

좌석급기공조방식을 채용한 대공간의 온열환경에 관한 연구(제1편)

- 저속급기와 배기구 위치에 의한 영향 검토 -

최 동 호*

Study on Velocity and Temperature Field around Seats with Supply Opening
Experimental Analysis on Personal Cooling System with Low Supply Jet Velocity
and Two-way Exhaust System -

Dong-Ho CHOI

Abstract

For an air conditioning system in a large scale indoor space like a theater or a hall, we selected a system that supplies air from the seats. We created a theater like occupied zone which included 9 seats. On each seat we placed a box that generated heat to simulate a human body. When cooling in our experiments, we took pictures of the air flow, visualized by smoke, and measured the air and surface temperatures everything in the experimental area. The parameters of these experiments were the direction and velocity of supply jet, and the position of the air inlets. We researched the supply and exhaust conditions that are most comfortable to people and checked whether or not they occurred as a cold draft or in a short circuit. We also analyzed the radiation, and studied heat transport of convection and radiation in model room with complex geometry. It is also confirmed that the down draft and short circuiting can be avoided by using this method.

1. 서론

대공간 공조를 실내공기 완전혼합 원칙에 의거하여 행하는 것이 반드시 합리적이지만은 않다. 천정이 높은 대공간에 있어서 상부공간을 제외한 거주역만을 대상으로 그것

을 커버하는 폐쇄된 유동장애 대한 공조(거주역 공조)가 가능하다면 공조설비 측면이나 에너지 절약의 측면에서 효율적인 환경제어가 가능하게 된다¹⁾. 본연구의 목적은 거주역 공조설계에 관한 기초자료를 수집하는 것

* 제주대학교 공과대학 건축공학과

으로서 천정이 높은 대공간(극장·홀 등)의 효율적인 공조방식(냉방)이라 할 수 있는 좌석급기공조 시스템에 대해서 검토한다. 이것은, 대공간의 특성인 상하온도분포와 온도성층의 존재를 적극적으로 이용하여 인간이 있는 거주역만을 쾌적하게 공조하는 방식이다. 좌석급기 공조방식을 이용하면 천정급기 공조방식과 같은 종래의 방식에 비하여 다음과 같은 이점들을 기대할 수 있을 것이다. 첫째, 국소공조가 가능하게 되어 에너지 절약 효과를 기대할 수 있다. 둘째, 거주역에 설치된 각 좌석으로부터 공조공기를 공급하기 때문에 대형 노즐을 이용한 방식보다 균등하게 공조공기를 재실자에게 제공할 수 있다. 셋째, 공조의 개별화를 실현시킬 수 있다. 넷째, 거주역내 온도가 설정온도에 도달되는 시간, 즉 공조 도달시간을 단축시킬 수 있다.

본연구에서는 좌석급기 공조방식을 채용한 극장의 거주역 일부를 절단하여, 이것을 해석대상 공간으로서 모델화하였다. Cold Draft와 Short Circuit의 발생 유무 등의 확인은 물론, 실험에서 측정된 물체 표면온도를 이용하여 인체, 좌석 등이 있는 복잡한 유동장에서의 대류, 복사 열전달 프로세스를 구조적으로 해석한다. 특히, 본연구에서는 대공간에서 발생되기 쉬운 온도성층의 발생 유무, 인간이 있는 거주역을 설정온도로 제어하기 위한 급기조건 등을 체계적으로 검토하고 있다. 이것은 좌석급기공조방식 및 대공간 공조설계에 귀중한 자료로서 활용될 수 있다.



그림-1 해석대상공간의 모델화

표-1 좌석공조의 제원 (단위 : mm)

의자	500(W) × 870(H) × 610(D) 950 × 500 (의자간격)
급기구	395(W) × 140(H), 35m ³ /h (풍량) 급기풍속변경은 급기구면적을 변화시켜서 행함.
배기구	75(직경), 35m ³ /h (풍량)
인체모델 (발열체)	450(W) × 930(H) × 330(D) 顯熱만 고려 50kcal/h · 體, 1.52m ² /體

2. 실험개요

2.1 해석대상공간

그림-1에 해석대상 공간을 나타내고 있다. 극장, 홀 등과 같은 대공간 거주역(객석부)을 해석대상공간으로 한다. 단, 본연구에서는 해석대상을 거주역으로 한정하여 해석한다. 여기서는 객석부 바닥위 약 2m 까지의 공간을 거주역으로 정의하여, 그 곳의 열, 공기유동에 대하여 해석한다. 각 좌석 등받이 뒷면 상부에는 공조용 급기구(39.5cm × 14.0cm)가 설치되어 있다. 이 공조용 좌석 급기구로부터 공급되는 냉기류가 거주역 공간내에서 발생하는 쏠열량(인체발열)을 커버하도록 공조투입열량을 산정하였다. 표-1에서는 해석공간내에 설치된 공조용 좌석과 인체모델

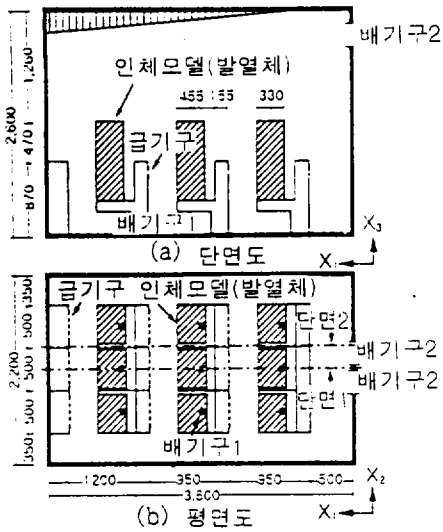


그림-2 실험대상공간 (단위 : mm)

(발열체)의 제원을 나타내고 있다.

2.2 모형개요

그림-2에 실험대상모형을 나타내고 있다. 극장의 거주역 공간내 좌석 9席분을 절취하여 실물 크기로 모델화 하였다. 모델화한 공간의 천정높이는 2.6m로 설정하였다. 모형의 천정, 바닥, 외벽은 모두 두께 100mm의 스티로폼으로 단열처리되어 있다. 모형내부의 각 물체는 모두 흑색 페인트(적외선 복사율: 0.93)로 도장되어 있으며, 9席의 공조용 좌석에는 인체모델(발열체)이 배치되어 있다. 공조용 좌석의 형상은 해석의 편의를 도모하기 위하여 단순화시켰으며 좌석 등받이 뒷면 상부에는 급기구가 설치되어 있다(표-1참조). 또한 좌석하부 바닥면에 배기구1이 설치되어 있으며, 모형의 한쪽벽 상부에는 거주역에서 회수되지 못한 인체열 상승류를 상부공간으로 배출시키기 위한 배기구2가 설치되어 있다. 한편, 그림-2에서 볼 수 있는 바와 같이

