

# 동계체감실험에 의한 온열환경 특성 및 쾌적성 평가

고경태, 정성일, 박종일, 김경훈

경희대학교 공과대학 기계공학과, 레이저공학연구소

## Characteristics of Thermal Environments and Evaluation of Thermal Comfort by Human Reponse Experiment in Winter

Kyung-tae Ko, Sung-il Jung, Jong-il Park, Kyung-hoon Kim

Department of Mechanical Eng. College of Engineering Kyung Hee university

### ABSTRACT

The purpose of this Study was to determine thermal sensation and physiological responses for men in winter indoor environment, under various air temperature and relative humidity, with male university students. Subjective Evaluation, Heart Rate Variability(HRV), Electroencephalogram(EEG) were examined. We found that comfort of people was achieved at 50% R.H., 24°C, and the difference of skin temperature was found at the calf area as air temperature changes. At low air temperature and low humidity, heart rate was decreased, but there was no change at brain wave, keeping  $\alpha$ -wave.

### 1. 서 론

실내환경을 쾌적하게 하는 구성요소로는 온열 상태, 기류, 공기질, 소리, 빛, 공간 등 여러 요소가 있다. 이들 중에서 인간은 특히 주위의 온열환경으로부터 상당히 복잡한 열교환과정을 거쳐 쾌적한 상태를 느끼게 된다. 이런 물리적 환경과 인간의 온열감 사이의 상관성을 밝혀내려는 연구가 활발히 수행되고 있는데 그 대표적인 예로 덴마크의 Fanger의 연구가 있다. 그는 환경실험실에서 덴마크인 피험자를 대상으로 물리적 온열환경과 온열환경 변화에 대한 인간의 온열감을 조사하였고 이를 바탕으로 열전달 이론과 생리학적인 경험식들을 이용하여 모델링하였으며 주어진 온열감에서 재실자들이 느끼는 불만족률을 예측할 수 있는 식을 개발하였다. 이런 추세에 따라 인간

의 온열감과 주위 열환경간의 관계에 큰 영향을 주는 요소들에 대한 연구도 필요시되고 있다.

의복은 인체의 생리기능 보조와 신체보호 등의 중요한 요소로서 「제2의 피부」 역할을 하고 있다. 인간은 의복을 착용함으로써 의복 표면과 피부면과의 온도 차이, 즉 의복의 단열 정도에 의해 인체로부터의 열손실 및 인체 표면과 주위공간간의 열전달등을 조절할 수 있어서, 의복 착용량은 인체의 쾌적감을 형성하는 데 있어서 매우 중요한 역할을 한다.

따라서 본 연구에서는 동계 남성들의 의복 착용시 피험자가 느끼는 쾌적감, 온열감, 건조감, 발한감 등이 온도와 습도의 변화에 대하여 어떠한 수치적 값과 주관적 응답을 나타내는지 밝히고 어떠한 온·습도 범위에서 인간이 가장 쾌적하게 느끼는지를 연구함이 목적이다.

## 2. 실험방법

### 2.1 측정장치

단열재를 사용한 실험실에 보온재가 씌워진 플렉시블 덕트로써 온·습도를 조절하는 향온향습기를 연결하여 인공기후 조건을 만들었다. 또한 뇌파 및 심전도를 기록하기 위해 전실에 뇌파기록장치와 심전도측정장치를 설치하였다. 향온향습실의 개략도를 그림 1에 나타냈다.

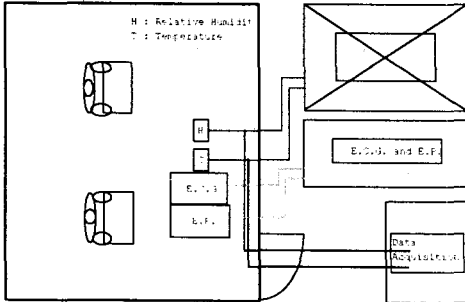


그림 1. 향온향습실의 개략도

### 2.2 측정기간 및 방법

실험은 1997. 1. 12~ 1998. 2. 27동안 오전 10시~12시, 오후 1시30분~3시30분에 하루 2회 측정하였다. 온·습도를 측정하기 위해 실험실 내 수직 온도분포를 바닥면 기준 30, 60, 90, 120, 150, 180cm에서 측정하였다. 인체측은  $\phi 0.127\text{mm}$ 의 열전대를 인체의 5부위(이마, 가슴, 팔, 직장, 다리)에 부착하여 각 피부온을 측정하였다. 측정 항목은 기온, 상대습도, 흑구온도, 기류속도 등의 실내 온열환경 요소와 인체의 피부온도 및 뇌파, 심전도였다.

