

# 냉방시 사무실 공간의 급기 위치에 따른 실내 열환경 평가 실험

김명호, 김요셉, 김영일  
한국과학기술연구원 열유동제어연구센터

## Experimental Analysis of Thermal Comfort of an Office Space for Different Supply Locations during Cooling

Myoungho Kim, Joseph Kim, Youngil Kim  
Thermal/Flow Control Research Center, Korea Institute of Science and Technology

본 연구에서는 실제 조건과 유사하게 모사된 사무실 공간을 대상으로 냉방시 급기 위치에 따른 기온, 기류속도, 복사온도를 측정하여 열환경을 평가하였다. 사무실 공간은 실제의 조건과 유사하게 인체, 조명, 사무기기의 부하를 전기히터로 모사했으며, 외기부하는 벽체에 설치된 열교환기를 통과하는 부동액의 온도를 제어함으로써 모사하였다. 실험 결과 냉방 조건에서는 바닥급기 방식의 경우 평균온도가 천장급기에 비해 낮아 에너지 절약 측면에서 유리함을 알 수 있었다. 그러나 천장급기에 비해 수직온도차가 크고 급기구 근처에서는 수직온도차에 의한 불쾌감과 빠른 기류속도에 의한 드래프트의 위험이 있는 것으로 나타났다.

### 1. 서론

인간의 감성은 주위의 열환경에 직접적인 영향을 받고 있으며, 특히 대부분의 시간을 실내공간에서 생활하고 있는 현대인들에게 사무실의 열환경은 매우 중요하다. 사무실의 열환경에 영향을 주는 요인으로는 공조방식, 실내 부하, 외기 등 여러 가지가 있는데 그 중 급기 및 배기의 위치를 변화시킴으로써 보다 쾌적한 실내 환경과 효율적인 에너지 사용을 얻고자 하는 시도가 많이 이루어지고 있다.

이러한 배경에서 바닥분출 공조방식이 기존의 천장분출 공조방식의 대안으로 제시되고 있다. 바닥분출 공조방식은 공기가 바닥으로부터 분출되는 공조방식으로 거주역을 중심으로 한 비혼합형 공조의

특징을 갖기 때문에 환기효율측면에서 성능이 우수하고 에너지 절약에도 효과적이며, 개인 취향에 따른 국부공조가 가능하여 냉난방시의 쾌적감을 향상시킬 수 있는 등의 여러 가지 장점이 있다.

따라서 본 연구에서는 실제 조건과 유사하게 모사된 사무실 공간을 대상으로 냉방 조건에서 급기 위치에 따라 열환경 요소(기온, 기류속도, 흑구온도)를 측정하여 열환경을 평가하고자 하였다.

### 2. 실험장치

본 연구에서는 동아건설산업(주) 기술연구소에 설치된 열환경챔버<sup>2)</sup>를 대상으로 급기 위치에 따라 열환경 요소를 측정하였다. 열환경챔버의 개략도를

Fig. 1에 나타냈으며 챔버의 내부 크기는 4.5 m × 5.5 m × 높이 2.4 m 이다. 챔버는 덕트에 연결되어 있는 댐퍼의 개폐 조합을 변경함에 따라 천장급기/천장배기, 천장급기/바닥배기, 바닥급기/천장배기, 바닥급기/바닥배기 등 다양한 환기방식이 가능하며, 천장 및 바닥에는 각각 8개와 4개의 직경 150 mm의 후렉시블 덕트를 연결하여 이를 통해 급배기가 이루어지도록 하였다.

