

에어컨 온도변동에 따른 생리신호 변화에 관한 연구

금종수[†] · 김동규 · 김형철*

([†] 부경대학교 · *삼성전자)

A Study of Physiology Signal Change by Air Conditioner Temperature Change

Jong-Soo KUM[†] · Dong-Gyu KIM · Hyung-Chul KIM*

[†] Pukyong National University · *Samsung Electronics

(Received September 21, 2007 / Accepted November 30, 2007)

Abstract

This study evaluates thermal comfort by air conditioner temperature raising at the point of time that human body begins to adapt. Thermal comfort according to change of time enters by uncomfortable area gradually at general cold room temperature that magnetic pole is in human body. However, can know that keep continuous thermal comfort in case raise temperature in human body adaptation visual point. Experiments were performed in environmental chamber. Subjects were selected 4 men and 4 women whose life cycle were proved that are similar. The subjects stay in the pretesting room during the 30 minutes and enter the testing room under each experiment conditions. During the experiment, brain wave, electrocardiogram, blood pressure and thermal comfort and sensation responses were measured. In this study, physiological and psychological responses correspond under temperature raising at human body adaptation.

Key Words : EEG, ECG, α wave, β wave, HRV, HF, LF

1. 서론

최근 여름철 열대야 및 생활수준의 향상에 따라 사무실 및 가정 등에 설치된 에어컨이 고정된 설정온도에 따른 운전을 하고 있다. 이에 따라 실내공간의 거주자는 시간이 지남에 따라 점차 불쾌감을 유발하게 되고 인체의 항상성 및 균형이 흐트러지게 된다. 이와 같은 상황이 지속하면

신체적으로 냉방병 및 무기력증 등의 질환을 유발하며 잦은 냉방기기의 on-off 동작은 불필요한 에너지 소비를 유발하는 중요한 요인으로 작용하고 있다. 또한 지속적인 냉방에 따라 인체는 초기 쾌적함을 느끼는 쾌적 영역에서 공조 중기 및 공조 후기에 따라 점차 불쾌영역으로 진입하여 추위와 불쾌감을 느끼게 된다. 따라서 이러한 점을 고려하여 인체의 온열쾌적감을 유지시키기 위

[†] Corresponding author : 051-620-1504, jskum@pknu.ac.kr

*이 논문은 2005년 부경대학교 연구년 교수지원에 의하여 연구되었음(PS-2005-017).

한 다양한 연구가 국내외에서 진행되었다(Fanger, 1970; Fanger, 1972; Tanabe, 1988; 김 등, 1997; 김 등, 2006; 주 등, 1997). 본 연구와 관련된 일련의 선행연구를 고찰하면 에어컨의 설정온도를 24℃에서 27℃까지 점차적으로 상승시키면서 피험자의 생리신호를 분석한 결과 냉방 중·후기까지 온열쾌적성과 안정상태가 유지된다고 하였다(김 등, 2006). 또 다른 연구에서는 24℃ 및 26℃ 일정조건으로 유지되는 조건과 공조초기 조건 24℃ 및 26℃로 유지되는 조건에서 인체순응 후 온도를 1℃를 상승시키는 조건에 대하여 주관 설문, 피부온도 측면에서 비교 분석한 결과 인체순응 이후 온도상승 효과는 에너지 절약에 기인할 수 있음을 제시하였다(김 등, 2006).

본 연구는 선행연구(김 등, 2006)인 24, 26℃ 조건에서 인체가 쾌적 영역 상태에서 불쾌영역 상태로 이동하는 시점인 인체 순응시점 이후에 온도를 1℃ 상승시킨 조건에 대하여 인체의 생리신호인 뇌파와 심전도의 시간별 분석을 통해 온도상승 변화에 따른 생리신호 변화에 대하여 분석하였다. 이는 온열환경요소의 변동에 따른 개인의 생리적 반응을 임상병리학적으로 접근한다면 개인의 주관이나 심리적 반응을 유추할 수 있으므로 온열쾌적성 평가를 객관적으로 할 수 있다. 따라서 본 연구는 인체순응시점에서 온도상승으로 인한 에너지 절약 및 온열쾌적성 유지에 대한 생리신호 분석의 타당성에 관한 기초자료를 제공하는 것을 본 연구의 목적으로 하였다.

