

운전자 졸음시 냉풍 자극이 뇌파 및 심전도 반응에 미치는 영향

The Effect of Cold Air Stimulation on Electroencephalogram and Electrocardiogram during the Driver's Drowsiness

김민수(Minsoo Kim)¹, 김동규(Donggyu Kim)², 박종일(Jongil Park)³, 금종수(Jongsoo Kum)^{4*}

¹부경대학교 대학원 냉동공조공학과, ²부경대학교 기계조선융합공학과, ³동의대학교 건축설비공학과,

⁴부경대학교 냉동공조공학과

¹Graduate School of Refrigeration & Air Conditioning Engineering, Pukyong National University, Busan, 48547, Republic of Korea

²Department of Mechanical & Shipbuilding Convergence Engineering, Pukyong National University, Busan, 48547, Republic of Korea

³Department of Building Systems Engineering, Dong-Eui University, Busan, 47340, Republic of Korea

⁴Department of Refrigeration & Air Conditioning Engineering, Pukyong National University, Busan, 48547, Republic of Korea

(Received January 4, 2017; revision received February 1, 2017; Accepted: February 5, 2017)

Abstract The purpose of this study was to analyze physiological changes via a cold air reaction experiment to generate basic data that are useful for the development of an automobile active air conditioning system to prevent drowsiness. The CO₂ concentration causing drowsiness in vehicle operation was kept below a certain level. Air was blown to the driver's face by using an indoor air cooling apparatus. Sleepiness and the arousal state of the driver in cold wind were measured by physiological signals. It was evident in the EEG that alpha waves decreased and beta waves increased, caused by cold air stimulation. The α/β ratio was reduced by about 52.9% and an alert state confirmed. In the electrocardiogram analysis, the efficiency of cold air stimulation was confirmed by the mean heart rate interval change. The R-R interval had a delay time of about one minute compared to the EEG response. The findings confirmed an arousal effect from sleepiness due to cold air stimulation.

Key words Drowsiness(졸음), Physiologic signal(생리신호), EEG(뇌파), ECG(심전도)

* Corresponding author, E-mail: jskum@pknu.ac.kr

기호설명

CMH	: 풍량 [m ³ /h]
clo	: 의복량
MET	: 활동량
EEG	: 뇌파
ECG	: 심전도
Mean R-R interval	: 평균심박간격 [msec]
SDNN	: 심박간격의 표준편차 [msec]
LF	: 저주파대
HF	: 고주파대

1. 서 론

자동차는 수많은 기술의 집약체로 이동이나 운반수단으로써 꾸준히 발전해 왔으며, 앞으로 4차 산업혁명과 더불어 무한히 성장할 것이다. 자동차의 발달과 함께

자동차 공조시스템 역시 지속적으로 발전하고 있다. 자동차 공조시스템은 20세기 초 외부로부터 운전자와 탑승자의 신체를 보호하기 위한 지붕이 추가되어 자동차 실내의 형태가 갖추어지면서 실내 공기조화의 필요성이 대두되었다. 20세기 중반에 이르러 통풍이나 바람막이 정도의 기능에서 벗어나 현재의 공조시스템과 유사한 구성을 갖추게 되었고, 21세기 현재는 운전자의 빈번한 에어컨 조작 없이도 탑승객에게 쾌적한 온·습도를 공급할 수 있는 공조시스템이 개발 되어오고 있다.⁽¹⁾

자동차의 경우 좁은 공간에서 장시간 운전이 지속되는 경우 자동차 실내 이산화탄소 농도가 높아지게 되고, 인체의 폐에서는 산소를 흡수하고 이산화탄소를 배출시키는데 인체 외부의 이산화탄소의 농도가 높아지면 체내의 이산화탄소 배출이 어려워져, 졸음 유발과 집중력 저하로 인한 교통사고 발생 빈도를 높이게 된다.

2015년 교통안전공단에서 발표한 보도자료⁽²⁾에 의하면 최근 3년간(2012년~2014년) 고속도로 사고통계를 분석한 결과 전체 사망자(942명) 중 10.8%인 102명이 졸음운전으로 사망하였고, 졸음운전 치사율은 16.1명으로 전체 고속도로 사고 치사율 9.1명보다 약 1.8배 높은 것으로 나타남으로써 졸음운전으로 인한 인명사고가 음주운전에 대비될 정도로 위험함을 알 수 있다.

이에 국내의 관련 회사들은 졸음운전 시 사고방지를 위한 장치 등을 개발하고 일부 적용되었다. 현재 주종을 이루는 기술은 운전자가 졸음으로 차선을 이탈하면 경고해주는 차선이탈 경고시스템(LDWS : Lane Departure Warning System)과 운전자의 동공 등을 포착하여 경보를 주거나 차량을 제어, 운전자와 밀착된 시트 등을 진동시켜 졸음운전을 방지하는 기술 등이 있다.

