

## 동계 인공환경실험에 의한 온열쾌적특성 연구

### A study on characteristics of thermal comfort for artificial environmental experiment in winter

박 종 일\*, 김 경 훈\*\*, 정 성 일\*\*\*  
J. I. Park, K. H. Kim, S. I. Choung

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

#### Abstract

Recently, many reseachers are studying the relation between thermal environment and human comfort. The purpose of this study was to obtain basic data which are necessary to determine the thermal comfort sensation and physiological responses for men in winter indoor environment. From January to February 1998, subject experiment was 40 times proceeded under twenty different conditions of air temperature and relative humidity with early-twenty male university students. We examined subjective evaluation, Electrocardiogram(ECG), Electroencephalogram(EEG) of subjects. The results of this study can be summarized as follows ; The comfort zone of people in winter was achieved at Standard new effective temperature(SET\*) 25.2°C, PMV range was obtained by Fanger's statistical calculation was  $-0.27 < PMV < +0.62$ , TSV range obtained subjects vote was  $-0.76 < TSV < +0.36$ . The largest difference of skin temperature was found at the calf area as air tempera -ture changes. vote rate of human body presented calf → head → forearm → chest →abdo -men in turn. Heart rate was decreased at low SET\* and heart rate was increased at high SET\*. But there was no change at EEG.

#### 기 호 설 명

clo : 의복의 열저항 단위

CSV : 쾌적감  
E.C. : 실험조건(Experimental condition)  
ECG : 심전도  
EEG : 뇌파  
f<sub>cl</sub> : 의복의 면적비  
HSV : 건습감  
I<sub>cl</sub> : 의복의 열저항(clo)

\* 정회원, 수원과학대학 건축설비과  
\*\* 정회원, 경희대학교 기계공학과, 레이저연구소  
\*\*\* 경희대학교 기계공학과 대학원

M	: 체표면적당 신진대사량(met)
MRT	: 평균복사온도(°C)
$p_a$	: 수증기 분압(kg/m <sup>2</sup> )
PMV	: 예상온열감
PPD	: 예상불만족감
RV	: 실현값(Real value)
SD	: 표준편차
SET*	: 신표준유효온도(°C)
SSV	: 발한감
$t_a$	: 공기온도(°C)
$t_{cl}$	: 의복의 표면온도(°C)
$\frac{t_r}{t_r}$	: 평균방사온도(°C)
$t_{sk}$	: 피부온도(°C)
TSV	: 응답온열감
$v_a$	: 공기속도(m/s)
W	: 외부일(W/m <sup>2</sup> )
w	: 피부젖음률(-)

## 그리스문자

$\alpha$	: 안정파(1/10s)
$\beta$	: 불안정파(17~30c/s)
$\delta$	: 불규칙파
$\theta$	: 보통파(4~8c/s)

## 하첨자

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

## 1. 서 론

실내에서 인체는 주위환경과의 복잡한 열교환 과정을 거쳐 쾌적한 상태를 느끼고 있으며, 이에 대하여 최근 물리적 환경과 인체의 온열쾌적감 사이의 상관성을 밝혀 내려는 연구가 활발히 수행되고 있다. 그러나 지금까지 진행되어 온 연구들은 제한된 인자 또는 물리적 환경(온도, 습도, 기류, 복사온도 등)과 생리적 요인(심전도, 뇌파, 착의량, 대사량) 등

이 각각 나누어진 상태에서 실험 또는 수치적으로 연구되어져 왔으며, 대부분 크게 두 가지 연구로 나누어지고 있다.

첫째로, 다수 또는 소수의 피험자를 이용하여 온열환경의 6가지 요소인 기온, 습도, 기류, 평균복사온도, 착의량, 대사량 등의 온열환경 변화에 대한 인간의 온열쾌적감을 조사하는 것으로서, 이런 실험들은 대표적으로 덴마크의 Fanger<sup>(1)</sup>, 미국의 Shiller<sup>(2)</sup>, Gagge<sup>(3)</sup>, Nevins<sup>(4)</sup>, ASHRAE<sup>(5)</sup>, 일본의 Miura<sup>(6)</sup>, Tanabe<sup>(7)</sup>, Fukai<sup>(8)</sup> 등이고 한국에서는 이<sup>(9)</sup>, 손<sup>(10)</sup>, 금<sup>(11)</sup> 등이 연구를 수행하여 왔다.

두 번째로는 인체와 온열환경간의 열교환을 근거로 하여 인체의 생리적 반응 및 열교환 모델링을 이용하여 쾌적성을 검토한 것으로 In-Hout<sup>(12)</sup>, Jones와 Ogawa<sup>(13)</sup>, Nishi<sup>(14)</sup> 등이 이와 같은 연구를 하였다. 그러나 이와 같은 연구들은 물리적인 온열요소 또는 인체 생리학적 요소만의 연구로써 진정한 온열환경의 종합적인 연구로 평가하기는 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 종합적인 온열환경 평가지표를 설정하기 위하여 피험자를 대상으로 인공환경기후실험실에서 온열환경인자를 변화시켜 주관적인 심리상태와 더불어 인체의 생리적 및 심리적 반응을 심전도측정기와 뇌파기기로 더욱 정밀하게 측정하여 보다 종합적인 온열환경지표를 검토하였다.

