

# 좌석급기공조에 관한 연구(Ⅱ)

모형실험에 의한  
고속급기 및 바닥, 천정용 배기방식의 검토

최동호/日本 九州大學院 總合理工學研究科 助手·工學博士

## 1. 서론

제1편<sup>문1)</sup>에서는 대공간의 효율적인 공조방식의 하나로서 좌석급기공조(냉방)시스템을 개발하여, 거주역내 인체주변의 기류와 온도분포에 대해서 상세히 검토하였다. 그 결과, 인체모형을 향해 저풍속으로 공조공기(냉풍)를 공급하여 급기풍량의 전부를 바닥배기구로 배출시킨 경우, 인체열상승류가 상부공간으로 이동함으로써 전인체열부하를 거주역내에서 회수하는 거주역공조(부분공조) 개념의 완결이 불가능하다는 것을 발표하였다. 제2편에서는 거주역내에서 발생된 열량은 거주역내에서 전량 회수한다는 방침에서 벗어나, 바닥배기구뿐만 아니라 거주역외측 상부공간에서도 동시에 배기를 실시하는 천정, 바닥 병용배기(환기)방식을 검토하고 있다. 본 논문에서는 좌석급기공조시스템의 효율을 향상시키기 위하여 급배기조건, 즉 급기풍속 및 풍향, 각 배기구의 위치와 풍량등을 해석파라미터로 설정하여

공간내의 기류와 온도분포를 모형실험에 의해 상세히 검토함과 동시에, 모형실험에 의해 얻어진 벽면과 물체의 표면온도를 이용하여 실내의 복사 및 대류에 의한 열이동현상을 구조적으로 해석한다.

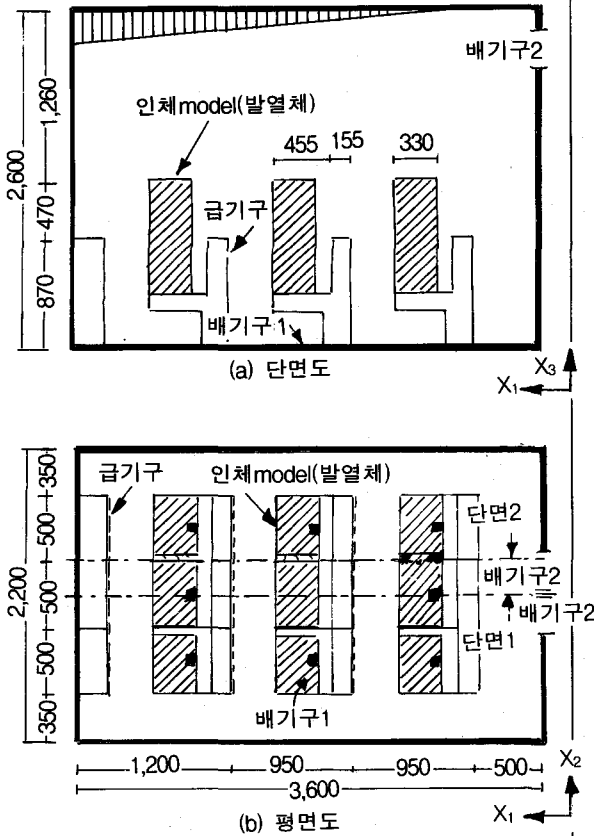
## 2. 실험개요

**2.1 해석대상공간** 극장, 홀 등의 대공간 객석부(거주역)를 해석대상공간으로 하고 있다. 본 연구에서는 효율적인 좌석급기공조(냉방)방식을 검토하고 있으며, 객석부 바닥면에서 약 2m정도의 높이를 거주역으로 정의하여, 거주역내의 열, 공기유동을 해석한다. 각 좌석의 뒷면 상부에는 급기구가 설치되어 있다.

**2.2 모형개요**[그림1참조] 극장의 거주역 공간내의 좌석 9석분을 모델화 하였다. 모델화된 공간의 천정높이는 2.6m로 설정하였다. 모델 공간내의 천정, 바닥, 벽은 모두 단열체로 단열. 9석의 공조좌석에는 인체모형(발열체)을 설치·좌석급기공조의 제원 및 실험모형의 공

## 설비강좌

[그림 1] 실험대상공간 (단위 : mm)



조계통, 인체모델의 구조 및 발열제어의 정도 등에 관한 상세한 내용은 문헌 1,2를 참조. 좌석의 뒤면상부에는 급기구를, 좌석 밑 바닥에 배기구1과 거주역에서 회수하지 못한 인체열 상승류를 상부공간에서 배출시키기 위해 모형 상부에 배기구2를 설치하였다. 좌석급기구의 급기각도는 급기구에 설치된 풍향조절용 벤으로 조정하도록 되어 있다. 그리고 천정이 낮은 실내에서 거주역에 영향을 주지 않고 인체열 상승류를 자연스럽게 배출시키기 위해 모형천정은 경사식으로 설계하였다.<sup>주1)</sup> 모형의 천정, 바닥, 내벽 및 각 물체표면은 흑색페인트(적외선방사율 0.93)로 도장.

