

천장복사난방이 인체에 미치는 쾌적성평가에 관한 연구

이주연, 이소다 노리오*, 조관식

LG전자 디지털 어플라이언스 연구소, 일본 나라여자대학

Evaluation of Thermal Comfort in Ceiling Heating System

Lee Ju-Youn, Norio ISODA*, Cho Kwan-Shik

LG Electronics Inc.Digital Appliance Research Lab. , Nara Women's University*

복사에 의한 냉난방은, 장시간 재실하는 방이나 소음, 기류에 민감한 장소에 적합하고 에너지 절약면에서도 유효한 냉난방 방식이라고 알려져 있다. 일반적으로 널리 알려져 있는 바닥난방은 실온의 수직분포가 균일함으로서 인체에 쾌적한 난방방식으로 알려져 있다.이것에 비해, 바닥이외의 벽, 천장을 활용한 냉난방설비의 쾌적성에 대해서는 아직 충분히 검토되고 있지 않다.따라서, 본연구는 물순환식 복사 냉난방장치를 이용하여 겨울철의 천장복사난방이 인체에 미치는 생리적, 심리적영향을 밝히고 복사난방의 유용성에 대해서 검토하는것을 목적으로 한다. 실험은 일본 나라여자대학 인공기후실을 이용하였고, 실험조건은 실온18℃, 21℃, 24℃ 천장온도25℃, 30℃, 35℃의 조건을 조합하여 7조건으로 설정하였다. 또, 상대습도40%, 기류속도0.1m/s 이하로 일정하게 유지시켰다.생리적반응으로는 피부온14점과 직장온을 30초 간격으로 측정하였고, 혈압, 심박수, 체중, 체지방율을 측정하고 심리적반응으로는 온열감, 쾌적감등의 항목을 10분간격으로 측정하였다.

Keyword: 천장복사난방, 평균 피부온, 온열감, 쾌적감

1.서론

바닥복사난방은 실내온도의 수직분포가 균일하고 인체에 쾌적한 난방방식으로서 알려져 있다.[10] 그러나, 일반적으로 천장복사난방은 「두한족열」에 반하는 것으로 생각되어 지고 있다. 또, 바닥 복사 난방·천장복사 난방 등은 장시간 재실하는 주택과 병실·고령자를 위한 장소·도서관·연구실 등, 소음과 기류를 싫어하는 음악실·레스토랑등의 난방에 적합하다. 최근에는 건물의 단열성능의 향상에 의해 천장 복사난방이 가능해지고, 천장 표면 온도를 34℃

로 유지시키면 「semi-바닥난방」 효과를 얻을 수 있다는 보고도 있다. 또, McIntyre [2]에 의하면 통상의 실내환경에서 vector radiant temperature 10K를 상한 치로 권장하고, 평균 복사온도가 23℃의 경우 허용가능한 천장온을 38℃로 보고하고 있다.

본 논문은 온수 순환식 천장 복사난방을 이용하여 의자에 앉은 자세로 피부온의 변동을 측정하고 기온과 천장온에 따른 인체영향 및 허용온도범위를 기온과 천장온에 관련하여 검토하였다.

2. 실험 계획

2-1. 실험실 및 장치

실험은 나라여자대학 인공 기후실로, 실험은 A실(W4.5m×D5m,H2.5), 전실에는 B실(W3m×D3m,H2.5)을 사용하였다. 바닥에는 바닥난방장치(W3.7m×D3.55m)를 바닥에 설치하고, 천장난방설비(W4m×D2.56 m)는 물 순환식 천장난방장치를 부착한 아크릴판을 천장에 매달아 설치하였다. 아크릴판 사이에는 보온 호스를 사용하여 접속시켰다.