또한 온열환경 인자중 핵심 요소인 상대습도의 정밀제어에 중점을 두었으나, 이는 어려운 기술 중의 하나로 실내온열환경 연구에 커다란 걸림돌이 되고 있다. 그러나 본 연구에 있어서는 이러한 기술적 어려움을 최대한으로 줄여 단계적인 온·습도의 변화에 따른 동계 실내 평상복 착의시 피험자에 대한 주관적 평가를 인공환경실험실에서 실시하여 예상온열감(PMV), 신표준유효온도(SET\*)에 대한 응답온열감을 비교하여 어느 범위의 온·습도 조건이 인간에게 가장 쾌적하게 느껴지는 조건인가를 밝혀보았으며, 앞서 언급한 것과 같이 온열환경에 대한 인체적 조건인 생리적 및 심리적 변화를 심전도(ECG)와 뇌파(EEG) 측정기로 측정하여 종합적인 쾌적조건을 연구하였다.

## 2. 실험 이론

실내 온열환경은 쾌적감각을 지배하는 온도, 습도,

기류, 복사열 등의 온열환경요소에 의하여 종합적으로 평가되어지며, 온열환경의 종합평가방법에 관하여는 20세기부터 연구되어져 여러 가지 방법이 제안되고 있다. 이러한 연구들은 재실자의 주관적 온열감에 의한 연구가 주종을 이루는데 다수의 재실자를 대상으로 여러가지 기후상태에서 온열환경요소의 주관적 반응을 기록하게 하여 이를 통계적으로 분석하는 것이다. 한편, 생리학자나 의학자들은 심진대사, 맥박, 혈압, 직장온도, 발한률, 피부온도 등의 생리적 요소로 측정하여 그 결과를 분석하였다. 그 평가지표는 측정, 경험 및 이론, PMV와 PPD 그리고 SET\*에 의한 평가로 대별할 수 있으며, 이에 대한 이론은 선행된 하계 실험연구<sup>(15)</sup>에서 자세히 검토하였다.

### 3. 실험

#### 3.1 실험장치

인공환경실험실은 면적 20.48m<sup>2</sup>, 체적 45m<sup>3</sup>(3.25W × 6.3L × 2.2H)로 기존벽면에 50mm 단열재가 삽입된 석고보드판을 부착하였고 추후 여러종류의 실험실시를 대비하여 2중 바닥을 설치 급기와 배기를 바닥과 천정 어느 쪽도 가능하도록 하였다. 옆의 기계실에 정풍량 단일덕트 방식의 향온향습기를 설치하여 실험실의 온도, 습도, 기류 등을 제어하도록 하였다. 본 실험은 보온된 플렉시블 덕트를 인공환경실험실과 연결하여 천정급기 배기가 되도록 하였고, 실내기류분포를 양호하게 하기 위하여 기류 확산률이 타 기류류에 비하여 우수한 각형 디퓨저를 설치하였다.<sup>(16)</sup> 장비용량은 실내 부하변화에 대하여 응답성능과 제어성능을 양호하게 하기 위하여 실제 부하의 3배인 3RT로 하였으며, 외기도입은 하지않았다.<sup>(17)</sup> 이와 같은 공기조화를 통하여 인공환경 조건을 만들었으며, 뇌파 및 심전도를 기록하기 위해 전실에 뇌파 기록장치와 심전도 측정장치를 설치하였다. Fig.1은 인공환경실험실의 공기조화설비 개요도와 심전도 및 뇌파 측정기의 설치개요도를 나타내고 있으며, Fig.2는 피험자가 입실한 인공환경실험실의 단면도를 나타냈다.

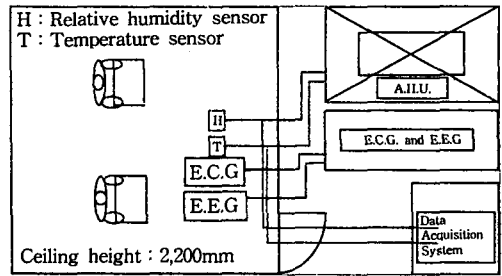


Fig.1 Schematic diagram for HVAC system in environmental chamber

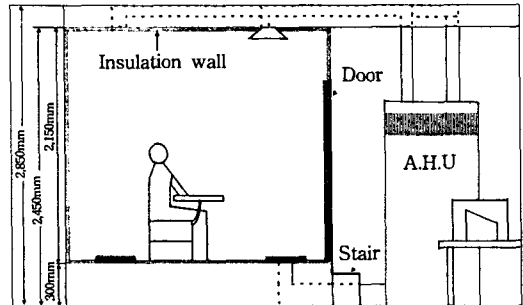


Fig.2 Cross section of environmental chamber

#### 3.2 피험자 실험방법

##### 3.2.1 실험기간

동계 온열환경실험은 1998년 1월부터 1998년 2월 중에 37일간 경희대학교 기계공학과 인공환경실험실에서 수행하였다.

##### 3.2.2 피험자

피험자는 온열환경실험실에 입실하여 일정 온·습도 환경시 본인이 느끼는 온냉감각의 느낌을 기록하는 사람들로써 체온, 체중, 혈압, 맥박이 정상인 건강한 남자 대학생 80인으로 구성되었다. 피험자의 의복특성을 Table 1에 나타냈으며, 의복열저항치를 일정하게 하여 0.93 clo<sup>(18)</sup>로 하였다.

