

하계 실내환경의 쾌적성 평가에 영향을 미치는 인자에 관한 연구

(A Study on the Factor Affect Evaluation for Indoor Thermal
Comfort by Relative Humidity)

정성일*, 박종일, 홍희기, 김경훈(경희대학교 공과대학 기계공학과),
민병일, 조영욱, 김창주(경희대학교 의과대학 생리학실험실)

S.I.Chung, J.I.Park, H.G.Hong, K.H.Kim(Kyung Hee Univ. Dept. Mechanical Engineering)

B.I.Min, Y.U.cho, C.J.Kim(Kyung Hee Univ. Dept. Medicine Physiology Laboratory)

Key ward: Predicted mean vote(예상온열감), Predicted percentage of dissatisfied(예상불만족율), Thermal comfort(온열쾌적감), Comfort sensation vote(쾌적감신고), SET*(신표준유효온도), Humidity change(습도변화), Operative temperature(작용온도), Wettedness(피부젖음률)

Abstract : The purpose of this study is to investigate Effect of relative humidity for Indoor thermal comfort and physiological change. And this study examined high relative humidity was associated with a high percentage of uncomfortable subjects during summer season. Also we examined heat balance equation, thermal exchange with environments and thermo-regulatory control mechanisms of human body. As a result of this research, we are participating the establishment of domestic estimation standard for indoor environments, people' health and better welfare could be supported by this study.

1. 서론

쾌적한 생활환경은 문명 사회를 살아가는 인간에게 있어서 필수불가결의 관계이다. 그리고 주거생활에서 뿐만아니고 작업환경에 있어서도 쾌적한 환경은 중요한 요소로 지적되고 있다. 이런 까닭에 국내·외적으로 인간의 쾌적감을 만족시키는 종합적인 온열환경지표를 설정하기 위한 연구가 계속 진행중이다. 국외적으로 Fanger의 PMV, Gagge의 SET*등 훌륭한 온열환경지표들이 발표되어졌고, 실생활에 사용되고 있다. 그러나 이런 지표들은 각 나라의 기후 및 풍토 인종간의 특징을 고려할 수 없으므로 각 나라에 맞는 수정

발표되어졌고, 실생활에 사용되고 있다. 그러나 이런 지표들은 각 나라의 기후 및 풍토 인종간의 특징을 고려할 수 없으므로 각 나라에 맞는 수정이된 자료가 뒷받침 되어져야 한다. 국내에서도 우리나라의 특징을 고려한 온열환경지표에 대한 연구가 많이 진행중이다. 본연구에 있어서는 종합적인 온열환경지표에 대하여 여름철 우리나라 기후환경에서 중요한 부분을 차지하는 습도의 영향에 대한 자료들을 비교·분석하여 실제적인 실험의 초석을 마련하는 것이다. 또한 인체의 생리학적인 관계를 세밀히 고찰하여 물리적인 실험데이터의 미비한 점을 보완하고자 한다.

2 실내온열환경에 대한 습도의 영향

여름철 우리나라에 있어서 습도의 영향은 환경적 인자중 가장 큰 부분을 차지하고 있다. 그러므로 세밀한 습도의 변화에 대한 온열환경지표와의 비교실험은 아주 중요하다고 생각된다. 몇몇 대학과 연구기관에서 이에 대한 연구가 진행되고 있으나, 습도의 정밀한 조절 및 이로 인한 많은 문제점들에 의해 몇몇 지정된 %의 상대습도 이외에는 실험이 거의 실행되지 못하고 있는 실정이다. 그러므로 공기와 습도의 특성을 확실히 이해하여, 몇몇 지정된 %이외의 상대습도가 정말 타당성이 있는 연구인지를 기존의 데이터들과 검토해보기로 한다.

2.1 공기와 습도의 특성

공기의 온도가 상승하면 포화압력(P_s)도 상승하여 공기는 보다 많은 수증기를 함유할 수 있게 되며, 온도가 내려가면 공기가 함유할 수 있는 수증기의 한도는 작아져 포화압력은 내려간다. Fig 1에서 위의 내용을 잘 나타내어주고 있다.

