第 95 回 碩士學位論文

指導敎授 李 彦 求

사례연구를 통한 중규모 공연장의 공조시스템 개선 방안에 관한 연구

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

中央大學校 大學院

建築學科 建築計劃 및 環境 專攻

金 倫 壹

2001年 6月

사례연구를 통한 중규모 공연장의 공조시스템 개선 방안에 관한 연구

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

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함

2001年 6月

中央大學校 大學院

建築學科 建築計劃 및 環境 專攻

金 倫 壹

金 倫 壹의 碩士學位 論文을 認定함.

審査 委員長 _____ (印)

審 査 委 員 _____ (印)

審 査 委 員 _____ (印)

中央大學校 大學院

建築學科 建築計劃 및 環境 專攻

金 倫 壹

2001年 6月

국 문 초 록

국민의 생활수준이 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.

본 연구에서는 약 500석 규모의 관객석을 지닌 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 냉방시 거주영역에서의 쾌적도를 향상시킴과 동시에 에너지 절약을 도모할 수 있는 적정 공조시스템의 선택과 바닥취출 공조시스템 계획시 적정 풍량 산정을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구의 결과는 크게 공조시스템별 실내 열환경 부분과 냉방에너지 소비량 부분으로 나뉘어지며 각 부분별 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공조시스템별 실내 열환경 분석

1) 전체 기류 분포를 살펴보면, 객석부분의 경우 천장취출 공조시스템에서는 천장에서 취출된 공조 공기가 거주영역을 공조한 후 무대 전방의 흡입구로 환기되고, 바닥취출 공조시스템에서는 바닥에서 취출된 공조 공기가 거주영역을 공조한 후 상승하여 천장의 흡입구로 환기되는 패턴을 보이며, 무대부분의 경우 상부 덕트에서 취출된 공기가 하강하여 양단부의 흡입구로 환기되는 패턴을 보인다.

2) 기류 속도를 살펴보면, 천장취출 공조시스템에서는 바닥면에서 1m 높이의 거주영역에서 드래프트(draft)가 발생할 수 있는 0.3~2.1m/s의 속도를 보여 재실자에게 불쾌감을 유발할 가능성이 매우 큰 반면에, 바닥취출 공조시스템에서

는 거주영역에서 0.1~0.35m/s의 속도를 보여 열환경 측면에서 불쾌감이 줄어드는 것으로 나타났다.

3) 실내 온도분포를 살펴보면, 천장취출 공조시스템에서는 23.4℃의 거주영역 평균 온도를 보이고, 바닥취출 공조시스템에서는 23.2℃의 평균 온도를 나타냄으로써 큰 차이를 보이지 않고 있었다. 한편, 바닥취출 공조시스템에서 풍량을 20%, 30% 감소시킨 경우 거주영역 평균 온도가 각각 25.2℃, 26.9℃로 나타남으로써 풍량을 20% 정도 감소시켜도 거주영역은 쾌적범위 내에 들 수 있음을 알 수 있었다. 노즐을 사용한 천장취출 공조시스템의 경우 취출구의 위치에 따라 거주영역의 온도분포가 불균일하게 나타났지만, 바닥취출 공조시스템의 경우에는 균일한 온도분포를 나타내었다.

2. 공조시스템별 냉방에너지 소비량 분석

1) 천장취출 공조시스템과 바닥취출 공조시스템의 적용에 있어서 동일한 방법으로의 부하 계산에 의한 풍량은 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.

2) 풍량이 20% 감소된 바닥취출 공조시스템을 천장취출 공조시스템과 비교해 보면, 전체 풍량은 10.8% 증가하지만, 냉방 용량은 28.7%, 냉방 에너지는 3.4%, 최대 냉방부하는 2.4% 감소하여 에너지 절약측면에서 유리한 것으로 나타났다.

본 연구의 결과를 종합해 볼 때, 중규모 공연장의 공조시스템 설계시 바닥취출 공조시스템을 적용한다면 건물 냉방부하에 의해 계산된 설계 풍량보다 20% 정도 감소시켜 취출하더라도 거주영역에서의 쾌적도를 유지할 수 있으며, 기존의 천장취출 공조시스템보다 에너지 절약적일 수 있음을 알 수 있었다.

목 차

제 1 장 서 론 ····· 1

1.1 연구의 목적 ····· 1

1.2 연구범위 및 방법 ····· 2

제 2 장 공연장 공조시스템에 관한 이론 고찰 ····· 5

2.1 공연장의 특성 ····· 5

2.1.1 공연장의 공간적 특성 ····· 5

2.1.2 공연장의 열환경 특성 ····· 6

2.1.3 공연장의 공조 계획 ····· 7

2.2 공연장의 공조시스템 ····· 13

2.2.1 천장취출 공조시스템 ····· 13

2.2.2 바닥취출 공조시스템 ····· 14

2.2.3 천장취출 공조시스템과 바닥취출 공조시스템의 비교 ····· 18

2.2.4 그 밖의 공조시스템 ····· 20

제 3 장 천장취출 공조시스템 분석 ····· 21

3.1 프로그램 개요 ····· 21

3.1.1 PHOENICS 프로그램 ····· 21

3.1.2 DOE-2 프로그램 ····· 23

3.2 개 요 ····· 24

3.2.1 대상 선정 ····· 24

3.2.2 냉방부하 산정 및 공조계획 ····· 26

3.3 천장취출 공조시스템(기존안)의 실내열환경 분석 ····· 32

3.3.1 천장취출 공조시스템의 실내열환경 분석을 위한 시뮬레이션조건 ··· 32

3.3.2 천장취출 공조시스템의 실내 기류분포 시뮬레이션 ····· 34

3.3.3 천장취출 공조시스템의 실내 온도분포 시뮬레이션 ····· 38

3.3.4 천장취출 공조시스템의 냉방에너지 소비량 분석 ····· 40
3.4 천장취출 공조시스템(개선안)의 실내열환경 분석 ····· 42
3.4.1 천장취출 공조시스템의 실내열환경 분석을 위한 시뮬레이션조건 ··· 42
3.4.2 천장취출 공조시스템(개선안)의 실내 기류분포 시뮬레이션 ····· 43
3.4.3 천장취출 공조시스템(개선안)의 실내 온도분포 시뮬레이션 ····· 47
3.5 소 결 ····· 49

제 4 장 바닥취출 공조시스템 분석 ····· 51
4.1 개 요 ····· 51
4.1.1. 대상 선정 ····· 51
4.1.2 냉방부하 산정 및 공조계획 ····· 51
4.2 바닥취출 공조시스템의 실내열환경 및 냉방에너지 소비량 분석 ····· 53
4.2.1 바닥취출 공조시스템의 실내열환경 분석을 위한 시뮬레이션조건 ··· 53
4.2.2 바닥취출 공조시스템의 실내열환경 분석 ····· 55
4.2.3 바닥취출 공조시스템의 냉방에너지 소비량 분석 ····· 60
4.3 풍량감소에 따른 실내열환경 및 냉방에너지 소비량 분석 ····· 62
4.3.1 풍량 20% 감소시의 실내열환경 분석 ····· 62
4.3.2 풍량 30% 감소시의 실내열환경 분석 ····· 67
4.3.3 풍량 20% 감소시의 냉방에너지 소비량 분석 ····· 71
4.4 공조시스템 및 풍량 변화에 따른 냉방에너지 소비량 비교 ····· 73
4.5 소 결 ····· 75

제 5 장 결 론 ····· 76

참 고 문 헌 ····· 78

ABSTRACT ····· 80

표 목 차

<표 2.1> 극장 등의 객석 홀에 대한 제어방식의 특징과 유의사항 ····· 12
<표 2.2> 바닥취출 공조시스템의 각종 방식 ····· 15
<표 2.3> 천장취출 공조시스템과 바닥취출 공조시스템의 비교 ····· 19
<표 3.1> 대상 공간의 개요 ····· 24
<표 3.2> 여름철 실내 온습도 조건 ····· 27
<표 3.3> 거주공간의 허용 기류속도 ····· 28
<표 3.4> 취출구의 허용 풍속 ····· 28
<표 3.5> 흡입구의 허용 풍속 ····· 29
<표 3.6> 공기조화기의 제원 ····· 29
<표 3.7> 입력 경계 조건 ····· 33
<표 3.8> 천장취출 공조시스템의 연간 냉방에너지 소비량 ····· 40
<표 3.9> 천장취출 공조시스템의 월별 냉방에너지 소비량 ····· 41
<표 3.10> 입력 경계 조건 ····· 42
<표 4.1> 입력 경계 조건 ····· 54
<표 4.2> 바닥취출 공조시스템의 연간 냉방에너지 소비량 ····· 60
<표 4.3> 바닥취출 공조시스템의 월별 냉방에너지 소비량 ····· 61
<표 4.4> 바닥취출 공조시스템의 연간 냉방에너지 소비량(풍량 20%감소시) ···· 71
<표 4.5> 바닥취출 공조시스템의 월별 냉방에너지 소비량(풍량 20%감소시) ···· 72
<표 4.6> 연간 냉방에너지 소비량의 비교 ····· 73

그림 목차

(그림 1.1) 연구 흐름도 ····· 4
(그림 2.1) 대공간에서 각종 냉난방방식의 상하실온분포 특성 ····· 8
(그림 2.2) 천장취출 공조시스템 ····· 13
(그림 2.3) 고속노즐취출에 의한 온풍의 혼합 ····· 14
(그림 2.4) 좌석지지대 취출구공조 ····· 17
(그림 2.5) 좌석취출 공조방식의 예 ····· 17
(그림 2.6) 공조방식에 의한 온열환경형성의 개념 ····· 18
(그림 3.1) 공연장 평면도 ····· 25
(그림 3.2) 공연장 종단면도 ····· 25
(그림 3.3) 공연장 횡단면도 ····· 26
(그림 3.4) 공조 덕트 계통도 ····· 30
(그림 3.5) 객석부분 천장 취출구의 위치 ····· 31
(그림 3.6) 공연장 흡입구의 위치 ····· 31
(그림 3.7) 천장취출 공조시스템의 입력모델 ····· 32
(그림 3.8) 천장취출 공조시스템의 격자모델 ····· 33
(그림 3.9) 공연장 중앙에서의 기류분포(단면) - Vector ····· 35
(그림 3.10) 공연장 중앙에서의 기류분포(단면) - Contour ····· 35
(그림 3.11) 객석부분 제 1열 취출구에서의 기류분포(단면) - Vector ····· 36
(그림 3.12) 객석부분 제 1열 취출구에서의 기류분포(단면) - Contour ····· 36
(그림 3.13) 객석부분 제 4열 취출구에서의 기류분포(단면) - Vector ····· 37
(그림 3.14) 객석부분 제 4열 취출구에서의 기류분포(단면) - Contour ····· 37
(그림 3.15) 중앙부 취출구에서의 수직온도분포 ····· 38
(그림 3.16) 취출구와 취출구 사이의 수직온도분포 ····· 38
(그림 3.17) 객석부분 9~10열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포 ····· 39
(그림 3.18) 객석부분 19~20열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포 ····· 39
(그림 3.19) 천장취출 공조시스템의 월별 냉방에너지 소비량 ····· 41
(그림 3.20) 공연장 중앙에서의 기류분포(단면) - Vector ····· 44
(그림 3.21) 공연장 중앙에서의 기류분포(단면) - Contour ····· 44
(그림 3.22) 객석부분 제 1열 취출구에서의 기류분포(단면) - Vector ····· 45
(그림 3.23) 객석부분 제 1열 취출구에서의 기류분포(단면) - Contour ····· 45

(그림 3.24) 객석부분 제 5열 취출구에서의 기류분포(단면) - Vector ····· 46
(그림 3.25) 객석부분 제 5열 취출구에서의 기류분포(단면) - Contour ····· 46
(그림 3.26) 중앙부 취출구에서의 수직온도분포 ····· 47
(그림 3.27) 취출구와 취출구 사이의 수직온도분포 ····· 47
(그림 3.28) 객석부분 9~10열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포 ····· 48
(그림 3.29) 객석부분 19~20열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포 ····· 48
(그림 4.1) 바닥취출 공조시스템의 입력모델 ····· 53
(그림 4.2) 바닥취출 공조시스템의 격자모델 ····· 54
(그림 4.3) 중앙에서 4.5m떨어진 위치에서의 기류분포(단면) - Vector ····· 56
(그림 4.4) 중앙에서 4.5m떨어진 위치에서의 기류분포(단면) - Contour ····· 56
(그림 4.5) 공연장 중앙에서의 기류분포(단면) - Vector ····· 57
(그림 4.6) 공연장 중앙에서의 기류분포(단면) - Contour ····· 57
(그림 4.7) 중앙부 취출구에서의 수직온도분포 ····· 58
(그림 4.8) 객석부분 9~10열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포 ····· 59
(그림 4.9) 객석부분 19~20열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포 ····· 59
(그림 4.10) 바닥취출 공조시스템의 월별 냉방에너지 소비량 ····· 61
(그림 4.11) 중앙에서 4.5m 떨어진 위치에서의 기류분포(단면) - Vector ····· 63
(그림 4.12) 중앙에서 4.5m 떨어진 위치에서의 기류분포(단면) - Contour ····· 63
(그림 4.13) 공연장 중앙에서의 기류분포(단면) - Vector ····· 64
(그림 4.14) 공연장 중앙에서의 기류분포(단면) - Contour ····· 64
(그림 4.15) 중앙부 취출구에서의 수직온도분포 ····· 65
(그림 4.16) 객석부분 9~10열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포 ····· 66
(그림 4.17) 객석부분 19~20열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포 ····· 66
(그림 4.18) 중앙에서 4.5m 떨어진 위치에서의 기류분포(단면) - Vector ····· 67
(그림 4.19) 중앙에서 4.5m 떨어진 위치에서의 기류분포(단면) - Contour ····· 67
(그림 4.20) 공연장 중앙에서의 기류분포(단면) - Vector ····· 68
(그림 4.21) 공연장 중앙에서의 기류분포(단면) - Contour ····· 68
(그림 4.22) 중앙부 취출구에서의 수직온도분포 ····· 69
(그림 4.23) 객석부분 9~10열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포 ····· 70
(그림 4.24) 객석부분 19~20열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포 ····· 70
(그림 4.25) 바닥취출 공조시스템의 월별 냉방에너지 소비량(풍량 20%감소시) ·· 72
(그림 4.26) 전체 풍량의 비교 ····· 74
(그림 4.27) 냉방용량의 비교 ····· 74
(그림 4.28) 냉방에너지의 비교 ····· 74
(그림 4.29) 최대냉방부하의 비교 ····· 74

제 1 장 서 론

1.1 연구의 목적

최근 국민소득이 증가하고 생활수준이 향상됨에 따라 연극, 영화, 콘서트 등 문화생활을 영위하기 위한 공간의 필요성이 증가하고 있다. 이러한 공간에는 극장, 음악당, 콘서트 홀, 다목적 공연장 등이 있으며, 이 중 동일한 공간 내에서 여러 가지 공연을 행할 수 있는 다목적 공연장은 대도시뿐만 아니라 지방의 중소도시에서도 그 수가 증가하고 있는 실정이다.

공연장은 건물의 특성상 외피에 개구부가 거의 없고 실내가 대공간으로 구성됨에 따라 관객석과 같은 거주영역이 공간의 일부에 편재되는 특성을 갖는다. 관객석은 하나의 공간 내에 단일 층 또는 2~3개 층이 설치되며, 바닥면이 수평이 아니고 천장이 높아 상하 온도 편차가 크기 때문에 거주영역에 균일한 온도와 적정한 기류분포를 유지시키는데 어려움이 있다.

기존 대다수 공연장은 노즐(nozzle)이나 디퓨저(diffuser)를 이용한 천장취출 공조시스템을 채택하고 있으며, 이는 천장부터 바닥까지 실 전체를 냉난방하는 방식으로 에너지 소비가 크고 온도차에 의한 기류분포가 불균일해지기 쉬운 특징을 가지고 있다. 노즐을 이용할 경우에는 급기가 거주영역에 보다 쉽게 도달할 수 있으나 급기의 확산반경이 작아 드래프트(draft)현상을 유발할 수 있고, 노즐의 선정 및 배치에 따라 급기가 거주영역에 도달하지 못하는 경우도 발생할 수 있다. 디퓨저를 이용할 경우 냉방시 거주영역의 드래프트를 방지할 수는 있으나 난방시 상하 온도 차이가 커질 우려가 있다.

이에 비하여 최근에는 선진국을 중심으로 바닥취출 공조시스템의 사용이 늘어나고 있는데, 이는 바닥 또는 좌석 하부에 취출구를 설치하여 공간 전체영역이 아닌 바닥 부근의 거주영역만을 공조하는 방식이다. 바닥취출 공조시스템은 상부공간을 제외한 재실자가 속해있는 거주영역만을 대상으로 공조하기 때문에 재실자의 쾌적성 및 에너지 절약 측면에서 매우 유리한 것으로 알려져 있다. 특히 인텔리전트 빌딩(Intelligent Building)의 이중바닥구조는 바닥취출 공조시스템의 적용을 용이하게 할 수 있음에 따라, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고

있다. 그러나 공연장의 경우에는 공사비의 증가, 구조적인 보강의 어려움으로 인해 적용한 사례가 적고, 이에 대한 연구 역시 미흡한 실정이다. 또한, 실제 시스템 설계시 천장취출 공조시스템과 동일한 방법으로 부하를 산정하여 바닥취출 공조시스템의 풍량을 계산하므로, 풍량의 과다 설계로 인해 팬(fan)의 용량과 냉방에너지, 그리고 덕트의 소요 공간이 커지는 문제가 생기게 된다.

따라서 본 연구에서는 약 500석 규모의 관객석을 지닌 중규모 공연장의 한 사례를 대상으로 CFD(Computational Fluid Dynamics) 프로그램과 에너지 해석 프로그램을 이용하여 공조방식과 풍량 변화에 따른 실내 열환경과 냉방에너지 소비량을 비교, 분석하여, 중규모 공연장의 냉방시 거주영역에서의 쾌적도를 향상시킴과 동시에 에너지 절약을 도모할 수 있는 적정 공조시스템의 선택과 바닥취출 공조시스템 계획시 적정 풍량 산정을 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

1.2 연구범위 및 방법

공연장은 공연의 규모, 관객의 수 등에 의해 대규모, 중규모, 소규모로 구분될 수 있으나, 본 연구에서는 최근 500석 내외의 중규모 공연장의 건설이 두드러짐에 따라 중규모 공연장을 대상으로 연구를 수행하였다. 본 연구는 크게 4단계로 이루어져 있으며 각 단계별 내용과 방법은 다음과 같다.

1) 공연장의 공조시스템에 관한 이론적 고찰

공연장의 열환경 및 건축적 특성과 일반적으로 적용되는 공조시스템의 종류 및 특징에 관한 연구와 문헌을 조사하여, 중규모 공연장에 적용되는 공조시스템의 비교 및 분석을 위한 기본 자료를 정리하였다.

2) 수치해석 및 에너지해석 이론 고찰

공연장의 실내 열환경과 냉방에너지를 분석하기 위해 사용한, 전산 유체 해석(CFD : Computational Fluid Dynamics) 상용코드 중의 하나인 PHOENICS 프로그램과 정밀 에너지해석 프로그램인 DOE-2 프로그램에 대한 이론 및 구성을 고찰하였다.

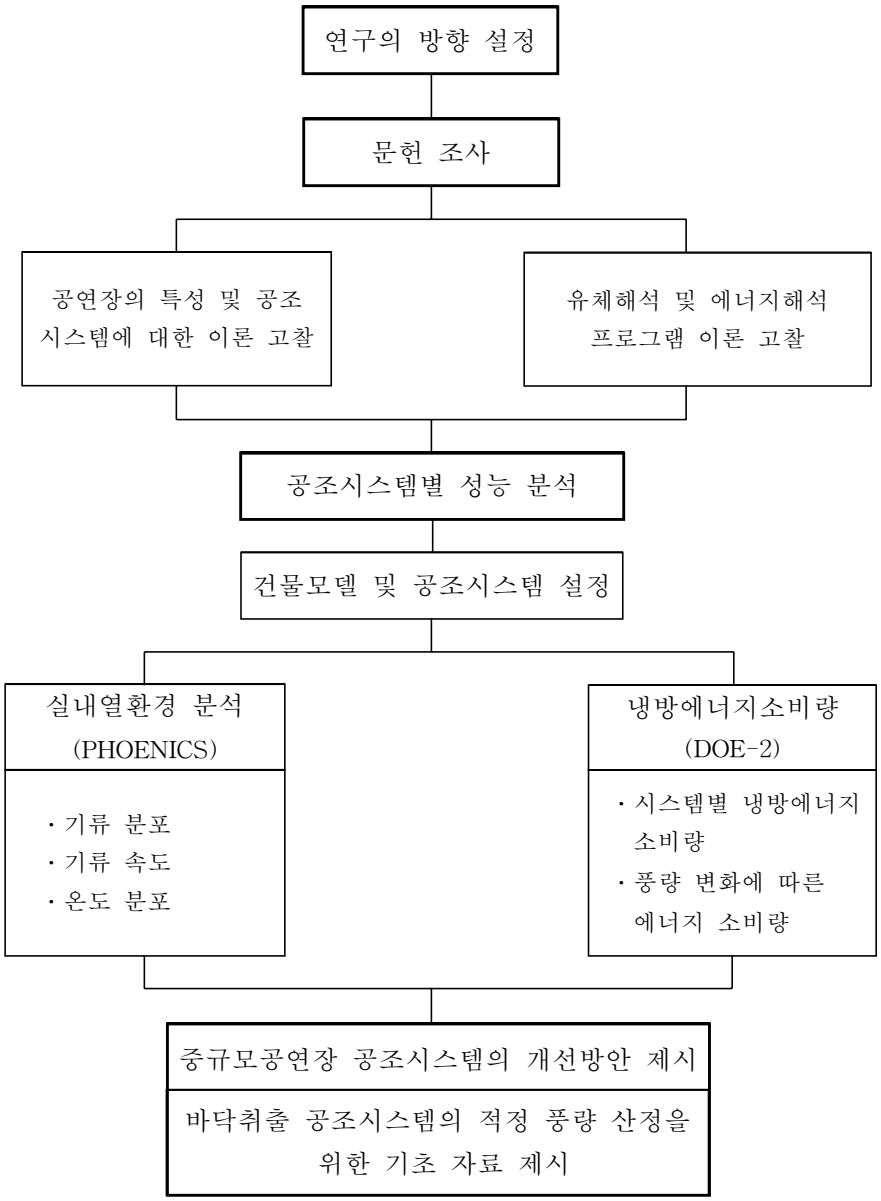
3) 천장취출 공조시스템의 실내 열환경 및 냉방에너지 소비량 분석

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.

4) 바닥취출 공조시스템의 실내 열환경 및 냉방에너지 소비량 분석

천장취출 공조시스템의 문제점을 개선하기 위한 방안으로 바닥취출 공조시스템을 적용할 경우의 실내 열환경과 냉방에너지 소비량을 분석한 후, 천장취출 공조시스템과 비교, 분석하여 개선방안을 제시하였다.

본 연구의 종합적인 흐름은 (그림 1.1)과 같다.


연구의 방향 설정
문헌 조사
공연장의 특성 및 공조 시스템에 대한 이론 고찰
유체해석 및 에너지해석 프로그램 이론 고찰
공조시스템별 성능 분석
건물모델 및 공조시스템 설정
실내열환경 분석 (PHOENICS)
· 기류 분포
· 기류 속도
· 온도 분포
냉방에너지소비량 (DOE-2)
· 시스템별 냉방에너지 소비량
· 풍량 변화에 따른 에너지 소비량
중규모공연장 공조시스템의 개선방안 제시
바닥취출 공조시스템의 적정 풍량 산정을 위한 기초 자료 제시

(그림 1.1) 연구 흐름도

제 2 장 공연장 공조시스템에 관한 이론 고찰

2.1 공연장의 특성

2.1.1 공연장의 공간적 특성

공연장은 크게 무대부분과 객석부분의 두 공간으로 구분되며, 충분하고 균일한 음향효과를 확보하기 위해 두 공간 모두 대공간으로 형성되는 것이 일반적이다. 대공간이란 “벽, 유리, 지붕으로 둘러싸인 건물 내의 큰 공간”[1]으로 정의되며 일반적으로 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

1) 천장고

천장고가 높은 공간은 공기 비중의 차로 인해 상하 온도차가 발생하기 쉽다. 비공조시에는 온도분포가 비교적 일정하게 나타나지만, 공조시에는 온풍 또는 냉풍과 급기구 및 환기구의 위치에 따라 복잡한 형태로 나타나게 되며, 특히 여름철(냉풍)과 겨울철(온풍)의 실내 공기분포가 다르게 된다. 일반적으로 공조시스템 설계시 공기분포에 대한 세심한 주의가 필요한 천장고는 약 4.5m 이상이다.

2) 공간의 용적

대공간의 용적은 천장고 만큼 중요한 요소는 아니지만, 일반적으로 대공간은 용적이 큰 경우가 대부분이다. 대공간 건물은 평면적으로 매우 넓으며 벽면 취출방식을 적용할 경우 기류의 도달 거리가 길어지게 되어 공기분포에 문제가 발생하는 경우도 있다.

대공간의 공조는 적절한 풍량을 적절한 위치에서 공급 및 흡입하여야 하는데 공간의 성격상 적절한 위치 선정이 어렵고, 중간층에 위치한 관객석이 있는 경우에는 천장이 높은 공간과 낮은 공간이 상존하게 되며, 관객석의 경우 전면과 후면의 바닥면 높이의 차로 인해 수직, 수평면에서 온도 및 기류의 분포가 다르게 되는 특징을 가지고 있다.