### 2.3 실험종류 및 설정조건

[표1.참조] 실험은 저풍속으로 좌석급기풍량 전부를 배기구1(바닥)로 배기하는 경우(Case2), Case2와 동일한 급기조건에서 급기풍량의 1/2을 배기구2(공간상부)로 배기하는 경우(Case3), Case3과 동일한 배기조건에서 급기풍량(약85°)과 풍속(약1.2m/s)을 증가시켜 공조공기가 거주역상부에서 인체열상승류와 잘 혼합되도록 한 Case4, Case4보다 급기풍속(약2.4m/s)을 높인Case5, 이상의 Case4에 대해서 검토한다. 열전대에 의한 공간 및 벽면온도측정, 3차원 초음파풍속계에 의한 풍속측정, 그리고 기류의 가시화를 실시하여 거주역내 온열환경을 평가한다. 측정된 물체표면온도를 이용하여, 실내복사열이동 해석을 실시하고 있다.(상세한 내용은 문헌 1참조) 실험은 각 Case마다

[표 1] 실험종류 및 설정조건

검 토 Case	급기 각도 (°)	인 체 발열량 (kcal/h)	급기 풍속 (m/s)	풍 량(m <sup>3</sup> /h)			온도 (°C)			급기분류Ar수	배열량(Kcal/h)	
				급기구	배기구1	배기구2	급기구	배기구1	배기구2		배기구1	배기구2
2	85	450(9인)	1.2	315(9석)	315	0	21.3	26.0	-	0.0083	431 (96%)	-
3	45	동상	0.18	동상	145	170	22.8	동상	29.2	0.6600	135 (30%)	315 (70%)
4	85	동상	1.2	동상	155	160	21.7	동상	27.1	0.0076	192 (43%)	251 (58%)
5	동상	동상	2.4	동상	157.5	157.5	21.9	동상	26.9	0.0009	187 (42%)	229 (51%)

## 좌석급기공조에 관한 연구(II)

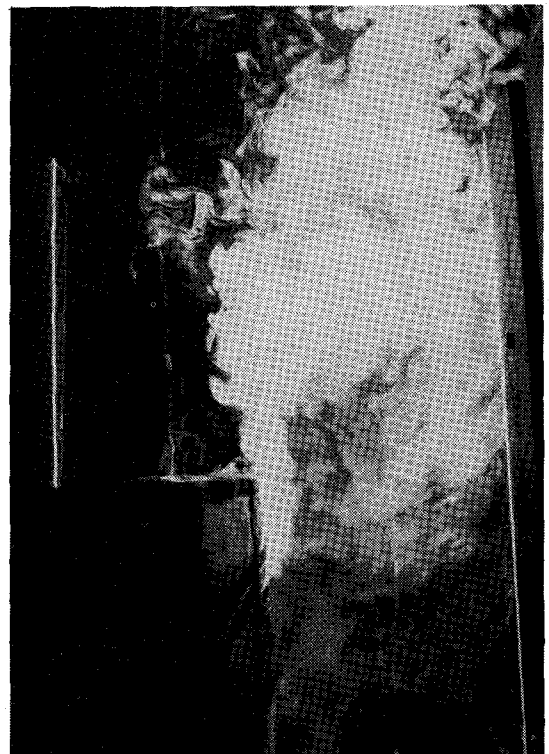
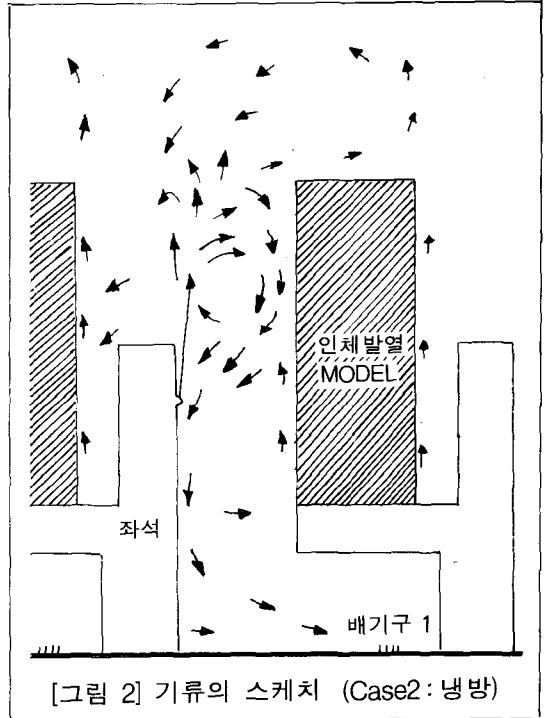
배기구1(바닥)의 배출공기온도가 설정온도인 26℃가 되도록 급기온도를 조정하여 실험을 실시하였다. 각 실험 Case마다 급배기온도차를 측정하여 각 배기구의 배출열량을 산출, 그 결과도 함께 비교, 검토한다

### 3. 실험결과 및 고찰

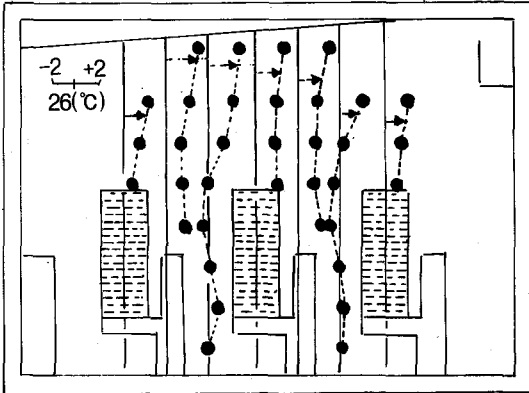
3.1 인체모델상방으로 냉풍이 도달되도록 급기풍향(약85°)과 풍속(1.2m/s)을 증가시킨 경우 (바닥단독배기) : Case2

