

## 자연환기와 복사냉방을 병용한 하이브리드 시스템의 제안

송 두 삼<sup>†</sup>

동경대학교 생산기술연구소

### A Proposal of Hybrid Cooling System Coupled with Radiation Panel Cooling and Natural Ventilation

Doosam-Song<sup>†</sup>

*Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Tokyo 153-8505, Japan*

*(Received May 7, 2003; revision received May 23, 2003)*

**ABSTRACT:** In order to saving the energy for HVAC system of buildings, utilization of wind-induced cross ventilation is thought to be promising. However, utilization of natural ventilation alone is not sufficient for maintaining the human thermal-comfort such as in hot and humid regions. A hybrid air conditioning system with a controlled natural ventilation system, or combination of natural ventilation with mechanical air conditioning is thought to overcome the deficiency of wind-driven cross ventilation and to have significant effects on energy reduction. This paper describes a concept of hybrid system and propose a new type of hybrid system using radiational cooling with wind-induced cross ventilation. Moreover, a radiational cooling system is compared with an all-air cooling system. The characteristics of the indoor environment will be examined through CFD (Computational Fluid Dynamics) simulation, which is coupled with a radiation heat transfer simulation and with HVAC control in which the PMV value for the human model in the center of the room is controlled to attain the target value.

**Key words:** Hybrid system(하이브리드 시스템), Radiation panel cooling(복사냉방), CFD(수치유체역학)

#### 1. 서 론

최근 에너지 문제, 지구환경 문제로 인하여 에너지 절약적인 시스템 개발 및 환경친화적인 건축수법에 관한 관심이 높아지고 있다. 특히 자연의 환경조절능력을 이용한 실내 환경조절수법에 관해 전 세계적으로 많은 연구가 진행되고 있다.

고기밀/고단열을 전제로 한 서구의 전통적인 건축 시스템과는 달리 비교적 온난한 기후대의 아

시아 지역에서는 계절의 변화에 순응하는 외피구조와 함께 자연통풍을 이용하여 실내를 냉방하는 건축시스템을 이용하여 왔다. 그러나 산업화 과정은 겪으면서 이러한 전통들은 근대건축(서구화된 건축)에서 추구하는 표준적인 공간의 요구와 확실성, 신뢰성, 효율성 등의 측면에서 그 자취를 감추게 되었다.

그러나 외부환경조건의 변화에 따라 적절히 제어할 수 있는 자연환기방식 또는 자연환기와 기계식 환기를 병용한 하이브리드 시스템을 사용함으로써 자연환기의 불확실성을 극복하고, 에너지 절감 및 환경부하 절감에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +81-3-5452-6431; fax: +81-3-5452-6432

E-mail address: daniel@iis.u-tokyo.ac.jp

자연환기시스템 또는 하이브리드 시스템은 주로 북유럽을 중심으로 에너지 절약적인 환기 및 공조방식으로서 연구되고 있으며, 최근에는 일본을 비롯한 아시아 지역에서도 적용 가능성에 대한 검토가 활발하게 이루어지고 있고, 실제 건물에 적용된 사례도 많이 보고되고 있다. 최근에 이루어진 대표적인 연구의 예로써 국제 에너지 기구인 IEA ECBS에 의해 주도된 ANNEX 35 Hyb Vent(Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Building : 신축 및 개수 건물에 대한 자연 환기와 기계환기를 병용한 하이브리드 환기)라는 국제공동연구를 들 수 있다.<sup>(1)</sup>

본 연구에서는 기존의 연구결과를 바탕으로 새로운 하이브리드 시스템으로서 자연환기와 복사냉방을 병용한 하이브리드 시스템을 제안하고, 자연 환기와 바닥취출 공조방식을 병용한 하이브리드 시스템과의 비교를 통해, 본 시스템의 온열쾌적성 및 에너지 절약 가능성에 검토하였다. 검토에는 CFD 시뮬레이션이 이용되었다.

## 2. 자연환기 병용형 복사냉방시스템의 제안

서론에서 언급한 바와 같이 최근 일본에서도 하이브리드 환기시스템에 대한 검토가 진행, 실시되고 있다. 지금까지 일본에서 검토된 하이브리드 시스템은 주로 자연환기와 기계환기 또는 냉방시스템이 일반적이며, 그중에서도 인공적인 시스템으로 바닥취출공조를 병용한 경우가 주류를 이루고 있다.<sup>(2)</sup> 그러나 최근 유럽을 중심으로 하이브리드 시스템의 효율을 높이기 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 한 예로써 자연환기와 복사냉방을 병용한 하이브리드 시스템을 들 수 있다.

