

에어컨 온도변동에 따른 온열쾌적감 평가 및 생리신호 변화에 관한 연구

김형철 · 김종수 · 신병환 · 정용현[†]

(부경대학교 냉동공조공학과 · 부경대학교 환경시스템공학부[†])

Research in Physiology Signal Change of Thermal-Comfort Evaluation by Air Conditioner Temperature Change

Hyung-Chul KIM, Jong-Soo KUM, Byong-Hwan SHIN, Yong-Hyun CHUNG[†]

Dept. of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Pusan, Korea

[†] Div. of Environmental Engineering, Pukyong National University, Pusan, Korea

(Received Februry 1, 2006 / Accepted Februry 17, 2006)

Abstract

Man has always striven to create a thermally comfortable environment. This is reflected in building traditions around the world - from ancient history to present day. Today, creating a thermally comfortable environment is still one of the most important parameters to be considered when designing buildings. It is defined in the ISO 7730 standard as being "That condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment". A definition most people can agree on, but also a definition is not easily converted into physical parameters. Thermal comfort is a matter of many physical parameters, and not just one, as for example the air temperature that is set by air-conditioner. The most important matter Today's common offices and homes are only depending on air-conditioning as a cooling system during the summer. This kind of system tends to be focused on the person who controls it and those who are around the air-conditioner while thermal-comfort is neglected. Futhermore, the people's body conditions are not considered during each time that beginning, middle, last of the air-conditioning which causing displeasure of the residents more and more. This kind of operating system is set for a long time may causes unbalanced air condition and man's psychologic displeasure goes to increase.

Key word : Thermal-Comfort, TSV, CSV, HRV, HE, LF, α wave, β wave

I. 서론

사회가 발전하면서 개인의 쾌적성에 대한 관심

이 발생하기 시작하였으며, 현대에는 인간의 쾌적성 증대에 관한 여러 가지 연구가 활발하게 진행되고 있다(Yaglou, Miller, 1925; Gagge, Nishi, Gonzales, 1973; Gagge, Nishi, Nevins, 1976;

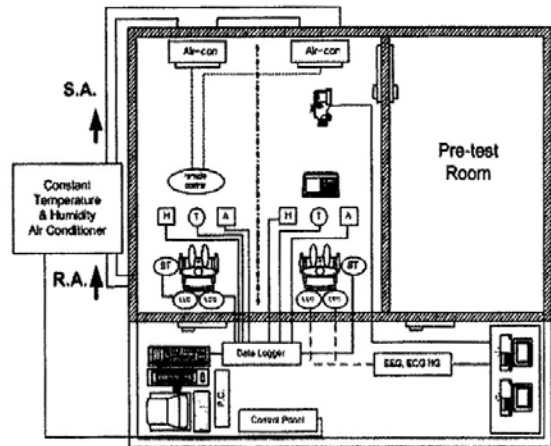
[†] Corresponding author : 051-620-6443, chungyh @pknu.ac.kr

Gagge, Fobelets, Berglund, 1986; Fanger, 1970; Tanabe, 1988; Fukai, Gotoh, Saito, Ito, 1992; Fukai, Gotoh, Saito, Ito, Akui, 1993; Horikoshi, Kobayashi, Tsuchikawa, 1991; 금,1997; 주 등,1997). 소규모 건물이나 가정의 일반적인 냉난방에서는 간단한 온도제어를 통해 소수 거주자의 쾌적성을 증대시키고 있지만 대형 사무실이나 병원, 학교 등에서는 공조를 담당하는 중앙 공조기의 설정온도에 따라 일괄적으로 지속적인 공조를 실시하고 있다. 이 같은 경우 설정온도에 따라 거주하는 사람들 각각의 쾌적성을 얻기는 힘들며, 냉방의 경우 거주자의 쾌적성을 고려하지 않은 지속적인 설정온도에 따른 운전으로 거주자의 불쾌감이 증가하는 상황이 발생하게 된다(배 등, 1995; 윤 등, 1992; 전 등, 2005). 또한 너무 낮은 설정 온도의 영향으로 여름철 에너지 과소비의 원인이 되기도 한다.