##### 3.2.3 실험방법

오전 및 오후로 나누어 각 실험(총실험 40회) 진행마다 2명의 피험자를 입실시키고 체감실험을 실

Table 1 Cloth property of subjects

Cloth	Weight[g]
socks	50
panties	57
short T-shirt	171
training jumper	630
training pants	625
Sum	
0.93	1,533

clo. value(male)= $0.000558 \times \text{total weight of clothing} + 0.068^8$

시켰으며, 실험의 타임스케줄은 Fig.3에 나타내었다. 실험의 소요시간은 90분이고 실험에 들어가

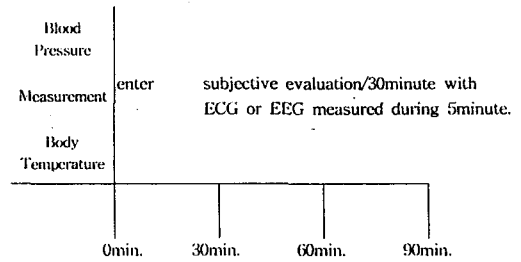


Fig.3 Time schedule of experiment

전 30분 정도 피험자의 혈압, 맥박, 체온을 측정하여 정상여부를 파악한 후 실험실에 입실시켰으며, 주관적인 응답은 입실 후 환경에 대해서 순응된 30분 이후부터 10분 간격으로 기록하도록 하였다. 온열환

Table 2 Environmental and distribution condition of the measured data

condition exp. no.	E.C.		R.V.		PMV	PPD	TSV	SET* (°C)
	ta (°C)	R.H. (%)	ta (°C)	R.H. (%)				
01	18	40	18.34	47.32	-1.56	54	-2.5	20.1
02	18	50	18.62	50.1	-1.42	46	-2.15	21.1
03	18	60	18.57	61.8	-1.35	43	-1.8	21.2
04	18	70	19.17	69.83	-1.3	40	-1.35	21.3
05	20	40	20.27	39.9	-1.01	27	-1.4	22.5
06	20	50	20.85	54.1	-0.8	19	-1.35	23.1
07	20	60	20.3	61.6	-0.88	21	-0.75	22.8
08	20	70	20.52	69.4	-0.77	17	-0.4	23.1
09	24	40	24.62	40.5	0.18	6	-0.167	26.2
10	24	50	25.01	49.3	0.11	5	0.15	26.1
11	24	60	24.44	59.1	0.3	7	0	26.8
12	24	70	24.48	69.4	0.38	8	0.45	27.3
13	28	40	27.77	41.2	1.09	30	1.1	28.9
14	28	50	28.7	49.8	1.41	46	1.1	30.1
15	28	60	28.1	55.1	1.36	43	0.95	30.3
16	28	70	28	63.2	1.4	46	2.05	30.9
17	30	40	29.6	41.1	1.61	57	1.4	30.3
18	30	50	30.3	47.3	1.91	72	1.65	31.6
19	30	60	30.1	59.3	1.96	75	2.1	32.3
20	30	70	30.4	64.7	2.17	84	2.37	33.9

경질의 상태를 측정하기 위하여 실험실 내의 수직 온도분포는 바닥면으로부터 30, 60, 90, 120, 150, 180cm 떨어진 위치에서 K-type열전대를 이용하여 계측하였으며, 습도는 정전용량습도계(industrial transmitters series I-100)를 사용하여 측정하였다. 인체측은 직경 0.127mm(AWG36)의 열전대를 인체의 4부위(이마, 가슴, 팔, 다리)에 부착하여 실내온도 변화에 대한 각각의 피부온을 측정하였다. 본 실험에서 설정한 각각의 인공환경실험실의 조건과 그 조건에서 얻어진 측정결과를 Table 2에 나타냈으며,

Table 3 Experimental conditions

Experiment time	90 minute
Cloth	0.93 clo
Activity of subject	1.0 met
Air velocity	0.1 m/s
M.R.T.	Equal to ta
Subjects	80
Experiment No.	40

Table 4 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 5 Anthropometric data for the subjects

Quantity	Male(96 persons)	
	Mean ± S.D.	Min. ~ Max.
Age(years)	25.03 ± 0.74	24 ~ 26
Height(cm)	173.2 ± 2.32	170 ~ 177
Weight(kg)	72.7 ± 2.78	68 ~ 78
Body surface area(m <sup>2</sup> )	1.86 ± 0.039	1.94 ~ 1.78

실험조건은 Table 3, 주관적 응답에 대한 평가 방법은 Table 4와 같다. 재실자가 응답한 설문 데이터 분석에는 현재 통계 분석에 널리 쓰이고 있는 SPSS (Statistical package for the social science) windows를 사용하여 설문조사 내용을 처리하였으며, 설문응답 인원은 총 80명이었고, 평균연령은 25세이고, 전체응답자의 특성을 정리하여 Table 5에 나타내었다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 예상온열감(PMV)과 예상불만족감(PPD)

예상온열감(PMV)과 예상불만족감(PPD)의 관계를 동·하계로 비교하여 Fig.4에 나타내었다. 하계 실험과 같이 동계실험에서도 전체적으로 저온부쪽으로 갈수록 피험자의 응답불만족감이 통계 수치계산

