

재실자의 平均皮膚溫度에 관한 연구

A Study on the Mean Skin Temperature of the Man Who Stay in the Room

崔英植*

Young-Sik Choi*

<Abstract>

The purpose of this study is to form a calculation formula of the mean skin temperature on the human body in a heated room by the use of floor heating system. Korean traditional floor heating system is a long way from being defunct. The floor heating systems based on hot water have been coming into wide use mainly in the apartment house. However, it is considered that the design process and evaluation method for the floor heating systems in the standpoint of human being are not established so far. In the floor heating systems, air temperature as well as floor temperature should be considered as physical factors which affect the sensation of human body. Furthermore, extremely few studies have been performed on the sitting with legs crossed posture sedentary which is the typical dwelling life style of residents from the ancient times in Korea, while a large number of studies on the influence of the floor heating systems on the human body in standing and sitting on a chair sedentary have been carried out. Especially, it is essential to elucidate how mean skin temperature on the human body is affected by thermal conduction in the contact area between the sitting with legs crossed posture sedentary human body and floor including thermal radiation due to the combination of air temperature and floor temperature, but the studies dealt with such issues have hardly been performed. Based on the above statements, the influence of the environment condition due to the combination of air temperature and floor temperature is discussed in the present investigation through theoretical of mean skin temperature on the human body in the floor heating systems.

Key words : *Mean skin temperature, Sitting with legs crossed, Floor heating system, Thermal sensation of human body*

* 정회원, 영남이공대학 건축과 교수, 工博
나고야공업대학 졸업 / 705-037 / 대구시 남구 대명동 1737
053-650-9325 / 019-515-6383 / cys@ync.ac.kr
<http://www.netian.com/~rokmcys>

Prof., Dept. of Architecture, Yeungnam College of Science
& Technology, Dr. Eng.
(이 논문은 2000학년도 영남이공대학 연구조성비 지원에
의한 것임)

1. 서론

실내 쾌적 온열 환경을 검토 할 경우 물리적인 조건과 함께 인체측 조건도 대단히 중요하다. 인체와 환경 사이의 열교환에 관계하는 인체측의 가장 큰 요인은 피부온이다. 여기서 피부온(skin temperature)이란 신체 각부위에 일정하지 않게 분포해 있는 피부표면온을 말한다.

인체 각 부위와 주변환경 사이의 열교환은 신체의 형상이 복잡하기 때문에 부위별 피부온을 고려한 평균피부온이 필요하다.

평균피부온은 인체 각부위 피부온의 대표값이다. 다수 개소에서 피부온을 측정하여 측정점이 대표할 수 있는 체표면적의 전피부표면적에 차지하는 비율에 근거한 안분비율(proportional distribution)로 산출한 것이다.

전체표에 대한 피부온을 정확하게 특정 한다는 것은 불가능 하므로 일반적으로 체표에는 피부온이 균일한 부분이 존재하는 것으로 가정하고 산출식을 고안 한다.

평균피부온은 인체내부와 생활환경 사이를 맺어주는 생리반응으로서 직접 얻어낼 수 있는 생리량이며 인체의 생활환경에 대한 여러가지 반응을 밝혀주는 요소가 된다.

평균피부온 산출이나 인체의 온도 감각을 평가할 때는 특정한 부위의 熱收支에 대해서 고려하지 않으면 안된다. 따라서 바닥난방시 주생활공간 바닥과의 접촉면 피부온이 전신체에 미치는 영향은 온열적 쾌적 감각과 평균피부온 산출에 가미되어야 할 것이다.

본 연구에서는 기존의 연구를 검토한 후 바닥 접촉면의 熱收支를 가미한 평균피부온 산출식을 정의하고, 이를 검증하기 위한 실험실 실험을 통하여 수정평균피부온 산출식의 유의성을 검토키로 한다.

연구의 결과는 주생활 공간에 대한 온열쾌적성 평가 및 DB 개발의 일환으로 바닥난방 설계시 실내 온열환경 지표의 기초 자료로 이용될 수 있을 것으로 기대한다.

2. 평균피부온 산출에 관한 기존의 연구

기존의 평균피부온 산출식은 그 대부분이 면

적비율에 의한 안분비율 수법을 이용하고 있다.

측정점의 수나 측정부위는 인체가 처해있는 외부환경을 고려하여 인체가 영향을 받는 부위를 결정하는 것이 불가결하다. 피부온 분포에 따른 측정점 수를 많이 취하면 취 할 수록 그 측정 정도는 좋아지겠지만 실제 다량의 측정점을 실측한다는 것은 어렵다. 평균피부온 산출 측정을 위한 신체부위수는 적게는 2점에서 많게는 25점까지 측정한 것으로 보고되어 있다. 아래에 기존 연구를 검토한 것을 정리하였다.

2.1 H.Pfleiderer¹⁾

면적중복에 의한 9점 (stirn, oberarm, unterarm, handruken, Brust, epigastrium, Oberschenkel, Unterschenkel, fuBrucken) 평균피부온 산출법을 제안하였다.

$$T_s = 0.12 \text{ stirn} + 0.08 \text{ oberarm} + 0.06 \text{ unterarm} + 0.03 \text{ handruken} + 0.18 \text{ Brust} + 0.16 \text{ epigastrium} + 0.18 \text{ Oberschenkel} + 0.14 \text{ Unterschenkel} + 0.05 \text{ fuBrucken} \quad (1)$$

2.2 A.C. Burton²⁾

면적중복에 의한 3점(trunk, lower leg, lower arm)평균피부온 산출법을 제안하였다.

$$T_s = 0.5 \text{ trunk} + 0.14 \text{ lower leg} + 0.36 \text{ lower arm} \quad (2)$$

2.3 C.E.A. Winslow, L.P. Herrington, A.P. Gagge³⁾

각 피험자마다 頭部, 腕部, 手部, 胸幹部, 大腿部, 下腿部, 足部の 체표면적을 실측하고 15부위 (前額, 頰, 後頭極, 上膊外, 前膊外, 手背, 胸乳, 肩甲, 臍, 腸骨櫛, 大腿前, 下腿前, 下腿後, 足背)에 의한 면적평균 피부온 산출식을 제안하였다.

2.4 J.D.Hardy, E.F.DuBois⁴⁾

DuBois의 일차식에 의한 부위별 체표면적 산출식에서 부위별 비율을 구하여 7부위 (head, arms, hands, feet, legs, thighs, trunk) 7점법, 7부위 12점법 (前額, 前膊外, 手背, 胸乳, 臍, 肩甲, 腸骨櫛, 大腿前, 大腿後, 下腿前, 下腿後, 足背), 7부위 20점법 (前額, 頰, 三角筋, 前膊外, 手背,

手掌, 鎖骨下, 胸乳, 劍狀突起下, 臍, 肩甲骨下, 肩甲, 腸骨櫛, 大腿前, 臀, 大腿後, 下腿前, 下腿後, 足背, 足裏)을 제안하였다.

$$Ts = 0.07head + 0.14arms + 0.05hands + 0.07feet + 0.13legs + 0.19thighs + 0.35trunk \quad (3)$$

$$Ts = 0.07前額 + 0.14前膊外 + 0.05手背 + 0.35(胸乳 + 臍 + 肩甲 + 腸骨櫛)/4 + 0.19(大腿前 + 大腿後)/2 + 0.13(下腿前 + 下腿後)/2 + 0.07足背 \quad (4)$$

$$Ts = 0.07(前額 + 頰)/2 + 0.14(三角筋 + 前膊外)/2 + 0.05(手背 + 手掌)/2 + 0.35(鎖骨下 + 胸乳 + 劍狀突起下 + 臍 + 肩甲骨下 + 肩甲 + 腸骨櫛)/7 + 0.19(大腿前 + 臀 + 大腿後)/3 + 0.13(下腿前 + 下腿後)/2 + 0.07(足背 + 足裏)/2 \quad (5)$$

2.5 E.D.Palmes, C.R.Park⁵⁾

면적중복에 의한 6점 (cheek, chest, blade, anterior thigh, forearm, palm)평균피부온 산출식을 제안 하였다.

$$Ts = 0.14 cheek + 0.19 chest + 0.19 blade + 0.32 anterior thigh + 0.11 forearm + 0.05 palm \quad (6)$$

2.6 W.H. Teichner⁶⁾

QREC의 10점 평균피부온 산출식⁷⁾을 기준으로 한 10점(cheek, hand, lower arm, upperarm, chest, back, medial thigh, lateral thigh, calf, instep) 단순평균법, Hardy와 DuBois의 7점법⁴⁾, Palmes와 Park의 6점법⁵⁾, Nweburgh와 Spealman의 4점법, Burton의 3점법²⁾과의 상호비교를 하였다. 7점과 6점법이 QREC법과 상관관계가 강하다는 것과 cheek, lateral thigh, medial thigh, back, chest, hand, upperarm 6부위가 평균피부온과 상관관계가 강한 부위로서 6부위에 의한 산출식을 제안하였다.

