creative commons
COMMONS DEED

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

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000265774

2016 년 8 월

석사학위논문

자동차 공조 환경이 인체 감성신호에 미치는 영향에 대한 실험적 연구

조선대학교 대학원

기 계 공 학 과

임 광 현

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

자동차 공조 환경이 인체 감성신호에 미치는 영향에 대한 실험적 연구

Experimental study on the effect of human body bio-signal in the automobile environmental condition

2016년 08월 25일

조선대학교 대학원

기 계 공 학 과

임 광 현

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

자동차 공조 환경이 인체 감성신호에 미치는 영향에 대한 실험적 연구

지도교수 조 홍 현

이 논문을 공학석사 학위신청 논문으로 제출함

2016년 04월

조선대학교 대학원

기 계 공 학 과

임 광 현

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

임광현의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 오 동 욱 (인)

위 원 조선대학교 교수 박 설 현 (인)

위 원 조선대학교 교수 조 홍 현 (인)

2016년 05월

조선대학교 대학원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Contents

Contents ····· i
List of Figures ····· iv
List of Tables ····· vi
Nomenclature ····· vii
ABSTRACT ····· ix

제 1 장 서 론 ····· 1
제 1 절 연구 배경 ····· 1
제 2 절 기존의 연구 ····· 3
제 3 절 연구 목적 ····· 5

제 2 장 온열쾌적감 및 감성신호 이론 ····· 6
제 1 절 온열쾌적감이론 ····· 6
1. 인간과 온열쾌적환경의 상관관계 ····· 6
2. 온열쾌적환경의 물리적 요소 ····· 8
제 2 절 인체 감성신호 ····· 14
1. 감성신호(생체신호)의 개요 ····· 14
2. 뇌파(EEG) ····· 16
3. 맥파(PPG) ····· 21

제 3 장 실험장치 및 방법 ····· 23
제 1 절 실험장치 및 피험자 조건 ····· 23
1. 실험장치 ····· 23
가. 측정실 조건 ····· 23

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나. 맥파(PPG) 측정 장치 ····· 25
다. 뇌파(EEG) 측정 장치 ····· 26
라. 운전 시뮬레이터 및 시뮬레이션 소프트웨어 ····· 28
2. 피험자 조건 ····· 30
제 2 절 실험방법 및 조건 ····· 32
제 3 절 실험결과의 분석방법 ····· 36
1. 뇌파 분석방법 ····· 36
2. 맥파 분석방법 ····· 38
3. 설문지 분석방법 ····· 38
4. 통계 분석방법 ····· 38

제 4 장 난방조건에서 인체 감성신호 변화 고찰 ····· 40
제 1 절 난방시 피험자의 온열쾌적감 설문 분석결과 ····· 40
제 2 절 난방시 피험자의 맥파 분석 결과 ····· 42
1. 난방시 스트레스지수, LF/HF 분석결과 ····· 42
2. 난방시 심장박동 표준편차(SDNN), 평균편차(RMSSD) 분석결과 44
제 3 절 난방시 피험자의 뇌파 분석 결과 ····· 46
1. 난방시 전두엽 뇌파 분석결과 ····· 46
가. 난방시 상대 Θ파 분석결과 ····· 46
나. 난방시 상대 β파 분석결과 ····· 48
다. 난방시 집중도 분석결과 ····· 50
라. 난방시 뇌파활성도 분석결과 ····· 52
2. 난방시 후두엽 뇌파 분석결과 ····· 54
제 4 절 난방조건 데이터 통계분석결과 ····· 56

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 5 장 냉방조건에서 인체 감성신호 변화 고찰 ····· 61
제 1 절 냉방시 피험자의 온열쾌적감 설문 분석결과 ····· 61
제 2 절 냉방시 피험자의 맥파 분석결과 ····· 63
1. 냉방시 스트레스지수, LF/HF 분석결과 ····· 63
2. 냉방시 심장박동 표준편차(SDNN), 평균편차(RMSSD) 분석결과 65
제 3 절 냉방시 피험자의 뇌파 분석 결과 ····· 67
1. 냉방시 전두엽 뇌파 분석결과 ····· 67
가. 냉방시 상대 Θ파 분석결과 ····· 67
나. 냉방시 상대 β파 분석결과 ····· 69
다. 냉방시 집중도 분석결과 ····· 71
라. 냉방시 뇌파활성도 분석결과 ····· 73
2. 냉방시 후두엽 뇌파 분석결과 ····· 75
제 4 절 냉방조건 데이터 통계분석결과 ····· 77

제 6 장 결 론 ····· 83

제 7 장 참고문헌 ····· 86

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Figures

Fig. 2.1 Measurable and personal factor to determine the thermal comfort in vehicle ····· 7
Fig. 2.2 Bio-signal processing ····· 14
Fig. 2.3 Location of each lobe of the cerebral hemispheres ····· 17
Fig. 2.4 Basic waveform of δ waves ····· 19
Fig. 2.5 Basic waveform of Θ waves ····· 19
Fig. 2.6 Basic waveform of α waves ····· 19
Fig. 2.7 Basic waveform of β waves ····· 20
Fig. 2.8 Basic waveform of ɣ waves ····· 20
Fig. 2.9 International 10-20 system ····· 20
Fig. 2.10 The basic rhythm of the PPG ····· 21
Fig. 2.11 PPG measurement and analysis process ····· 21
Fig. 2.12 PPG measurement method(Transparent mode) ····· 22
Fig. 3.1 Schematics of experimental room ····· 24
Fig. 3.2 Experimental device to measure PPG ····· 25
Fig. 3.3 Experimental device to measure EEG ····· 26
Fig. 3.4 Electrode location for EEG test ····· 27
Fig. 3.5 Photography of subject with attaching of EEG sensor ····· 27
Fig. 3.6 Driving simulator device ····· 28
Fig. 3.7 Simulation screen of driving software ····· 29
Fig. 3.8 Air view of the Old city map ····· 33
Fig. 3.9 Experimental time table ····· 34
Fig. 3.10 Photography of in actual experimental state ····· 34
Fig. 4.1 Variations of TSV and CSV in heating condition ····· 41
Fig. 4.2 Variations of stress index and LF/HF in heating condition ····· 43
Fig. 4.3 Variations of SDNN and RMSSD in heating condition ····· 45
Fig. 4.4 Variation of Relative Θ at the frontal lobe in heating condition ····· 47
Fig. 4.5 Variation of relative β at the frontal lobe in heating condition ····· 49
Fig. 4.6 Variation of concentration index at the frontal lobe in heating condition 51
Fig. 4.7 Variation of β/α at the frontal lobe in heating condition ····· 53

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 4.8 Variations of relative Θ and α at the occipital lobe in heating condition 55
Fig. 4.9 Variation of β/α at the occipital lobe in heating condition ····· 55
Fig. 5.1 Variations of TSV and CSV in cooling condition ····· 62
Fig. 5.2 Variations of stress index and LF/HF in cooling condition ····· 64
Fig. 5.3 Variations of SDNN and RMSSD in cooling condition ····· 66
Fig. 5.4 Variation of relative Θ at the frontal lobe in cooling condition ····· 68
Fig. 5.5 Variation of relative β at the frontal lobe in cooling condition ····· 70
Fig. 5.6 Variation of concentration index at the frontal lobe in cooling condition 72
Fig. 5.7 Variation of β/α at the frontal lobe in cooling condition ····· 74
Fig. 5.8 Variations of relative Θ and α at the occipital lobe in cooling condition 76
Fig. 5.9 Variation of β/α at the occipital lobe in cooling condition ····· 76

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Tables

Table 2.1 Garment insulation values ····· 10
Table 2.2 Typical metabolic heat generation for various activities ····· 13
Table 3.1 Specification of the artificial climate room ····· 24
Table 3.2 Specification of PPG measurement device ····· 25
Table 3.3 Specification of EEG measurement device ····· 25
Table 3.4 Anthropometry data of the subjects ····· 30
Table 3.5 Calculation of the amount of clothing results ····· 31
Table 3.6 Setting temperature for cooling and heating mode ····· 35
Table 3.7 Subjective questionnaires ····· 35
Table 3.8 Pattern of the measured parameters in the central nervous system ···· 37
Table 4.1 Descriptive Statistics of emotional signals in heating condition ····· 57
Table 4.2 Statistical analysis in heating condition (a, b) ····· 58
Table 5.1 Descriptive statistics of emotional signals in cooling condition ····· 79
Table 5.2 Statistical analysis in the cooling condition (a, b) ····· 80

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Nomenclature

A_D	: Body area[m^2]
CSV	: Comfort sensation vote
EEG	: Electroencephalogram
ECG	: Electrocardiogram
FFT	: Fast Fourier transform
GSR	: Galvanic skin response
HF	: High frequency[Hz]
HRV	: Heart rate variability
I	: Thermal resistance in clo units[1 clo=0.155$m^2 \cdot$ K/W]
IAQ	: Indoor air quality
$I_{clu,i}$	: Garment insulation values[clo]
LF	: Low frequency[Hz]
LF/HF	: The ratio of low frequency and high frequency
NREM	: Non rapid eye movement
MET	: Metabolic rate[1 met=58.1 W/m^2]
MST	: Mean skin temperature[℃]
REM	: Rapid eye movement
PMV	: Predicted mean vote
PPV	: Predicted percent dissatisfied
PPG	: Photoplethysmography
RMSSD	: Root mean square standard deviation[ms^2]
SDNN	: Standard deviation N-N interval[ms^2]
SMR	: Sensory motor rhythm[12~15 Hz]
TSV	: Thermal sensation vote

Greeks

α	: Alpha wave [8~12.99 Hz]
β	: Beta wave [13~30 Hz]
δ	: Delta wave [0.5~3.99 Hz]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Θ	: Theta wave [4~7.99 Hz]
ɣ	: Gamma wave [30~50 Hz]

Subscripts

cl	: Clothed body or clothing
clu,i	: Effectiveness insulation of clothes i
D	: DuBios value

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Experimental study on the effect of human body bio-signal in the automobile environmental condition

Gwang-hyun Im
Advisor : Prof. Cho, Hong-hyun,
MSd. Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Chosun University

To investigate the comfort and satisfaction in the automobile HVAC environment, the EEG and PPG of subjects in the vehicle were measured and the questionaries were investigated during simulation driving when the cabin and vent exit temperature was set for heating and cooling condition.

As a result of questionaries in the heating experiment, the TSV and CSV increased simultaneously as the cabin and vent exit temperature increased at the beginning of the experiment. That means the psychologic stability and satisfaction under the given environment was so good. When the cabin and vent exit temperature changed from 15℃ and 40℃ to 20℃ and 35℃, SDNN and RMSSD was suppressed and LF/HF increased, thus it was clear that the sympathetic nervous system was activated. After cabin and vent the temperature increased more, the subject could not focus on the driving and felt the boredom and drowsiness.

The analysis results of the EEG in the heating experiment, the relative β wave, the concentration and the brain wave activity(β/α) at the frontal lobe were maintained until the cabin temperature of 20℃ and vent exit temperature

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

of 35℃. Whereas, the relative Θ and α power at the occipital lobe increased when the cabin temperature was 22.5℃ ~ 27.5℃ and the vent exit temperature was 32.5℃ ~ 27.5℃. This indicated the subjects felt boring and sleeping.

As the result of the cooling experiment, the subjective questionaries investigation about the thermal comfortability presented that the thermal sensation decreased but the comfortability increased as the cabin temperature increased. In particular, the psychosomatic stability and satisfaction of the subjects were high at the beginning of experiment.

As the analysis of PPG in the cooling experiment, the stress index was barely changed except the cabin temperature of 30℃ and the vent exit temperature of 16.5℃. LF/HF increased based on of the cabin temperature of 27.5℃ and the vent exit temperature of 18.5℃, thus the arousal lever was maintained. Previous studies showed SDNN and RMSSD decreased under the unpleasant condition. However, as the results of this study, the SDNN and RMSSD did not decrease significantly because of the influence of the vent exit temperature.

As a result of analyzing the EEG in the cooling experiment, the relative β wave, the concentration and the activity of the EEG of left-frontal lobe increased, while the relative Θ wave decreased. The relative Θ wave decreased at the cabin temperature of 30℃ and the vent exit temperature of 16.5℃. However the relative β wave and the concentration increased continuously. The relative β wave of the right-frontal lobe increased significantly and the concentration decreased when the cabin temperature and the vent exit temperature was 22.5℃. It can be inferred that the body recognized unpleased condition because sensory temperature decreased owing to a low temperature of the vent exit air. In the analysis EEG of occipital lobe in the cooling experiment, the relative α wave showed a little change.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

The relative α wave of occipital lobe did not largely change except the cabin temperature of 25℃ and vent exit temperature of 20.5℃.

To investigate the difference on the bio-sensibility according to temperature in the cooling and heating experiment, the statistical analysis was carried out by using the independent sampling techniques which was known as non-parametric testing method. In the statistical analysing method very result, each results has significant difference because the significance probability of all variables was lower that 0.05 the as significance mean level. The statistical analysis in cooling experiment was also carried out. As a result, all variables has a significant difference in thermal and comfortability questionnaires and the PPG difference. However, in case of the brain wave, the significant difference didn't have the meaning because the significance probability on the brain activity and the concentration of the right-frontal lobe was 0.101 and 0.206, and it of the relative Θ wave at the occipital lobe was 0.429.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 1 장 서 론

제 1 절 연구 배경

자동차 초기의 개발 목적은 인간의 이동이나 물건의 운송을 위한 수단으로만 이용되어 왔으나, 지속적으로 다양한 기술개발을 통하여 기본적인 이동수단으로서의 효율성 증대뿐만 아니라 튜닝을 통한 자기만족 또는 운전이라는 본질적인 목적만을 극대화시키거나 차량내부의 쾌적성을 향상시키는 형태로 변화하면서 사용자의 다양한 감성을 충족시켜주도록 다양한 기술 개발이 진행되고 있다. 특히 차량 내부의 온열적인 측면에서는 차량용 HVAC에서 토출되는 공기의 온도, 습도, 풍속과 더불어 탑승자와의 접촉 부위, 외부 환경 등을 고려할 수 있다.

인간은 어떠한 외부환경에 노출되었을 경우 그 환경 하에서 자신의 신체의 항상성을 유지하기 위하여 자율 신경계를 통하여 조절을 시도하며, 특히 혹서기, 혹한기 또는 습한 환경과 같은 불쾌적한 환경에서는 다양한 인체의 조절기전을 통하여 균형을 유지하려 한다. 그러나 인체는 외부환경의 변화에 민감하게 반응하는 반면 극한조건이거나 불쾌적한 환경에서 적응성이 상대적으로 떨어진다. 인간은 모든 환경에 적응 및 쾌적성을 확보하기 위하여 건축공학, 섬유공학 등에서는 이를 적극적으로 반영하여 인간의 온열쾌적감에 대한 연구가 수행되어 왔다. 최근에는 기계공학과 감성공학의 융합기술의 발달로 인하여 자동차 공조환경에서도 단순한 온도조건만을 만족하는 것뿐만 아니라 탑승자의 온열쾌적성, 운전자의 졸음방지, 심리안정을 위한 차량요소 적용 등 다양한 감성충족 기술에 대하여 연구되고 있다.

인체의 온열 쾌적성은 특정 실험조건에서 실험 종료 후 온열감(TSV), 쾌적감(CSV)과 같은 주관적 설문기법을 이용하여 예상평균온열감(PMV)을 산출한 후 예상 불만족도(PPD)를 예측하여 쾌적환경의 여부를 확인하였으나 이러한 방법은 정량적이지 않으며 사람마다 각각의 체형, 기초 신진대사량 등의 차이로 인하여 느끼는 온열감의 주관점이 모두 다르기 때문에 표본수가 다량으로 확보되지 않으면 정확도가 확보되기 어렵다는 단점이 있었다. 그러나 최근 생체전기신호 측정기술의 발달로 인하여 중추신경계에서 대뇌피질의 전기적 활동을 측정하여 뇌기

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

능의 변화를 관찰하는 뇌전도(EEG)와 말초신경계에서 근전도(EMG)와 안전도(EOG), 심전도(ECG), 피부전도도(GSR), 평균피부온도(SKT), 광용적 맥파측정법(PPG)와 같은 방법 등을 이용하여 인체쾌적성의 정도를 정량적이면서 객관적으로 측정할 수 있게 되었다.

하지만 현재 인체의 열쾌적성을 위한 연구는 건축물의 내부에서 다양한 환경변화에 따른 연구는 지속되어지고 있으나, 차량 내부에서의 탑승자의 열쾌적성에 대한 연구는 부족하여 건축분야의 연구 데이터를 기초로 하여 열쾌적성을 해석하는 실정이다. 이는 실내 건축물의 열환경은 균일한 온도 분포를 갖지만 차량 내부의 열환경은 매우 불균일한 온도분포를 갖으며 외부환경 변화에 따른 변화가 매우 빠르게 일어나는 특성을 갖기 때문이다. 또한, 실내공간이 협소하고 토출되는 기류의 체감 거리, 태양복사, 습도 등의 외부환경에 의한 변산성, 내부 구조의 형태로 인한 기류 방해 등으로 인하여 건축물과 자동차의 체적 비율은 10:1정도지만 여름철의 경우 단위체적당 냉방능력은 20배 이상을 요구하게 된다. 그러므로 에너지 절감 및 탑승자의 쾌적감성을 만족하기 위하여 차량 실내에서의 인체의 열쾌적성을 예측하는 기존에 이용되는 주관적 설문조사 기법을 통한 심리적 모델과 뇌파, 맥파와 같은 생체전기신호를 이용한 생리학적 모델을 동시에 적용한 인체쾌적성에 대한 정량적 연구가 필요하다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2 절 기존의 연구

실내 재실자 또는 차량 승객의 실내환경이 재실자와 운전자에 미치는 영향을 연구하고 이를 개선하기 위한 연구는 세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 이와 관련된 연구를 살펴보면 Roelofsen(2002), Lorsch 등(1994), Woods(1989)는 실내환경질(IAQ)은 사람의 작업효율에 매우 밀접한 영향을 미치며 실내환경질을 평가하는 요소는 실내 재실자에게 영향을 줄 수 있는 열환경, 실내공기질(IAQ), 빛, 소음 등의 요인 등이 있다고 보고하였다. 인간의 열쾌적성은 주위의 온열환경에 따라 매우 민감하게 반응하기 때문에 국외에서는 일정한 환경을 부여한 후 온열환경이 작업자에 미치는 영향을 연구하였는데 Cui 등(2013)은 더운 환경에서는 작업효율 및 동기부여에 부정적 영향이 미친다고 보고하였으며, Pepler와 Warner(1968)는 대기온도가 피험자에게 미치는 영향을 분석하기 위해 피험자에게 일정 작업을 부여하여 완료 시간을 분석한 결과 26.7℃에서 효율이 떨어짐을 보였다. Seppänen 등(2003)은 23℃~32℃의 범위에 피험자의 작업효율을 측정한 결과 실내온도가 1℃ 증가할 때 2%의 작업효율 감소를 했으며, Niemela 등(2002)은 콜센터 직원들의 온도에 의한 업무효율 분석을 수행한 결과 25℃를 기점으로 작업 효율이 감소함을 보고하였다. 그러나 위의 연구들은 실내 환경과 재실자와의 관계를 단순한 작업효율을 이용하여 해석하였기 쾌적온도를 때문에 전체적인 피험자의 쾌적성을 대표하지 못한다는 단점이 있다.

최근에는 감성공학의 발달로 인하여 예상평균온열감(PMV)을 이용하여 예상 불만족도(PPD)를 계산하여 기존의 유효온도를 개선하는 연구가 진행되고 있으며, 최근에는 생체전기신호를 이용하여 재실자의 변화도를 객관적으로 관찰하는 연구가 국내외적으로 활발하게 진행되고 있다. Lan 등(2014)은 다양한 공기온도에서 수면상태의 피험자의 온열쾌적감을 평균피부온도(MST)와 주관적 열쾌적 설문을 이용하여 평가하였으며, Liu 등(2013)은 안정되거나 불안정한 환경 하에서 피험자의 평균피부온도의 변화에 대하여 연구하였다. Nguyen 등(2012)은 고온다습한 동남아 기후에서의 순응열쾌적 모델을 주관적 열쾌적 설문을 이용하여 상관식을 개발하였다. Lee 등(2010, 2012)은 실내온도 변화에 따른 재실자의 주의집중도를 뇌파를 이용하여 연구를 수행하였으며 바닥온도의 변화에 따라 신체이완에 미치는

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

영향을 조사하였다. 또한, Kum 등(2002, 2007)은 에어컨 온도변화에 따른 실내온도의 변화와 심전도와 뇌파의 연관성을 조사하였으며, 더불어 여름철 실내외 온도차에 따른 인체의 온열쾌적성을 평가하였다. Kim 등(2006)은 여름철 수면시의 온열쾌적감을 평균피부온도와 생리신호를 이용하여 평가하였으며 Kim 등(2004)은 전두엽과 두정엽의 뇌파를 이용한 쾌적성 평가 방법을 연구하였다. Kang 등(2013)은 자연풍의 변동 특성을 적용한 에어컨의 물리적 특성 및 쾌적성을 피부온도를 이용하여 평가하였으며 Yao 등(2008)은 다양한 온도에서의 열쾌적 모델을 다양한 평균피부온도 상관식과 뇌파를 이용하여 분석하였다.

차량 내부의 열환경 평가의 경우 Alahmer 등(2012, 2013)은 체열 측정법을 이용하여 실험을 설계하여 열쾌적 매개변수의 분석 및 모델링을 수행하였으며, Fanger(1970)의 열쾌적 모델링을 이용하여 여름철과 겨울철의 차량 내부의 열쾌적 영역을 개발하고자 하였다. Jone (2002)은 겨울철 차량 열모델의 성능 및 한계를 여러 온열감모델과 측정 데이터를 비교한 결과 차량 warm-up 상태에 따라 모델마다 큰 차이를 보인다고 보고하였으며, Chakroun 등(1997)은 쿠웨이트에서 여름철 낮에 주차된 차량 내부의 열쾌적을 분석하였다. Nazi(2015)는 차량 시뮬레이터를 이용 차량의 내부온도를 High(21℃～26.67℃)와 Low(10℃～15.5℃), Medium(16℃～21.1℃) 총 3단계로 분류하여 운전자의 운전형태를 분석한 결과 차선이탈과 온도와는 큰 관계가 없는 반면 속도 변산성은 변동이 있어 실내온도가 운전자에게 유의미한 영향을 미친다고 연구하였다. Pilcher 등(2002)은 주위온도에 의한 운전 집중도를 분석한 결과 32.2℃ 이상에서 14.88%, 10℃ 미만에서는 13.91%가 감소함을 보고하였다.