3.1.1 기류분포[사진1, 그림2참조] 급기풍향(85°)과 풍속(약 1.2m/s)이 비교적 크므로 인체모델 윗면에 까지 냉풍이 도달되고 있다. 거의 수직으로 송풍된 냉각공기는 인체모델 정부정도의 높이에서 좌석 앞뒤쪽으로 흐름이 크게 돌로 나뉘어져 각각 와류를 형성하고 있다. 인체모델 주변의 cold draft는 관측되지 않고 있다.

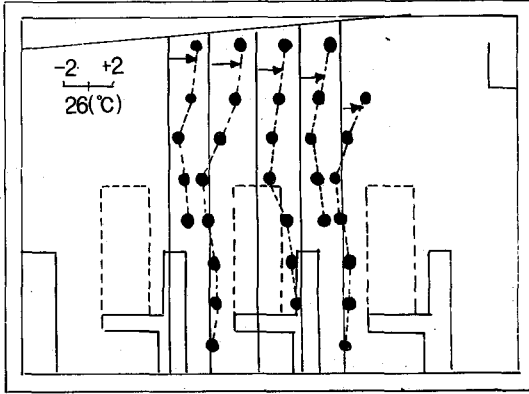
3.1.2 온도분포[그림3, 표1참조] 급기풍향과 풍속을 비교적 크게 함으로서 냉각공기는 인체모델 상부에 도달되어 인체열상승류와 잘 혼합되고 있다. 그 결과, 제1편<sup>문1)</sup>에서 검토한 급기가 저속인 경우(Case 1-2)보다 보다 많은 열량이 배기구1(바닥)을 통해 배기되고 있다. 인체모델 상부도 저풍속인 Case1-2(결과 생략, 문헌1참조)보다 상대적으로 낮은 온도(약 2.5-4℃저하)를 나타내고 있다. 그러나, 거주역 내의 배기구1(바닥)을 통해서 인체열부하전체를 회수하지 못하고 있기 때문에, 거주역상부는 설정온도인 26℃보다 다소 높은 온도를 나타내고 있다. 그러나 급기분류가 도달되는 높이보다 아래쪽은 거의 균일한 온도를 나타내고 있다. 이처럼 강한 인체열상승류와 대항하기 위해서는 인체모델상부에 급기분류가 도달될 수 있도록 어느정도 빠른 풍속으로 냉기를 송풍하여, 인체모델상부에서 냉기의 샤워가 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 발생정도는 저풍속(case1-2)인 경우보



[사진 1] 기류의 가시화 (Case2: 냉방)

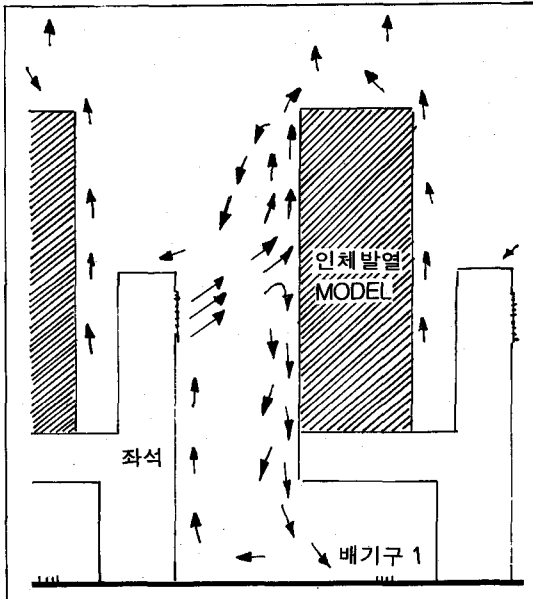


(a) 단면2(인체의 중심)



(b) 단면2(인체옆)

[그림3] 공간온도분포(Case2)(기준온도 : 26°C)



[그림 4] 기류의 스케치 (Case3: 냉방)

다 확연하게 줄어들고 있다.

3.1.3 복사열이동해석 [그림 10, 11, 12, 표2참조] 인체모델 (중심 1체)에서 주변으로 전달되는 복사열량중에서 약 59%가 거주역내의 물체에 전달되고 있다(그림 10, 표2) 인체모델 (중심1체)에서 방출되는 복사열량은 인체모델 앞면, 뒷면, 양측면, 윗면의 순으로 높게 나타나고 있다(그림 11) 인체모델(중심 1체)의 MRT는 급기기류 등에 의해 인체모델 앞쪽의 물체표면온도가 비교적 낮기 때문에 인체모델 앞면의 MRT도 다른 면보다 낮은 분포를 나타내고 있다(그림 12)

3.2 급기풍량의 1/2을 상부공간에서 배출하면서 급기풍속을 저속(0.18m/s)으로 한 경우 (풍향 : 45°, 바닥, 천정병용배기) : Case3