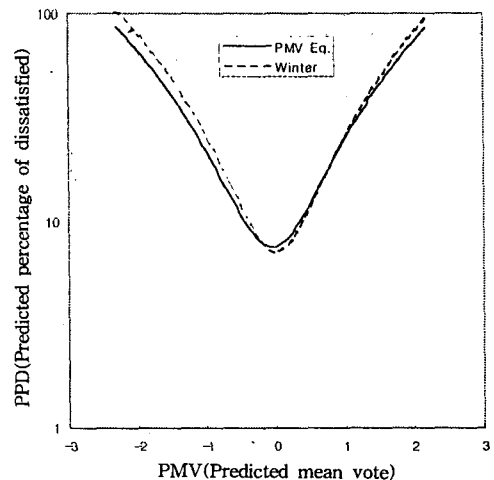


Fig.4 PMV and PPD relationships for summer and winter

에 의한 예상불만족감보다 급격히 증가하였다. 그리고 동계에서는 하계에서와 달리 고온부쪽에서도 통계 수치계산에 의한 예상불만족감 보다 응답불만족감이 조금 높게 나타났다. 이러한 사실은 PMV-PPD 지표의 한계<sup>(1)</sup>로 일반적으로 알려져 있다. 높은 온도영역에서는 불만족감이 증가하는 것을 알 수 있었으며, 또한 습도의 단계적인 변화에도 민감한 반응을 나타내는 것으로 나타났다. 동계 온열환경에 대한 만족률이 80%이상인 쾌적범위는,  $-0.27 < PMV < 0.62$ 로 나타났다.

4.2 예상온열감(PMV)과 응답온열감(TSV)

하계실험<sup>(15)</sup>과 마찬가지로 동계실험에서도 전체적으로 응답온열감(TSV)이 예상온열감(PMV)에 비해 기울기가 큰 데, 이것은 피험자의 응답률이 온열 환경에 더 민감하게 반응함을 의미한다. 즉 냉열감범위에서는 TSV가 더욱 차게, 온열감범위에서도 TSV가 더욱 덥게 반응함을 알 수 있다. ISO 7730<sup>(18)</sup>에서 권장하는 실내환경의 쾌적조건은  $-0.5 < PMV < 0.5$ 인데, 본 실험에서는  $-0.27 < PMV < 0.62$ 으로 나타났다. Fig.5를 보면 이러한 PMV 범위에서는  $-0.77 < TSV < +0.36$ 로 보다 넓게 변하며, 특히 고온 쾌적영역보다 저온 쾌적영역에서 차이가 남을 알 수 있다. PMV=0일때 온열 중성점에서 TSV=-0.02로 피험자가 거의 중립감에 다달았다는 것을

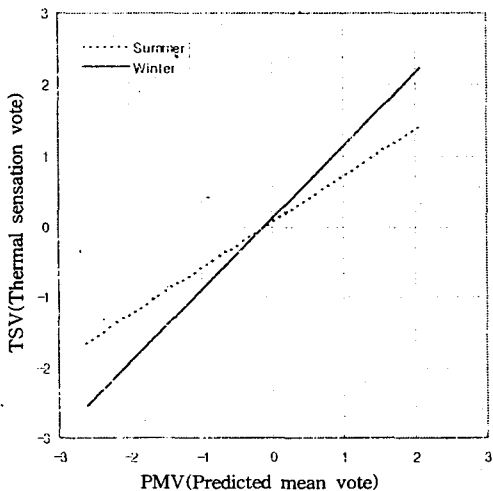


Fig.5 Relationship between PMV and TSV

알 수 있었다. 또한, 동계 체감실험의 온열 중성점은 TSV=0을 기준으로 할 때, PMV=0.03으로 거의 일치하게 나타났다.

4.3 표준유효온도(SET\*)와 응답온열감(TSV)

Fig.6은 신표준유효온도(SET\*)와 응답온열감(TSV)에 대한 조사내용을 분석하여 그래프로 나타냈으며, 회귀식은 그래프작성시 컴퓨터에 의하여 자동적으로 구해진다. 응답온열감(TSV)과 신표준유효온도(SET\*)의 회귀식으로 표시하면 다음의 식(1)과 같다.

$$TSV = 0.2375SET^* - 5.8678 \quad (1)$$

위의 회귀식으로부터 응답온열감이 중립 즉, TSV=0가 되는 SET\*온도는 25.2°C로 나타났다. 동계와 하계를 비교해 볼 때, 하계보다 동계에서 낮은 SET\*영역에서 더욱 차게 느껴지는 것을 알 수 있으며, 고온으로 갈수록 일치되는 것을 볼 수 있었다.

4.4 응답온열감(TSV)과 쾌적감(CSV)

응답온열감과 쾌적감 사이의 관계를 Fig.7에 나타내었다. 응답온열감이 중립인 지점보다 +0.15지점에서 더욱 쾌적하다는 반응을 나타내고 있다. 이것으로 동계체감 실험에서는 저온부위보다  $0 < TSV < 0.2$  정도인 고온부위에서 더욱 쾌적하게 느끼고 있다는 사실을 알 수 있었으며, 또한 피험자의 응답은

