

## 온돌 온열환경지표 평가방법

### Evaluation Methods on ONDOL Thermal Environmental Index

김성조<sup>1\*</sup>

Sung-Jo Kim<sup>1\*</sup>

#### 〈Abstract〉

For this purpose, the authors proposed and proved usefulness of the modified mean skin temperature which is integrated mean radiation temperature and the effect of floor contacted heat conduction. The mean radiation temperature is applied form factor between half cross-legged human body and surrounding wall of indoor. In addition the floor contacted heat conduction is applied heat transfer coefficient of half cross-legged human body. Eight Korean young men were targeted for the experiment. From the experiment the authors excerpted physiological reaction and psychological reaction in Ondol environment which is combined physiccil environmental factor of artificial climate chamber, air and floor temperature. As a result of the experiment it is confirmed that heat conduction has more impact than heat exchange from existing research for the heat exchange between half cross-legged human body and surrounding wall in Ondol thermal environment. Thereby, it is proved the effectiveness of the modified mean skin temperature which is added floor contacted temperature to the Ondol thermal environmental evaluation index.

*Keywords : Heat Conduction, Heat Exchange, Form Factor, Convective Coefficient, Modified Mean Skin Temperature*

---

1 대구한의대학교 건축디자인학부 부교수, 공학박사  
E-mail: renolife@dhu.ac.kr

1 Prof, Ph.D., Dept. of Architecture, Daegu Haany University.

## 1. 서론

실내온열환경평가 시 재실자의 열적 특성치를 지닌 난방방식에 따른 물리적 실내온열환경 인자가 재실자의 생리적·심리적 인체반응에 미치는 데이터는 건축계획 시 중요하다.

특히 온돌온열환경평가에 사용 할 인체 열수지 밸런스는 재실자의 주생활 자세가 중요한 인자가 되므로 한국인 전래(傳來) 주생활자세인 반가부좌를 온돌온열환경 평가요소로 적용할 필요가 있다. 이에 온돌난방시스템 설계 시 바닥접촉부위에 대한 인체영향을 적용하기 위해서 인체대상 실험실 실험을 통하여 바닥난방 설계 시 실내 최적 온열환경지표를 제시하는 것이 본 연구의 목표이다.

## 2. 온돌온열환경지표

### 2.1 온돌 시스템(Ondol system)

온돌방은 아궁이를 유니트(unit)로 ‘일(日)’자형 단위평면을 기본으로 구성되어 있고, 온돌난방 시스템 구성은 아궁이·채난부(온돌)·연돌부로 구분한다. 축열된 온돌 위에 반가부좌 인체의 바닥접촉부의 열전도에 의한 국부 채난(採暖)효과가 발생하여 인체에 생리적·심리적 영향을 미친다. 이 때 온돌온열환경은 바닥으로 부터의 열방사(thermal radiation)와 공기중의 열전달(convective heat transfer)에 의한 물리적 열융합(熱融合, heat convergence) 변화를 일으킨다.

### 2.2 기존연구

실내온열환경평가지표 중 평균피부온(Mean Skin Temperature,  $MST$ ) 산출시 인체표면은 부위별

로 피부온이 일정하지 않기 때문에 이를 각 부위별로 피부온이 특정한 것으로 가정하고 그 부분의 피부온을 전 체표면적에 대하여 일정한 비율로 안분비율(按分比率)한 값을 적용해서 구한다. 그러나 崔英植[1]은 온돌난방 시 국부접촉 온열감이 인체에 미치는 영향은 크기 때문에 평균피부온 산출시 바닥접촉 열전도에 의한 인체영향을 반영해야 한다고 보고하고 있다.

열전도에 의한 열수수량(Heat exchange amount)을 추정하는 데 필요한 요소로는 바닥접촉 면적과 바닥접촉 피부온이 있다. 여기에 관한 기존연구는 坊垣(1984)[2], 磯田(1986)[3], Kim B(1990)[4], 宮本(1994)[5,6], 崔英植(1996)[7] 등이 있다.

### 2.3 온돌온열환경지표 산출식[8]

온돌난방 시 반가부좌 인체에 미치는 영향을 고려한 온돌온열환경지표를 만들기 위해서는 바닥난방 시 다음과 같은 물리량 산출이 필요하다.

