

한국인의 온열쾌적감 및 생리신호에 관한 연구

(Part I: 겨울철 체감실험 결과)

주익성*, 김동규*, 금중수**, 최광환**, 이구형***, 임금식***

* 부경대학교 대학원 냉동공조공학과

** 부경대학교 공과대학 냉동공조공학과

***LG전자

Experimental Study on Thermal Comfort Sensation of Korean and Physiological Signal

Part I: Analysis of Subjective Judgement in Winter Experiment

Joo Ik-Seong, Kim Dong-Gyu, Kum Jong-Soo, Choi Kwang-Hwan, Lee Koo-Hyoung, Im Keum-Sik

* Graduate School, Pukyong National University

** Department of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering,
Pukyong National University

***LG Electronics Inc.

요약

본 연구의 목적은 겨울철 난방시 한국인의 온열감과 온열환경지표 사이의 상관관계 및 ASHRAE Standard 55-74의 쾌적영역과 한국인의 쾌적영역을 체감실험을 통해 규명 및 제시하는 것이다. 유니폼을 착용한 피험자는 온도, 습도, 기류 등이 조절되는 환경시험실에서 2시간동안 체재하면서 매 15분 마다 전신온냉감, 쾌복쾌감 등을 신고하였다. 또한 인체의 3부위에서 피부온도, 환경시험실의 온도 및 습도를 매 20초 간격으로 측정하였다. 이상의 체감실험을 통해 아래의 결론을 얻었다.

- 1) 평균피부온도가 증가함에 따라 TSV는 선형적으로 증가하며 열적으로 중립감을 느낄 때의 평균피부온도는 청년 34.0°C, 고령자 33.5°C이다.
- 2) TSV = 0일때 청년의 중립 SET*는 25.5°C, 고령자의 중립 SET*는 27.0°C이다.
- 3) 한국인의 쾌적범위는 청년의 경우 SET*의 경우 24.2 ~ 26.8°C, 고령자의 경우 SET* 25.7 ~ 28.2°C로 ASHRAE St.55-74의 권장 쾌적범위(22.0 ~ 25.4°C)보다 다소 고온지향적이다.

I. 서론

본 연구에서는 겨울철 난방시 고령자 및 청년층의 피험자를 대상으로 한 체감실험을 수행하여 한국인의 온열쾌적감을 규명하여 쾌적조건을 제시하고, 실내온열환경의 쾌적지표의 검증을 통하여 실내의 온열 쾌적성을 향상시키고 에너지 절감을 도모할 수 있는 공조시스템 및 기기의 개발에 필요한 기초데이터를 제공하고자 한다.

II. 본론

2. 실험장치

임의의 온도, 습도 및 기류를 만들어 실험을 하기 위해 건축환경설비연구실에 부속실험실로서 인공환경실험실을 마련하여 각 실험을 하였다. 인공환경실험실은 4.1m × 4.9m × 2.7m의 크기이며 모든 벽과 천정, 바닥은 단열재로서 충분히 단열을 하여 벽면의 온도와 실내온도가 거의 같도록 하였다(그림 1). 환경온습도 측정 및 인체의 피부온도 측정을 위한 센서 위치 및 종류는 표 1과 같다.

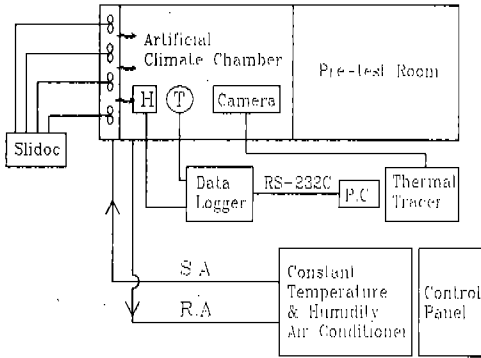
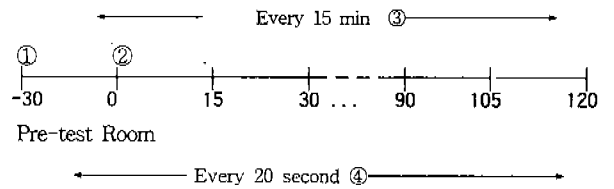


