

대공간의 환경계획

Environmental planning of large enclosure

손 장 열
J. Y. Sohn
한양대학교 건축공학부



- 1945년생
- 건축설비, 건축실내환경, 클린룸에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

인간의 생활이 날로 윤택해지고 다양화되며 과학 기술이 발달됨에 따라 쾌적하고 거대한 공간에 대한 요구가 커져 가고 있다. 이러한 대공간의 종류에는 종교건축 집회장, 공항 터미널, 역사(驛舍), 스포츠 시설(실내 체육관, 수영장 등), 공연장, 호텔 등의 대연회장, 사무소건물 등의 아트리움, 공장 등이 있으며, 우리나라에서도 이미 여러곳에 대공간의 건물이 건립되었고 앞으로도 보다 많은 대공간의 건립이 예상되고 있다.

대공간을 설계하는대는 일반 건물과는 다르게 형태, 기능, 구조, 동선처리, 채광 효과, 실내 환경, 에너지 관리, 방재, 식재계획 등의 여러 방면에서 보다 신중하게 검토해야 하며, 특히 거대한 실내공간에 대한 환경계획에 유의하여야 한다.

여기에서는 대공간의 건축적 특성, 열, 음의 환경적 특성을 설명하고, 대공간 환경계획에 필요한 대공간의 열·기류 Simulation 평가와 거주역 냉방을 위한 좌석공조 시스템의 실험 사례를 소개한다.

2. 건축적 특성

2.1 대공간의 기능

대공간의 건축적 기능은 문화적 기능, 경제적 기능, 쉼터의 기능, 수용 기능으로 분류될 수 있으며, 환경계획도 이러한 기능을 충분히 이해한 후 이루어져야 한다.

대공간은 하나의 공간에서 모든 행위가 이루어지기 때문에 재실자 상호 동질감을 가질 수 있어 다중 이용의 대규모 집회가 가능한 문화적 기능을 가진다.

대공간은 공간 특성에 따라 방재설비, 수송설비, 조경, 비재실(非在室) 공간에 대한 냉난방 에너지 등이 다른 건물에 비해 추가적으로 소요될 수 있으나 건설공기단축, 조명에너지 절약, 태양열의 이용 등이 비교적 용이하여 유지관리비의 절감이 가능한 경제적 기능을 가진다. 또한, 대공간으로 인한 유동인구 확보에 따른 점포임대료 증가 등 부대효과도 있다.

대공간은 비, 바람, 태양열, 외기온도 등의 외부 환경을 차단해 건물의 쾌적성을 높이는 쉼터의 기능을 가진다.

마지막으로 대공간은 여러 가지 기능을 가진 내부공간을 가지고 각 세부공간은 서로 왕래하면서 대공간을 교통공간으로 활용하며, 또한 대공간 자체가 레스토랑, 라운지, 전시장, 운동경기장, 판매 시설 등으로 활용되는 수용의 기능을 가진다.



그림 1 아트리움 대공간의 내부전경

2.2 대공간의 형태 및 구조

대공간의 형태는 주로 공간의 기능, 동선의 처리, 교통량 및 높이 제한, 사선제한 등을 고려한 건축법, 건축주의 취향 등에 따라 결정되는 경우가 많으며, 아트리움의 경우 채광효과를 극대화하기 위해 거주공간의 평면 깊이는 얇게 하고 높이는 높게 하는 경향이 있다.

대공간의 구조는 텐션 및 막구조나 장스팬을 사용하는 특징이 있으며, 면처리는 곡면, 수평면, 수직면, 사선, 혼합형으로 다양한 방법에 의하고 있다. 주로 활용되는 재료는 강재, 유리재, 합성 플라스틱재, 유리, 플라스틱, 금속, 또는 이것을 복합시킨 복합재 등이다.