또한 medial thigh의 피부온은 평균피부온과 편차가 작다고 보고 medial thigh의 피부온에 의한 1점법의 가능성도 나타내었다.

$$Ts = (cheek + hand + lower arm + upperarm + chest + back + medial thigh + lateral thigh + calf + instep) / 10 \quad (7)$$

$$Ts = 0.149 cheek + 0.186 lateral thigh + 0.186 medial thigh + 0.186 back + 0.186 chest + 0.107 upperarm \quad (8)$$

$$Ts = medial thigh \quad (9)$$

2.7 P.F.Iampietro, D.E.Bass, E.R.Buskirk⁷⁾

면적중복에 의한 10점 (forehead, chest, back, hand, lower arm, upperarm, inner thigh, lateral thigh, calf, instep) 평균피부온 산출식을 제안하였다.

$$Ts = 0.1 forehead + 0.125 chest + 0.125 back + 0.06 hand + 0.07 lower arm + 0.07 upperarm + 0.125 inner thigh + 0.125 lateral thigh + 0.15 calf + 0.05 instep \quad (10)$$

2.8 N.L.Ramanathan⁸⁾

피험자 3인을 이용한 온열환경 실험에서 Hardy-DuBois의 7점 평균피부온 산출치와 높은 상관관을 나타내는 부위로 chest, thigh, leg, arm 4부위를 들었다. 이 4부위의 면적중복에 의한 평균피부온 산출식을 제안하였다.

$$Ts = 0.3 chest + 0.2 thigh + 0.2 leg + 0.3 arm \quad (11)$$

2.9 J.A.J.Stolwijk, J.D.Hardy⁹⁾

비교적 따뜻한 환경에서는 부위에 따라 피부온의 차가 적으므로 10부위(forehead, left pectoral region, right scapular area, right upper abdominal quadrant, right thigh anterior, left thigh lateral, right calf, left foot dorsum, right biceps, dorsum of left hand)에 의한 단순 평균피부온 산출식을 이용하였다.

$$Ts = (forehead + left pectoral region + right scapular area + right upper abdominal quadrant + right thigh anterior + left thigh lateral + right calf + left foot dorsum + right biceps + dorsum of left hand) / 10 \quad (12)$$

2.10 D.Mitchell, C.H.Wyndham¹⁰⁾

Hardy-DuBois의 7부위 중복계수에서 각 중복계수의 개략비율로부터 15부위 (forehead, chest, upperarm, abdomen, forearm, back of hand, anterior thigh, shin, instep, occiput, blade,

posterior thigh, calf, inner thigh)에 의한 중복 계수를 이용하지 않은 단순평균피부온 산출식을 제안하였다.

$$Ts = (\text{forehead} + \text{chest} + \text{upperarm} + \text{abdomen} + \text{forearm} + \text{back of hand} + \text{anterior thigh} + \text{shin} + \text{instep} + \text{occiput} + \text{blade} + \text{posterior thigh} + \text{calf} + \text{inner thigh}) / 15 \quad (13)$$

2.11 E.R.Nadel, R.W.Bullars, J.A.J.Stolwijk¹¹⁾

Hardy-DuBois의 12점 평균피부온 산출식을 기초로 10부위 (forehead, dorsal bicep, right scapular, left scapular, lateral lumber, chest, lateral forearm, palm, ventral thigh, dorsal calf)의 중복 평균에 의한 산출식을 제안 하였다.

$$Ts = 0.07 \text{ forehead} + 0.07 \text{ dorsal bicep} + 0.09 \text{ right scapular} + 0.09 \text{ left scapular} + 0.09 \text{ lateral lumber} + 0.09 \text{ chest} + 0.07 \text{ lateral forearm} + 0.11 \text{ palm} + 0.16 \text{ ventral thigh} + 0.16 \text{ dorsal calf} \quad (14)$$

2.12 E.R.Nadel, J.W.Mitchell, J.A.J.Stolwijk¹²⁾

체표면적에 의한 중복에 온도감각 수용성에 의한 중복을 가미한 생리적 평균피부온을 제안 하였다. 온도감각 수용성은 汗腺을 대상으로 하였다. (face, chest and back, abdomen, upper legs, lower legs, upper arms, lower arms)

$$Ts = 0.21 \text{ face} + 0.21 \text{ chest and back} + 0.17 \text{ abdomen} + 0.15 \text{ upper legs} + 0.08 \text{ lower legs} + 0.12 \text{ upper arms} + 0.06 \text{ lower arms} \quad (15)$$

2.13 M.F. Roberts, C.B. Wenger, J.A.J. Stolwijk, E.R.Nadel¹³⁾

면적중복에 의한 3점 (chest, lateral upperarm, anterior thigh)평균피부온 산출법을 제안하였다.

$$Ts = 0.43 \text{ chest} + 0.25 \text{ lateral upperarm} + 0.32 \text{ anterior thigh} \quad (16)$$

2.14 持田徹, 西安信¹⁴⁾

Hardy-DuBois의 10점 면적비율과 열전달을

의 비를 가미한 평균피부온 산출식을 의자에 앉은자세와 자전거에 승차한 경우에 대해서 제안하였다. (前額, 胸, 腹, 등1, 등2, 手甲, 大腿, 下腿, 上腕, 前腕)

(1) 의자에 앉은 경우

$$Ts = 0.096 \text{ 前額} + 0.092 \text{ 胸} + 0.098 \text{ 腹} + 0.091 \text{ 背1} + 0.083 \text{ 背2} + 0.041 \text{ 手甲} + 0.182 \text{ 大腿} + 0.182 \text{ 下腿} + 0.071 \text{ 上腕} + 0.065 \text{ 前腕} \quad (17)$$

(2) 자전거에 승차한 경우

$$Ts = 0.081 \text{ 前額} + 0.077 \text{ 胸} + 0.093 \text{ 腹} + 0.08 \text{ 背1} + 0.073 \text{ 背2} + 0.025 \text{ 手甲} + 0.116 \text{ 大腿} + 0.32 \text{ 下腿} + 0.073 \text{ 上腕} + 0.061 \text{ 前腕} \quad (18)$$

2.15 持田徹¹⁵⁾

원통형 모델 인체에 대한 국부의 대류열전달율을 산출하여 이것을 Hardy-DuBois의 10점 면적비율에 가미한 8점 (前額, 胸, 背, 手, 大腿, 下腿, 上腕, 前腕)산출식을 제안 하였다.

$$Ts = 0.067 \text{ 前額} + 0.155 \text{ 胸} + 0.155 \text{ 背} + 0.057 \text{ 手} + 0.182 \text{ 大腿} + 0.226 \text{ 下腿} + 0.079 \text{ 上腕} + 0.079 \text{ 前腕} \quad (19)$$

2.16 石垣秀圭, 堀越哲美, 持田徹, 植松智樹¹⁶⁾

생리실험에서 구한 매풍속시의 대류열전달율과 Hardy-DuBois의 면적중복을 가미한 6점 (前額, 胸部, 大腿, 下腿, 手背, 前膊外)산출식을 제안 하였다.

(1) V = 0.2m/s일 경우

$$Ts = 0.07 \text{ 前額} + 0.31 \text{ 胸部} + 0.15 \text{ 大腿} + 0.23 \text{ 下腿} + 0.03 \text{ 手背} + 0.14 \text{ 前膊外} \quad (20)$$

(2) V = 0.5m/s일 경우

$$Ts = 0.07 \text{ 前額} + 0.35 \text{ 胸部} + 0.17 \text{ 大腿} + 0.28 \text{ 下腿} + 0.07 \text{ 手背} + 0.17 \text{ 前膊外} \quad (21)$$

(3) V = 1.0m/s일 경우

$$Ts = 0.07 \text{ 前額} + 0.40 \text{ 胸部} + 0.20 \text{ 大腿} + 0.34 \text{ 下腿} + 0.07 \text{ 手背} + 0.17 \text{ 前膊外} \quad (22)$$

평균피부온에 관한 기존의 연구에서 DuBois 등¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾은 歐美人을 대상으로 인체 체표면적 측정결과를 바탕으로 신체 부위의 면적중복계수를 결정하였고, 新谷²⁰⁾²¹⁾과 川端²²⁾는 일본인

을 대상으로 인체 체표면적 측정결과를 바탕으로 신체 부위의 중복계수를 결정하였다. 평균피부온을 DuBois는 1916년, 新谷은 1931년, 川端은 1940년에 각각 실측하였다.

피부면적 산출에는 면적측정(planimetry)에 의한 해부학적 계측이 주이지만 Hardy-DuBois⁴⁾와 같이 각 신체 부위의 피부면방사와 전체표면 방사 실측치에서 산출하는 생리학적 방법도 있다.

평균피부온은 생체의 熱收支에 관계해서 체표면적의 평균온도로서 취급 할 경우에는 문제가 없겠지만 전피부면에서 온도감각 자극의 지표(index)로 사용하는 것이 타당한지 어떤지는 의론(議論)의 여지가 있다고 생각한다. 왜냐하면 기존의 연구에서는 단위피부면에서의 온도감각량이 같은 피부온이라면 신체 부위에 관계없이 동량이라고 전제하고 있는데 반드시 그렇지 않은 않기 때문이다. 여기에는 피부온도 감각점의 밀도 신체 부위차도 관계가 있다고 생각한다.