그림 1 실험실의 개략도



- ① 혈압 및 구강온도 측정
- ② 실험실 입실
- ③ 전신온냉감, 폐문폐감 신고
- ④ 실내온도, 상대습도, 평균피부온도

그림 2 체감실험 진행순서

표 1 측정항목과 측정지점

항목	위치	타입
전구온도 [°C]	▶ 수직온도 (바닥으로 부터) 0.1 m 0.6 m 1.1 m 1.7 m	Thermo Couple 0.2 mm Ø
	▶ 평균피부온도 가슴 팔 다리	
상대습도 [%]	▶ 중앙 (바닥으로 부터) 0.6 m 1.1 m	VAISALA (HMW 20 UB)
피부표면 온도	얼굴 전면 및 상체	열화상 카메라 San-ei, TH1100

3.3 실험조건

공기온은 18°C ~ 27°C로 각 3°C씩 변화시켰으며 습도는 30 ~ 70%로 20% 간격으로 변화시켰다. 기류속도는 모든 실험에서 정지기류 상태인 0.1 m/s를 유지하였다. 실험에 앞서 2시간 정도 예비운전을 하여 실내를 균일한 상태로 만들었다. 실험의 상세한 설정조건을 표 2에 나타내었다.

표 2 실험설정조건

Temp. RH	18 [°C]	21 [°C]	24 [°C]	27 [°C]
30 [%]	◎	◎	◎	◎
50 [%]	◎	◎	◎	◎
70 [%]	◎	◎	◎	◎

3. 체감실험

3.1 실험기간

실험기간은 1997년 1월중순에서 4월초까지 총80일동안 행하였다.

3.2 실험순서

각 실험은 1회당 5명의 피험자를 전실에 30분간 체재시킨후 실험실로 입실시켜 120분동안 실험을 하였다. 실험하는 동안 매 15분 간격으로 주관적인 앙케이트 신고를 받았다. 그림 2에 1회 실험의 타임스케줄을 나타냈다.

3.4 실험대상자(이하 피실험자)

피실험자로는 남자(20명), 여자(10명), 고령자(8명)를 대상으로 하였다. 모든 피실험자들은 구강온도 37°C이하이고 정상혈압의 건강한 사람들로 구성되었으며 연령 및 신체적 조건을 표 3에 나타내었다. 그러나 실험의 분석에 사용된 피험자는 각 신체의 체질관계로 인하여 남자 12명, 여자 10명, 고령자 6명으로 한정하였다.

표 3 각 피험자의 신체적 특징

Subjects	Number of Subjects	Age	Height [cm]	Weight [kg]	Body Area* [m ²]	Ponderal Index [kg ^{0.73} /m]
Female	10	20.3	161.0	53.8	1.56	2.30
		±1.2**	±3.4	±10.7	±0.15	±0.11
Male	12	21.0	172.5	61.4	1.72	2.25
		±2.8	±5.5	±7.3	±0.11	±0.10
Elderly	6	64.0	155.3	61.0	1.59	2.50
		±2.0	±4.5	±7.0	±0.09	±0.10

*) Calculated by Takahira's Equation

$$A = 71.46 \times W^{0.425} \times H^{0.725}$$

**) SD is the between-subject standard deviation

3.5 의복량

피실험자들은 모두 가능하면 표준적인 착의량으로 맞추기 위해 동일한 유니폼을 착용하였다. 의복량을 구하는 방법은 여러 연구자에 의해 제안되어 있으나 본 실험에서는 외국인의 경우와 동일한 계산조건으로 비교하기 위해 일본의 Fukai의 연구에서 채택한 의복중량으로 clo치를 계산하는 방법(花田, 三平의 식)을 사용하였다. 그 결과 남자 0.7, 여자 1.0, 고령자 1.08로 각각 계산되었다.