열환경챔버로 공급되는 공기의 풍량, 온도 및 습도를 제어하기 위한 공조 시스템은 공기조화기와 냉동기, 가스보일러 및 가습기 등으로 구성되어 있다. 급기풍량은 인버터(inverter)로 팬의 회전수를 조절함으로써 제어되고, 공기의 가열은 전기히터를 사용하였으며 PWM(pulse width modulation) 방식으로 제어된다. 냉각과 제습을 위해서는 냉동기의 압축기와 응축기 팬의 회전수를 조절하여 제어하고, 가습기를 통한 가습량의 제어는 솔레노이드 밸브의 개폐율을 조절함으로써 이루어진다. 실내 공기 온도는 이처럼 냉동기와 함께 전기히터로 제어할 경우 설정온도에 ± 0.1℃의 편차를 유지할 정도로 정밀한 제어가 가능하며, 습도도 약 ± 1%의 편차 범위 내로 제어가 가능하다. 또한 챔버 내부의 벽체에는 열교환기가 부착되어 있어 열교환기를 통과하는 부동액의 온도를 제어함으로써 벽체 온도 제어가 가능하고, 두께 100 mm의 우레탄이 발포된 패널로 단열하여 외기 온도에 의한 영향이 없도록 하였다.

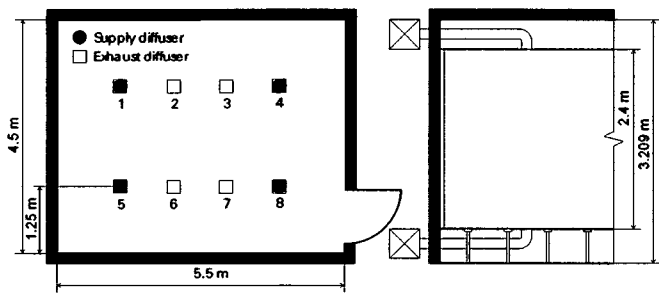


Fig. 1 Schematics of a thermal chamber

### 3. 실험방법

#### 3.1 실내부하 모사

실제 조건과 유사한 사무실 공간을 모사하기 위해 인체와 사무기기의 실내부하를 전기히터를 사용하여 제작하였다. Fig. 2에 실내부하의 배치를 나타냈다. 인체는 앉아 있는 상태에서의 1인 대사량을 1 met(= 58.2 W/m<sup>2</sup>)라고 가정할 때 동양인의 평균 체표면적이 1.6 ~ 1.7 m<sup>2</sup>이므로 1명당 100 W로 하여 총 4명을 배치시켰으며 크기는 0.32 m × 0.32 m

× 높이 1.1 m이다. 사무기기는 개당 150 W로 총 4대를 1.5 m × 0.75 m × 높이 0.73 m인 책상 위에 배치시켰으며, 크기는 0.6 m × 0.45 m × 높이 0.5 m이다. 그리고 챔버의 천장면에는 40 W의 형광등이 2개씩 4개조로 총 8개가 부착되어 있다.

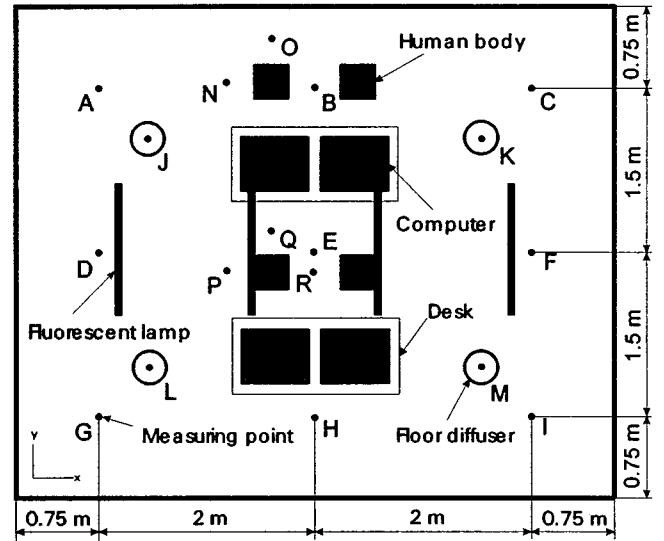


Fig. 2 Internal loads and horizontal measurement points

#### 3.2 실외부하 모사

여름철 외기에 의한 영향은 벽체 내부의 열교환기를 통과하는 부동액의 온도를 제어함으로써 모사하였다. Fig. 3에 벽체를 통한 챔버 내부로의 열전달 모습을 나타냈다. 실제 여름철 고온의 외기에 의해 실내로 유입되는 열량  $Q_1$ 과 외벽이 단열된 조건에서 벽체 내부의 부동액을 통해 실내로 유입되는 열량  $Q_2$ 가 서로 같아지는 벽체온도  $T_w$ 를 구하면,