---

1) IEA의 ANNEX 26 “Energy-Efficient Ventilation of Large Enclosures”

3) 환기 횟수

환기 횟수는 실내의 현열부하와 취출공기의 온도 조건에 의해 결정되는 공급 풍량을 실의 용적으로 나눈 값으로, 환기횟수가 적게 되면 실내기류의 정체현상이 발생하고 확산능력이 저하되어 거주영역의 청정도 유지가 어렵고, 온도분포가 불균일하게 된다. 대공간의 환기 횟수는 실의 용도에 따라 달라지고, 부하와 밀접한 관계를 가지고 있다.

4) 거주영역의 편재

대공간 중에는 거주영역이 하부 및 후면의 중간층에 분포되는 특징을 가지고 있는 경우가 많다. 따라서 거주공간에 대한 특성상 중앙부, 후면 하부, 후면 상부로 조닝(zoning)이 구분되며, 이는 공조시스템의 설계시 충분히 고려되어야 한다.

2.1.2 공연장의 열환경 특성

공연장과 같은 열환경의 특성을 갖는 건물로는 영화관, 콘서트 홀, 공회당, 회의장 등이 있다. 이들 건물은 공통적으로 대공간으로 이루어져 있고, 인구밀도(1~2인/m^2)가 매우 높기 때문에 인체의 열 부하가 일반 사무실(인구밀도 0.1~0.2인/m^2)에 비해 10배 정도가 된다.

공연장의 객석부분에서는 인체 발열부하가 약 70~140 kcal/m^2이고 1인당 외기량은 약 15m^3/h로, 1m^2당 약 15~30m^3/h가 되는데, 이것은 사무소 건물에 비해 5~10배에 이른다. 외벽면은 대부분 무창으로 틈새바람의 양은 매우 적다. 에너지 절약을 위해서 전열 교환기나 CO_2제어, 예냉・예열시 외기댐퍼의 전폐(全閉)등의 방법이 적용되고 있다. 실내 현열비(RSHF)의 경우, 일반 사무실 건물에서 0.9~0.85인데 비해 공연장의 객석부분은 0.6~0.7정도로 현열비가 작다.[2] 냉방기에는 습도상승을 억제할 필요가 있고, 냉방시 제습재열방식은 장치부하의 증가를 가져온다.

공연장의 내부 구조는 대부분 방음벽, 이중벽, 또는 로비와 복도를 거치기 때문에 외기와 직접 접하지 않고, 외부에서의 열류 침입이 적은 특징을 가지고 있으며 부하의 대부분은 인체에 의한 발생열량이다.

---

2) 針ヶ谷 純吉, 극장・다목적홀에서 객석부 공조방식 설계상의 유의점, 설비기술, 1995, p.77

사용시간은 건물의 용도에 따라 연속사용, 간헐사용으로 구분할 수 있는데, 공연장은 간헐적으로 사용하는 경우가 많다. 건물 이용률에 따라 운전이 간헐적으로 이루어지며, 이때 초기의 예열부하가 일반 건물에 비해 매우 큰 특징을 가지고 있다.

무대부분은 조명부하가 크지만, 천장이 높고 상부에 열이 모이게 되므로 여름철 냉방부하를 줄이기 위해 조명발열은 무대부분 상부에서 배기팬을 이용하여 외부로 배기시킨다. 난방기에는 외벽면에서 다운 드래프트(down draft)현상이 발생하기 쉽고, 이때 발생한 냉기가 무대부분과 객석부분으로 흐르기 때문에 이를 방지하기 위해 외벽 단열을 강화하고, 무대부분의 전면 하부에 베이스보드 히터나 저속의 공조된 공기를 바닥에서 상부로 공급하는 방법을 사용하기도 한다. 다운 드래프트에 대한 적절한 대책을 강구하지 않을 경우 냉기가 객석 전면부로 흘러 저온지역이 생길 수 있다. 객석의 낮은 부분이 지면이나 비난방 공간에 접해 있을 경우에는 열손실로 인한 바닥의 냉기가 인체의 온열감에 나쁜 영향을 미치게 되는데, 이를 방지하기 위해 바닥에 전기온돌 시스템을 도입하기도 한다. 개략적인 부하밀도는 객석부분은 냉방시 350~500kcal/m^2h, 난방시는 200kcal/m^2h이며 무대부분은 냉방시 200~300kcal/m^2h, 난방시는 150kcal/m^2h정도이다.

2.1.3 공연장의 공조 계획

공연장은 비교적 넓은 바닥면적과 높은 천장고로 인하여 자연상태뿐만 아니라 공조방식에 따라서도 실온분포가 다르게 형성된다. 공연장에서는 일반적으로 실내의 상하 온도분포가 불균일해지는 현상이 발생할 수 있고, 개방된 중간층의 관객석 부분은 높은 실내 온도로 인하여 열적 스트레스를 받을 수도 있다. 또한 공연장의 특성상 공조된 공기의 공급위치 선정이 어려운 경우가 많다.

천장 급기는 높은 천장고로 인해 공조된 공기의 도달 및 확산에 어려움이 있고, 측면 급기는 공기의 분포 및 중앙부분까지의 도달거리에 한계를 가지고 있으며, 냉풍시와 온풍시의 공기분포도 다르다. 이러한 문제점을 고려하여 바닥 및 중간층에 있는 재실자에게 쾌적한 공조환경을 유지하는 것이 매우 중요하다. 무대부분은 객석부분과 다른 열적 특성을 가지고 있기 때문에 객석부분과는 별도의 조닝에 의해 공조하여야 한다.

1) 공연장 온열환경 계획시의 유의점

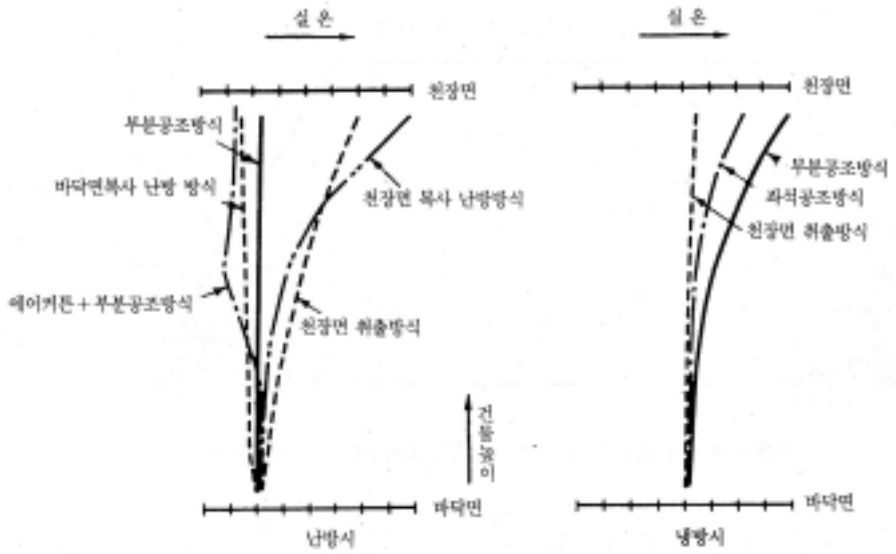
① 건물의 단열계획

공연장을 둘러싼 천장, 바닥, 벽체 등의 단열 정도는 실의 온도분포 및 냉기의 다운 드래프트(down draft) 현상에 영향을 미친다. 공연장의 벽체에 충분한 단열이 이루어졌을 경우와 인접실이 공조되고 있을 경우에는 냉기의 다운 드래프트 현상이 적어진다. 그러나, 외벽의 단열이 충분하지 않을 경우에는 상하뿐만 아니라 외부와 내부의 열적 조닝이 형성된다. 특히 외벽이 높은 무대부분의 배면 벽체에서의 냉기에 의한 다운 드래프트 현상은 배경 무대가 흔들릴 정도로 심각할 수도 있다.

지붕면의 단열은 여름철에 일사열에 의한 부하를 감소시킬 수 있고, 겨울철에는 열차단 및 상부에서 비교적 고온 다습한 공기로 인해 발생하는 결로현상을 방지하기 위해 필요하다. 바닥면의 단열은 바닥의 냉기 현상을 감소시켜 열적 쾌적성 향상에 도움을 준다.

② 공조방식에 따른 상하 실온분포 특성

대공간에 있어서는 각종 공조방식에 따라 고유의 실온분포가 발생한다. (그림 2.1)은 대공간에서 각종 냉난방 방식의 상하 실온분포 특성을 나타낸 것이



(그림 2.1) 대공간에서 각종 냉난방방식의 상하실온분포 특성 (간격 1℃)

다. 난방시 바닥면 복사난방 방식은 상하 온도분포가 거의 균일한 반면, 천장면 복사난방방식이나 천장면 취출방식은 상하 온도차가 크다. 냉방시 천장면 취출방식은 상하 온도분포가 균일하나 부분 공조방식 또는 좌석공조방식은 상하 온도차가 크게 된다. 천장고가 낮은 실이나 거주영역의 높이 약 2m 범위에서는 상하 온도차가 없는 것이 바람직하지만, 공연장과 같은 대공간에서는 거주영역 높이 이상의 공조는 실의 쾌적환경에 도움이 되지 않는다. 즉, 천장고가 높은 대공간에서의 전체 공조는 거주영역에 국한된 공조방식에 비해 냉난방 에너지 뿐만 아니라 송풍동력이 증가하게 되므로 상하온도 분포가 균일한 방식이 오히려 불리하다.

③ 조닝

동일한 공간이라도 공조 조건 및 열적 특성이 다를 경우가 많다. 공연장의 경우는 무대부, 중앙 객석, 후면 바닥 객석, 후면 중간층 객석으로 구분된다. 이러한 공연장의 공조 조닝은 건물의 용도에 따라 달라지고, 객석이나 스탠드와 같은 관람석과 무대부분을 서로 다른 공조환경으로 유지하기 위해 별도의 조닝이 필요하다.

④ 취출기류에 의한 드래프트

가장 일반적인 공조방식인 천장 및 측면 취출의 경우, 기류를 바닥까지 도달시키기 어려운 문제가 있는데, 이를 해결하기 위해 노즐(nozzle)과 같은 직선 기류를 형성하는 취출구를 주로 사용하게 된다. 이로 인해 여름철에는 겨울철에 비해 콜드 드래프트(cold draft)현상이 쉽게 발생할 수 있다. 각종 취출구의 형상, 취출방식에 상응하는 분사속도 분포의 계산식이 제안되어 있으므로, 이를 기초로 하여 취출구를 설계해야 한다. 또한, 전 공조영역이 0.2m/s의 기류가 형성되는 최대 확산반경의 범주에 속하도록 취출구를 배치하는 것이 바람직하다.

⑤ 천장면으로의 배기

실내에서 발생하는 냄새, 담배 연기 등을 제거할 필요가 있는 경우 천장면으로 10~20% 정도를 배기한다. 장내가 금연이라 하더라도 휴식시에 로비로부터 연기가 유입되는 경우도 있다. 천장면을 통한 배기는 조명기구 등의 발열량을 제거하는데 효과적이다. 외기를 인입하기 위해서 동일한 풍량의 배기가 이루어져야 하며, 이때 공조시스템을 거치지 않고 천장을 통하여 배기하면 천장 부근의 오염된 공기를 효과적으로 처리할 수 있다.

⑥ 복사열의 고려

공연장에서는 직접 외기에 면하는 벽체 또는 조명기구 등의 중·고온의 발열체로부터 복사열이 발생하는 경우가 있다. 이때 실내의 설계조건으로써 일반적인 실온을 이용하는 것보다 복사를 포함한 실온을 고려하는 것이 바람직하다. 온열환경에 영향을 미치는 온도, 기류, 습도 등이 적절하게 제어되었다면 실제 영향을 미치는 온도는 평균복사온도(MRT)와 실온의 평균값을 이용하여 계산한다. 복사난방의 경우에는 실내 설계온도 조건으로 평균복사온도를 고려한 온도를 사용한다.[3)]

2) 공연장의 공조계획

공연장의 환기, 냉방, 난방 계획의 기본적 고려 사항은 다음과 같다.

① 환기 계획

공연장의 공기환경 계획은 먼저 자연적인 방법(passive control)을 검토하는 것이 바람직하며, 자연적으로 제어가 될 수 없는 부분은 강제적인 제어(active control)로 실내 공기환경을 유지한다. 대부분의 건물 환기계획은 자연적인 방법과 강제적인 방법을 조합한 환기방식을 채택하고 있다.

자연적인 방법은 건축적인 수법에 의존하는 방식으로 개구부를 설치하여 내·외부 온도차에 의한 굴뚝효과를 이용하는 방식이고, 강제적인 방법은 환기팬을 이용하는 방식으로 동력비, 소음, 관리 측면에서 의존도가 낮을수록 바람직하다.

② 냉방 계획

공연장의 냉방 계획은 대부분 공조까지 포함하며 거주영역이 공간 하부 등에 한정되기 때문에 실내 공간 전체를 공조대상으로 하지 않고, 거주영역에 국한시켜 냉기의 확산을 최소로 하는 방식이 에너지 절약적인 측면에서 매우 유리하다.

취출 공기의 정확한 궤도를 예측하고 취출구, 흡입구 위치를 선정하며, 거주영역에 대한 기류분포를 예측, 계획하는 것이 중요하다. 공조대상 공간이 낮은 위치에 있을 때에는 하부로부터 낮은 풍속의 냉기를 취출하여 거주영역으로 이동하는 기류의 형성이 바람직하다. 이 경우 수직 온도분포는 상부는 높고 하부

3) 官川保之, 대공간의 공조방식과 열부하, 설비기술, 1995, p31

는 낮은 분포를 나타내지만, 상부는 거주영역이 아니기 때문에 재실자의 열적 쾌적감과는 거의 관계가 없다. 대표적인 공조방식으로는 하부의 측면에서 저속의 공조된 공기를 급기하는 방식과 바닥이나 특수하게 제작된 의자에서 공조된 공기를 저속으로 공급하는 방식이 있다.

공조 대상공간이 중간층처럼 높은 위치에 있을 때에는 층고가 낮을 경우는 천장에서, 높을 경우는 측면이나 바닥에서 공조된 공기를 급기하는 방식이 바람직하다.

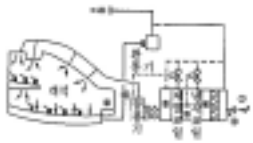
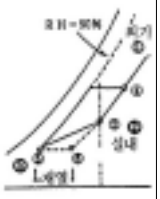
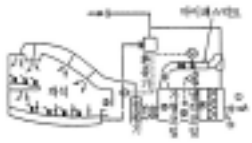
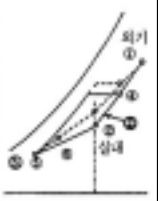
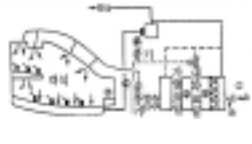
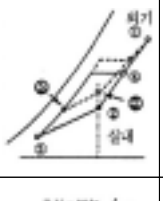
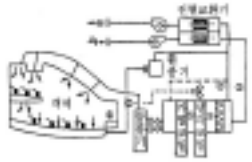
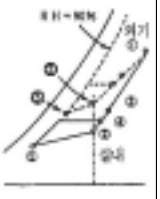
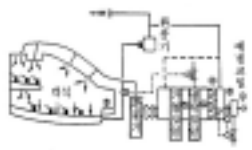
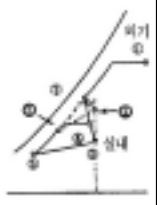
③ 난방 계획

난방시 가열된 공기는 부력에 의한 상승작용으로 냉방시 고려되었던 급기풍속으로는 거주영역까지 도달하지 못하고 중간에서 재상승하는 경우가 많다. 겨울철 난방을 고려한 급기 풍속은 여름철 냉방시 필요이상으로 과다하게 되므로 이를 해결하기 위해 난방과 냉방시 토출 풍속을 다르게 하는 방법이 요구되지만, 실제로 적용하기는 매우 어렵다. 따라서 가장 효과적인 난방시스템은 난방공간의 하부에서 직접 온풍을 공급하는 것인데, 바닥난방 및 객석의 좌석 아래 등에 취출구를 설치하여 난방하는 방식이 있다. 이 방법은 에너지 절약적일뿐만 아니라 재실자의 쾌적성 향상의 측면에서도 바람직하다. 바닥복사 난방도 매우 효과적이지만, 쾌적한 공기환경을 위해서는 습도, 기류, 청정도까지 고려하는 공조방식을 병행해야 한다.

<표 2.1>은 객석부분에 많이 사용되는 공조 제어방식(냉방부하 대상)과 특징, 계획상의 유의점을 나타낸다.[4)]

4) 針ヶ谷 純吉, 극장・다목적홀에서 객석부 공조방식 설계상의 유의점, 설비기술, 1995, p.78

<표 2.1> 극장 등의 객석 홀에 대한 제어방식의 특징과 유의사항

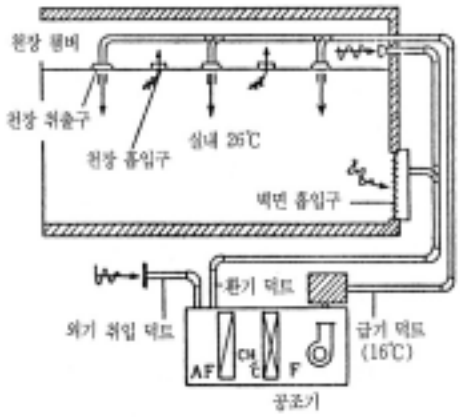
공조제어 방식		공조제어방식(냉방)의 구성	냉방시의 공기선도상 프로세스	방식의 특징	예상실내 RH	계획시의 유의점
1	재열제어 방식			· 엄밀한 습도제어 가능 · 재열로 이한 운전비 증가 · 만석시 RSH가 감소된 경우라도 실내 상대습도의 상승방지	55%	· 허용 실내상대습도, 경제성, 냉각코일 출구공기상태 고려 · 재열부하가 냉방부하가 됨 · 경제적으로는 재열용 열원으로 냉각수 이용
2	바이패스 제어방식			· 재열용 열원이 없는 경우 채용 · RSH 감소와 동시에 실내 상대습도 상승 · 감습공기량에 비해 외기량이 많은 경우, 실내가 설정온도 이하가 됨	약 60%	· 바이패스에는 환기만을 통하게 함 · 바이패스 풍량은 송풍량과 도입외기량의 차로 함 · 바이패스 댐퍼 치수는 코일저항과의 밸런스 및 제어성을 고려하여 결정
3	코일수량 제어방식			· RSH가 감소되면 실내 상대습도 높아짐 · 실내 상대습도의 상승이 가장 큼	약 70%	· 감습공기량 이상의 풍량을 냉각코일에 통하게 하면 다시 실내 상대습도가 상승하므로 반드시 바이패스 덕트 설치
4	외기예냉 제어방식 (전열교환기 사용)			· 외기처리에 전열교환기를 채용하는 코일수량 제어방식 · 전열교환기를 사용함으로써 에너지절약 도모	약 70%	· 전열교환기 채용여부는 건물의 연간 경상비 비교에 의해 결정 · 장치운전시간은 현실에 입각하는 수치 사용
5	외기예냉 제어방식 (예냉코일 사용)			· 외기처리에 예냉코일을 사용하는 코일수량 제어방식 · 외기예냉코일의 출구상태가 낮은 경우 실내 상대습도의 상승은 적어짐 · 감습공기량에 비해 외기량이 많은 경우 실내가 과냉각 됨	약 70%	· 실내 상대습도의 상승을 방지하기 위해 예냉코일 출구온도를 실내 노점온도~등WB의 수치를 추장 · 부분부하를 가정하고 실내상태 체크
비 고		※1 - - -의 덕트는 송풍량이 감습공기량 이상이 되는 경우에 필요 ※2 ·……·는 부분부하시의 실내상태점에 이르는 공기선도상의 작용을 근사적으로 표시. ◎, ◎는 부분부하 상태시의 실내상태 및 냉각코일 출구상태를 표시 ※3 예상 실내 상대습도는 부분부하시 실내 상대습도의 예상치 표시 조건 - 설계 조건: 26℃, 55%, 외기도입량: 감습공기량의 50%, RSH: 최대 RSH의 60%				

2.2 공연장의 공조시스템

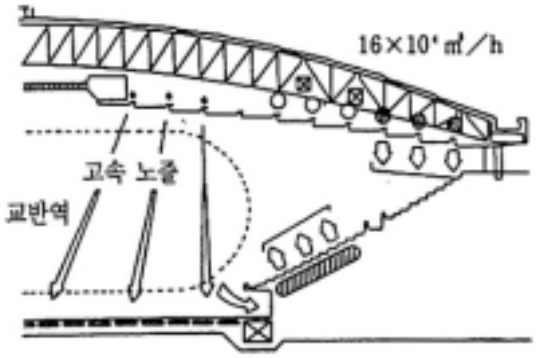
2.2.1 천장취출 공조시스템

종래의 일반적 공조 시스템은 공조된 공기를 천장으로부터 급기하고 천장 또는 벽면으로 흡입시키는 「천장급기+천장흡입 방식」또는 「천장급기+하부흡입 방식」으로서, 천장에서 공조된 저온(냉방시)이나 고온(난방시)의 공기를 공급하여 실의 열을 흡수하거나 가열하여 실내를 냉난방하는 방식이다. 이 방식은 일종의 난류방식이므로 환기 효율이 낮고 실내 공기가 오염되었을 경우 회복하는데 시간이 걸리는 단점이 있다. 이러한 천장취출 공조시스템은 사무소, 극장, 홀, 방송 스튜디오 등에서 오래 전부터 많이 사용되고 있는 방식이며, 천장면에 노즐(nozzle, 분류형) 또는 디퓨저(diffuser, 확산형)를 설치하여 하향으로 취출하는 방법이다. 디퓨저를 이용한 경우 냉방시에 거주영역의 드래프트를 방지할 수 있는 반면, 난방시에는 거주영역까지 공조된 공기가 도달되지 않아 쾌적한 환경을 유지하기 어렵다. 한편, 노즐을 사용하는 경우 취출구에서 급기되는 공조 공기를 수직으로 하향 급기할 수 있으므로 거주영역까지 공조된 공기가 공급되지만, 거주영역에서 드래프트가 생기기 쉽다. 그러나, 다수의 하향 노즐을 이용한 경우 노즐 간격이 건물의 높이에 상응하는 범위 내에 들게 하면, 분류(墳流)의 혼합효과를 발생시켜 거주영역의 드래프트 현상을 방지하는 것이 가능하다.

(그림 2.2)와 (그림 2.3)는 일반적인 천장취출 공조시스템과 난방시 고속노즐 취출에 의한 온풍의 혼합을 보여 준다.



(그림 2.2) 천장취출 공조시스템



(그림 2.3) 고속노즐취출에 의한 온풍의 혼합

2.2.2 바닥취출 공조시스템

바닥취출 공조시스템의 특징은 급기속도 0.2~0.5m/s 이하의 저속으로 바닥면 하부 공간을 이용하여 공조된 공기를 실내에 취출하고, 취출된 공조 공기는 거주영역의 공기와 혼합되어 거주영역에서 쾌적한 공조환경을 유지하며, 냉방시에는 실내의 각종 발열체에 의한 발열을 흡수하여 고온이 된 공기가 상승한 후 천장 부근에 고온층을 형성하게 되며, 흡입은 천장에서 이루어지는 「바닥취출+천장흡입 방식」이다. 이때 천장이나 벽체에서 취출하는 공조방식에 비해 실내 온도는 상부와 하부의 거주영역이 서로 다른 성층화 현상이 일어나게 되며, 대공간의 경우 실내 온도에 비해 흡입온도가 약 5~6℃ 높게 된다. 바닥취출 공조시스템은 공조된 공기를 거주영역에 직접 공급하기 때문에 급기온도를 천장취출 공조시스템에 비해 난방시에는 낮게, 냉방시에는 높게 공급해야 한다. 즉, 실내온도와 공급 공기의 온도차가 천장취출 방식에 비해 훨씬 작고 저속으로 공급해야 한다. 이로 인하여 덕트 크기가 증가하고 덕트의 설치 공간이 커지게 되는 단점이 있다. 그러나 신선한 공기가 직접 인체와 접함으로써 쾌적감이 좋고 환기효율이 높아 오염된 공기의 배출 효과가 뛰어나다.

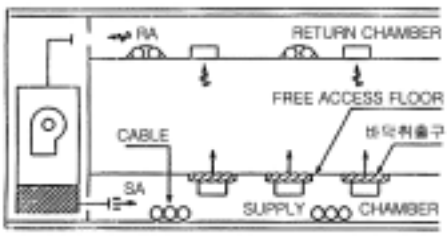
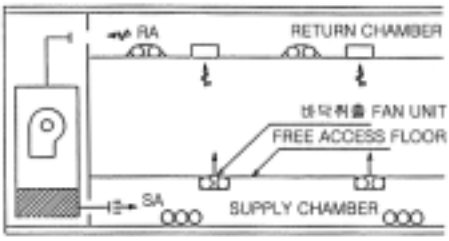
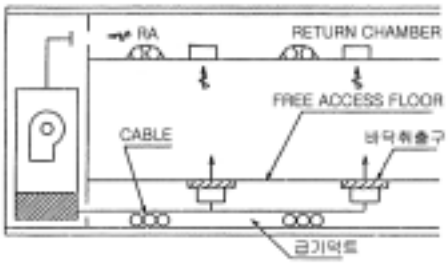
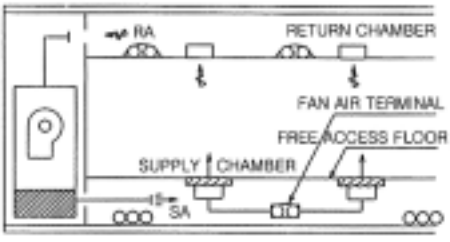
바닥취출 공조시스템은 바닥면 하부공간의 공조용 덕트 설치 유무 및 설치되는 취출구의 종류에 따라 구분할 수 있다. 크게는 「Ductless 방식」과 「Duct 방식」으로 구분되며, 세분하면 전자는 「Pressure 방식」과 「Fan Unit 방

식」, 후자는 「Duct 방식」과 「Fan Air Terminal 방식」으로 나뉘어진다. <표 2.2>는 바닥취출 공조시스템을 구성하는 각종 방식의 구성 및 기류 방향을 개념적으로 나타낸 것이다.[5)]

1) Pressure 방식

이중바닥 하부공간을 공조 공기의 송풍용 챔버로 이용하며 급기된 공조공기를 적정한 양압(+, positive pressure)으로 가압하고, 필요한 장소에 공기 취출구를 설치하여 공조 공기를 실내로 취출하는 방식이다. 이 방식은 공조 공기의 취출구를 가장 자유롭게 이동시킬 수 있어 대응성(flexibility)이 뛰어나며, 다른 바닥취출 공조시스템에 비하여 시공 기간 및 공사비를 절약할 수 있고 유지 관리 면에서도 유리한 반면, 바닥의 기밀성 확보와 풍량 밸런스를 취하기 어려운 단점이 있다. 인텔리전트빌딩에서 형성된 이중바닥구조는 이 방식의 적용을 보다 용이하게 하고 있다.