3. 열환경 계획

열환경의 측면에서 “대공간”이란 단순히 부피가 큰 공간을 가르키는 것이 아니라 환경 제어가 보다 어렵고 중요하다는 관점에서 다루어져야 한다. 대공간의 열환경은 주로 일사열, 구조체의 열성능, 내부발생열, 투입열량, 기류의 조건 등에 의하여 이루어지며, 내부기적(氣積)이 크고 천장고가 높아 수

직·수평 방향의 온도·기류분포가 생기고, 공기조화에서 적절한 취출·흡입구의 설치가 어려운 등 일반건축물과는 크게 다른 실내열환경특성을 나타낸다. 또한 거주역과 비거주역이 혼재하고 거주역은 공간의 저층부에 편재하므로 거주역에 있어 적절한 환경의 제어가 요구된다. 대공간 전역을 공조하는 것은 설비적으로도 에너지적으로도 낭비가 심하므로 그림 2와 같이 대공간 거주역을 중심으로 한 공조방식이 바람직하다.

냉방시에는 찬공기가 내려와서 거주역에 정체하기 쉽기 때문에 거주역 중심의 공조를 실시하기가 수월하나 난방시에는 역으로 더운 공기가 상승하여 온도성층(溫度成層)을 형성하여 거주역 만을 덥히기 어려운 문제에 봉착하게 된다. 이 문제를 해결하기 위하여 다음의 방법이 채용될 수 있다.

- ① 복사난방(바닥 또는 천장)을 이용한다.
- ② 송풍기를 증설하고 송풍온도를 낮춘다.
- ③ 소형 고속젯트노즐을 분산배치하여 온풍을 거

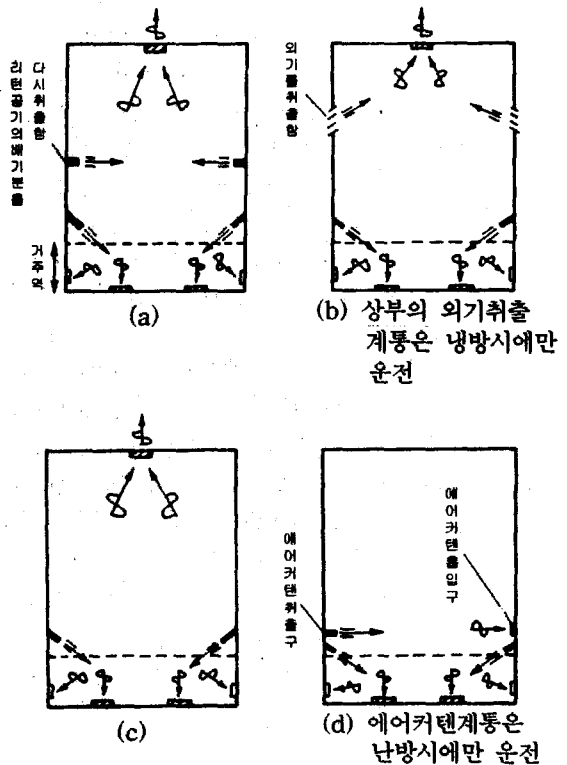


그림 2 대공간의 거주역공조의 예

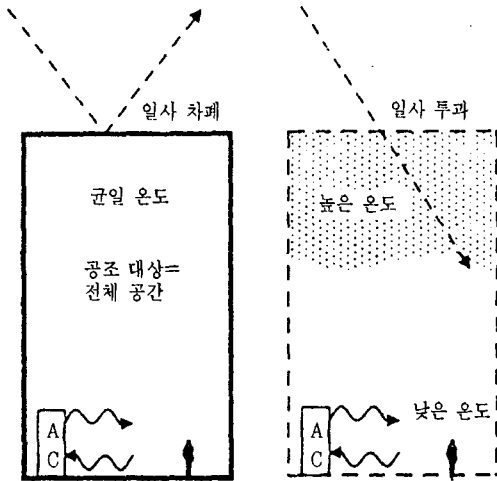


그림 3 폐쇄 공간과 유리 공간의 비교

주역으로 유도한다(에어젯트공조 시스템=드리벤트 시스템).