그림 3 실험에 참가한 피험자의 모습

3.6 활동량

피실험자는 실험중 의자에 앉아서 독서 및 가벼운 대화, 양케이트를 하고 있으므로 기존 실험자료와 비교하여 대사량은 1.1 met로 가정하였다.

3.7 양케이트 내용 및 분석방법

피실험자가 환경실험실내에서 실험에 응하였을 때 설정환경조건에 대한 피실험자의 양케이트 내용으로써

그림 4와 같이 전신은냉감, 쾌불쾌감 등으로 구성되어 있다.

전신은냉감 (TSV)		쾌불쾌감 (CSV)	
-3	cold	0	comfortable
-2	cool	1	slightly comfortable
-1	slightly cool	2	uncomfortable
0	neutral	3	very uncomfortable
+1	slightly warm		
+2	warm		
+3	hot		

그림 4. 양케이트 스케일

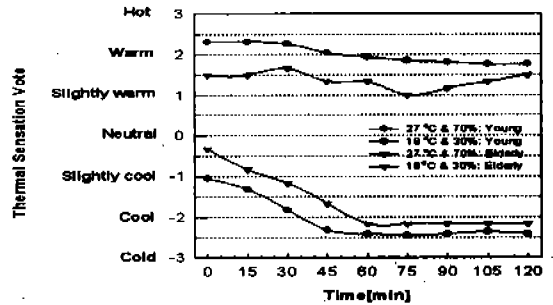


그림 5 전신은냉감 신고의 경시변화

그림 5는 시간에 따른 전신은냉감 변화를 청년 및 고령자에 대하여 저온(18°C, 30%) 및 고온(27°C, 70%)에 대하여 나타낸 것이다. 전신은냉감은 청년의 경우 저온 및 고온 모두 시간이 경과함에 따라 일정한 경향을 알 수 있었지만 고령자의 경우 고온에서 다소의 편차를 보였다. 그림 6은 시간에 따른 평균피부온도(n=22)를 각각 저온 및 고온에 대하여 나타낸 것이다. 평균피부온도는 전신은냉감과 같은 경향을 보임을 알 수 있었다. 따라서 양케이트 내용 및 환경물리량 분석에 있어서는 90분 이후의 신고값 및 환경물리량의 값을 사용하였다

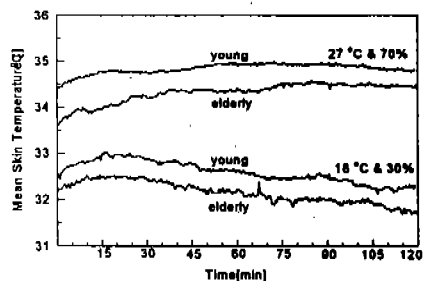


그림 6 평균피부온도의 경시변화

3.8 SET*(표준신유효온도) 및 PMV의 개요

표준신유효온도는 미국공조학회에서 표준적체감온도로서 채용되어진 온열환경지표이다. 기온, 평균복사온도, 상대습도, 풍속등의 실재환경에 있는 인간(대사량, 착의량)은 대류, 방사 및 증발에 의해 피부표면으로부터 열방산을 하여 평균피부온, 피부젖은면적율의 상태에 있을 때 이 사람이 착의량 0.6, 대사량 1.1의 상태에서 기온(=평균방사온도), 상대습도 50%, 풍속 0.1m/s의 가상적 표준환경으로 이동·체재하여 평균피부온, 피부젖은면적율 및 인체(피부표면)와 환경 사이의 열교환량이 실재환경과 같다면 이 표준환경의 기온을 표준신유효온도라고 한다. SET*는 복수의 온열요소를 총합하여 단일의 온도로 표현한 온열지표(단일 온도지표)로 온열감각과의 대응을 고려하면 환경측 및 인체측의 모든 온열요소를 고려하여 온냉감의 예측 및 온열환경의 평가를 단일 수치로 나타낼 수 있다.