3.2.1 기류분포[사진2, 그림4참조] Case3은 인체열상승류를 배출하기 위한 배기를 거주역내(배기구1) 뿐만 아니라 공간상부(배기구2)를 통해서도 배기함으로서, 거주역내 급배기풍량 밸런스환기의 개념이 약화된 Case라고 할 수 있다, 인체열상승류가 상부공간으로 이루어진 만큼 거주역내 공조열부하는 줄어들어 급배기 온도차를 줄일 수 있는 효과를 기대할 수 있으며, 천정배기(배기구 2)를 통해서도 열이 배출되기 때문에 거주역상부에서는 온도성층(고온부)이 Case2보다 약화되어 있다. 그러나 거주역 중상부에서는 여전히 온도성층(고온부)이 존재하고 있으므로 비교적 높은 온도를 나타내고 있다. Case3에서도 Case2에서와 같이 거주역내의 온도성층(고온부)과 저속급기의 영향으로 급기분류의 short circuit가 관찰되고 있다.

3.2.2 온도분포[그림5, 표1참조] 급기풍량의 1/2을 배기구2(공간상부)로 배출함으로서 인체모델 상부는, 바닥에서 전량을 배기하는 Case2(문헌1참조)보다 낮은 온도를 나타내고 있으나, 설정온도(26°C)보다는 2-3°C 높은 온도를 나타내고 있다. 각 배기구의 배열상황은 바닥의 배기구1을 통해 전인체발열량의 약 30%, 공간 상부의 배기구2에서는 약 70%가

## 좌석급기공조에 관한 연구(II)

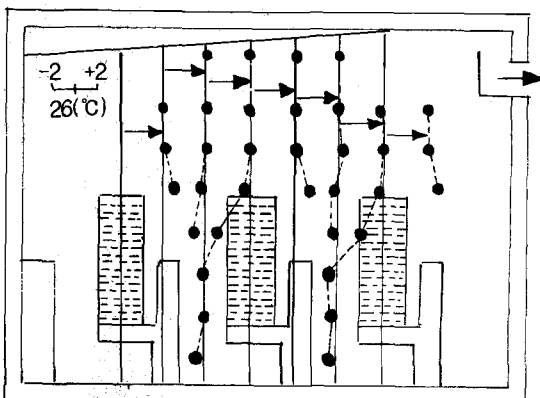
배출되고 있다. 이것은 바닥배기가 천정배기보다 배열효율이 떨어진다는 것을 시사해 주고 있다. 또한 좌석급기구의 급기온도는 22.8℃로서 Case-2보다 약 1℃높은 급기온도로 거주역내가 설정온도(26℃)로 유지되기 때문에, 급배기온도차를 줄여서 공조할 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

3.2.3 복사열이동해석 [그림 10, 11, 12, 표2참조] 거주역 상부의 온도성층(고온부)의 영향으로 거주역내의 벽면 및 물체표면이 비교적 높은 온도를 나타내고 있으므로, 모형내의 벽면 및 물체표면온도가 상대적으로 낮은 Case2 (19.7kcal/h)보다 인체모델(중심1체)이 주변으로 방출하는 복사열량은 17kcal/h(인체발열량의 43%)로서 적은 것을 알 수 있다(표2). 인체모델(중심1체)의 MRT는 Case2보다 천정, 벽면상부의 온도가 높기 때문에 전반적으로 높게 나타나고 있다.(그림 12)

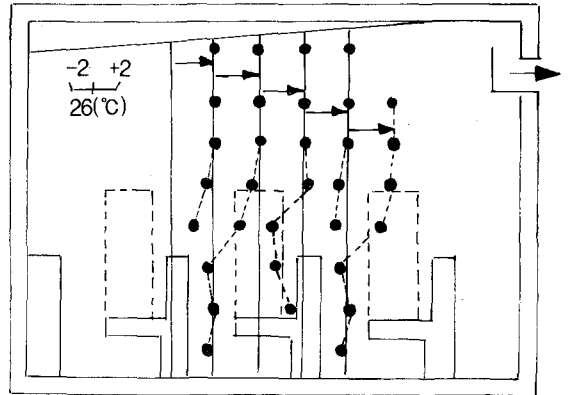
3.3 급기풍량의 1/2을 상부공간에서 배출하면서 인체모델상방으로 냉기가 도달하도록 한 경우(풍속 : 1.2m/s 풍향 : 85°, 바닥, 천정병용배기) : Case4

3.3.1 기류분포 [사진3, 그림6참조] 급기분류의 일부는 인체모델보다 다소 높은 곳에서 하강하기 시작하여 인체모델 전면에서 인체모델을

[그림 5] 공간온도분포 (Case3)(기준온도: 26℃)



(a) 단면1 (인체의 중심)

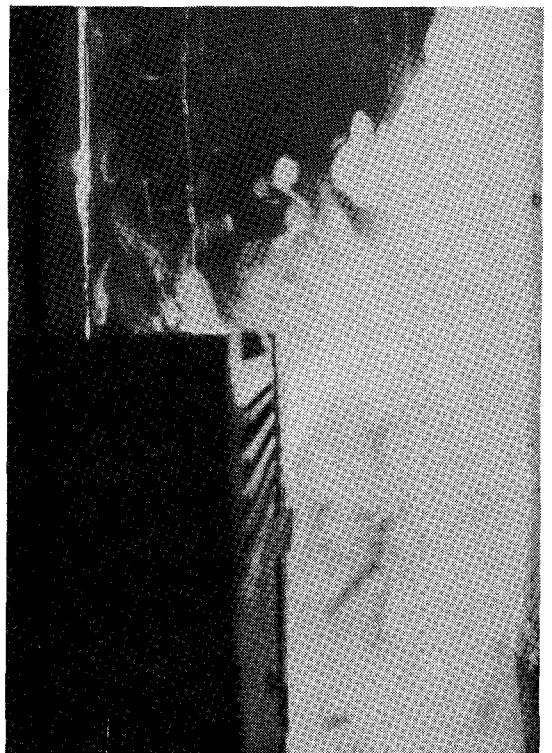


(b) 단면2(인체옆)

