

바닥급기 공조공간내의 온열환경의 측정

한화택, 김민규, 지용주

국민대학교, 국민대학교 대학원, (주)테크녹스 기술연구소

Measurements of Thermal Environmental Characteristics in Underfloor Air-conditioning Space

Hwataik Han, Min-Kyoo Kim*, Yong Ju Ji**

(Kookmin University, Kookmin University Graduate School*,
Technox R&D Center.**)

요 약

바닥급기 공조시스템은 재실자에게 신선외기를 효과적으로 공급하고 온열환경을 효과적으로 제어하기 위한 새로운 수단으로 시도되고 있다. 그러나 급기구가 인체에 너무 가까이 위치할 경우, 부분적인 열구배에 의한 불편감을 유발할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 바닥급기 공조시스템이 설치된 공간내의 온도 및 기류분포 등의 온열환경을 측정하였고 적외선 카메라를 이용하여 급기구에 의한 인체 표면 온도를 측정하여 열적 쾌적성에 미치는 영향에 관하여 고찰하였다.

Keywords: 온열쾌적성(Thermal Comfort), 바닥급기공조시스템(Underfloor Air-Conditioning System), 열화상카메라(Infra-red Camera), 실내온도분포(Indoor Temperature Distribution)

1. 서론

사무실의 온열환경은 재실자의 건강과 일의 능률에 영향을 미치는 주요 요인이며, 건물소유자, 거주자, 관리자 모두에게 중요한 과제로서 인식되고 있다. 냉난방 에너지를 절감하면서 재실자에게 쾌적한 실내환경을 제공하기 위하여 여러 가지 형태의 공조시스템이 시도되고 있다. 바닥급기 공조시스템은 기존의 바닥 하부 공간을 활용하여 공조를 할 수 있어서 실내 배치계획이 유연하고 개별공조시스템으로⁽¹⁾ 활용될 수 있는 장점이 있기 때문에 최근 많은 주목을 받고 있다. 바닥공조 및 개별공조시스템은 비록 역사는 짧지만 지난 10년간 국제적으로 많은 연구가 이루어져 왔으나⁽²⁻⁶⁾ 국내에서는 이러한 공조시스템에 의한

실내환경에 대한 연구와 적용 사례가 드문 실정이다.⁽⁷⁻⁸⁾

본 연구에서는 바닥급기 공조시스템을 갖춘 사무소 건물내의 온열환경을 측정하고 설문조사를 통하여 온열감에 대한 환경실태를 파악한다. 또한 바닥 급배기구 주위에서의 기류분포와 온도분포 등 온열환경을 측정하고 급기구 주위에 있는 재실자 인체 표면의 온도분포를 측정함으로써 바닥급기 공조시스템이 국부적으로 인체의 온열감에 미치는 영향에 관하여 고찰한다.

2. 실험방법

측정대상 건물

측정대상 건물로는 서울시 영등포구에 위치한

S사무소 건물을 선정하였고, 바닥급기 공조시스템이 구비된 6층의 사무실과 회의실에서 실험을 수행하였다. Fig. 1은 측정건물의 평면도에 바닥급기구와 리턴그릴의 설치위치와 측정점 위치를 보여주고 있다.



Fig. 1 Floor plan of the building.

바닥면 하부 플레넘은 높이가 0.3m 이고 격막을 이용하여 급기통로와 배기통로로 구분되어 있다. 공조시스템은 CAM (Conditioned Air

Module)과 FTU (Floor Terminal Unit)으로 구성되어 있다. CAM은 실내설정온도보다 5-10°C 이하의 급기를 공급할 수 있도록 되어 있고 FTU은 개별 송풍기를 내장하고 있어서 하부 플레넘의 공조된 공기를 실내로 공급한다.

