

하계 인공환경실험에서의 온열쾌적특성

Characteristics of thermal comfort for artificial environment experiment in summer

박 종 일*, 김 경 훈**, 홍 화 기**, 민 병 일***, 김 창 주***
 J. I. Park, K. H. Kim, H. G. Hong, B. I. Min, C. J. Kim

Key words : Predicted mean vote(예상온열감), Thermal sensation vote(응답온열감), Predicted percentage of dissatisfied(예상불만족률), Comfort sensation vote(쾌적감응답), Standard new effective temperature*(신표준유효온도), Humidity sensation vote(건습감응답)

Abstract

The purpose of this study was to examine theory about indoor thermal comfort-environment as well as to determine thermal sensation and physiological responses for men in summer indoor environment, under various air temperature and relative humidity, with male university students. Subjective Evaluation, Heart Rate(Electrocardiogram), Electroencephalogram(EEG) were examined. We found that comfort of people was achieved at SET* 24.7°C, $-0.82 < PMV < 0.93$, subject's clothing(0.41clo) and the difference of skin temperature was found at the calf area as air temperature changes. At low SET*, heart rate was decreased and at high SET*, heart rate was increased but there was no change EEG(keeping α -wave).

기 호 설 명

clo : 의복의 열저항 단위
 E.C : 실험조건
 E.C.G : 심전도
 E.E.G : 뇌파
 f_{cl} : 의복의 면적비(-)
 I_{cl} : 의복의 열저항(clo)
 M : 체표면적당 신진대사량(met)

p_a : 수증기 분압(kg/m²)
 PMV : 예상온열감
 PPD : 예상불만족률
 SET* : 신표준유효온도
 TSV : 응답온열감
 t_{cl} : 의복의 표면온도(°C)
 t_a : 공기온도(°C)
 t_{sk} : 피부온도(°C)
 \bar{t}_r : 평균방사온도(°C)
 W : 외부일(W/m²)
 R.V. : 실현값
 v_a : 공기속도(m/s)

* 정회원, 수원전문대학 건축설비과

** 정회원, 경희대학교 기계공학과

*** 경희대학교 의과대학

w : 피부젖음률(-)

그리스 문자

α : 안정과(1/10sec)
 β : 불안정과(17~30c/s)
 δ : 불규칙과
 θ : 보통과(4~8c/s)

하첨자

a : 공기(air)
 cl : 의복(cloth)
 r : 방사(radiant)
 sk : 피부층(skin)

1. 서 론

쾌적한 생활환경은 문명 사회를 살아가는 인간에게 있어서 필수불가결의 관계이다. 그리고 주거 생활에서 뿐만 아니고 작업환경에 있어서도 쾌적한 환경은 중요한 요소로 지적되고 있다. 특히 여름철 습도의 영향을 많이 받는 우리나라 기후의 특성으로 인해 실내온열환경 연구에 있어서 습도의 영향은 간과할 수 없는 중요한 인자이다. 또한 습도의 정밀한 조절은 어려운 기술 중 하나로 실내온열환경 연구에 커다란 걸림돌이 되고 있다. 그러나 본 연구에 있어서는 이러한 기술적 어려움을 최대한으로 줄여 단계적으로 온·습도를 변화시켜 가면서 여름철 실내 의복 착용시 피험자에 대한 주관적 평가를 인공환경실험실에서 실시하여 응답 온열감을 조사하여 예상온열감(PMV)^(1,2), 신표준유효온도(SET*)⁽³⁾와 비교하여 어떠한 온·습도 조건이 인간이 느끼는 가장 쾌적한 조건인가를 밝혀보았으며, 또한 온열환경에 대한 인체적 조건인 생리적 및 심리적 변화를 심전도(ECG)와 뇌파(EEG)로 측정하여 종합적 쾌적조건을 연구함이 목적이다.

2. 실험적 이론

2.1 예상온열감(PMV : Predicted Mean Vote)

예상온열감은 인간의 온열감각에 대한 이론을 정량화시킨 것으로 인체의 대사율, 의복의 열저항 값 등을 산정하고 건구온도, 평균복사온도, 기류속도 및 수증기 분압 등을 측정하여 인체의 열평형을 기초로 한 쾌적방정식에 대입하여 인체의 온열감을 이론적으로 예측한 것이다. 즉, PMV는 온열환경 6가지 요소를 쾌적방정식에 대입시켰을 때의 발산열량과 방열량의 불평형분(인체 열부하)과 사람의 온열감각을 피험자 실험에 의해 관계 지워 나타내는 지표로서, PMV 값은 열적 중립상태를 0으로 하고 -3~+3의 수치척도를 각각 춥다(Cold), 서늘하다(Cool), 약간 서늘하다(Slightly Cool), 중립(Neutral), 조금 따뜻하다(Slightly Warm), 따뜻하다(Warm), 덥다(Hot)로 나타내며, 아래에 PMV 식과 적용범위를 나타냈다.