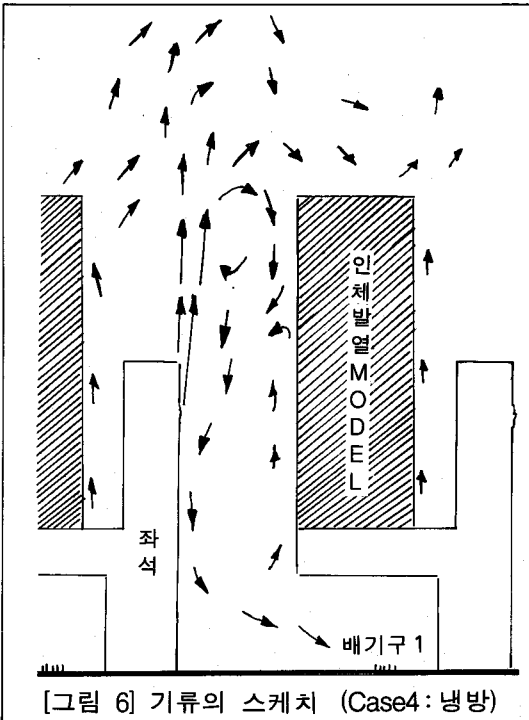
[표 2] 인체모델(중심1체)의 열이동현황

(단위 : kcal/h)

검 토 Case	중심1체의 열이동내역		중심1체의 복사열이동내역	
	복 사	대 류	거주역내물체 <sup>주2)</sup>	기 타 <sup>주2)</sup>
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	21.7(43%)	28.3(57%)	11.1(51%)	10.6(49%)
5	23.9(48%)	26.1(52%)	12.1(51%)	11.8(49%)



[사진 2] 기류의 가시화 (Case3: 냉방)



[그림 6] 기류의 스케치 (Case4: 냉방)

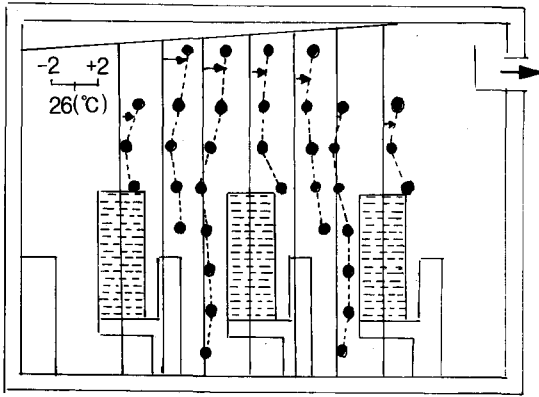


[사진 3] 기류의 가사화 (Case4: 냉방)

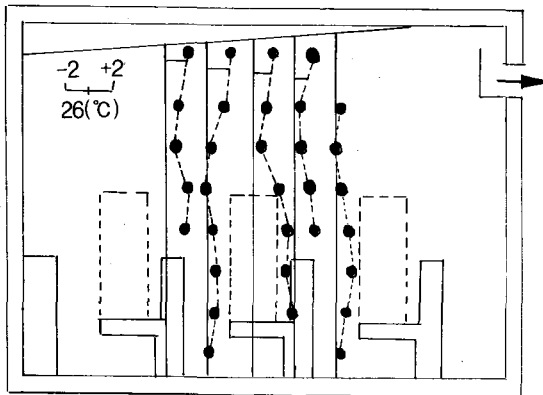
상승류와 혼합되어 작은 와류를 형성하고 있다(사진3, 그림6). 그리고 상부로 향한 급기분류는 약 2m정도의 높이에서 냉기의 샤워를 형성하며 인체열상승류와 혼합되고 있다. 동일한 급기조건에서 급기풍량의 전부를 배기구 1(바닥)로 배출시킨 Case2보다 거주역상부온도가 저하되면서 급기분류도보다 높은 곳까지 도달되고 있다. 좌석급기구 높이보다 하부공간에서는 약한 하강류가 관찰되고 있다. 인체모델 앞쪽에서 비교적 고속(약 1.2m/s)으로 송풍하고 있으므로 인체모델주변의 cold draft 발생이 우려되었지만, 인체모델 상부에서 열상승류와 혼합됨으로서 인체주변의 cold draft는 관측되지 않았다.