$$Q_1 = Q_2 \quad (1)$$

$$(UA)_1(T_o - T_i) = (UA)_2(T_w - T_i) \quad (2)$$

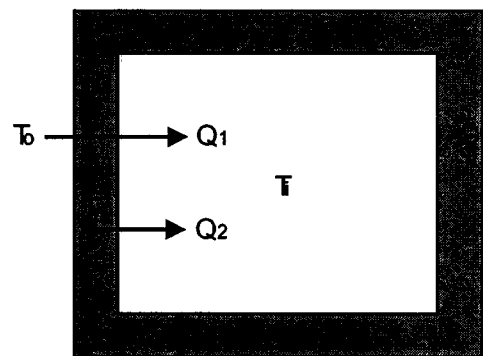


Fig. 3 Heat transfer through walls

이고  $A_1 = A_2$  이므로, 따라서

$$T_w = (1 - \frac{U_1}{U_2})T_i + \frac{U_1}{U_2} T_o \quad (3)$$

가 된다. 여기서  $T_o$ 는 외기 온도,  $T_i$ 는 실내 공기 온도,  $T_w$ 는 벽체 내부를 통과하는 부동액의 온도,  $U$ 는 총열전달계수,  $A$ 는 챔버의 표면적을 나타낸다.

$U_1$ 은 국내건축법규에서 제시하는 중부지역 단열기준(벽체 : 0.5 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>2</sup>°C, 창 : 2.9 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>2</sup>°C)에서 창면적비를 30 %로 가정하여 구하였으며 그 값은 1.417 W/m<sup>2</sup>K이다. 그리고,  $Q_1$ 은 부동액이 벽체를 통과할 때 생기는 열량변화와 같으므로

$$U_2 A (T_w - T_i) = \dot{m} C_p \Delta T \quad (4)$$

따라서,  $U_2$ 는 식(5)와 같이 된다.

$$U_2 = \frac{\dot{m} C_p}{A} \frac{\Delta T}{T_w - T_i} \quad (5)$$

여기서  $\dot{m}$ 는 벽체 내부를 흐르는 부동액의 질량유량,  $C_p$ 는 부동액의 정압비열,  $\Delta T$ 는 부동액의 입출구 온도차를 나타낸다.

이와 같이  $U_2$ 를 구하기 위해서 부동액의 입출구에 각각 열전대를 설치하여 온도차를 측정하였고, 출구측 관에 초음파 유량계를 설치하여 부동액의 질량유량을 측정하였다. 초음파 유량계의 정밀도는 약 ± 2 %이다.

### 3.3 열환경 요소 측정

본 실험에서는 실내의 부하가 모사된 상태에서 급기구의 위치에 따른 챔버내의 열환경 요소를 측정하였다. 열환경 요소 측정시 실험조건을 Table 1에 나타냈다. 공조방식은 바닥급기의 경우 4개의 바닥급기구에서 급기되어 천장 가운데 4개의 배기구(Fig. 1의 2, 3, 6, 7번)를 통해 배기가 이루어지도록 하였으며, 천장급기의 경우는 Fig. 1의 1, 2, 3, 4번 급기구를 통해 급기 되어 5, 6, 7, 8번 배기구를 통해 배기가 이루어지도록 하였다.

