

좌석급기 공조에 관한 연구(I)

모형실험에 의한 거주역 공간의 기류 및 온도분포 해석

최동호 / 日本 九州大學院 總合理工學研究科 助手·工學博士

1. 서론

본 연구에서는 천정이 높은 대공간(극장, 홀 등)의 효율적인 공조방식의 하나인 거주역공조를 검토한다. 이것은, 대공간의 온열특성인 상하온도 분포와 온도성층의 존재를 적극적으로 이용, 에너지 효율을 고려해서 인간이 거주하는 거주역만을 공조하는 방식이다.
문1,2)

본 연구는 거주역 공조설계의 기초자료 수집을 목적으로 하고 있으며, 대공간에서의 거주역 공조방식을 적용한 좌석급기 공조시스템을 검토한다. 거주역에서 직접 공조공기를 공급하기 때문에 발생되기 쉬운 Cold Draft와 Short Circuit의 발생 유무등을 모형실험에 의해서 확인할 뿐만 아니라, 인체·좌석등이 있는 복잡한 형상하에서의 대류, 복사에 의한 열전달 과정을 상세하게 해석하는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서는 극장의 거주역 일부분을 모델화해서, 인체모델 주변의 기류

를 가시화실험에 의해 검토함과 동시에, 공간 온도분포 및 실내의 복사, 대류에 의한 열전달과정을 해석, 그 결과를 보고한다.

2. 실험개요

2.1 해석대상공간

극장, 홀 등의 대공간 객석부(거주역)를 해석대상으로 한다. 객석부의 바닥에서 약 2m 정도의 높이를 거주역으로 정의, 그 곳의 열, 공기유동을 해석한다. 각 좌석의 뒷면 상부에는 급기구가 설치되어 있다. 이 공조용좌석급기구로 부터의 급기공기가 거주역 공간내에서 발생하는 전열량(인체발열)을 커버하도록 공조투입열량을 산정했다. [표 1]에서는 해석공간내의 공조용좌석 및 인체모델(발열체)의 제원(諸元)을 나타내고 있다.

2.2 모형개요

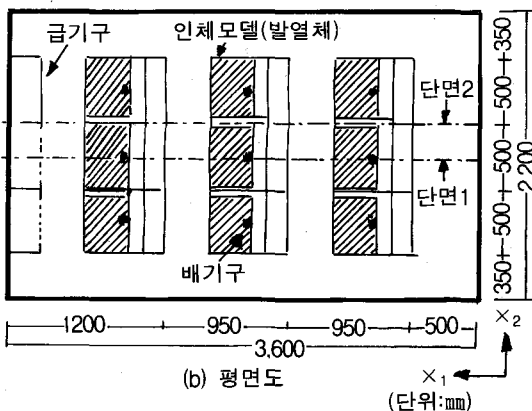
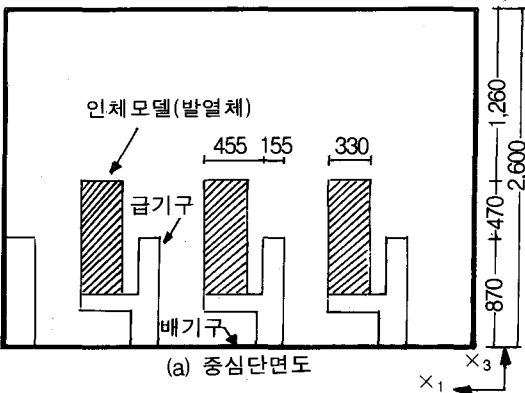
[그림1 참조] 극장의 거주역 공간내 좌석 9석분을 모델화 했다. 모델화된 공간의 천정 높이는 2.6m로 설정했다. 모형의 축척은 실

[표1] 좌석공조의 제원 (단위:mm)

좌석	500(W) × 870(H) × 610(D) 950 × 500(의자간격)
급기구	395(W) × 140(H), 35m ³ /h·석(풍량)
배기구	75(직경), 35m ³ /h·석(풍량)
인체모델 (발열체)	450(W) × 930(H) × 330(D), 현열만 고려 50kcal/h·체, 1.52m ² /체

[표2] 실험종류 및 설정조건

검토 Case	급기 각도 (°)	급기구 풍량 (m ³ /h)	풍속 (m/s)		인체발 열량주3 (kcal/h)	급기구온도 (°C) 주4	배기구 온도 (°C)	공조회수 열량 주3,4 (kcal/h)
			취출구	흡입구				
Case-1	45	315	0.176	22	0	22.0	22.0	0
Case-2	동상	동상	동상	동상	450(9인)	동상	25.5	380
Case-3	동상	동상	동상	동상	50(1인)	중심1체:22.0 주변8체:26.5	25.5	388