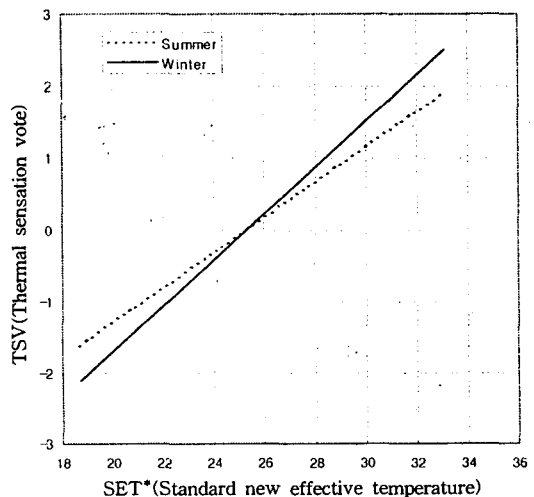


Fig.6 Relationship between SET\* and TSV

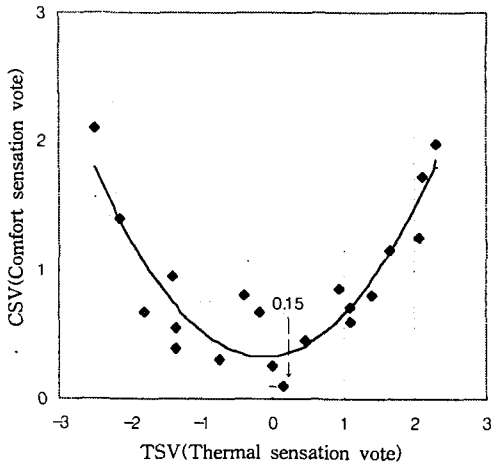


Fig.7 Relationship between TSV and CSV

열감이 중립이 된 지점이 가장 쾌적한 지점이 아니라는 것을 정확히 알 수 있었다.

#### 4.5 신표준유효온도(SET\*)와 예상불만족감(PPD)

Fig.8에도 잘 나타나 있듯이 본 동계체감 실험에서는 신표준유효온도(SET\*)가 낮은 영역보다 높은 영역에서 더욱 불쾌감이 증가된 것을 알 수 있었다. 그리고 가장 불쾌감이 적은 온도영역은 SET\*=26.1 ±0.5°C영역으로 나타났다. 이것은 응답온열감이 중립이 되는 SET\*=25.2°C와 거의 1°C정도의 차이가 있었다. 그러나 4.4절의 실험결과에서 지적하였듯이 쾌적감은 응답온열감이 중립인 지점보다 조금의 고온부위에서 더욱 쾌적하게 느끼는 것과 일치한다는 것을 알 수 있었다.

#### 4.6 실내공기온도와 신체부위별 피부온도 및 민감도

실내공기온도와 부위별 피부온도를 Fig.9에, 그리고 민감도를 동·하계로 비교하여 Fig.10에 나타내었다. 신체부위 중 가장 온도가 높은 부위는 가슴이고 가장 낮은 부위는 다리 부분으로 인체의 노출된 말단 부위일수록 실내환경 조건에서 민감한 반응을 나타낸다. 또한 이 결과는 인간의 생리학적 감각 중 피부의 냉온감각기가 신체말단 부위에 많이 산재해 있다는 이론과도 잘 일치한다.<sup>(19)</sup> 본 피험자 실험에 있어서 온열환경에 가장 민감하다고 응답한 신체 부위의 분포를 나타낸 Fig.10에 따라 민감도

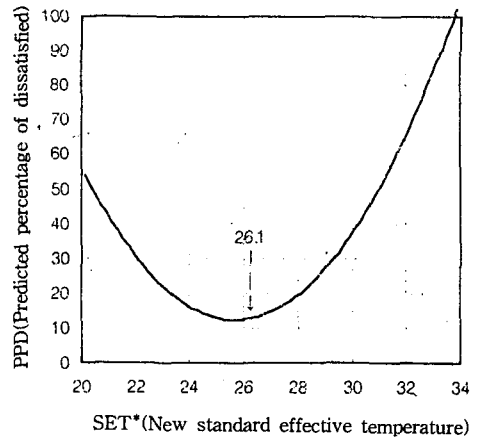


Fig.8 Relationship between SET\* and PPD

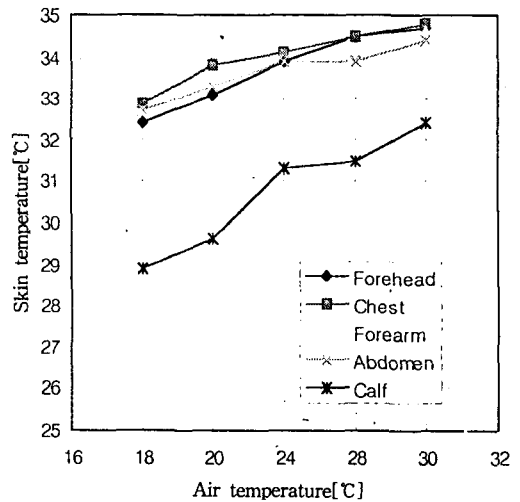


Fig.9 Skin temperature at different body parts under different ambient air temperature

를 차례로 살펴보면 다리→팔→이마→가슴→배 순으로 응답되었다.