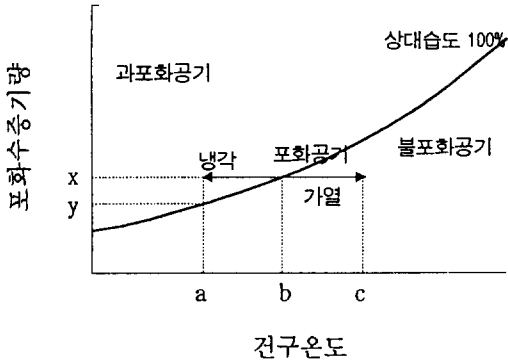


Fig. 1 The Relationship temperature and saturated vapor volume at relative humidity 100%

또한 습도는 주로 상대습도 또는 절대습도로 나타내며, 그 외에도 수증기 분압, 습구온도, 노점 온도 등으로 나타내는 경우도 있다. 상대습도는 일정한 기온에서의 포화 수증기압에 대한 수증기 분압의 비를 나타낸 것이므로, 건구온도와 함께 나타내지 않으면 유용한 지표가 되지 못한다. 또

한 습도는 냉온감에 영향을 미치고, 낮거나 높은 습도는 인체에 비열적 불쾌감을 준다. 낮은 습도에서는 정진기문제, 높은 습도에서는 피부의 젖음을 증가에 따른 불쾌감을 유발한다.

2.2 실험과 연관된 이론

(1) 예상온열감

인간의 온열감각에 대한 이론을 정량화시킨 것으로 인체의 대사율, 의복의 열저항값 등을 산정하고, 건구온도, 평균복사온도, 기류속도, 수증기 분압 등을 측정하여 인체의 열평형을 기초로 한 쾌적방정식에 대입하여 인체의 온열감을 이론적으로 예측한 것이다. 즉, PMV는 온열환경 6가지 요소를 쾌적방정식에 대입시켰을 때의 산열량과 방열량의 불평형분(인체 열부하)과 사람의 온열감각을 피험자 실험에 의해 관계지워 나타내는 지표이다. PMV값은 열적 중립상태를 0으로하고 -3~+3의 수치척도를 각각 춥다(Cold), 서늘하다(Cool), 약간 서늘하다(Slightly Cool), 중립(Neutral), 조금 따뜻하다(Slightly Warm), 따뜻하다(Warm), 덥다(Hot)로 관계지워 나타내기 때문에 이해하기 쉽다. 아래에 PMV식과 적용범위를 나타내었다.

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0.303e^{-0.36M} + 0.028)[(M - W) \\
 & - 3.05 \times 10^{-3} \times \{5733 - 6.99(M - W) - P_a \\
 & - 0.42 \times (M - W) - 58.15\} - 1.7 \times 10^{-5} M \\
 & (5867 - P_a) - 0.0014M(34 - t_a) - 3.96 \\
 & \times 10^{-8} f_{cl} \{ (t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 \} \\
 & - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)]
 \end{aligned}$$

(1)

- 여기서, M : 체표면적당 신진대사량
- W : 외부일(대부분의 일은 0임)
- I_{cl} : 의복의 열저항
- f_{cl} : 의복의 면적비
- t_{cl} : 의복의 표면온도
- P_a : 수증기 분압

사용범위는 PMV = -2~+2

$$M = 46 \sim 23 \text{ W/m}^2 (0.8 \sim 4.0 \text{ met})$$

$$I_{cl} = 0 \sim 0.310 \text{ m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C/W} (0 \sim 2.0 \text{ clo})$$

$$t_a = 10 \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\bar{t}_r = 10 \sim 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$v_a = 0 \sim 1 \text{ m/s}$$

$$p_a = 0 \sim 2700 \text{ Pa}$$

(2) 예상불쾌감

어느 환경에 놓여진 사람들의 불만족률을 나타낸 것으로, 몇 %의 사람이 온열적으로 불만을 느끼고 있는가를 나타낸다. 그리고 이것은 앞서 언급되었던 예상온열감과 연관되어져 뛰어난 지표로 활용되고 있으며, Fig 2는 예상온열감 대 예상불쾌감의 관계를 나타내고 있다.

