[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 22, No. 4, 2002

사례연구를 통한 중규모 공연장의 공조시스템 개선 방안에 관한 연구

A Case study on the Improvement of Air Conditioning System for Thermal Comfort and Energy Conservation in a Middle-Sized Auditorium

나수연*, 이언구**
S.Y. Na*, E.K. Rhee**

Key words : 바닥공조시스템(Under Floor Air Conditioning System), 열쾌적(Thermal Comfort), 냉방에너지절약(Cooling Energy Conservation)

Abstract

Recently the number of auditoriums such as theaters, assembly halls, and concert halls is increasing in Korea. Auditoriums have generally large space volume, have a high density of occupancy per unit floor area, compared to other buildings. Since they have relatively high ceilings, some heat may stratify above the occupied zone. The under floor air conditioning system, which is set under seats, is frequently selected in an auditorium, because typical air conditioning system where air is supplied from ceilings often causes drafts and unequal temperature distribution.

Therefore, this study aims to suggest basic data for air conditioning system design of a middle-sized auditorium. Features and problems of air conditioning system of an auditorium which has about 500 seats are investigated as a case study. In addition, indoor thermal comfort and cooling energy consumption are analyzed with a CFD program and an energy analysis program.

* 제주대학교 건축공학과
** 중앙대학교 건축학과
* *Department of Architecture, Cheju national University*
** *Department of Architecture, Chungang University*

1. 서 론

국민생활수준이 향상됨에 따라 연극, 영화, 콘서트 등 문화생활을 위한 공간의 하나로 중규모 공연장의 건설이 증가하고 있다. 공연장은 건물의 특성상 실내가 대공간으로 구성되고, 천장이 높아 상하 온도 편차가 크기 때문에 거주영역에 균일한 온도와 적정한 기류분포를 유지시키는데 어려움이 있다. 공조방식에 있어서 일반적으로 천장취출 공조시스템이 널리 사용되고 있으나 드래프트(draft)현상과 불균일한 온도분포가 나타나는 경우가 많기 때문에, 최근에 바닥 또는 좌석 하부에 취출구를 설치하여 공간 전체영역이 아닌 바닥 부근의 거주영역만을 공조하는 바닥취출 공조시스템의 사용이 늘어나고 있다.

따라서 본 연구에서는 중규모 공연장의 한 사례를 대상으로 공조시스템에 대한 특성과 문제점을 고찰하고, CFD(Computational Fluid Dynamics) 프로그램과 에너지 해석 프로그램을 이용하여 공조방식과 풍량 변화에 따른 실내 열환경과 냉방에너지 소비량을 비교, 분석하였다. 본 연구의 결과는 중규모 공연장의 냉방 쾌적도를 향상시킴과 동시에 에너지 절약을 도모할 수 있는 적정 공조시스템의 선택과 바닥취출 공조시스템 계획시 적정 풍량 산정을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

1.1 연구방법

본 연구에서는 중규모 공연장의 실내 열환경과 냉방에너지를 분석하기 위해 전산 유체 해석(CFD : Computational Fluid Dynamics) 상용코드 중의 하나인 PHOENICS 프로그램과 정밀 에너지해석 프로그램인 DOE-2 프로그램을 이용하였다. CFD 프로그램을 이용하여 기존의 공연장에 적용된 천장취출 공조시스템의 실내 기류속도 및 분포, 온도분포를 분석하고, DOE-2 프로그램을 이용하여 냉방에너지 소비량을 분석함으로써 천장취출 공조시스템의 특성과 문제점을 분석하고, 개선방안을 제시하였다.

1.2 대상 선정

본 연구에서는 최근에 완공된 서울 시내 C대학의 문화예술관을 대상 모델로 선정하였다. 대상 건물 내부에는 천장취출 공조시스템을 적용한 500석 규모의 공연장이 위치해 있으며 별도의 공조기에 의해 건물 내의 다른 실과 독립적으로 냉난방이 이루어지고 있다. 공연장은 바닥면적 800m^2, 객석 천장고 6~10m, 실체적 7,520m^{3}이며, 북측에 면한 무대부분을 제외하고 동측, 남측, 서측면은 로비와 복도로 둘러싸여 있다. 그림 1과 그림 2는 대상건물의 평면도 및 단면도를 보여준다.

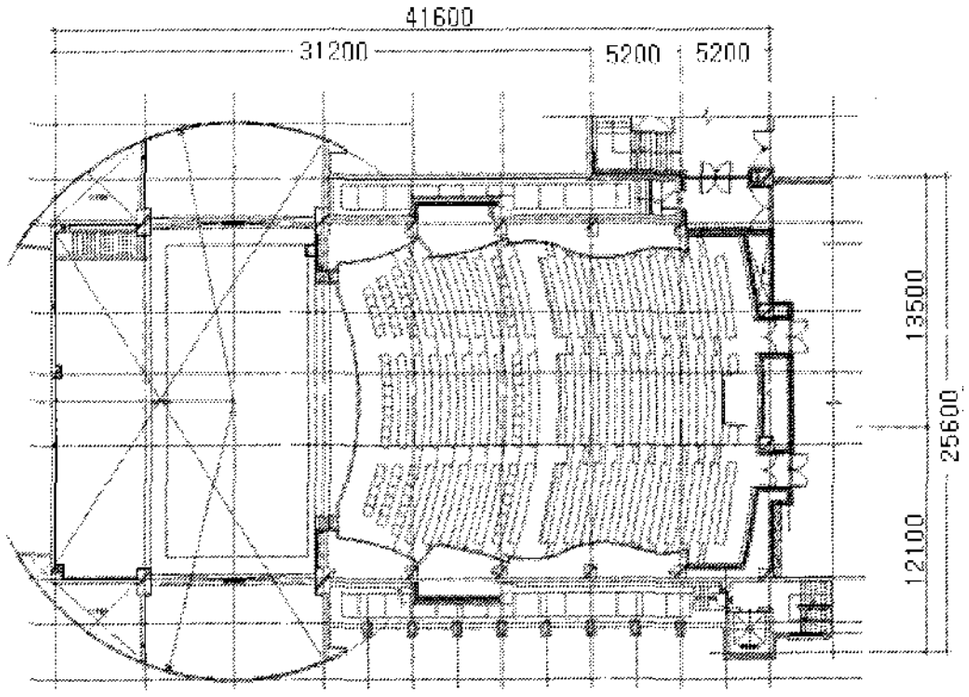

그림 1. 공연장 평면도

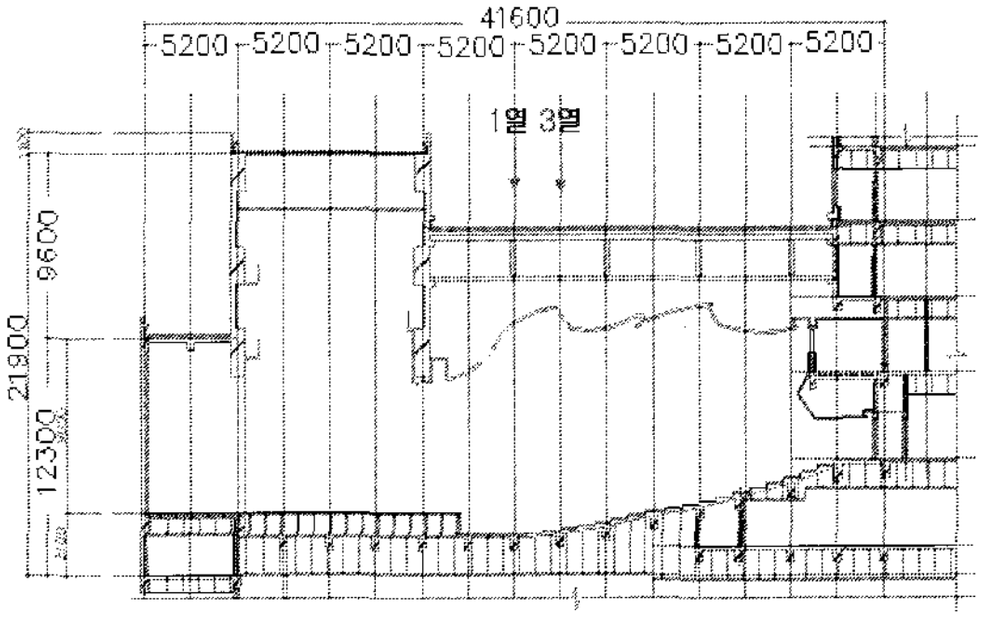

그림 2. 공연장 종단면도

표 2. 공기조화기의 제원

AHU 형식	설계 풍량 (CMH)	구분	형식	풍량 (CMM)	정압 (mmAq)	모터 (kW)
수평형	35,000	Supply Fan	Airfoil DS	583	90	15
		Return Fan	Airfoil DS	539	45	7.5
		구분	냉방능력 (kcal/h)	출입구 공기온도 (℃ DB)	냉수량 (LPM)	출입구 냉수온도 (℃)
		Cooling Coil	206,000	16/27.4	690	7/12

2. 천장취출 공조시스템 분석

2.1 대상건물의 공조계획(기존안)

대상 공연장은 CAV(Constant Air Volume) 방식으로 냉방용량 206,000kcal/h인 공조기 1대가 공연장을 담당하고 있도록 계획되었다. 표 1은 설치된 공기조화기의 제원을 보여준다.