Nadel¹²⁾는 신체부위를 방사열로 가열 했을 때 發汗반응이 일어나는 쪽에서 피부온도 감각의 세기는 부위에 따라 다르며 顔面의 방사 효과는 흉부, 복부, 大腿의 약 3배이고 下腿는 大腿의 약 반분에 지나지 않는다고 하였다. 이것을 기초로 생리적 체온조절 반응의 평균피부온은 단순히 피부면적에 대한 면적비율 뿐만 아니라 온도감수성의 세기를 가미한 생리적평균피부온(Physiological mean skin temperature)을 제창 하였다.

바닥 접촉부위의 열전도에 의한 熱收支가 생리적 체온조절 반응의 평균피부온에 영향을 미칠 경우 접촉부위의 피부온은 반드시 온도감수성의 세기로서 평균피부온 산출식에 가미해야 한다.

3. 바닥 접촉부위의 熱收支 영향을 가미한 평균피부온 산출식

접촉부위의 피부온은 바닥온의 변화에 따라 열전도에 의한 熱收支가 발생한다. 이것은 생리적 체온조절 반응으로 평균피부온에 영향을 미칠 뿐만 아니라 온열환경에 대한 쾌적감 반응

과 온열감 반응에도 영향을 미친다.

식(23)은 바닥 접촉부위 熱收支 관계를 가미하지 않은 평균피부온 산출식이다.

$$MST = \sum_{i=1}^n W_i \cdot t_i \quad [^\circ C] \quad (23)$$

여기서,

MST : 실내기온(t_a)을 고려한 평균피부온도 [°C]

W_i : Hardy-Dubois의 7부위 12점 중복계수

t_i : 접촉부위를 고려하지 않은 측정부위 피부온도 [°C]

식(23)에 Hardy-DuBois의 7부위 12점 중복계수를 대입하면

$$\begin{aligned} T_s = & 0.07 \text{ forehead} + 0.14 \text{ forearm} \\ & + 0.05 \text{ back of hand} + 0.35(\text{upperchest} + \text{abdomen} \\ & + \text{shoulder blade} + \text{lower back}) / 4 \\ & + 0.19(\text{anterior thigh} + \text{posterior thigh}) / 2 \\ & + 0.13(\text{shin} + \text{calf}) / 2 + 0.07 \text{ instep} \end{aligned} \quad (24)$$

와 같이 된다.

식(24)에 의한 산출식은 한국인의 오랜 전통주생활 자세에서 비롯된 바닥난방 생활공간의 온열환경 지표에 적용하기에는 부적합 하다.

재실자의 생활공간에 대한 온열환경 쾌적성 평가 및 DB 개발의 일환으로 Fig.1에 나타낸 주생활 자세중 본 연구에서는 주생활중 빈번히 사용하는 책상다리자세를 대상으로 하였다.

책상다리자세 인체의 대류와 방사에 의한 熱收支를 가미한 평균피부온 산출식으로 Hardy-DuBois의 7부위 12점법을 다음과 같이 수정하였다.

$$MST_{C+R} = \sum_{j=1}^n W_{j(C+R)} \cdot t_j \quad [^\circ C] \quad (25)$$

여기서,

MST_{C+R} : 작용온도(C+R)를 고려한 평균피부온도 [°C]

$W_{j(C+R)}$: Hardy-Dubois의 7부위 12점 중복계수중 posterior thigh와 Calf를 빼고 Palm을 더한 산출값에 바닥접촉면적을 뺀 부위별 중복계수

t_j : Hardy-Dubois의 7부위 12점중 posterior thigh와 Calf를 빼고 Palm을 추가한 측정부위 피부온도 [°C]

중복계수를 적용하면

$$T_s = 0.079 \text{ forehead} + 0.158 \text{ forearm}$$

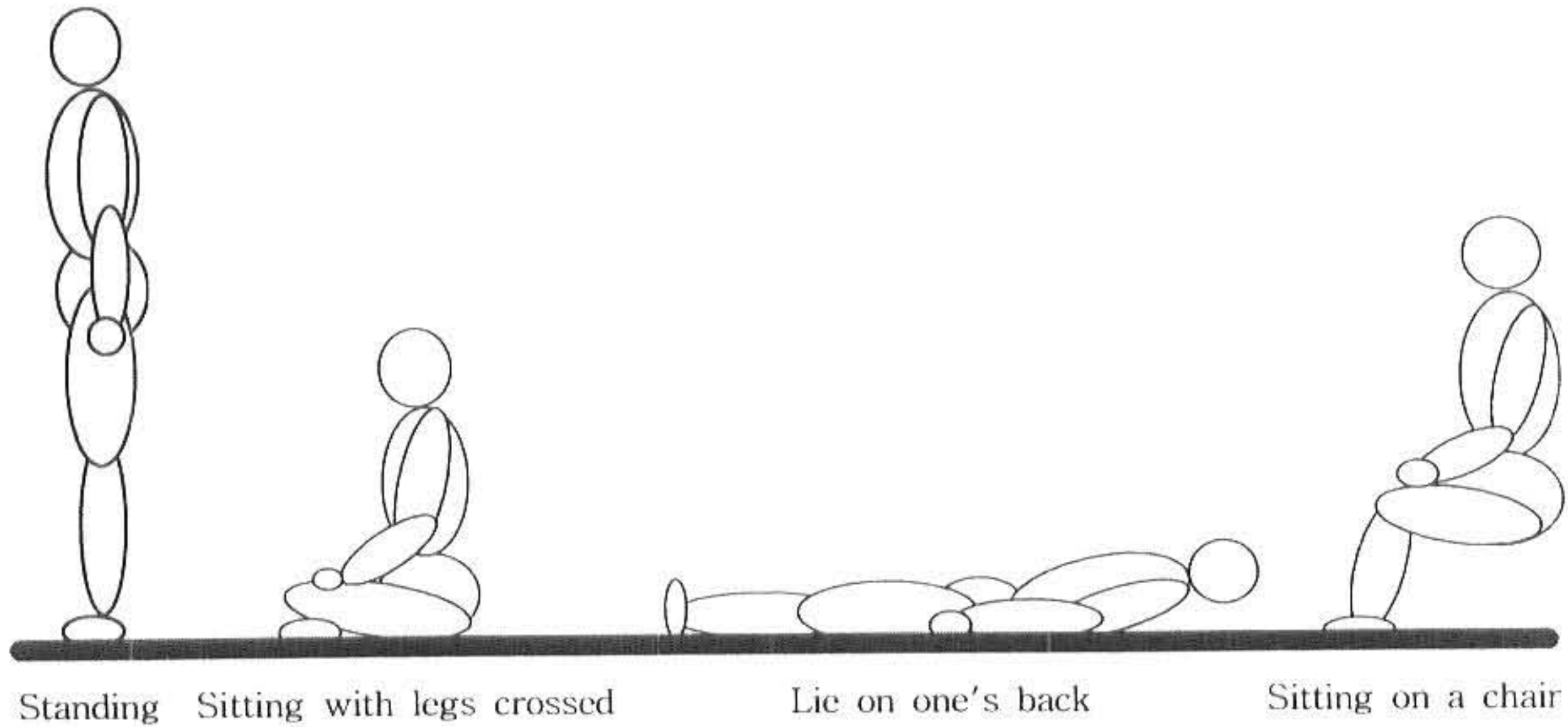


Fig.1 Body postures of housing life

$$\begin{aligned}
 &+ 0.028 \text{ back of hand} + 0.028 \text{ palm} \\
 &+ 0.396(\text{upperchest} + \text{abdomen} + \text{shoulder} \\
 &\quad \text{blade} + \text{lower back}) / 4 \\
 &+ 0.107 \text{ anterior thigh} + 0.146 \text{ shin} \\
 &+ 0.039 \text{ sole} + 0.07 \text{ instep} \quad (26)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ 0.025 \text{ back of hand} + 0.025 \text{ palm} \\
 &+ 0.35(\text{upperchest} + \text{abdomen} + \text{shoulder blade} + \\
 &\quad \text{lower back}) / 4 \\
 &+ 0.095 \text{ anterior thigh} + 0.06 \text{ posterior thigh} \\
 &+ 0.035 \text{ buttock} + 0.13 \text{ shin} + 0.035 \text{ sole} \\
 &+ 0.026 \text{ instep} + 0.009 \text{ side of foot} \quad (28)
 \end{aligned}$$

과 같이된다.

그러나 식(26)은 접촉부위의 열전도에 의한 熱收支가 고려되지 않았다. 식(26)을 다시 책상 다리자세 재실자의 대퇴부와 발의 측면부를 바닥 접촉부와 비접촉부로 분할하여 바닥 접촉부위의 熱收支를 고려한 평균피부온 산출식으로 수정하면,

$$\text{MST}_{C+R+Cd} = \sum_{p=1}^n W_{p(C+R+Cd)} \cdot t_p \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (27)$$

과 같이 정의할 수 있다.

