

# 바닥 복사 난방시 바닥온도와 거주자 자세 변화에 따른 인체 반응에 관한 연구

김 동 규, 김 세 환<sup>\*†</sup>

부경대학교 냉동공조공학과, \*동의대학교 건축설비공학과

## The Study of Human Response for Floor Surface Temperature and Resident's Posture Change

Dong-Gyu Kim, Se-Hwan Kim<sup>\*†</sup>

Department of Refrigeration and Air conditioning Engineering, Pukyung National University,  
Busan 608-739, Korea

\*Department of Building, Dong-eui University, Busan 614-714, Korea

(Received December 6, 2011; revision received October 24, 2012)

**ABSTRACT:** The radiant floor heating system is traditional heating system in Korea. Radiant floor heating is small in vertical temperature difference, air stream and radiant heat distribution is uniform. And radiant floor heating system provide thermal comfort conditions to the a resident. This study was undertaken to evaluate the physiological-subjective responses of the resident's posture change such as sitting and standing. The experimental investigations were carried out in climate chamber, and subjects were 4 college-age students in good health. The physiological response was skin temperature and subjective response was undertaken survey of TSV and CSV. The results were summarized as follows; The comfortable temperature range of plantar surface was 35.1~38.9°C and buttock surface was 37.8~39.3°C.

**Key words:** Radiant floor heating(바닥 복사 난방), Thermal comfort(온열쾌적감), Skin temperature(피부온도), Plantar(발바닥), Buttock(둔부)

### 기 호 설 명

TSV : Thermal Sensation Vote  
CSV : Comfort Sensation Vote

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

바닥 복사 난방은 우리나라의 전통적인 난방방식

으로서 '온돌'이라는 형태로 오랜 세월 동안 변형, 발전하면서 우리의 주거생활과 건축양식에 많은 영향을 미쳐온 난방형태이다. 바닥 난방은 실내상하의 온도 차이가 적고, 실내의 기류 및 복사열 분포가 균일하며, 인체에 두한족열(頭寒足熱)의 온열감을 제공하기 때문에 쾌적성이 우수한 것으로 알려져 있다. 또한 바닥의 더운 공기가 대류 하여 건조해지는 대류난방이나 온풍난방과는 달리 바닥 복사 난방은 공기의 대류에 의한 난방이 아니므로 먼지·세균 등을 확산시키지 않는다. 이러한 이유 등으로 거주시설 등에서 바닥 난방 방식을 많이 사용하고 있다.<sup>(1,2)</sup> 또한 공동주택의 환기설비 기준에 따르면 실내공기질 유지를 위해 시간당 0.7회의 환기 횟수

† Corresponding author

Tel.: +82-51-890-1983; fax: +82-51-890-2625

E-mail address: ksh@deu.ac.kr

를 규정하고 있다. 본 연구에서는 공동주택의 환기 횟수 기준을 참조하여 바닥표면온도 조절과 실내의 환기 횟수 조절이 가능한 항온항습실 환경 챔버내에서 바닥 난방 시 바닥표면온도에 의한 열복사 조건과 바닥 접촉부위의 열전도에 의한 영향이 인체의 온열쾌적감에 어떠한 영향을 미치는가를 고려하여 피험자의 국부 피부온도, 주관적 반응인 설문 결과를 도출하였다. 주관설문과 국부 피부온도 사이의 관계를 통해 거주자세에 따른 발바닥 및 둔부의 쾌적표면온도 범위를 제안하였다.