[그림1] 실험대상공간

물 크기로 상정. 모델외벽은 모두 두께 100mm의 스티로폴로 단열. 모형내부는 흑색 페인트(적외선 방사율 0.93)로 도장되어 있으며, 9석의 공조용 좌석에는 인체발열모델을 배치했다. 공조용 좌석의 형상은 해석의 편의를 도모하기 위해서 단순화 시켰으며, 좌석의 뒷면 상부에는 급기구를 설치했다. 급기각도는 급기구에 설치된 풍향조절용 벤에 의해서 조절되도록 되어 있다. 좌석 표면은 Glass Wool(두께 25mm)로 단열되어 있으며, 표면은 흑색 페인트로 도장되어 있다. 인체모델의 형상, 구조, 발열정도의 상세^{주1,2}한 내용은 [문헌1 참조]

2.3 실험종류 및 설정조건

[표2 참조] 실험종류는 인체발열이 없는 등온급기의 경우(Case 1-1), 인체발열이 9체인 냉방의 경우(Case 1-2), 인체발열이 중심1체인 냉방의 경우(주변의 8석은 등온급기:Case 1-3)의 3 Case, 인체발열량은 현열만 50kcal/h·인, 급기·배기풍량은 35m³/h·석으로 설정했다. 급기각도는 3 Case 모두 상향 45°로 하고 있다.

2.4 측정

온도는 T형(Cu-Co) 열전대로 공기 및 벽면 온도를 약 270점 측정. 공기온도는 중심부의 2개 단면(단면1, 2)을 중점적으로 측정 [그림 1 참조]. 또한, 레이저광을 이용한 인체발열모델 주변기류의 가시화 실험과 공기의 흐름을 목시로서 스케치했으며, Thermo Viewer와 켄터지로 만든 스크린 등을 이용해서 인체모델 주변의 공기온도를 가시화 했다.

3. 실내의 열전달 해석

3.1 벽면간의 복사열전달

실내온도를 정도 높게 제어하기 위해서는 실내의 상세한 열전달 프로세스를 이해할 필요가 있다. 측정된 물체의 표면온도를 이용해서, 물체간의 복사열 이동계산을 실시, 해석대상 공간내의 물체 표면간 복사열교환량을 계산한다. 상호복사가 있는 실내에서 실질적으로 임의의 i면에서 임의의 j면으로 전달되

는 복사에 의한 열전달량(Q_{Rij})은 Gebhart의 흡수계수(B_{ij})를 이용하면 ①식과 같이 나타낼 수가 있다.

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

위식을 이용, 물체의 각 분할면간의 복사열 전달을 계산함으로써, 임의의 한 물체로부터 임의의 다른 물체로의 복사열전달량을 구할 수 있을 뿐만 아니라 복사수열의 영향범위를 알 수 있다.

또한 인체모델 표면의 MRT는 ②식에 의해서 산출된다.

$$(MRT)_i = \sqrt[4]{\frac{\sum_{j=1}^n B_{ij} T_j^4}{n}} \quad \dots\dots \text{②식}$$

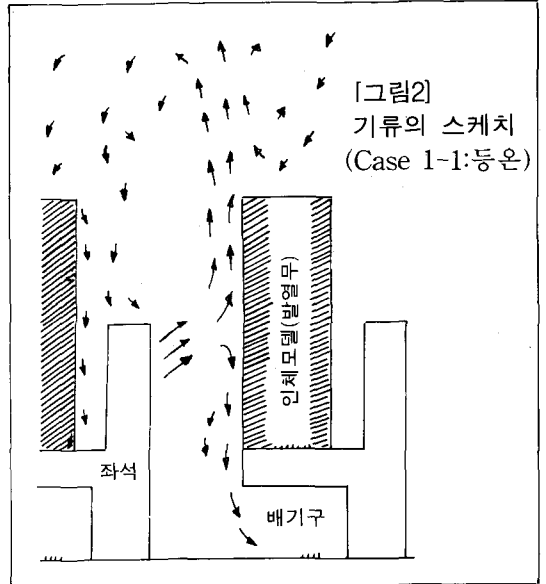
3.2 계산개요

복사계산의 벽면 및 물체의 각방향 mesh분할수⁷⁶는 14(X1)×7(X2)×7(X3), 형태계수산출은 몬테카를로법⁷³을 이용했다. 형태계수 계산시에 필요한 물체의 각 분할면에서 사출되는 복사속수는 100,000으로 했다. 본 논문에서는 인체모델(중심1체)에서 주변물체 및 각 벽면으로의 복사열 전달량과 인체모델 표면의 MRT 분포를 계산함과 동시에, 각 물체 분할면에서의 열평형식에 의해 대류열 전달량을 산출한다.