복사냉방방식은 기존의 전공기방식보다 많은 부

분에서 유리하다는 많은 연구결과들이 보고되어 있다.<sup>(3)</sup> 그러나 다습지역에서는 복사냉방패널의 이용에 있어서 패널 표면에서의 결로발생이 불가피하게 됨에 따라 제습에 대한 대책이 필요하다. 본 연구에서는 복사냉방패널의 표면온도를 낮춤으로써 강제적으로 표면결로를 발생시키고, 실내를 제습함과 동시에 냉방을 할 수 있는 제습형 복사냉방을 채용하였다. 따라서, 적극적인 결로를 통한 냉방을 행하면서 실내습도 조절을 모색한다.

### 2.1 시스템의 기본원리

본 연구에서 검토할 자연환기와 복사냉방을 병용한 하이브리드 시스템의 기본개념은 Fig.1과 같다.

Fig.1에서와 같이 본 시스템은 실 상부에 환기창을 설치하여 자연환기를 통해 실내에서 발생한 열을 제거하고, 실 하부(거주역)에는 제습형 복사패널을 설치하여 실내습도를 조절함과 동시에 냉방을 실시하는 것을 목표로 하고 있다.

외기의 온도가 실내설정온도보다 낮을 경우, 적극적으로 외기를 실내에 도입함으로써 실내공기질을 조절하면서 자연환기에 의한 냉방효과를 적극 유도한다. 그러나 외기가 고온일 경우, 자연환기에 의한 냉방효과를 기대할 수 없기 때문에 실내공기질 유지를 목적으로 한 최소한의 외기만을 도입한다. 그러나 이 경우에도 도입된 외기는 공기의 물리적 특성에 의해 실 상부를 통과하면서 실내에서 발생한 내부발열과 오염물질을 제거하는 역할을 한다. 이로써 최소한의 외기를 도입함으로써 실내공기질을 유지하고, 복사냉방에 의해 실내의 거주역만을 효율적으로 냉방할 수 있을 것으로 생각된다.

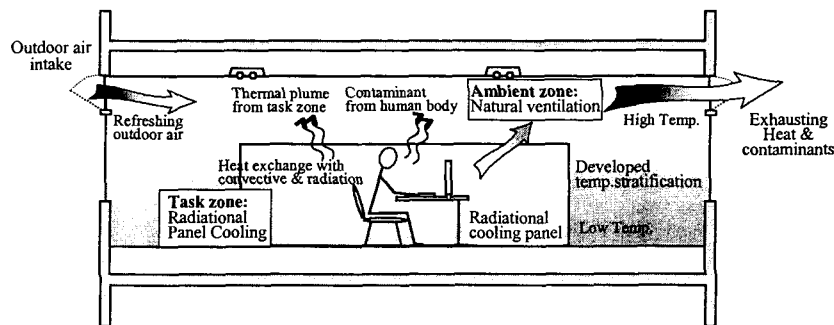


Fig. 1 Concept of hybrid cooling system.

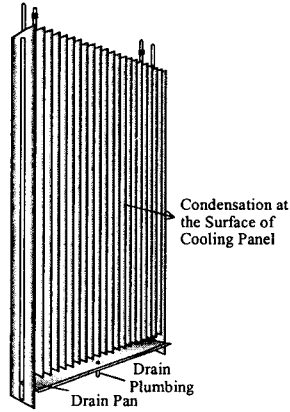


Fig. 2 Detail of dehumidifying radiation panels.

이 시스템은 자연의 실내환경 조정능력을 이용하지 않는 기존의 공조방식과는 달리, 외부환경을 최대한 살려 에너지 절약적으로 실내환경을 효율적으로 조절하는 것을 목표로 한다. 본 시스템의 상세한 특징은 다음과 같다.