- ④ 거주역과 상부 비거주역의 사이에 수평방향의 에어커튼을 설치한다.
- ⑤ 흡입구를 바닥 또는 바닥 부근에 설치한다.

대공간은 크게 폐쇄적인 공간과 개방적인 공간으로 구분할 수 있으며 그림 3과 같이 폐쇄적인 공간과 유리를 사용한 개방적인 공간(아트리움)은 일사유입효과, 열부하, 상하온도차 등에 크게 차이가 난다.

대공간에서 단열은 매우 중요한 것으로 외기와 접하는 부위에서는 반드시 단열을 고려하여야 하며 단열성능이 나쁠수록 실온분포가 커지고 에너지 효과가 증대하며, 불쾌한 드래프트가 심해진다. 또한, 아트리움과 같이 채광을 위하여 넓은 유리로 되어 있어 어쩔 수 없이 단열성능이 떨어지는 지붕이나 벽체에 대하여서는 겨울철 결로방지에 특별히 유의하여야 한다.

4. 음향환경 계획

대공간 건축물은 일반적으로 긴 잔향시간, 명료도 저하 등의 문제점이 발생할 우려가 있어 명료도 중심의 설계와 시공이 필요하다. 대공간 건축물에서 충실한 음의 전달, 확산감, 친밀감 등 쾌적한 음

향상태의 확보를 위해서는 적절한 잔향시간 및 충분한 음의 크기(Loudness)의 확보, 균일한 음압 분포의 유지, 음향 장애 현상의 방지, 소음·진동의 저감을 도모해야 한다.

4.1 음향계획의 목표 및 범위

음향계획의 목표는 잔향시간 및 내부소음의 저감, 형태에 따른 음향장애 현상(에코우 등) 제거 및 옥외 전파소음의 저감 등에 있다. 음향계획은 건축음향 설계와 전기음향 설계, 소음·진동 방지설계로 구분되며, 건축음향 설계는 크게 실행태 설계와 잔향설계(내장설계)의 2가지로 구분된다.

실행태 설계는 실의 사용목적에 대해서 경제성, 시공성, 의장상의 고려를 해가면서 음향적으로 가장 좋은 형과 크기를 결정하여 가는 설계이다. 잔향설계는 실의 사용목적과 크기에 의해 결정되는 최적 잔향시간을 만족하도록 실내 흡음력(특성)을 고려하여 내장재료를 선정하고 그 소요량과 배치를 음향적 관점으로부터 결정해 가는 것이다. 전기음향설계는 소리의 크기와 명료도를 높이기 위하여 음향재생 시스템 및 음향보강 시스템 등의 적용을 결정하는 것이며, 소음·진동 방지설계는 건축물 내·외부에서 발생하는 소음·진동의 저감을 위하여 건축·설비적인 대책을 강구하는 것이다.

4.2 음향설계방법

대공간은 사람이 많이 모이는 곳으로 음의 전달이 중요하나 자칫 잘못하면 음향적 취약공간이 되기 쉬우므로 최적음환경을 확보하기 위하여서는 설계초기단계부터 음향에 대한 이해와 고려가 필요하다.

기본설계 단계에서 실내 음향설계 및 소음·진동 방지설계를 진행하여 시공하고, 완공후 측정을 통하여 평가하여야 한다.

실내 음향설계를 유효하게 하기 위해서는 음향설계자가 기본계획 단계부터 완공 후 음향측정, 검토에 이르기까지 건축설계자와 밀접한 관계를 갖는 것이 바람직하다. 음향설계의 진행방법을 작업 단계별로 나타내면 그림 4와 같다.