전체 급기풍량은 약 460 m<sup>3</sup>/h로 일정하게 공급하

Table 1 Experiment conditions

Air temperature (°C)	26
Relative humidity (%)	50
4 people (W)	400 (100 each)
4 computers (W)	600 (150 each)
4 lamps (W)	320 (80 each)
Supply air temperature (°C)	18
Supply air volume (m <sup>3</sup> /h)	460

였으며 바닥급기에 사용된 급기구는 확산각도와 유인량이 큰 스웰(swirl) 급기구를 사용하여 보다 효과적으로 실내 부하를 처리하도록 하였다.

열환경 요소로는 기온, 기류속도, 흑구온도, 상대습도를 측정하였고, 측정위치는 Fig. 2에 나타난 것처럼 수평으로 급기구와 재실자 주변을 포함해 모두 18점을 측정하였고, 수직으로는 Table 2에 나타난 것처럼 속도 8점, 기온 10점, 흑구온도 6점에 대해 측정하였다.

기온, 기류속도, 흑구온도는 센서 이송장치를 사용하여 수평으로 이동하면서 측정하였고, 상대습도는 Fig. 1의 앞쪽 벽면 중앙의 1.1 m 높이에서 측정하여 대표값으로 사용하였다. 측정 데이터는 정상상태에서 5초 간격으로 3분 동안 저장하여 처리하였다.

온도 측정은 T형 열전대를 사용하였고 Yokogawa사의 DR230 시스템을 이용하여 데이터를 취득하였으며 정밀도는 0.1°C 이다. 풍속 측정에는 Kanomax의 무방향성 다채널 풍속계를 사용하였으며 정밀도는 0.01 m/s 이다. 흑구온도는 흑구온도계를 사용하여 측정하였으며 습도측정에는 습도 및 온도를 함께 측정할 수 있는 E+E Elektronik사의 EE20 모델을 사용하였으며 정밀도는 상대습도의 경우 ± 2% 이다.

Table 2 Vertical measurement points

Factors	Vertical locations (mm)
Air velocity	100, 300, 600, 900, 1100, 1400, 1700, 2100
Air temperature	0, 100, 300, 600, 900, 1100, 1400, 1700, 2100, 2400
Globe temperature	300, 600, 1100, 1400, 1700, 2100

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 실의 부하

$U_2$ 를 측정하기 위해 챔버내 실내온도를 낮추어 벽체와 서로 열교환이 이루어지도록 하였다. Fig. 4에 부동액의 벽체 입구온도 및 출구온도를 나타냈다. 균일한 온도 조건에 이르렀을 때 약 20분 동안 입출구 온도와 부동액의 질량유량을 측정하였으며 그 평균값을 사용하여  $U_2$ 와  $T_w$ 를 계산하였다. 여기서 외기온도  $T_o$ 는 서울의 여름철 냉방설계용 기준 온도인 33.5 °C로 하여 계산을 수행하였다. Table 3에는 그 결과가 나타나 있다.

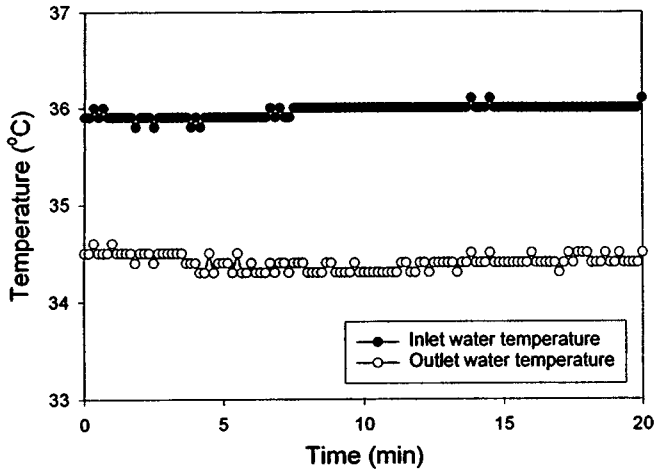


Fig. 4 Inlet and outlet water temperature

Table 3 Results of measurement

Air temperature (°C)	19.46
Inlet water temperature (°C)	35.97
Outlet water temperature (°C)	34.40
Mass flow rate (kg/s)	0.2084
Specific heat of ethylene glycol (kJ/kg·K)	3.688
Overall heat transfer coefficient, $U_1$ (W/m <sup>2</sup> K)	1.42
Overall heat transfer coefficient, $U_2$ (W/m <sup>2</sup> K)	3.20
Water temperature, $T_w$ (°C)	29.3