$$PMV = (0.303e^{-0.36M} + 0.028)[(M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times (5733 - 6.99(M - W) - P_a - 0.42 \times (M - W) - 58.15) - 1.7 \times 10^{-5M}(5867 - P_a) - 0.0014M(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \{ (t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 \} - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)] \quad (1)$$

또한, 사용범위는

- PMV = -3 ~ +3
- M = 46 ~ 23W/m² (0.8 ~ 4.0met)
- I_{cl} = 0 ~ 0.310m² · °C/W (0 ~ 2.0clo)
- t_a = 10 ~ 30°C
- \bar{t}_r = 10 ~ 40°C
- v_a = 0 ~ 1m/s
- p_a = 0 ~ 2700Pa

2.2 예상불쾌감(PPD : Predicted Percentage of Dissatisfied)

예상불쾌감은 어느 환경에 놓여진 사람들의 불만족감을 나타낸 것으로, 몇 %의 사람이 온열감에 대하여 불만을 느끼고 있는가를 나타낸다. 그리고 이것은 앞서 언급 되었던 예상온열감과 연관되어서 뛰어난 지표로 활용되고 있으며, Fig.1은 예상

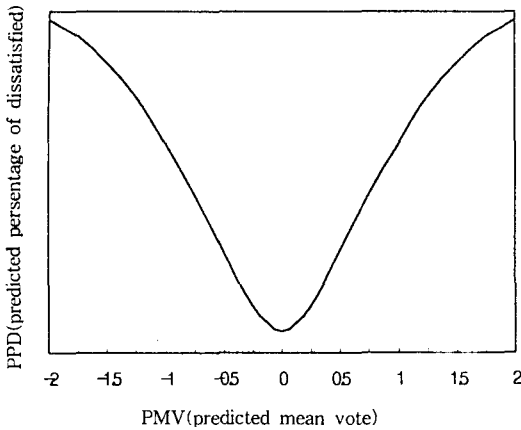


Fig.1 Curveline of PMV and PPD

온열감 대 예상불쾌감의 관계를 나타내고 있다.

2.3 응답온열감(TSV : Thermal Sensation Vote)

체감실험에 의해 피험자의 주관적인 평가로 제시되는 응답온열감은 통계적인 수치에 의해 구해지는 예상온열감과 신표준유효온도등과 같이 온열환경상태를 평가하는 실제적인 데이터이다.

2.4 신표준유효온도(SET* : Standard New Effective Temperature)

신표준유효온도는 작업량에 대한 표준적인 착의량을 한 재실자가 실제의 환경에서와 같은 현열손실(피부온도 t_{sk})과 잠열손실(피부젖음을 w)을 경험하게 되는 기류속도 0.1m/s, 상대습도 50% R.H.인 표준적인 조건하에서의 균일한 열환경(기온=주위 벽면온도)의 온도로 정의된다. 이를 사용하면 여러 가지 조건의 실내환경을 가상 공기온도 이기는 하나, 단일 변수에 의해 비교, 평가할 수 있으며 또한 공기온도라는 우리에게 친숙한 물리량을 척도로 사용하기 때문에 실내 온열환경의 양상이 쉽게 이해될 수 있다.⁽⁴⁾

2.5 피부감각

온열쾌적감에 대한 인간의 생리학적 감각중 피부의 온도 감각은 아직 확실히 밝혀지지 않고 있으나 냉온감각기 부분이 온각과 냉각을 감지하는

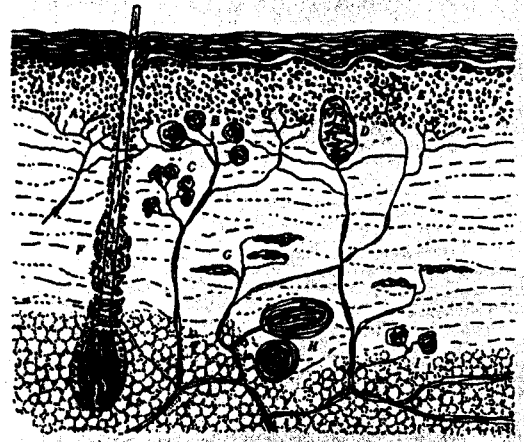


Fig.2 Skin sensation organization

감각기라고 본다. Fig.2에 잘 나타나 있듯이 온각과 냉각의 감각기는 인체에 산재해 있으며, 손과 앞면에 많이 분포하고, 냉감점이 온감점보다 4~10배 정도로 많다. 앞팔에 냉점이 1cm²당 15개가 있는데 반하여 온점은 겨우 1~2개에 불과하고, 음경, 귀두, 결막에는 냉점뿐이며, 온점은 없다. 냉각기는 결막, 입술, 혀, 음경, 음핵, 손가락, 팔액막, 신경초 등에 많다. 온감각기는 진피와 진피 바로위의 피하조직에 있으며, 냉감각기는 표피와 표피의 바로 아래에 있다. 따라서 피부의 온도감각은 조직의 어느곳에 냉점과 온점이 많이 분포되어 있는가에 따라 차이가 있다고 본다.^(5,6)

