

하계 및 동계 실내온열환경 특성과 쾌적성 평가에 대한 연구

고경태, 박종일, 김경훈
경희대학교 공과대학 기계공학과
경기도 용인시 기흥읍 서천리 1번지

A Study on Characteristics of Indoor Thermal Environment and Comfort Evaluation in Summer and Winter

K.T.Ko, J.I.Park, K.H.Kim
Mechanical Eng., Kyung Hee Univ.
1 SeoChun, KiHeung, YongIn, KyungGi, Korea

Abstract

The purpose of this study was to examine theory about indoor thermal comfort-environment as well as to determine thermal sensation and physical responses for men in summer and winter indoor environment, under various air temperature and relative humidity, with male university students. Subjective Evaluation, Heart rate(Electrocardiogram, ECG), Electroencephalo gram(EEG) were examined. We found that comfort of people was achieved at $SET^* 24.7^{\circ}C$, $-0.82 < PMV < +0.93$ in summer and at in winter. Vote rate of human body presented calf-forearm-head-chest-abdomen in turn in summer, and calf-head-forearm-chest-abdomen in turn in winter. The largest vote rate was found at the calf area. At low , heart rate was decreased and at high , heart rate was increased but there was no change EEG(keeping α -wave) both in summer and in winter.

1. 서론

인체는 실내 주위환경과의 복잡한 열교환 과정을 거쳐 쾌적한 상태를 느끼게 된다. 이에 대하여 최근 물

리적 환경과 인체의 온열쾌적감 사이의 상관성을 밝혀 내려는 연구가 활발히 수행되고 있다. 이 연구는 19C 말부터 유럽, 미국 등에서 시작되었으며¹⁻⁴⁾, 국내에서는 1970년대 후반부터 일부대학과 연구소에서 쾌적성에 대한 연구를 시작해왔다.^{5,6,10)} 그러나 이와 같은 연구들은 물리학적 온열요소 또는 인체 생리학적인 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 심전도 측정기와 뇌파 기기로 더욱 정밀하게 측정하여 보다 종합적인 온열환경지표를 검토하였다. 또한 단계적인 온·습도의 변화에 따른 하계 및 동계의 실내 평상복 착용시 피험자에 대한 주관적 평가를 인공환경실험실에서 실시하여 예상온열감(PMV), 신표준유효온도(SET*)에 대한 응답온열감을 비교하여 어느 범위의 온·습도 조건이 인간에게 가장 쾌적하게 느껴지는 조건인가를 밝혀보았다.

2. 실험

2.1 실험기간

하계 실험 1997년 7월 ~ 1997년 9월
동계 실험 1998년 1월 ~ 1998년 2월

2.2 피험자

피험자는 체온, 체중, 혈압, 맥박이 정상인 건강한 남자 대학생 4인으로 구성되었으며 하계 및 동계 모두 의복 열저항치를 일정하게 하여 하계 0.41clo, 동계 0.93clo로 하였다.

2.3 실험장치

인공환경실험실 옆의 기계실에 3RT의 정풍량 단일 덕트 방식의 항온항습기를 설치하여 실험실의 온도와 습도를 조절하였다. 보온된 플렉시블 덕트를 인공환경 실험실과 연결하여 급기 및 배기가 원활하게 이루어지게 하였으며, 외기 도입은 없었다. 이와 같은 공기조화를 통해 인공환경 조건을 만들었으며, 뇌파 및 심전도를 기록하기 위해 전실에 뇌파 기록장치와 심전도 측정장치를 설치하였다. Fig.1은 인공환경실험실의 공기조화설비 개요도와 심전도 및 뇌파 측정기의 설치 개요도를 나타내고 있으며, Fig.2는 피험자가 입실한 인공환경실험실의 단면도를 나타냈다.