#### 4.2 열환경 요소 분포

공조방식에 따른 열환경 요소의 측정 결과를 Table 4에 나타냈다. 계산은 급기구와 재실자 주변의 점들을 제외한 A~I의 9개의 측정점으로 하였으며, 실 전체와 1.7 m 높이 이하의 거주영역으로 나누어 비교해 보았다. 기온, 기류속도, 흑구온도 모두 바닥급기가 천장급기에 비해 낮았으며, 특히 거주영역에서의 기온은 1°C 이상 낮은 값을 나타냈다.

Fig. 5와 Fig. 6은 각각 바닥급기와 천장급기의 수직 온도분포를 나타내고 있다. 바닥급기의 경우 거주영역에서의 상하온도차가 3°C 정도 되는 것을 알 수 있는데 이것은 부력에 의해 찬 공기가 바닥에 깔려 성층화되기 때문인 것으로 생각되며, 천장급기의 경우 거주영역에서의 상하온도차는 1°C 이내로 균일한 분포를 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 공조방식에 따른 급기구 주변의 수직 온도 분포를 나타내고 있다. 바닥급기의 경우 급기구

Table 4 Measurements of thermal factors

		Air temperature (°C)		Air velocity (m/s)		Globe temperature (°C)	
		Floor	Ceiling	Floor	Ceiling	Floor	Ceiling
Total	Ave	25.31	26.15	0.06	0.10	26.31	27.02
	STD	1.26	0.59	0.05	0.05	0.84	0.60
Occupant	Ave	24.86	26.00	0.07	0.10	26.12	26.98
	STD	0.77	0.36	0.05	0.05	0.77	0.52

