

하계 실내온열환경과 심리적 및 생리적 반응에 관한 연구

(A Study on the Indoor Thermal Comfort and Response of Psychological · Physiological)

정성일*, 고경태, 박종일, 홍희기, 김경훈(경희대학교 공과대학 기계공학과),
한승호, 조영욱, 김창주, 민병일(경희대학교 의과대학 생리학교실)

S.I.Chung, K.T.Ko, J.I.Park, H.G.Hong, K.H.Kim(Kyung Hee Univ. Dept. Mechanical Eng.)
S.H.Han, Y.U.Jo, C.J.Kim, B.I.Min(Kyung Hee Univ. Dept. Medicine Physiology School)

Key ward: Predicted mean vote(예상온열감), Predicted percentage of dissatisfied(예상불만족율), Thermal comfort(온열쾌적감), Comfort sensation vote(쾌적감신고), SET*(신표준유효온도), Humidity sensation vote(건습감), Sweating sensation vote(발한감), Thermal sensation vote(응답온열감)

Abstract : The purpose of this study was 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 and the difference of skin temperature was found at the calf area as air temperature changes. At low air temperature, heart rate was decreased and at high temperature, heart rate was increased but there was no change at EEG, keeping α -wave.

1. 서론

습도의 영향을 많이 받는 여름철 우리나라 기후의 특성으로 인해 실내온열환경연구에 있어서 습도의 영향은 간과할 수 없는 중요한 인자이다. 또한 습도의 정밀한 조절은 어려운 기술중의 하나로 실내온열환경 연구에 커다란 걸림돌이 되고 있다. 그러나 본 연구에 있어 이러한 기술적 어려움을 최대한으로 줄여 단계적으로 온·습도를 변화시켜 실내 평상복 착용시 피험자에 대해 주관적 평가를 실시하여 예상온열감, 신표준유효온도와 비교하여 어떠한 온·습도 조건이 인간이 느끼는 가장 쾌적한 조건인가를 밝혀보고 생리적 및 심리적 변화인 심전도와 뇌파를 측정하여 중

합적인 쾌적조건을 연구함이 목적이다.

2. 실험

2.1 실험장치

향온향습실 옆의 기계실에 3RT의 정풍량 단일 덕트 방식의 향온향습기를 설치하여 실험실의 온도와 습도를 조절하였다. 보온재가 씌워진 플렉시블 덕트를 향온향습실과 연결하여 급기 및 배기를 시켰으며, 외기도입은 없었다. 이와같은 공조상태를 통해 인공기후 조건을 만들었다. 그리고 뇌파 및 심전도를 기록하기 위해 전실험체 뇌파 기록장치와 심전도 측정장치를 설치하였다. Fig.

1은 환경인공기후시험실의공조 개요도와 뇌파 및 심전도 측정도를 나타내고 있다.

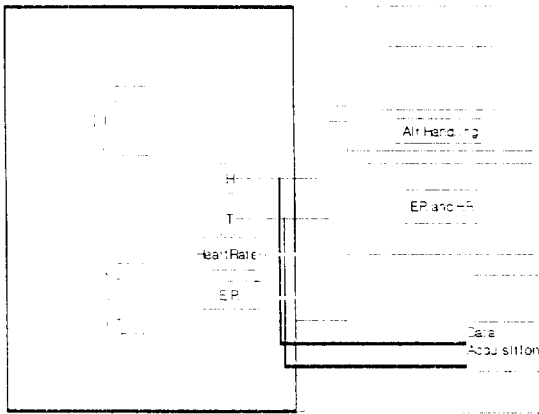


Fig. 1 Diagram for HVAC System

Fig. 2는 피험자가 입실한 환경인공기후시험실의 단면도를 나타낸다.