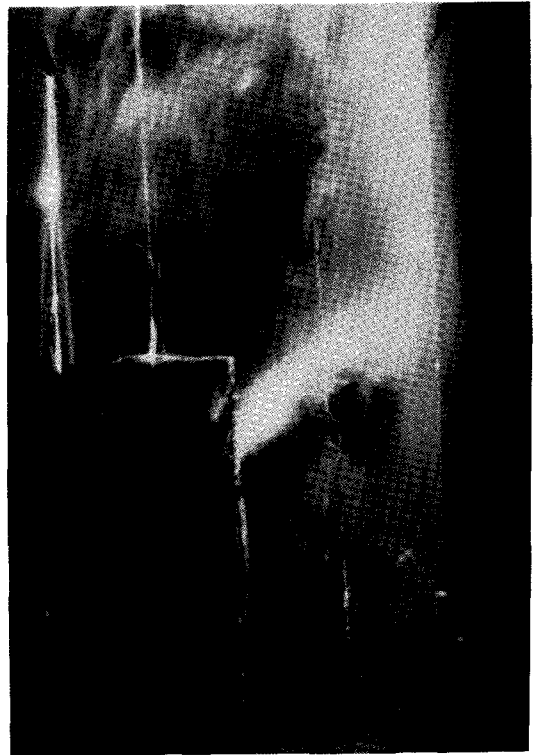
4. 실험 결과 및 고찰

4.1 인체 발열이 없는 등온급기의 경우:Case 1-1

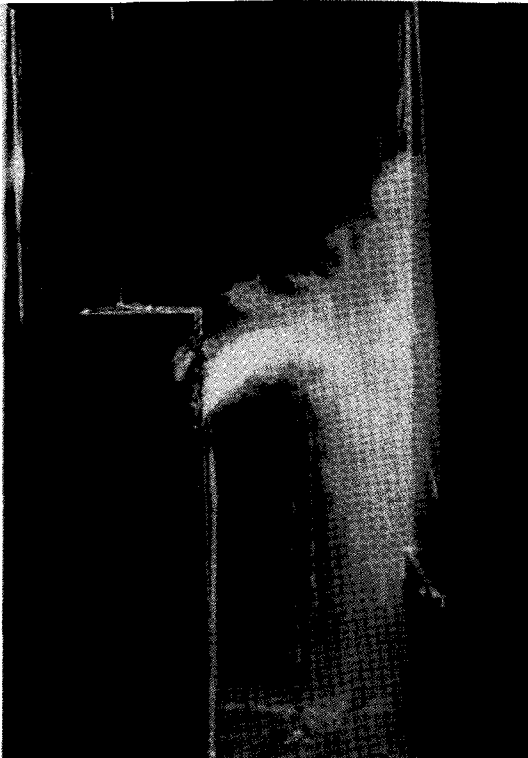
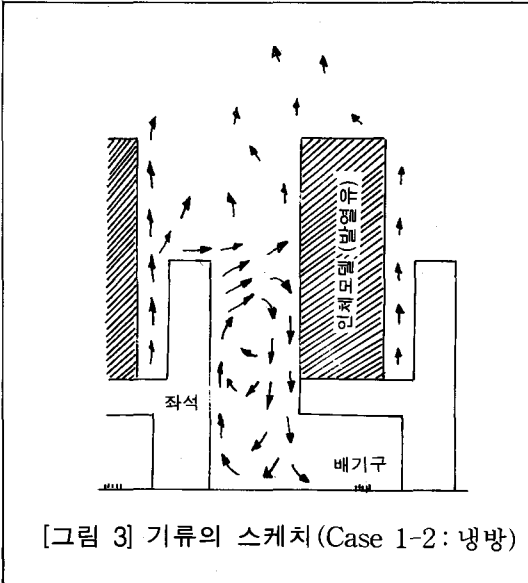
[사진1, 그림2 참조]상방 45°로 분출된 급기기류는 인체모델의 중심부에 충돌한 후, 사방으로 분산되고 있다. 연직단면 기류분포를 봤을 경우, 인체모델에 충돌한 급기분류의 약 70% 정도가 인체모델의 표면을 타고 상승하고 있다. 이렇게 상승한 기류는 약 2m 정도의 높이에서 하강하기 시작, 인체모델 전방에서 큰 와류를 형성하고 있다. 한편, 나머지 약30% 정도의 기류는 인체모델 표면을 따라 하강, 하강한 기류의 대부분은 좌석밑의 배기구로 배출되고 있다. 인체모델의 뒷면과 좌석등받이 사이의 공간에서는 하강기류를 관찰할 수 있다.