본 연구에서는 냉방을 실시하고 있는 공조공간에 시간의 변화에 따라 온도를 상승시킴으로써 인체의 온열쾌적성을 증가시키고 지속적인 쾌적감을 유지시키는데 목적을 두었으며, 재실자의 쾌적감을 객관적으로 평가하기 위하여 주관적인 온냉감·쾌적감 평가와 생리신호 분석을 사용하였다. 본 연구의 결과를 바탕으로 여름철 냉방 시설내 온도를 일정하게 상승시킴으로써 에너지 절감의 효과도 기대할 수 있을 것으로 예상된다.

II. 실험장치 및 방법

본 실험은 향온향습실에서 실시되었다. 향온향습기를 통해 일정한 온도 및 습도를 유지하거나 변동시켰으며, 기류는 일반적인 에어컨과 동일한 형태의 기류를 만들기 위해 기류발생기를 제작하여 실험에 적용시켰다. [그림 1]은 실험실 전경을 나타내고 있다. 실험실은 전실과 본실로 나누어져 있으며, 본실은 4.1m[가로]×4.9m[세로]×2.7m[높이]의 크기로서 냉방 시 피험자의 쾌적감을 평가하기 위한 실질적인 데이터 수집이 이루어진 곳



[그림 1] 실험실 전경

<표 1> 향온향습기의 사양

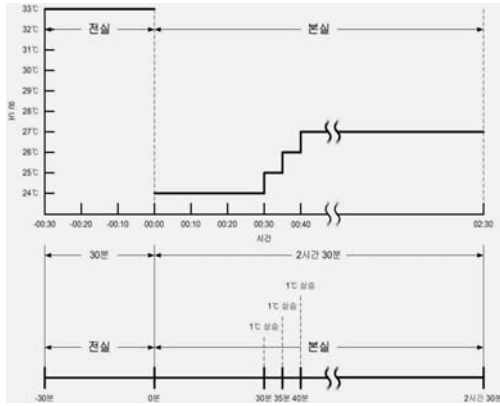
항 목	제어 범위
향온향습실 내 공기 온도	10℃ ~ 40℃ ±1℃
향온향습실내 상대습도	30% ~ 80% ±5%
제어장치	SCR
냉방 능력	8100 kcal/h
난방 능력	12,000 kcal/h
가습 능력	8 ℓ/h
제습 능력	1.8 ℓ/h

이다. <표 1>은 본 실험에 사용된 향온향습기의 사양을 나타내고 있다.

기류를 발생시키기 위한 기류발생장치는 일반적인 냉난방기인 패키지 에어컨의 실내기를 사용하였으며, 실험실 내 피험자는 기류발생장치로부터 3m 떨어진 곳에 정좌하여 학습이나 독서를 할 수 있도록 하였다.

본 실험에서는 여름철 환경을 고려하는 전실과 냉방이 이루어지는 본실을 구분하여 실험을 진행하였다. 먼저 전실에서는 여름철 일반적인 축열량을 동일하게 부여하기 위하여 피험자를 30분간 33℃이상의 고온 환경에 체재시켰다. 그리고 본실로 입실하여 초기설정온도인 24℃로 운전을 하다 입실 후 30분경 1℃ 상승시켰으며, 상승 이후 35분 후 1℃상승, 상승 이후 40분 후 1℃ 상승시켜 온도를 유지시켰다. 설정온도 24℃는 여름철 일반

적인 사무실의 냉방온도이며 상승시간은 인체가 불쾌영역으로 들어가는 순응실험(김, 2006)을 통해 구한 시간이다. [그림 2]와 <표 2>는 실험조건을 나타내고 있다.



[그림 2] 실험조건

<표 2> 실험조건

항 목	전 실	본 실
온도[°C]	33 ± 2.5°C	24°C→25°C→26°C→27°C
상대습도[%]	50 ± 5%	50 ± 5%
기류[m/s]	0.15m/s 이하	0.25 ± 0.05m/s

실험에 참여한 피험자는 신체 건강하며 기타 질병이 없는 20대 대학생 남녀 8명으로 선정하였다. 그리고 실험에 앞서 기초 신체특성을 파악하기 위해 설문 및 기초 체력 시험을 실시하였다. <표 3>은 실험에 참여한 피험자의 신체조건을 나타내고 있다.