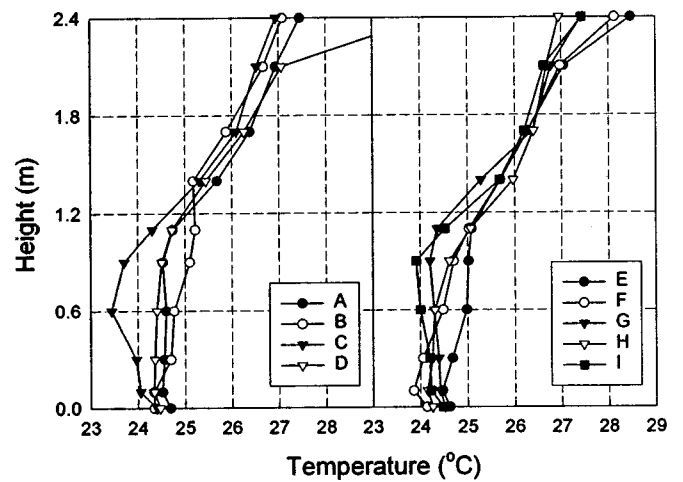


Fig. 5 Vertical distribution of air temperature for floor supply

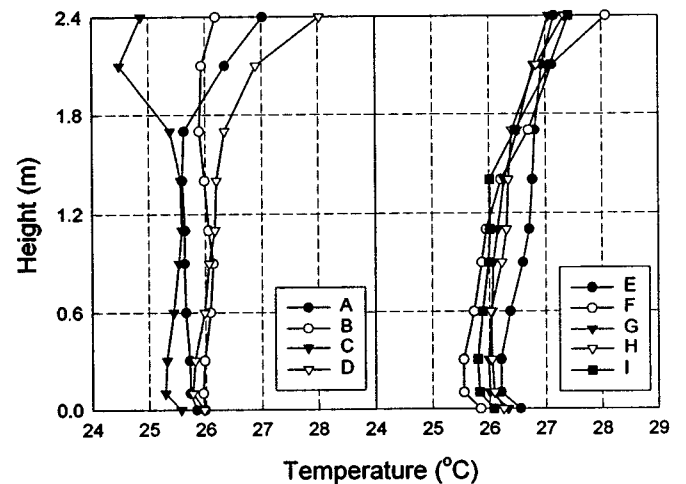


Fig. 6 Vertical distribution of air temperature for ceiling supply

바로 근처의 온도가 매우 낮아 거주영역에서의 상하 온도차는 4 °C 정도가 되며, 따라서 재실자가 급기구 근처에 위치하게 되면 상하 온도차에 의한 불편감을 느끼게 될 것으로 판단된다. 천장급기의 경우 급기구 주변의 온도는 낮지만 거주영역에서의 수직 온도분포는 일정하게 나타났다.

Fig. 8은 재실자가 위치한 주변의 6점(N, O, B, P, Q, R)을 상대로 상하온도분포를 나타내었다. 실내 부하의 영향으로 전체적으로 기온이 다소 높게 나타났으나 앞의 경우에서처럼 바닥급기의 경우 천장급기에 비해 기온이 낮았으며 3 °C 정도의 상하온도차가 생겼고, 천장급기의 경우는 균일한 분포를 보였다.

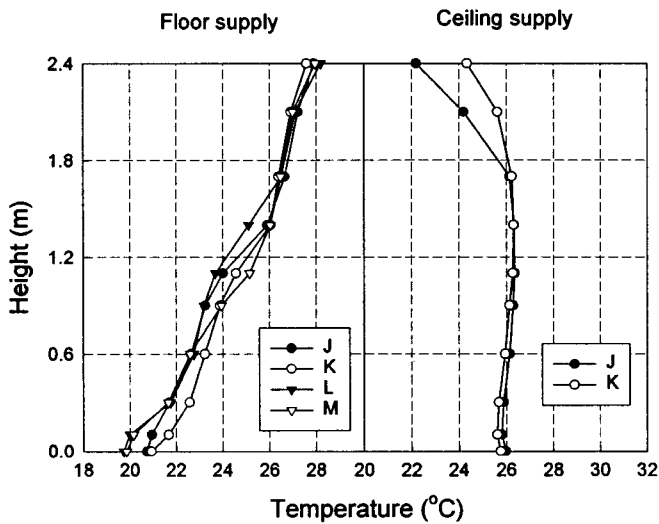


Fig. 7 Distribution of air temperature near diffuser

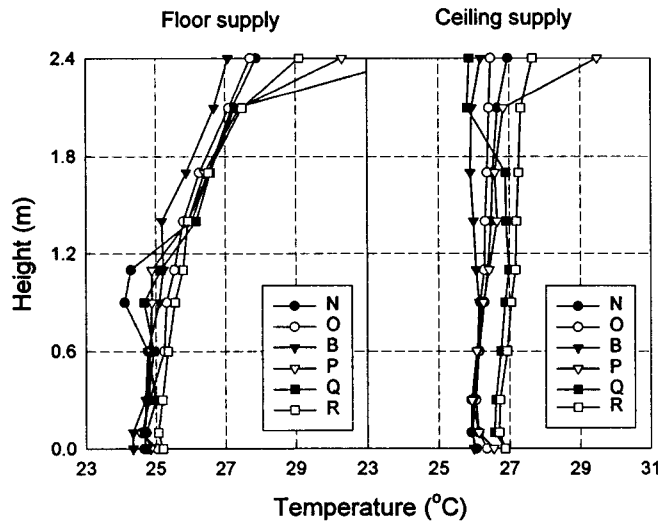


Fig. 8 Distribution of air temperature near occupants

Fig. 9는 바닥급기와 천장급기의 두 공조방식에 대해 높이 0.6 m와 1.1 m에서의 위치별 수평 온도 분포를 나타낸 것이다. 전체적으로 천장급기의 경우 기온이 바닥급기에 비해 높은 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