[그림2] 기류의 스케치 (Case 1-1: 등온)



[사진1] 기류의 가시화 (Case 1-1)



4.2 인체발열이 9체인 냉방의 경우 : Case 1-2

4.2.1 기류분포 [사진2, 그림3 참조] 급기기류는 Case 1-1(등온)보다 급기분류의 상승정도가 약한 것을 볼 수 있다. 인체모델 표면에 충돌한 급기기류의 대부분은 인체모델을 따라 하강, 좌석밑의 배기구로 배출되고 있다. Case 1-1(등온)과 달리, 인체모델에서 발열된 열상승류에 의해 거주역모델의 상부로부터 인체모델 주변에 걸쳐서 두꺼운 온도성층(고온)이 형성되고 있고, 인체모델의 상부로 향하는 급기구로부터의 급기기류는 거의 관찰할 수 없다. 또한 거주역 모델 상부의 온도성층(고온)과 급기기류(저온)의 부의 부력의 영향으로, 급기분류는 인체모델의 열상승류와 잘 혼합되지 않고, 그대로 좌석밑에 설치된 바닥의 배기구로 배출되어 버리는 Short Circuit현상이 일어나고 있다. 이것은 모형화된 거주역모델이 충분한 천정고를 확보하지 못함으로 해서 온도성층(고온)이 거주역의 인체모델 주변에까지 영향을 미치게 하고 있으며, 이러한 온도성층(고온)이 Short Circuit 발생의 중요한 원인의 하나로 생각할 수 있다. 또한, 급기풍속이 약18cm/s로 극히 작기 때문에, 인체모델 주위에서의 강한 Cold Draft는 관찰되지 않았다.

4.2.2 온도분포 [그림4 참조]좌석의 급기구 상부에서 천정면에 걸쳐서 두꺼운 온도성층(고온)이 형성되고 있는 것을 명확히 관찰할 수 있다. 상하공기온도는 단면 1,2에서 거의 같은 분포를 하고 있으며, 수평방향으로 거의 온도차가 없음을 알 수 있다.

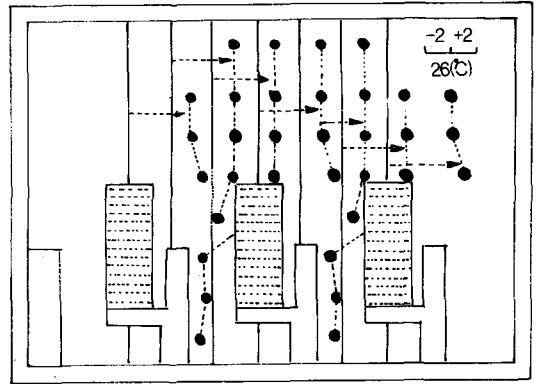
급기구의 하부공기온도는 거의 균일한 낮은 온도를 나타내고 있다. 하강한 급기기류의 일부는 재차 급기분류에 유인되어, 작은 와류를 형성하고 있다. 천정고가 비교적 높은 실제의 대공간에서는 온도성층(고온)이 거주역에서 상당히 떨어진 상부에서 생성되어, 거주역 온도분포에 미치는 영향은 작을 것으로 생각된다. 이점에 대해서는 추후 수치해석에 의해서

확인할 예정이다. 그리고 이번 실험에서 설정되어진 좌석공조 실험조건으로는 인체발열의 대부분이 윗쪽으로 상승된 결과, 거주역 상부에서는 두꺼운 온도성층(고온)이 생성되었기 때문에, 전인체발열부하를 좌석공조에 의한 급기공기로 제거한다는 것은 불가능하다는 것을 시사해 주고 있다.