1.2 기존 연구 현황

본 연구에 참고하고자 인체온열반응 및 냉난방 관련 연구동향을 고찰하였다. 송국섭은 바닥 복사 난방 환경 하에서 각종 마감 재료별 둔부 온도 영향에 관하여 다루었고,<sup>(4)</sup> 바닥 복사 난방 조건에서 열류량과 쾌적을 고려할 때 적절한 온도는 27~33℃를 제안하였다.<sup>(5)</sup> 이동주는 온도의 쾌적실유지에 적절한 바닥표면온도 설정에 관한 실험적 연구에서 온도의 적정바닥표면온도는 겨울철 보통의 기후조건(서울)에서 약 28℃라고 하였다.<sup>(6)</sup> 김명주 등은 겨울철에 19℃ 및 24℃ 실내 환경에서 피험자의 내복 착의 유무에 따른 온열감각 차이, 연령과 성별에 따른 피부 온도와 온열감각 차이에 관하여 다루었다.<sup>(6, 7)</sup> 이무진 등은 바닥 복사 난방시 피부온도의 변화에 관한 연구(방바닥에 누운 상태를 중심으로) 변화 특성 및 신체 전체의 온열 감각을 분석하였다.<sup>(8)</sup> 정광섭<sup>(9)</sup>은 온돌난방에서 바닥표면온도의 변화에 따른 인체의 국부적 온열감을 20대 남자를 대상으로 실험을 하였고, 신체 말초 부위의 피부온도는 바닥온도의 증가에 비례한다고 하였다. 대한주택공사에<sup>(10)</sup> 의하면 우리의 온열환경적 특성은 미국이나 일본보다는 바닥 표면의 온도가 높아야만 쾌적감을 느낀다고 하였다. 한국 동력 자원 연구소의 조사결과 한국의 복사 난방 평균 온도는 32.4℃~44.3℃로, 윤용진<sup>(11)</sup>의 경우 30.6℃~38.8℃로 나타났으며 이 결과 값들의 평균 값을 구해보면 35℃로 나타났다. 바닥 복사 난방시 적정 바닥 표면온도와 관련된 외국의 기준은 Table 1과 같다. 국내 연구결과와 비교할 때 쾌적한 바닥 표면온도가 생활양식의 차이에 기인하여 외국기준보다 높음을 알 수 있다. 본 연구와 관련 있는 기존 연구들은 다양한 분야에서 부분 바닥가열 난방 시스템 적용 가능성, 겨울철 실내 거주자의 온열감각 지표, 겨울철 실내온도를 낮추었을 때 거주자의 온

Table 1 Floor surface temperature of Floor radiant heating

Researcher	Range of temperature
Olsen	Sitting : 25℃ Standing : 23℃
KSU	15.6℃~29.4℃ Max. 32.2℃ (Condition within one hour short-stay)
Bedford	24~25℃
Liese	25℃
ASHRAE	29℃ below
ISO	29℃ below

Table 2 Measurement conditions

Item	Contents
location	Artificial environmental chamber
Size	24.7 m <sup>3</sup> (5 m×2.47 m×2 m)
Subjects	Man A : Height 175 cm Weight : 82 kg
	Man B : Height 170 cm Weight : 70 kg
	Women A : Height 163 cm Weight : 50 kg
	Women B : Height 160 cm Weight : 48 kg
Period	1 April to 13 April(2011)
Experiment time	100 min.
Experiment conditions	Surface temp. : 25℃ 30℃, 35℃
	Room temp. : 22℃
	Relative humidity : 50% Air exchange rate : 0.7/h

열감각 등에 대하여 다루었다.

3. 실험 개요

3.1 실험 방법

실험은 D대학교 공과대학 공조연구실 내 환경 챔버에서 실시하였다. 실험기간은 2011년 4월 1일부터 4월 13일까지 총 13일간에 걸쳐 진행하였다. 실험에 사용된 측정조건은 Table 2와 같으며 실험장소는 항온항습기를 통해 실내 온습도가 제어되는 환경챔버로서 바닥 표면온도는 데이터로거와 PC를 이용하여 9 point를 선정해 10초 간격으로 30분씩 측정하여 제시한 바닥 온도를 조건을 충족한 후 실험을 시작하였다(Fig. 1).

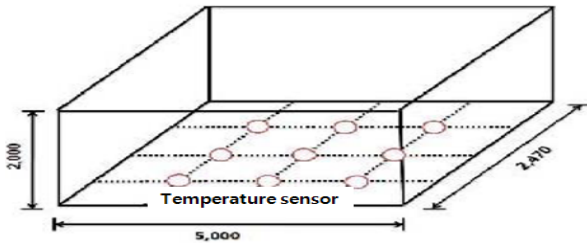


Fig. 1 Temperature sensor locations.

