. 3 ~ Fig. 5는 Case 1에서의 기류분포 및 온도분포, 거주영역에서의 기류 및 온도분포를 나타내고 있다. 수직단면에서의 기류분포를 살펴보면, 아래나부분과 천정부에서 순환기류가 형성되어 중앙부분에서는 기류속도가 0.03~0.07 m/s로서 정체기류가 형성되었다. 급기구에서 급

기된 냉기류는 공기의 밀도차이에 의해 아래나부분으로 하강하였으며, 경기장 중앙에서 기류가 합세하여 주변 공기와의 밀도차이에 의한 상승기류를 형성하였다. 실내공간에서의 기류속도는 급기구 근처에서 1.0 m/s를 나타낼 뿐 그 외 영역에서는 0.2 m/s 이하의 정온한 기류분포를 나타내고 있다.

수직단면에서의 온도분포를 살펴보면, 아래나부분은 급기구에서 급기된 냉기류의 영향으로 20.8~21.3℃의 온도분포를 나타내고 있다. 천정부분은 일사부하에 의한 영향으로 천장에서 열이 축적되어 경기장 천장에서 9.7 m까지 28℃ 이상의 고온층이 형성되었다. 중간부분은 천정부분의 고열과 아래나부분 냉기류와의 열전달로 인하여 21.2~26.9℃의 온도분포가 나타나 열성층화가 발생하였다.

ANSI/ASHRAE 55-2004의 착석상태에서 허리선(바닥면위 0.6 m)기준과 기립상태(바닥면위 1.7 m)기준의 범위를 관람객석 거주영역으로 간주하였다.

따라서 관람객석 거주영역의 기류분포를 살펴보면, 1층객석 거주영역에서는 평균 0.13 m/s, 2층객석 거주영역에서는 0.08 m/s로 나타났다. 관람객석 거주영역의 온도분포를 살펴보면, 1층 및 2층객석 거주영역에서의 평균온도는 각각 22.7℃, 24.4℃의 온도분포를 나타내고 있다.

3.2 전체객석바닥급기/상부배기방식(Case 2)

Fig. 6 ~ Fig. 7은 Case 2에서의 기류분포 및 온도분포, 거주영역에서의 기류 및 온도분포를 나타내고 있다. 수직단면에서의 기류분포를 살펴보면, Case 1과 유사한 기류분포를 보이고 있다. 아래나부분과 천정부분에서 순환기류가 형성되어 중앙부분에서는 기류속도가 0.03~0.04 m/s로서 정체기류가 형성되었다. Case 1과 동일 풍량조건에서 Case 2는 급기구수의 증가로 인하여 급기풍속이 20% 감소하여 급기구 근처에서는 0.7 m/s의 기류속도가 나타났으며, 그 외 영역에서는 0.2 m/s 이하의 기류속도를 보이고 있다.

수직단면에서의 온도분포를 살펴보면, Case 1과 유사한 온도분포를 보이고 있다. 하지만 아래나부분 온도분포는 21.8~22.2℃로서 case1보다 0.5~1.4℃ 높게 나타났다. 이는 급기된 냉기류와 거주영역 열부하의 열교환으로 인하여 상승된 주변

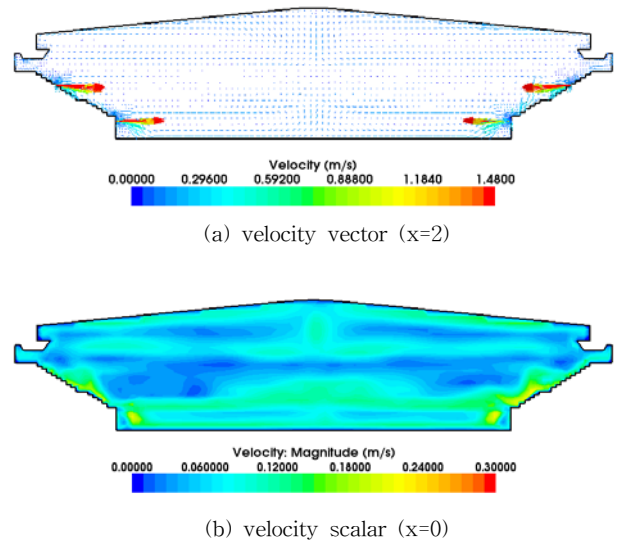


Fig. 3 Velocity distribution in Case 1.

