

학습환경에서 불쾌적온도에서 쾌적온도로의 변화시 생체신호 및 주관적 반응에 대한 실험적 연구

An Experimental Study of the Bioelectrical Signals and Subjective Response in Changing from Unpleasant to Pleasant Temperatures in a Learning Environment

임광현(Gwanghyun Im)¹, 김진현(Jinhyun Kim)¹, 박차식(Chasik Park)², 조홍현(Honghyun Cho)^{3*}

¹조선대학교 대학원, ²호서대학교 기계공학부, ³조선대학교 기계공학과

¹Graduate school of Mechanical Engineering, Chosun University, Gwangju, 61450, Korea

²Department of Mechanical Engineering, Hoseo University, Asan, 31499, Korea

³Department of Mechanical Engineering, Chosun University, Gwangju, 61450, Korea

(Received July 8, 2015; revision received August 4, 2015; Accepted: August 12, 2015)

Abstract In this study, experiments using bioelectronic signals and questionnaire surveys were carried out in learning conditions when temperatures changed from low- and high-uncomfortable to comfortable. As a result, the stress factor Photoplethysmography (PPG) decreased, while the Root Mean Square of Standard Deviation (RMSSD) of PPG increased when the indoor temperature was changed from low- or high-uncomfortable to comfortable. Additionally, the absolute power of the α -wave in the brain increased. According to the analysis of the association between the questionnaire and bioelectronic signals, the standard deviation of the stress factor as measured by pulse was closely related to the result of the thermal sensation questionnaire. In addition, it was found that the concentration on studying improved under comfortable temperatures when compared to uncomfortable temperatures.

Key words Biological electricity(생체전기신호), Electroencephalogram(뇌파), Photoplethysmography(광용적맥파), Comfort sensation vote(쾌적감설문), Thermal sensation vote(온열감설문)

† Corresponding author, E-mail: hhcho@chosun.ac.kr

기호설명

A_D : 체표면적 [m^2]
 CSV : 쾌적감 설문
 CLV : 집중도 설문
 EEG : 뇌전도
 I : 의복의 단위 clo당 열저항
 I_{cl} : 의복 착용시 단위 clo당 열저항 [clo]
 MST : 평균피부온도 [$^{\circ}C$]
 PPG : 광용적맥파
 $RMSSD$: 평균편차 [ms]
 TSV : 온열감 설문

하첨자

clu_i : 의복 i의 유효 절연도
 D : DuBios 값

그리스 문자

a : 알파파 [8~13 Hz]

1. 서 론

현대사회에서 사람은 하루 중 80% 이상의 시간을 실내공간에서 생활하고 있다. 이에 신축건축물은 단열건축자재를 사용하여 기밀성을 향상시킴과 동시에 중앙공조시스템을 이용하여 실내공기를 제어하며 에너지 절약 및 효율성 향상을 도모하고 있다. 또한 자동차와 같은 밀폐된 공간에서의 공조기술이 점점 중요시되고 있다.

그러나 현재 실내 공조시스템의 대부분은 중앙 제어 설비에 의하여 실내 환경이 조절되기 때문에 근무자가 직접 실내 환경을 조절할 수 없다는 단점이 있다. 또한 사람은 각각의 체형과 체질에 따라서 다른 온열만족감을 가진다. 이와 같은 문제로 인하여 재실자의 온열 쾌적감을 충족시키지 못하고, 학습 집중력 또는 업무생산성 등이 저하된다.

인체의 온열 쾌적성은 온열감(Thermal Sensation Vote, CSV), 쾌적감(Comfort Sensation Vote, TSV)과 같은 주

관적 쾌적성 측정기법을 이용하여 측정되어 왔으나 생체전기신호 측정기술의 발달로 인하여 대뇌피질의 전기적 활동을 측정하여 뇌기능의 변화를 관찰하는 뇌전도(Electroencephalography, EEG)와 심장에서 분출되는 혈액이 유한한 속도로 전달되는 맥동을 근적외선을 이용하여 측정한 광용적 맥파측정법(Photoplethysmography, PPG)을 이용하여 인체쾌적성의 정도를 객관적으로 측정할 수 있게 되었다. 최근 삶의 질과 에너지 문제와 연관되어 실내 환경에서 학습 집중력 또는 업무의 생산성 및 쾌적성을 만족하는 최적의 환경에 대한 관심이 지속적으로 높아지고 있어 이러한 기술을 활용한 연구의 중요성이 대두되고 있다.