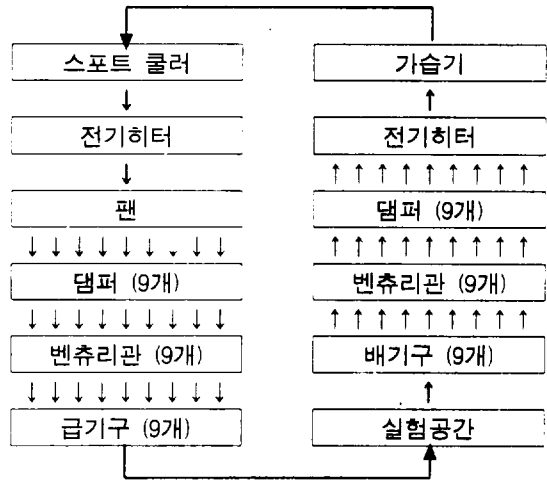


그림-3 공조계통도

천정이 낮은 모형실내에서 거주역에 영향을 주지 않고 인체로부터의 상승 열기류가 실내에 정체됨이 없이 자연스럽게 외부로 배출될 수 있도록 모형천정은 경사식으로 설계하였다. 급기각도는 급기구에 설치된 풍향조절용 밴에 의해 조절한다. 좌석 표면은 Glass Wool(두께: 25mm)로 단열되어 있으며, 표면은 흑색페인트로 도장되어 있다.

2.3 공조계통

실험모형의 공조계통도를 그림-3에 나타내고 있다. 공조계통은 각 좌석 마다 급배기 풍량을 精度 높게 측정, 제어할 수 있을 뿐만 아니라 급기온도를 일정하게 제어할 수 있도록 설계하였다. 본연구에서는 잠열 부하는 고려하지 않는다. 공조계통도 중의 가습기는 스포트 쿨러의 더미 부하용으로 사용된다. 각 공조용좌석으로의 급배기 풍량은 벤츄리관을 이용하여 측정하였다.

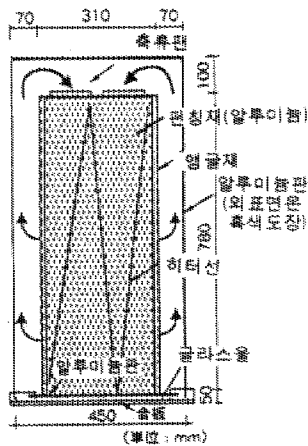


그림-4 인체모델 구조 (Type 2)

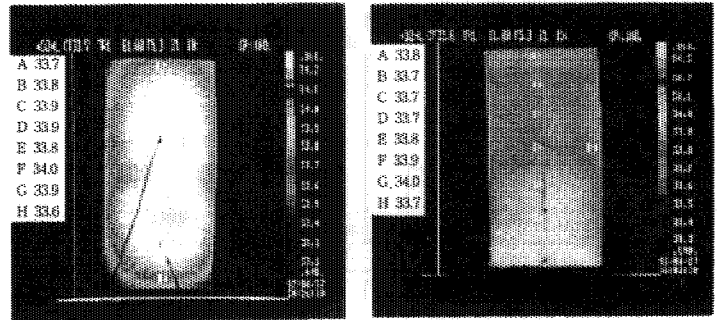
2.4 인체모델

(1) 인체모델 형상

인체모델(발열체)은 폐공간내의 상호복사 계산 및 수치 시뮬레이션에 의한 해석이 용이하도록 단순 상자형으로 모델화 하였다. 인체모델 표면적은 착의 등의 여러가지 요인을 고려하여야 하지만, 성인남녀 평균표면적(1.52m²/인)과 동일하도록 인체모델의 치수를 결정하였다²⁾.

(2) 인체모델 구조

그림-4에 인체모델의 구조를 나타내고 있다. 표면온도가 가능한한 균일하게 되도록 설계하였다. 인체모델은 카본 면상 히터에 의해 인체모델 표면을 가열하는 방법(1인분, 각 연직면은 상하방향으로 2분할: Type 1)과 선상(線狀)히터로써 인체모델 내부공기를 가열하여 그 상부에서 교반용 팬으로 내부공기를 교반시키는 방법(8인분: Type 2, 그림-4 참조)의 2종류의 발열방식을 채용하였다. 표면은 흑색페인트로 도장되어 있다. 인체발열량은 현열만 50kcal/h·人으로 설정하였다.



(a) Type 1

(b) Type 2

사진-1 인체모델 표면온도분포
(결과는 thermo-camera에 의한 측정치)

(3) 표면온도 및 대류·복사열전달

인체모델(Type 1, 2) 표면온도는 사진-1에서 볼 수 있는 바와 같이 균일한 분포를 나타내고 있다. 인체모델로 부터의 복사 열전달량은 인체모델 표면온 및 모형내 벽면온, 좌석표면온을 참조하여 상호복사열전달 시뮬레이션에 의해 상세히 해석하였다. 인체모델 Type 1은 각표면 발열량이 면상 히터에 투입되는 전력에 의해 측정되므로 대류 열전달량을 상술한 상호복사열전달량과의 차로서 각 발열면에 상응하는 정도(精度)로 특징지을수 있다. 인체모델 Type 2는 전체발열량은 측정할 수 있지만 각 표면별 발열량은 측정할 수 없으므로 표면 마다의 대류 열전달량을 옳게 추정하는 것은 불가능하다. 그러나 인체모델 전체의 대류열전달량은 동일한 방법으로 복사열전달 해석결과로부터 추정할 수 있다. 이들 물체표면온, 복사열전달량, 대류열전달량은 수치시뮬레이션에 의한 복사·대류 연성시뮬레이션과의 대응을 생각할 때 반드시 필요한 데이터라 할 수 있다.

표-2 실험 case와 설정조건 및 배열량 결과

실험 case	급기 각도 [°]	인 체 발열량 [W]	급기 풍속 [m/s]	풍량 [m³/h]			온도 [°C] 주1)			급기 분류 Ar수	배열량 [kcal/h] 주2)		주변 벽면
				급기1	배기1	배기2	급기1	배기1	배기2		배기1	배기2	
1-1	45	0	0.18	315 (9席)	315	0	26.0	26.0	-	-	0	-	흑색 페인트
1-2	//	523 (9人)	//	//	//	0	21.7	//	-	0.88	393 (87%)	-	//
1-3	//	58.1 (1人)	//	//	//	0	중심1席 : 22.0 주변8席 : 27.0	//	-	0.82	368 (81%)	-	//
2	85	523 (9人)	1.2	//	//	0	21.3	//	-	0.0083	431 (96%)	-	//
3	45	//	0.18	//	145	170	22.8	//	29.2	0.66	135 (30%)	315 (70%)	//
4	//	//	//	//	0	315	23.3	-	28.2	1.01	-	448 (100%)	//

주1) case 4의 경우, 바닥의 배기구1을 통해서 배출되지 않으므로, 좌석 급기구와 바닥 사이의 공간온도평균치가 설정온도(26°C)가 되도록 급기구의 냉방온도를 조정하여 실험을 실시하였다.