졸음과 관련된 최근 연구에서는 졸음의 원인을 파악하고, 수면관련 질환자들의 특징 및 치료 후 효과 등 졸음의 본질을 찾아 졸음 원인을 제거하고자 하는 연구,⁽³⁾ 운전자의 각성 상태, 졸음 상태, 수면 상태를 단시간 뇌파샘플을 이용하여 판별 가능한 분석 시스템,^(4,5) 심전도를 이용한 졸음 및 각성 상태 시 심장박동의 특성과 졸음 방지를 위해 생리신호 분석^(6,7) 등 생체신호를 이용한 졸음 방지와 판별이나 눈 영상 에지를 이용한 졸음 감지 시스템 개발⁽⁸⁾ 등 비접촉식 방법들이 다양하게 연구되고 있으며, 이러한 연구들은 접촉식과 비접촉식으로 구분되며 운전자의 상태를 직접적으로 관찰하고 분석할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 졸음운전의 원인이 되는 CO₂ 농도를 일정 수준 이하로 유지시키고 실내 냉풍장치를 이용하여 운전자의 안면부로 송풍시킴으로써, 송풍 시 쿨드드래프트 효과로 인한 운전자의 졸음 및 각성 상태를 뇌파와 심전도를 이용하여 확인하고자 하였다. 냉풍에 따른 감성 반응 실험을 통해 생리변화를 분석하여 졸음방지를 위한 자동차 능동형 공조시스템 개발의 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 본 론

2.1 피험자

신체·정신적으로 가장 건강한 연령대인 20대의 성인 남성과 여성을 대상으로 운전면허증을 보유하고, 운전경험이 있는 대상자를 우선 모집하여 피험자를 선별하였다. 지원 대상자는 나이, 신장, 몸무게, 맥박, 혈압 등 기본적인 신체검사를 실시하였으며, 간단한 생리신호 검사도 동시에 수행하였다. 지원자 중 신체·정신적으로 건강한 남·여 각 10명, 총 20명의 피험자를 선별하여 실험에 참여시켰다.

Table 1 Anthropometric data of the subjects

	Mean anthropometric dimension		Male subjects	Female subjects
	Male	Female		
	Age	25~29	20~24	26.1 ±1.85
Height	173.6 ±54.9	160.9 ±52.2	175.0 ±2.31	162.6 ±4.54
Weight	74 ±11.5	55 ±8.6	70.5 ±8.36	53.0 ±5.68
Body fat percentage	21 ±6.2	29.6 ±4.5	19.3 ±4.81	26.4 ±3.14
Pulse	50~100		78.0 ±9.35	84.0 ±8.62
Blood pressure	120/80		126.3 /86.0 (±7.83 /6.82)	108.2 /71.2 (±7.11 /9.72)

*KOSIS(Korean Statistical Information Service), 2015.

본 실험 전 피험자들에게는 개인의 실험일정을 미리 공지하였다. 전체 실험일정 기간 중에는 무리한 운동이나 과로, 과식, 음주, 흡연, 약물복용 등을 금지하도록 시켰고, 규칙적인 생활을 유지하도록 권유하였다. 또한, 본 실험에 참여하기 전날에는 최근의 개인 생활 패턴을 조사하고, 실험참가 여부를 판별하였다.

본 실험에 참가한 피험자들에게는 자발적인 실험 동의를서를 작성토록 하고, 실험 전 기본적인 건강상태를 재확인 후 실험에 관한 전반적인 내용 및 주의 사항을 설명하였다. 실험 시 실험자는 피험자에게 외부 자극으로 인한 스트레스를 최소화하기 위하여 안정적이고 편안하게 대응하였다.

Table 1에 실험에 참가한 피험자들의 평균 신체 치수와 한국인 표준 신체 치수를 나타내었다.

2.2 실험방법

실험장소는 부산광역시 소재 부경대학교 친환경 공조시스템 연구실 내 항온항습실에서 진행되었으며, 항온항습실은 전실과 본실로 구분되어있다. 피험자가 도착하면 먼저 실험복장으로 갈아입고, 실내온도 25℃, 상대습도 50%인 전실에 입실한다. 전실에서 실험자는 피험자의 건강상태를 확인 후 기록하고, 실험 진행 여부를 판별한 후 생리신호 센서를 부착한다. 센서 부착 후 피험자는 본실과 연결된 통로를 통해 본실로 이동하고, 본실에서 30분간 25℃, 50%의 온·습도 조건인 실내 환경에 순응하는 시간을 가지게 된다. 실험자는

실험장치를 점검하고, 생리신호 이상 유·무를 확인한 후에 본 실험을 90분간 승용차용 의자에 앉은 자세로 진행하였다.