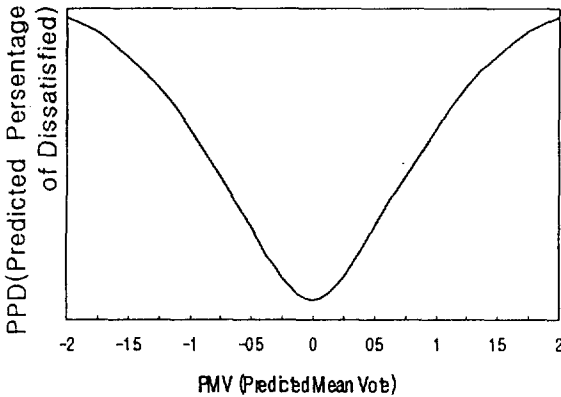


Fig. 2 Curveline of PMV and PPD

(3) 신표준유효온도

작업량에 대한 표준적인 착의량을 한 재실자가 실제의 환경에서와 같은 열스트레스(피부온도 t_{sk})와 열조절스트레인(피부젖음률 w)을 경험하게 되는 기류속도 0.1m/s, 상대습도 50%rh인 표준적인 조건하에서의 균일한 열환경(기온=주위 벽면온도)의 온도로 정의된다. 이를 사용하면 여러 가지 조건의 실내환경을 가상 공기온도이기는 하나, 단일 변수에 의해 비교, 평가할 수 있으며 또한 공기온도라는 우리에게 친숙한 물리량을 척도로 사용하기 때문에 실내 온열환경의 양상이 쉽게 이해될 수 있다.

2.3 실험 데이터

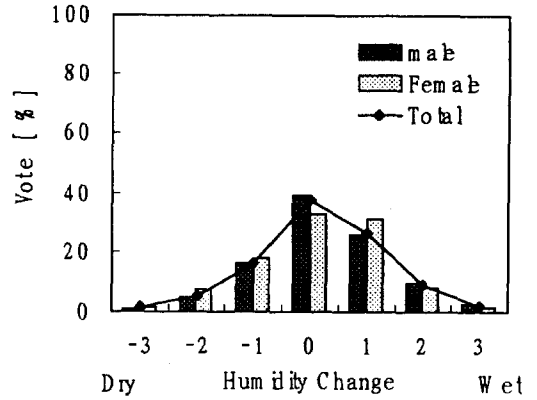


Fig. 3 Humidity sensation of male and female

Fig 3은 남녀별로 습도감의 응답비율을 나타내고 있다. 중립감이 약 35%를 최대로 해서 건조감과 습감의 비율이 점점 줄어들며, 여름철 기후의 특징에 의해 습감이 건조감보다 약간 많고, 남녀별로 큰 차이를 보이지 않는다. 만약 Fig 3에서 기온 변화에 대한 상대습도 차이의 응답비율이 포함된다면, 종합적인 온열쾌적감 평가지표에 더욱 접근할 수 있을 것으로 생각된다.

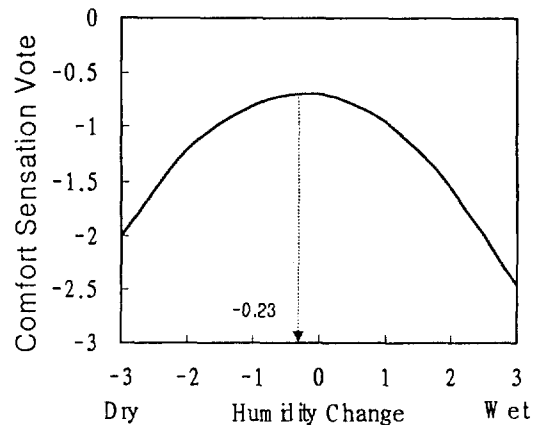


Fig. 4 Humidity and mean comfort sensation

습도감과 평균쾌적감을 나타내고 있는 Fig 4는 아주 중요하다. 왜냐하면, 습도감에 있어 중립감보다 약간 건조할 때 ($HC = -0.23$)가 가장 쾌적감

이 높음을 나타내고 있기 때문이다. 여기에서도 볼 수 있듯이 보다 낮고, 높은 기온에서 상대습도의 차이에 의해 쾌적감은 변할 수 있다는 것을 알 수 있다.