2.1.1 자연환기를 이용한 실내환경조절

(1) 실내환기는 실 상부의 천장면에 위치한 환기창을 통해 이뤄진다. 실 상부에 환기창을 설치하는 것은 환기창으로부터 유입 가능한 외기온도 범위를 넓게 하는 효과가 있기 때문에, 실의 하부에 설치하는 것보다 유리하다. 즉, 천장부에 환기창을 설치함으로써 외기온도가 실내온도보다 상대적으로 저온일 경우에는, 도입된 외기가 실내공기와 혼합되면서 온도가 상승하여 실하부의 작업영역에 있는 거주자가 쿨드드래프트를 유발할 가능성이 적어지게 된다. 또한 외기온도가 높은 경우에는 공기의 물리적 특성에 의해 도입된 외기가 실의 상부만을 통과하게 된다.

(2) 실내의 사무기기 및 인체발생열은 부력에 의해 실 상부로 상승하게 되고, 이것은 자연환기에 통해 실외로 배출된다.

(3) 자연환기를 함으로써 재실자들은 적절한 기류감에 의한 쾌적함을 느낄 수 있다. 또한 인간의 온열감의 특징인 열적 적응성(Thermal Adaptation)을 이용함으로써 실내설정온도를 외기온도에 따라 변동적으로 설정이 가능하게 되어, 그만큼 에너지 절감효과를 얻을 수 있게 된다.<sup>(4)</sup>

(4) 실내로 유입되는 외기는 환기창의 제어에 의해 유입량을 조절할 수 있다.

2.1.2 태스크 & 엠비언트(Task and Ambient) 공조

실하부에 있는 거주역 부분에 복사냉방패널을 설치함으로써 상대적으로 밀도가 높은 냉기가 거주역부분에 분포하게 되고, 상하 온도성층이 형성된다. 이러한 온도성층을 적극적으로 이용함으로써 고온의 외기를 실내에 도입하여도 효율적인 거주역의 국소냉방이 가능할 수 있게 된다.

2.1.3 복사냉방의 이용

(1) 복사냉방을 이용함으로써 열원에서 실내까지의 반송에너지를 전공기방식에 비해 큰 폭으로 줄일 수 있고, 따라서 시스템의 규모도 줄어들게 된다.

(2) 거주역부분의 냉방은 대류에 의한 열교환뿐만 아니라 복사냉방패널 및 그에 의해 냉각된 주변의 벽면과의 복사열교환을 통해서 이루어지기 때문에 실내온도를 전공기방식에 비해 높게 설정하여도 재실자는 동일한 온열감을 확보할 수 있다. 따라서, 그 만큼의 에너지 절감효과를 얻을 수 있게 된다.

2.1.4 제습형 복사냉방패널에 의한 실내습도의 조절

(1) 하부에 드레인팬이 부착된 복사패널은 실의 조건에 따라 표면에서 결로가 발생하며, 이를 통해 실내공기를 제습하게 된다. 따라서 복사패널의 표면온도는 노점온도 이하까지 제어가 가능하게 된다. 본 시스템에서는 실내의 습도가 국소적으로 80% 이하가 되도록 복사패널에 의해 제습하는 것을 목표로 하고 있다.

(2) 드레인이 실내에 개방되어 있기 때문에, 청소가 용이하여, 드레인에 곰팡이 등과 같은 세균이 발생함으로써 생기는 공기질 악화의 위험성을 줄일 수 있다.

2.1.5 실외환경의 변동에 대한 실내환경의 변동을 억제하는 공조시스템

(1) 외기온도가 실온보다 상대적으로 고온일 경우, 자연환기를 통해 실내에 도입되는 공기는 부력효과에 의해 실 하부에 있는 저온역의 공기와 혼합되지 않고 실 상부를 거쳐 실외로 배출된다.

(2) 외기가 실온보다 저온일 경우, 외기는 부력효과에 의해 실 하부로 유송되고, 이로 인해 실하부의 거주역을 냉방하는 것이 가능하게 된다.

(3) 외기의 습도가 높을 경우에는 공기의 밀도

가 낮아, 외기를 실내로 유입하여도 공기의 밀도 차로 인해 실내공기와 혼합되지 못하고 실상부를 통해 배출된다.

(4) 외기도입부는 외기의 풍속과 상관없이 일정량의 풍량을 실내에 유입할 수 있도록 정풍량 장치를 사용함으로써 실내에는 저풍속의 외기가 지속적으로 유입된다. 이는 고풍속으로 인해 책상면의 서류가 비산할 가능성과, 재실자에게 콜드드래프트를 유발시킬 수 있는 가능성을 줄일 수 있다. 또한 유입풍속이 저풍속일 경우 유체의 특성상 공기 확산/혼합의 가능성이 낮아지기 때문에 여름에 최소환기를 위해 외기를 도입할 경우에도,

도입된 외기가 실내공기와 혼합되어 냉방부하를 증가시키는 것을 막을 수 있게 된다.