측정항목 및 실험방법

열환경의 평가는 Table 1에 나타난 바와 같이, 측정점 9점의 일평균을 사용한다. 평가항목은 실온, 습도, 기류속도(3분 동안의 풍속평균), 흑구온도, 상하온도차 및 PMV이다. PMV를 제외한 요소들은 모두 바닥위 1.1m에서 측정한다. PMV는 일본 건설성 건축연구소에서 제시한 'PMV의 산출' (ISO 7730에 의거 작성한 표)을 이용하여 온도, 습도, 기류속도, 흑구온도, 광의량 및 에너지 대사량으로부터 계산한 것이다.⁽⁹⁾ 열환경에 대한 양케이트 항목과 평가항목들은 Table 2에 나타

Table 1 Grade rating for physical items of thermal environment

Grade		1	2	3	4	5
Measuring items						
	Cooling period	>29≥ <21≤	>28≥ <22≤	>27≥ <23≤	>26≥ <24≤	>26≥ <24≤
Room temperature[°C]	Intermediate period	>28≥ <20≤	>27≥ <21≤	>26≥ <22≤	>25≥ <23≤	>25≥ <23≤
	Heating period	>27≥ <19≤	>26≥ <20≤	>25≥ <21≤	>24≥ <22≤	>24≥ <22≤
	Relative humidity [%]	>85≥ <15≤	>75≥ <25≤	>65≥ <35≤	>55≥ <45≤	>55≥ <45≤
	Air velocity [m/s]	>0.45≥	>0.35≥	>0.250≥	>0.15≥	>0.15≥
	Cooling period	>4≥	>3≥	>2≥	>1≥	>1≥
(GT -Room temperature) [°C]	Intermediate period	>4≥ <4≤	>3≥ <3≤	>2≥ <2≤	>1≥ <1≤	>1≥ <1≤
	Heating period	<4≤	<3≤	<2≤	<1≤	<1≤
	Vertical temperature difference [°C]	>5≥	>4≥	>3≥	>2≥	>2≥
	PMV	>2.0≥ <-2.0≤	>1.5≥ <-1.5≤	>1.0≥ <-1.0≤	>0.5≥ <-0.5≤	>0.5≥ <-0.5≤

Table 2 Grade rating for survey items of thermal environment

Grade		1	2	3	4	5
Survey items						
Thermal sensation	Cold/Cool	-	Slightly cool	-	-	Neutral
	Hot/Warm	-	Slightly warm	-	-	Neutral
Humidity sensation	Humid	-	Slightly humid	-	-	Neutral
	Dry	-	Slightly dry	-	-	Neutral
Airflow sensation	Sensible	-	Slightly sensible	-	-	Not sensible
Radiation sensation	Sensible	-	Slightly sensible	-	-	Not sensible
Vertical temperature difference sensation	Sensible	-	Slightly sensible	-	-	Not sensible
Overall comforness	Discomforness	Slightly discomforness	Neutral	Slightly comforness	Comforness	Comforness

내었다.

급배기구 주위의 국부적인 온도분포와 기류분포는 온열쾌적성에 많은 영향을 미친다. 무방향성 열선유속계를 이용하여 급기구와 배기구 주위의 기류분포를 측정하였고 열전대를 이용하여 실내의 수직방향과 수평방향으로의 온도분포를 측정하였다. 급기구와 배기구의 형상은 0.6m x 0.2m로 동일하다. 또한 열화상카메라를 이용하여 바닥급기구 부근에 재실자가 위치하였을 때 국부적인 기류에 의한 재실자의 인체 표면온도의 변화를 측정하였다.

3. 결과의 분석 및 검토

실내온도분포

Fig. 2는 시간에 따른 실내(회의실), 실외, 흑구온도의 변화를 보이고 있다. 공조시스템이 가동되는 동안(9:00-18:00) 실내온도는 23.6-26.4°C의 분포를 보인다.