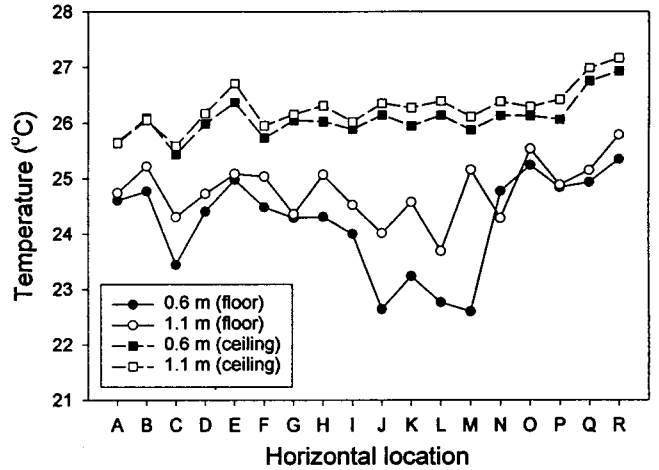


Fig. 9 Horizontal distribution of air temperature

Fig. 10과 Fig. 11은 각각 바닥급기와 천장급기의 수직 기류속도의 분포를 나타내고 있다. 바닥급기의 경우 급기구 주변(J, K, L, M)에서 기류속도가 크게 나타나고 있어 이 근처에서는 빠른 기류속도에 의한 드래프트를 느낄 것으로 판단되며, 급기구 근처를 제외한 다른 위치에서는 전체적으로 0.15 m/s 이하의 기류속도 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다. 천장급기의 경우 기류속도는 전체적으로 바닥급기보다 다소 크게 나타났으나 0.25 m/s 이하로 재실자에게 큰 영향을 주지는 않을 것으로 생각된다.

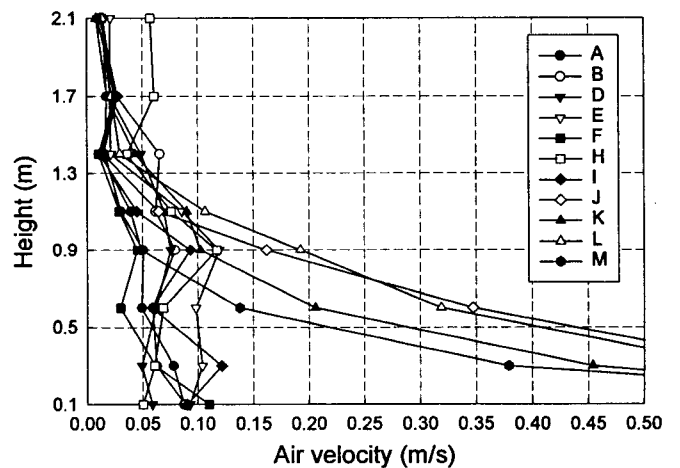


Fig. 10 Vertical distribution of air velocity for floor supply

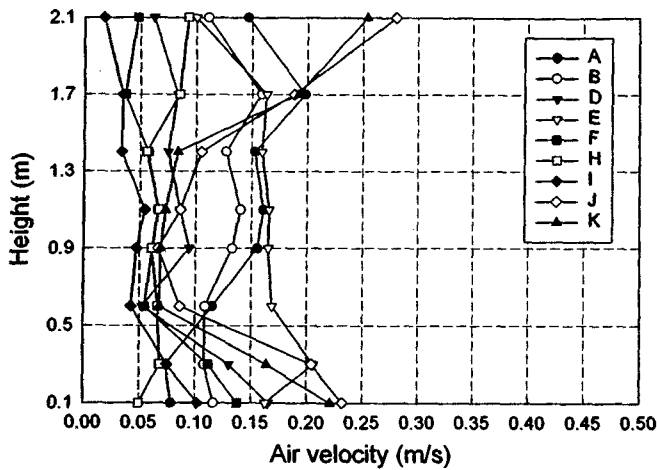


Fig. 11 Vertical distribution of air velocity for ceiling supply

Fig. 12는 바닥급기와 천장급기의 두 공조방식에 대해 높이 0.6 m와 1.1 m에서의 위치별 수평 기류 속도 분포를 나타낸 것이다. 수직 기류 분포에서와 같이 천장급기의 기류속도 분포가 다소 크게 나타났지만 전체적으로 0.2 m/s 이하의 기류속도 분포를 나타내며 재실자에게 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