### 3. CFD 시뮬레이션을 통한 시스템의 유효성 검토

#### 3.1 해석대상공간

Fig. 3과 같이 CFD 시뮬레이션을 위한 오피스 모델은 실의 깊이가 10.8m인 연속된 오피스 공간으로 가정하고, 실의 대칭성을 고려하여 그중에서 폭 1.8m(1스팬 3.6m의 절반)를 해석대상으

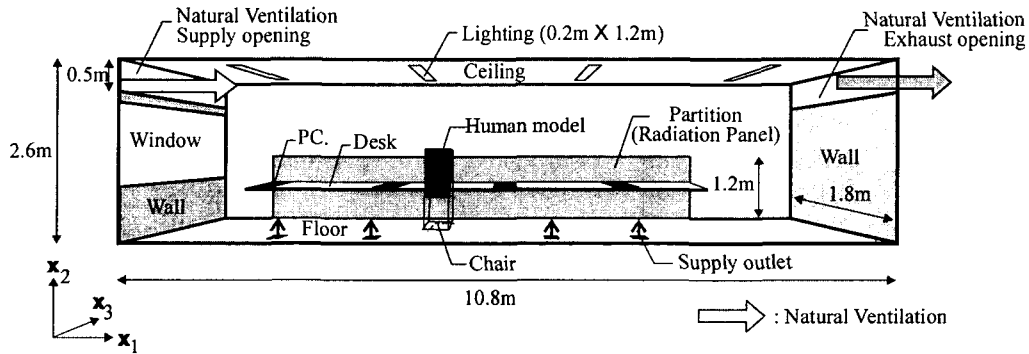


Fig. 3 Office model for CFD simulation (by CFD, half space of the symmetric office module).

Table 1 Boundary conditions for CFD simulation

Natural cross ventilation	Inflow opening	$k_{in}=3/2(U_{in}\times 0.05)^2 [m^2/s^2]$ , $\epsilon_{in}=C_{\mu}k_{in}^{3/2}/l_{in} [m^2/s^3]$ , $l_{in}$ =width of the opening [m], $T_{in}=21$ C, $U_{in}$ : velocity of inflow [m/s]
	Outflow opening	Vel.: Mass balanced, $k_{out}$ , $\epsilon_{out}$ , $T$ , $AH$ : Free slip
Under floor AC	Supply outlet	$k_{in}=3/2(U_{in}\times 0.05)^2$ , $\epsilon_{in}=C_{\mu}k_{in}^{3/2}/l_{in}$ , $l_{in}$ =width of the opening
	Exhaust opening	Static pressure 0 at ceiling
Wall, radiational-panel and human model	Velocity	Generalized log-law, free slip at symmetric plane
	Temperature	Surface temperature is determined from the heat balance at the solid surface through radiation and conduction simulation. Convective heat transfer coefficient is fixed at: Radiational-panel: 5.5, Comouter: 20.0, others: 4.0 [W/(m <sup>2</sup> C)]
	Humidity	1. Human model: Emission rate of sensible/latent heat is changed based on energy balance of human. 2. Radiational-panel: $AH$ (Absolute Humidity) is given corresponding to the saturated vapor pressure, when the surface temperature of the radiational-panel is lower than the dew point temperature of the air and condensation occurs. In other cases, gradient of $AH=0$ . Humidity transfer coefficient is calculated based on Lewis Relation. 3. Other walls: Gradient of $AH=0$
	Emissivity of radiation	Wall, human model: 0.9, Symmetrical plane: 0.0
Mesh system		CFD: 71 ( $X_1$ ) $\times$ 27 ( $X_2$ ) $\times$ 12 ( $X_3$ ), Radiation: 31 ( $X_1$ ) $\times$ 12 ( $X_2$ ) $\times$ 8 ( $X_3$ )