**3.3.2 온도분포**[그림 7, 표1 참조] 급기분류는 인체모델 상부에서 인체열상승류와 혼합되므로 거주역상부는 앞에서 검토한 Case에 비해 낮은 온도를 나타내고 있으며, 인체모델부근도 거의 설정온도(26℃)에 가까운 온도를 나타내고 있다. 단, 급기분류가 도달되지 않는 좌석등받이 직상부는 주변보다 다소 높은 온도를 나타내고 있다. 거주역내 상하온도차는 약 1℃정도로서 비교적 균일한 온도를 나타내고 있다. 급기온도는 저풍속인 Case3보다 약 1℃낮게 설정할 필요가 있음을 알 수 있다(표1참조). 배기구의 배열상황은 배기구1(바닥)을 통해 전인체발열량의 약 43%가 배출됨으로서, Case3의 약 30%보다 많음을 알 수 있다. 거주역상부는 바닥단독배기방식인 Case2보다 약 0.2-1℃낮은 온도를 나타내고 있다. 이것은 바닥, 천정병용배기가 바닥단독 배기보다 거주역상부의 온도저하 측면에서 유리하다는 것을 시사해 주고 있다.

**3.3.3 복사열이동해석**[그림 10, 11, 12 표2참조] 인체모델 (중심 1)이 주변으로 방출하는 복사열량은 21.7kcal/h (인체발열량의43%)로서 Case2 (19.7kcal/h), Case3(17.0kcal/h)보다 많음을 알 수 있다(표2). 이것은 냉기의 샤워효과에 의해 모형내의 벽면 및 물체표면온도가 Case2, 3보



(a) 단면1(인체의 중심)



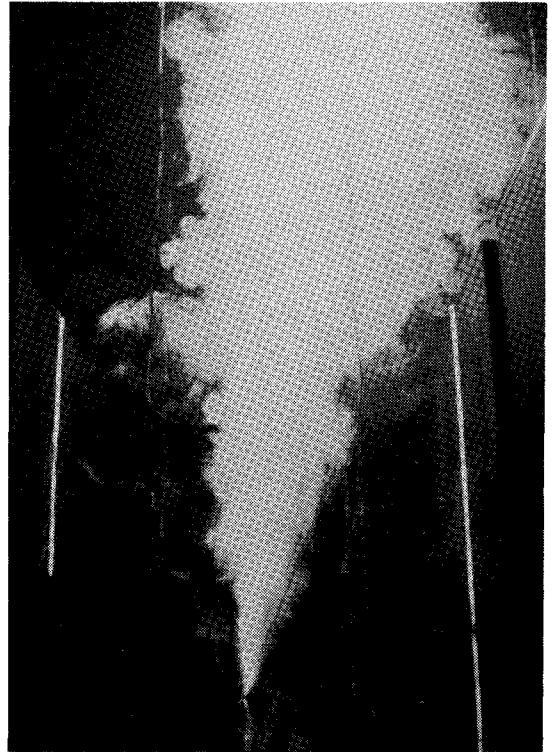
(b) 단면 2(인체옆)

[그림 7] 공간온도분포(Case4)(기준온도 : 26°C)

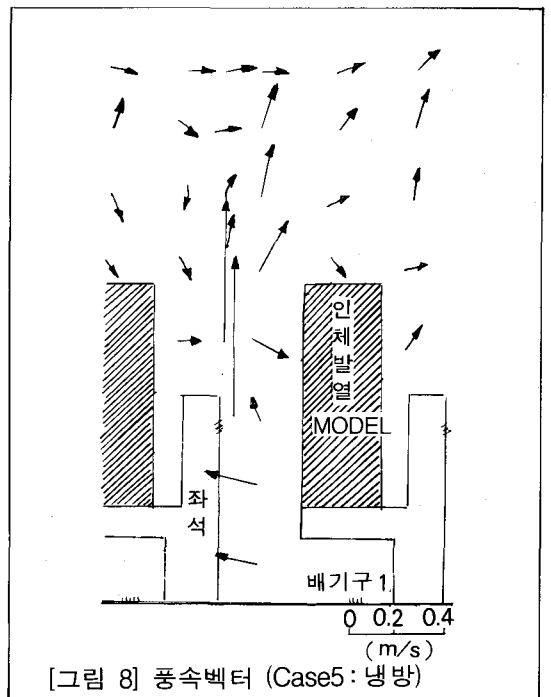
다 낮기 때문이다. 인체모델(중심1체)로부터 복사열량의 약반이 거주역내 좌석, 인체모델에 전달되고 있다(그림 10, 표2). 인체모델의 MRT도 Case2, 3보다 낮은 온도를 나타내고 있다(그림 12)

3.4 급기풍량의 1/2을 상부공간에서 배출하면서 급기풍속을 고속으로 한 경우(급기각도 : 85°, 바닥, 천정병용 배기) : Case5

3.4.1 기류분포[사진4, 그림 8참조] 앞에서 검토한 3Case보다 급기풍속(2.4m/s)이 고속이기 때문에 급기 Ar수는 Case4의 1/8로서, 급기분류가 Case4보다 높은 위치에까지 도달되고 있음을 알 수 있다. 천정이 낮은 본 실험모델에서 급기분류는 천정면에 닿고 있다. 인체모델

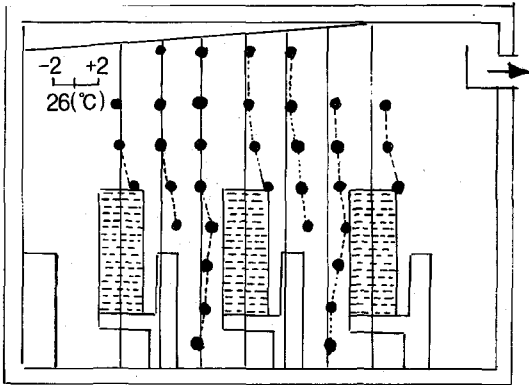


[사진 4] 기류의 가사화 (Case5: 냉방)