이처럼 차량 내부의 열환경과 온열 쾌적성의 연관성에 대한 연구는 국내외적으로 일부 진행되고 있으나 쾌적온도에서 크게 벗어나지 않는 범위의 변화와 피험자의 반응을 해석하는 관련된 연구가 대부분이며 차량 탑승자의 경우 차량 온열환경의 변산성과 실제 실험의 경우 사고의 위험이 있으므로 실제 시스템을 적용하여 진행한 연구가 부족한 실정이며 차량 주행 중의 운전자 넓은 범위의 장시간 온도변화에 따른 생체신호 측정에 대한 연구도 미흡한 실정이다. 또한, 실내온도 및 차량 벤트(Vent)출구온도가 연속적으로 장시간 변화시 생체신호와 운전자의 운전 집중도에 관한 연구는 거의 없는 상태이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 3 절 연구 목적

기존의 연구에 따르면 인체 온열쾌적감을 해석하기 위하여 재실자의 주관적 반응을 이용하였으나 최근 생체 전기신호를 이용하여 정량적인 온열쾌적감 해석을 수행하는 연구가 대다수를 차지하고 점점 증가하고 있는 추세이다. 하지만 대부분의 실험적 연구는 외부 열환경의 변화가 적은 건축물 내부에서의 쾌적성에 대한 연구에 초점이 맞추어져 있다. 차량의 경우 건축물 실내보다 평균 1/10 정도로 매우 협소하지만, 온도분포가 불균일하며 태양복사, 습도 등과 같은 환경에 변동 특성이 매우 빠르게 일어나고 벤트에서 토출되는 기류의 체감거리 공기 유동 분포와 실내 형태로 인한 기류 방해 요소로 HVAC 구동 조건이 건축물과 매우 다르기 때문에 건축물 온열쾌적감 해석 데이터를 차량 열쾌적해석에 직접 적용하기 큰 어려움이 존재한다. 또한, 소수의 차량 탑승자의 열쾌적해석 연구의 경우 온도 범위가 매우 좁거나 운전환경을 통제된 환경에서 일부 심리, 생리학적 변화를 해석한 연구가 대부분을 차지하고 있다.

따라서 본 연구에서는 자유공간, 장시간, 넓은 온도 대역에서의 차량 탑승자의 생체전기신호 측정 및 주관적 열쾌적 설문을 이용한 열쾌적성에 대한 분석을 상대습도 50%, 기류속도를 50%로 고정한 상태에서 냉방과 난방조건의 차량 실내온도 조건과 벤트토출온도를 설정한 후 각 조건에 맞는 온도가 변화하는 동안 피험자를 자동차 시뮬레이션 자유주행을 수행하게 하였으며 피험자의 뇌파와 맥파 신호를 측정한 후 조건이 변화할 때마다 온열감 및 쾌적감 설문을 수행하였다. 실내 및 벤트(Vent)출구온도가 장시간 지속적으로 변하였을 때 피험자가 장기간 운전에 집중하는지 관찰하고 주관적 설문과 생체신호 측정결과와의 상관관계를 분석하여 운전자의 열적쾌적성에 대한 만족감과 운전에 대한 집중도, 그리고 생체의 변화등을 고찰하였다. 본 연구를 통하여 추후 연구될 스마트 차량용 공조시스템의 최적제어를 위한 기초데이터를 제공하고자 한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2 장 온열쾌적감 및 감성신호 이론

제 1 절 온열쾌적감이론

1. 인간과 온열쾌적환경의 상관관계

인간은 과거에서부터 자신의 쾌적함 유지를 위하여 주변에 처한 환경에 개선을 시도하여 쾌적한 환경을 조성하기 위하여 기술을 지속적 발달시켰으며 현대사회에 들어와서는 외부환경에 순응하면서 쾌적환경을 구현하던 구세대와 달리 인공환경을 직접 구축하여 매우 쉽게 쾌적성을 유지할 수 있게 되었다. 또한, 기술발달로 인한 외부환경의 오염으로 인하여 지속적으로 실내쾌적성을 높이는 것에 대한 관심이 높아지고 있으며 이와 동시에 에너지소모에 대한 경각의 목소리가 높아지면서 실내 쾌적성 및 에너지 절약을 동시에 확보하는 환경을 조성하는 것이 중요시되고 있다.

실내환경 또는 차량의 객실환경과 인간 생체온열 쾌적반응의 상관성을 파악하기 위해서는 인간이 가지고 있는 모든 요소를 고려하여야 하나 이는 복잡성이 매우 높아지고 비효율적인 방법이다. 이러한 방법을 보완하기 위하여 측정 가능한 온열요소와 개별적 요소를 선정이 필요하다. 측정 가능한 온열 요소는 인체가 느끼는 온도 체감의 물리적인 요소로서 온도, 습도, 기류, 평균 복사온도이며 개별적 요소는 인간이 입고 있는 의복의 열저항과 대사량을 의미하며 이를 온열환경 6요소라 정의한다. 이외에 외부 온열자극의 지속성, 피험자의 자극 온열환경 노출 시간 등을 고려한다. 또한, 물리적 요소에 의하여 조성된 환경 아래에서 인간 개인이 주관적으로 느끼는 심리학 · 생리학적 반응요소가 쾌적성 평가에 매우 큰 영향을 미치기 때문에 두 요소에 상관관계를 파악하는 것이 매우 중요하다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

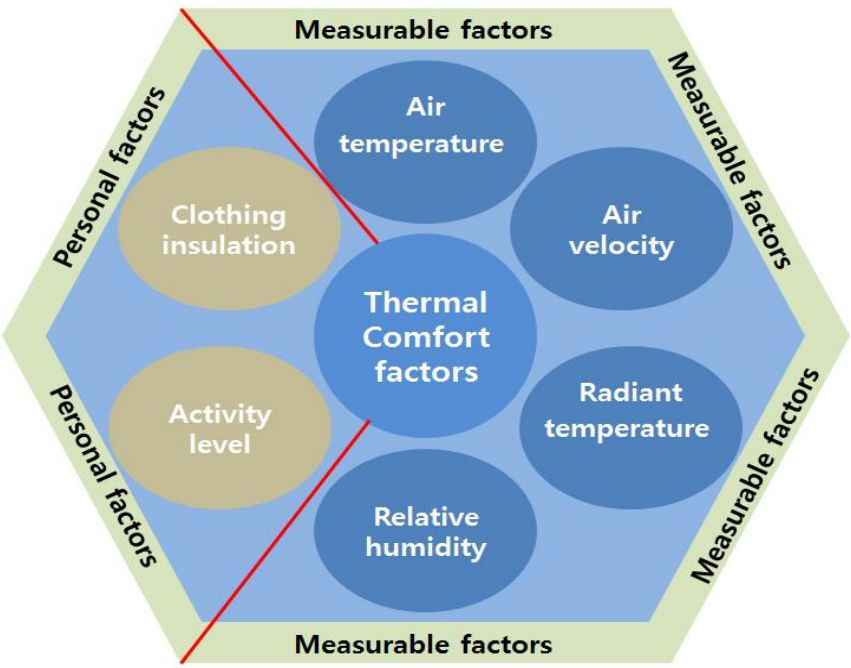

Fig. 2.1 Measurable and personal factor to determine the thermal comfort in vehicle

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 온열쾌적환경의 물리적 요소

(1) 공기온도

공기온도는 공기의 건구온도를 의미하며 인간의 열적쾌적감에 가장 영향을 크게 주는 요소로서 가장 중요한 물리적 요소 중 하나이다.

(2) 습도

습도는 인체의 피부와 호흡기에 직접적인 영향을 미치며, 낮거나 높은 습도조건에서는 인체의 냉각, 온각에 영향을 미쳐 불쾌감을 주게 된다. 예로 낮은 습도에서는 바람이 세게 불면 체감온도지수가 낮아지며 또한, 피부와 호흡기가 건조해져 피부염증과 목이나 기관지 등 점막의 감염으로 인하여 호흡기 질환 등을 유발한다. 높은 습도조건에서는 피부 표면에 땀들이 대기 중의 수분으로 인하여 잘 증발하지 않아 더 덥게 느껴지고 불쾌지수가 상승하며 세균이나 곰팡이의 증식이 활발해져 각종 질환을 유발할 수 있다. 따라서 실내 쾌적성을 유지하기 위하여 실내 습도를 온도조건에 따라 온도가 높으면 습도를 낮춰주고 낮으면 습도를 높여주는 형태로 약 30%~60% 범위를 유지하면 쾌적한 환경을 유지할 수 있다.

(3) 기류

기류는 공기의 흐름으로서 온열환경요소에서의 기류는 외부에서 실내로 유입된 자연풍이나 HVAC 기기를 이용한 인공적인 형태로 조성되어진 실내 기류를 의미한다. 특히 HVAC와 같은 인공기류 발생장치에 의하여 실내 기류가 발생되면 인체와의 대류 열교환을 통하여 신체의 열손실이 발생하여 인체의 열평형에 영향을 미치게 된다. 일반적으로 건축물의 쾌적 기류속도는 0.25~0.5 m/s 정도이며, 여름철과 겨울철의 경우 1 m/s이상을 요구하며, 차량의 경우 외부환경요소에 변산 성이 매우 크고 불규칙하여 건축물의 기류속도보다 더 높은 값을 요구한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(4) 평균복사온도

평균복사온도(Mean radiation temperature)는 실내 공간의 인체에 대하여 주위의 벽 또는 환경과의 열교환을 하는 것과 같은 양의 복사열교환을 행하는 균일한 주위 온도를 의미한다. 예를 들면 같은 온도일지라도 일사량이 많은 날에 지붕과 창문이 데워져 있으면 덥게 느껴지며 평균복사온도가 상승하고, 반대로 냉각된 창호 근처에서는 냉복사에 의해 평균 복사온도가 하강하게 되는 것이다. 평균복사온도에 주변환경과 인체와의 형태계수가 포함되어 있어, 어디에 위치하냐에 따라 평균복사온도 값은 전부 다르며, 편의상 상하좌우 벽면 면적 평균온도 가중치를 평균복사온도로 사용하는 때도 있다.

(5) 착의량

착의량은 인체가 입고 있는 의복의 양 또는 단열성으로 정의하는데 이를 조절하여 외부환경에 노출된 인체 표면의 열손실 등을 조절할 수 있다. 단위는 clo이며 21℃, 상대습도 50%, 기류속도 0.5 m/s 이하의 실내조건에서 인체 표면으로부터의 방열량이 1 met의 대사량과 평형을 이루는 착의상태로부터 피부표면까지의 열저항 값을 1 clo로 한다. 1 clo=0.155m2 · ℃/W로 표기하며 의복의 단열성을 측정하는 가장 보편적 방법으로 Thermal manikin을 이용하여 측정한 후 값을 정의하며 이후 실제 인체실험을 통하여 비교하여 값을 보정하여 정확한 착의량 값을 산출할 수 있다. Table 2.1에 각종 의복의 착의량 값을 정리하여 나타내고 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 2.1 Garment insulation values

Item		Value	Item		Value
Garment description[a]		$I_{clu,i}$, clo[b]	Garment description[a]		$I_{clu,i}$, clo[b]
Under-wear	Briefs	0.04	Trousers and coveralls	Short Shorts	0.06
	Panties	0.03			
	Bra	0.01		Walking shorts	0.08
	T-shirt	0.08		Straight trousers(thin)	0.15
	Full slip	0.16		Straight trousers(thick)	0.24
	Half slip	0.14		Sweatpants	0.28
	Long top	0.20		Overalls	0.30
	Long bottoms	0.15		Coveralls	0.49
Footwear	Ankle socks	0.02	Suit jackets and vests	Single-breasted (thin)	0.36
	Calf socks	0.03			
	Knee socks(thick)	0.06		Single-breasted (thick)	0.44
	Panty hose	0.02		Double-breasted (thin)	0.42
	Sandals/throngs	0.03		Double-breasted (thick)	0.48
	slippers	0.03		Sleeveless vest (thin)	0.10
	boots	0.10		Sleeveless vest (thick)	0.17
Shirts and blouses	Sleeveless, scoop-neck blouse	0.12	Sweaters	Sleeveless vest (thin)	0.13
	Short-sleeve, dress	0.19		Sleeveless vest (thick)	0.22
	Long-sleeve, dress	0.25			
	Long-sleeve, flannel	0.34		Long-sleeve (thin)	0.25
	Short-sleeve, knit sport	0.17		Long-sleeve (thick)	0.36
	Long-sleeve, sweat	0.34			

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Dresses and skirts	Skirt(thin)	0.14	**Sleepwear and Robes**	Sleeveless, short gown	0.18
	Skirt(thick)	0.23		Sleeveless, Long gown	0.20
	Long-sleeve, shirtdress(thin)	0.14		Short-sleeve hospital gown	0.31
	Long-sleeve, shirtdress(thick)	0.23		Long-sleeve, long gown	0.46
				Long-sleeve, pajamas(thick)	0.57
	Short-sleeve, shirtdress(thin)	0.29		short-sleeve, pajamas(thin)	0.42
	Sleeveless, scoop neck(thin)	0.23		Long-sleeve, long wrap robe(thick)	0.69
	Sleeveless, scoop neck(thick)	0.27		Long-sleeve, short wrap robe(thick)	0.48
				Short-sleeve, short robe(thin)	0.34

a : "Thin" garments are summerweight, "thick" garment are winterweight.
b : 1 clo=0.155(m^2 • K)/W
c : Knee-length

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(6) 대사량

대사량은 인체가 어떠한 활동을 하였을 때 체내의 에너지 소모량에 대한 것으로서 Met(Metabolic rate)로 나타내며 1 Met(=58.2 W/m2)는 일반 성인이(AD=1.8 m2) 쾌적한 환경에서 의자에 착석하여 안정을 취하고 있을 때 활동량을 나타낸다. 일반적으로 사무실 작업 중에 착석한 상태로 무리하지 작업을 수행할 경우 1.1~1.4 Met의 대사량을 보이며 격렬한 레저 활동인 농구나 레슬링의 경우 5.0~8.7 Met의 대사량을 보인다. 각 활동별 대사량 소모치는 Table 2.2에 나타내었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 1.2 Typical metabolic heat generation for various activities

Item			W/m^2	met*
Resting	Sleeping		40	0.7
	Reclining		45	0.8
	Standing, quiet		60	1.0
	Standing, relaxed		70	1.2
Walking(on level surface)	3.2 km/h (0.9m/s)		115	2.0
	4.3 km/h (1.2 m/s)		150	2.6
	6.4 km/h (1.8 m/s)		220	3.8
Office activities	Reading, seated		55	1.0
	Writing		60	1.0
	Typing		65	1.1
	Filing, seated		70	1.2
	Filing, standing		80	1.4
	Walking about		100	1.7
	Lifting/packing		120	2.1
Driving/Flying	Car		60~115	1.0~2.0
	Aircraft, routine		70	1.2
	Aircraft, instrument landing		105	1.8
	Aircraft, combat		140	2.4
	Heavy vehicle		185	3.2
Miscellaneous occupational activities	Cooking		90~115	1.6~2.0
	Housecleaning		115~200	2.0~3.4
	Seated, heavy limb movement		130	2.2
	Maching work	Sawing(Table saw)	105	1.8
		Light(Electric industry)	115~140	2.0~2.4
		Heavy	235	4.0
	Handling 50kg bags		235	4.0
	Pick and shovel work		235~280	4.0~4.8
Miscellaneous leisure activities	Dancing, social		140~255	2.4~4.4
	Calisthenics/exercise		175~235	3.0~4.0
	Tennis, singles		210~270	3.6~4.0
	Basketball		290~440	5.0~7.6
	Wrestling, competitive		410~505	7.0~8.7

Sources: Compiled from various sources. For additional information, see Buskirk (1960), Passmore and Durnin (1967), and Webb (1964).

* 1 met=58.1 W/m^2

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2 절 인체 감성신호

1. 감성신호(생체신호)의 개요

감성신호는 사용자의 경험을 통해 얻어지는 물리적 자극에 반응하는 감각, 지각으로 인하여 인간 내부에서 일어나는 복합적인 감성을 과학적으로 분석한 신호로서 이를 통하여 제품 품질개선, 쾌적환경시스템 설계를 목적으로 최근 국내외적으로 매우 활발하게 연구되고 있다. 특히 감성신호 중에서 인간의 감성을 정량적으로 측정하고 평가하는 신호를 생체신호라고 하며 일반적으로 사람이 내부적으로나 외부적으로 어떠한 자극 행위를 취했을 때 나타나는 신체 내적 외적 반응을 의미한다. 생체신호는 뇌, 심장과 같은 장기와 근육, 혈액 등 인간의 생체기관에서 얻어지는 물리적, 화학적 신호를 의미하는데 실제 사례로 의사의 간단한 촉진에서부터 혈액채취를 통한 호르몬 검사와 CT와 같은 첨단 의료장비에 의해 인체 내부구조를 분석하는 방법이 있다. 이러한 생체신호를 측정하기 위해서는 신호가 매우 미약하고 다수의 잡음을 포함하고 있어 Fig 2.1과 같은 신호처리과정을 통하여 순수한 데이터를 확보해야 한다.

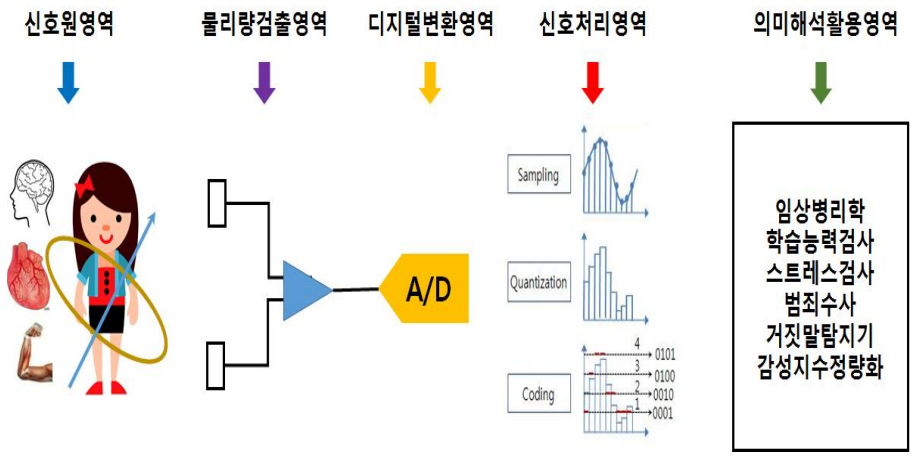

Fig. 2.2 Bio-signal processing

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

신호원 영역은 신호가 발생하는 영역으로서 다양한 형태로 신호를 출력되며, 발생근원으로 뇌, 심장, 근육 등이 있다. 물리량 검출영역은 발생한 신호를 전기적 신호로 변환한 후 원하는 신호를 추출하는 영역으로서 첫 단계로 센서가 요구되며 일반적으로 피부표면이나 근육의 전류를 검출하기 위하여 전극을 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 확보된 신호는 매우 미약하고 잡음이 섞여 있어서 신호증폭과 불필요한 잡음을 필터링 수행 후 필요한 신호를 추출한다. 디지털 변환영역은 물리량 검출영역의 센서 부분에서 추출된 신호가 아날로그 신호이기 때문에 이를 디지털 신호로 변화시키는 역할을 한다.

신호처리영역은 디지털형태로 변환된 신호를 컴퓨터로 처리하는 영역으로서 간단하게는 파형을 실시간으로 디스플레이 하거나 파일을 저장하거나 불러오는 기능부터 복잡하게는 수학적인 처리를 이용하여 주파수 분석, 상관계수, 스펙트럼 분석 등을 수행하는 영역이며, 의미해석활용 영역은 신호 처리된 데이터를 이용하여 응용 및 활용하는 영역이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 뇌파(EEG)

신경계는 중추신경계와 말초신경계로 나뉘는데 뇌와 척수로 구성된 중추신경계에서 말초신경계로 명령을 전달하거나 말초신경계에서 느낀 외부자극을 뇌로 전달하는 역할을 한다. 이 중에서 뇌는 두개골 내부에 위치한 약 1.6 kg의 무게를 가진 기관으로서 반사중추의 역할 이외에도 인식, 기억, 학습, 연상, 언어와 같은 고차원적 정신기능을 수행할 수 있다. 뇌는 회백질, 백질, 뇌실, 뇌혈관계로 이루어져 있으며 이중 회백질이 대뇌피질, 소뇌피질, 핵으로 구성되어 있으며 가장 많은 신경세포가 존재하여 있다. 뇌실은 척수액으로 차있어 외부의 충격을 보호하는 역할을 수행한다.

이중 대뇌반구는 뇌의 가장 상부에 위치하며 뇌전체 무게의 약 83%를 차지할 만큼 중추신경계의 가장 중요한 부분이다. 대뇌의 표면은 주름이 지어 있고 이 주름은 뇌구(Cerebral sulci)와 뇌회(Cerebral Gyri)로 구성되어 있으며 뇌구에 의하여 몇 개의 대뇌엽으로 구성된다. 각 대뇌엽은 크게 4개의 엽으로 구성되는데 전두엽(Frontal lobe), 측두엽(Temporal lobe), 두정엽(Parietal lobe), 후두엽(Occipital lobe)로 나뉜다.

전두엽은 1차 운동피질로서 근육운동을 통제하고, 언어·사고활동을 담당하며 각성, 주의집중의 지표로서 알려져 있다. 측두엽은 1차 청각령으로서 청각정보를 수신하고, 후각 자극을 인지하는 것으로 알려져 있다. 두정엽은 1차 감각령으로서 지각, 인지정보 통합, 기억력 통제 이외에도 촉각, 통각, 위치감각 등의 감각인식에 역할을 하는 것으로 알려져 있으며, 후두엽은 1차 시각령으로서 시각적 자극을 인지하고 시각정보를 관할하는 것으로 알려져 있다. Fig 2.3은 각 대뇌엽의 위치를 나타내었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

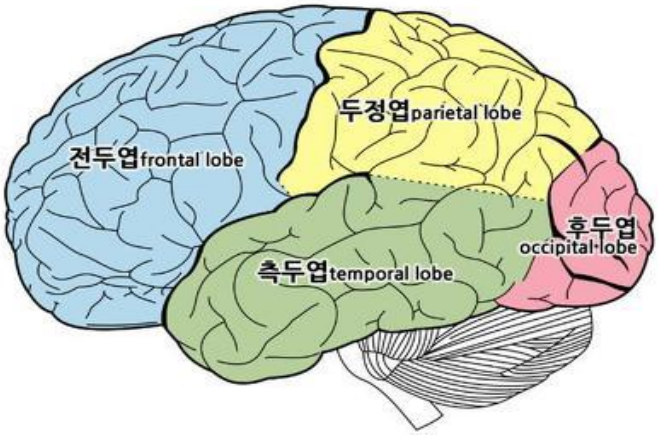

Fig. 2.3 Location of each lobe of the cerebral hemispheres

뇌파(EEG)는 Caton이 1875년 동물의 뇌파를 최초로 기록한 것을 시작으로 Berger가 1929년 최초로 사람의 두피에 전극을 부착하여 뇌파를 측정한 이후 현재까지 지속적으로 연구되고 있는 생체전기신호의 일종이다. 뇌파의 정의는 두피에 전극을 부착하고 대뇌피질의 신경세포에서 발생한 전기적 전위 변화를 체외로 도출하고, 이를 증폭 및 필터링하여 전위를 Y축 시간을 X축으로 하여 두피상(Intact scalp)에서 기록한 것이 뇌파이다. 설치방법이나 전극에 따라서 두피에 부착하여 비침습적으로 뇌파를 측정 및 분석하는 두피뇌파와 두개골을 개방한 후 뇌에 직접 센서를 부착하는 두개강뇌 뇌파 등이 존재하는데 일반적으로 뇌파 측정법은 두피뇌파를 의미한다. 그 이유는 객관적이고 연속적이며 비침습적이라 측정 후 후유증이 없기 때문이다. 두피뇌파는 주파수 1~60 Hz, 5~300 μV의 전위 변동의 형태를 나타낸다.