<표 2.2> 바닥취출 공조시스템의 각종 방식

<table>
<tr><td>Pressure 방식</td><td>Fan Unit 방식</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Duct 방식</td><td>Fan Air Terminal 방식</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
</table>

5) 김용식, 바닥취출 공조시스템과 실내 공기환경, 1996

2) Fan Unit 방식

이중바닥 하부공간을 공조 공기의 송풍용 챔버로 이용하는 점에 있어서는 「Pressure 방식」과 동일하지만, 이 방식은 이중바닥의 필요한 장소에 급기용 팬과 취출구가 일체화된 Fan Unit을 설치하여 공조 공기를 강제로 실내에 급기하는 방식이다. 이중바닥 하부공간의 공기 압력을 높이지 않아도 급기가 가능하고, 레이아웃의 변경, 증설에 대하여 Fan Unit의 이설, 증설과 전원의 접속만으로 대응이 가능하다.

이중바닥 하부공간의 기류 분포가 불균일할 경우나 실내에서 국소적으로 열부하가 증가했을 경우 등에 적용하는 것이 바람직하다.

3) Duct 방식

종래의 Duct에 의한 천장취출 공조방식을 이중바닥 하부공간에 적용한 방식이다. 이 방식은 다른 방식의 바닥취출 공조시스템에 비하여 공조 공기의 제어가 쉽고 이중바닥의 기밀성도 크게 요구되지 않으며, 열손실이 적고 급기 온도가 공조기의 주변으로부터 가장 먼 곳의 취출구까지 변화하지 않는 장점이 있다. 그러나, 이중바닥의 높이가 증가하고 취출구의 이동이나 증설이 필요한 경우에는 Duct 공사를 수반하게 되는 등 대응성면에서 단점이 있다.

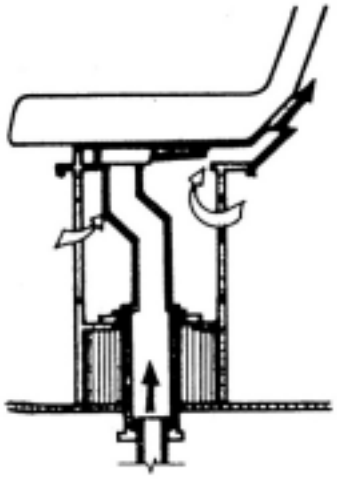
4) Fan Air Terminal 방식

이중바닥 하부공간에 Fan Air Terminal을 설치하고 Flexible Duct를 다수의 바닥 취출구와 연결하여 공조 공기를 실내로 취출하는 공조방식이다. 이 방식은 「Duct 방식」의 시스템에 비해서는 대응성이 좋으나 「Pressure 방식」이나 「Fan Unit 방식」의 시스템보다는 대응성이 떨어진다.

5) 좌석취출 공조방식

바닥취출 공조시스템과 따로 구분하기도 하나, 서로 유사한 온열환경 특성을 보이므로 넓은 범위에서 바닥취출 공조시스템의 일종으로 구분할 수 있다. 극장, 대강당 등의 좌석이 있는 경우에 이용되는 국소 공조방식으로, 좌석에 취출구가 설치되어 있는 형태이다. 일반적으로 취출구 근방의 공기를 유인하여 혼합된 공기를 공급함으로써 실내온도와 공급 온도차를 작게하는 유인취출방식이 많이 사용된다.

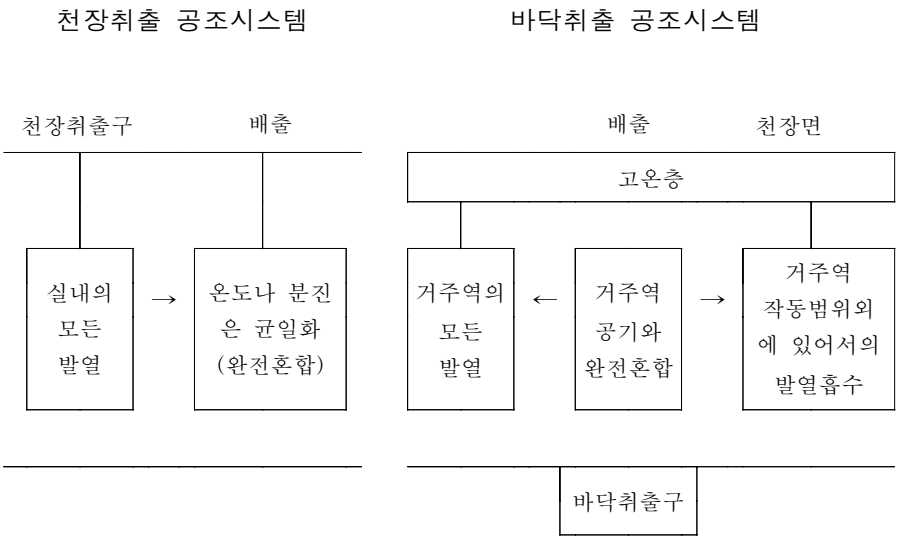
(그림 2.4) 좌석지지대 취출구공조



(그림 2.19) 좌석취출 공조방식의 예

2.2.3 천장취출 공조시스템과 바닥취출 공조시스템의 비교

천장취출 공조시스템과 바닥취출 공조시스템의 기본 개념을 비교하면 (그림 2.6) 및 <표 2.3>과 같다.



천장에서 취출된 공조 공기는 실내에서 발생하는 모든 열을 흡수하고 고온이 된 공기와 완전혼합하여 평균화된 온도가 실내온도가 되는 공조방식으로, 난류식이므로 환기효율이 낮아 담배연기 등에 의해 실내공기가 오염되면 회복하는데 시간이 걸린다.	원칙적으로 바닥면에서 취출된 공조 공기는 거주영역의 공기와 혼합하여 거주영역의 온도가 된다. 거주영역 또는 기기 등의 발열을 흡수하여 고온이 된 공기는 천장면으로 상승하여 고온의 공기층을 형성한다. 환기 효율이 높기 때문에 오염공기를 신속하게 배출한다.

(그림 2.6) 공조방식에 의한 온열환경형성의 개념

<표 2.3> 천장취출 공조시스템과 바닥취출 공조시스템의 비교

비교항목 \ 공조시스템		천장취출 공조시스템	바닥취출 공조시스템
경제성	이니셜 코스트	○	○
	런닝 코스트	○	◎
쾌적성	냉 방	◎ 급기온도 16℃정도	◎ 급기온도 19~20℃정도
	난 방	○ 좌석 등에 의해서 바닥면 근처 공기분포가 불균일하게 되어 차가움을 느끼게 됨	◎ 바닥면 취출이므로 두한족난에 의해서 쾌적성이 좋음
	기류·콜드 드래프트	○ 목표치는 0.25m/s 이하	◎ 바닥취출구에서 700mm 떨어진 곳에서 0.2m/s 이하
	오염가스 실내확산	△	◎
	분진 실내확산	○	○
	기류분포	○ 실전체가 균일	○ 거주영역만 균일
	천장부근 고온공기와 혼합	△	◎
	드래프트	○	○ 취출구 바로 근처에서 장기체류하는 경우 제외
	퍼스널 공조	△	◎
	보행감	○	○
	소음	○	○
대응성	기기 집중화에 따른 열처리	△	◎
	기기 이동	△	◎
	파티션 변경	△	○
	테스크레이아웃 변경	△	◎
	와이어링 자유성	△ 노출배선에 의해 어느 정도 대응	◎
공간유효이용	평 면	○	○
	천장고	○	○
제어성	부분부하 운전대응	△	◎ 개인대응 가능
유지관리	작 업	○ 고소작업	◎ 바닥면 작업
	청소(취출구)	○	○
시공성	보수공사	○ 고소작업	◎ 바닥면 작업
	시공실적	◎	○ 독일, 영국, 이탈리아, 미국, 캐나다, 일본
안정성	취출구와 보행자	○	○
	방 재	○	○
	시 공	△ 고소작업	◎ 저소작업

(◎ 아주 좋음, ○ 좋음, △ 보통)

2.2.4 그 밖의 공조시스템

1) 벽면 가로취출 공조시스템

벽면에 주로 노즐형 취출구를 설치하는 방식으로, 취출구를 하향시키면 거주영역만큼의 부분공조가 가능하여 에너지 절약을 도모할 수 있다. 냉방시 드래프트 현상에 유의하여야 하며, 냉난방시에 취출각도를 조절할 수 있으면 이상적이다. 이와 같은 부분 공조방식에서는 난방시 온풍의 상승을 억제하는 것이 중요하기 때문에 난방시에만 취출각도를 내리는 것이 바람직하다. 또한 주 취출구 바로 위에 에어커튼을 설치하여 온풍 상승을 방지하는 방법도 사용된다.

2) 천장고온 복사난방

천장면에 복사패널을 설치하는 방법으로, 천장이 높고 틈새바람이 많은 건물에 적합하다.

3) 바닥면 복사난방

대공간에서 바닥면 복사난방방식이 단독으로 사용되는 경우는 적으며, 상하 실온분포의 균일화, 거주영역에서의 쾌적성 향상을 위하여 다른 온풍난방방식 등과 병용하는 경우가 많다.

제 3 장 천장취출 공조시스템 분석

3.1 프로그램 개요

본 연구에서는 천장취출 공조시스템과 바닥취출 공조시스템이 적용된 공연장 내의 기류분포 및 속도, 온도분포와 냉방에너지 소비량을 분석하기 위해 전산유체해석 상용코드 중의 하나인 PHOENICS 프로그램과 에너지해석 프로그램인 DOE-2 프로그램을 사용하였다. 각각에 대해 살펴보면 다음과 같다.

3.1.1 PHOENICS 프로그램

1) CFD의 이론적 배경

열전달과 유체유동을 예측하기 위한 방법의 하나로 이용되는 이론적 예측방법은 물리적 과정에 대해 연립 미분 방정식의 형태로 구성되어 있는 수학적 모델을 이용하는 것이다. 과거에 고전적인 수학을 이용하여 이러한 미분방정식을 풀어 수치해법을 구하는데 어려움이 많았지만, 1990년대에 들어 수치해법의 발달과 대형 디지털 컴퓨터를 이용하게 되면서 수학적으로 모델화할 수 있는 대부분의 문제들을 해결할 수 있게 되었다. 이렇게 컴퓨터를 사용하여 물리적 현상을 예측하는 방법을 일반적으로 CFD(Computational Fluid Dynamics)라고 한다. CFD에서는 계산영역을 여러 개의 작은 요소로 분할하여 물리적 현상을 지배하는 미분방정식을 확립한 후, 미분방정식을 대수방정식으로 전환하여 각 요소에서 대수방정식의 해를 구하는 과정을 거친다.

실내 기류는 공기의 흐름이 섞이지 않는 층류(laminar flow)와는 달리, 대부분 소용돌이(eddy)의 불규칙한 운동이 포함되어 있는 난류(turbulence)의 형태로 나타나며, 난류 내에서는 한 부위에서 다른 부위로 운동량, 열, 물질 등이 전달되고, 이에 따라 유동 전체적으로 점성, 열전달계수, 확산도 등이 증가하는 효과를 가져온다. 이와 같이 난류유동은 복잡하고 불규칙한 운동이기 때문에 유동장 내 모든 곳의 속도 및 압력을 매 순간 찾아내는 것은 거의 불가능하다. 따라서, 시간과 장소에 따라 변화하는 수치의 평균값으로 난류유동의 특성을 알아내며 문제의 해를 구하는 방법이 주로 사용되고 있다.

일반적으로 비압축성 유동은 연속방정식과 Navier-stokes 방정식으로 해를 구한다. 연속방정식은 유체의 질량보존법칙을 나타내고, Navier-stokes 방정식은 유체의 운동량 보존법칙을 나타낸다. 유도된 Reynolds 방정식을 이용하여 난류모델을 만들고 난류에너지 방정식의 유무 또는 개수로 여러 종류의 해석방법, 즉 대수모델, k-ε방정식, 응력방정식 모델 등을 사용한다. 가장 일반적으로 사용되는 난류모델은 k-ε모델이다. 본 연구에서는 대공간 건축물에서 가장 타당성을 보이는 모델로 알려져 있는, k-ε모델의 변형된 형태인 RNG k-ε모델을 사용하였다. 여기서 k는 난류의 운동에너지(kinetic energy of turbulence)를 의미하고, ε은 난류소산율(turbulence dissipation rate)을 뜻한다.

2) PHOENICS 프로그램 개요

본 연구에서 사용된 PHOENICS(Parabolic Hyperbolic Or Elliptic Numerical Integration Code Series)는 영국 CHAM(Concentration, Heat and Momentum Limited)사가 개발한 범용 전산 열유체(Computational Fluid Dynamics) 프로그램으로, 건축, 기계, 환경, 화공, 우주항공 등 모든 공학 분야에서의 열전달, 유체 유동, 화학반응 등을 해석하는데 사용하는 프로그램이다.[6)]

이산화방법으로 유한체적법(FVM : Finite Volume Method)을 사용하고, 난류모델로는 k-ε모델, RNG k-ε모델 등을 사용한다. 격자를 만드는 그리드 시스템은 직교그리드 방식과 곡면형상을 해석할 수 있는 BFC(Body Fitted Coordinates)방식이 이용된다. 대류항의 이산화방법으로는 1차정도 풍상법, 하이브리드법, Quick법 등이 사용되고 있으며, 정상상태를 유도하는 해법으로는 반복해법, 계수의 차등설정법을 사용하고 있다. 시간적분법을 고려한 비정상상태를 해석할 때에는 완전음해법 등을 사용하고, 압력을 해석하는 방법으로는 SIMPLEST방법 등을 이용하고 있다.

PHOENICS프로그램은 크게 입력을 담당하는 Pre-Processor인 Satellite와 VR-Editor, 해석이 수행되는 과정인 Earth, 그리고 Post-Processor로서 해석 결과를 확인하기 위하여 사용하는 Photon, Autoplot, VR-Viewer의 세 부분으로 나뉘어 진다.

6) http://www.act-e.co.kr/

3.1.2 DOE-2 프로그램

DOE-2 프로그램은 미국 에너지성(Department of Energy)의 지원 하에 LBL(Lawrence Berkeley Laboratory)에서 개발되었다. 입력자료 준비를 간단하고 편리하게 하기 위해서 BDL(Building Description Language)이란 DOE-2 프로그램 언어가 개발되었고 HVAC 시스템 및 Plant 열원기기 시뮬레이션 프로그램, 태양열 시뮬레이션과 경제성 평가를 위한 프로그램이 포함되어 DOE-2 프로그램의 구조가 구성되었다.[7)]

DOE-2 프로그램은 입력자료의 처리와 에너지 계산을 담당하는 부분으로 구성되어 있는데, 전체적으로 DOE-2 프로그램 언어인 BDL, 응답계수법 및 가중계수법(Weighting Factor)을 사용하여 각 공간의 부하를 계산하는 Loads, 입력된 시스템의 특성과 각 공간의 변화하는 온도를 고려하여 시간별 시스템부하를 산출하는 Systems, 시스템부하와 사용자 입력에 의한 열원기기의 종류, 열원기기의 용량 및 대수 등을 이용하여 열원기기에서 사용되는 시간별 에너지량을 예측하는 Plant, 그리고 건물의 LCC(Life Cycle Cost)와 설계 대안의 경제성 비교를 위한 투자의 효용가치를 계산하는 Economics의 5개의 모듈로 구성되어 있다.

DOE-2 프로그램의 편리한 이용을 위해 개발된 VisualDOE 2.5는 계산 엔진으로 DOE-2.1E의 시간별 시뮬레이션 도구를 사용하는데, 과거 전문가만이 사용하던 DOE 프로그램을 건축가, 엔지니어, 그리고 에너지 컨설턴트 등, 사용자의 범위를 보다 넓히기 위해 제작되었다. 이 프로그램은 그래픽 인터페이스(graphic interface)를 사용하여 생성되는 건물 및 시스템 모델의 형태를 보면서 작업할 수 있다. VisualDOE에서는 기존 DOE-2 프로그램 기능의 80% 정도만을 제공하기 때문에, 나머지 20%에 대해서는 DOE-2 Input File에서 수정하여야 한다.[8)]

DOE-2 프로그램은 정확하고 신뢰성 있는 동적 열부하계산 및 건물에너지의 분석이 가능하고, 시뮬레이션이 가능한 HVAC 시스템 및 Plant 열원기기 종류의 다양함과 정밀도 등으로 현재 발표되고 있는 프로그램들의 표준이 되고 있으며 타당성 및 정밀도 분석의 기준으로 사용되고 있다.

---

7) DOE-2 REFERENCE MANUAL Part 1. I.1~9
8) VisualDOE 2.5 Program Documentation, 1996, p.1

3.2 개 요

3.2.1 대상 선정

공조방식에 따른 중규모 공연장의 실내 열환경 및 에너지 소비량을 분석하기 위하여 본 연구에서는 최근에 완공된 서울 시내 C대학의 문화예술관을 대상 모델로 선정하였다. 공연장은 건물의 규모와 관객의 수용능력에 따라 대규모, 중규모, 소규모로 나눌 수 있는데, 400~600석 정도의 규모를 가진 공연장을 중규모 공연장으로 구분할 수 있다. 본 연구의 대상인 문화예술관에는 건물 내부에 천장취출 공조시스템을 적용한 500석 규모의 공연장이 위치해 있다.

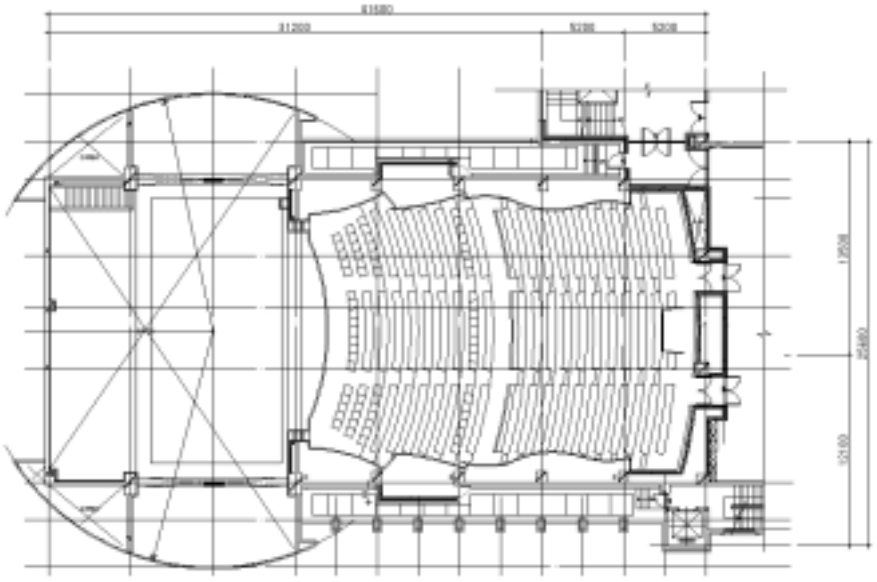
대상 건물은 건축면적 1,700m^2, 연면적 11,560m^2의 장방형 형태를 가진 지하 3층, 지상 9층 규모의 철근 콘크리트구조로 대강당(다목적 공연장)과 강의실, 사무실, 그리고 소극장으로 구성되어 있다. 이 중 대강당은 건물의 중간층인 3~6층에 위치한 500석 규모의 공연장으로 별도의 공조기에 의해 건물 내의 다른 실과 독립적으로 냉난방이 이루어지고 있다.

공연장은 바닥면적 800m^2, 객석 천장고 6~10m, 실체적 7,520m^3이며, 연극, 세미나, 영화 상영, 음악회 등이 가능한 다목적 공간으로, 북측에 면한 무대부분을 제외하고 동측, 남측, 서측면은 로비와 복도로 둘러싸여 있다. 객석은 총 20열로 10번째 열과 11번째 열 사이, 그리고 20번째 열 뒤편에 통로가 위치해 있다.

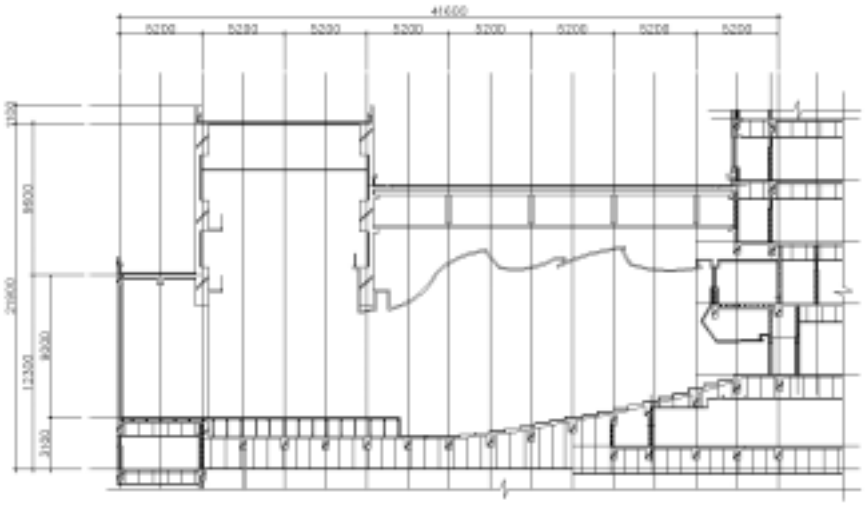
<표 3.1> 대상 공간의 개요

항 목		규 격
규 모	크 기	바닥면적 : 800m^2 객석 천장고 : 6~10m 무대 천장고 : 19.8m 실체적 : 7,520m^3 좌석수 : 500석
	구 조	철근 콘크리트조 및 일부 철골트러스

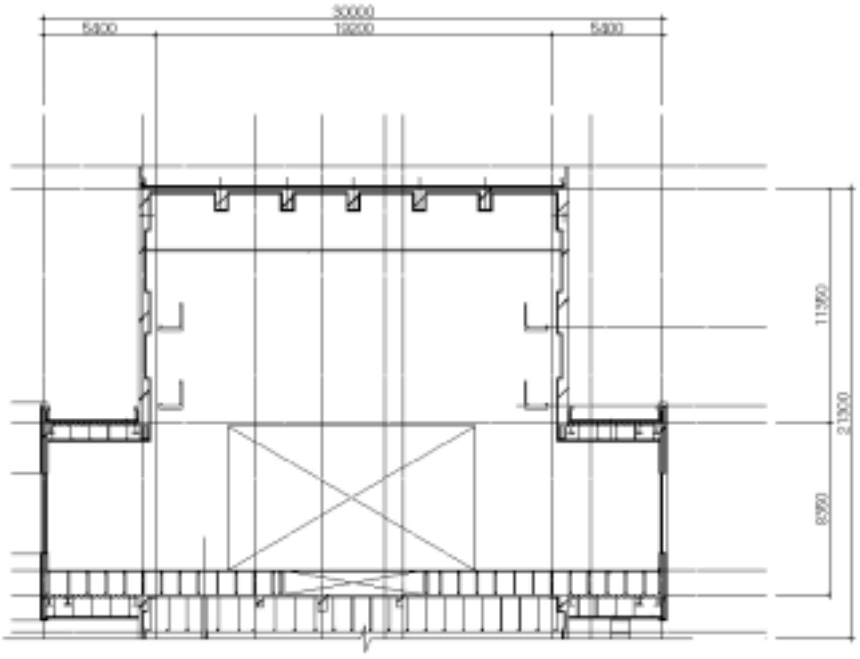
(그림 3.1), (그림 3.2), (그림 3.3)은 공연장의 평면과 단면을 나타낸다.



(그림 3.1) 공연장 평면도



(그림 3.2) 공연장 종단면도



(그림 3.3) 공연장 횡단면도

3.2.2 냉방부하 산정 및 공조계획

(1) 냉방부하 산정을 위한 기초자료

1) 실내 조건

실내 온습도 조건은 실의 사용 목적에 따라 그 조건이 각기 다르기 때문에 냉방부하 산정시 매우 중요한 조건 중의 하나이다. 냉방 부하를 산정하기 위한 여름철 실내 온습도 기준조건은 건구온도 26℃, 상대습도 55%로 하였다.[9)]

<표 3.2>는 냉방부하 산정을 위한 실내 온습도 설정 요소를 보여준다.

9) 서승직, 건축설비, 일진사, 1991, p.180

<표 3.2> 여름철 실내 온습도 조건

구 분	이상적 조건		일반적 조건		건교부고시 조건	
	건구온도 (℃)	상대습도 (%)	건구온도 (℃)	상대습도 (%)	건구온도 (℃)	상대습도 (%)
공연장	24.5~25.5	50~55	25.5~27	50~60	26	55

2) 외기 조건

실내 열환경 평가를 위한 여름철 냉방 최대 부하일은 DOE-2 프로그램을 이용한 결과 8월 6일 오후 8시로 나타났다. 이는 서울지방 기상청 자료 및 건물 조건을 고려한 것으로 이때의 외기온은 건구온도 28℃이다.