이에 생체전기신호인 맥파와 뇌파를 이용하여 재실자의 변화도를 관찰하는 연구가 국내외적으로 활발하게 진행되고 있다. 우선 국내에서는 Lee et al.,⁽¹⁾ Lee and Chun⁽²⁾은 실내온도 변화에 따른 재실자의 주의집중도를 뇌파를 이용하여 연구하였으며 또한 바닥온도의 변화에 따라 신체이완에 미치는 영향에 대해서도 연구하였다. Kum et al.^(3,4)은 에어컨 온도변화에 따른 실내 온도의 변화를 심전도와 뇌파를 이용하여 연구하였으며 또한 여름철 실내의 온도차에 따른 인체의 온열쾌적성을 평가하였다. Kim et al.⁽⁵⁾은 여름철 수면시의 온열쾌적감을 평균피부온도와 생리신호를 이용하여 평가하였다. 그리고 Kim and Kim⁽⁶⁾은 전두엽과 두정엽의 뇌파를 이용한 쾌적성 평가 방법을 연구하였으며 Kang and Song⁽⁷⁾은 자연풍의 변동 특성을 적용한 에어컨의 물리적 특성 및 쾌적성을 피부온도를 이용하여 평가하였다.

국외에서는 Lan et al.⁽⁸⁾은 다양한 공기온도에서 수면 상태의 피험자의 온열쾌적감을 평균 피부온도(Mean skin temperature, MST)와 주관적 열쾌적 설문을 이용하여 평가하였으며, Liu et al.⁽⁹⁾은 안정되거나 불안정한 환경 하에서 피험자의 평균 피부온도의 변화에 대하여 연구하였으며, Nguyen et al.⁽¹⁰⁾은 고온다습한 동남아 기후에서의 순응열쾌적 모델을 주관적 열쾌적 설문을 이용하여 상관식을 개발하였다. 또한, Yao et al.⁽¹¹⁾은 다양한 온도에서의 열쾌적 모델을 다양한 평균 피부온도 상관식과 뇌파를 이용하여 분석하였다.

많은 연구들이 국내외에서 활발히 진행되고 있으나 최근의 연구동향은 쾌적온도 범위에서만 생체전기신호 변화에 관련한 연구가 대부분이며 불쾌적한 온도영역에서 쾌적한 환경으로 변화에 따른 인간의 생체전기신호 변화에 대한 연구는 찾아보기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 상대습도 50%에서 불쾌적온도(15℃, 35℃) 조건에서 쾌적온도(22.5℃, 25℃) 대역으로 변화하는 동안 피험자의 뇌파와 맥파 신호를 측정 및 분석하였으며 이를 통하여 차후 스마트 실내 공조시스템 또는 사람-장치 간 인터페이스(Human Machine Interface)에 적용될 알고리즘에 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구의 실험진행 장소는 대학 내에 위치한 8.5×4.5×3.5(W×D×H, m³) 크기의 항온항습실에서 실시하였다. 항온항습실 외부에 단일덕트 방식의 공조기기를 설치하여 실험실과 연결된 덕트를 이용하여 온도와 습도를 조절하였으며, 실험의 정확성을 위하여 내부의 천정, 벽면, 바닥을 단열 시공하여 기밀성을 높였다. 실험에 사용된 실험실의 개략도는 Fig. 1에 나타나 있으며, 자세한 사양은 Table 1과 같다.

본 연구는 재실자의 생체신호 변화를 관찰하기 위하여 뇌파 측정장치와 맥파 측정장치를 이용하였다. 뇌파 측정 장치는 EPOC(Emotiv Inc.)를 사용하였으며 이 전극들은 생리식염수를 적신 습식전극으로써 전극의 배치는 국제 전극 배치법인 international 10~20 System에 의하여 2개의 기준전극(CMS, DRL)을 이용하여 14개의 측정 채널을 사용하여 측정하였다. 뇌파 측정 위치의 배치도는 Fig. 2와 같으며 사양은 Table 2와 같다.

맥파 측정장치는 광용적 맥파(PPG) 방식을 적용한 uBioMacpa(Biosensecreative Inc.)를 이용하였으며 피험자의 왼손 검지에 측정 장비를 착용하였다. 맥파 측정 장비의 자세한 사양은 Table 3과 같다.

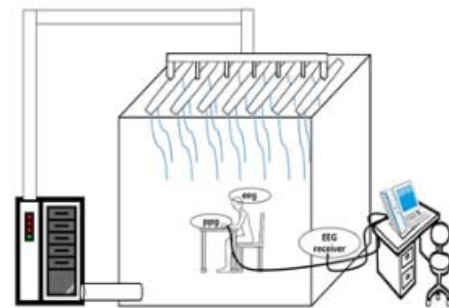


Fig. 1 Schematic of the artificial climate.

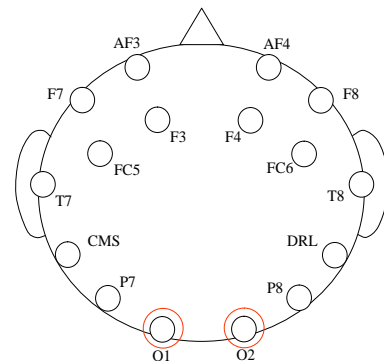


Fig. 2 Electrode location for EEG test.