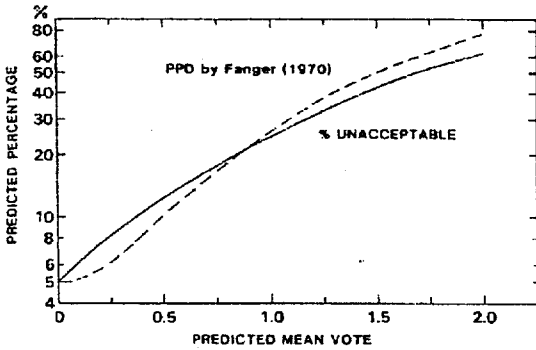


Fig. 5 The comparison of predicted percentage of unacceptable and predicted mean vote(PMV)

Fig 5는 Fanger에 의한 PMV, PPD곡선을 실험 데이터와 비교한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 각 지점에서의 차이가 뚜렷이 나타난다. 기후적 특색과 인종간의 특징을 수학적 방정식에 의해 일치시킬 수 없기 때문이다. 그러므로 우리나라에서도 우리나라 사람에게 적합하고 여름 및 겨울철 날씨가 고려된 종합적인 온열환경지표가 만들어져야 한다.

3. 생리학적 변화와 습도의 관계

근래에 있어서의 온열쾌적감에 관한 연구는 물리적 변화에 의한 쾌적감의 변화를 연구하는데 그치지 않고 쾌적감을 느끼는 근본대상인 인간자체에서 발생하는 생리적 변화를 물리적 변화와 연관시키는 방향으로 유도하고 있다. 그러므로 인간의 생리적 변화에 대한 이론을 알아보고 그에 따른 실험적인 내용을 고찰하도록 한다.

3.1 생리학적 원리와 열적쾌적감

인간의 인체는 계속적으로 열을 생성하며, 앉아있는 사람에게서는 대략 100W정도에서부터 정력적으로 운동을 하는 사람에게서는 1KW까지 다양하게 열을 발산한다. 인체온도는 불쾌감을

피하기 위해 좁은 온도영역 안에서 유지되어야 하고, 그리고 온냉으로 인한 열스트레스로부터의 위험을 피하기 위하여 어느정도 넓은 영역안에서 틀림없이 유지된다. 열은 고정적으로 인체를 통해 생성되거나, 발산되지 않는다. 그러나 대부분 공학자들의 실험에 있어서는 주위에 열을 발산하는 것을 묘사 할 때 인간의 몸을 고정된 실린더로 간주한다.