기존 공조계획에서 여름철 실내 설정 온도는 26℃이고, 객석부분의 경우 취출구에서 취출되는 공기는 건구온도 16℃, 기류속도 4m/s로 하향으로 취출되어 재실자가 착석해 있는 거주영역을 공조한 후 무대 앞부분에 설치된 흡입구를 통해 환기된다. 그림 3와 그림 4는 취출구와 흡입구의 위치를 나타낸다.

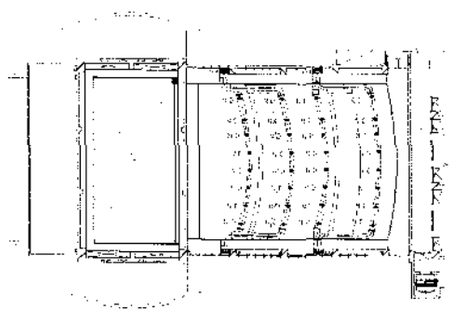

그림 3. 천장 취출구 위치

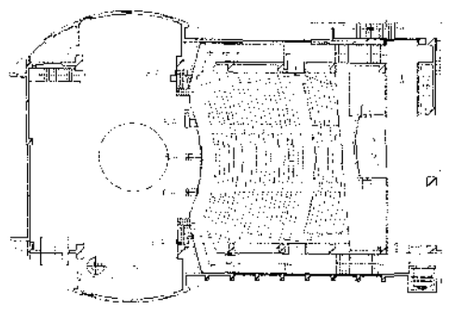

그림 4. 흡입구 위치

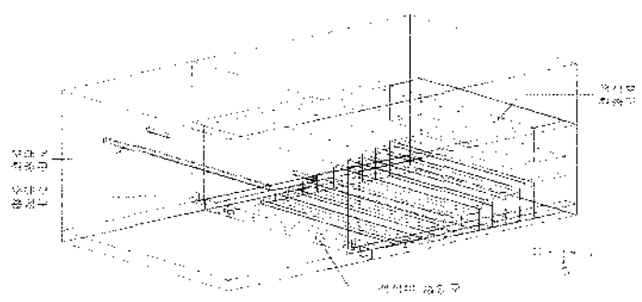

그림 5. 천장취출 공조시스템의 입력모델

표 1. 입력 경계 조건

구 분		입 력 값
초기 실내기온		28 ℃
인체 발열량		24.837 kW (500명)
객석부분 취출구	풍 량	22,420 CMH
	취출온도	16 ℃
	풍 속	4 m/s
	크 기	230mm×220mm
	갯 수	32 개
객석부분 흡입구	크 기	1,300mm×400mm
	갯 수	5 개
무대부분 취출구	풍 량	7,270 CMH
	취출온도	16 ℃
	풍 속	2 m/s
	크 기	250mm×400mm
	갯 수	10 개
무대부분 흡입구	크 기	400mm×800mm
	갯 수	2 개

2.2 천장취출 공조시스템의 실내 열환경

시뮬레이션 모델의 전체 크기는 가로, 세로, 높이가 40m×22m×17m이고, 그리드는 53×52×24로 전체 셀(cell)의 수는 66,144개이다. 그림 5는 시뮬레이션 대상 모델을 보여주며 CFD 프로그램에 입력한 경계조건은 표 2와 같다.

2.2.1 천장취출 공조시스템의 기류분포

기존안의 실내 기류분포를 살펴보면 그림 6에서 그림 7에서 볼 수 있듯이, 객석부분의 천장에서 취출된 급기는 거주영역을 공조하며 무대 전방에 설치된 흡입구로 환기되는 것을 알 수 있다. 무대부분의 경우에는 상부 덕트에서 취출된 공기가 하강하여 바닥면에서 수평이동한 후 일부는 벽체를 따라 상승하고 일부는 양단부에 설치된 흡입구로 환기되는 패턴을 보인다. 그림 6에서 공연장 중앙부에서의 기류분포를 단면으로 살펴보면 천장에 설치된 취출구에서 4m/s의 속도로 하강하는 취출 기류는 속도가 점차 감소하여 거주영역(바닥에서 1m높이)에서 0.3~2.1m/s의 속도를

보인다. 객석부분 전면과 후면의 천장고가 6~10m로 상이함에도 불구하고 4열로 설치된 취출구의 취출 속도가 모두 동일하기 때문에, 그림 7에서처럼 객석부분 전면의 취출구 바로 아래 거주영역에서는 1.1m/s의 기류 속도를 보이지만, 그림 8에서처럼 객석부분 후면의 취출구 아래 거주영역에서는 2.1m/s로 매우 높은 속도를 나타낸다. 이것은 거주 공간에서 실내 기류의 최적치인 0.25~0.3m/s(냉방의 경우)와 실내 설정온도 26℃일 때 거주 공간의 허용 기류속도 0.35m/s를 크게 상회하는 것으로, 공조된 공기가 거주영역에 쉽게 도달할 수 있도록 노즐을 사용하였기 때문에 급기의 확산반경이 작아지고 드래프트(draft)현상이 발생하는 문제가 생기게 된다. 즉, 객석부분 후면의 경우 천장고가 낮아지므로 취출 속도를 감소시켜야 할 필요가 있는 것으로 나타났다.

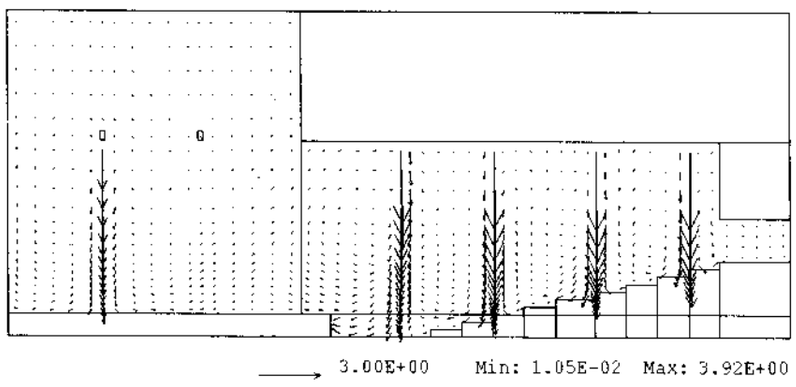

그림 6. 공연장 중앙부 기류분포 (단면)

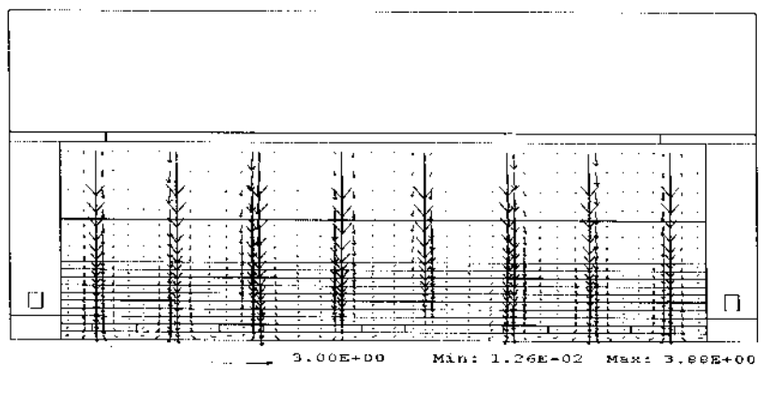

그림 7. 객석 1열 기류분포 (단면)

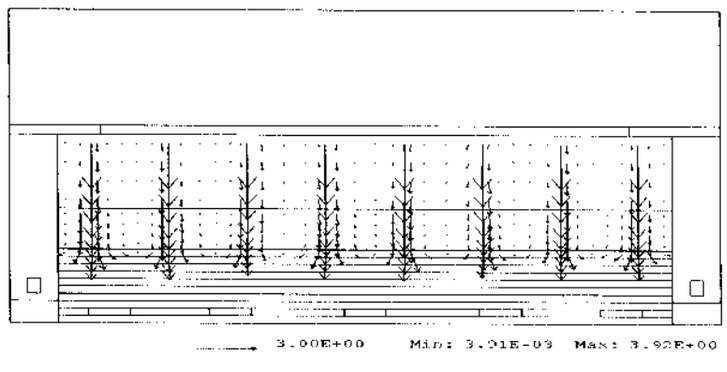

그림 8. 객석 4열 기류분포 (단면)

2.2.2 천장취출 공조시스템의 온도분포

그림 9는 중앙의 취출구가 설치되어 있는 위치에서의 수직 온도 분포를 보여주는데 거주영역 평균온도는 21.8℃으로 나타났다. 그림 10은 취출구와 취출구 사이의 온도 분포를 나타내는데, 이 지점의 거주영역 평균온도는 24.3℃으로 나타났다. 즉, 취출구가 설치되어 있는 위치와 설치되지 않은 위치에서의 평균온도가 2.5℃의 차이를 보여 취출구의 위치에 따라 거주영역의 온도분포가 분균등한 것을 알 수 있다.

