



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2020년 2월  
석사학위 논문

여름철/겨울철 실내 표준온도에서 다양한  
시트 조건에 따른 온열감성 조사

조선대학교 대학원

기계공학과

이민정

# 여름철/겨울철 실내 표준온도에서 다양한 시트 조건에 따른 온열감성 조사

Investigation of thermal comfort under various seat  
conditions during summer/winter in standard indoor  
temperature

2020년 02월 25일

조선대학교 대학원

기 계 공 학 과

이 민 정

# 여름철/겨울철 실내 표준온도에서 다양한 시트 조건에 따른 온열감성 조사

지도교수 : 조 홍 현

이 논문을 공학석사 학위신청 논문으로 제출함

2019년 10월

조선대학교 대학원

기 계 공 학 과

이 민 정

## 이민정의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 오 동 욱

위 원 조선대학교 교수 박 정 수

위 원 조선대학교 교수 조 흥 현



2019년 11월

조선대학교 대학원

## Contents

Contents .....	v
Nomenclatures .....	ix
List of Figures .....	xi
List of Tables .....	xiii
Abstract .....	xv
<b>제 1 장 서 론 .....</b>	<b>1</b>
제1절 연구 배경 .....	1
제2절 기존 연구 .....	3
제3절 연구 목적 .....	7
<b>제 2 장 이론적 배경 .....</b>	<b>8</b>
제1절 뇌파(EEG) 감성적 특성 .....	9
제2절 맥파(PPG) 감성적 특성 .....	13
제3절 피부온도 특성 .....	15
제4절 주관설문조사 특성 .....	17
제5절 주의집중력 검사 특징 .....	18

<b>제 3 장 실험 장치 및 실험 방법 .....</b>	<b>19</b>
제1절 실험 장치 .....	21
1. 뇌파(EEG) 측정 장치 .....	23
2. 맥파(PPG) 측정 장치 .....	23
3. 온도 측정 장치 .....	24
4. 냉·온열용 의자 .....	25
제2절 실험방법 및 분석 기법 .....	27
1. 실험 방법 및 조건 .....	27
2. 데이터 분석 .....	29
<b>제 4 장 여름철 온열감성과 휴식 안정성 고찰 ...</b>	<b>32</b>
제1절 여름철 실내표준온도 조건에서 휴식 중 냉방기기 사용에 따른 온열감성 고찰 .....	32
1. 여름철 실내·외 표준온도 조건에서 휴식 중 온열감성 분석	32
2. 여름철 실내표준온도 조건에서 휴식 중 통풍시트 사용에 따른 온열감성 분석 .....	49
3. 여름철 실내표준온도 조건에서 휴식 중 냉수시트 사용에 따른 온열감성 분석 .....	58
제2절 여름철 실내표준온도 조건에서 휴식 중 다양한 냉방방법에 따른 안정조건 고찰 .....	67

제 5 장 겨울철 온열감성과 휴식 안정성 고찰	81
제1절 겨울철 실내표준온도 조건에서 휴식 중 난방기기 사용에 따른 온열감성 고찰	81
1. 겨울철 실내·외 표준온도 조건에서 휴식 중 온열감성 분석	81
2. 겨울철 실내표준온도 조건에서 휴식 중 온열시트 사용에 따른 온열감성 분석	107
3. 겨울철 실내표준온도 조건에서 휴식 중 온수시트 사용에 따른 온열감성 분석	107
제2절 겨울철 실내표준온도 조건에서 휴식 중 다양한 난방방법에 따른 안정조건 고찰	116
 제 6 장 결 론	 128
References	130



## Nomenclatures

CLV	: Concentration Level Vote
CSV	: Comfort Sensation Vote
ECG	: Electrocardiogram
EEG	: Electroencephalogram
EKG	: Electrocardiography
EMG	: Electromyography
EOG	: Electrooculogram
HF	: High Frequency [Hz]
LF	: Low Frequency [Hz]
LF/HF	: The ratio of low frequency and high frequency
PPG	: Photoplethysmography
RMSSD	: Root Mean Square of Standard Deviation
SNDD	: Standard Deviation of N-N Interval
TP	: Total Power
TSV	: Thermal Sensation Vote
VLF	: Very Low Frequency

### Greeks

$\theta$	: Theta wave [4~7.99 Hz]
$\alpha$	: Alpha wave [8~11.99 Hz]
$\beta$	: Beta wave [15~29.99 Hz]
$\gamma$	: Gamma wave [30~50 Hz]

## List of Figures

Fig. 2.1 Bio-signal processing .....	7
Fig. 2.2 Electroencephalogram(EEG) .....	9
Fig. 2.3 Location of each lobe in the cerebral hemispheres .....	11
Fig. 2.4 Variegated types of pulses .....	13
Fig. 2.5 Temperature change in cold and hot environment .....	15
Fig. 2.6 The TSV, CSV, CLV questionnaire scales .....	17
Fig. 2.7 AB MATH by Nicolas Lehovetzki .....	18
Fig. 3.1 Schematics of experimental room .....	20
Fig. 3.2 Electroencephalogram measuring equipment .....	21
Fig. 3.3 Electrode locations for EEG test .....	22
Fig. 3.4 Photoplethysmograph measuring equipment .....	23
Fig. 3.5 Infrared camera for temperature measurement .....	24
Fig. 3.6 Infrared camera pictures of various seat .....	25
Fig. 3.7 Chair temperature measuring position .....	26
Fig. 3.8 Experimental time table .....	28
Fig. 4.1 Variation of $\Theta/\beta$ at each lobe under 35°C condition .....	33
Fig. 4.2 Variation of relative $\Theta$ and $\alpha$ at each lobe under 35°C condition .....	33
Fig. 4.3 Brain mapping of theta and alpha wave under 35°C condition .....	34
Fig. 4.4 Variation of $\Theta/\beta$ at each lobe under 27.5°C condition .....	35
Fig. 4.5 Variations of relative $\Theta$ and $\alpha$ at each the lobe under 27.5°C condition ..	35
Fig. 4.6 Brain mapping of theta and alpha wave under 27.5°C condition .....	37
Fig. 4.7 Surface temperature of subject in the basic seat under 35°C condition .....	41
Fig. 4.8 Temperatures of back and thigh part under 35°C condition .....	39
Fig. 4.9 Surface temperature in the basic seat under 27.5°C condition .....	44
Fig. 4.10 Temperatures of back and thigh part under 27.5°C condition .....	41
Fig. 4.11 Brain mappings of theta and alpha wave in the ventilation seat under 27.5°C condition .....	46
Fig. 4.12 Variations of relative $\Theta$ and $\alpha$ at each lobe in the ventilation seat under 27. 5°C condition .....	46
Fig. 4.13 Brain mapping of theta and alpha wave in the ventilation seat under 27.5°C condition .....	51

Fig. 4.14 Surface temperature results in the ventilation seat under 27.5°C condition  
54

Fig. 4.15 Temperature of back & thigh part in the ventilation seat under 27.5°C  
condition ..... 52

Fig. 4.16 Variation of  $\Theta/\beta$  at each lobe in the using cold water cooling seat under 27.5°C  
condition ..... 53

Fig. 4.17 Variations of relative  $\Theta$  and  $\alpha$  at each lobe in the using cold water cooling seat  
under 27.5°C condition ..... 53

Fig. 4.18 Brain mapping of theta and alpha wave in the using cold water cooling  
seat under 27.5°C condition ..... 60

Fig. 4.19 Surface temperature in the using cold water cooling seat under 27.5°C  
condition ..... 63

Fig. 4.20 Temperatures of back & thigh part in the using cold water cooling seat  
under 27.5°C condition ..... 59

Fig. 4.21 Comparison of  $\Theta/\beta$  at each lobe for various cooling conditions ..... 60

Fig. 4.22 Variation of relative  $\Theta$  at each lobe for various cooling conditions ..... 61

Fig. 4.23 Variation of relative  $\alpha$  at each lobe for various cooling conditions ..... 61

Fig. 4.24 Variations of LF/HF and stress index for various cooling conditions ..... 71

Fig. 4.25 Variations of SDNN and RMSSD for various cooling condition ..... 72

Fig. 4.26 Variation of body surface temperature for various cooling condition ..... 74

Fig. 4.27 Photographs of thermal imaging of subject for various cooling conditions ·  
77

Fig. 4.28 Variation of subjective survey in summer condition ..... 76

Fig. 4.29 Variation of concentration ratio for various cooling conditions ..... 77

Fig. 5.1 Variation of  $\Theta/\beta$  at each lobe under 15°C condition ..... 71  
 Fig. 5.2 Variations of relative  $\Theta$  and  $\alpha$  at each lobe under 15°C condition ..... 71  
 Fig. 5.3 Brain mappings of theta and alpha wave under 15°C condition ..... 83  
 Fig. 5.4 Variation of  $\Theta/\beta$  at each lobe under 22.5°C condition ..... 73  
 Fig. 5.5 Variations of relative  $\Theta$  and  $\alpha$  at each the lobe under 22.5°C condition ..... 73  
 Fig. 5.6 Brain mappings of theta and alpha wave under 22.5°C condition ..... 86  
 Fig. 5.7 Surface temperature of subject in the basic seat under 15°C condition ..... 90  
 Fig. 5.8 Temperatures of back and thigh part under 15°C condition ..... 82  
 Fig. 5.9 Surface temperature in the basic seat under 22.5°C condition ..... 93  
 Fig. 5.10 Temperatures of back and thigh part under 22.5°C condition ..... 84  
 Fig. 5.11 Variation of  $\Theta/\beta$  at each lobe in the electric heating seat under 22.5°C condition ..... 84  
 Fig. 5.12 Variations of relative  $\Theta$  and  $\alpha$  at each lobe in the electric heating seat under 22.5°C condition ..... 84  
 Fig. 5.13 Brain mappings of theta and alpha wave in the electric heating seat under 22.5°C condition ..... 100  
 Fig. 5.14 Surface temperature results in the electric heating seat under 22.5°C condition ..... 103  
 Fig. 5.15 Temperatures of back & thigh part in the electric heating seat under 22.5°C condition ..... 93  
 Fig. 5.16 Variation of  $\Theta/\beta$  at each lobe in the using hot water heating seat under 22.5°C condition ..... 91  
 Fig. 5.17 Variations of relative  $\Theta$  and  $\alpha$  at each lobe in the using hot water heating seat under 22.5°C condition ..... 91  
 Fig. 5.18 Brain mapping of theta and alpha wave in the using hot water heating seat under 22.5°C condition ..... 109  
 Fig. 5.19 Surface temperature in the using hot water heating seat under 22.5°C condition ..... 112  
 Fig. 5.20 Temperatures of back & thigh part in the using hot water heating seat under 22.5°C condition ..... 102  
 Fig. 5.21 Comparison of  $\Theta/\beta$  at each lobe for various heating conditions ..... 98  
 Fig. 5.22 Variation of relative  $\Theta$  at each lobe for various heating conditions ..... 99  
 Fig. 5.23 Variation of relative  $\alpha$  at each lobe for various heating conditions ..... 99  
 Fig. 5.24 Variations of LF/HF and Stress index for various heating conditions ..... 117

Fig. 5.25 Variations of SDNN and RMSSD for heating conditions ..... 118  
Fig. 5.26 Variation of body surface temperature for varioud heating conditions · 119  
Fig. 5.27 Photographs of thermal imaging of subject for various heating conditions  
124  
Fig. 5.28 Variation of subjective survey in winter condition ..... 121  
Fig. 5.29 Variation of concentration ratio for various heating conditions ..... 122

## List of Tables

Table 3.1 Specifications of the artificial climate room .....	20
Table 3.2 Electrode position and lobe at 16ch system .....	22
Table 3.3 Specification of EEG measurement device .....	22
Table 3.4 Specification device to measure PPG .....	23
Table 3.5 Specification device to measure infrared camera .....	24
Table 3.6 Anthropometry data of the subjects .....	28
Table 3.7 Pattern of the measured parameters in the central nervous system .....	30
Table 4.1 Pulse wave analysis results in the basic seat under 35°C condition .....	39
Table 4.2 Pulse wave analysis results in the basic seat under 27.5°C condition .....	40
Table 4.3 Surface temperatures of subjects in the basic seat under 35°C condition .....	41
Table 4.4 Surface temperature in the basic seat under 27.5°C condition .....	44
Table 4.5 Subjective questionnaire survey results in the basic seat under 35°C condition .....	47
Table 4.6 Subjective questionnaire survey results in the basic seat under 27.5°C condition .....	47
Table 4.7 Pulse wave analysis results in the ventilation seat under 27.5°C condition .....	53
Table 4.8 Surface temperatures in the ventilation seat under 27.5°C condition .....	54
Table 4.9 Subjective questionnaire survey results in the ventilation seat under 27.5°C condition .....	57
Table 4.10 Pulse wave analysis results in the using cold water cooling seat under 27.5°C condition .....	62
Table 4.11 Surface temperatures under 27.5°C using cold water cooling seat .....	63
Table 4.12 Subjective questionnaire survey results in the using cold water cooling seat under 27.5°C condition .....	66
Table 4.13 Brain mapping of theta and alpha wave in various condition .....	71
Table 5.1 Pulse wave analysis results in the basic seat under 15°C condition .....	88
Table 5.2 Pulse wave analysis results in the basic seat under 22.5°C condition .....	89
Table 5.3 Surface temperatures of subjects in the basic seat under 15°C condition .....	90
Table 5.4 Surface temperature in the basic seat under 22.5°C condition .....	93
Table 5.5 Subjective questionnaire survey results in the basic seat under 15°C condition .....	96

Table 5.6 Subjective questionnaire survey results in the basic seat under 22.5°C condition .....	96
Table 5.7 Pulse wave analysis results in the electric heating seat under 22.5°C condition .....	102
Table 5.8 Surface temperatures in the electric heating seat under 22.5°C condition	103
Table 5.9 Subjective questionnaire survey results in the electric heating seat under 22.5°C condition .....	106
Table 5.10 Pulse wave analysis results in the using hot water heating seat under 22.5°C condition .....	111
Table 5.11 Surface temperature in the using hot water heating seat under 22.5°C condition .....	112
Table 5.12 Subjective questionnaire survey results in the using hot water heating seat under 22.5°C condition .....	115
Table 5.13 Brain mapping of theta and alpha wave in various condition .....	119

## Abstract

### Investigation of thermal comfort under various seat conditions during summer/winter in standard indoor temperature

**Min-jung Lee**

Advisor : Prof. Cho, Hong-hyun

Department of Mechanical Engineering,

Chosun University

This paper evaluates the thermal sensitivity through the investigation of objective indicators such as brain wave(EEG), pulse waves(PPG), and skin temperature as well as subjective surveyings such as thermal sensation vote (TSV), comfort sensation vote(CSV), concentration level vote(CLV) under various rest conditions standard and extreme temperature conditions during summer/winter.

When comparing the results of brain waves, pulse waves, skin surface temperature, subject survey, and concentration level during summer, the use of cold water cooling seats activated Theta and Alpha waves as the brain waves of subjects. The use of the cold water cooling seat was also provided the comfort



resting conditions in consideration of analysis result of LF/HF and stress, increasing SDNN, RMSSD, and survey of subjective questions. Therefore, the use of cold water cooling seat, which can provide direct local cold heat transfer rather than air ventilation seat using indoor air, is judged to be a more desirable way to provide a stable rest environment for the subjects.

When comparing the results of brain waves, pulse waves, skin surface temperature, subject survey, and concentration level during winter, the use of hot water heating seat during resting provided a stable rest environment for the subjects through activation of Theta wave and reduction of LF/HF. However, the stress index showed a slight increase in the use of electric heating seat and hot water heating seat compared to that using the basic seat. It is judged that local direct hot heat transfer provided hot condition to subjects, thus the subject's stress index increased slightly. As a result of the subject questionnaires, the use of the electric heating seat and hot water heating seat provided an appropriately pleasant environment to the subjects. In addition, the result of analysis of attention concentration test showed high concentration level when using the electric heating seat.

In this study, the thermal sensitivity was evaluated through subjective and objective analysis under various rest conditions in summer and winter, and the stability condition according to the rest method was defined by attention concentration test after a short break. This study can contribute to make an effective rest environment to the men during learning, driving and work.

## 제 1 장 서 론

### 제 1 절 연구 배경

현대 산업은 1, 2, 3차 산업혁명을 거쳐 산업적 만족도가 최고에 도달하였으며, 인간의 삶의 질을 향상시키기 위하여 4차 산업혁명을 통해 정보통신 기술의 융합을 이뤄내고자 하는 연구가 진행되고 있다. 삶의 질은 의식주를 넘어서 물리적인 측면인 건강, 고통의 부재 및 정신적인 스트레스 감소 등을 통해 평가되고 있으며 충분한 휴식 및 수면, 열적쾌적성 향상, 적당한 운동, 원만한 인간관계, 자아 존중감 향상 등으로 삶의 질을 향상시킬 수 있다. kim et al.(2011)에 따르면 근로시간 및 휴식시간은 노동생활의 질과 삶의 질을 개선해주며, 산재사고, 근골계 등 직업병의 발생 가능성이 낮아짐을 보고하였다. 통계청의 조사결과 대한민국의 성인은 하루 평균 7시간 56분 동안 수면을 취하고, 1시간 58분간 식사 및 간단한 휴식을 취하는 것으로 조사되었으며, 성인 10명 중 8명은 근무 중 피로감을 느낀다고 응답하였다. 2018년 2월 주당 법정 근로시간을 현행 68시간에서 52시간으로 감축됨에 따라 주요 산업별 노동시간은 줄어들고 있으나 이에 따라 노동시간 중 휴식시간 또한 감소하여 노동자들의 근무 중 피로감은 증가된 것으로 판단된다. 그러나 충분한 휴식은 근무 중 주의집중력을 향상시킬 뿐만 아니라 학습기억력 향상, 면역 체계 강화 등 인간의 삶의 질에 긍정적인 영향을 미침에 따라 휴식의 질적 향상과 단기간 충분한 휴식을 위하여 다양한 조건에서의 연구가 필요한 시점이다.

이에 따라 인간의 쾌적성에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며 주로 열환경요소로 공기온도, 복사, 기류, 상대습도 등을 이용해 열환경 개선에 초점이 맞추어져 있다. 이를 통해 기후와 외부환경 변화로부터 거주자를 보호하고, 건강하고 쾌적한 온습도를 유지하며, 안전하고 적절한 인공조명을 제공하고자 WHO에서는 건강주택(Healthy House)의 필요성을 보고하였다. 실내에 있는 사람이 열환경에 대하여 쾌적

한 감각을 갖도록 물리적 변수인 실내의 온도, 습도, 기류, 복사열을 적절히 조절해야 하며 쾌적감을 얻기 위해서는 개인적 변수인 대사량과 방열량의 평형뿐만 아니라 방열량 분포도 적당하게 유지할 필요가 있다. 개인적 변수는 활동량, 착의량, 나이, 성별 등이 있다. 인체의 활동량은 met(metabolic rate)라는 단위로 표현되며 1 met는 열적으로 쾌적한 상태에서 의자에 앉아 안정을 취하고 있을 때의 활동량으로서  $1\text{met}=58.2\text{ W/m}^2$ 이다. 착의량은 입고있는 의복의 단열성으로 나타내며 clo라는 단위로 표현하며 기온  $21^\circ\text{C}$ , 상대습도 50%, 기류속도  $0.5\text{ m/s}$ 이하의 실내에서 인체 표면으로부터의 방열량이 1 met의 활동량과 평형하는 착의상태에서, 피부 표면으로부터 의복 표면까지의 열저항을 의미하며 1 clo를 보통 열저항치로 환산하면  $1\text{ clo}=0.155\text{ m}^2\text{C/W}$ 이다. 일반적으로 나이가 많을수록 활동량이 감소하고, 냉온감에 대한 영향을 받기 쉬우며 주위 환경의 변화에 크게 영향을 받으며, 여성은 남성보다 피부온도가 낮고 피부 표면에서의 증발에 의한 열손실이 작으며, 옷을 얇게 입기 때문에 냉온감의 지각과 쾌적 열환경 범위에 있어 남성과 약간의 차이를 보인다.

다양한 환경에서 적절한 열적환경을 제공하기 위해서는 기초실험이 중요하다. 휴식, 운전, 수면, 사무, 운동 등의 다양한 조건에서 다양한 열적 환경이 존재하며, 이에 알맞은 환경 제공은 삶의 질(Quality)과 만족성 등의 향상이 기대된다. 그러나 기존 휴식조건에 대한 감성실험은 뇌파(EEG, Electroencephalogram), 맥파(PPG, Photoplethysmography), 주관 설문조사가 각각 이루어지고 있으며, 종합적인 연관관계를 조사한 실험적 논문은 적은 실정으로 다양한 생체신호에 대한 종합적인 연관관계를 찾는 것이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 휴식의 질적 향상과 EEG, PPG, 주관 설문조사, 피부온도의 통합적인 연관관계를 찾고자한다.

## 제 2 절 기존 연구

인간의 감성신호에 따라 삶의 만족도 및 열적쾌적성이 변경됨에 따라 다양한 감성신호에 대한 연구가 세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 주로 연구되고 있는 감성신호로는 뇌파(EEG), 맥파(PPG), 피부온도 등이 있으며 주로 환경요인을 변화시킴에 따라 분석되고 있다. 이에 관한 연구를 살펴보면 Lee and Yoo(2013)는 생체신호로부터 최소한의 중요한 특징만을 추출하여 사용하는 감성 분류기를 설계하고자 하였으며 맥파와 피부전도도의 조합이 79% 일치하여 간단한 감성장비에 적절하게 적용이 가능함을 확인하였다. Munch 등(2014)과 Kim 등(2016)은 실내 환경적 요인 및 시각적 요인을 변경하였을 때 뇌파의 반응성은 연합영역별로 영향력이 다르게 나타났으며, 공간 이미지를 바라보는 인간의 주의집중기제는 공간 이미지의 영향에 의한 잠재의식이 반영됨을 보고하였다. 또한 뇌파는 기존 연구결과에서 피험자의 건강적 요인의 영향을 받는 것으로 보고되었는데 Korucuoglu 등(2014)과 De Bruin 등(2004)은 알코올을 섭취할 경우 베타파가 증가하며 과음을 하는 경우 해마-신경성 연결성의 변화를 나타내는 뇌파가 증가함을 확인하였다. 또한 Gueritee and Tipton (2015)은 운동과 휴식조건에 따라 열적쾌적성 및 체온변화에 영향을 미치며, 같은 온도조건에서 운동 시 전반적인 열적쾌적성이 불쾌함을 나타냈다. He 등(2019)은 겨울철 담요의 무게에 따른 수면품질을 조사하였으며, 그 결과 무게가 가벼운 담요의 경우 열적쾌적성 및 수면품질이 증가하는 것으로 보고하였다. 또한 같은 수면 조건에서 남녀의 피부온도 차이가 발생하였는데 남성의 평균 피부온도는 여성보다 낮게 나타났으나 여성의 경우 발의 온도가 특히 낮아 국소 난방을 통해 이를 극복할 필요가 있음을 제안하였다. Lv 등(2017)은 국소 열자극을 받는 동안 주변온도가 뇌반응에 영향을 미치는 것을 보고하였고 물과 금속 온도 조절기로 각각 국소 자극하였을 때 물 자극에 비해 금속 온도 조절기 자극은 세타밴드 활동이 더 높게 나타남을 확인하였다. 실내온도에 따라 재실자의 주의집중에 영향을 미치는데 Lee 등(2012)과 Cho 등(2009)은 뇌파 중 Beta파( $\beta$ ), SMR파, High Beta파는 집중과 매우 상관관계가 높으며 실내공기온도에 따라 재실자의 주의력 차이가 발생함을 확인하였다.

최근 실내환경 냉난방 온도에 따른 뇌파, 맥파, 피부온도, 주관적 설문조사 등을 사용하여 재실자의 열적쾌적성 평가가 주로 이루어지고 있다. Chang 등(2005)과 Kim 등(2017)은 실내 환경에서 재실자의 열감각이 정서적 반응에 미치는 영향을 뇌파와 주관적 설문조사를 사용하여 조사함을 통해 열환경이 재실자의 정서적인 반응에 영향을 미치는 것을 확인하였다. Deng 등(2017), Ghahramani 등(2018), Ku 등(2015)은 주관적 설문조사를 통해 재실자의 열환경 변화에 따른 열적쾌적성을 조사하였으며, Atmaca 등(2007)과 Moon 등(2007)은 태양복사를 적용한 실내 환경의 열적 쾌적성 평가를 피험자와 실내온도를 통해 분석하였다.

공공 및 상업용 건물의 과열을 방지하기 위하여 인체 국소 부위에 열을 직접 가하는 국소 냉·난방 연구가 진행되었는데 Veselý and Wimzeiler(2014)은 국부 환기 및 냉난방을 통해 건축 산업의 에너지 감소와 재실자의 편안함이 증가됨을 확인하였다. 이와 관련된 연구로 Pallubinsky 등(2016), Wang 등(2019), Lan 등(2018), Qian 등(2017)은 더운 환경에서 상체 국소냉방 시 얼굴과 팔 하완, 하체 국소냉방 시 허벅지와 등을 국소냉방 시킴으로서 열적쾌적성을 개선시킴을 확인하였다. 한편 Veselý 등(2017)은 열선내상 의자, 탁상 매트 및 매트를 적용한 국부 난방을 적용하여 피험자가 개별 제어함으로써 열적쾌적성을 크게 개선시켰다.

인간의 열적 쾌적성에 대한 연구는 실내 환경뿐만 아니라 자동차 내에 적용하여 운전자의 주의집중력과 열적쾌적성 향상에 대한 연구가 진행되고 있다. Nilsson 등(2007)과 Simion 등(2016)은 자동차 내의 열적쾌적성에 영향을 미치는 요인에 대하여 조사하였다. 인간의 열적쾌적성은 측정 가능한 요인(공기온도, 공기속도, 복사온도, 상대습도, 활동수준, 의류 단열)과 개인 요인으로 분류할 수 있으며 극지 환경에 크게 의존된다고 보고하였다. 따라서 다양한 분석기법이 요구되는데 이와 관련된 연구는 다양한 분석기법에 따라 진행되었는데 Kristanto and Leephakpreeda(2017)은 자동차 객실 내에서 기후 제어를 위하여 시뮬레이션을 진행하였으며 여름철 주차 시 앞 유리 투과율을 5% 줄이면 예상 평균투표지수(PMV)가 0.9% 감소되며 운전 중에는 공급 공기량과 온도를 조절하여 열적 쾌적성을 개선하고 에너지 소비를 줄일 수 있음을 확인하였다. Ikenishi 등(2013)과

Yanga 등(2018)은 인간과 기계의 상호작용에 대한 자동차 기술은 휴먼 전자공학으로써 생리적 정보를 통해 운전자의 조작 의도를 결정하는 방법을 찾는 것이 중요하며, 이러한 행동을 분류하기 위하여 주관적인 설문지와 뇌파 수집을 통해 운전자의 정신상태 및 분석을 진행하였다. Huang 등(2006)과 Mao 등(2018)은 자동차 내의 승객에 따른 고유요구온도를 만족하기 위하여 외부 공기의 온도 측정을 통해 내부의 온도를 조절시킴으로써 열적쾌적성을 향상시켰다. Dehne 등(2018)은 승객의 편안함과 에너지 효율을 개선하기 위하여 수직 환기 개념을 적용하여 일반 대시보드(dash board) 환기 개념과 비교하였으며, 적외선 카메라와 온도센서를 통해 분석하였다. 그 결과 수직 환기 시스템은 대시보드 환기 시스템에 비해 환기 효율이 비슷하거나 우수함을 확인하였으며, 승객의 편안함과 관련된 환기 흐름 매개변수는 대시보드의 환기 시스템에 비하여 흐름속도가 안정됨을 확인하였다. 또한 Shahzad 등(2017)은 주관적 설문조사를 통하여 열선시트를 적용한 의자에 앉은 운전자의 열적 쾌적성을 평가하였으며, 그 결과 보다 정확하게 평가하기 위해서는 다양한 방법의 분석기법이 필요하다고 보고하였다. 이에 맞춰 Kim 등(2018), Alahmer 등(2012), Zhou 등(2019)은 다양한 분석방식(뇌파, 주관적 설문조사, 온도, 적외선 카메라)을 통하여 운전자의 열적쾌적성에 대한 연구를 진행하였으며 이를 통해 동일한 조건에서 실험을 진행할 경우 다양한 분석 방식의 상관관계가 존재함을 확인하였다.

휴식조건에서의 다양한 실험도 진행되었는데 Barry and De Blasio(2017)은 청년과 건강한 노인들의 뇌파 반응 차이를 확인하기 위하여 휴식 중 눈을 뜬 상태인 EO(eyes open)와 눈을 감은 상태인 EC(eyes close)를 분석하였다. 그 결과 노인은 청년과 비교하여 에너지 시스템의 반응성을 유지하고 휴식조건에서도 추가적인 초점 뇌 활동을 활용하여 지각 및 인지능력을 유지하는 것으로 나타났다. Massar 등(2014)과 Pitchford & Arnell(2019)은 휴식상태에서 Theta파( $\theta$ )의 활동은 보강학습과 상관관계가 있으며, 이 연관성은 보상 민감도의 차이로 설명됨을 확인하였다.

이처럼 다양한 환경에 대한 열환경과 온열쾌적성의 연관성에 대한 연구가 진행되고 있다. 온열쾌적성 분석에 대한 연구는 주로 주관적 설문조사와 감성신호 분석을 통해

이뤄지고 있으나 다양한 감성신호의 연관관계에 대한 연구는 거의 없는 상태이다. 또한 대부분의 연구가 극한조건인 여름철과 겨울철 외기온도에 따른 온열쾌적성평가에 대한 연구가 진행되고 있다. 따라서 여름철과 겨울철 실내표준온도인 27.5℃와 22.5℃에서의 환경에서의 감성신호 변화에 대한 연구가 진행될 필요가 있다. 뿐만 아니라 기존 연구는 대부분 사무, 운전, 운동, 수면시의 열적쾌적성에 대한 연구가 진행되었으며 단기간 휴식을 통한 주의집중력 변화 및 온열감성에 대한 연구는 드문 실정이다. 따라서 본 논문에서는 휴식의 질적 향상과 EEG, PPG, 주관 설문조사, 피부온도, 주의집중력에 대한 실험적 연구를 통해 감성신호와 주의집중력의 연관관계를 찾고자한다.

### 제 3 절 연구 목적

짧은 시간 내에 효과적인 휴식은 현대사회에서 중요한 이슈 중 하나이며, 이에 대한 연구가 필요한 실정이다. 기존연구에 따르면 휴식의 질에 대한 분석은 대부분 주관적 지표인 설문조사로 이루어지고 있으며, 객관적 지표인 휴식의 질을 나타내는 감성신호에 대한 분석은 미흡한 실정이다. 감성공학은 인간의 감성을 정량적으로 측정하여 평가하고 공학적으로 분석하여 이를 설계에 적용함으로써 더욱 편리하고 쾌적하며 안전한 인간의 삶을 도모하려는 기술이다. 인간의 감성신호는 뇌파(EEG, Electroencephalogram), 맥파(PPG, Photoplethysmography), 안전도(EOG, Electrooculogram), 심전도(ECG, Electrocardiogram), 근전도(EMG, Electromyograph), 피부온도, 혈압, 호흡 등이 있으며, 주요한 생체신호인 맥파(PPG), 안전도(EOG), 심전도(ECG), 근전도(EMG)는 10 KHz 이하의 대역폭을 가지며 각 신호의 전압은  $\mu V$ 에서 mV의 범위를 갖는다.

따라서 본 논문에서는 여름철/겨울철 실내표준온도 조건 내 다양한 휴식조건에 대하여 주관적 지표인 설문조사인 온열감 설문(TSV), 쾌적감 설문(CSV), 주의집중력 설문(CLV) 평가뿐만 아니라 객관적 지표인 뇌파(EEG), 맥파(PPG), 피부온도 분석을 통하여 온열감성을 평가하고 단시간 휴식 후 주의집중력 검사를 통하여 휴식조건에 따른 안정 조건에 대해 분석하였다. 여름철 35℃, 50%의 더운 조건에서 데이터를 측정하고 실내표준온도 조건인 27.5℃, 50%에서 휴식 중 온열감성, 통풍시트 사용 시 온열감성, 냉수시트 사용 시 온열감성을 분석하고 냉방시트 종류 및 사용 여부에 따른 안정조건을 분석하였다. 또한, 겨울철 15℃, 50%의 추운 조건에서 데이터를 측정하고 실내표준온도 조건인 22.5℃, 50%에서 휴식 중 온열감성, 온열시트 사용 시 온열감성, 온수시트 사용 시 온열감성을 분석하고 난방기기 종류 및 사용 여부에 따른 안정조건을 분석하였다.

이를 통해 짧은 휴식시간 내에 효과적인 휴식환경을 제공함으로써 휴식의 질적 향상과 업무능력 향상 등을 이뤄내고자 한다.



## 제 2장 이론적 배경

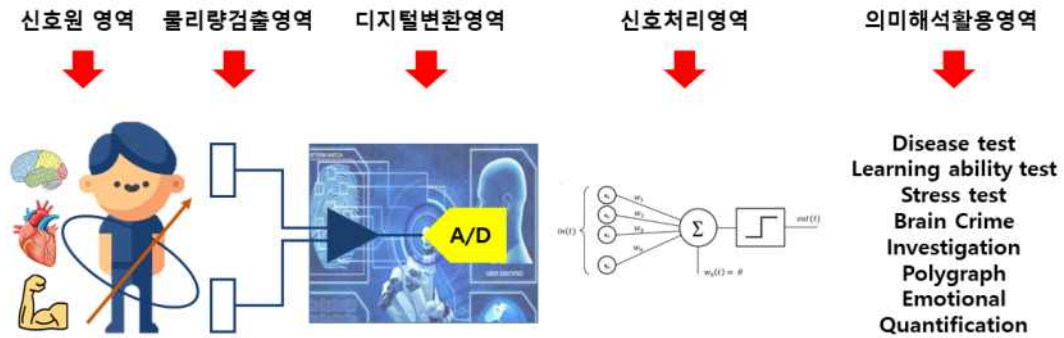


Fig. 2.1 Bio-signal processing

Fig. 2.1은 생체신호의 흐름에 대해 나타내고 있다. 인간의 생체신호의 흐름은 크게 신호원영역, 물리량 검출영역, 디지털 변환영역, 신호처리영역, 의미해석 활용영역 순으로 진행된다. 신호원영역이란 신호가 발생하는 영역을 의미하며, 인체의 경우 다양한 방식으로 외부에 신호를 출력하는 시스템으로 볼 수 있으며, 그 발생근원으로 뇌, 심장, 근육 등이 있다. 물리량 검출영역이란 발생된 신호를 전기적인 신호로 변환하여 목표하는 신호를 추출하는 역할을 하며, 이를 위해 인체의 전기적 신호를 측정할 수 있는 센서와 같은 기기가 요구된다. 디지털 변환영역이란 물리량 검출영역을 통해 검출된 아날로그 신호를 디지털로 변환하여 컴퓨터로 전송하는 단계이다. 신호 처리영역이란 디지털 형식으로 전달된 데이터를 처리하는 영역으로 연구자들에 의해 지속적으로 계산법 등이 개발되고 있다. 의미해석 활용영역이란 감성 공학적 측면에서의 활용을 위하여 감성적 현상과 신호에서 추출한 정보와의 관계성을 찾아내는 영역이다.