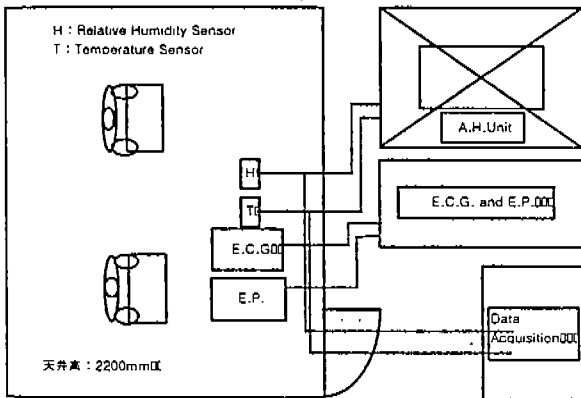


Fig 1. Diagram for HVAC System

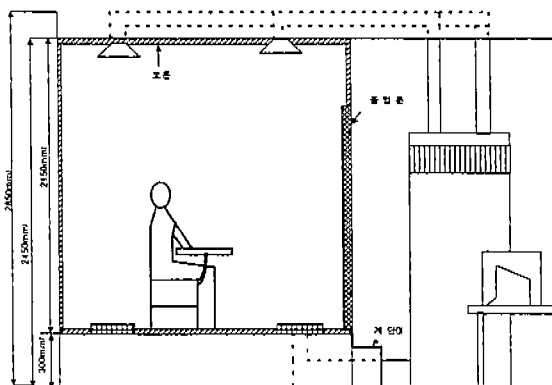


Fig 2. Diagram for cross section of environmental chamber

2.4 실험방법

각 실험 케이스 당 2명의 피험자를 입실시키고 체감 실험을 실시했으며, 실험의 타임스케줄은 Fig. 3에 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 2에, 주관적 응답에 대한 평가 방법은 Table 3에 나타내었다.

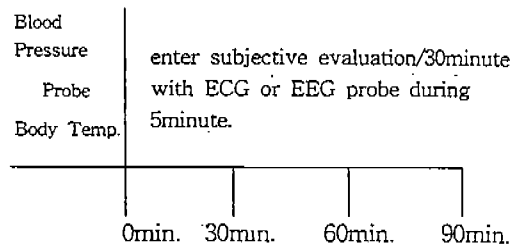


Fig 3. Time schedule of experiment

Table 1. Temperature and humidity conditions of environmental chamber

E.C.		계 절	R.V.		E.C.		계 절	R.V.	
R.H. %	t _a ℃		R.H. %	t _a ℃	R.H. %	t _a ℃		R.H. %	t _a ℃
40	20	하계	41.3	20.3	60	20	하계	61.0	20.8
		동계	39.9	20.3			동계	61.6	20.3
	24	하계	39.7	24.1		24	하계	61.1	24.2
		동계	40.5	24.6			동계	59.1	24.4
	28	하계	40.8	27.9		28	하계	61.1	28.4
		동계	41.2	27.8			동계	55.1	28.1
50	20	하계	49.2	20.6	70	20	하계	70.6	20.2
		동계	54.1	20.9			동계	69.4	20.5
	24	하계	51.9	24.5		24	하계	69.1	24.1
		동계	49.3	25.0			동계	69.4	24.5
	28	하계	50.4	28.2		28	하계	68.6	28.1
		동계	49.8	28.7			동계	63.2	28.0

Table 2. Experimental conditions

Experiment time	90 minute	
Cloth	summer	0.41 clo
	winter	0.93 clo
Activity	1.0 met	
Air Velocity	0.1 m/s	
M. R. T.	Equal t_a	
Subjected	4	

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

3. 실험결과 및 고찰

3.1 예상온열감(PMV)과 예상불만족감(PPD)

예상온열감(PMV)과 예상불만족감(PPD)의 관계를 동·하계로 비교하여 Fig. 4에 나타내었다. 하계실험과 같이 동계실험에서도 전체적으로 저온부 쪽으로 갈수록 피험자의 응답불만족감이 통계 수치계산에 의한 예상불만족감보다 급격히 증가하였다. 그리고 동계에서는 하계에서와 달리 고온부 쪽에서도 통계 수치계산에 의한 예상불만족감보다 응답불만족감이 조금 높게 나타났다. 이러한 사실은 PMV-PPD 지표의 한계⁽¹⁾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 $-0.27 < PMV < 0.62$ 였으며 하계의 경우는 $-0.82 < PMV < +0.93$ 으로 나타났다.