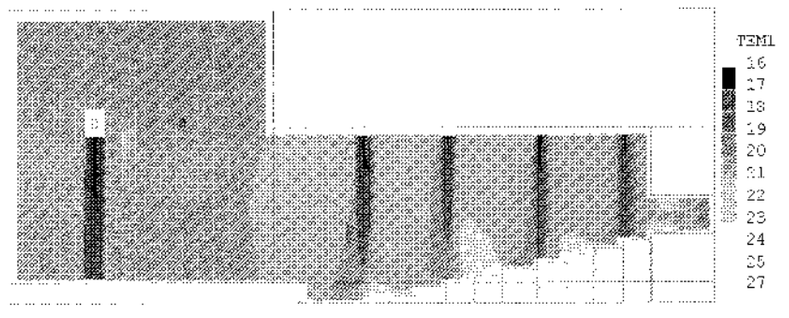

그림 9. 공연장 중앙부 수직온도분포

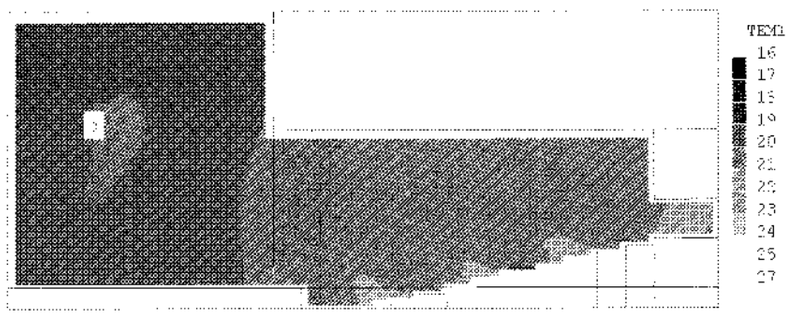

그림 10. 취출구와 취출구 사이의 수직온도분포

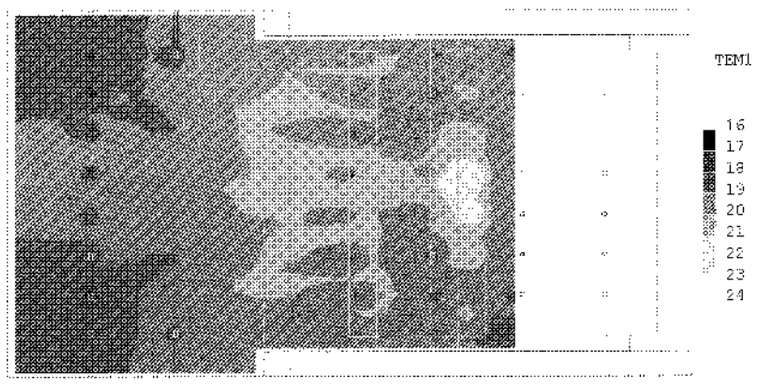

그림 11. 수평온도분포
(객석 9~10열,바닥면에서 1m 높이)

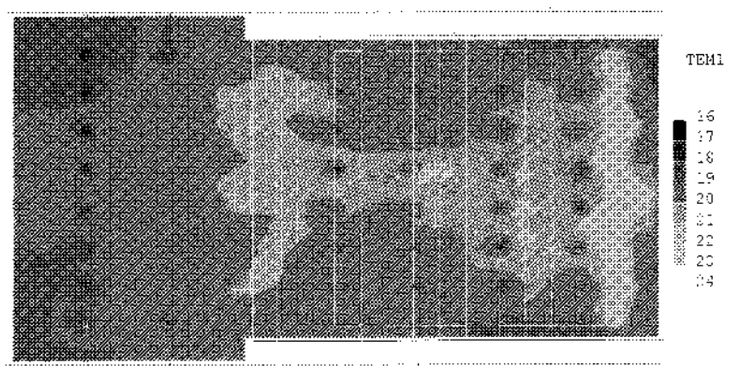

그림 12. 수평온도분포
(객석19~20열, 바닥면에서 1m높이)

그림 12와 그림 13은 각각 객석부분 9~10열과 19~20열의 바닥면에서 1m 높이의 수평 온도 분포를 나타낸다. 19열과 20열의 경우, 상부에 영사실이 위치하여 천장에서 취출된 공기가 직접 거주영역에 도달하지 않기 때문에 객석부분의 다른 위치에 비하여 상대적으로 높은 온도분포를 보인다. 또한, 취출구의 유무에 따라 거주영역의 온도분포가 달라지므로 관객이 착석한 위치에 따라 열환경 차이가 큰 것으로 분석되었다.

2.3 기존 천장취출 공조시스템의 냉방에너지 소비량 분석

본 연구에서는 연간 냉방에너지 소비량을 좀더 정확하게 산정하기 위하여 DOE-2 프로그램을 이용하여 기존 공조시스템의 건물 부하 및 이에 대한 시스템 부하를 계산하였다. 단, 공조 공기가 덕트를 통하여 분배되는 동안 덕트를 통한 열전도나 공기의 누설이 없는 것으로 가정하였다.

표 4는 기존 천장취출 공조시스템의 급기팬 풍량 및 연간 냉방에너지 산정량을 보여준다. 또한 냉방기(6~9월)의 월별 냉방에너지 및 최대 냉방부하는 표 5와 같다.

표 2. 천장취출 공조시스템의 연간 냉방에너지 소비량

구 분		결과값
급기팬 풍량 (CMH)	객석 부분	22,420
	무대 부분	7,270
냉방 용량(Cooling Capacity)(kW)		142.981
냉방에너지 (MWH)		215.121
최대 냉방부하 (kW)		122.436

표 3. 천장취출 공조시스템의 월별 냉방에너지 소비량

냉방기	에너지 소비량(kW)	최대 냉방부하(kW)
6월	34.395	112.705
7월	39.384	118.197
8월	41.183	122.436
9월	30.263	105.947

2.4 기존 천장취출 공조시스템의 개선안

CFD 프로그램을 이용한 시뮬레이션 결과, 기존에 적용된 천장취출 공조시스템에서는 취출구 노즐에서 4m/s의 속도로 급기하므로 거주영역에서 기류속도가 0.3~2.1m/s에 이르는 드래프트 현상이 발생하고, 취출구의 위치에 따라 불균일한 온도분포를 보여 거주영역에서 균일한 쾌적도를 유지하기 어려운 것으로 나타났다. 이를 개선하기 위한 방법으로 취출속도를 2~3m/s로 감소시키고, 취출구의 면적과 개수를 증가시키는 대안을 제안하여 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션을 위한 입력조건은 표 6과 같다.

표 4. 입력 경계 조건

구 분		입력값
초기 실내기온		28 ℃
인체 발열량		24.837 kW (500명)
객석부분 취출구	풍 량	22,420 CMH
	취출온도	16 ℃
	풍 속	1~3열 : 3 m/s 4~5열 : 2 m/s
	크 기	250mm×250mm
	갯 수	40 개
객석부분 흡입구	크 기	1,300mm×400mm
	갯 수	5 개
무대부분 취출구	풍 량	7,270 CMH
	취출온도	16 ℃
	풍 속	2 m/s
	크 기	250mm×400mm
	갯 수	10 개
무대부분 흡입구	크 기	400mm×800mm
	갯 수	2 개

그림 13에서 그림 15는 개선안의 실내 기류분포를 시뮬레이션한 결과를 보여주는데 전체적인 기류패턴은 기존안과 유사한 것을 알 수 있다. 그림 13에서 공연장 중앙부에서의 기류분포를 단면으로 살펴보면, 객석부분 전면의 취출구 1~3열에서는 3m/s의 속도로 공기가 취출되고, 후면의 취출구 4~5열에서는 2m/s의 속도로 공기가

취출되어 거주영역에서는 0.2~1.2m/s의 속도를 보인다. 객석부분 전면과 후면의 천장고가 6~10m로 상이한 것을 고려하여 취출속도를 설정하였기 때문에 기존안에 비하여 기류 속도가 감소되어 드래프트가 일어날 가능성이 감소되었지만, 제 5열에서는 1.2m/s의 기류 속도를 나타내어 여전히 드래프트가 일어날 가능성이 있는 것으로 나타났다.

그림 14는 객석부분 제 1열 취출구에서의 기류분포를 단면으로 보여준다. 1개의 열에 8개의 노즐이 설치된 형태로, 3m/s의 속도로 취출된 공조공기가 하강하면서 속도가 점차 감소하여 거주영역에서는 0.3~0.5m/s의 속도로 이동하여 드래프트가 일어날 가능성은 적다. 그러나, 그림 15에서 제 5열 객석부분의 기류 분포를 살펴보면, 8개의 노즐에서 2m/s의 속도로 취출된 급기가 거주영역에서는 0.9~1.2m/s의 속도를 나타내어, 허용기류속도 0.35m/s(26℃일 때)를 크게 상회하는 것으로 나타났다. 그림 16은 취출구가 설치되어 있는 중앙 위치에서의 수직 온도 분포를 보여주며, 평균온도는 22.1℃으로 나타났다. 취출구와 취출구 사이의 온도 분포는 그림 17와 같으며 이 지점의 거주영역 평균온도는 24.7℃으로 나타났다.