PMV는 Predicted Mean Vote의 약어로 덴마크 공과대의 Fanger박사에 의해 제안된 지표로 온열환경의 6가지 요소(공기온도, 평균복사온도, 기류속도, 습도, 착의량, 활동량)가 인간이 느끼는 더위 및 추위감각에 대한 복합적인 효과를 수치로서 표현한 것이다. PMV의 산출에서 기초가 되는 것은 쾌적방정식으로 인체의 열적중립상태, 즉 인체의 대사량 및 인체로부터 환경으로의 방열량과의 열평형을 표현한 것이다. PMV는 ISO7730으로서 1984년에 국제규격화 되었다.

4. 고령자와 청년층의 온열쾌적감

4.1 평균피부온도와 전신온냉감

그림 7에 평균피부온도와 온냉감(TSV)과의 관계를 회귀직선으로 나타냈다. 중립온감을 느낄때의 평균피부온도는 고령자의 경우 33.5℃이고, 청년층의 경우 34.0℃이다. 중립온감을 느낄때의 평균피부온도가 청년층이 고령자에 비해 약 0.5℃정도 높은 경향을 나타냈다. 그림 8은 입실직후 및 입실후 45분 경과후 청년과 고령자에 대한 열화상으로 고령자는 청년에 비해 전반적으로 피부온이 낮게 분포하고 있음을 알 수 있다.

고령자는 청년층보다 기초대사량이 떨어지므로 평균피부온도의 차이가 발생했다고 생각된다.

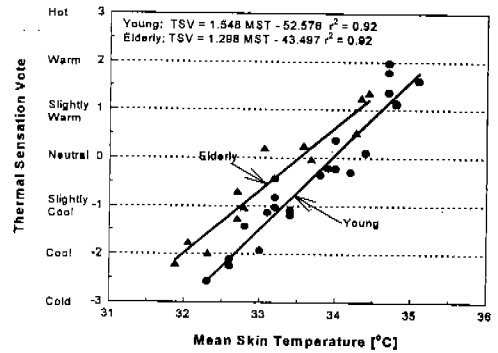


그림 7 전신온냉감과 평균피부온도와와의 관계

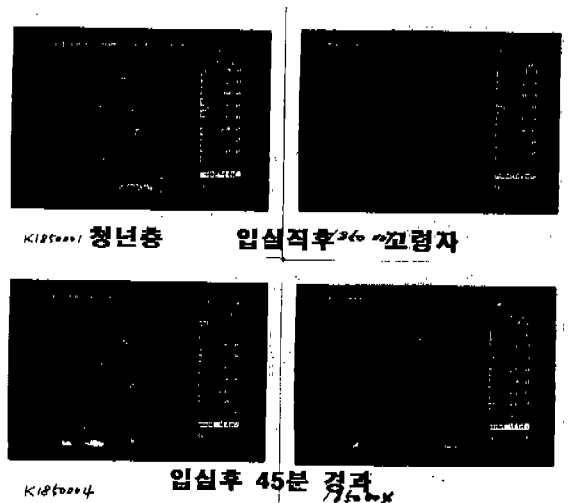


그림 8 고령자와 청년층의 피부표면온도 (18℃ & 50%)

4.2 SET*와 전신온냉감

그림 9에 청년과 고령자에 대한 SET*와 온냉감과의 비교를 나타냈다. 고령자의 경우 회귀직선에서 중립온감을 느낄때의 SET*는 27.0℃, 청년의 경우 25.5℃이다. 따라서 고령자의 경우 청년과 같은 전신온냉감을 고려한다면 SET* 1.5℃ 정도 높은 온도를 선호한다고 볼 수 있다.