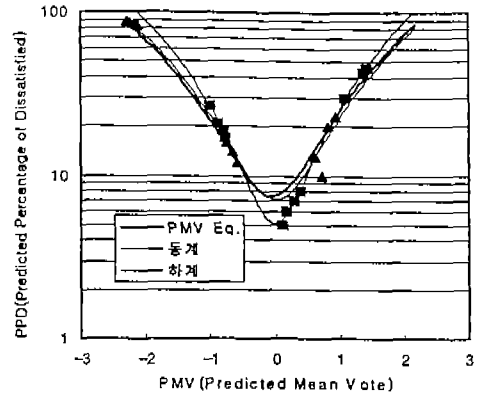


Fig. 4 PMV and PPD relationships

3.2 신표준유효온도(SET*)와 응답온열감(TSV)

Fig. 5는 신표준유효온도(SET*)와 응답온열감(TSV)에 대한 조사내용을 분석하여 그래프로 나타냈다. 응답온열감(TSV)과 신표준유효온도(SET*)의 회귀식으로 표시하면 아래식과 같다.

$$TSV = 0.2375SET^* - 5.8678$$

위 회귀식으로부터 응답온열감이 중립 즉, TSV=0가 되는 SET*온도는 동계의 경우 25.2°C, 하계의 경우 24.7°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.

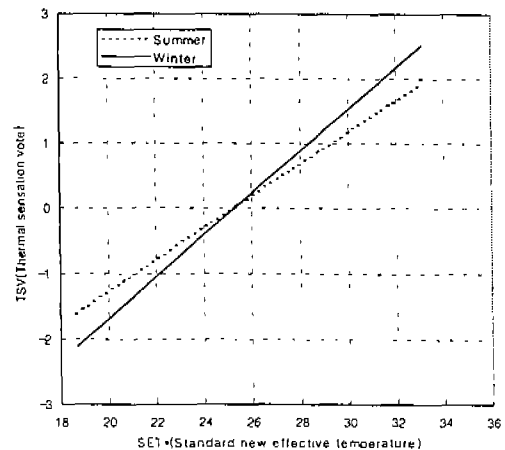


Fig 5. Relationship between SET* and TSV

3.3 신체 부위별 피부온도분포 및 민감도

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 냉온 감각기가 신체말단 부위에 많이 산재해 있다는 이론과도 잘 일치한다.

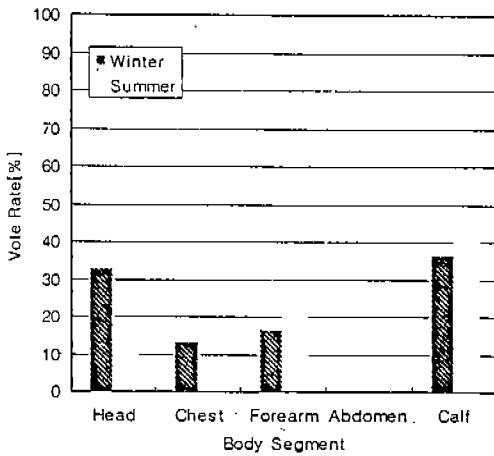


Fig 6. Vote rate of body parts

신체 부위별 민감도를 동·하계로 비교하여 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 민감도를 차례로 살펴보면 동계의 경우 다리→이마→팔→가슴→배 순으로, 하계의 경우 다리→팔→이마→가슴→배순으로 응답하였다.

3.4 상대습도 및 신표준유효온도(SET*)와 쾌적감(CSV)

상대습도와 쾌적감의 관계를 Fig.7에 나타내었다. 하계와 마찬가지로 동계 역시 낮은 습도에서는 저온보다 고온 쪽이 약간 더 불쾌감이 적게 나타났으며, 낮은 습도와 낮은 온도에서 아주 큰 불쾌감을 나타내었다. 또한, 습도가 점점 높아질수록 고온에서 불쾌감이 현저히 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉, 온도 변화에 따라 저습인 40%전·후의 습도영역 및 고습인 70%전·후의 습도영역이 쾌적감에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있으며, Fig.8에서도 볼 수 있듯이 SET*=26℃ 전·후 부근에서 가장 쾌적하다고 응답하였다.