Table 3 Measurement Equipment

Item	Equipment
Temp.	ALMEMO 5690-2
Blood pressure, pulse	NESSI WS-500
Humidity	SATO SK-90TRH
CO, CO <sub>2</sub>	TSI 8731(Q-CHECK)
Tympanic temperature	Easytem

환경챔버 내부의 바닥 표면 온도는 전기를 사용하는 바닥 패널을 이용하여 25℃, 30℃, 35℃로 제어하였다. 항온항습기를 가동하여 환경 챔버내 설정 온습도 22℃, 50%를 유지하였고, 피험자들이 기류속도를 느끼지 못하도록 기류속도는 0.1 m/sec 이하를 유지하였다. 또한 챔버내부의 공기질 유지를 위하여 챔버내 환기 횟수는 시간당 0.7회를 유지하였다.

피험자는 대학생 성인 남녀 4인을 선정하고, 실험 기간동안 실험에 영향을 줄 수 있는 자극적인 음식과 더불어 심한 운동 등을 제한하였다. 실험에 참가하는 피험자는 실험 참가 전 혈압, 맥박, 고막온 등의 간단한 검사를 통해 신체 이상 유무를 확인하였다. 피험자는 챔버에 입실 전 30분 이상 연구실 내에서 안정을 취한 후 동일한 의복을 착용한 상태로 실험에 참여하였다.

피험자는 바닥 난방 패널의 평균 온도를 나타내는 위치에서 입식, 좌식 자세일 때 바닥 표면과 인체가 접촉하는 부분과 기타 신체 말초부위 피부온도를 100분 동안 측정하였다. 또한 실험을 진행하는 동안 20분 간격으로 온냉감 및 쾌적감에 대한 주관설문을 실시하였다. 실험에 사용된 측정장비는 Table 3과 같다.

### 3.3 주관설문

실험을 진행하는 동안 바닥 표면 온도와 자세에 따른 피험자의 심리반응을 평가하기 위해 온냉감과 쾌적감에 대한 설문을 실시하였다. Table 4는 본 연구에서 피험자의 온냉감 및 쾌적감을 측정하기 위해 사용한 척도이다. 피험자의 주관온열반응평가(TSV

Table 4 Scale of TSV and CSV

Item	Scale	
TSV	+3	Hot
	+2	Warm
	+1	Slightly warm
	0	Neutral
	-1	Slightly cool
	-2	Cool
CSV	-3	Cold
	0	Comfortable
	1	Slightly Comfortable
	2	Uncomfortable
	3	Very Uncomfortable

: Thermal sensation vote)는 피험자가 처한 환경에 대한 주관적 열쾌적에 관한 지표이며, ISO 10551의 기준과 ASHRAE<sup>(12)</sup>를 참고하여 주관온열반응평가 설문지를 작성하여 실험에 참가하기 전 피험자에게 자세한 설명 및 내용을 숙지하도록 교육하였다.

## 4. 실험결과

### 4.1 피부온도

측정 결과는 실내온도 22℃, 상대습도 50%의 동일한 조건에서 바닥표면 온도를 25℃, 30℃, 35℃로 제어한 상태에서 전 실험시간 동안 피험자의 자세 변화에 따른 인체 부위 피부온도 평균 값을 나타낸 값이다. 입식자세는 의자에 앉아 발바닥이 바닥 표면에 맞닿아 있는 자세로서 발바닥 표면 및 기타 신체 말초부위에 온도 센서를 부착하였다. 반면에 좌식은 바닥 표면에 앉아서 생활하는 경우로 바닥 표면에 맞닿고 있는 둔부 양쪽에 온도 센서를 부착하여 온도를 측정하였다. Table 5는 입식 및 좌식 조건에서 신체 피부온도의 평균 값과 표준편차를 나타낸 것이고, Fig 2, Fig. 3은 입식 및 좌식에서 설정조건에 따른 발바닥 및 둔부의 표면온도 경시변화를 나타낸 것으로, 둔부의 표면온도가 발바닥보다 높았다. 입식의 경우 바닥 표면설정온도 25℃ 조건에서 발등의 평균 표면온도는 27.5℃로 나타났고, 설정온도 35℃에서는 31.4℃로서 3.9℃ 증가하는 경향을 나타냈다.