3. 실험

3.1 실험장치

인공환경실험실 옆의 기계실에 3RT의 정풍량 단일덕트 방식의 항온항습기를 설치하여 실험실의 온도와 습도를 조절하였다. 보온된 플렉시블 덕트를 인공환경실험실과 연결하여 급기 및 배기가 원활하게 이루어지게 하였으며, 외기도입은 없었다. 이와 같은 공기조화를 통해 인공환경 조건을 만들었으며, 뇌파 및 심전도를 기록하기 위해 전실에 뇌파 기록장치와 심전도 측정장치를 설치하였다. Fig.3은 인공환경실험실의 공기조화설비개요도와 심전도 및 뇌파 측정기의 설치개요도를 나타내고 있으며, Fig.4는 피험자가 입실한 인공환경실험실의

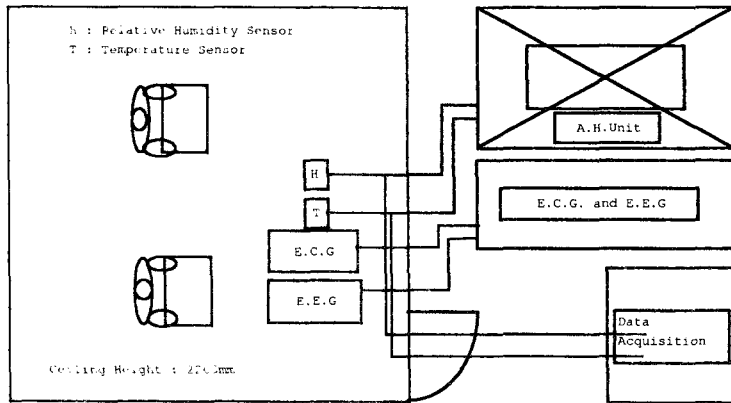


Fig.3 Diagram for HVAC System

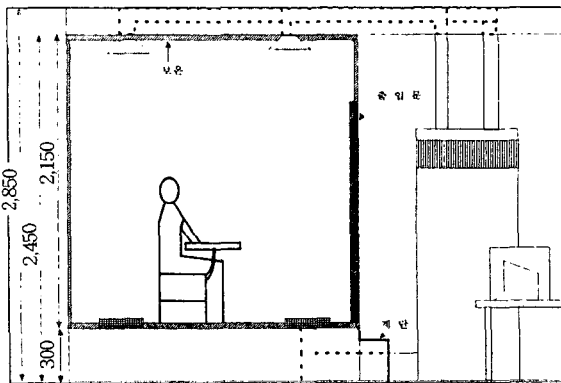


Fig.4 Diagram for cross section of environmental chamber

단면도를 나타냈다.

3.2 피험자 실험방법

3.2.1 실험기간

하계 온열환경실험은 1997년 7월부터 1997년 9월 사이 12일간 경희대학교 기계공학과 인공환경 실험실에서 수행하였다.

3.2.2 피험자

피험자는 체온, 체중, 혈압, 맥박이 정상인 건강한 남자 대학생 4인으로 구성되었으며, 피험자는 하계시 일반적으로 착용하는 복장의 clo value로써 일정하게 하여 0.41clo로 하였다.⁽⁷⁾

3.2.3 실험방법

각 실험 케이스당 2명의 피험자를 입실시키고

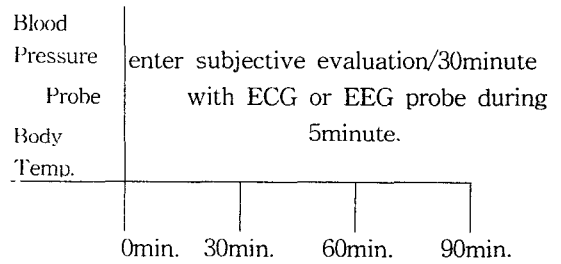


Fig.5 Time schedule of experiment

체감실험을 실시했으며, 실험의 타임스케줄은 Fig. 5에 나타내었다. 실험의 소요시간은 90분이고 실험에 들어가기 전 30분 정도 피험자의 혈압, 맥박, 체온을 측정하여 실험실에 입실시켰으며, 주관적인 응답은 입실 후 환경에 대해 순응된 30분 이후부터 10분 간격으로 응답온열감을 기록하도록 하였다. 온열환경실의 상태를 측정하기 위해 실험실 내 수직온도분포를 바닥면 기준 30, 60, 90, 120, 150, 180cm에서 계측하였으며, 습도는 industrial transmitters-(series I-100)습도계를 사용하여 측정하였다. 인체측은 직경 0.127mm의 열전대를 인체의 5부위(이마, 가슴, 팔, 직장, 다리)에 부착하여 각 피부온을 측정하였다. 또한 뇌파 및 심전도는 기록상의 문제로 입실직후와 30분 간격으로 5분 동안 기록하였다. 본 실험에서 설정한 각각의 환경상태를 Table 1에 나타냈으며, 실험조건은 Table 2, 주관적 응답에 대한 평가 방법은 Table 3에 나타냈으며, 체감실험의 환경상태와 모든 실험값을