실험에서는 남·여 동일한 상황을 부여하기 위하여 착의량 및 대사량을 동일시하였으며, 모두 유니폼을 착용시켰다. 착의량 값은 외국의 경우(花田嘉代子, 1983)와 동일하게 의복중량법으로 계산하였다. 계산식은 다음과 같다.

$$Clo(\text{남})=0.000558 \times \text{의복의 총중량}[\text{g}] + 0.068 \quad (1)$$

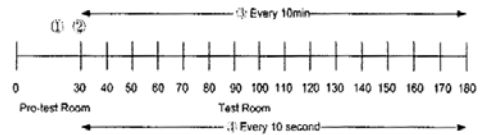
$$Clo(\text{여})=0.001030 \times \text{의복의 총중량}[\text{g}] - 0.0253 \quad (2)$$

<표 3> 피험자 신체조건

성 별	피험자 수	연령[세]	체중[kg]	신장[m]
남	4	26.1±2.1	62.1±4.3	1.71±0.42
여	4	22.7±4.3	49.7±4.8	1.57±0.29

본 실험에서 계산된 착의량은 0.35clo였으며, 대사량은 피험자가 편안하게 의자에 앉아 가벼운 대화나 독서 및 설문을 응할 수 있는 1.1met로 통제하였다.

실험은 총 3시간 동안 진행하였으며 1회당 2명의 피험자를 전실에서는 30분, 본실에서는 2시간 30분 동안 체재시켰다. 환경물리량인 온도, 습도, 기류와 인체생리량인 피부온도는 본실에서 지속적으로 측정되었으며, 주관적 설문의 경우 10분 간격으로 설문지를 작성하도록 하였다. [그림 3]은 본 실험의 과정을 나타내고 있다.



- ① blood pressure measured at wrist and body temperature measured at armpit
- ② enter the chamber
- ③ thermal sensation vote, comfort sensation vote, EEG, ECG
- ④ room air temperature, relative humidity local skin temperature, mean skin temperature

[그림 3] 실험과정

생리신호의 측정은 온도상승 전에 대한 온도상승 후의 생리신호변화를 관찰하기 위해 LAXTHA의 LXC 1103-RS232장비와 LXE 1104-RS232 장비를 이용하여 각 5분 간격으로 2분 동안의 심전도(EEC, Electrocardiogram)와 뇌파(EEG, Electroencephalogram)를 측정하였다. 심전도는 0.5mV/div의 감도를 가지도록 측정하였고, 80Hz의 저역통과 아날로그 필터를 적용하였으며 시정수는 0.3ms로 설정하였다.

그리고 뇌파는 0.75 μ V/div의 감도를 가지도록 하였고, 30Hz의 저역통과 필터와 0.3ms의 시정수를 적용하여 측정하였다. 생리신호인 심전도와 뇌파가 홀리그램 장비를 통해 수집되어지면, 심전도 신호는 512Hz로 샘플링 하고, 뇌파는 128Hz로 샘플링하여 A/D(DT-3001)보드를 거쳐 분석용 컴퓨터에 저장되도록 하였다.

심전도 측정방법은 표준 전극 유도법으로 침두치의 절대 값의 크기를 가장 크게 나타낼 수 있는 LeadII 방법을 사용하였고, 뇌파는 국제 10-20 표준 전극 시스템(Ten-twenty electrode system)을 기준으로 하여 C3, C4 부위에 부착하였으며, 부착 전극은 2채널 모두 움직임에 의한 잡음을 최소화하기 위해 비분극형 표면 전극인 Ag/AgCl 전극을 사용하여 측정하였다.

<표 4>는 환경물리량(온도, 습도, 기류)과 인체생리량(EEG, ECG, Local skin temperature) 각 요소의 측정위치를 나타내고 있고, <표 5>는 전실과 본실에서 측정항목을 나타내고 있다.