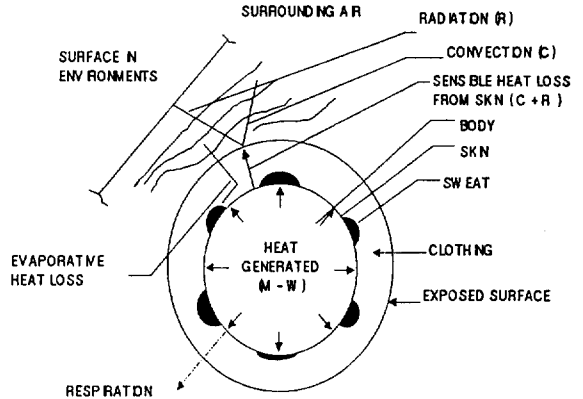


Fig. 6 Cylindrical model of thermal interaction of human body and environment

인체 내부에서 생성되어지는 전체신진대사 에너지 M 은 떨릴 때(무서움이나 추위에 의해) 필요하게 되는 신진대사 에너지 M_{shiv} 에 사람들의 활동시에 필요한 신진대사에너지 M_{act} 을 더한 것이다. 인체 에너지 생산의 한 부분은 아마도 근육에 의한 외부적 일인 M 으로 확장되어진다. 정미열생성 $M-W$ 는 체온을 높임으로써 인체에 저장되거나, 호흡기관이나 피부표면을 통해 주위로 발산된다. 몸에서부터 즉각적인 외부로의 열분산은 다양한 열교환 방식에 의해 발생한다. 이런 다양한 열교환방식을 구체적으로 표현하면 (1) 피부로부터 현열유동 $C+R$ (2) 피부를 통한 습기발산으로 인한 증발 E_{dir} 과 땀의 증발 E_{rsw} 로부터의 잠열유동 (3) 호흡하는 동안 현열유동의 C_{res} 그리고 호흡하는 동안 습기(입김 등)의 증발에 기인하는 잠열유동 E_{res} 등이 있다. 피부로부터의 현열유동은 옷을 입은 사람에게 있어서 전도, 대류, 복사의 혼합으로 복잡하다. 그러나 이것은 겉옷 표면(또는 드러난 피부)에서의 열전달인 대류 C 와 복사 R 의 합과 같다.

3.2 정상상태 에너지 균형방정식

Fanger(1970, 1982)에 의해 발전되어진 정상상태 모델은 인체가 열저장을 무시함으로써 열적평형 상태에 있다라고 가정한다. 인체는 열적 중성에 가깝다고 가정되어진다. 떨림과 혈관 조절이 없다는 것은 핵과 피부가 하나로 구분된 모델이기 때문에 고려할 수 없다. 정상상태에서는 열생성과 열손실이 같고, 그리고 에너지 균형은 아래의 식으로 표현된다.

$$M-W = Q_{sk} + Q_{res} \\ = (C + R + E_{cl}) + (C_{res} + E_{res}) \quad (2)$$

여기서

- M = 신진대사적 열생성율, w/m^2
- W = 기계적일 완성율, w/m^2
- Q_{res} = 호흡을 통한 전체열손실율, w/m^2
- Q_{sk} = 피부로부터의 열손실율, w/m^2
- C_{res} = 호흡으로부터의 대류열손실율, w/m^2
- E_{res} = 호흡으로부터의 증발열손실율, w/m^2
- $C + R$ = 피부로부터 현열손실, w/m^2
- E_{sk} = 피부로부터 전체열증발손실율, w/m^2

3.3 주위환경과 인체와의 열교환

3.3.1 피부로부터의 현열손실

피부표면으로부터 현열교환은 의복을 통해 주위 환경으로 방출되는 것이 틀림없다. 이런 경로들은 연속적으로 다루어지며, 다음과 같이 기술될 수 있다 : (1) 피부 표면에서 열은 의복의 격리점에서 외부의 옷 표면을 통하여 (2) 외부의 의복 표면에서 주위로 전달된다. 착의된 인체의 외부 표면으로부터의 대류 C와 복사 R 양자의 열손실은 적당한 주위 온도와 착의된 인체 외부표면 평균온도 t_{cl} 사이의 차이 그리고 열전달계수의 관점에서 표현된다.

$$C = f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \quad (3)$$

$$R = f_{cl} h_r (t_{cl} - \bar{t}_r) \quad (4)$$

여기서

- h_c = 대류열전달계수, $W/(m^2 \cdot K)$
- h_r = 선형복사열전달계수, $W/(m^2 \cdot K)$

$$f_{cl} = \text{의복면적인자} = A_{cl}/A_D$$

방정식 (3)과 (4)는 작용온도 t_0 와 결합된 열전달 계수 h 을 이용하여 이들 두 단계에 의해 전체적인 현열교환을 나타내기 위하여 흔히 결합된다.

$$(C + R) = f_{cl} h (t_{cl} - t_0) \quad (5)$$

여기서

$$t_0 = (h_r \bar{h}_r + h_c t_a) / (h_r + h_c) \quad (6)$$

$$h = h_r + h_c \quad (7)$$

방정식(6)을 근거로하여, 작용온도 t_0 는 평균반지름 그리고 주위공기온도, 무게에 대해 이들 각각의 열전달 계수들의 평균으로써 정의된다. 의복을 통한 현열의 실제적 전달은 전도, 대류, 그리고 복사와 관련된다. 단일 열저항값 R_{cl} 에 이것들을 결합시키는 것이 가장 흔하게 쓰인다.