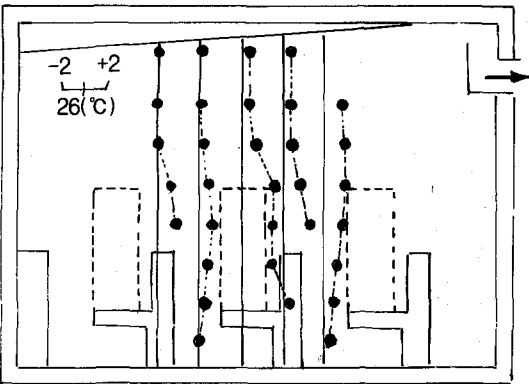


[그림 8] 풍속벡터 (Case5: 냉방)

## 설비강좌



(a) 단면1 (인체의 중심)

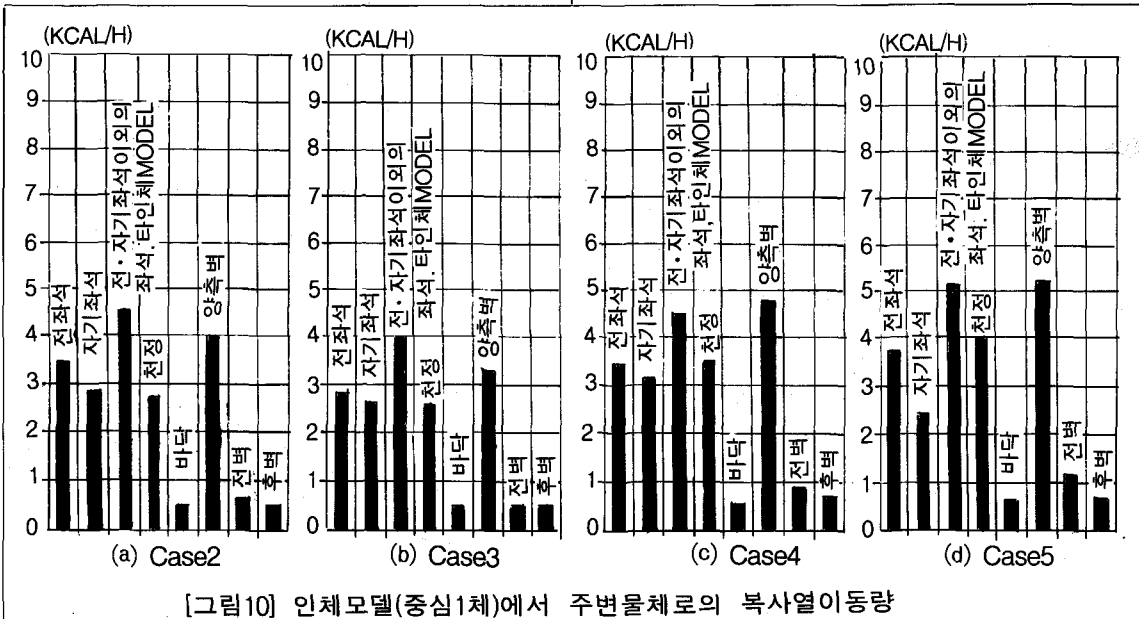


(b) 단면2(인체옆)

[그림9] 공간온도분포( Case5)(기준온도 : 26°C)

앞쪽에서 고속으로 송풍된 급기분류는 천정에 충돌한 후 인체모델열상승류와 혼합, 상쇄되어 실제로 인체모델주변 풍속은 아주 미약한 약 0.2m/s이하로서 인체모델주변의 cold draft는 관측되지 않고 있다.

3.4.2 온도분포[그림 9, 표1 참조] 인체모델열상승류는 거주역상부에서 급기분류와 혼합, 상쇄됨으로서 거주역 전체가 설정온도(26°C)에 가까운 온도를 나타내고 있다. 급기풍속을 고속으로 함으로서 거주역상부 공기온도를 Case4보다 최대 1.5°C저하시킬 수 있음을 알 수 있다. 각 배기구의 배열상황은 배기구1(바닥)을 통해 전인체발열량의 약 42%, 배기구2(공간상부)의 경우 약 51%가 배출되어 Case4와 거의 동일한 분포를 보이고 있다. 이처럼 부분공조의 개념을 좌석급기공조 방식에 의해서 설정된 실내공간(거주역)을 균일한 온도로 제어하기 위해서는, 일반 대공간 냉방 설계시에 많이 채용되고 있는 천정급기방식(냉기를 천정에서 공급하여 하부의 거주역에서 발생된 열상승류와 잘 혼합되도록 함으로서 공간내를 균일한 온도로 유지시킴)과 같은



[그림10] 인체모델(중심1체)에서 주변물체로의 복사열이동량



## 좌석급기공조에 관한 연구(II)

방법으로, 먼저 공조대상영역(거주역)을 설정하여 좌석급기공에서 송풍된 냉기가 설정된 거주역 높이까지 도달되게 함으로서 거주역내에서 발생된 열상승류와 혼합, 상쇄되도록 하는 것이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

**3.4.3 복사열이동해석** [그림 10, 11, 112 표2참조] 전술한 3Case보다 주변벽면 및 물체의 표면온도가 낮으므로 모형내에서 상대적으로 온도가 높은 인체모델(중심1체)로부터 주변으로 전달되는 복사열량(23.9kcal/h)은 4case중 가장 많음을 알 수 있다(표 2). 인체모델(중심1체)에서의 MRT분포 또한 전술한 3Case보다 가장 낮은 치를 나타내고 있다.(그림 11)

### 4. 결론

(1) 저속으로 인체를 향해 공조공기를 송풍할 경우, 인체로부터의 강한 열상승류가 거주역내에서 발생된 전인체열부하를 거주역내에서 전부 회수하는 것은 불가능하다.