3) 인체로부터의 발열량

인체에 의한 발열은 인체 표면에서 대류 및 복사에 의해서 방사되는 현열과 땀의 증발, 호흡 등으로 체외로 방사되는 잠열이 있다. 인체 발열부하의 특성은 작업상태와 실온에 의해 영향을 받는다. 재실 인원수는 건축설계시 계획인원을 참고로 하거나 좌석수 또는 일반적인 면적당 인구밀도(인/m^2)를 기준으로 계산한다.

4) 실내 공기 분포

실내 공기 분포는 공기조화 시스템의 성능을 평가하는 중요한 요소 중의 하나이다. 쾌적한 환경을 위하여 실내의 거주영역에서는 균일한 실온 분포와 적절한 기류 속도가 유지되어야 하며, 이와 같은 환경은 취출구와 흡입구의 배치, 취출구의 형식, 취출 공기의 속도·온도·풍량 등에 의해 영향을 받는다. 실내 기류의 최적치는 냉방의 경우 0.25~0.3m/s, 난방은 0.1~0.25m/s 정도이며, <표 3.3>은 거주 공간에서의 허용 기류 속도를 나타낸다.[10)]

10) 서승직, 건축설비, 일진사, 1991, p.248

<표 3.3> 거주공간의 허용 기류속도

조 건	실내온도 (℃)	속 도 (m/s)
냉방시	27	0.5
	26	0.35
	25	0.3
난방시	-	0.5

허용 기류속도를 초과한 기류 속에 오랫동안 노출되어 있으면 불쾌감을 느끼게 된다. 또 실내 기류의 이동이 없는 정체역에서는 오염된 공기 등이 정체되어 불쾌감을 더욱 가중시킨다. 이와 같은 정체역의 형성 원인은 여러 가지로 분석될 수 있는데, 취출구 및 흡입구의 불합리한 배치, 풍속과 풍량 부족, 실내 장애물 등에 의해 발생된다.

5) 취출구 및 흡입구의 풍속

취출구 및 흡입구의 풍속은 실내 공조 소음의 주요 원인 중의 하나로 풍속이 커짐에 따라 소음이 증가하며, 기구의 크기 및 종류와 베인, 댐퍼 등의 상태에 따라 다르다. <표 3.4>와 <표 3.5>[11]는 각각 취출구의 허용 풍속과 흡입구의 허용 풍속을 나타낸다.

<표 3.4> 취출구의 허용 풍속

건물의 종류	허용풍속 (m/s)
방 송 국	1.5~2.5
주택, 아파트, 교회, 극장, 호텔 침실	2.5~3.8
개인 사무실	2.5~4.0
영 화 관	5.0~6.0
일반 사무실	5.0~6.3
상 점	7.5
상 점 (1층)	10.0

11) 강정길외 7인, 공기조화설비설계, 기문당, 1999, p.163

<표 3.5> 흡입구의 허용 풍속

흡입구의 위치	흡입 면풍속 (m/s)
거주영역 보다 위	4.0 이상
거주영역내 (좌석에서 멀 때)	3.0～4.0
거주영역내 (좌석에서 가까울 때)	2.0～3.0
도어루버(door louver)	1.0～1.5
도어의 언더컷(door undercut)	1.0～1.5

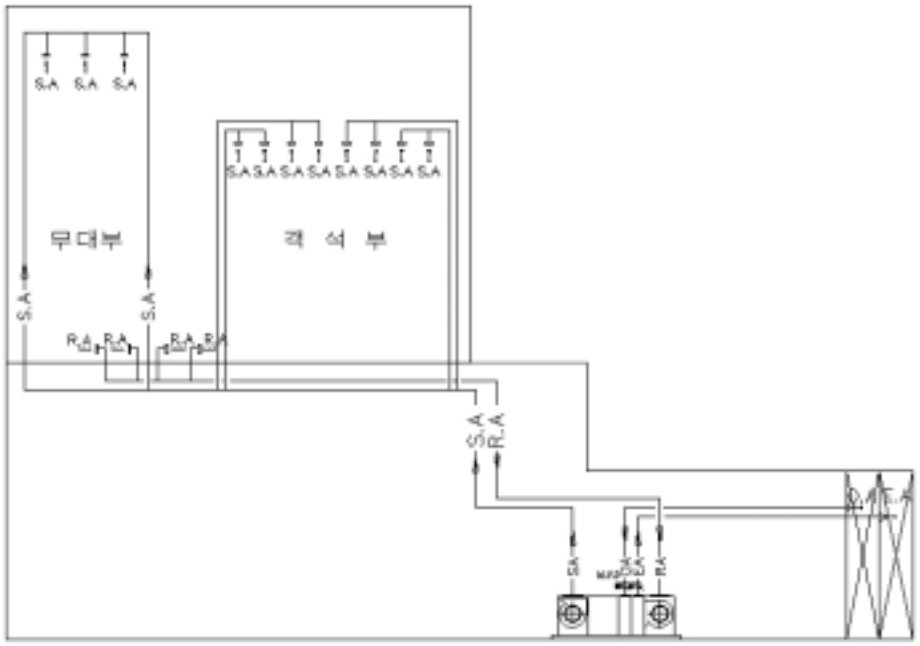
(2) 대상건물의 공조계획 (기존안)

1) 공조방식

대상 공연장은 CAV(Constant Air Volume)방식으로 지하 3층 기계실에 설치된 냉방용량 206,000kcal/h인 공조기 1대가 공연장을 담당하고 있다. 설치된 공기조화기의 제원은 <표 3.6>과 같다. (그림 3.4)는 공연장 공조 덕트의 계통을 나타낸다.

<표 3.6> 공기조화기의 제원

AHU 형식	설계풍량 (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



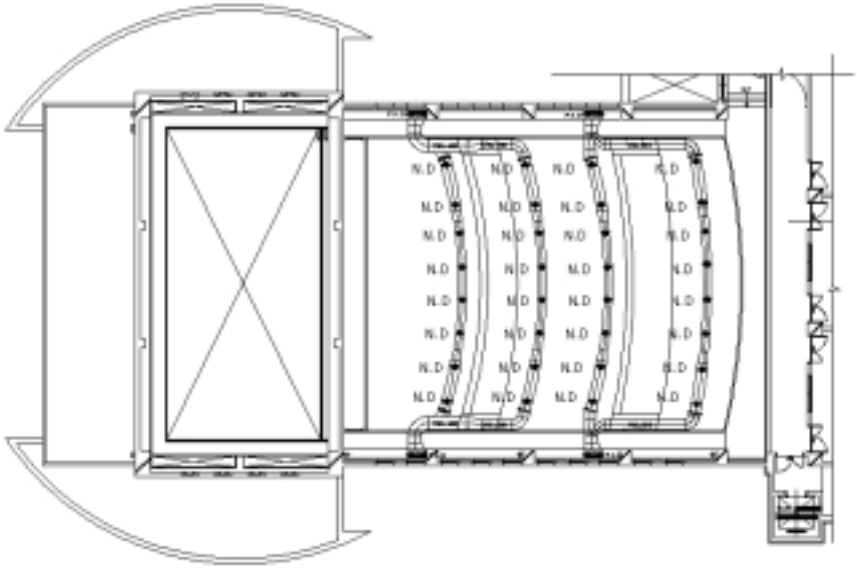
(그림 3.4) 공조 덕트 계통도

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. 이때, 공조된 공급 공기의 온도와 실내 설정온도와의 차이인 Δt는 10℃이다. 무대부분의 경우에는 취출 공기는 건구온도는 16℃, 기류속도는 2m/s이고, 무대면으로 하향 취출되어 무대부분과 객석부분의 경계면 양쪽에 설치된 흡입구를 통하여 환기된다.

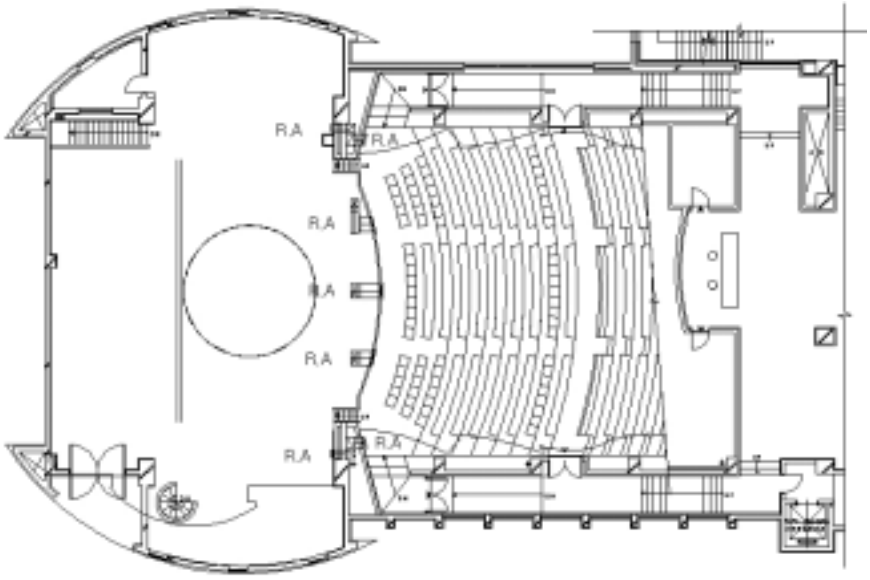
2) 취출구와 흡입구

객석부분의 경우 객석 상부에 설치된 32개의 지름 250mm 노즐에서 취출된 공조 공기가 거주영역을 공조하며, 무대 전방에 설치된 크기 1,300mm×400mm인 5개 그릴을 통하여 환기된다. 무대부분은 무대 상부에 설치된 크기 250mm×400mm인 10개의 레지스터에서 취출된 공조 공기가 무대 양쪽 측면에 각각 1개씩 설치된 400mm×800mm의 레지스터를 통하여 환기된다.

(그림 3.5)와 (그림 3.6)은 취출구와 흡입구의 위치를 나타낸다.



(그림 3.5) 객석부분 천장 취출구의 위치



(그림 3.6) 공연장 흡입구의 위치

3.3 천장취출 공조시스템(기존안)의 실내열환경 분석

3.3.1 천장취출 공조시스템의 실내열환경 분석을 위한 시뮬레이션 조건

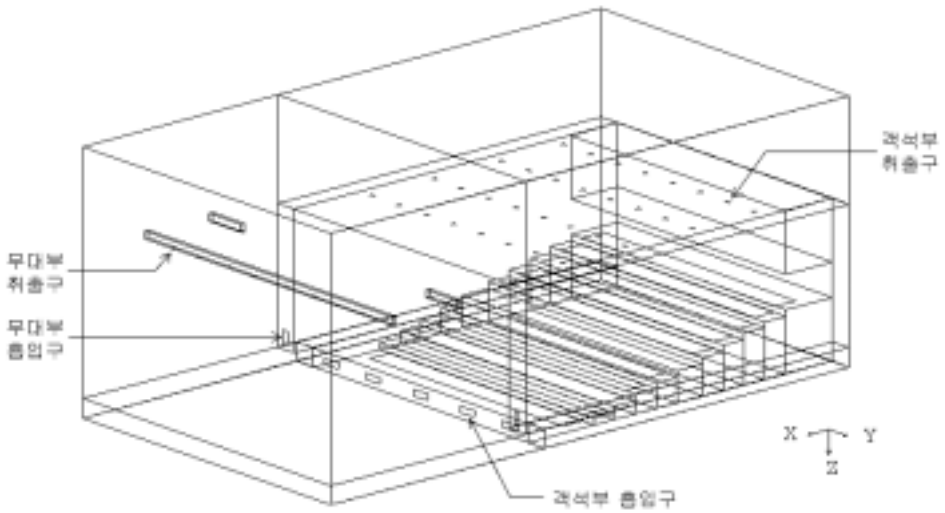
1) 입력 조건

시뮬레이션 모델의 전체 크기는 가로, 세로, 높이가 40m×22m×17m이고, 그리드는 53×52×24로 전체 셀(cell)의 수는 66,144개이다. 시뮬레이션 대상 모델과 격자 모델은 (그림 3.7), (그림 3.8)과 같다.

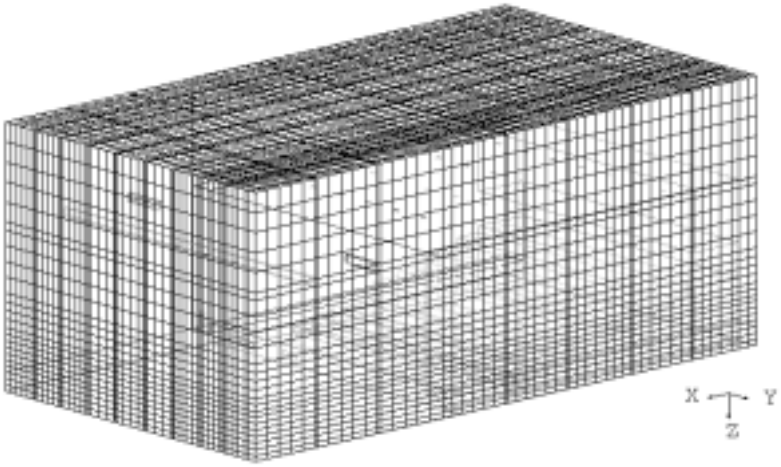
2) 입력 경계조건

CFD 프로그램에 입력한 경계조건은 <표 3.7>과 같다.

객석부분 취출구에서의 기류 속도는 4m/s, 급기 온도는 16℃이며, 무대부분 취출구의 기류 속도는 2m/s, 급기 온도는 16℃이다. 또한, 재실자 수는 500명으로 인체에 의해 발생하는 총 현열량은 24.837KW이다.



(그림 3.7) 천장취출 공조시스템의 입력모델



(그림 3.8) 천장취출 공조시스템의 격자모델

<표 3.7> 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	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

3.3.2 천장취출 공조시스템의 실내 기류분포 시뮬레이션

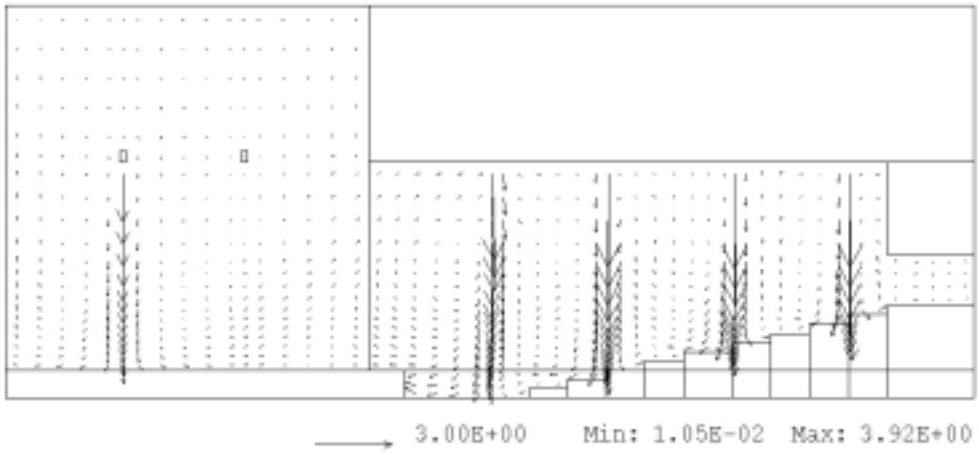
CFD 프로그램을 이용하여 기존안의 실내 기류분포를 시뮬레이션하면 (그림 3.9)~(그림 3.14)와 같다. 객석부분의 경우 천장에서 취출된 공조 공기는 거주영역을 공조하며 무대 전방에 설치된 흡입구로 환기되는 것을 알 수 있다. 무대부분의 경우에는 상부 덕트에서 취출된 공기가 하강하여 바닥면에서 수평이동한 후 일부는 벽체를 따라 상승하고 일부는 양단부에 설치된 흡입구로 환기되는 패턴을 보인다.

(그림 3.9)와 (그림 3.10)은 공연장 중앙부에서의 기류분포를 단면으로 나타낸다. 천장에 설치된 취출구에서 4m/s의 속도로 하강하는 취출 기류는 속도가 점차 감소하여 바닥면에서 1m 높이를 거주영역이라 간주할 때, 거주영역에서 0.3~2.1m/s의 속도를 보인다. 취출구와 연직방향으로 수직인 영역에서는 주위보다 높은 속도를 보이는데, 이것은 취출구가 노즐로 구성되어 있기 때문이다. 객석부분 전면과 후면의 천장고가 6~10m로 상이함에도 불구하고 4열로 설치된 취출구의 취출 속도가 모두 동일하기 때문에, 객석부분 전면의 취출구 바로 아래 거주영역(바닥면에서 1m 높이)에서는 1.1m/s의 기류 속도를 보이지만, 객석부분 후면의 취출구 아래 거주영역(바닥면에서 1m 높이)에서는 2.1m/s로 매우 높은 속도를 나타낸다. 즉, 객석부분 후면의 경우 천장고가 낮아지므로 취출 속도를 감소시켜야 할 필요가 있는 것으로 나타났다.

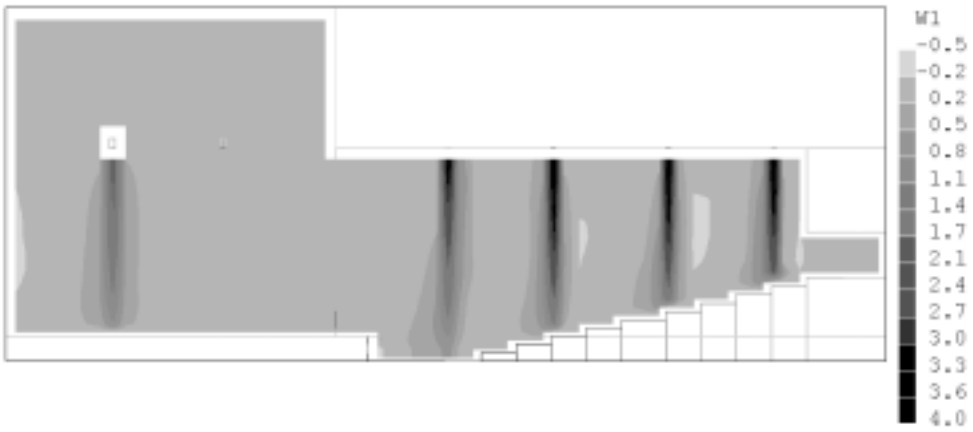
(그림 3.11)과 (그림 3.12)는 객석부분 제 1 열 취출구에서의 기류 분포를 단면으로 보여준다. 1개의 열에 8개의 노즐이 설치된 형태로 4m/s의 속도로 취출된 공조 공기가 연직방향으로 하강하면서 속도가 점차 감소하여 거주영역에서는 0.8~1.1m/s의 속도를 보인다.

(그림 3.13)과 (그림 3.14)는 객석부분 제 4 열 취출구에서의 기류 분포를 단면으로 나타내는데, 제 1 열과 마찬가지로 8개의 노즐에서 4m/s의 속도로 취출된 공조 공기는 거주영역에서 2.0~2.1m/s의 속도로 이동한다.

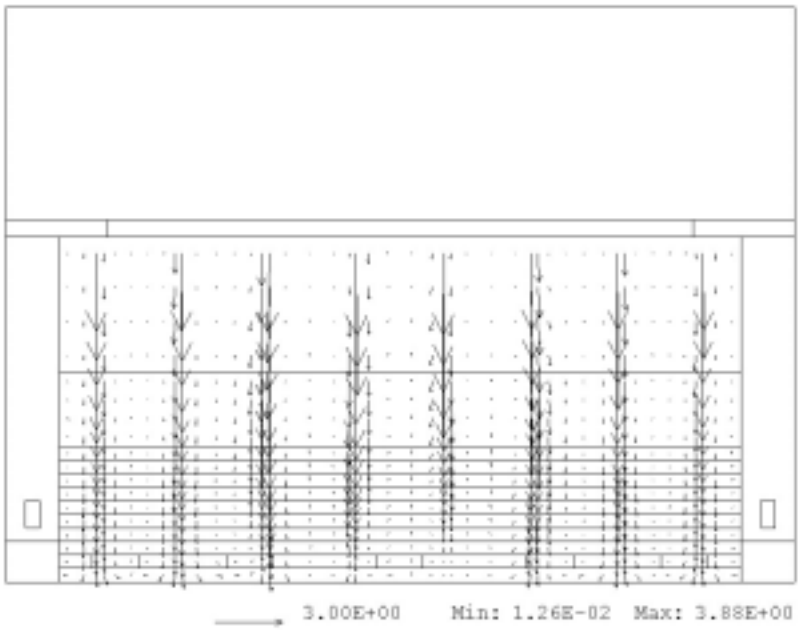
이것은 거주 공간에서 실내 기류의 최적치인 0.25~0.3m/s(냉방의 경우)와 실내 설정온도 26℃일 때 거주 공간의 허용 기류속도 0.35m/s를 크게 상회하는 것으로, 공조된 공기가 거주영역에 쉽게 도달할 수 있도록 노즐을 사용하였기 때문에 급기의 확산반경이 작아지고 드래프트(draft)현상이 발생하는 문제가 생기게 된다.



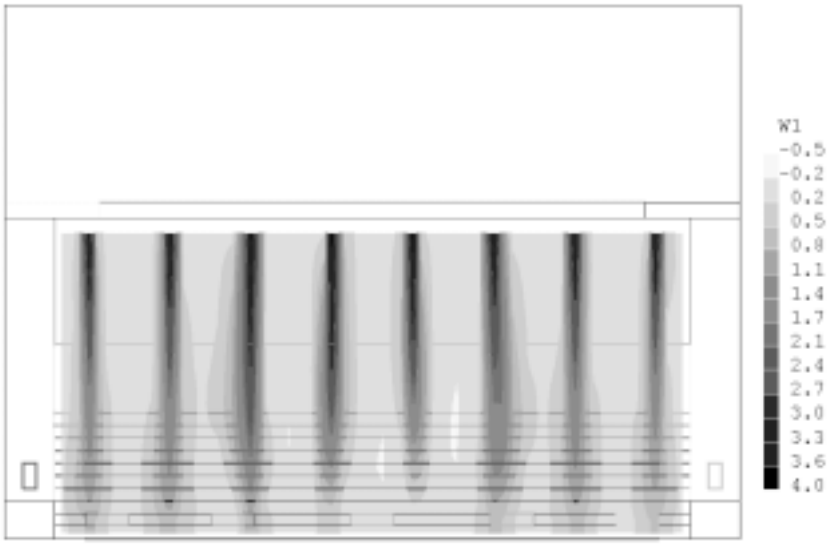
(그림 3.9) 공연장 중앙에서의 기류분포 (단면) - Vector



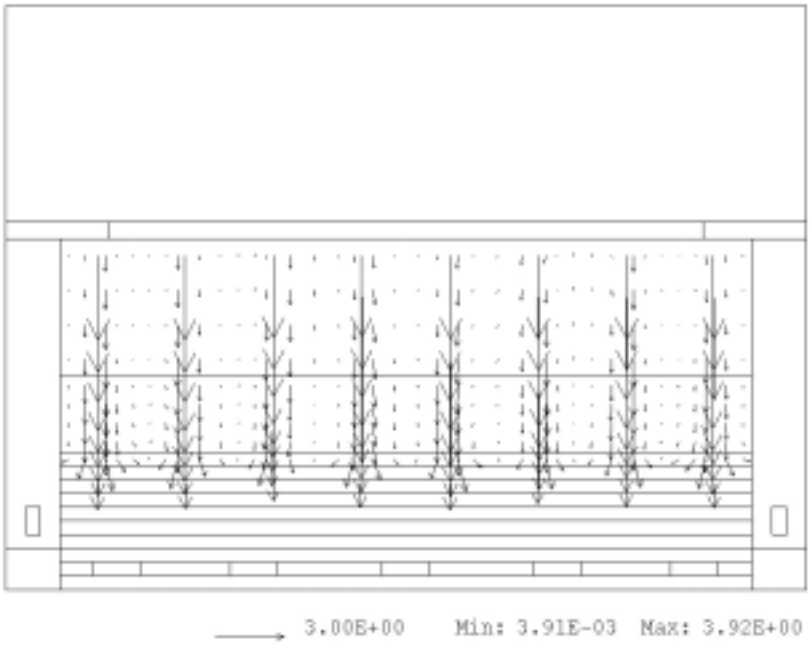
(그림 3.10) 공연장 중앙에서의 기류분포 (단면) - Contour



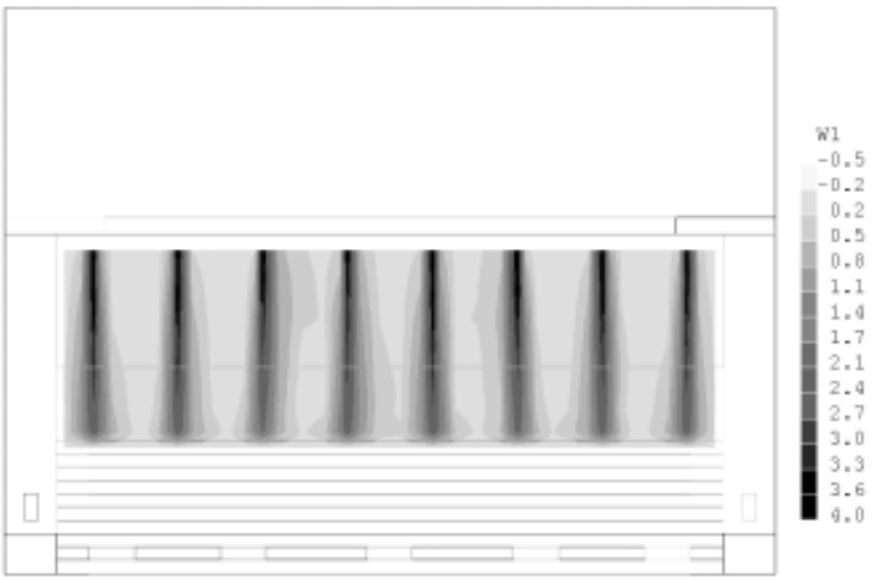
(그림 3.11) 객석부분 제 1열 취출구에서의 기류분포 (단면) - Vector



(그림 3.12) 객석부분 제 1열 취출구에서의 기류분포 (단면) - Contour



(그림 3.13) 객석부분 제 4열 취출구에서의 기류분포 (단면) - Vector

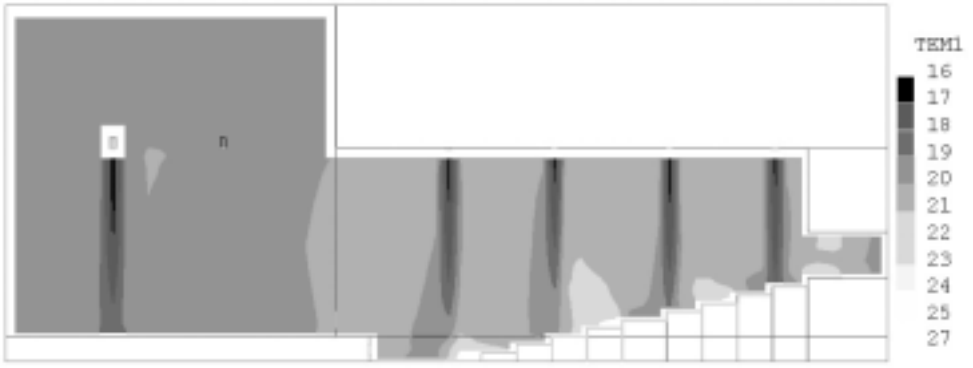


(그림 3.14) 객석부분 제 4열 취출구에서의 기류분포 (단면) - Contour

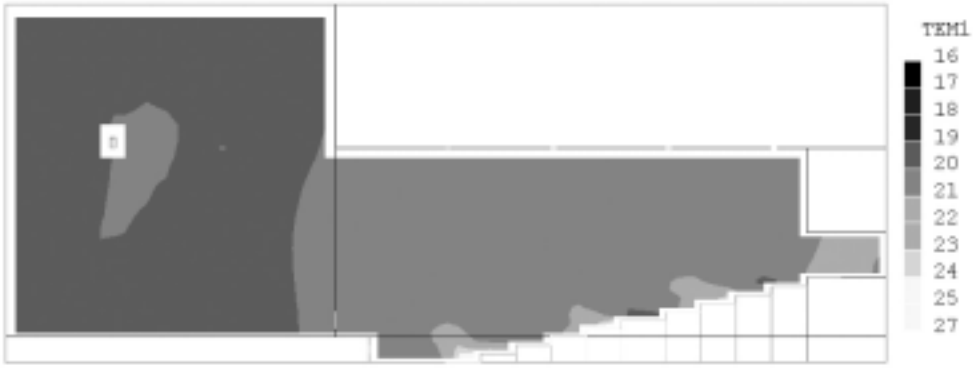
3.3.3 천장취출 공조시스템의 실내 온도분포 시뮬레이션

CFD 프로그램을 이용하여 기존안의 실내 온도분포를 시뮬레이션하면 (그림 3.15)~(그림 3.18)과 같다. 천장 취출구에서 공급된 16℃의 공조 공기는 관객이 착석해 있는 거주영역(바닥면에서 1m 높이)에서는 19.8~25.3℃의 온도 분포를 보이고, 평균 온도는 23.4℃이다.