뇌파는 뇌의 신경세포들의 수많은 활동으로 측정되는 신호로서 매우 빠른 시간에 복잡하게 진동하는 형태를 보이는데 사람마다 개인 간의 전위편차가 존재하여 뇌파를 관찰할 때는 주파수와 진폭에 따라 분류하는데 δ(0.5~3.99 Hz)파, Θ(4~7.99 Hz)파, α(8~12.99 Hz)파, β(13~30 Hz)파, ɣ(30~50 Hz)파로 구분하며, α파를 기준으로 주파수가 느리면 서파(Slow-wave), 주파수가 빠르면 속파(Fast-wave)라고 부른다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

δ파는 0.5~3.99 Hz의 주파수 대역에 평균 100~200 μV의 큰 진폭을 보이는 파형으로 일반적으로 정상인의 깊은 수면상황에 발현되며, 간질, 치매와 같은 뇌 신경계질환 혼수상태에서도 δ파가 나타난다. Fig 2.4에 δ파의 기본파형을 나타낸다.

Θ파는 4~7.99 Hz의 주파수 대역에 진폭은 20~100 μV로 나타나는 서파로서 명상을 통한 정신적인 안정 상태, 얕은 수면 상황에서 주로 발현되는 뇌파 파형이다. 인간의 수면 시에 뇌파 리듬은 δ파와 Θ파가 일정한 주기를 가지고 나타나는데 Θ파가 우세하게 나타나는 경우는 REM 수면으로 지칭하고 δ파가 우세하게 나타나면 NREM 수면으로 정의한다. Fig 2.5에 Θ파의 기본파형을 나타낸다.

α파는 인간 뇌파의 가장 기본적이고 대표적인 성분으로서, 8~13 Hz의 주파수에 평균 50 μV 전위변동으로 규칙적이고 연속적인 파형을 보이는데 일반적으로 두정엽과 후두엽에서 주로 관찰되고 전두엽에서 억제되는 경향이 나타난다. α파는 눈을 감은 안정한 상태에서 일정하게 나타나며, 눈을 뜨고 물체를 주시하거나 학습을 수행하거나 수학연산등을 통하여 뇌가 각성상태에 들어가면 α파는 억제되면서 β파가 활성화되는 경향을 보이는데 이를 α 억제 또는 저지 현상으로 부른다. α파는 뇌의 발달과 연관이 있는데 유아기에 α는 4~6 Hz의 주파수대역을 가지다가 증가하여 성인이 되었을 때 정상적인 주파수대역을 가지게 된다. Fig 2.6은 알파파의 파형을 나타내었다.

β파는 뇌 중심부와 전두엽에서 우세하게 나타나는 파로서 13~30 Hz의 주파수 대역과 2~20 μV의 진폭을 나타내는 불규칙한 파형의 속파이다. 인간이 눈을 뜨고 연산, 학습수행, 언어전달과 같은 정신활동이나 몸을 직접 움직이는 신체운동에 의해서 발생하며 인간의 감각을 사용하는 모든 의식적인 활동에 우세하게 나타나는 뇌파이다. 또한, 각성상태에서만 β파가 발현되는 것이 아니라 긴장하거나 흥분상태 같은 상황에 처했을 때도 β파가 발현할 수 있다. Fig 2.7은 β파의 파형을 나타낸다.

γ파는 주파수 대역이 30 Hz이상인 뇌파이며 베타파보다 빠른 속파로서 뇌의 전체부위에서 발견되며 각 뇌의 처리신호를 조화 및 통일시키는 뇌파이다. 주로 격렬한 스포츠경기나 고도의 연산을 요구하는 수학문제를 해결하는 복잡한 활동에서 발현되며 극도의 불안, 흥분, 스트레스 상태일 경우에도 발현된다. Fig 2.8은 γ파의 파형을 나타낸다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

두피뇌파의 기록에 사용되는 전극 센서의 부착방법은 International 10-20 system을 따르는데 위 방법은 해부학적으로 이마뼈와 코뼈의 경계중앙점(Nasion)과, 후두부의 외부돌기(Inion), 양쪽 귓불의 윗부분을 두피 중앙을 기준으로 가상의 선을 그어 각 점이 두피 중앙까지의 거리를 50%라 했을 때 20%, 20%, 10%의 비율로 전극을 잡는 방법이다. 각 전극위치의 명칭은 머리 반구의 전후좌우 위치에 따라 명명 되었으며, 전두엽은 F는, 두정엽은 P로 두정부는 C로 측두엽은 T로 후두엽은 O로 명명하고 좌뇌 측은 홀수번호, 우뇌 측은 짝수번호로 정하여 전극을 배치하였다. Fig 2.9에 International 10-20 system에 따른 뇌파 전극 부착위치를 보여준다.

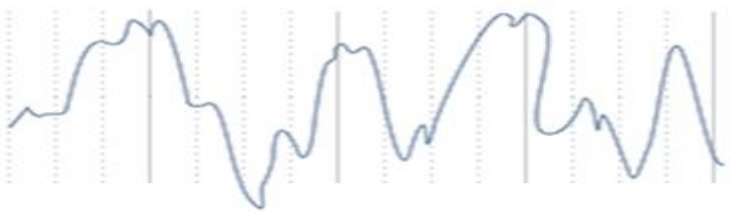

Fig. 2.4 Basic waveform of δ waves

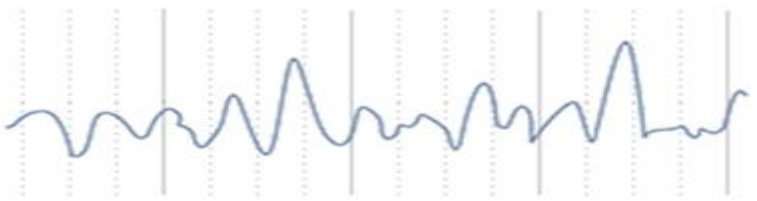

Fig. 2.5 Basic waveform of Θ waves

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

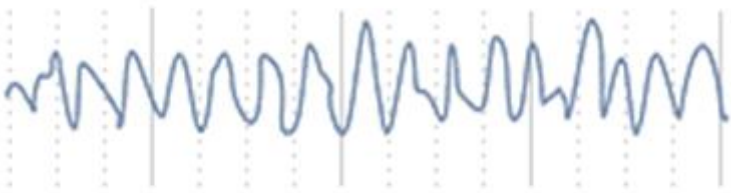

Fig. 2.6 Basic waveform of α waves

Fig. 2.7 Basic waveform of β waves

Fig. 2.8 Basic waveform of ɣ waves

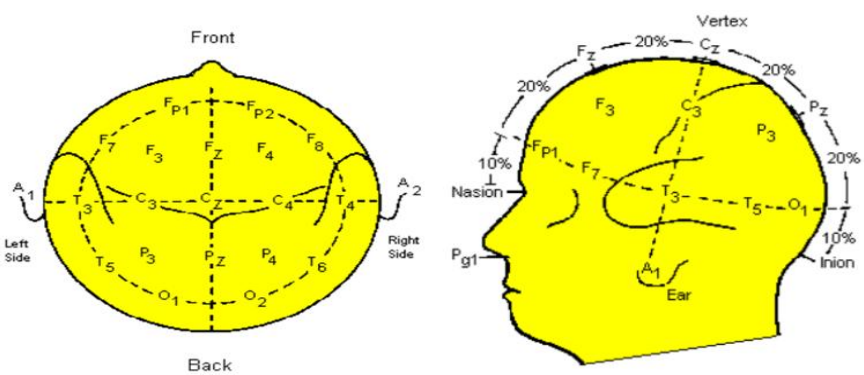

Fig. 2.9 International 10-20 system

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 맥파(PPG)

맥파란 심장에서 혈액 방출 시 대동맥의 기시부에서 혈압이 상승하여 그 부위의 혈관을 확장하는데 이때 심실로부터 계속 방출되는 시간의 흐름에 따라 유한한 속도로 대동맥 내 혈관의 관성을 능가하게 되고 혈압의 증가로 인하여 말초혈관으로 전달되어가는 동안의 맥동을 측정 및 분석한 것이다. Fig 2.10은 맥파의 기본 파형을 나타내며, Fig 2.11은 맥파의 측정 및 분석과정을 나타낸다.

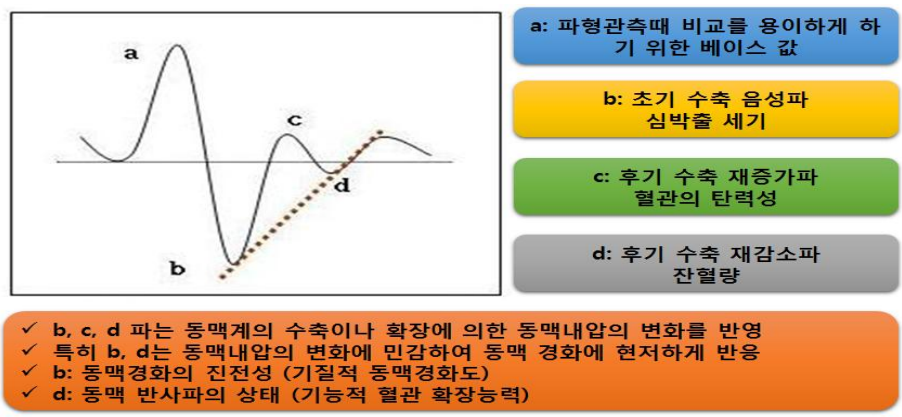

Fig. 2.10 The basic rhythm of the PPG

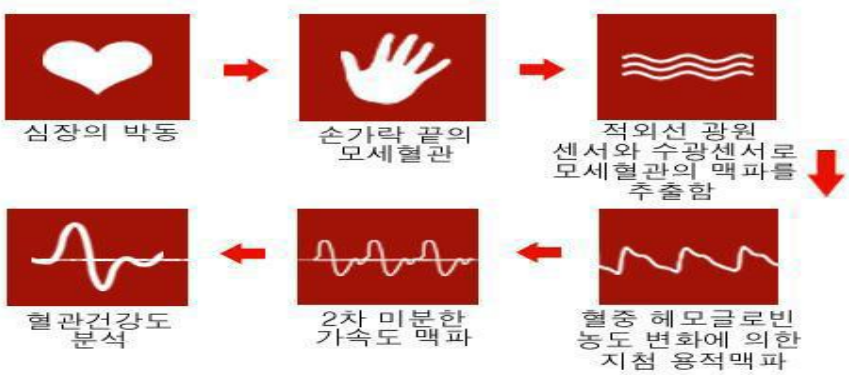

Fig. 2.11 PPG measurement and analysis process

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

맥파의 종류는 일정 동맥부위에서 심장 박동으로 분출된 혈액의 흐름을 파형화하는 혈류맥파와 분출된 혈액이 동맥벽을 따라 전달되는 혈관압력을 측정하는 압력을 파형화한 압맥파, 심장박동으로 변화되는 일정 부위에서의 혈관직경을 파형화한 직경맥파로 나뉜다.

본 실험에서는 직경(용적)맥파를 이용하여 맥파를 측정하였으며 직경맥파를 측정하는 대표적 측정법은 광용적맥파 방식이다. 이 방식은 손가락 끝에 말초혈관에 적외선을 조사하는 것은 동일하나 반사광을 검출하는 반사방식과 투과광을 검출하는 투과방식으로 나뉘며, 본 실험에서는 투과방식을 적용한 맥파 측정장치를 통하여 맥파를 측정하였다. 투과방식은 반사방식과 달리 수광센서가 손가락을 중심으로 반대편에 위치하여 발광부에서 조사된 빛이 손가락을 투과하여 수광부에서 투과된 빛의 양을 감지하는 형태이다. 혈액의 헤모글로빈 성분은 빛을 흡수하는 성질이 있어 빛을 조사하였을 때 모세혈관에 투과율 대비 반사되는 신호를 변환하여 분석하게 된다. 이때 빛의 흡수율은 심장 박동 수축기 혈압의 최대치, 이완기 혈압의 최소치를 나타낸다. Fig 2.12는 본 실험에서 이용된 광용적 맥파 장비의 측정원리를 나타내었다.

심혈관계를 지배하는 기본신경은 자율신경계로서 부교감신경(HF)과 교감신경(LF)으로 나뉘는데 부교감신경은 안정이 되었을 때 나타나고 교감신경은 흥분, 긴장상태에서 나타난다. 이 두 신경의 균형에 따라 맥파의 파형이 변하고 맥박표준편차와, 평균편차 등을 구하여 신체 항상성 지수, 스트레스 항진성을 평가할 수 있으며, 측정된 맥파는 임상의학, 생체심리학, 감성공학 등 다양한 분야에서 교감신경과 부교감신경의 형태를 파악하여 대상자의 감정적인 상태를 파악하는 데 이용되고 있다.

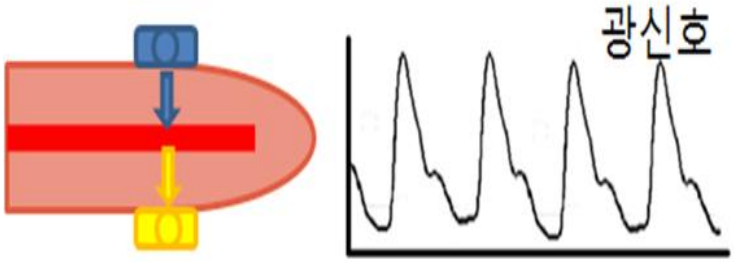

Fig. 2.12 PPG measurement method(Transparent mode)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 3 장 실험장치 및 방법

제 1 절 실험장치 및 피험자 조건

1. 실험장치

가. 측정실 조건

본 연구의 실험은 대학 내에 있는 8.5×4.5×3.5(W×D×H, m3) 크기의 항온항습실에서 실시하였다. 항온항습실 외부에 단일덕트 방식의 공조기기를 설치하여 덕트를 이용하여 내부의 온도와 습도를 조절하였으며, 실험의 정확성을 위하여 내부의 천장, 벽면, 바닥을 단열 시공하여 기밀성을 높였다.

실험을 시행할 시뮬레이션 룸의 경우 항온항습실 내부에 있으며 룸의 후면을 제외한 나머지 부분에 1.0×1.8×1.5(W×D×H, m3)크기의 단열재를 부착하여 HAVC의 벤트에서 토출되는 기류가 항온항습실에서의 토출된 기류의 영향을 받지 않게 하였다. 또한, 전면에 배기량 2000 cc급 차량용 HVAC를 설치하고 시뮬레이션 룸으로 기류를 공급하게 하여 최종적으로 벤트에서 토출되는 기류를 피험자가 실제 차량과 비슷하게 체감할 수 있게 하였다. 실험에 사용된 실험실의 개략도는 Fig 3.1에 나타나 있으며, 자세한 사양은 Table 3.1과 같다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

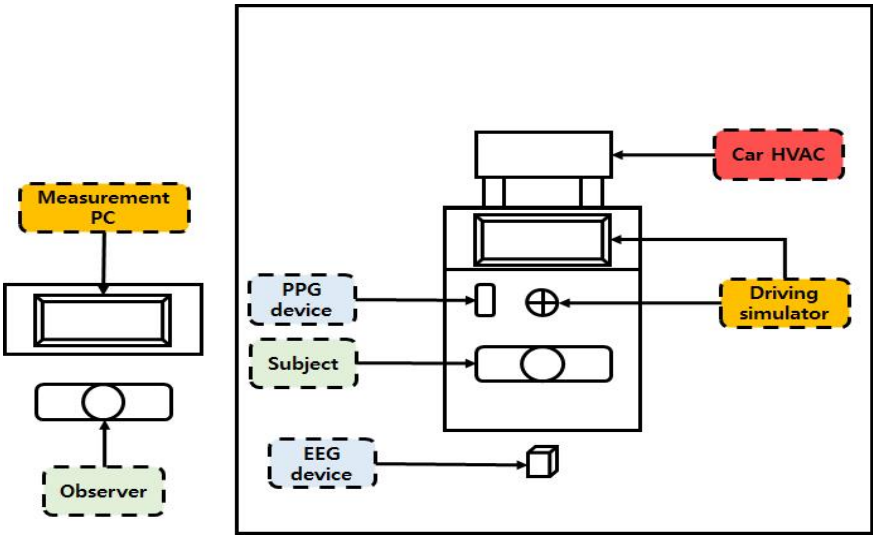

Fig. 3.1 Schematics of experimental room

Table 3.1 Specification of the artificial climate room

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

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나. 맥파(PPG) 측정 장치

맥파 측정장치는 심장에서 분출된 혈류를 손가락 끝의 말초혈관에 적외선을 조사 및 흡수를 통하여 측정되는 광용적 맥파(PPG) 방식을 적용한 uBioMacpa (Biosensecreative Inc.)를 이용하였다. 측정 장치는 피험자의 착용 전에 피험자가 손가락에 힘을 주거나 과도한 움직임을 하지말 것을 지시한 후에 오른손 검지에 측정 장비를 착용하여 실험을 진행하였다. 맥파 측정 장비의 착용사진은 Fig 3.2와 같으며 자세한 사양은 Table 3.2과 같다.

Fig. 3.2 Experimental device to measure PPG

Table 3.2 Specification of PPG measurement device

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

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다. 뇌파(EEG) 측정 장치

운전 시뮬레이션 수행 중에 실내온도 및 벤트토출온도 변화에 따른 생리신호의 변화를 관찰하기 위하여 뇌파 및 맥파 측정 장치를 설치하여 운전자의 생리신호를 측정 및 분석하였다. 뇌파의 측정은 전산화 뇌파측정기인 QEEG-4 (LAXTHA Inc.)장비를 이용하였으며 피험자의 뇌파는 256 Hz 샘플링 주파수, 0.5~50 Hz의 대역통과필터, 12-bit AD변환에 의해 컴퓨터로 저장하였다. Fig 3.2는 본 실험에 사용된 뇌파 측정 장치의 실물사진이며 사양은 Table 3.3과 같다.

뇌파 측정은 두피의 총 4부위에서 모노폴라 방식으로 뇌파를 측정하였으며, 측정위치는 공인된 International 10/20 System에 따라 기준전극인 A1과 접지전극인 A2를 좌우측 귓불 뒷부분에 부착한 후 이를 기준으로 뇌의 종합적인 중추사고를 담당하는 전두엽의 F3, F4 전극과 시각영역을 담당하는 후두엽의 O1, O2 위치에 측정전극을 부착하였다. 사용된 전극은 금으로 도금된 접시형태의 디스크 전극이며, 피부와의 접촉저항을 최소화하기 위해 먼저 알코올 솜을 이용하여 머리표면의 이물질을 닦아낸 후 접시전극에 뇌파전용 전극 풀을 묻혀 부착하였다. 또한 부착된 접시전극 위에 거즈를 살짝 덮어줌으로써 전극풀이 빨리 굳지 않고 머리표면에 잘 고정되도록 하였다. Fig 3.4은 International 10/20 system에 따른 측정위치를 구체적 위치를 나타내며, Fig 3.5는 본 실험에서 뇌파 측정센서를 실제 피험자에게 부착한 사진이다.

Fig. 3.3 Experimental device to measure EEG

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

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

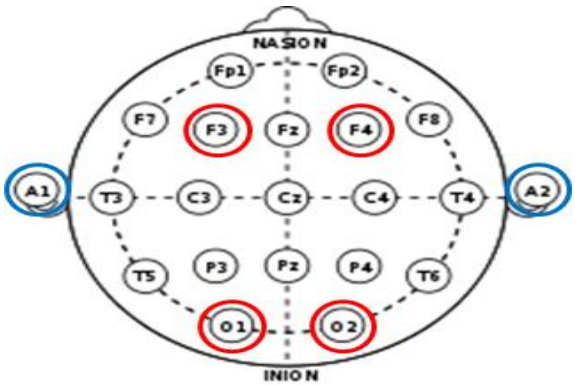

Fig. 3.4 Electrode location for EEG test

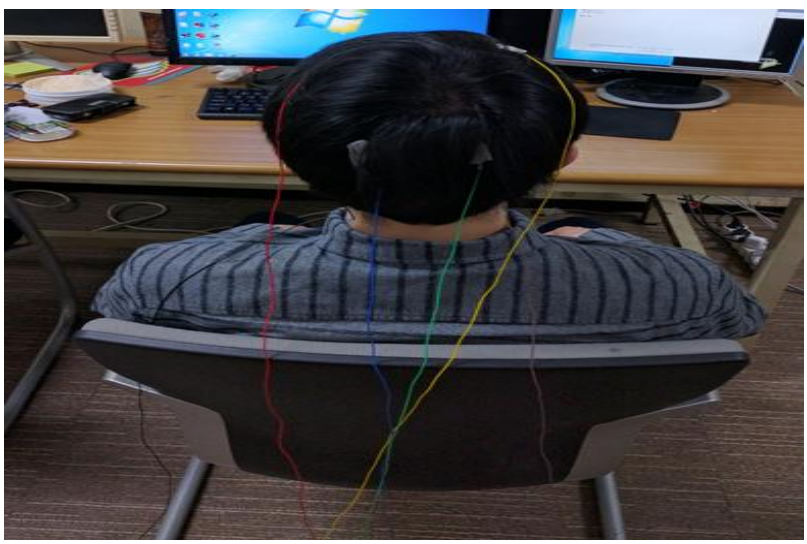

Fig. 3.5 Photography of subject with attaching of EEG sensor

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

라. 운전 시뮬레이터 및 시뮬레이션 소프트웨어

본 실험에서는 피험자에게 실제 운전환경과 유사한 환경을 조성하기 위하여 운전 시뮬레이터 및 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하여 실험을 진행하였다. 운전 시뮬레이터는 G27 racing wheel(Logitech 사)을 이용하였으며 이 장치는 핸들 및 기어박스, 페달 모듈로 구성되어있으며 핸들 각도, 포스피드백 설정 등을 통하여 실제운전 환경과 비슷한 조작감을 구현하였다. Fig 3.6는 운전 시뮬레이터의 실물을 보여준다.

운전 시뮬레이션 소프트웨어는 City car driving 1.5를 이용하여 피험자가 운전 시뮬레이션을 수행하였다. 이 소프트웨어는 실제 도심의 운전상황, 교통법규 등이 소프트웨어 속에 포함되어 있어 본 연구뿐만 아니라 다른 운전 시뮬레이션 수행 연구에서도 많이 이용되는 소프트웨어이다. 본 실험에서 한국의 교통법규와 유사한 환경을 재현하기 위하여 운전석은 좌측에 위치하였으며 교통법규는 Standard rule로 설정하여 실험을 진행하였다. Fig 3.7은 운전 시뮬레이션 소프트웨어 구동 화면을 보여준다.