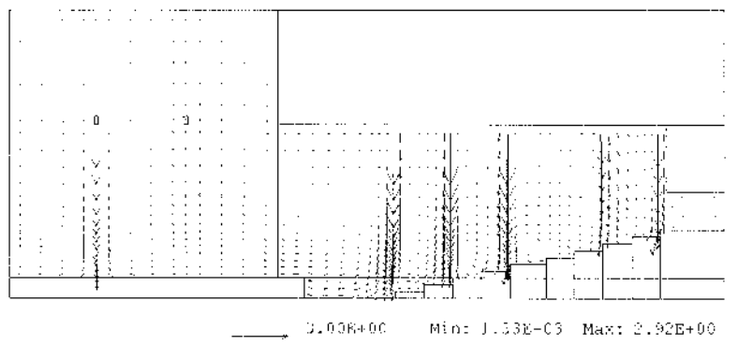

그림 13. 공연장 중앙부 기류분포 (단면)

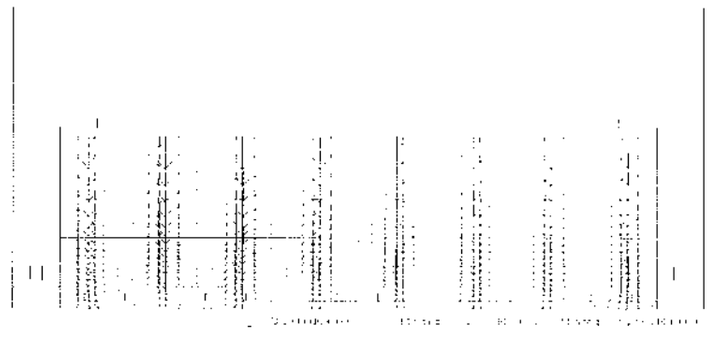

그림 14. 객석 1열 기류분포(단면)

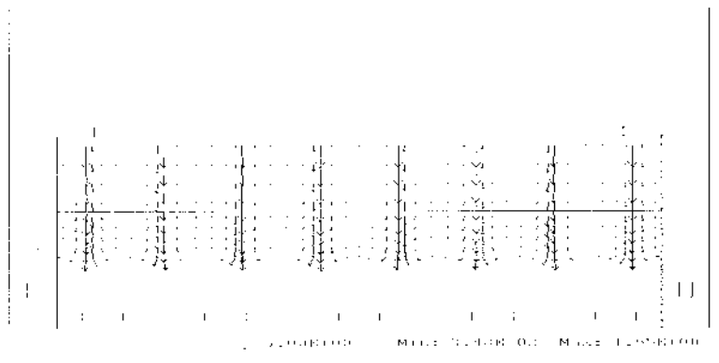

그림 15. 객석 5열 기류분포(단면)

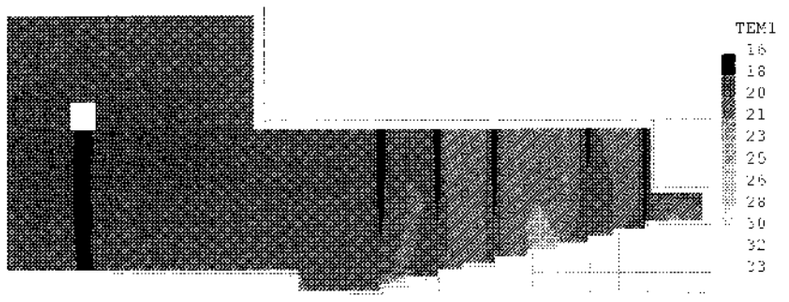

그림 16. 공연장 중앙부 수직온도분포

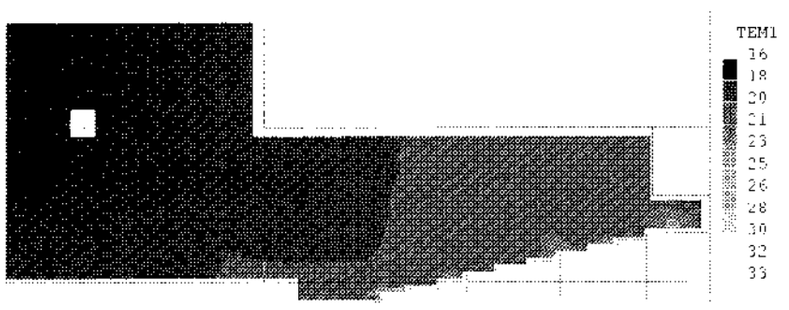

그림 17. 취출구와 취출구 사이의 수직온도분포

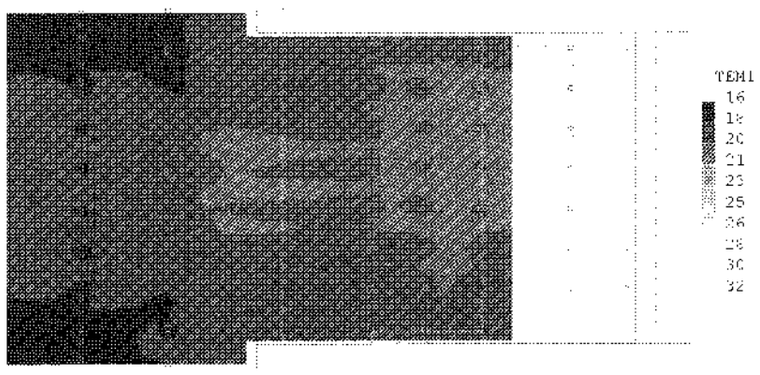

그림 18. 수평온도분포
(객석 9~10열,바닥면에서 1m 높이)

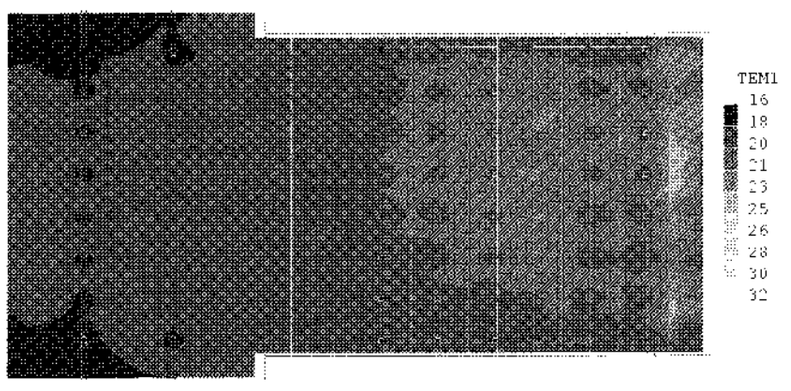

그림 19. 수평온도분포
(객석19~20열, 바닥면에서 1m높이)

그림 18와 그림 19는 각각 객석부분 9~10열과 19~20열의 수평 온도 분포를 나타낸다. 천장

에서 노즐로 취출하기 때문에 기존안과 마찬가지로 취출구의 위치에 따라 거주영역의 온도분포가 차이를 보여 관객이 착석한 위치에 따라 불균일한 열환경이 형성될 가능성이 높다.

3. 바닥취출 공조시스템 분석

천장취출 공조시스템에서 객석부분 전면과 후면의 온도 분포차와 취출구의 위치에 따른 거주영역의 온도 분포차를 감소시키기 위한 대안으로 바닥취출 공조시스템을 적용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션을 위한 대상 건물은 천장취출 공조시스템이 적용된 공연장과 동일한 건물로 선정하여 공조시스템만을 다르게 계획하였다. 무대부분은 천장취출 공조시스템의 사례와 동일하게 구성하였고, 객석부분은 좌석하부 바닥에서 취출된 공조 공기가 거주영역을 공조한 후 천장에 설치된 흡입구로 환기되는 시스템으로 계획하였다.

3.1 바닥취출 공조시스템의 공조계획

공조방식은 천장취출 공조시스템의 경우와 동일한 CAV(Constant Air Volume)방식이고, 여름철 실내 설정 온도는 건구온도 26℃이며, 객석부분의 경우 취출구에서 취출되는 공기는 건구온도 19℃, 기류속도 0.5m/s로 바닥면에서 상향 취출되어 재실자가 착석해 있는 거주영역을 공조한 후 천장에 설치된 흡입구를 통해 환기된다.