- (1) 인체와 주벽면(周壁面)사이의 형태계수(形態係數)를 적용한 평균방사온도( $h_r$ )
- (2) 인체의 대류열전달율( $h_c$ )
- (3) 인체의 바닥접촉 피부온을 추가한 전도수정 평균피부온도( $MST_d$ )

#### 2.3.1 반가부좌 인체와 주벽면(周壁面) 사이 형태계수를 적용한 평균방사온도( $MRT, t_r$ )

실내에서 열방사(thermal radiation)의 영향을 무시할 수는 없다. 그리고 열방사 계산 시 반드시 형태계수(形態係數, Form factor)가 문제가 된다. 실내에서 인체와 주벽면 사이의 열방사 교환량의 산출이나 열방사환경을 표현하는 평균방사온도 산출시 인체와 주벽면 사이의 형태계수가 필요하다. 여기서 반가부좌 인체의 형태계수를 고려한 평균방사온도  $MRT$ 는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$MRT = t_f \varphi_{s-f} + t_w (1 - \varphi_{s-f}) \quad (1)$$

여기서,

- $t_f$  : 접촉부위를 제외한 바닥면 평균온도 [°C]
- $\varphi_{s-f}$  : 반가부좌인체 바닥 사이 형태계수 [nd]
- $t_w$  : 바닥면 이외의 주벽면 평균온도 [°C]

### 2.3.2 반가부좌 인체의 대류열전달율( $h_c$ )

인체의 대류열전달율은 주생활 자세에 따라 달라진다. 동일한 실험에서도 피부온과 기온의 온도차에 따라서 그 값이 다르게 나탈 수 있다[9]. 이를 보완하기 위하여 본 실험에서는 열류계(熱流計)를 이용하여 인체의 현열방산량(顯熱放散量)을 측정하고 이것을 토대로 반가부좌 인체의 대류열전달율( $h_c$ )을 식(2)로 산출 하였다.

$$h_c = \frac{(H - R)}{(t_{si} - t_a) f_{cov}} \quad [W/m^2K] \quad (2)$$

여기서,

- $H$  : 열류계 측정량[W/m<sup>2</sup>]
- $R$  : 방사방열량[W/m<sup>2</sup>]
- $t_{si}$  : 바닥접촉부위 제외한 평균피부온도[°C]
- $t_a$  : 기온[°C]
- $f_{cov} = \frac{A_c}{A_s}$  : 유효대류면적율[nd]
- $A_c$  : 대류에 노출된 체표면적[m<sup>2</sup>]
- $A_s$  : 인체 전 체표면적[m<sup>2</sup>]

실험실 실험에서 식(2)의 분모 우변의 상수를 제외한 각항에 대해서는 직접 측정이 가능하므로 반가부좌 인체의 대류열전달율  $h_c$ 를 산출할 수 있다.

### 2.3.3 반가부좌 인체의 평균피부온

여기서 피부온이란 인체 피부의 표면온도를 말

한다. 인체 각 부위별 피부온은 인체를 하나의 개체로 보아 피부에서의 열 교환에 대해서 검토할 경우에는 전신 피부온을 하나의 융합된 대표 값으로 나타낼 필요가 있다. 이를 위하여 전신의 다수 개소에서 피부온을 측정하여 각 측정점이 전 피부 표면에 접하는 비율에 근거하여 일정비율로 나는 안분비율(按分比率)로 평균피부온을 산출하며, Hardy- DuBois의 7점법은 인체의 평균피부온을 인체 7부위에 안분비율을 적용하여 식(3)[10]으로 산출하였다.

$$T_s = \text{이마} \times 0.07 + \text{팔뚝위} \times 0.14 + \text{손} \times 0.05 + \text{발} \times 0.07 + \text{종아리} \times 0.13 + \text{허벅지} \times 0.19 + \text{몸통} \times 0.35 \quad (3)$$

## 3. 실험계획

실험은 영남이공대학 창조관 1층 건축과 인공기후실에서 Table 1의 설정조건으로 실시하였다.