### 2.3 피험자

피험자는 체온, 체중, 혈압, 맥박이 정상인 건강한 자만을 선발하여 입실한다. 피험자의 복장은 면으로 된 속옷, 양말, 긴바지, 긴팔셔츠, 스웨터를 입고 간편한 슬리퍼를 착용하여 동계의 일반적인 복장의 clo value로써 일정하게 하여 0.93clo이다.

### 2.4 설문조사

실내환경에 대한 재실자의 온열감 특성을 파악하고, 그 결과를 이론식에 의해 예측한 PMV와

비교, 평가하기 위하여 쾌적감, 온열감, 건습감, 발한감 등에 대한 설문조사를 실행하였다. 입실하기 전에 30분정도 준비실에 머물면서, 피험자의 혈압, 맥박, 체온을 측정하여 건강한 자만을 선발하여 설문조사 내용을 주지시키고 입실시켰다. 설문조사과정을 그림 2에 나타내었고, 실험조건은 표 1과 같으며, 피험자의 응답척도를 표 2에 나타내었다.

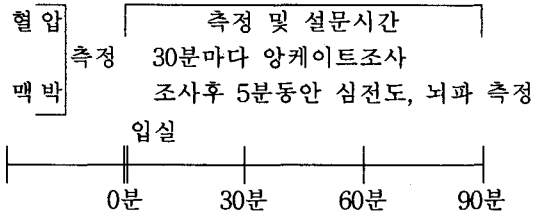


그림 2. 설문조사과정

표 1. 실험 조건

실험시간	30분(예비측정)+90분(본실험)
의복량	0.93 clo
활동량	1.0 met
기류속도	0.1 m/s
평균방사온도	기온과 동일
청년(대학생)	4명

표 2. 피험자의 응답척도

전신온냉감(TSV)						
-3	-2	-1	0	1	2	3
춥다	서늘하다	약간 서늘하다	중립	약간 따뜻하다	따뜻하다	덥다

건습감(HSV)				
-2	-1	0	1	2
건조	약간 건조	중립	약간 습함	습함

쾌불쾌감(CSV)			
0	1	2	3
쾌적	약간불쾌	불쾌	아주불쾌

발한감(SSV)		
0	1	2
땀을 흘리지 않음	약간 땀을 흘림	땀을 흘림

### 2.5 온·습도 설정조건

본 실험에서 설정한 환경상태는 온도의 경우는 18℃~30℃, 습도의 경우는 40%~80%RH로 이를 조합하여 총 20가지의 환경상태를 실험하였다. 표 3은 각각의 환경상태와 실현값으로서 실현값은 실험시간 내내 측정된 값을 산술평균한 것으로서 온도의 경우 ±2℃, 습도의 경우 ±5%이내로 측정되었다.

표 3. 설정 환경상태 및 실현값

습도%	설정조건		실현값		습도%	설정조건		실현값	
	온도℃	습도%	온도℃	습도%		온도℃	습도%	온도℃	습도%
40	18	40.8	17.8	40.8	60	18	60.8	17.7	60.8
	20	41.3	20.3	41.3		20	61	20.8	61
	24	39.7	24.1	39.7		24	61.1	24.2	61.1
	28	40.8	27.9	40.8		28	61.1	28.4	61.1
	30	40.2	29.8	40.2		30	59.5	29.7	59.5
50	18	50.1	18.2	50.1	70	18	70.4	18.1	70.4
	20	49.2	20.6	49.2		20	70.6	20.2	70.6
	24	51.9	24.5	51.9		24	69.1	24.1	69.1
	28	50.4	28.2	50.4		28	68.6	28.1	68.6
	30	50.2	30.2	50.2		30	68.6	30.2	68.6