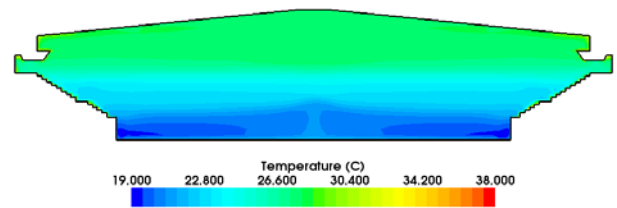


Fig. 4 Temperature distribution in Case 1 (x=0).

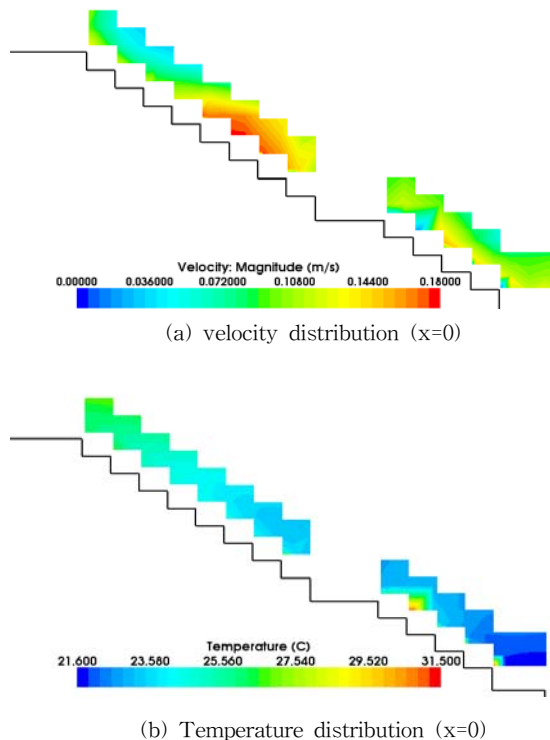


Fig. 5 Distribution of velocity and temperature in residential area of Case 1.

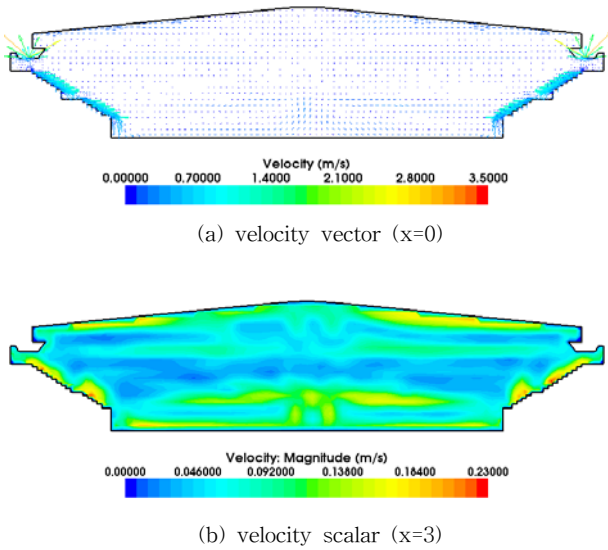


Fig. 6 Velocity distribution in Case 2.

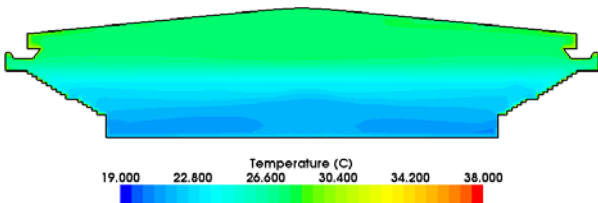


Fig. 7 Temperature distribution in Case 2 (x=3).

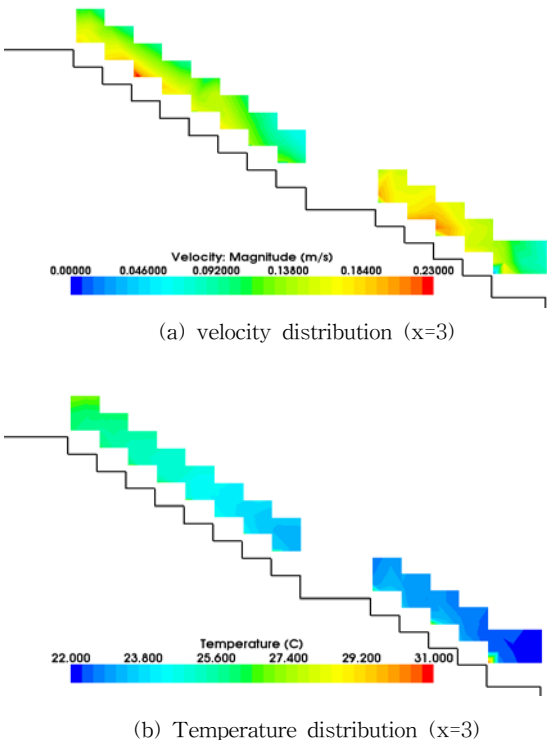


Fig. 8 Distribution of velocity and temperature in residential area of Case 2.