<표 6>와 <표 7>은 주관 설문지 내용중 온냉감신호(TSV, Thermal sensation vote)와 쾌적감신호(CSV, Comfort sensation vote)의 내용을 나타내고 있다.

<표 4> 측정위치

항 목	측정위치	유 형
온도[$^{\circ}$ C]	수직 온도 (바닥으로부터 0.1 m, 0.6 m 1.1 m, 1.7 m)	0.2 mm Φ 열전대
	국부피부온도 (이마, 팔, 손등, 복부, 대퇴, 하퇴, 발등)	
기류[m/s]	중앙 (바닥으로부터 1.1m)	
상대습도[%]	중앙 (바닥으로부터 1.1m)	VAISALA 습도센서
EEG	F3, F4, O1, O2	LAXTHA
ECG	팔목, 발목	LAXTHA

<표 5> 측정항목

전 실	본실
혈압, 맥박	TSV(Thermal Sensation Vote) CSV(Comfort Sensation Vote) 기류감
	LST(Local Skin Temperature) MST(Mean Skim Temperature)
	온도, 습도, 기류
	α wave, β wave, HRV

<표 6> TSV(Thermal Sensation Vote)

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

<표 7> CSV(Comfort Sensation Vote)

-3	-2	-1	0	1	2	3
매우 불쾌하다	불쾌하다	약간 불쾌하다	중립	약간 쾌적하다	쾌적하다	매우 쾌적하다

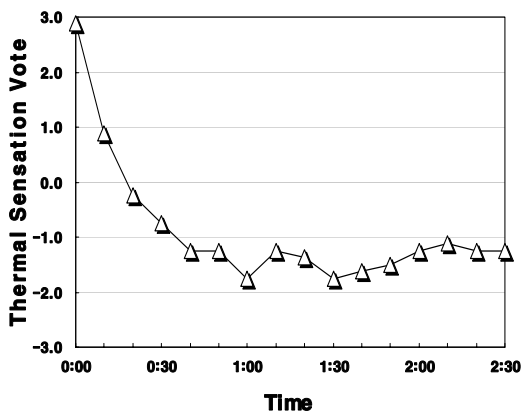
생리신호 분석에서 심전도는 심장에 영향을 미치는 교감신경 및 부교감 신경의 활동의 반응을 보는 HRV(Heart rate variability) 분석을 사용하였다. HRV 분석은 심전도에서 나타나는 파형에서 우선한 시점의 R-peak와 다음 시점의 R-peak 간의 시간 간격을 구하고, 이로부터 얻어진 시간 간격의 이벤트 시리즈를 시간 축에 재배열하여 데이터를 구성하여 특정 주파수 HF (high frequency)와 LF(low frequency) 대역을 추출하여 분석한다.

뇌파분석은 필터링 된 뇌파신호를 FFT를 이용한 파워스펙트럼을 통해 각 특성파형의 주파수 분석을 실시하여 전체 뇌파신호에 대한 α wave 활동 비율 및 β wave 활동비율을 관찰하였다.