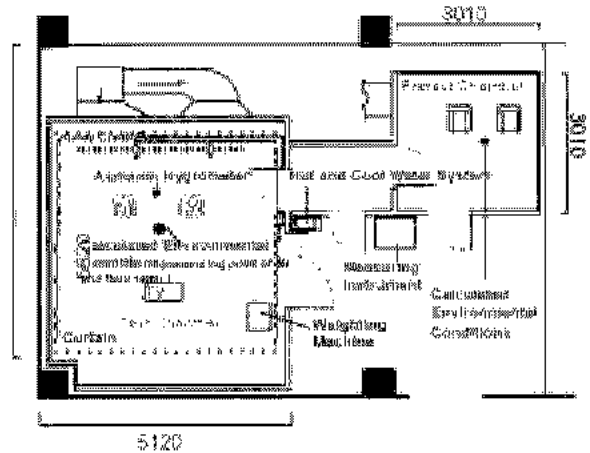


Figure 1 Plan of Climate Chamber

2-2. 설정조건

(1) 온열환경조건

설정조건은 겨울철의 실내조건을 상정하여, Table 1에 나타내듯이 기온 18℃, 21℃, 24℃로 하고, 천장온도는 25℃, 30℃, 35℃를 조합하여 7조건, 상대습도 40%, 기류속도는 0.1m/s로 하였다.

를 12ch Hybrid Recorder로 30초 간격으로 연속측정하였다. 바닥온도와 천장온도는 바닥과 천장 표면 3곳에 열전대를 부착하여 측정하고, 상대습도는 대형 아스만 통풍건습계로 측정하였다. 기류속도는 0.1m/s이하로 안정시켰다.

(2) 인체측 조건

① 피험자: 피험자는 일본나라여자대학의 건강한 여자대학생 7명으로 하였다. 피험자의 신체적 특징은 Table 2에 나타내었다. 인체의 체표면적은 일본인의 체형에 맞춘 Kurazumi의 식에 의해 산출했다. [5]

Table 2 Physical Condition and Characteristics of Subjects

	Age (yr.)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)	As (m ²)
AVG	23.0	157.3	51.6	20.9	1.51
SD	±1.41	±3.15	±4.39	±1.91	±0.06

② 노출자세: 노출자세는 의자에 앉은 자세로 실험을 행했다. 전실은 실온 23℃ 상대습도 50%로 하고 의자에 앉아서 안정을 취했다.

Table 1 Conditions of Experiment

③ 착의량: 착의는 트레이너 상하, 긴 소매 T-shirt, 속옷, 양말로 약 0.92clo였다. [4]

Environmental Conditions	Air Temp. (°C)	Ceil Temp. (°C)	Water Temp. (°C)	Operative Temp. (°C)	Relative Humidity (%)	Air Velocity (m/s)
Environmental Conditions	18°C (Water temp. of floor 18°C)	25°C	38°C	19°C	40%	less than 0.1
		35°C	48°C	19.5°C		
	21°C (Water temp. of floor 21°C)	25°C	28°C	21.3°C		
		30°C	36°C	21.7°C		
		35°C	46°C	22.2°C		
	24°C (Water temp. of floor 24°C)	25°C	26°C	24.1°C		
30°C		34°C	24.5°C			

2-3. 측정항목 및 방법

(1) 온열환경요소: 온열환경요소의 기온은 실내 가운데 바닥으로부터 0.1m, 0.6m, 1.1m 높이를, 글로벌 온도는 바닥 위와 0.6m에서 Ø0.1mm 열전대

(2) 생리적 반응: 인체 반응으로서 피부온은 ϕ 0.1mm 열전대를 피부 표면 14곳에 부착하고 30초 간격으로 측정하였다. 직장온은 피부온과 같이 30초 간격으로 측정하였다. 평균 피부온은 Hardy&Dubois의 12점법으로 산출하였다. [3] 혈압, 심박수, 체중은 실험 전후에 측정하여, 체중감소량을 구하였다.

(3) 심리적 반응: 심리적 반응은 전신 및 부위별 온열감(9단계), 쾌적감(7단계), 천장온에 대한 만족감등의 평가를 10분 간격으로 실시했다.