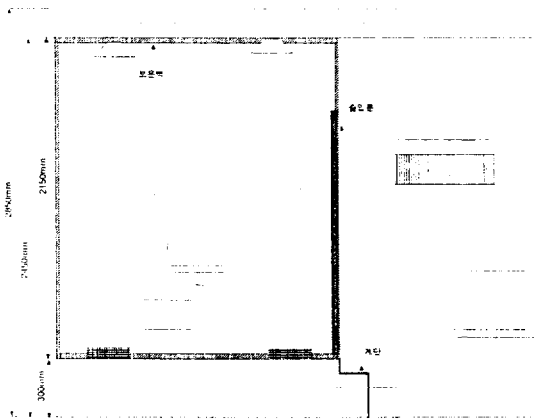


Fig. 2 Diagram for cross section of environmental chamber

2.2 피험자 실험방법

2.2.1 실험시간

하계 온열환경시험은 1997년 7월부터 1997년 9월 사이에 경희대학교 기계공학과 환경인공기후시험실에서 실행하였다.

2.2.2 피험자

피험자는 체온, 체중, 혈압, 맥박이 정상인 건강한 남자 대학생 4인으로 구성되었다. 피험자는

하계시 일반적으로 적용하는 복장의 clo value로써 일정하게 하여 0.41clo이다.

2.2.3 실험방법

각 실험 케이스당 3명의 피험자를 입실시키고 체감실험을 실시했으며, 실험의 타임스케줄은 Fig. 3에 나타내었다. 실험의 소요시간은 90분이고 실험에 들어가기 전 30분 정도 피험자의 혈압, 맥박, 체온을 측정하여 실험실이 입실시켰으며, 주관적인 응답은 입실 후 환경에 대해 순응된 30분 이후부터 10분 간격으로 기록하도록 하였다.

혈압 측정 체온	실험시간			
	입실	30분마다	양케이트조사	조사이후 5분동안
	0분	30분	60분	90분

Fig 3. Time schedule of experiment

온열환경실의 상태를 측정하기 위해 실험실 내 수직온도분포를 바닥면 기준 30, 60, 90, 120, 150, 180cm에서 제측하였으며, 습도는 industrial transmitters-(series I-100)습도계를 사용하여 측정하였다. 인체측은 $\phi 0.127\text{mm}$ 의 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 나타내었다. 실험조건은 Table 2, 주관적 응답에 대한 평가 방법은 Table 3에 나타내었다.

Table 1. Temperature and humidity conditions of environmental chamber

설정조건		실험값		설정조건		실험값	
습도 %	온도 $^{\circ}\text{C}$	습도 %	온도 $^{\circ}\text{C}$	습도 %	온도 $^{\circ}\text{C}$	습도 %	온도 $^{\circ}\text{C}$
40	20	41.3	20.3	60	20	61	20.8
	24	39.7	24.1		24	61.1	24.2
	28	40.8	27.9		28	61.1	28.4
50	20	49.2	20.6	70	20	70.6	20.2
	24	51.9	24.5		24	69.1	24.1
	28	50.4	28.2		28	68.6	28.1

Table 2. Experimental conditions

실험시간	90분
착의량	0.51clo
활동량	1.0met
기류속도	0.1m/s
평균방사온도	기온과 동일
청 년(대학생)	4명

Table 3. Scale of subject vote
전신온냉감(TSV)

-3	-2	-1	0	1	2	3
춥다	서늘하다	약간 서늘하다	중립	약간 따듯하다	따듯하다	덥다

건습감(HSV)

-2	-1	0	1	2
건조하다	약간 건조하다	중립	약간 습하다	습하다

쾌불쾌감(CSV)

0	1	2	3
쾌적	약간불쾌	불쾌	아주불쾌

발한감(SSV)

0	1	2
땀을 흘리지 않음	약간 땀을 흘림	땀을 흘림

3. 실험결과

3.1 예상온열감(PMV)와 응답온냉감(TSV)의 관계
전체적으로 응답온열감(TSV)가 예상온열감(PMV)에 비해 기울기가 큰데 이것은 온열환경에 더 민감하게 반응함을 의미한다. 즉, 냉감범위에서는 PMV가 더욱 차게, 온감범위에서는 TSV가 더욱 덥게 반응함을 알 수 있다.