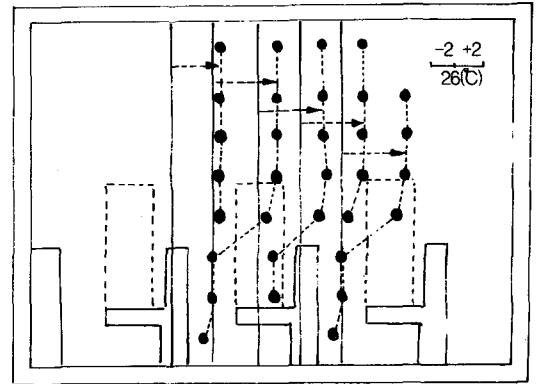
4.2.3 복사·대류 열전달 각 벽면의 대류, 복사 열전달량은 [그림5 참조] 물체표면에서의 열유입을 청, 유출을 부로 표기하고 있다. 천정면을 제외하고 복사로 수열하고, 이것을 대류로 방열시키고 있다. 중심1체의 인체모델로부터 주벽 등으로 전달되는 복사열전달량은 18.3kcal/h이고, 나머지(31.7kcal/h)는 대류에 의해서 공기에 전달되고 있다. 중심1체의 인체모델로부터 방열되는 복사열량의 약반은 앞좌석, 자기좌석 등의 거주역내 물체에 전달되고, 그 나머지는 천정, 측벽 등으로 전달되고 있다(그림6). 인체모델(중심1체)의 전복사열량에 대한 인체모델 각 표면 복사전달량이 차지하는 비율은 정면, 뒷면, 측면, 윗면의 순으로 높은 치를 보이고 있다(그림7). 인체모델(중심1체)각 표면의 MRT분포(그림 13(a)). 실내상부 온도성층(고온)의 영향으로 비교적 높은 온도를 나타내고 있지만, 인체모델의 정면은 낮은 MRT를 나타내고 있다.

4.3 인체발열이 중심1체만인 냉방의 경우(주위 8석은 등온급기):Case 1-3 4.3.1 기류분포
 [사진3, 그림8 참조] 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 중심1석만 냉풍(22℃), 나머지는 등온급기(26.5℃)의 조건에서 실험을 실시했다. 중심1체의 인체모델에 착목했을 경우, 급기분류는 인체모델에 충돌한 후, 크게 둘로 나뉘어 상승, 하강하고 있다. 상승기류는 인체모

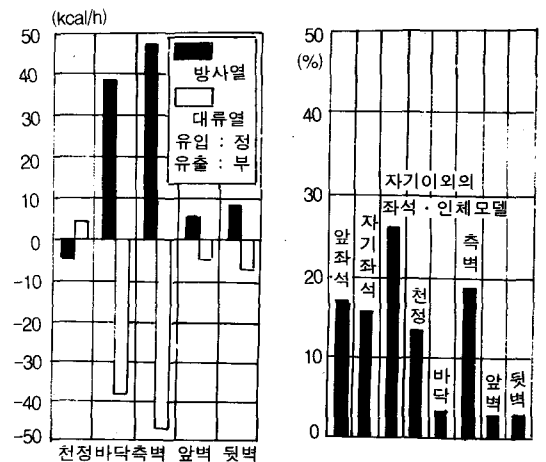
[그림 4] 공간온도분포(Case 1-2)^{주5}



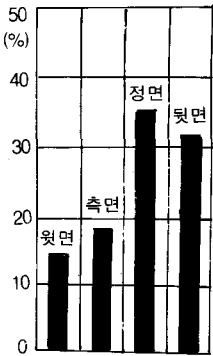
(a)단면1 (인체의 중심)



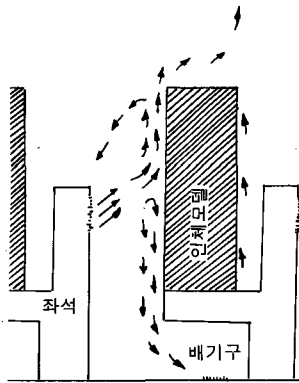
(b)단면2 (인체옆)