공기는 아래나에서 정체된 냉기와 혼합되어 아래나 온도를 상승시킨 것으로 판단된다.

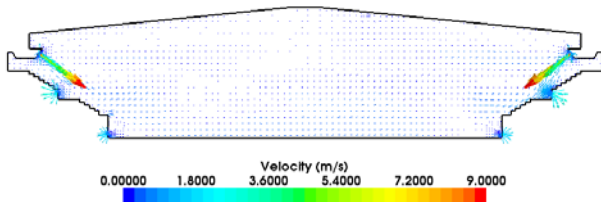
관람객석 거주영역의 기류분포를 살펴보면, 1층객석 거주영역에서는 평균 0.15 m/s, 2층객석 거주영역에서는 평균 0.12 m/s로 나타났다. 관람객석 거주영역의 온도분포는 1층 및 2층객석 거주영역에서의 평균온도가 각각 22.0°C, 24.5°C의 온도를 나타내고 있다. Case 1과 비교해 볼 때, 2층객석 거주영역의 온도분포는 유사하게 나타났다. 반면 1층객석에서 Case 1보다 약 0.8°C 정도 낮은 온도분포가 나타났으며, 이것은 1층 및 2층 모든 객석 열에 설치한 급기구를 통해 급기된 냉기류의 영향으로 바닥에서 열부하에 의한 온도상승효과를 저감시켰기 때문이다.

3.3 객석상부급기/하부배기방식(Case 3)

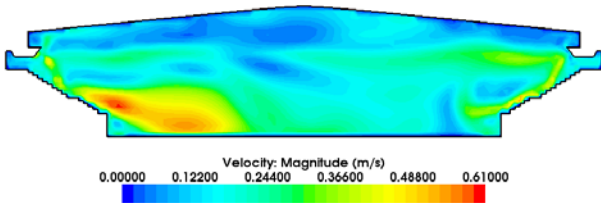
Fig. 9 ~ Fig. 11은 Case 3에서의 기류분포 및 온도분포, 거주영역에서의 기류 및 온도분포를 나타내고 있다. 수직단면에서의 기류분포를 살펴보면, 2층 객석 상부 급기구에서 급기된 냉기류는 1층 및 2층의 거주영역을 거쳐 아래나로 하강하는 기류가 형성되었다. 8m 높이까지의 실내 기류속도는 0.23~0.37 m/s로 Case 1, Case 2보다 높은 기류속도가 나타났다. 이는 기류 흐름의 방해요소인 면마찰과 거주영역 열부하에 의한 부력의 영향이 다소 적기 때문인 것으로 판단된다.

수직단면에서의 온도분포를 살펴보면, 객석상부 급기구에서 9 m/s로 급기된 기류로 인해 급기된 공기는 실전체로 확산되어 14 m 높이까지 26.5~26.7°C의 실내온도분포가 나타났다. 따라서 천정부분의 열고온층의 두께는 Case 1, Case 2보다 약 40% 감소된 것을 확인할 수 있었다.

관람객석 거주영역의 기류분포를 살펴보면, 1층객석 거주영역에서는 평균 0.43 m/s, 2층객석 거주영역에서는 평균 0.29 m/s로 나타나 기류의 인체 쾌적범위를 만족하였다. 관람객석 거주영역의 온도분포는 1층 및 2층객석 거주영역에서의 평균온도가 각각 26.4°C, 26.6°C의 온도로 나타났다. 이것은 객석상부에서 급기된 냉기류는 주변공기와 희석되어 26°C로 온도가 상승한 후 거주영역에 도달하기 때문으로 Case 1, Case 2보다 거주영역에서의 평균온도가 9~17% 정도 높게 나타났다.