잔향시간은 실의 음향설계에 목표가 되는 것으로 실내의 음원으로부터 소리가 끝난 후, 실내의

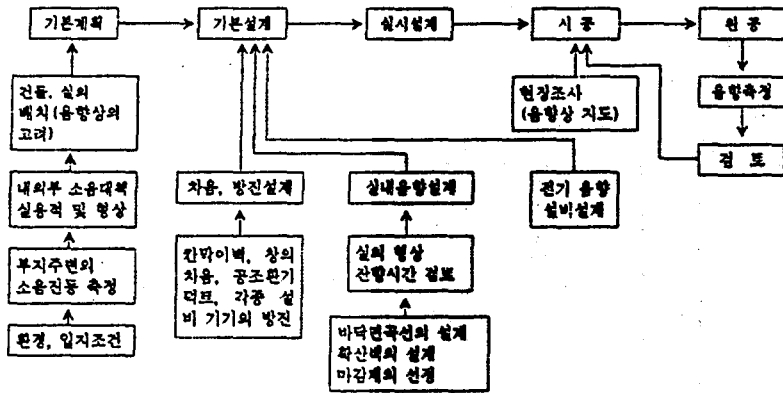


그림 4 음향설계의 진행방법

음에너지가 소멸될 때까지의 시간, 즉 실내의 평균 에너지 밀도가 초기치보다 60dB 감쇠하는데 소요 되는 시간을 말하며, 실의 용도와 용적에 맞는 적당한 크기의 잔향시간인 최적잔향시간의 설계가 중요하다. 대공간의 경우 잔향시간이 길어져 발생한 음의 여운 때문에 그 다음 음을 들을 수 없는 음의

중복 상태가 발생하기 쉽기 때문에 특별히 주의하여야 한다. 그림 5는 건축음향설계시 일반적으로 사용되고 있는 Kundsen-Harris가 제안한 실용도별 최적 잔향시간과 실용적과의 관계를 나타낸 것이다.

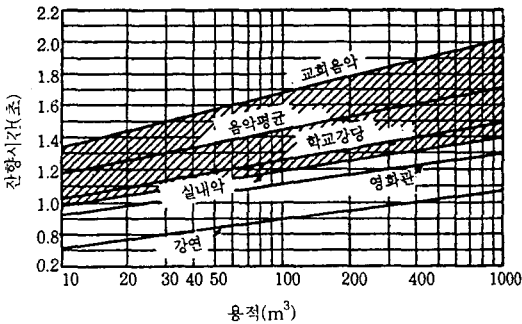


그림 5 용도에 따른 최적잔향시간(500Hz기준)

잔향시간은 주로 내부 천장, 벽체, 바닥면의 흡음력으로 조절하게 되는데, 흡음(Sound absorption)이란 재료 표면에 입사하는 음의 에너지가 마찰저항, 진동 등에 의해서 열에너지로 변하는 현상, 즉 재료속으로 흡수되는 음의 현상을 말하며, 흡음력이 커질수록 잔향시간은 짧아진다.

5. 열·기류 검토

대공간 열공기 환경에 관해 건설전에 예측하는 것이 바람직하며 여러 가지 방법이 제시되고 있다. 구체적인 예측 수단으로는 ① 취출 분류 거동을 예

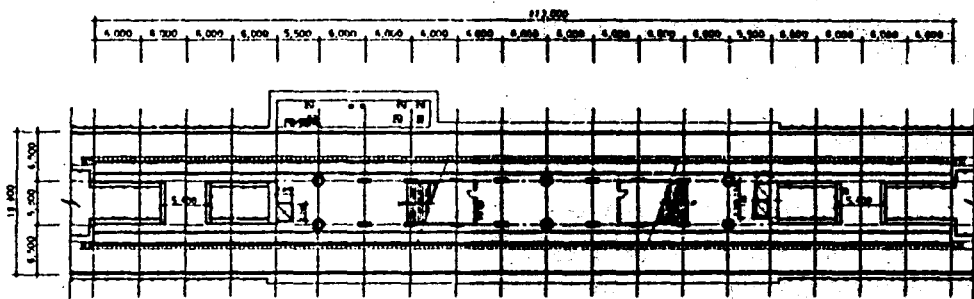


그림 6 대상 지하철 승강장의 평면도

측하는 방법, ② 흐름 전체 또는 부분을 대상으로 하는 모형 실험에 의한 예측 방법, ③ 수치 시뮬레이션에 의한 예측 방법이 있다. 여기서는 수치 시뮬레이션에 의한 대전지하철역사 승강장의 열·기류 시뮬레이션 사례와 오사카(大板)동의 좌석공조시스템의 모형실험 사례를 간단히 소개하고자 한다.