Table 1 Temperature and humidity conditions of environmental chamber

E.C.		R.V.	
t_a [°C]	R.H.%	t_a [°C]	R.H.%
20	40	20.3	41.3
	50	20.6	49.2
	60	20.8	61
	70	20.2	70.6
24	40	24.1	39.7
	50	24.5	51.9
	60	24.2	61.1
	70	24.1	69.1
28	40	27.9	40.8
	50	28.2	50.4
	60	28.4	61.1
	70	28.1	68.6

Table 2 Experimental conditions

Experiment time	90 minute
Cloth	0.41 clo
Activity	1.0 met
Air Velocity	0.1 m/s
M.R.T.	Equal t_a
Subjects	4
Experiment	12 times

Table 4에 나타냈다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 예상온열감(PMV)과 예상불만족감(PPD)

PMV와 PPD와 관계를 비교하여 Fig.6에 나타냈다. 전체적으로 저온부쪽으로 갈수록 피험자의 응답불만족률이 예상불만족률보다 급격히 증가한다. 이것은 심한 불쾌적 영역에서 PMV-PPD식이 잘

Table 3 Scale of subject vote

Thermal Sensation Vote

-3	-2	-1	0	1	2	3
Cold	Cool	Slightly Cool	Neutral	Slightly Warm	Warm	Hot

Humidity Sensation Vote

-2	-1	0	1	2
Dry	Slightly Dry	Neutral	Slightly Wet	Wet

Comfort Sensation Vote

0	1	2	3
Comfort	Slightly Comfort	Discomfort	Very Discomfort

Sweating Sensation Vote

0	1	2
Not Sweating	Slightly Sweating	Sweating

Table 4 Conditions of environment and distribution of the measured data

condition exp. No.	E.C.		R.V.		PMV	PPD	TSV	SET* (°C)
	t_a °C	R.H. %	t_a °C	R.H. %				
01	20	40	20.3	41.3	-2.3	88	-1.7	18.3
02	20	50	20.6	49.2	-2.24	86	-1.5	18.4
03	20	60	20.8	61	-2.18	84	-1.38	18.5
04	20	70	20.2	70.6	-2.12	82	-1.21	18.6
05	24	40	24.1	39.7	-0.82	19	-0.85	22.4
06	24	50	24.5	51.9	-0.74	16	-0.72	22.6
07	24	60	24.2	61.1	-0.66	14	-0.63	22.8
08	24	70	24.1	69.1	-0.58	12	-0.45	23
09	28	40	27.9	40.8	0.63	13	-0.08	26.5
10	28	50	28.2	50.4	0.73	10	0.57	26.9
11	28	60	28.4	61.1	0.83	20	0.75	27.5
12	28	70	28.1	68.6	0.93	23	1.08	28.1

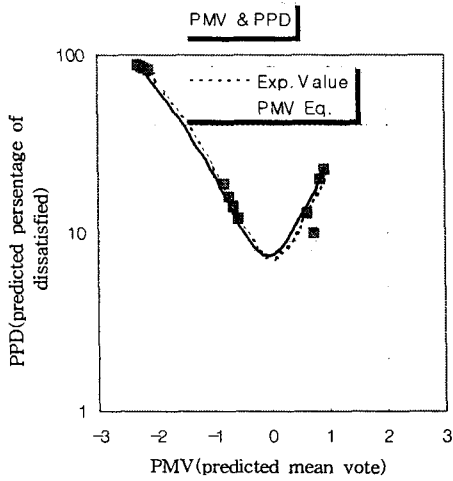


Fig.6 Relationship of PMV(Predicted Mean Vote and PPD(Predicted Percentage of Dissatisfied)

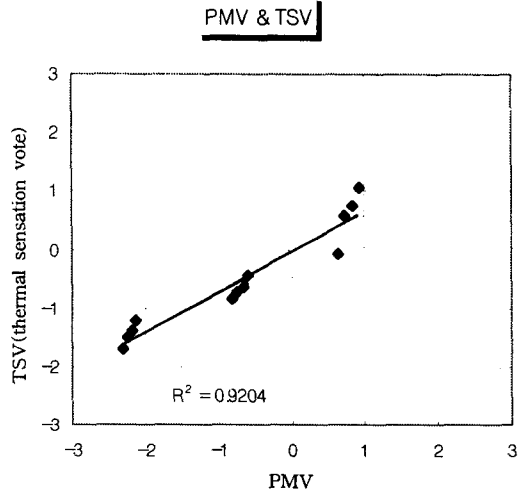


Fig.7 Relationship of PMV and TSV

맞지 않을 수 있다는 것을 의미하며, 이러한 사실은 PMV-PPD 지표의 한계로 일반적으로 알려져 있다.⁽²⁾ 높은 온도영역에서는 불만족감이 증가하는 것을 알 수 있었으며, 또한 습도의 단계적 변화에도 민감한 반응을 나타내는 것으로 나타났다. 온열 환경에 대한 만족률이 80%이상인 쾌적범위를 살펴보면, $-0.82 < PMV < 0.93$, $-0.85 < TSV < +1.08$ 로 나타났다.^(8,9)