Fig. 3.6 Driving simulator device

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 3.7 Simulation screen of driving software

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 피험자 조건

피실험자 집단은 운전경력이 2년 이상 된 대학생과 대학원생 남성 20명을 우선 모집한 후 본 심리 및 건강상태 설문조사를 통하여 피험자 10명을 최종 선발하여 실험을 진행하였다. 피실험자 모두 주의력 결핍장애, 간질, 알코올 중독과 같은 신경정신계 질환 병력이 없었으며, 심전도 및 기타 검사 결과가 모두 정상이었다.

선발된 피험자들은 실험 2일 전 피험자별로 사전교육을 통하여 실험 과정에 대하여 자세히 설명하여 실험에 이해도를 높일 수 있도록 하였다. 추가로 실험결과의 정확성 향상을 위하여 실험 전일은 8시간의 충분한 수면을 취하도록 지시하였으며, 실험 6시간 전 인간의 인지기능에 영향을 줄 수 있는 알코올, 담배, 카페인 섭취 및 기타 약물 등의 복용을 제한하였다. 실험 당일 검사를 통하여 실험 진행이 어렵다고 판단될 경우, 피험자에서 당일 실험을 취소한 후 재실험을 수행하였다. 최종적으로 실험이 진행된 피험자의 평균적인 나이 및 신체적 조건은 Table 3.4와 같다.

Table 3.4 Anthropometry data of the subjects

Item	Specification
Gender	Male
Number of subjects	10
Age	27.6 ± 1.17
Weight	72.5 ± 5.6 kg
Height	1.74 ± 0.05 m
Body area	1.57 ± 0.07 m^2

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

체표면적의 계산은 DuBois 등(1916)의 식을 이용하였으며 식 (3-1)에 나타내었다.

$$A_d = 0.202\, m^{0.425}\, l^{0.725} \tag{3-1}$$

본 실험에서의 착의량 조건은 일반 회사원들의 봄철과 가을철 복장을 기준으로 셔츠, 정장바지 차림을 기준으로 냉방과 난방 실험에서 모두 같은 실험복장을 적용하였으며 착의량 계산 식은 McCullough 등(1984)의 식(3-2)을 사용하였다.

$$I_d = 0.835 \sum_i I_{du,i} + 0.161 \tag{3-2}$$

피험자가 착용한 의복의 개별 착의량 값은 Table 3.5와 같다. 위 식을 이용하여 착의량을 계산한 결과 0.55 clo가 나왔으며 대사량은 피험자가 편안한 상태로 운전 시뮬레이션 수행 및 중간 간단한 설문응답을 수행하였으므로 1.8 met로 가정하였다.

Table 3.5 Calculation of the amount of clothing results

Garment Description	$I_{clo,i}$
Long-sleeve, dress shirt	0.25 clo
Men's briefs	0.04 clo
Ankle-length athletic socks	0.02 clo
Straight trousers(thin)	0.15 clo
Amount of clothing(Total)	0.55 clo

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2 절 실험방법 및 조건

피험자는 25℃로 설정되어있는 전실에서 실험복장으로 갈아입고 뇌파 센서와 맥파 측정 장치를 부착하여 15분간 안정시킨 뒤 5분간 뇌파 및 맥파의 기초 파형을 측정한 후 항온항습실로 입실하여 실험을 진행하였다. 항온항습실 내부에 입실하여 시뮬레이션 룸의 운전좌석에 착석하여 운전 시뮬레이션을 수행하였다. 운전 환경은 소프트웨어 자체기능인 Free driving mode의 Old city map을 실행하였는데 이 맵은 고속도로 1곳, 자동차전용도로 1곳, 시가지 3곳, 운전기능연습장 3곳, 시골길 1곳으로 구성되어있으며 터널과 같은 순간적 인지부하 강하게 주는 구간은 없이 무난한 코스로 구성되어있다. 또한, 속도 제한과 교통규정은 한국과 유사하게 구성되어 있으며, 날씨조건은 맑음, 시간은 주간으로 설정하였으며 실제 운전상황 하에서 운전자의 실내온도와 벤트토출온도의 감성신호에 대한 변화 증감을 보기 위하여 시내주행의 교통법규를 준수하면서 주행코스에 제한을 두지 않고 운전을 하도록 지시하였다.

운전 중 주위환경은 피험자가 시뮬레이션 주행 중에 온도에 대한 생체신호 변화를 관찰하기 위하여 인공지능 차량과 사람을 전체 맵 대비 최소 비율로 설정하였으며 인공지능의 행동 형태는 피험자의 차량에 위협적인 운전을 하거나 교통법규를 위반하는 횟수를 없음으로 설정하였다. 또한, 운전자의 운전동기 향상을 위하여 주행 중 현 위치에서 무작위로 선정된 일정위치까지 이동하는 미션을 지속해서 수행하게끔 하였다. Fig 3.8은 운전시뮬레이션에 사용된 Old city driving map과 구간을 나타낸다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

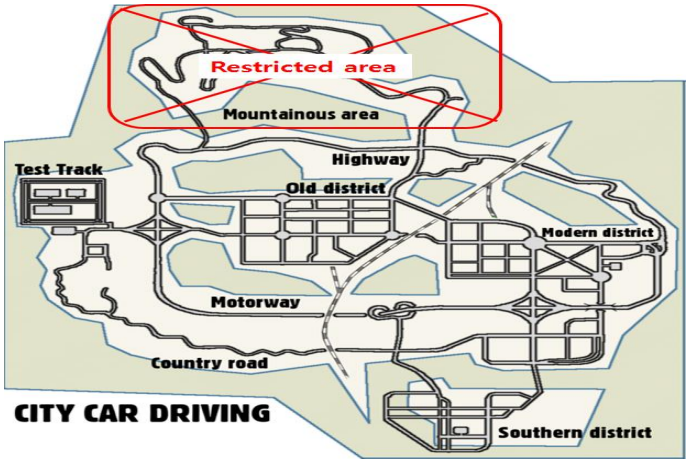

Fig. 3.8 Air view of the Old city map

냉방실험은 초기에 실내공간의 실험조건을 불쾌적한 조건인 차량실내온도 35℃, HVAC 벤트토출온도를 12.5℃로 설정한 후 피험자가 시뮬레이션 룸에 입실하여 개별 조정을 마친 후 운전을 시작하여 총 15분 동안 운전을 수행하는 중 10분이 되는 시점부터 15분까지 약 5분 동안 뇌파와 맥파를 측정하였다. 측정이 끝난 이후에는 차량을 갓길에 정차하도록 지시한 뒤 피험자에게 주관적 온열감과 쾌적감 설문을 시행하였으며, 설문지 작성 후 다시 운전을 수행하는 동안 실내온도는 2.5℃를 하강하면서 벤트토출온도는 반대로 2℃ 상승하게 하여 1번 조건과 같은 시간조건으로 뇌파, 맥파 측정 및 설문조사를 하였다. 이 과정을 반복적으로 실시하여 최종적으로 실내온도와 벤트토출온도가 22.5℃로 같아질 때까지 총 6회에 걸쳐 측정 및 설문 조사를 수행하였다.

난방실험의 경우 실내공간을 초기에 불쾌적 실험조건인 차량실내온도 15℃, HVAC 벤트토출온도를 40℃로 설정된 상태에서 피험자가 입실한 후 운전을 시작하였으며, 냉방실험과 같은 시간을 배분하여 운전을 수행하는 동안 뇌파 및 맥파 측정, 설문조사를 시행하였다. 이후 실험온도변화는 냉방조건과 반대로 실내온도는 2.5℃를 상승하고 벤트토출온도는 반대로 2.5℃ 하강하게 하여 실내온도가 27.5℃, 벤트토출온도가 27.5℃가 될 때 까지 총 6회 동안 뇌파 및 맥파를 측정하고 설문조사를 시행하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

냉방과 난방실험 모두 벤트에서 토출되는 기류속도는 2000cc급 승용차량 자동 공조기장치를 기준으로 4단으로 설정하여 실험을 수행하였으며 기류토출은 일반 상용차량의 제어방식과 같게 냉방 시에는 상부와 하부를 모두 개방하고, 난방 시에는 하부만 개방하여 피험자가 기류를 체감할 수 있도록 하였다. Fig 3.9는 본 실험의 전체적인 시간 스케줄을 나타내었으며, Fig 3.10은 실제 실험 사진을 나타내었다. Table 3.7은 각 실험별 설정조건을 표시하였으며, Table 3.6은 본 실험에 피험자에게 제시된 온열감 및 쾌적감 주관 설문지를 나타내었다.

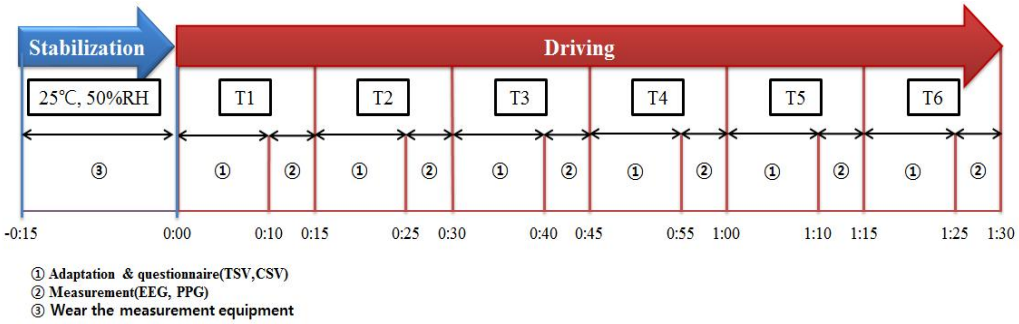

Fig. 3.9 Experimental time table

Fig. 3.10 Photography of in actual experimental state

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 3.6 Setting temperature for cooling and heating mode

Condition	Wind direction	Step number	Vent out temperature*	cabin temperature*
Cooling	Body & Foot	T1	12.5	35
		T2	14.5	32.5
		T3	16.5	30
		T4	18.5	27.5
		T5	20.5	25
		T6	22.5	22.5
Heating	Foot only	T1	40	15
		T2	37.5	17.5
		T3	35	20
		T4	32.5	22.5
		T5	30	25
		T6	27.5	27.5

* : The average temperature deviation of the entire condition is ±0.01

Table 3.7 Subjective questionnaires

TSV(Thermal Sensation Vote)	
Value	Contents
-3	Very cold
-2	Cold
-1	Slightly cold
0	Neutral
1	Warm
2	Slightly hot
3	Very hot

CSV(Comfort Sensation Vote)	
Value	Contents
-3	Very uncomfortable
-2	Uncomfortable
-1	Slightly uncomfortable
0	Neutral
1	Slightly comfortable
2	Comfortable
3	Very comfortable

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 3 절 실험결과의 분석방법

1. 뇌파 분석방법

뇌파 실험결과의 분석을 위하여 Laxtha사에서 제공하는 Telescan을 이용하여 분석을 수행하였다. 각 뇌파 데이터는 대역통과필터를 이용하여 4~50 Hz로 통과시키고 낮은 주파수파형을 보이는 δ파를 제거하여 잡음을 최소화하도록 하였으며, 고속 푸리에 변환(FFT)을 통하여 각 뇌파의 주파수 대역으로 분류하여 상대파워 스펙트럼 분석을 수행하였다.

측정위치별 뇌파의 분석은 상대 Θ파와 α파, β파의 성분을 위주로 분석을 수행하였다. 정신활동을 수행할 경우 전두엽에서는 β가 우세하게 출현하고 Θ파와 α가 억제되는 경향이 나타나는데 이를 기반으로 파형별로 상대파워값을 구하여 온도가 변화함에 따라 증감경향을 보고자 하였으며, 이는 식(3-3)에 나타내었다.

$$Relative\ \ power = \frac{X_{power}}{\theta_{power} + \alpha_{power} + \beta_{power} + \gamma_{power}} \tag{3-3}$$

또한, 안정감을 나타내는 α파, 각성도를 나타내는 β파의 상호비율을 구하여 온도가 변화함에 따라 전두엽에서 β파의 활성도를 파악하여 피험자의 운전집중도를 파악하고자 하였으며 이는 식(3-4)에 나타내었다.

$$Ratio\ of\ Alpha\ \text{or}\ Beta = \frac{\beta}{\alpha} \tag{3-4}$$

특히 전두엽의 β파의 경우 일반적으로 Low-β파(13~19.99 Hz)와 High-β파(20~29.99 Hz)로 나누어서 해석하는데, 특히 Low-β파는 안정 상태에서 주의집중력의 지표인 SMR파(12~14.99 Hz)와 각성을 나타내는 Mid-β파(15~19.99 Hz)로 나뉜다. 뇌파 파워스펙트럼을 해석할 때 Low-β파는 학습, 암기, 계산 같은 능동적인 정신활동시 발생하고, High-β파는 긴장 상태, 또는 스트레스를 받는 상태에

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

서 발생한다. 따라서 상대파워 분석에 추가로 시뮬레이션 운전 시에 도로가 위험 구간이 없고 주위에 차량과 보행자가 거의 없는 조건이므로, 기존에 뇌파 측정 및 분석 연구에서 학습 집중도 및 각성도 분석에 이용되는 Θ파의 활성도와 SMR 파와 Mid-β파의 합의 비율을 이용하여 피험자의 주의집중도를 분석하였으며 이는 식(3-5)에 나타내었다. 또한, Heller(1993)의 감성측정평가 이론을 이용하여 좌전두엽 β파가 우전두엽의 β파보다 활성화될 경우 정신 · 생리학적 관점으로 쾌적한 상태에서 집중 및 각성이 되는 것으로 분석하였다.

$$Concentration\ \ Index = \frac{SMR + Mid\beta}{\theta} \tag{3-5}$$

후두엽 해석의 경우 개안 시에 집중을 유지할 때는 명상 시에 주로 나타나는 α파의 발현이 억제되고 졸음이나 지루함을 느끼면 Θ파와 α파가 동시에 증가하게 되는 경향을 나타낸다. 이에 따라 식 (3-3)을 이용하여 상대 Θ파와 α파의 증감경향을 분석하였다. 시간이 지날수록 α파가 β를 억제하는 경향이 나타났는지 분석하기 위해 식 (3-4)를 이용하여 피험자의 졸음상태를 검출하였다. Table 3.8은 본 연구의 뇌파분석에 이용한 신체에서 느끼는 상황별 뇌파 변화 패턴을 나타내었다.

Table 3.8 Pattern of the measured parameters in the central nervous system

Condition	Lobe	Parameter	Patten
Alert, Arousal, Excited	Frontal	β	↑
Concentration index	Frontal	$\frac{SMR + Mid\beta}{\theta}$	↑
Increased mental workload	Frontal, Occipital	$\frac{\beta}{\alpha}$	↑
Pleasant	Frontal	β	↑
Sleepiness	Occipital	α, Θ	↑
Sleepiness, Boredom	Frontal, Occipital	Θ	↑

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 맥파 분석방법

맥파실험결과의 분석을 위하여 바이오센스 크리에이티브사에서 제공하는 Ubiomacpa Vital을 이용하여 분석을 수행하였다. 맥파는 심장에서 분출되는 혈액을 손가락 말초혈관에 적외선을 조사하는 방법으로 측정 및 분석을 수행하기 때문에 기존의 심전도 분석과 같은 분석방법을 이용하여 분석을 수행한다.

본 실험은 피험자가 편안한 상태로 운전을 수행하는 동안 온도가 변하면 피험자의 맥파변화를 분석하기 위하여 교감신경계와 부교감신경의 비를 나타내는 LF/HF의 비율과 스트레스 지수를 분석하였다. 또한, 항 스트레스 지수, 항상성의 지표로 쓰이는 맥박표준편차(SDNN)와 심장 부교감신경 조절 능력을 평가하는 지표인 맥박평균편차(RMSSD)를 분석하였으며 이 두 지수는 각성 또는 긴장상태에서 낮아짐을 보이게 된다.

3. 설문지 분석방법

본 실험에서 온도조건이 변할 때마다 피험자가 작성하였던 온열감(TSV) 및 쾌적감(CSV) 주관 설문결과를 바탕으로 피험자가 느꼈던 온열감, 쾌적감 설문결과와 맥파와 뇌파의 분석결과에 대한 연관관계 및 상관 경향성을 분석하고자 하였다.

4. 통계 분석방법

본 실험에서 각 실험 별 생체 전기신호 및 설문결과 변수의 유의성을 검증하기 위하여 일원 분산 분석법(one-way ANOVA)를 수행하여야 하나 각 단계의 표본수가 작아 이에 대응하는 비모수적 방법인 독립 K-표본(Kruskal-Wallis test) 기법을 사용하여 통계분석을 진행하였다. 독립 K-표본 기법은 k개의 표본관측치를 합하여 하나의 순서로 배열한 뒤에 가장 낮은 값부터 순위를 매겨 표본별로 순위합을 구하는 방법이다. 이러한 순위의 합들의 차이가 같은 표본들로부터 나올 수 있는 확률이 얼마나 되는지를 계산함으로써 각 측정 변수들을 검정하게 된다. 본

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

실험에서는 유의수준을 0.05를 기준으로 유의확률이 이보다 낮으면 변수의 데이터가 온도 단계에 따라 유의한 차이를 보임을 증명하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 4 장 난방조건에서 인체 감성신호 변화 고찰

제 1 절 난방시 피험자의 온열쾌적감 설문 분석결과

Fig 4.1은 난방온도조건 실험시 피험자의 온열감 및 쾌적감에 관한 주관설문 결과를 나타내었다. 실내온도 15℃, 벤트토출온도 40℃조건에서 온열감, 쾌적감 모두 -3으로 매우 덥고 매우 불쾌적한 상태로 신고하였으며 실내온도 17.5℃, 벤트토출온도 37.5℃에서 -2로 온열감은 '춥다', 쾌적감은 '불쾌하다'로 나타나 큰 증가폭을 보이지 않았다. 그러나 실내온도 20℃, 벤트토출온도 35℃조건에서 온열감, 쾌적감 모두 2단계씩 상승한 중립으로 보고하였으며 난방 실험조건에서 가장 큰 기울기 변화를 보였다. 이후 두 설문 모두 약간 증가하는 기울기를 보이며 실내온도와 벤트토출온도가 같아지는 27.5℃조건에서 온열감은 1.4로 '약간 더움'과 '더움'의 중간 정도로 나타났으며 쾌적감은 1로 '약간 쾌적하다'로 나타났다. 실내온도 20℃, 벤트토출온도 35℃ 조건 이후 피험자들의 주관 쾌적감의 기울기가 감소한 것은 초기 자극 때문에 벤트에서 토출되는 기류에 의하여 큰 만족감을 느꼈으나 일정 만족감을 충족한 뒤에는 크게 변화를 느끼지 않았다고 해석할 수 있다. 또한, 27.5℃에서 쾌적성 설문 결과가 감소한 것은 기존에 알려진 쾌적온도인 25℃에서 약간 더운 온도인 27.5℃로 변화할 때 벤트에서 토출되는 27.5℃의 기류가 직접적으로 몸에 체감될 때 불쾌감을 다소 느끼며 이에 의한 상대적 만족감이 감소한 것으로 보인다. 종합적으로 분석하였을 때 겨울철 차량 난방 시에 차량 내부 온도를 20℃~22.5℃ 사이와 벤트토출온도를 35℃~32.5℃ 사이로 유지할 수 있게끔 HVAC를 작동시켜주는 것이 운전자의 쾌적성 만족에 도움을 줄 것으로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

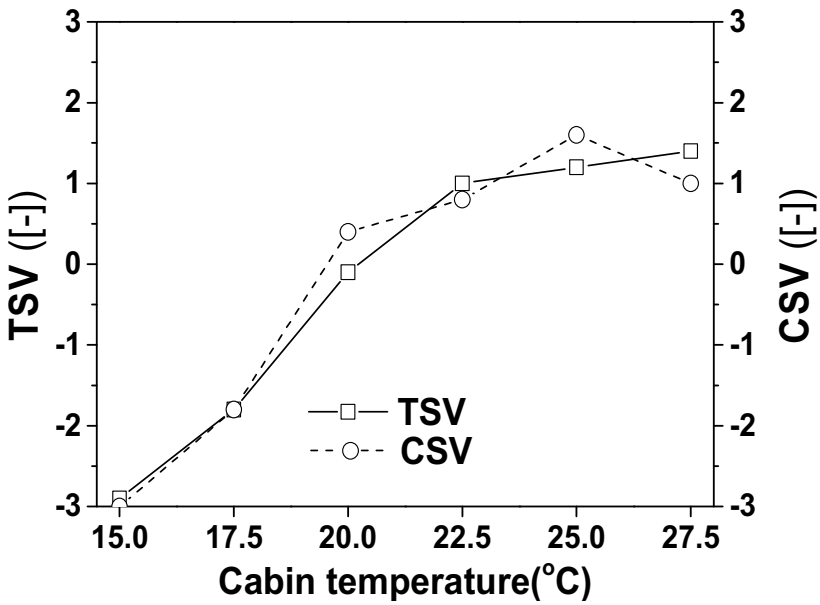

Fig. 4.1 Variations of TSV and CSV in heating condition

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2 절 난방시 피험자의 맥파 분석결과

1. 난방시 스트레스지수, LF/HF 분석결과

Fig 4.2는 난방온도조건 실험시 피험자의 맥파의 스트레스 지수 및 LF/HF의 비를 나타내었다. 실내온도 15℃, 벤트토출온도 40℃조건에서 피험자가 운전을 수행하였을 때 스트레스 지수는 56.2로, LF/HF는 1.2로 나타났다. 스트레스 지수는 실내온도가 20℃까지 꾸준히 증가하여 67.04을 보였으며, LF/HF는 실내온도 17.5℃, 벤트토출온도 37.5℃조건에서 1.46으로 서로 최곳값을 보인 이후 스트레스 지수는 큰 폭으로 감소한 뒤 실내온도 27.5℃, 벤트토출온도가 27.5℃조건에서 32.1로 소폭 증가하는 것으로 나타났으며, LF/HF는 지속해서 약하게 감소하여 27.5℃에서 1.12로 나타났다. 이는 피험자가 낮은 온도의 실내온도에서 운전을 수행함에 따라 의하여 교감신경이 활성화되어 각성 또는 긴장상태로 유지되어 신체의 스트레스 지수와 LF/HF의 비가 높아진 것으로 판단된다. 그러나 두 수치 모두 큰 폭으로 증가하지 않은 것은 피험자가 벤트에서 토출되는 높은 온도 차의 기류를 하부에서 직접 체감한 것이 생체반응에 영향을 주어 교감신경과 스트레스 지수가 매우 크게 나타나지 않은 것으로 보인다. 또한, 실내온도 22.5℃, 벤트토출온도 35℃조건에서의 스트레스지수는 큰 폭으로 감소하고 LF/HF의 비율이 실내온도 17.5℃, 벤트토출온도 37.5℃에서 지속해서 감소하는 경향을 보였는데 이는 온도가 상승함에 따라 교감신경의 활성도가 떨어지고 부교감신경이 활성화되는 것을 의미하고 실험이 진행됨에 따라 피험자의 체감온도는 상승하여 운전을 수행하기 위한 각성도가 떨어지고 지루함 또는 졸음운전이 발생할 가능성이 커짐을 의미한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