(그림 3.15)는 중앙의 취출구가 설치되어 있는 위치에서의 수직 온도 분포를 나타낸다. 취출구가 설치된 지점의 거주영역 평균온도는 21.8℃이다. (그림 3.16)은 취출구와 취출구 사이의 온도 분포를 나타내는데, 이 지점의 거주영역 평균온도는 24.3℃이다.



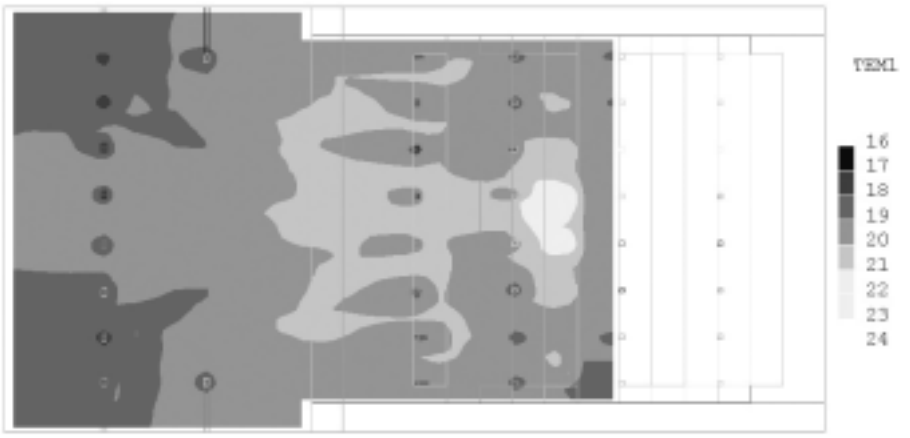
(그림 3.15) 중앙부 취출구에서의 수직온도분포



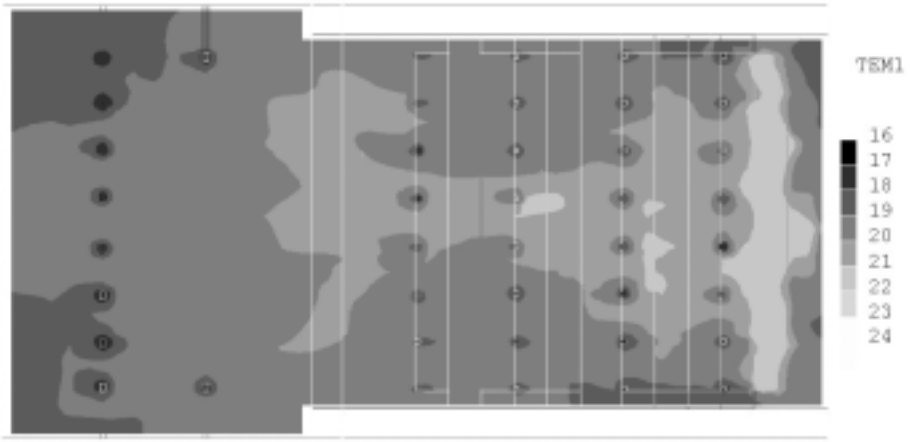
(그림 3.16) 취출구와 취출구 사이의 수직온도분포

취출구가 설치되어 있는 위치와 설치되지 않은 위치에서의 거주영역 평균온도가 2.5℃의 차이를 보여 취출구의 위치에 따라 거주영역의 온도분포가 불균일한 것을 알 수 있다.

(그림 3.17)과 (그림 3.18)은 각각 객석부분 9~10열 바닥면에서 1m 높이와 19~20열 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 차이를 보여 관객이 착석한 위치에 따라 불균일한 열환경을 나타내는 문제가 있다.



(그림 3.17) 객석부분 9~10열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포



(그림 3.18) 객석부분 19~20열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포

3.3.4 천장취출 공조시스템의 냉방에너지 소비량 분석

기존 대상건물의 공조시스템 산정을 위한 냉난방 부하는 실제로 수계산을 통하여 계산되었지만, 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.

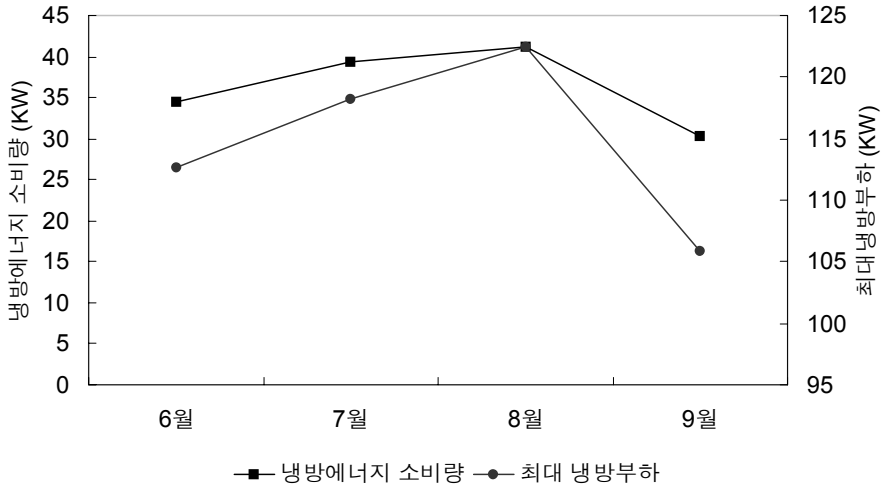
우선 기존안의 실제 연간 냉방에너지 소비량을 산정하기 위하여 급기 온도 및 공급 풍량을 16℃, 29,690CMH로 설정하고 연간 냉방에너지 소비량을 산정하였다. <표 3.8>은 기존 천장취출 공조시스템의 급기팬 풍량 및 연간 냉방에너지 산정량을 보여준다. 또한 냉방기(6~9월)의 월별 냉방에너지 및 최대 냉방부하는 <표 3.9> 및 (그림 3.19)와 같다.

<표 3.8> 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 3.9> 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



(그림 3.19) 천장취출 공조시스템의 월별 냉방에너지 소비량

3.4 천장취출 공조시스템(개선안)의 실내열환경 분석

3.4.1 천장취출 공조시스템의 실내열환경 분석을 위한 시뮬레이션 조건

CFD 프로그램을 이용한 시뮬레이션 결과, 기존에 적용된 천장취출 공조시스템에서는 노즐을 사용한 취출구의 과다한 급기 속도(4m/s)로 인하여 거주영역에서 0.3~2.1m/s의 기류 속도를 보여 드래프트 현상이 발생하고, 취출구의 위치에 따라 불균일한 온도분포를 보여 거주영역에서 균일한 쾌적도를 유지하기 어려운 것으로 나타났다.

따라서, 이를 개선하기 위한 방법으로 공급 공기의 취출속도를 2~3m/s로 감소시키고, 노즐 간격을 공연장의 높이에 상응하는 범위 내에 들게 하기 위해 취

<표 3.10> 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

출구의 면적과 개수를 증가시켜 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션을 위한 입력조건은 다음과 같다.

1) 입력 조건

시뮬레이션 모델의 전체 크기는 가로, 세로, 높이가 40m×22m×17m이고, 그리드는 58×55×24로 전체 셀(cell)의 수는 76,560개이다.

2) 입력 경계조건

CFD 프로그램에 입력한 경계조건은 <표 3.10>과 같다.

취출 속도를 감소시키기 위해 객석부분의 천장에 4개 열로 총 32개가 설치된 취출구를 5개 열, 40개로 증가시켜 취출구의 총면적을 증가시켰다. 객석부분 전면에서 후면으로 이동함에 따라 천장고가 낮아지는 것을 고려하여 1~3열에 위치한 취출구의 급기 풍속을 3m/s로 설정하고, 4~5열에 위치한 취출구의 급기 풍속을 2m/s로 설정하였으며, 급기 온도는 16℃로 하였다. 또한, 취출구의 크기는 230mm×220mm에서 250mm×250mm로 증가시켰다.

무대부분은 기존안과 동일한 입력값을 취하고, 전체 공급 풍량도 기존안과 동일하게 객석부분과 무대부분에서 각각 22,420CMH, 7,270CMH로 설정하였다.

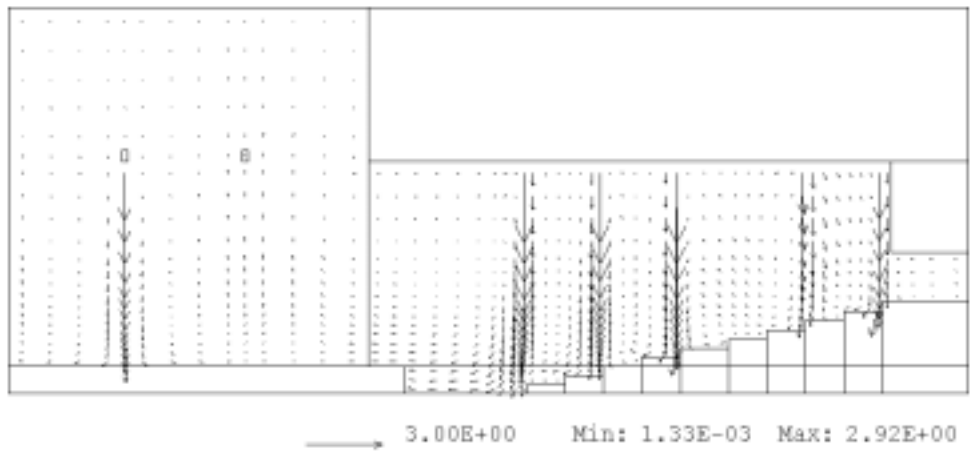
3.4.2 천장취출 공조시스템(개선안)의 실내 기류분포 시뮬레이션

CFD 프로그램을 이용하여 개선안의 실내 기류분포를 시뮬레이션하면 (그림 3.20)~(그림 3.25)와 같다. 전체적인 기류패턴은 기존안의 경우와 유사한 것을 알 수 있다.

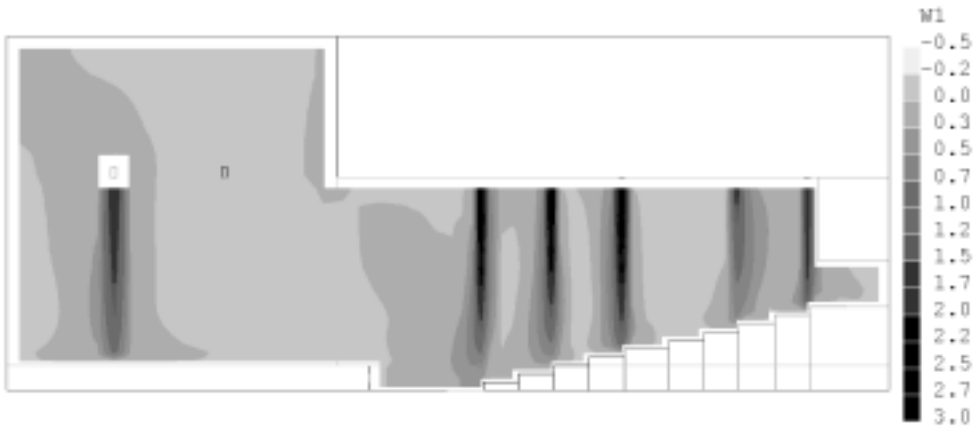
(그림 3.20)과 (그림 3.21)은 공연장 중앙부에서의 기류분포를 단면으로 나타낸다. 객석부분 전면의 취출구 1~3열에서는 3m/s의 속도로 공기가 취출되고, 후면의 취출구 4~5열에서는 2m/s의 속도로 공기가 취출되어 바닥면에서 1m 높이의 거주영역에서는 0.2~1.2m/s의 속도를 보인다. 객석부분 전면과 후면의 천장고가 6~10m로 상이한 것을 고려하여 취출 속도를 설정하였기 때문에 기존안에 비하여 거주영역에서의 기류 속도가 감소되어 드래프트가 일어날 가능성이 감소되었지만, 제 5 열의 취출구 하단 객석의 거주영역에서는 1.2m/s의 기류 속도를 나타내어 여전히 드래프트가 일어날 가능성이 있는 것으로 나타났다. 또한, 취출구로 노즐을 사용함에 따라 취출구 하단의 객석과 취출구와 취출구

사이의 객석에서 기류 속도의 차이가 크기 때문에, 균일한 쾌적도를 유지하기 어려운 것으로 나타났다.

(그림 3.22)와 (그림 3.23)은 객석부분 제 1 열 취출구에서의 기류분포를 단면으로 나타낸다. 1개의 열에 8개의 노즐이 설치된 형태로, 3m/s의 속도로 취출된 공조 공기가 하강하면서 속도가 점차 감소하여 거주영역에서는 0.3~0.5m/s의 속도로 이동하여 드래프트가 일어날 가능성은 적다. 그러나, (그림 3.24), (그림 3.25)에서 나타내는 객석부분 제 5 열 취출구에서의 기류 분포를 살펴보면, 8개의 노즐에서 2m/s의 속도로 취출된 공조 공기가 거주영역에서는 0.9~1.2m/s

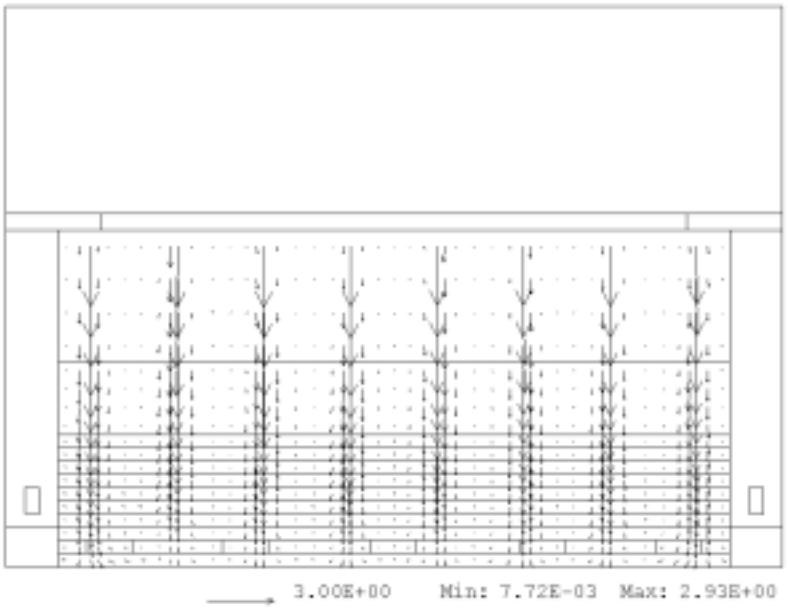


(그림 3.20) 공연장 중앙에서의 기류분포 (단면) - Vector

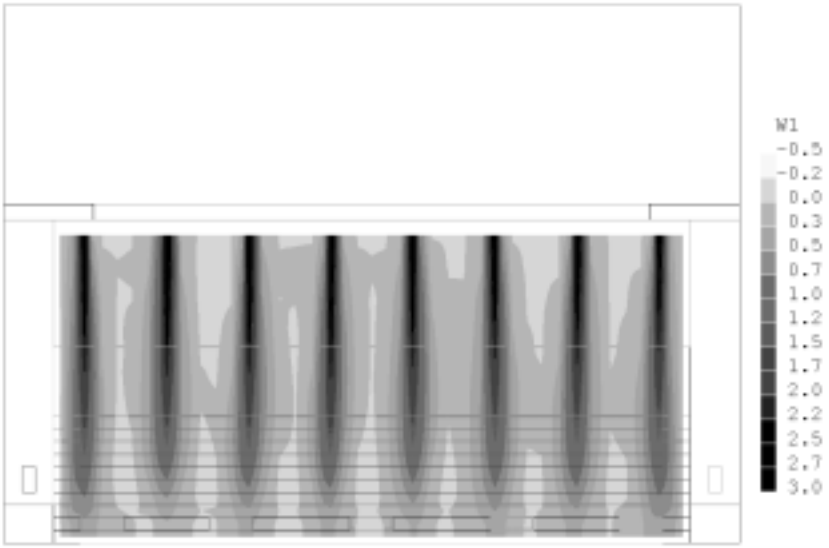


(그림 3.21) 공연장 중앙에서의 기류분포 (단면) - Contour

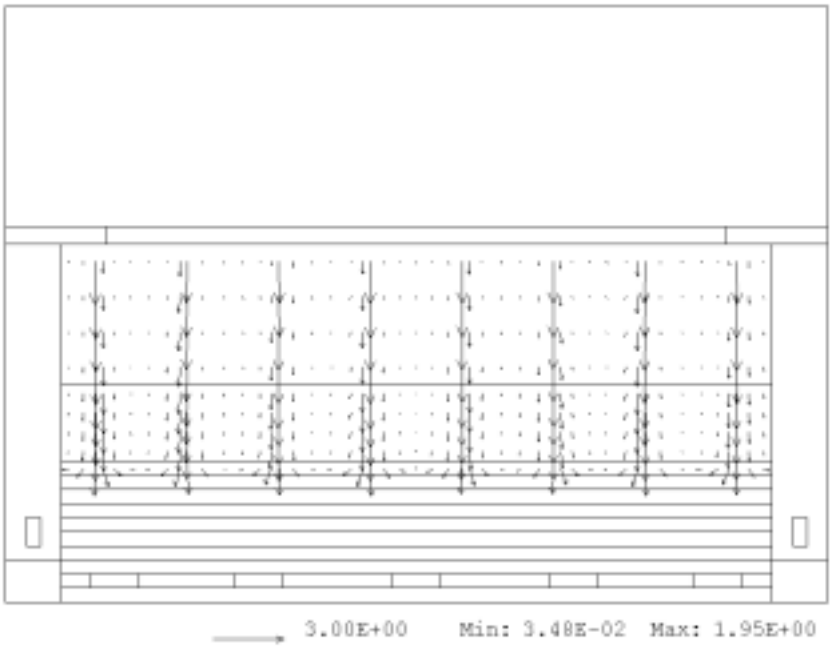
의 속도를 나타내어, 거주 공간에서의 허용 기류속도 0.35m/s(26℃일 때)를 크게 상회하여 드래프트가 발생할 가능성이 큰 것으로 나타났다.



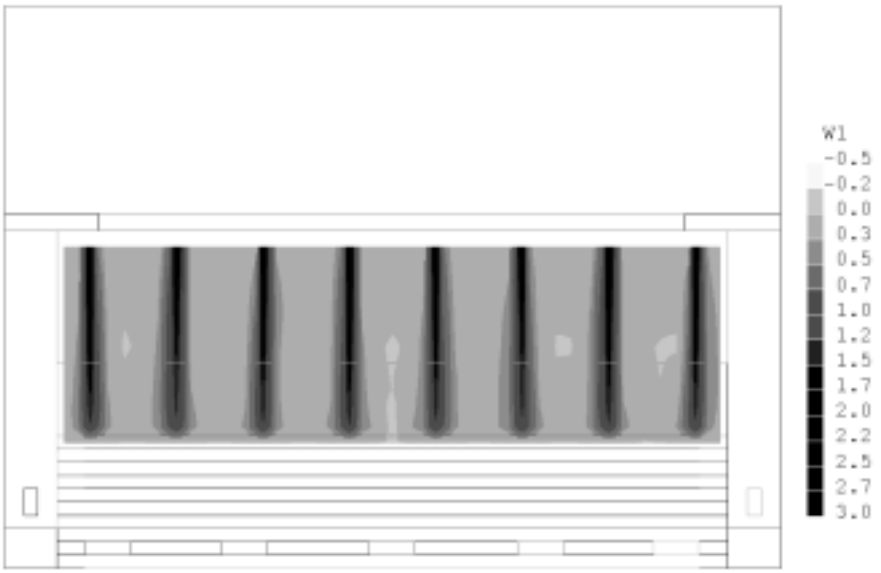
(그림 3.22) 객석부분 제 1열 취출구에서의 기류분포(단면) - Vector



(그림 3.23) 객석부분 제 1열 취출구에서의 기류분포(단면) - Contour



(그림 3.24) 객석부분 제 5열 취출구에서의 기류분포(단면) - Vector



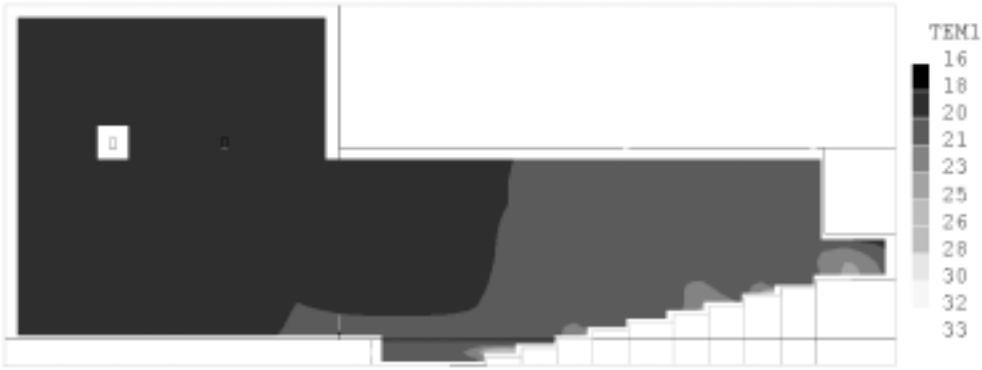
(그림 3.25) 객석부분 제 5열 취출구에서의 기류분포(단면) - Contour

3.4.3 천장취출 공조시스템(개선안)의 실내 온도분포 시뮬레이션

CFD 프로그램을 이용하여 개선안의 실내 온도분포를 시뮬레이션하면 (그림 3.26)~(그림 3.29)와 같다. 천장 취출구에서 공급된 16℃의 공조 공기는 관객이 착석해 있는 거주영역에서는 20.2~25.7℃의 온도 분포를 보인다. 관객이 착석해 있을 때의 높이인 바닥면에서 1m까지의 높이를 거주영역으로 간주할 때, 거주영역에서의 평균 온도는 23.7℃이다.