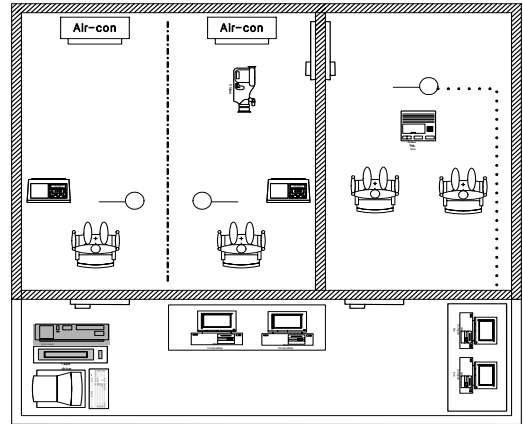
II. 본 론

1. 실험실 및 실험조건

실험은 온도 및 습도 조건을 유지할 수 있는 향온향습실(4.1m×2.7m×4.9m)에서 실시하였다. 실험 온습도 조건은 향온향습기를 통해 일정하게 유지시켰으며 기타 요소를 배제하기 위해 향온향습실 내부인 벽, 천정, 바닥을 단열재로 단열하여

기밀성을 높였다. 실험실내 기류는 에어컨 기류와 동일한 기류를 만들기 위해 기류발생기를 제작하여 실험에 사용하였다.

[그림 1] 및 <표 1>은 실험실 개략도 및 향온향습기의 사양을 나타내고 있다.



[그림 1] 실험실 개략도

<표 1> 향온향습기 사양

항목	제어범위
공기온도	10℃ ~ 40℃ ±1℃
공기습도	30% ~ 80% ±5%
제어 컨트롤러	SCR
냉각능력	9500 W
가열능력	14,000 W
가습능력	8 l/h
감습능력	1.8 l/h

<표 2>는 실험 설정조건과 관련된 것으로 피험자는 전실에서 30분 동안 체재한 후 실험실에 입실하여 90분 동안 실험에 임하였다. 인체순응 시점에서 온도 1℃ 상승조건으로서 설정온도 24℃는 30분 후 1℃ 상승, 26℃는 40분 후 1℃ 상승하여 유지하였다. 피험자는 신체 건강한 남녀 대학생 8명으로 하였으며, 신체특성을 파악하기 위해 혈압, 맥박을 체크하였으며, 피험자 특성은 <표 3>과 같다.

<표 2> 실험 설정조건

항목	전실	실험실	
		24→25	26→27
온도[℃]	33±2.5	24→25	26→27
상대습도[%]	50±5	50±5	50±5
기류속도[m/s]	0.15이하	0.25±0.05	0.25±0.05
상승시점[min.]	-	30	40

<표 3> 실험에 참가한 피험자의 신체적 특징

피험자	수	나이 [세]	체중 [kg]	신장 [m]
남자	4	25.0±1.7	60.3±5.5	1.70±5.7
여자	4	22.3±2.2	50.3±5.1	1.59±3.4

실험에 참가한 피험자는 남녀 동일한 값으로 실험하기 위해 모두 유니폼을 착용시켰으며, 의복 중량법으로 착의량을 계산한 결과 0.35clo로 계산되었다(花田嘉代子, 1983). 또한 피험자들은 실험시 의자에 앉은 상태에서 가벼운 독서 및 설문을 할 수 있는 정도이므로 활동량은 1.1m로 하였다(김, 1998).

2. 측정항목 및 측정방법

피험자 주위 환경 물리량으로 온도, 기류, 습도를 바닥으로부터 1.1m 높이에서 측정하였으며, 온냉감 및 쾌적감 등의 설문을 통해 피험자의 주관적인 반응을 파악하였다. 인체의 생리량 파악을 위해, 생리신호의 측정은 자극제시 전후의 생리신호변화를 관찰하기 위해 자극제시 30분전부터 각 5분 간격으로 2분 동안의 심전도(ECG)와 뇌파(EEG)를 측정하였다. 심전도는 0.5mV/div의 감도를 가지도록 측정하였고, 80Hz의 저역통과 아날로그 필터를 적용하였으며 시정수는 0.3ms로 설정하였다. 그리고 뇌파는 0.75µV/div의 감도를 가지며, 30Hz의 저역통과 필터와 0.3ms의 시정수로 측정하였다. 환경 물리량은 데이터 기록계(MODEL3880)를 통해 PC에 매 10초 간격으로 저장하였으며, 생리신호인 뇌파와 심전도는 폴리그램 장비를 통해 측정되어진 심전도 신호를