여기서,

MST_{C+R+Cd} : 전도(C + R + Cd)를 고려한 평균피부온도 [$^{\circ}\text{C}$]

$W_{p(C+R+Cd)}$: Hardy-Dubois의 7부위 12점 중복계수중 posterior thigh와 Calf를 빼고 Palm을 더한 산출값에 바닥접촉부위 Buttock과 Side of Foot를 더한 부위별 중복계수

t_p : Hardy-Dubois의 7부위 12점중 posterior thigh와 Calf를 빼고 Palm을 더한 피부온에 바닥접촉부위 Buttock과 Side of Foot를 더한 측정부위 피부온도

중복계수를 적용하면 식(28)과 같이된다

$$\text{Ts} = 0.07 \text{ forehead} + 0.14 \text{ forearm}$$

Fig.2는 접촉부위의 열수치를 고려한 측정점을 나타내고 있다.

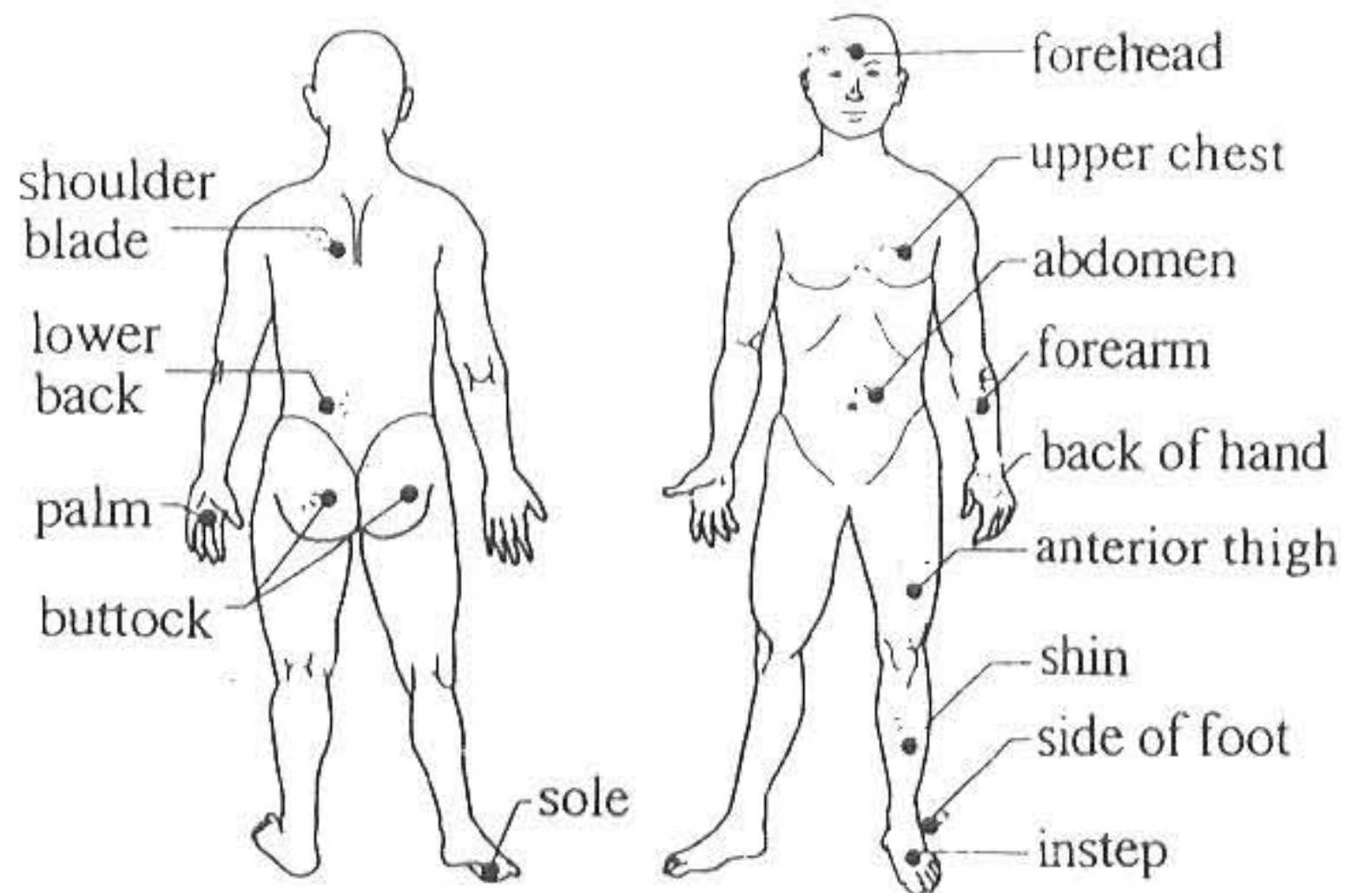


Fig.2 Measuring Sites of Skin Temperature to form a clear definition of mean skin temperature on the human body in the contact area between the Korean sitting with legs crossed posture.

4. 바닥접촉부 熱收支가 인체에 미치는 영향

바닥난방시 생활공간 접촉부분을 포함한 온열환경이 재실자의 평균피부온에 미치는 영

향을 알아보기 위하여 Table 1에 나타내고 있는 신체조건 20대와 30대 두 청년남자를 대상으로 인공기후실 실험을 실행하였다.

Table 1. Physical characteristics of subjects

Subjects	Age	Height [cm]	Weight [kg]	Total Body Area[m ²]	Contacted Area[m ²]
HM	30	175.0	64.8	1.738	0.073
MN	21	174.6	69.5	1.790	0.083

인공기후실의 환경조건 · 실험조건 · 피험자의 착의상태 및 자세를 Table 2에 나타내고 있다.

Table 2. Environmental, Experimental, Clothing and Activity conditions

Environmental conditions	t _a [°C]	t _f [°C]	RH [%]	ν [m/sec]	t _w [°C]
Experimental conditions	22.5	22.5 35 40	50	≤ 0.1	= t _a
Clothing conditions	Unclothed except trunks				
Activity conditions	sitting with legs crossed on the floor				

t_a: air temperature[°C] t_f: floor surface temperature[°C]
 RH: relative humidity [%] ν: air velocity [m/sec]
 t_w: wall temperature[°C]

피험자는 연령적인 생리기능의 안정성 관점에서 건강한 청년을 대상으로 하였다.

인체의 활동이 안정할 때 생활공간과 인체 사이의 열교환은 대부분 피부표면을 통해서 이루어지므로 체표면적은 신체적척도의 기초적 단위로서 대단히 중요하다.

Table 3. Experimental progress

Time[min.]	-60	-30	0	60
Posture	sitting on a chair		sitting with legs crossed on the floor	
Skin Temp.	← at 30 second intervals →			
Oral Temp.	← at 30 second intervals →			

Table 1의 체표면적 산출은 藤本·渡辺 그룹(23)24)25)26)27)28)29)30)31)32)33)이 생후 1개월~70세의 남성 108인과 2개월~76세 여성의 93인에 대해서 해부학적으로 체표를 13~16구분으로 나누어 실측한 결과를 기초로 제안한 것중 (29)식의 6세 이상의 체표면적 산출식을 이용하였다.

$$S = 88.83W^{0.444} \cdot H^{0.663} \quad (29)$$

여기서,

S: 체표면적 [m²] H: 신장[cm] W: 체중[kg]

실험환경 조건은 인체에 대한 년교차, 일교차, 영양상태, 폭로직전의 온열환경과 착의상태, 신체활동 등을 생각할 수 있는데, 온열환경 이력에 의한 영향을 최소화 하기 위하여 Table 3에서 처럼 일정한 온열환경(실온 25°C, 습도 50%의 전실)에 1시간 정도 충분히 체재시킨 뒤에 설정 온열환경에 폭로 시켰다.

착의상태는 피험자의 온열환경에 의한 생리적·심리적 영향을 명확하게 파악하고 실험중 피험자에게 영향을 미칠지도 모를 요인을 최소화하기 위하여 착의조건을 트렁크스(trunks)만 입은 나체상태로 하였다.

식사 섭취에 의한 대사의 항진(亢進), 동적작용의 영향을 최대한 피하기 위하여 적어도 식후 2시간이 경과한 후에 실험을 실행하였고 실험 1시간 전부터 일체 섭취는 금하도록 하였다.

4.1 환경조건과 평균피부온의 관계

환경조건은 기온·작용온도·전도수정작용온도를 채용하였고, 생리적 반응은 Hardy-DuBois의 7점 12부위 평균피부온과 접촉부위의 熱收支를 고려한 수정 평균피부온을 사용하였다.