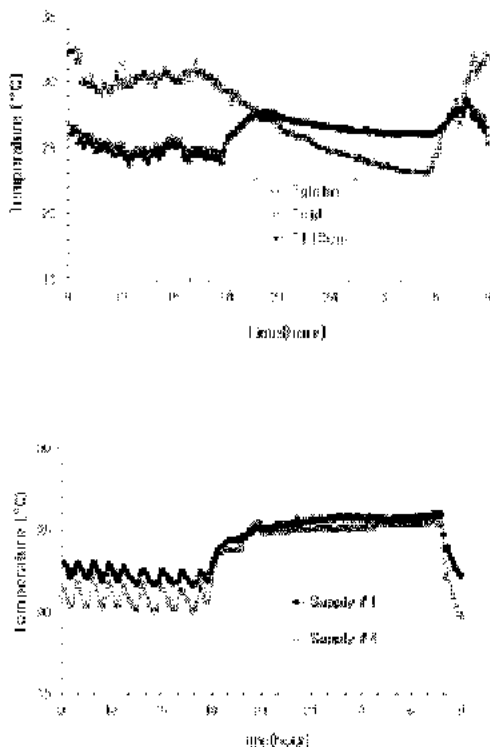


Fig. 2 Outdoor, indoor, globe temperatures and air temperatures at supply.

공조기가 중단된 이후에는 잔여 냉방부하에 의하여 실내온도가 서서히 증가하고 있다. 실외온도가 하강하는 저녁시간에 실외온도와 실내온도의 역전현상이 발생하며 이것은 다음날 새벽까지 계속된다. 흑구온도는 실내온도보다 약 0.4°C 정도 높게 나타나는데 이것은 벽체로부터의 열부하가 있다는 의미이지만 복사에 의한 열전달이나 복사온도가 열적쾌적성에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 볼 수 있다.

Fig. 2에는 급기그릴에서의 온도변화도 아울러 보이고 있다. 시스템의 온도설정에 의하여 급기온도가 주기적으로 변동하고 있는 것을 볼 수 있다. 급기통로를 통한 열전달에 의하여 하강에 의하여 공조기에 멀리 위치한 급기구 4번에서의 온도가 급기구 1번의 온도보다 낮게 나타난다. 급기의 온도강하는 설계치인 0.11°C/m 이하로 나타나고 있다.

회의실내의 수평방향 실내온도분포를 Fig. 3에서 보여주고 있다. 실내온도는 급기구 주위가 약간 높게 나타나지만 전반적으로 균일한 온도분포를 보이고 있다. 실 중앙에서의 수직 온도분포는 Fig. 4에 보인다. 공조기 운전초기에 수직온도의 불균일이 서서히 사라지면서 균일한 온도분포를 보인다. 전 시간 범위에 걸쳐서 수직온도차는 ASHRAE의 쾌적성 범위에서 제시하고 있는 3°C 이하로 나타나고 있다.

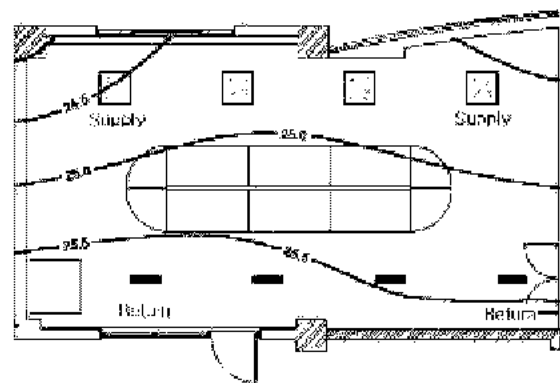


Fig. 3 Horizontal temperature distribution in a conference room at 11:00

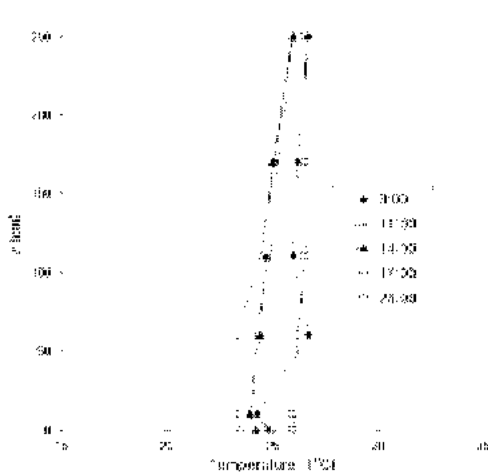


Fig. 4 Vertical temperature distributions at the center of the room.