512Hz로 샘플링 하고, 뇌파는 128Hz로 측정하여 A/D(DT-3001)보드를 통해 분석용 컴퓨터에 저장하였다. <표 4>는 측정을 위한 센서위치, <표 5>는 측정항목을 나타내고 있다. 피험자의 주관적인 심리반응을 분석하기 위해 실험에 사용한 설문지 내용과 척도는 <표 6>과 같다.

<표 4> 측정을 위한 센서의 위치

Item	Position	Type
온도	수직온도(바닥으로부터) (0.1m, 0.6m, 1.1m, 1.7m)	Thermocouple Φ0.2 mm
기류 속도	실 중앙(바닥으로부터) 1.1m	
상대 습도	실 중앙(바닥으로부터) 1.1m	Humidity sensor VAISALA
EEG	F3, F4, O1, O2	LAXTHA
ECG	Wrist, Ankle	LAXTHA

<표 5> 실험도중 피험자 측정항목

전실	실험실
혈압 맥박	온냉감(TSV), 쾌적감(CSV)
	온도, 상대습도, 기류속도
	EEG, ECG

<표 6> 온냉감 및 쾌적감 척도

TSV(Thermal Sensation Vote)						
-3	-2	-1	0	1	2	3
춥다	서늘하다	약간 서늘하다	중립	약간 따뜻하다	따뜻하다	덥다
CSV(Comfort Sensation Vote)						
-3	-2	-1	0	1	2	3
매우 불쾌하다	불쾌하다	약간 불쾌하다	중립	약간 쾌적하다	쾌적하다	매우 쾌적하다

3. 생리신호분석

생리신호 분석을 위해 HRV 분석(심박수 변이도; Heart Rate Variability) 및 뇌파분석을 사용하였다. HRV 분석의 개념은 심장박동 파형에서 우선 한 시점의 R-peak와 다음 시점의 R-peak 간의 시간간격을 구하고, 이로부터 얻어진 시간간격의 이벤트 시리즈를 시간 축에 재배열하여

HRV 데이터를 구성하고 이에 대한 주파수 분석을 함으로서 특정 주파수 영역인 HF(부교감high frequency)와 LF(교감low frequency)대역을 추출하여 HRV 분석을 수행하였다.

HRV 분석은 심장에 영향을 미치는 교감심경 및 부교감 신경의 활동과 같은 자율신경계의 반응을 나타내는데 사용되어진다. 심장은 좌우 한 쌍씩의 축진신경과 억제신경에 의해 제어되어지며 심장의 박동수는 생체 내외 환경온도의 영향에 민감하게 반응한다. 축진신경은 교감신경이며 억제신경은 미주신경이다. 교감신경계는 주로 스트레스 상황에서 활성화되며 부교감 신경계는 편안하고 이완된 상태에서 활성화된다. 즉 교감신경을 자극하면 심박동수가 증가하게 되고 반대로 미주신경을 자극하면 심박동수가 감소하게 되므로 온열환경에 의한 영향을 민감하게 제시해 줄 수 있다(Bootsman,1994, 강 등, 2007).