Table 2 Cases analyzed and their heat load conditions

Case		Case 1	Case 2
Heat sources (W)*		Human body (1 body) : 120, Lighting (4 units) : 400, PC. (4 units) : 800, Floor (4 human body) : 480, Solar heat (window) : 225	
Natural cross ventilation		Temperature : 21.0 C, Relative humidity : 60.0%, Air flow rate : 505.0 m <sup>3</sup> /h	
Radiational panel**	Size (m <sup>2</sup> )	9.2	-
Under floor AC**	Air flow rate (m <sup>3</sup> /h) / Air velocity (m/s)	-	230.0/0.8
	Relative humidity (%)	-	80.0

\* Sensible and latent heats from humans are assumed to be provided from one human model and the floor.  
 \*\* Radiational panel surface and under floor AC temperatures are modified to obtain the target PMV value (=0.5) for the human model in the center of the room through coupled CFD simulation.

로 하였다. 해석대상 공간에는 천장면 근처의 좌우 측벽 상부에 자연환기용 개구부를 설치하였으며, 개구부를 통해 자연환기(통풍)가 이뤄진다. 실내에는 인체발열, 조명발열, PC/사무기기발열 및 일사취득 등에 의해 냉방부하(100 W/m<sup>2</sup>)가 발생되고, 이 부하는 자연환기와 복사냉방패널 또는 바닥취출냉방에 의해 제거된다. 복사냉방패널은 파티션의 용도로도 사용되며, 바닥취출냉방의 경우는 바닥에서 냉기가 취출되어 천정에 위치한 흡입구를 통해 배출된다. 실 중앙에는 인체온열감 센서로써 인체모델을 설치하여 인체모델의 PMV 값이 일정하게 되도록 공조제어를 실행하였다.

3.2 대류, 복사, 습기 수송의 해석

해석은 대류, 복사, 습기 수송을 연성 시뮬레이션에 의해 행하였다.<sup>(5)</sup> 대류계산은 표준 k-ε 모델을 기준으로 3차원 해석을 실시하였으며, 습도 해석은 습기수송방정식을 통해 해석하였다.<sup>(6)</sup> 시뮬레이션의 경계조건은 Table 1과 같이 하였다. 또한 형태계수의 계산은 몬테카를로법에 의하고, 벽체간 상호방사열전달해석은 Gebhart 흡수계수법에 의해 수행하였다. 인체온냉감의 평가는 Fanger의 인체열평형모델에 기초한 PMV값을 기준으로 하였다.<sup>(7)</sup>

3.3 냉방제어의 연성해석

중앙의 인체모델의 PMV값이 0.5가 되도록, 방사패널냉방의 경우는 방사패널의 표면온도를, 바닥취출냉방의 경우는 풍량을 고정하고 취출공기 온도를 제어하였다. 또한 인체모델의 대사량은 1.2 met, 착의량은 0.6 clo로 설정하였다.

3.4 해석 케이스

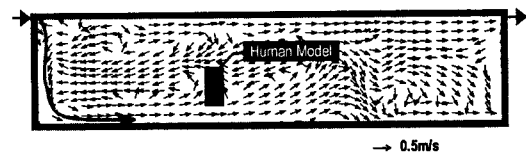
외기조건이 양호한 중간기에 대해, 자연환기와 복사냉방을 병용한 경우를 case1로 하고, 바닥취출냉방과 병용한 경우(case2)와 비교하였다. 해석에 있어서 외기온도는 21℃, 습도는 60%, 외기도입량은 환기횟수 10회로 설정하였다. Table 2는 본 연구에서 검토한 열부하의 조건을 보여주고 있다.

4. 결 과

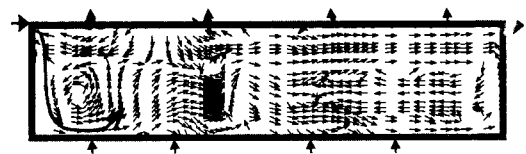
실 중앙의 인체모델의 PMV값이 0.5가 되도록 제어하였을 경우의 열환경 및 공조부하의 해석결과는 다음과 같다.

4.1 기류분포

(1) Case1(자연통풍 + 복사패널냉방) : Fig. 4(a) 유입된 외기(21℃)는 실내평균온도(26.6℃)(Fig.



(a) Case1



(b) Case2

Fig. 4 Flow fields.