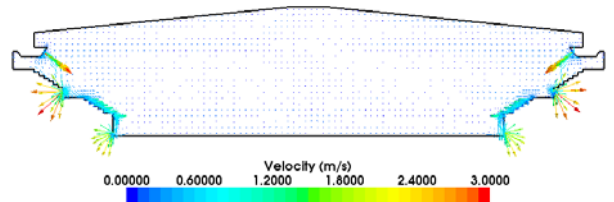


(a) velocity vector (x=0)

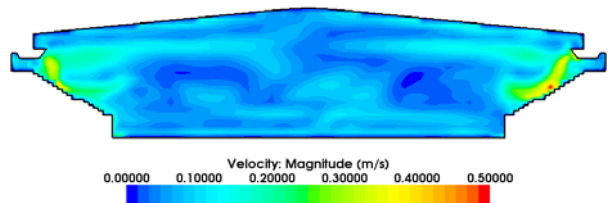


(b) velocity scalar (x=3)

Fig. 9 Velocity distribution in Case 3.



(a) velocity vector (x=0)



(b) velocity scalar (x=3)

Fig. 12 Velocity distribution in Case 4.

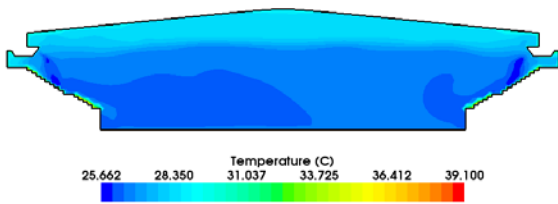


Fig. 10 Temperature distribution in Case 3 (x=3).

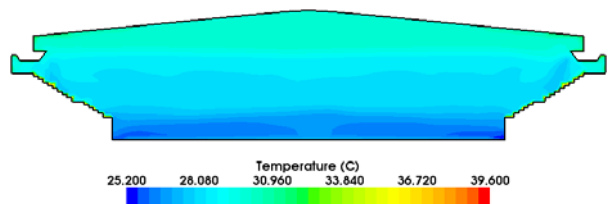
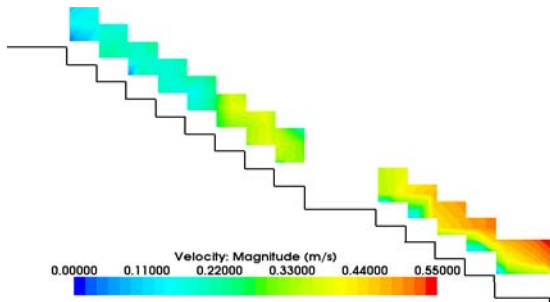
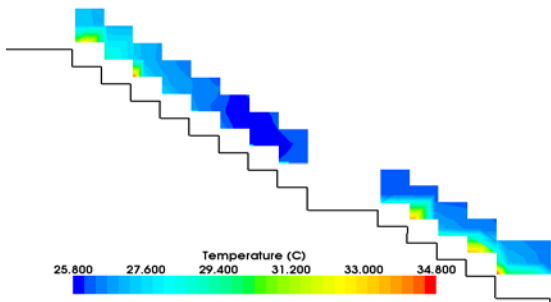


Fig. 13 Temperature distribution in Case 4 (x=3).

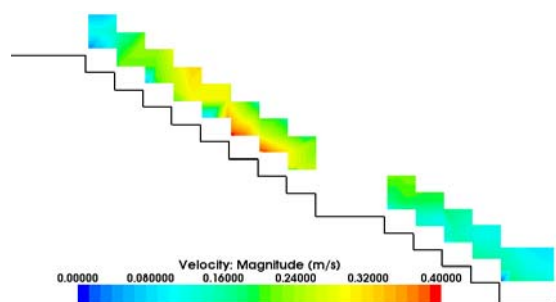


(a) velocity distribution (x=0)

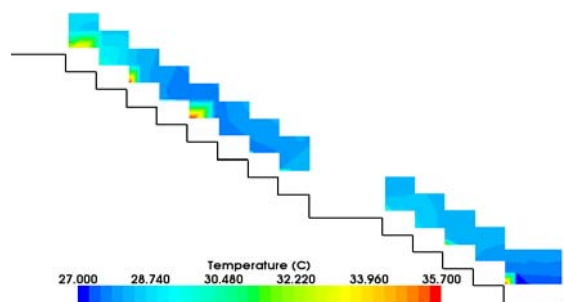


(b) Temperature distribution (x=3)

Fig. 11 Distribution of velocity and temperature in residential area of Case 3.



(a) velocity distribution (x=0)



(b) Temperature distribution (x=3)

Fig. 14 Distribution of velocity and temperature in residential area of Case 4.