(4) 형태계수: Fanger의 인체와 공간구성면과의 형태계수의 측정치를 이용해서 형태계수를 구하면, 천장에 대하여 0.138[ND]의 결과가 나타났으나, [6] Fanger는 투사 면적을 이용하여 측정했기 때문에 비교적 좁은 공간에서 적용하기에 문제점이 있다. 본 논문에서는 Tsuzikawa의 의자에 앉은 상태에서의 형태계수의 측정치를 이용하여 형태계수를 구한 결과, 천장면에 대하여 0.12[ND]의 결과를 나타냈다. [7]

2-4. 실험 순서

피험자를 먼저 기온 23℃, 상대습도 50%의 전실에 입실 시켜 설정착의를 착의 시킨 후, 피부온 및 직장온의 안정을 위하여 약 30분간의 자에 앉은 자세로 안정을 취한 후, 천장 설비를 갖춘 인공 기후실에 60분간 노출시켰다. 실험은 2000년 3월~4월에 걸쳐서 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3-1. 생리적 반응의 영향

Figure 2는 온도조건별·부위별 피부온의 평균 분포를 나타낸 것이다. 피부온의 변동은 구간부는 33℃~36℃의 범위 내에서 변동하고, 손·발의 말초부에서 넓은 변동폭을 나타냈다. 머리·가슴·등부위에서 약간의 유의차를 나타내고($p < 0.5$), 이것은 천장복사온의 영향이라고 생각된다. 또, 손·대퇴부에서도 천장으로부터의 복사가 영향이 보여졌다. 기온 18℃의 경우,

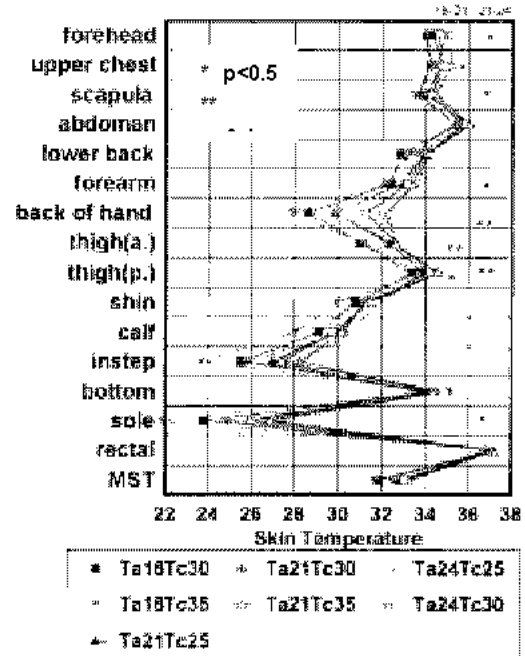


Figure. 2 Changes in Skin Temperature With Different Exposure and Air, Ceiling Temperature

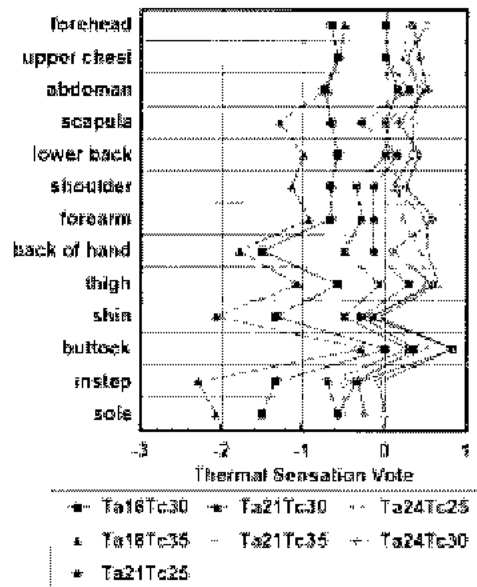


Figure. 3 Changes in Thermal Sensation Vote With Different Exposure and Air, Ceiling Temperature

발부위의 피부온이 24℃를 밑도는 낮은 피부온을 나타내고, 평균 피부온은 31.8℃~33.3℃를 나타내고, 기온 18℃의 경우에는 32℃를 밑도는 낮은 평균 피부온을 나타내었다. 직장온은 37℃부근에서 안정된 체온을 나타내었다.

3-2. 심리적 반응의 영향

(1) 각 온열조건에 따른 부위별 온열감 평가

Figure.3에 각 온열조건별의 온열감평가와의 관계를 나타낸다. 온도조건별·부위별 온열감의 평균분포를 보면 [-2:서늘하다~1:약간 따뜻하다]의 범위내의 온열감 평가를 나타내고, 기온 18℃의 경우에는 [-2:서늘하다~0:어느쪽도 아니다]의 평가를 나타내고, 손·하퇴부·발 부위에서 [-1:약간 서늘하다] 보다도 낮은 온열감 평가의 넓은 분포를 나타내었다. 기온21℃, 기온24℃에서는 전체적으로 [0:어느쪽도 아니다]의 평가를 나타내었다.