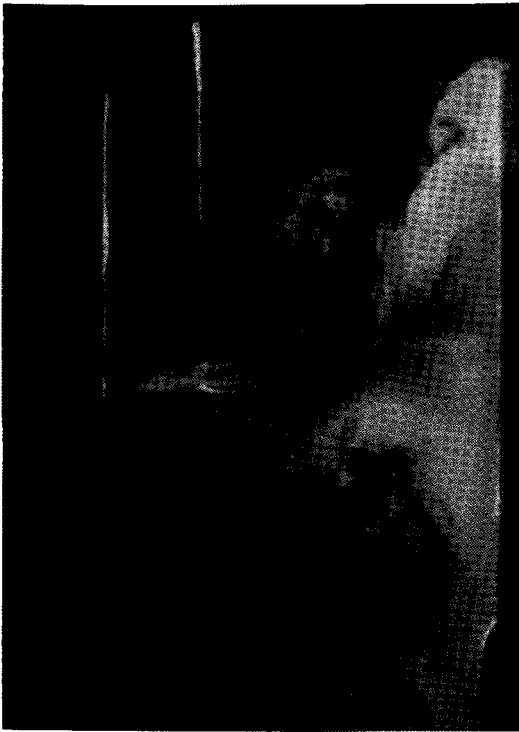
[그림 5] 각벽면의 열수지(Case 1-2)
 [그림 6] 인체모델 (중심1체)로부터의 복사열 수열 비율(case 1-2)



[그림 7] 인체 모델(중심 1체)에서의 복사전열량 비율 (Case 1-2)



[그림 8] 기류의 스케치 (Case1-3: 냉방)



[사진 3] 기류의 가시화 (Case 1-3: 냉방)

델의 윗면 정도의 높이에서 하강, 다시 급기 기류에 유인되고 있다. 인체모델에 충돌한 후 하강하는 급기기류의 일부는 Case 1-1과 같이, 잘 혼합되지 않고 대부분이 배기구로 배출되고 있다.

4.3.2 온도분포 [그림9 참조] 주위 8체의 급기구로부터 배출된 약26.5℃의 등온급기기류가 모형실내에 거의 균일하게 분포되어 있기 때문에, Case 1-2에서 관찰된 두꺼운 온도성층(고온)은 생성되지 않고 있다. 천정이 높은 실제의 대공간에서는 인체로부터의 열상승류에 의한 온도성층(고온)이 거주역의 훨씬 상부에서 형성되기 때문에, 거주역에서의 온도성층(고온)의 영향이 거의 제거된 관점에서, 이 Case는 천정이 높은 대공간내에서의 거주역 공조의 특성을 어느 정도 잘 나타내고 있다고 생각할 수 있다. 또한 역으로, 천정이 높은 공간에서는 인체발열을 자연스럽게 상부로 옮겨 가게 함으로써, 거주역공간을 균일한 온도로 효율적으로 공조할 수 있다는 것을 암시해 주고 있다. 앞으로 모형을 개조해서 온도성층(고온)이 거주역에 영향을 미치지 않는 조건하에서 실험을 실시함과 동시에, 수치해석에 의해 보다 상세하게 기류 및 온도를 해석할 예정이다.

4.3.3 복사·대류 열전달 온도성층(고온)제거에 따른 실내 고온부분의 감소에 의해, 천정, 벽면 등에서의 대류, 복사에 의한 열전달량은 Case 1-2에 비해 작은 값을 나타내고 있다 (그림10). 중심1체의 인체모델로부터 방열되는 복사열은, 인체모델과 주벽과의 온도차가 Case 1-2보다 크기 때문에, 26.19kcal/h로 비교적 큰 값을 나타내고 있다. 인체모델(중심1체)에서 각 물체 표면으로 방열되는 복사열량은 앞좌석, 자기좌석 등 거주역내 물체로 전달되는 것이 약60% 이상을 차지하고, 나머지가 측벽, 천정 등에 전달되고 있다. 단, 인접하는 인체모델이 발열하지 않고 있기 때문에, 이곳으로의 복사전열량이 특히 많음을 알

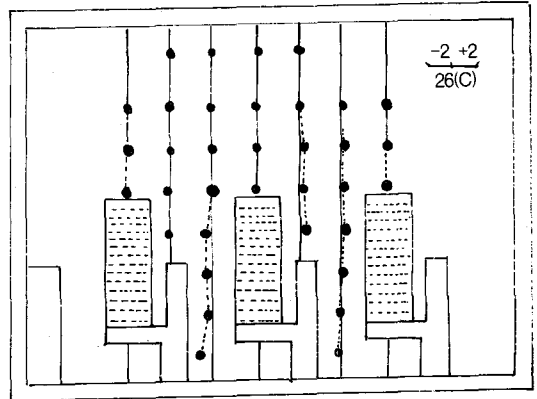
수 있다. 인체모델(중심1체)의 전복사열량에 대한 인체모델 각 표면 복사전열량이 차지하는 비율을 그림12에 나타내고 있다. 인체모델(중심1체)가 각 표면의 MRT분포를 그림13(b)에 나타내고 있다. MRT 분포는 실내온도가 낮은 점과 주변의 인체모델이 발열하지 않고 있는 점 등에 의해서, Case 1-2에 비해 낮은 치를 나타내고 있다.