5.1 지하철역사 승강장의 열·기류 시뮬레이션 평가

본 시뮬레이션 평가의 대상이 되는 대전지하철역사의 승강장은 지하 5층에 승강장과 본선이 위치하고 있고, 승강장 차단방식으로 트레인-스크린 방식을 채용하였으며, 선로부 배기 방식으로는 상부배기-하부급기 방식을 채용하였다. 급기구는 레지스터 형식으로 급기된 공기가 확산되지 않고 토출되는 방식이다.

해석 대상공간은 113m(X)×3m(Y)×12m(Z)의 체원을 가지고, 공간내부에는 계단실, 창고 등의 장애물이 존재하는 복잡한 기하학적 형상을 가지고 있다.

그림 6은 해석모델의 평면도를, 그림 7은 해석모델의 단면도를, 그림 8은 공조방식의 개요도를 나타낸다.

(1) 수치해석방법

수치해석 시뮬레이션에는 거시적 모델과 미시적

모델이 있다. 그림 9는 두 모델의 특징을 보여주고 있다. 거시적 모델은 신속하고, 응용이 쉬우며, 현업적용성이 좋다. 한편, 미시적 모델은 상세분석이 가능하고, 가시적 표현이 가능한 것이 특징이다.

1) 거시적 모델

거시적 모델에서 대공간의 수직온도분포 예측을 위해서는 일사 해석, 취출기류 해석, 전열량 해석이

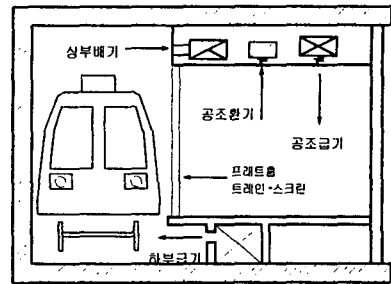


그림 8 대상 지하철 승강장의 공조방식 개요도

| Macroscopic Model | Microscopic Model |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 장점 - 신속하다 - 응용이 쉽다 - 현업 적용성 높음 - 동적계산 가능 - Micro Model의 입력 데이터로 이용 | 장점 - 상세분석 가능 - 컴퓨터 그래픽을 통한 가시적 표현 |
| 단점 - 기류장이 복잡하면 계산결과의 정확성이 낮다 | 단점 - 그리드 디자인과 입력자료 준비에 많은 시간과 노력 - 컴퓨터 용량이 커야 하고 계산시간이 길 - 동적계산의 어려움 |

그림 9 거시적 모델과 미시적 모델의 특성

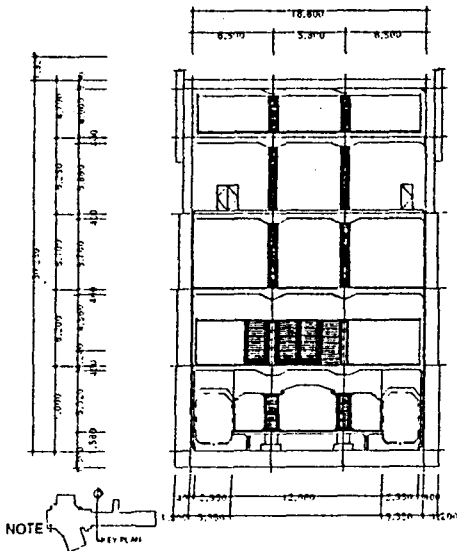


그림 7 대상 지하철 승강장의 단면도

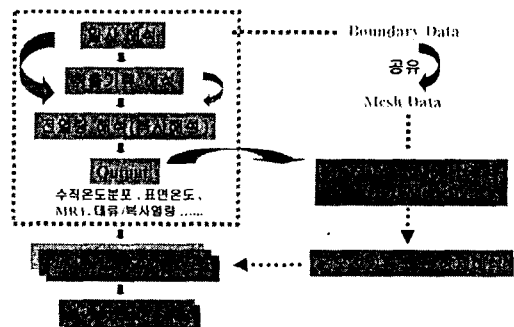


그림 10 거시적 모델 알고리즘

필요하다. 그림 10은 거시적 모델의 작성을 위한 알고리즘을 보여준다.