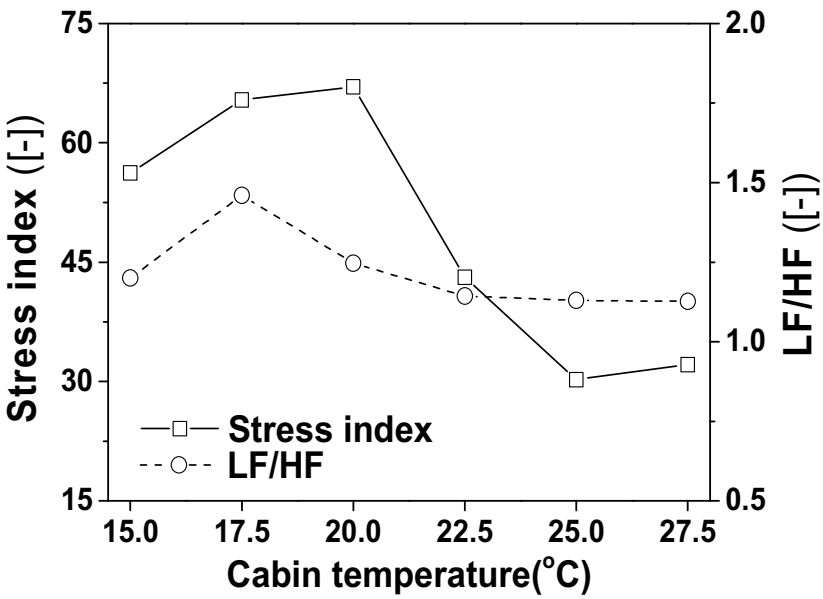

Fig. 4.2 Variations of stress index and LF/HF in heating condition

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 난방시 심장박동 표준편차(SDNN), 평균편차(RMSSD) 분석결과

Fig 4.3은 난방온도실험에서 맥박표준편차(SDNN)와 평균편차(RMSSD)의 변화를 나타내었다. 실내온도 15℃, 벤트토출온도 40℃조건에서 피험자가 운전을 수행하였을 때 SDNN은 53.28, RMSSD는 48.86으로 나타났으며, 실내온도 20℃, 벤트토출온도 35℃조건까지 SDNN은 미세하게 증가하였으나 RMSSD는 36.9로 가장 낮은 수치를 나타냈다. 실내온도 20℃, 벤트토출온도 35℃조건 이후 최종온도인 실내온도 27.5℃, 벤트토출온도 27.5℃조건까지 두 수치 모두 큰 폭으로 증가하여 안정화되는 경향을 나타냈으며 전부 정상범위 내의 수치였다. 이는 스트레스 지수와 마찬가지로 피험자의 신체가 초기에는 저온의 실내온도로 인하여 교감신경이 활성화되어 SDNN과 RMSSD모두 감소하여 항스트레스 지수, 부교감신경의 조절기전이 떨어져 있음을 의미한다. 일반적으로 피험자가 운전에 집중하는 상황이기 때문에 교감신경의 활성화로 SDNN과 RMSSD이 모두 감소하는 경향을 나타내어야 하나 감소폭이 크지 않고 두 결과 모두 정상수치를 나타내었는데 이는 벤트에서 토출되는 난방기류가 몸에 직접 접촉함으로 인하여 교감신경의 활성화에 도움을 주면서 신체 항상성 저하를 막아주었기 때문으로 이러한 현상을 간접적으로 확인할 수 있다. 반면에 실내온도 22.5℃~25℃, 벤트토출온도 32.5~30℃조건에서 두 수치 모두 큰 폭으로 증가 및 유지하였는데 이는 벤트토출온도는 하강하였으나 실내온도가 증가함에 따라 체감온도가 전체적으로 상승하여 부교감신경이 활성화되어 SDNN과 RMSSD가 활성화 된 것으로 보인다. 그러나 27.5℃조건에서는 두 수치 모두 하강하였는데 이는 쾌적온도로 알려진 실내온도 25℃, 상대습도 50%를 기준에서 실내온도가 27.5℃로 증가하고 같은 온도인 27.5℃의 벤트의 기류를 체감함에 따라 체감온도가 상대적으로 크게 높아짐에 따라 불쾌적도가 상승하였기 때문으로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

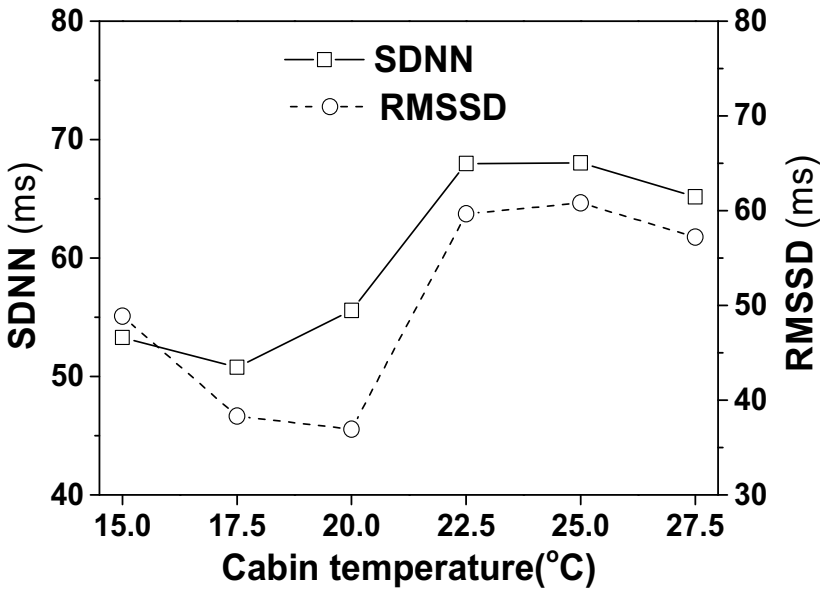

Fig. 4.3 Variations of SDNN and RMSSD in heating condition

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 3 절 난방시 피험자의 뇌파 분석 결과

1. 난방시 전두엽 뇌파 분석결과

가. 난방시 상대 Θ파 분석결과

Fig 4.4는 난방온도조건 실험 시 피험자 전두엽의 상대 Θ파의 결과를 나타낸다. 실내온도 15℃, 벤트토출온도 40℃조건에서 좌전두엽은 7%, 우전두엽은 8.2%의 상대 Θ파의 활성비율을 보였으며 이후 좌전두엽은 실내온도 17.5℃, 벤트토출온도 37.5℃에서 약간 감소 이후 실내온도 22.5℃, 벤트토출온도 32.5℃까지 상대 Θ파가 증가하여 10.5%까지 약 3% 증가하였으며 우전두엽은 실내온도 17.5℃, 벤트토출온도 37.5℃에서 감소후 20℃에서 증가하여 실내온도 22.5℃, 벤트토출온도 32.5℃까지 유지되었다. 실내온도가 증가하면서 실내온도 22.5℃~27.5℃, 벤트토출온도 32.5℃~27.5℃조건에서 좌전두엽의 상대 Θ는 감소 이후 미약하게 증가하였으며, 우전두엽의 상대 Θ파는 지속해서 감소하였다. 상대 Θ파의 결과로 미루어 보아 전체적으로 Θ파가 전두엽의 전체 뇌파에 차지하는 비율이 낮게 형성되긴 하였으나, 실험이 진행되면서 온도가 증가함에 따라 좌전두엽은 상대 Θ파가 최종적으로 증가하는 결과를 보여 지속해서 지루함을 느끼는 것으로 보였다. 또한, 우전두엽의 상대 Θ파가 감소함에 따라 집중도와 상대 β의 비율이 증가함에 따라 최종적으로는 피험자가 온도가 상승함에 따라 약간의 불쾌감과 피곤함을 동시에 느끼고 있음을 파악할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

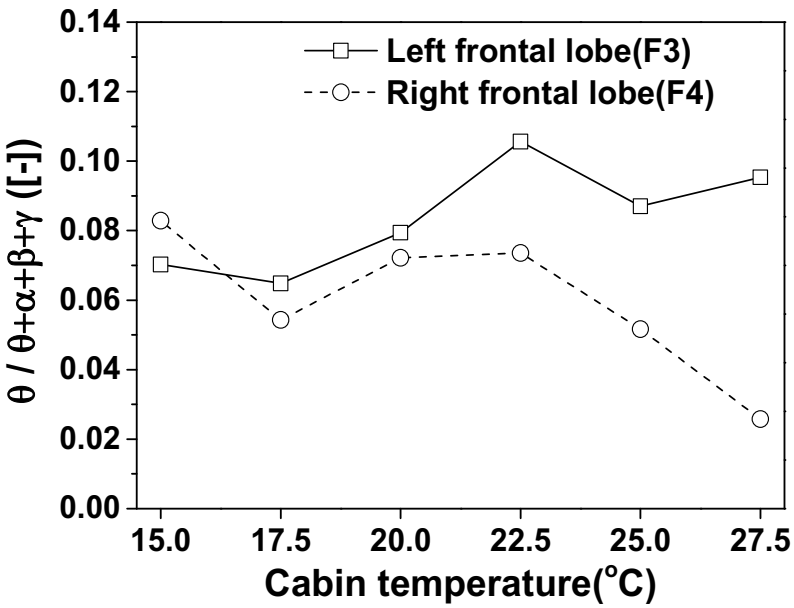

Fig. 4.4 Variation of Relative Θ at the frontal lobe in heating condition

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나. 난방시 상대 β파 분석결과

Fig 4.5는 난방실험시 피험자 전두엽의 상대 β파의 결과를 나타낸다. 실내온도 15℃, 벤트토출온도 40℃조건에서 좌전두엽은 42.5%, 우전두엽은 32%의 β파의 활성비율을 보였으며 이후 좌전두엽은 실내온도 20℃, 벤트토출온도 35℃까지 β파가 증가하여 49.8%까지 증가하였으며 우전두엽은 증가 이후 감소하여 실내온도 20℃, 벤트토출온도 35℃조건에서 30%로 가장 낮은 수치를 보였다. 이후 좌전두엽은 실내온도 22.5℃, 벤트토출온도 32.5℃조건에서 38.5%로 급격한 감소한 후 다시 증가하여 47%~50%사이의 β파의 활성도를 유지하였으며 우전두엽은 지속적으로 상승하여 실내온도 27.5℃, 벤트토출온도 27.5℃조건에서 51.7%로 좌전두엽보다 우세하게 나타났다. 이는 실내온도가 초기 불쾌적한 조건에서 벤트에서 토출되는 높은 온도 차로 체감되는 기류로 인하여 쾌적감을 느낄 수 있으나 실험이 진행되면서 실내온도가 상승할 때 실내온도와 같아진 벤트 토출온도가 직접 체감되어 최종적으로 피험자의 체감온도가 상승함으로 운전을 진행할 때 불쾌한 뇌파반응이 나온 것으로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

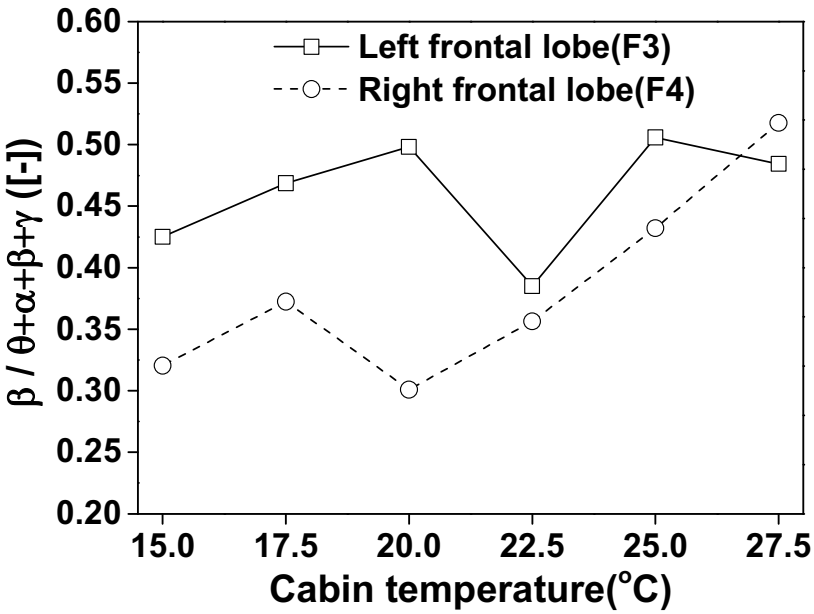

Fig. 4.5 Variation of relative β at the frontal lobe in heating condition

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다. 난방시 집중도 분석결과

Fig 4.6은 난방실험 중 전두엽의 집중도(SMR+Midβ/Θ)의 분석결과를 보여준다. 뇌파 활성도는 피험자가 안정한 상태에서 각성 또는 집중하였을 때 중 β파의 활성도를 보여주는 지표로 학습조건에서 많이 쓰이나 본 실험에서는 운전부하를 주었으나 주행 코스 및 환경이 큰 부하가 없어 집중도 분석을 수행하여 전두엽의 뇌파변화를 관찰하였다. 피험자가 실내온도 15℃, 벤트토출온도 40℃조건에서 좌전두엽은 8.16, 우전두엽은 4.37로 가장 낮은 수치를 보인 이후 좌전두엽은 실내온도 20℃, 벤트토출온도 35℃조건까지 증가하여 14.23으로 최고치를 보였으며, 우전두엽은 실내온도 17.5℃, 벤트토출온도 37.5℃조건을 기점으로 실내온도 22.5℃, 벤트토출온도 32.5℃조건까지 지속해서 감소하는 경향을 보였다. 실내온도 20℃~22.5℃, 벤트토출온도 35℃~32.5℃조건에서 좌전두엽은 큰 감소폭을 보인이후 실내온도 27.5℃, 벤트토출온도 27.5℃조건까지 증가와 감소를 반복하였으며, 우전두엽의 경우 실내온도 22.5℃, 벤트토출온도 32.5℃조건을 기점으로 지속해서 증가하여 좌전두엽을 역전하는 결과가 나타났다. 결과적으로 난방실험에선 초기 저온의 불쾌적한 실내온도 환경에서 이를 상쇄시켜주는 HVAC 벤트에서 토출되는 고온의 기류를 직접 체감함으로써 실내온도 20℃, 벤트토출온도 35℃조건까지 집중도를 안정한 각성도를 보이는 중 β파가 유지된 것으로 보인다. 그러나 장시간의 운전과 실내온도가 불쾌적온도에서 쾌적온도로 변화하는 동안 벤트토출온도는 실내온도와 같아지면서 실질적으로 체감온도가 상승하여 좌전두엽의 집중도가 감소하고 불쾌적한 각성도를 보이는 우전두엽의 집중도가 급격하게 증가한 것으로 보인다. 가을철과 겨울철에 운전부하가 높지 않은 도로를 주행할 경우 중β파의 활성도를 높이기 위해서는 초기의 공조기 작동 시 고내와 벤트토출온도와의 온도차를 최소 15℃정도로 공조기를 작동하여 주는 것이 초기 각성도와 쾌적도를 동시에 높일 수 있으며 장시간 운전을 요구할 경우 실내온도를 쾌적온도범위에 맞추어 공조기를 작동시키는 것보다 약간 서늘한 온도에서 유지하는 것이 장시간 안정적 각성을 유지하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

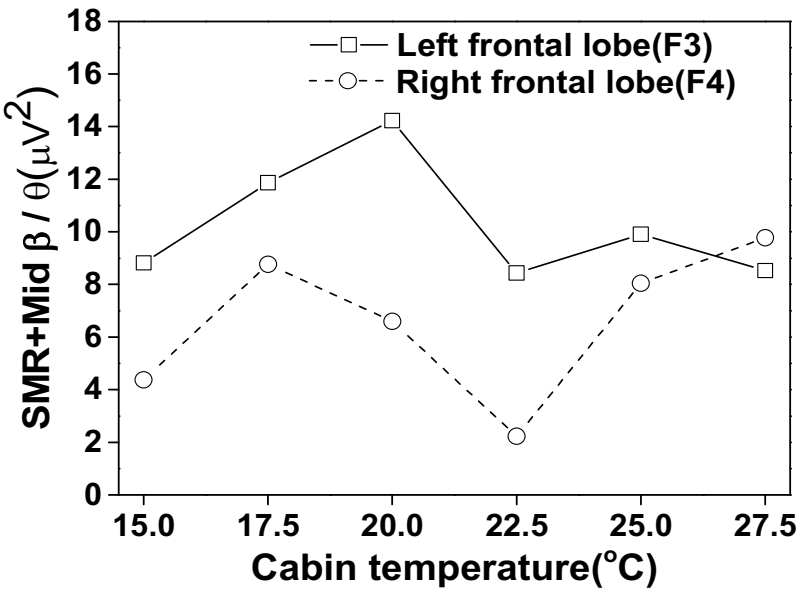

Fig. 4.6 Variation of concentration index at the frontal lobe in heating condition

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

라. 난방시 뇌파활성도 분석결과

Fig 4.7은 난방온도조건 실험 시 피험자가 운전 시뮬레이션 중 전두엽의 뇌파활성도(β/α)를 보여준다. 뇌파활성도는 피험자가 각성 또는 집중하였을 때 β파의 활성도 및 α파의 억제도를 보여주는 지표로 쓰이는데 경우 실내온도 15℃, 벤트토출온도 40℃조건에서 좌전두엽은 7.45, 우전두엽은 4.33으로 낮은 수치를 보인 이후 좌전두엽은 실내온도 20℃, 벤트토출온도 35℃조건까지 증가하고 우전두엽의 뇌파활성도는 실내온도 17.5℃, 벤트토출온도 37.5℃조건를 기점으로 실내온도 22.5℃, 벤트토출온도 32.5℃조건까지 감소하는 경향을 보였다. 실내온도 22.5℃~27.5℃, 벤트토출온도 32.5℃~27.5℃조건까지 좌전두엽은 약하게 증가세를 보였으나 우전두엽의 경우 실내온도 17.5℃~20℃, 벤트토출온도 37.5℃~35℃조건에서 감소한 총 수치보다 더 증가하여 10.03으로 나타났다. 뇌파활성도의 분석결과는 전술한 집중도 결과와 유사한 결과를 나타냈는데 이는 피험자가 초기에 불쾌적한 실내온도에서 HVAC 벤트에서 토출되는 기류를 하체에서부터 직접 체감함으로써 실내온도 20℃, 벤트토출온도 35℃조건까지 집중도를 유지하였으며, 우전두엽의 β파가 억제되는 현상을 나타내어 쾌적한 각성상태를 보였다. 이후 쾌적온도인 실내온도 25℃, 벤트토출온도 29.5℃ 조건으로 도달하면서 우전두엽의 β파가 활성화되는 경향을 나타낸 것은 장시간 운전을 통한 피로도 증가와 동시에 실내온도와 벤트토출온도가 쾌적온도대역으로 동기화되면서 최종적으로는 온도가 증가함에 따라 중추신경계에 불쾌적한 환경 인식되어 우전두엽의 β파가 더 활성화된 것으로 보인다. 그러나 집중도와 다르게 실내온도 22.5℃~27.5℃, 벤트토출온도 32.5℃~27.5℃조건에서 우전두엽의 β파의 증가와 동시에 좌전두엽의 β파가 증가하였는데 집중도 식은 중β파의 각성도를 보는 분석방법이며 뇌파활성도는 전체 β파의 주파수 대역의 활성도를 나타내므로 난방시에 초기에 중 β파가 활성화된 반면 후반에는 온도상승으로 인한 불쾌감이 증가하여 높은 긴장, 고 집중도를 요구할 때 발현되는 고 β가 활성화된 것으로 보인다. 본 실험에서 후반부에 고 β의 활성화가 불쾌감을 나타내는 지표로 사용된 이유는 실험의 시뮬레이션 조건이 인공지능 차량과 사람의 수를 최소한으로 하였으며, 도로의 부하가 크게 걸리지 않아 높은 긴장수준을 요구하지 않기 때문이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

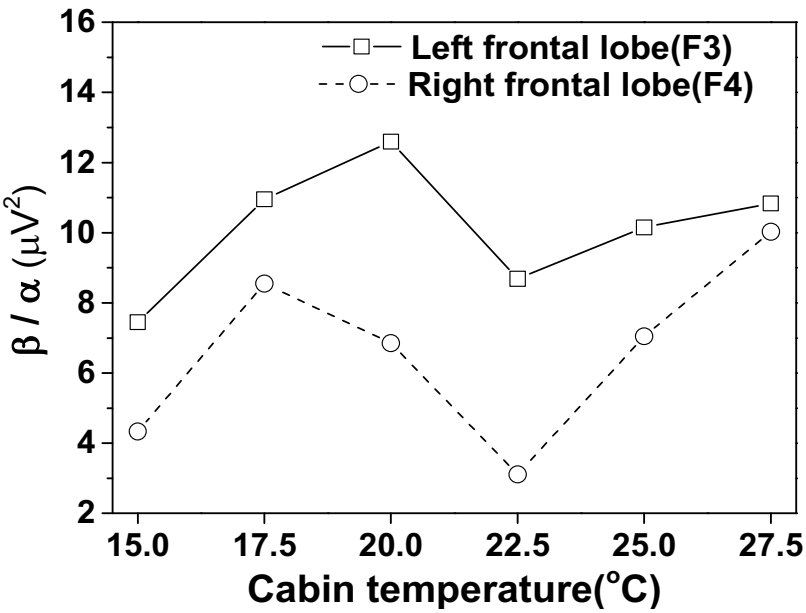

Fig. 4.7 Variation of β/α at the frontal lobe in heating condition

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 난방시 후두엽 뇌파 분석결과

Fig 4.8은 난방온도조건 실험 시 피험자 후두엽의 상대 Θ파와 상대 α파의 분석결과를 나타낸다. 두 뇌파성분 모두 실내온도 15℃, 벤트토출온도 40℃조건에서 상대 Θ파는 3%, 상대 α파는 6%로 나타난 이후 선형적인 증가경향을 나타내어 실내온도와 벤트토출온도가 같아지는 27.5℃조건에서는 상대 Θ파는 17.8%, 상대 α파는 18.5%로 나타났다. 후두엽에서 α파와 Θ파의 성분이 동시에 증가하는 경향을 나타내면 피험자가 졸음을 느끼는 상태로 해석할 수 있다. 이는 전반적으로 실험이 진행될수록 실내온도가 상승하고 벤트토출온도가 따뜻한 공기를 지속해서 피험자에게 토출하는 환경이 조성돼 피험자의 상대 Θ파와 α파가 상승한 것으로 보인다. 그러나 실내온도 20℃, 벤트토출온도 35℃조건까지는 상대 Θ파는 9.6%, 상대 α파는 11%로 두 파형이 압도적인 파형을 나타내지 않았으므로 난방시에 실내온도를 20℃~22.5℃, 벤트토출온도 35~32.5℃로 유지하는 환경을 조성하였을 경우 피험자가 장시간 운전 시에 쾌적성에 도움을 줄 수 있을 것으로 보인다.