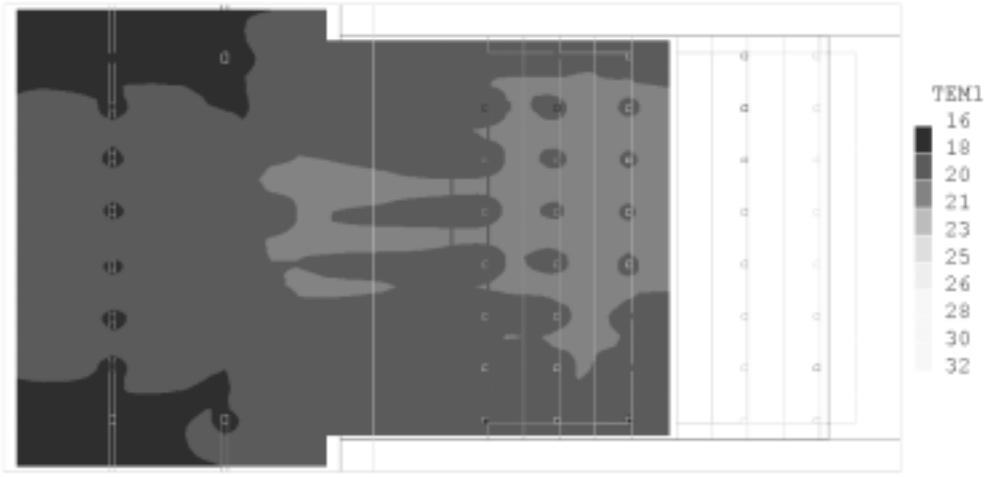
(그림 3.26)은 중앙의 취출구가 설치되어 있는 위치에서의 수직 온도 분포를 나타내는데, 취출구가 설치된 지점의 거주영역 평균온도는 22.1℃이다. (그림 3.27)은 취출구와 취출구 사이의 온도 분포를 나타내는데, 이 지점의 거주영역 평균온도는 24.7℃이다. 천장에서 하향취출하므로 영사실 바로 아래에 위치한 객석부분 19~20열에서 주위보다 1.4℃ 높은 온도를 나타내며 전면의 객석부분보다 온도 분포가 높게 형성된다.

(그림 3.26) 중앙부 취출구에서의 수직온도분포

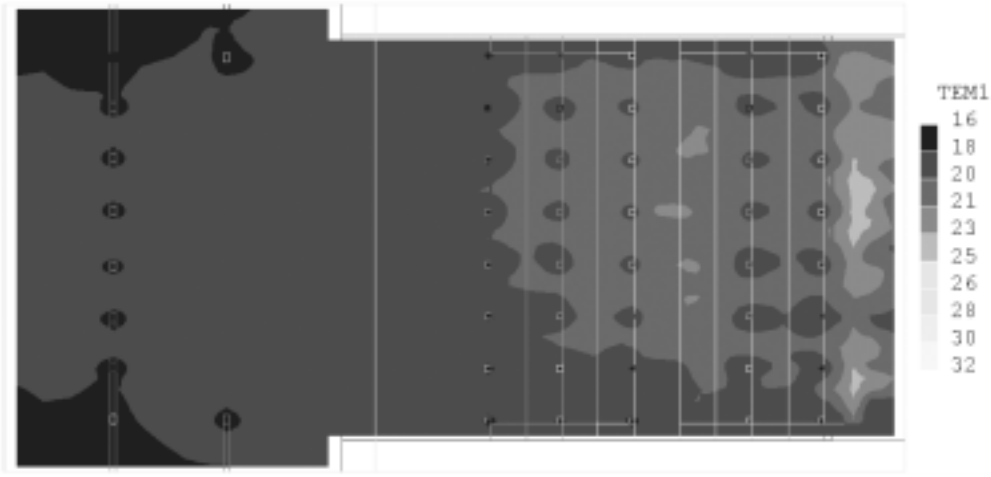


(그림 3.27) 취출구와 취출구 사이의 수직온도분포

(그림 3.28)과 (그림 3.29)는 각각 객석부분 9~10열 바닥면에서 1m 높이와 19~20열 바닥면에서 1m 높이의 수평 온도 분포를 나타낸다. 천장에서 노즐로 취출하기 때문에 취출구 하단의 객석부분을 중심으로 낮은 온도가 분포되는데, 기존안과 마찬가지로 취출구의 위치에 따라 거주영역의 온도분포가 차이를 보여 관객이 착석한 위치에 따라 불균일한 열환경이 형성될 가능성이 높다.



(그림 3.28) 객석부분 9~10열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포



(그림 3.29) 객석부분 19~20열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포

3.5 소 결

기존의 천장취출 공조시스템과 개선안에 대하여 CFD 프로그램과 에너지해석 프로그램을 이용하여 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 전체 기류 분포를 살펴보면, 객석부분의 경우 천장의 취출구에서 취출된 공조 공기가 거주영역을 공조한 후 무대 전방의 흡입구로 환기되는 패턴을 보이고, 무대부분의 경우 상부 덕트에서 취출된 공기가 하강하여 일부는 벽체를 따라 다시 상승하고 일부는 양단부의 흡입구로 환기되는 패턴을 보인다.

2) 중앙부에서의 기류 분포를 살펴보면, 천장에 설치된 노즐에서 취출된 4m/s의 유입 공기는 속도가 점차 감소하여 바닥면에서 1m 높이의 거주영역에서는 0.3~2.1m/s의 속도를 보인다. 객석부분 전면의 경우, 노즐 바로 아래 거주영역에서는 1.1m/s의 기류 속도를 보이지만, 후면의 경우에는 2.3m/s의 매우 높은 속도를 보이는데, 이는 전면에서 후면으로 이동함에 따라 천장고가 10~6m로 낮아짐에도 불구하고 취출구의 취출 속도가 모두 동일하게 설계되었고, 공조된 공기가 거주영역에 쉽게 도달할 수 있도록 노즐을 사용함에 따라 발생하는 것으로 드래프트(draft)현상이 발생하게 된다.

3) 실내 온도분포를 살펴보면, 16℃의 공조 공기가 고속 노즐로 하향취출되면 바닥면에서 1m높이의 거주영역에서 19.8~25.3℃의 온도 분포를 보이며, 평균 온도는 23.4℃이다.

4) 시스템 부하의 계산 결과, 급기 팬의 공급 풍량은 설계 풍량인 객석부분 22,420CMH, 무대부분 7,270CMH이고, 냉방 용량은 142.981KW, 냉방에너지는 215.121MWH이며, 최대 냉방부하는 8월 8일 저녁 8시 122.436KW로 나타났다.

5) 기존의 천장취출 공조시스템에서 발생하는 드래프트 현상과 불균일한 온도분포를 개선하기 위하여 취출구의 면적과 개수를 증가시키고 취출 속도를 2~3m/s로 감소시켜 시뮬레이션을 실시한 결과, 거주영역에서 0.2~1.2m/s의 기류 속도를 나타내어 기존안에 비해 드래프트 발생 가능성이 감소하였으나, 제 5열의 취출구 하단 객석의 거주영역에서는 기류 속도 1.2m/s로 여전히 드래프트가 일어날 가능성이 있는 것으로 나타났다. 또한, 실내 온도분포를 살펴보면, 거

주영역에서의 온도 분포가 20.2~25.7℃로 실내 설정온도인 26℃이내로 나타났다. 그러나, 객석부분 후면 19~20열에서 주위보다 1.4℃정도 높은 온도를 보이고, 기존안과 마찬가지로 취출구의 위치에 따라 거주영역의 온도 분포가 크게 차이를 나타냄으로써, 관객이 착석한 위치에 따라 균일한 쾌적도를 유지하지 못할 가능성이 높은 것으로 나타났다.

제 4 장 바닥취출 공조시스템 분석

4.1 개 요

4.1.1. 대상 선정

천장취출 공조시스템에서 객석부분 전면과 후면의 온도 분포차와 취출구의 위치에 따른 거주영역의 온도 분포차를 감소시키기 위한 대안으로 바닥취출 공조시스템을 적용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 천장취출 공조시스템과 바닥취출 공조시스템을 건물 부하, 관객석의 수 등이 동일한 조건에서 비교, 분석하기 위해 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.

4.1.2 냉방부하 산정 및 공조계획

(1) 냉방부하 산정을 위한 기초자료

1) 실내 조건

냉방 부하를 산정하기 위한 여름철 실내 온습도 기준조건은 천장취출 공조시스템과 동일한 건구온도 26℃, 상대습도 55%이다.

2) 외기 조건

천장취출 공조시스템에 적용된 냉방부하와 동일하므로 DOE-2 프로그램을 통해 계산된 최대 냉방 부하는 천장취출 공조시스템의 경우와 동일하다. 최대 냉방 부하가 걸리는 시간은 8월 6일 오후 8시이며, 이 때의 외기온은 건구온도 28℃이다.

3) 인체로부터의 발열량

인체에 의한 발열은 인체 표면에서 대류 및 복사에 의해서 방사되는 현열과 땀의 증발, 호흡 등으로 체외로 방사되는 잠열이 있다. 재실 인원수는 객석부분 설계 인원인 500명이고, 바닥취출 공조시스템에서의 인체에 의한 발열량은 천장 취출 공조시스템의 경우와 동일하다.

4) 실내 공기 분포

드래프트를 방지하기 위한 바닥 실내 기류속도 최적치는 취출구에서 700mm 떨어진 곳에서 0.2m/s이하로 매우 저속이다.

(2) 바닥취출 공조시스템의 공조계획

1) 공조 방식

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/s[12]로 바닥면에서 상향 취출되어 재실자가 착석해 있는 거주영역을 공조한 후 천장에 설치된 흡입구를 통해 환기된다. 이 때, 공조된 공급공기의 온도와 실내 설정온도와의 차이인 Δt는 7℃이다. 무대부분의 경우에는 천장취출 공조시스템과 동일하게 건구온도 16℃, 기류속도 2m/s의 공기가 천장에서 무대면으로 하향 취출되어 무대부분과 객석부분의 경계면 양쪽에 설치된 흡입구를 통하여 환기되는 형태이다.

2) 취출구와 흡입구

객석부분의 경우, 객석 하부에 설치된 90개의 200mm×1,000mm 크기의 취출구에서 취출된 공조 공기가 거주영역을 공조하며, 천장면에 고르게 분포된 900mm×1,000mm의 크기의 20개 흡입구를 통하여 환기된다. 무대부분은 천장 취출 공조시스템의 경우와 동일하게 무대 상부에 설치된 크기 250mm×400mm인 10개의 레지스터에서 취출된 공조 공기가 무대 양쪽 측면에 각각 1개씩 설치된 400mm×800mm의 레지스터를 통하여 환기된다.

---

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

4.2 바닥취출 공조시스템의 실내열환경 및 냉방에너지 소비량 분석

4.2.1 바닥취출 공조시스템의 실내열환경 분석을 위한 시뮬레이션 조건

1) 입력 조건

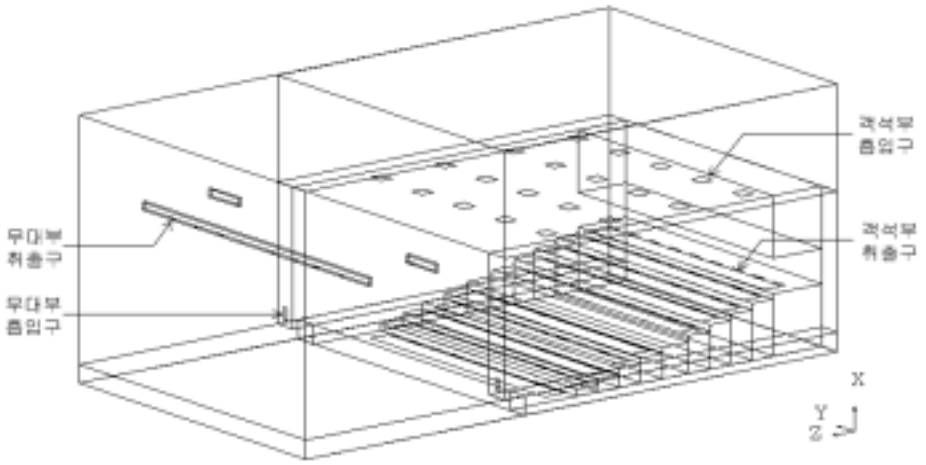
시뮬레이션 모델의 전체 크기는 가로, 세로, 높이가 각각 40m×22m×17m로 천장취출 공조시스템의 모델과 크기가 동일하고, 그리드는 70×44×24로 전체 셀(cell)의 수는 73,920개이다.

시뮬레이션 모델과 그리드의 형상은 (그림 4.1), (그림 4.2)와 같다.

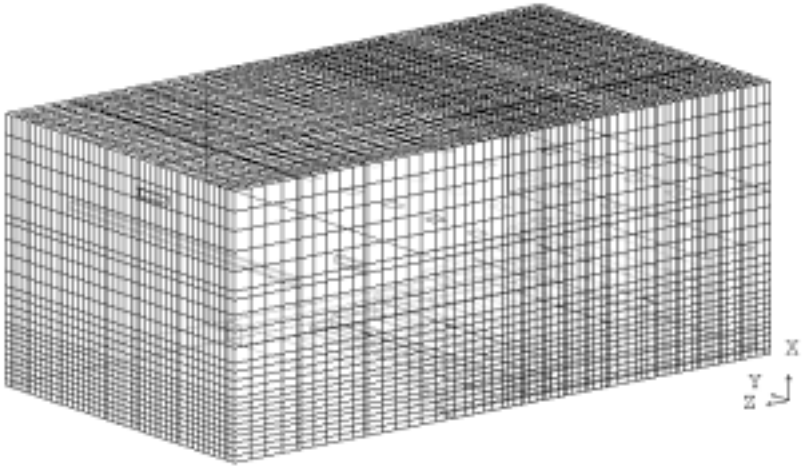
2) 입력 경계조건

CFD 프로그램에 입력한 경계조건은 <표 4.1>과 같다.

객석부분 취출구에서의 기류 속도는 0.5m/s, 급기 온도는 19℃이며, 무대부분 취출구의 기류 속도는 2m/s, 급기 온도는 16℃이다. 또한, 재실자 수는 500명으로 인체에 의해 발생하는 총 현열량은 24.837KW이다.



(그림 4.1) 바닥취출 공조시스템의 입력모델



(그림 4.2) 바닥취출 공조시스템의 격자모델

<표 4.1> 입력 경계 조건

구 분		입력값
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

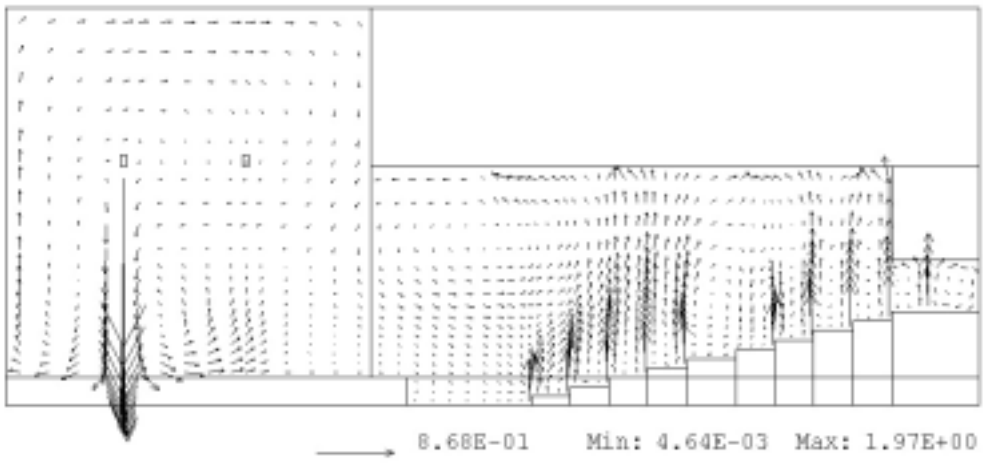
4.2.2 바닥취출 공조시스템의 실내열환경 분석

1) 기류 분포

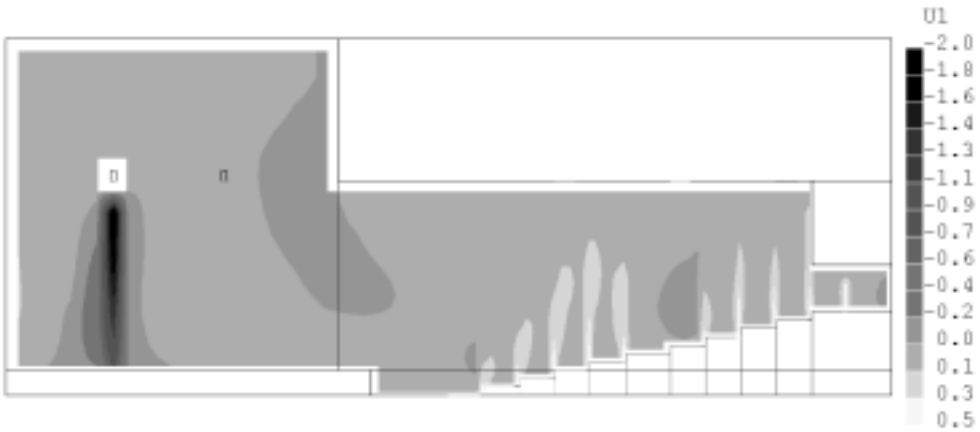
CFD 프로그램을 이용하여 바닥취출 공조시스템의 실내 기류분포를 시뮬레이션하면 (그림 4.3)~(그림 4.6)과 같다. 객석부분의 경우 좌석 하부의 바닥에서 취출된 공조 공기는 거주영역을 공조하며 상승하여 천장에 설치된 흡입구로 환기되는 것을 알 수 있다. 무대부분의 경우에는 상부 덕트에서 취출된 공기가 하강하여 바닥면에서 수평이동한 후 일부는 벽체를 따라 상승하고 일부는 객석부분의 기류에 영향을 미친다.

(그림 4.3)과 (그림 4.4)는 공연장 중앙부에서 4.5m 떨어진 위치에서의 기류분포를 단면으로 나타낸다. 바닥에 설치된 취출구에서 0.5m/s의 속도로 상승하는 취출 기류는 속도가 점차 감소하여 천장에 설치된 흡입구로 환기된다. 취출구 바로 위에서는 0.5m/s의 속도를 보이지만, 거주영역(바닥면에서 1m 높이)에서의 기류 속도는 0.1~0.35m/s로 거주 공간에서 실내 기류의 최적치인 0.25~0.3m/s(냉방의 경우)와 실내 설정온도 26℃일 때 거주 공간의 허용 기류속도인 0.35m/s를 만족하므로, 열환경 측면에서 불쾌감이 낮은 것을 알 수 있다. 그림에서 무대부분 취출구에서 하향 취출되는 기류의 화살표가 크게 나타나는 것은 기류 속도가 2m/s로 객석부분 취출 기류에 비해 상대적으로 큰 값을 갖기 때문이다.

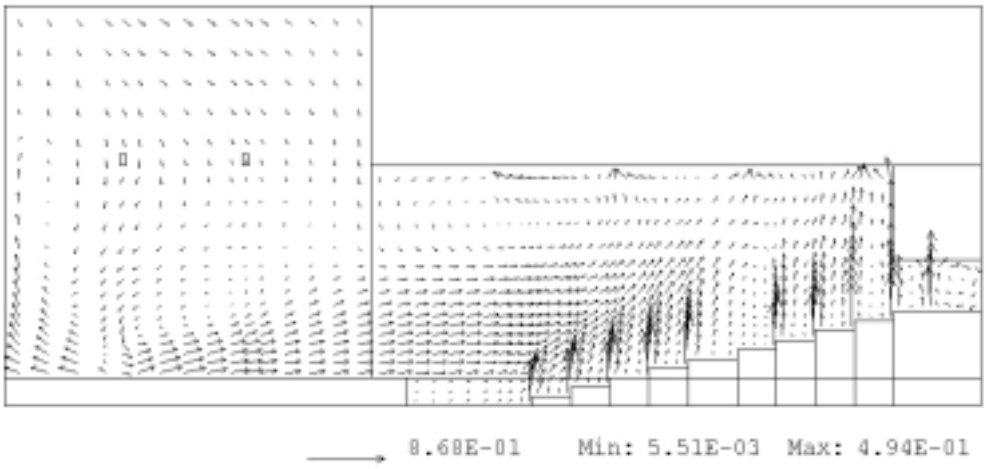
(그림 4.5)와 (그림 4.6)은 공연장 중앙부에서의 기류 분포를 단면으로 나타낸다. 객석부분 후면 19~20열을 살펴보면, 상부에 흡입구가 설치되어 있지 않기 때문에 취출된 공기가 객석부분 후면 통로에서 정체되는 것을 알 수 있다. 이러한 현상을 방지하기 위해서는 객석부분 후면 상단이나 측면에 흡입구를 설치할 필요가 있는 것으로 나타났다.



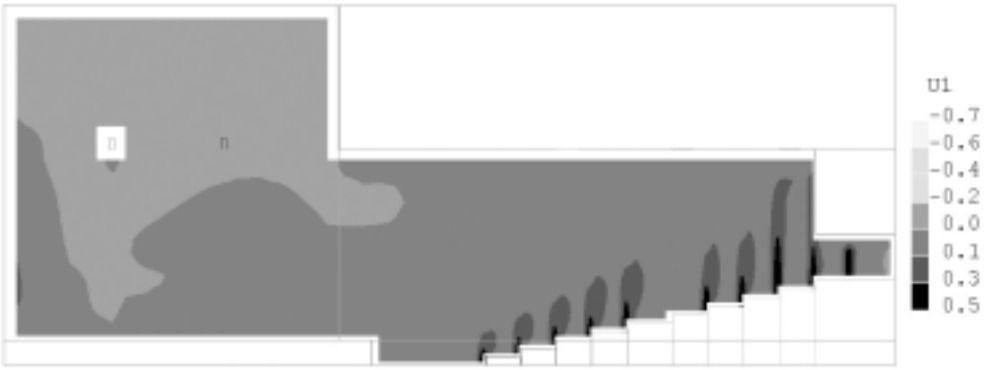
(그림 4.3) 중앙에서 4.5m떨어진 위치에서의 기류분포 (단면) - Vector



(그림 4.4) 중앙에서 4.5m떨어진 위치에서의 기류분포 (단면) - Contour



(그림 4.5) 공연장 중앙에서의 기류분포 (단면) - Vector

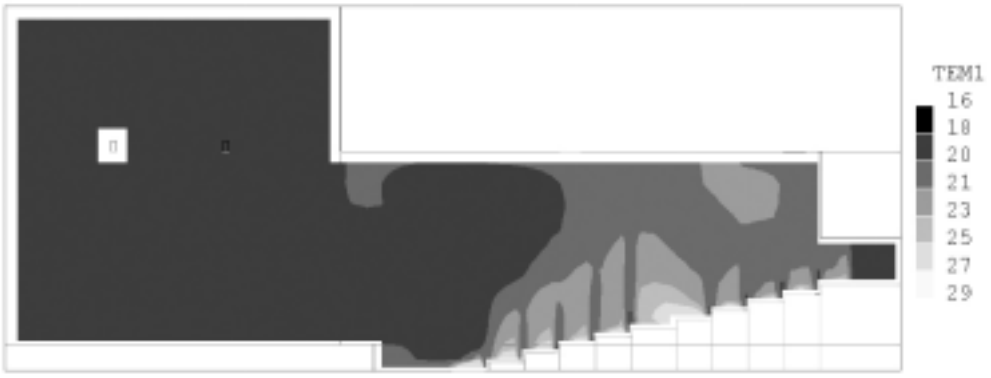


(그림 4.6) 공연장 중앙에서의 기류분포 (단면) - Contour

2) 온도 분포

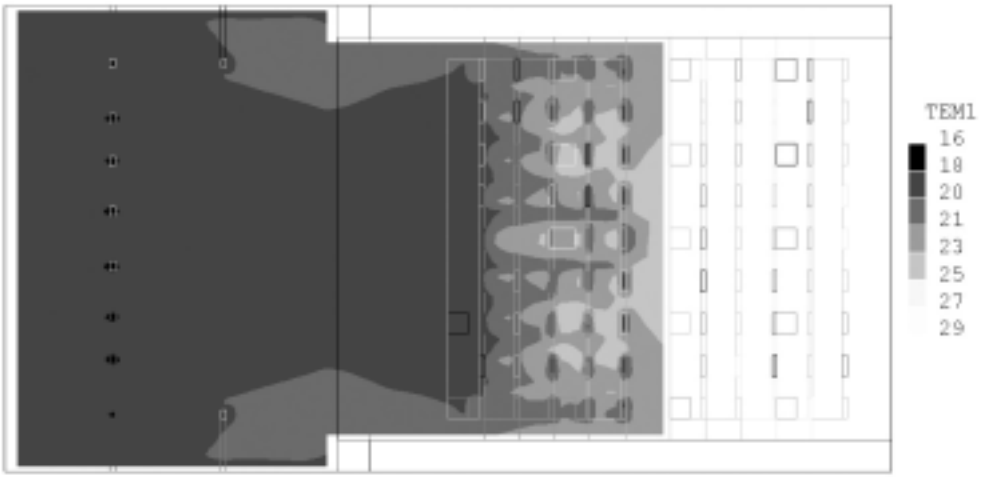
바닥 취출구에서 19℃의 공조 공기를 공급하는 경우, CFD 프로그램을 이용하여 실내 온도분포를 시뮬레이션한 결과는 (그림 4.7), (그림 4.8), 그리고 (그림 4.9)와 같다. 관객이 착석해 있는 바닥면에서 1m까지의 높이를 거주영역으로 간주할 때, 거주영역에서는 20.2~24.9℃의 온도 분포를 보이며, 평균 온도는 23.2℃이다.

(그림 4.7)은 중앙의 취출구가 설치되어 있는 위치에서의 수직 온도 분포를 나타내는데, 취출구가 설치된 지점의 거주영역 평균온도는 22.7℃이다.