### 3.1 설정조건

Table 1. Environmental conditions

Symbol	$t_a$ [°C]	$t_f$ [°C]	RH [%]	$v$ [m/sec]	$t_w$ [°C]
Environmental Conditions	20	20	50	less than 0.1	= $t_a$
		30			
		35			
		40			
	22.5	22.5			
		30			
		35			
		40			

$t_a$  : air temperature[°C]  $t_f$  : floor temperature[°C]

RH : Relative Humidity[%]

$v$  : air velocity[m/sec]  $t_w$  : wall temperature[°C]

### 3.2 피험자

온돌 난방에 대한 실내온열환경평가 지표를 제안하기 위하여 건강한 한국인 청년남자 8명을 피험자로 채용하였다. 피험자의 신체 데이터를 Table 2에 나타내고 있다.

Table 2에서 체표면적( $A_s$ ) 산출은 후지모토(藤本)의 산출식인 식(4)를 적용하였고, 바닥접촉면적( $A_b + A_t$ ,  $A_b$  : 바닥접촉 둔부면적,  $A_t$  : 바닥접촉 발 접촉면적)은 어두운 실내에서 감광지(感光紙) 위에 피험자를 앉히고 형광등을 투광하여 이때 비감광부의 면적을 디지털라이저(digitizer)로 산출하여 인체바닥접촉면적으로 적용하였다.

### 3.3 실험실

실험실 구성은 제어실(Control room)·전실(Pre-climate chamber)·인공기후실(Artificial-climate

chamber)로 되어 있고, 제어실에는 전실과 인공기후실의 실내공기(온도·습도·풍속) 조절을 각각 독립적으로 할 수 있도록 공기조화기가 2대 설치되어 있고, 바닥난방은 조립식 전기판넬을 인공기후실 바닥에 설치하고 난방온도조절기는 제어실에 설치해 놓았다.

전실은 본 연구의 기초 환경기후실로 피험자가 인공기후실에 폭로 되었을 때 외기온(out air temperature) 즉, 계절의 변화에 관계없이 피험자로부터 일정한 데이터를 얻어낼 수 있도록 하기 위하여, 전 실험 기간 동안 전실의 제어조건은 기온(=평균바사온도) 25℃, 상대습도 50%, 기류 0.1m/sec 이하로 실험이 끝날 때 까지 유지하였다. 또한 전실에 정밀 발한(發汗) 측정기를 두고 그 위에 의자를 놓고 실험 시 피험자를 앉히고 실험 전후에 피험자의 발한량(發汗量, Sweating amount)을 측정 하였다.

### 3.4 측정항목·측정기기·측정방법

#### 3.4.1 인공기후실 온열환경 측정

인공기후실의 온열환경측정을 위해서 실험실 기준점점(based contact point)은 실험시작 30분전 박편 얼음을 가득채운 스테인리스 보온보냉 통에 생수를 조금 부은 후 여기에 0.3mmφ T형 열전대(thermocouple)를 꽂아 이 측정 온도를 냉접점(cold contact point)으로 하였다.

인공기후실의 온열환경(기온, 주벽면온도, 바닥표면온도, 바닥접촉온도, 후구온도, 습도, 풍속)에 대한 물리량 측정은 각각의 측정회로(測定回路)에 0.3mmφ T형 열전대를 접속해서 전압계(電壓計, voltmeter)로 열기전력(熱起電力, thermo-electromotive force)을 측정하여 측온점점(測溫接點) 온도를 측정하였다.

실내기온( $t_a$ )과 바닥온( $t_f$ ) 측정은 실험실 바닥 네 곳에 바닥표면과 이와 동일한 바닥 위 측온점

Table 2. Physical characteristics of subjects

Subjects	Age	Height [cm]	Weight [kg]	$A_s$ [m <sup>2</sup> ]	$A_b + A_t$ [m <sup>2</sup> ]	Native Place
HM	22	173	80	1.89	0.08	Tague
MN	22	168	69	1.74	0.07	
SS	21	174	77	1.87	0.08	
KH	22	175	65	1.73	0.07	
JY	21	174	70	1.79	0.08	Kyoung-Book
KY	22	168	56	1.58	0.06	
HS	21	167	62	1.65	0.07	
IS	21	168	65	1.69	0.08	

$A_s$  : total body surface area,

$A_b + A_t$  : floor contacted of body surface area

$$A_s = 88.83 \times 10^{-4} \times W_t^{0.444} \times H^{0.663} \text{ [m}^2\text{]} \quad (4)$$

여기서,

$W_t$  : 체중[kg]  $H$  : 신장[cm]

점(바닥 위 25cm, 50cm, 70cm, 150cm, total 16 point)에 0.3mmφ T형 열전대를 설치하고, 기류의 영향이 최소화되도록 열전대 끝부분을 은박지로 감싸서 보호하여 측정하였다.