주2) case 1-2, 1-3은 인체모델에 의한 열상승류가 거주역모델 상부로 이동하여 축적된 상황에서 실험하였으며, 비정상 상태에서 가시화 실험을 실시하였다. 그러므로 인체발열량과 공조회수 열량의 차가 발생하였다.

2.5 측정

열전대(Cu-Co)에 의한 온도측정(약 300점), 3차원 초음파풍속계(스팬: 5cm)에 의한 풍속측정(약 30점) 및 레이저 라이트 시이트 등을 이용하여 기류 가시화와 목시(目視)에 의한 기류 스케치를 하였다. 실험은 여름철 냉방을 가정하여 거주역 온도를 26°C로 설정하였다. 실험은 각 Case마다 배기구1(바닥)의 배출공기온도가 설정온도인 26°C가 되도록 급기온도를 조정하여 실험을 실시하였다. 각 실험Case 마다 급배기온도차를 측정하여 각 배기구의 배출열량을 산출, 그 결과도 함께 비교, 검토한다.

2.6 실험종류 및 설정조건

실험종류 및 설정조건을 표-2에 나타내고 있다. 실험은 다음 2가지 방침에 근거하고 있다.

첫째, 거주역의 공조부하는 거주역에서 전

다의 급배기풍량을 일치시키고(급기구2는 폐쇄), 또한 코올드 드래프트(cold draft) 발생을 최대한 억제시키기 위하여 저속(약 0.18 m/s)으로 인체를 향하여 급기하는 경우.

둘째, 거주역의 공조부하는 거주역에서 전량 회수한다는 방침을 포기하고 좌석하부 바닥면에 설치된 배기구1 이외에 각 좌석으로 급기되는 풍량의 일부를 거주역이 아닌 공간 상부로 배출시키는 경우.

각 실험 Case별 실험조건은 다음과 같다. 인체발열이 없는 저속·等溫급기의 경우(Case 1-1), 저속(약 0.18m/s)으로 인체모델을 향하여 냉기를 송풍하는 방법으로서 좌석 급기풍량 전량을 바닥 배기구1로 배출하는 경우(Case 1-2), 거주역내 온도성층의 영향을 제거한 냉방의 경우(Case 1-2와 같은 냉방조건에서 인체발열 및 냉풍급기를 중심1체에 국한시킨 경우, 주위의 8석은 등온급기: Case 1-3). 인체모델 상방으로 냉풍이 도달

되도록 급기각도와 급기풍속을 증가시킨 경우(배기구2는 폐쇄: Case 2), 저속(약 0.18m/s)으로 급기한 상태에서 좌석급기풍량의 1/2을 공간상부를 통해 배출하는 경우(Case 3), 바닥면 배기를 포기하고 전량 천정으로 배기하는 경우(Case 4)의 총 6 Case에 대하여 검토한다.

3. 실내의 열이동 해석

3.1 벽면간의 복사열전달량 계산

실내온도를 精度 높게 제어하기 위해서는 실내의 열전달 프로세스를 이해할 필요가 있다. 측정된 물체의 표면온도를 이용하여 물체간의 복사열 이동에 관한 계산을 실시, 해석대상 공간내의 물체 표면간 복사열교환량을 산출한다. 상호복사가 있는 실내에서 실질적으로 임의의 i 면에서 임의의 j 면으로 전달되는 복사에 의한 열전달량(Q_{Rij})은 Gebhart의 흡수계수(B_{ij})를 이용하면 ①식과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{Rij} = \sigma \cdot \epsilon_i \cdot S_i \cdot B_{ij} (T_i^4 - T_j^4) \dots \text{①식}$$

단, σ : Stefan- Boltzmann 상수

$$[4.88 \times 10^{-8} \text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{k}^4]$$

ϵ_i : i면 복사율 [-]

S_i : i면 면적 [m²]

B_{ij} : i,j면간의 Gebhart 흡수계수 [-]

T_i : i면의 절대온도 [k]

윗식을 이용, 각 분할면간의 복사열전달량을 계산함으로써, 임의의 한 물체로부터 다른 물체로의 복사열전달량은 물론 복사受熱의 영향범위를 알 수 있다.

또한 인체모델 표면의 MRT는 ②식에 의해서 산출된다.

$$(MRT)_i = \sqrt[4]{\sum_j B_{ij} \cdot T_j^4} \dots \text{②식}$$

3.2 계산개요

벽면 및 물체의 각 방향 mesh 분할수는 14(X₁)×7(X₂)×7(X₃), 형태계수산출은 몬테카를로법을 이용하였다³⁾. 복사계산을 위한 mesh분할은 실험에서의 표면은 측정점이 한정되어 있으므로 조밀하게 하지 않았다. 또한 인체모델(중심1체)은 폭과 깊이 방향으로 1분할, 상하방향으로 3분할을 하고 있다(1체는 13면으로 구성). 실험모형의 천정은 경사식으로 되어 있지만, 형태계수는 계산의 편의상 수평천정으로 가정하여 계산하고 있다. 형태계수 계산시에 필요한 물체의 각 분할면에서 사출되는 輻射束數는 100,000으로 하였다. 본 논문에서는 인체모델(중심 1체)에서 주변물체 및 각 벽면으로의 복사열량과 인체모델 표면 MRT 분포 계산은 물론, 熱平衡式에 의해 각 물체 분할면의 대류열 전달량을 산출한다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 인체발열이 없는 저속·등온 급기의 경우 : Case 1-1

기류분포를 사진-2, 그림-5에 나타내고 있다. 수평에 대해서 45° 상향으로 송풍된 분류는 인체모델 중앙부에 충돌한 후 사방으로 분산한다. 특히 연직단면내의 기류에 착목하면 인체모델에 충돌한 급기분류의 약 70



사진-2 기류 가시화
(case 1-1)

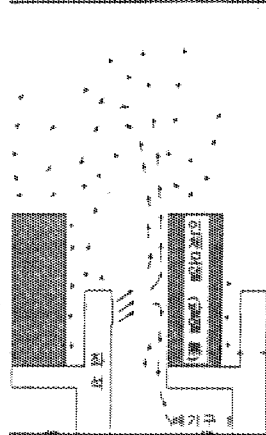


그림-5 기류 스케치
(case 1-1)

% 정도가 인체모델 표면을 따라서 상승하고 있다. 상승기류는 약 2m정도 높이에서 하강하기 시작하여 인체모델 전방에서 큰 와류를 형성하고 있다. 한편, 인체모델 표면에 충돌한 기류 중 약 30%는 하강하고 있으며 인체모델 표면을 타고 하강한 기류의 일부는 곧바로 급기분류에 유도되어 작은 와류를 형성하고 있다. 인체모델 하부 좌석부근에서는 급기풍속(약 0.18m/s)에 비해 배기풍속(약 2m/s)이 상대적으로 강한 영향도 있어서 하강기류의 대부분이 좌석밑 바닥면에 있는 배기구1로 흡입되고 있다. 인체모델 뒷면부근에서는 하강기류를 볼 수 있다.