Table 1 Specification of the Artificial climate

Temperature(°C)	-20~60
Relative humidity(%)	5~95
Air flow rate(CMM)	400
Measurement error(%)	±1.5

Table 2 Specification of a EEG sensor

Sampling rate(Hz)	128
Resolution(bit)	16
Band pass filter(Hz)	0.2~45
Notch filter(Hz)	50~60

Table 3 Specification of a PPG measuring set

Measuring range(BPM)	40~200
Measurement error(%)	±2
Band pass filter(Hz)	0.15~4

2.2 피실험자 조건

피실험자 집단은 신체건강한 대학생으로 기본 심리 및 건강상태 설문조사를 통하여 선발된 남성 10명을 대상으로 실험을 진행하였다. 피실험자 모두 주의력 결핍장애, 간질, 알코올 중독과 같은 신경정신계 질환 병력이 없었으며, 심전도 및 기타 검사결과가 정상이었음을 확인하였다. 모든 피험자들은 실험 1주일 전 사전교육을 통하여 실험 과정에 대하여 설명하였으며 추가적으로 실험결과에 정확성 향상을 위하여 실험 12시간 전 인간의 인지기능에 영향을 줄 수 있는 알코올, 담배, 카페인 섭취 및 수면제, 기타 약물 등의 복용을 제한하였으며, 실험 당일 검사를 통하여 실험 진행이 어렵다고 판단될 경우, 피험자에서 제외하였다. 실험에서 진행된 피험자의 평균적인 연령 및 신체적 조건은 Table 4와 같다.

인체가 입고 있는 의복의 양을 착의량($1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$)이라고 하는데 본 실험에서는 모든 실험조건에서 피험자의 착의량을 동일하게 적용하였으며 착의량 계산식은 McCullough et al.⁽¹²⁾의 식을 사용하였다. 피험자가 착용한 의복의 개별 착의량 값은 Table 5와 같다.

$$I_{cl} = 0.835 \sum_i I_{du,i} + 0.161 \quad (1)$$

위 식을 이용하여 착의량을 계산한 결과 약 0.43 clo ($\approx 0.067 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$)가 나왔으며 대사량은 피험자가 편안한 상태로 앉아있으면서 가벼운 대화와 설문지를 작성하는 상태이므로 1.2 met($= 70 \text{ W/m}^2$)로 가정하였다.⁽¹⁴⁾

Table 4 Anthropometry data of the subjects

Gender	Number of subjects	Age	Weight (kg)	Height (m)	Body area (m ²)
Male	10	25.7 ±1.3	68.1 ±9.9	172.8 ±3.8	1.8 ±0.13

Body area calculated by DuBois et al.⁽¹³⁾

$$A_D(\text{m}^2) = 0.202 \times m^{0.425} \times l^{0.725}$$

Table 5 Garment insulation values

Garment Description	I _{clu,i} (clo)
T-shirt	0.08
Men's briefs	0.04
Athletic socks	0.02
Trousers(thin)	0.15
Slippers	0.03

2.3 실험 방법

피험자는 전실에서 25°C 뇌파와 맥파 측정 장치를 부착하여 15분간 안정시킨 뒤 5분간 혈압과 맥박을 측정 후 항온항습실로 입실하였다. 항온항습실에서는 피험자가 외부요인에 의한 방해요소를 배제하기 위하여 사무용 책상위엔 필기구와 문체지, 설문지, 측정 장비만을 비치하였으며 시선의 분산을 막기 위하여 가림막을 주변에 설치하였다.

1차 실험은 저온변화 실험으로서 15°C로 설정된 항온항습실로 입실하여 15분간 안정 후 5분간 자가 학습을 수행하는 동안 뇌파와 맥파를 측정하였다. 이후 2.5°C씩 온도를 증가하면서 5분의 온도 변화를 체감하고 10분간 안정 후 27.5°C까지 같은 방법으로 실험을 진행하였다. 2차 실험은 고온변화 실험으로 35°C로 설정된 항온항습실로 입실하여 15분간 안정 후 5분간 자가 학습을 수행하는 동안 뇌파와 맥파를 측정 하였다. 이후 2.5°C씩 온도를 내려가면서 1번 안정화 과정과 동일하게 22.5°C까지 같은 방법으로 실험을 진행하였다. 또한, 각각의 조건에서 피험자가 매회 생체신호를 측정할 때마다 주관적 설문지를 통하여 학습을 수행할 때 피험자 변화도를 조사하였다. Table 6은 본 연구에서 사용된 저온 및 고온변화 실험에 대한 시간표이며, Table 7은 실험간 피험자 측정항목을 나타내고 있다. 그리고 Table 8은 피험자들에게 제시한 주관 설문항목을 보여주고 있다.