이상 인공기후실의 온열환경 측정은 실험기간 동안 설정된 모든 조건하에서 측정회로에 연결된 데이터로거(Data logger)에 30초 간격으로 자동입력 되도록 하였다.

### 3.4.2 피험자 반응 측정

피험자의 온돌온열환경에 대한 반응은 생리반응과 심리반응 두 가지를 측정하였다. 피험자는 반라(半裸)상태로 탈의한 후 피험자 측 실험준비가 끝나면 전실에서 30분 동안 정온(靜穩, calmness) 상태로 의자에 앉아 실내기온 25℃, 습도 50%, 기류 0.1m/sec 이하로 조절된 본 연구의 기초 환경에 적응시킨 후 인공기후실로 이동한다.

실내기온과 바닥온과 습도와 기류가 조절된 인공기후실에서 피험자는 반가부좌로 앉아 60분 동안 생리반응(피부표면온도·대류열량·발한량·구강온도)을 측정회로를 통해 30초 간격으로 데이터로거에 자동 입력하고, 피험자의 심리반응(온열감 및 쾌적감)은 5분 간격으로 신호를 보내 피험자가 가까이 마련해둔 평정척도 설문지에 피험자가 직접 기록하도록 하였다.

#### (1) 피부온 측정

피부온 측정을 위한 0.2mmφ T형 열전대 접촉 부위는 Hardy-DuBois의 12점 부위에 대퇴(大腿)와 하퇴(下腿) 뒷부분을 제외한 부위와 손바닥, 둔부(臀部) 좌우, 발 좌우 측면부, 발바닥 등 모두 16 point이고, 중심체온으로 구강온(oral temperature)을 채택하고 실험 시작 전 피험자의 혀바닥 아래에 0.2mmφ T형 열전대를 넣어 실험동안 입을 다문 상태에서 측정하였다.

## 4. 표현방법

### 4.1 인체 생리반응

본 연구에서는 식(3)에 나타난 Hardy-DuBois 7점 산출식을 근거로 12점 안분비율 분할로 산출한 Hardy-DuBois의 평균피부온(MST) 산출식인 (5)식을 바탕으로 하였다. 인체 피부면에서의 방사(放射)에 대한 실측치로 산출하는 생리학적 방법을 이용하여 반가부좌 피험자가 바닥에 접촉한 좌우 둔부 2곳과 발 측면부 좌우 2곳을 (5)식에 추가하여 15점을 안분비율로 분할한 수정평균피부온(MST<sub>d</sub>) 산출식인 (6)식을 제안하였다..

$$MST = \sum_{i=1}^n W_i t_i \quad (5)$$

$$MST_d = \sum_{i=1}^n W_{i(C+R+C_d)} t_i + W_b t_b + W_f t_f \quad (6)$$

여기서,

MST : Hardy-DuBois의 12점 안분비율 적용한 평균피부온

MST<sub>d</sub> : (Hardy-DuBois의 12점 - Posterior - Calf + Palm) + (Buttock\* + side of Foot\*)

$$Buttock^* = W_b - \frac{A_b}{A_s}$$

$$side\ of\ Foot^* = W_f - \frac{A_f}{A_s}$$

W<sub>b</sub> : 인체 바닥접촉 둔부 안분비율[nd]

W<sub>f</sub> : 인체 바닥접촉 발 측면 안분비율[nd]

A<sub>s</sub> : 전 체표면적[m<sup>2</sup>]

A<sub>b</sub> : 바닥접촉 둔부 면적[m<sup>2</sup>]

A<sub>f</sub> : 바닥접촉 발측면 면적[m<sup>2</sup>]