Fig 4.9는 난방온도조건 실험 시 피험자 후두엽의 베타파와 알파파의 비율인 뇌파 활성도를 분석하였다. 뇌파활성도는 실내온도 15℃, 벤트토출온도 40℃부터 실내온도 25℃, 벤트토출온도 29.5℃조건까지 감소하다 실내온도 27.5℃, 벤트토출온도 27.5℃조건에서 미약하게 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 후두엽에서는 β파가 주로 발현되지는 않으나 Θ파와 α파가 증가하여 뇌파활성도가 지속해서 감소하는 경향을 나타낸 것으로 보인다. 특히 실내온도 27.5℃, 벤트토출온도 27.5℃에서 미약하게 증가하는 경향을 나타내었는데 이는 전두엽의 해석결과에서 우전두엽의 β파가 활성화되어 피험자 모두가 불쾌감을 느끼는 경향에서 발현된 것으로 각성이나 집중보다 불쾌한 상황에서 운전하는 것을 간접적으로 반영한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

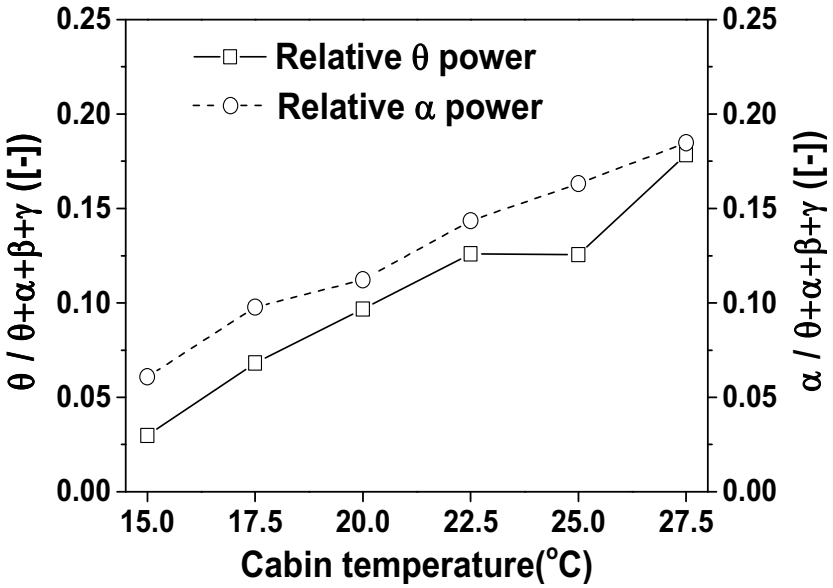

Fig. 4.8 Variations of relative Θ and α at the occipital lobe in heating condition

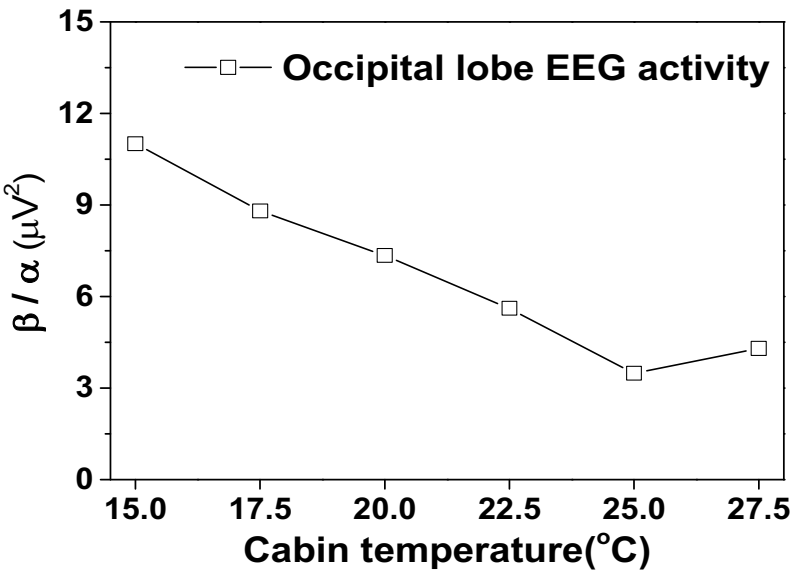

Fig. 4.9 Variation of β/α at the occipital lobe in heating condition

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 4 절 난방조건 데이터 통계분석결과

난방실험의 각 데이터 변수들의 온도단계에 따른 차이를 알아보기 위하여 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 그중에서 각 단계간의 표본수가 적었기 때문에 비모수기법인 독립 K-표본 기법을 적용하여 유의수준 0.05를 기준으로 통계분석을 시행하였다.

온열감 및 쾌적감 설문 분석결과 근사 유의확률이 0.00으로 온도 단계에 따른 피험자간의 유의한 차이가 존재하였다. 맥파의 각 분석 변수들의 통계검정 결과 스트레스 지수는 유의확률이 0.000으로 나타났으며 LF/HF는 0.001로 나타났다. SDNN의 유의확률은 0.038로 나타났으며 RMSSD는 0.002로 나타났다. 맥파의 모든 분석 변수의 유의확률이 유의수준보다 작은 값을 나타내어 온도단계에 따른 각 맥파 변수 간의 유의미한 차가 존재함을 나타내었다.

뇌파의 각 분석 변수들의 통계검정 결과 좌·우측 전두엽의 경우 우전두엽 상대 Θ파, 좌, 우전두엽 상대 β파, 좌, 우전두엽 집중도, 좌, 우전두엽 뇌파활성도의 근사 유의확률이 0.000로 온도 단계에 따른 피험자간에 유의한 차이가 존재하였으며 좌전두엽 상대 Θ파만 근사유의확률이 0.015로 나타났으나 유의수준 0.05를 초과하지 않아 피험자간 유의미한 차이가 있음을 검증하였다. 후두엽의 경우 상대 Θ파, 상대 α파, 뇌파 활성도(β/α)의 독립 K-표본을 이용하여 통계검정을 한 결과 근사 유의확률 0.000으로 유의확률이 유의 수준보다 낮아 각 온도 단계별 피험자간 후두엽의 뇌파성분의 유의미한 차이가 존재하였다.

인체감성신호의 온도단계변화에 따른 통계검정결과 모든 변수가 유의미한 차이가 존재하였으나 뇌파와 맥파의 분석변수들의 표준편차가 크게 나타나는 경향을 보였다. 이는 각 피험자 간의 인체 감성신호 변수별로 절댓값이 차이가 존재한다는 의미로 해석할 수 있으며 인체감성신호의 분석에 절댓값을 이용한 분석보다 증감경향에 따른 기울기를 해석하는 형태의 분석을 적용하여야 할 것으로 판단된다. Table 4.1은 각 인체감성신호 측정 변수별 기술통계량을 나타내었으며 Table 4.2는 독립 K-표본 통계분석결과를 나타내었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 4.1 Descriptive Statistics of emotional signals in heating condition

Variable	N	Average	Standard deviation
TSV	60	-.200	1.69
CSV	60	-.138	1.767
Stress index	60	49.014	17.923
LF/HF	60	1.217	.1820
SDNN	60	60.131	16.045
RMSSD	60	50.293	17.288
Relative β power(L, F)	60	.461	.059
Relative β power(R, F)	60	.3833	.0953
Relative Θ power(L, F)	60	.083	.0349
Relative Θ power(R, F)	60	.060042	.0264
β/α(L, F)	60	10.1136	2.5984
β/α(R, F)	60	6.6552	3.0853
Concentration index(L)	60	10.2969	3.40707
Concentration index(R)	60	6.630	3.4854
Relative Θ power(O)	60	.1041	.0529
Relative α power(O)	60	.1270	.0602
β/α(O)	60	6.7589	4.1539

F: Frontal, L: left, O: Occipital, R: Right

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 4.2 Statistical analysis in heating condition (a, b)

Variable	Temperature	N	Mean rank	Chi-square	F	p-value
TSV	T1	10	5.90	52.61	5	.000***
	T2	10	15.30			
	T3	10	26.85			
	T4	10	41.95			
	T5	10	45.00			
	T6	10	48.00			
CSV	T1	10	5.50	51.12	5	.000***
	T2	10	15.50			
	T3	10	30.90			
	T4	10	39.25			
	T5	10	51.35			
	T6	10	40.50			
Stress index	T1	10	38.40	44.93	5	.000***
	T2	10	46.40			
	T3	10	48.80			
	T4	10	25.70			
	T5	10	10.90			
	T6	10	12.80			
LF/HF	T1	10	35.90	20	5	.001***
	T2	10	45.50			
	T3	10	37.95			
	T4	10	23.40			
	T5	10	20.75			
	T6	10	19.50			
SDNN	T1	10	22.90	11.78	5	.038*
	T2	10	19.30			
	T3	10	27.40			
	T4	10	39.30			
	T5	10	38.30			
	T6	10	35.80			
RMSSD	T1	10	31.05	19.31	5	.002**
	T2	10	18.45			
	T3	10	16.05			
	T4	10	41.45			
	T5	10	39.10			
	T6	10	36.90			

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Relative β power(L, F)	T1	10	20.20	29.45	5	.000***
	T2	10	31.80			
	T3	10	41.00			
	T4	10	9.20			
	T5	10	44.30			
	T6	10	36.50			
Relative β power(R, F)	T1	10	18.90	35.55	5	.000***
	T2	10	28.30			
	T3	10	15.10			
	T4	10	25.70			
	T5	10	40.20			
	T6	10	54.80			
Relative θ power(L, F)	T1	10	22.20	14.04	5	.015**
	T2	10	19.30			
	T3	10	27.70			
	T4	10	43.00			
	T5	10	32.10			
	T6	10	38.70			
Relative θ power(R, F)	T1	10	42.30	36.49	5	.000***
	T2	10	25.00			
	T3	10	42.40			
	T4	10	44.00			
	T5	10	22.30			
	T6	10	7.00			
β/α(L, F)	T1	10	11.00	29.45	5	.000***
	T2	10	36.70			
	T3	10	47.10			
	T4	10	21.30			
	T5	10	30.60			
	T6	10	36.30			
β/α(R, F)	T1	10	17.30	35.55	5	.000***
	T2	10	42.10			
	T3	10	32.40			
	T4	10	9.00			
	T5	10	31.90			
	T6	10	50.30			

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Concentration index(L)	T1	10	23.30	22.63	5	.000***
	T2	10	40.40			
	T3	10	49.10			
	T4	10	20.00			
	T5	10	28.70			
	T6	10	21.50			
Concentration index(R)	T1	10	18.50	36.38	5	.000***
	T2	10	43.20			
	T3	10	31.20			
	T4	10	7.20			
	T5	10	38.20			
	T6	10	44.70			
Relative Θ power(O)	T1	10	7.00	46.62	5	.000***
	T2	10	18.50			
	T3	10	27.30			
	T4	10	37.60			
	T5	10	37.20			
	T6	10	55.40			
Relative α power(O)	T1	10	10.80	25.98	5	.000***
	T2	10	20.70			
	T3	10	26.10			
	T4	10	36.60			
	T5	10	42.70			
	T6	10	46.10			
β/α(O)	T1	10	48.20	30.59	5	.000***
	T2	10	39.80			
	T3	10	33.70			
	T4	10	26.80			
	T5	10	14.30			
	T6	10	20.20			

a: Kruskal-Wallis test , b: Family variable → Temperature

* : P<0.05, ** : P<0.01 ,*** : P<0.001

F: Frontal, L: left, O: Occipital, R: Right

T1: cabin temperature 15℃, Vent temperature 40℃

T2: cabin temperature 17.5℃, Vent temperature 37.5℃

T3: cabin temperature 20℃, Vent temperature 35℃

T4: cabin temperature 22.5℃, Vent temperature 32.5℃

T5: cabin temperature 25℃, Vent temperature 30℃

T6: cabin temperature 27.5℃, Vent temperature 27.5℃

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 5 장 냉방조건에서 인체 감성신호 변화 고찰

제 1 절 냉방시 피험자의 온열쾌적감 설문 분석결과

Fig 5.1은 냉방실험시 피험자의 온열감 및 쾌적감 주관설문 결과를 나타내었다. 실내온도 35℃, 벤트토출온도 12.5℃조건에서 온열감은 2.6(매우 덥고)으로 쾌적감은 -2.8(매우 불쾌함)로 나타났으며 온열감은 선형적으로 감소하는 것으로 나타났으며 쾌적감은 선형적으로 증가하다 실내온도 27.5℃, 벤트토출온도 18.5℃를 기점으로 평균 1.3(약간 쾌적한)으로 유지되었다. 쾌적감이 큰 폭으로 증가한 이유는 초기의 불쾌적한 객실 온도에 불쾌감을 느꼈으나 벤트에서 토출되는 저온의 기류가 피험자에게 직접 체감되어 실제로 체감하는 온도가 낮아짐에 따라 피험자가 심리적으로 큰 만족도를 느꼈음을 의미한다. 온열감 설문은 지속해서 감소하여 실내온도 22.5℃, 벤트토출온도 22.5℃조건에서 -1.8(춥다)로 나타났으나 쾌적감 설문의 경우는 증가 후 유지되는 경향을 나타냈다. 이는 일반적 건축물에서 온열감이 커지거나 감소할 경우 쾌적성 설문이 불쾌한 쪽으로 이동하는 것과 상반되는 결과로 일반 실내 건축물 내부에서 느끼는 피험자의 심리반응과 달리 HVAC 벤트 출구 공기의 온도와 기류가 피험자의 쾌적한 체감온도 조성에 도움을 주어 심리적으로 안정감을 주었음을 의미한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

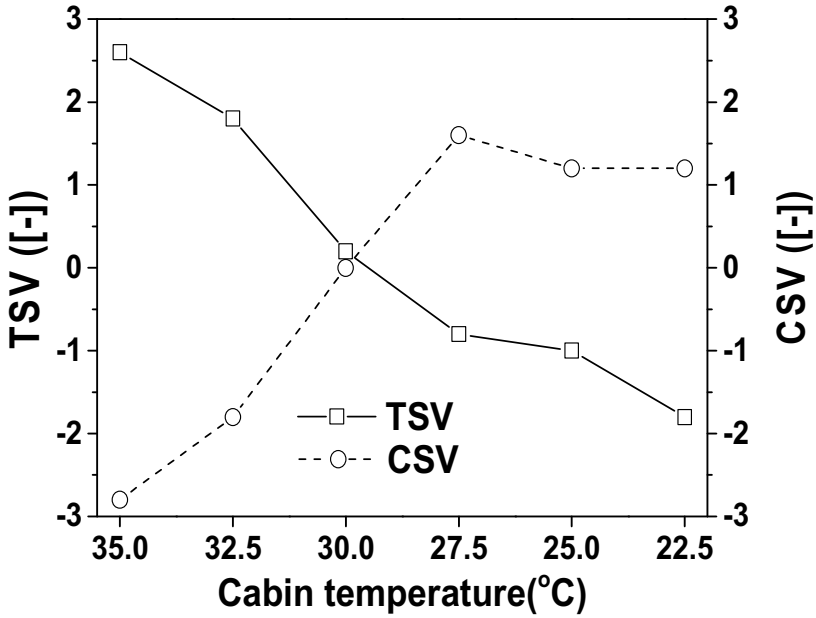

Fig. 5.1 Variations of TSV and CSV in cooling condition

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2 절 냉방시 피험자의 맥파 분석결과

1. 냉방시 스트레스지수, LF/HF 분석결과

Fig 5.2는 난방온도조건 실험시 피험자의 맥파의 스트레스 지수 및 LF/HF의 비를 나타내었다. 실내온도 35℃, 벤트토출온도 12.5℃인 조건에서 피험자가 운전을 수행하였을 때 스트레스 지수는 41.9로, LF/HF는 1.1로 나타났으며 실내온도 30℃, 벤트토출온도 16.5℃에서 스트레스 지수가 증가하고 LF/HF가 감소하였으나 이후 스트레스 지수는 일정하고 LF/HF는 지속해서 상승하는 경향을 나타내어 전반적으로 교감신경이 활성화되어 각성이 일정 수준으로 유지된 상태로 나타났다. 실내온도 30℃, 벤트토출온도 16.5℃에서 스트레스 지수가 증가하고 실내온도 27.5℃, 벤트토출온도 18.5℃에서 감소한 이유는 초기 실험조건에서 높은 실내온도를 체감하면서 이를 상쇄하기 위하여 벤트에서 토출되는 저온의 기류를 받으면서 항상성을 유지하기 위하여 자율신경을 무리하게 조절한 뒤 안정화 되는 과정에서 급격한 증가를 나타낸 것으로 보인다. 이후 실내온도 27.5℃, 벤트토출온도 18.5℃에서 스트레스 지수와 LF/HF가 일정하게 유지됨에 따라 피험자가 일정수준으로 교감신경이 활성화되어 각성이 되었으며 냉방시 벤트에서 토출되는 기류가 피험자의 자율신경계 조절에 도움을 준 것으로 보인다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

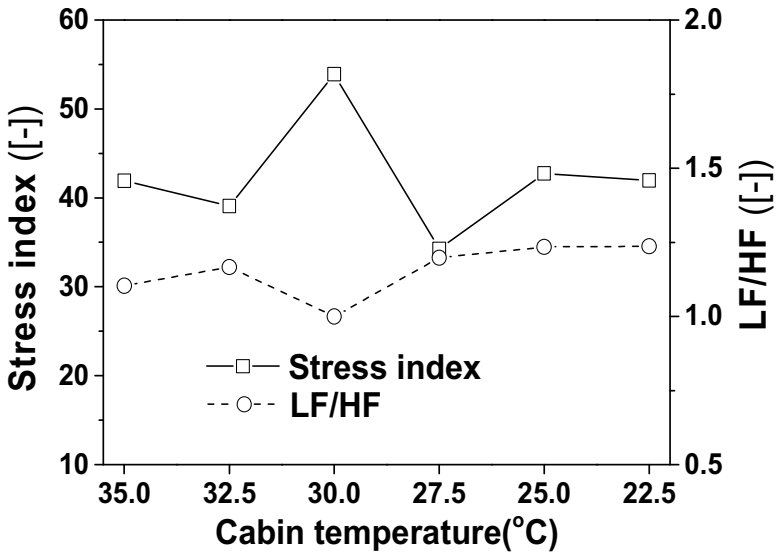

Fig. 5.2 Variations of stress index and LF/HF in cooling condition

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 냉방시 심장박동 표준편차(SDNN), 평균편차(RMSSD) 분석결과

Fig 5.3은 냉방온도조건에서 맥박표준편차(SDNN)과 평균편차(RMSSD)를 나타내었다. SDNN과 RMSSD 모두 초기에 일정하게 수치가 유지된 이후 실내온도 30℃, 벤트토출온도 16.5℃ 조건을 기점으로 증가하는 경향을 보였다. 초기에 냉방조건에서 SDNN과 RMSSD의 변화가 크지 않았는데 이는 피험자가 입실한 후 운전을 수행하는 동안 고온 불쾌적 환경에서 신체의 체온을 일정하기 유지하기 위하여 자율신경계 조절기전 중 하나인 심혈관계에도 영향을 미쳐 SDNN과 RMSSD의 값이 상대적으로 낮은 값으로 유지된 것으로 보인다. 특히 높은 온도조건에서 적응을 수행하는 동안 SDNN과 RMSSD의 값이 낮아지지 않고 유지된 것은 불쾌적한 환경에서 벤트에서 토출되는 기류가 항상성 유지에 도움을 주어 자율신경계 조절기전과 신체의 항상성 유지에 도움을 준 것으로 판단된다. 또한, 스트레스지수가 실내온도 30℃, 벤트토출온도 16.5℃에서 순간적으로 증가한 후 감소한 것과 반대로 SDNN과 RMSSD는 급격한 증가를 했는데 이는 스트레스 지수와 연계하여 보았을 때 불쾌적한 조건에서 피험자가 항상성을 유지하기 위하여 외부환경에 적응을 수행하였고 이때 쌓인 심혈관계 스트레스지수가 급격하게 증가하고 이를 기점으로 피험자의 심혈관계가 안정화되어 SDNN과 RMSSD가 증가한 것으로 보인다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

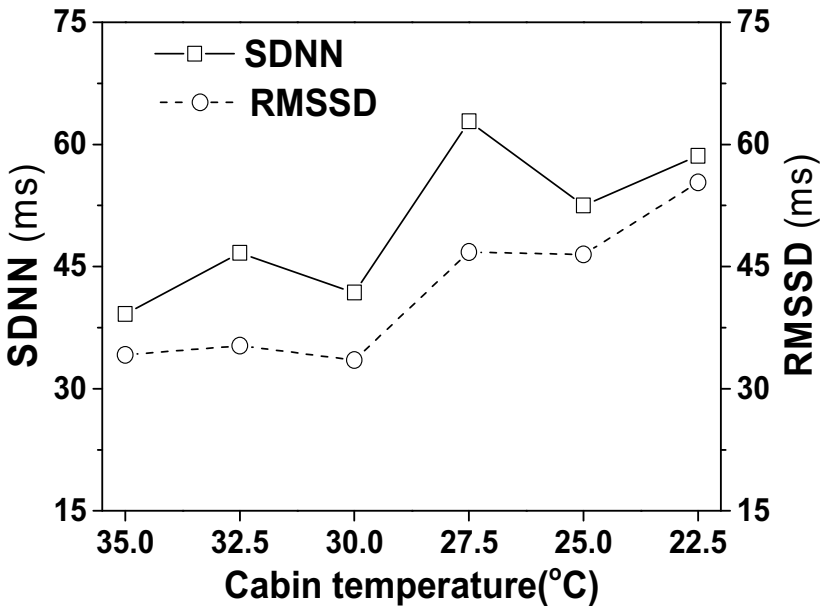

Fig. 5.3 Variations of SDNN and RMSSD in cooling condition

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 3 절 냉방시 피험자의 뇌파 분석 결과

1. 냉방시 전두엽 뇌파 분석결과

가. 냉방시 상대 Θ파 분석결과

Fig 5.4는 냉방실험시 피험자 전두엽의 상대 Θ파의 결과를 나타낸다. 실내온도 35℃, 벤트토출온도 12.5℃의 조건에서 Θ파의 비율은 좌전두엽은 3.5%, 우전두엽은 8.3%로 나타났으며 좌전두엽의 경우 실내온도 30℃, 벤트토출온도 16.5℃의 조건에서 7.7%로 가장 높은 수치를 기록한 이후 선형적으로 감소하는 경향을 보인다. 우전두엽의 경우 실내온도 32.5℃, 벤트토출온도 14.5℃ 조건에서 6.5%로 감소한 이후 실내온도 25℃, 벤트토출온도 20.5℃ 조건까지 증가하는 경향을 나타내었다. 우전두엽의 경우 좌전두엽에 비하여 Θ파의 억제에 대한 응답성이 매우 느린 것으로 나타났으나 두 전두엽 모두 전체 비율의 10% 이내의 범위를 나타내어 벤트 토출기류가 Θ파의 수치의 억제에 도움을 준 것으로 보인다. 또한, 좌전두엽의 경우 맥파의 SDNN과 RMSSD와 같이 실내온도 30℃, 벤트토출온도 16.5℃조건을 기점으로 감소하는 경향을 나타내었는데 이는 피험자가 벤트의 기류로 인하여 피험자의 Θ파의 억제에 도움을 주었으나 초기의 불쾌적한 온도에 심리학적, 생리학적으로 적응하는 기간이 요구된다는 의미로 해석할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