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 응답온열감

실내공기온도와 응답온열감(TSV)의 관계를 그림 3에 나타내었다. 저온과 고온에서 습도의 영향이 더욱 커진다는 것을 알 수 있다. 저온에서는 습도가 높을수록 고온에서는 습도가 낮을수록 온열중립에 보다 더 가깝게 나타났다. 이는 고온고습할수록 증발 또는 현열교환이 작아져서 인체 열부하가 크게 되므로 온열감이 크게 나타나는 것이다. 상대습도 50%~60%, 온도 24℃~26℃사이가 온·습도의 중립상태로 보인다.

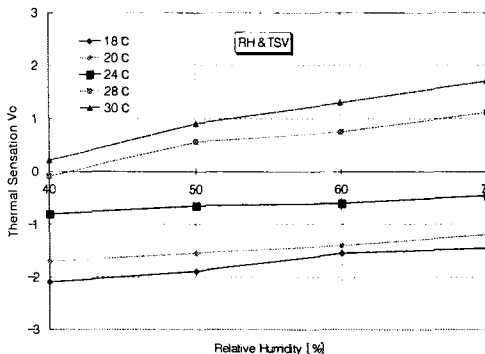


그림 3. 온·습도와 응답온열감

### 3.2 부위별 피부온도

실내공기의 온습도와 부위별 피부온도를 그림 4에 나타내었다. 신체부위 중 가장 온도가 높은 부위는 가슴부위이고 가장 낮은 부위는 다리 부분으로 나타났다. 즉 인체의 노출된 말단 부위일수록 실내환경 조건에 민감한 반응을 나타낸다. 또한 이 결과는 인간의 생리학적 감각 중 피부의 냉온감각기는 신체말단 부위에 많이 분포되어 있는 것과 일치한다.

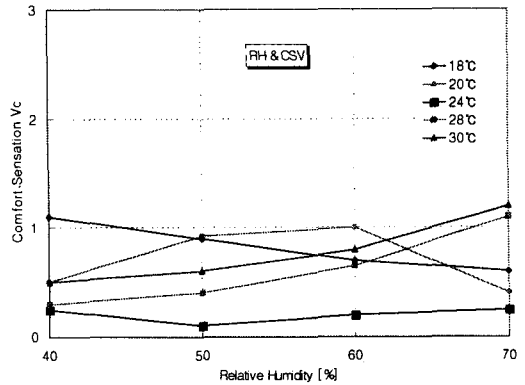


그림 4. 실내 온·습도와 부위별 피부온도

### 3.3 쾌적감

상대습도와 쾌적감의 관계를 그림 5에 나타내었다. 낮은 습도에서는 저온보다 고온쪽이 더욱더 쾌적하게 나타났다. 그리고 점점 습도가 높아질수록 고온에서 불쾌감이 현저히 증가함을 알 수 있었다. 이 결과로 미루어 볼 때 실내공기의 습도가 낮거나 높을 때는 쾌적감에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

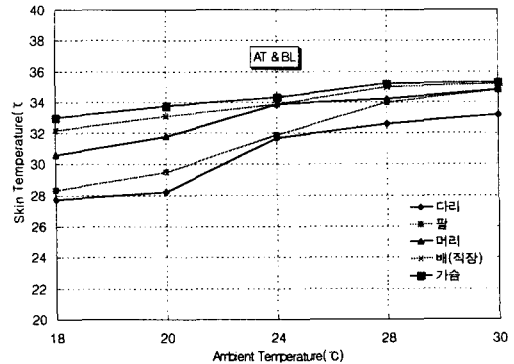


그림 5. 상대습도와 쾌적감

### 3.4 건습감과 상대습도

그림 6은 건습감과 상대습도의 관계를 나타낸 것이다. 고온으로 갈수록 습도의 영향을 많이 받는 것을 볼 수 있다. 또한 쾌적영역에 가까운 온도에서는 건습감의 차이가 작게 나타남을 알 수 있다.