뇌파실험결과 분석을 위하여 Emotiv사에서 제공되는 Testbench 프로그램을 이용하여 후두엽의 α파의 세기를 분석하였다. 맥파 실험결과 분석은 제조사에서 자체 제공되는 uBioMacpa Vital 프로그램을 이용하여 측정을 진행한 후 분석기능을 이용하여 스트레스 지수와 심장박동 평균 편차(RMSSD)의 분석을 수행하였다. 또한, 주관적 설문결과인 온열감, 쾌적감, 집중도

Table 6 Test condition of 1st- and 2nd-experiment

1 st -test	2 nd -test	Time table
Temperature(°C)	Temperature(°C)	(min)
15	35	20(S : 15, M : 5)
17.5	32.5	40(S : 15, M : 5)
20	30	60(S : 15, M : 5)
22.5	27.5	80(S : 15, M : 5)
25	25	100(S : 15, M : 5)
27.5	22.5	120(S : 15, M : 5)

S : Stability, M : Measurement

Table 7 The subjects list of measurement

Waiting room	Experiment room
Blood pressure, Body temperature	Subjective questionnaire Dry and humidity temp. PPG, TSV, CSV

Table 8 Subjective questionnaire

TSV(Thermal Sensation Vote)						
-3	-2	-1	0	1	2	3
Very cold	Cold	Cool	Neutral	Warm	Hot	Very hot

CSV(Comfort Sensation Vote)						
-3	-2	-1	0	1	2	3
Very uncomf	Uncomf	Slightly Uncomf	Neutral	Slightly comf	Comf	Very comf

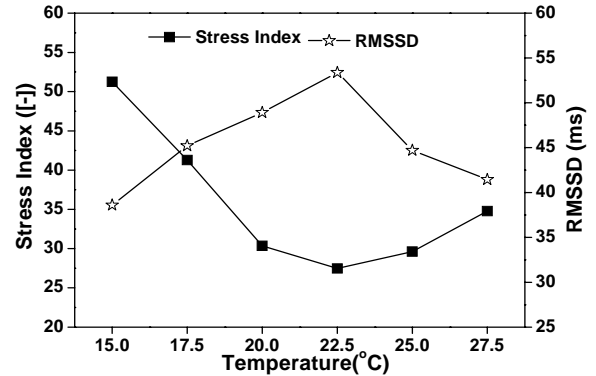
CLV(Concentration level vote)						
-3	-2	1	0	1	2	3
Very distrac	Distrac	Slightly Distrac	Neutral	Slightly concent	Concent	Very Concent

Comf = Comfortable Uncomf = Uncomfortable
Distrac = Distracted Concen = Concentration

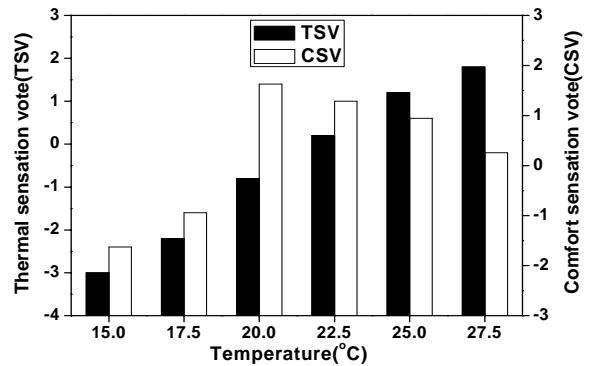
와 생체 전기신호와의 상관관계를 분석하기 위하여 맥파의 스트레스 지수는 쾌적감과 심장박동 표준편차는 온열감과의 상관관계를 분석하였으며 집중도는 뇌파의 분석결과를 통하여 고찰하였다.

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 저온 불쾌적온도 조건에서 쾌적온도 대역으로 변화를 주었을 때 스트레스 지수와 심장박동 표준편차 및 온열감과 쾌적감에 대한 설문조사 결과의 변화를 보여주고 있다. 초기에 저온 불쾌적온도 대역인 15°C에서 피험자의 생체신호를 측정된 결과 스트레스 지수가