4.2 예상온열감(PMV)와 응답온열감(TSV)

전체적으로 응답온열감(TSV)이 예상온열감(PMV)에 비해 기울기가 큰 데, 이것은 피험자의 응답률이 온열환경에 더 민감하게 반응함을 의미한다. 즉 냉감범위에서는 PMV가 더욱 차게, 온감범위에서는 TSV가 더욱 덥게 반응함을 알 수 있다. ISO 7730에서 권장하는 실내환경의 쾌적 조건은 $-0.5 < PMV < 0.5$ 인데, 본 실험에서는 $-0.82 < PMV < 0.93$ 으로 나타났으며, Fig.7를 보면 이러한 PMV 범위에서는 $-0.85 < TSV < 1.08$ 로 보다 넓게 변하며, 특히 고온 쾌적영역보다 저온 쾌적영역에서 큰 차이가 남을 알 수 있다. PMV=0일 때 온열 중성점에서 $TSV = -0.02$ 로 피험자가 거의 중립감에 다달았다는 것을 알 수 있었다. 또한, 여름철 체감실험의 온열 중성점은 $TSV = 0$ 을 기준으로 할 때, PMV

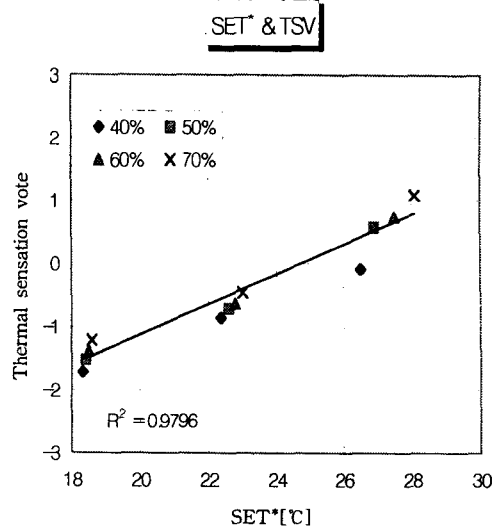


Fig.8 Relationship of SET* and TSV

=0.03으로 거의 일치하게 나타났다.^(10,11)

4.3 SET*와 응답온열감

Fig.8은 SET*와 응답온열감 사이의 관계를 회귀식을 식(2)로 나타냈다.

$$TSV = 0.2375SET^* - 5.8678 \quad (2)$$

위의 회귀식으로부터 응답온열감이 중립 즉, TSV

=0가 되는 SET*온도는 24.7°C로 나타났다.⁽¹¹⁾

4.4 실내공기온도와 신체부위별 피부온도 및 민감도

실내공기온도와 부위별 피부온도를 Fig.9에 그리고 민감도를 Fig.10에 나타내었다. 신체부위 중 가장 온도가 높은 부위는 가슴이고 가장 낮은 부위는 다리 부분으로 인체의 노출된 말단 부위일수록 실내환경 조건에서 민감한 반응을 나타낸다. 이 결과는 인간의 생리학적 감각 중 피부의 냉온감각

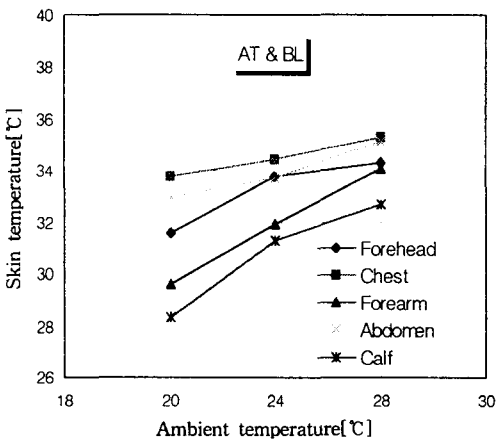


Fig.9 Skin temperature at different body parts under different ambient air temperature

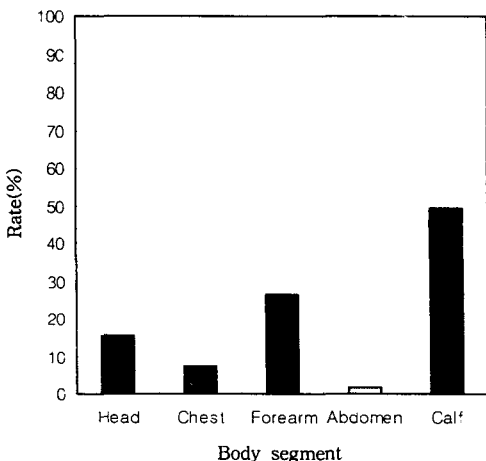


Fig.10 Sensation rate of body segment

기가 신체말단 부위에 많이 산재해 있다는 이론과도 잘 일치한다. 본 피험자 실험에 있어 온열환경에 가장 민감하다고 응답한 신체 부위의 분포를 Fig.10에 나타냈으며, 민감도를 차례로 보면 다리 → 팔 → 이마 → 가슴 → 배 순으로 응답하였다.⁽³⁾