## 제 1 절 뇌파(EEG) 감성적 특성

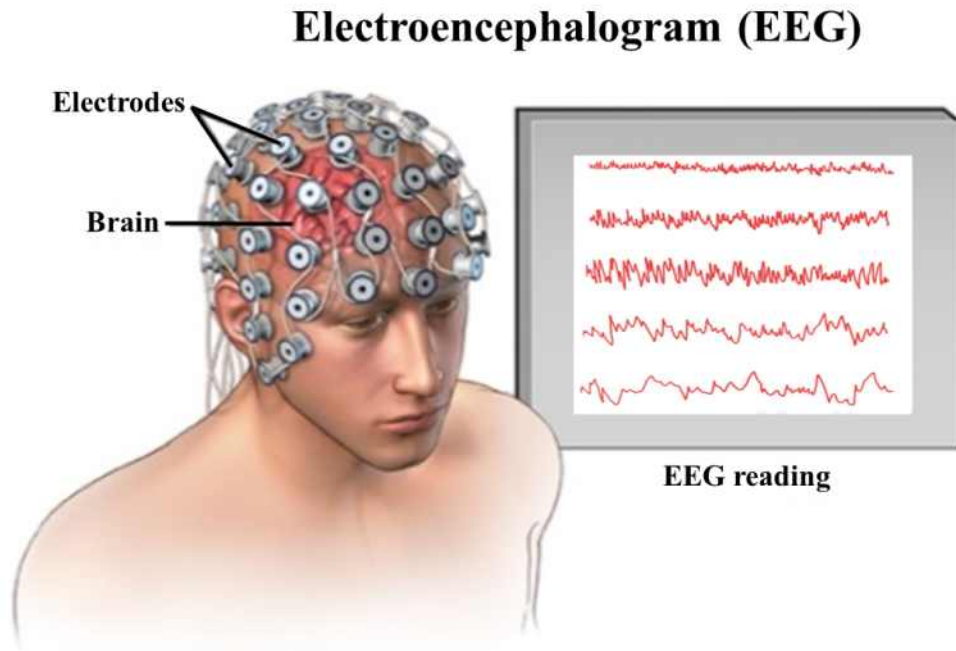


Fig. 2.2 Electroencephalogram(EEG)

뇌파란 뇌의 전기적인 활동을 머리 표면에 부착한 전극에 의해 비침습적으로 측정  
 한 전기신호로 Fig. 2.2와 같이 기록되며, 1875년 영국의 생리학자 R.케이튼이 처음으  
 로 토끼와 원숭이의 대뇌피질에서 나온 미약한 전기활동을 검류계로 기록한 것이 뇌  
 파 최초의 보고이며 사람의 뇌파를 최초로 검출한 사람은 Hans Berger로 머리에 외  
 상을 입은 환자의 두개골 결손부의 피하에 2개의 백금전극을 삼입하여 기록하였으  
 며, 나중에 두피에 전극을 얹기만 하여도 기록될 수 있음을 관찰하고 이것을 심전도  
 (EOG)나 근전도(EMG)와 같이 뇌전도(EEG)라 명명하였다, 사람을 대상으로 한 뇌파  
 연구는 1920년에 시작하게 되었으며 초기 뇌파연구에서는 측정용으로  
 String-Galvanometer를 사용하였으며 1926년 이중 코일 갈바노미터(galvanometer)를  
 이용하여 실험을 하였으며 이 장치와 비분극 전극을 이용하여 전두엽과 후두엽에 전

극을 부착하여 단일 채널로 하여 1분에서 3분 정도 사람의 뇌파를 기록하였고 이를 1929년 처음으로 보고하였다.

기억력과 집중력은 뇌의 해마부위에서 담당하며, 뇌에서는 여러 주파수를 갖는 다양한 종류의 뇌파가 발생하며, 학습과 기억에 관여하는 것으로 알려진 종류로는 수면을 도우며 기억 형성에 관여하는 간뇌의 시상부위에서 나오는 뇌파인 수면방추파 외에 대뇌피질에서 발생하는 느린 주파수의 뇌파인 서파와 해마 부위에서 발생하는 SWR파 등이 있다.

기본적으로 다섯 종류의 뇌파가 알려져 있으며 주파수 대역에 따라 Delta파( $\delta$ ), Theta파( $\theta$ ), Alpha파( $\alpha$ ), Beta파( $\beta$ ), Gamma파( $\gamma$ )로 구분한다. Delta파는 0~4 Hz를 가지는 뇌파를 말하며 일반적으로 수면 상태에서 나오는 뇌파로 뇌의 전 영역에서 나오는 신호이다. 낮은 진동수에 비해 진폭이 매우 높은 편으로 측정시 인체의 움직임이나 기타 노이즈(noise)로 인해 영향을 받는 주파수 대역이다. Theta파는 4~8 Hz를 가지는 뇌파로 최면 및 졸음상태에서 나오는 신호이다. 의학적으로 성인보다 소아 및 유아기에 많이 발생한다. Alpha파는 8~13 Hz를 가지는 뇌파로 Delta파와 Theta파가 비각성 상태에서 나오는 뇌파라면 알파파부터 각성 상태의 뇌파라고 할 수 있다. 각성 상태 중에서도 비교적 이완한 상태의 뇌파이며, 눈을 감았을 때 특히 두드러진다. Alpha파에 속하는 뇌파로는  $\mu$  파, SMR파가 있으며, 뇌 전역에서 관측이 가능하지만 주로 후두엽에서 발생된다. Beta파는 13~30 Hz를 가지는 뇌파로 각성 상태의 뇌파 중 일상적인 인지작용 및 사고활동 시에 발생하는 뇌파이다. 평소에 가장 강력하게 활동하는 뇌파로 높은 진동수에 비해 Delta파와 비교하면 진폭 자체는 낮으며 주파수 대역에 따라 Beta 1, Beta 2, Beta 3로 나누어진다. Gamma파는 30 Hz 이상의 진동수를 가지는 뇌파로 극도로 긴장하거나 흥분 상태에서 나오는 고 진동수의 뇌파이다. 다른 뇌파에 비해 적은 상태이며, 일반적으로 집중 상태가 매우 깊을 때 나타난다.

해부학적 구조로 보면 뇌에는 두개골 밑에 경질막, 거미막, 연질막과 같은 여러 막

으로 되어있는데, 각각 뇌막 사이사이에는 얇은 틈이 있다. 특히 거미막과 연질막 사이에 있는 거미막 밑 공간에는 뇌척수액이 지나가는 매우 중요한 공간이기 때문에 지주막하강이라는 용어가 따로 정해져 있다. 이러한 틈 때문에 뇌의 한 부위에서 뇌파가 방출되어도 틈을 통해 사방으로 퍼져나가기 때문에 뇌 전역에서 뇌 신호가 관찰될 수 있는 것이다. 뇌파를 측정하는 방법에서 사용되는 수학적 요소가 있는데, 한 전극쌍에서 측정한 값으로만 뇌파를 결정하는 것이 아니라 뇌에서 발생하는 전기적 신호를 둘 이상의 채널에서 동시에 지속적으로 측정하여, 각 채널에서 측정되는 신호 값들을 평균을 분석하여 뇌파를 결정한다.

대뇌는 가장 바깥쪽 부위의 피질을 나타내며 좁은 두개골 안에 많은 신경세포를 담기위하여 주름이 잡혀있다. 바이올리듬을 조절하는 중추이며 식욕 및 성욕과 같은 기본 욕구에 관여한다. 대뇌의 기능은 수학과 물리화적인 사고 기능을 담당하고, 온도 변화, 통증 등 피부를 통해 전달되는 감각을 느끼는 영역으로 알려져 있다. 인류 역사에서 예술 활동이 시작된 시기도 대뇌 피질이 발달하기 시작하면서 부터이며, 대뇌피질은 Fig. 2.3과 같이 기능에 따라 크게 전두엽, 두정엽, 측두엽, 후두엽으로 나뉘게 된다.

전두연합영역은 앞쪽에 존재하는 가장 넓은 영역으로 계획을 세우고 의사결정을 하고, 논리적인 사고활동을 주관하는 영역으로 이곳이 손상될 경우 계획을 세우는 등의 복잡한 사고가 불가능해지며, 창조적인 활동 등이 일어나지 않는다. 두정연합영역은 정수리 부분에 있는 부위로서 인체의 해당기관에 운동명령을 내리는 운동령과 감각령이 존재하여, 공간, 감각 기능, 신체 각 부위의 체감각 정보를 받아들인다. 그 외에 두정연합영역은 외부로부터 오는 정보들을 조합하는 역할을 하여, 문자와 단어를 조합하여 생각이나 의미를 만들어낸다. 후두연합영역은 뇌의 뒤쪽에 위치해 있으며 눈을 통해 전달되는 시각 정보를 처리한다. 후두연합영역이 손상될 경우 뇌가 정상적인 시각 자극의 몇몇 부분을 사용하거나 감각을 느끼지 못해 물체를 봐도 그것이 무엇인지 인지 못하는 시각적 인지 불능 상태를 초래할 수 있다. 측두연합영역은 뇌의 좌우측에 존재하는 영역으로서 후각, 미각, 청각 기능을 담당하고 언어와

기억, 감정 조절과도 관련이 있다. 측두연합영역이 손상될 경우 환각이나 기억 장애, 실어증 등의 증세가 나타난다.

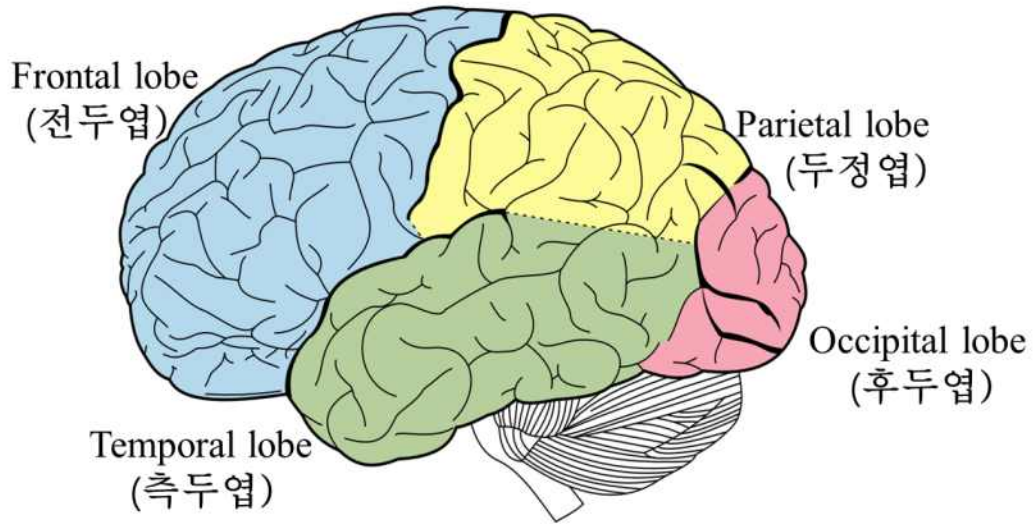


Fig. 2.3 Location of each lobe in the cerebral hemispheres

## 제 2 절 맥파(PPG) 감성적 특성



Fig. 2.4 Variegated types of pulses

심장이 수축할 때마다 심장에서부터 대동맥을 통하여 전신에 혈액이 공급되며, 이때 대동맥에 압력의 변동이 일어난다. 이 압력의 변동은 손과 발의 말초 세동맥까지 전달되며 전달된 혈관용적변동을 파형으로 표현한 것이 맥파이며 그 용적 변화를 모니터링하는 검지기를 맥파 센서라고 한다. 가속도 맥파는 말초혈관헤모글로빈의 흡광량 변화를 파형으로 표시한 것으로 혈관내 헤모글로빈 수치의 변화, 혈액량의 변동에 따라 변화하며, 변화하는 혈액의 양이 많을수록 맥파의 진폭도 비례하여 증가한다.

Fig. 2.4는 심박수 측정의 종류에 대하여 나타내고 있다. 심박수 계측은 크게 심전도법, 광전 맥파법, 혈압 계측법, 심음도법 등이 있으며 그중 광전 맥파법이 맥파센서를 이용하여 계측하는 방법이다. 광전 맥파법에는 맥파센서 측정 방법에 따라 투과형과 반사형으로 나뉘지며 투과형 맥파 센서는 인체의 표면에서 적외선 및 적색광을 조사하여 심장의 맥동에 따라 변화하는 혈류량의 변화를 체내를 투과하는 빛의 변화량으로 계측함으로써 맥파를 측정하는 방법으로 손가락 끝이나 귓볼 등 투과하기 쉬운 부분에 한해 계측이 가능하다. 반사형 맥파 센서는 적외선 및 적색광, 550

nm 부근의 녹색 파장의 빛을 생체에 조사하고, 포토 다이오드(photo diode) 또는 포토 트랜지스터(photo transistor)를 사용하여 생체 내부에서 반사된 빛을 계측한다. 동맥의 혈액에는 산화 헤모글로빈이 존재하여 입사광을 흡수하는 특성이 있으므로, 심장의 맥동에 따라 변화하는 혈류량을 시계열로 센싱함으로써 맥파 신호를 계측하며, 반사광의 계측이므로, 투과형과 달리 측정부분에 한정이 없다.

흔히 맥파를 통하여 스트레스지수, 복잡도, TP(Total Power), VLF(Very Low Frequency), LF(Low Frequency), HF(High Frequency), LF/HF, 평균 BPM, SDNN(Standard Deviation of N-N Interval), RMSSD(Root Mean Square of Standard Deviation)를 확인할 수 있다. 스트레스 지수가 25이하일 경우 스트레스가 거의 없는 상태로 해석되며, 25~35인 경우 일시적인 스트레스 상태, 35~45 초기 스트레스 상태, 45~60 일시적인 스트레스가 반복적으로 쌓이며 스트레스 내성이 약해지기 시작하는 시기, 60이상일 경우 만성 스트레스로 진행되는 상태로 해석된다. TP는 환자의 운기 상태를 나타내며 정상치보다 낮으면 자율신경조절능력 저하, 면역력 감소, 외부환경에 대한 조절능력과 스트레스에 대처능력이 떨어진다. VLF는 0.0033~0.04 Hz 주파수 대역을 가지며, 호르몬 및 신진대사 기능 이상 지표로 남성은 생식기, 여자는 생리관계와 밀접한 관련이 있으며 체온조절, 혈관운동과 관련이 있으며 혈액 내의 산소교환이 결여될 때 증가한다. LF는 교감활성을 나타낸 지표로 0.04~0.15 Hz의 주파수 대역을 가지며, 편두통, 두통환자에게서 높게 나타난다. HF는 0.15~0.4 Hz의 주파수 대역을 가지며, 부교감활성을 나타낸 지표로 분노, 근심, 공포상태에서 낮게 나타나며 호흡이 느리거나 깊은 경우 증가한다. LF/HF는 자율신경균형의 정도를 나타낸다. SDNN은 맥파의 표준편차로 외부 환경에 대한 적응력을 나타내며 SDNN의 감소는 심근경색, 협심증, 심실성 부정맥, 심성심정지 등을 의심해보아야 한다. RMSSD는 평균 편차로 분노, 근심, 공포 상태에서 낮게 표시된다.

### 제 3 절 피부온도 특성

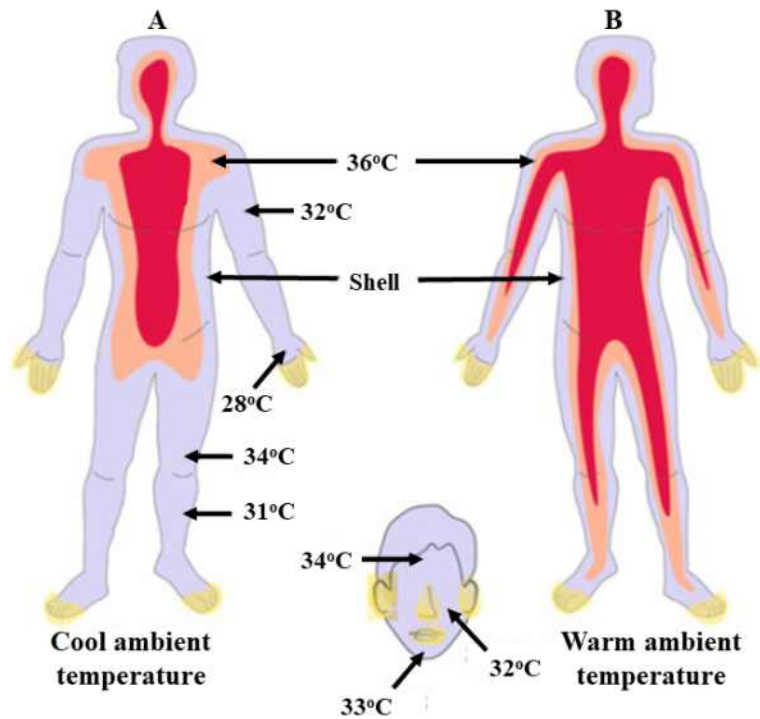


Fig. 2.5 Temperature change in cold and hot environment

체내 물질대사에 관여하는 효소의 활성은 Fig. 2.5와 같이 환경의 온도에 따라 크게 변화하므로 최적 온도 범위를 유지하는 것은 생명 활동 유지에 중요하다. 인체는 외부 기온에 관계없이 체온을 36.5°C로 유지하며 정상 체온에서 벗어나면 체온 조절 기구가 작동된다.

인체의 체온 조절은 중심체온(심부체온, Core temperature)을 유지하는데 목적이 있다. 중심체온이란 중추신경계와 복강 및 흉강에 있는 내부구조의 온도를 말한다. 중심체온이란 중추신경계와 복강 및 흉강에 있는 내부구조의 온도를 말하며, 중심체온은 정상에서 약 37°C로 조절된다. 시상하부(hypothalamus)에는 열손실과 열발생 중



추를 둘 다 포함하는 체온조절중추(central center)가 있는데 중심체온에 관한 정보는 중심온도수용기(central thermoreceptor)로부터 체온조절중추로 전달된다. 간뇌 시상하부의 조절을 받아 음성 피드백 작용에 의해 체내에서의 열 발생량과 몸의 표면을 통한 열 발산량 조절을 통해 체온을 조절한다.

체온조절의 기본은 피부근처의 혈액량을 조절하여 조절하는데, 저온자극을 받게 되면 피부의 혈류량을 줄여 열발산을 억제한다. 반대로 고온자극을 받게 되면 혈류량을 늘려 열발산을 촉진한다. 외부 환경의 기온은 온도중립지대(Thermoneutral zone : 25°C~30°C)의 좁은 범위 내에서 유지되며 피부로 가는 혈류의 변화는 체온을 유지하는데 충분하다. 체온조절은 교감신경의 작용으로 조절된다. 즉, 교감신경 활동이 감소하면 혈관이완이 일어나고 피부로 가는 혈류량이 증가하여 더 많은 열을 외부환경으로 전달하게 된다. 외부온도가 온도중립지대를 벗어나게 되며 다른 체온조절기관이 작동하여 체온을 유지하게 된다.

## 제 4 절 주관설문조사 특성



Fig. 2.6 The TSV, CSV, CLV questionnaire scales

주관설문조사법은 미리 작성된 설문지를 배포하여 피험자가 응답하도록 함으로써 필요한 자료를 수집하는 방법으로 연구조사 과정에서 설문지는 조사목적에 필요하고 응용한 자료를 수집하는 수단으로 없어서는 안 될 중요한 부분이다. 주관설문조사법은 가능한 표준화되도록 작성해야 하며, 일반적으로 오류를 방지하고 필요한 정보를 포괄적으로 획득하기 위해 다섯 가지 요소로 구성된다. 즉, 응답자에 대한 협조요청, 식별자료, 지시사항, 설문 문항과 응답자의 분류를 위한 자료로 구성된다. 질문에 사용되는 용어와 질문을 표현하는 방식에 따라 응답 결과가 상당히 달라질 수 있기 때문에 이를 결정하는 일은 매우 중요하며, 불필요한 내용은 응답상의 부담을 주어 오히려 중요한 내용에 대한 응답상의 신뢰성이 낮아질 수 있으므로 주의하여야 한다.

열적 쾌적성과 관련한 주관설문조사는 주로 ASHRAE 7-point를 기준으로 Fig. 2.6과 같이 피험자가 느끼는 열적 상태인 온열감 설문(TSV), 쾌적감 설문(CSV), 주의집중력 설문(CLV)를 7단계로 나누어 조사된다. 온열감 설문(TSV, Thermal Sensation Vote)은 피험자가 느끼는 온열감의 강도를 -3~3점으로 7척도로 표시하는 설문조사로 “ 춥다, 약간 서늘하다, 서늘하다, 중립이다, 약간 따뜻하다, 따뜻하다, 덥다” 로 구분되어있다. 쾌적감 설문(CSV, Comfort Sensation Vote)은 피험자가 느끼는 쾌적감의 강도를 7척도로 표시하는 설문조사로 “ 매우 편안하다, 편안하다, 약간 편안하다, 중립이다, 약간 불편하다, 불편하다, 매우 불편하다” 로 구분되어있다. 주의집중력 설문(CLV, Concentration Level Vote)은 피험자가 느끼는 주의집중력의 강도를 7척도로 나누어 응답하는 방법이다.

## 제 5 절 주의집중력 검사 특징

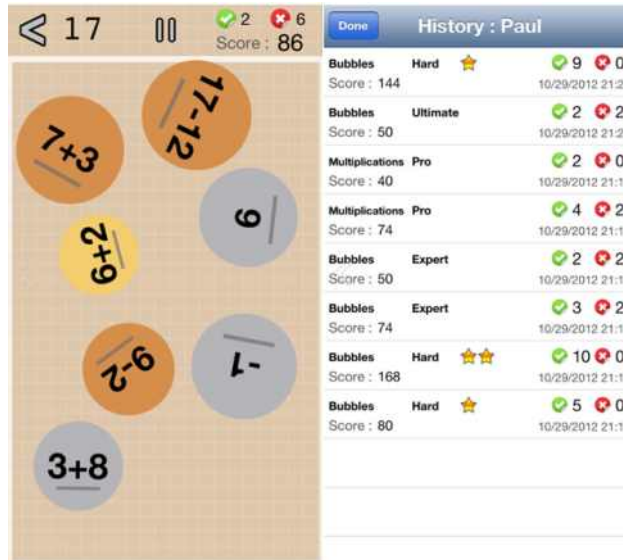


Fig. 2.7 AB MATH by Nicolas Lehovetzki

집중력이란 주변 환경에서 오는 자극을 받아들이고 선택함으로써 효율적인 행동 반응을 이끌어 낼 수 있는 능력을 말하며 집중력 문제의 원인으로 피로 및 정신 스트레스, 호르몬 변화, ADHD(Attention Deficit Hyperactivity Disorder)와 같은 특정 심리적 및 신체적 조건, 수면 및 휴식 부족, 신체적 고통, 약물 복용, 주변 환경의 영향을 받는다. 주의집중력을 향상시키는 방법으로 영양제 섭취, 두뇌운동을 위한 인지능력 향상, 충분한 휴식 및 적당한 운동, 마음의 안정 등이 있다.

주의집중력 검사는 주로 ADHD, 우울증, 치매 진단 검사 시 활용되며, 외부의 많은 자극 중 특정한 것을 특히 분명하게 인지하거나 특정한 것에만 반응하거나 마음의 선택적, 집중적인 활동 및 상태, 한곳을 중심으로 하여 의식을 모으는 능력을 검사한다. 주의집중력 검사의 종류로는 외부자극에 방해받지 않고 깊은 집중 상태를 유지하는 두뇌능력을 검사하는 몰입집중력 (Immersion Attention), Fig. 2.7과 같이 과제를 수행하는 동안 끝까지 집중 상태를 지속하는 두뇌능력을 검사하는 인지집중력(Cognitive Attention), 필요한 정보만을 선택적으로 인지하고 판단하는 두뇌능력을 검사하는 수행집중력(Time on Task)이 있다. 본 연구에서는 일반 회사원의 관점으로 실험을 진행하였으므로 인지집중력에 대한 실험을 진행하였다.

## 제 3 장 실험 장치 및 실험 방법

### 제 1 절 실험 장치

본 연구는 조선대학교 내에 있는  $8.5 \times 4.5 \times 3.5$ (W×D×H, m<sup>3</sup>) 크기의 항온항습챔버에서 실시하였으며, 항온항습실 외부에 단일덕트 방식의 공조기기를 설치하여 덕트를 이용해 내부의 온도와 습도를 조절하였으며, 실험의 정확성을 위하여 내부의 천장, 벽면, 바닥을 단열 시공하여 기밀성을 높였다.

Fig. 3.1은 실험에 사용된 실험실의 개략도를 나타내고 있으며 Table 3.1은 사용된 항온항습챔버의 상세 사양을 나타낸다. 피험자는 다양한 시트가 적용된 휴식 의자에 앉아 EEG, PPG 측정장비를 몸에 부착하고, 적외선 카메라를 통해 표면의 온도를 측정하였다. 시트의 종류로는 여름 계절용 통풍시트, 냉수시트과 겨울 계절용 온열시트, 온수시트를 사용하였다.

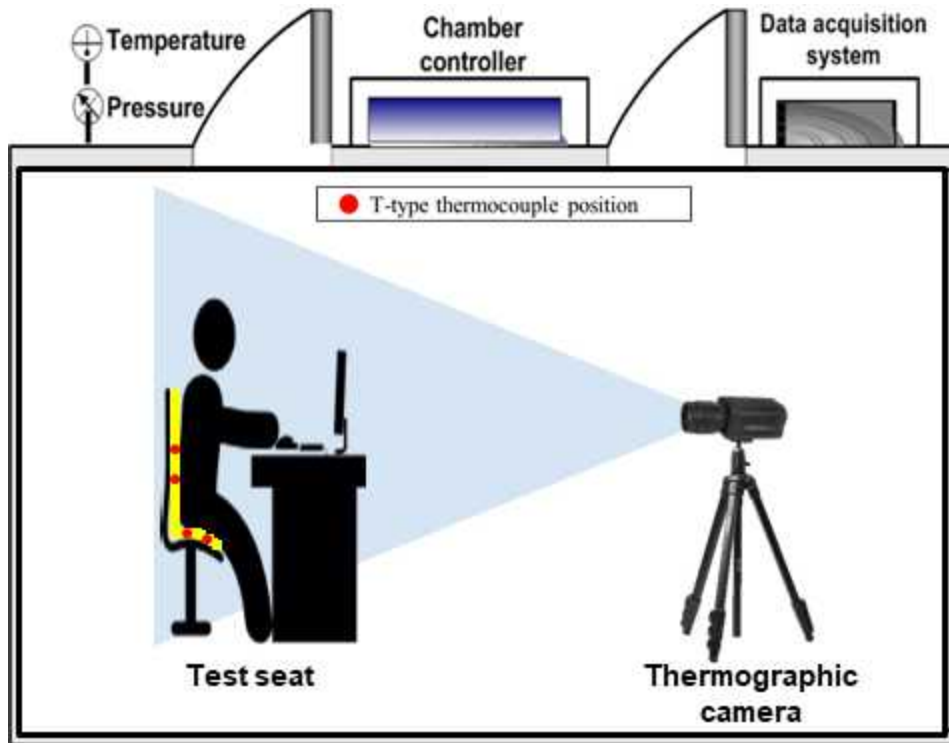


Fig. 3.1 Schematics of experimental room

Table 3.1 Specifications of the artificial climate room

Item	Specification
Temperature	-20°C~60°C
Humidity	5~95% RH
Air flow rate	400 CMM
Accuracy	1.5%

## 1. 뇌파(EEG) 측정 장치



Fig. 3.2 Electroencephalogram measuring equipment

피험자의 뇌파(EEG)를 측정하기 위하여 Laxtha사의 QEEG-64FX 모델을 사용하였으며, QEEG-64FX 기기에 Fig. 3.2과 같이 뇌파캡을 연결하였다. 기준전극은 A2를 사용하였고 Fig. 3.3과 같이 16채널을 사용하였다. 뇌파측정은 총 16부위에 모노폴라 방식으로 뇌파를 측정하였으며, 측정 대상 신호에 맞게 HPF, LPF, Notch 필터를 선택하여 측정하였다. 피험자는 뇌파캡을 착용한 후 총 16부위에 전극폴을 주사기로 두피에 주입하여 뇌파의 전극-피부 인피던스를 정밀 계측하여 안정범위 내에서 측정을 진행하였다.

또한 Table 3.2에 나타낸 것과 같이 뇌파 측정부위는 전전두엽(F1, F2), 좌 전두엽(F3, F7), 우 전두엽(F4, F8), 두정엽(C3, C4, P3, P4), 좌 두정엽(P4), 우 두정엽(P8), 좌 측두엽(T7), 우 측두엽(T8), 후두엽(O1, O2)로 나누어 측정하였으며 뇌파 측정기기의 상세사양은 Table 3.3에 제시하였다.

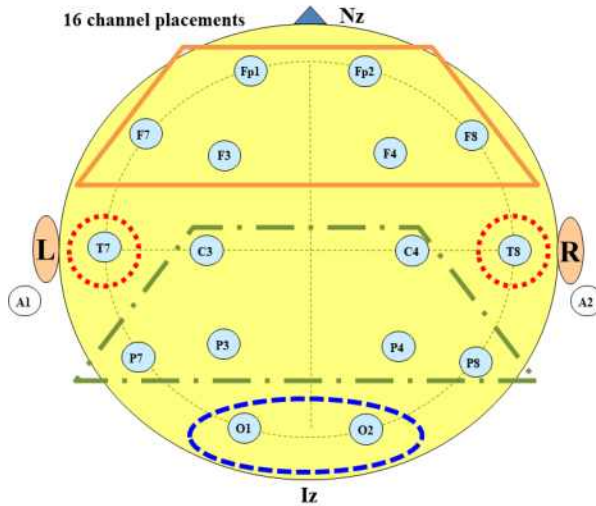


Fig. 3.3 Electrode locations for EEG test

Table 3.2 Electrode position and lobe at 16ch system

Electrode position	Lobe
F1, F2	Prefrontal lobe
F3, F7	Left frontal lobe
F4, F8	Right frontal lobe
C3, C4, P3, P4	Parietal lobe
P4, P8	Left, Right parietal lobe
T7, T8	Left, Right temporal lobe
O1, O2	Occipital lobe

Table 3.3 Specification of EEG measurement device

Item	Specification
Sampling rate	256 Hz
Resolution	12 bit
Band pass filter	0.5~60 Hz
Notch filter	50~60 Hz

## 2. 맥파(PPG) 측정 장치



Fig. 3.4 Photoplethysmograph measuring equipment

피험자의 맥파를 측정하기 위하여 Fig. 3.4와 같은 uBio Macpa 장치를 사용하였으며, 이 장비는 손끝 모세혈관의 헤모글로빈의 빛 반사 변화를 통하여 심박동을 측정한다. 시험 중 피험자의 왼손 검지에 부착하여 오른손으로 글씨를 쓰거나 활동을 할 때의 영향을 최소한으로 하였으며, 자세한 사양은 Table 3.4와 같다.

Table 3.4 Specification device to measure PPG

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



### 3. 온도 측정 장치



Fig. 3.5 Infrared camera for temperature measurement

피험자의 표면온도를 측정하기 위하여 Fig. 3.5와 같은 Cox사의 측정용 열화상 카메라를 사용하였다. 측정용 열화상 카메라는 비접촉방식으로 온도를 측정하며 t-type 열전대 사용에 비하여 뇌파, 맥파 측정 시 간섭 발생이 적어 주로 사용되는 표면온도 측정 방법 중 하나이다. 실험에 사용된 측정용 열화상 카메라의 사양은 Table 3.5과 같다.

Table 3.5 Specification device to measure infrared camera

Item	Specification
Resolution	384× 288 pixel
sensor type	LWIR
Thermal resolution	<40mK @f/1.0, 30Hz, 300K
Infrared wavelength band	8~14 μ m
Ambient temperature	-10℃ ~60℃
Temperature measuring range	-20℃ ~120℃

#### 4. 냉·온열용 의자

본 연구에서는 여름철 휴식조건에 적용된 시트는 기본 사무용 의자인 기본시트(basic seat)와 실내공기를 순환시켜 피험자에게 제공해주는 통풍시트(ventilation seat), 향온조를 통해 4°C의 냉수가 흐르는 냉수시트(cold water cooling seat)이며, 겨울철 휴식조건에 적용된 시트는 여름철과 동일하게 기본 사무용 의자인 기본시트와 전기열선을 통해 열을 제공하는 온열시트(electric heating seat), 40°C의 온수가 흐르는 온수시트(hot water heating seat)가 적용되었다. Fig. 3.6은 통풍, 냉수, 온열, 온수 시트를 27.5°C의 실내 조건에서 작동시켰을 때 열화상 카메라로 촬영한 사진을 보여주고 있다. 통풍시트는 하단의 모터를 통해 유입된 공기가 50개의 윈드홀을 통해 땅의 건조 및 공기의 회전되어 체온조절을 가능하게 한다. 냉수시트 및 온수시트는 시트 내의 우레탄 튜브에 향온조를 통해 각각 4°C의 물과 40°C의 물이 순환하여 조건을 맞추었으며 인체의 체온조절에 도움을 준다.