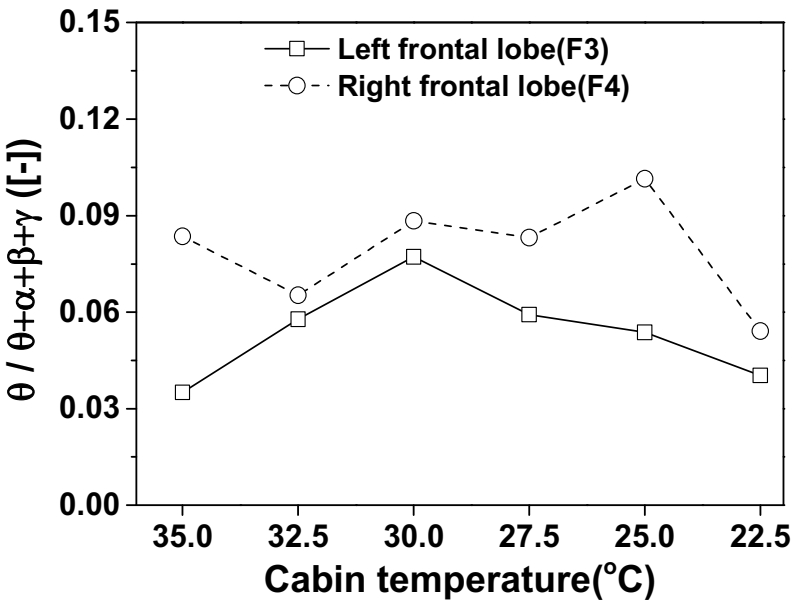

Fig. 5.4 Variation of relative Θ at the frontal lobe in cooling condition

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나. 냉방시 상대 β파 분석결과

Fig 5.5는 냉방실험시 피험자 전두엽의 상대 β파의 변화를 나타낸다. 실내온도 35℃, 벤트토출온도 12.5 ℃조건에서 좌전두엽은 44.7%, 우전두엽은 45.7%의 β파의 활성비율을 보였으며 이후 좌전두엽은 실내온도 30℃, 벤트토출온도 16.5℃ 조건에서 감소한 이후 선형적으로 증가하는 경향을 나타냈으며 우전두엽은 한차례 증가 이후 실내온도 25℃, 벤트토출온도 20.5℃까지 감소하는 경향을 나타내었다. 좌전두엽과 우전두엽의 상대 β파는 상대 Θ파와 서로 반대의 경향을 보였는데 좌전두엽의 경우 실내온도 30℃, 벤트토출온도 16.5℃까지 상대 β파가 증가 및 감소하며 불안정한 리듬을 보였으나 이후 안정하게 증가하는 경향을 나타내었고 우전두엽의 경우 상대 Θ파보다 안정적인 감소세를 보였다. 냉방실험시에는 시간이 지나면서 쾌적한 실내온도와 벤트기류를 체감함으로써 안정됨에 따라 좌전두엽이 우전두엽보다 우세한 경향을 나타내어 피험자가 상대적으로 쾌적한 상황에서 운전 시뮬레이션을 수행한 것으로 나타났다. 또한, 피험자는 높은 온도에서 일정시간 벤트에서 토출되는 기류의 영향으로 불쾌감이 크게 상승하지 않은 상태에서 각성에 도달하여 유지되는 것으로 나타났다. 그러나 실내온도가 25℃~22.5℃로 변화하는 조건에서 우전두엽의 상대 β파가 상승하였는데 이는 일반적인 건축물에서 약간 서늘한 조건의 실내온도가 각성을 유지하는데 도움을 준다는 결과와 다른 결과로 실내온도와 동일하게 설정된 벤트에서 토출되는 기류가 극단적으로 신체에 가깝고 직접 토출되기 때문에 전체적인 체감온도는 더 낮아지고 이에 좌전두엽은 지속해서 증가하여 우전두엽보다 우세하였지만 우전두엽이 활성화되었으므로 피험자가 약간의 불쾌함을 느꼈다고 판단할 수 있다. 따라서 피험자의 지속적인 β파의 각성을 위하여 초기에 HVAC의 벤트토출온도를 실내온도보다 낮은 온도로 설정하여 운전시키다가 일정수준으로 유지하는 것이 운전자의 각성에 도움이 될 것으로 보인다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

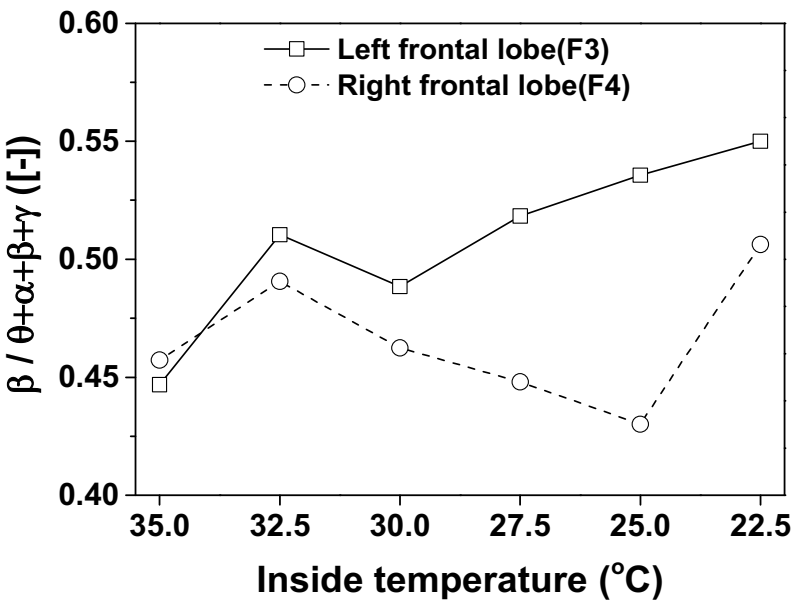

Fig. 5.5 Variation of relative β at the frontal lobe in cooling condition

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다. 냉방시 집중도 분석결과

Fig 5.6은 냉방실험 중 전두엽의 집중도(SMR+Midβ/Θ)의 분석결과를 보여준다. 피험자가 초기조건인 실내온도 35℃, 벤트토출온도 12.5℃조건에서 좌전두엽의 집중도는 10.20, 우전두엽은 10.89로 나타났으며 이후 좌전두엽과 우전두엽 모두 실내온도 30℃, 벤트토출온도 16.5℃ 조건까지 감소하는 경향을 나타내었다. 이후 실험 종결온도인 실내온도 22.5℃, 벤트토출온도 22.5℃조건까지 좌전두엽에서 지속해서 집중도가 증가했지만 우전두엽은 크게 증가하지 않은 상태로 유지되는 경향을 나타내었다. 집중도는 안정한 상태에서 집중과 각성을 나타낼 때 발현되는 중 β파 각성의 정도를 보기 위한 지표로서 좌전두엽과 우전두엽 모두 초기 온도의 적응에 대한 신체의 대사 증진을 위한 스트레스 증가로 인하여 전두엽의 집중도가 감소하는 경향을 나타내었으며 상대 β의 결과와 유사하게 실내온도 30℃, 벤트토출온도 16.5℃를 기점으로 상승하는 경향이 나타났다. 특히 HVAC의 벤트의 토출기류가 각성에 도움을 주어 집중도의 증가에 도움을 준 것으로 보인다. 우전두엽의 집중도의 경우 감소한 이후 큰 증가폭을 보이지 않고 유지되는 것으로 나타났는데 실내온도가 25℃~22.5℃, 벤트토출온도 20.5℃~22.5℃로 변화하는 조건에서 좌전두엽의 집중도는 매우 큰 폭으로 증가했지만 우전두엽은 감소하였는데 우전두엽의 상대 β파가 증가하는 것과 상반되는 결과였다. 이는 우전두엽의 총 β파의 성분에서 중 β파는 감소하였으나 고 집중, 복잡한 연산 시에 발현되는 고 β의 성분이 증가한 것으로 판단할 수 있으므로 불쾌감이 상승한 것으로 파악할 수 있다. 이러한 분석결과를 바탕으로 자동차 공조기기의 냉방조건에서는 일정한 각성도와 쾌적감을 동시에 유지하기 위해서는 실내온도의 쾌적기준을 25℃를 기준으로 하였을 때 25℃보다 높으면 HVAC의 토출온도를 실내온도보다 약 2~4℃ 정도 낮게 설정하여 실내온도를 제어하고 실내온도가 22.5℃이하로 떨어지지 않도록 제어하는 것이 운전자를 위한 자동차 실내 환경 조성에 도움을 줄 것으로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

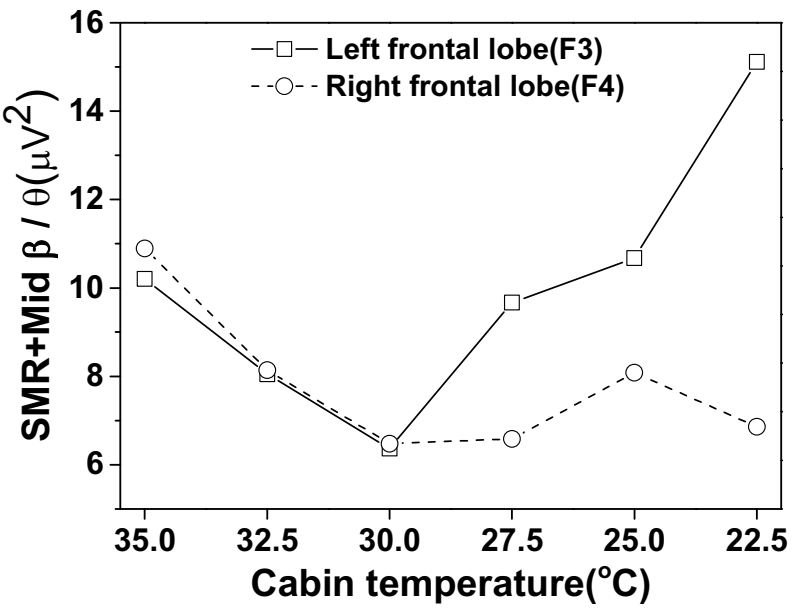

Fig. 5.6 Variation of concentration index at the frontal lobe in cooling condition

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

라. 냉방시 뇌파활성도 분석결과

Fig 5.7은 냉방실험시 피험자가 운전 시뮬레이션 중 전두엽의 뇌파활성도(β/α)를 보여준다. 실내온도 35℃, 벤트토출온도 12.5℃ 조건에서 좌전두엽의 뇌파활성도는 8.62, 우전두엽은 8.1로 나타났다. 이후 좌전두엽은 실내온도 32.5℃, 벤트토출온도 14.5℃의 조건과 실내온도 25℃, 벤트토출온도 20.5℃조건에서 감소한 것을 제외하고 전체적으로 증가하는 경향을 나타냈으며 우전두엽은 실내온도 32.5℃, 벤트토출온도 14.5℃의 조건에서 감소하여 실내온도 30℃, 벤트토출온도 16.5℃의 조건에서 증가한 이후 큰 변화 없이 유지되었다. 좌전두엽과 우전두엽 모두 실내온도 30℃, 벤트토출온도 16.5℃조건에서 적응이 끝난 이후엔 상호 간에 안정화된 경향을 보였는데 좌전두엽의 경우 꾸준한 β파의 각성을 통하여 뇌파활성도가 증가하는 경향을 나타내었으며 우전두엽의 경우 β파가 적당한 수준으로 억제되면서 증가하지 않아 벤트에서 토출되는 기류가 쾌적한 환경을 조성하는데 도움을 주어 피험자 집중도의 각성과 유지에 도움을 준 것으로 보인다. 그러나 실내온도 25℃, 벤트토출온도 20.5℃ 조건에서 좌전두엽의 뇌파활성도가 감소하였는데 집중도의 결과와 비교하였을 때 좌전두엽의 중 β가 감소하고 SMR파가 증가한 것이며 SMR파의 주파수 대역에 고 α파가 포함되어 있어서 이에 뇌파활성도의 수치가 감소한 것으로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

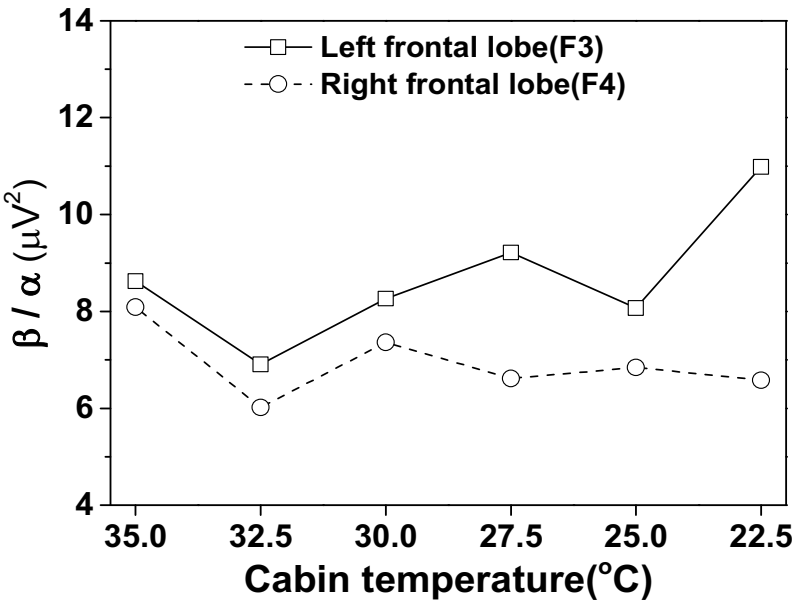

Fig. 5.7 Variation of β/α at the frontal lobe in cooling condition

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 냉방시 후두엽 뇌파 분석결과

Fig 5.8은 냉방실험시 피험자 후두엽의 상대 Θ파와 상대 α파의 분석결과를 보여주고있다. 후두엽의 상대 Θ파는 큰 변화없이 일정한 경향을 나타냈으나 상대 α파는 초기조건에서 실내온도 30℃, 벤트토출온도 16.5℃까지 감소하는 경향을 나타내다 실내온도 25℃, 벤트토출온도 20.5℃를 제외한 나머지 온도에서는 큰 변화가 없었다. 실내온도 25℃, 벤트토출온도 20.5℃조건에서 후두엽의 상대 α파가 증가한 이유는 초기 불쾌적조건에서의 안정화 과정이후 실험의 시간이 길어지고 시각적인 피로도가 증가하여 상대 α파가 증가한 것에 기인한 것으로 판단된다. 만약 피험자들이 졸음을 느꼈을 경우 상대 Θ파가 동시에 증가하여야 하나 큰 변화없이 일정수준을 유지하였기 때문에 피험자들의 초기 불쾌적조건에 안정화하는 동안 누적된 스트레스와 장시간 실험으로 인한 시각적 피로에 의한 α파가 상승한 것으로 판단된다.

Fig 5.9는 냉방실험시 피험자 후두엽의 β파와 α파의 비율인 뇌파 활성도(β/α)를 분석하였다. 뇌파활성도는 실내온도 35℃, 벤트토출온도 12.5℃부터 실내온도 27.5℃, 벤트토출온도 18.5℃ 조건까지 증가하다 실내온도 25℃, 벤트토출온도 20.5℃ 감소한 이후 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 후두엽에서는 β파가 주로 발현되지는 않으나 전체적으로 후두엽의 α파가 억제되는 현상으로 인하여 뇌파활성도가 증가하는 경향을 나타낸 것으로 보인다. 특히 실내온도 25℃, 벤트토출온도 20.5℃에서 뇌파활성도가 감소한 뒤 증가하였는데 이는 Fig 5.7의 후두엽의 상대 α파와 반대되는 결과로서 이는 피험자들이 초기의 불쾌적조건에 벤트에서 토출되는 기류의 도움으로 일정량 안정화 되었으나 시뮬레이션을 장시간 수행함으로 인하여 일시적 피로현상으로 현상으로 α파가 증가하였고 이에 따라 뇌파활성도가 감소한 현상이 나타난 것으로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

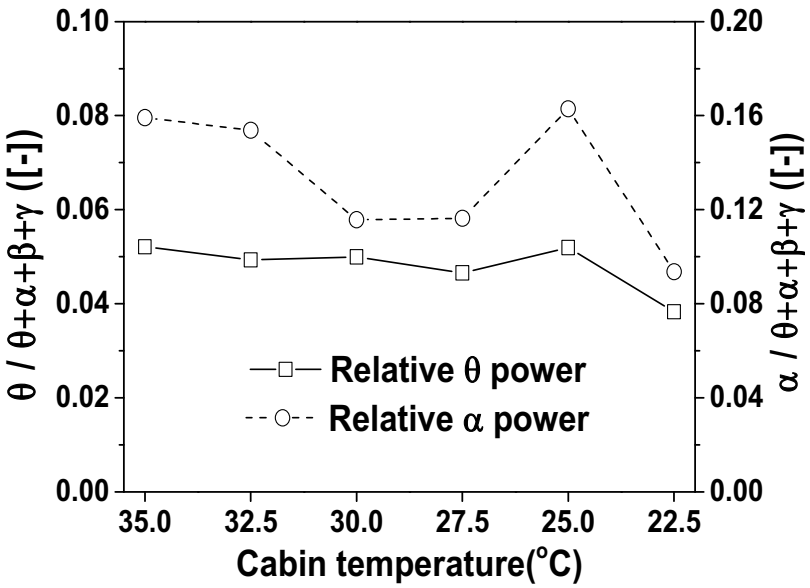

Fig. 5.8 Variations of relative Θ and α at the occipital lobe in cooling condition

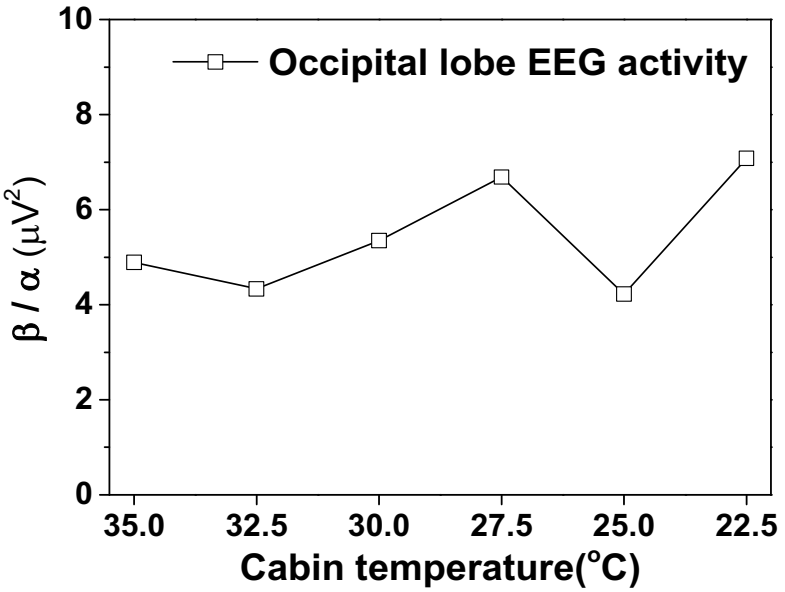

Fig. 5.9 Variation of β/α at the occipital lobe in cooling condition

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 4 절 냉방조건 데이터 통계분석결과

냉방실험의 각 데이터의 온도 변화에 따른 차이를 알아보기 위하여 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 그중에서 각 단계간의 표본수가 적었기 때문에 비모수기법인 독립 K-표본 기법을 적용하여 유의수준 0.05를 기준으로 통계분석을 실시하였다.

온열감 및 쾌적감 설문에 대한 분석결과 유의확률이 0.000으로 냉방시 온도변화에 따른 피험자간의 주관적인 심리적 변화가 상호 간에 유의한 차이가 존재하였음을 확인하였다. 그리고 맥파의 각 분석 변수들의 통계검정 결과 스트레스 지수는 유의확률이 0.005으로 나타났으며 LF/HF는 0.000로 나타났다. 또한 SDNN의 유의확률은 0.001로 나타났으며 RMSSD는 0.001로 나타났다. 맥파의 모든 분석 변수의 유의확률이 유의수준보다 작은 값을 나타내어 온도단계에 따른 각 맥파 변수 간의 유의미한 차가 존재함을 확인하였다.

뇌파의 각 변수의 통계검정 결과 전두엽의 경우 상대 β파의 유의확률은 좌전두엽은 0.05, 우전두엽 0.002로 나타났으며 상대 Θ파의 경우 좌전두엽은 0.003, 우전두엽은 0.000으로 나타나 두 변수 유의확률이 유의수준보다 작은 값을 나타내어 온도단계 변화에 상대 β파, 상대 Θ파가 유의미한 차가 존재하였다.

뇌파활성도(β/α)는 좌전두엽의 유의확률은 0.007, 우전두엽의 유의확률은 0.101로 우전두엽에서는 유의한 차이가 존재하지 않았으며 집중도의 경우 좌전두엽은 0.016, 우전두엽은 0.206으로 나타나 뇌파활성도와 마찬가지로 우전두엽에서 유의미한 차이가 존재하지 않았다. 이에 따라 우측 전두엽은 온도단계가 변화함에 따라 집중도나 각성도를 파악하는데 유의미한 데이터로 사용하기 어려울 것으로 예상되며 좌측전두엽의 데이터가 온도단계에 따른 피험자의 뇌파 집중도나 활성도를 계측하는데 사용이 가능한 것으로 판단된다.