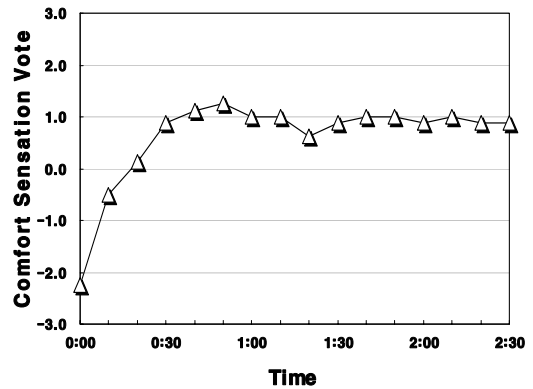
Ⅲ. 실험결과 및 고찰

본 실험의 결과 설정온도에서 초기 1시간까지는 온냉감의 경우 “약간 서늘하다”에서 “서늘하다”쪽으로 이동하지만 온도를 총 2℃ 상승한 시점부터는 지속적으로 실험 완료시점까지 “약간 서늘하다”쪽으로 상승하는 것을 알 수 있다. 또한 쾌적감의 경우에는 실험시작 후 지속적인 “약간 쾌적하다”를 유지하는 것을 알 수 있다. 평균피부온도의 경우 심부온도를 완전히 대표할 수 없으므로, Hardy & Dubois(1968)가 제안한 7점법을 이용하여 산출하였고 실험 결과, 여름철 냉방 시 일반적인 쾌적 영역인 33℃~34℃의 범위보다는 약간 낮은 32.5℃~33℃의 값을 유지하고 있으나 온도상승에 의해 차츰 쾌적 영역으로 이동하는 것을 알 수 있다. 따라서 여름철 냉방 시 인체순응시점에서 온도를 상승시키는 것이 지속적으로 설정온도를 유지하는 것보다 인체의 온열 쾌적성을 유지한다는 것을 알 수 있다.

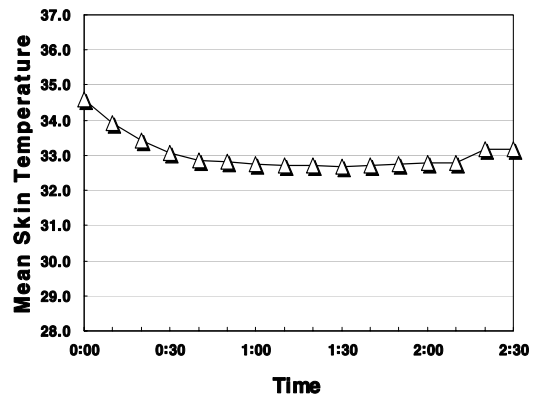
[그림 4]~[그림 6]은 시간에 따른 온냉감·쾌적감에 대한 주관 설문 값과 평균피부온도의 실시간 변화를 나타내고 있다.



[그림 4] 실험시간(150분) 동안의 TSV 변화

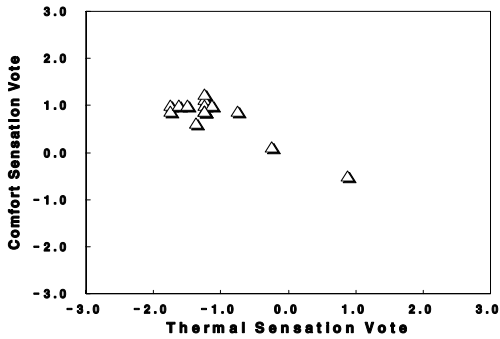


[그림 5] 실험시간(150분) 동안의 CSV 변화

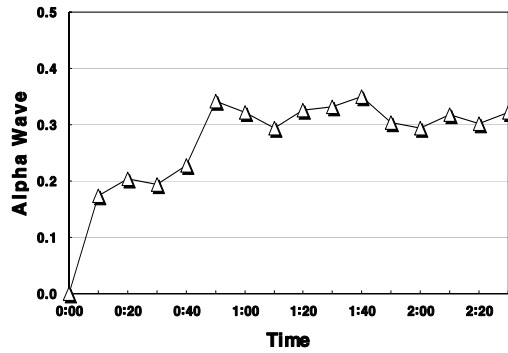


[그림 6] 실험시간(150분) 동안의 MST 변화

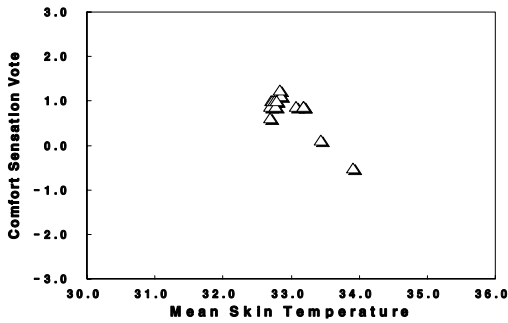
[그림 7]은 CSV가 “약간 쾌적하다”의 영역에 있을 때, 주관적인 온냉감(TSV)은 대부분 “약간 서늘하다”에 분포하는 것을 보여주고 있고, [그림 8]은 CSV가 “약간 쾌적하다”의 영역에 있을 때, 평균 피부온도가 32.5℃~33℃의 범위에 분포하는 것을 보여주고 있다.