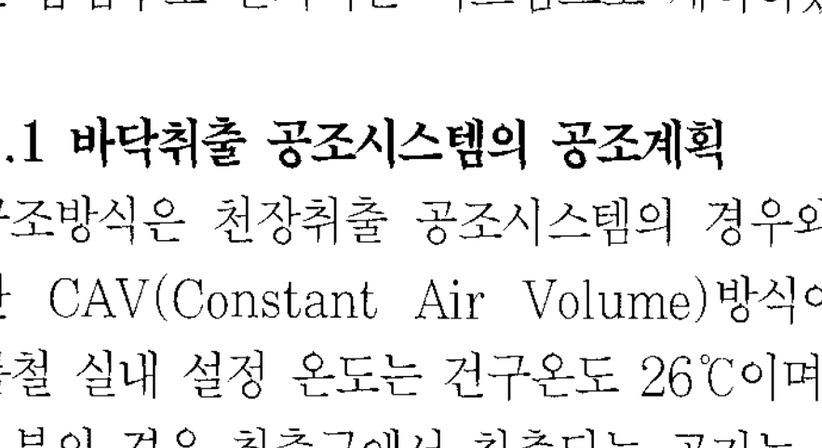

그림 20. 바닥취출 공조시스템의 입력모델

3.2 바닥취출 공조시스템의 실내 열환경

시뮬레이션 모델의 전체 크기는 가로, 세로, 높이가 각각 40m×22m×17m로 천장취출 공조시스템의 모델과 크기가 동일하고, 그리드는 70×44×24로 전체 셀(cell)의 수는 73,920개이다. 시뮬레이션 모델은 그림 20과 같으며 CFD 프로그램에 입력한 경계조건은 표 6과 같다.

3.2.1 바닥취출 공조시스템의 기류분포

그림 21는 공연장 중앙부에서 4.5m 떨어진 위치에서의 기류분포를 단면으로 나타낸다. 취출구 바로 위에서는 0.5m/s의 속도를 보이지만, 거주영역에서의 기류 속도는 0.1~0.35m/s로 거주공간의 허용 기류속도인 0.35m/s를 만족하므로, 열환경 측면에서 불쾌감이 낮은 것을 알 수 있다. 그림 23에서 객석부분 후면 19~20열을 살펴보면, 상부에 흡입구가 설치되어 있지 않기 때문에 취출된 공기가 객석부분 후면 통로에서 정체되는 것을 알 수 있다. 이러한 현상을 방지하기 위해서는 객석부분 후면 상단이나 측면에 흡입구를 설치할 필요가 있는 것으로 나타났다.

표 6. 입력 경계 조건

구 분		입 력 값
초기 실내기온		28 ℃
인체 발열량		24.837 kW (500명)
객석부분 취출구	풍 량	32,030 CMH
	취출온도	19 ℃
	풍 속	0.5 m/s
	크 기	200mm×1,000mm
	갯 수	90 개
객석부분 흡입구	크 기	900mm×1,000mm
	갯 수	20 개
무대부분 취출구	풍 량	7,270 CMH
	취출온도	16 ℃
	풍 속	2 m/s
	크 기	250mm×400mm
	갯 수	10 개
무대부분 흡입구	크 기	400mm×800mm
	갯 수	2 개

1) 平山昌宏, 가압식 바닥취출 공조시스템의 설계, 설비기술, 1995, p.83

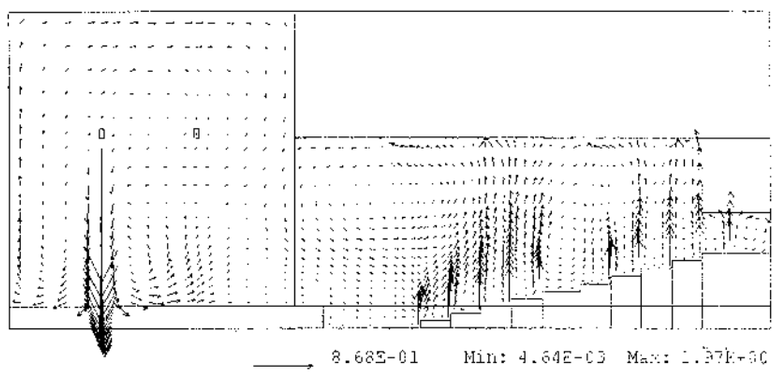

그림 21. 중앙에서 4.5m떨어진 위치에서의 기류 분포 (단면)

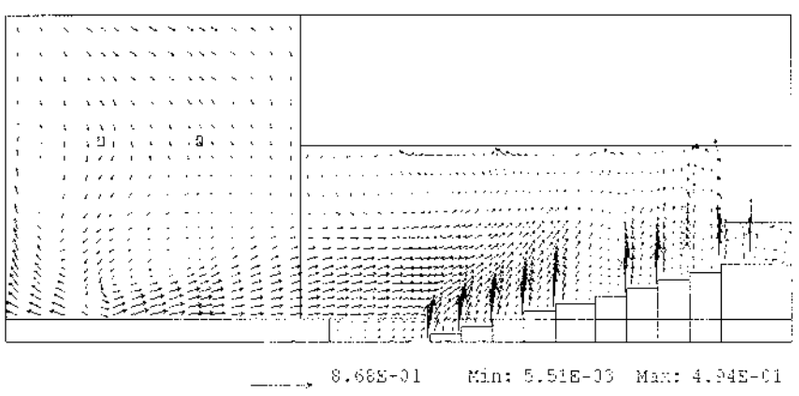

그림 22. 공연장 중앙에서의 기류분포

3.2.2 바닥취출 공조시스템의 온도분포

바닥 취출구에서 19℃로 급기하는 경우, CFD 프로그램을 이용하여 실내 온도분포를 시뮬레이션한 결과는 그림23에서 그림25와 같다. 그림23는 취출구가 설치되어 있는 중앙 위치에서의 수직 온도 분포를 나타내는데, 거주영역 평균온도는 22.7℃으로 나타났다. 그림 24와 그림 25는 각각 객석부분 9~10열과 19~20열의 수평 온도 분포를 나타내는데, 객석의 중앙부가 주위보다 0.8℃ 높은 온도분포를 보인다. 이것은 천장취출 공조시스템의 시뮬레이션 결과 나타난 온도차 2.5℃보다 매우 작은 값으로, 천장취출 공조시스템에 비하여 균등한 온도분포를 나타내는 것으로 분석되었다.

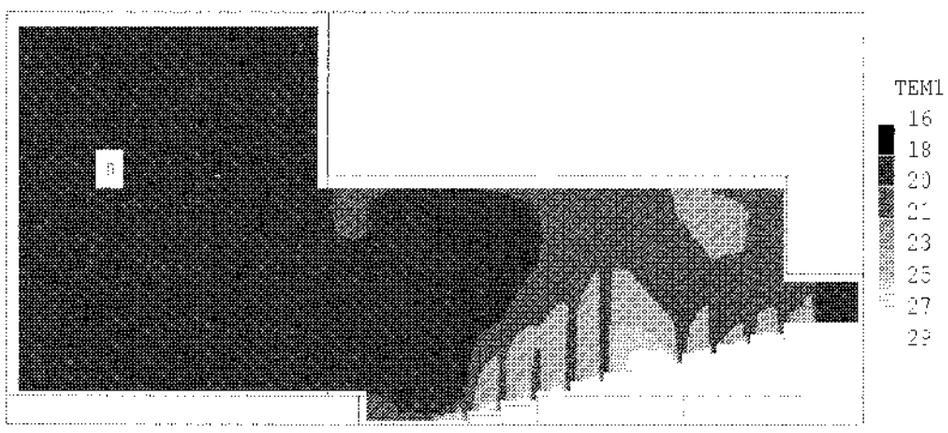

그림 23. 공연장 중앙부 수직온도분포

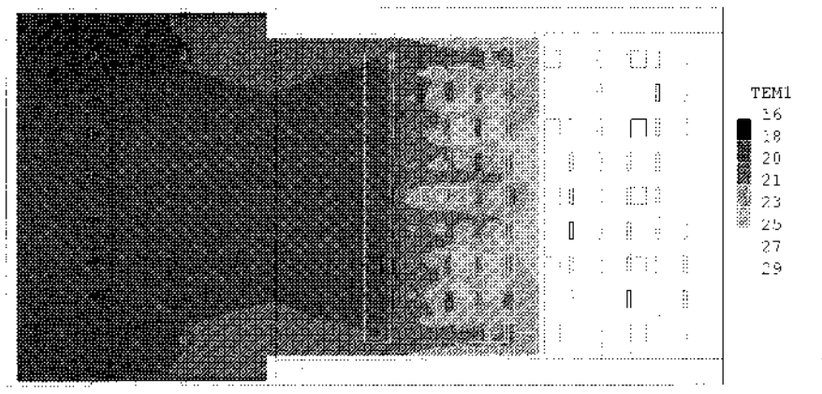

그림 24. 수평온도분포
(객석 9~10열,바닥면에서 1m 높이)

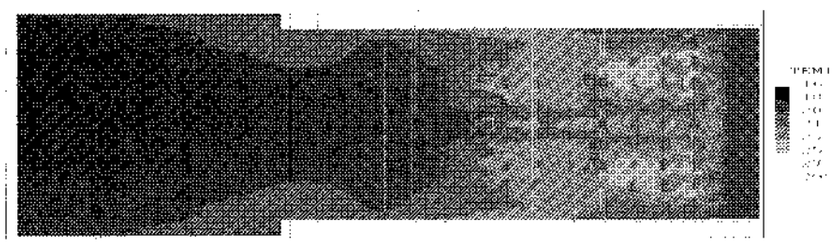

그림 25. 수평온도분포
(객석19~20열, 바닥면에서 1m높이)