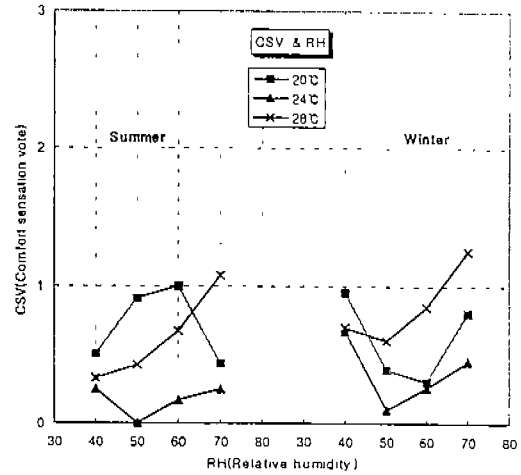


Fig 7. CSV with respect to relative humidity for value of air temperature

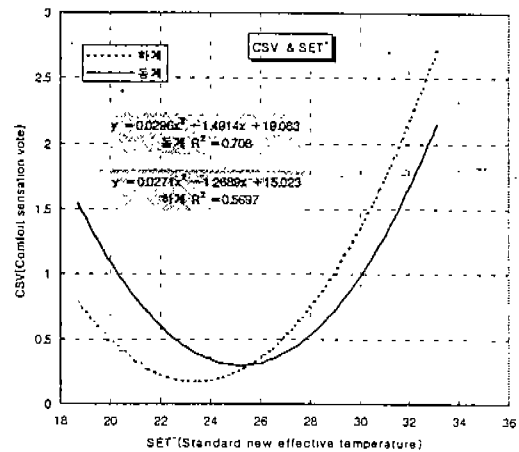


Fig 8. CSV with respect to SET* for value of air temperature

3.5 신표준유효온도(SET*)와 뇌파(EEG) 및 심전도(ECG)

각각의 SET*에서 시간변화에 따른 심전도 변화를 Fig. 9에, 뇌파의 변화를 Fig.10에 나타내었다. 하계 및 동계의 경우 심전도에 있어서는, 저온영역인 20.1℃ SET*에서는 시간이 경과함에 따라 심전도가 떨어지는 현저한 변화가 뚜렷이 나타났다. 이것은 저온상태에서 인간의 신체가 외부로의 열전달을 줄이기 위함인 것으로 판단되며, 중립영역인 26.1℃ SET*에서는 변화가 거의 나타나지 않았다. 고온영역인 33.9℃ SET*에서는

저온영역과는 반대로 심전도가 증가하는 것으로 나타났으며, 이것은 고온상태에서 인체가 외부로의 열전달을 증가시키기 위한 것으로 판단된다. 그러나 전체적인 변화에 있어서는 많은 차이가 나타나지 않았다.