$$(C + R) = (t_{sk} - t_{cl})/R_{cl} \quad (8)$$

여기서, R_{cl} = 의복의 열저항, ($m^2 \cdot K/W$)

이후로 의복 표면 온도 계산을 포함하는 것은 종종 불편할 것이다. 방정식 (5)와 (8)을 결합하여 t_{cl} 을 소거하면

$$(C + R) = (t_{sk} - t_0)/[R_{cl} + 1/(f_{cl}h)] \quad (9)$$

3.3.2 피부로부터의 증발 열손실

피부로부터의 증발 열손실 E_{sk} 는 피부와 공기 중의 수증기압 차이 및 피부위의 수분량에 의존한다.

$$E_{sk} = w(P_{sk,s} - P_a)/[R_{e,cl} + 1/(f_{cl}h_e)] \quad (10)$$

여기서

- P_a = 주위공기수증기압, kPa
- $P_{sk,s}$ = 피부에서의 수증기압(보통 t_{sk} 에서의 포화수증기압으로 가정), kPa
- $R_{e,cl}$ = 의복층의 증발 열전달 저항(R_{cl} 과 유사함), ($m^2 \cdot kPa$)/W

h_e = 증발 열전달 계수 (h_c 와 유사함), $W/(m^2 \cdot kPa)$

w = 피부촉촉함 n.d.

피부젖음률(wettedness)은 가능한한 최대증발열손실 E_{max} 대 실제 증발 열손실의 비이며, 이와 동일한 상태에서 피부가 완전히 젖으면 $w=1$ 이다. 피부젖음률의 값은 증발열손실을 결정하는데 중요하다. 최대 증발 잠재력 E_{max} 은 피부 표면이 완전하게 적셔지거나, 또는 $w=1.0$ 일 때 발생한다. 피부로부터 증발열손실은 열적 조절 통제기구에 의해 보이지 않게 이루어지는 땀의 증발 E_{rsw} 와 피부를 통한 수분의 자연확산 E_{dif} 의 조합이다

$$E_{sk} = E_{rsw} + E_{dif} \quad (11)$$

땀 조절에 의한 증발열손실은 땀이 생성되게 하는 조절에 직접적으로 비례한다.

$$E_{res} = \dot{m}_{rswh_{fg}} \quad (12)$$

여기서

h_{fg} = 수증기열 = 2430 kJ/kg (30°C에서)

\dot{m}_{rsw} = 땀이 생성되는 율, $kg/(s \cdot m^2)$

생성된 땀에 의해 젖어지는 피부면적비(w_{rsw})는 다음과 같다.

$$w_{rsw} = E_{rsw}/E_{max} \quad (13)$$

땀이 전혀 없을 때 확산에 의한 피부젖음률은 일반적인 상태에서 0.06이나, E_{max} 의 값이 크거나 습도를 낮게 하기위해 오래 노출되는 동안, 그 값은 0.02정도의 낮은 값으로 떨어지며, 이후로 바깥피부층은 건조해져서 확산특성을 변화시키기 때문이다. 땀에 의한 조절작용이 있는 경우에 0.06이라는 값은 땀에 의해 젖지 않는 비율($1-w_{rsw}$)에만 적용되므로 확산 증발열 손실은 다음과 같다.

$$E_{dif} = (1-w_{rsw})0.06E_{max} \quad (14)$$

이 방정식들은 최대증발열손실 E_{max} 와 땀조절에 의한 증발열손실 E_{rsw} 가 주어지면, 피부젖음률 w 를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} w &= w_{rsw} + 0.06(1-w_{rsw}) \\ &= 0.06 + 0.94E_{rsw}/E_{max} \end{aligned} \quad (15)$$

피부젖음률이 결정되면 피부로부터의 증발열손실은 식(10)으로부터 계산되어지거나 또는 다음식에 의해 계산된다.

$$E_{sk} = wE_{max} \quad (16)$$

비록 피부로부터 증발 E_{sk} 가 w 에 의존하여 방정식 (10)에서 기술되어지거나, 인체는 피부젖음률을 직접적으로 조절하지 못한다. 그러므로, 오히려, 방정식(12)에서 땀 변화율 \dot{m}_{rsw} 으로 조절한다. 피부젖음률은 주위환경의 증발잠재력과 땀샘들의 상대적인 활동성의 간접적인 결과이다.