W<sub>i</sub> : Hardy-DuBois 12점 안분비율

$W_f$  : Hardy-DuBois 12점-Posterior  
 - Calf+Palm에 인체 바닥접촉 면적을  
 제외한 부위별 안분비율

**Table 3. Proportional distribution of Hardy-Dubois 12 Point and  $MST_d$  15 Point**

Measuring Position	Hardy-Dubois 12 Point	$MST_d$ 15 Point	Sensible Heat Loss
forehead	0.07	0.07	0.079
upper chest	0.0875	0.0875	0.099
abdomen	0.0875	0.0875	0.099
shoulder blade	0.0875	0.0875	0.099
lower back	0.0875	0.0875	0.099
forearm	0.14	0.14	0.157
back of hand	0.15	0.025	0.056
palm		0.025	
anterior thigh	0.095	0.095	0.107
posterior thigh	0.095	0.06	
buttock		$0.035(W_b^*)$	
shin	0.065	0.13	0.205
calf	0.065		
sole		0.035	
instep	0.07	0.026	
side of foot		$0.009(W_f^*)$	
Total	1	1	1

$$W_b^* = W_b - \frac{A_b}{A_s} \quad W_f^* = W_f - \frac{A_f}{A_s}$$

$W_b$  : Weighting coefficients of Contacted Buttock

$W_f$  : Weighting coefficients of Contacted side of foot

$A_s$  : Total body surface area[m<sup>2</sup>]

$A_b$  : Contacted Buttock area[m<sup>2</sup>]

$A_f$  : Contacted side of Foot area[m<sup>2</sup>]

반가부좌(半跏趺坐) 인체 접촉부분 피부온을 가미하기 위하여 Hardy-DuBois의 안분비율(按分比率, proportional distribution) 계수에 반가부좌 자세 접촉부위를 가미한 산출식은 식(7)과 같다.

$$MST_d = \sum_{i=1} W_{i(C+R+C_d)} t_i + W_b t_b + W_f t_f \quad (7)$$

여기서,

$MST_d$  : 접촉온을 가미한 평균피부온도[°C]

$W_i$  : Hardy-DuBois 12점 안분비율계수[nd]

$W_{i(C+R+C_d)}$  :  $W_i$ 의 대퇴부와 발을 접촉부와 비접촉부로 분할하여 수정한 안분비율계수[nd]

$$C = \sigma_c (t_s - t_a) F_{cov}$$

$C$  : 대류열수수량(Convective heat exchange)

$\sigma_c$  : 인체의 대류열전달율[W/m<sup>2</sup>°C]

$t_s$  : 접촉부위 제외한 인체 평균피부온도[°C]

$t_a$  : 기온[°C]

$$F_{cov} = \frac{A_c}{A_s}$$

$A_c$  : 대류에 폭로된 체표면적[m<sup>2</sup>]

$A_s$  : 전체표면적[m<sup>2</sup>]

$$R = \sigma \epsilon_s \epsilon_w (T_s^4 - MRT^4) F_{eff}$$

$R$  : 방사열수수량(Radiative heat exchange)

$\sigma$  : Stefan-Bolzman정수( $=5.67 \times 10^{-8}$ ) [W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>]

$\epsilon_s$  : 인체 피부표면의 방사율( $=0.98$ )

$\epsilon_w$  : 방사열수수에 폭로된 부분의 방사율( $=1$ )

$T_s$  : 평균피부온[K]

$MRT$  : 인체평균방사온도[K]

$$F_{eff} = \frac{A_r}{A_s}$$

$A_r$  : 인체유효방사면적을

$A_s$  : 전체표면적

$$C_d = \sum_{i=1}^n (\lambda_i / l_i) (t_{bs} - t_{hs}) \eta_i$$

$C_d$  : 전도열수수량(Conductive heat exchange)

$t_{bs}$  : 접촉부 바닥온도[°C]

$t_{hs}$  : 접촉부 바닥 발열체의 표면온도[°C]

$\lambda_i$  : 인체 접촉 바닥재의 열전도율[W/m<sup>2</sup>]

$l_i$  : 인체 접촉재의 두께[m]

$\eta_i$  : 인체접촉부위면적비[nd]

$$W_b = \frac{A_b}{A_s} \quad W_f = \frac{A_f}{A_s}$$

$W_b$  : 접촉된 둔부의 안분비율계수[nd]

$W_f$  : 접촉된 발의 측면부 안분비율계수[nd]