2) 미시적 모델

미시적 모델은 기존의 데이터를 이용해 해석 대상 공간을 격자(Grid)로 나누어 각 격자에 대한 해석을 시행하는 모델이다. 그림 11은 대공간의 온도 기류분포의 상세해석을 위한 미시적 모델의 프로그램을 보여준다. 박공의 지붕을 가진 아트리움 공간을 격자로 분할한 것을 볼 수 있다.

(2) 수치 해석 시뮬레이션의 결과

본 사례에서 해석대상으로 하는 지하철 승강장은 대공간으로 밀폐공간의 기류는 열에 의해 가장 큰 영향을 받으며, 밀폐공간은 외부환경과의 밀접한 열적 관계를 유지한다. 즉, 자연·혼합대류(Natural and mixed convection), 장파복사(Long wave thermal radiation), 외부구조체를 통한 열 전달, 축열과 같은 표면열전달 과정에 대한 정확한

모델링이 수치 시뮬레이션 결과의 정확성을 좌우하는 가장 중요한 요소중의 하나가 된다.

수치 해석 시뮬레이션은 Fluent라는 미국의 상용 프로그램을 이용해 case 1(내주부 혼합급배기), case

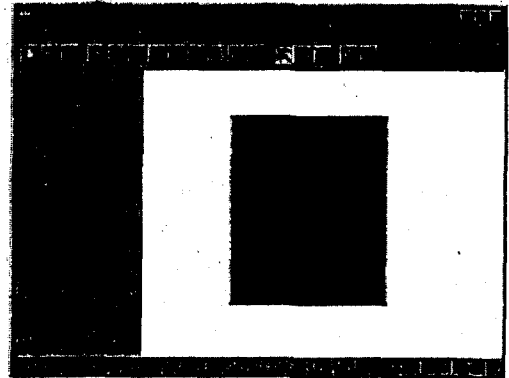


그림 11 미시적 모델 프로그램

표 1 수치 해석 시뮬레이션 조건

| 구 분 | parametric study 조건 | |
|-------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------|
| 내주부 혼합급배기 (case 1) | 격자의 수 | $X(156) \times Y(18) \times Z(60) = 168,480$ |
| | 급기구 : 8개 배기구 : 8개 | |
| 단부급기 내주부 혼합급배기 (case 3) | 격자의 수 | $X(163) \times Y(18) \times Z(68) = 199,512$ |
| | 급기구 : 10개 배기구 : 8개 | |

표 2 수치 해석 시뮬레이션 결과

| 구 분 | case 1 | case 3 |
|----------------|--------|--------|
| 단면에서의 기류분포 | | |
| 단부에서의 3차원 기류분포 | | |
| 단면에서의 수평온도분포 | | |
| 단면에서의 온도분포 | | |