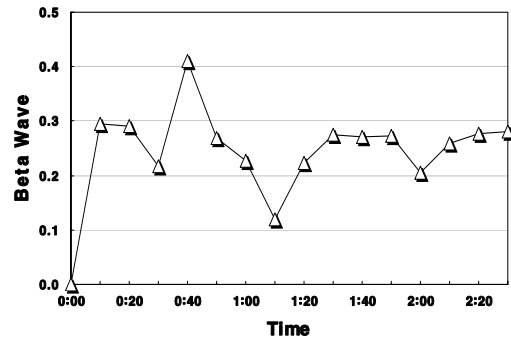
[그림 7] 쾌적감에 대한 온냉감의 분포



[그림 10] 실험시간(150분) 동안의 α wave

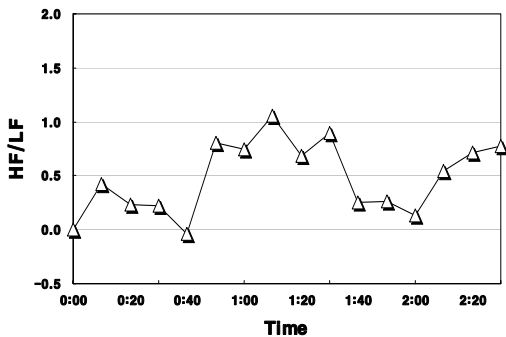


[그림 8] 쾌적감에 대한 평균피부온도의 분포



[그림 11] 실험시간(150분) 동안의 β wave

[그림 9]는 시간에 따른 HF/LF의 변화량을 나타내고 있으며 [그림 10]과 [그림 11]은 α wave 및 β wave의 활동성을 실시간으로 나타낸 것이다.



[그림 9] 실험시간(150분) 동안의 HF/LF

생리신호 분석에서 ECG의 HRV분석 결과 첫 번째 온도상승 조건인 25°C에서는 온도상승 전인 24°C에 비하여 HF/LF 값이 크게 증가하였으나, 이후 HF/LF 값의 증가추세는 다소 변동이 심하게 나타났다. 하지만 EEG의 α wave 활동에서는 자극 제시 전 보다 자극제시 후의 α wave 활동이 크게 증가하였으며 설정온도보다 1°C상승 된 온도의 α wave 활동성이 점점 증가하는 추이를 보였다. 이것은 온도 상승 후에도 인체가 안정적이며 쾌적한 상태를 유지한다는 것을 나타내고 있다.

β wave 활동성에 있어서는 24°C에서 1°C 상승한 25°C 조건에 대해 큰 값의 변화를 보였지만 이후의 온도상승에 대해서는 그다지 큰 변화를 보이지 않았으며 이는 신체의 불쾌감 증가 폭이

감소하는 것을 나타내고 있다.

IV. 결 론

일반적으로 하계에 실내를 설정온도로 계속 유지하는 냉방공조방식과는 다르게 냉방 초기 시점에서 설정온도로 유지되던 실내를 인체순응시점부터 지속적으로 온도를 상승시키는 냉방공조방식을 사용하였을 경우, 냉방 중·후기까지 지속적인 온열 쾌적성과 안정상태가 유지되는 것을 알 수 있었으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 하계 냉방시 인체순응시점에서 지속적으로 온도를 상승시키면서 주관적 설문 데이터를 수집한 결과, 온냉감과 “약간 서늘하다”, 쾌적감은 “약간 쾌적하다”를 지속하여 하계 냉방시 지속적인 온도 상승이 재실자의 쾌적감을 꾸준히 유지시키는데 도움이 된다는 것을 알 수 있었다.