(2) 작용온도와 온열감·쾌적감 평가와의 관계

Figure.4는 작용온도와 전신 온열감·쾌적감평가와의 관계를 나타낸 것이다.

전체적으로 작용온도와 전신 온열감·쾌적감평가와의 사이에 높은 상관관계를 나타내었다. ($r=0.9$ 이상) 작용온도가 약20.5℃~24.5℃에서 [-1:약간 서늘하다~+1:약간 따뜻하다]의 범위 내에 있고, 전신 온열감 평가에서는 작용온도 약22.5℃부근에서 어느쪽도 아니다라는 온열적 중립감을 나타내었다. 쾌적감 평가에서는 작용온도 약20.5℃이상에서, [0:어느쪽도 아니다] 이상의 쾌적측의 평가를 나타내고, 작용온도 약24℃부근에서 가장 높은 쾌적감 평가를 나타내었다.

3-3. 천장온도에 대한 평가

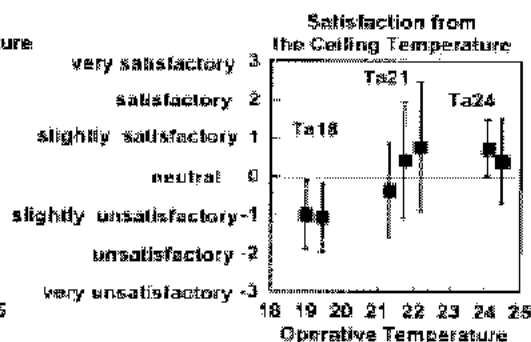
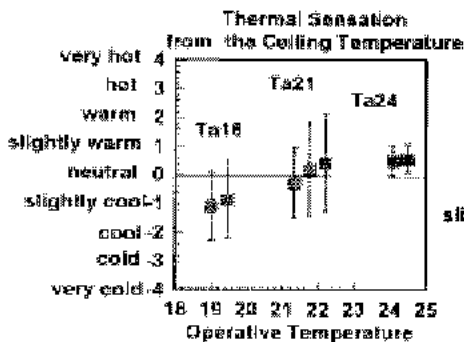


Figure.5 Relation Between Operative and Satisfaction, Thermal Sensation Vote, From the Ceiling Temperature

Figure.5에 작용온도와 천장온도에 대한 온열감·만족감과의 관계를 나타내었다.

천장온도에 대한 온열감 평가는 전체적으로 [-1:약간 서늘하다~+1:약간 따뜻하다]의 범위에 있고, 기온21℃의 경우, 높은 표준편차를 나타내는 등 개인차가 크게 나타났지만, 천장복사온의 영향이 각 조건에 크게 나타났다. 작용온도와 천장온의 만족감에서는 기온18℃의 경우에는 천장온도의 영향이 작고 [-1:약간 불만이다]의 평가를 나타내고, 기온21℃의 경우에는 천장온이 올라갈수록 높은 만족감을 나타내고, 개인차도 크게 나타났다. 기온24℃의 경우에는 천장온이 올라갈수록 낮은 만족감 평가를 나타내었다.

4. 결론

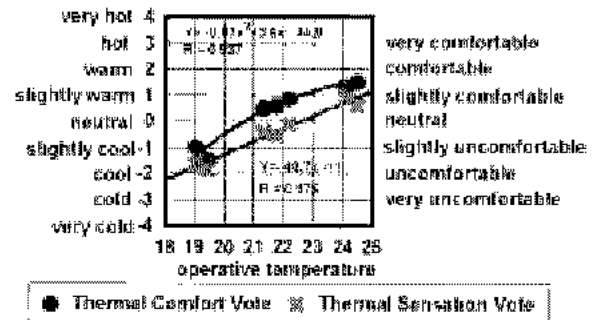


Figure. 4 Relation Between Operative Temperature and Thermal Sensation Vote, Thermal Comfort Vote