#### 4.7 상대습도와 쾌적감(CSV) 및 신표준유효온도(SET\*)

상대습도와 쾌적감의 관계를 Fig.11에 나타내었다. 하계와 마찬가지로 낮은 습도에서는 저온보다 고온 쪽이 약간 더 불쾌감이 적게 나타났으며, 낮은 습도와 낮은 온도에서 아주 큰 불쾌감을 나타내었

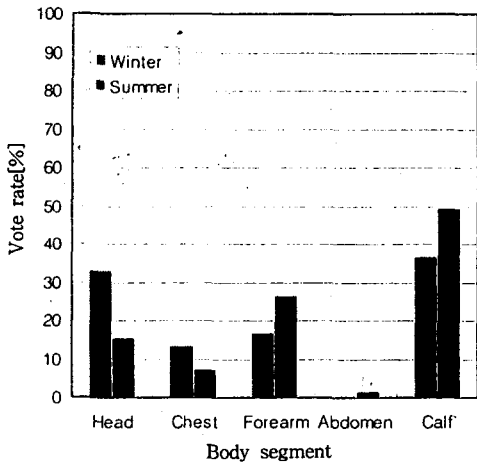


Fig.10 Vote rate of body parts

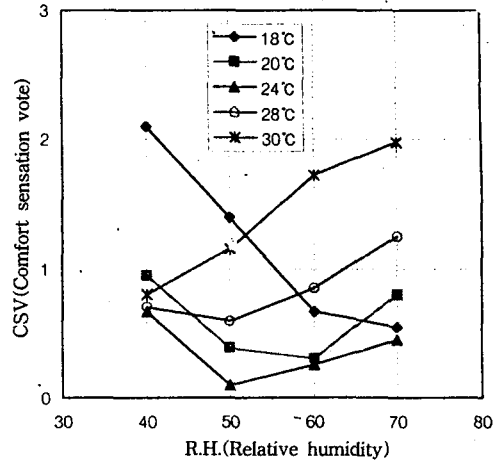


Fig.11 CSV with respect to relative humidity for value of air temperature

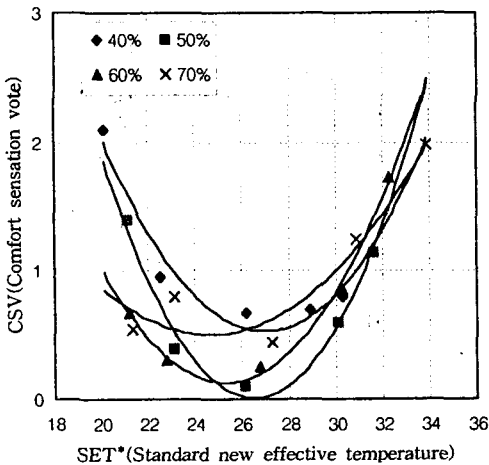


Fig.12 CSV with respect to relative humidity for value of air temperature

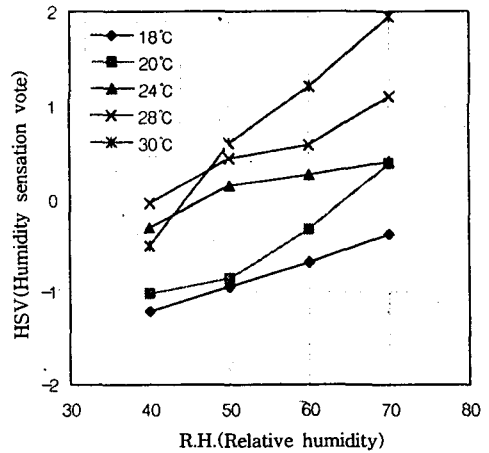


Fig.13 HSV with respect to relative humidity for value of SET\*

다. 또한, 습도가 점점 높아질수록 고온에서 불쾌감이 현저히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이 결과로 미루어 볼 때, 온도 변화에 따라 저습인 40% 전·후의 습도영역 및 고습인 70% 전·후의 습도영역이 쾌적감에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있으며, Fig.12에서도 볼 수 있듯이 SET\*=26°C 전·후부근에서 가장 쾌적하다고 응답하였다.

4.8 상대습도(R.H.)와 건습감(HSV)

Fig.13은 상대습도와 건습감의 관계를 나타낸 것

이다. 하계와 마찬가지로 저습일 때 고온영역에서 저온영역 보다 약간 건조한 반응이 나타났으며, 고습영역으로 갈수록 대부분의 온도영역에서 습함을 응답하였다. 본 동계실험의 결과로 볼 때 24°C 전·후의 온도범위에서 건습감 차이가 많이 나지 않는다는 것을 확인하였고, 마찬가지로 쾌적영역으로 보이는 SET\*=26.1~26.8°C에서 건습감의 많은 차이가 나지 않음을 알 수 있었다.



4.9 상대습도(RH)와 발한감(SSV) 및 신표준유효온도(SET\*)

Fig.14는 상대습도와 발한감의 관계를 나타낸 것이다. 발한감의 영향은 하계와는 달리 상대습도의 전 범위에서 28℃영역 이상에서는 발한이 일어나고 있음을 알 수 있으며, 마찬가지로 Fig.15에서 볼 수 있듯이 SET\*=28℃에서도 발한의 영향이 크게 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 본 동계실험의 결과로 하계에서 SET\*=28℃이상에서의 발한에 대한 영향의 예측은 정확하다는 것이 증명되었다.