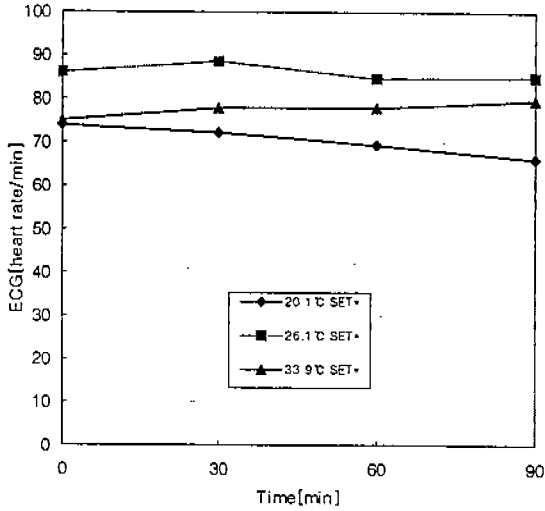


Fig 9. Result of E.C.G during experiment

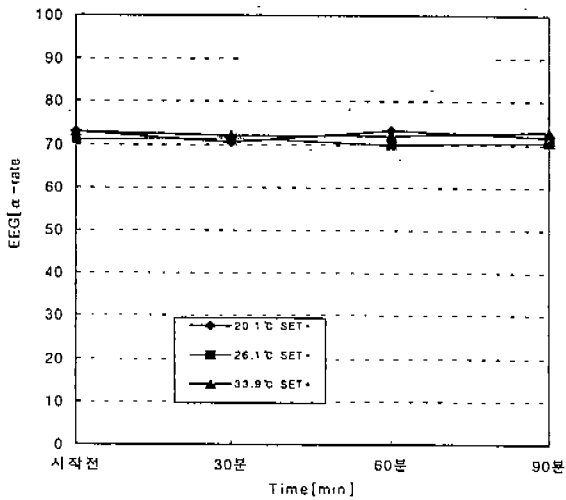


Fig 10. Result of E.E.G during experiment

한편, 인간의 심리적 안정도를 측정하는 뇌파에서는 거의 변화가 없는 것을 볼 수 있다. 뇌파의 심리적 안정도는 α , β , γ , θ 의 네가지 파종에서 눈을 감고 안정을 취했을 때 나타나는 각파의 %로 그 수치가 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.

4. 결론

하계 및 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 기울기가 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°C가 됨을 알 수 있었다.
- (2) 쾌적감에 있어서는 응답온열감이 중립인 지점보다 약간 고온쪽에서 더욱 쾌적한것으로 반응하였으며, 불만족감이 가장 낮게 나타나는 쾌적영역에서의 SET*는 26.1±0.5°C로서 응답온열감이 중립이되는 SET*=25.2°C보다는 높게 나타났다. 응답온열감과 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 동계(하계)의 경우 다리→이마(팔)→팔(이마)→가슴→배 순으로 응답하였다.
- (4) 쾌적감은 SET*=26°C영역부근에서 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°C정도의 차이가 나는 것은 일반적인 오차범위이며, 이것은 참고문헌의 다른 논문에서도 나타나고 있는 내용이므로, 큰 오차로 생각되지 않는다.
- (5) 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 측정된 결과 뚜렷한 변화가 나타나지 않았다. 결론적으로 종합적인 온열환경지표인 SET*의 쾌적영역은 인체의 생리적 및 심리적인 쾌적상태에도 잘 부합된다는 것을 알 수 있었다.

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

참고문헌

1. ASHRAE, 1997, ASHRAE Handbook fundamental, Atlanta, pp. 8.1~8.29.
2. ASHRAE, 1997, Thermal environmental condition for human occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-1997.
3. ISO, 1984, Moderate thermal environments "--determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort --", ISO Standard 7730.
4. 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.
5. 손장열, 백용규, 서기석, 1990, "PMV지표에 의한 건물에서의 온열환경 특성에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, Vol. 6, No. 6, pp. 213~219.
6. 최진영, 박종한, 금종수, 고범석, 성시풍, 심민섭, 1993, "동계체감실험에 의한 온냉감평가와 PMV, SET"의 적용성 검토", 공기조화냉동공학회 하계학술발표회 강연 및 논문집, pp. 170-174.
7. Int-Hout, D., 1990, "Thermal comfort calculation / a computer model", ASHRAE Transaction, Vol. 96, Part 1, pp. 840~844.
8. Jonse B.W., and Ogawa Y., 1992, "Transient interaction between human and the thermal environmental", ASHRAE Transaction, Vol. 98, Part 1, pp. 189~195.
9. Nishi Y., Gagge A.P., and Swolwjjik 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.
10. 박종일, 김경훈, 민병일, 김창주, 홍희기, 1998, "하계 인공환경실험에서의 온열쾌적특성" 공기조화냉동공학 논문집 10권, 3호, pp. 368~377.