후두엽의 경우 상대 Θ파의 유의확률은 0.429로 나타나 유의한 차이가 존재하지 않았으며 상대 α파와 뇌파활성도만이 유의확률 0.000으로 유의한 차이를 보였다. 이에 따라 냉방실험에서 후두엽에서 피험자의 뇌파를 파악할 때 Θ파의 증감을 파악하는 것보다 α파의 증감을 파악하고 뇌파활성도를 비교하는 것이 유의한 결과를 도출할 수 있는 것으로 나타났다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

냉방실험의 뇌파 분석변수는 난방실험의 통계결과와 다르게 전두엽의 경우 우전두엽의 분석 변수는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으며 좌전두엽의 데이터만이 유의한 데이터로 검증되었다. 후두엽의 뇌파 분석변수의 경우 α파와 뇌파활성도가 유의한 데이터로 검증되었다. 이에 따라 냉방조건에서 피험자의 각성 및 집중도의 파악할 경우 좌전두엽의 뇌파분석을 수행하고 후두엽에서는 α파의 증감형태를 분석하는 것이 효과적인 것으로 판단된다. Table 4.1은 각 인체감성신호 측정 변수별 기술통계량을 나타내었으며 Table 4.2는 독립 K-표본 통계분석결과를 나타내었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 5.1 Descriptive statistics of emotional signals in cooling condition

Variable	N	Average	Standard deviation
TSV	60	.222	1.6942
CSV	60	-.233	1.7885
Stress index	60	39.83	5.825
LF/HF	60	1.1702	.10300
SDNN	60	52.135	13.661
RMSSD	60	42.621	13.079
Relative β power(L, F)	60	0.508	0.076
Relative β power(R, F)	60	0.466	0.049
Relative Θ power(L, F)	60	0.054	0.026
Relative Θ power(R, F)	60	0.079	0.023
β/α(L, F)	60	8.679	2.560
β/α(R, F)	60	7.116	2.153
Concentration index(L)	60	10.012	5.170
Concentration index(R)	60	8.012	3.880
Relative Θ power(O)	60	0.048	0.017
Relative α power(O)	60	0.134	0.045
β/α(O)	60	5.427	1.841

F: Frontal, L: left, O: Occipital, R: Right

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 5.2 Statistical analysis in the cooling condition (a, b)

Variable	Temperature	N	Mean rank	Chi-square	F	p-value
TSV	T1	10	54.20	53.064	5	.000***
	T2	10	46.50			
	T3	10	34.60			
	T4	10	19.05			
	T5	10	19.30			
	T6	10	9.35			
CSV	T1	10	6.90	50.494	5	.000***
	T2	10	14.40			
	T3	10	27.30			
	T4	10	49.20			
	T5	10	43.30			
	T6	10	41.90			
Stress index	T1	10	37.35	16.796	5	.005**
	T2	10	28.35			
	T3	10	27.50			
	T4	10	12.60			
	T5	10	38.80			
	T6	10	38.40			
LF/HF	T1	10	17.45	32.764	5	.001***
	T2	10	30.50			
	T3	10	11.10			
	T4	10	39.10			
	T5	10	37.00			
	T6	10	47.85			
SDNN	T1	10	12.30	20.499	5	.001***
	T2	10	23.70			
	T3	10	32.50			
	T4	10	44.10			
	T5	10	32.50			
	T6	10	37.90			
RMSSD	T1	10	17.70	20.860	5	.001***
	T2	10	20.20			
	T3	10	24.70			
	T4	10	36.50			
	T5	10	37.80			
	T6	10	46.10			

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Relative β power (L, F)	T1	10	19.20	10.851	5	.05*
	T2	10	29.70			
	T3	10	23.50			
	T4	10	32.80			
	T5	10	37.00			
	T6	10	40.80			
Relative β power (R, F)	T1	10	26.40	18.876	5	.002**
	T2	10	40.40			
	T3	10	29.50			
	T4	10	23.90			
	T5	10	17.00			
	T6	10	45.80			
Relative Θ power (L, F)	T1	10	17.50	18.203	5	.003**
	T2	10	33.10			
	T3	10	45.90			
	T4	10	35.50			
	T5	10	31.30			
	T6	10	19.70			
Relative Θ power (R, F)	T1	10	32.00	25.944	5	.000***
	T2	10	20.50			
	T3	10	37.00			
	T4	10	32.00			
	T5	10	48.70			
	T6	10	12.80			
β/α(L, F)	T1	10	29.00	15.937	5	.007**
	T2	10	16.90			
	T3	10	28.70			
	T4	10	35.60			
	T5	10	26.40			
	T6	10	46.40			
β/α(R, F)	T1	10	38.00	9.214	5	.101
	T2	10	20.20			
	T3	10	37.80			
	T4	10	26.60			
	T5	10	25.20			
	T6	10	35.20			

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Concentration index (L, F)	T1	10	32.50	14.004	5	.016***
	T2	10	23.90			
	T3	10	18.00			
	T4	10	29.60			
	T5	10	34.00			
	T6	10	45.00			
Concentration index (R, F)	T1	10	41.30	7.207	5	.206
	T2	10	31.30			
	T3	10	23.50			
	T4	10	27.30			
	T5	10	34.40			
	T6	10	25.20			
Relative θ power (O)	T1	10	34.80	4.894	5	.429
	T2	10	31.20			
	T3	10	32.70			
	T4	10	27.80			
	T5	10	35.60			
	T6	10	20.90			
Relative α power (O)	T1	10	40.60	24.705	5	.000***
	T2	10	39.10			
	T3	10	23.30			
	T4	10	22.30			
	T5	10	43.90			
	T6	10	13.80			
β/α(O)	T1	10	22.90	24.950	5	.000***
	T2	10	19.30			
	T3	10	31.60			
	T4	10	44.20			
	T5	10	18.70			
	T6	10	46.30			

a: Kruskal-Wallis test , b: Family variable → Temperature

* : P<0.05, ** : P<0.01 ,*** : P<0.001

F: Frontal, L: left, O: Occipital, R: Right

T1: cabin temperature 35℃, Vent temperature 12.5℃

T2: cabin temperature 32.5℃, Vent temperature 14.5℃

T3: cabin temperature 30℃, Vent temperature 16℃

T4: cabin temperature 27.5℃, Vent temperature 18.5℃

T5: cabin temperature 25℃, Vent temperature 20.5℃

T6: cabin temperature 22.5℃, Vent temperature 22.5℃

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 6 장 결 론

본 연구는 자동차 내부의 온도와 벤트의 토출온도가 불쾌적조건에서 쾌적조건으로 변하는 동안 피험자가 운전 시뮬레이션을 수행할 때 인체의 심리학, 생리학적 변화를 정량적으로 관찰하기 위하여 생체전기신호인 뇌파와 맥파를 측정 및 분석하였으며 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

난방실험에서 피험자의 온열쾌적감 주관설문 분석결과 실내온도가 증가함에 따라 온열감과 쾌적감 모두 증가하는 경향을 나타내었는데 쾌적온도인 25℃를 초과하였을 때 쾌적감이 감소하였으며 특히 초기에 피험자의 심리적인 안정감과 만족도가 높은 것으로 나타났다. 이는 벤트에서 토출되는 고온의 기류가 직접 체감되어 실내온도에 의한 불쾌도를 일정부분 상쇄시켜주기 때문으로 판단된다.

또한, 맥파를 분석한 결과 스트레스 지수는 실내온도 20℃, 벤트토출온도 35℃ 조건까지 증가하다 이후 감소하였으며 LF/HF의 비율은 실내온도 17.5℃, 벤트토출온도 32.5℃조건에서 증가한 이후 실내온도 20℃, 벤트토출온도 35℃조건에서 감소하였으나 일정수준의 각성을 유지한 것으로 나타났다. LF/HF의 비율에서 교감신경이 우세하였으나 스트레스 지수가 감소한 것은 피험자가 실험시간이 길어지고 주위온도가 따뜻해짐에 따라 운전에 집중하지 못하고 신체가 이완된 있는 상태로 판단된다. SDNN과 RMSSD는 모두 정상범위내의 수치를 기록하였으나 초기 온도조건에서 심혈관계 및 체온 유지와 같은 신체 항상성을 유지하기 위하여 SDNN과 RMSSD가 낮은 수치를 나타냈다.

난방실험에서 뇌파의 분석결과 전두엽의 경우 상대 Θ파를 분석한 결과 좌전두엽의 경우 상승하는 경향을 나타내었으며 우전두엽은 실내온도 17.5℃, 벤트토출온도 37.5℃조건에서 증가하는 경향이 나타났다. 결과적으로 전체 난방실험조건에서 Θ파의 비율은 낮은 수치로 형성되었으나 좌전두엽의 경우 상대 Θ파가 증가함으로써 피험자가 실험이 진행됨에 따라 지루함을 느끼는 것으로 판단된다. 상대 β파의 경우 좌전두엽은 실내온도 20℃, 벤트토출온도 35℃조건까지 증가하다 실내온도 22.5℃, 벤트토출온도 32.5℃조건에서 감소한 이후 증가하는 경향을 나타내었으며 우전두엽은 증가 후 실내온도 20℃, 벤트토출온도 30℃조건에서 감소하였으나 이후 실내온도 27.5℃, 벤트토출온도 27.5℃조건까지는 증가하는 경향을

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나타내었다. 결과적으로 초기에는 쾌적한 상태의 각성도를 유지되었으나 시간이 지날수록 불쾌적한 상태에서 피험자가 운전 시뮬레이션을 수행하는 것으로 판단된다. 상대 Θ파와 상대 β파를 이용한 집중도와 뇌파활성도를 분석한 결과 상대 β파의 결과와 유사하게 실내온도 15℃~20℃, 벤트토출온도 40℃~35℃조건에서 중 β파가 주요하게 발현되었다. 난방실험에서 뇌파 후두엽의 상대 Θ파, 상대 α파, 뇌파활성도를 분석한 결과 상대 Θ파, 상대 α파는 전체적으로 증가하는 경향을 나타내었으며 뇌파활성도는 전반적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 상대 Θ파와 상대 α파가 동시에 증가하고 뇌파활성도가 감소하였다는 것은 피험자가 졸음을 느끼면서 시뮬레이션 운전을 수행했다고 판단된다.

난방실험시 온도단계에 각 생체감성신호 변수의 통계적 차이를 분석하기 위하여 비모수기법인 독립 K-표본 기법을 적용하여 통계분석을 수행하였으며 유의수준 0.05를 기준으로 모든 변수의 유의확률이 유의수준보다 낮게나타나, 난방실험의 각 온도 단계에 따른 맥파 및 뇌파의 분석변수들이 유의미한 결과가 나타났다.

냉방실험에서 피험자의 온열쾌적감 주관설문 분석결과 온도가 감소함에 따라 온열감은 감소하고 쾌적감은 증가하는 경향을 나타내었는데 온열감은 지속해서 감소하였으나 쾌적감은 실내온도 27.5℃, 벤트토출온도 18.5℃조건을 기점으로 큰 변화치 없이 유지되었다. 또한 맥파를 분석한 결과 스트레스 지수 및 LF/HF의 비는 실내온도 30℃, 벤트토출온도 16.5℃ 조건에서 제외하고 전반적으로 유지되는 경향을 나타내었다. 스트레스 지수는 실내온도 27.5℃, 벤트토출온도 18.5℃ 조건에서 급격하게 감소하였으며 LF/HF도 다시 상승하였다. 또한, SDNN과 RMSSD를 분석한 결과 초기에 큰 변화가 보이지 않은 것은 피험자가 고온의 실내환경에서 신체의 적응을 위해 심혈관계 조절기전의 작용으로 SDNN과 RMSSD의 수치가 증가하지 않았다. 냉방실험 온도단계에 각 맥파 분석변수의 통계적 차이를 분석하기 위하여 K-표본 기법을 적용하여 통계분석을 수행하였으며 유의수준 0.05를 기준으로 모든 변수의 유의확률이 유의수준보다 낮아 냉방실험의 각 온도 단계에 따른 맥파 분석변수들의 유의미한 차이가 있음을 검증하였다.

냉방실험에 따른 뇌파분석을 실시한 결과 좌전두엽의 상대 β파, 집중도, 뇌파활성도는 서로 유사한 경향을 보였으며 상대 Θ파의 경우 반대경향을 보였다. 특히,

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

실내온도 30℃, 벤트토출온도 16.5℃ 조건을 기점으로 상대 Θ파는 감소, 상대 β파, 집중도는 증가하는 경향을 나타냈다. 그러나 실내온도22.5℃ 벤트토출온도가 22.5℃조건에서 우전두엽의 상대 β파가 크게 상승하고, 집중도는 감소했다. 이는 벤트에서 토출되는 낮은 온도의 기류로 피험자의 체감온도가 낮아짐에 따라 고 β파가 활성화되어 상대적으로 불쾌적함을 느끼는 것으로 판단된다.

냉방실험에서 후두엽 뇌파의 상대 Θ파, 상대 α파, 뇌파활성도 분석결과 후두엽의 상대 Θ파는 큰 변화 없이 일정한 경향을 나타내었으나 상대 α파는 실내온도 25℃, 벤트토출온도 20.5℃를 제외한 나머지 온도에서는 큰 수치의 변화가 없었다. 특히 실내온도 25℃, 벤트토출온도 20.5℃조건에서 상대 α파가 증가한 사유는 피험자가 모니터를 장시간 주시하면서 시뮬레이션 운전을 수행함에 따라 시각적인 피로도가 증가한 것으로 보이는데 상대 Θ파가 증가하지 않았고 일정하게 유지되었으므로 단순한 시각적 피로도의 증가로 해석할 수 있다. 후두엽 뇌파변수의 통계적 차이를 분석하기 위하여 독립 K-표본 기법을 적용하여 분석을 수행한 결과 유의수준 0.05를 기준으로 상대 α파와 뇌파활성도는 통계적으로 유의한 차이를 보였으나 상대 Θ파는 0.429로 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 못하는 것으로 나타났다.

본 실험의 실험결과를 기초로 하여 여러 운전조건 변화를 적용한 자동차 공조시스템에서의 인체 감성신호에 대한 영향성을 객관적으로 측정하고 이를 최적제어 함으로써 자동차 공조시스템의 효율 향상과 나아가 스마트 자동차 공조시스템의 자동 운전시스템 설계에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Reference

Ahn, J. O., Statistical analysis of biomedical data using SPSS 18.0(in EMR & PHP system, Hannarae publishing Co., (2014), 430-435.

ASHRAE Handbook Fundamental, Chapter9, ASHRAE, (2009).

Biosense creative, http://www.ubionet.com/index.html.

Burroughs, H. E., & Hansen, S., Managing Indoor Air Quality. Fairmont Press (2011).

Coutin-Churchman, P., Anez, Y., Uzcategui, M., Alvarez, L., Vergara, F., Mendez, L. and Fleitas, R., Quantitative Spectral Analysis of EEG in Psychiatry Revisited: Drawing Signs out of Numbers in a Clinical Setting, Clinical Neurophysiology, 114 (2003) 2294-2306.

Cui, W., Cao, G., Park, J.H, & Ouyang, Q., Influence of indoor air temperature on human thermal comfort, motivation and performance. Building and Environment, 68 (2013) 114-122.

DuBois, D. and DuBois, E. F., A formula to estimate approximate surface area, if height and weight are known. Archives of Internal Medicine 17 (1916) 863-871.

Fanger, P. O., Thermal comfort, Danish Technical Press, Copenhagen (1970).

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Gundel, A., Drescher, J., Maas, H., Samel, A., and Vejvoda, M., Sleepiness of civil airline pilots during two consecutive night lights of extended duration, Biol. Psychol., 40 (1-2) (1995) 131-141.

Heller W., Neuro-psychological Mechanisms of Individual Differences in Emotion, Personality, and Arousal, Neuropsychology, 7 (4) (1993) 476-489.

Kang, K. N., Song, S. D., Study on the evaluation of amenity and physical characteristic of air- conditioning systems applying fluctuation characteristic on natural wind, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 29 (12) (2013) 267-275.

Kecklund, G. and Akerstedt, T., Sleepiness in Long Distance Truck Driving: an Ambulatory EEG Study of Night Driving, Ergonomics, 36 (9) (1993) 1007-1017.

Kim, D. J., Kim, H. H., Comfortableness evaluation method using EEGs of the frontopolar and the parietal lobes, Trans. KIEE, 53D (5) (2004) 374-379.

Kim, D. G., Kum, J. S., Park, J. I., Evaluation of thermal comfort during sleeping in summer - part Ⅱ : about mean skin temperatures and physiological signals -, Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 18 (1) (2006) 1-6.

Kum, J. S., Kim, D. G., Choi, K. H., Lee, N. B., Im, J. J., Choi, H. S., Bae, D. S., Evaluation of thermal comfort on temperature differences between outdoor and indoor thermal conditions in summer, Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 14 (11) (2002) 890-896.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Kum, J. S., Kim, D. G., Kim, H. C., A study of physiology signal change by air conditioner temperature change, Jour. Fish. Mar. Sci. Edu, 19 (3) (2007) 502- 509.

Laxtha inc, http://www.laxtha.com/.

Lan, L., Pan, L., Lian, Z., Lin, H. H. Y., Experimental study on thermal comfort of sleeping people at different air temperatures, Building and Environment, 73 (2014) 24-31.

Lee, H. J., Chun, C. Y., The effect of floor surface temperature on occupant's relaxation, Conference of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 30 (1) (2010) 377-378.

Lee, H. J., Choi, Y. R., Chun, C. Y., Effect of indoor air temperature on the occupants' attention ability based on the electroencephalogram analysis, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 28 (3) (2012) 217-225.

Liu, Y., Wang, L., Liu, L., Di, Y., A study of human skin and surface temperatures in stable and unstable thermal environments, Journal of Thermal Biology, 38 (2013) 440-448.

Lorenz, J., Lorenz, B., and Heineke, M., Effect of Mental Task Load on Fronto-Central Theta Activity in a Deep Saturation Dive to 450 MSW, Undersea Biomed. Res, 19 (4) (1992) 243-262.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Lorsch, H. G., & Abdou, O. A. Impact of the building indoor environment on occupant productivity - part 1: recent studies, measuresand costs. ASHRAE Transactions, 100 (2) (1994) 741-749.

Lubar J. O. & Lubar J. F., Electroencephalographic biofeedback of SMR and beta for treatment of attention deficit disorders in clinical setting. Biofeedback Self-Regulation, 9 (1), (1984) 1-23.

McCullough, E.A. and Jone, B.W., A comprehensive data base for estimating clothing insulation. IER Technical Report 84-01, Institute for Environmental Research, Kansas State University, Manhattan. ASHRAE Research Project RP-411, Final Report. (1984).

Nguyen, A. T., Singh, M. K., Reiter, S., An adaptive thermal comfort model for hot humid South-East Asia, Building and Environment, 56 (2012) 291-300.

Niemela, R., Hannula, M., Rautio, S., & Reijula, K., The effect of indoor air temperature on labor productivity in call centers - A case study. Energy and Building, 34 (7) (2002) 59-64.

Papanicolaou, A. C., Loring D. W., Deutsch, G. and Eisenberg, H. M., Task-Related EEG Asymmetries: a Comparison of Alpha Blocking and Beta Enhancement, International Journal of Neuroscience, 30 (1998) 81-85.

Pepler, R. D., & Warner, R. E., Temperature and learning: An experimental study. Transactions of ASHRAE annual meeting, (1968) 211-219.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Pilcher, J. J., Nadler, E., & Busch, C., Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review. Ergonomics, (2002) 682-698.

Roelofsen, P. The impact of office environments on employee performance: The design of the workplace as a strategy for productivity enhancement. Journal of Facilities Management, 1 (3) (2002) 247-264.

Seppänen, O., Fisk, W. J., & Faulkner, D., Cost benefit analysis of the night-time ventilative cooling. Healthy Buildings, 3 (2003) 394-399.

Sterman, M.B., Sensorimotor EEG operant conditioning and experimental and clinical effects, Integrative psychological and behavioral science, 12 (2), (1977) 63-92.

Woods, J. E., Cost avoidance and productivity in owning and operating buildings. Occupational medicine 4 (4) (1989) 753-770.

Yao, Y., Lian, Z., Liu, W., Shen, Q., Experimental study on physiological responses and thermal comfort under various ambient temperatures, Physiology & Behavior, 93 (2008) 310-321.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

감사의 글

실험실에 처음 들어왔을 때 '졸업은 할 수 있을까?'라는 생각을 가졌었는데 어느 순간 지금 석사논문의 마지막 장을 쓰면서 여러 감정이 밀려오는 것은 4년간의 실험실 생활동안 스스로에 대한 반성과 고찰, 앞으로 다시 헤쳐 나가야 할 미래에 대한 불안감에 의해 나타난 것으로 생각합니다.

실험실에 들어오기까지 부족한 저를 어진 아량으로 받아주시고 학술적으로 저에게 많은 가르침을 주신 조홍현 교수님께 감사의 말씀을 먼저 전하고 싶습니다. 교수님이 저를 지도하시고 실험실 실원들을 이끄실 때의 열정적이고 진취적인 자세를 본받아 저도 앞으로의 미래를 개척해나가겠습니다. 또한, 연구와 학생을 지도하시면서 바쁘신 와중에도 귀중한 시간을 내주셔서 논문을 심사하여 주시고 부족한 부분을 열과 성을 다하여 알려주신 박설현 교수님과 오동욱 교수님께도 고개 숙여 감사의 말씀을 전하고 싶습니다.

실험실에서 석사를 졸업하기까지 저를 실험실에 들어오는 기회를 만들어준 변이형, 큰형이자 첫 사수를 맡아주신 진현이 형, 두 번째 사수로 졸업논문 실험을 도와준 윤찬이, 학부시절부터 졸업하기까지 나를 도와주기만 해준 정균이 형 정말 미안하고 고맙습니다. 그리고 졸업까지 한 학기 남은 형민이 잘하길 바라고, 이제 새로운 실험실 환경에서 공부할 우빈이 응원하고 같이 생활은 하지 못했지만, 매번 뵐 때마다 아낌없는 조언들을 해주신 실험실 선배님들 너무 감사합니다.

테니스라는 운동을 통해 만났지만 자기보다 남을 먼저 챙기시고 부족한 저를 거둬주시고 챙겨주신 전운기 선생님, 이상호 원장님 감사합니다. 그리고 어리고 모자란 저에게 인생을 살면서 알아야 할 부분을 지도하여주시고 엇나가는 행동을 하더라도 옳은 가르침으로 저를 잡아주신 강호성 님, 김성배 님, 김성국 님, 이현성 님, 이성우 님, 최광욱 님, 서준용 님, 강원양 님 너무 감사합니다. 형님들의 보살핌 덕에 아직 부족하지만, 인격적으로도 많이 성장할 수 있었습니다. 또한, 같이 운동하면서 때로는 형처럼 때로는 친구처럼 항상 허물없이 대해준 최주철 님, 최근창 님 너무 감사합니다. 동아리 선배로서 저에게 큰형의 역할을 해준 이현도 님, 백악테니스회 선배, 후배님들에게도 감사의 말을 전하고 싶습니다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

마지막으로 3년이라는 시간동안 힘들어 할 때 기운을 북돋아주고 올바르게 생활하도록 조언해주고 부족한 저를 믿어주고 사랑해준 수미에게 사랑하고 고맙다고 말해주고 싶습니다. 그리고 항시 못난 장남의 기둥이 되어주시고 항상 저에게 열심히 후회 없이 최선의 노력해야 한다며 아낌없는 조언과 지원을 해주시고 저를 지금까지 건강하게 키워주신 아버지, 어머니 그리고 부족한 오빠이자 형이지만 나에게 힘이 되어준 금하, 양현이 너무 고맙습니다. 저는 정말 행복한 부모님과 형제를 만나 기쁨의 눈물을 흘리며 엎드려 감사를 표하고 싶습니다. 앞으로 장남으로서 더 열심히 책임감을 느끼고 역할을 다하기 위해 노력하겠습니다.

감사의 글이 이렇게 길어졌다는 것은 그만큼 살아오면서 감사를 해야 할 사람이 많다는 의미이기도 하고 아직 부족하여 남들한테 베풀기보단 받은 것이 많았기 때문이라고 생각합니다. 이제 석사학위를 마치고 사회로 진출하여 어려운 시련도 많을 것이고 힘들어서 울고 싶을 때도 있겠지만, 저를 도와주셨던 모든 분에게 꼭 보답하기 위해서라도 참아내고 이겨내어 열심히 살아가 저에게 도움을 주셨던 분들에게 저도 꼭 도움을 줄 수 있는 역량을 지닌 사람이 되도록 하겠습니다. 다시 한 번 졸업논문을 쓰기까지 도와주신 여러분들에게 고개 숙여 감사드리며 마지막으로 제 인생에 지향하고자 하는 뜻이 담긴 고사성어를 적으며 이 글을 마칩니다.

鞠躬盡瘁 死而後已(국궁진췌 사이후이, 온 마음의 정성 몸이 부서질 때까지 노력하고, 죽음에 이를 때까지 노력함.)

2016년 6월

한 여름날 신재생에너지 실험실에서

임 광 현

Collection @ chosun