마지막으로 거주영역과 재실자 주변에서의 PMV 평균값을 Table 5에 나타냈다. 전체적으로 온열감은 약간 더운 것으로 나타났으나, 바닥급기의 경우 천장급기보다 PMV의 값이 작아 좀더 쾌적한 것으로 나타났다. 재실자 근처에서는 두 방식 모두 높은 값을 보이는데 이것은 기기 및 인체발열의 영향으로 기온이 다른 곳에 비해 다소 높기 때문이다.

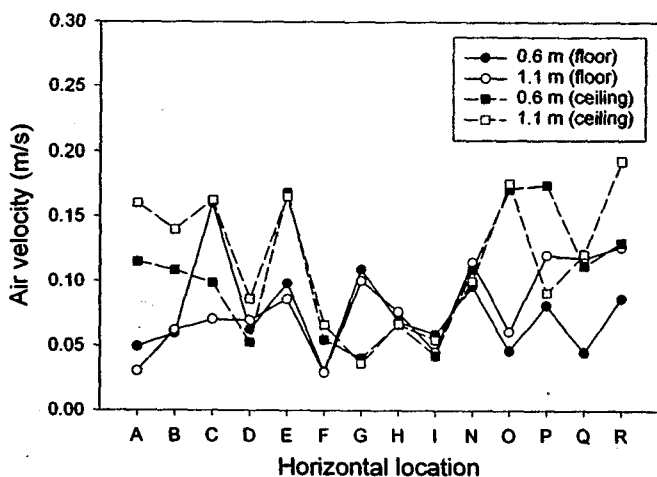


Fig. 12 Horizontal distribution of air velocity

Table 5 Comparison of PMV

	Occupancy zone		Nearby occupants	
	Floor	Ceiling	Floor	Ceiling
T <sub>a</sub> (°C)	24.86	26.00	25.26	26.42
MRT (°C)	26.86	27.69	27.93	28.78
PMV	0.53	0.76	0.73	0.88

### 5. 결론

본 연구에서는 실제 조건과 유사하게 모사된 사무실 공간을 대상으로 냉방 조건에서 급기 위치에 따라 열환경 요소(기온, 기류속도, 흑구온도)를 측정하여 열환경을 평가하였다. 전체적으로 바닥급기의 경우 기온분포가 천장급기에 비해 낮게 나타났으며 특히 거주영역에서는 1°C 정도 낮은 값을 보였다. 따라서 바닥급기가 에너지 절약면에서 천장급기보다 유리할 것으로 판단된다. 그러나 천장급기에 비해 수직온도차가 크고 급기구 근처에서는 수직온도차에 의한 불쾌감과 빠른 기류속도에 의한 드래프트의 위험이 있는 것으로 나타나 실제 적용을 위해서는 이러한 점의 보완이 요구된다.

### 참고문헌

- Mizutani, K., 1996, Model experiment and numerical simulation of air change efficiency in a room using different air conditioning configurations, 5th Int. Conf. on Air Distribution on Rooms ROOMVENT, pp. 53-60.
- 김영일 외, 1998, 열환경 제시기술, 과학기술부 보고서, UCN1720-6322-2.
- ASHRAE, 1992, ANSI/ASHRAE 55-1992, ASHRAE Standard, Thermal Environmental Conditions for human Occupancy.
- ISO, 1984, International Standard 7730, Moderate Thermal Environments Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions of Thermal Comfort.
- Fanger, P. O., 1970, Thermal Comfort Analysis and Application in Environmental Engineering, Danish technical Press, Copenhagen, Denmark.