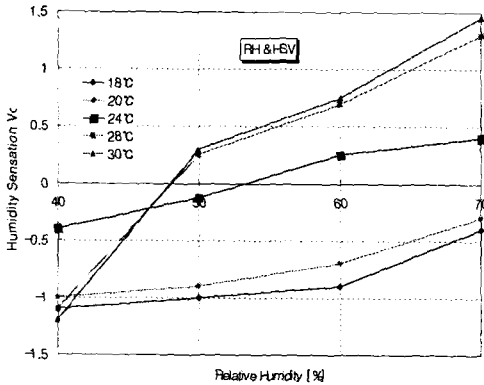


그림 6. 건습감과 상대습도

### 3.5 심전도와 뇌파 측정

저온, 저습일 때 시간변화에 따른 변화를 그림 7에 나타내었다. 심전도는 시간이 경과함에 따라 점점 감소하는 경향이 뚜렷이 나타났다. 이것은 저온 상태에서 인간이 외부로부터의 열전달을 줄이기 위한 것이라고 생각된다. 그러나 인간의 심리적 안정도의 척도인 뇌파는 거의 변화가 없는 것을 볼 수 있었다.

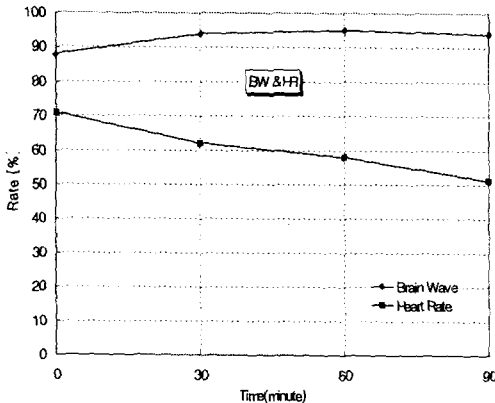


그림 7. 뇌파와 심전도

## 4. 결론

체감실험에 의한 주관적 평가와 심전도 및 뇌파

가 동계남성복 착용시(0.93clo) 여러 온도와 습도 상태에서 쾌적감에 어떤 영향을 주는지를 검토하였다. 의복을 착용한 상태의 쾌적영역에 대한 온·습도 조절은 중요한 조건임을 확인할 수 있었다.

1. 동계의 온열감이 중립에 근접하는 상태는 상대습도 50%~60%, 건구온도 24°C~26°C 정도가 됨을 알 수 있다.
2. 쾌적감은 상대습도 50%RH, 건구온도 24°C의 조건에서 가장 쾌적하다는 응답을 얻었다.
3. 다습, 건조 상태의 실내공기는 쾌적감 및 건습감에 큰 영향을 미치며 또한 실온이 조금 높거나 낮더라도 습도를 적당히 조절함으로써 쾌적감에 근접할 수 있었다.
4. 신체부위중 다리부위가 가장 환경온도의 변화에 민감하게 반응하였다.
5. 저온, 저습 상태에서 시간이 경과함에 따라 심전도가 현저히 감소하였다.

향후 연구는 의복량의 변화, 즉 clo치의 변화가 일정한 온·습도상태에서 쾌적감에 어떤 영향을 주는지 검토하는 연구가 바람직할 것이다.

## 5. 참고 문헌

1. ASHRAE, 1981, Thermal Environmental Condition for Human Occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-1981
2. Fanger P. O., 1970 Thermal Comfort - Analysis and Application in Environmental Engineering
3. Tanabe S., Kimura K., Hara T., "Thermal Comfort Requirements during the Summer Season in Japan", ASHRAE Trans., Vol. 93, Part1, pp. 564~577
4. 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
5. 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

6. 이순요 교수, 미래지향적 인간공학, 박영사

7. 이춘식 외4명 "실내환경 쾌적성 평가방법에 관한 연구(I) (온열 및 공기질에 관하여)", 한국과학기술연구원, 과학기술처

8. 이종민, 이순원, 1997, "의복착용 습관이 추위 적응 능력에 미치는 영향", 한국섬유공학회, Vol. 21, No.3, pp. 536~543

9. 김경훈 외3명 "하계 실내환경의 쾌적성 평가에 영향을 미치는 인자에 관한 연구"공기조화·냉동 공학회, '97하계학술발표회 논문집 pp.678~685