4.5 상대습도와 쾌적감 및 SET*

상대습도와 쾌적감의 관계를 Fig.11에 나타냈다. 낮은 습도에서는 저온보다 고온 쪽이 좀 더 불쾌감이 적게 나타났다. 그리고 습도가 점점 높아질수록 고온에서 불쾌감이 현저히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이 결과로 미루어 볼 때, 낮거나 높은 습도는 쾌적감에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있으며, Fig.12에서도 볼 수 있듯이 SET*23°C 부근에서 가장 쾌적하다고 응답하였다.

4.6 상대습도와 건습감

Fig.13은 상대습도와 건습감의 관계를 나타낸 것이다. 저온보다 고온으로 갈수록 습도의 영향을 많이 받는 것을 볼 수 있다. 이 실험결과로 미루어 볼 때 22°C ~ 26°C 사이의 온도범위에서 상대습도와 건습감의 관계가 24°C의 결과와 비슷한 기울기로 접근함을 확인하였고, 또한 쾌적영역으로 보이는 SET*22.4~23°C에서 건습감의 많은 차이가 나지 않음을 알 수 있다.

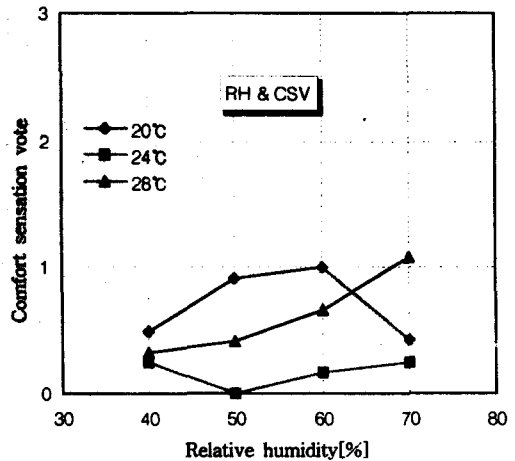


Fig.11 Comfort sensation vote at different relative humidity and air temperature

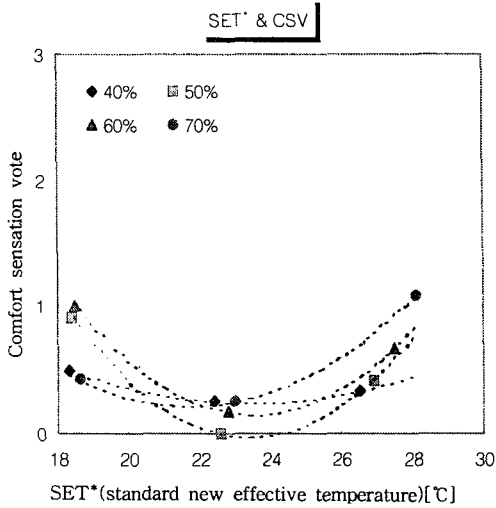


Fig. 12 Relationship of relative humidity and SET*

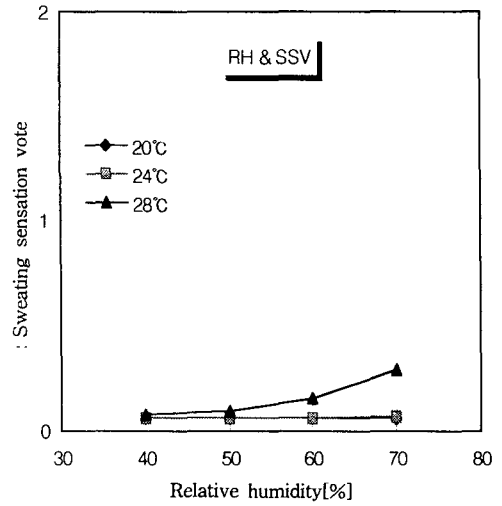


Fig. 14 Result of sweating sensation at different air temperature and relative humidity

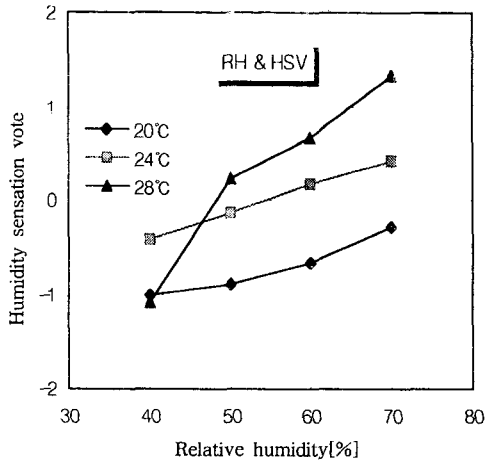


Fig. 13 Humidity sensation vote at different air temperature and relative humidity