5. 결론

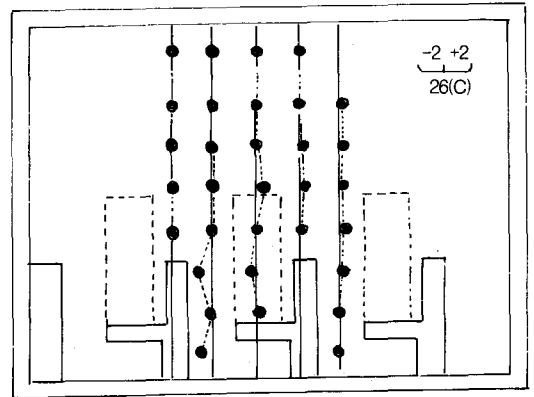
- ①좌석공조 연구의 제1단계로서 대극장의 거주역공간 일부를 모델화해서, 가시화실험 및 기류, 온도분포를 상세히 검토했다. ②인체모델로부터의 발열량의 대부분은 좌석공조 급기기류에 의해서 잘 회수되지 않고 상승함으로서 모델 중상부에 온도성층(고온)이 형성되었다. ③거주역 부근의 온도성층(고온)생성을 억제시켜도 좌석공조 급기기류의 일부는 Short Circuit되는 것을 볼 수 있었다. ④이번 실험조건은 평균급기풍속이 약20cm/s 이하로서 저속이었던 점도 있고 해서 인체모델 주변의 Cold Draft 는 관찰되지 않았다. ⑤복사열 전달계산에 의해 물체간의 복사열 전달 프로세스 및 물체표면에서의 대류열 전달량을 산출, 분석함으로써, 실내의 열전달 상황을 체계적으로 이해할 수 있었다.

【參考文獻】 文1) 崔棟皓, 村上周三, 加藤信介, 北村規明, 丹羽勝巳, 小林光:座席吹出空調に関する研究(その1), 空調調和・衛生工學會學術講演論文集(1992.10) 文2) 崔棟皓, 村上周三, 加藤信介, 北村規明, 近藤靖史, 丹羽勝巳, 曹潔, 三國恒文:座席吹出空調に関する研究(その2), 建築學會關東支部(1993.3) 文3) 崔棟皓, 村上周三, 加藤信介, 小林光:복잡한 형상을 한 실내공간의 대류, 복사 인성시뮬레이션, 大韓建築學會春季學術發表大會, 第12卷第1號(1992.4)

주1)인체모델(발열체)의 표면적산정은 건축설계자료집성(Vol.3(단위공간))의 데이터를 참고로해서 성인 남여의 평균표면적과 같은 표면적이 되도록, 인체모델의 치수를 결정했다. 주2)표면온도가 균일한 인체모델을 제작하기 위해서 신행 히터에 의해 인체모델 내부의 공기를 가열시켜, 그 상부에서 Fan으로 내부의 공기를 각반시키는 방식



(a) 단면1(인체의 중심)



(b) 단면2(인체옆)

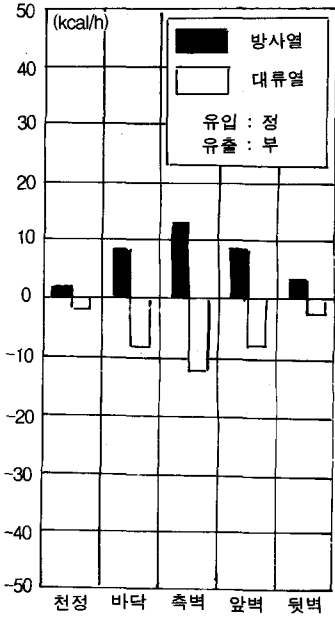
[그림 9] 공간온도분포(Case1-3)^{주5}

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

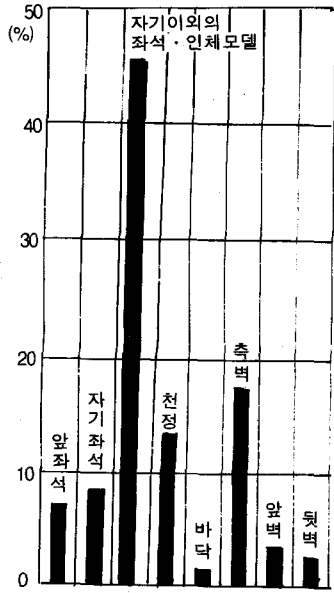
좌석급기공조에 관한 연구(I)