(1) 기온과 평균피부온

바닥난방시 기온과 2종류의 평균피부온과의 관계를 Fig.3에 나타내고 있다. 전도수정 평균피부온이 종래의 평균피부온 보다 높고 기온이 낮을수록 그 차는 크게 나타나 있다. 기온과의 상관관계는 종래의 평균피부온(R²=0.536)이 전도수정평균피부온(R²=0.505)보다 상관관계가 조금 더 강하게 나타나 있다.

(2) 작용온도와 평균피부온

대류와 방사의 熱收支 영향을 고려한 작용온도와와의 관계를 Fig.4에 나타내고 있다.

수정 평균피부온이 종래의 평균피부온 보다 약간 높고 상관관계는 수정 평균피부온(R²=0.644)이 종래의 평균피부온(R²=0.563)보다 조금 더 강하게 나타나 있다. 바닥접촉부의 熱收支가 인체에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

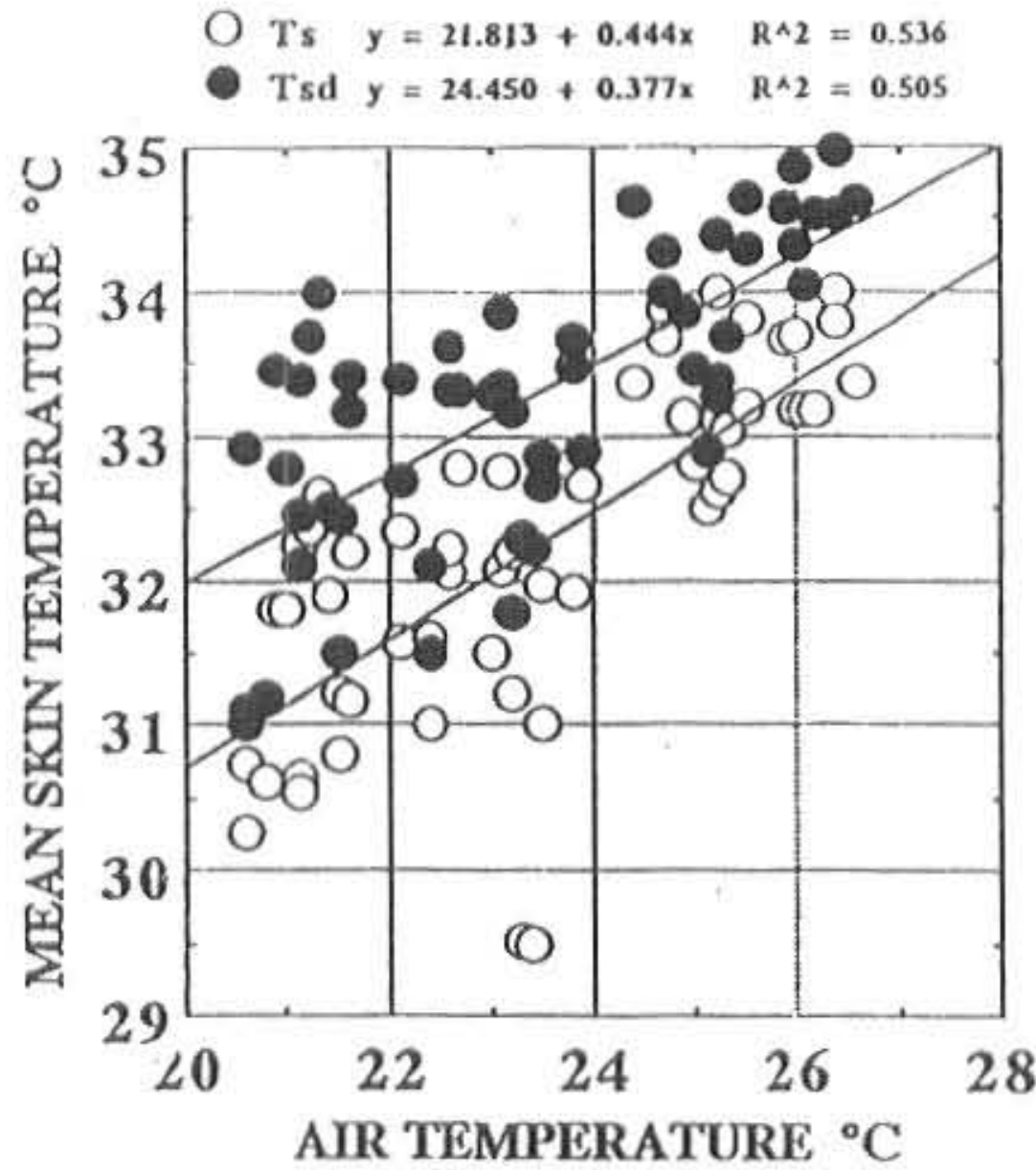


Fig.3 Relationship between air temperature and mean skin temperatures

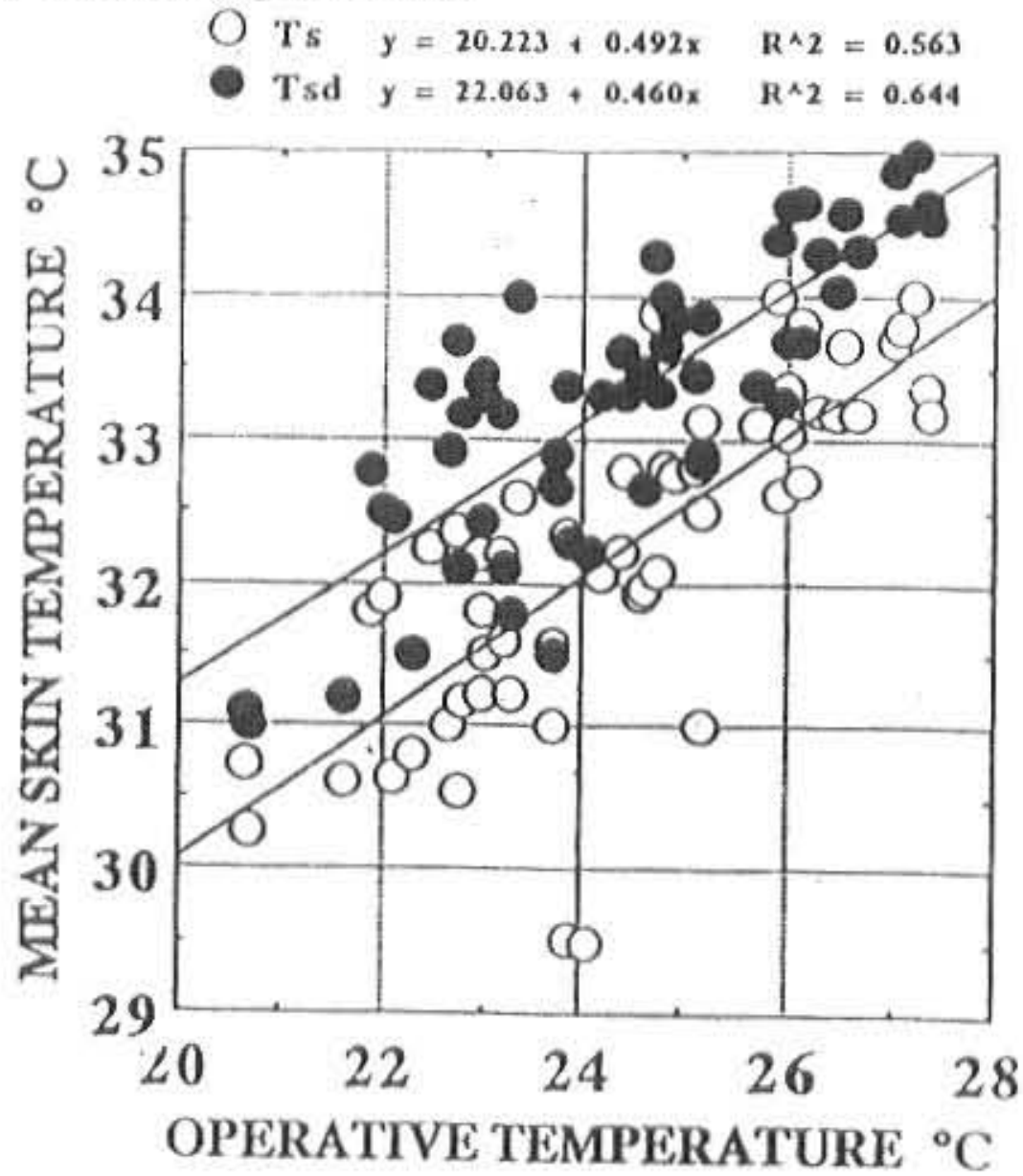


Fig.4 Relationship between operative temperature and mean skin temperatures

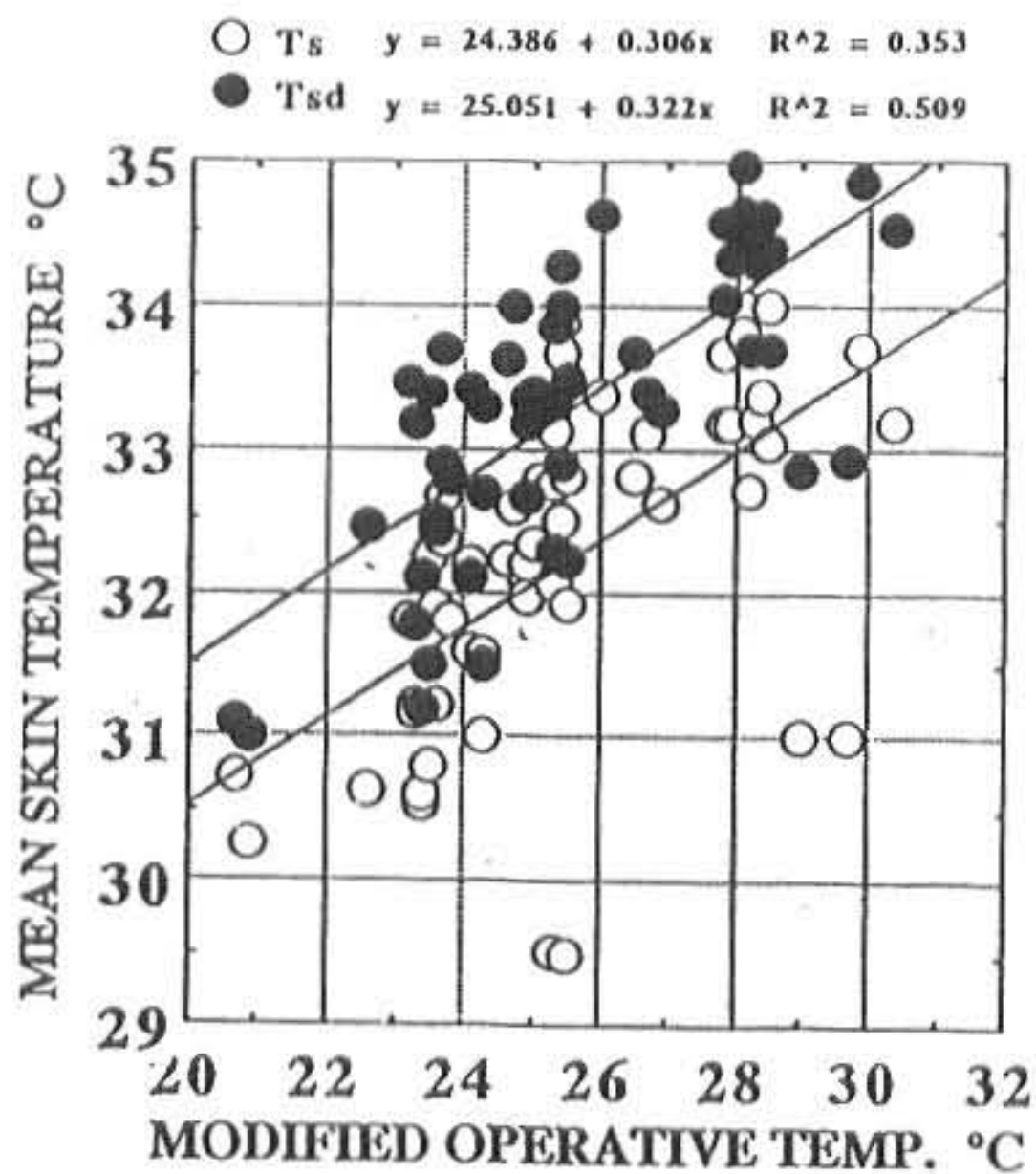


Fig.5 Relationship between modified operative temperature and mean skin temperatures

(3) 수정작용온도와 평균피부온

환경조건에 대류·방사·열전도의 영향을 가미한 수정작용온도와 2종류의 평균피부온과의 관계를 Fig.5에 나타내고 있다.