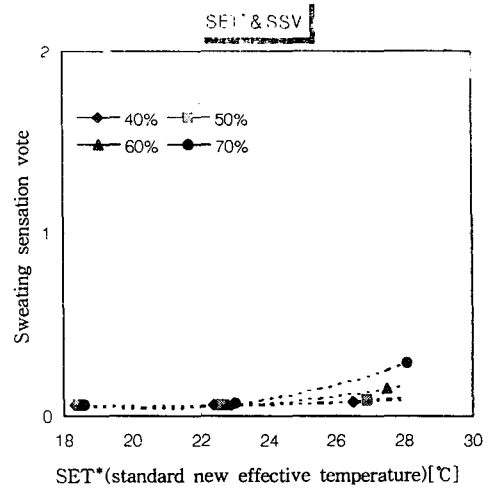


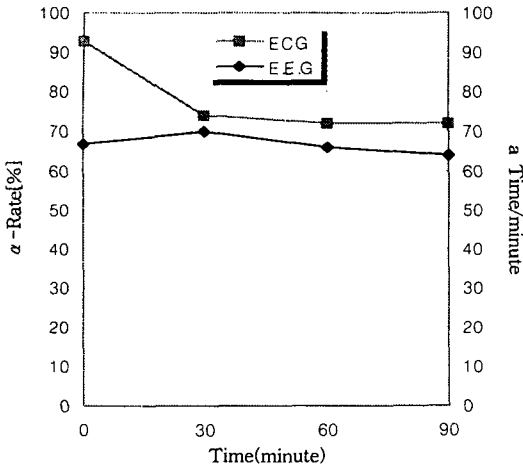
Fig. 15 Relationship of SET* and SSV

4.7 상대습도와 발한감 및 SET*

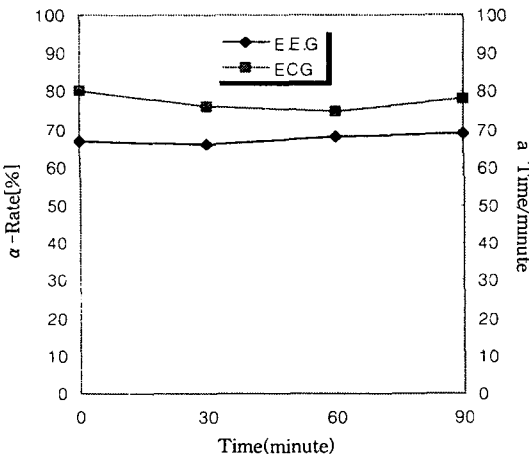
Fig. 14는 상대습도와 발한감의 관계를 나타낸 것이다. 발한감의 영향은 크게 나타나지 않았다. 그러나 SET* 23°C 부근에서 미세한 발한이 일어나며, Fig. 15에서 볼 수 있듯이 SET* 28°C 이상에서는 발한의 영향이 증가함을 예측할 수 있다.

4.8 SET*와 뇌파 및 심전도

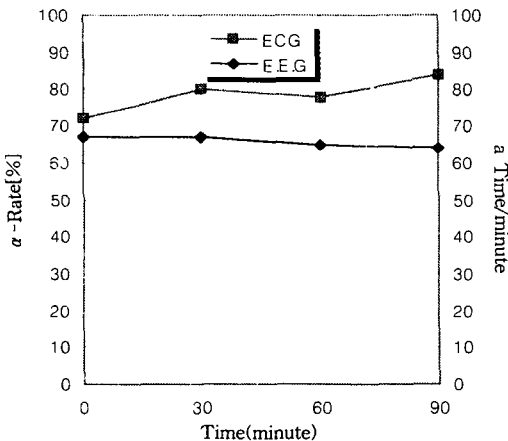
SET*의 시간변화에 따른 뇌파 및 심전도 변화를 Fig. 16 저온부(a), 중립부(b), 고온부(c)에 나타내었다. 심전도에 있어서는, 저온영역인 (a)에서는 시간이 경과함에 따라 심전도가 떨어지는 현저한 변화가 뚜렷이 나타났다. 이것은 저온 상태에서 인공이 외부로의 열전달을 줄이기 위함인 것으로 사료



(a) SET* = 18.4°C



(b) SET* = 22.8°C



(c) SET* = 26.5°C

Fig. 16 Result of E.C.G and E.P. during experiment

되며, 중립영역인 (b)에서는 변화가 거의 나타나지 않았다. 고온영역인 (c)에서는 저온영역과는 반대로 심전도가 증가하는 것으로 나타났으며, 이것은 고온상태에서 인간이 외부로의 열전달을 증가시키기 위함임을 알 수 있다.