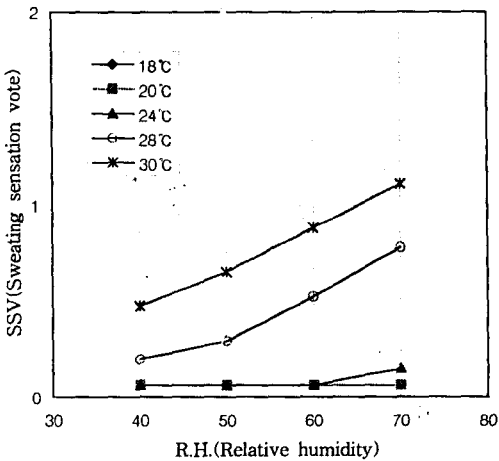


Fig.14 SSV with respect to relative humidity for value of air temperature

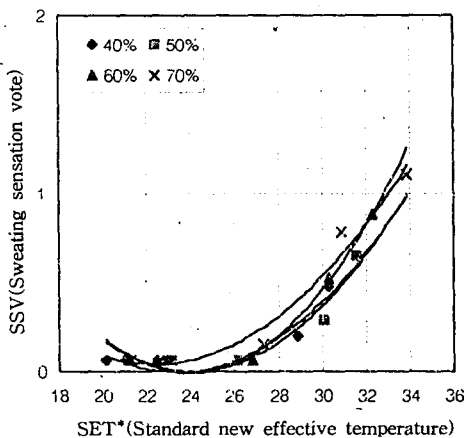


Fig.15 SSV with respect to SET\* for value of relative humidity

4.10 신표준유효온도(SET\*)와 뇌파(EEG) 및 심전도(ECG)

SET\*의 시간변화에 따른 뇌파 및 심전도 변화를 Fig.16 저온부(a), 중립부(b), 고온부(c)에 나타내었다. 동계실험에서도 심전도에 있어서는, 저온영역인 (a)에서는 시간이 경과함에 따라 심전도가 떨어지는 현저한 변화가 뚜렷이 나타났다. 이것은 저온상태에서 인간의 신체가 외부로의 열전달을 줄이기 위한 것으로 판단되며, 중립영역인 (b)에서는 변화가 거의 나타나지 않았다. 고온영역인 (c)에서는 저온영역과는 반대로 심전도가 증가하는 것으로 나타났으며, 이것은 고온상태에서 인체가 외부로의 열전달을 증가시키기 위한 것으로 판단된다. 그러나 전체적인 변화에 있어서는 많은 차이가 나타나지 않았다.

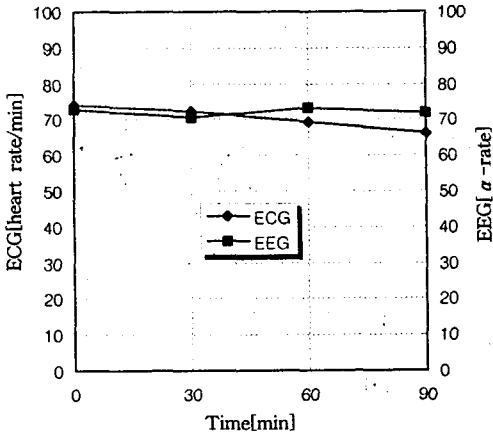
한편, 인간의 심리적 안정도를 측정하는 뇌파에서는 거의 변화가 없는 것을 볼 수 있다. 뇌파의 심리적 안정도는  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\theta$ 의 네가지 파중에서 눈을 감고 안정을 취했을 때에 나타나는 각파의 %로 그 수치가 나타나며, 특별한 외부의 상황이나 정신적인 스트레스가 없으면 거의  $\alpha$ 파 만이 나타난다. 본 실험에 있어서는 가혹한 환경상태가 아닌 안정시의 상태이므로 온·습도의 변화에 따른 뇌파의 변화는 발생하지 않았다.

5. 결 론

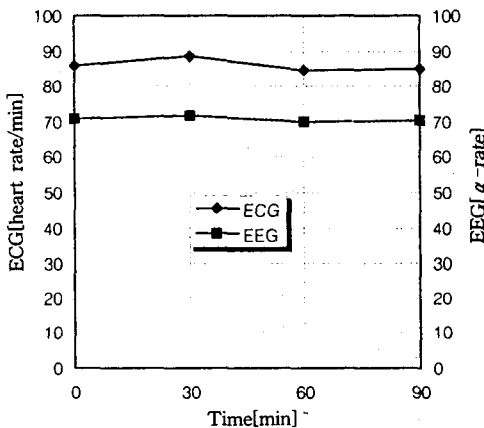
동계 체감실험에 의한 인공환경실험실내에서 온·습도 변화에 의해 피험자로부터 조사된 주관적 평가 및 심전도와 뇌파의 변화가 온열쾌적감에 영향을 주는 내용은 다음과 같다.

1) 응답온열감이 예상온열감보다 동계시의 기온기가 하계보다 크게 나타났다. 이것은 수치적 계산에 의해 구해진 지표보다 피험자 응답에 의해 구해진 지표가 더욱 민감하다는 것을 의미한다. 또한, 동계 응답온열감이 중립에 근접되는 SET\*는 25.2℃가 됨을 알 수 있었다.

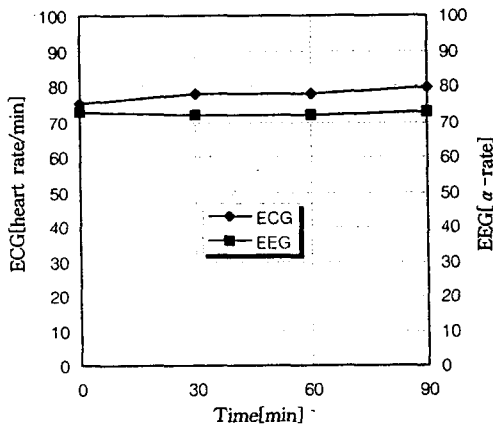
2) 쾌적감에 있어서는 응답온열감이 중립인 지점보다 약간 고온쪽에서 더욱 쾌적한것으로 반응하였으며, 불만족감이 가장 낮게 나타나는 쾌적영역에서의 SET\*는  $26.1 \pm 0.5$ ℃로서 응답온열감이 중립이 되는 SET\*=25.2보다는 높게 나타났으나 응답온열



(a) SET\* 20.1°C



(b) SET\* 26.1°C



(c) SET\* 33.9°C

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

감과 쾌적감의 관계에 대한 결과와는 일치하는 것을 알 수 있었다.