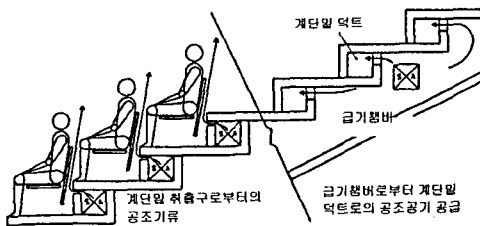


그림 12 좌석공조 시스템

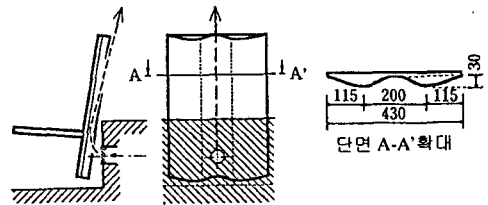


그림 13 채운한 뒷면판의 오픈덕트 모양

2(내주부 혼합급배기+단부배기), case 3(내주부 혼합급배기+단부급기), case 4(내주부 2열 배기+외주부 2열급기), case 5(내주부 2열배기+외주부 2열급기+단부배기), case 6(내주부 2열급기+외주부 2열배기)에 대해 행해졌다. 여기에서는 기존설계안인 case 1(내주부 혼합급배기)과 시뮬레이션 결과 가장 효율적인 온도·기류 분포를 가진 것으로 나타난 case 3(내주부 혼합급배기+단부급기)에 대한 결과를 소개한다. 표 1에서는 시뮬레이션 조건을, 표 2에서는 시뮬레이션 결과를 보여준다.

기류분포의 경우 case 1에서는 승강장의 단부에 급기된 공기가 배기되지 못하고 정체되는 영역이 형성되는 것을 알 수 있다. case 3의 경우는 비교적 배기가 잘 되고 있어 지하철 승강장 급·배기구 배치방식으로 유리하다고 사료된다.

온도분포의 경우 5가지 case 모두 승강장 전체의 온도는 지하철 승강장 설계기준치인 28℃를 전반적으로 만족하고 있었으나, 단부의 온도는 case 1의 경우 32℃로 설계기준치를 초과하고 있었다.

이상과 같은 수치 해석 시뮬레이션의 결과 대전 지하철 건설팀에게 급·배기구의 배치계획시 case 3의 방식을 채택할 것을 제시하였다.

5.2 좌석공조 시스템에 관한 실험적 검토

1997년에 준공된 일본의 오사카(大阪)돔은 애리나(Arina)의 직경이 150m, 가장 높은 천장고가 70m이며, 기적(氣積) 120만 m^3 에 달하는 거대한 공간이다. 오사카 돔에서는 전체공간의 1할에도 못미치는 거주역의 공조를 위하여 관객석의 의자 뒷면을 이용한 좌석공조방식을 제안했으며 관객근방에서 직접 공조공기를 공급하는 방식을 채택하고 효과적인 공조상태를 얻기 위한 실물키 모형 실험을 실시하였다. 그림 12는 좌석공조 시스템의 개념도이다.

실험은 의자의 뒷면을 평판으로 했을 경우와 뒷면을 오픈덕트 모양으로 했을 경우에 대하여, 또 의자의 모양(뒷면판이 긴 경우, 짧은 경우), 계단차(300mm, 500mm)가 다른 경우에 대하여 실시하였다.

그림 13은 여기에서 채용한 뒷면판의 오픈덕트의 모양을 나타낸다. 그림 14, 그림 15는 냉방시 의자 뒷면모양에 따른 기류의 분포와 온도 분포를 보여준다.

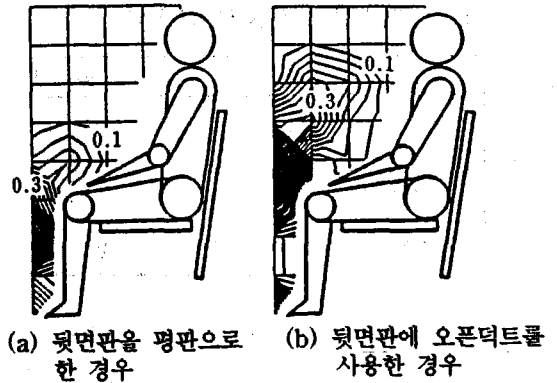
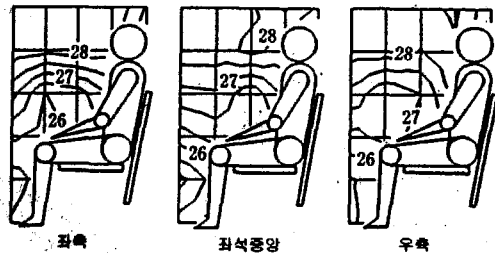
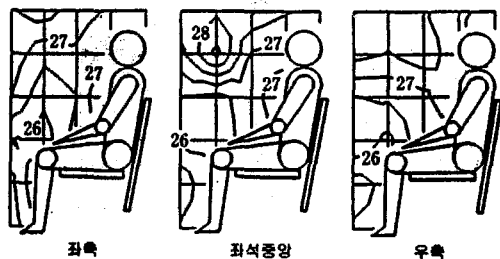