$A_s$  : 전 체표면적[m<sup>2</sup>]

$A_b$  : 바닥 접촉 둔부 면적[m<sup>2</sup>]

$A_t$  : 바닥 접촉 발 측면부 면적[m<sup>2</sup>]

## 4.2 인체 심리반응

피험자의 심리반응을 조사하기 위하여 평정척도법(評定尺度法, rating scale method)을 사용하였다. 본 연구의 실험에서는 피험자의 온냉감 및 쾌적감에 대한 심리반응 측정을 전신 온냉감, 상반신 온냉감, 하반신 온냉감 그리고 온열쾌적감에 대하여 직선평정척도(直線評定尺度, 어의차척도)와 수치평정척도(數値評定尺度)[11]를 융합한 설문지를 만들어 실험중 피험자에게 5분 간격으로 설문지에 대한 답변을 직접 기록해 받았다.

## 5. 실험결과 및 고찰

### 5.1 실험결과

Fig. 1에는 30분 동안 실내기온 25°C, 상대습도 50%, 기류 0.1m/sec 이하로 제어된 전실(Pre-climate chamber)에서 의자에 정온(靜穩) 상태로 앉아 본 연구의 기초 환경에 적응시킨 후, 실내기온 22.5°C에 바닥온 40°C로 융합된 인공기후실로 피험자를 이동하여 반가부좌로 90분 동안 폭로시켜, 기존 산출식에 의한 평균피부온(mean skin temperature,  $MST$ )과 바닥접촉피부온을 가미한 전도수정평균

부온(modified mean skin temperature,  $MST_d$ )의 변화를 나타내고, Fig. 2에는 실내기온 22.5°C에 바닥온도 40°C로 융합 조절된 인공기후실에 60분 동안 폭로된 피험자의 부위별 피부온 변화와 구강온 변화 그리고 기존의 산정식을 적용한 평균피부온( $MST$ )과 바닥접촉피부온을 가미한 전도수정평

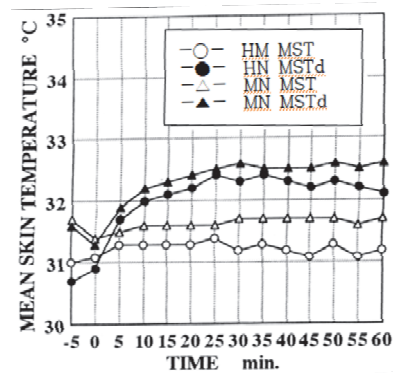


Fig. 1 Change of  $MST$  &  $MST_d$  during 60 min. in the lab. ( $t_a=22.5^\circ\text{C}$ ,  $t_f=40^\circ\text{C}$ )

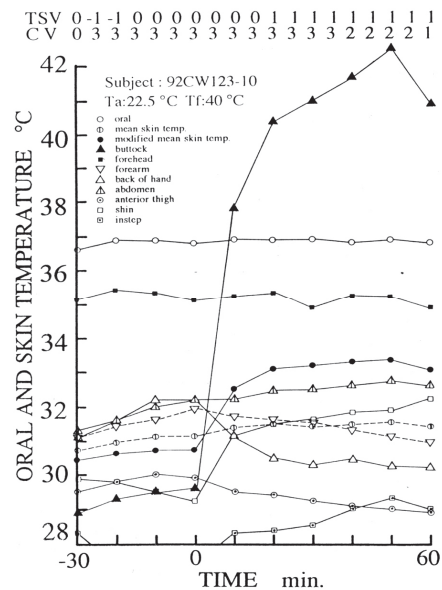


Fig. 2 Change of Oral and Skin temperature during 90 min. ( $t_a=22.5^\circ\text{C}$ ,  $t_f=40^\circ\text{C}$ )

균피부온( $MST_d$ )의 변화를 나타내고 있다.

### 5.2 고찰

이상의 실험결과를 정리하여 Table 4에 폭로 5분전·폭로직후·폭로 30분후·폭로 60분후 그리고 폭로직후와 폭로 60분후의 평균피부온 차를 나타내었고, 실험 90분 동안의 피험자에 대한 심리반응으로 온열감( $TSV$ )과 쾌적감( $CV$ )을 5분 간격으로 직선평정척도와 수치평정척도[11]를 융합한 조사한 결과를 Fig. 2의 상단에 나타내고 있다.