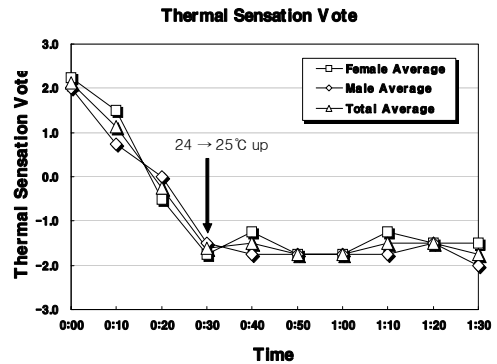
뇌파분석은 디지털 필터를 이용하여 뇌파 상에 포함되어 있는 전원노이즈나 동작에 의한 노이즈 등을 제거하여 필터링 된 뇌파신호를 FFT를 이용한 파워스펙트럼을 통해 각 특성파형의 주파수 분석을 실시하여 전체 뇌파신호에 대한 알파(α)파(8-13Hz) 및 베타(β)파(13-30Hz) 활동 비율을 구하였다. 알파(α)파는 정상 성인에 있어 긴장이 완과 같은 편안한 상태에서 주로 나타나고, 베타(β)파는 깨어 있을 때, 말할 때와 같이 모든 의식적인 활동을 할 때 나타난다. 특히, 불안한 상태나 긴장 하고 있을 때나 복잡한 계산 처리시에 우세하게 나타나기도 한다(www.laxtha.com). 이러한 뇌파의 알파(α)파와 베타(β)파의 상관성을 관찰하면 온열환경에 따른 인체의 쾌적성을 평가하는 지표로 활용 가능하다. HRV 분석과 뇌파분석에 있어 피험자 개인의 특성값을 고려하기 위하여 자극 전 측정값에 대한 HF/LF값과 알파(α)파 비율, 베타(β)파 비율의 평균치에 대한 자극 후 측정값에 대한 HF/LF 값과 알파(α)파 비율, 베타(β)파 비율의 변화를 비교하는 방법으로 (자극-무자극)/무자극 이라는 수식을 이용하여 정

규화 하였다.

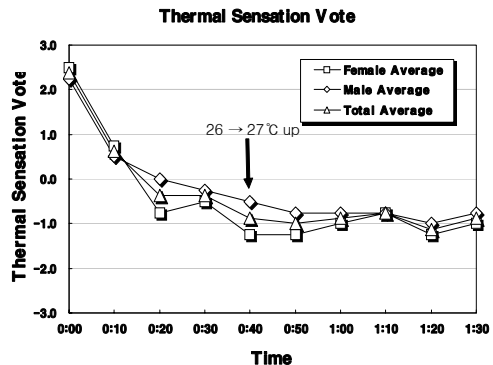
Ⅲ. 실험 결과

1. 주관 설문

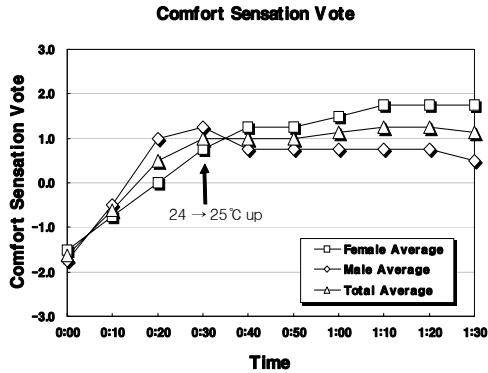
[그림 2] - [그림 5]는 온냉감과 쾌적감의 경시변화를 나타내고 있다. 24℃ 및 26℃ 모두 인체 순응시점에서 온도가 1℃ 상승 후 온냉감 및 쾌적감 모두 유지되고 있음을 알 수 있다. 24℃ 조건에서 여자 피험자는 온도 상승 이후 쾌적감은 남자 피험자에 비해 다소 상승하는 경향을 나타냈고, 26℃에서는 상승 경향이 상대적으로 적었다. 여자 피험자는 인체 순응이후 불쾌영역으로 진입하려는 시기에 온도를 상승시키는 효과가 쾌적감적인 측면에서 남자보다 저온에 민감한 여자에게 더 큰 영향을 준다고 판단된다.



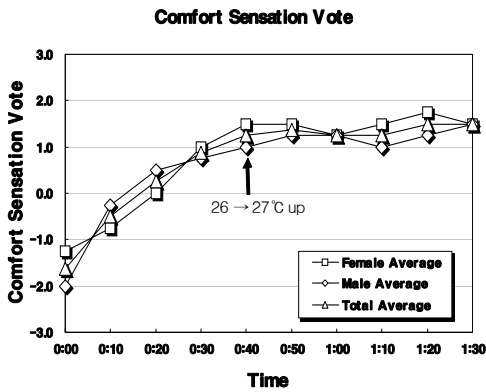
[그림 2] 온냉감의 경시변화 (24℃→25℃)