3.4 객석상부 및 바닥급기/하부배기방식(Case 4)

Fig. 12 ~ Fig. 14는 Case 4에서의 기류분포 및 온도분포, 거주영역에서의 기류 및 온도분포를 나타내고 있다. 수직단면에서의 기류분포를 살펴보면, 2층객석

상부 급기구에서 급기된 냉기류는 2층객석의 거주역을 거쳐 2층 출입문 상단의 배기구로 배출되며 거주영역의 열상승류와 합세하여 상승기류를 형성하였다. 1층객석 급기구에서 급기된 냉기류는 아래나 주변공기와 혼합되지 못한 채, 아래나벽면 하단배기구로 배기되는 단락현상(short circuit)이 발생하였다. 이로 인해 1층 및 2층객석 상부공간을 제외한 실내기류속도는 0.01~0.07 m/s로서 정체기류가 형성되었다.

수직단면에서의 온도분포를 살펴보면, 아래나 부분은 급기구에서 급기된 냉기류가 아래나벽면 하단배기구로 배기됨으로써 냉기의 확산이 감소하여 26.2~26.7℃의 온도분포를 나타내고 있다. 2층객석 상부 급기구에서 급기된 냉기류는 2층객석의 주변공기와 혼합되어 경기장의 중앙부분의 실내온도가 27.3~28.5℃로 나타났다.

관람객석 거주영역의 기류분포를 살펴보면, 1층객석 거주영역에서는 평균 0.21 m/s, 2층객석 거주영역에서는 평균 0.27 m/s로서 기류의 인체 쾌적범위를 만족하는 것으로 나타났다. 관람객석 거주영역의 온도분포는 1층 및 2층객석 거주영역에서의 평균온도가 각각 27.7℃, 28.0℃의 온도로 나타나 여름철 실내환경 26.℃를 초과하는 것으로 나타났다.

5. 결론

돛경기장의 급배기방식에 따른 실내기류 및 온도분포를 검토한 결과는 다음과 같다.

(1) 관람객석 거주영역에 형성되는 평균기류속도를 검토한 결과 4가지 급배기방식 모두 기류의 인체 쾌적범위를 만족하는 것으로 나타났다.

(2) 관람객석 거주영역에 형성되는 평균온도를 검토한 결과 객석상부 및 바닥급기/하부배기방식(Case 4)의 거주영역 평균온도가 26℃를 초과하여 여름철 실내환경으로는 부적합하다고 판단된다.

(3) 돛경기장의 실내온도분포의 균질도면에서 검토한 결과 객석상부 및 바닥급기/하부배기방식

(Case 4)이 26.5~26.7℃의 실내온도분포로 나타나 전반적인 실내온도분포가 균일한 것으로 나타났다. 이는 객석상부급기구에서 9 m/s로 급기된 기류로 인해 실 전체에 순환기류가 형성되었기 때문이다.

(4) 각 급배기방식별 천장부근의 열고임 현상을 검토한 결과 일부객석바닥급기/상부배기방식(Case 1)과 전체객석바닥급기/상부배기방식(Case 2)의 고온층(28℃이상) 두께는 약 9.7 m, 객석상부급기/하부배기방식(Case 3)의 경우 5.7 m, 객석상부 및 바닥급기/하부배기방식(Case 4)의 경우 6.7 m로 나타나 객석상부급기/하부배기방식(Case 3)의 경우 온도성층구배(고온층)를 완화하는데 효과적이다.

(5) 객석상부 및 바닥급기/하부배기방식(Case 4)은 객석상부급기/하부배기방식(Case 3)과 달리 객석바닥급기에서 급기된 냉기가 하부배기구로 바로 배기되는 단락현상이 나타나 실내기류 정체 및 실내온도 상승의 원인으로 작용하였다. 따라서 객석바닥급기를 적용할 경우 하부배기는 여름철 실내환경을 조성하는데 어려움이 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Yang, J. H. et al., A Case Study on the Cooling and Heating System of Dome Stadiums in Japan, Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol. 7, No.3, pp. 109~118.
2. Seok, H. T. et al., Measurement Examination of Indoor Thermal Environment Characteristic in accordance with Heat Loads from Occupant for Large Enclosure in Winter, Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol. 7, No.3, pp. 979~107.
3. 中原利之 編集委員會, "ドームの建築, ドーム建築の事例", 空気調和・衛生工學 第73卷 第10号, 1999.10, pp.11-51
4. 大黒雅之 외 7명, "空間形狀が変化する大空間觀覽場における空調方式に関する研究, 第1報 冬期における暖房實測", 空気調和・衛生工學會學術講演會講演論文集, 2001.9.26-28, 京都, pp.1465-1467
5. ASHRAE, 2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-2004