실험 Case는 90분간 가만히 앉은 자세에서 졸음상태를 파악하는 무풍 실험과 졸음시 냉풍 자극에 반응하는 송풍 실험으로 구분하여 실시되었다. 냉풍 반응 실험 시 송풍온도는 약 21°C이고, 풍속은 6.68 m/s인 냉풍을 20초간 피험자의 안면부에 송풍되도록 설계하였다. 피험자들은 졸음상태와 실험시의 피로도 등을 감안하여 동일한 실험일에 모든 실험 Case를 실시하지 않고, 각 실험 Case 별로 각각 다른 일정으로 1회씩 참여시켰다.

Fig. 1에서는 전체 실험 스케줄을 나타내고 있다.

실험 시 피험자 재실공간은 본실 내부에 하나의 챔버실을 설치하여 입실시켰으며, 챔버실의 크기는 소형 자동차 내부공간의 용적을 고려하고, 피험자를 관찰하기 위해 투명 아크릴을 사용하여 1.5 m(W)×1.5 m(D)×1.5 m(H) 크기로 제작되었다. 좁은 공간에서 피험자 호흡으로 인한 실내 CO₂ 농도 상승을 억제하기 위하여 신선한 외기 도입부 및 실내 배기구를 개폐 가능하도록 제작되어졌다.

Fig. 2에 실험장치 개략도를 나타내었다.

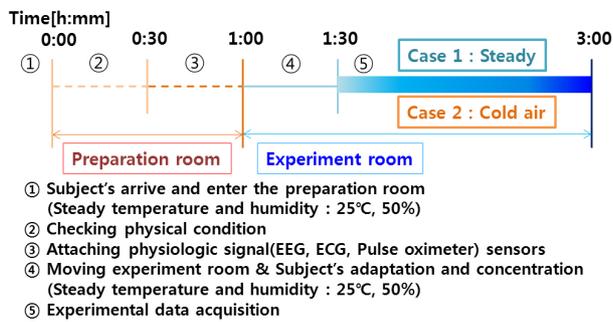


Fig. 1 Experimental procedure.

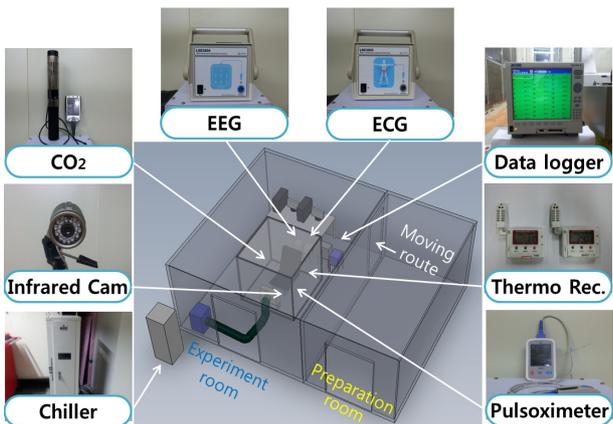


Fig. 2 Schematic diagram of experimental equipment.

실험장비는 냉풍을 공급하기 위한 냉각장치를 향온항습실 외부에 설치되었고, 챔버실 내로 송풍하기 위한 송풍시스템이 구성되었다. 향온항습실과 챔버실 내의 실내 온·습도를 측정하기 위하여 데이터로그와 T-type 열전대, 온·습도계를, 실내 공기질 모니터링을 위하여 CO₂ 측정 장비를, 피험자의 졸음 상태를 확인하기 위한 적외선 카메라를 설치하여 실시간으로 측정 및 동영상을 저장하였다. 또한, 피험자의 생리신호 측정 및 분석을 위한 뇌파와 심전도 장비와 산소포화도 측정기를 설치하여 실시간으로 데이터를 수집하였다.

Table 2에서 실험 시 사용된 실측장비와 수집된 데이터를 표기하였다.

생리신호 측정에서 뇌파는 피험자의 전두엽 머리 표면 위에 4 ch(Fp1, Fp2, F3, F4, REF', GND')을 부착하는 방법으로 국제적으로 명명된 10-20 전극 배치법⁽⁹⁾을 이용하여 뇌파를 측정하였고, 심전도는 왼쪽 팔목(LA), 오른쪽 팔목(RA), 왼쪽 발목(LL), 오른쪽 발목(RL)에 측정전극을 부착하는 방법으로 표준사지 유도법⁽¹⁰⁾에 의해 3 ch 신호를 측정하였다.