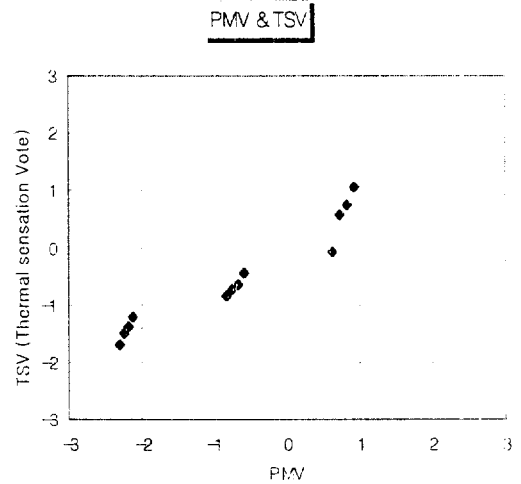


Fig. 4 Relationship of PMV and TSV

3.2 SET*와 응답온열감의 관계

Fig. 5는 SET*와 응답온열감 사이의 관계를 회귀식을 이용하여 나타냈다. 응답온열감과 SET*의 회귀식을 나타내면 다음과 같다.

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

위의 회귀식으로부터 응답온열감이 중립이 되는 SET*온도는 24.7°C로 나타났다.

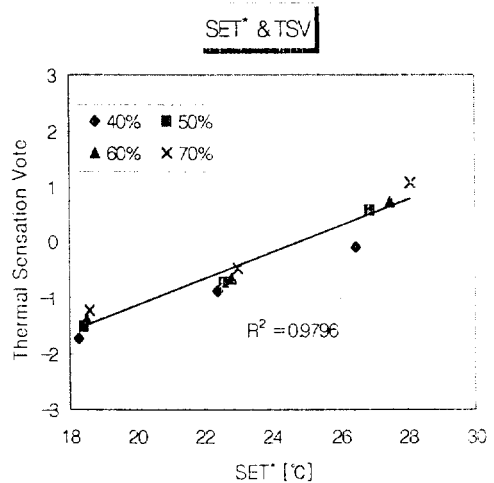


Fig. 5 Relationship of SET* and TSV

3.3 실내공기온도와 부위별 피부온도

실내공기온도와 부위별 피부온도를 Fig. 6에 나타내었다. 신체부위 중 가장 온도가 높은 부위는 가슴이고 가장 낮은 부위는 다리 부분으로 인체의 노출된 말단 부위일수록 실내환경 조건에 민감한 반응을 나타낸다. 또한 이 결과는 인간의 생리학적 감각 중 피부의 냉온감각기는 신체말단 부위에 많이 산재해 있는 것과 일치한다.

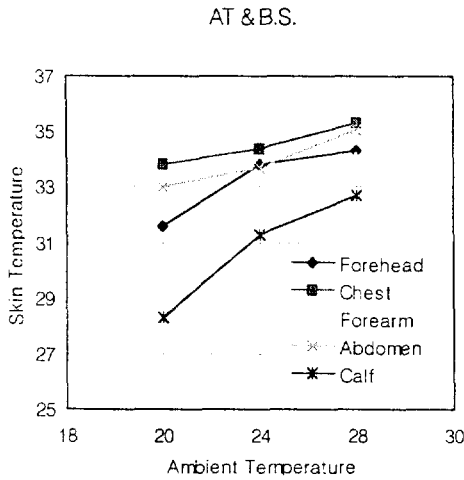


Fig. 6 Skin temperature at different body parts under different ambient air temperature

3.4 상대습도와 쾌적감 및 SET*관계

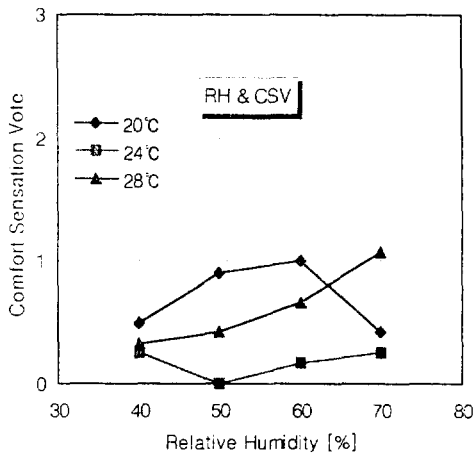


Fig. 7. Comfort sensation vote at different relative humidity and air temperature