반면에 발등을 제외한 나머지 신체부위의 온도차이는 상대적으로 미미하였다. 또한 설정온도 25℃, 30℃ 조건은 신체 상부가 신체 하부에 비해 온도가 높은 두 열족한의 조건으로서 국부불쾌감을 유발하는 조건

Table 5 Floor surface temperature and skin temperature according to the resident position[°C]

		Forehead	Forearm	Back of the hand	Calf of the leg	Top of the foot	Plantar
		Standing 25°C	Mean	32.0	30.0	30.5	29.8
	S.D	0.5	0.2	0.3	0.6	0.9	0.5
Standing 30°C	Mean	33.8	29.3	30.5	29.8	28.7	33.6
	S.D	0.3	0.5	0.8	0.6	0.3	1.5
Standing 35°C	Mean	33.4	30.5	31.5	30.9	31.4	38.8
	S.D	0.2	0.7	0.9	0.4	0.4	0.7

		Forehead	Forearm	Back of the hand	Calf of the leg	Top of the foot	Buttocks
		Sitting 25°C	Mean	32.7	29.9	29.9	30.4
	S.D	0.2	0.6	1.0	0.5	0.8	0.6
Sitting 30°C	Mean	33.3	30.2	30.1	31.8	31.6	39.0
	S.D	0.2	0.4	0.4	0.2	0.5	0.3
Sitting 35°C	Mean	32.3	30.7	31.9	31.2	33.1	41.3
	S.D	0.6	0.3	0.5	0.9	0.7	0.8

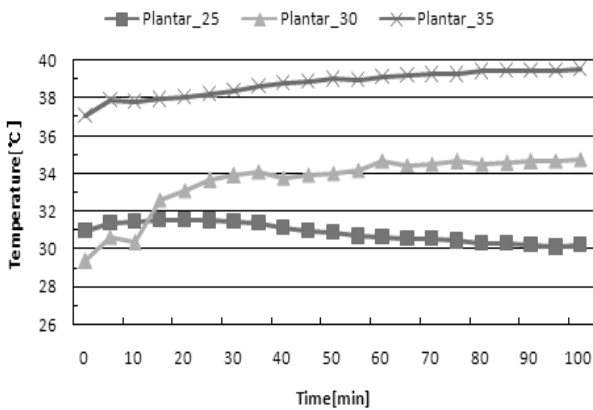


Fig. 2 Plantar surface temperature changes over time.

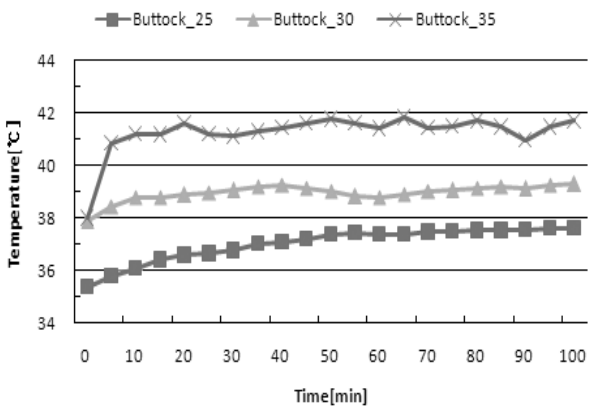


Fig. 3 Buttock surface temperature changes over time.

이었지만, 35°C 조건은 두한족열의 조건으로서 국부 불쾌감을 유발하지 않은 조건으로 나타났다. 좌식의 경우 입식과 동일하게 바닥표면에 근접한 둔부와 발등의 표면온도는 바닥표면온도 증가에 따라 증가하였지만, 신체 상부에 해당하는 이마, 팔뚝, 손등 등은 차이가 적었다. 또한 신체 상하부를 비교할 때 모든 조건에서 두한족열의 형태로 신체 상부에 비해 하부에 해당하는 둔부의 피부표면온도가 높았다. 따라서 생활거주 양식으로 인하여 바닥표면에 앉아서 생활하는 좌식이 의자에 앉아 있는 입식에 비해 바닥표면으로부터 방열에 유리하므로 신체하부의 피부온도가 높게 나타났다.