[그림 3] 온냉감의 경시변화(26℃→27℃)



[그림 4] 쾌적감의 경시변화 (24°C→25°C)

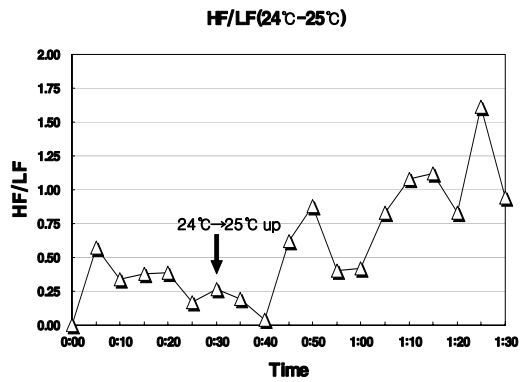


[그림 5] 쾌적감의 경시변화 (26°C→27°C)

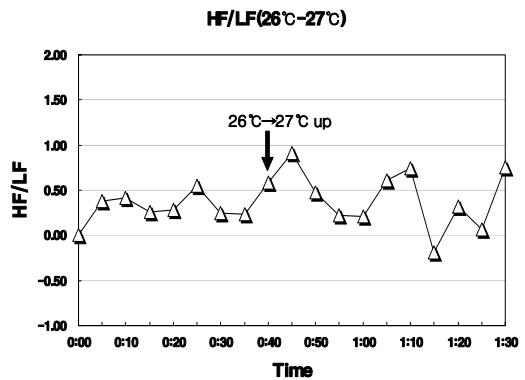
2. 생리신호

[Fig 6] - [Fig 7]은 실험시간 90분 동안 HF/LF의 경시변화를 나타내었다. 본 실험의 HRV 분석결과에서는 자극 전 HF/LF 값에 대하여 자극제시 후에 나타나는 HF/LF 값의 변화를 온도상승 전과 온도상승 후로 나누어 각 30분 및 40분 동안의 시간만큼 평균을 구하여 분석하였다. 분석결과 실험조건 24°C의 경우 자극 제시 전 온도조건 보다 높은 HF/LF 값을 나타내었다. HF/LF 값의 변화는 24°C 0.35에서 25°C 0.43으로 증가하였고, 온도 상승 시점을 기준으로 급격하게 상승하는 경향을 알 수 있다. 실험 조건 26°C의 경우에는 HF/LF 값이 자극제시 전보다 후에

상승하였으나($\Delta 10.8\%$) HF/LF 값의 변화폭은 24°C 조건($\Delta 22.9\%$)보다 적은 경향을 나타내었지만, 통계적으로 유의차는 없었다. 이와 같이 자극 제시 전(온도상승 이전)에 비해 후(온도상승 이후)에 HF/LF 값이 상승하는 경향은 스트레스와 관련된 교감신경의 활동에 비해 편안함 및 이완과 관련된 부교감 신경의 활동이 크게 작용했음을 알 수 있다. 따라서 HRV분석결과 순응이후 인체는 온도 상승 자극을 통해 편안하고 안정된 상태로 진행된다고 판단되며, 주관설문 반응과도 일치하는 경향을 나타냈다.



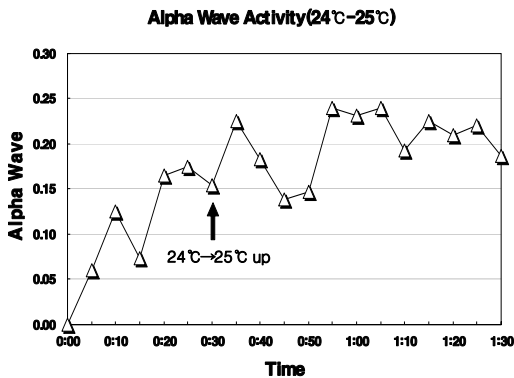
[그림 6] HF/LF 경시변화 (24°C→25°C)