4.2 저속으로 인체모델을 향하여 냉기를 송풍하는 방법으로서 좌석급기풍량 전량을 바닥 배기구1로 배출하는 경우 : Case 1-2.

(1) 기류분포

기류분포를 사진-3, 그림-6에 나타내고 있다. 급기분류는 Case 1-1(동온)보다 급기직 후의 상승정도가 약함을 알 수 있다. 인체모델 표면에 충돌한 급기분류의 대부분은 인



사진-3 기류 가시화
(case 1-2 : 냉방)

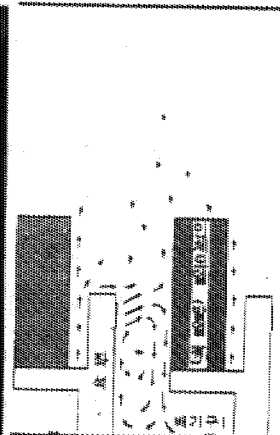
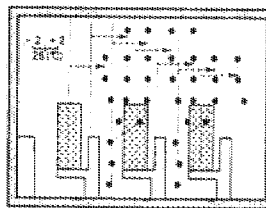
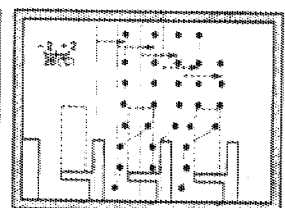


그림-6 기류 스케치
(case 1-2 : 냉방)



(a) 단면 1 (인체중심)



(b) 단면 2 (인체등)

(기준온도 : 26°C)

그림-7 공간온도분포 (case 1-2)

체모델을 타고 하강하여 바닥에 설치된 배기구1로 흡입되고 있다. Case 1-1(동온)과는 달리 모델상부에는 인체모델로부터의 열상승류가 적체되어 두터운 온도성층(고온)이 형성되어 있다. 인체모델을 향하여 저속(약 0.18m/s)으로 송풍된 급기분류는 인체모델에 충돌한 후 그 대부분이 아래로 향하고 있으며, 인체모델 상부로 향하는 상승류는 거의 관찰할 수 없다. 한편, 이 거주인체모델상부에 생성된 온도성층(고온)과 부의 부력의 영향으로 급기분류는 인체모델에서 발생한 열상승류와 잘 혼합되지 못하고 그대로 바닥면 배기구1로 흡입되는 short circuit가 발생되고 있다. 공간상부에 발생된 온도성층(고온)은 실험개시와 더불어 거주역부근까지 비교적 단시간에 하강한다. 본 실험모형과는

달리 실제로 천정이 높은 건축물에 있어서 천정이 높더라도 결국 상부에서 열손실이 없으면 온도성층(고온)은 하강하여 정상상태에서는 본 실험결과와 유사한 양상을 나타낼 것으로 생각된다. 이점에 관해서는 높은 천정의 수치해석에서도 이같은 온도성층(고온)이 거주역에까지 도달되는 것을 확인하고 있다. 인체모델 윗면 상부에도 약한 상승류가 관찰되지만 이것은 인체발열(부력)에 의한 것으로 급기분류의 영향은 아님을 알 수 있다. 한편, 급기분류가 약 0.18m/s로서 극히 약하기 때문에 인체주변에서의 강한 draft 기류는 관찰되지 않고 있다. 그리고 인체모델 형상의 단순화가 유동장, 온도장에 미치는 영향을 알아보기 위해 실제 인간이 좌석에 앉은 경우에 대해서도 가시화 실험을 실시하였다(사진-4, 그림-8). 인체모델을 설치한 경우와 비교하더라도 기류분포에 큰 차이는 발견되지 않았다. 이상의 결과를 종합하여 볼때 저속급기 좌석공조방식은 인체발열 전부를 좌석공조만으로 커버하는 것은 곤란하다는 것을 시사해 주고 있다.

(2) 온도분포

공간온도분포를 그림-7에 나타내고 있다. 좌석에 설치된 급기구 상부에서 천정면에 걸쳐 두텁게 온도성층(고온)이 형성되고 있는 것을 관찰할 수 있다. 상하공기온도는 단면 1,2에서 거의 같은 분포를 보이고 있으며 수평방향으로는 거의 온도차가 없음을 알 수 있다. 급기구의 하부공기온도는 거의 균일한 비교

적 낮은 온도를 나타내고 있다. 정상상태에서는 급기분류부 상부에는 두터운 온도성층(고온)이 존재하므로 차가운 급기분류는 이 온도성층(고온)과 부의 부력의 영향으로 급격하게 하강하는 것이 확인되었다. 천정이 높고 상부에서 열손실 혹은 열배출이 있으면 이 온도성층(고온)은 공간상부에 한정되므로 거주역에 미치는 영향은 작을 것으로 생각된다. 그리고 이번 실험에서 설정되어진 좌석공조 실험조건에서는 인체발열의 대부분이 상부공간으로 상승된 결과, 거주역 상부에서는 두터운 온도성층(고온)이 생성되었기 때문에 전인체발열부하를 좌석공조의 급기체제로 제거한다는 것은 불가능하다는 것을 시사해 주고 있다.

(3) 복사·대류 열전달

대류·복사 열전달 계산결과를 그림-17,18,19에 나타내고 있다. 물체표면에서의 열유입을 正, 유출을 負로 표기하고 있다. 천정면을 제외하고 복사로 受熱하고, 이것을 대류로 放熱시키고 있다. 중심 1체의 인체모델로부터 주변 각물체 등에 복사되는 열량은 18.3kcal/h(인체발열량의 약 37%)이고, 그 나머지 31.7kcal/h(약 63%)는 대류에 의해서 직접 공기에 전달되고 있다(표 3). 중심 1체의 인체모델로부터 방열되는 복사열량의 약 59%는 전후의 좌석 등 거주역내 물체에 전달되고, 그 나머지는 천정, 측벽, 바닥에 전달되고 있다(그림-17(a), 표-3). 인체모델(중심 1체)의 소복사열량에 대한 인체모델 각 표면 복사전열량이 차지하는 비율은 정



사진-4 기류 가시화
(case 1-2 : 냉방)

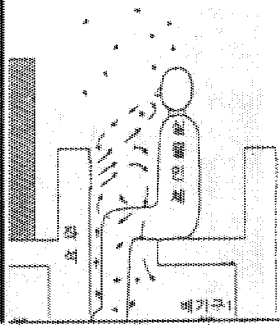


그림-8 기류 스케치
(case 1-2 : 냉방)

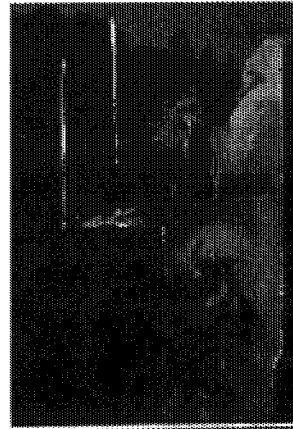


사진-5 기류 가시화
(case 1-3 : 냉방)