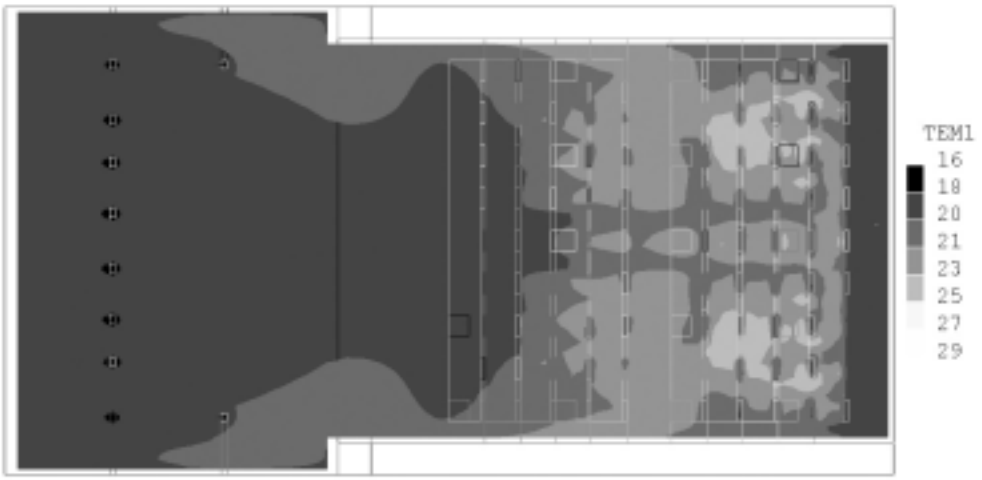


(그림 4.7) 중앙부 취출구에서의 수직온도분포

(그림 4.8)과 (그림 4.9)는 각각 객석부분 9~10열 바닥면에서 1m 높이와 19~20열 바닥면에서 1m 높이의 수평 온도 분포를 나타내는데, 객석의 중앙부에서 주위보다 0.8℃ 높은 온도분포를 보인다. 이것은 천장취출 공조시스템의 시뮬레이션 결과 나타난 온도차 2.5℃보다 매우 작은 값으로, 천장취출 공조시스템에 비하여 고른 온도분포를 나타냄으로써 균일한 쾌적도를 유지할 수 있음을 알 수 있다.



(그림 4.8) 객석부분 9~10열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포



(그림 4.9) 객석부분 19~20열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포

4.2.3 바닥취출 공조시스템의 냉방에너지 소비량 분석

천장취출 공조시스템의 경우와 동일한 방법으로 DOE-2 프로그램을 이용하여 바닥취출 공조시스템의 시스템 부하를 계산하였다. 건물 부하는 천장취출 공조시스템의 경우와 동일하고, 공조 공기가 덕트를 통하여 분배되는 동안 덕트를 통한 열전도나 공기의 누설이 없는 것으로 가정하였다.

실제 연간 냉방에너지 소비량을 산정하기 위하여 급기 온도 및 공급 풍량을 19℃, 39,300CMH로 산정하고, 연간 냉방에너지 소비량을 계산하였다. <표 4.2>는 바닥취출 공조시스템의 급기팬 풍량 및 연간 냉방에너지 산정량을 보여준다. 또한 냉방기(6~9월)의 월별 냉방에너지 및 최대 냉방부하는 <표 4.3>과 같다.

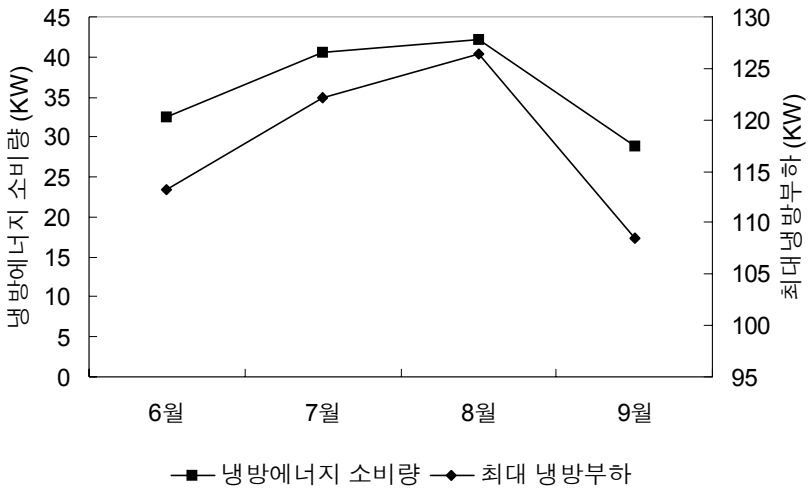
천장취출 공조시스템에 비하여 냉방 용량은 118.999KW로 16.8% 감소하였으나, 전체 풍량은 39,300CMH로 32.0%, 냉방 에너지는 220.854MWH로 2.7% 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 바닥취출 공조시스템의 경우 천장취출 공조시스템에 비하여 급기온도가 상대적으로 높아져 풍량이 증가하기 때문이다. 즉, 바닥취출 공조시스템의 적용에 있어서 천장취출 공조시스템과 동일한 방법에 의한 부하 계산에 의해 풍량을 산정한 경우, 바닥취출 공조시스템의 적용이 에너지 절약 측면에서 불리한 것을 알 수 있다.

<표 4.2> 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 4.3> 바닥취출 공조시스템의 월별 냉방에너지 소비량

냉방기	에너지 소비량(KW)	최대 냉방부하(KW)
6월	32.453	113.193
7월	40.533	122.086
8월	42.260	126.320
9월	28.772	108.442



(그림 4.10) 바닥취출 공조시스템의 월별 냉방에너지 소비량

4.3 풍량감소에 따른 실내열환경 및 냉방에너지 소비량 분석

바닥취출 공조시스템의 부하산정에 있어서 실제 설계에서는 천장취출 공조시스템의 경우와 동일한 방식으로 부하를 산정하여 풍량을 계산하므로, 실내 설정온도와 공급 공기 온도와의 차이가 작기 때문에 천장취출 공조시스템보다 풍량이 크게 증가하여, 팬(fan)의 용량과 덕트의 크기 및 설치 공간이 커지게 된다. 이것은 거주영역만을 집중적으로 공조하기 위해 적용하는 바닥취출 공조시스템에서 시스템 과다 설계의 원인이 된다.

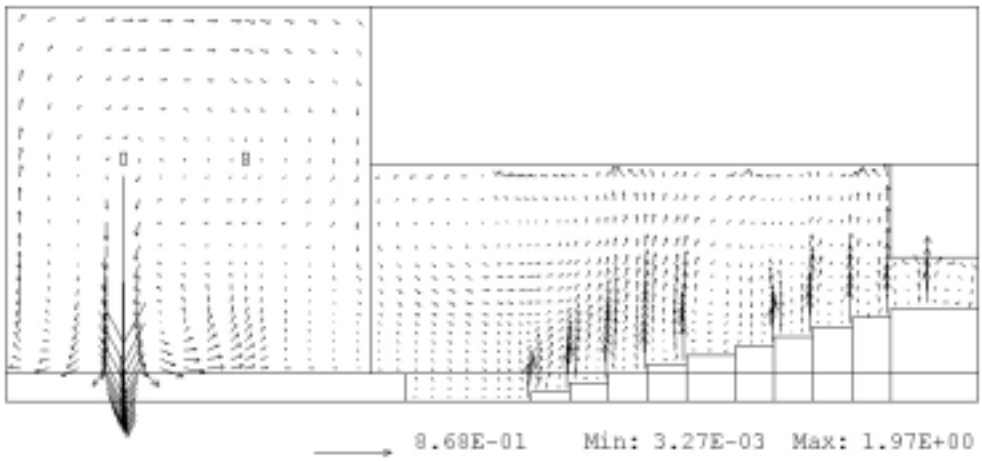
바닥취출 공조시스템의 경우 취출구가 거주영역 내에 있기 때문에 거주영역 이외의 공간 전체에 대한 공조의 필요성이 적으므로, 본 연구에서는 객석부분의 공급 풍량을 20%, 30% 감소시켜, 이에 따른 실내 열환경과 냉방에너지 소비량을 비교, 분석하여 거주영역의 공조를 위한 적정 풍량을 산정하고자 하였다.

4.3.1 풍량 20% 감소시의 실내열환경 분석

1) 기류 분포

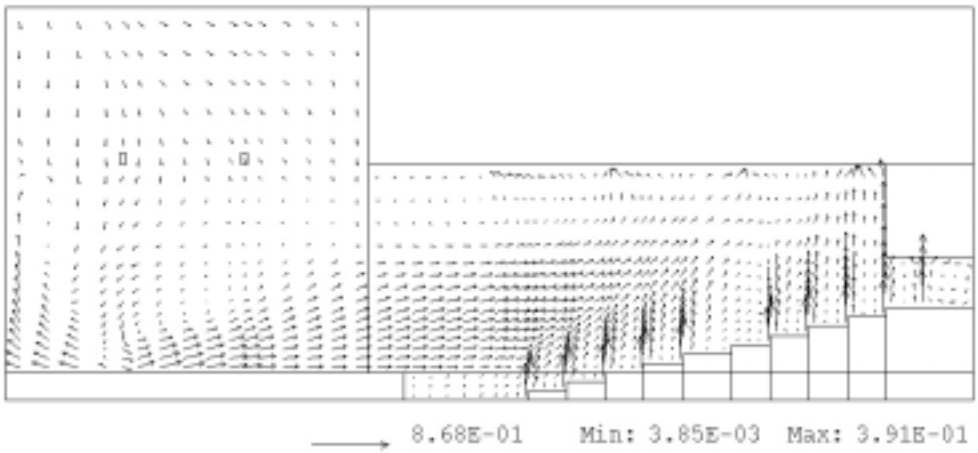
CFD 프로그램을 이용하여 바닥취출 공조시스템에서 풍량을 20% 감소시킨 경우의 실내 기류분포를 시뮬레이션하면 (그림 4.11)~(그림 4.14)와 같다. 풍량을 100% 공급하였을 때와 거의 동일한 기류 패턴을 보인다.

(그림 4.11)과 (그림 4.12)는 공연장 중앙부에서 4.5m 떨어진 위치에서의 기류분포를, (그림 4.13)과 (그림 4.14)는 중앙부에서의 기류 분포를 각각 Vector와 Contour의 형태로 나타낸다. 바닥에 설치된 취출구에서 0.4m/s의 속도로 상승한 취출 기류는 속도가 점차 감소하여 천장에 설치된 흡입구로 환기된다. 취출구 바로 위에서는 0.4m/s의 속도를 보이지만, 거주영역(바닥면에서 1m 높이)에서의 기류 속도는 0.1~0.3m/s로 거주영역에서 드래프트가 일어날 가능성은 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 냉방시 거주 공간에서 실내 기류의 최적치인 0.25~0.3m/s를 만족하여 쾌적범위 내에 드는 것을 알 수 있다.

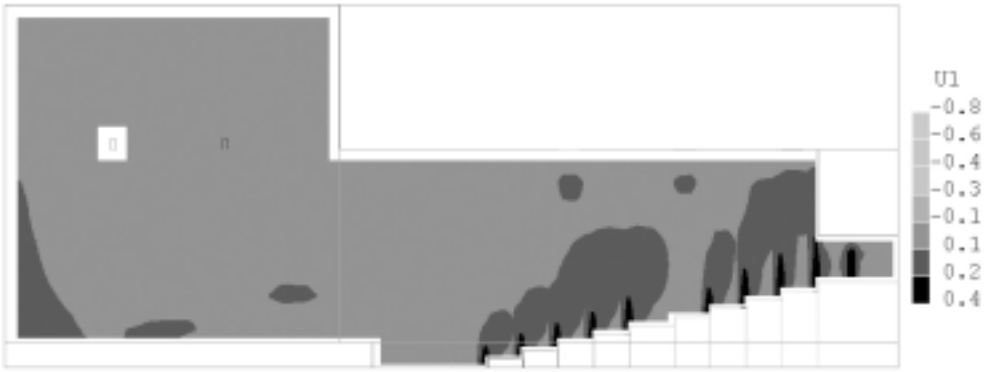


(그림 4.11) 중앙에서 4.5m 떨어진 위치에서의 기류분포 (단면) - Vector

(그림 4.12) 중앙에서 4.5m 떨어진 위치에서의 기류분포 (단면) - Contour



(그림 4.13) 공연장 중앙에서의 기류분포 (단면) - Vector

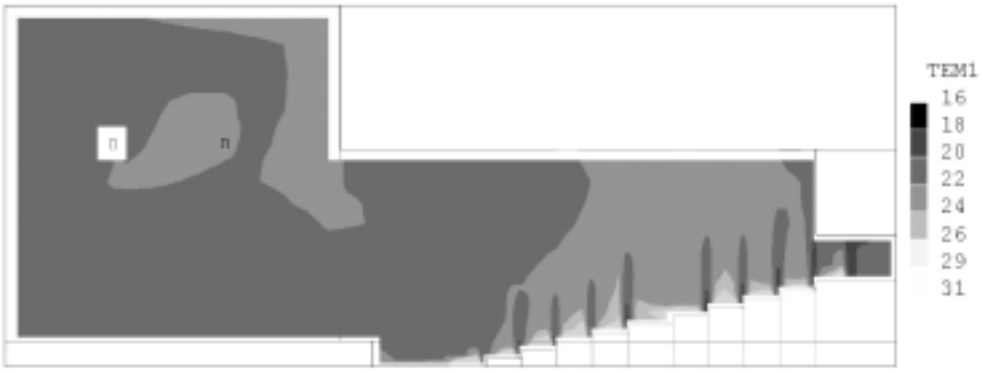


(그림 4.14) 공연장 중앙에서의 기류분포 (단면) - Contour

2) 온도 분포

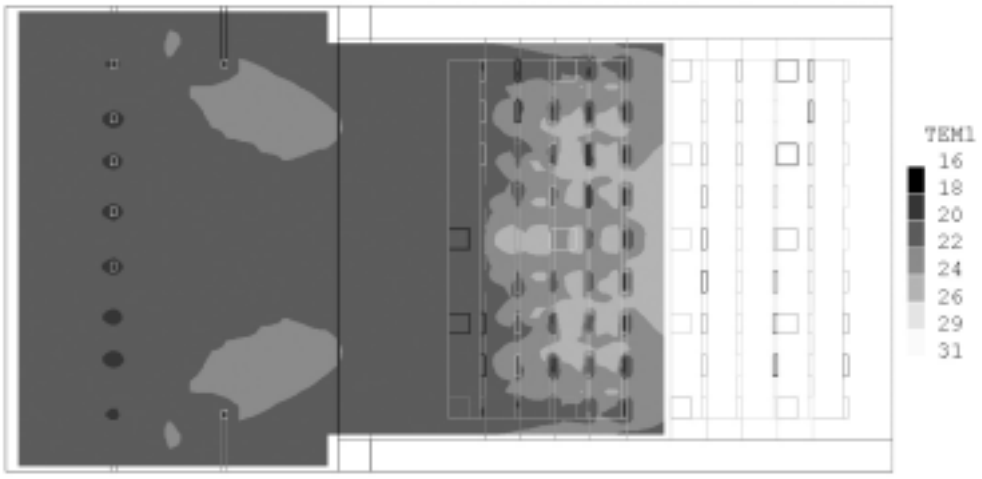
CFD 프로그램을 이용하여 바닥취출 공조시스템에서 풍량을 20% 감소시킨 경우의 실내 기류분포를 시뮬레이션한 결과는 (그림 4.15), (그림 4.16), 그리고 (그림 4.17)과 같다. 관객이 착석해 있는 바닥면에서 1m까지의 높이를 거주영역으로 간주할 때, 거주영역에서 21.3~26.1℃의 온도 분포를 보이고, 이때 평균 온도는 25.2℃이다.

(그림 4.15)는 중앙의 취출구가 설치되어 있는 위치에서의 수직 온도 분포를 나타낸다. 거주영역에서 실내 설정온도인 26℃보다 낮은 온도를 보이고, 천장취출 공조시스템의 경우에 비하여 고른 온도 분포를 나타냄으로써 균일한 쾌적도를 유지할 수 있는 것을 알 수 있다.

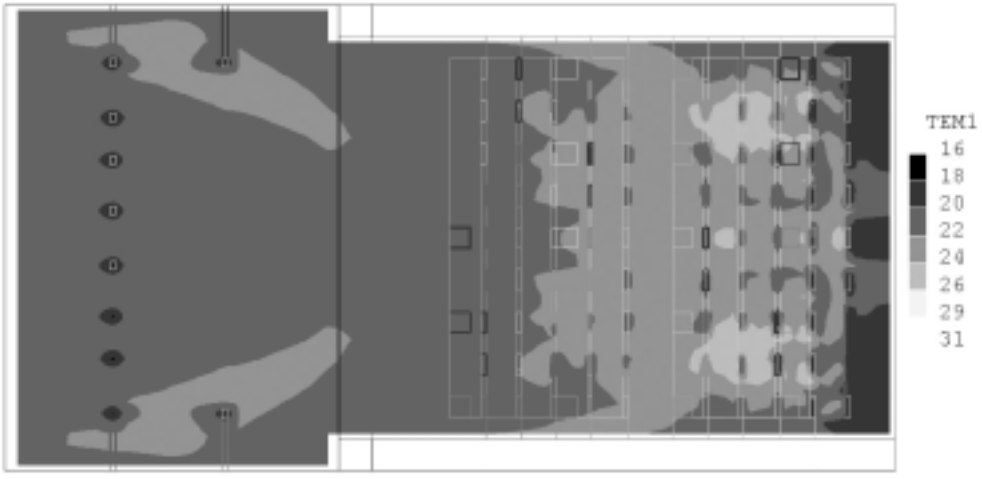


(그림 4.15) 중앙부 취출구에서의 수직온도분포

(그림 4.16)과 (그림 4.17)은 각각 객석부분 9~10열 바닥면에서 1m 높이와 19~20열 바닥면에서 1m 높이의 수평 온도 분포를 나타낸다. 풍량을 100% 산정한 경우와 마찬가지로 객석의 중앙부에서 주위보다 0.8℃정도 높은 온도분포를 보이지만, 천장취출 공조시스템의 경우보다 그 차이가 작고 비교적 고른 온도 분포를 나타낸다. 따라서, 바닥취출 공조시스템 설계시 건물 냉방부하에 의해 계산된 풍량보다 20% 감소시켜 급기를 실시하여도 거주영역에서 적절한 공조 환경을 유지할 수 있는 것을 알 수 있다.



(그림 4.16) 객석부분 9~10열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포



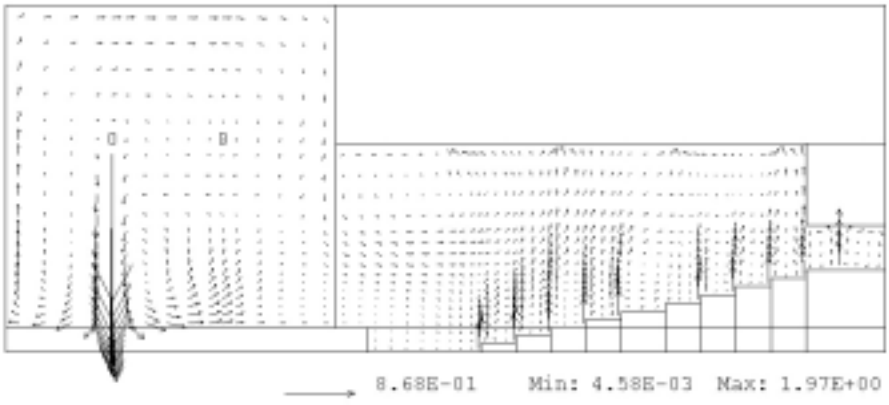
(그림 4.17) 객석부분 19~20열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포

4.3.2 풍량 30% 감소시의 실내열환경 분석

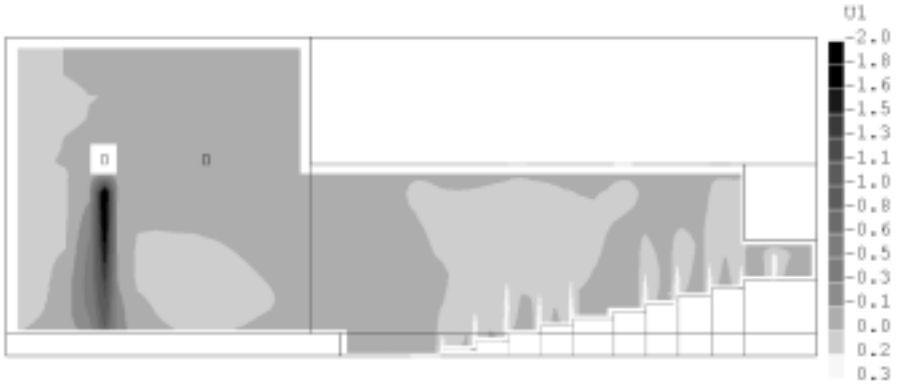
1) 기류 분포

바닥취출 공조시스템에서 풍량을 30% 감소시킨 경우의 실내 기류분포를 CFD 프로그램을 이용하여 시뮬레이션한 결과는 (그림 4.18)~(그림 4.21)과 같다. 풍량을 100% 공급하였을 때와 유사한 기류 패턴을 보인다.

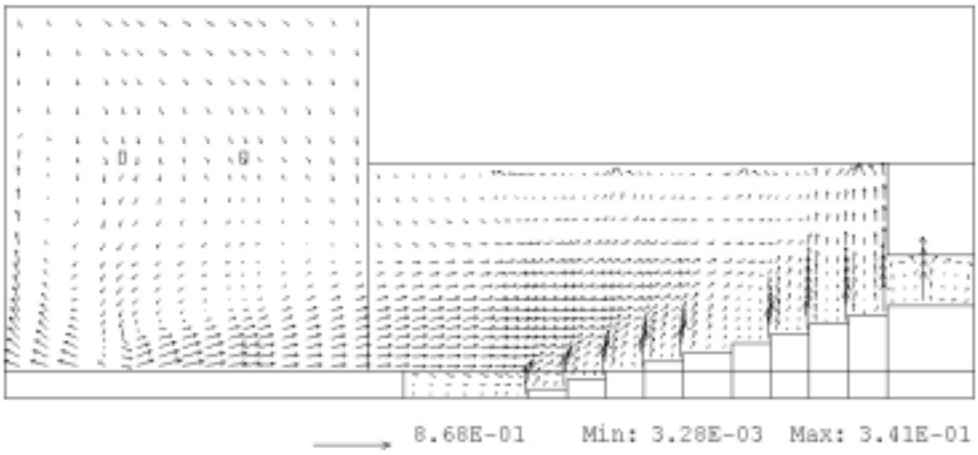
(그림 4.18)과 (그림 4.19)는 공연장 중앙부에서 4.5m 떨어진 위치에서의 기류분포를 나타내고, (그림 4.20)과 (그림 4.21)은 중앙부에서의 기류 분포를 나타낸다. 바닥에 설치된 취출구에서 0.35m/s의 속도로 상승하는 취출 기류는 속도가 점차 감소하여 천장에 설치된 흡입구로 환기된다. 거주영역(바닥면에서 1m 높이)에서의 기류 속도는 0.1~0.2m/s이다.



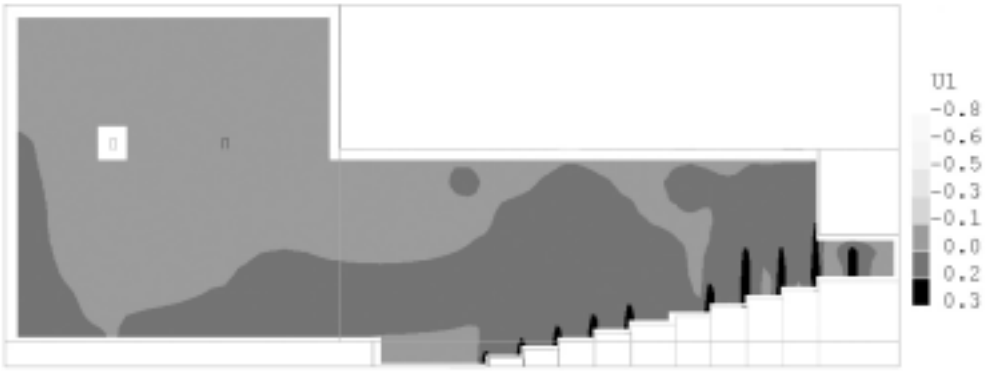
(그림 4.18) 중앙에서 4.5m 떨어진 위치에서의 기류분포 (단면) - Vector



(그림 4.19) 중앙에서 4.5m 떨어진 위치에서의 기류분포 (단면) - Contour



(그림 4.20) 공연장 중앙에서의 기류분포 (단면) - Vector

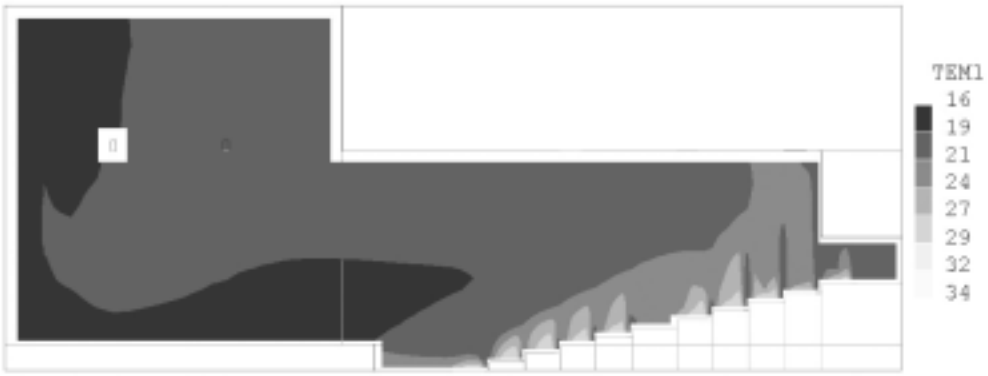


(그림 4.21) 공연장 중앙에서의 기류분포 (단면) - Contour

2) 온도 분포

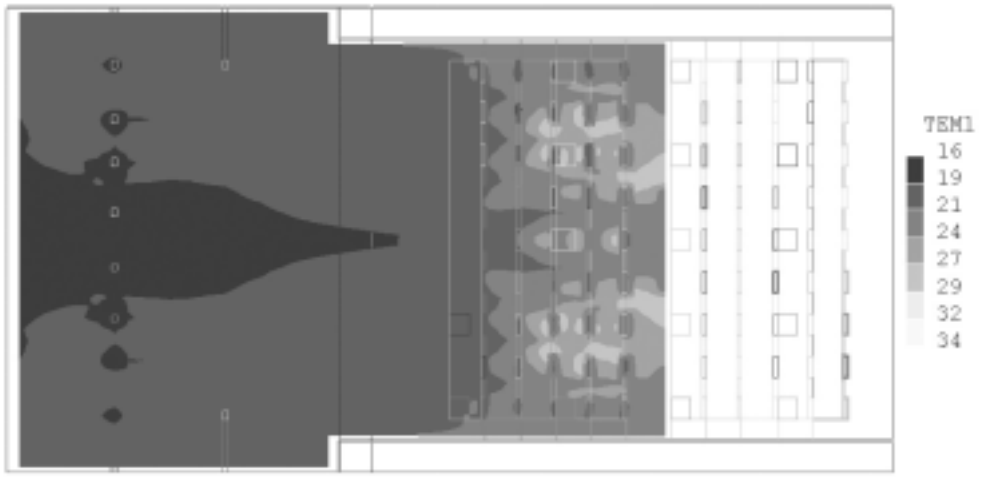
CFD 프로그램을 이용하여 바닥취출 공조시스템에서 급기 풍량을 30% 감소시킨 경우의 실내 온도분포를 시뮬레이션하면 (그림 4.22), (그림 4.23), 그리고 (그림 4.24)와 같다. 거주영역에서 전체적인 온도 분포의 형태는 풍량이 감소하더라도 유사하게 나타났지만, 관객이 착석해 있는 거주영역(바닥면에서 1m 높이)에서는 22.3~27.8℃의 온도 분포를 보이고, 거주영역에서의 평균 온도는 26.9℃로 냉방시의 실내 설정 온도인 26℃를 상회하는 값을 나타내어 적정한 열환경을 유지하지 못하는 것으로 나타났다.