공기속도분포

급기구 주위의 기류속도분포가 Fig. 5에 보인다. 급기구 표면($z=0m$)에서 기류속도는 균일하지 않으며 약간의 비대칭적인 분포를 보인다. 급기구에서의 속도 크기를 적분한 값은 $17.6L/s$ 로서 급기구를 통한 풍량에 해당한다. 급기구에서 멀어질수록 속도는 점차 감소하지만 $0.5m$ 높이까지 $1.0m/s$ 이상의 속도크기를 갖는다.

Fig. 6은 배기구 주위에서의 기류분포를 보인다. 급기구 주위의 유동과는 판이하게 배기구에서 멀어질수록 속도크기는 급격히 저하되고 있다. 배기구 주위의 속도분포는 포텐셜유동에 의한 기류분포와 유사한 양상을 보인다.

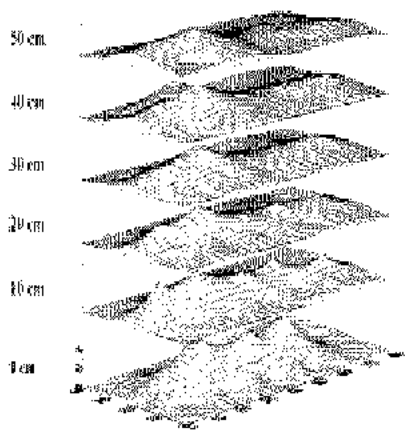


Fig. 5 Airflow distribution around a supply air terminal.

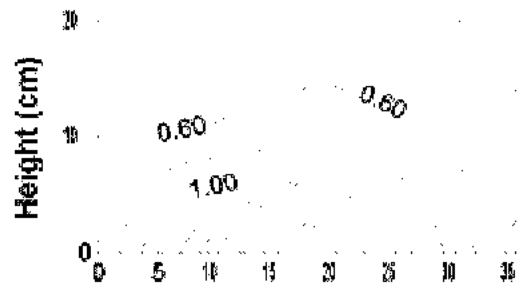


Fig. 6 Velocity magnitude contours in the vertical center plane above an exhaust terminal (m/sec).

인체표면온도

채실자가 급기구 바로 상단에 앉아있을 때, 급기에 의하여 인체의 쾌적성에 미치는 영향을 파악하였다. Fig. 7은 급기가 on 되었을 때와 off 되었을 때, 열화상카메라에 의한 인체 표면온도분포를 비교하여 보이고 있다. 흑색으로 출력되어 온도분포가 선명하지는 않으나 전반적으로 하반신 특히 하퇴와 대퇴부분의 온도가 현저히 저하되는 것을 볼 수 있다.

급기의 가동여부에 관계없이 채실자의 이마온도는 $33.4-33.6^{\circ}C$ 로 비교적 일정하다. 반면 측정된 발목의 온도는 급기 기류에 의하여 $27.5^{\circ}C$ 에서 $26.8^{\circ}C$ 로 저하되었다. 채실자가 서 있는 자세에서는, 급기기류에 의하여 발목의 온도가 $27.2^{\circ}C$ 에서 $26.7^{\circ}C$ 로 저하되어 나타났다. 급기구 바로 인접한 위치에서 인체 하반신의 온도가 전반적으로 $0.6-0.7^{\circ}C$ 의 온도저하를 보임으로써 냉각된 급기의 영향으로 국부적인 불쾌감을 유발할 수 있는 것으로 판단된다. 측정된 온도는 피복의 바깥쪽 온도로서 의복에 의한 열저항을 감안하면 실제 급기가 인체표면온도에 미치는 영향은 더욱 클 것으로 볼 수 있다. 인체표면의 온도분포를 측정하기 위해서는 열화상카메라에 의한 측정보다는 의복을 착용한 상태에서 실제 인체표면에 부착된 여러 개의 온도센서를 이용하여 측정할 수 있도록 다채널 온도분포측정기의 개발이 필요하다고 하겠다. 향후 공조시스템의 평가에 있어서 인체표면의 온도에 미치는 영향에 관한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