3) 신체부위중 피부온이 주변환경온도의 변화에 가장 민감하게 반응하는 부위는 종아리 부위인 것을 알 수 있었다. 민감도를 차례로 보면 다리→팔→이마→가슴→배 순으로 응답하였다.

4) 쾌적감은 SET\* = 26°C 영역부근에서 가장 쾌적하다는 응답을 나타냈다. 이것은 온열감이 중립이 되는 SET\* = 25.2°C와 다소 차이가 있으나, 피험자가 가장 쾌적하게 느끼는 SET\* 온도와 피험자가 느끼는 온열감 중립시의 SET\* 온도가 1~2°C 정도의 차이가 나는 것은 일반적인 오차범위이며, 이것은 참고문헌의 다른 논문<sup>(6,7,11)</sup>에서도 나타나고 있는 내용이므로, 큰 오차로 생각되지 않는다.

5) 실온이 약간 높은 경우에도 낮은 습도에서 쾌적감에 근접함을 알 수 있었으며, 건습의 차이가 많이 나지 않는 영역은 SET\* = 26.1~26.8°C이다.

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

그리고 가혹한 상황이 아닌 안정된 영역에서의 뇌파를 측정한 결과 앞서 언급한 이론과 같이 뚜렷한 변화가 나타나지 않았다. 결론적으로 종합적인 온열환경지표인 SET\*의 쾌적영역은 인체의 생리적 및 심리적인 쾌적상태에도 잘 부합된다는 것을 알 수 있었다.

### 후 기

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

### 참 고 문 헌

1. Fanger P. O., 1982, "Thermal comfort", ROBERT E. K. Pub. Malabar, Florida, pp. 19~105.

2. Shiller, G. E., 1990, "A comparison of measured and predicted comfort in office buildings", ASHRAE Transactions, Vol. 96, Part 1, pp. 609~622.
3. A. P. Gagge, A. P. Fobelets, and L. G. Berglund, 1986, ASHRAE Transactions, Vol. 92, Part 1, pp. 709~731.
4. Nevins, R.G., Burton, D.R., and Robeson, K.A., 1975. "The effect of temperature on preferred Air velocity for sedentary subjects dressed in shorts", ASHRAE Transactions, Vol. 81, Part 1, pp. 157~168.
5. ASHRAE, 1997, ASHRAE Handbook fundamental, Atlanta, pp. 8.1~8.29.
6. T. Miura, K. Kimura, Y. Dominaga, A. Akutsu, and Y. Suzuki, 1963, "Experimental studies on the optimum temperature of room cooling in summer for lightly clothed men in relation to the outdoor temperature", Journal science of labour, Vol. 39-8, Part 3, pp. 403~422.
7. Tanabe S., Kimura K. and Hara T., "Thermal comfort requirements during the summer season in Japan", ASHRAE Trans., Vol. 93, Part 1, pp. 564~577.
8. 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 engineering of Japan, No. 51. pp. 139~147.
9. 이춘식, 배귀남, 이철희, 최항철, 명현국, 1996, "실내환경 쾌적성 평가방법에 관한 연구(I) (온열 및 공기질에 관하여)", 한국과학기술연구원, 과학기술처.
10. 손장열, 백용규, 서기석, 1990, "PMV지표에 의한 건물에서의 온열환경 특성에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, Vol. 6, No. 6, pp. 213~219.
11. 최진영, 박종한, 금중수, 고범석, 성시풍, 심민섭, 1993, "동계체감실험에 의한 온냉감평가와 PMV, SET\*의 적용성 검토", 공기조화냉동공학회 하계학술발표회 강연 및 논문집, pp. 170~174.
12. Int-Hout, D., 1990, "Thermal comfort calculation / a computer model", ASHRAE Transaction, Vol. 96, Part 1, pp. 840~844.
13. Jonse B.W., and Ogawa Y., 1992, "Transient interaction between human and the thermal environmental", ASHRAE Transaction, Vol. 98, Part 1, pp. 189~195.
14. Nishi Y., Gagge A.P., and Swolwijk J. A.J., 1971 "An effective temperature scale on a simple model of human physiological regulatory response", ASHRAE Transaction, Vol. 77, Part 1, pp. 247~257.
15. 박종일, 김경훈, 민병일, 김창주, 홍희기, 1998, "하계 인공환경실험에서의 온열쾌적특성" 공기조화냉동공학 논문집 10권, 3호, pp. 368~377.
16. 김영호, 박정원, 1996, 최신공기조화설비, 보문당, pp. 215~228.
17. ASHRAE, 1997, Thermal environmental condition for human occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-1997.
18. ISO, 1984, Moderate thermal environments determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, ISO Standard 7730.
19. 이순요, 1987, 미래지향적 인간공학, 박영사, pp. 17~38.