(그림 4.22)는 중앙의 취출구가 설치되어 있는 위치에서의 수직 온도 분포를 나타낸다.

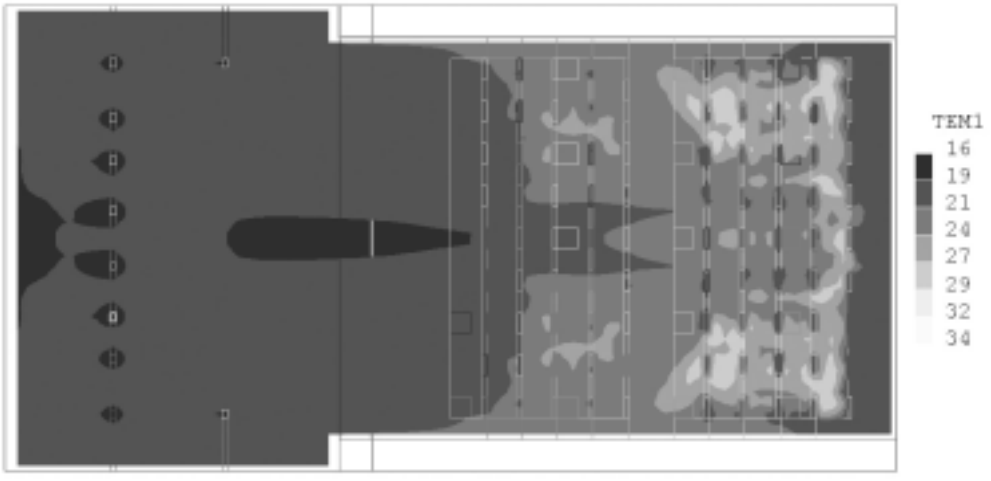


(그림 4.22) 중앙부 취출구에서의 수직온도분포

(그림 4.23)과 (그림 4.24)는 각각 객석부분 9~10열 바닥면에서 1m 높이와 19~20열 바닥면에서 1m 높이의 수평 온도 분포를 나타낸다. 풍량을 20% 감소시킨 경우와는 달리, 거주영역에서 27℃정도의 온도 분포를 보이는 것을 알 수 있다. 즉, 시뮬레이션 결과, 바닥취출 공조시스템에서 풍량을 30% 감소시킨 경우에는 여름철에 충분한 냉방이 이루어지지 못 할 가능성이 높기 때문에 적절한 쾌적도를 유지하기 어려운 것으로 나타났다.



(그림 4.23) 객석부분 9~10열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포



(그림 4.24) 객석부분 19~20열 바닥면에서 1m 높이의 수평온도분포

4.3.3 풍량 20% 감소시의 냉방에너지 소비량 분석

바닥취출 공조시스템에서 풍량을 20% 감소시킨 경우, 시스템 부하를 계산한 결과는 <표 4.4>와 같다.

급기 온도 및 공급 풍량을 19℃, 32,894CMH로 산정하고 연간 냉방에너지 소비량을 계산하였다. 풍량을 전혀 감소시키지 않은 경우에 비하여 냉방 용량은 101.999KW로 14.3%, 냉방 에너지는 207.722MWH로 6.0%, 최대 냉방부하는 119.546KW로 5.4%로 감소하였다.

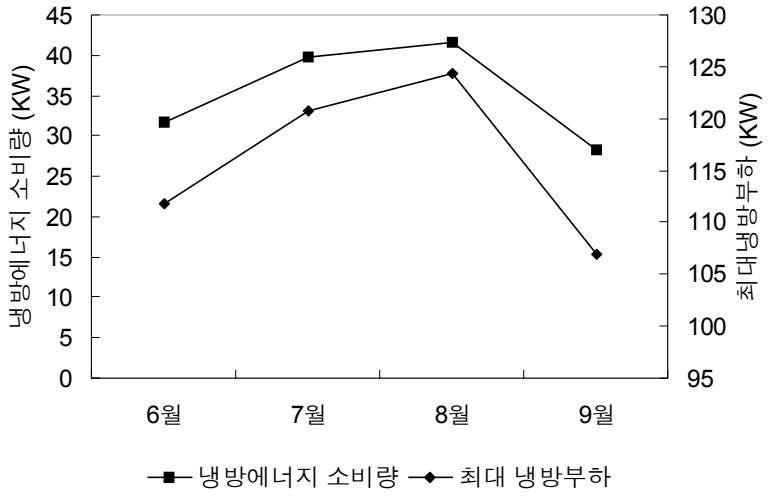
<표 4.5>와 (그림 4.25)는 냉방기(6~9월)의 월별 냉방에너지 및 최대 냉방부하를 나타낸다.

<표 4.4> 바닥취출 공조시스템의 연간 냉방에너지 소비량
(풍량 20% 감소시)

구 분		결과값
급기팬 풍량 (CMH)	객석 부분	25,624
	무대 부분	7,270
냉방 용량(Cooling Capacity) (KW)		101.999
냉방에너지 (MWH)		207.722
최대 냉방부하 (KW)		119.546

<표 4.5> 바닥취출 공조시스템의 월별 냉방에너지 소비량
(풍량 20% 감소시)

냉방기	에너지 소비량(KW)	최대 냉방부하(KW)
6월	31.739	111.764
7월	39.844	120.664
8월	41.559	124.410
9월	28.163	106.862



(그림 4.25) 바닥취출 공조시스템의 월별 냉방에너지 소비량
(풍량 20% 감소시)

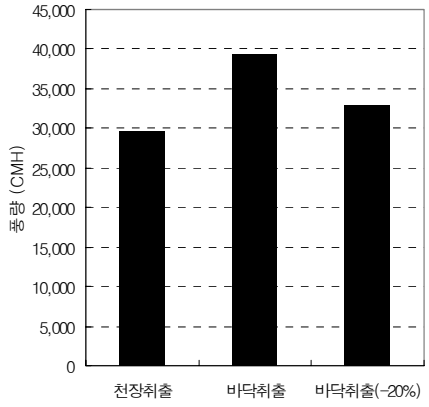
4.4 공조시스템 및 풍량 변화에 따른 냉방에너지 소비량 비교

천장취출 공조시스템과 바닥취출 공조시스템, 그리고 건물 냉방부하에 의해 계산된 설계 풍량보다 20% 풍량이 감소된 바닥취출 공조시스템의 냉방에너지 소비량을 비교하면 <표 4.6>과 같다.

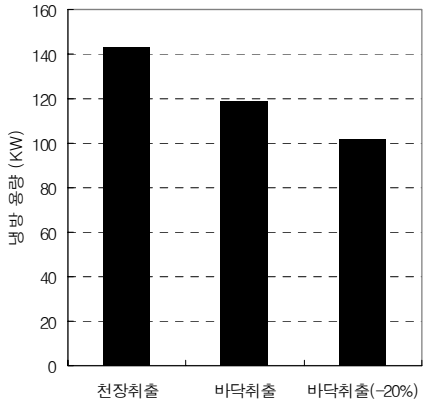
바닥취출 공조시스템에서 풍량을 20% 감소시킨 경우, 천장취출 공조시스템에 비하여 전체 급기팬 풍량은 10.8% 증가하지만, 냉방 용량은 28.7%, 냉방 에너지는 3.4%, 최대 냉방부하는 2.4% 감소하여 기존의 천장취출 공조시스템보다 에너지 절약 측면에서 유리한 것으로 나타났다.

<표 4.6> 연간 냉방에너지 소비량의 비교

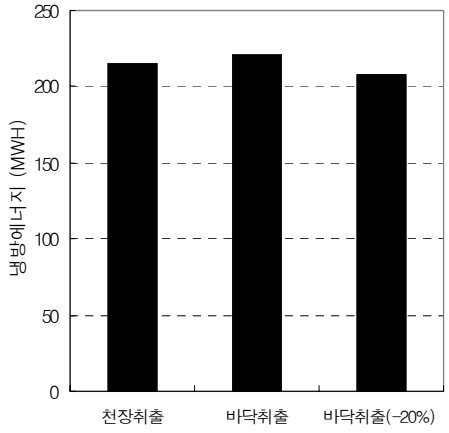
구 분	천장취출 공조시스템 (기준)	바닥취출 공조시스템	
		설계 풍량 100%시 (변화율)	20% 감소시 (변화율)
전체 급기팬 풍량 (CMH)	29,690	39,300 (+32.0%)	32,894 (+10.8%)
객석부 급기팬 풍량 (CMH)	22,420	32,030 (+42.9%)	25,624 (+14.3%)
냉방 용량 (KW)	142.981	118.999 (-16.8%)	101.999 (-28.7%)
냉방에너지 (MWH)	215.121	220.854 (+2.7%)	207.722 (-3.4%)
최대냉방부하 (KW)	122.436	126.320 (+3.2%)	119.546 (-2.4%)



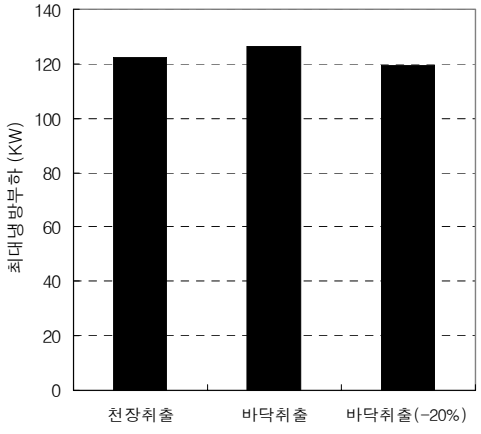
(그림 4.26) 전체 풍량의 비교



(그림 4.27) 냉방용량의 비교



(그림 4.28) 냉방에너지의 비교



(그림 4.29) 최대냉방부하의 비교

4.5 소 결

바닥취출 공조시스템에서 건물 냉방부하에 의하여 계산된 설계 풍량과 각각 20%, 30% 감소된 풍량을 적용한 경우, CFD 프로그램과 에너지해석 프로그램을 이용하여 실내 열환경과 냉방에너지 소비량을 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 전체 기류 분포를 살펴보면, 객석부분의 경우 좌석 하부의 바닥에서 취출된 공조 공기는 거주영역을 공조한 후 상승하여 천장의 흡입구로 환기되는 패턴을 보이고, 무대부분의 경우에는 상부 덕트에서 취출된 공기가 하강하여 바닥면에서 수평이동한 후 일부는 벽체를 따라 상승하고 일부는 객석부분의 기류에 영향을 미친다. 풍량이 20%, 30% 감소한 경우에도 유사한 기류 패턴을 나타낸다.

2) 중앙부에서 4.5m 떨어진 위치에서의 기류 분포를 살펴보면, 바닥에서 취출된 0.5m/s의 유입 공기는 상승하면서 속도가 점차 감소하여 바닥면에서 1m 높이의 거주영역에서는 0.1~0.35m/s의 기류 속도를 보인다. 한편 풍량을 각각 20%, 30% 감소시킨 경우 거주영역에서의 기류는 각각 0.1~0.3m/s, 0.1~0.2m/s의 속도를 나타내어, 실내 설정온도 26℃일 때 거주 공간의 허용 기류속도인 0.35m/s를 만족하는 것으로 나타났다.

3) 실내 온도분포를 살펴보면, 풍량 100%일 경우와 20% 감소시에는 거주영역 평균 온도가 23.2℃, 25.2℃로 나타남으로써 거주영역이 쾌적범위 내에 들 수 있음을 알 수 있었다. 그러나, 풍량 30% 감소시에는 거주영역 평균 온도가 26.9℃로 나타남으로써 냉방시 적절한 쾌적도를 유지하기 어려운 것으로 나타났다.

4) 바닥취출 공조시스템에서 풍량을 20% 감소시킨 경우의 냉방에너지 소비량을 천장취출 공조시스템의 경우와 비교한 결과, 천장취출 공조시스템에 비해 전체 풍량은 10.8% 증가하지만, 냉방 용량은 28.7%, 냉방 에너지는 3.4%, 최대 냉방부하는 2.4% 감소하는 것으로 나타남으로써 기존의 천장취출 공조시스템보다 에너지 절약적인 설계가 가능한 것으로 나타났다.

제 5 장 결 론

본 연구에서는 최근 그 수가 증가하고 있는 약 500석 규모의 중규모 공연장의 사례를 대상으로 공조시스템에 대한 특성과 문제점을 고찰하고, CFD 프로그램과 에너지해석 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 통하여 공조방식과 풍량의 변화에 따른 실내 열환경과 냉방에너지 소비량을 비교, 분석하여, 냉방시 거주영역에서의 쾌적도를 향상시킴과 동시에 에너지 절약을 도모할 수 있는 공조시스템의 선택과 바닥취출 공조시스템 계획시 적정 풍량산정을 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

본 연구의 결과는 크게 공조시스템별 실내 열환경 부분과 냉방에너지 소비량 부분으로 나뉘어지며 각 부분별 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공조시스템별 실내 열환경 분석

1) 전체 기류 분포를 살펴보면, 객석부분의 경우 천장취출 공조시스템에서는 천장에서 취출된 공조 공기가 거주영역을 공조한 후 무대 전방의 흡입구로 환기되고, 바닥취출 공조시스템에서는 바닥에서 취출된 공조 공기가 거주영역을 공조한 후 상승하여 천장의 흡입구로 환기되는 패턴을 보이며, 무대부분의 경우 상부 덕트에서 취출된 공기가 하강하여 양단부의 흡입구로 환기되는 패턴을 보인다.

2) 기류 속도를 살펴보면, 천장취출 공조시스템에서는 바닥면에서 1m 높이의 거주영역에서 0.3~2.1m/s의 기류 속도를 보여 드래프트(draft) 발생으로 재실자에게 불쾌감을 유발할 가능성이 매우 큰 반면에, 바닥취출 공조시스템에서는 거주영역에서 0.1~0.35m/s의 속도를 보여 불쾌감이 적은 것으로 나타났다.

3) 실내 온도분포를 살펴보면, 거주영역의 평균 온도가 천장취출 공조시스템에서는 23.4℃, 바닥취출 공조시스템에서는 23.2℃로 나타남으로써 큰 차이를 보이지 않고 있었다. 한편, 바닥취출 공조시스템에서 풍량을 20%, 30% 감소시킨 경우 거주영역 평균 온도가 각각 25.2℃, 26.9℃로 나타남으로써 풍량을 20% 정도 감소시켜도 거주영역은 쾌적범위 내에 들 수 있음을 알 수 있었다. 노즐을

사용한 천장취출 공조시스템의 경우, 취출구가 설치되어 있는 위치와 취출구와 취출구 사이에 위치한 객석부분에서 거주영역 평균온도가 2.5℃의 차이를 보여 취출구의 위치에 따라 거주영역의 온도분포가 불균일하게 나타났지만, 바닥취출 공조시스템의 경우에는 균일한 온도분포를 나타냈다.

2. 공조시스템별 냉방에너지 소비량 분석

1) 천장취출 공조시스템과 바닥취출 공조시스템의 적용에 있어서 동일한 방법으로의 부하 계산에 의한 풍량은 바닥취출 공조시스템의 적용이 에너지 절약 측면에서 불리한 것으로 나타났다. 즉, 동일한 부하를 제거하는 경우 바닥취출 공조시스템은 냉방 용량은 16.8% 감소하지만, 전체 풍량은 32.0%, 냉방에너지는 2.7%, 최대 냉방부하는 3.2% 증가하는 것으로 나타났다.

2) 풍량이 20% 감소된 바닥취출 공조시스템을 천장취출 공조시스템과 비교해 보면, 전체 풍량은 10.8% 증가하지만, 냉방 용량은 28.7%, 냉방 에너지는 3.4%, 최대 냉방부하는 2.4% 감소하여 에너지 절약측면에서 유리한 것으로 나타났다.

본 연구의 결과를 종합해 볼 때, 중규모 공연장의 공조시스템 설계시 바닥취출 공조시스템을 적용한다면 건물 냉방부하에 의해 계산된 설계 풍량보다 20% 정도 감소시켜 취출하더라도 거주영역에서의 쾌적도를 유지할 수 있으며, 기존의 천장취출 공조시스템보다 에너지 절약적일 수 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서는 중규모 공연장에서 바닥취출 공조시스템 적용시 적정 풍량을 산정하기 위한 기초 자료를 제시하였으나, 연구 방법에 있어서 컴퓨터 시뮬레이션만을 이용하였기 때문에 다음과 같은 후속 연구가 요구된다.

1) 본 연구에서는 계절적 요인과 기타 어려움으로 인하여 공연장에 대한 실측없이 현장 답사, 건축 및 기계설계도면과 기계설비 계산서 등에 대한 검토를 통하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하였으므로, 대상 건물의 공조시스템에 대한 실측을 통해 시뮬레이션 결과를 검증하는 연구가 보완되어야 할 것이다.

2) 본 연구에서는 중규모 공연장에서의 여름철 냉방에 대한 연구만을 진행하였으므로 겨울철 난방에 대한 연구가 후속될 필요가 있다.

참 고 문 헌

1) 이광로 외, **건축계획**, 문운당, 1998

2) 강정길 외, **건축설비설계매뉴얼 공기조화설비설계**, 기문당, 1999

3) 정광섭 외, **건축공기조화설비**, 기문당, 1993

4) 유동렬 외, **건축설비설계**, 문운당, 1998

5) 서승직, **건축설비**, 일진사, 1991

6) **건축설비집성 오락·집회시설**, 한미, 1992

7) Faye C. McQuiston 외, 민만기 외 4인 편역, **공기조화 및 냉동**, 희중당, 1997

8) Suhas V. Patankar, 이재헌 역, **열전달 및 유체유동 수치해법**, 대한교과서주식회사, 1988

9) Bruce R. Munson 외, 김병하 외 5인 공역, **유체역학**, 청문각, 2000

10) 일본기계학회편, 신병록 외 2인 공역, **전산유체역학**, 대영사, 1997

11) 김찬중, **길잡이 전산유체역학**, 문운당, 1998

12) 명현국, **전산열유체공학**, 문운당, 2000

13) **바닥취출 공조시스템**, 설비기술, 한미, 1995. 11

14) **대공간의 온열환경**, 설비기술, 한미, 1995. 12

15) 김용식, **대공간의 실내환경계획**, 대한건축학회, 건축 9604

16) 김성천, **AUDITORIUM의 공조설비 시스템**, 공기조화냉동공학 제 24권 제 6호, 1995

17) 권용일 외, **혼합환기와 하향 압출환기시스템이 동반된 KBS공개홀의 온열환경 평가**, 공기조화냉동공학논문집, 제 10권 제 2호, 1998

18) 윤창호 외, **개별공조시스템의 열환경특성에 관한 실험적 연구**, 공기조화냉동공학회 동계학술발표회논문집, 2000

19) 정성욱 외, **개별공조시스템(IECS)의 개발에 관한 연구**, 공기조화냉동공학회 동계학술발표회논문집, 2000

20) 최동호, **좌석취출 공조시스템을 채용한 대공간의 흡입구 위치가 거주역내 온열환경에 미치는 영향**, 대한건축학회논문집, 제 15권 제 4호, 1999

21) 최동호, **저속급기 좌석취출 공조시스템을 채용한 대공간 거주역의 온열환경에 관한 연구**, 대한건축학회논문집, 제 15권 제 5호, 1999

22) 홍민호, **에어컨으로 개별난방하는 공동주택의 열환경 특성에 관한 연구**, 중앙대학교 석사학위 논문, 1996

23) 김요셉, **바닥급기 공조시스템의 열환경에 대한 수치해석**, 숭실대학교 석사학위 논문, 1998

24) 이기섭, **바닥분출 공조방식과 급기구 특성에 관한 연구**, 연세대학교 석사학위 논문, 1998

25) 임호진, **CFD해석을 이용한 과밀폐쇄공간의 공기환경 평가방법에 관한 연구**, 연세대학교 박사학위 논문, 1998

26) ASHRAE, **ASHRAE HANDBOOK Applications**, 1995

27) ASHRAE, **ASHRAE HANDBOOK HVAC System and Equipment**, 1996

28) ASHRAE, **ASHRAE HANDBOOK Fundamentals**, 1997

29) Terry S. Boutet, **Controlling Air Movement**, McGraw-Hill, 1987

30) David C. Wilcox, **Turbulence Modeling for CFD**, DCW Industries, 2000

31) Joe F. Thompson, **Handbook of Grid Generation**, CRC, 1999

32) H. K. Versteeg and W. Malalasekera, **An Introduction to Computational Fluid Dynamics : The Finite Volume Method**, Longman, 1999

33) J. W. Weathers, **A Comparative Study of Room Airflow : Numerical Prediction Using Computational Fluid Dynamics and Full-Scale Experimental Measurements**, ASHRAE TRANSACTION, Part 2, 1993

34) A. J. Baker, **Numerical Calculation of Room Air Motion - Math, Physics, and CFD Modeling**, ASHRAE TRANSACTION, Part 1, 1994

35) Donald J. Bergstrom, **Symposium on Numerical Methods for Predicting Air Motion**, ASHRAE TRANSACTION, Part 2, 1994

36) M. Nady A. Said, **Computation of Room Air Distribution**, ASHRAE TRANSACTION, Part 1, 1995

37) Qingyan Chen, **Computational Fluid Dynamics for HVAC : Success and Failures**, ASHRAE TRANSACTION, Part 1, 1997

38) William D. Davis, **Symposium on Full-Scale Tests in Very Large Spaces and CFD Modeling**, ASHRAE TRANSACTION, Part 1, 1999

ABSTRACT

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

Kim, Yoon-Il
Department of Architecture
The Graduate School of Chung-Ang University
Advised by Prof. Rhee, Eon-Ku, Ph.D.

As the standard of living has improved in Korea, the number of auditoriums such as theaters, assembly halls, and concert halls is increasing. Auditoriums are generally large, and usually have a high density of occupancy per unit floor area, compared to other buildings, and thus have a relatively low design sensible heat ratio. Since they have relatively high ceilings, some heat may stratify above the occupied zone. Recently, 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.

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. The result of this study can be summarized as follows.

1. Indoor thermal environment analysis

1) In case of a typical air conditioning system, conditioned air supplied from a ceiling passes the occupied zone and returns through grilles set in front of a stage. On the other hand, for an under-floor air conditioning system, conditioned air supplied from under-floor passes the occupied zone and returns to a ceiling.

2) For the existing ceiling supply system, it was found that air velocities were 0.3~2.1m/s in the occupied zone, which may cause offensive drafts. For the under-floor supply system, air velocities were 0.1~0.35m/s, which is in the comfortable range for occupants.

3) The average temperature was 23.4℃ in the occupied zone for the existing ceiling supply system, while it was 23.2℃ for the under-floor supply system. When the air flow was decreased by 20% the under-floor supply system, the average temperature was 25.2℃ in the occupied zone. Therefore, it was possible to reduce the volume of the conditioned air by 20%. For the ceiling supply system, the downward flow through nozzles may cause unequal temperature distribution.

2. Cooling energy analysis

1) When the under-floor system was compared to the typical ceiling system, the cooling capacity was decreased by 16.8%. However, total air flow was increased by 32.0%, and cooling energy was increased by 2.7%.

2) When the under-floor system for which the air flow was decreased by 20% was compared to the typical ceiling system, cooling capacity was decreased by 28.7%, and cooling energy was decreased by 3.4%.

In conclusion, it is possible to maintain thermal comfort in the occupied zone and to save energy, if the under-floor air conditioning system for which the air flow is decreased by 20% is used in a middle-sized auditorium.