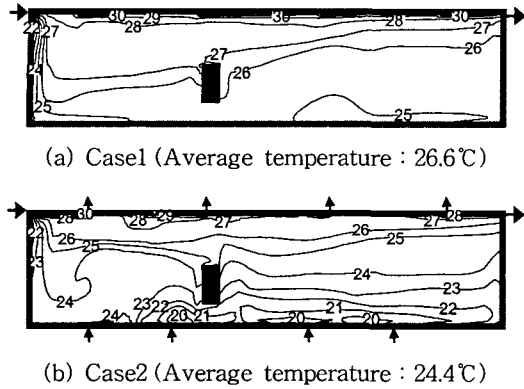


Fig. 5 Temperature distribution.

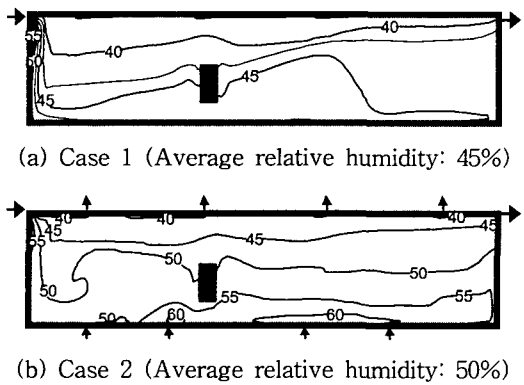


Fig. 6 Relative humidity.

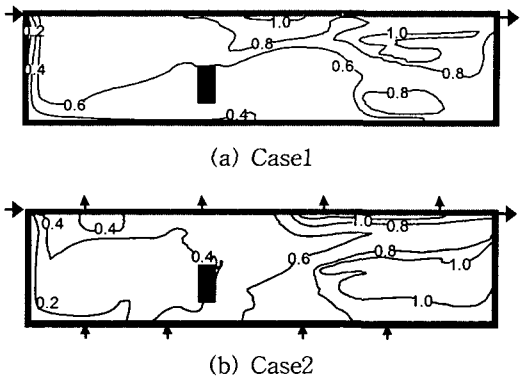


Fig. 7 Age of air (Non-dimensionalized by the nominal time constant :  $\tau_n$ ).

5(a)와의 온도차가 크기 때문에 강한 마이너스 부력에 의해 창측 벽면을 따라서 하강하여, 실내 측 바닥면을 따라 흐른다. 여기에는 나타나지 않았지만, 복사패널 근처에서 냉각된 공기도 바닥

면으로 강하하고 있다.

(2) Case2(자연통풍+바닥취출냉방) : Fig. 4(b)

Case1과 동일하게 유입된 외기는 창측 벽면을 따라서 하강한다. 그러나 바닥면에서 취출된 공기와 혼합되어, 다시 실 상부로 향한다. 실내 전체에서 상하의 온도차가 크며, 실의 안쪽에서 순환류가 발생한다.

#### 4.2 온도분포

(1) Case1(Fig. 5(a))

실내평균온도는 26.6°C이고, 공간 전체에서 온도 성층이 형성되나 상하온도차는 약 2°C 정도를 나타낸다. 인체모델의 주변은 비교적 균일한 온도 분포를 보이고 있다.

(2) Case2(Fig. 5(b))

실내평균온도는 case1보다 낮고, 바닥취출공기의 풍속은 0.8 m/s 정도로 낮다. 또한, 바닥 부근의 온도는 20°C로 낮은 온도분포를 보이고, 상하 온도차는 case1보다 커서 약 6°C 정도가 된다.

#### 4.3 상대습도분포

(1) Case1(Fig. 6(a))

복사냉방패널의 표면온도(19.7°C)는 노점온도보다 높아 복사냉방패널 표면에서 결로가 발생하지 않았다. 상대습도는 전 영역에서 약 45% 전후의 값을 보이고, case2와 비교하여 상대적으로 균일한 습도분포를 보인다. 복사냉방패널 및 자연통풍에 의한 냉기의 하강기류로 인하여 바닥 근처에서는 높은 습도영역이 나타난다.

(2) Case2(Fig. 6(b))

바닥취출구로부터의 냉기의 유입으로 인해 바닥 근처는 비교적 높은 상대습도를 나타낸다. 또한 온도분포와 동일하게 실내 상부로 큰 습도차가 발생하였다.