3.3 바닥취출 공조시스템의 냉방에너지 소비량

표 7은 바닥취출 공조시스템의 급기팬 풍량 및 연간 냉방에너지 산정량을 보여준다. 또한 냉방기(6~9월)의 월별 냉방에너지 및 최대 냉방부하는 표 8과 같다. 여기서 볼 수 있듯이 바닥취출방식은 천장취출 공조시스템에 비하여 냉방용량은 16.8% 감소하였으나, 전체 풍량은 32.0% 증가하고, 연간냉방 에너지는 2.7% 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 바닥취출 공조시스템의 경우 천장취출 공조시스템에 비하여 급기온도가 18℃ 이상으로 상대적으로 높아져 풍량이 증가하기 때문이다. 즉, 바닥취출 공조시스템의 부하를 산정할 때 천장취출 공조시스템의 경우와 동일한 방식으로 부하를 산정하여 풍량을 계산하면, 실내 설정온도와 공급 공기 온도와의 차이가 작기 때문에 천장취출 공조시스템보다 풍량이 크게 증가하여, 팬(fan)의 용량과 덕트의 크기 및 설치 공간이 커지게 된다. 그러나 바닥 취출방식은 전체 공간을 냉방하는 것이 아니라 거주자영역만을 집중적으로 공조하는 시스템이므로 기존 천장 취출방식 설계와는 다른 방식으로 접근해야 할 것이다.

표 7. 바닥취출 공조시스템의 연간 냉방에너지 소비량

구 분		결과값
급기팬 풍량 (CMH)	객석 부분	32,030
	무대 부분	7,270
냉방 용량(Cooling Capacity)(kW)		118.999
냉방에너지 (MWH)		220.854
최대 냉방부하 (kW)		126.320

표 8. 바닥취출 공조시스템의 월별 냉방에너지 소비량

냉방기	에너지 소비량(kW)	최 대 냉방부하(kW)
6월	32.453	113.193
7월	40.533	122.086
8월	42.260	126.320
9월	28.772	108.442

3.4 바닥취출방식의 개선안

본 연구에서는 바닥취출 공조시스템을 기존방식과 동일한 방법으로 설계하는 경우, 풍량이 증가하여 천창취출방식에 비하여 냉방 에너지가 더 커지는 문제점에 대한 대안을 제안하고자 하였다. 바닥 취출방식의 특성은 전체공간을 공조하는 것이 아니라 거주영역만을 냉방하는 것이 목적이므로 객석부분의 공급 풍량을 20%, 30% 감소시켜, 이에 따른 실내 열환경을 분석하여 적정 풍량을 산정하고 냉방에너지 소비량을 비교, 분석하였다.

3.4.1 기존 설계 풍량의 20% 감소

바닥취출 공조시스템에서 기존방식으로 설계한 풍량의 20%를 감소시킨 경우, 실내 기류분포를 시뮬레이션한 결과는 그림 26 및 그림 27과 같다. 여기서 볼 수 있듯이, 기존 설계안과 기류패턴은 거의 동일하며 바닥 취출구 바로 위에서는 0.4m/s의 속도를 보이지만, 거주영역에서의 기류 속도는 0.1~0.3m/s로 나타나 거주영역에서 드래프트가 일어날 가능성은 거의 없는 것으로 나타났다.

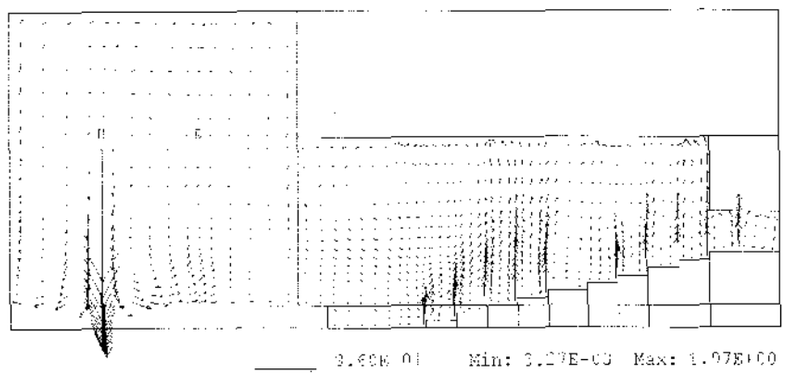

그림 26. 중앙부에서 4.5m 떨어진 위치에서의 기류분포 (단면)

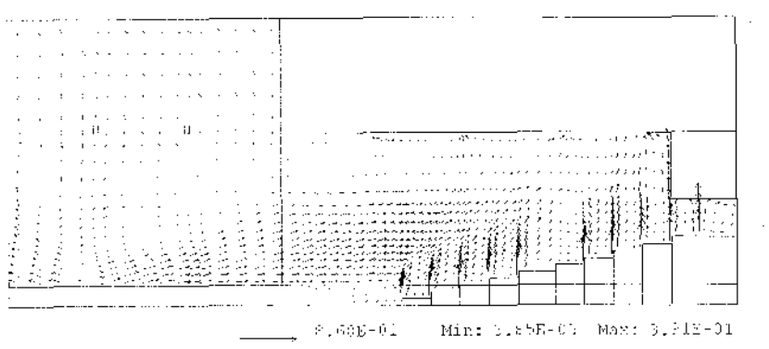

그림 27. 공연장 중앙부 기류분포 (단면)

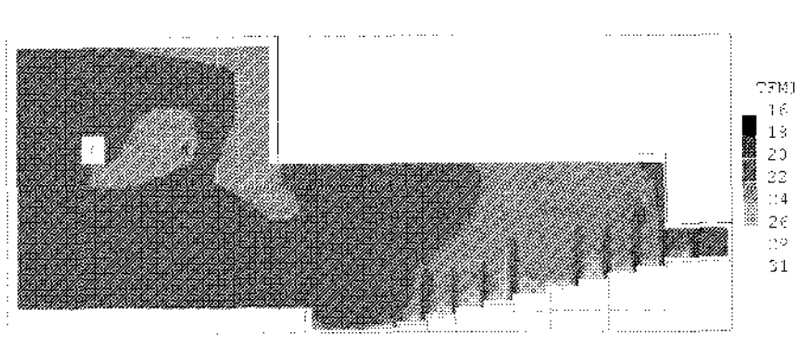

그림 28. 공연장 중앙부 수직온도분포

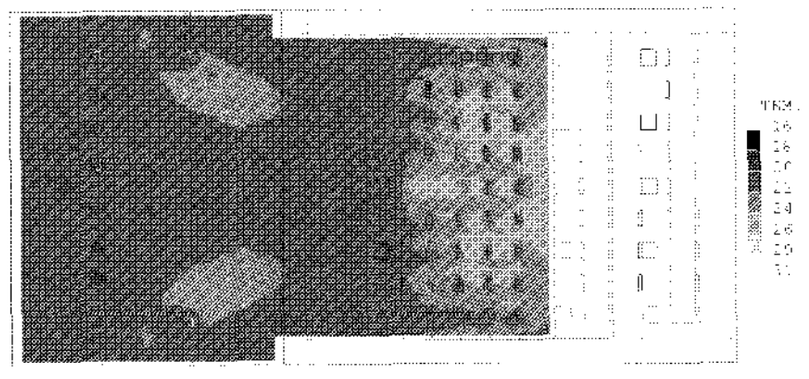

그림 29. 수평온도분포
(객석 9~10열,바닥면에서 1m 높이)

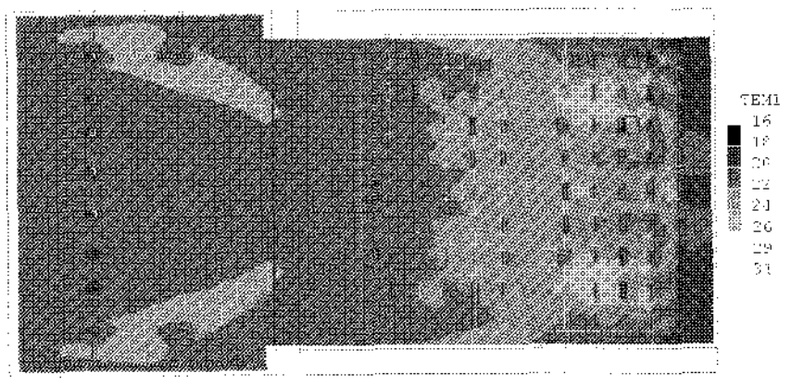

그림 30. 수평온도분포
(객석19~20열, 바닥면에서 1m높이)

이때 온도 분포를 살펴보면 그림 28에서 그림 30과 같으며 거주영역에서 21~26℃(평균 25.2℃)의 온도분포를 보여준다. 그림 29와 그림 30에서 볼 수 있듯이 객석부분 9~10열과 19~20열의 수평온도 분포를 살펴보면 객석의 중앙부에서는 주위보다 0.8℃정도 높은 온도분포를 보이지만, 천장취출 공조시스템의 경우보다 차이가 훨씬 작고 비교적 고른 온도 분포를 나타내었다. 즉, 바닥취출 공조시스템 설계시 건물 냉방부하에 의해 계산된 풍량보다 20% 감소시켜도 거주영역에서는 적절한 공조 환경을 유지할 수 있는 것을 알 수 있다.