4.2 설문조사

Fig. 4 및 Fig. 5는 바닥표면온도 조건에 따라 피험자가 느끼는 온냉감을 시간흐름에 따라 나타낸 것이다. 입식의 경우 25°C와 30°C는 시간의 흐름에 따라 점점 춥다고 신고하였다. 이는 인체표면온도보다 대기중의 온도가 낮고 직접적인 바닥 복사 난방의 방열 영향이 발바닥에서 종아리 정도밖에 되지 않기 때문이다. 35°C의 경우는 방열 영향이 발바닥에서 손등까지 영향을 미치는 것으로 판단되므로 인체가 느끼는 온냉감은 중립에서 조금 따뜻하다 정도로 유지가 되었다. 반면 좌식일 경우 25°C에서 서늘하다 정도를 신고하였고, 30°C 조건은 중립, 35°C 조건은 따뜻하다와 덥다 사이를 신고하였다. 좌식 자세인 경우 직접적인 바닥 복사 난방의 열전도 효과가 둔부에서 얼굴 부위까지 전달되어 인체가 느끼는 전체적인 온냉감 평가는 입식에 비해 높게 나타났다.

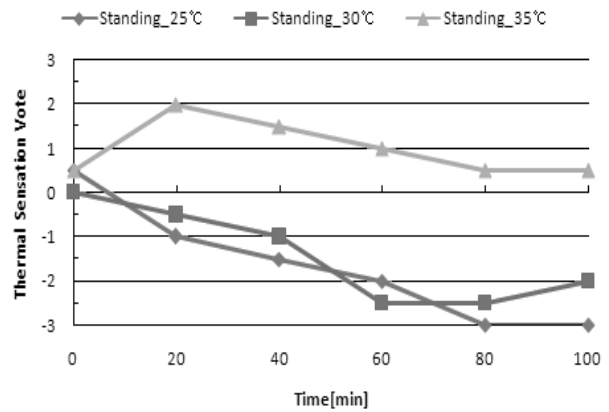


Fig. 4 TSV in accordance with the floor surface temperature(Standing).

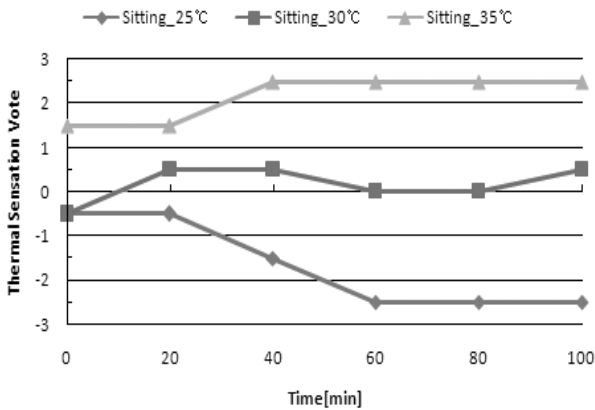


Fig. 5 TSV in accordance with the floor surface temperature(Sitting).

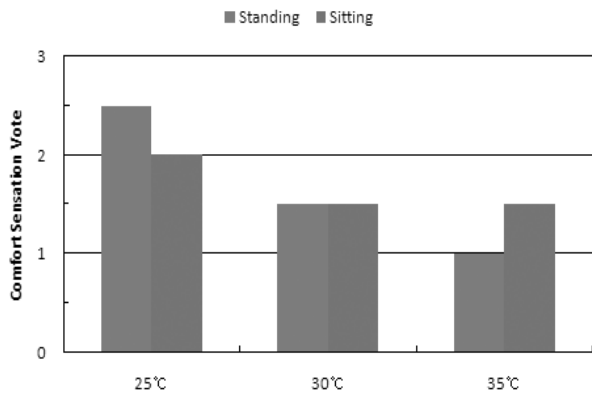


Fig. 6 CSV in accordance with the floor surface temperature.