그림 14 뒷면판의 모양에 따른 기류분포의 차이



(a) 뒷면판을 평판으로 한 경우

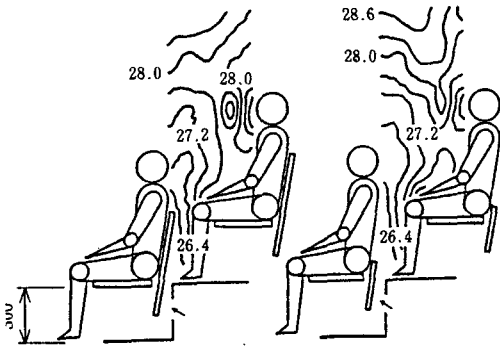


(b) 뒷면판에 오픈덕트를 사용한 경우

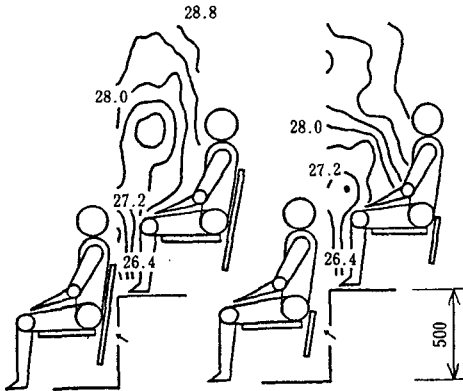
그림 15 뒷면판의 모양에 따른 좌석 주변의 온도분포차이

오픈덕트를 사용한 경우에는 기류가 관객의 머리부분까지 도달하고 좌석 주변의 상하온도차도 완화되고 있다. 기류의 도달높이가 평판의 경우 750mm, 오픈덕트의 경우 900~1,050mm이다.

그림 16은 의자의 모양, 계단차가 다른 경우의 온도분포의 측정결과를 나타낸다. 의자의 뒷면이 긴 경우나 짧은 경우, 어떤 경우에도 뒷면의 오픈덕트



(a) 뒷면이 긴 경우 (b) 뒷면이 짧은 경우



(c) 뒷면이 긴 경우 (d) 뒷면이 짧은 경우

그림 16 의자의 모양, 계단차가 다른 경우의 온도분포의 측정결과

를 통하여 기대한 기류와 분포를 얻을 수 있었다.

오사카 돔 건설팀에서는 이 실험크기 모형실험을 통하여 오픈덕트 좌석공조 시스템을 채택하고, 공기취출조건, 의자 뒷면 모양, 의자 뒷판 모양 등 공조효과를 극대화하기 위한 설계 제원을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 손장열, 박병윤, 박중수, 강대식, 1998. 8, 대공간 건축물의 실내온도 및 기류분포 예측기법에 관한 연구, 산업과학논문집(한양대학교 산업과학연구소) No. 45.
2. 공성훈, 1998. 9, 대공간의 건축적 특성, 건축설비 1권 2호.
3. 조창근, 1998. 9, 돔경기장의 음향설비계획, 건축설비 1권 2호.
4. 일본건축학회편, 1994, 아트리움의 환경설계, 彰國社(東京).
5. Yoshihide Suwa, Yutaro Omote, Hiroshi Iwanami, Satoru Doi, 1995, A study on Wind Pressure and Interior Environment for Osaka Dome, Report of Obayashi Corporation Technical Research Institute No. 51.