Table 4에서 실내기온( $t_a$ ) 22.5°C에 1차 바닥온도( $t_f$ ) 22.5°C, 2차 바닥온 35°C, 3차 바닥온 40°C로 조절한 결과 바닥온 22.5°C에서는  $MST$ 와  $MST_d$  모두 하강하는 경향을 나타내 보였으나

$MST$ 와  $MST_d$ 의 온도차는 폭로직후부터 폭로 60분후까지 0.1°C 정도로 그 차가 미미했다. 그리고 바닥온을 35°C로 조절하면  $MST$ 와  $MST_d$  모두 느리게 하강하면서 시간이 경과할수록  $MST$ 와  $MST_d$ 의 온도차가 점점 커져 폭로직후 0.1°C에서 폭로 60분후 0.7°C~0.9°C의 차를 나타내었다. 그런데 바닥온을 40°C로 조절한 경우  $MST$ 는 폭로직후와 폭로 60분후 0.1°C 상승하여 거의 일정한 상태를 나타내지만,  $MST_d$ 는 폭로5분후 급격히 상승하여 폭로 60분후까지 계속 상승하는 경향을 나타내고 있다.

이상에서 실내기온과 바닥온이 융합된 온돌온열 환경에서 반가부좌 인체와 주변면사이의 열방사(Heat radiant)에 의한 열수수(Heat exchange)는 기존의 평균피부온  $MST$ 와 전도수정평균피부온

Table 4. Elapsed time of  $MST$  and  $MST_d$

$t_{fu}$ [°C]		$e_{time}$	-5[min.]		0[min.]		30[min.]		60[min.]		$t_{diff}$	
$t_a$ [°C]	$t_f$ [°C]	subjects	HM	MN	HM	MN	HM	MN	HM	MN	HM	MN
20	20	$MST$	34.4	34	35	33.8	32	31.2	31.5	30.9	-3.5	-2.9
		$MST_d$	34.3	34	34.3	33.7	32	31.3	31.8	31.1	-2.5	-2.6
	35	$MST$	33.3	33	33.3	33	32.3	31.8	32.1	31.4	-1.2	-1.6
		$MST_d$	33.1	32.8	33.1	32.8	32.9	32.6	32.8	32.2	-0.3	-0.6
	40	$MST$	31.8	30.3	31.8	30.4	31.8	30.8	31.3	30.7	-0.5	+0.3
		$MST_d$	31.8	30.1	31.8	30.2	32.8	31.4	32.3	31.3	+0.5	+1.1
22.5	22.5	$MST$	33.9	34.2	33.8	33.9	31.8	32.1	31.2	31.5	-2.6	-2.4
		$MST_d$	33.8	34	33.8	33.8	32	32.2	31.5	31.8	-2.3	-2.0
	35	$MST$	33.5	34.1	33.5	33.8	33.1	33.5	32.9	33.1	-0.6	-0.7
		$MST_d$	33.5	34	33.3	33.8	33.7	34.2	33.4	33.8	+0.1	0.0
	40	$MST$	31.8	31	31.4	31.1	31.8	31.1	31.8	31.1	+0.4	0.0
		$MST_d$	31.7	30.8	31.3	30.9	32.6	32.4	32.7	32.1	+1.4	+1.2

$t_{fu}$  : Fusion temperature of air Temperature and floor temperature [°C]

$e_{time}$  : elapsed time [min.]

$t_a$  : air temperature [°C]

$MST$  : Mean skin temperature

$t_{diff}$  : temperature difference [°C]

$t_f$  : floor temperature [°C]

$MST_d$  : Modified mean skin temperature



$MST_d$ 에 모두 영향을 미치지만, 실내온과 바닥온의 온도차가 커질수록 반가부좌 인체의 바닥접촉 피부온을 가미한  $MST_d$ 는 폭로된 인체 중 열방사의 영향을 받는 체표면적에 비하여 국부 바닥접촉 체표의 열전도(Heat conduction)가 인체에 미치는 영향이 현저한 것이 피험자의 생리반응과 심리반응을 통해서 잘 나타나고 있어 본 연구논문

에서 제안한 전도수정평균피부온  $MST_d$ 는 온돌 온열환경평가 시 인체의 평균피부온 산정에 유용함이 입증된 것으로 생각된다.