수정 평균피부온이 종래의 평균피부온 보다 약간 높고, 수정작용온도와의 상관관계는 수정 평균피부온 ($R^2=0.509$)이 종래의 평균피부온($R^2=0.353$)보다 강하게 나타나 있다. 바닥과 재실자의 접촉부위 사이의 열전도에 의한 熱收支의 영향이 명확하다. 이것으로 접촉부위의 열전도에 의한 熱收支 영향을 고려한 평균피부온 산출식 정의의 유의성이 검증되었다.

4.2 평균피부온의 시간변동

바닥난방시 피험자의 평균피부온에 대한 시간변화를 알아보기 위하여 Table1~Table3의 조건으로 실험실 실험을 통한 피험자의 평균피부온을 Hardy-DuBois의 7점 12부위에 적용한 것과 바닥 접촉부위의 열전도의 영향을 고려한 수정평균피부온 산출식에 적용한 것을 Fig.6~Fig.8에 시간 변동으로 나타내고 있다.

(1) 기온과 바닥온이 모두 22.5°C인 바닥난방을 하지 않은 경우(Fig.6) 피험자가 환경조건에 폭로된 직후 두 종류의 평균피부온 모두 약 1°C 내려간 뒤 급격히 내려가는 경향을 보인다. 환경조건에 폭로된 직후 33.8°C이던 평균피부온이 1시간이 경과한 후 31.5°C까지 내려가 약 2.3°C 정도의 하강을 하였다.

시간이 경과 할 수록 두 종류의 평균피부온 차는 점차 크지고 있어 바닥접촉부위의 열전도에 의한 영향을 알 수 있다.

(2) 기온이 22.5°C, 바닥온이 35°C인 경우(Fig.7)에서 피험자가 환경조건에 폭로된 후 두 종류의 평균피부온 모두 약간씩의 오르내림을 반복 하는 경향을 보인다. 두 피험자 사이의 평균피부온은 0.5°C 정도로 개인차를 보이고 있다. 시간이 경과 할 수록 두 종류의 평균피부온 차는 조금씩 크지고 있어 역시 바닥접촉부위의 열전도에 의한 영향임을 알 수 있다.

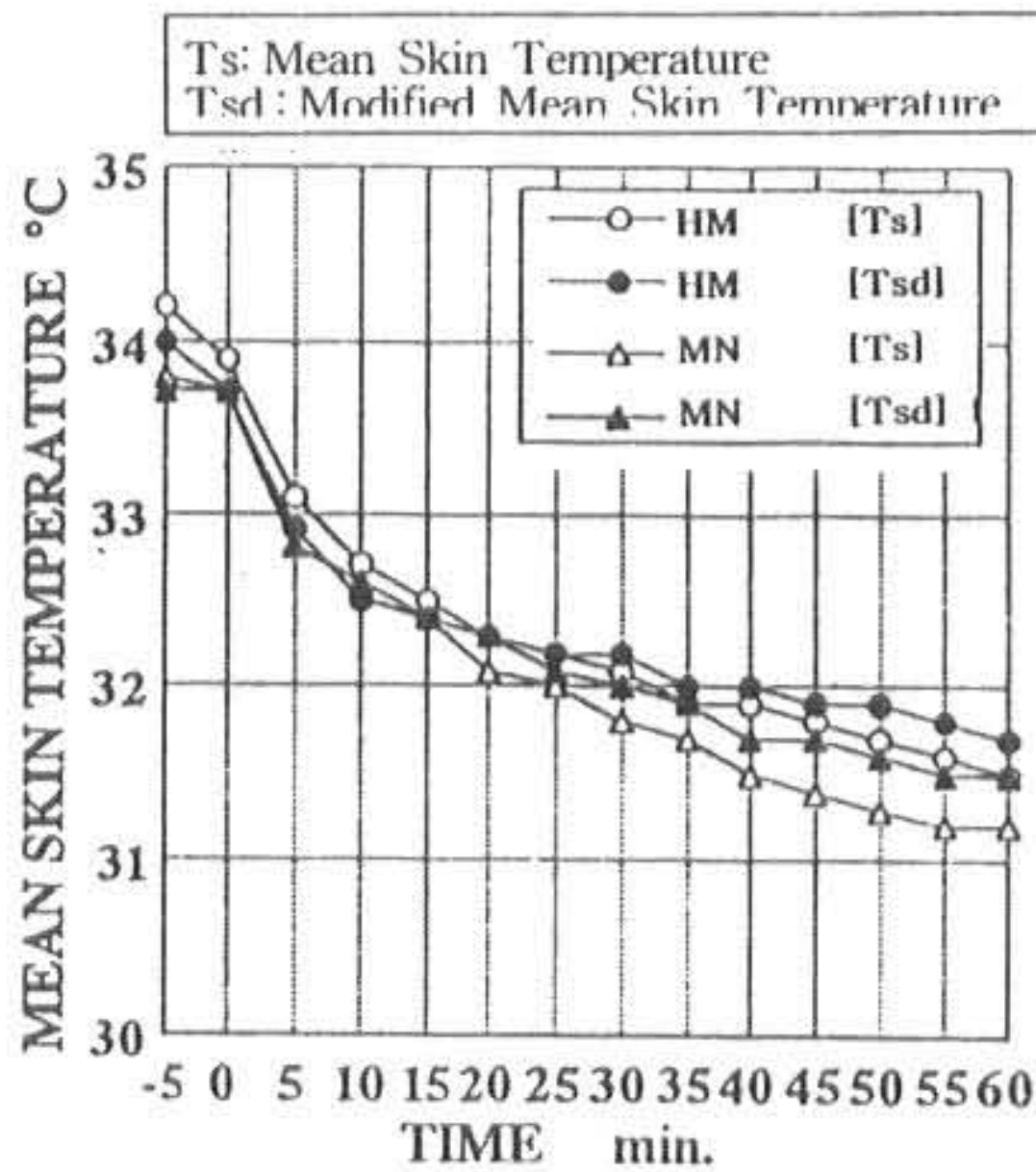


Fig.6 Change of mean skin temperatures during 90min. (air temperature : 22.5°C, floor temperature:22.5°C)