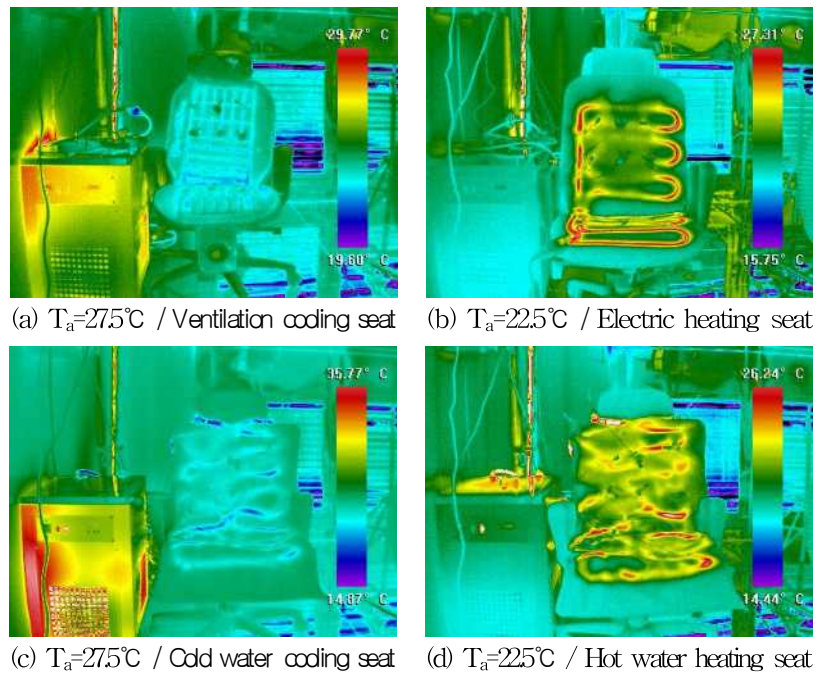


Fig. 3.6 Infrared camera pictures of various seat

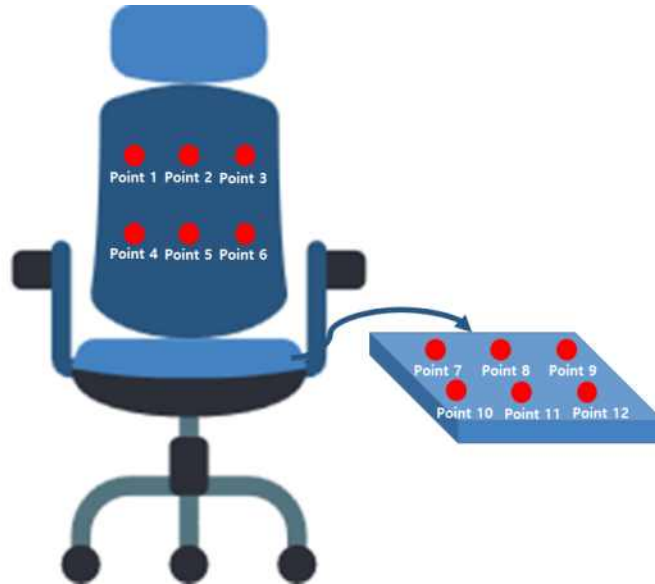


Fig. 3.7 Chair temperature measuring position

Fig. 3.7은 냉·온열용 의자의 온도측정 위치를 나타내고 있다. 등받이와 허벅지 부분의 면적은 각각  $52 \times 62 \text{ cm}^2$ 와  $52 \times 50 \text{ cm}^2$ 이며, 등받이 부분 6개, 허벅지 부분 6개로 총 12개의 열전대를 부착하여 의자의 온도를 측정하였다. 열전대는 각각 2행 3열로 부착하였으며, 행의 열전대는 등받이 부분과 허벅지 부분 각각 중간을 기점으로 15 cm와 12.5 cm에 부착하였으며 이에 열전대의 간격은 각각 30 cm와 25 cm로 부착되었다. 열의 열전대는 등받이 부분과 허벅지 부분 각각 중간에 부착한 후 중간을 기점으로 좌우 13 cm 간격으로 부착하였다.

## 제 2 절 실험방법 및 분석 기법

### 1. 실험 방법 및 조건

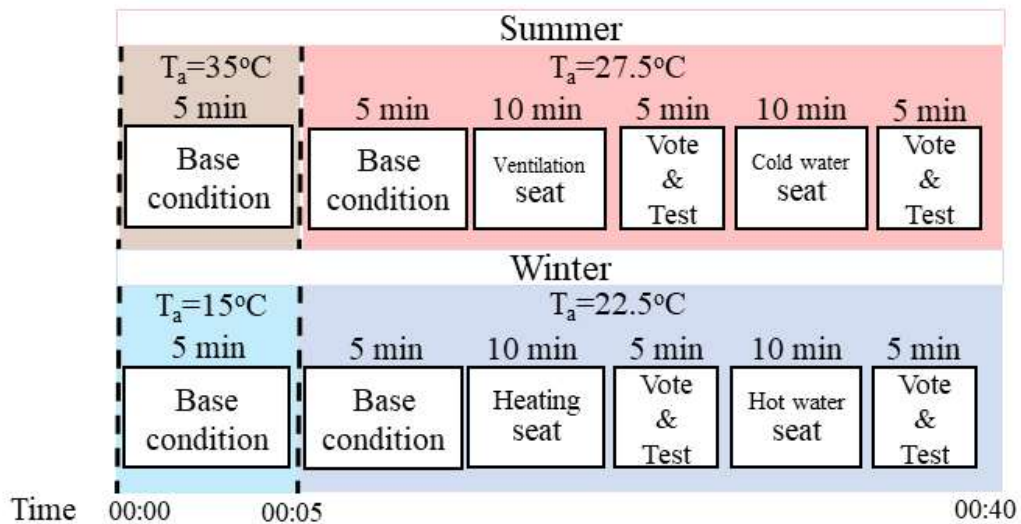


Fig. 3.8 Experimental time table

실험은 Fig. 3.8과 같은 순서로 진행되었다. 피험자는 실험실에 도착한 후 측정 장비(EEG, PPG)를 부착하고, 여름철 온도조건인 35°C에서 5분간 기초 데이터를 측정하였다. 이후 여름철 실내표준온도 조건인 27.5°C로 조정된 챔버 안에 들어가 여름철 실내 조건에 대한 실험을 진행하였다. 반면 겨울철 온도조건은 15°C에서 여름철 조건과 동일하게 5분간 기초 데이터를 측정 한 후 겨울철 실내표준온도 조건인 22.5°C로 조정된 챔버 안에 들어가 겨울철 실내 조건에 대한 실험을 진행하였다. 여름철 실내 조건에 대한 실험에 사용된 시트는 통풍시트와 냉수시트이며, 겨울철 실내 조건에 대한 실험에 사용된 시트는 온열시트와 온수시트이다. 휴식조건 실험은 약 10분간 진행되었으며, 여름철 조건에서 통풍시트와 냉수시트, 겨울철 조건에서 온열시트와 온수매트의 순서는 랜덤하게 진행되었다. 휴식조건 실험 후 5분 간 주관적 설문 조사 및 주의집중력 검사를 진행하였다.

피험자는 대학(원)생 20명을 모집한 후 피험자의 주의력 결핍장애, 알코올, 카페인, 정신질환 병력이 없는 피험자 10명을 최종 선발하여 실험을 진행하였다. 선발된 피험자는 실험 2일 전 사전교육을 실시하여 실험과정 및 방법에 대해 자세히 설명하여 이해도를 높일 수 있도록 하였으며, 실험 전일은 8시간의 충분한 수면을 취하도록 지시하였으며, 알코올, 담배, 카페인 등의 기타 약물 복용을 제한하였다. 피험자의 평균적인 나이 및 신체조건은 Table. 3.6과 같다.

Table. 3.6 Anthropometry data of the subjects

Item	Specification
Gender	Male: 6 / Female : 4
Age	27± 3.0
Weight	63.3± 16.6 kg
Height	179.3± 6.2 cm
Amount of clothing	0.35 clo
Metabolism	1.8 met

## 2. 데이터 분석

### 가. 뇌파 분석

실험을 통해 측정된 뇌파의 분석을 위하여 Laxtha사에서 제공하는 프로그램인 Telescan을 이용하여 분석을 진행하였다. 각 뇌파 데이터는 온도 조건 및 사용된 사이트의 종류에 따라 나누어 분석 되었으며, 측정 위치별 뇌파의 분석은 상대파워값을 구하여 온도 조건에 따라 증감경향을 분석하였다. 식(3-1)은 상대파워값(relative power) 분석에 사용된 수식을 나타내고 있다.

$$\text{Relative power} = \frac{X_{power}}{\theta_{power} + \alpha_{power} + \beta_{power} + \gamma_{power}} \quad (3-1)$$

또한 안정감을 나타내는 Alpha파, 각성도를 나타내는 Beta파의 상호 비율을 구하여 조건에 따라 뇌의 전 영역에서 Alpha파와 Beta파의 활성도를 파악하고자 하였으며 이는 식(3-2)에 나타내었다.

$$\text{Ratio of A of B} = \frac{\theta}{\beta} \quad (3-2)$$

Theta파의 경우 일반적으로 4~7.99 Hz 영역으로 나타나는데 주로 졸음이나 지루함을 느끼는 경우 Theta파와 동시에 증가하게 되며 Beta파는 감소하게 된다. 이를 이용해 피험자의 졸음상태를 검출하였다.

Table 3.6은 중추 신경계에서 측정된 파라미터의 형태를 보여주고 있다. 피험자의 상태에 따라 뇌파의 신호 및 특징이 변화한다. 피험자가 각성, 흥분 상태일 경우 Beta파가 활성화되며 졸음이나 지루할 경우 Alpha파와 Theta파가 활성화된다. 이에 따라 작업 시 안정감을 나타내는 식(3-2)를 도출하였다.

Table 3.7 Pattern of the measured parameters in the central nervous system

Condition	Parameter	Patten
Alert, Arousal, Excited	$\beta$	↑
Concentration index	$\frac{SMR + High\beta}{\theta}$	↑
Increased mental workload	$\frac{\beta}{\alpha}$	↑
Pleasant	$\beta$	↑
Sleepiness	$\alpha, \theta$	↑
Sleepiness, Boredom	$\theta$	↑

#### 나. 맥파 분석

실험을 통해 측정된 맥파를 분석하기 위하여 바이오센스 크리에이티브사에서 제공하는 Ubiomacpa Vital을 사용하여 분석을 진행하였다. 맥파는 심장에서 분출되는 혈액을 손가락 말초혈관에 적외선을 조사하는 방법으로 측정 및 분석을 수행하기 때문에 기존의 심전도 분석과 같은 분석방법을 이용하여 분석을 수행한다.

피험자의 맥파신호를 통해 스트레스지수와 교감신경계와 부교감신경의 비를 나타내는 LF/HF, 항스트레스 지수, 항상성의 지표로 쓰이는 맥파 표준편차인 SDNN(Standard Deviation of N-N Interval), 심장 부교감신경 조절 능력을 평가하는 지표인 맥박평균편차 RMSSD(Root Meas Square of Standard Deviation)를 분석하였으며 이 두 지수는 각성 또는 긴장상태에서 낮은 값을 가진다.

스트레스 지수가 25이하일 경우 스트레스가 거의 없는 상태로 해석되며, 25~35인 경우 일시적인 스트레스 상태, 35~45 초기 스트레스 상태, 45~60 일시적인 스트레스가 반복적으로 쌓이며 스트레스 내성이 약해지기 시작하는 시기, 60이상일 경우 만성 스트레스로 진행되는 상태로 해석된다. LF/HF는 약 1.5 전후로 나타나며 수면 상태에서 낮게 나타나

며 공포, 스트레스, 불안 상태에서는 높게 나타나는 것으로 보고되었다. SDNN과 RMSSD는 심장에 관여하는 부교감 신경의 활동의 영향을 받으며 심장에 이상이 있는 경우나 이상 징후가 나타나기 전 건강한사람에 비해 저하된다, 또한 SDNN과 RMSSD가 100이하의 값을 나타내는 경우 심장 질환의 발병위험이 높다는 것을 시사한다.

#### 다. 온도 변화 분석

피험자의 피부온도를 측정하기 위하여 시트에 T-type 열전대를 등과 허벅지에 각각 6개씩 총 12개를 부착하여 시트와 접촉된 온도를 측정하였으며, 시트와 접촉되지 않은 부분인 복부, 안면, 팔, 다리 등의 표면 온도를 측정하기 위하여 비접촉식 온도측정기인 적외선 열화상 카메라를 활용하여 측정하였다.

#### 라. 주관설문조사 분석

피험자는 각 실험이 종료될 때마다 준비되어 있는 시트에 온열감 설문(TSV), 쾌적감 설문(CSV), 주의집중력 설문(CLV)를 평가하도록 하였으며, ASHRAE 7-point를 기준으로 피험자가 느끼는 열적 상태의 강도를 -3~3점으로 7척도로 표시하는 설문조사로 따라서 0은 중립을 나타낸다. 본 논문에서는 평가된 설문과 측정된 뇌파, 맥파, 피부온도의 상관관계에 대해 분석하고자 하였다.

#### 마. 주의집중력 검사

피험자는 각 실험이 종료될 때마다 AB Math by Nicolas Lehovetzki를 통하여 80초 동안 주의집중력 검사를 진행하였다. 주의집중력 검사는 간단한 덧셈과 뺄셈 등의 숫자가 무작위로 나열되어있는 숫자 중 가장 작은 숫자부터 오름차순으로 선택하는 것으로 피험자는 80초 동안 간단한 테스트를 진행하였다. 온도조건 및 시트 사용에 따른 주의집중력을 평가하였고 평가결과와 주관설문조사와 상관관계를 분석하고자 하였다.



## 제 4 장 여름철 온열감성과 휴식 안정성 고찰

### 제 1 절 여름철 실내표준온도 조건에서 휴식 중 냉방기기 사용에 따른 온열감성 고찰

#### 1. 여름철 실내외 표준온도 조건에서 휴식 중 온열감성 분석

본 연구에서는 여름철 실내표준온도 조건인 27.5℃ 및 실외표준온도 조건인 35℃에서 온열감성을 분석하였다. 피험자는 건구온도가 각각 27.5℃ 및 35℃와 상대습도 50%로 조작된 항온항습챔버 안에 들어가 휴식의자에 앉아 5분간 휴식을 취하였으며 휴식을 취하는 동안 뇌파, 맥파, 의자와 접촉된 부분(등, 허벅지)의 피부온도, 피험자의 표면온도(안면, 복부, 팔, 다리)등을 측정하고 5분이 지난 뒤 주관 설문조사(TSV, CSV, CLV)와 주의집중력 검사를 진행하였다.

가. 뇌파 분석결과

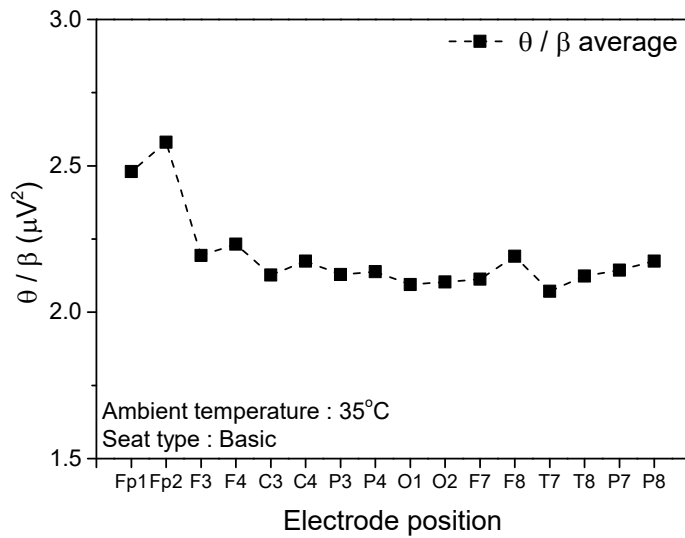


Fig. 4.1 Variation of  $\theta/\beta$  at each lobe under 35°C condition

Fig. 4.1은 여름철 온도조건인 35°C에서 휴식 시 피험자의 뇌 영역별 Theta파와 Beta파의 상호비율을 나타내었다. Theta파/Beta파의 값이 감소할수록 Theta파 대비 Beta파가 활성화 된 것으로 이는 피험자의 뇌 활성화 및 긴장상태임을 나타낸다. 전체적으로 2.0~2.7  $\mu V^2$ 의 범위 내역 안에서 나타났으며, 전두엽, 측두엽, 두정엽, 후두엽에 해당하는 전 영역에서 좌뇌보다 우뇌가 더 활성화 되었다. 우뇌는 불안이나, 분노, 우울과 같은 불쾌한 감정을 느낄 때 활성화 되는 것으로 알려져 있으며, 휴식 중 스트레스의 반응으로 인해 전두엽이 과도하게 활성화 되었다. 따라서 35°C의 덥고 불쾌한 실내온도가 우뇌 및 전두엽의 활성화에 영향을 미친 것으로 판단된다.

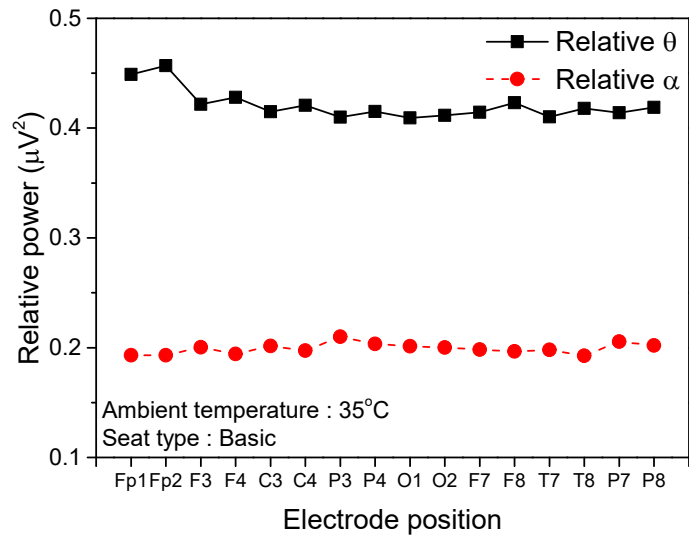
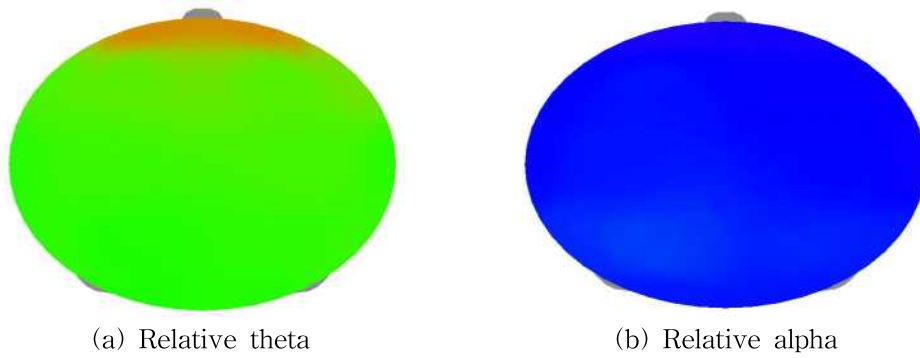


Fig. 4.2 Variation of relative  $\theta$  and  $\alpha$  at each lobe under 35°C condition



(a) Relative theta

(b) Relative alpha

Fig. 4.3 Brain mapping of theta and alpha wave under 35°C condition

Fig. 4.2와 4.3은 여름철 온도조건인 35°C에서 휴식 시 피험자의 뇌 영역별 Relative Theta파와 Relative Alpha파의 그래프와 활성지도를 나타낸다. 얇은 수면상태에서는 Alpha파보다 느린 Theta파가 발생되는데 Theta파는 지각의 꿈과 경계의 상태로 불리며, 뉴런의 활동이 느려지게 된다. 반면 Alpha파는 눈을 감고 휴식할 경우 뇌의 활동이 완화되며 Alpha파를 생산하게 되어 의식이 높은 상태에서 몸과 마음이 조화를 이루고 있을 때 발생된다. 따라서 Relative Theta파의 증가는 졸음을 나타내며 Relative Alpha파의 증가는 심리적, 정신적 안정을 나타낸다. 35°C에서 휴식 시 Relative Theta파는 0.41~0.45  $\mu V^2$ , Relative Alpha파는 0.19~0.21  $\mu V^2$ 으로 나타났으며 최대 0.04  $\mu V^2$ 의 차이를 보이거나 전 영역대에서 균일한 값을 보였다. 따라서 Relative Theta파가 Relative Alpha파보다 더 높은 값을 보여 피험자는 졸음상태인 것으로 판단되지만 Relative Theta파가 Relative Alpha파의 차이가 크게 나타나지 않아 휴식에 적합한 환경으로 판단되기 어렵다.

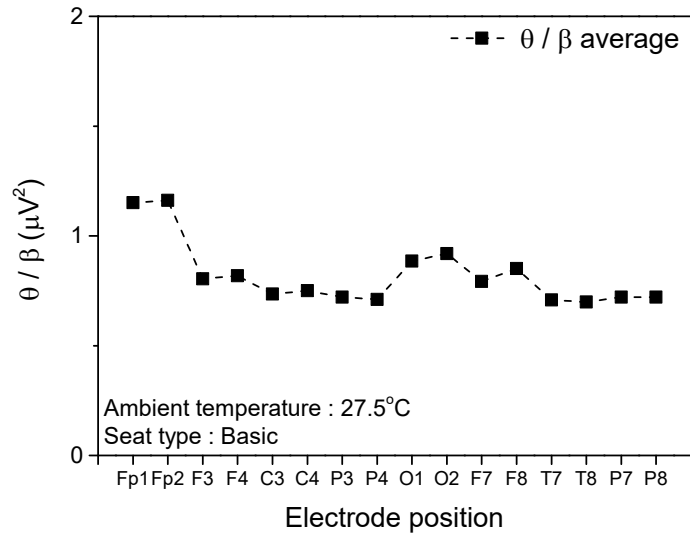


Fig. 4.4 Variation of  $\Theta/\beta$  at each lobe under 27.5°C condition

Fig. 4.4는 여름철 실내표준온도 조건인 27.5°C에서 휴식 시 피험자의 뇌 영역별 Theta파와 Beta파의 상호비율을 나타내었다. Theta파/Beta파의 값이 감소할수록 Theta파 대비 Beta파가 활성화 된 것으로 이는 피험자의 뇌 활성화 및 긴장상태임을 나타낸다. 전체적으로 0.7~1.2  $\mu V^2$ 의 범위 내역 안에서 나타났으며, 일부 두정엽 (P3-P4, P7-P8) 영역과 측두엽(T7-T8) 영역을 제외하고 나머지 영역에서 불안이나, 분노, 우울과 같은 불쾌한 감정을 느낄 때 활성화된 것으로 해석되는 우뇌가 활성화 되기는 하나 좌뇌와 우뇌의 차이는 크게 나타나지 않았다. 또한 27.5°C에서도 휴식 중 스트레스의 반응으로 인해 전두엽이 과도하게 활성화되었다. 따라서 27.5°C의 다소 불쾌한 실내온도가 전두엽의 활성화에 영향을 미친 것으로 판단된다.

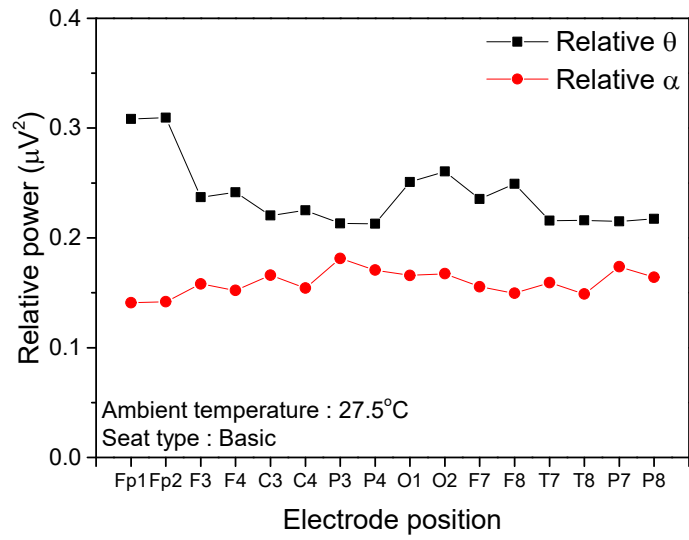


Fig. 4.5 Variations of relative  $\theta$  and  $\alpha$  at each the lobe under 27.5°C condition

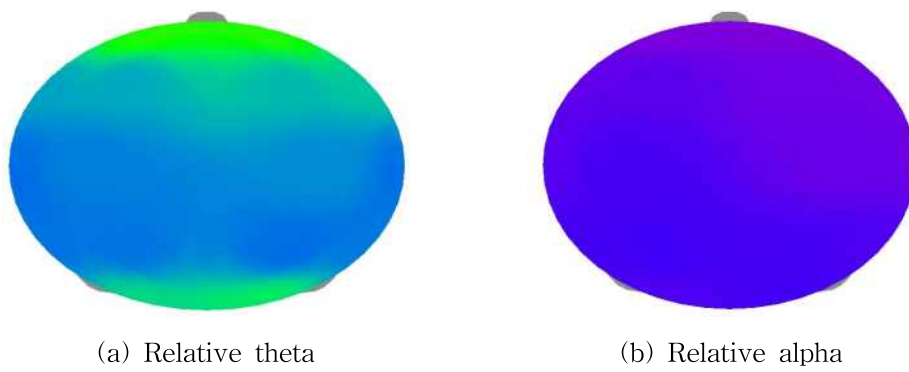


Fig. 4.6 Brain mapping of theta and alpha wave under 27.5°C condition

Fig. 4.5와 4.6은 여름철 실내표준온도 조건인 27.5°C에서 휴식 시 피험자의 뇌 영역별 Relative Theta파와 Relative Alpha파의 그래프와 활성화도를 나타낸다. 27.5°C에서 휴식 시 Relative Theta파는 0.21~0.31  $\mu V^2$ , Relative Alpha파는 0.14~0.18  $\mu V^2$ 으로 나타났으며 Relative Theta파가 Relative Alpha파보다 더 높은 값을 보임에 따라 피험자는 졸음상태인 것으로 판단된다. 얇은 수면이 진행됨에 따라 Relative Alpha파보다 Relative Theta파의 활성화를 보였으며, 특히 Relative Theta파는 전두엽 영역과 후두엽 영역이 비교적 활성화된 것으로 나타났으며 이는 수치적으로 각각 최소값을 보인 일부 두정엽(P3-P4) 영역에 비해 각각 46.7%와 23.8% 더 높은 값을 보였다.

## 나. 맥파 분석결과

Table 4.1 Pulse wave analysis results in the basic seat under 35°C condition

Pulse wave category	Average value
Stress index	45.5
LF/HF	1.2
SDNN	40.1
RMSSD	26

Table 4.1은 여름철 온도조건인 35°C에서 휴식 시 피험자의 맥파를 분석한 표이다. 스트레스 지수는 45.5로 일시적인 스트레스가 반복적으로 쌓이며 스트레스 내성이 약해지기 시작하는 시기로 정의됨에 따라 실내온도 35°C에서 휴식 시 피험자는 스트레스가 증가하여 불편을 느끼는 것으로 분석되었다. 자율신경균형의 정도를 나타내는 LF/HF는 수면 중 교감신경활성도가 낮아지고 부교감신경활성도가 높아져 LF/HF는 감소하며 실내온도 35°C에서 휴식 시 피험자의 LF/HF는 1.2로 교감신경이 더 활성화 되어 일정 수준 이상으로 각성이 된 것으로 판단된다. SDNN은 외부 스트레스 및 체내 호르몬에 의한 영향에 반응하는 심장의 고유한 능력을 대변하며, 전반적인 심장박동의 복잡성을 나타내는데 SDNN의 감소는 심장기능의 전반적인 저하를 나타낸다. 또한 RMSSD는 자율신경계 중 부교감 신경계의 조절능력을 반응하는 지표로 RMSSD의 감소는 부교감신경계 조절능력의 저하를 나타낸다. 실내온도 35°C에서 휴식 시 피험자의 SDNN과 RMSSD는 각각 40.1과 26로 나타났으며 스트레스 지수와 LF/HF, SDNN, RMSSD를 연계하여 보았을 때 실내온도 35°C에서 휴식 시 스트레스의 내성이 약해지며 분노, 근심, 공포상태로써 피험자에게 불쾌적인 환경을 제공한 것으로 판단된다.



Table 4.2 Pulse wave analysis results in the basic seat under 27.5°C condition

Pulse wave category	Average value
Stress index	41.7
LF/HF	1.17
SDNN	46.4
RMSSD	33.9

Table 4.2은 여름철 실내표준온도 조건인 27.5°C에서 휴식 시 피험자의 맥파를 분석한 표이다. 실내온도 27.5°C에서 휴식 시 스트레스 지수는 41.7로 초기 스트레스 상태로 분석되었으며, 35°C에서 휴식 시 피험자의 스트레스 지수보다 8.4% 감소하는 것으로 확인되었다. 자율신경균형의 정도를 나타내는 LF/HF는 수면 중 교감신경활성도가 낮아지고 부교감신경활성도가 높아져 LF/HF는 1.17로 교감신경이 더 활성화 되어 일정 수준 이상으로 각성이 된 것으로 판단되나 실내온도 35°C에서 휴식 시 피험자의 LF/HF 보다 2.5% 감소하여 각성정도가 감소한 것으로 판단된다. 맥박표준편차를 나타내는 SDNN과 평균편차 RMSSD는 각각 46.4와 33.9로 나타났다. SDNN과 RMSSD는 35°C 휴식 시 보다 각각 15.7%, 30.4% 증가한 것으로 확인되었으며 이는 SDNN과 RMSSD의 증가는 스트레스의 감소와 자율신경계의 인체 조절 능력의 증가를 나타낸다. 맥파의 LF/HF, 스트레스지수, SDNN과 RMSSD를 종합하여 분석하였을 때, 실내온도 27.5°C에서 휴식 시 피험자는 약간의 스트레스로 인한 각성상태임으로 나타나지만 실내온도 35°C에서의 휴식에 비해 쾌적한 환경으로 판단된다.

다. 피부온도 변화 분석결과

Table 4.3 Surface temperatures of subjects in the basic seat under 35°C condition

Position	Average temperature (°C)
Belly	32.8
Arm	33.5
Face	34.4
Leg	32.8

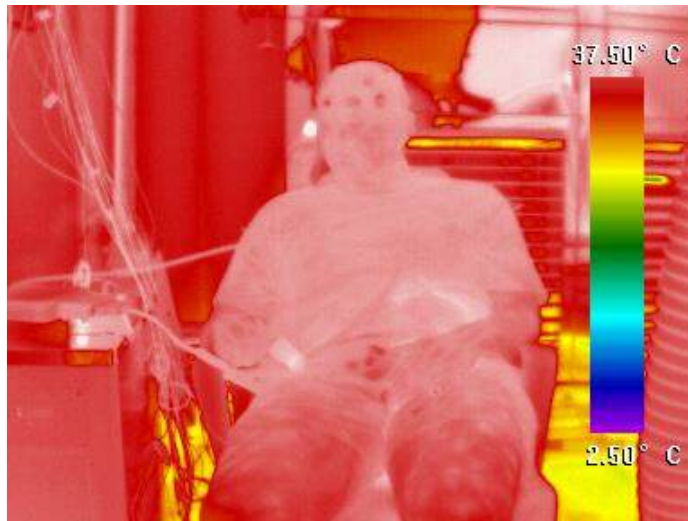
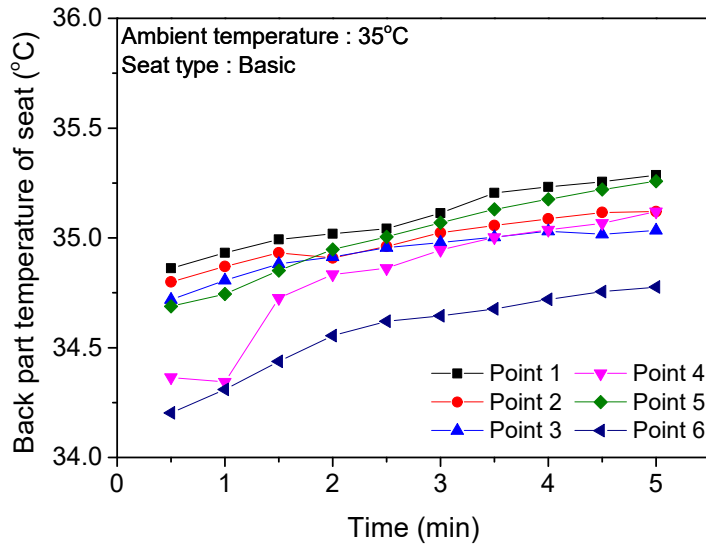
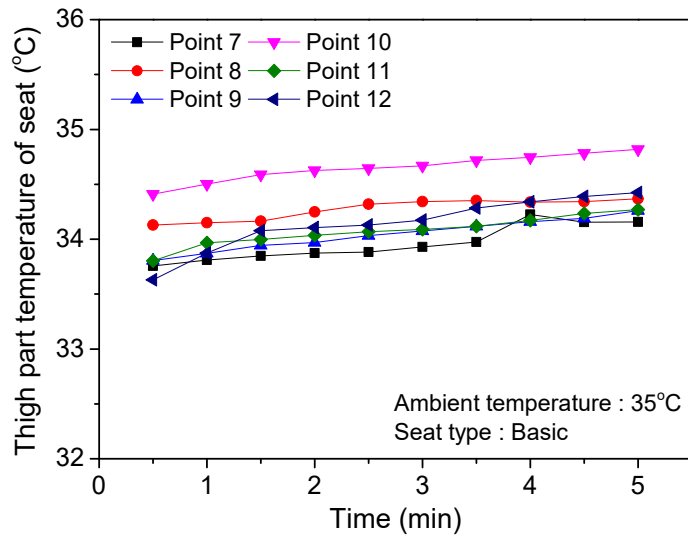


Fig. 4.7 Surface temperature of subject in the basic seat under 35°C condition



(a) Back part



(b) Thigh part

Fig. 4.8 Temperatures of back and thigh part under 35°C condition

Table 4.3과 Fig.4.7은 여름철 온도 조건인 35℃에서 휴식 시 피험자를 열화상카메라로 측정된 복부, 팔, 안면, 다리 표면의 평균온도 값을 나타내었다. 35℃의 여름철 온도조건에서 피험자의 피부의 온도를 측정한 결과 안면부의 온도는 인체 평균 온도인 36.5℃와 유사한 값인 34.4℃로 나타났으며, 옷으로 덮인 표면온도를 측정한 복부, 팔, 다리의 온도는 각각 32.8℃, 33.5℃, 32.8℃로 측정되었다. 35℃에서 휴식 시 피험자를 열화상카메라로 측정하였을 때 카메라로 찍힌 피험자의 전면부의 표면온도는 32℃이상으로 나타났으며 이는 35℃의 항온항습챔버의 영향을 받아 표면온도가 증가한 것으로 판단된다.

Fig. 4.8은 여름철 온도 조건인 35℃에서 휴식 시 의자의 등받이부분과 허벅지부분의 시트온도를 나타낸 그래프이다. 등받이 부분의 시트온도는 34.6℃에서 35.1℃까지 증가하였으며, 허벅지 부분의 시트온도는 33.9℃에서 34.4℃까지 증가하는 것으로 나타났다. 처음 35℃에서 휴식 시 등받이 부분의 시트온도와 허벅지 부분의 시트온도는 각각 약 34.6℃와 33.9℃로 항온항습챔버의 온도와 유사한 값을 나타냈지만 실험이 진행됨에 따라 시트온도는 체온의 영향을 받아 점점 증가하는 것으로 나타났다.