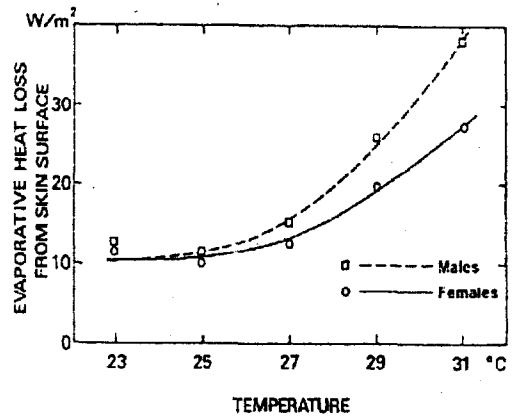


Fig. 7 Evaporative heat loss from skin surface at 60% rh

Fig 7은 상대습도 60%rh에서 피부표면으로부터의 증발열손실을 나타내고 있다. 온도가 증가할수록 남녀의 증발열손실이 차이가 나는 것을 알 수 있다. 신체적인 특징에 의한 차이는 극복할 수 없더라도 물리적 인자에 의한 손실의 차이는 충분히 줄일 수 있다고 생각된다.

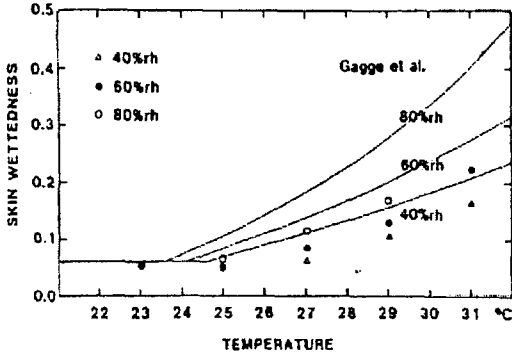


Fig. 8 Skin wettedness

Fig 8은 상대습도 40%rh, 60%rh, 80%rh에서의 피부젖음률을 나타내고 있다. 회귀방정식에 의해 각지점에서 상대습도와 비교를 하고 있다. 상대습도의 차이가 온도가 내려갈수록 점점 줄어들어든다는 것을 확연히 알 수 있다. 여기서도 여름철 확실한 제습에 의한 실험이 중요하다는 것을 확신할 수 있다.

3.4 피부감각

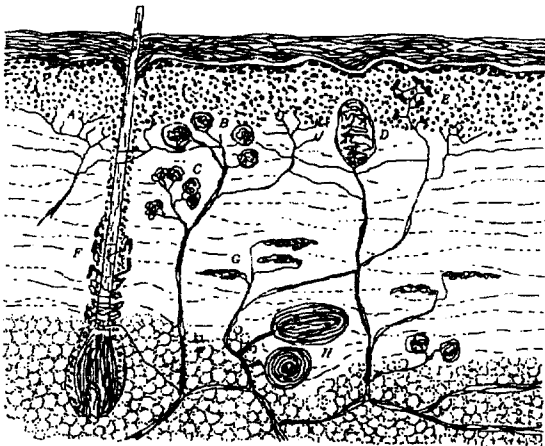


Fig. 9 Skin sensation organization

온열쾌적감에 대한 인간의 생리학적 감각중 피부의 온도 감각은 아직 확실히 밝혀지지 않고 있으나 루피니(Ruffini)소체 C,G부분이 온각을, 크라우제(Klause)소체 B부분이 냉각을 감지하는 감

각기라고 본다. Fig 9에 잘 나타나 있듯이 온각과 냉각의 감각기는 산재해 있으나, 손과 앞면에 많이 분포하며, 냉각점이 4~10배 정도로 많다. 앞팔에 냉점이 1cm²당 15개가 있는데 반하여 온점은 겨우 1~2개에 불과하다. 음경 귀두와 결막에는 냉점뿐이며, 온점이 없다. 크라우제 소체는 결막, 입술, 혀, 음경, 음핵, 손가락, 활액막, 신경초 등에 많다. 루피니 소체는 진피와 진피 바로 위의 피하조직에 있으며, 크라우제 소체는 표피와 표피의 바로 아래에 있다. 이와 같은 이론을 잘 뒷받침해주는 실험데이터는 Fig 10과 같다.