Fig. 6은 입식 및 좌식 자세일 때 실험 중반(60분) 이후 종료까지 40분 동안의 평균 쾌적감을 나타낸 것이다. 입식 및 좌식 모두 25°C 조건은 불쾌하다고 신고를 하였지만, 바닥 표면온도가 증가함에 따라 쾌적하다고 신고를 하였다. 다만, 바닥 표면 온도 35°C 조건의 경우 온냉감의 시간 추이에 따른 경향을 보면 좌식의 경우 바닥 표면으로부터 진도에 따른 열류의 영향으로 인하여 입식보다 쾌적도가 다소 감소한 것으로 판단된다.

4.3 쾌적범위

바닥 난방시 거주자 자세에 따른 쾌적한 바닥접촉 신체부위 표면온도 범위를 구하기 위하여 입식의 경우 발바닥 표면온도, 좌식의 경우 바닥과 접촉하는 둔부 하부 표면온도와 온냉감과의 관계를 고려하였다. Fig. 7은 입식 자세일 때 온냉감과 발바닥 표면온도 사이의 회귀관계를 나타낸 것이고, Fig. 8

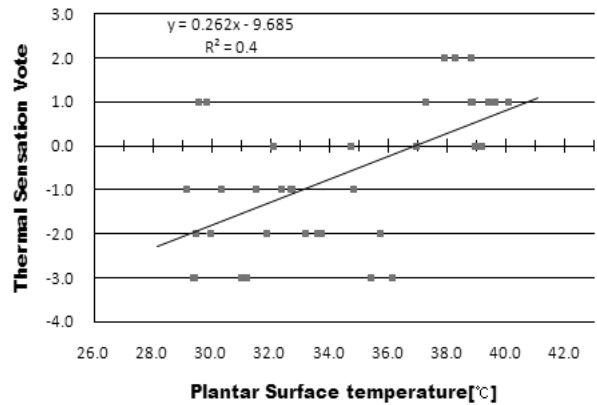


Fig. 7 The relationship TSV and plantar surface temperature.

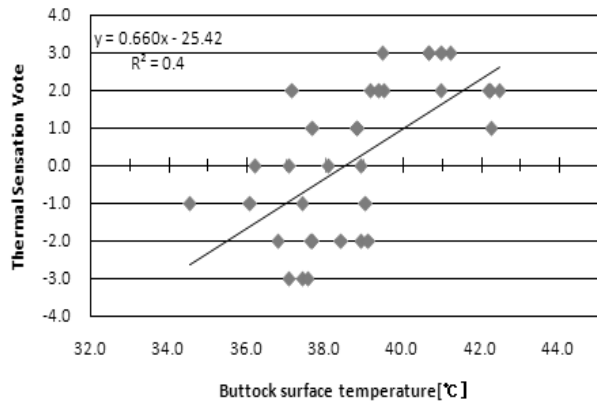


Fig. 8 The relationship TSV and buttock surface temperature.

은 좌식의 경우 온냉감과 둔부 표면온도와와의 회귀관계를 나타낸 것이다.

입식 자세에 대한 회귀식은 식(1)과 같고, 쾌적한 온냉감 범위(TSV ±0.5)기준에 따른 발바닥 표면온도는 35.1~38.9°C로 나타났고, 중립온도는 약 37°C로 나타났다.

$$TSV = 0.262 \times X - 9.685 (R^2 = 0.4) \quad (1)$$

X : 발바닥 표면온도[°C]

좌식 자세에 대한 회귀식은 식(2)와 같고, 쾌적한 온냉감 범위(TSV ±0.5)기준에 따른 둔부 표면온도는 37.8~39.3°C이고, 중립온도는 약 38.5°C로 나타났다.

$$TSV = 0.660 \times Y - 25.42 (R^2 = 0.4) \quad (2)$$

X : 둔부 표면온도[°C]