의 인체모델을 제작했다. 이 방식을 채용함으로써 인체모델 표면의 상하 온도차를 크게 줄일 수 있었다. 주3)Case 1-2, 1-3에서는 인체모델(발열체)에 의한 열이 거주역 모델 상부로 이동하여 장시간에 걸쳐 서서히 축적되고 있기 때문에, 엄밀하게 말하자면 비정상상태에서 가시화를 실시했다. 그렇기 때문에 인체발열량과 공조회수열량의 차를 볼 수가 있다. 주4)Case 1-2의 경우, 좌석밑의 바닥면에 설치된 공조용좌석으로 연결되는 공조급기 접속구와 좌석 등받이 뒷면에 있는 급기구간의 좌석 등받이 사이에서 부

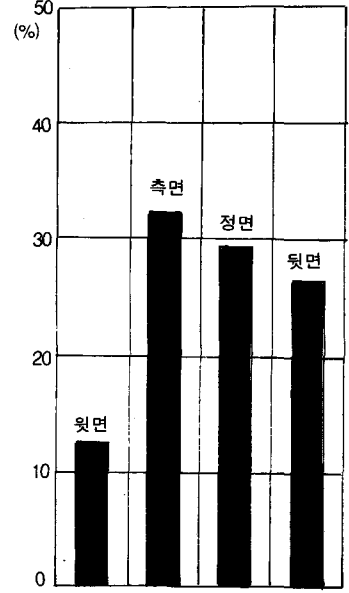
채를 통한 실내쪽으로의 관류열손실이 관찰되었다. 그 결과, 접속구와 급기구간에 약 0.8℃의 온도차가 생겼다. 주 5)각 측정점의 공간온도의 표시는 26℃를 기준온도로 해서, 이 기준온도와의 차를 표시했다. 주6)복사계산의 Mesh 분할은 실험에서의 표면은 측정점수가 한정되어 있기 때문에 그다지 잘게 분할하지 않았다. 인체모델의 Mesh분할은 높이(H) 방향으로 3개로 분할했으며 폭(W)과 길이(D) 방향으로는 하나로 분할했다(1체는 13면으로 구성).



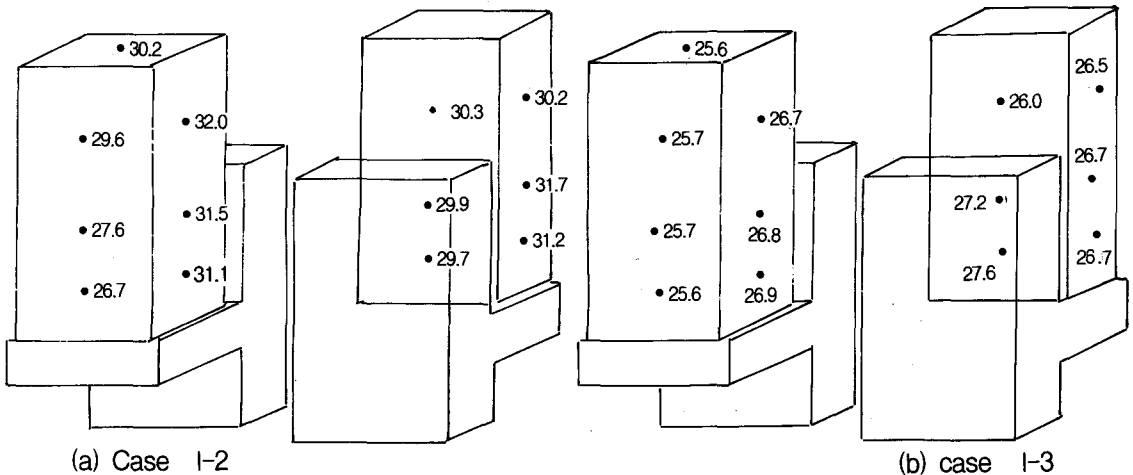
[그림 10] 각벽면의 열수지 (Case 1-2)



[그림 11] 인체모델(중심1체)로부터의 복사열 수열 비율 (Case 1-3)



[그림 12] 인체모델(중심1체) 각면에서의 복사열 열량 비율 (Case 1-3)



[그림 13] 인체모델(중심 1체)의 MRT분포