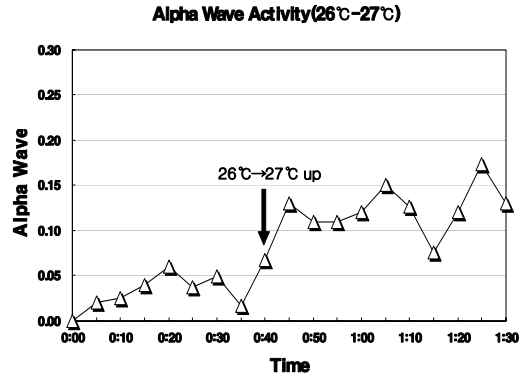
[그림 7] HF/LF 경시변화 (26°C→27°C)

[그림 8] - [그림 11]은 알파(α)파 및 베타(β)파의 경시변화를 나타내었다. 뇌파분석결과 알파

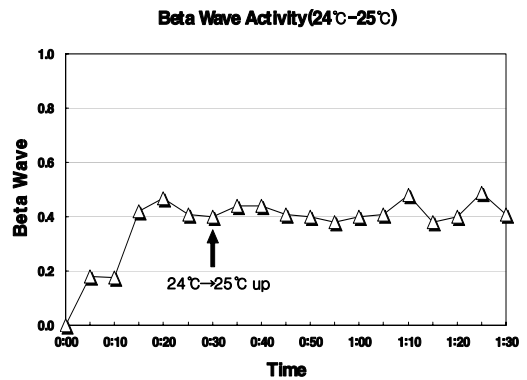
(α)파 활동은 24°C에서 25°C로 온도가 상승한 경우 자극 전 온도조건에 비하여 자극제시 후 알파(α)파 활동은 증가하여 편안한 상태로 진행하였음을 알 수 있다. 또한 26°C에서 27°C로 온도 상승 조건에서도 상승함을 나타내었지만, 24°C에 비해 증가율은 크게 나타났다. 베타(β)파 역시 증가하는 경향, 즉 각성의 상태로 이행되고 있음을 나타내었다. 24°C의 경우 온도 상승 전 조건에 비하여 약간 증가하였을 뿐 자극제시 후 20분경부터는 일정한 값으로 유지되었고, 온도 상승 전, 후 조건사이에는 유의차는 없었다. 반면에 26°C에서는 온도상승 전 조건에 비하여 온도 상승 후 조건인 27°C조건에서 베타(β)파 증가율은 상승함을 나타내었지만, 유의차는 없었다. 이상의 생리신호 반응 결과를 정리하여 <표7>에 나타내었다. 인체 순응을 고려하여 온도를 상승시키는 조건에 대한 인체 생리반응은 HF/LF의 경우는 온도 상승이후 증가하는 경향을 나타내었고, 알파(α)파 및 베타(β)파 역시 같은 경향을 나타내었지만, 증가율 폭은 다소 다른 경향을 보였다. 이는 인체순응 이후 에너지 절약을 위하여 온도를 상승시키는 경우 인체는 안정 및 각성의 상태로 도달함을 알 수 있다.



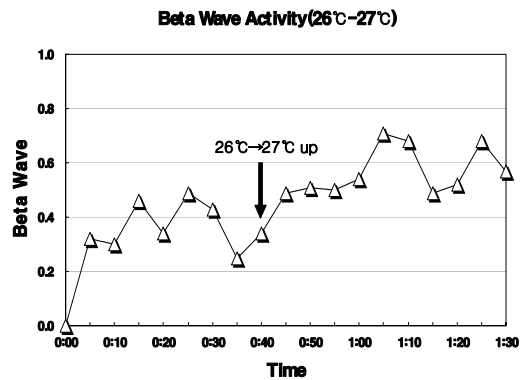
[그림 8] 알파(α)파 경시변화 (24°C→25°C)



[그림 9] 알파(α)파 경시변화 (26°C→27°C)



[그림 10] 베타(β)파 경시변화 (24°C→25°C)



[그림 11] 베타(β)파 경시변화 (26°C→27°C)

<표 7> 알파(α)파, 베타(β)파, HF/LF 평균값 변화 추이

생리신호	24℃ → 25℃ (온도 1℃ 상승)	26℃ → 27℃ (온도 1℃ 상승)
알파(α)파	0.13 → 0.19* △46.1%	0.04 → 0.12* △200%
베타(β)파	0.34 → 0.41* △20.6%	0.37 → 0.56* △51.3%
HF/LF	0.35 → 0.43* △22.9%	0.37 → 0.41* △10.8%

* Not Significant(p = 0.05)

IV. 결론

여름철 에어컨 사용 시 에너지 절약을 위해 인체순응시점에서 온도를 상승 시켰을 때 인체에 미치는 영향을 생리신호를 통하여 정량적으로 분석한 결과는 다음과 같다.