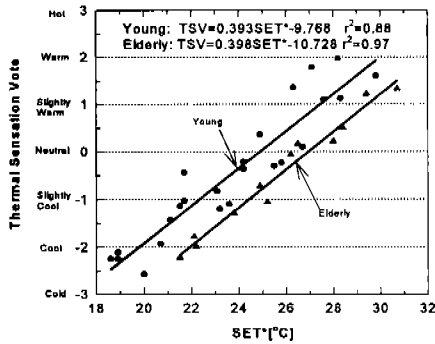


그림 9 전신온냉감과 SET*의 관계

4.3 쾌불쾌감 신고(CSV)와 전신온냉감

그림 10은 고령자와 청년에 대하여 쾌불쾌감신고와 전신온냉감의 비교를 위해 회귀직선을 나타냈다. 전반적으로 전신온냉감 ± 1의 범위에서 청년이나 고령자의 쾌불쾌감은 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그러나 전신온냉감 ±1 이상의 영역에서 불쾌측으로 변화율은 저온영역보다 고온의 영역에서 다소 큼을 알 수 있으며, 전신온냉감 중립을 경계로 좌우 비대칭의 결과를 얻었다. 이 점은 계절에 기인한다고 고려되므로 여름 실험의 결과도 포함하여 비교 검토할 필요가 있다.

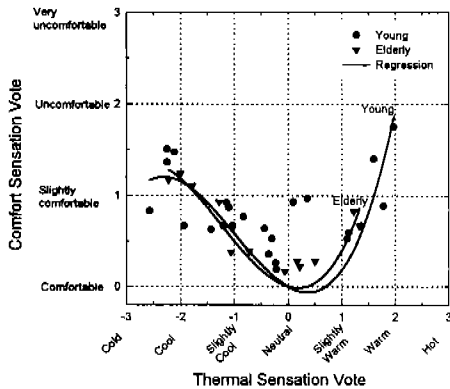


그림 10 쾌불쾌감과 전신온냉감의 관계

4.4 불만족신고(Dissatisfied) 및 PPD와 SET*

그림 11은 고령자와 청년에 대해 불만족신고(실험도중에 전신온냉감으로 -2, -3 또는 +2, +3을 신고한 사

람의 비율) 및 계산식으로 산출되는 PPD와 SET*의 비교를 나타냈다. 고령자는 저온에 대하여 높은 불만족 신고를 하였으며, 청년은 전반적으로 다소 높은 불만족 신고를 하였다. 따라서 대류난방에 의한 쾌적공조를 실현하기 위해서는 청년과 고령자에 대한 각각의 쾌적조건 선정이 필요하다고 생각된다.

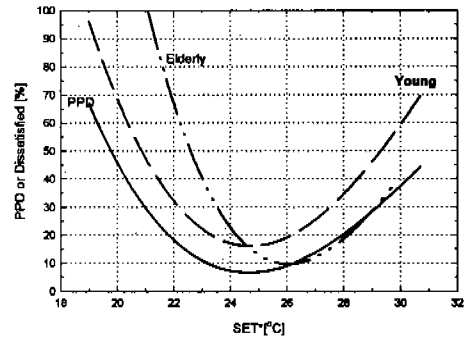


그림 11 PPD 및 DI와 SET*의 관계

4.5 PMV와 전신온냉감

그림 12에 전신온냉감 신고와 PMV의 관계를 나타냈다. 청년에 비해 고령자는 저온에 민감함을 알 수 있었다. 중립영역에서 고령자와 청년은 PMV 값으로 약 0.5정도의 차이가 발생하였다.