Table 4.4 Surface temperature in the basic seat under 27.5°C condition

Position	Average temperature (°C)
Belly	30.5
Arm	31.7
Face	31.3
Leg	30.3

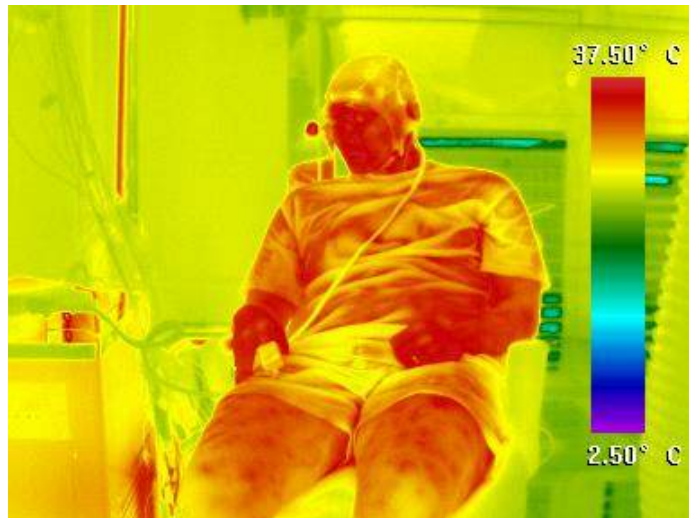
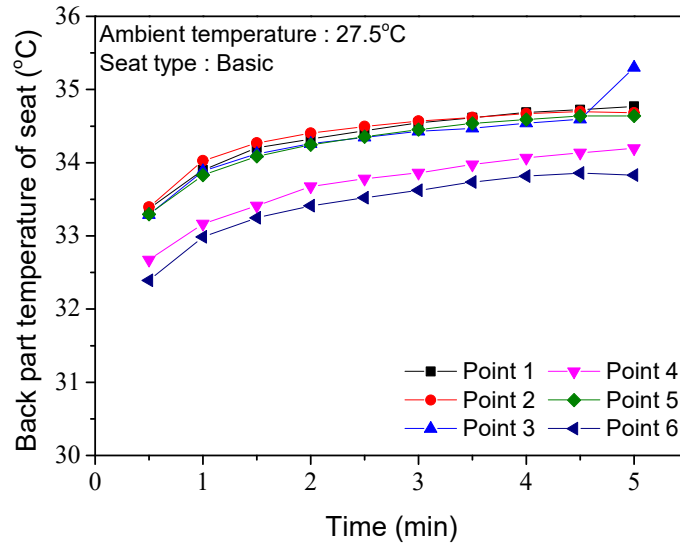
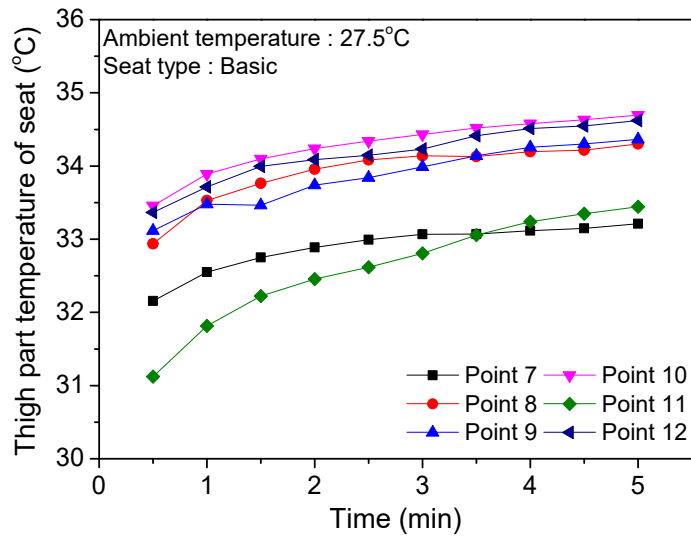


Fig. 4.9 Surface temperature in the basic seat under 27.5°C condition



(a) Back part



(b) Thigh part

Fig. 4.10 Temperatures of back and thigh part under 27.5°C condition

Table 4.4와 Fig. 4.9는 여름철 실내표준온도 조건인 27.5℃에서 휴식 시 피험자를 열화상카메라로 측정한 복부, 팔, 안면, 다리 표면의 평균온도 값을 나타내었다. 27.5℃의 여름철 실내표준온도 조건에서 피험자의 표면온도를 측정한 안면부의 온도는 31.7℃로 인체 평균온도인 36.5℃보다 4.8℃ 낮은 값을 보였으며, 옷으로 덮인 표면온도를 측정한 복부, 팔, 다리의 온도는 각각 29.4℃, 31.6℃, 29.2℃로 나타났다. 이는 주위의 27.5℃의 체온보다 낮은 실내 온도가 피험자의 표면온도 감소에 영향을 주어 피험자의 표면부 온도를 감소시킨 것으로 판단된다.

Fig. 4.10은 여름철 표준실내온도 조건인 27.5℃에서 휴식 시 의자의 등받이 부분과 허벅지 부분의 시트온도를 나타낸 그래프이다. 등받이부분의 시트온도는 33.1℃에서 34.6℃까지 증가하였으며, 허벅지 부분의 시트온도는 32.6℃에서 34.1℃까지 증가하는 것으로 나타났다. 피험자가 있는 경우 시트온도는 시간이 지남에 따라 증가하였으며 이는 피험자의 고온의 체온의 영향에 기인한 것으로 판단된다.

라. 주관설문조사 및 주의집중력 분석결과

Table 4.5 Subjective questionnaire survey results in the basic seat under 35°C condition

Subjective questionnaire survey category	Average value
TSV	2.6
CSV	-2.3
CLV	-1.5

Table 4.5는 여름철 표준실내온도 조건인 35°C에서 휴식 시 피험자의 주관설문조사 결과를 나타내고 있다. 온열쾌적감을 나타내는 TSV는 2.6으로 매우 덥다고 응답하였으며, 쾌적감을 나타내는 CSV는 -2.3으로 불편하다고 응답하였다. 또한 주의집중력을 나타내는 설문인 CLV는 -1.5로 집중이 잘 되지 않음을 나타냈다. 따라서 실내온도 35°C에서 휴식조건은 피험자의 주관적 설문조사에 대한 응답으로 판단해보았을 때 피험자가 불쾌적인 조건하에 있음을 확인하였다.

Table 4.6 Subjective questionnaire survey results in the basic seat under 27.5°C condition

Subjective questionnaire survey category	Average value
TSV	2.1
CSV	0.375
CLV	-0.375

Table 4.6는 여름철 실내표준온도 조건인 27.5°C에서 휴식 시 피험자의 주관설문조사 결과를 나타내고 있다. 온열쾌적감을 나타내는 TSV는 2.1로 약간 덥다고 응답하였으며, 쾌적감을 나타내는 CSV는 0.375로 약간 쾌적하다고 응답하였다. 또한 주의집중력을 나타내는 설문인 CLV는 -0.375로 집중이 약간 되지 않음을 나타냈다. 따라서 실내온도 27.5°C의 휴식조건에서 피험자의 응답결과는 판단해보았을 때 약간 더우나 불쾌하지 않은 조건임으로 확인되었다.



여름철 극한 실내온도 조건인 35℃에서 휴식 시 피험자의 주의집중력 검사를 진행하였다. 주의집중력 검사 결과 피험자는 88.1%의 값을 보였으며, 이는 본 연구에서 진행된 여름철 극한 실내온도 조건 및 실내표준온도 조건에서 주의집중력 검사 결과의 평균값이 87.2%인 것에 비해 1.03% 더 높게 나타났으며 이를 통해 극한의 더운 온도에서 주의집중력 검사를 진행하는 경우 집중도가 증가하는 것으로 보인다.

반면 여름철 실내표준온도 조건인 27.5℃에서 휴식 시 피험자의 주의집중력 검사를 진행하였을 경우 주의집중력 검사 결과 피험자는 84.6%로 본 연구에서 진행된 여름철 주의집중도 검사결과의 평균값인 87.2%와 비교하였을 때 -2.9% 감소하였다. 이는 실내온도가 27.5℃일 경우 피험자는 35℃의 환경에 비해 주의집중도가 -3.9% 감소하였으며 이를 통해 약간 더운 환경이 극한의 더운 환경에 비해 집중도가 감소하는 것으로 보인다.

## 2. 여름철 실내표준온도 조건에서 휴식 중 통풍시트 사용에 따른 온열감성 분석

본 연구에서는 여름철 실내표준온도 조건인 27.5℃에서 통풍시트 사용시 피험자의 온열감성을 분석하였다. 피험자는 건구온도 27.5℃와 상대습도 50%로 조작된 항온항습챔버안에 들어가 휴식의자에 앉아 10분간 휴식을 취하였으며 휴식을 취하는 동안 뇌파, 맥파, 의자와 접촉된 부분(등, 허벅지)의 피부온도, 표면온도(안면, 복부, 팔, 다리)등을 측정하고 10분이 지난 뒤 주관 설문조사(TSV, CSV, CLV)와 주의집중력 검사를 진행하였다.

가. 뇌파 분석결과

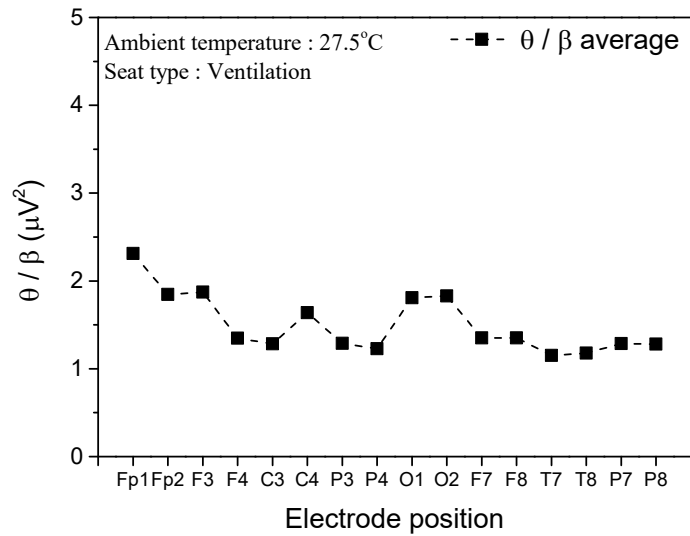


Fig. 4.11 Brain mappings of theta and alpha wave in the ventilation seat under 27.5°C condition

Fig. 4.11은 여름철 실내표준온도 조건인 27.5°C에서 통풍시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 뇌 영역별 Theta파와 Beta파의 상호비율을 나타내었다. Theta파/Beta파의 값이 감소할수록 Theta파 대비 Beta파가 활성화 된 것으로 이는 피험자의 뇌 활성화 및 긴장 상태임을 나타낸다. 전체적으로 1.1~2.3  $\mu V^2$ 의 범위 내역 안에서 나타났으며, 일부 두정엽(C3-C4) 영역과 측두엽(T7-T8) 영역 후두엽(O1-O2) 영역에서 불안이나, 분노, 우울과 같은 불쾌한 감정을 느낄 때 활성화된 것으로 해석되는 우뇌가 활성화되었다. 또한 27.5°C에서 통풍시트를 사용하여 휴식 중 전두엽 영역이 가장 활성화되지만 나머지 영역인 측두엽, 두정엽, 후두엽 영역에서도 활성화되었다. 따라서 27.5°C에서 통풍시트를 사용할 경우 전두엽의 활성화되어 조금의 스트레스가 보이기는 하지만 명상, 휴식 시 활성화 되는 측두엽 영역 또한 활성화된 것으로 보아 휴식에 적합한 조건으로 판단된다.

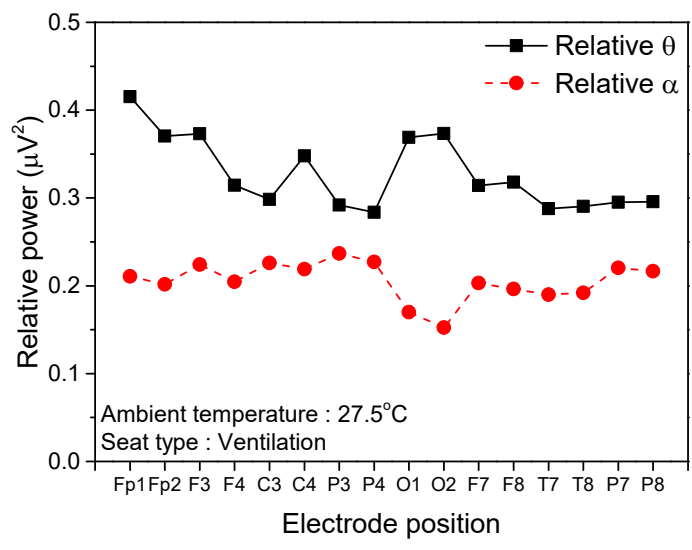


Fig. 4.12 Variations of relative  $\theta$  and  $\alpha$  at each lobe in the ventilation seat under 27.5°C condition

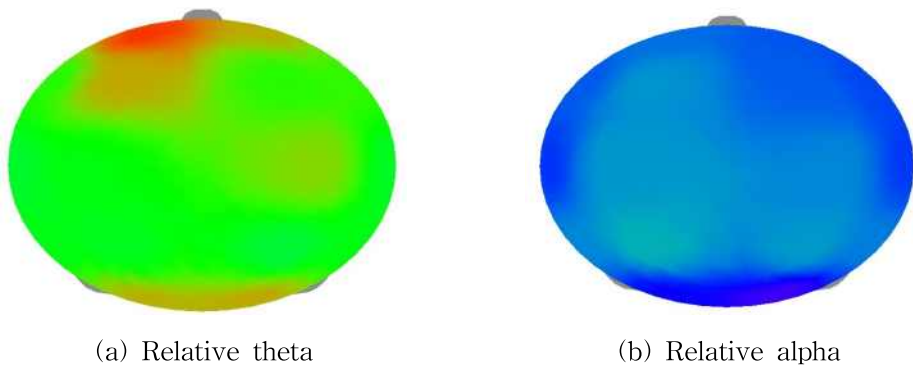


Fig. 4.13 Brain mapping of theta and alpha wave in the ventilation seat under 27.5°C condition

Fig. 4.12, 4.13은 여름철 실내표준온도 조건인 27.5°C에서 통풍시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 뇌 영역별 Relative Theta파와 Relative Alpha파의 그래프와 활성지도를 나타낸다.. 27.5°C에서 통풍시트를 사용하여 휴식 시 Relative Theta파는 0.28~0.41  $\mu V^2$ , Relative Alpha파는 0.15~0.23  $\mu V^2$ 으로 나타났으며 Relative Theta파가 Relative Alpha파보다 더 높은 값을 보임에 따라 피험자는 약간의 졸음상태인 것으로 판단된다. 얇은 수면이 진행됨에 따라 Relative Alpha파 보다 Relative Theta파의 활성화를 보였으며 정신적, 심리적 안정인 상태인 Relative Theta파와 얇은 수면 상태인 Relative Alpha파가 서로 대칭적인 경향을 보이는 것으로 확인되었다.

## 나. 맥파 분석결과

Table 4.7 Pulse wave analysis results in the ventilation seat under 27.5°C condition

Pulse wave category	Average value
Stress index	38.7
LF/HF	1.16
SDNN	55.2
RMSSD	35.2

Table 4.7는 여름철 실내표준온도 조건인 27.5°C에서 통풍시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 맥파를 분석한 표이다. 스트레스 지수는 38.7로 초기 스트레스 상태이며 같은 실내온도인 27.5°C에서 기본시트를 사용하여 휴식한 경우에 비해 7.2% 감소하는 것으로 확인되었다. 이를 통해 27.5°C에서 통풍시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 스트레스 지수는 기본시트를 사용하는 경우에 비해 감소하며, 자율신경균형의 정도를 나타내는 LF/HF는 수면 중 교감신경활성도가 낮아지고 부교감신경활성도가 높아져 LF/HF는 감소하며 27.5°C에서 통풍시트를 사용하여 휴식 시 LF/HF는 1.16로 교감신경이 더 활성화되어 일정 수준 이상으로 각성이 된 것으로 판단된다. 하지만 같은 실내온도인 27.5°C에서 기본시트를 사용한 경우에 비하여 0.85% 감소하였으며, 각성의 정도가 감소한 것으로 판단된다. 맥박표준편차를 나타내는 SDNN과 평균편차 RMSSD는 각각 55.2와 35.2로 나타났으며, 이는 27.5°C의 환경에서 기본시트를 사용한 경우와 비교하여 각각 18.9%와 3.8% 증가를 보였으며 이를 통해 27.5°C에서 기본시트를 사용하는 경우에 비해 통풍시트를 사용할 경우 스트레스 감소와 자율신경계의 인체 조절 능력이 향상된 것으로 판단된다. 맥파의 LF/HF, 스트레스지수, SDNN과 RMSSD를 종합하여 분석하였을 때, 27.5°C에서 통풍시트를 사용하여 휴식 시 기본시트에 비하여 스트레스와 LF/HF의 감소 및 SDNN과 RMSSD의 증가함에 따라 쾌적한 환경인 것으로 판단된다.

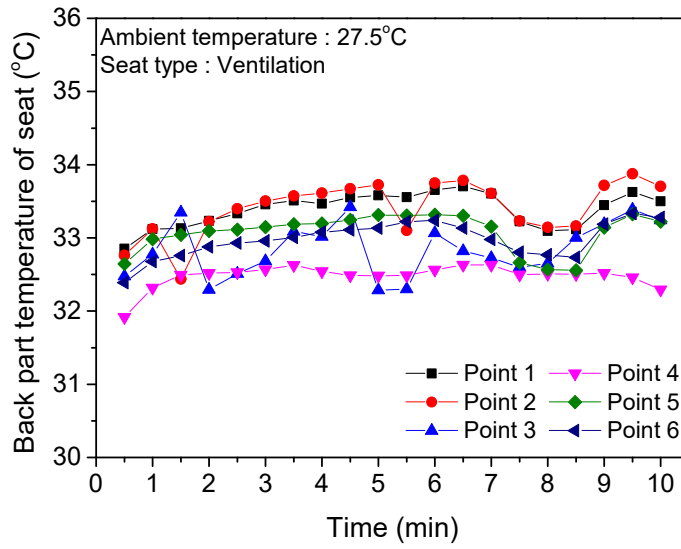
다. 피부온도 변화 분석결과

Table 4.8 Surface temperatures in the ventilation seat under 27.5°C condition

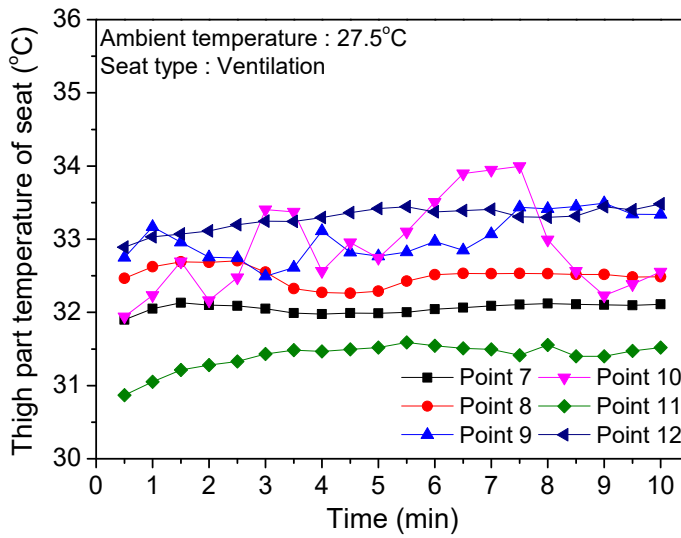
Position	Average temperature(°C)
Belly	30.1
Arm	30.4
Face	32.2
Leg	30.2



Fig 4.14 Surface temperature results in the ventilation seat under 27.5°C condition



(a) Back part



(b) Thigh Part

Fig. 4.15 Temperature of back & thigh part in the ventilation seat under 27.5°C condition



Table 4.8와 Fig. 4.14는 여름철 실내표준온도 조건인 27.5℃에서 통풍시트를 사용하여 휴식 시 피험자를 열화상카메라로 측정한 복부, 팔, 안면, 다리 표면의 평균온도 값을 나타내었다. 27.5℃의 여름철 실내표준온도 조건에서 통풍시트를 사용하여 휴식할 때 피험자의 피부 표면온도를 측정한 안면부의 온도는 32.2℃로 인체 평균온도인 36.5℃보다 4.3℃ 낮은 값을 보였으며, 옷으로 덮인 표면온도를 측정한 복부, 팔, 다리의 온도는 각각 30.1, 30.4, 30.2℃로 나타났다. 피험자의 복부, 팔, 다리의 표면온도는 실내온도 27.5℃에서 기본시트를 사용한 경우에 비해 각각 1.3%, 4.1%, 0.3% 감소하는 것을 보였으나 안면부의 온도는 2.8% 증가하였다. 통풍시트의 경우 윈드홀을 통해 실내공기를 등과 허벅지에 시원한 공기를 제공해주기 때문에 통풍시트와 비교적 가까운 복부, 팔, 다리의 표면온도는 감소하였으나 비교적 먼 안면부의 온도는 증가한 것으로 판단된다.

Fig. 4.15는 여름철 실내표준온도 조건인 27.5℃에서 통풍시트를 사용하여 휴식 시 의자의 등받이 부분과 허벅지 부분의 시트온도를 나타낸 그래프이다. 등받이 부분의 시트온도는 32.5℃에서 33.2℃까지 증가하였으며, 허벅지 부분의 시트온도는 32.1℃에서 32.5℃까지 증가하는 것으로 나타났다. 기본시트를 사용한 경우에 비하여 등받이 부분의 시트온도는 4.1% 감소하였으며, 허벅지 부분의 시트온도는 4.7% 감소하였다. 시트온도의 증가정도는 최대 0.7℃로 나타났으며 통풍시트에서 제공되는 27.5℃의 바람이 시트표면, 등, 허벅지의 온도를 낮추는 것으로 판단된다.

## 라. 주관설문조사 및 주의집중력 분석결과

Table 4.9 Subjective questionnaire survey results in the ventilation seat under 27.5°C condition

Subjective Questionnaire Survey category	Average value
TSV	-0.25
CSV	1.0
CLV	-0.13

Table 4.9은 여름철 실내표준온도 조건인 27.5°C에서 통풍시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 주관설문조사 결과를 나타내고 있다. 온열쾌적감을 나타내는 TSV는 -0.25로 약간 서늘하다고 응답하였으며, 쾌적감을 나타내는 CSV는 1.0로 약간 쾌적함으로 응답하였다. 또한 주의집중력을 나타내는 설문인 CLV는 -0.13로 중립과 가까운 값을 나타냈다. 따라서 실내온도 27.5°C에서 휴식조건은 피험자의 응답으로 주의집중력은 중립을 나타내지만 온열쾌적감은 약간 쾌적한 조건임이 확인되었다.

여름철 온도조건인 27.5°C에서 통풍시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 주의집중력 검사를 진행하였다. 주의집중력 검사 결과 피험자는 92.9%의 높은 값을 보였으며, 이는 본 연구에서 진행된 여름철 극한 실내온도 조건 및 실내표준온도 조건에서 주의집중력 검사 결과의 평균값이 87.2%인 것에 비해 6.5% 더 높게 나타났다. 또한 실내온도가 27.5°C에서 기본시트를 사용한 경우와 비교하였을 때 통풍시트를 사용한 경우 9.8% 증가하였다. 따라서 통풍시트의 사용은 피험자의 집중도 향상에 도움을 주며 주의집중도를 증가시키는 것으로 판단된다.

### 3. 여름철 실내표준온도 조건에서 휴식 중 냉수시트 사용에 따른 온열감성 분석

본 연구에서는 여름철 실내표준온도 조건인 27.5℃에서 4℃의 냉수시트 사용시 온열감성을 분석하였다. 온수시트에 순환하는 물의 유입온도는 4℃이며, 피험자는 건구온도 27.5℃, 상대습도 50%로 조작된 향온향습챔버안에 들어가 휴식의자에 앉아 10분간 휴식을 취하였으며 휴식을 취하는 동안 뇌파, 맥파, 의자와 접촉된 부분(등, 허벅지)의 피부온도, 피험자의 표면온도(안면, 복부, 팔, 다리)등을 측정하고 10분이 지난 뒤 주관 설문조사(TSV, CSV, CLV)와 주의집중력 검사를 진행하였다.

가. 뇌파 분석결과

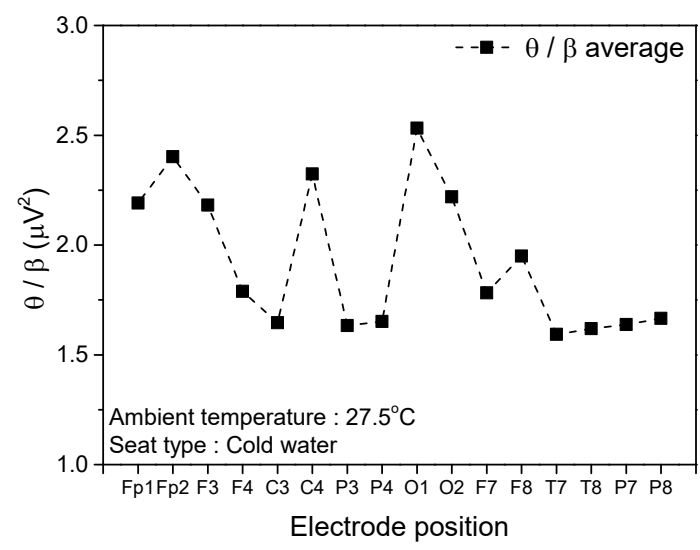


Fig. 4.16 Variation of  $\theta/\beta$  at each lobe in the using cold water cooling seat under 27.5°C condition

Fig. 4.16은 여름철 실내표준온도 조건인 27.5°C에서 4°C의 냉수시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 뇌 영역별 Theta파와 Beta파의 상호비율을 나타내었다. Theta파/Beta파의 값이 감소할수록 Theta파 대비 Beta파가 활성화 된 것으로 이는 피험자의 뇌 활성화 및 긴장상태임을 나타낸다. 실험결과 Theta파/Beta파의 값은 1.6~2.5  $\mu V^2$ 의 범위 내역 안에서 나타났으며, 일부 두정엽(C3-C4) 영역과 전두엽(Fp1-Fp2, F7-F8) 영역에서 불안이나, 분노, 우울과 같은 불쾌한 감정을 느낄 때 활성화된 것으로 해석되는 우뇌가 활성화되었으나 그 외의 다른 영역에서 좌뇌가 더 활성화 된 것을 확인할 수 있었다. 또한 27.5°C에서 냉수시트를 사용하여 휴식 중 측두엽, 두정엽 영역의 활성화를 통해 편안함과 휴식에 적합한 환경임으로 확인된다.

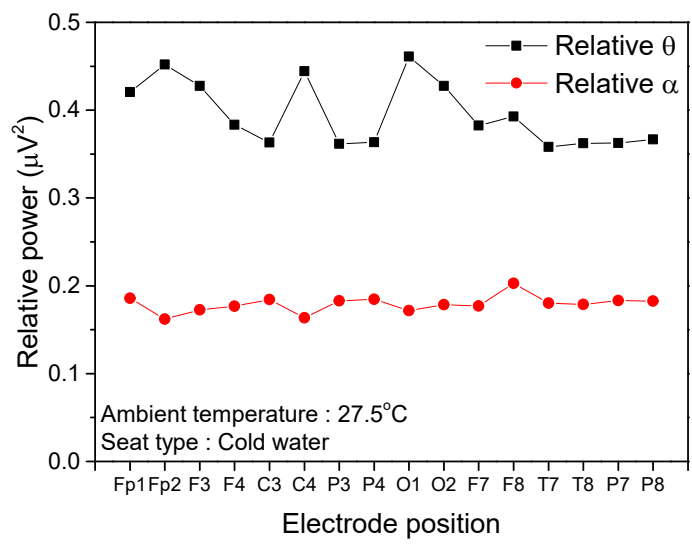


Fig. 4.17 Variations of relative  $\theta$  and  $\alpha$  at each lobe in the using cold water cooling seat under 27.5°C condition

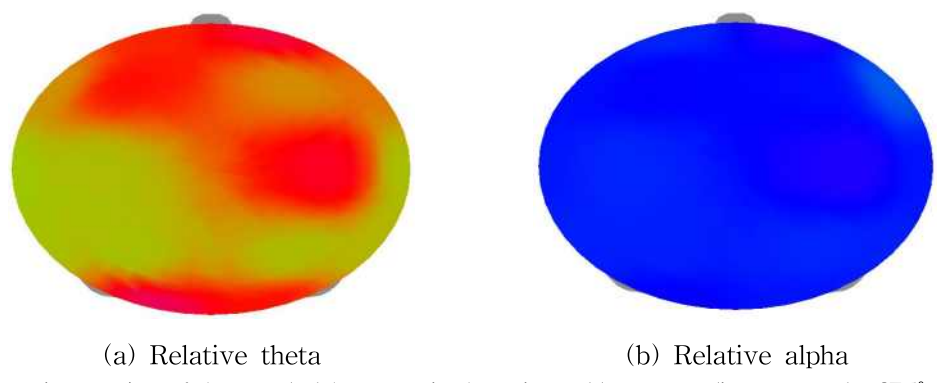


Fig. 4.18 Brain mapping of theta and alpha wave in the using cold water cooling seat under 27.5°C condition

Fig. 4.17과 4.18은 여름철 실내표준온도 조건인 27.5°C에서 4°C의 냉수시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 뇌 영역별 Relative Theta파와 Relative Alpha파의 그래프와 활성도를 나타낸다. 실내온도 27.5°C에서 냉수시트를 사용하여 휴식 시 Relative Theta파는 0.35~0.46  $\mu V^2$ , Relative Alpha파는 0.16~0.21  $\mu V^2$ 으로 나타났으며 Relative Theta파가 Relative Alpha파보다 더 높은 값을 보임에 따라 피험자는 편안한 졸음상태인 것으로 판단된다. 실험결과 Relative Alpha파 보다 Relative Theta파가 약 2.02배 더욱 활성화 되었으며 이를 통해 얇은 수면이 진행되고 있음으로 판단된다.

## 나. 맥파 분석결과

Table 4.10 Pulse wave analysis results in the using cold water cooling seat under 27.5°C condition

Pulse wave category	Average value
Stress index	37.7
LF/HF	1.16
SDNN	56.6
RMSSD	35.3

Table 4.10은 여름철 실내표준온도 조건인 27.5°C에서 4°C 냉수시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 맥파를 분석한 표이다. 스트레스 지수는 37.7로 초기 스트레스 상태이며 같은 실내온도 조건인 27.5°C에서 기본시트를 사용한 경우에 비해 9.6% 감소하였다. 또한 자율신경균형의 정도를 나타내는 LF/HF는 수면 중 교감신경활성도가 낮아지고 부교감신경활성도가 높아져 LF/HF는 감소하며 27.5°C에서 냉수시트를 사용하여 휴식 시 LF/HF는 1.16로 교감신경이 더 활성화 되어 일정 수준 이상으로 각성이 된 것으로 판단되었으며 27.5°C에서 기본시트를 사용하는 경우와 비교하여 0.85% 감소한 것으로 보아 각성의 정도가 일정수준 감소한 것으로 판단된다. 또한 맥박표준편차를 나타내는 SDNN과 평균편차 RMSSD는 각각 56.6과 35.3으로 나타났으며 27.5°C에서 기본시트의 사용과 비교하여 21.9%와 4.2% 증가하였다. 맥파의 LF/HF, 스트레스지수, SDNN과 RMSSD를 종합하여 분석하였을 때, 실내온도 27.5°C에서 냉수시트를 사용하여 휴식 시 피험자는 27.5°C에서 기본시트를 사용할 경우와 비교하여 스트레스와 LF/HF의 감소 및 SDNN과 RMSSD의 증가함에 따라 쾌적한 환경인 것으로 판단된다.

다. 피부온도 변화 분석결과

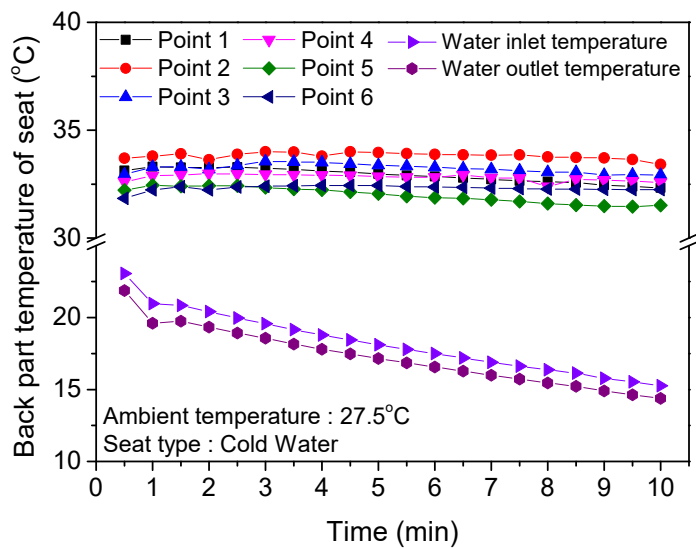
Table 4.11 Surface temperatures under 27.5°C using cold water cooling seat

Position	Average temperature(°C)
Belly	30.1
Arm	30.6
Face	31.8
Leg	29.7

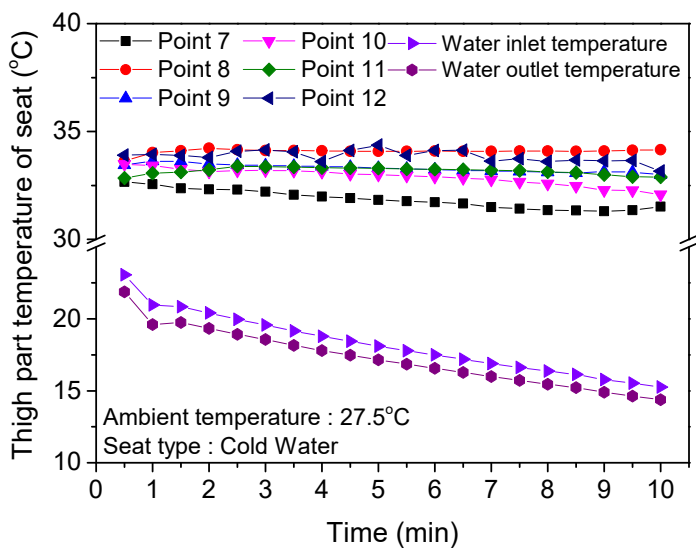


Fig. 4.19 Surface temperature in the using cold water cooling seat under 27.5°C condition





(a) Back part



(b) Thigh part

Fig. 420 Temperatures of back & thigh part in the using cold water cooling seat under 27.5°C condition

Table 4.11와 Fig. 4.19는 여름철 실내표준온도 조건인 27.5℃에서 4℃ 냉수시트를 사용하여 휴식 시 피험자를 열화상카메라로 측정된 복부, 팔, 안면, 다리 표면의 평균온도 값을 나타내었다. 실내온도 27.5℃의 여름철 실내표준온도 조건에서 4℃ 냉수시트를 사용하여 휴식할 때 피험자의 피부 표면온도를 측정된 안면부의 온도는 31.8℃로 인체 평균 온도인 36.5℃보다 4.7℃ 낮은 값을 보였으며, 옷으로 덮인 표면온도를 측정된 복부, 팔, 다리의 온도는 각각 30.1℃, 30.6℃, 29.7℃로 나타났다. 피험자의 복부, 팔, 다리의 표면온도는 실내온도 27.5℃에서 기본시트를 사용한 경우에 비해 냉수시트를 사용할 경우 각각 1.3%, 3.5%, 2.1% 감소하는 것을 보였으나 안면부의 온도는 1.6% 증가하였다. 냉수시트의 경우 시트내에 4℃의 냉수가 흐르는 튜브를 통해 등과 허벅지에 열을 전달해주기 때문에 냉수시트와 비교적 가까운 복부, 팔, 다리의 표면온도는 감소하였으나 비교적 먼 안면부의 온도는 증가한 것으로 판단된다.