#### 4.4 공기령

유체장의 해석결과에 기초하여 유입된 자연통풍의 공기령(Age of Air)을 계산하였다. 여기서 공기령은 명목환기시간( $t=360$  s)을 무차원화한 것이다.<sup>(8)</sup>

(1) Case1(Fig. 7(a))

유입된 신선한 공기가 실 하부로 하향하여 바

닥면을 따라 흐르기 때문에 실하부에서는 공기령이 작은 분포를 보인다. 상대적으로 실상부의 공기는 대체로 외기와 혼합되지 않기 때문에 높은 공기령을 나타내고 있다. 실의 안쪽에서는 실상부의 높은 공기령의 공기가 하강되기 때문에 전반적으로 높은 공기령 분포를 보인다.

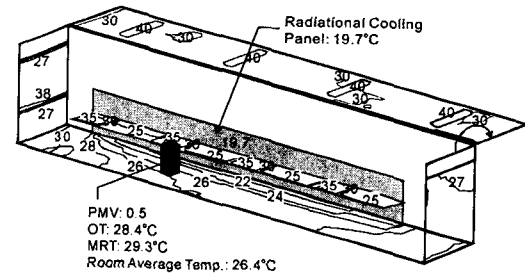
(2) Case2(Fig. 7(b))

Case1과 동일하게 페리미터 지역 근처에서는 유입된 신선외기가 실내공기와 혼합됨에 따라 낮은 공기령 분포를 보인다. 또한 바닥 표면을 따라서 실내로 유입되는 외기는 바닥 표면으로부터 취출된 공기의 흐름에 의해서 실상부로 밀려 올라가 실내공기와 혼합되어 실 전체에 낮은 공기령 분포를 보인다. 실의 안쪽은 외기의 영향력이 취출공기에 의해 약해지기 때문에 case1보다 높은 공기령 분포를 보인다.

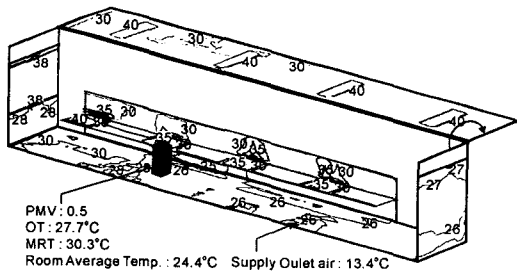
4.5 벽의 표면온도와 작용온도(OT) 및 MRT

(1) Case1(Fig. 8(a))

인체의 작용온도는 28.4℃이고, 바닥취출냉방과 비교할 때 다소 높게 나타난다. 그러나 실내습도



(a) Case1



(b) Case2

Fig. 8 Wall surface temperature and OT & MRT of human model.

는 case2보다 5% 정도 낮기 때문에 인체의 MRT는 29.3℃로 case2(30.3℃)와 비교하여 낮고, 상대적으로 높은 온도에도 불구하고 PMV=0.5가 달성되었다. 복사냉방패널의 평균 표면온도는 19.7℃이고, 바닥 표면은 복사패널에서의 복사의 영향으로 바닥취출냉방보다 다소 낮은 온도분포를 보인다.

(2) Case2(Fig. 8(b))

실내평균온도(24.4℃)는 case1보다 낮은 값을 보이나, 벽면의 온도는 28℃를 넘어, case1과 비교하여 다소 높은 값을 보인다. 인체의 case1보다 MRT는 30.3℃로 높다.

4.6 냉방부하의 비교

Fig. 9에서는 실내를 공조하는 제어목표로서, 실내 중앙에 있는 인체모델의 PMV값은 0.5로 유지하는 경우 및 실온을 26℃ 일정으로 제어한 경우의 제거된 열량을 표시하고 있다.

자연통풍과 복사냉방패널을 병용한 case1의 경우, 자연통풍에 의해 제거된 현열부하(1.1 kW)는 case2(0.9 kW)의 약 1.3배이다. Case1의 복사냉방패널이 부담하는 현열부하(0.75 kW)는 case2의 취출공기가 부담하는 현열부하(0.95 kW)의 약 78%이며, 전공기방식(실온 일정제어)의 약 37%로 나타났다. 잠열부하는 case1의 경우, 자연통풍이 모든 잠열부하를 부담하고, 인공 냉방계에서는 잠열부하가 생기지 않는다. Case2의 경우, 유입된 자연통풍이 부담하는 잠열부하(0.02 kW)는 미소하