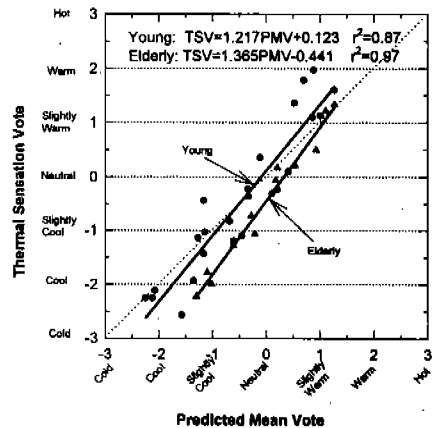


그림 12 PMV 및 전신온냉감의 관계

4.6 대류식 난방시 쾌적범위

전신온냉감이 +0.5 ~ -0.5의 범위에서 청년의 경우

SET* 24.2°C ~ 26.8°C이며, 고령자의 경우는 SET* 25.7°C ~ 28.2°C임을 알 수 있다. 반면에 ASHRAE St.55-74에서 규정하고 있는 쾌적범위는 SET* 22.0°C ~ 25.4°C이다. 따라서 우리나라 사람은 구미인에 비해 다소 고온지향적인 경향을 나타내는데 난방방식의 차이에 기인한다고 생각된다.

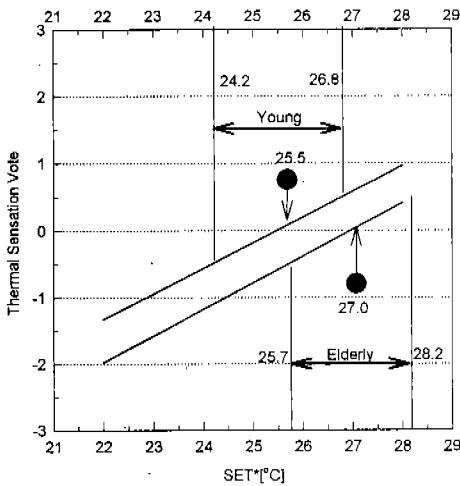


그림 13 대류식 난방시 쾌적범위

III. 결론

이상의 체감실험결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 평균피부온도가 증가함에 따라 TSV는 선형적으로 증가하며 열적으로 중립감을 느낄 때의 평균피부온도는 청년 34.0°C, 고령자 33.5°C이다.
- 2) TSV = 0일때 청년의 중립 SET*는 25.5°C, 고령자의 중립 SET*는 27.0°C이다.
- 3) 한국인의 쾌적범위는 청년의 경우 SET*의 경우 24.2°C ~ 26.8°C, 고령자의 경우 SET* 25.7°C ~ 28.2°C로 ASHRAE St.55-74의 권장 쾌적범위(22.0°C ~ 25.4°C)보다 다소 고온지향적이다.

謝辭

본 논문은 G-7 감성공학 과제의 연구수행 결과로서 실험에 참가해주신 피실험자 및 관련업체, 감성공학

관계자 여러분께 감사를 드립니다.

※ 참고문헌

- 1) 금종수, 1997, "온열쾌적감 측정기술 및 DB개발", 제 9회 G7 감성공학 감성요소 기술개발 및 DB 구축 Workshop 자료집
- 2) 금종수, 1993, 한국인에 맞는 쾌적지표의 검증과 기준data의 추출에 대한 최종보고서, 부산수산대학교 산업기술연구소
- 3) 금종수 외 2인, 1993, "동계체감실험에 의한 온냉감 평가와 PMV, SET*의 적용성 검토", 공기조화냉동공학회 하계학술대회 강연 및 논문집, pp.170~174
- 4) P.O.Fanger, 1970, Thermal comfort, Danish Technical Press, McGraw-Hill Book Company
- 5) ASHRAE, 1989, FUNDAMENTALS, pp 8.1 ~ 8.20
- 6) S.Tanabe, 1988, Thermal Comfort Requirements in Japan, Ph.D.Waseda University
- 7) 川島 美勝 편저, 1994, 高齢者の住宅熱環境, 理工學社
- 8) 深井一夫, 1992, 標準新有效溫度(SET*)と日本人の溫熱感覺に関する實驗的研究, 空氣調和衛生工學論文集, No.48. 1992.2
- 9) 横山 眞太郎, 1993, 生體內熱移動現象, 北海道大學圖書刊行會