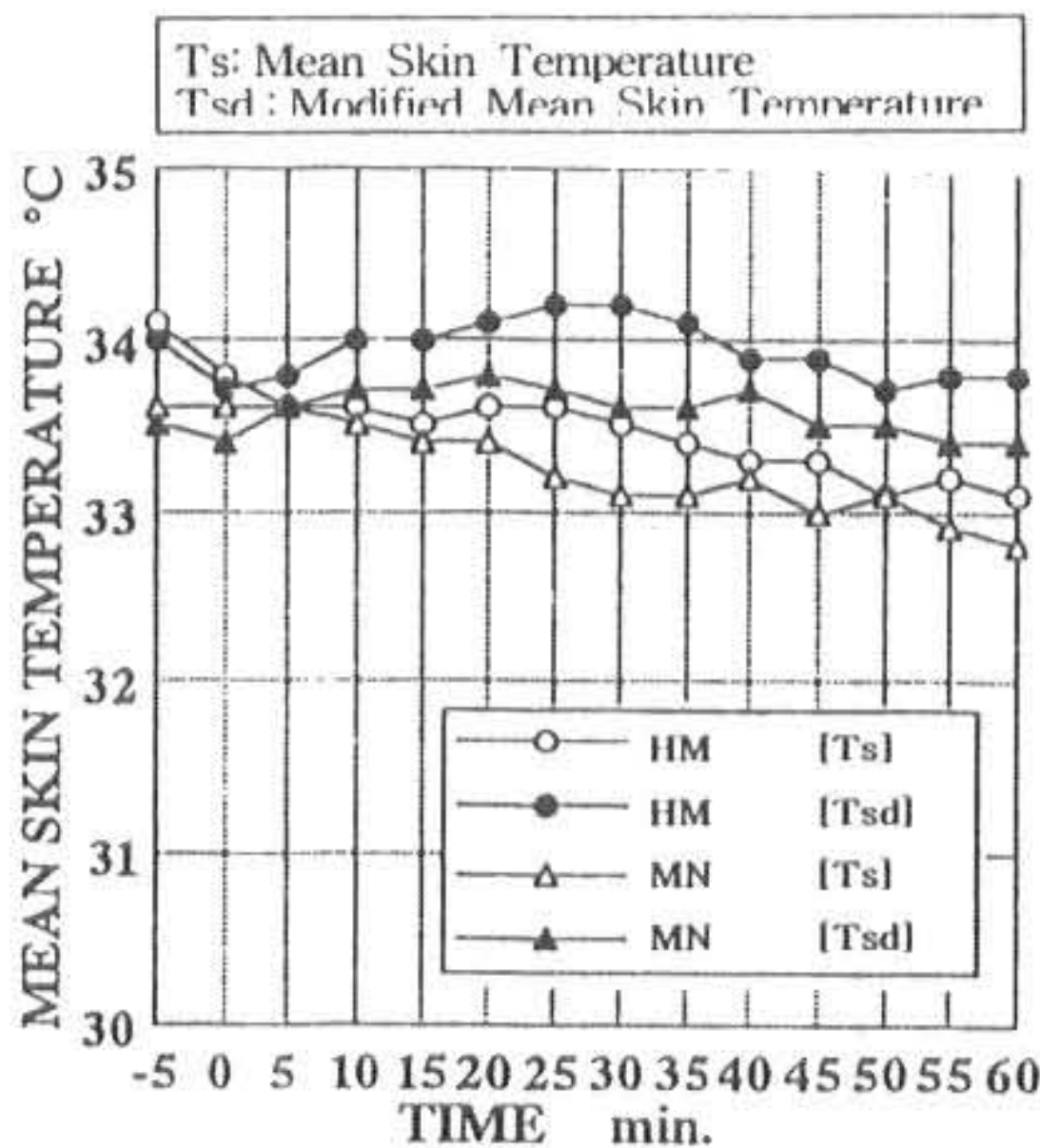


Fig.7 Change of mean skin temperatures during 90min. (air temperature : 22.5°C, floor temperature : 35°C)

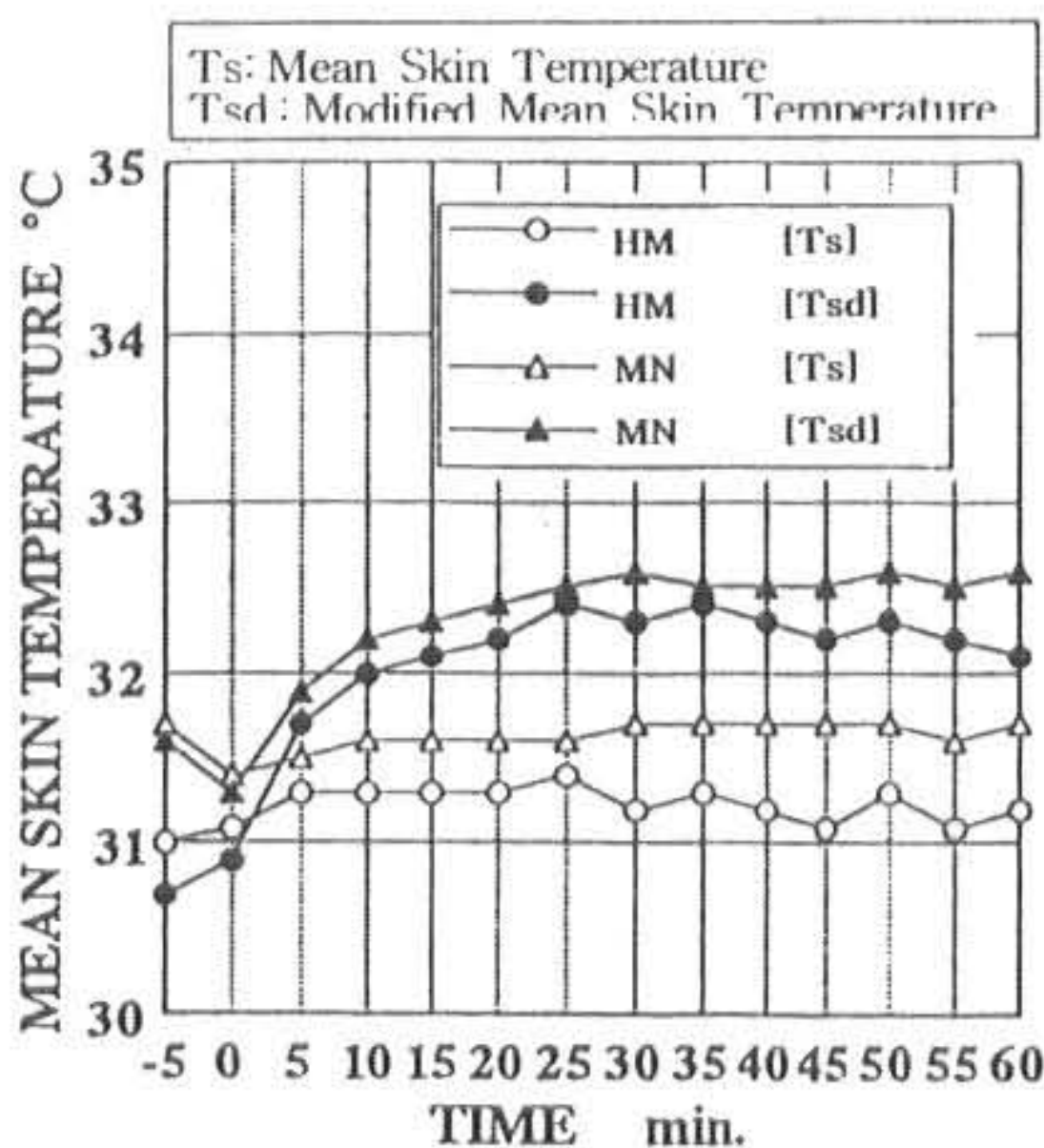


Fig.8 Change of mean skin temperatures during 90min. (air temperature : 22.5°C, floor temperature : 40°C)

(3) 기온이 22.5°C, 바닥온이 40°C인 경우(Fig.8) 환경조건에 폭로된 후 전도 수정평균피부온의 경우 30분 경과까지는 서서히 상승한 후 일정한 온도를 유지하였고, 종래의 평균피부온은 폭로후 10분까지 약간 상승한 후 일정한 온도를 유지하고 있다. 시간이 경과할수록 두 종류의 평균피부온차는 조금씩 크지고 30분 경과후에는 약 1°C 정도로 거의 일정하다. 그러나 30분 경과 후 전도 수정평균피부온은 오르내리는 경향을 나타내고 있어 피험자가 바닥접촉부위의 열전도에 의한 熱收支의 영향으로 움직였음을 알 수 있고, 바닥난방시 재실자의 환경공간 바닥 표면에 대한 접촉부위의 열전도 한계온도가 40°C 부근임을 예측할 수 있다.