Fig. 4.20은 여름철 실내표준온도 조건인 27.5℃에서 냉수시트를 사용하여 휴식 시 의자의 등받이 부분과 허벅지 부분의 시트온도를 나타낸 그래프이다. 등받이 부분의 시트온도는 32.7℃에서 32.5℃까지 감소하였으며, 허벅지 부분의 시트온도는 33.3℃에서 32.1℃로 감소하는 것으로 나타났다. 기본시트를 사용한 경우에 비하여 등받이 부분의 시트온도는 6.1% 감소하였으며, 허벅지 부분의 시트온도는 5.8% 감소하였다. 시트온도의 감소정도는 최대 1℃로 나타났으며 냉수시트에서 제공되는 냉수가 시트표면, 등, 허벅지의 온도를 낮추는 것으로 판단된다.

## 라. 주관설문조사 및 주의집중력 분석결과

Table 4.12 Subjective questionnaire survey results in the using cold water cooling seat under 27.5°C condition

Subjective Questionnaire Survey category	Average value
TSV	-0.63
CSV	1.25
CLV	0.38

Table 4.12는 여름철 실내표준온도 조건인 27.5°C에서 냉수시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 주관설문조사 결과를 나타내고 있다. 온열쾌적감을 나타내는 TSV는 -0.63로 약간 시원하다고 응답하였으며, 쾌적감을 나타내는 CSV는 1.25로 약간 쾌적하다고 응답하였다. 또한 주의집중력을 나타내는 설문인 CLV는 0.38로 약간 집중이 되는 것을 나타냈다. 따라서 실내온도 27.5°C에서 냉수시트를 사용하는 휴식 조건은 피험자의 응답으로 판단해보았을 때 온도조건은 약간 시원하고 쾌적감과 주의집중력은 높은 것으로 나타났다. 냉수시트는 통풍시트와 비교하였을 때 TSV는 -0.4 정도 낮게 나타났으며, CSV와 CLV는 각각 0.25와 0.51정도 높게 나타나 피험자에게 통풍시트보다 더욱 쾌적한 환경을 제공하는 것으로 나타났다.

여름철 실내표준온도 조건인 27.5°C에서 냉수시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 주의집중력 검사를 진행하였다. 주의집중력 검사 결과 피험자는 83.2%로 나타났으며 이는 본 연구에서 진행된 여름철 극한 실내온도 조건 및 실내표준온도 조건에서 주의집중력 검사 결과의 평균값이 87.2%인 것에 비해 4.5% 감소하였다. 또한 실내온도가 27.5°C인 경우와 비교하여 1.6% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 4°C 냉수시트의 낮은 온도가 피험자의 등과 허벅지에 국부적으로 열을 전달함에 따라 피험자의 집중도가 감소한 것으로 보인다.

## 제 2 절 여름철 실내의 표준온도 조건에서 휴식 중 다양한 냉방방법에 따른 안정조건 고찰

본 연구에서는 여름철 실내의 표준온도 조건인 27.5℃에서 냉각을 위한 다양한 시트 적용에 따른 피험자의 온열감을 분석하였다. 피험자는 건구온도 35℃, 27.5℃와 상대습도 50%에서 5분간 기본데이터를 측정 후 건구온도 27.5℃, 상대습도 50%로 설정된 항온항습 챔버안에서 통풍시트와 냉수시트가 적용된 휴식의자에 앉아 각각 10분간 휴식을 취하였으며 휴식을 취하는 동안 뇌파, 맥파, 의자와 접촉된 부분(등, 허벅지)의 피부온도, 피험자의 표면온도(안면, 복부, 팔, 다리)등을 측정하고 10분이 지난 뒤 주관 설문조사(TSV, CSV, CLV)와 주의집중력 검사를 진행하였다.

가. 뇌파 분석결과

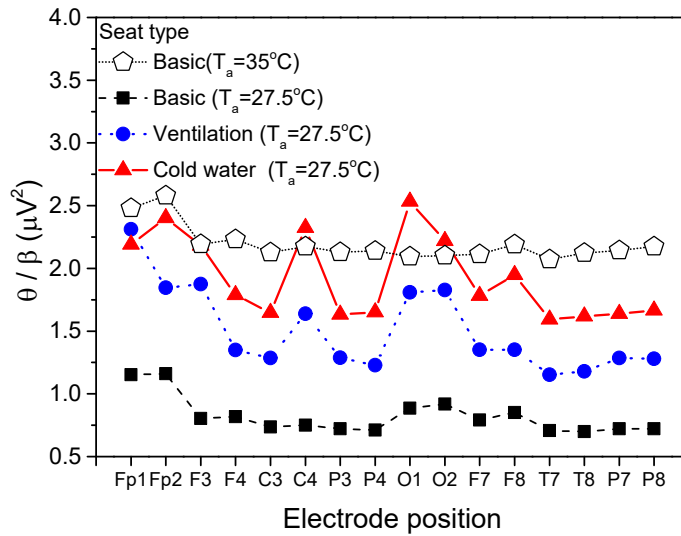


Fig. 4.21 Comparison of  $\theta/\beta$  at each lobe for various cooling conditions

Fig. 4.21은 여름철 고온의 실내온도 조건인 35°C에서 기본시트를 사용하였을 때와 실내의 표준온도 조건인 27.5°C에서 기본시트, 통풍시트, 냉수시트를 적용하였을 때 각 뇌 영역별 Theta파/Beta파의 상호비율의 변화를 비교하여 보여주고 있다. 여름철 극한 온도 조건인 35°C에서 기본시트를 적용하였을 때 전두엽, 측두엽, 두정엽, 후두엽 영역이 자뇌보다 우뇌가 활성화 된 것으로 보임에 따라 피험자가 불쾌적함을 느끼는 환경으로 판단된다. 반면 여름철 실내표준온도 조건인 27.5°C인 경우에 기본시트의 경우 Theta파보다 Beta파가 더욱 활성화되어 0.7~1.2  $\mu\text{V}^2$ 의 값을 보였으며, 이에 따라 피험자는 기본시트 사용 시 약간의 불안정 및 긴장상태인 것으로 판단되나 35°C의 조건에 비하여 불쾌적감은 많이 감소한 것으로 나타났다. 반면 통풍시트와 냉수시트는 각각 1.1~2.3  $\mu\text{V}^2$ 와 1.6~2.5  $\mu\text{V}^2$ 로 Beta파보다 Theta파가 활성화 되었으며, 이를 통해 피험자는 얇은 수면상태와 동일한 상태로 편안함을 느끼는 것으로 나타내었다. 이를 통해 실내온도 27.5°C에서 기본시트에 비해 통풍시트와 냉수시트를 사용하였을 경우 Theta파/Beta파의 값이 증가함에 따라 얇은 수면에 도달한 상태와 유사한 상태임을 확인 할 수 있었다. 또한 기본

시트 사용 시 전두엽 영역 및 우뇌의 Theta파/Beta파가 가장 활성화되어 스트레스 및 불안, 분노, 우울과 같은 불쾌한 감정을 느끼는 것으로 불쾌적인 상태로 판단되었으나, 통풍시트와 냉수시트 사용시 우뇌의 Theta파/Beta파가 활성화 되는 영역이 줄어들고 전두엽 영역의 활성화보다 두정엽, 측두엽, 후두엽 영역의 활성화됨을 통해 스트레스가 상대적으로 적으며, 피험자가 불쾌적함을 느끼지 않는 환경으로 판단된다.

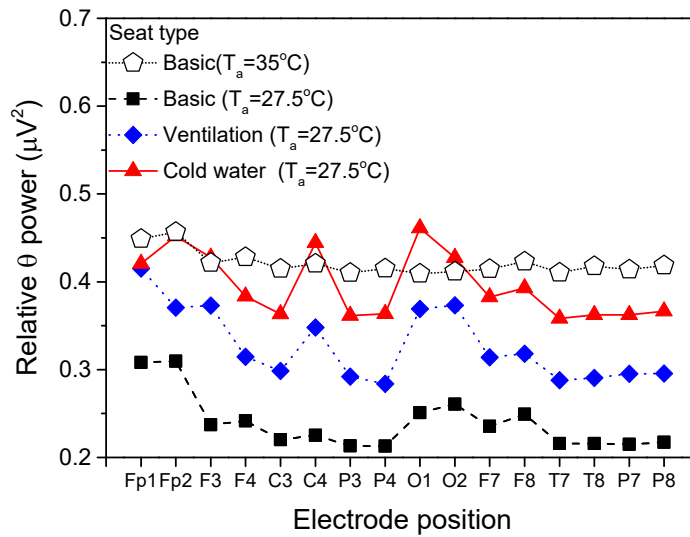


Fig. 4.22 Variation of relative  $\theta$  at each lobe for various cooling conditions

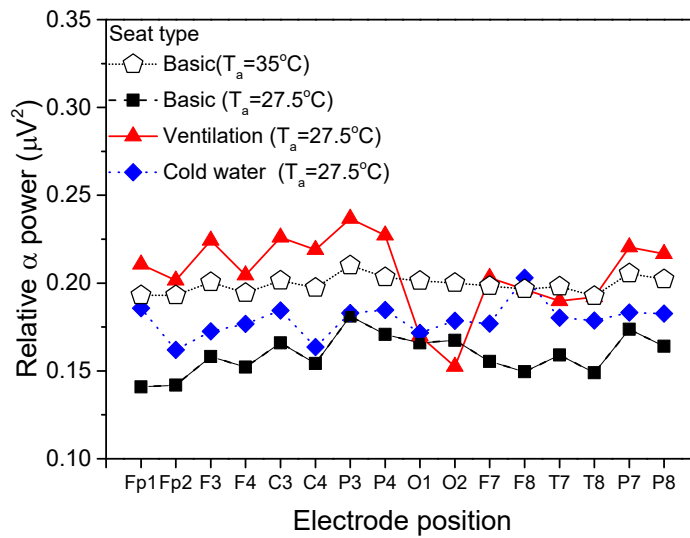


Fig. 4.23 Variation of relative  $\alpha$  at each lobe for various cooling conditions

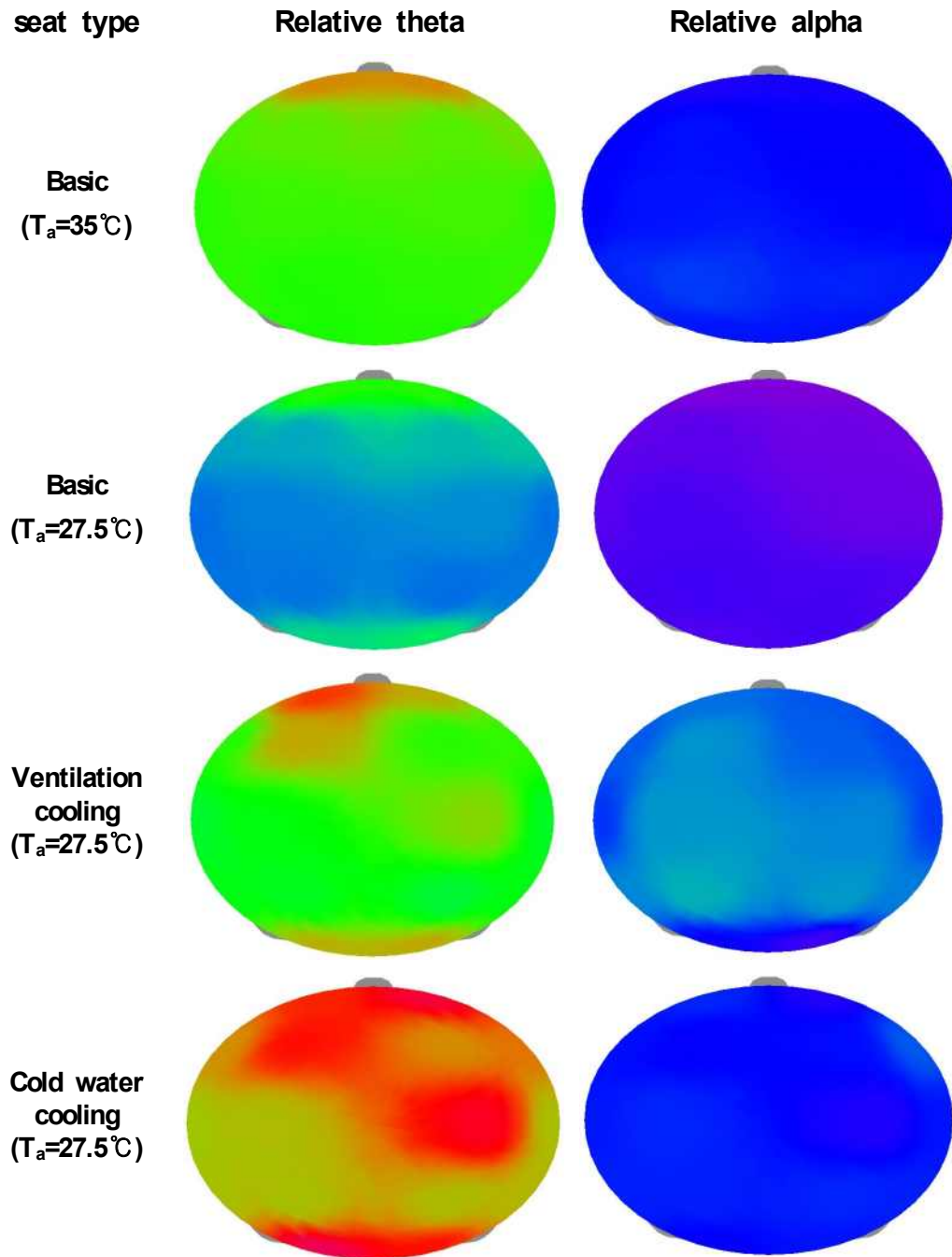


Table. 4.13 Brain mapping of theta and alpha wave in various condition



Fig. 4.22와 Fig. 4.23 및 Table. 4. 13은 각각 여름철 고온의 실내온도 조건인 35°C와 실내의 표준온도 조건인 27.5°C에서 기본시트, 통풍시트, 냉수시트를 사용하여 휴식을 취할 때 피험자의 뇌영역별 Relative Theta파와 Relative Alpha파의 그래프 및 활성화도를 비교하여 보여주고 있다.

Fig. 4.22는 여름철 고온의 실내온도 조건인 35°C와 실내의 표준온도 조건인 27.5°C에서 기본시트, 통풍시트, 냉수시트를 사용하여 휴식을 취하였을 경우 피험자의 뇌 영역별 Relative Theta파를 나타낸다. Relative Theta파의 경우 35°C의 환경에서 기본시트를 사용하는 경우 전 영역에서 높은 값을 보였으며 영역별로 값의 큰 차이는 보이지 않았다. 반면 실내온도 27.5°C의 환경에서 기본시트에 비하여 통풍시트 및 냉수시트에서 Relative Theta파가 더욱 활성화 되었으며, 냉수시트를 적용한 경우 가장 활성화 된 것을 바탕으로 피험자에게 적절한 휴식 환경이 제공된 것으로 판단된다. 기본시트를 사용하여 실내온도 27.5°C에서 휴식을 하였을 경우 좌뇌에 비하여 우뇌의 활성화가 두드러지게 나타났으며, 전두엽 영역이 다른 영역에 비해 더욱 활성화 되었으며 이를 통해 휴식에 적합한 상태가 아닌 것으로 판단된다. 통풍시트를 사용한 경우 일부 두정엽(C3-C4) 영역에서 우뇌의 활성화가 일어나지만 전두엽, 측두엽, 후두엽, 일부 두정엽 영역에서 좌뇌가 더욱 활성화 되는 것으로 나타나 불쾌한 감정이 아닌 휴식에 적합한 상태인 것으로 판단된다. 냉수시트를 적용한 경우 일부 전두엽(Fp1-Fp2) 영역과 두정엽(C3-C4) 영역에서 우뇌의 활성화를 보였으나 나머지 영역에서는 좌뇌의 활성화가 나타남에 따라 휴식에 적합한 상태인 것으로 판단된다.

Fig. 4.23은 여름철 고온의 실내온도 조건인 35°C와 실내의 표준온도 조건인 27.5°C에서 기본시트, 통풍시트, 냉수시트를 사용하여 휴식을 취할 때 피험자의 뇌영역별 Relative Alpha파의 변화를 보여주고 있다. Relative Alpha파의 경우 실내온도 35°C의 환경에서 기본시트를 사용하는 경우 전영역에서 높은 값을 보였으며 영역별로 값의 차이가 크지 않았다. 실내온도 27.5°C에서 기본시트에 비하여 통풍시트와 냉수시트를 적용한 경우 Relative Alpha파가 더욱 활성화 되었으며, 그 중 냉수시트를 적용한 경우 가장 활성화 된 것을 확인하였으며 이는 피험자에게 적절한 휴식환경이 제공된 것으로 판단된다. 기본시트를 사용하여 실내온도 27.5°C에서 휴식을 하였을 경우 신체적, 심리적 안정적인 상태를 나타내는

Relative Alpha파가 가장 낮게 나타났으며, 이를 통해 다른 환경에 비해 신체적, 심리적 안정적인 환경이 조성되지 않은 것으로 보인다. 반면 통풍시트의 경우 기본시트에 비해 Relative Alpha파가 높게 나타났으며, 후두엽(O1-O2) 영역, 일부 전두엽(F7-F8) 영역에서 우뇌의 활성화가 나타났다. 가장 높은 Relative Alpha파 값을 보인 냉풍시트의 경우 측두엽(T7-T8) 영역에서 우뇌의 활성화가 일어나 가장 안정적이며, 불안, 분노, 우울 등의 불쾌한 감정을 느끼는 환경이 아닌 편안한 환경으로 판단된다.

나. 맥파 분석결과

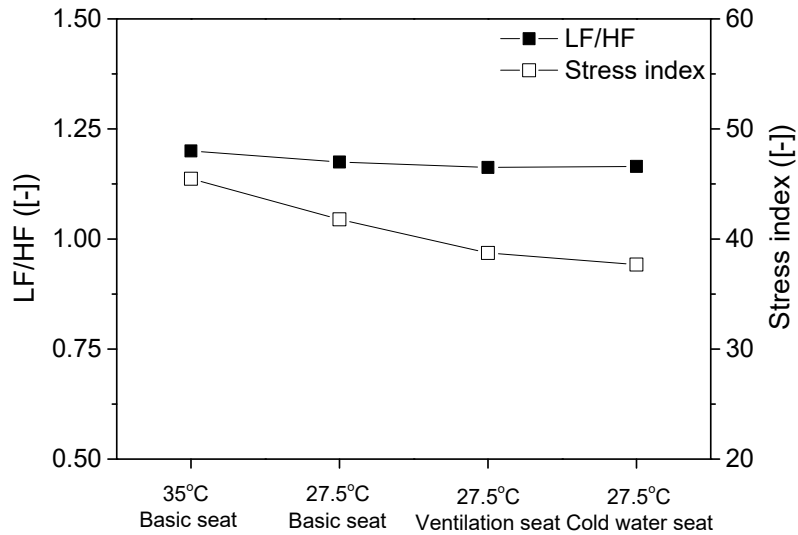


Fig. 4.24 Variations of LF/HF and stress index for various cooling conditions

Fig. 4.24는 여름철 고온의 실내온도 조건인 35°C와 실내의 표준온도 조건인 27.5°C에서 기본시트, 통풍시트, 냉수시트를 사용하여 휴식을 하였을 경우 피험자의 자율신경계의 균형 정도를 나타내는 LF/HF와 스트레스 지수를 나타낸 그래프이다. 자율신경계의 균형 정도를 나타내는 LF/HF는 수면 중 교감신경 활성화도가 낮아지고 부교감신경 활성화도가 높아져 LF/HF는 감소하는 것으로 알려져 있다. 여름철 온도조건에서 고온의 실내온도 조건인 35°C에서 실내의 표준온도 조건인 27.5°C로 낮아질 경우 및 실내온도가 27.5°C에서 휴식용 시트를 통풍시트와 냉수시트를 사용하였을 경우 LF/HF의 비는 약간 감소하였으며 스트레스 지수는 크게 감소함을 보였다. 또한 피험자의 LF/HF가 1.2에서 1.17로 감소됨에 따라 피험자는 시트에 적절한 냉각온도가 제공됨에 따라 휴식환경이 개선되어 수면에 적절한 환경이 조성된 것으로 판단된다. 스트레스 지수 또한 실내온도가 35°C에서 27.5°C로 낮아질 경우 45.5에서 37.7까지 감소되었으며, 실내온도 27.5°C에서 통풍시트와 냉수시트의 사용은 피험자의 휴식에 적절한 온도를 제공하여 피험자의 스트레스가 감소하는 것으로 판단된다. 특히, 4°C의 냉수시트를 사용하는 경우 스트레스 지수가 가장 감소함을 보였다. 이는 통풍시트에 비하여 낮은 온도가 제공됨에 따라 피험자가 만족감을 느끼는 주요 원인으로 분석된다.

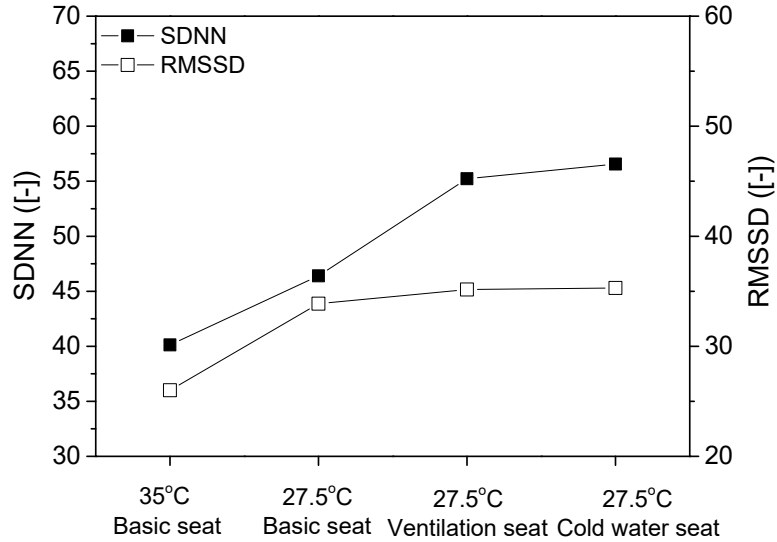


Fig. 4.25 Variations of SDNN and RMSSD for various cooling condition

Fig. 4.25는 여름철 고온의 실내온도 조건인 35°C와 실내의 표준온도 조건인 27.5°C에서 기본시트, 통풍시트, 냉수시트를 사용하여 휴식을 하였을 경우 맥파표준편차인 SDNN과 평균편차인 RMSSD를 나타낸 그래프이다. SDNN은 외부 스트레스 및 체내 호르몬에 의한 영향에 반응하는 심장의 고유한 능력을 대변하며, 전반적인 심장박동의 복잡성을 나타내는데 SDNN의 값이 100이하인 경우 심혈관계 질환의 위험군 임을 나타낸다. RMSSD는 자율신경계 중 부교감 신경계의 조절능력을 반응하는 지표로 RMSSD의 감소는 부교감신경계 조절능력의 저하를 나타낸다. 실내온도가 35°C에서 27.5°C로 온도가 감소함에 따라 기본시트의 조건에서 SDNN은 40.1에서 46.6까지 증가하여 외부환경에 적응한 것으로 나타나며 RMSSD는 26에서 33.9까지 증가하여 분노, 근심, 공포상태로부터 벗어난 것으로 판단된다. 또한 실내온도가 27.5°C일 경우 기본시트와 비교하여 통풍시트와 냉수시트를 사용할 경우 SDNN은 기본시트에서 46.6으로 나타났지만 통풍시트와 냉수시트는 각각 55.2와 56.6으로 나타났다. 또한 RMSSD는 기본시트에서 26으로 나타났으나 통풍시트와 냉수시트 사용시 각각 35.2와 35.3으로 증가하였다. 따라서 고온의 실내온도 조건인 35°C의 더운 환경에서 실내의 표준온도 조건인 27.5°C로 온도가 변화하였을 때

피험자는 상대적으로 편안함을 느끼며 실내온도 27.5℃에서 기본시트를 사용할 경우에 비해 통풍시트와 냉수시트의 사용은 피험자의 SDNN과 RMSSD의 값이 증가하여 스트레스 감소 및 자율신경계의 인체 조절 능력이 향상되는 것을 보였으며 따라서 기본시트를 사용하는 경우에 비해 통풍 및 냉수시트를 사용함으로써 휴식 환경이 개선된 것으로 판단된다. 특히, 냉수시트를 적용한 경우 피험자의 휴식 환경이 더 적절하게 제공된 것으로 판단된다.

다. 피부온도 변화 분석결과

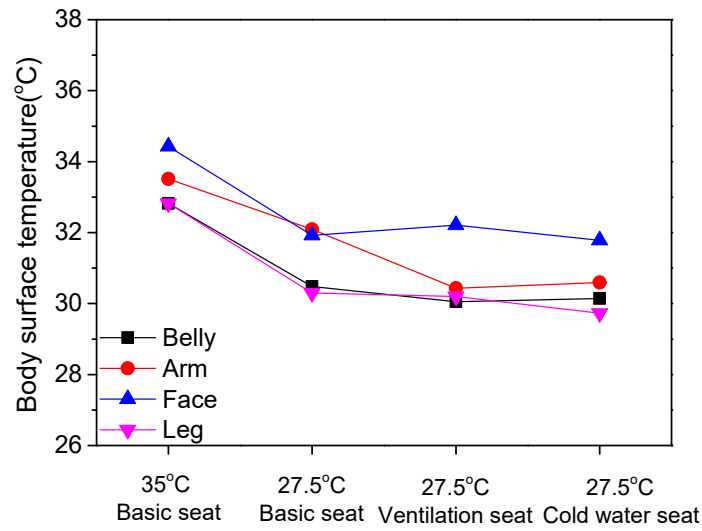
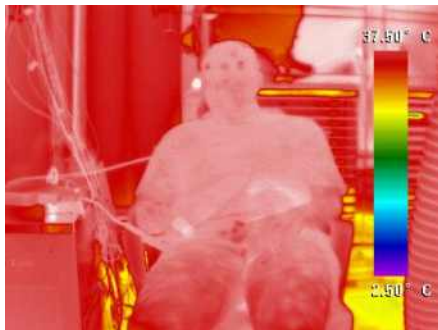
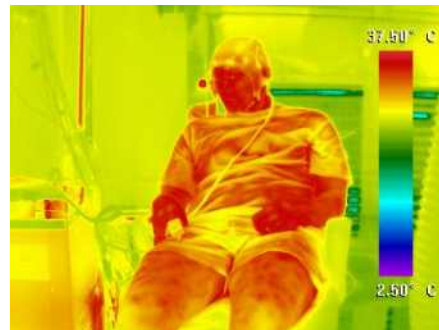


Fig. 4.26 Variation of body surface temperature for various cooling condition



(a)  $T_a=35^\circ\text{C}$  / Basic seat



(b)  $T_a=27.5^\circ\text{C}$  / Basic seat



(c)  $T_a=27.5^\circ\text{C}$  / Ventilation cooling seat



(d)  $T_a=27.5^\circ\text{C}$  / Cold water cooling seat

Fig. 4.27 Photographs of thermal imaging of subject for various cooling conditions

Fig. 4.26과 Fig. 4.27은 여름철 고온의 실내온도 조건인 35℃와 실내의 표준온도 조건인 27.5℃에서 기본시트, 통풍시트, 냉수시트를 사용하여 휴식을 하였을 경우 피험자의 복부, 팔, 안면, 다리의 표면온도를 나타낸 그래프이다. 열화상 카메라로 피험자를 촬영한 결과 피험자의 표면온도의 변화에 따른 색상의 변화는 크게 나타나지 않았으며, 실내온도가 35℃의 경우 복부, 팔, 안면, 다리 모두 약 32℃ 이상의 온도를 나타냈다. 실내온도를 27.5℃로 낮추었을 때 피험자의 복부, 팔, 안면, 다리의 표면온도 또한 함께 낮아지는 것을 확인할 수 있었으며 이는 피험자의 표면온도가 실내의 온도조건에 영향을 직접적으로 받아 피험자의 표면온도가 낮아진 것으로 판단된다. 실내온도가 27.5℃일 때 기본시트와 비교하여 통풍시트를 사용했을 경우 안면온도는 약 0.9℃ 증가하였지만 복부, 팔, 다리의 온도는 감소한 것으로 나타났다. 이는 통풍시트의 경우 실내공기가 시트 하단의 모터를 통해 시트 안으로 공기를 유입시켜 피험자의 등과 엉덩이로 제공함으로써 체온의 감소보다는 땀의 증발촉진으로 인해 외부공기와 접촉된 피험자의 표면온도를 감소시키기 때문이다. 냉수시트의 경우 외부공기와 접촉된 표면이 아닌 시트와 접촉된 인체표면을 국부 냉각시키는 것이기 때문에 외부공기와 접촉된 표면의 온도에 큰 영향을 미치지 않았으나, 기본시트에 비하여 안면부 온도는 0.5℃ 증가되었으나, 복부, 팔, 다리의 온도는 감소 또는 유지된 것을 확인할 수 있었다. 하지만 피험자가 직접 낮은 온도의 냉수관이 지나가는 시트와 접촉함으로써 온도가 감소되고 쾌적감을 느끼는 것으로 판단된다.

라. 주관설문조사 분석결과

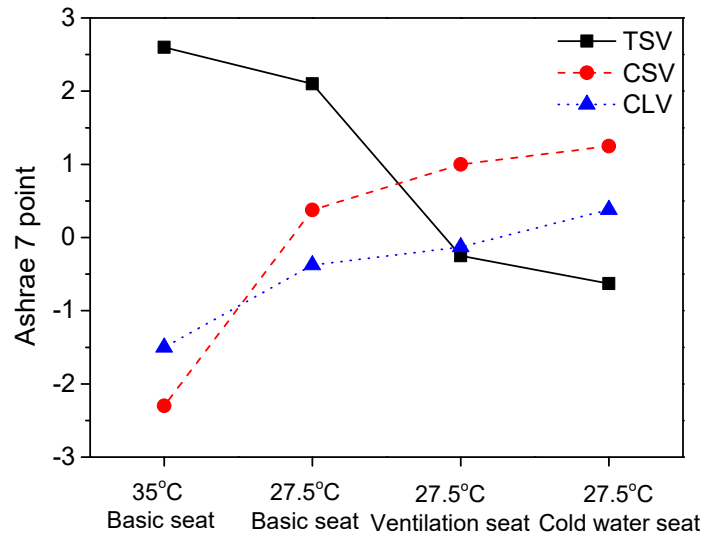


Fig. 4.28 Variation of subjective survey in summer condition

Fig. 4.28은 여름철 고온의 실내온도 조건인 35°C와 실내 표준온도 조건인 27.5°C에서 기본시트, 통풍시트, 냉수시트를 사용하여 휴식을 하였을 경우 주관설문조사의 분석결과를 비교하여 나타내고 있다. 실내온도가 35°C에서 TSV가 2.6으로 매우 더운 환경임으로 조사되었으며, 이에 CSV와 CLV는 각각 -2.3과 -1.5로 불쾌적인 수치를 보였다. 반면 실내온도가 27.5°C에서 기본시트를 사용하였을 경우 TSV가 2.1, CSV와 CLV는 각각 0.375와 -0.375로 약간 따뜻한 환경에서 중립적인 쾌적성의 결과를 나타냈다. 실내온도 27.5°C에서 통풍시트를 사용할 경우 TSV는 -0.25로 나타났으며, CSV와 CLV는 각각 1.0과 -0.13로 기본시트보다 약간 증가한 값을 보였다. 실내온도 27.5°C에서 냉수시트를 사용할 경우 TSV는 -0.63으로 타냈으며, CSV와 CLV는 각각 1.25와 0.38로 기본시트와 통풍시트를 적용한 경우보다 약간 더 증가하였다. 실내온도 27.5°C에서 통풍시트와 냉수시트의 사용은 기본시트 사용에 비해 피험자는 온열감이 개선되어 중립 또는 약간 시원함을 느끼는 것으로 응답하였으며, 쾌적감 설문과 주의집중력 설문 또한 기본시트 사용 시 설문조사 결과 중립에 가까운 값을 나타냈으나, 통풍시트와 냉수시트의 사용이 피험자의 쾌적감과 주의집중력을 증가시키는 것으로 나타났다.



마. 주의집중력 검사 결과

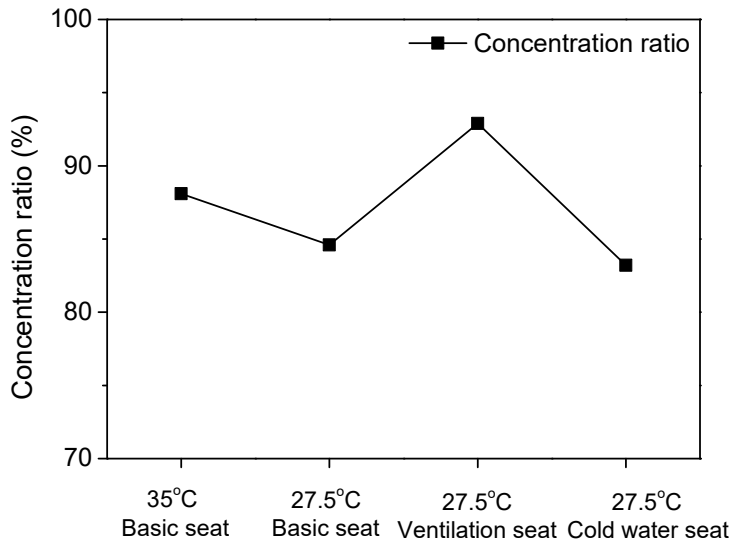


Fig. 4.29 Variation of concentration ratio for various cooling conditions

Fig. 4.29는 여름철 고온의 실내온도 조건인 35°C와 실내의 표준온도 조건인 27.5°C에서 기본시트, 통풍시트, 냉수시트를 사용하여 휴식을 하였을 경우 피험자의 주의집중력 검사 결과를 나타낸 그래프이다. 주의집중력은 실내온도 35°C에서 88.1%로 나타났으나 27.5°C에서 84.6%로 다소 감소하였다. 실내온도 27.5°C에서 통풍시트와 냉수시트를 사용하였을 경우 각각 92.9%와 83.2%로 나타났다. 따라서 본 논문에서 진행된 여름철 온도조건에서의 주의집중도의 평균값은 87.2%로 나타났으며, 여름철 극한 온도조건인 35°C의 환경이 27.5°C의 약간 더운 환경에 비하여 피험자의 집중도가 향상된 것으로 나타났다. 또한 통풍시트의 사용이 냉수시트 사용에 비해 주의집중도가 10.4% 더 높게 나타났으며, 이는 통풍시트의 경우 피험자가 느끼는 불편함이 적어 주의집중력을 높이는 것으로 판단된다.