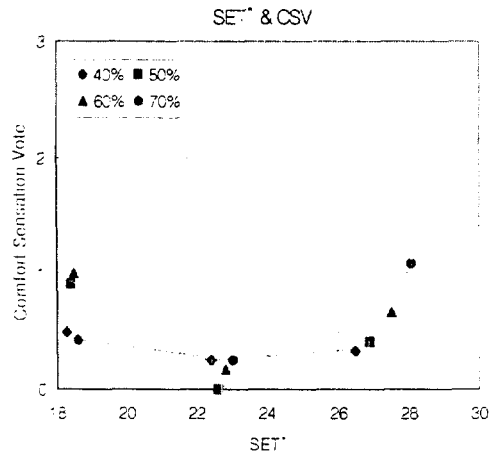


Fig 8. Relationship of relative humidity and SET*

상대습도와 쾌적감의 관계를 Fig. 7에 나타냈다. 낮은 습도에서 저온보다 고온 쪽이 좀더 불쾌감이 작게 나타났다. 그리고 점점 습도가 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. 8에서도 볼 수 있듯이 SET*23°C 부근에서에서 가장 쾌적하다고 응답하였다.

3.5 상대습도와 건습감

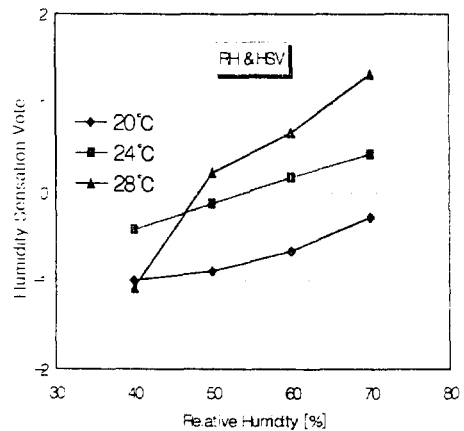


Fig 9. Humidity sensation vote at different air temperature and relative humidity

Fig. 9는 상대습도와 건습감의 관계를 나타낸 것이다. 고온으로 갈수록 습도의 영향을 많이 받는 것을 볼 수 있다. 또한 쾌적영역으로 보이는 SET* 22.4~23℃에서 건습감의 많은 차이가 나지 않음을 알 수 있다.

3.6 상대습도와 발한감 및 SET*의 관계

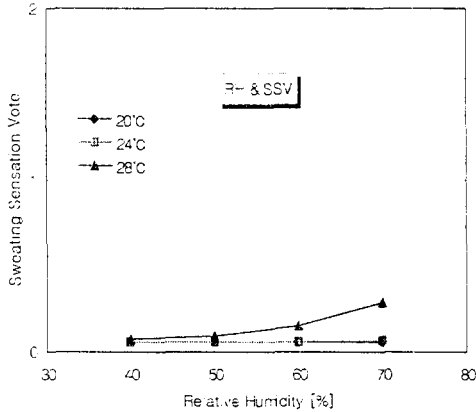


Fig. 10 Result of sweating sensation at different air temperature and relative humidity

Fig. 10은 상대습도와 발한감의 관계를 나타낸 것이다. 발한감의 영향은 크게 나타나지 않았다. 그러나 SET* 23℃부근에서 미세한 발한이 일어나며, Fig. 11 볼 수 있듯이 SET* 28℃이상에서는 발한의 영향이 증가함을 예측할 수 있다.