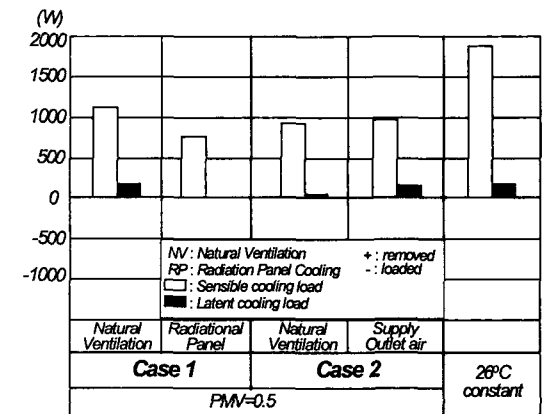


Fig. 9 Cooling load removed by natural ventilation and cooling system.

며, 대부분 취출공기에 의해 제거된다. 공조시스템이 부담하는 부하는 전열(현열+잠열)에서 case 2는 case1의 약 1.5배이다.

결과적으로 자연통풍 병용형 복사냉방패널시스템(case1)은 전공기방식의 공조시스템과 비교할 때, 자연통풍을 실시할 경우 약 60%의 냉방부하 절감효과가 있고, 자연통풍과 바닥취출냉방을 병용한 하이브리드 시스템의 경우, 약 45%의 냉방부하의 절감효과가 예상된다. 자연통풍 병용형 복사냉방패널시스템(case1)이 에너지 절감효과가 가장 높게 나타났다.

## 5. 결 론

에너지 절감형 냉방시스템으로서 자연통풍 병용형 복사냉방패널시스템을 제안하고, CFD 해석에 의해 그 유효성을 검토하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 중간기의 외기조건하에서 대류, 복사, 습기, 공조제어시스템의 연성 시뮬레이션을 통해, 공조 목표(실 중앙의 인체의  $PMV=0.5$ )를 만족시키는 조건에서 복사패널냉방시스템과 바닥취출냉방시스템의 실내 온열환경성능을 해석하고, 냉방부하를 산출하여, 2가지 하이브리드 시스템에 대한 비교 및 검토를 수행하였다.

(2) 자연통풍 병용형 복사패널냉방시스템에 의한 실내온·습도 분포는 바닥취출냉방 병용형 하이브리드 시스템보다 비교적 균일한 분포를 보인다.

(3) 인체의 열적 쾌적성은 동일한 조건하에서, 자연통풍 병용형 복사패널냉방시스템이 인체와 주위 벽면과의 복사열교환으로 인해, 바닥취출냉방 하이브리드 시스템보다 실온을 높게 설정하여도 동일한 온열감(MRT와 동일)을 유지할 수 있다. 그만큼 에너지 절감효과를 기대할 수 있다.

(4) 자연통풍 병용형 복사패널냉방시스템은 자연통풍으로 인해 50% 이상 부하가 제거 가능하

며, 공조시스템이 부담하는 부하는 전공기방식에 비해 약 60%의 절감효과가 있으며, 바닥취출냉방보다도 에너지 절감효과가 우수한 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. IEA Annex 35, 2002, Principle of Hybrid Ventilation, Aalborg Univ., Aalborg, Denmark.
2. Kato, S., Chang, H. and Chikamoto, T., 1999, Hybrid Air-Conditioning Based on Natural and Mechanical Ventilation in Office Buildings, Indoor Air'99.
3. Feustel, H. E., 1995, Corina Stetiu: Hydro-  
nic radiant cooling-preliminary assessment, Energy and Buildings, 22.
4. De Dear, R. J. and Brager, G., 1998, Understanding the adaptive approach to thermal comfort, Final Report on ASHRAE RP-884, Sydney, MPRL.
5. Murakami, S., Kato, S. and Kim, T., 2001, Indoor cooling/heating loads analysis based on coupled simulation of convection, radiation and HVAC control, Building and Environment, Vol. 36, pp. 901-908.
6. Murakami, S., Kato, S. and Zeng, J., 2000, Combined simulation of airflow, radiation and moisture transport for heat release from a human body, Building and Environment, Vol. 35, pp. 489-500.
7. Fanger, P. O., 1970, Thermal Comfort, Danish Technical Press.
8. Kato, S. and Murakami, S., 1988, New ventilation efficiency scales based on spacial distribution of contaminant aided by numerical simulation, ASHRAE Transactions, 94 (2), pp. 309-330.