2. 생리량과 생리신호의 경우, 2시간 30분 동안 평균피부온도는 다소 변동을 보이지 않지만 생리신호인 α wave에서는 온도 상승 후 점차 증가 추세를 보여, 온도를 상승시킴으로써 인체가 안정적 쾌적 상태로 도달하는 것을 알 수 있었다. β wave의 비율은 온도 상승 전과 온도 상승 후의 값이 거의 유사하므로 온도 상승에 따른 불쾌한 상태의 증가가 크지 않다는 것을 알 수 있었다.

3. 하계 냉방시 인체순응시점에서 온도를 상승하게 되면 인체쾌적성을 지속적으로 유지할 수 있고, 또한 냉방기기의 에너지절감 효과도 볼 수 있다.

참고 문헌

Fanger, P. O., "Thermal Comfort Analysis and Application in Environmental Engineering", Danish Technical Press, 1970.
 Fanger, P. O., "Thermal Comfort", McGraw-Hill

Book Company, 1972.
 Fukai, K., S. Gotoh, J. Saito, H. Ito, "Experimental Study on Correlation between Standard New Effective Temperature(SET*) and Japanese Thermal Sensation Part1-Analysis of Subjective Judgement in Winter Experiment", The Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, No.48, pp.21~29, 1992.
 Fukai, K. S. Gotoh, J. Saito, H. Ito, S. Akui, "Experimental Study on Correlation between Standard New Effective Temperature(SET*) and Japanese Thermal Sensation Part2-Comparison of Thermal Sensation in Winter and Summer Seasons", The Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, No.51, pp.139~147, 1993.
 Gagge, A. P., Y. Nishi, and R. G. Nevins, "The Role of Clothing in Meeting FEA Energy Conservation Guidelines" ASHRAE Transactions, No.2417, pp.234~247, 1976.
 Gagge, A. P., Y. Nishi, R. R. Gonzales, "Thermal Comfort and Moderate Heat Stress", Building Research Station, pp.229~250, 1973.
 Gagge, A. P., A. P. Fobelets, L. G. Berglund, "A Standard Predictive Index of Human Response to the Thermal Environment", ASHRAE Transaction, Vol.92, Part2, pp.709~731, 1986.
 Hardy, J.D., E.F. Du Bois, "The technic of measuring radiation and convection, The journal of nutrition, Vol.15, pp.461~475, 1968.
 Horikoshi, T., Y. Kobayashi, T. Tsuchikawa, "Indexes of Combined and Independent of Thermal Environmental Variables upon the

- Human Body", ASHRAE Transaction Research, Vol.97, pp.228~238, 1991.
- Tanabe, "Thermal Comfort Requirements in Japan", Ph.D. Waseda University, 1988.
- Yaglou, C. P., W. E. Miller, "Effective Temperature with Clothing, ASHVE Transactions", Vol.31, pp.89~99, 1925.
- 花田嘉代子、三平和雄 "男性用下着類熱抵抗の計測に関する研究"、繊維製品消費科學會誌, pp.31~37, 1983.
- 금중수, "온열쾌적감 측정기술 및 DB개발", 제9회 G7 감성공학 감성요소 기술개발 및 DB구축 workshop 자료집, pp.78~94, 1997.
- 김형철, "온열쾌적성 도달을 위한 냉방 기류 및 온도 변동 조건에 관한 연구", 박사학위 논문, 부경대학교, pp.78~101, 2006.
- 배귀남, 이철희, 이춘식, "여름철 사무실내 한국인의 온열감 평가", 공기조화냉동공학회, 7(2), pp.341~352, 1995.
- 윤정숙, 최윤정, 이성하, "여름철 실내 온열환경의 중성온도 설정에 관한 실험 연구", 대한건축학회논문집, 8(4), pp.73-80, 1992.
- 전정윤, 배누리, "공동주택의 여름철 수용 쾌적 온도 범위와 거주자의 냉방기 사용행위에 관한 연구", 설비공학논문집, 17(5), pp.477~486, 2005.
- 주익성, 김동규, 최광환, 이구형, 임금식, "한국인의 온열쾌적감 및 생리신호에 관한 연구 Part1-겨울철 체감 실험 결과", '97한국감성과학회 연차학술대회논문집, pp.107~112, 1997.