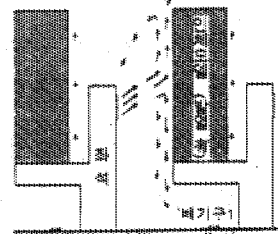


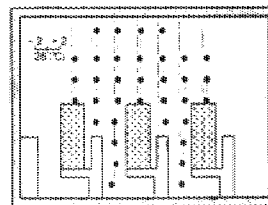
그림-9 기류 스케치
(case 1-3 : 냉방)

면, 뒷면, 측면, 윗면의 순으로 높은 값을 나타내고 있다(그림-18(a)). 실내상부 온도성층(고온)의 영향으로 인체모델 표면은 전체적으로 비교적 높은 온도를 나타내고 있지만, 인체모델 정면의 MRT는 앞좌석 뒷면 및 바닥면 온도가 비교적 낮으므로 다른면에 비해 낮은 값을 나타내고 있다(그림-19(a)).

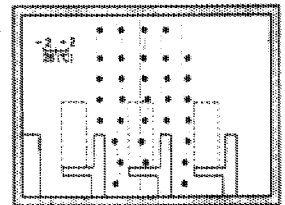
4.3 거주역내 온도성층의 영향을 제거한 냉방의 경우 : Case 1-3

(1) 기류분포

기류분포를 사진-5, 그림-9에 나타내고 있다. Case 1-3은 Case 1-2에서 관찰된 모형상부로부터 인체모델 부근에 걸쳐 형성된 온도성층(고온)의 영향을 제거한 상태에서 기류와 온도분포를 검토하기 위한 Case이다. 인체모델을 9체 모두 설치한 상태에서 중심1체의 인체모델만을 발열, 급기온도도 중심1체만 냉풍(22℃), 그 나머지는 동온급기(27℃)의 조건에서 실험을 실시하였다. 중심1체의 인체모델에 착목했을 경우, 급기분류는



(a) 단면 1 (인체중심)



(b) 단면 2 (인체열)

(기준온도 : 26℃)

그림-10 공간분포온도 (case 1-3)

인체모델에 충돌한 후 크게 들로 나누어져 상승, 하강하고 있다. 상승기류는 인체모델 윗면 정도의 높이에서 하강, 다시 급기분류에 유인되고 있다. 인체모델에 충돌한 후 하강하는 급기류의 일부는 Case 1-2에서와 같이 잘 혼합되지 않고 대부분이 바닥면의 배기구로 배출되고 있다.

(2) 온도분포

공간온도분포를 그림-10, 표-2에 나타내고 있다. 주위 8체의 급기구로부터 배출된 약 27℃의 동온 급기류가 모형실내에 거의 균일하게 분포되어 있으므로 Case 1-2에서 관찰할 수 있었던 두터운 온도성층(고온)은 형성되지 않고 있다. 천정이 높은 실제의 대공간에서는 인체로부터의 열상승류에 의한

온도성층(고온)이 거주역의 윗부분에서 형성되기 때문에 거주역에서의 온도성층(고온)의 영향이 거의 제거되었다는 관점에서 Case 1-3은 천정이 높은 대공간내의 거주역 공조의 특성을 어느 정도 잘 나타내고 있다고 생각할 수 있다. 또한 역으로 천정이 높은 공간에서는 인체발열을 자연스럽게 상부로 옮겨 가게 하므로써 거주역 공간을 균일한 온도로 효율적으로 공조할 수 있다는 것을 암시해 주고 있다.

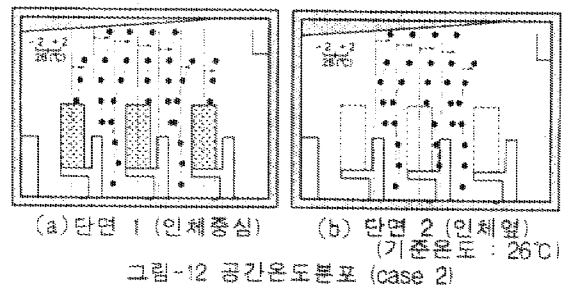
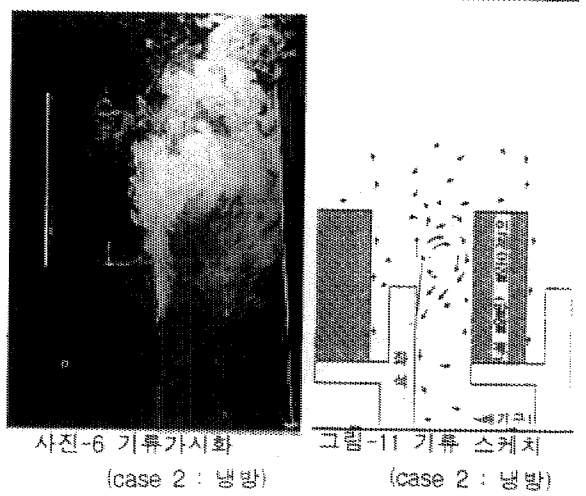
4.4 인체모델 상방으로 냉풍이 도달되도록 급기각도와 급기풍속을 증가시킨 경우 : Case 2

(1) 기류분포

기류분포를 사진-6, 그림-11에 나타내고 있다. 급기각도(85°)와 풍속(약 1.2m/s)이 비교적 크므로(급기분류의 아르키메데스(Ar) 수는 Case 1-2의 약 1/100, 표-2 참조) 인체모델 윗면에 까지 냉풍이 도달되고 있다. 전방 및 거의 수직으로 송풍된 냉각공기는 인체모델 頂部정도의 높이에서 좌석 앞뒤쪽으로 흐름이 크게 틀로 나뉘어져 각각 渦流를 형성하고 있다. 인체모델 주변의 cold draft는 관측되지 않고 있다.

(2) 온도분포

공간온도분포를 그림-12, 표-2에 나타내고 있다. 급기각도(약85°)와 풍속(약 1.2m/s)을 비교적 크게 함으로서 냉각공기는 인체모델 상부에 도달되어 인체열상승류와 잘 혼합되고 있다. 즉, Case 1-2와 달리 인체발열



부하의 보다 많은 양을 거주역(좌석급기공조)에서 회수하는 것이 가능하게 된다. 인체모델 상부의 공기온도는 저풍속인 Case 1-2보다 낮은 온도(약 2.5~4°C저하)를 나타내고 있다. 그러나 모든 인체발열부하를 거주역내의 배기구1(바닥)을 통해서 회수하지는 못하고 있기 때문에 거주역 상부는 회수되지 못한 열상승류에 의해 설정온도인 26°C보다 다소 높은 온도를 나타내고 있다. 그러나 급기분류가 도달되는 높이보다 아래쪽은 거의 균일한 온도를 나타내고 있다. 이처럼 강한 인체열상승류와 대항하기 위해서는 인체모델상부에 급기분류가 도달될수 있도록 어느정도 빠른 풍속으로 냉기를 송풍하여 인체모델상부에서 냉기의 사위가 형성되도록 하는 것이 효과적이다. 즉 이것은 온도성층

(고온부)에 대항하기 위해 부력에 상응하는 관성력을 급기분류에 부여하는 것과 동일한 효과라 할 수 있다. 그리고 short circuit 발생 정도는 저풍속(Case1-2)인 경우보다 확연하게 줄어들고 있다.