3.4.2 기존 설계 풍량의 30% 감소

풍량을 30% 감소시킨 경우의 실내 기류분포는 그림31~그림33과 같으며 거주영역에서의 기류속도는 0.1~0.2m/s로 나타났다.

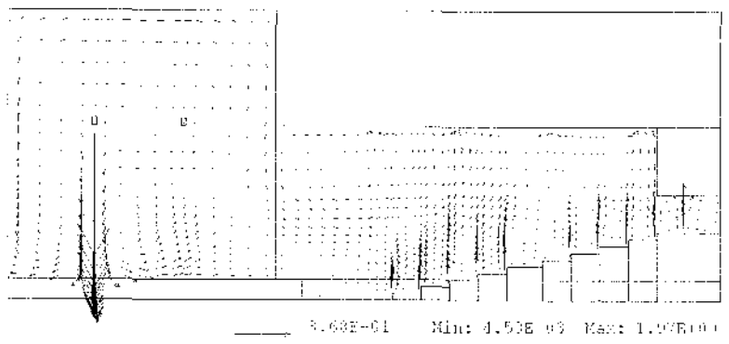

그림 31. 중앙에서 4.5m 떨어진 위치에서의 기류분포 (단면)

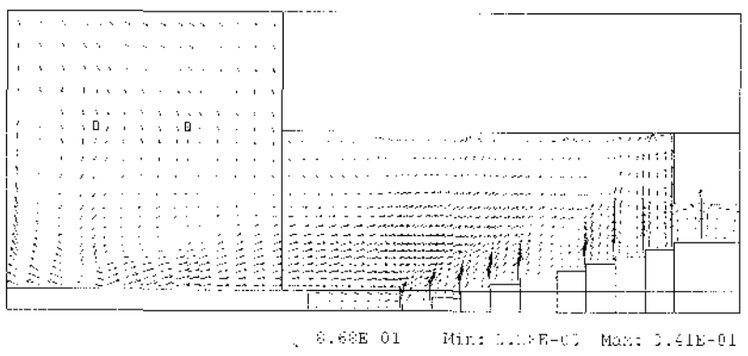

그림 32. 공연장 중앙부 기류분포 (단면)

그림 33은 중앙부 취출구가 설치되어 있는 위치에서의 수직 온도 분포를 나타낸다. 그림 34과 35에서 볼 수 있듯이, 거주영역에서 전체적인 온도 분포의 패턴은 풍량이 감소하더라도 유사하게 나타났지만, 관객이 착석해 있는 거주영역에서는 22.3~27.8℃의 온도 분포로 나타나 냉방시의 실내 설정 온도인 26℃를 상회하는 값을 나타내어 적정한 열환경을 유지하지 못하는 것으로 나타났다. 즉, 바닥취출 공조시스템에서 풍량을 30% 감소시킨 경우에는 여름철에 적절한 쾌적수준을 유지하기 어려운 것으로 나타났다.

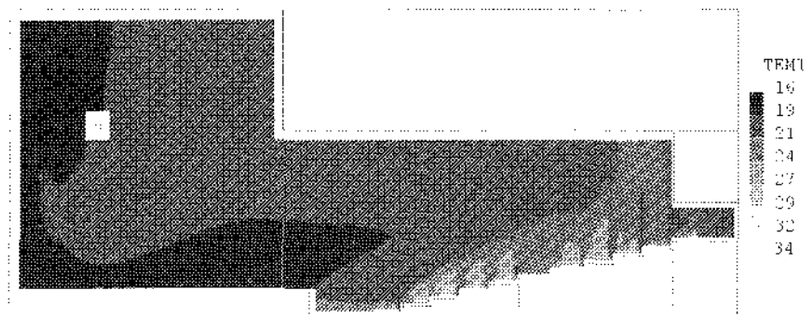

그림 33. 공연장 중앙부 수직온도분포

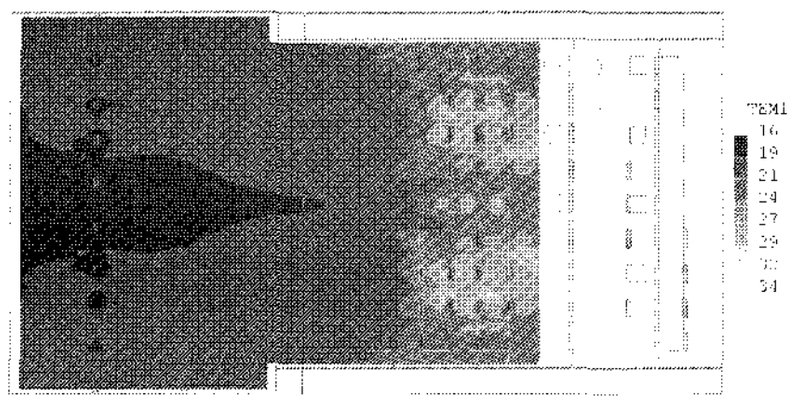

그림 34. 객석부분 9~10열의 수평온도분포 (바닥면에서 1m 높이)

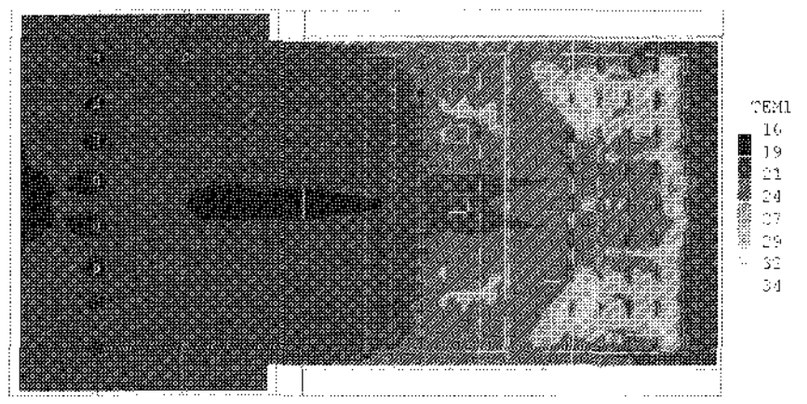

그림 35. 수평온도분포 (객석19~20열, 바닥면에서 1m높이)

4. 공조시스템 및 풍량 변화에 따른 냉방에너지 소비량 비교

천장취출 공조시스템과 바닥취출 공조시스템, 그리고 건물 냉방부하에 의해 계산된 설계 풍량보다 20% 풍량이 감소된 바닥취출 공조시스템의

냉방에너지 소비량을 비교하면 표9와 같다.
바닥취출 공조시스템에서 풍량을 20% 감소시킨 경우, 천장취출 공조시스템에 비하여 전체 급기팬 풍량은 10.8% 증가하지만, 냉방 용량은 28.7%, 냉방에너지는 3.4%, 최대 냉방부하는 2.4% 감소하여 기존의 천장취출 공조시스템보다 에너지 절약 측면에서 유리한 것으로 나타났다.

표 9. 연간 냉방에너지 소비량의 비교

구 분	천장취출 공조시스템 (기준)	바닥취출 공조시스템	
		기존 설계풍량 (변화율)	기존설계풍량 20% 감소시 (변화율)
전 체 급기팬 풍량 (CMH)	29,690	39,300 (+32.0%)	32,894 (+10.8%)
객석부 급기팬 풍량 (CMH)	22,420	32,030 (+42.9%)	25,624 (+14.3%)
냉방 용량 (kW)	142.981	118.999 (-16.8%)	101.999 (-28.7%)
냉방에너지 (MWH)	215.121	220.854 (+2.7%)	207.722 (-3.4%)
최대 냉방부하 (kW)	122.436	126.320 (+3.2%)	119.546 (-2.4%)