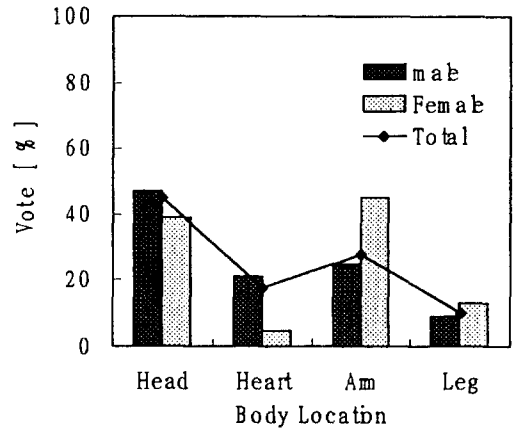


Fig. 10 Response of body location for thermal comfort

Fig 10은 온열환경에 가장 민감하다고 응답한 신체부위의 분포를 나타내며, 여자는 가슴→다리→머리→팔의 순서로, 남자는 다리→가슴→팔→머리 순으로 온열환경에 더 민감하다고 하는 응답을 나타내고 있다. 또한, 남녀 모두머리와 팔이 민감하고 가슴과 다리가 덜 민감함을 알 수 있다.

4. 결론

여름철 우리나라 기후환경에서 중요한 부분을 차지하는 습도의 영향을 연구함에 있어서 온열쾌적감에 대한 습도와와의 관계는 어느정도 타당성이 있는 연구로 볼 수 있다. 왜냐하면, 습도가 중요한 인자로 작용하는 우리나라 여름철 기후는 지

정된 습도 아래서 기온 변화에 의한 은열쾌적감의 조절은 한계가 있는 것으로 나타났기 때문이다.

은열에 대한 인간의 생리학적 반응은 단순한 메커니즘에 의해 일어나는 것이 아니라는 것을 잘 나타내고 있다. 그리고 피부 감각에 있어서도 냉·온감각기의 분포가 신체 부위별로 차이가 나고 있는 것도 알 수 있었다. 따라서, 본 연구의 내용을 종합해보면 은열쾌적감에 대한 종합적인지표를 만들기 위해서는 물리적으로 뿐만이 아니고 생리적인 요인도 복합되어야 더욱 신뢰성과 만족도가 높아진다는 것을 알 수 있었다.

후기 : 이 연구는 한국학술진흥재단 '96학제간 연구(300-848)의 지원으로 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

5. 참고문헌

1. ASHRAE, 1993, ASHARE Handbook, Atlanta, pp. 8.1~8.29
2. ASHRAE, 1981, Thermal Environmental Condition for Human Occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-1981
3. Fanger, p. o., 1970, Thermal Comfort-Analysis and Application in Environmental Engineering, McGraw-Hill, New York.
4. Tanabe, S., Kimura, K., Hara, T., "Thermal Comfort Requirements During the Summer Season in Japan", ASHRAE Trans., Vol. 93, Part 1, pp. 564~577
5. 이순요 고려대학교 교수, 미래지향적 인간공학, 박영사, pp 17~38
6. Ballantyne, E.R., Hill, R.K., and Spencer, J. W., 1977, "Probit analysis of thermal sensation assessments." International Journal of Biometeorology, Vol. 21-1, pp. 29~43
7. Gagge, A.P., Nishi, Y., and Nevins, R.G., 1976. "The role of clothing in meeting FEA energy conservation guidelines." ASHRAE Transactions, Vol.82, pp. 234~247
8. Jonse, B.W., Ogawa, Y., 1992, "Trensient Interaction between Human and the Thermal Environment", ASHRAE Transaction, Vol. 98,

part1, pp. 189~195

9. Gagge, A.P., Swolwijik, J.A.J., and Nishi, Y., 1971, "An Effective Temperature Scale on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response", ASHRAE Trasaction, Vol. 77, part1, pp. 247~257