(3) 복사·대류 열전달

복사·대류 열전달 계산결과를 그림-17, 18, 19, 표-3에 나타내고 있다. 인체모델(중심1체)에서 주변 각 물체로의 전복사열전달량은 공간상부의 온도성층(고온) 경감의 영향으로 19.7kcal/h(인체발열의 약 39%)로서 Case 1-2에 비해 증가하고 있다(표-3). 인체모델(중심1체)에서 다른 물체로 전달되는 열복사 중 천정면, 각벽면, 바닥면 등으로 복사되는 비율이 약 44%로 증가하고 있는 것도 같은 영향에 의한 것으로 생각된다(그림-17(b), 표-3). 급기각도를 85°로 증가시킴으로서 인체모델에 급기분류가 직접 도달되지 않으므로 인체모델 정면은 Case 1-2보다도 고온(약 31°C)이 되어 인체모델 정면에서 다른 거주역내 물체나 물체표면으로의 복사전열량은 증가하고 있다(그림-18(b)). 인체모델(중심1체) 각면의 MRT분포는 Case 1-2에 비해 낮은 값을 나타내고 있다(그림-19(b)).

4.5 저속으로 급기한 상태에서 좌석급기 풍량의 1/2을 공간상부를 통해 배출하는 경우 : Case 3

(1) 기류분포

기류분포를 사진-7, 그림-13에 나타내고



사진-7 기류 가시화
(case 3 : 냉방)

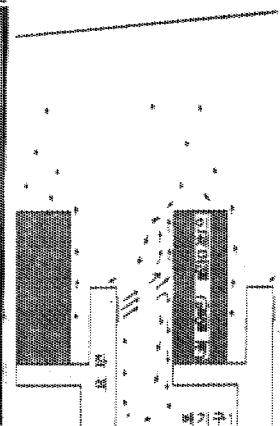
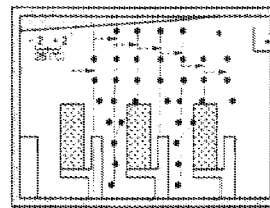
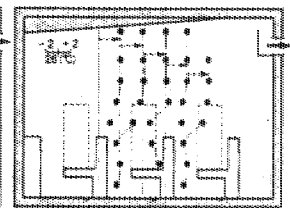


그림-13 기류 스케치
(case 3 : 냉방)



(a) 단면 1 (인체 중심)



(b) 단면 2 (인체 옆)

(기준온도 : 26°C)

그림-14 공간온도분포 (case 3)

있다. Case 3은 Case 1-2와 같이 인체모델을 향하여 저속으로 송풍하지만 배기조건이 다르다. 인체열상승류를 배출하기 위한 배기를 거주역내(배기구1) 뿐만 아니라 공간상부(배기구2)를 통해서도 배출하므로써 거주역내의 급배기풍량 밸런스환기 개념을 포기한 Case라 할 수 있다. 인체열상승류가 상부공간으로 移流된 만큼 거주역내 공조열부하는 줄어들어 급배기온도차를 줄일 수 있는 효과를 기대할 수 있으며, 천정배기(배기구2)를 통해서도 열이 배출되기 때문에 거주역상부에서는 온도성층(고온)이 Case 1-2보다 약화되어 있다. 그러나 거주역 중상부에서는 여전히 온도성층(고온)이 존재하고 있으므로 비교적 높은 온도를 나타내고 있다. 전반적으로 기류분포는 Case 1-2와 거의 동일한

양상을 보이고 있다. 급기분류의 Ar수는 Case 1-2와 거의 같은 값(표-2)으로서, 저속의 급기분류는 인체모델에 충돌한 후 인체모델을 따라서 일부가 상승하여 인체모델 윗면부근에서 하강하고 있다. Case 1-2보다 공간상부에서의 온도성층(고온)이 약화된 만큼보다 상부까지 급기분류가 도달되고 있다. Case 3에서도 Case 1-2에서와 같이 거주역내 온도성층(고온)과 저속급기 영향으로 급기분류의 short circuit가 관측되고 있다.

(2) 온도분포

공간온도분포를 그림-14, 표-2에 나타내고 있다. 인체모델 상부에서부터 공간상부에 이르는 영역은 일정하게 약 29°C 이상으로 상승하여 온도성층(고온)을 형성하고 있음을 알 수 있다. 급기풍량의 1/2을 배기구2(공간상부)로 배출함으로써 인체모델 상부는 바닥을 통해 전량 배출하는 Case 1-2보다 낮은 온도를 나타내고 있으나, 설정온도(26°C)보다는 2~3°C 높은 온도를 나타내고 있다. Case 1-2에서와 같이 급기분류(급기각도: 45°)가 도달하는 높이(인체모델상부)를 경계로하여 그 상부는 고온, 하부는 배기온도와 거의 같은 설정온도를 나타내고 있다. 각 배기구의 排熱상황은 바닥의 배기구1을 통해 전인체발열량의 약 30%가, 공간상부의 배기구2에서는 약 70%가 배출되고 있다(표-2). 배기구1(바닥)에서 약 87%를 배열시키고 있는 Case 1-2의 결과와 비추어 봤을 때 배기구1을 통한 배열효과는 극히 미약하다는 것을 알 수 있다. 이것은 바닥배기가 천정배

기보다 排熱효율이 떨어진다는 것을 시사해 주고 있다. 또한 좌석급기구의 급기온도는 22.8°C로서 Case 1-2보다 약 1°C 높은 급기온도로 거주역내가 설정온도(26°C)로 유지되기 때문에 급배기온도차(에너지소비량)를 줄여서 공조할 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

(3) 복사·대류 열전달

복사·대류 열전달 계산결과를 그림-17, 18, 19, 표-3에 나타내고 있다. 인체모델(중심1체)에서 주변 각 물체 등으로의 전복사전열량은 17kcal/h(인체발열량의 약 34%)로서 Case 1-2보다 약간 적다(표-3). 한편, 인체모델(중심1체)에서 주변물체로의 복사열교환에 착목하면 거주역내 물체(坐좌석 및 다른 인체모델)로의 복사전열량이 Case 1-2에 비해 감소하고 있다(그림-17(c), 표-3). 인체모델(중심1체) 각면에서의 복사열이동량은 Case 1-2와 같이 인체모델 정면, 뒷면, 양측면, 윗면의 순으로 높게 나타나고 있다(그림-18(c)). Case 1-2 보다 윗면으로부터의 복사열량만 증가되어 있는데 이것은 온도성층(고온)의 정도가 약화됨에 따라 천정면 표면온도가 저하되었기 때문이라고 생각할 수 있다. 인체모델(중심1체)의 MRT는 Case 1-2보다 모형상부의 벽면온도가 저하되어 있기 때문에 인체모델 중상부의 MRT가 약 1°C씩 낮은 값을 나타내고 있다(그림-19(c)). 인체모델 하부의 MRT는 Case 1-2와 거의 같은 값을 나타내고 있다.