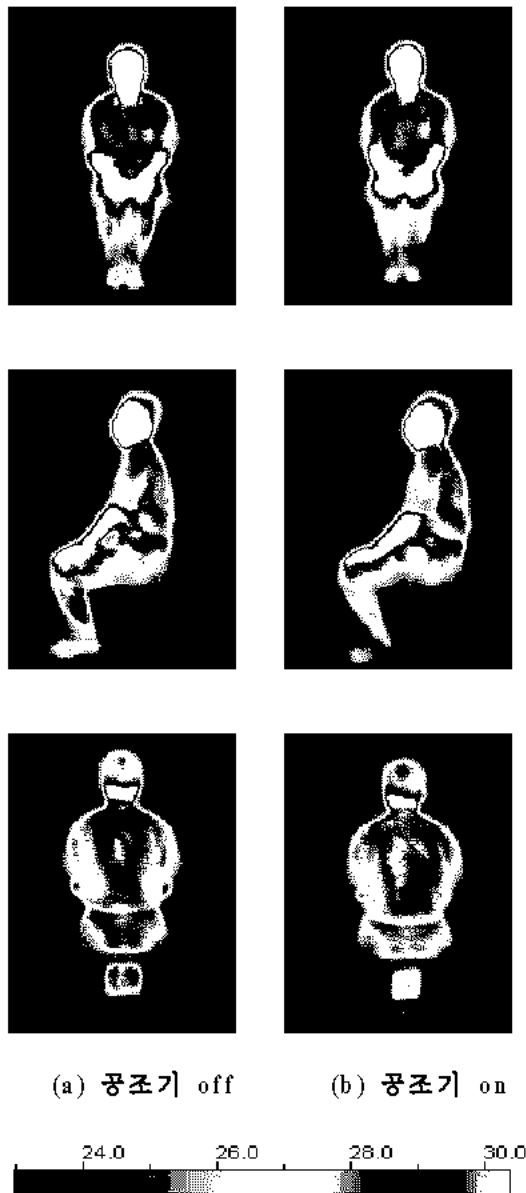


Fig. 7 Infra-red camera images of a person sitting on a supply air terminal

열적 쾌적성

종합적인 열적 쾌적성에 관해서는 Table 3과 Table 4에 사무실과 회의실의 열환경에 대한 물리적 측정평가 결과와 심리적 설문조사(양케이트) 결과를 Fig. 8과 Fig. 9에 이들을 방사형 그림으로 보이고 있다. 그림에서 물리적 측정 결과인 경우 기류속도, 심리적 평가인 경우 전신온냉감 항목을 제외하고는 모두 좋은 평가점수를 나타내고 있어 비교적 열환경은

매우 양호한 조건을 제시하고 있음을 알 수 있다. 여기에서 회의실인 경우 기류속도가 국부적으로 매우 크게 나타나고 있는데 그 이유는 너무 바닥급기구 가까이에서 측정한 것 때문인 것으로 조사되었다. 특히 열환경 평가요소 가운데서 바닥표면에서부터 천장면(2.5m)까지의 실내온도는 시간의 흐름에 관계없이 0.86°C 내외의 미미한 상하온도분포를 나타내고 있고 또한 시간의 흐름과 더불어 온도만 약간 하강하면서 평행 이동하는 형태로 나타나고 있다. 이와 같이 실내 상하온도분포는 일반적인 복사난방에서 보여주고 있는 것처럼 거의 균일하게 나타남으로써 바닥급기 공조시스템을 갖춘 사무실의 열환경은 매우 바람직하게 조성되고 있음을 가리키고 있다.

Table 3 Result of physical measurement on thermal environment

Measuring items	Measured value		Grade	
	Office	Conference	Office	Conference
Room temperature	25.85	25.1	5	5
Relative humidity	66.4	69.2	3	3
Air velocity	0.16	1.39	4	1
GT-DBT	-0.38	0.04	5	5
Vertical temperature difference	1.02	2.03	5	4
PMV	-1.57	-0.64	5	5
Mean value	-	-	4.50	3.83