(a) Stress index and RMSSD of PPG

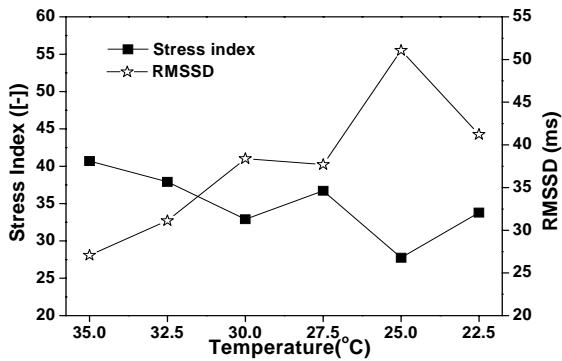


(b) TSV and CSV

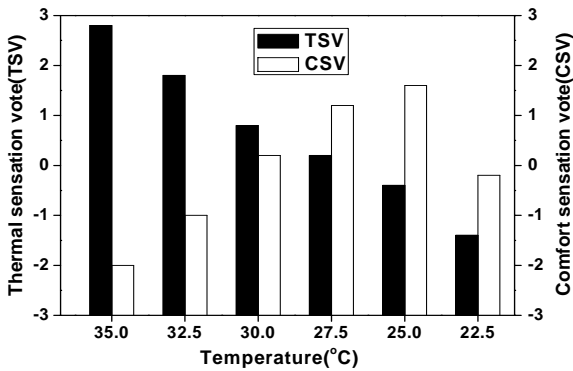
Fig. 3 Variations of Stress index, RMSSD of PPG, TSV and CSV with a rise of temperature.

52로 가장 높게 나타났으나 온도가 상승하면서 스트레스 지수가 감소하여 22.5°C 조건에서 27.4°C로 가장 낮은 수치를 보인 이후 25°C와 27.5°C 조건에서 다시 약간 증가하는 경향을 보였다. 또한, 신체의 전체적인 방어기능성의 척도인 심장박동 평균 편차(RMSSD)는 초기의 저온 불쾌적온도 조건인 15°C에서 가장 낮은 수치인 38.6 ms를 보였으나 이후 쾌적온도 대역으로 이동하면서 상승하여 22.5°C 조건에서 가장 높은 수치인 53.4 ms로 나타났다. 이는 저온 불쾌적온도 조건에서는 초기 스트레스로 인하여 인체의 항상성, 저항력 등이 저하되었으나 쾌적온도 조건으로 변화하면서 인체가 만족감을 느낌으로 인하여 전체적인 신체 방어기능도 동시에 향상되었다.

온열감 대한 설문조사 결과와 심장박동 평균 편차를 비교한 결과 22.5°C 조건에서 심장박동 평균 편차가 가장 높게 나타나며 이때 온열감은 중립으로 가장 편한 것으로 나타났다. 이후 높은 온도에서 심장박동 평균 편차가 감소됨과 동시에 피험자의 주관적 반응에서 약간 답다고 보고함에 따라 심장박동 평균 편차가 높아질수록 주관적 온열감은 중립 조건에 만족하는 관계를 가짐을 확인하였다. 쾌적감 설문결과와 스트레스 지수 값을



(a) Stress index and RMSSD of PPG



(b) TSV and CSV

Fig. 4 Variations of Stress index, RMSSD of PPG, TSV and CSV with a decrease of temperature.

비교한 결과 스트레스 지수가 낮은 20°C~22.5°C에서 스트레스 지수가 약간 감소할 때 쾌적감 설문결과도 감소하는 경향을 보였다. 저온 불쾌적온도 조건에서 쾌적온도 조건으로 온도가 상승하였을 때 부교감 신경이 활성화되어 편안한 상태로 유지되었으며 특히 쾌적온도인 25°C보다 약간 서늘한 20°C~22.5°C사이의 온도 조건에서 학습을 수행할 때 더 편안함을 느끼는 것을 확인하였다.

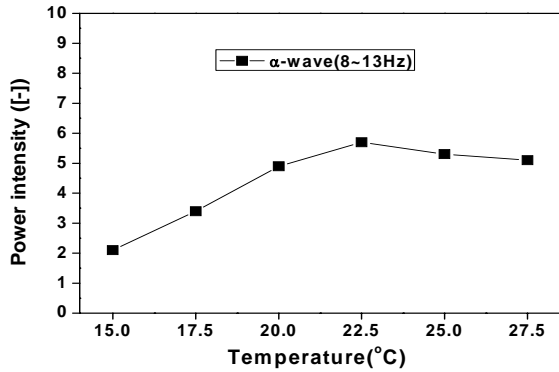
이에 따라 저온변화 실험에서 피험자의 주관설문 및 맥파를 종합적으로 검토하였을 때 실험 전에 약간 서늘한 온도로 가정한 22.5°C에서 스트레스 지수가 가장 낮으면서, 심장박동 평균편차와 쾌적감 설문이 가장 높고, 온열감 설문이 중립을 신고하여 중립온도인 25°C보다 신체적 기능이 안정된 상태로 피험자가 학습에 유리한 환경으로 나타났다.