바닥 표면 온도와 공기온도 조건을 동시에 고려한 바닥 표면 온도 쾌적 온도 범위는 30.6~38.8°C로 제

시한 결과<sup>[11]</sup>와 비교할 때 본 연구에서 나타난 입식과 좌식의 신체 부위 표면온도 범위는 입식의 경우 상한측 영역에 치우쳐 거의 일치하고 있지만, 좌식의 경우 상한측 영역을 약 0.5°C 초과하는 것으로 나타났다. 입식과 좌식의 경우 쾌적범위의 차이가 발생하는 것은 바닥 표면으로 부터의 방열량이 신체 부위에 영향을 미치는 범위에 차이가 있기 때문이고, 또한 접촉면적의 차이가 있어 접촉면적이 넓은 둔부쪽의 표면 온도가 발바닥 보다 높게 나타나는 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

1) 신체부위 피부온도를 고려할 때 입식의 경우 설정온도 30°C 이하 조건은 국부불쾌감을 유발하는 두열축한의 조건이었지만, 35°C 조건은 두한축열의 조건으로서 국부불쾌감을 유발하지 않은 조건으로 나타났다. 반면에 좌식은 모든 설정조건에서 두한축열의 형태로 나타났다.

2) 주관설문 결과 바닥 표면으로부터 방열영향이 신체 전반에 영향을 끼치는 정도를 고려할 때 입식에 비해 좌식이 양호한 평가를 나타내었다.

3) 쾌적한 발바닥 표면온도는 35.1~38.9°C, 둔부 표면온도는 37.8~39.3°C로 나타났다. 기존연구결과(30.6~38.8°C)와 비교할 때 입식의 경우 상한측 영역에 치우쳐 거의 일치하고 있지만, 좌식의 경우 상한측 영역을 약 0.5°C 초과하는 것으로 나타났다.

4) 향후 바닥 표면 온도와 환기횟수에 따른 인체 온열반응에 관한 연구를 수행하고자 한다.

## 후 기

본 논문은 2012학년도 동의대학교 교내 연구비에 의해 연구되었음(2012AA145).

## 참고문헌

- Choi, S. Y., Kim, S. H., and Lee, J. J., 2006, The Effect on Indoor Air Quality Improvement by Ventilation Rate in Newly Built Apartment, *Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 18, pp. 649-645.
- Choi, Y. J., Shim, H. S., and Jeong, Y. H., 2007, An Experimental Study on Difference of Thermal Sensation by Radiant Floor Heating, *Journal of the Korea institute of ecological architecture and environment*, Vol. 5, pp. 65-71.
- Song, G. S., 2005, Buttock responses to contact with finishing materials over the ONDOL floor heating system in Korea, *Energy and Building*, pp. 65-75.
- Song, G. S., 2008, Effect of floor surface temperature on blood flow and skin temperature in the foot, *Indoor Air*, pp. 511-520.
- Lee, D. J., 1992, An Experimental Study on The Optimum Temperature of Floor Surface for the Comfort of the Ondol Heating System, Master, Chung-Ang University.
- Kim, M. J. and Lee, J. Y., 2004, Clothing Microclimate and Subjective Sensations by Wearing Long Johns in Mildly Cold Air, *Journal of the Korean Home Economics Association*, Vol. 42, pp. 91-104.
- Kim, M. J., 2004, Differences in skin temperature and perceived thermal comfort based on Age, Sex and clothing weight of participants in a room at recommended room temperature, *Korean J. Community Living Science* Vol. 15, pp. 55-64.
- Lee, M. J., Kong, S. H., and Lee, J. W., 1998, A study on the change of skin temperature in the radiation panel heating(Laying stress on the state on laying on the Ondol pannel), *Journal of the architectural institute of Korea*, Vol. 14, pp. 263-270.
- Chung, K. S., 1998, A study on the assessment of local thermal sensation in human body by varying ondol floor surface temperature, *Journal of the Korean Society of Living Environmental System*, Vol. 5, pp. 33-38.
- Korea National Housing Corporation, 1998, Development and application of floor heating system in apartment housings.
- Yoon, Y. J., Park, S. D., and Shon, J. Y., 1991, Optimum Comfort Limits determination through the Characteristics of Asymmetric Thermal Radiation in a Radiant Heating Space, 'ONDOL', *Journal of the architectural institute of Korea*, Vol. 7, pp. 211-219.
- PMV-PPD model Thermal sensation, 2005, *AHRAE Handbook-Fundamental(SI)*, pp. 8-12.