Table 4 Result of interviewing survey on thermal environment

Survey items	Grade	
	Office	Conference
Thermal sensation	2.95	2.25
Humidity sensation	4.13	4.50
Airflow sensation	3.72	3.75
Radiation sensation	3.56	4.50
Vertical temperature difference sensation	4.28	4.75
Overall comfortness	3.92	4.50
Mean value	3.79	4.04

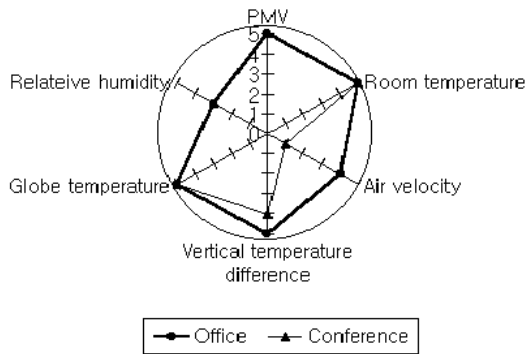


Fig. 8 Radar chart of physical measurement on thermal environment.

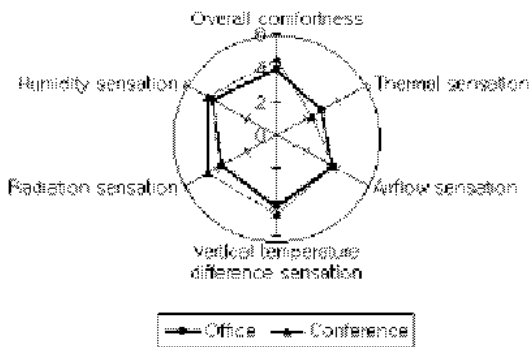


Fig. 9 Radar chart of interviewing survey on thermal environment.

5. 결론

- 바닥급기 공조시스템은 전반적으로 실내에 균일한 수직온도분포와 수평온도분포를 제공함으로써 양호한 실내온열환경을 제공하는 것으로 나타났다.
- 다만 바닥급기구 주위에서의 기류에 의하여 국부적인 불쾌감을 유발할 수 있다. 급기구의 위치는 재실자로부터 최소한 0.5m 이상 이격되어 설치되어야 한다. 반면 배기구 주위의 기류속도는 거리에 따라서 급격히 감소하기 때문에 배기구의 위치는 열적 쾌적성에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
- 열화상 카메라에 의한 온도분포 측정으로는 착의시 인체표면의 온도측정이 불가능하기 때문에 의복내 온도측정장치의 개발이 필요하다.

참고문헌

- 최익순, 정광섭, 박영철, 한화택, 이정재, "PMV 지표에 의한 개별 공조시스템의 쾌적성 평가에 관한 연구," 설비공학 논문집, 제13권, 제7호, pp. 647-652, 2001.
- Heinemeier, K E, Schiller, G E, and Benton, C C. 1990. Task Conditioning For the Workspace: Issues and Challenges. ASHRAE Transactions, Vol. 96 (2), pp 678-689.
- Shute, R W. 1992. Integrated Access Floor HVAC. ASHRAE Transactions, Vol. 98 (1), pp 696-698.
- Lomonaco, C., Comfort and Control in the Workplace," ASHRAE J. pp. 50-57, Sept. 1997.
- Hanzawa, H. and Nagasawa, Y., "Thermal Comfort with Underfloor Air-Conditioning System," ASHRAE Transaction, SL-90-7-5, pp. 696-698, 1990.
- Yokoyama, K. and Inoue, T., "Thermal Environment with Underfloor Air-Conditioning System," Proc. of Healthy Building, IA Q91, pp. 169-174, 1991.
- 정광섭, 한화택, "바닥급기 공조시스템을 적용한 작업공간의 실내환경 평가기법 개발 연구," 설비공학 논문집, 제12권, 제4호, pp. 325-336, 2000.
- Han, H., Chung, K. S., and Jang, K. J., 1999, "Thermal and Ventilation Characteristics in a Room with Underfloor Air-Conditioning System," Proceedings of Indoor Air 99, Vol. 2, pp. 344-349.
- Building Research Institute, Ministry of Construction, Japan, 1994, Indoor Environment Evaluation Method of Office," Nippon Keibon Pub. Co., pp. 171-175.