Fig. 4는 고온 불쾌적온도 조건에서 쾌적온도 대역으로 온도를 감소시켰을 때 스트레스 지수와 심장박동 평균편차 및 온열감과 쾌적감의 주관 설문결과를 그래프로 보여주고 있다. 피험자가 초기에 고온 불쾌적온도 대역인 35°C에서 측정한 결과 스트레스 지수가 41로 가장 높았으나 온도가 낮아지면서 스트레스 지수가

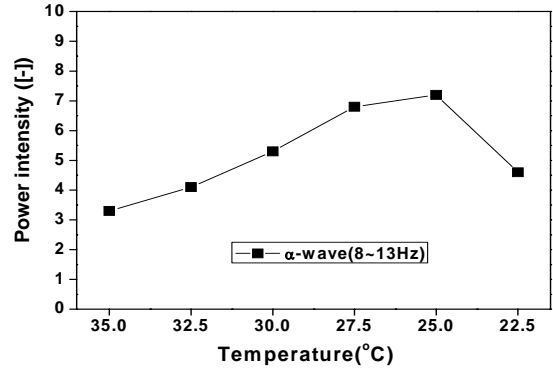
감소하여 25°C 조건에서 27.7로 가장 낮은 수치를 보인 이후 22.5°C 조건에서 다시 약간 증가하였다. 이는 높은 온도에서 쾌적온도대로 온도가 변화할 때 순간 피부에서 느끼는 냉감이 편안함을 다소 높은 온도에서 가지는 반면 그 후 온도변화에 따라 서늘함을 느끼면서 스트레스 지수가 상승한 것으로 보인다. 심장박동 평균 편차는 초기의 불쾌적온도 조건인 35°C에서 27.06 ms로 가장 낮은 수치를 보였으나 이후 중립온도인 25°C 조건에서 51.06 ms으로 가장 높은 수치를 보였다. 이는 초기 고온조건에서 인체가 불쾌함을 느낌으로 인하여 면역성이 저하되었으나 이후 온도가 하강하여 쾌적한 환경으로 변화할수록 심장박동이 안정됨에 따라 신체의 면역성이 향상되었음을 알 수 있다.

쾌적감 설문결과와 스트레스 지수 값을 비교한 결과 스트레스 지수가 급격히 낮아지는 25°C에서 쾌적감 설문도 가장 높게 신고하였으며 이후 22.5°C 온도조건에서 스트레스 지수가 다시 상승하고 쾌적감 설문결과도 감소하는 경향을 보였다. 이를 통하여 고온 불쾌적온도 조건에서 쾌적온도 대역으로 온도가 변화하였을 때 저온 불쾌적온도 조건보다 초기 스트레스 지수는 낮은 편이며 그에 대한 변화폭도 상대적으로 작아 중립온도 조건에서 피험자의 신체가 가장 안정적인 상태를 보였다. 반면에 심장박동 평균편차 값은 25°C 조건에서 가장 높게 나타났으며 온열감 설문은 약간 서늘하다고 보고하였다. 이는 고온 불쾌조건에서 온도를 변화하였을 경우엔 급격한 온도감소로 인하여 중립온도로 가정한 25°C 조건에서 피부의 온냉점의 반응으로 인하여 주관적 반응은 약간 서늘하다고 신고하였으나 실제 객관적인 생리 신호 반응은 매우 쾌적함을 확인할 수 있다.

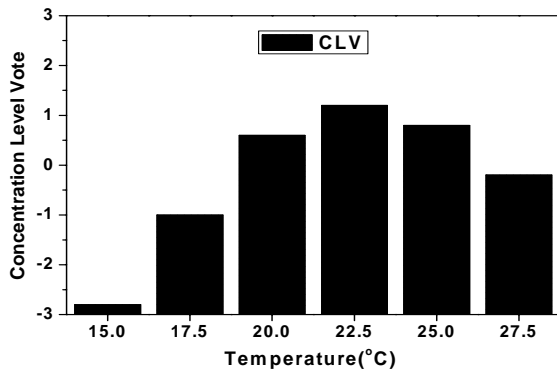
Fig. 5는 저온 불쾌적온도 조건에서 쾌적온도 대역으로 온도변화를 주었을 때 후두엽의 α 파 뇌파 변화와 집중도 설문조사에 대한 결과를 보여주고 있다. 피험자가 초기에 저온 불쾌적온도 조건인 15°C에서 α 파의 세기가 2.1, 설문지 결과값이 -2.8로 집중이 어려운 불쾌한 환경으로 나타났으며 온도가 점차 상승하면서 22.5°C에서 α 파의 세기는 5.7로 가장 높은 수치를 나타내었으며 이후 소폭 감소하면서 안정화 되는 경향을 보였다. 집중도 설문결과와 α 파의 세기를 상호 분석한 결과 22.5°C에서 집중도 설문결과 및 α 파의 세기의 수치가 가장 높게 나타났다. 이는 저온 불쾌적온도 조건에서 실내온도가 약간 서늘한 조건으로 변화하면서 신체의 대사조건이 안정화되고 이에 후두엽의 α 파 성분이 우세해지고 집중력이 상승하기 때문이다. 또한 이러한 지표는 피험자 스스로가 체감한 설문지 조사 결과에서도 비슷한 결과를 얻었으며 이를 통하여 후두엽의 α 파의 세기와 집중도의 설문결과가 상호 연관관계가 성립되었음을 확인할 수 있다. 실험결과 저온 불쾌 조건에서 온도를 상승시켰을 경우 약간 서늘한 온도인