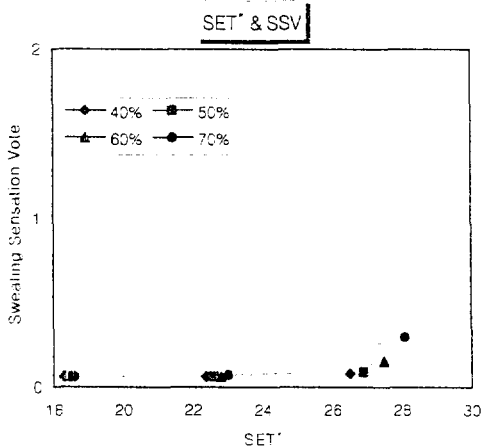


Fig 11. Relationship of SET* and SSV

3.7 SET*와 뇌파 및 심전도의 관계

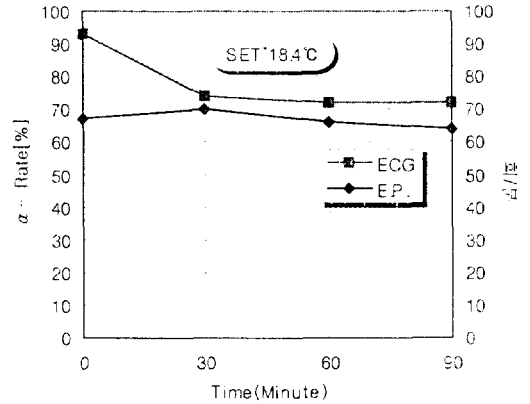


Fig 12. Result of heart rate and E.P. at during experiment

SET* 18.4℃일 때 시간변화에 따른 뇌파 및 심전도 변화를 Fig. 12에 나타내었다. 심전도에 있어서는, 시간이 경과함에 따라 심전도가 떨어지는 현저한 변화가 뚜렷이 나타났다. 이것은 저온 상태에서 인간이 외부로의 열전달을 줄이기 위한 것으로 사료된다. 그러나 인간의 심리적 안정도를 측정하는 뇌파에서는 거의 변화가 없는 것을 볼 수 있다. 뇌파의 심리적 안정도는 α , β , γ , θ 의 네가지 파중 눈을 감고 안정을 취했을 때 나타나는 각파의 %로 나타나며, 특별한 외부의 상황이나 정신적인 스트레스가 없으면 거의 α 파 만이 나타난다. 그러므로 본 실험에 있어서는 가혹한 환경상태가 아닌 안정시의 상태이므로 온·습도의 변화에 따른 뇌파의 변화는 일어나지 않았다.

4. 결론

체감실험에 의한 주관적 평가와 심전도 및 뇌파가 상대습도와 어떠한 관계에서 쾌적감에 영향을 미치는지에 대해 검토하였다. 여름철 남성 평상복을 착용한 상태의 쾌적영역에 대한 온·습도 조절은 중요한 사항임을 확인할 수 있었다.

1. 응답온열감이 예상온열감보다 기울기가 크게 나타났으며, 여름철 응답온열감이 중립에 근접되

는 SET*는 24.6°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°C영역에서 가장 쾌적하다는 응답을 나타냈다.

4. 높고, 낮은 상대습도는 쾌적감 및 건습감이 아주 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 또한 실온이 조금 높더라도 낮은 습도에서 쾌적감에 근접함을 알 수 있으며, 건습의 차이가 많이 나지 않는 영역은 SET* 22.4~23°C이다.

5. 낮은 온도와 낮은 습도에서 심전도가 낮아짐을 알 수 있었으며, 안정된 영역에서의 뇌파의 측정은 변화가 없었다.

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

5. 참고문헌

1. ASHRAE, 1993, ASHRAE 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 is and Application in Environmental Engineering
4. Tanabe S., Kimura K., Hara T., "Thermal Comfort Requirements during the Summer Season in Japan", ASHRAE Trans., Vol. 93, Part1, pp. 564~577
5. Gagge A.P., Nishi Y., and Nevins R.G., 1976 "The Role of clothing in meeting FEA energy Conservation guidelines. ASHRAE Trans. Vol.82, pp. 234~247
6. Jonse B.W., Ogawa Y., 1992, "Transient Interaction between Human and the Thermal Environmental", ASHRAE Trans., Vol. 98, Part1, pp. 189~195
7. Gagge A.P., Swolwijk J.A.J., and Nishi Y., 1971 "An Effective Temperature Scale on a Simple Model of Human Physiological

Regulatory Respons

8. 이순요 교수, 미래지향적 인간공학, 박영사, pp. 17~38
9. 이춘식 외4명 "실내환경 쾌적성 평가방법에 관한 연구(I) (온열 및 공기질에 관하여)", 한국과학기술연구원, 과학기술처
10. 이종민, 이순원, 1997, "의복착용 습관이 추위 적응 능력에 미치는 영향", 한국섬유공학회, Vol. 21, No.3, pp. 536~543
11. 정성일, 김경훈, 민병일, 김창주, "하계 실내환경의 쾌적성 평가에 영향을 미치는 인자에 관한 연구"공기조화·냉동공학회, '97하계학술발표회 논문집 pp.678~685
12. 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