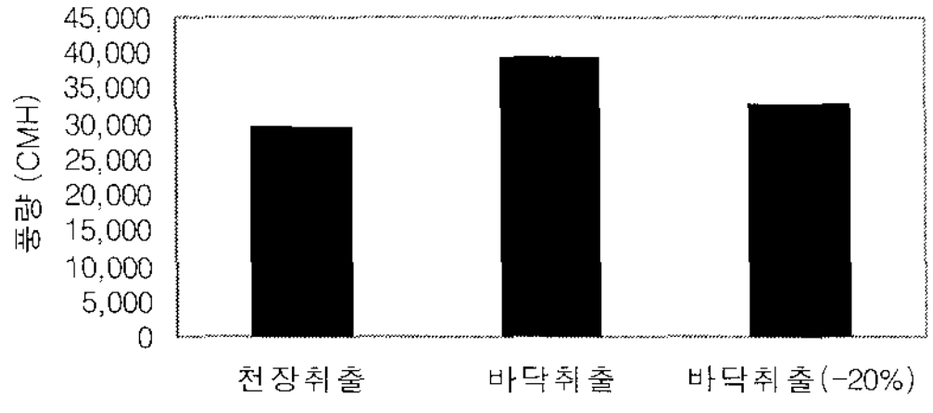

그림 36. 전체 풍량의 비교

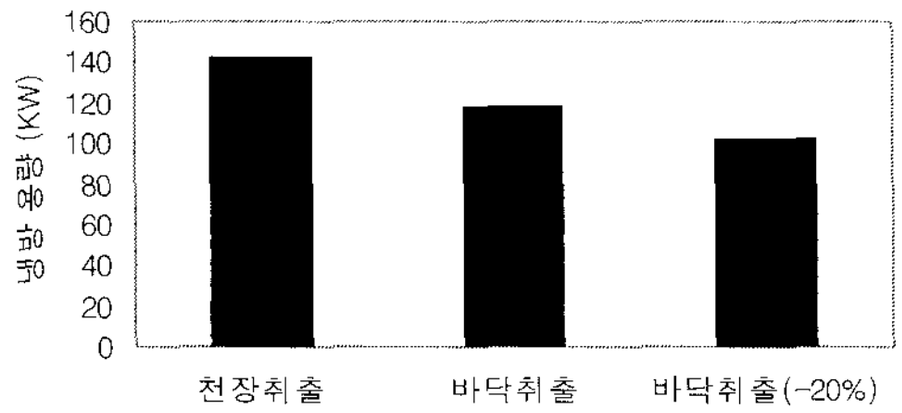

그림 37. 냉방용량의 비교

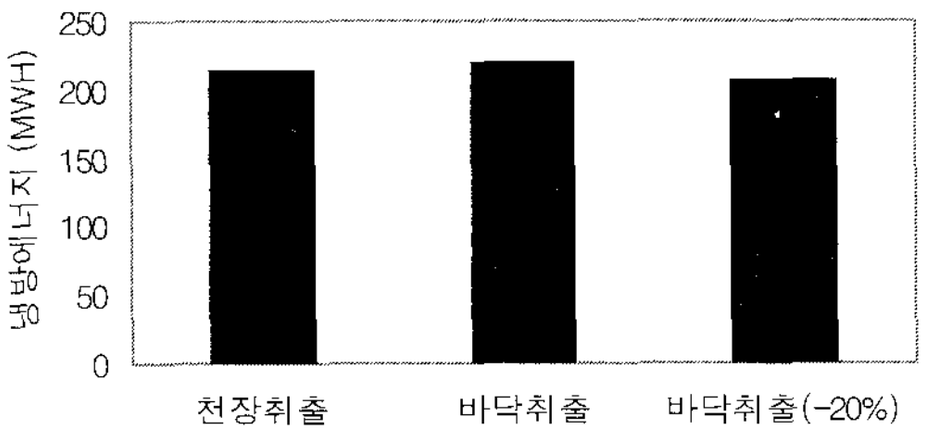

그림 38. 냉방에너지의 비교

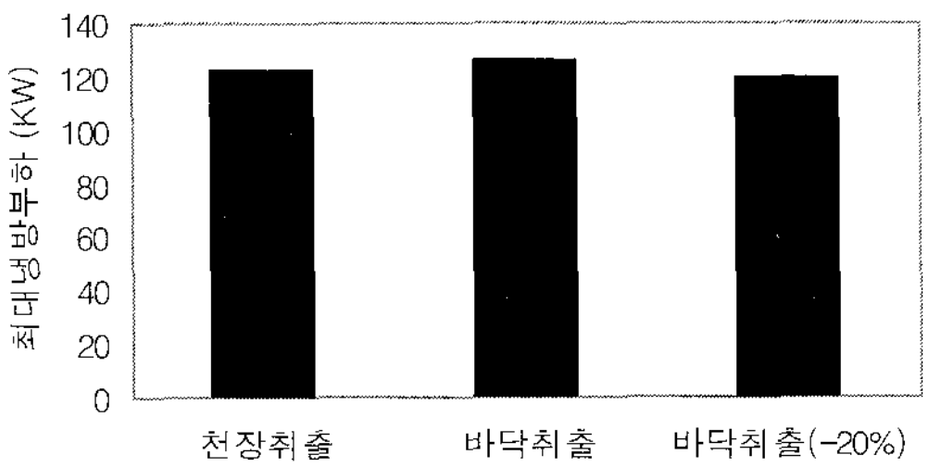

그림 39. 최대냉방부하의 비교

5. 결 론

본 연구에서는 중규모 공연장의 한 사례를 대상으로 공조방식에 따른 실내 열환경과 냉방에너지 소비량을 비교, 분석하여 냉방 쾌적도를 향상시키고 동시에 에너지 절약을 도모할 수 있는 적정 공조시스템의 선택과 바닥취출 공조시스템 계획시 적정 풍량 산정을 위한 기초 자료를 제안하고자 하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 기존 천장취출 공조시스템의 실내기류패턴과 온도분포를 시뮬레이션한 결과, 객석의 천장고 차이를 고려하지 않고 노즐을 이용하여 4m/s의 속도로 일정하게 급기하므로 거주영역에 기류속도가 0.3~2.1m/s에 이르는 드래프트(draft)현상이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 취출구의 위치에 따라 온도 분포가 2.5℃까지 차이를 나타나 거주영역에서 균일한 쾌적도를 유지하기 어려운

것으로 나타났다.

2. 천장취출 공조시스템에서 발생하는 드래프트 현상과 불균일한 온도분포를 개선하기 위하여 취출구의 면적과 개수를 증가시키고 취출 속도를 2~3m/s로 감소시켜 시뮬레이션을 실시한 결과, 기존안에 비하여 전반적으로는 거주영역의 기류속도가 감소하였지만 국부적으로 드래프트가 발생할 가능성이 있는 것으로 나타났다.
3. 바닥취출 공조시스템의 실내기류패턴과 온도분포를 시뮬레이션한 결과, 거주영역의 기류속도가 0.1~0.35m/s으로 열환경 측면에서 불쾌감이 줄어드는 것으로 나타났다. 실내 평균기온은 약 24℃로 나타나 천장취출방식과 유사한 것으로 나타난 반면 객석위치에 따른 온도차이는 0.8℃로 비교적 균등한 온도분포를 나타내었다.
4. 바닥취출 공조시스템의 적용에 있어서 천장취출 공조시스템과 동일한 방법으로의 부하계산을 하면 풍량이 크게 증가되어 바닥취출 공조시스템의 적용이 에너지 절약 측면에서 불리한 것으로 나타났다. 즉, 동일한 부하를 제거하는 경우 바닥취출 공조시스템에서 냉방 용량은 16.8% 감소하지만, 전체 풍량은 32.0%, 냉방에너지는 2.7%, 최대 냉방부하는 3.2% 증가하는 것으로 나타났다.
4. 바닥취출 공조시스템의 기존설계안에서 풍량을 20%로 감소시킨 경우 거주영역 평균온도가 각각 25.2℃로 나타남으로써 풍량을 20% 정도 감소시켜도 거주영역은 쾌적범위 내에 들 수 있음을 알 수 있었다. 천장취출 공조시스템과 비교해보면, 전체 풍량은 10.8% 증가하지만, 냉방 용량은 28.7%, 냉방 에너지는 3.4%, 최대 냉방부하는 2.4% 감소하여 에너지 절약측면에서 유리한 것으로 나타났다.

따라서 중규모 공연장의 공조시스템 설계시 바닥취출 공조시스템을 적용한다면 일반적인 방식으로 계산된 설계 풍량보다 20% 정도 감소시켜 취출하더라도 거주영역에서의 쾌적도를 유지할 수 있으며, 기존의 천장취출 공조시스템보다 에너지 절약적일 수 있음을 알 수 있었다.

또한, 본 연구에서는 계절적 요인과 측정상의 어려움으로 인하여 공연장에 대한 실측없이 현장답사, 건축 및 기계설계도면과 기계설비 계산서 등에 대한 검토를 통하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하였으므로, 추후 실측을 통해 시뮬레이션 결과를 검증하는 연구가 보완되어야 할 것이며 겨울철 난방에 대한 연구가 후속될 필요가 있다.

참고문헌

1) 최동호, 저속급기 좌석취출 공조시스템을 채용한 대공간 거주역의 온열환경에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제 15권 제 5호, 1999
2) 김요셉, 바닥급기 공조시스템의 열환경에 대한 수치해석, 숭실대학교 석사학위 논문, 1998
4) 이기섭, 바닥분출 공조방식과 급기구 특성에 관한 연구, 연세대학교 석사학위 논문, 1998
5) ASHRAE, 1989, ASHRAE Handbook Fundamentals.
6) Lee, M. H., 1993, Study on the architectural design for the independent aged, Chunang University.
7) Terry S. Boutet, Controlling Air Movement, McGraw-Hill, 1987
8) Qingyan Chen, Computational Fluid Dynamics for HVAC : Success and Failures, ASHRAE TRANSACTION, Part 1, 1997