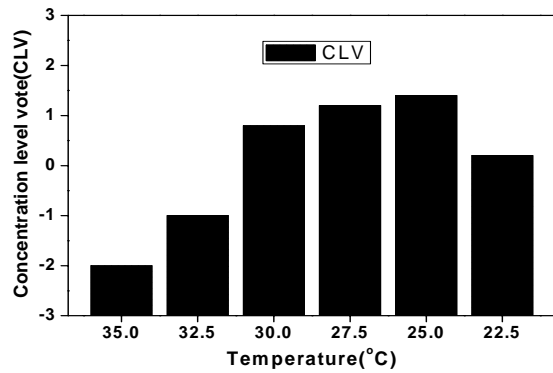
(a) EEG



(a) EEG



(b) CLV



(b) CLV

Fig. 5 Variations of EEG and CLV with a rise of temperature.

Fig. 6 Variations of EEG and CLV with a decrease of temperature.

22.5°C 조건에서 최적의 집중력을 유지하는 환경임을 알 수 있으며 이 조건에서 안정화 시킨 후 온도를 약간 증가시키면 높은 집중도를 가질 수 있는 환경을 지속적으로 유지할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 고온 불쾌적온도 조건에서 쾌적온도 대역으로 온도를 낮췄을 때 후두엽의 α 파 뇌파 변화 및 집중도에 대한 설문조사 결과를 보여주고 있다. 초기에 고온 불쾌적온도 조건 영역인 35°C에서 피험자의 뇌파를 측정할 결과 α 파의 세기가 3.3, 설문지 조사결과가 -2로 신체 불안정함과 동시에 집중력이 매우 낮은 불쾌한 환경으로 나타났으며 이후 온도가 점차 감소하면서 쾌적온도인 25°C에서 α 파 세기가 7.2, 집중도 설문이 1.4로 최고값을 나타내었다. 집중도 설문결과와 α 파의 세기를 상호 분석한 결과 25°C에서 집중도 설문결과와 α 파의 수치가 가장 높게 보고되었다. 이는 고온 불쾌적온도 조건에서 실내온도가 중립온도 조건으로 변화하면서 신체의 모든 상태가 안정됨과 동시에 후두엽의 α 파 성분이 우세해지고 집중력이 상승되었기 때문이다.

이러한 현상은 피험자 스스로가 체감한 느낌을 조사한 설문조사 결과와 동일한 결과를 보임으로써 후두엽

의 α 파의 세기와 설문결과가 연관관계가 성립되었음을 다시 확인하였다. 고온 불쾌적온도 조건에서 온도를 하강시켰을 때 중립온도인 25°C 조건에서 최적의 집중력을 유지하며, 온도가 그 이상 상승하거나 감소하였을 경우 집중도가 흐트러짐을 알 수 있었다. 따라서 고온에서 저온으로 변화시킬 경우에는 중립온도를 유지하여 주는 것이 가장 피험자에게 집중도를 높이면서 신체적으로 안정된 환경을 제공하여 줄 수 있음을 확인하였다.

5. 결론

본 연구는 저온 또는 고온의 불쾌적온도 조건에서 쾌적온도 조건으로 실내온도가 변화하면서 피험자들에게 자가 학습을 수행하는 동안 신체의 안정도를 확인하기 위하여 피험자의 생체신호를 측정하였으며 실험결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 저온 불쾌적온도 조건에서 쾌적온도 조건으로 변화하였을 때 피험자가 자가 학습을 수행하는 동안의 맥파와 뇌파의 변화를 측정할 결과 초기 불쾌적온도 조건에선 교감신경이 활성화되어 심장박동

평균편차가 낮아지고 스트레스 지수가 크게 상승하면서 뇌파의 α 파의 세기도 2.1로 매우 낮았으나 이후 온도가 상승하여 약간 서늘한 온도인 22.5°C 조건에서 스트레스 지수 및 심장박동 평균편차가 안정화되고 α 파의 세기가 5.7로 최고치를 보였다. 또한, 온열감, 쾌적감, 집중도 설문과 비교한 결과 심장박동 평균편차와 온열감, 스트레스 지수와 쾌적감, 뇌파와 집중도 모두 비슷한 경향을 나타냄을 확인하였다. 저온 불쾌적온도 조건에서는 온도를 쾌적한 중립온도 조건으로 유지하는 것보다 약간 서늘한 20°C~22.5°C를 만들어 주는 것이 피험자의 집중도를 높이는데 유리한 것으로 나타났다.