## 제 5장 겨울철 온열감성과 휴식 안정조건 고찰

### 제 1 절 겨울철 실내표준온도 조건에서 휴식 중 난방기기 사용에 따른 온열감성 고찰

#### 1. 겨울철 실내외 표준온도 조건에서 휴식 중 온열감성 분석

본 연구에서는 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5℃와 저온의 실내온도 조건인 15℃에서 피험자의 온열감성을 분석하였다. 피험자는 건구온도가 각각 22.5℃ 및 15℃와 상대습도 50%로 설정된 항온항습 챔버안에 들어가 휴식의자에 앉아 5분간 휴식을 취하였으며 휴식을 취하는 동안 뇌파, 맥파, 의자와 접촉된 부분(등, 허벅지)의 피부온도, 표면온도(안면, 복부, 팔, 다리)등을 측정하고 5분이 지난 뒤 주관 설문조사(TSV, CSV, CLV)와 주의집중력 등의 검사를 진행하였다.

가. 뇌파 분석결과

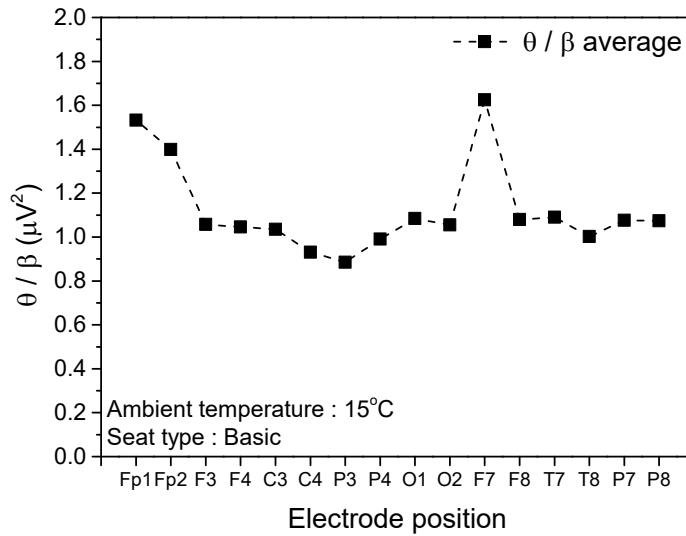


Fig. 5.1 Variation of  $\theta/\beta$  at each lobe under 15°C condition

Fig. 5.1은 겨울철 저온의 실내온도 조건인 15°C에서 휴식 시 피험자의 뇌 영역별 Theta파와 Beta파의 상호비율을 나타내었다. Theta파/Beta파의 값이 감소할수록 Theta파 대비 Beta파가 활성화 된 것으로 이는 피험자가 긴장상태임을 나타낸다. Theta파/Beta파는 전체적으로 0.8~1.6  $\mu V^2$ 의 범위 내역 안에서 나타났으며, 일부 두 정엽(P3-P4) 영역에서 좌뇌 보다 우뇌가 더 활성화 되는 것으로 확인되었으며 이는 휴식 중 스트레스의 반응으로 인해 전두엽이 과도하게 활성화되는 것을 의미한다. 따라서 실내온도 15°C의 춥고 불쾌한 온도조건이 우뇌활성화에는 크게 영향을 미치지 않았지만 전두엽의 활성화에 직접적인 영향을 미친 것으로 판단된다.

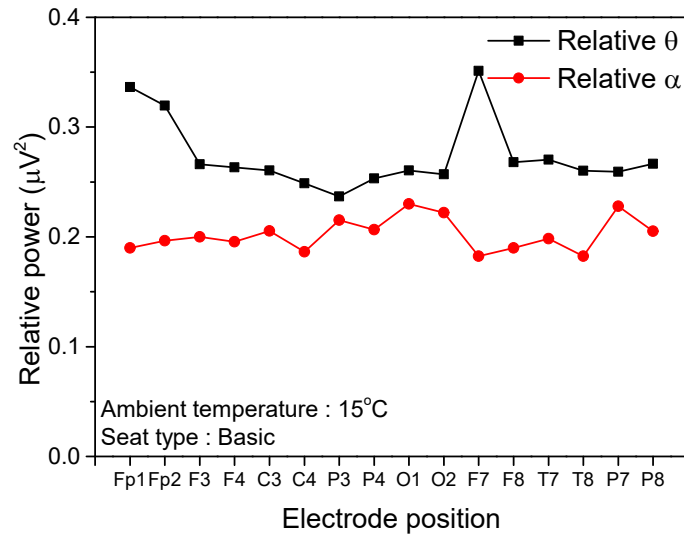
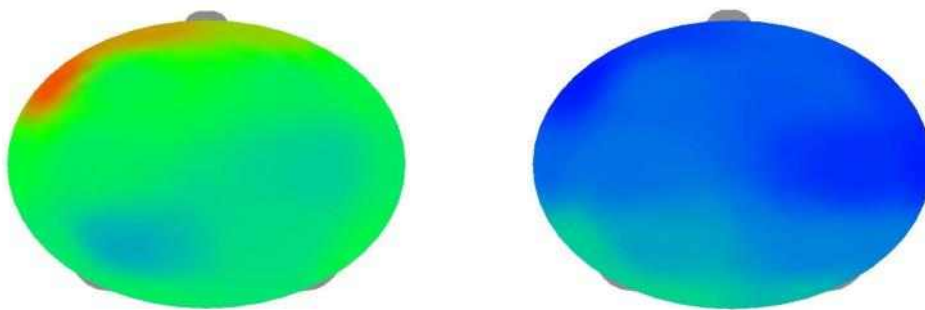


Fig. 5.2 Variations of relative  $\theta$  and  $\alpha$  at each lobe under 15°C condition



(a) Relative theta

(b) Relative alpha

Fig. 5.3 Brain mappings of theta and alpha wave under 15°C condition

Fig. 5.2과 5.3은 겨울철 저온의 실내온도 조건인 15℃에서 휴식 시 피험자의 뇌 영역별 Relative Theta파와 Relative Alpha파를 나타낸다. 얇은 수면상태에서는 Alpha파보다 느린 Theta파가 발생되는데 Theta파는 지각의 꿈과 경계의 상태로 불리며, 뉴런의 활동이 느려지게 된다. 반면 Alpha파는 눈을 감고 휴식할 경우 뇌의 활동이 완화되며 Alpha파를 생산하게 되어 의식이 높은 상태에서 몸과 마음이 조화를 이루고 있을 때 발생된다. 따라서 Relative Theta파의 증가는 졸음을 나타내며 Relative Alpha파의 증가는 심리적, 정신적 안정을 나타낸다. 실내온도 15℃에서 휴식 시 Relative Theta파는 0.23~0.33  $\mu V^2$ , Relative Alpha파는 0.18~0.23  $\mu V^2$ 으로 나타났다. 따라서 Relative Theta파가 Relative Alpha파보다 더 높은 값을 보임에 따라 피험자는 약간의 졸음상태인 것으로 판단되지만 Relative Alpha파와 큰 차이를 보이지 않아 피험자가 휴식을 취하기에 적합한 상태로 판단하기는 어렵다. Fig. 5.3는 뇌 영역별 Relative Theta파와 Relative Alpha파의 활성화도로 Relative Theta파는 좌-전두엽 영역, Relative Alpha파는 좌-후두엽 영역에서 활성화 된 것을 확인할 수 있다. 인지수준 및 행동수준이 높을 경우 좌-전두엽 영역의 Relative Theta파가 활성화되며 긴장이완 및 폐안시 후두엽에서 Relative Alpha파가 지배적으로 활성화된다. 따라서 피험자는 실내온도 15℃에서 휴식을 취하며 긴장이완 상태로 보이나, 인지수준 및 행동수준이 높은 것으로 판단된다.

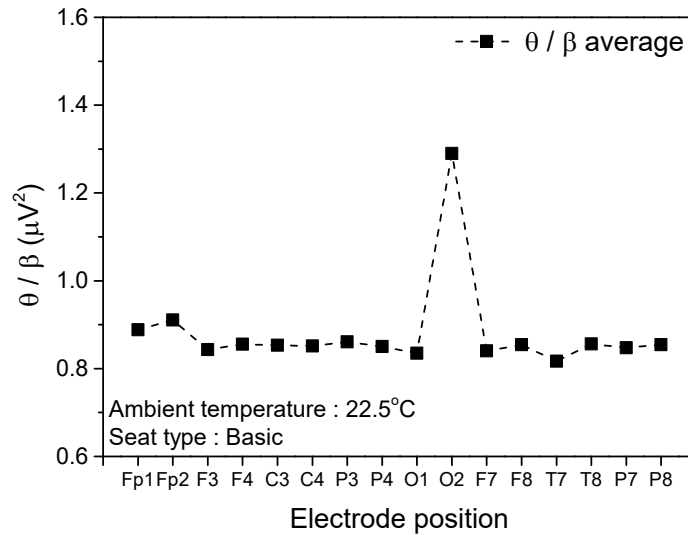


Fig. 5.4 Variation of  $\theta/\beta$  at each lobe under 22.5°C condition

Fig. 5.4는 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5°C에서 휴식 시 피험자의 뇌 영역별 Theta파와 Beta파의 상호비율을 나타내었다. Theta파/Beta파의 값이 감소할수록 Theta파 대비 Beta파가 활성화 된 것으로 이는 피험자가 긴장상태임을 나타낸다. 대부분의 측정영역에서 Theta파/Beta파는 0.81~0.91  $\mu V^2$ 의 범위 안에서 나타났지만 우-후두엽 영역인 O2에서 1.28  $\mu V^2$ 으로 크게 나타났다. 일부 두정엽(C3-C4) 영역을 제외하고 나머지 영역에서 불안이나, 분노, 우울과 같은 불쾌한 감정을 느낄 때 활성화 된 것으로 해석되는 우뇌가 다소 활성화되기는 하나 좌뇌와 우뇌의 차이는 크게 나타나지 않았다.

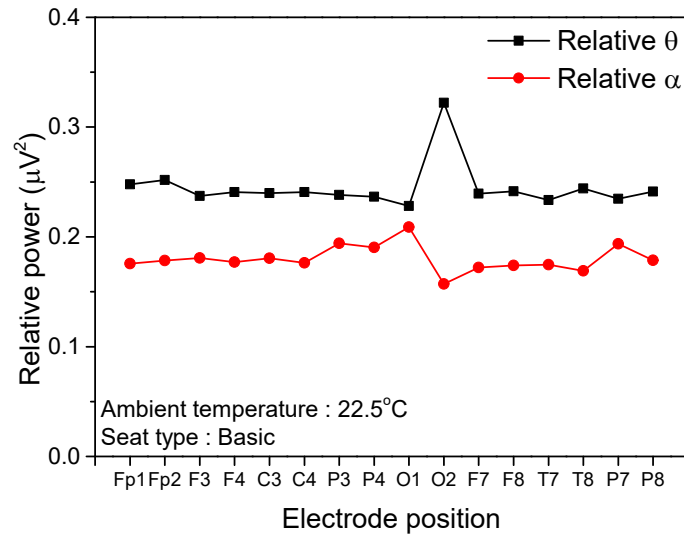
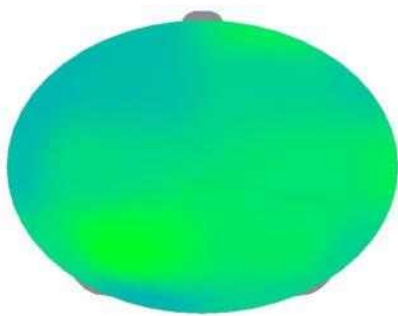


Fig. 5.5 Variations of relative  $\theta$  and  $\alpha$  at each the lobe under 22.5°C condition



(a) Relative theta



(b) Relative alpha

Fig. 5.6 Brain mappings of theta and alpha wave under 22.5°C condition

Fig. 5.5와 5.6은 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5℃에서 휴식 시 피험자의 뇌 영역별 Relative Theta파와 Relative Alpha파를 나타낸다. 실내온도가 22.5℃인 경우 피험자의 Relative Theta파는 0.22~0.32  $\mu V^2$ , Relative Alpha파는 0.17~0.21  $\mu V^2$ 으로 나타났으며 Relative Theta파가 Relative Alpha파보다 더 높은 값을 보임에 따라 피험자는 약간의 졸음을 느끼는 상태인 것으로 판단된다. 실내온도 22.5℃에서 휴식 시 피험자의 Relative Theta파와 Relative Alpha파의 값은 대칭적인 모습을 보였으며, 전 영역에서 큰 변화를 보이지 않았으나 후두엽에서 Relative Theta파와 Relative Alpha파 모두 값의 큰 증감을 보였다. Fig. 5.6는 뇌 영역별 Relative Theta파와 Relative Alpha파의 활성화도로 Relative Theta파와 Relative Alpha파는 일부 좌두정엽 영역과 좌-후두엽 영역에서 활성화 된 것을 확인할 수 있다. 두정엽과 후두엽 전반에 걸친 높은 Relative Theta파와 Relative Alpha파의 활성화는 각각 낮은 주의력과 긴장이완을 나타내며 따라서 실내온도 22.5℃에서 휴식 시 피험자는 졸음을 느끼는 상태인 것으로 판단된다.



## 나. 맥파 분석결과

Table 5.1 Pulse wave analysis results in the basic seat under 15°C condition

Pulse wave category	Average value
Stress index	35.2
LF/HF	1.17
SDNN	59.8
RMSSD	47.4

Table 5.1은 겨울철 저온의 실내온도 조건인 15°C에서 휴식 시 피험자의 맥파를 분석한 결과를 나타낸 표이다. 스트레스 지수는 35.2로 초기 스트레스 상태이며 이를 통해 실내온도 15°C에서 휴식 시 피험자는 약간의 스트레스가 나타나는 것으로 판단된다. 자율신경계의 균형정도를 나타내는 LF/HF는 수면 중 교감신경의 활성도가 낮아지고 부교감신경의 활성도가 높아져 LF/HF는 감소하며 실내온도 15°C에서 휴식 시 LF/HF는 1.17로 교감신경이 더 활성화되어 일정 수준 이상으로 각성이 된 것으로 판단된다. 피험자의 SDNN은 외부 스트레스 및 체내 호르몬에 의한 영향에 반응하는 심장의 고유한 능력을 대변하며, 전반적인 심장박동의 복잡성을 나타내는데 SDNN의 감소는 심장기능의 전반적인 저하를 나타낸다. 또한 RMSSD는 자율신경계 중 부교감 신경계의 조절능력을 반응하는 지표로 RMSSD의 감소는 부교감 신경계 조절능력의 저하를 나타낸다. 실내온도 15°C에서 피험자의 맥박표준편차를 나타내는 SDNN과 평균편차 RMSSD는 각각 59.8과 47.4로 나타났다. 맥파의 LF/HF, 스트레스지수, SDNN과 RMSSD를 종합하여 분석하였을 때, 실내온도 15°C에서 휴식 시 피험자는 약간의 스트레스로 인한 각성상태이며 이는 피험자가 수면 및 휴식을 취하는 환경에 부적합한 것으로 판단된다.

Table 5.2 Pulse wave analysis results in the basic seat under 22.5°C condition

Pulse wave category	Average value
Stress index	31.9
LF/HF	1.16
SDNN	53.2
RMSSD	44.2

Table 5.2는 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5°C에서 휴식 시 피험자의 맥파를 분석한 결과를 나타낸 표이다. 스트레스 지수는 31.9로 일시적인 스트레스 상태로 분석되었으며, 실내온도 15°C에서 휴식 시 피험자의 스트레스 지수보다 9.4% 감소하는 것으로 확인되었다. 자율신경계의 균형 정도를 나타내는 LF/HF는 수면 중 교감신경 활성화도가 낮아지고 부교감신경 활성화도가 높아져 LF/HF는 감소하며 실내온도 22.5°C에서 휴식 시 LF/HF는 1.16로 교감신경이 더 활성화 되어 일정 수준 이상으로 각성상태인 것으로 판단되나 실내온도 15°C에서 휴식 시와 비교하여 0.85% 감소하여 각성의 정도가 감소한 것으로 판단된다. 실내온도 22.5°C에서 맥박표준편차를 나타내는 SDNN과 평균편차 RMSSD는 각각 53.2와 44.2로 나타났다. 이는 실내온도 15°C의 환경에서 기본시트를 사용하여 휴식을 진행 상태에 비해 SDNN와 RMSSD는 각각 11.1%와 6.7% 감소한 것으로 나타났다. 추운 환경인 15°C의 경우 심장의 박동이 불규칙해져 SDNN과 RMSSD가 증가하지만 비교적 따뜻한 환경인 22.5°C의 환경에서는 심장의 움직임이 단조로워 SDNN과 RMSSD가 상대적으로 감소한 것으로 판단된다. 피험자의 맥파의 LF/HF, 스트레스지수, SDNN과 RMSSD를 종합하여 분석하였을 때, 실내온도 22.5°C에서 휴식 시 피험자의 스트레스는 실내온도 15°C의 환경에서 휴식 시 보다 감소하는 것으로 나타났으며, LF/HF가 1이상으로 약한 각성상태로 판단할 수 있으며 실내온도 15°C에서의 휴식상태에 비해 상대적으로 더 쾌적한 환경으로 판단된다.

다. 피부온도 변화 분석결과

Table 5.3 Surface temperatures of subjects in the basic seat under 15°C condition

Position	Average value(°C)
Belly	22.3
Arm	25.3
Face	27.8
Leg	24.8

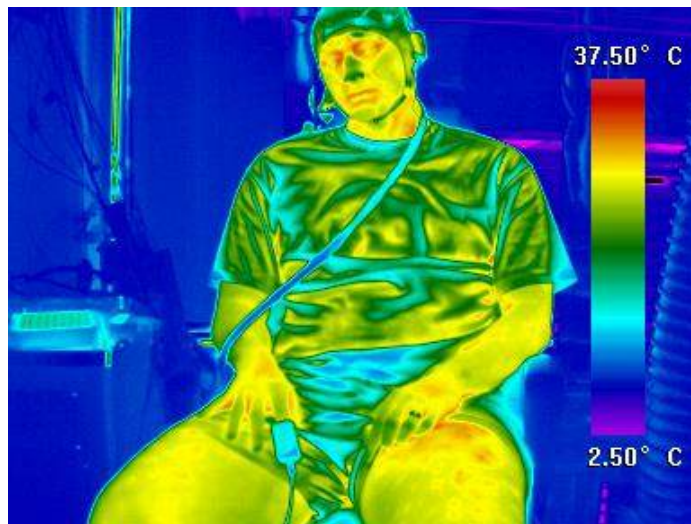
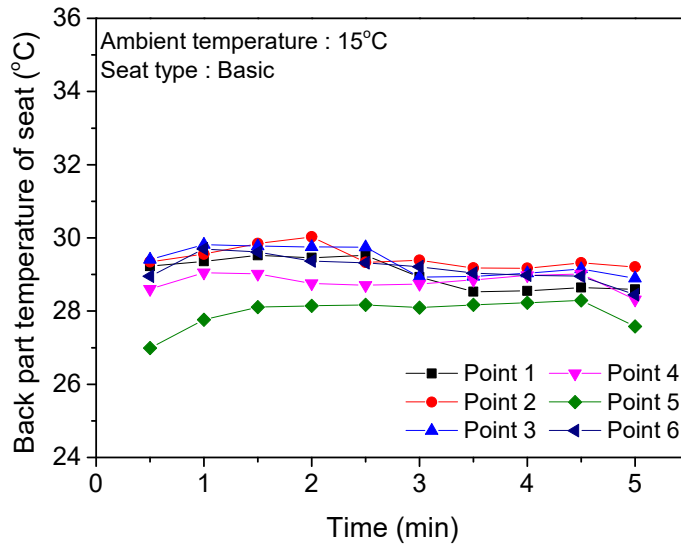
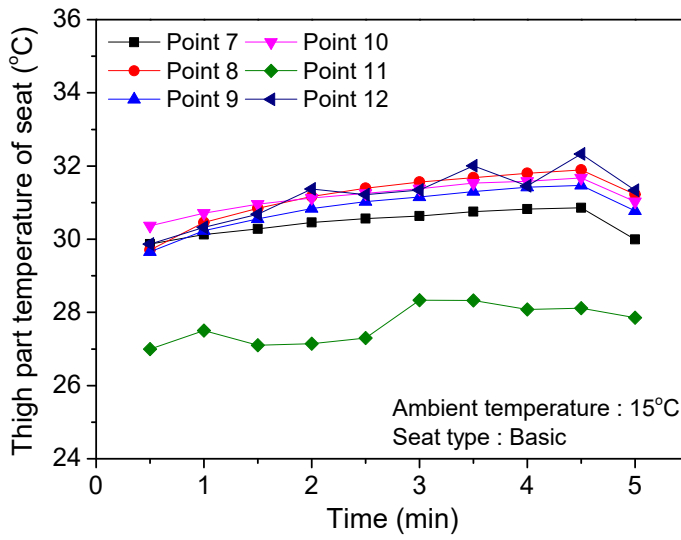


Fig. 5.7 Surface temperature of subject in the basic seat under 15°C condition



(a) Back part



(b) Thigh part

Fig. 5.8 Temperatures of back and thigh part under 15°C condition

Table 5.3과 Fig. 5.7은 겨울철 저온의 온도조건인 15℃에서 휴식 시 피험자를 열화상 카메라로 측정한 복부, 팔, 안면, 다리 표면의 평균온도 값을 나타내었다. 15℃의 겨울철 온도조건에서 피험자의 피부 표면온도를 측정한 안면부의 온도는 인체 평균 온도인 27.8℃로 나타났으며, 옷으로 덮인 표면온도를 측정한 복부, 팔, 다리의 온도는 각각 22.3, 25.3, 24.8℃로 측정되었다. 실내온도 15℃에서 휴식 시 피험자를 열화상 카메라로 측정하였을 때 카메라로 찍힌 피험자의 전면부의 표면온도는 약 22℃이상으로 나타났으며 이는 15℃의 실내온도의 영향을 받은 것으로 판단된다.

Fig. 5.8은 겨울철 저온의 실내온도 조건인 15℃에서 휴식 시 의자의 등받이 부분과 허벅지 부분의 시트온도를 나타낸 그래프이다. 등받이 부분의 시트온도는 28.7℃에서 28.5℃까지 감소하였으며, 허벅지 부분의 시트온도는 29.4℃에서 30.3℃까지 증가하는 것으로 나타났다. 처음 15℃에서 휴식 시 등받이 부분의 시트온도와 허벅지 부분의 시트온도는 각각 약 28.7℃와 29.4℃로 나타났지만 실험이 진행됨에 따라 등받이 부분의 시트온도 감소하였지만 피험자와 접촉이 잘된 허벅지 부분의 시트온도는 피험자의 체온의 영향을 받아 다소 증가함을 보였다.

Table 5.4 Surface temperature in the basic seat under 22.5°C condition

Position	Average value(°C)
Belly	26.8
Arm	28.1
Face	30.2
Leg	27.4

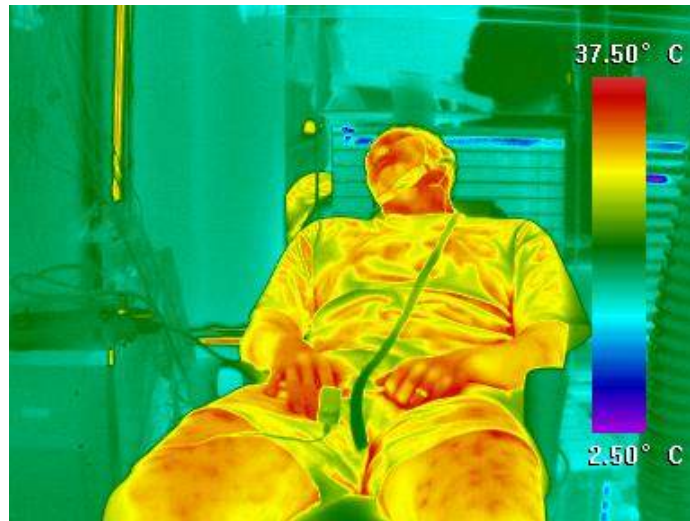
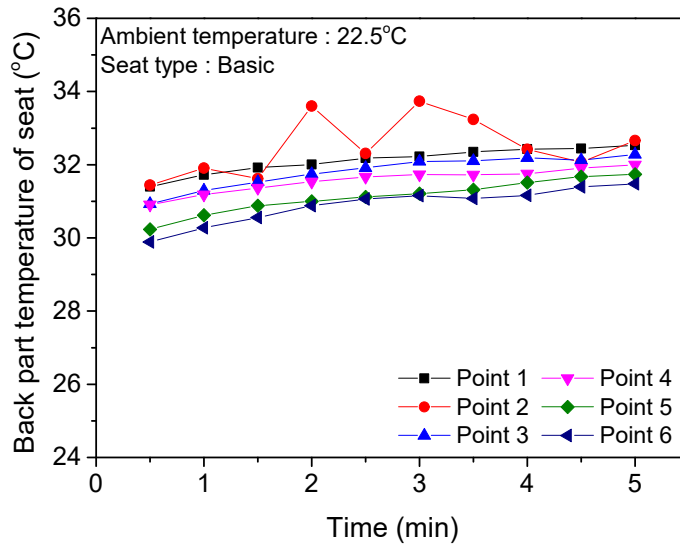
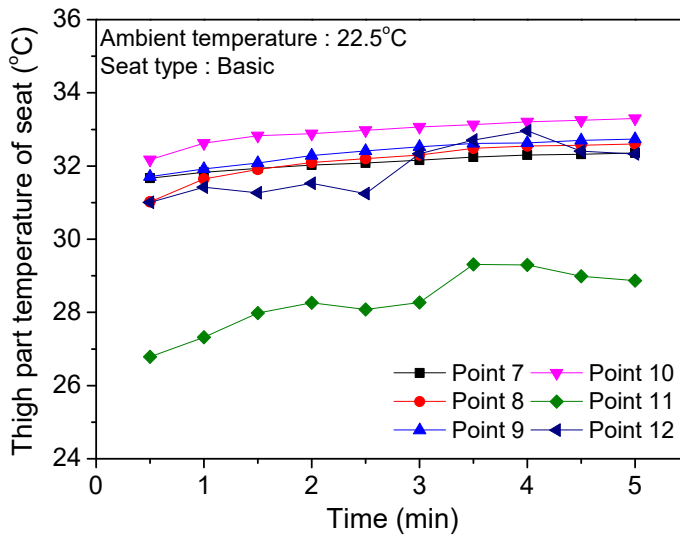


Fig. 5.9 Surface temperature in the basic seat under 22.5°C condition



(a) Back part



(b) Thigh part

Fig. 5.10 Temperatures of back and thigh part under 22.5°C condition

Table 5.4과 Fig. 5.9은 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5℃에서 휴식 시 피험자를 열화상 카메라로 측정한 복부, 팔, 안면, 다리 표면의 평균온도와 측정사진을 보여주고 있다. 실내온도가 22.5℃의 겨울철 조건에서 피험자의 피부 표면온도를 측정한 안면부의 온도는 인체 평균온도인 30.2℃로 나타났으며, 옷으로 덮인 피험자의 표면온도를 측정한 결과 복부, 팔, 다리의 온도는 각각 26.8, 28.1, 27.4℃로 측정되었다. 피험자의 복부, 팔, 다리, 안면부의 표면온도는 실내온도 15℃에서 기본시트를 사용한 경우에 비해 각각 20.1%, 11.1%, 10.4%, 8.6% 증가하는 것을 보였으며, 이는 실내 공기의 온도가 15℃에서 22.5℃로 증가함에 기인한 것이다.

Fig. 5.10은 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5℃에서 휴식 시 의자의 등받이 부분과 허벅지 부분의 시트온도를 나타낸 그래프이다. 등받이 부분의 시트온도는 30.8℃에서 32.1℃까지 증가하였으며, 허벅지 부분의 시트온도는 30.7℃에서 32.1℃까지 증가하는 것으로 나타났다. 처음 실내온도 22.5℃에서 휴식 시 등받이 부분의 시트온도와 허벅지 부분의 시트온도는 각각 약 30.8℃와 30.7℃로 나타났지만 실험이 진행됨에 따라 등받이 부분 허벅지 부분의 시트온도는 피험자의 체온의 영향을 받아 증가하는 것으로 판단된다.



라. 주관설문조사 및 주의집중도 분석결과

Table 5.5 Subjective questionnaire survey results in the basic seat under 15°C condition

Subjective Questionnaire Survey category	Average value
TSV	-2.6
CSV	-1.8
CLV	-0.6

Table 5.5는 겨울철 저온의 실내온도 조건인 15°C에서 휴식 시 피험자의 주관설문조사 결과를 나타내고 있다. 온열쾌적감을 나타내는 TSV는 -2.6으로 춥다고 응답하였으며, 쾌적감을 나타내는 CSV는 -1.8로 불쾌적하다고 응답하였다. 또한 주의집중력을 나타내는 설문인 CLV는 -0.6으로 집중이 되지 않음을 나타냈다. 따라서 실내온도 15°C에서 피험자들이 휴식 시 피험자의 응답 결과를 기반으로 판단해 보았을 때 불쾌한 조건임을 확인하였다.

Table 5.6 Subjective questionnaire survey results in the basic seat under 22.5°C condition

Subjective Questionnaire Survey category	Average value
TSV	-1.2
CSV	0.7
CLV	1.2

Table 5.6는 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5°C에서 휴식 시 피험자의 주관설문조사 결과를 나타내고 있다. 온열쾌적감을 나타내는 TSV는 -1.2로 서늘하다고 응답하였으며, 쾌적감을 나타내는 CSV는 0.7로 중립에 가까운 쾌적함으로 응답하였다. 또한 주의집중력을 나타내는 설문인 CLV는 1.2로 약간 집중할 수 있음을 나타냈다. 따라서 실내온도 22.5°C에서 휴식 시 피험자의 응답으로 판단해보았을 때 피험자가 서늘함을 느끼지만 쾌적감과 주의집중력 결과는 약간 쾌적한 조건으로 판단된다.

겨울철 저온의 실내온도 조건인 15℃에서 휴식 시 피험자의 주의집중력 검사를 진행한 결과 피험자의 주의집중력은 86.7%로 나타났으며 이는 본 연구에서 진행된 겨울철 극한 실내온도 조건 및 실내의 표준온도 조건에서 주의집중력 검사 결과의 평균값이 90.4%인 것에 비해 약 4.1% 감소한 값으로 겨울철 극한 온도조건인 15℃는 피험자의 집중도를 감소시키는 것으로 확인되었다. 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5℃ 휴식 시 피험자의 주의집중력 검사를 진행한 결과 피험자는 91.2%의 높은 집중력 수치를 보였으며, 이는 본 연구에서 진행된 겨울철 주의집중도 검사 결과의 평균값인 90.4%에 비해 0.9% 증가함을 보였다. 이는 실내온도 15℃의 추운 환경에 비해 5.2% 증가한 결과로 저온의 추운 온도인 실내온도 15℃의 환경에 비해 22.5℃의 약간 서늘한 조건에서 기본시트를 사용하였을 경우 피험자의 집중도가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

## 2. 겨울철 실내표준온도 조건에서 휴식 중 온열시트 사용에 따른 온열감성 분석

본 연구에서는 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5℃에서 온열시트 사용시 온열감성을 분석하였다. 피험자는 건구온도 22.5℃, 상대습도 50%로 조작된 항온항습 챔버안에 들어가 휴식 의자에 앉아 10분간 휴식을 취하였으며 휴식을 취하는 동안 뇌파, 맥파, 의자와 접촉된 부분(등, 허벅지)의 피부온도 그리고 피험자의 표면온도(안면, 복부, 팔, 다리)등을 측정하고 10분이 지난 뒤 주관설문조사(TSV, CSV, CLV)와 주의집중력 검사를 진행하였다.

가. 뇌파 분석결과

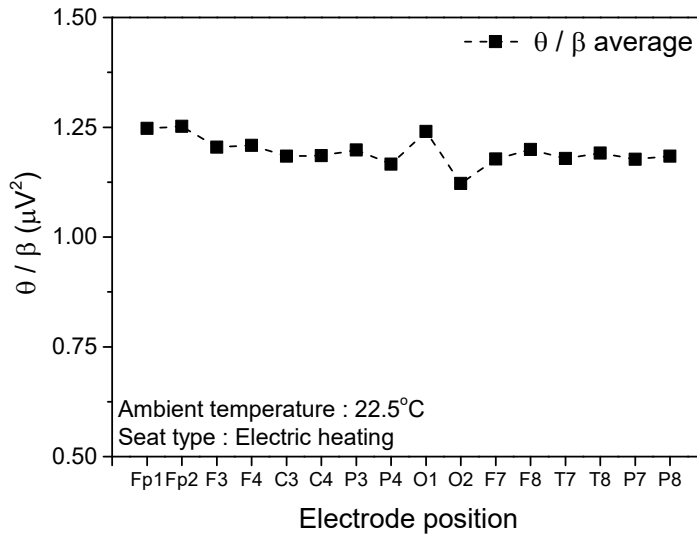


Fig. 5.11 Variation of  $\theta/\beta$  at each lobe in the electric heating seat under 22.5°C condition

Fig. 5.11은 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5°C에서 온열시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 뇌 영역별 Theta파와 Beta파의 상호비율을 나타내었다. Theta파/Beta파의 값이 감소할수록 Theta파 대비 Beta파가 활성화 된 것으로 이는 피험자의 뇌 활성화 및 긴장상태임을 나타낸다. 전체적으로 Theta파와 Beta파의 비는 1.1~1.9  $\mu V^2$ 의 범위 내역 안에서 나타났으며, 일부 두정엽(P3-P4) 영역과 후두엽(O1-O2) 영역을 제외하고 불안이나, 분노, 우울과 같은 불쾌한 감정을 느낄 때 활성화되는 우뇌가 활성화 되었지만 좌뇌와 우뇌 사이의 큰 차이는 보이지 않았으므로 완전히 불쾌한 감정을 느끼는 것으로 판단하기 어렵다. 따라서 실내온도 22.5°C에서 온열시트를 사용할 경우 조금의 불쾌한 감정이 나타나긴 하지만 좌뇌와 우뇌 사이의 차이 및 전 영역별 값의 차이가 크지 않아 휴식조건으로 적합하지 않다고 판단하기 어렵다.