## 6. 결론

온돌 실내온열 환경평가지표의 데이터 축적을 위해 한국인 전래의 반가부좌 피험자를 대상으로 실험실 실험을 통하여 바닥난방 시 피부온에 바닥 접촉온을 가미한 전도수정평균온(Modified Mean Skin Temperature,  $MST_d$ )을 제안하고 그 유용성을 입증하였다.

이를 위하여 반가부좌 인체와 주벽면사이의 형태 계수를 적용한 평균방사온도와 반가부좌 인체의 대류열전달율을 적용한 전도수정평균피부온( $MST_d$ )을 제안하고, 이 산출식의 유용성을 입증하기 위하여 한국인 청년남자 8명을 대상으로 한 인공기후실 실험을 통하여 실내온( $t_a$ )과 바닥온( $t_f$ )이 융합된 물리적 온열환경 인자(Physical factor : air temperature · floor temperature · surrounding wall temperature · radiant temperature · relative humidity · air velocity)와 인체의 생리적 반응(Physiological reaction : skin temperature · oral temperature · mean skin temperature · modified mean skin temperature · convective heat · perspiration)과 심리적 반응(Phychological reaction : thermal sensation vote · comfort

vote)을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 온돌 실내온열환경에서 반가부좌 인체는 주 벽면과의 열수수(Heat Exchange)가 기존의 연구에서 알려진 열방사(Heat Radiation)에 의한 영향 보다 바닥 접촉 열전도(Heat Conduction)에 의한 영향이 커다는 것이 입증 되었다. 이로써 반가부좌 인체의 바닥 접촉 피부온을 온돌 실내온열환경평가 산출식에 추가한 전도수정평균피부온( $MST_d$ )의 유용성이 입증되었다.
- (2) 실내 반가부좌 인체에 대한 온돌 실내온열 환경평가지표로 실내기온 22.5℃에 바닥온 35℃로 융합된 온돌환경에서 전도수정평균 피부온( $MST_d$ ) 32.8~33.8℃가 온열 쾌적범위로 확인되었다.

## 참고문헌

- [1] 崔英植, 堀越哲美, 宮本正一, 水谷章夫 : 床暖房時の気温と床温が胡坐人体に及ぼす影響に関する研究, 日本建築學會計劃系論文集, 第480, pp.7-14.
- [2] 坊垣和明 : 床暖房の快適條件に関する実験的研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集(計劃系), 1984, pp.909-910.
- [3] 磯田憲生, 久保博子, 早川和代 : 床暖房温度の人体に及ぼす影響について, 日本建築學會大會學術講演梗概集(計劃系), 1986, pp.949-950.
- [4] Kim, B., Isoda, N. and Yanase, T. : Influence of floor heating temperature on the human body seated on the floor, Transactions of AIJ, 417, pp.19-29, (1990).
- [5] 宮本正一, 堀越哲美, 崔英植 : 床暖房時の温熱環境表現方法に関する研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集(計劃系), 1994, pp.351-352.
- [6] 宮本正一, 堀越哲美, 崔英植 : 胡坐時の人体有効面積と形態係數に関する研究, 日本建築學會計劃系論文集, 第479, pp.27-33.

- [7] 崔英植, 堀越哲美, 宮本正一, 水谷章夫: 床暖房時の気温と床温が汚坐人体に及ぼす影響に関する研究, 日本建築學會計劃系論文集, 第480, pp.7-14.
- [8] 崔英植: 床暖房時の温熱環境が汚坐人体に及ぼす影響に関する基礎的研究, 名古屋工業大学博士学位論文, pp.123-141.
- [9] 최영식: 건축환경, pp.149-150, 보성각, (2009).
- [10] Hardy.J.D and DuBois.E.F : Basal metabolism, radiation, convection and vaporization at temperature of 22 to 23°C, Journal of Nutrition, Vol.15, p.477, (1938).
- [11] J.P.Guiberd 저, 秋重義治 역 : 評定尺度法の原則, pp.327-378, 培風館.

---

(접수: 2022.01.13. 수정: 2022.01.28. 게재확장: 2022.01.31.)