- (2) 고온 불쾌적온도 조건에서 쾌적온도 대역으로 변화하였을 때 초기의 고온 불쾌적온도 조건에선 스트레스 지수가 크게 상승하면서 뇌파의 α 파의 세기도 매우 3.3으로 낮았으나 이후 온도가 하강하여 쾌적온도인 25°C 조건에서 스트레스 지수가 가장 낮았으며 α 파의 세기가 7.2로 집중도 설문과 동일하게 최고치를 나타냈다. 또한 고온변화 실험에서는 중립온도로 가정된 25°C 조건에서 스트레스 지수가 가장 낮으면서 심장박동 평균편차가 가장 높은 수치를 기록하였으나 온열감에 대한 주관적 설문조사 결과에서는 약간 서늘하다고 보고하였다. 이는 급격한 온도하강으로 인하여 인체의 온냉점에서 받아들이는 주관적 반응에 의한 것으로 실제 객관적인 생리적 반응에서 가장 안정된 수치를 보임에 따라 온열감을 중립으로 신고한 22.5°C 조건보다 25°C 조건을 유지하는 것이 집중에 더욱 유리한 것으로 나타났다.

후 기

본 논문의 일부 내용은 2015년도 대한설비공학회 하계학술대회 논문집(15-S-068)에 게재되었음.

References

1. Lee, H. J., Choi, Y. R., Chun, and C. Y., 2012, Effect of indoor air temperature on the occupants' attention ability based on the electroencephalogram analysis, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design*, Vol. 28, No. 3, pp. 217-225.
2. Lee, H. J. and Chun, C. Y., 2010, The effect of floor surface temperature on occupant's relaxation, *Conference of the Architectural Institute of Korea Planning and Design*, Vol. 30, No. 1, 377-378.
3. Kum, J. S., Kim, D. G., and Kim, H. C., 2007, A study of physiology signal change by air conditioner temperature change, *Jour. Fish. Mar. Sci. Edu*, Vol. 19, No. 3, pp. 502-509.
4. Kum, J. S., Kim, D. G., Choi, K. H., Lee, N. B., Im, J. J., Choi, H. S., and Bae, D. S., 2002, Evaluation of thermal comfort on temperature differences between outdoor and indoor thermal conditions in summer, *Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 14, No. 11, pp. 890-896.
5. Kim, D. G., Kum, J. S., and Park, J. I., 2006, Evaluation of thermal comfort during sleeping in summer-part II : about mean skin temperatures and physiological signals-, *Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 18, No. 1, pp. 1-6.
6. Kim, D. J. and Kim, H. H., 2004, Comfortableness evaluation method using EEGs of the frontopolar and the parietal lobes, *Trans. KIEE*, Vol. 53D, No. 5, pp. 374-379.
7. Kang, K. N. and Song, S. D., 2013, Study on the evaluation of amenity and physical characteristic of air-conditioning systems applying fluctuation characteristic on natural wind, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design*, Vol. 29, No. 12, pp. 267-275.
8. Lan, L., Pan, L., Lian, Z., and Lin, H. H. Y., 2014, Experimental study on thermal comfort of sleeping people at different air temperatures, *Building and Environment*, Vol. 73, pp. 24-31.
9. Liu, Y., Wang, L., Liu, L., and Di, Y., 2013, A study of human skin and surface temperatures in stable and unstable thermal environments, *Journal of Thermal Biology*, Vol. 38, pp. 440-448.
10. Nguyen, A. T., Singh, M. K., and Reiter, S., 2012, An adaptive thermal comfort model for hot humid South-East Asia, *Building and Environment*, Vol. 56, pp. 291-300.
11. Yao, Y., Lian, Z., Liu, W., and Shen, Q., 2008, Experimental study on physiological responses and thermal comfort under various ambient temperatures, *Physiology and Behavior*, Vol. 93, pp. 310-321.
12. McCullough, E. A. and Jone, B. W., 1984, A comprehensive data base forestimating clothing insulation. IER Technical Report 84-01, Institute for Environmental Research, Kansas State University, Manhattan. ASHRAE Research Project RP-411, Final Report.
13. DuBois, D. and DuBois, E. F., 1916, A formula to estimate approximate surface area, if height and weight are known, *Archives of Internal Medicine*, Vol. 17, pp. 863-871.
14. ASHRAE, 2009, ASHRAE Handbook-Fundamental, Chapter 9, pp. 6-7.