6. 결론

바닥난방시 생활공간 바닥표면과 재실자 사이의 접촉부위 熱收支 영향을 고려한 수정평균피부온 산출식을 제안하였다.

이를 위하여 본 연구에서는,

- (1) 기존 연구의 고찰을 통하여 바닥접촉 부위를 고려한 평균피부온 산출식은 없음을 알았다.
- (2) 새롭게 바닥접촉 부위의 熱收支를 가미한 수정평균피부온 산출식을 정의 하였다.
- (3) 수정평균피부온에 대한 유의성 검증을 위하여 피험자를 이용한 실험실 실험을 하였다.
- (4) 실험 실측치를 수정평균피부온 산출식에 적용하여 Hardy-Dubois의 평균피부온과 함께 환경조건에 대한 상관관계를 비교 검토하였다.
- (5) 바닥난방시 재실자의 바닥접촉 부위의 熱收支 영향을 고려한 수정평균피부온 산출식 정의의 유의성이 실험을 통하여 검증 되었다.

앞으로 건축물의 생활공간 내에서 재실자의 생활 자세에 따른 다양한 접촉부위의 熱收支 관계를 보다 다양한 환경조건하에서 인체측에서 본 생활공간에 대한 온열쾌적성 평가 및 DB 개발을 위한 평균피부온 산출식 제안이 기대된다.

참고문헌

- 1) H.Pfleiderer: Studien uber den Wurmehaushalt des Menschen, Zeitschrift fur die Gesamte Experimentelle Medizin, Vol.90, pp.245-296, 1933
- 2) A.C. Burton: HUMAN CALORIMETRY II. The Average Temperature of the Tissues of the Body, Journal of Nutrition, Vol.9, No.3, pp.261-280, 1935
- 3) C.E.A. Winslow, L.P. Herrington & A.P. Gagge: A New Method of Partitional Calorimetry, American Journal of Physiology, Vol.116, No.3, pp.641-655, 1936
- 4) J.D. Hardy, E.F. DuBois: The Technic of Measuring Radiation and Convection, Journal of Nutrition, Vol.15, No.5, pp.461-475, 1938
- 5) E.D. Palmes, C.R. Park: Thermal regulation during acclimatization to work in a hot dry environment, Bulletin of the U.S. Army Medical Department, 1947
- 6) W.H. Teichner: Assessment of Mean Body Surface Temperature, Journal of Applied Physiology, Vol.12, No.3, pp.351-356, 1958
- 7) P.F. Iampietro, D.E. Bass, E.R. Buskirk: Heat Exchanges of Nude Men in the Cold: Effect of Humidity, Temperature and Windspeed, Journal of Applied Physiology, Vol.12, No.3, pp.351-356, 1958
- 8) N.L. Ramanathan: A new weighting system for mean surface temperature of the human body, Journal of Applied Physiology, Vol.19, No.3, pp.531-533, 1964
- 9) J.A.J. Stolwijk, J.D. Hardy: Partitional calorimetric studies of responses of man to thermal transients, Journal of Applied Physiology, Vol.21, No.3, pp.967-977, 1966
- 10) D. Mitchell, C.H. Wyndham: Comparison of weighting formulas for calculating mean skin temperature, Journal of Applied Physiology, Vol.26, No.5, pp.616-622, 1969
- 11) E.R. Nadel, R.W. Bullars, J.A.J. Stolwijk: Importance of skin temperature in the regulation of sweating, Journal of Applied Physiology, Vol.31, No.1, pp.80-87, 1971
- 12) E.R. Nadel, J.W. Mitchell, J.A.J. Stolwijk: Differential thermal sensitivity in the human skin, Pflugers Archiv, Vol.340, pp.71-76, 1973
- 13) M.F. Roberts, C.B. Wenger, J.A.J. Stolwijk, E.R. Nadel: Skin blood flow and sweating changes following exercise training and heat acclimation, Journal of Applied Physiology, Vol.43, No.1, pp.133-137, 1977
- 14) 持田徹, 西安信: 局所熱傳達率を加味した平均皮膚溫の算定, 空氣調和衛生工學會學術講演會前刷集, pp.95-98, 1971
- 15) 持田徹: 工學手法による平均皮膚溫の算定, 空氣調和衛生工學會北海道支部第6回研究發表會前刷集, pp.5-6, 1972
- 16) 石垣秀圭, 堀越哲美, 持田徹, 植松智樹: 人體の對流熱傳達率に関する實驗的研究(その5), 日本建築學會大會學術講演梗概集D環境工學, pp.725-726, 1991
- 17) P.O. Fanger, O. Angelius, P.K. Jensen: Radiation data for the human body, ASHRAE Transactions, Vol.76-II, pp.338-373, 1970
- 18) 中村泰人: 人體に對する放射熱環境の計劃について, 人間熱環境系 심포지움報告集, pp.11-14, 1977
- 19) 中村泰人: 建築都市空間内の人體に對する熱放射場の表現方法について, 日本建築學會計劃系論文報告集, No.376, pp.29-35, 1987
- 20) 新谷二郎: 本邦人の體表面積について、第2編 體表面積の左右の相違, 國民衛生, 第8卷, 第4號, pp.402-439, 1931
- 21) 新谷二郎: 本邦人の體表面積について、第3編 身體各部位の皮膚面積及び其の割合と之が體性年齢別の相違について, 國民衛生, 第8卷, 第4號, pp.440-460, 1931
- 22) 川端愛浩: 一新體表面積計算式, 日本生理學會雜誌, 第5卷, 第4號, pp.245-254, 1940
- 23) 渡辺孟: 日本人の體表面積に関する研究, 第1篇 文獻及び基礎實驗, 長崎綜合公衆衛生學雜誌, 第3卷, 第1号, pp.73-85, 1954
- 24) 渡辺孟: 日本人の體表面積に関する研究, 第2篇 小學校兒童期の體表面積及びその算出式, 長崎綜合公衆衛生學雜誌, 第3卷, 第14号, pp.86-115,

1954

- 25) 小川良治 : 日本人の體表面積に関する研究, 第3篇 18歳~20歳の體表面積及びその算出式, 長崎綜合公衆衛生學雜誌, 第5卷, 第1号, pp.5-18, 1956
- 26) 原岡忍 : 日本人の體表面積に関する研究, 第4篇 12歳~14歳の體表面積及びその算出式, 長崎綜合公衆衛生學雜誌, 第6卷, 第3号, pp.103-117, 1957
- 27) 藤本薫喜, 渡辺孟, 小川良治, 原岡忍, 貞包正敏 : 日本人の體表面積に関する研究, 第5篇 15歳~17歳の體表面積及びその算出式, 長崎綜合公衆衛生學雜誌, 第6卷, 第3号, pp.118-132, 1957
- 28) 山田健治主 : 日本人の體表面積に関する研究, 第6篇 20才台~14才台の壯年男子の體表面積及びその算出式, 長崎綜合公衆衛生學雜誌, 第7卷, 第1号, pp.41-55, 1958
- 29) 川越武慶 : 日本人の體表面積に関する研究, 第7篇 4歳~5歳の體表面積及びその算出式, 長崎綜合公衆衛生學雜誌, 第7卷, 第3号, pp.213-229, 1958
- 30) 河野光雄 : 日本人の體表面積に関する研究, 第9篇 50才台, 60才台男子の體表面積及びその算出式, 長崎綜合公衆衛生學雜誌, 第8卷, 第6号, pp.405-417, 1959
- 31) 宮島暉 : 日本人の體表面積に関する研究, 第13篇 乳兒の體表面積及びその算出式, 長崎綜合公衆衛生學雜誌, 第9卷, 第9号, pp.484-117, 1957
- 32) 藤本薫喜, 渡辺孟, 宮島暉, 藤本京太, 重城範嘉, 大塚喜久雄 : 日本人の體表面積に関する研究, 第15篇 1才7個月~2才の體表面積及びその算出式, 長崎綜合公衆衛生學雜誌, 第10卷, 第1号, pp.1-13, 1961
- 33) 藤本薫喜, 渡辺孟, 坂本淳, 湯川宰一, 森本和枝 : 日本人の體表面積に関する研究, 第18篇 三期にまとめた算出式, 日本衛生學會誌, 第23卷, 第5号, pp.443-450, 1968

(2000년 7월 10일 접수, 2000년 11월 21일 채택)