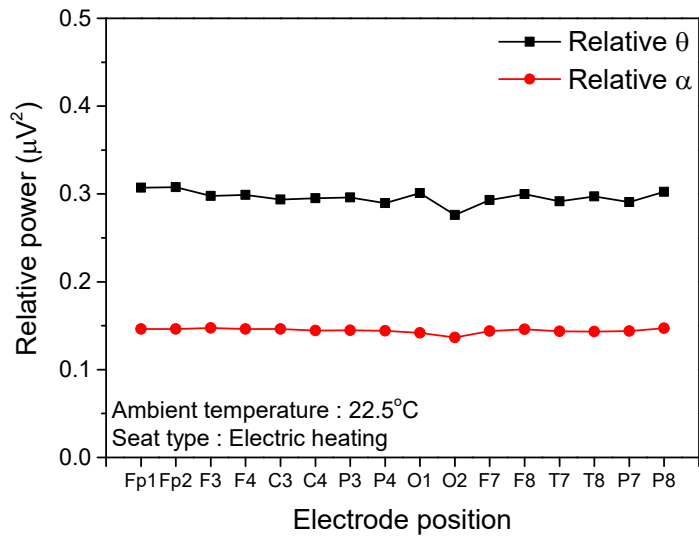
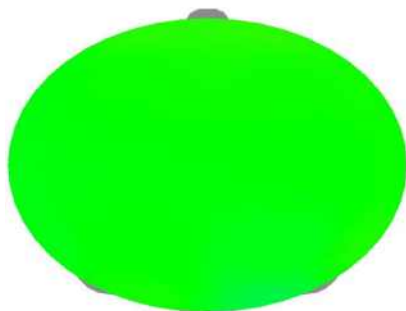
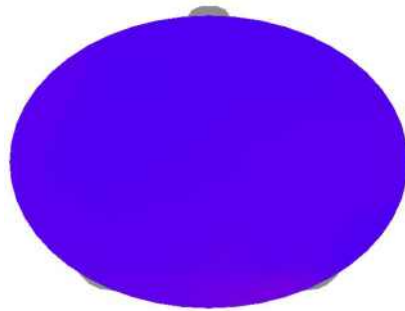


Fig. 5.12 Variations of relative  $\theta$  and  $\alpha$  at each lobe in the electric heating seat under 22.5°C condition



(a) Relative theta



(b) Relative alpha

Fig. 5.13 Brain mappings of theta and alpha wave in the electric heating seat under 22.5°C condition

Fig. 5.12와 5.13은 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5℃에서 온열시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 뇌 영역별 Relative Theta파와 Relative Alpha파의 변화를 나타낸다. 실내온도 22.5℃에서 온열시트를 사용하여 휴식 시 Relative Theta파는 0.29~0.31  $\mu V^2$ , Relative Alpha파는 0.13~0.15  $\mu V^2$ 으로 나타났으며 Relative Theta파가 Relative Alpha파보다 더 높은 값을 보임에 따라 피험자는 약간 졸음상태인 것으로 판단된다. 하지만 전 영역별 Relative Theta파와 Relative Alpha파 값의 변화는 크게 나타나지 않았다. Fig. 5.13는 뇌 영역별 Relative Theta파와 Relative Alpha파의 활성화 지도로 Relative Theta파와 Relative Alpha파는 실내온도 15℃와 22.5℃에서 기본시트를 사용하는 경우에 비하여 전 영역에서 균일하게 활성화되었으며, 전두엽 영역의 Relative Theta파와 일부 두정엽 영역을 제외한 영역의 Relative Alpha파가 두드러지게 활성화되었다. 피험자의 Relative Theta파와 Relative Alpha파의 활성화를 통해 피험자가 졸음상태인 것으로 판단된다.

## 나. 맥파 분석결과

Table 5.7 Pulse wave analysis results in the electric heating seat under 22.5°C condition

Pulse wave category	Average value
Stress index	36.9
LF/HF	1.1
SDNN	66.2
RMSSD	42.4

Table 5.7는 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5°C에서 온열시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 맥파를 분석한 표이다. 스트레스 지수는 36.9로 초기 스트레스 상태이며 실내 온도 22.5°C에서 기본시트를 사용한 경우에 비해 15.6% 증가한 것으로 나타났다. 이는 온열시트의 국부적인 열전달이 피험자에게 불쾌감을 주어 스트레스 지수를 향상시킨 것으로 판단된다. 자율신경계의 균형정도를 나타내는 LF/HF는 수면 중 교감신경 활성화도가 낮아지고 부교감신경 활성화도가 높아져 LF/HF는 감소하며 실내온도 22.5°C에서 온열시트를 사용하여 휴식 시 LF/HF는 1.11로 교감신경이 더 활성화 되어 일정 수준 이상으로 각성이 된 것으로 판단되었으며 실내온도 22.5°C에서 기본시트를 적용한 환경에 비해 약 5.2% 감소하였다. 맥박표준편차를 나타내는 SDNN과 평균편차 RMSSD는 각각 66.2와 42.4로 나타났다. 이는 실내온도 22.5°C에서 기본시트를 적용한 환경과 비교하여 SDNN은 24.4% 증가하였으며 RMSSD는 4.1% 감소함을 보였다. 즉, SDNN의 증가를 통해 자율신경계의 인체 조절 능력이 향상되었으며 RMSSD의 감소를 통해 피험자의 외부 스트레스가 증가되었다고 판단된다. 피험자의 맥파의 LF/HF, 스트레스지수, SDNN과 RMSSD를 종합하여 분석하였을 때, 실내온도 22.5°C에서 온열시트를 사용하여 휴식 시 피험자는 실내 온도 22.5°C에서 기본시트를 사용하여 휴식시에 비해 피험자의 스트레스가 약간 증가하였으나 LF/HF의 감소를 보여 수면시 충분히 쾌적한 환경으로 판단된다.

다. 피부온도 변화 분석결과

Table 5.8 Surface temperatures in the electric heating seat under 22.5°C condition

Position	Average value(°C)
Belly	26.1
Arm	28.5
Face	29.5
Leg	26.9

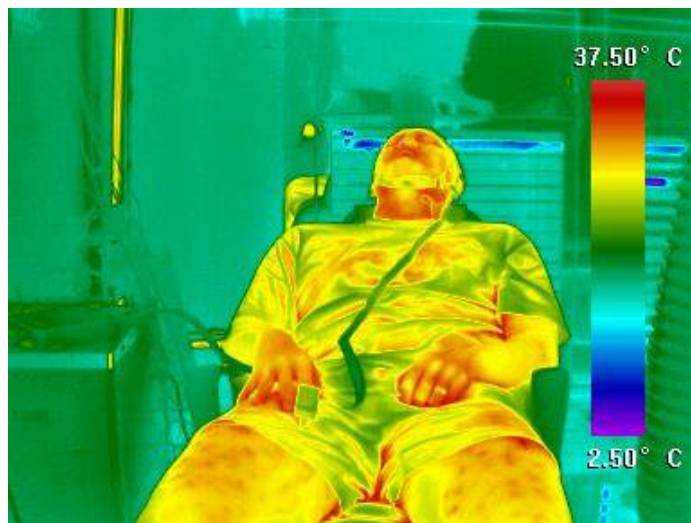
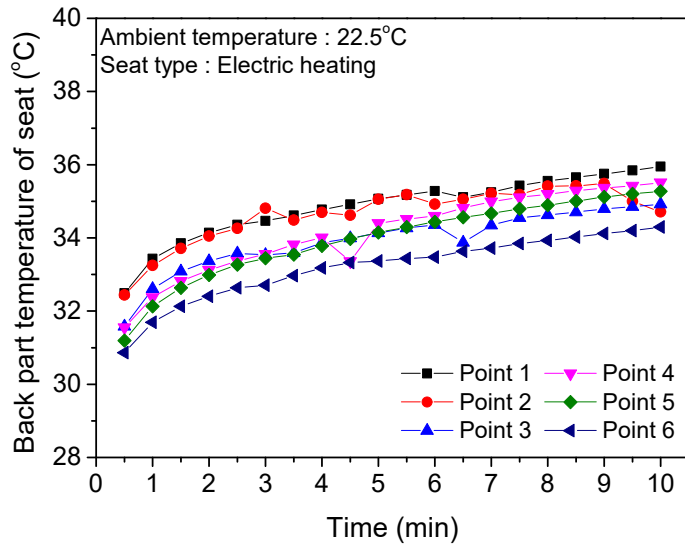
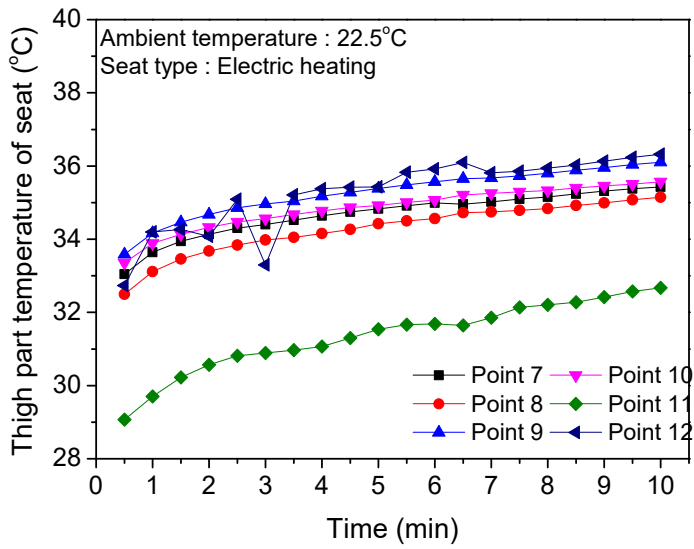


Fig. 5.14 Surface temperature results in the electric heating seat under 22.5°C condition





(a) Back part



(b) Thigh part

Fig. 5.15 Temperatures of back & thigh part in the electric heating seat under 22.5°C condition

Table 5.8과 Fig. 5.14는 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5℃에서 온열시트를 사용하여 휴식 시 피험자를 열화상 카메라로 측정한 복부, 팔, 안면, 다리 표면의 평균온도 값을 나타내었다. 22.5℃의 겨울철 실내의 표준온도 조건에서 온열시트를 사용하여 휴식할 때 피험자의 피부 표면온도를 측정한 결과 안면부의 온도는 29.5℃로 나타났으며, 옷으로 덮인 표면온도를 측정한 복부, 팔, 다리의 온도는 각각 26.1, 28.5, 26.9℃로 나타났다. 피험자의 복부, 팔, 다리, 안면부의 표면온도는 실내 온도 15℃에서 기본시트를 사용한 경우에 비해 각각 2.6%, 2.3%, 1.8% 감소하는 것을 보였으며, 팔의 온도는 1.4% 증가하였다. 피험자의 표면온도의 증감정도는 3% 미만으로 확인되었으며 이에 따라 온열시트 사용과 기본시트 사용 시 피험자의 표면온도 차이는 크지 않은 것으로 판단된다.

Fig. 5.15는 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5℃에서 온열시트를 사용하여 휴식 시 의자의 등받이 부분과 허벅지 부분의 시트온도를 나타낸 그래프이다. 등받이 부분의 시트온도는 31.6℃에서 35.1℃까지 증가하였으며, 허벅지 부분의 시트온도는 32.3℃에서 35.2℃까지 증가하는 것으로 나타났다. 기본시트를 사용한 경우에 비하여 등받이 부분의 시트온도는 9.4% 증가하였으며, 허벅지 부분의 시트온도는 9.6% 증가하였다. 시트온도의 증가는 최대 3.5℃로 나타났으며 온열시트에서 제공되는 열이 시트표면, 등, 허벅지의 시트온도를 낮추는 것으로 판단된다.

## 라. 주관설문조사 및 주의집중도 분석결과

Table 5.9 Subjective questionnaire survey results in the electric heating seat under 22.5°C condition

Subjective questionnaire survey category	Average value
TSV	0.4
CSV	1
CLV	1.2

Table 5.9는 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5°C에서 온열시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 주관설문조사 결과를 나타내고 있다. 온열쾌적감을 나타내는 TSV는 0.4로 중립에 가까운 따뜻함으로 응답하였으며, 쾌적감을 나타내는 CSV는 1로 약간 쾌적하다고 응답하였다. 또한 주의집중력을 나타내는 설문인 CLV는 1.2로 약간 집중됨을 나타냈다. 따라서 실내온도 22.5°C에서 온열시트를 사용하는 휴식조건은 피험자의 응답으로 판단해보았을 때 온도조건은 약간 따뜻하지만 쾌적감과 주의집중력은 쾌적한 조건임을 간접적으로 확인할 수 있다.

겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5°C 휴식 시 피험자의 주의집중력 검사를 진행하였다. 주의집중력 검사 결과 92.9%로 본 연구에서 진행된 겨울철 주의집중도 검사결과의 평균값인 90.4%에 비해 2.7% 증가한 값으로 실내온도가 22.5°C의 환경에서 피험자의 주의집중도는 증가하는 것으로 보인다. 또한 실내온도 22.5°C의 환경에서 기본시트를 사용하는 경우와 온열시트를 사용하는 경우를 비교하였을 때 온열시트의 사용이 주의집중도가 1.8% 더 증가하여 겨울철 실내표준온도 조건에서 온열시트의 사용은 피험자의 집중도 향상에 도움을 주는 것으로 나타났다.

### 3. 겨울철 실내표준온도 조건에서 휴식 중 온수시트 사용에 따른 온열감성 분석

본 연구에서는 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5℃에서 온수시트 사용시 온열감성을 분석하였다. 온수시트에 순환하는 물의 유입온도는 40℃이며, 피험자는 건구온도 22.5℃, 상대습도 50%로 조작된 항온항습챔버 안에 들어가 휴식의자에 앉아 10분간 휴식을 취하였으며 휴식을 취하는 동안 뇌파, 맥파, 의자와 접촉된 부분(등, 허벅지)의 피부온도, 표면온도(안면, 복부, 팔, 다리)등을 측정하고 10분이 지난 뒤 주관 설문조사(TSV, CSV, CLV)와 주의집중력 검사를 진행하였다.

가. 뇌파 분석결과

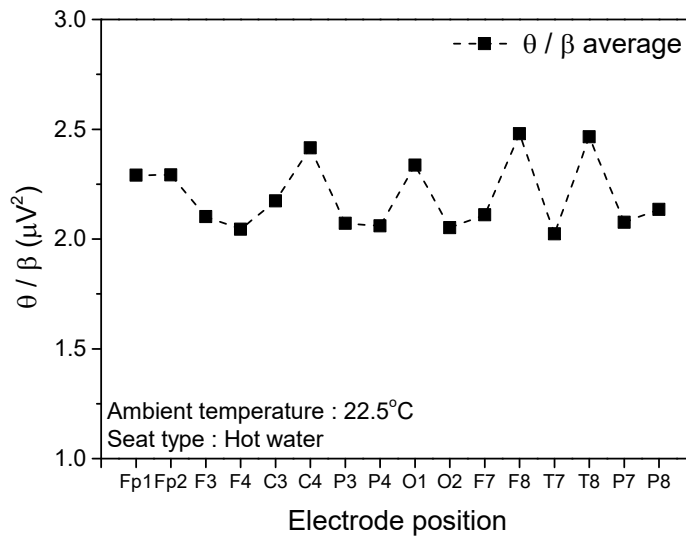


Fig. 5.16 Variation of  $\theta/\beta$  at each lobe in the using hot water heating seat under 22.5°C condition

Fig. 5.16은 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5°C에서 온수시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 뇌 영역별 Theta파와 Beta파의 상호비율을 나타내었다. Theta파와 Beta파의 상호비율은 전체적으로 2.1~2.5  $\mu V^2$ 의 범위 내역 안에서 나타났으며, 일부 전두엽(F3-F4) 영역, 두정엽(P3-P4) 영역, 후두엽(O1-O2) 영역을 제외한 나머지 영역에서 좌뇌보다 우뇌가 더 활성화됨에 따라 피험자는 실내온도 22.5°C에서 온수시트 사용 시 약간의 불편함을 느낀 것으로 판단된다. 그러나 명상, 휴식 시 활성화 되는 측두엽의 활성화된 것으로 나타났다. 따라서 실내온도 22.5°C에서 온열시트를 사용할 경우 조금의 불쾌한 감정이 나타나긴 하지만 측두엽 영역의 활성화로 인해 휴식에 적합한 환경임으로 판단하기 어렵다.

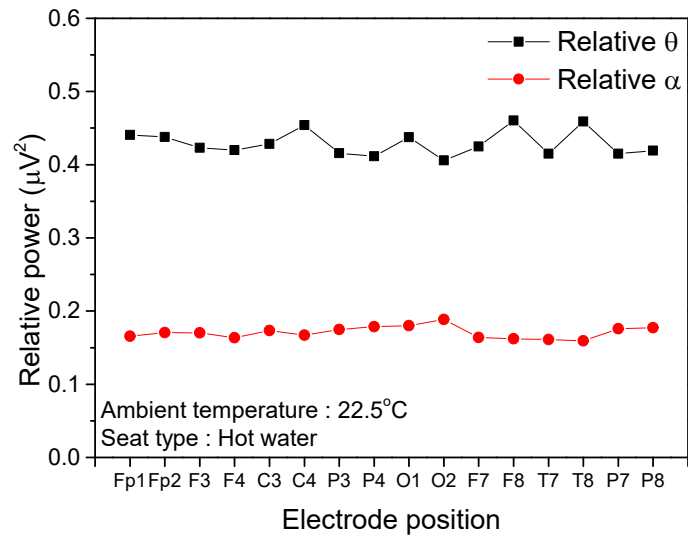


Fig. 517 Variations of relative  $\theta$  and  $\alpha$  at each lobe in the using hot water heating seat under 22.5°C condition



(a) Relative theta



(b) Relative alpha

Fig. 518 Brain mapping of theta and alpha wave in the using hot water heating seat under 22.5°C condition

Fig. 5.17와 5.18은 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5℃에서 온열시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 뇌 영역별 Relative Theta파와 Relative Alpha파를 나타낸다. 실내온도 22.5℃에서 온열시트를 사용하여 휴식 시 Relative Theta파는 0.41~0.46  $\mu\text{V}^2$ , Relative Alpha파는 0.16~0.18  $\mu\text{V}^2$ 로 나타났으며 Relative Theta파가 Relative Alpha파보다 더 높은 값을 보임에 따라 피험자는 약간의 졸음상태인 것으로 판단된다. 즉, 편안한 상태임을 간접적으로 판단 할 수 있다. Relative Alpha파 값이 후두부에서 크게 나타났으나 다른 영역과 큰 차이를 보이지 않았다. Fig. 5.18은 뇌 영역별 Relative Theta파와 Relative Alpha파의 활성화도로 실내온도 22.5℃에서 온열시트를 사용하여 휴식시 피험자의 Relative Theta파는 일부 전두엽 영역과 우-두정엽 영역에서 더욱 활성화되었으며 Relative Alpha파는 Relative Theta파에 비하여 낮은 값을 보였다. 이에 따라 피험자는 졸음상태인 것으로 판단된다.

## 나. 맥파 분석결과

Table 5.10 Pulse wave analysis results in the using hot water heating seat under 22.5°C condition

Pulse wave category	Average value
Stress index	34.4
LF/HF	1.12
SDNN	63.1
RMSSD	47.7

Table 5.10은 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5°C에서 40°C의 온수시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 맥파를 분석한 표이다. 스트레스 지수는 34.4로 일시적인 스트레스 상태이며 실내온도 22.5°C에서 기본시트를 사용한 경우에 비해 7.8% 증가한 것으로 나타났다. 이는 온수시트의 국부적인 열전달이 피험자의 스트레스 지수를 향상시킨 것으로 판단된다. 자율신경계의 균형정도를 나타내는 LF/HF는 수면 중 교감신경 활성도가 낮아지고 부교감신경 활성도가 높아져 LF/HF는 감소하며 실내온도 22.5°C에서 온수시트를 사용하여 휴식 시 LF/HF는 1.12로 교감신경이 다소 활성화되어 일정 수준 이상으로 각성이 된 것으로 판단되지만 실내온도 22.5°C에서 기본시트를 사용한 경우와 비교하여 3.4% 감소하여 각성의 수준이 감소한 것으로 판단된다. 맥박 표준편차를 나타내는 SDNN과 평균편차 RMSSD는 각각 63.1과 47.7로 나타났다. 실내온도 22.5°C의 환경과 비교하여 SDNN과 RMSSD는 각각 18.6%와 7.9% 증가하였다. 이를 통해 22.5°C에서 기본시트를 사용하는 경우에 비해 온수시트를 사용할 경우 스트레스 감소와 자율신경계의 인체 조절 능력이 향상된 것으로 판단된다. 맥파의 LF/HF, 스트레스지수, SDNN과 RMSSD를 종합하여 분석하였을 때, 22.5°C에서 온수시트를 사용하여 휴식 시 기본시트에 비하여 스트레스는 증가하지만 LF/HF의 감소 및 SDNN과 RMSSD의 증가를 통해 쾌적한 환경인 것으로 판단된다.



다. 피부온도 변화 분석결과

Table 5.11 Surface temperature in the using hot water heating seat under 22.5°C condition

Position	Average value(°C)
Belly	26.5
Arm	27.5
Face	28.1
Leg	26.5

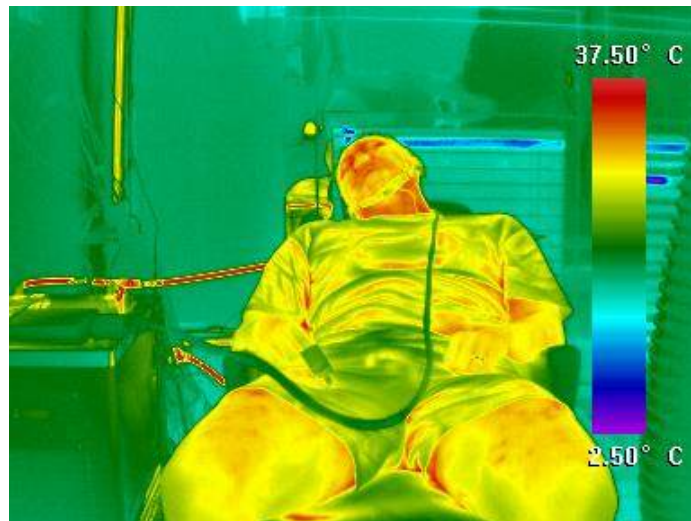
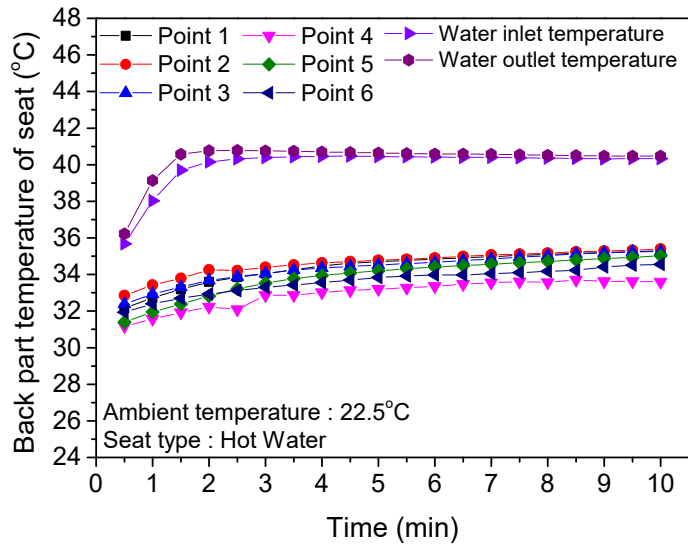
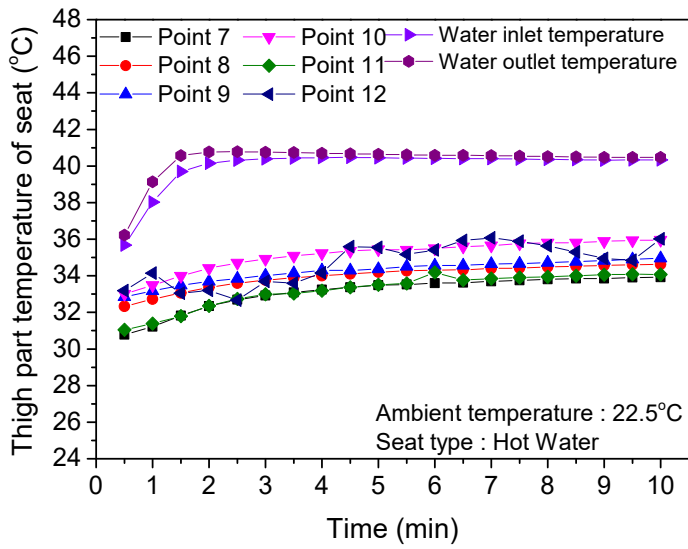


Fig. 5.19 Surface temperature in the using hot water heating seat under 22.5°C condition



(a) Back part



(b) Thigh part

Fig. 520 Temperatures of back & thigh part in the using hot water heating seat under 22.5°C condition

Table 5.11과 Fig. 5.19는 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5℃에서 온수시트를 사용하여 휴식 시 피험자를 열화상 카메라로 측정한 복부, 팔, 안면, 다리 표면의 평균온도 값을 나타내었다. 22.5℃의 겨울철 실내표준온도 조건에서 온수시트를 사용하여 휴식할 때 피험자의 피부 표면온도를 측정한 안면부의 온도는 28.1℃로 나타났으며, 옷으로 덮인 표면온도를 측정한 복부, 팔, 다리의 온도는 각각 26.5℃, 27.5℃, 26.5℃로 나타났다. 22.5℃의 실내온도는 피험자의 표면온도의 감소에 영향을 주는 것으로 나타났다.

Fig. 5.20은 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5℃에서 온수시트를 사용하여 휴식 시 의자의 등받이 부분과 허벅지 부분의 시트온도를 나타낸 그래프이다. 등받이 부분의 시트온도는 31.9℃에서 34.8℃까지 증가하였으며, 허벅지 부분의 시트온도는 32.2℃에서 34.9℃까지 증가하는 것으로 나타났다. 시트온도의 증가정도는 최대 2.8℃로 나타났으며 온수시트에서 제공되는 열이 시트표면, 등, 허벅지의 시트온도를 낮추는 것으로 판단된다.

## 라. 주관설문조사 및 주의집중력 분석결과

Table 5.12 Subjective questionnaire survey results in the using hot water heating seat under 22.5°C condition

Subjective questionnaire survey category	Average value
TSV	0.4
CSV	1.2
CLV	0.6

Table 5.12는 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5°C에서 온수시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 주관설문조사 결과를 나타내고 있다. 온열쾌적감을 나타내는 TSV는 0.4로 중립보다 약간 따뜻함을 응답하였으며, 쾌적감을 나타내는 CSV는 1.2로 약간 쾌적하다고 응답하였다. 또한 주의집중력을 나타내는 설문인 CLV는 0.6로 약간 집중이 되는 것을 나타냈다. 따라서 실내온도 22.5°C에서 온수시트를 사용하는 휴식조건은 피험자의 응답으로 판단해보았을 때 온도조건은 약간 따뜻하지만 쾌적감과 주의집중력은 중립적인 반응을 보였다.

겨울철 온도조건인 22.5°C에서 온수시트를 사용하여 휴식 시 피험자의 주의집중력 검사를 진행하였다. 주의집중력 검사 결과 피험자는 91.1%의 높은 값을 보였으며, 이는 본 연구에서 진행된 겨울철 주의집중도 검사결과의 평균값인 90.4%에 비해 0.8% 증가하였으며 실내온도 22.5°C에서 기본시트를 사용한 경우와 온수시트를 사용한 경우를 비교하였을 때 온수시트를 사용하는 경우 0.1% 감소하여 차이가 거의 없었다.

## 제 2 절 겨울철 실내표준온도 조건에서 휴식 중 다양한 난방 기기 사용에 따른 안정조건 고찰

본 연구에서는 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5℃에서 다양한 형태의 시트 적용에 대한 온열감성을 분석하였다. 피험자는 건구온도 15℃, 22.5℃와 상대습도 50%에서 5분간 기본데이터를 측정 한 후 건구온도 22.5℃, 상대습도 50%로 설정된 항온항습 챔버안에서 온열시트와 온수시트가 적용된 휴식의자에 앉아 각각 10분간 휴식을 취하였으며 휴식을 취하는 동안 뇌파, 맥파, 의자와 접촉된 부분(등, 허벅지)의 피부온도, 표면온도(안면, 복부, 팔, 다리)등을 측정하고 10분이 지난 뒤 주관 설문조사(TSV, CSV, CLV)와 주의집중력 검사를 진행하였다.

가. 뇌파 분석결과

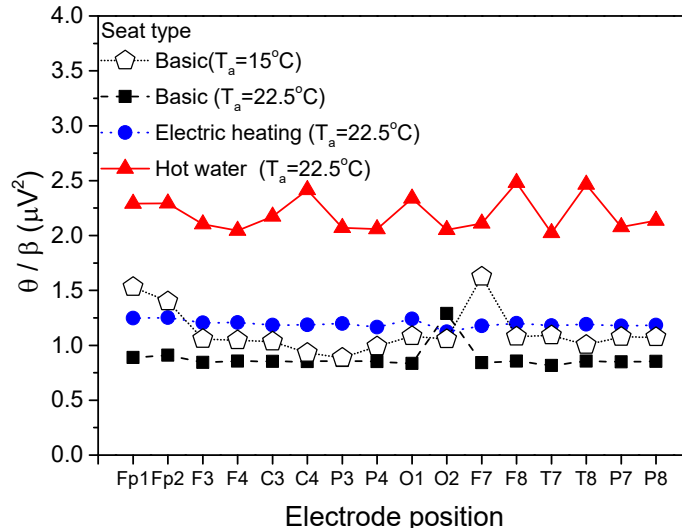


Fig. 5.21 Comparison of  $\theta/\beta$  at each lobe for various heating conditions

Fig. 5.21은 겨울철 저온의 실내온도 조건인 15°C와 실내의 표준온도 조건인 22.5°C에서 기본 시트, 온열시트, 온수시트를 사용하여 휴식을 하였을 경우 피험자의 뇌 영역별 Theta파/Beta파의 상호비율을 나타내었다. 실내온도 15°C에서 Theta파 보다 Beta파가 활성화되어 긴장상태임으로 판단되었으며, 일부 두정엽 영역을 제외하고 나머지 영역에서 우뇌가 활성화되어 불안, 분노, 우울한 상태가 조성되었음을 확인할 수 있다. 실내온도 22.5°C에서 모든 시트에서 전두엽의 활성화는 나타나지 않았으며, 이에 따라 실내온도 22.5°C에서의 휴식은 피험자의 스트레스에 영향을 미치지 않았다고 판단된다. 기본시트의 경우 Theta파보다 Beta파가 더욱 활성화되어 0.81~0.91  $\mu V^2$ 의 범위 안에서 나타났지만 우-후두엽 영역인 O2에서 1.28  $\mu V^2$ 로 상대적으로 크게 나타났다. 이를 바탕으로 추측컨대 피험자는 기본시트 사용 시 약간의 불안정 및 긴장상태인 것으로 판단된다. 반면 통풍시트와 냉수시트는 각각 1.1~1.9  $\mu V^2$ , 2.1~2.5  $\mu V^2$ 로 Beta파보다 Theta파가 활성화 되었으며, 이를 통해 피험자는 얇은 수면상태인 것으로 나타났다. 즉, 실내온도 27.5°C에서 기본시트에 비해 통풍시트와 냉수시트를 사용하였을 경우 Theta파/Beta파의 값이 증가함에 따라 얇은 수면에 도달한 편안한 상태임을 확인할 수 있었다.

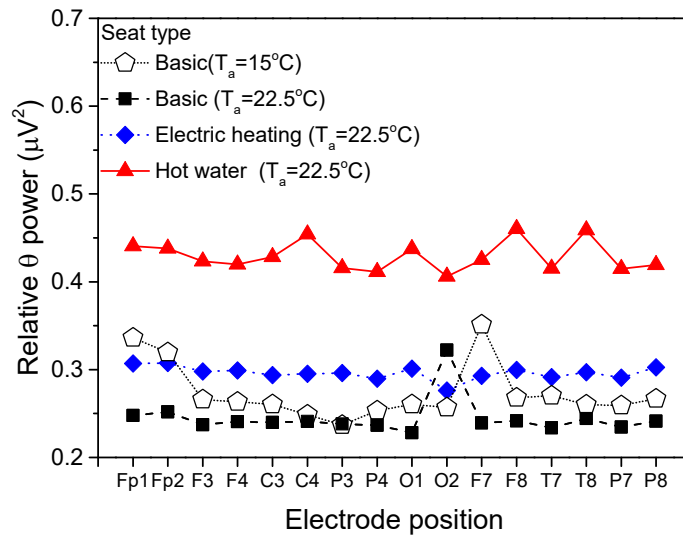


Fig. 5.22 Variation of relative  $\theta$  at each lobe for various heating conditions

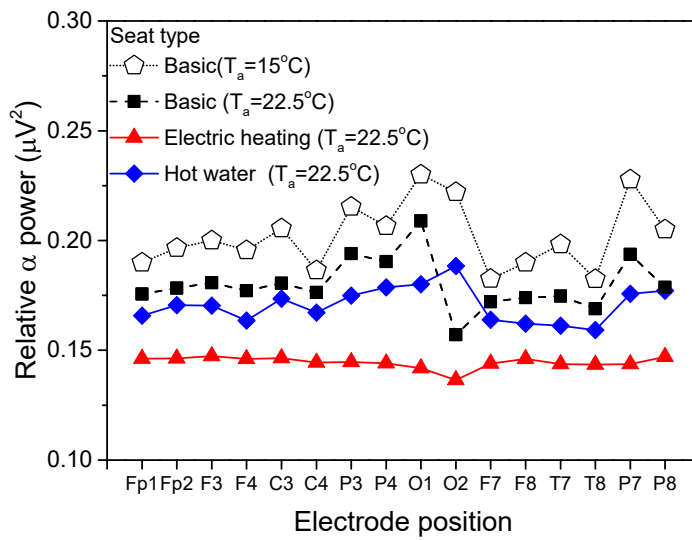


Fig. 5.23 Variation of relative  $\alpha$  at each lobe for various heating conditions

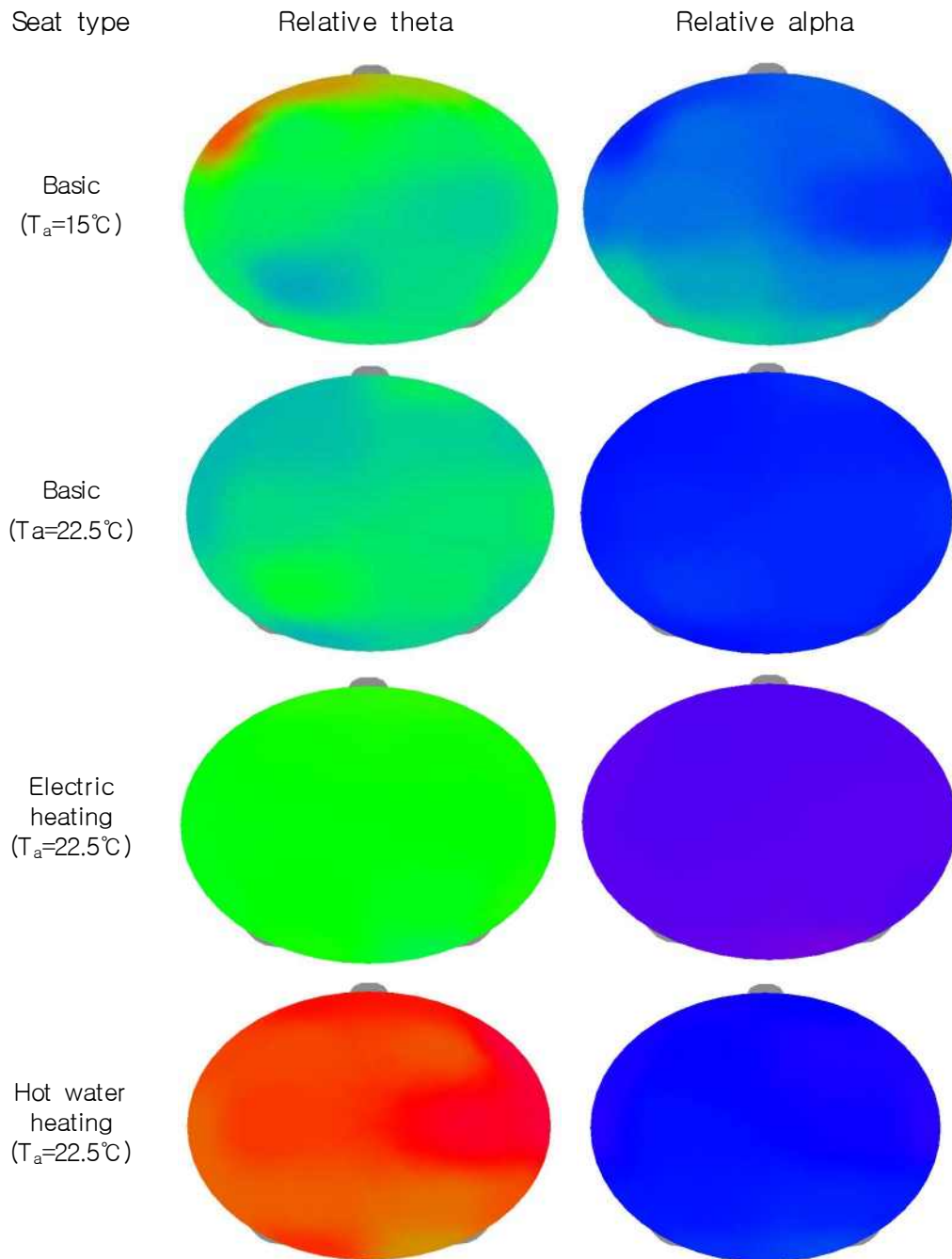


Table. 5.13 Brain mapping of theta and alpha wave in various condition



Fig 5.22와 Fig. 5.23 및 Table. 5. 13은 각각 겨울철 저온의 실내온도 조건인 15℃와 실내의 표준온도 조건인 22.5℃에서 기본시트, 온열시트, 온수시트를 사용하여 휴식을 하였을 경우 피험자의 뇌 영역별 Relative Theta파와 Relative Alpha파의 그래프 및 활성화도를 비교하여 보여주고 있다.