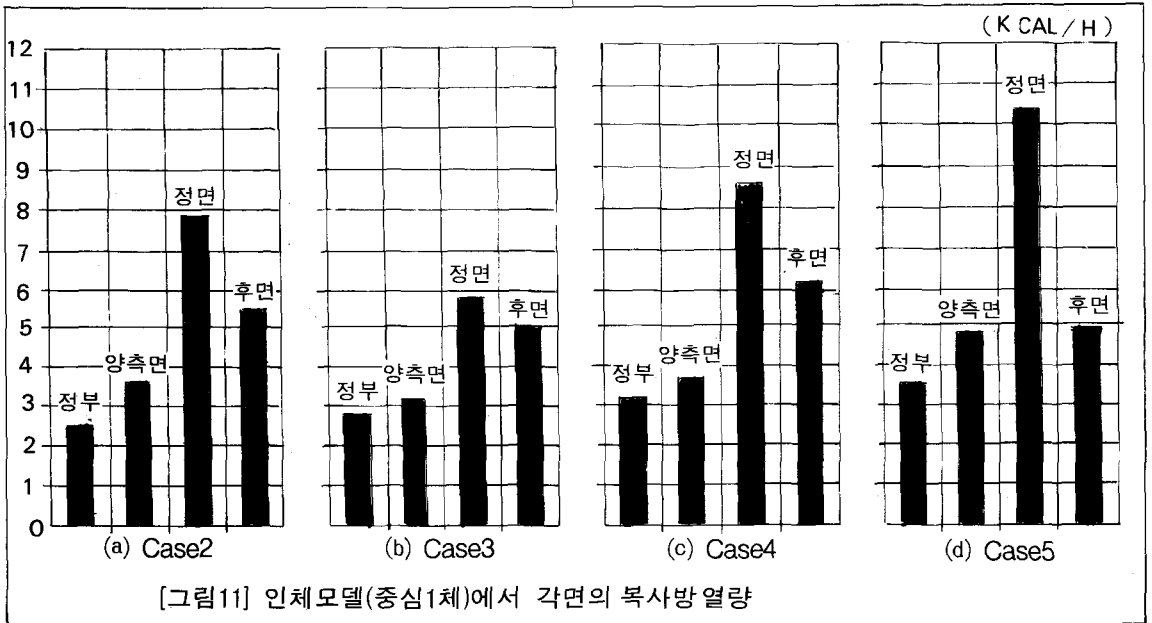
(2) 급기풍속을 증가시킨 경우(2.4m/s), 급기분류에 의해서 공간상부의 고온부가 거의 제거됨으로서 거주역 전체가 설정온도에 가까운 분포를 나타내었다.

### [참고문헌]

- 문1) 崔棟皓, 村上周三, 加藤信介, 丹羽勝巳 : 좌석급기공조에 관한 연구(제1편), 대한건축학회춘계학술발표대회논문집(제13권 제1호), 1993년4월  
 문2) 崔棟皓, 村上周三, 加藤信介外 : 座席吹出空調に関する研究(その1), 日本空氣調和衛生工學會學術講演會論文集, 1992年 10月

주1) 실험의 경우 천정을 경사식으로 하고 있지만, 복사열이동해석에 필요한 형태계수는 계산의 편의상 수평천정으로 하여 계산하였다.

주2) 거주역내 물체는 전인체모델과 좌석을, 기타는 천정, 벽(앞, 뒤, 양측벽면), 바닥면을 지칭하고 있다.



**좌석급기공조에 관한 연구(II)**

(3) 거주역 공간을 설정온도로 유지하기 위해서는 좌석공조의 급기각도와 풍속을 설정하여 인체모델상부에 공조공기가 냉기의 샤워처럼 흩어지면서 하강하도록 하는 것이 유효하다.

(4) 바닥단독배기보다 급기풍량의 일부를 공간상부에 나누어 배기시키는 것이 거주역위 상부공간을 이동하는 인체열상승류를 실외로 배출시키는데 유효하다.

(5) 고풍속으로 송풍한 경우에도 급기각도

를 크게해서 인체모델에 직접 분류가 부닥치지 않도록 조정하면 인체모델에서의 cold draft는 발생하지 않는다.

(6) 실험에 의해 측정된 표면온도를 이용하여 복사계산을 실시하여, 거주역내 물체간의 복사열이동상황을 상세히 파악하였다.

이 논문은 필자가 일본동경대학 대학원 박사과정 당시 村上周三 동경대학 교수 및 加藤信介 동경대학 조교수와 공동으로 연구한 것임을 밝힙니다.