그러나, 인간의 심리적 안정도를 측정하는 뇌파에서는 거의 변화가 없는 것을 볼 수 있다. 뇌파의 심리적 안정도는 α , β , γ , θ 의 네가지 파중에서 눈을 감고 안정을 취했을 때 나타나는 각파의 %로 나타나며, 특별한 외부의 상황이나 정신적인 스트레스가 없으면 거의 α 파 만이 나타난다. 본 실험에 있어서는 가혹한 환경상태가 아닌 안정시의 상태이므로 온·습도의 변화에 따른 뇌파의 변화는 발생하지 않았다.^(12,13)

5. 결 론

하계 채감실험에 의한 주관적 평가와 심전도 및 뇌파가 온도와 상대습도의 변화에 어떠한 관계에서 쾌적감에 영향을 미치는지에 대해 검토하였다. 여름철 남성 평상복을 착용한 상태의 쾌적영역에 대한 온·습도의 조절은 중요한 사항임을 확인할 수 있었다.

1) 응답온열감이 예상온열감보다 기울기가 크게 나타났다. 이것은 수치적 계산에 의해 구해진 지표보다 피험자 응답에 의해 구해진 지표가 더욱 민감하다는 것을 알 수 있다. 또한, 여름철 응답온열감이 중립에 근접되는 SET*는 24.7°C 정도가 됨을 알 수 있다.

2) 신체부위중 피부온이 환경온의 변화에 가장 민감하게 반응하는 부위는 종아리 부위인 것을 알 수 있다.

3) 쾌적감은 SET* 23°C 영역부근에서 가장 쾌적하다는 응답을 나타냈다. 이것은 온열감이 중립이 되는 SET* 24.7°C와 다소 차이가 있으며, 차후 실험으로 비교하여 더욱 연구되어야 하겠다.

4) 높고, 낮은 상대습도는 쾌적감 및 건습감에 아주 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 또한 실온이 조금 높더라도 낮은 습도에서 쾌적감에 근접함을 알 수 있으며, 건습의 차이가 많이 나지 않

는 영역은 SET* 22.4~23℃이다.

5) 온열쾌적환경의 종합적인 지표인 SET*와 인체의 심리적 및 생리적 지표인 심전도와 뇌파의 비교에 있어, 저온영역에서는 심전도가 낮아지며, 쾌적영역으로 볼 수 있는 중립온도에서는 변화가 나타나지 않았다. 그리고 고온영역에서는 심전도가 증가한다는 것을 알 수 있었다.

그리고 가혹한 상황이 아닌 안정된 영역에서의 뇌파의 측정은 앞서 언급한 이론과 같이 뚜렷한 변화가 나타나지 않았다. 결론적으로 종합적인 온열환경지표인 SET*의 쾌적영역은 인체의 생리적 및 심리적인 쾌적상태에도 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

후 기

이 연구는 한국학술진흥재단의 '96학제간 연구 과제 지원에 의해 이루어진 것의 일부이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. ASHRAE, 1993, ASHRAE HandBook, Fundamentals Atlanta, pp. 8.1~8.29.
2. Fanger P. O., 1970 Thermal Comfort - Analysis is and Application in Environmental Engineering.
3. 이춘식 외4명 “실내환경 쾌적성 평가방법에 관한 연구(I) (온열 및 공기질에 관하여)”, 한국과학기술연구원, 과학기술처.
4. A. P. Gagge, A. P. Fobelets, L. G. Berglund, pp. 709~731, ASHRAE Trans., Vol. 92, Part(1986).
5. 이순요 교수, 미래지향적 인간공학, 박영사, pp. 17~38.

6. 정성일, 김경훈, 민병일, 김창주, “하계 실내환경의 쾌적성 평가에 영향을 미치는 인자에 관한 연구” 공기조화 냉동공학회, '97하계학술발표회 논문집 pp.678~685.
7. 이종민, 이순원, 1997, “의복착용 습관이 추위 적응 능력에 미치는 영향”, 한국섬유공학회, Vol. 21, No.3, pp. 536~543.
8. 손장열, 백용규, 서기석, 1990, “PMV지표에 의한 건물에서의 온열환경 특성에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, Vol. 6, No. 6, pp. 213~219.
9. 손장열, 1982, “온열환경조건의 쾌적범위와 평가에 관한 연구”, 공기조화·냉동공학, Vol. 11, No. 1, pp. 11~24.
10. Tanabe S., Kimura K., Hara T., “Thermal Comfort Requirements during the Summer Season in Japan”, ASHRAE Trans., Vol. 93, Part 1, pp. 564~577.
11. Fukai, K., Gotoh, S., Saito, J., Ito, H., and Akui, S., 1993, “Experimental Study on Correlation between Standard New Effective Temperature(SET*) and Japanese Thermal Sensation : Part 2-Comparison of Thermal Sensation in Winter and Summer Season”, Transactions of the Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineerings of Japan, No. 51. pp. 139~147.
12. Jonse B.W., Ogawa Y., 1992, “Transient Interaction between Human and the Thermal Environmental”, ASHRAE Trans., Vol. 98, Part1, pp. 189~195.
13. Gagge A.P., Swolwjjik J.A.J., and Nishi Y., 1971 “An Effective Temperature Scale on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Respons”.