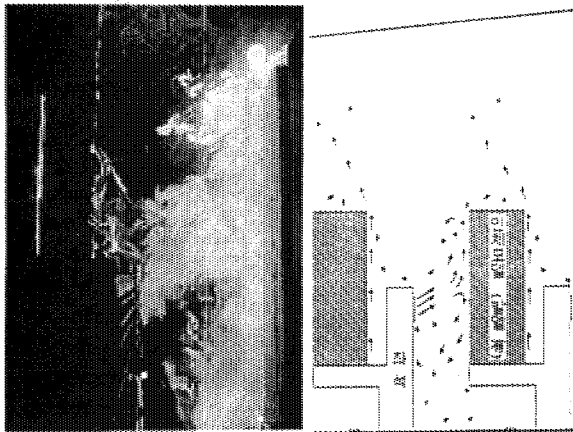
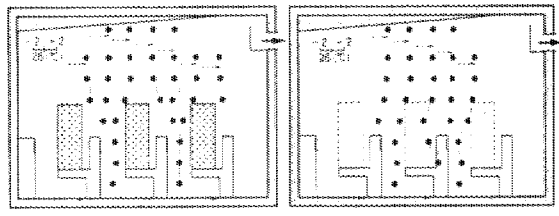


사진-8 기류 가시화
(case 4 : 냉방)

그림-15 기류 스케치
(case 4 : 냉방)



(a) 단면 1 (인체 중심) (b) 단면 2 (인체열)
기준온도 : 26℃
그림-16 공간온도분포 (case 4)

4.6 천정단독 배기의 경우: Case 4

(1) 기류분포

기류분포를 사진-8, 그림-15에 나타내고 있다. 인체모델 부근에서 Cold draft는 발생되지 않고 있다. 동일한 급기조건에서 바닥으로 배기하는 Case 1-2 및 바닥·천정병용 배기방식인 Case 3보다 급기분류는 보다 높은 곳까지 도달하고 있다. 이것은 열원(인체모델)보다 높은 곳에 배기구를 설치함으로써 상승열이 효과적으로 배출되어 공간상부의 온도성층(고온) 형성이 약화되었음을 의미한다.

(2) 온도분포

공간온도분포를 그림-16, 표-2에 나타내고 있다. 인체모델 윗면이하의 공간에서는 설

표-3 인체모델(중심1체) 열이동현황 (단위: kcal/h)

실험 Case	중심1체의 열이동내역		중심1체의 복사열이동내역	
	복사	대류	거주역내 물체 주)	기타
1-2	18.3 (37%)	31.7 (63%)	10.8 (59%)	7.5 (41%)
2	19.7 (39%)	30.3 (61%)	11.0 (56%)	8.7 (44%)
3	17.0 (34%)	33.0 (66%)	9.5 (56%)	7.5 (44%)
4	17.4 (35%)	32.6 (65%)	9.3 (53%)	8.1 (47%)

주) 거주역내 물체는 전인체모델과 좌석물, 기타는 천정, 벽(앞, 뒤, 양쪽벽면), 바닥면을 지칭하고 있다.

정온도(26℃)를 유지하고 있지만, 그 상부공간에서는 인체발열에 의한 온도성층(고온)이 형성되어 있어서 설정온도보다 약 2~2.5℃ 높은 온도를 나타내고 있다. 그러나 바닥독 혹은 천정·바닥병용배기방식인 Case 1-2 및 Case 3 보다 인체모델 상부에서의 온도성층(고온)은 현저하게 약화되어 있다. 좌석급기온도는 23.3℃로서 Case 1-2의 21.7℃, Case 3의 22.8℃ 보다 높게 급기온도를 설정할 수 있다.

(3) 복사·대류 열전달

복사·대류 열전달 계산결과를 그림-17, 18, 19, 표-3에 나타내고 있다. 인체모델(중심1체)에서 주변 각물체 등으로 전달되는 복사열량은 17.4kcal/h(인체발열량의 약35%)이며, 그 나머지 32.6 kcal/h(인체발열량의 약 65%)는 대류에 의해 직접공기에 전달된다(표-3). 인체모델(중심1체)로부터의 복사전열량의 약 53%는 천후 좌석 등의 거주역내 물체에 전달되고, 그 나머지는 천정, 측벽, 바닥에 전달되고 있다(그림-17(d), 표-3). 중심1체의 인체모델에 착목한 경우, 인체모델 각면으로부터의 열복사량은 인체모델의 정면, 뒷면, 양측면, 윗면의 순으로 높다(그림