1)온냉감 및 쾌적감의 경시변화를 고려할 때 여자 피험자는 인체 순응이후 불쾌영역으로 진입 하려는 시기에 온도를 상승시키는 효과가 쾌적감적인 측면에서 남자보다 저온에 민감한 여자에게 더 큰 영향을 나타내었다.

2)심전도 분석에 있어 설정온도 24℃의 경우 자극 전 HF/LF 값에 비해 온도 1℃상승 후 HF/LF 값의 증가율은 △22.9%를 나타내었고, 설정온도 26℃의 경우 자극 전후의 HF/LF 값의 증가율은 △10.8%로 24℃ 조건보다 적었지만, 온도 상승 자극을 통해 편안하고 안정된 상태로 진행되었다.

3) 뇌파 분석을 통한 알파(α)파 및 베타(β)파 변화의 경향은 모든 조건에 있어 자극 전 온도조건에 비하여 자극제시 후에 증가하였고 증가율은 24℃조건에 비해 26℃ 조건이 크게 나타났다. 뇌파분석을 고려할 때 온도 상승 자극은 인체를 안정 및 각성의 상태로 진행시키는 것으로 나타났다.

4) 온도상승에 따른 인체의 생리반응을 분석한 결과 HRV 및 뇌파의 주파수 분석결과와 인체 주관반응이 서로 일치하였고, 인체의 온열쾌적감을 평가하는데 유용한 도구로서 사용가능함을 알 수 있었다.

5) 심전도 분석과 뇌파분석에 있어 설정온도 조건에 따른 자극 전후의 증가율 폭의 차이가 발생하였으며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

참고 문헌

강석중, 금종수, 김동규, 신병환, 정용현, 이낙범(2007). “온도변동에 따른 인체 생리적 반응 (Part 1. HRV 및 심박수를 중심으로)”, 대한설비공학회 2007하계학술발표대회 논문집, 211 ~ 216.

금종수(1997). “온열쾌적감 측정기술 및 DB개발”, 제9회 G7 감성공학 감성요소 기술개발 및 DB 구축 workshop 자료집, 78~94.

김동규(1998). “한국인의 온열쾌적감 평가 및 쾌적지표의 적용성에 관한 연구, 박사학위논문. 부경대학교.

김형철(2006). “온열쾌적성 도달을 위한 냉방기류 및 온도변동 조건에 관한 연구”, 박사학위논문, 부경대학교, 78~101.

김형철, 금종수, 김동규, 정용현(2006). “에어컨 온도상승에 따른 온열쾌적성 변화에 관한 연구”, 수산해양교육연구 18(2), 77~84.

김형철, 금종수, 신병환, 정용현(2006). “에어컨 온도변동에 따른 온열쾌적감 평가 및 생리신호 변화에 관한 연구”, 수산해양교육연구 18(1), 11~18.

주익성, 김동규, 최광환, 이구형, 임금식(1997). “한국인의 온열쾌적감 및 생리신호에 관한 연구”, 97한국감성과학회 연차학술대회논문집, 107~112.

花田嘉代子, 三平和雄(1983). “男性用下着類熱抵抗の計測に關する研究”,纖維製品消費科學會誌, 31~37.

Bootsman, M.(1994). C.A. Swenne, H. Van. Brusckhe, “Heart rate and heart rate variability as indexes of symphahtovagal

- balance", Am. J. Physiol., 226, 1565~1571.
- Fanger, P. O.(1970). "Thermal Comfort Analysis and Application in Environmental Engineering", Danish Technical Press.
- Fanger, P. O.(1972). "Thermal Comfort", McGraw-Hill Book Company.
- Tanabe(1988). "Thermal Comfort Requirements in Japan", Ph.D. Waseda University.
<http://www.laxtha.com>