Fig. 5.22, 5.23와 Table. 5.13은 겨울철 저온의 실내온도 조건인 15℃와 실내의 표준온도 조건인 22.5℃에서 기본시트, 온열시트, 온수시트를 사용하여 휴식을 하였을 경우 피험자의 뇌 영역별 Relative Theta파와 Relative Alpha파를 나타낸다. Relative Theta파의 경우 실내온도 15℃의 환경에서 기본시트를 사용하였을 때 후두엽 영역에서 다른 영역에 비해 증가하는 것을 확인하였으며, 실내온도 22.5℃에서 기본시트를 사용하는 것에 비하여 온열시트 및 온수시트를 사용하는 경우 Relative Theta파가 더욱 활성화 되었으며, 온수시트를 사용하는 경우 가장 활성화됨을 확인하였고 이를 통해 피험자에게 적절한 휴식 환경이 제공된 것으로 판단된다. 기본시트를 사용하여 실내온도 22.5℃에서 휴식을 하였을 경우 좌뇌에 비하여 우뇌의 활성도가 두드러지게 나타났으나 후두엽(O1-O2) 영역을 제외한 나머지 영역에서 좌뇌와 우뇌의 큰 차이가 나타나지 않아 휴식에 부적합한 상태로 판단하기 어렵다. 온열시트를 사용하여 실내온도 22.5℃에서 휴식을 하였을 경우 Relative Theta파가 기본시트를 사용했을 경우에 비하여 약 2.0  $\mu V^2$  증가하였으며, 일부 전두엽(F7-F8) 영역과 두정엽(C3-C4, P7-P8) 영역, 측두엽(T7-T8) 영역에서 우뇌의 활성화를 보임에 따라 기본시트와 온수시트에 비해 상대적으로 더 불편함을 느낀 것으로 판단된다. 온수시트를 사용하여 실내온도 22.5℃에서 휴식을 하였을 경우 Relative Theta파가 기본시트를 사용했을 경우에 비하여 약 0.5  $\mu V^2$  증가하였으며, 영역별 값의 차이는 크지 않았다.

Relative Alpha파의 경우 저온의 실내온도 조건인 15℃의 환경에서 기본시트를 사용하였을 때 높은 Relative Alpha파가 높은 값을 보임에 따라 피험자는 졸음상태인 것으로 판단된다. 실내온도 22.5℃에서 기본시트를 사용하였을 경우 가장 높게 나타났으며, 온수시트를 사용했을 경우 가장 작게 나타났다. 기본시트를 사용하여

실내온도 22.5℃에서 휴식을 하였을 경우 신체적, 심리적 안정적인 상태를 나타내는 Relative Alpha파가 가장 높게 나타났으며, 이는 통해 다른 환경에 비해 신체적, 심리적 안정적인 환경이 조성된 것으로 판단된다. 온열시트를 사용한 경우 Relative Alpha파가 가장 낮게 나타났으며 온수시트의 경우 기본시트에 비해 Relative Alpha파가 낮게 나타났으며, 후두엽(O1-O2) 영역에서 활성화가 됨을 확인할 수 있다.

나. 맥파 분석결과

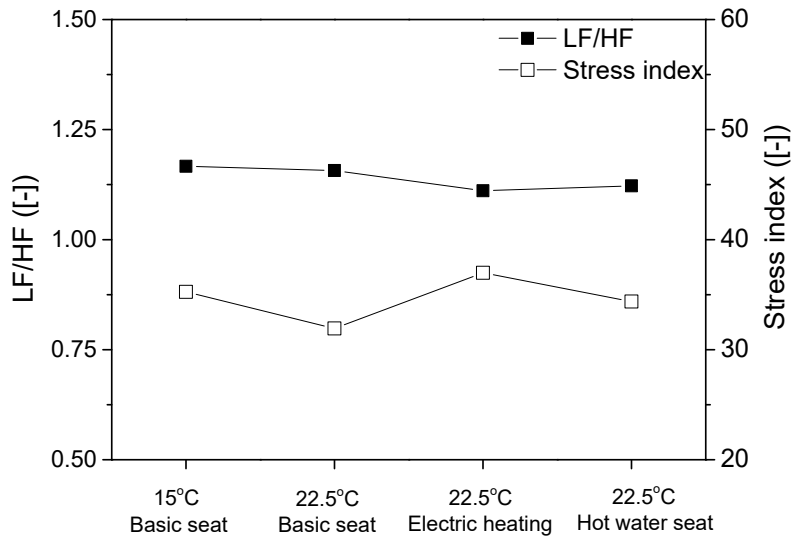


Fig. 5.24 Variations of LF/HF and Stress index for various heating conditions

Fig. 5.24는 겨울철 저온의 실내온도 조건인 15°C와 실내의 표준온도 조건인 22.5°C에서 기본시트, 온열시트, 온수시트를 사용하여 휴식을 하였을 경우 피험자의 자율신경계의 균형정도를 나타내는 LF/HF와 스트레스 지수를 비교하여 보여주고 있다. 겨울철 온도조건에서 실내온도가 15°C에서 22.5°C로 상승할 경우 휴식용 시트를 통풍시트와 냉수시트를 사용하였을 경우 LF/HF가 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 피험자의 LF/HF가 1.17에서 1.11로 감소됨에 따라 피험자는 시트에서 적절한 온도제공에 따라 휴식환경이 개선된 것으로 판단할 수 있다. 스트레스 지수 또한 실내온도 15°C에서 22.5°C로 상승할 경우 35.2에서 31.9까지 감소되었으나 온열시트를 사용할 경우 36.9로 다시 증가함이 확인되었다. 이는 온열시트의 고온의 온도가 피험자에게 직접적으로 제공되어 스트레스가 약간 증가하는 것으로 판단된다. 그러나 동일한 실내온도 조건에서 온수시트의 사용한 경우 스트레스를 34.4로 다시 감소하였다.

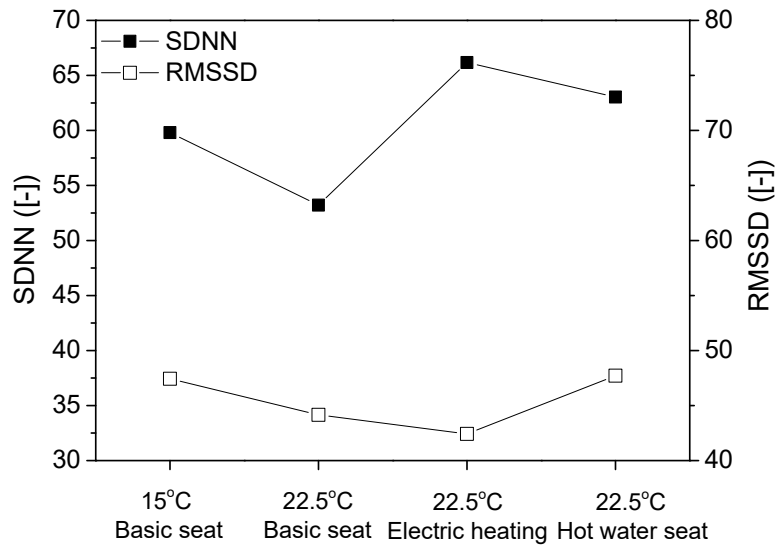


Fig. 5.25 Variations of SDNN and RMSSD for heating conditions

Fig. 5.25는 겨울철 저온의 실내온도 조건인 15°C와 실내의 표준온도 조건인 22.5°C에서 기본시트, 온열시트, 온수시트를 사용하여 휴식을 하였을 경우 피험자의 측정시간이 진행됨에 따라 맥파의 표준편차인 SDNN과 평균편차인 RMSSD를 나타낸 그래프이다. SDNN은 실내온도 15°C에서 22.5°C의 환경으로 변화하였을 때 59.8에서 53.2로 크게 감소하였으나 실내온도 22.5°C에서 온열시트를 사용하였을 경우 다시 66.2까지 크게 증가하였고 온수시트를 사용하였을 때 63.1로 감소하였다. SDNN이 증감을 반복하였지만 일정수준 이상의 값을 가지고 있으며 이에 따라 약간의 변화는 있으나 심장기능의 저하로 볼 수 없다. 또한 피험자의 RMSSD는 47.4에서 42.4까지 감소되었다가 온수시트 사용 시 47.7로 증가하였다. 피험자의 RMSSD도 마찬가지로 약간의 증감의 영역을 보이지만 일정수준 이상의 값을 유지하므로 피험자가 분노, 근심, 공포상태를 느끼고 있다고 판단할 수는 없다.

다. 피부온도 변화 분석결과

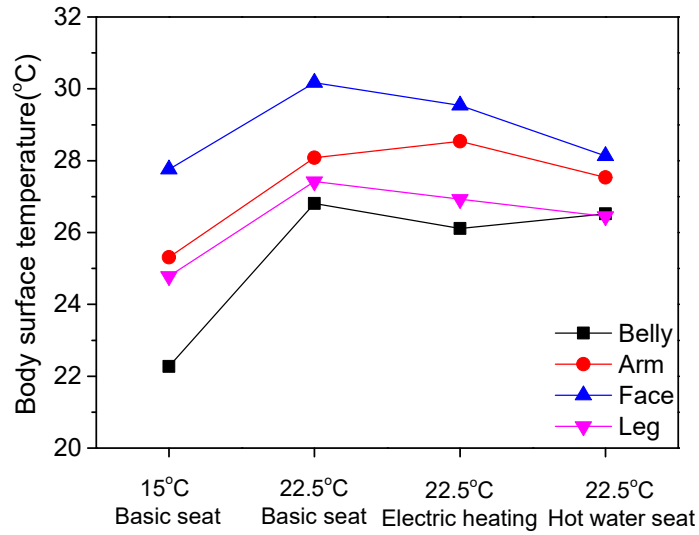
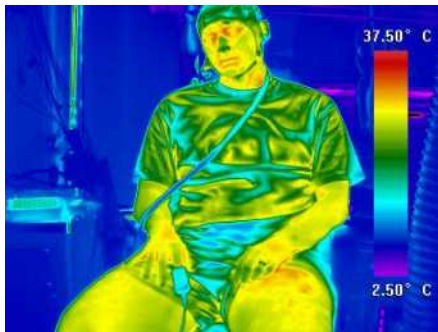
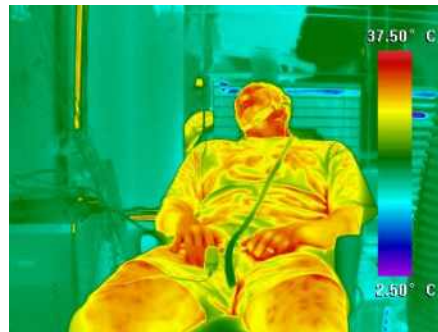


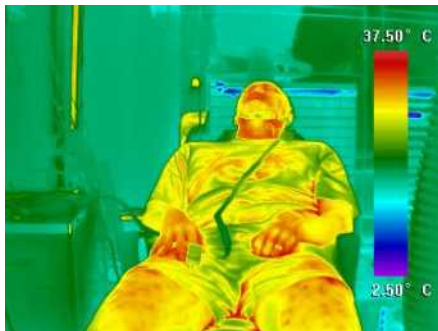
Fig. 5.26 Variation of body surface temperature for various heating conditions



(a)  $T_a=15^\circ\text{C}$  / Basic seat



(b)  $T_a=22.5^\circ\text{C}$  / Basic seat



(c)  $T_a=22.5^\circ\text{C}$  / Electric heating seat



(d)  $T_a=22.5^\circ\text{C}$  / Hot water heating seat

Fig. 5.27 Photographs of thermal imaging of subject for various heating conditions

Fig. 5.26과 Fig. 5.27은 겨울철 저온의 실내온도 조건인 15℃와 실내의 표준온도 조건인 22.5℃에서 기본시트, 온열시트, 온수시트를 사용하여 휴식을 하였을 경우 피험자의 복부, 팔, 안면, 다리의 표면온도를 나타낸 그래프이다. 열화상 카메라로 피험자를 촬영한 결과 피험자의 표면온도의 변화에 따른 색상의 변화는 크게 나타나지 않았으나, 실내온도가 15℃의 경우 복부, 팔, 안면, 다리의 표면온도는 22.3℃~27.8℃로 나타나서 다소 낮게 형성되었다. 실내온도가 22.5℃로 바꾸었을 때 복부, 팔, 안면, 다리의 표면온도 또한 높아 낮아지는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 피험자의 표면온도는 실내의 온도조건의 영향을 받아 변화한 것으로 판단된다. 실내온도가 22.5℃일 때 기본시트와 비교하여 온열시트를 사용했을 경우 안면, 다리, 복부의 온도는 감소하였으나, 팔의 온도는 증가한 것으로 나타났다. 또한 온수시트의 사용은 기본시트에 비하여 피험자의 표면온도를 감소시키는 것으로 나타났다.

라. 주관설문조사 분석결과

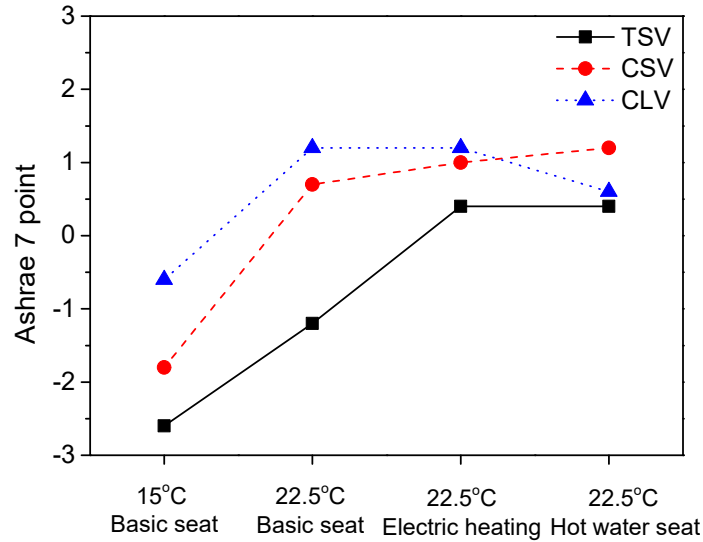


Fig. 5.28 Variation of subjective survey in winter condition

Fig. 5.28은 겨울철 저온의 실내온도 조건인 15°C와 실내의 표준온도 조건인 22.5°C에서 기본시트, 통풍시트, 냉수시트를 사용하여 휴식을 하였을 경우 주관설문조사 분석결과를 비교하여 나타내고 있다. 실내온도가 15°C인 경우 TSV가 -2.6로 매우 추운 환경임으로 조사되었으며, CSV와 CLV 각각 -1.8, -0.6로 불쾌적인 수치를 보였다. 반면 실내온도가 22.5°C에서 기본시트를 사용하였을 경우 TSV가 -1.2, CSV와 CLV 각각 0.7과 1.2로 약간 서늘한 환경에서 중립적인 쾌적성을 보였다. 실내온도 22.5°C에서 온열시트를 사용할 경우 TSV는 0.4로 나타났으며, CSV와 CLV는 각각 1.0과 1.2로 기본시트보다 다소 증가하였으며 실내온도 22.5°C에서 온수시트를 사용할 경우 TSV는 0.4로 나타났으며, CSV와 CLV는 각각 1.2과 0.6로 기본시트보다 증가함을 보여 더 따뜻함을 느끼는 것으로 나타났다. 따라서 실내온도 22.5°C에서 온열시트와 온수시트의 사용은 기본시트 사용에 비해 피험자는 온열감이 개선되어 중립 또는 약간 따뜻함으로 응답하였으며, 쾌적감 설문과 주의집중력 설문 또한 기본시트 사용 시 중립에 가까운 값을 나타냈고 온열시트와 온수시트의 사용이 쾌적감과 주의집중력을 증가시키는 것으로 확인되었다.

마. 주의집중력 검사 결과

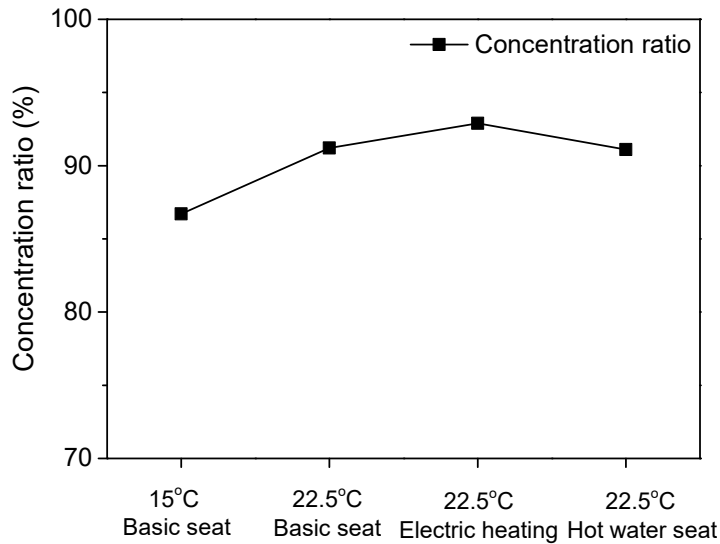


Fig. 5.29 Variation of concentration ratio for various heating conditions

Fig. 5.29는 겨울철 저온의 실내온도 조건인 15°C와 실내의 표준온도 조건인 22.5°C에서 기본시트, 온열시트, 온수시트를 사용하여 휴식을 하였을 경우 주의집중력 검사 결과를 비교하여 나타낸 그래프이다. 주의집중력은 실내온도 15°C에서 86.7%로 나타났으며 실내온도 22.5°C에서 91.2%로 증가하였다. 또한 실내온도 22.5°C에서 온열시트와 온수시트를 사용하였을 경우 각각 92.9%와 91.1%로 나타났다. 본 논문에서 진행된 겨울철 온도조건에서의 주의집중도의 평균값은 60.4%로 나타났으며, 겨울철 저온의 실내온도 조건인 15°C에 비해 약간 서늘한 온도조건인 겨울철 실내의 표준온도 조건인 22.5°C가 피험자의 집중도를 향상시킬 수 있는 조건으로 판단된다. 또한 온열시트와 온수시트를 사용한 경우를 비교하였을 때 온열시트의 사용이 온수시트 사용에 비해 1.9% 더 높은 집중도를 보이는 것으로 나타났다. 이는 온열시트의 경우 피험자가 느끼는 불편함이 적어 높은 주의집중력을 나타낸 것으로 판단된다. 따라서 피험자의 주의집중력은 기본시트 사용 시 추운 저온의 환경인 15°C의 환경보다 실내온도 22.5°C의 환경이 더 높게 나타났으며, 실내온도 22.5°C에서 온열시트와 온수시트의 사용이 피험자에게 쾌적한 환경을 제공하여 주의집중력을 증가시킨 것으로 판단된다.



## 제 6장 결론

본 논문에서는 여름철/겨울철 실내의 표준온도 조건 및 극한 온도조건에서 다양한 휴식조건에 대하여 주관적 지표인 설문조사인 온열감 설문(TSV), 쾌적감 설문(CSV), 주의집중력 설문 (CLV) 평가뿐만 아니라 객관적 지표인 뇌파(EEG), 맥파(PPG), 피부 온도 분석을 통하여 온열감성을 평가하고 단시간 휴식 후 주의집중력 검사를 통하여 휴식조건에 따른 안정조건에 대해 비교 고찰하였다. 여름철 고온의 실내온도 조건인 35℃, 상대습도 50%의 고온 조건에서 피험자의 생체신호를 측정하고 실내의 표준온도 조건인 27.5℃, 상대습도 50%에서 휴식 중 온열감성을 통풍시트와 냉수시트를 사용하였을 때 피험자의 온열감성을 분석하고 냉방시트 종류 및 사용여부에 따른 안정조건을 분석하였다. 또한, 겨울철 저온의 실내온도 조건인 15℃, 상대습도 50%의 저온 조건에서 피험자의 생체신호를 측정하고 실내의 표준온도 조건인 22.5℃, 상대습도 50%에서 휴식 중 온열감성을 온열시트와 온수시트를 사용하여 생체신호를 측정하여 난방기기 종류 및 사용여부에 따른 안정조건을 분석하였다.

여름철 휴식 중 뇌파, 맥파, 피부 표면온도, 주관설문조사, 주의집중력 검사 결과를 종합적으로 비교해볼 때 냉수시트의 사용은 피험자의 뇌파 중 Theta파와 Alpha파를 활성화시켰으며, 맥파검사 결과 LF/HF와 스트레스의 감소 및 SDNN, RMSSD의 증가, 주관설문조사 결과 쾌적한 환경조건이라 응답하여 피험자의 휴식에 필요한 안정적인 환경을 제공된 것으로 판단되었다. 따라서 여름철 통풍시트를 이용하여 실내공기의 바람을 통한 냉방보다 직접적인 국부 열전달을 제공한 냉수시트의 사용이 피험자의 안정적인 휴식환경 조성에 더 바람직한 방법으로 판단된다.

겨울철 휴식 중 뇌파, 맥파, 피부 표면온도, 주관설문조사, 주의집중력 검사 결과를 종합적으로 비교해볼 때 우선 휴식 중 맥파, 주관설문조사 결과 온수시트의 사용이 Theta파의 활성화 및 LF/HF의 감소로 피험자에게 안정적인 휴식환경을 제공된 것으로 판단된다. 그러나 스트레스지수가 기본시트보다 온열시트, 온수시트의 사용시 약

간 증가함을 보였는데 이는 고온의 시트를 통해 피험자에게 제공되는 국지적인 열전달이 피험자의 스트레스 지수를 증가시킨 것으로 판단된다. 주관설문조사 분석결과 온열시트와 온수시트의 사용은 피험자에게 적절한 쾌적한 환경을 제공한 것으로 판단되며 주의집중력 검사 결과 온열시트의 사용 시 높은 집중력을 보인 것으로 확인되었다.

본 연구에서는 여름철/겨울철 실내의 표준온도 조건 및 극한 조건에서 내 다양한 휴식조건에 대하여 주관적 지표인 설문조사인 온열감 설문(TSV), 쾌적감 설문(CSV), 주의집중력 설문 (CLV) 평가 뿐만아니라 객관적 지표인 뇌파(EEG), 맥파(PPG), 피부온도 분석을 통하여 온열감성을 평가하고 단시간 휴식 후 주의집중력 검사를 통하여 휴식조건에 따른 안정조건에 대해 분석하였다. 이를 통해 학습, 운전, 업무 중 효과적인 휴식환경을 제공에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

## References

김대성, 김은아, 권오준(2011). 근로시간이 근로자의 건강문제에 미치는 영향, 대한 직업환경의학회 학술대회 논문집, 387-388

Lee, J., Yoo, S. K. (2013). The Design of Feature Selection Classifier based on Physiological Signal for Emotion Detection. *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea* Vol. 50, NO. 11, November 2013

Munch, M., Plomp, G., Thunell, E., Kawasaki, A., Scartezzini, J. L., & Herzog, M. H. (2014). Different colors of light lead to different adaptation and activation as determined by high-density EEG. *Neuroimage*, 101, 547-554. doi:10.1016/j.neuroimage.2014.06.071

Kim, J. H., Kim, J. Y., & Kim, S. H. (2016). A Study on the Attention Concentration Properties in Convergent Exploration Situations in Cafe Space - Focusing on Gaze and Brain wave Data Analysis. *Korean Institute of Interior Design Journal*, 25(2), 30-40. doi:10.14774/jkiid.2016.25.2.030

Korucuoglu, O., Gladwin, T. E., & Wiers, R. W. (2014). Preparing to approach or avoid alcohol: EEG correlates, and acute alcohol effects. *Neurosci Lett*, 559, 199-204. doi:10.1016/j.neulet.2013.12.003

DeBruin, E. A., Bijl, S., Stam, C. J., Bocker, K. B., Kenemans, J. L., & Verbaten, M. N. (2004). Abnormal EEG synchronisation in heavily drinking students. *Clin Neurophysiol*, 115(9), 2048-2055. doi:10.1016/j.clinph.2004.04.010

Gueritee, J., & Tipton, M. J. (2015). The relationship between radiant heat, air temperature and thermal comfort at rest and exercise. *Physiol Behav*, 139, 378-385. doi:10.1016/j.physbeh.2014.11.064

He, M., Lian, Z., & Chen, P. (2019). Evaluation on the performance of quilts based on young people's sleep quality and thermal comfort in winter. *Energy and Buildings*, 183, 174-183. doi:10.1016/j.enbuild.2018.10.040

Ly, B., Su, C., Yang, L., & Wu, T. (2017). Effects of stimulus mode and ambient temperature on cerebral responses to local thermal stimulation: An EEG study. *Int J Psychophysiol*, 113, 17-22. doi:10.1016/j.ijpsycho.2017.01.003

Lee, H. J., Choi, Y. R., & Chun, C. Y. (2012). Effect of Indoor Air Temperature on the Occupants' Attention Ability based on the Electroencephalogram Analysis. *大韓建築學會論文集計劃系제28권 제3호(통권281호) 2012년 3월*

Cho, S. H., Kim, P. K., Ahn, C., B. (2009). Study of attention using the EEG bands. 2009년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2009.

Chang, P. F., Arendt-Nielsen, L., & Chen, A. C. (2005). Comparative cerebral responses to non-painful warm vs. cold stimuli in man: EEG power spectra and coherence. *Int J Psychophysiol*, 55(1), 73-83. doi:10.1016/j.ijpsycho.2004.06.006

Kim, M., Chong, S. C., Chun, C., & Choi, Y. (2017). Effect of thermal sensation on emotional responses as measured through brain waves. *Building and Environment*, 118, 32-39. doi:10.1016/j.buildenv.2017.03.023

Deng, Q., Wang, R., Li, Y., Miao, Y., & Zhao, J. (2017). Human thermal sensation and comfort in a non-uniform environment with personalized heating. *Sci Total Environ*, 578, 242-248. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.05.172

Ghahramani, A., Castro, G., Karvigh, S. A., & Becerik-Gerber, B. (2018). Towards unsupervised learning of thermal comfort using infrared thermography. *Applied Energy*, 211, 41-49. doi:10.1016/j.apenergy.2017.11.021

Ku, K. L., Liaw, J. S., Tsai, M. Y., & Liu, T. S. (2015). Automatic Control System for Thermal Comfort Based on Predicted Mean Vote and Energy Saving. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 12(1), 378-383. doi:10.1109/tase.2014.2366206

Atmaca, I., Kaynakli, O., & Yigit, A. (2007). Effects of radiant temperature on thermal comfort. *Building and Environment*, 42(9), 3210-3220. doi:10.1016/j.buildenv.2006.08.009

Moon, J. H., Lee, J. W., Jeong, C. H., & Lee, S. H. (2016). Thermal comfort analysis in a passenger compartment considering the solar radiation effect. *International Journal of Thermal Sciences*, 107, 77-88. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2016.03.013

Veselý, M., & Zeiler, W. (2014). Personalized conditioning and its impact on the thermal comfort and energy performance - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 401-408. doi:10.1016/j.rser.2014.03.024

Pallubinsky, H., Schellen, L., Rieswijk, T. A., Breukel, C. M. G. A. M., Kingma, B. R. M., & van Marken Lichtenbelt, W. D. (2016). Local cooling in a warm environment. *Energy and Buildings*, 113, 15–22. doi:10.1016/j.enbuild.2015.12.016

Wang, L., Tian, Y., Kim, J., & Yin, H. (2019). The key local segments of human body for personalized heating and cooling. *J Therm Biol*, 81, 118–127. doi:10.1016/j.jtherbio.2019.02.013

Lan, L., Qian, X. L., Lian, Z. W., & Lin, Y. B. (2018). Local body cooling to improve sleep quality and thermal comfort in a hot environment. *Indoor Air*, 28(1), 135–145. doi:10.1111/ina.12428

Qian, X., Lan, L., Xiong, J., (2017). Effect of Local Cooling on Thermal Comfort of People in a Sleeping Posture. 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC2017, 19– 22 October 2017, Jinan, China

Veselý, M., Molenaar, P., Vos, M., Li, R., & Zeiler, W. (2017). Personalized heating - Comparison of heaters and control modes. *Building and Environment*, 112, 223–232. doi:10.1016/j.buildenv.2016.11.036

Kristanto, D., Leephakpreeda, T.(2017). Sensitivity Analysis of Energy Conversion for Effective Energy Consumption, Thermal Comfort, and Air Quality within Car Cabin. 2017 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies 2017 AEDCEE, 25–26 May 2017, Bangkok, Thailand

Ikenishi, T., Kamada, T., Nagai, M.(2013). Analysis of longitudinal driving beha

vivors during car following situation by the driver's EEG using PARAFAC, 12th IFAC Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems

Yang, L., Ma, R., Zhang, H. M., Guan, W., & Jiang, S. (2018). Driving behavior recognition using EEG data from a simulated car-following experiment. *Accid Anal Prev*, 116, 30-40. doi:10.1016/j.aap.2017.11.010

Huang, K. D., Tzeng, S.-C., Jeng, T.-M., & Chiang, W.-D. (2006). Air-conditioning system of an intelligent vehicle-cabin. *Applied Energy*, 83(6), 545-557. doi:10.1016/j.apenergy.2005.05.006

Mao, Y., Wang, J., & Li, J. (2018). Experimental and numerical study of air flow and temperature variations in an electric vehicle cabin during cooling and heating. *Applied Thermal Engineering*, 137, 356-367. doi:10.1016/j.applthermaleng.2018.03.099

Shahzad, S., Calautit, J. K., Aquino, A. I., Nasir, D. S., Hughes, B. R. (2017). Neutral thermal sensation or dynamic thermal comfort? Numerical and field test analysis of a thermal chair. 9th International Conference on Applied Energy, ICAE2017, 21-24 August 2017, Cardiff, UK

Dehne, T., Lange, P., Volkmann, A., Schmeling, D., Konstantinov, M., & Bosbach, J. (2018). Vertical ventilation concepts for future passenger cars. *Building and Environment*, 129, 142-153. doi:10.1016/j.buildenv.2017.11.024

Nilsson, H. O. (2007). Thermal comfort evaluation with virtual manikin method s. *Building and Environment*, 42(12), 4000-4005. doi:10.1016/j.buildenv.2006.04.027

Simion, M., Socaciu, L., & Unguresan, P. (2016). Factors which Influence the Thermal Comfort Inside of Vehicles. *Energy Procedia*, 85, 472-480. doi:10.1016/j.egypro.2015.12.229

Kim, M. S., Kum, J. S., Park, J. I., & Kim, D. G. (2018). Research on the Thermal Comfort Heating Mode Considering Psychological and Physiological Response of Automobile Drivers. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 30(3), 149-157. doi:10.6110/kjacr.2018.30.3.149

Alahmer, A., Abdelhamid, M., & Omar, M. (2012). Design for thermal sensation and comfort states in vehicles cabins. *Applied Thermal Engineering*, 36, 126-140. doi:10.1016/j.applthermaleng.2011.11.056

Zhou, X., Lai, D., & Chen, Q. (2019). Experimental investigation of thermal comfort in a passenger car under driving conditions. *Building and Environment*, 149, 109-119. doi:10.1016/j.buildenv.2018.12.022

Barry, R. J., & De Blasio, F. M. (2017). EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting remain in healthy ageing. *Biol Psychol*, 129, 293-304. doi:10.1016/j.biopsycho.2017.09.010

Massar, S. A., Kenemans, J. L., & Schutter, D. J. (2014). Resting-state EEG theta activity and risk learning: sensitivity to reward or punishment? *Int J Psych*



ophysiol, 91(3), 172–177. doi:10.1016/j.ijpsycho.2013.10.013

Pitchford, B., & Arnell, K. M. (2019). Resting EEG in alpha and beta bands predicts individual differences in attentional breadth. *Conscious Cogn*, 75, 102803. doi:10.1016/j.concog.2019.102803