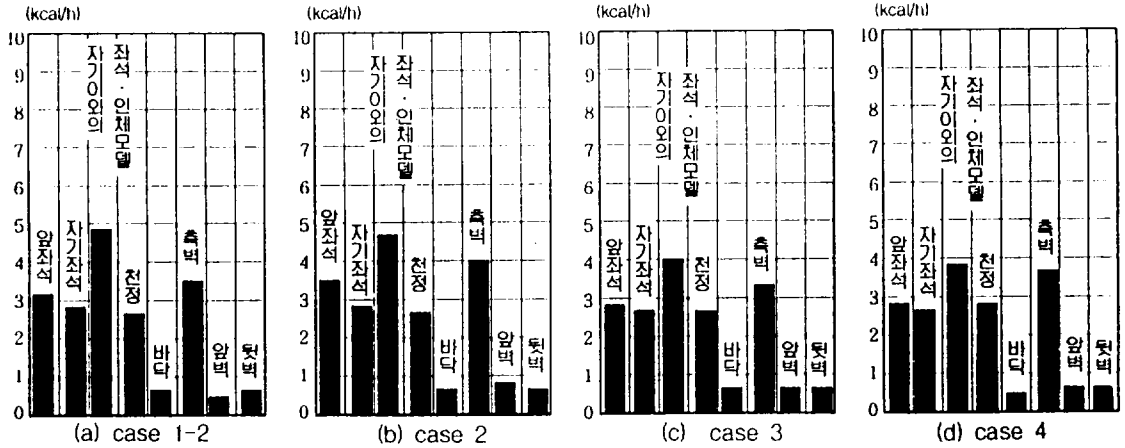


그림 17 인체모델(중심1체)에서 주변물체로의 복사열 이동량

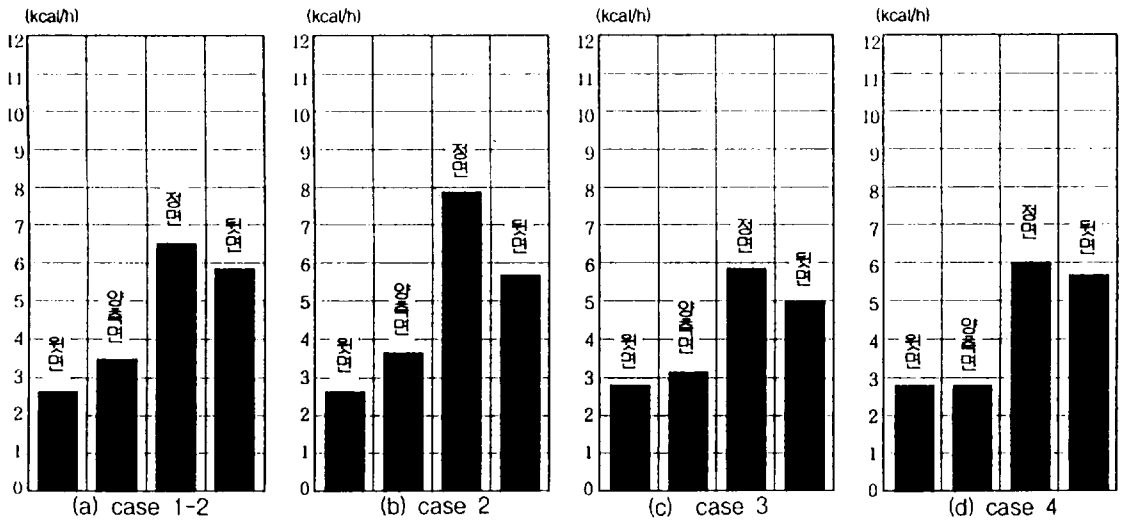


그림 18 인체모델(중심1체)각면의 복사방열량

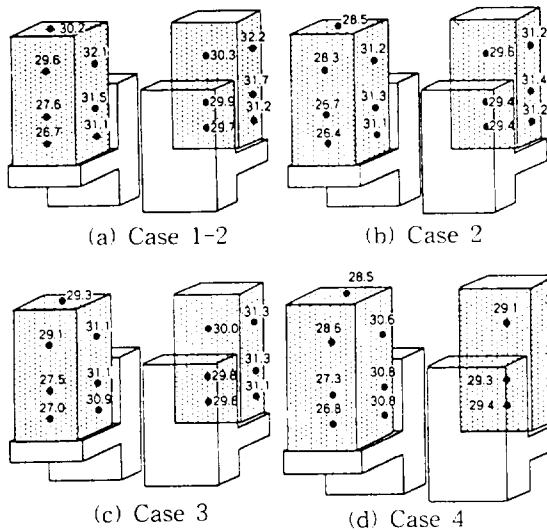


그림-19 인체모델(중심1체) MRT분포

-18(d)). 인체모델(중심1체)의 MRT분포는 바닥 혹은 천정·바닥병용배기방식인 Case 1-2 및 Case 3 보다 현저하게 낮은 값을 나타낸다(그림-19(d)).

5. 결론

① 좌석급기공조 시스템을 채용한 대극장의 거주역공간 일부를 모델화하여 가시화실험 및 기류, 온도분포를 상세히 측정, 검토하였다.

② 저속으로 인체를 향하여 급기하는 방식에

서는 인체로부터의 열상승류가 강하여 거주역 위로 열류가 상승하므로 거주역내에서 급배기 풍량을 일치시켜서 거주역내의 모든 인체열 부하를 처리하는 것은 불가능하다.

③ 저속으로 인체를 향하여 급기한 경우, 인체모델로부터의 열상승류의 대부분은 급기기류와 혼합되지 못하고 상승하여 공간상부에 온도성층(고온)을 형성한다. 또한 급기기류는 주변공기와 교반되지 못하고 좌석밑 배기구로 Short Circuit 되는 현상을 볼 수 있었다.

④ 거주역내 온도성층의 영향을 제거한 Case 1 3에서는 저속의 급기분류는 인체모델 상부에까지 도달하여 거주역 상하에서 일정하게 설정온도(26℃)를 나타내었다.

⑤ 저속으로 급기한 실험조건에서는 평균급기풍속이 0.18m/s 이하로서 인체모델주변에 Cold Draft는 관찰되지 않았다.

⑥ 인체로부터의 강한 열상승류에 대항하기 위해서는 인체 상방으로 어느 정도 강한 풍속으로 송풍하여 냉기의 샤워를 형성시키는 것이 효과적이다. 이 경우에도 인체모델 주변에는 드래프트가 관측되지 않았다.

⑦ 급기풍량의 일부를 공간상부를 통하여 배출시키는 것은 인체로부터 거주역위 공간상부로 이루어는 열류배출에 효과적이다. 단, 이번에 검토한 급배기조건에서는 공간상부에 정체되어 있는 모든 인체발열을 유효하게 배출시키지 못하여 온도성층(고온)을 형성시켰다.

⑧ 천정단독배기방식은 거주역의 온도성층(고온)을 효과적으로 배출한다. 거주역내의

온도저하에는 바닥단독 배기방식, 바닥·천정병용 배기방식 보다 유효하다. 그러나 한편으로는 천정단독 배기방식보다 천정·바닥 병용 배기방식이 에너지절약 효과를 거둘 수 있는 가능성은 내재되어 있다.

⑨ 복사열 전달계산에 의해 물체간의 복사열 전달 프로세스 및 물체표면에서의 대류열전달량을 산출, 분석함으로써, 실내의 열전달 상황을 체계적으로 이해할 수 있었다.

⑩ 실험에서 측정된 표면온도를 이용하여 극장 거주역공간을 대상으로 복사계산을 실시하여 상세한 복사열 이동상태를 파악하였다. 공간상부에서 발생하는 온도성층(고온)의 온도저하에 따른 인체모델로부터 천정면, 벽면 등 모형상부로의 복사열은 증가하였다. 이 같은 경향은 형태계수는 다르지만 실제 대공간에서도 관찰할 수 있을 것으로 예상된다.

⑪ 이번 실험에서 이용된 인체모델(발열체)은 균일한 표면온도 성능을 나타내었다. 이것은 수치시뮬레이션 결과가 대응을 생각할 때 특히 유리하다.

참 고 문 헌

- 1) 村上周三, 加藤信介, 孔鐵男, 中川浩之 : 大架構建築内の溫熱・空氣環境に関する研究, 生産研究第39卷 第9号, 1987.9
- 2) 建築設計資料集成, Vol.3(單位空間), p6~7, 日本建築學會編, 丸善
- 3) 小林光・村上周三・加藤信介・崔棟皓・大森敏明 : 複雑形状室内空間における熱移動解析, 空氣調和・衛生工學會學術講演會講演論文集, 1992