Table 2 Measurement

Section	Measuring equipment	Specification	Measurement data
Data acquisition	MV2000	· 30 ch · TC(R, S, K, T type etc.)	-
Thermo recorder	TR-72U	· -10~60°C (±0.3°C) · 10~95% RH (±5%)	Temperature & humidity
Air temperature sensor	Thermo-couple	· T-type (1/0.32×1 P)	Ambient air temperature
Ventilation test instrument	TSI 9555-P	· 0~50 m/s (±3% or ±0.015 m/s)	Air speed
Infrared cam	APD -G7624S	· DC 8 to 18 V · IR LED	Video
CO ₂	IQ-410	· 0 to 10,000 ppm (±3% rdg ±50 ppm)	Carbon dioxide concentration
Pulse oximeter	STRONG -703 A	· 0~100% · ±1%	Oxygen saturation
EEG system	LXE 3204	· 4 ch	Electroencephalogram
ECG system	LXC 3203	· 3 ch	Electrocardiogram



Fig. 3 Experimental view.

피험자는 가벼운 실내 평상 복장의 착의량인 0.6 clo 이고, 활동량은 앉은 상태에서 가벼운 움직임 정도의 상태이므로 1.1 MET이다.

Fig. 3에서는 본 실험시 촬영한 실험 전경 사진을 보여주고 있다.

2.3 파워 스펙트럼 분석

본 실험에서 얻어진 생리신호 데이터는 생체신호를 포함하여 화상신호, 음성신호, 통신신호 등의 많은 분야에서 널리 사용되고 있는 분석방법인 파워 스펙트럼 (Power Spectrum) 분석법을 활용하였다.

파워 스펙트럼은 푸리에 변환을 이용하며, 이산적인 디지털 신호를 위한 이산 푸리에 변환은 아래와 같이 정의된다.

$$H(f_n) = \sum_{k=0}^{N-1} h_k e^{-j2\pi kn/n} = H_n \quad (1)$$

식(1)을 푸리에 역변환(Inverse Fast Fourier Transform : IFFT)하면 다음과 같다.

$$h_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} H_n e^{-2\pi kn/N} \quad (2)$$

식(2)의 양변에 절대 값을 취하고 제곱한 후 $\sum_{k=0}^{N-1}$ 을 취해 모두 합하면 다음과 같다.

$$Total\ Power = \sum_{k=0}^{N-1} |h_k|^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |H_n|^2 \quad (3)$$

식(3)에서 원 신호의 제곱의 합과 푸리에 변환을 거친 신호의 제곱의 합은 같다. 이때 원 신호제곱의 합 또는 푸리에 변환의 합은 총 파워값(Total Power)이라 한다. 즉, 신호의 총 파워값은 시간공간이나 주파수공간에서 모두 같음을 의미하며 이는 Parseval 정리이다.

이 정리를 만족하는 파워 스펙트럼은 다음과 같이

정의된다.

$$P(f_0) = P(0) = \frac{1}{N^2} |H_0|^2 \quad (4)$$

$$P(f_n) = \frac{1}{N^2} [|H_n|^2 + |H_{N-n}|^2] \quad (5)$$

(단, $n = 1, 2, \dots, (\frac{N}{2}-1)$)

$$P(f_{n/2}) = p(f_c) = \frac{1}{N^2} |H_{N/2}|^2 \quad (6)$$

파워 스펙트럼 분석법은 시간에 따라 변화하는 시계열 신호를 주파수영역으로 변환하여 주파수 변화에 따른 신호의 양상을 판단하기 위해 사용하였다.

3. 실험결과

3.1 실험환경

본 실험에서 실험 공간은 항온항습실과 피험자 재실공간인 챔버실로 구분된다. 항온항습실의 온도는 실내 쾌적 온·습도 조건인 25℃, 50%로 설정되었고, 챔버실 내부공간의 온도는 Fig. 4에서와 같이 항온항습실 내부 온·습도와 동일한 조건에서 실험이 진행되었다. 이는 챔버실 내부의 실내 환경은 열적으로 쾌적한 상태였고, 피험자는 실내 온열환경의 열적 스트레스로 인한 생리신호 변화에 영향을 미치지 않았음을 의미한다. 실내 CO₂ 농도는 본실험 전 챔버실 개방으로 항온항습실 내부 농도와 같은 1,000 ppm 이하로 나타났으며, 챔버실 밀폐와 피험자 호흡으로 인한 CO₂ 발생으로 1,400 ppm까지 상승하였다. 이는 미국의 실내 환기 조건 기준에 부합하며, 졸음을 유발시킬 수 있는 2,000 ppm 이하로 나타남으로써, 실험 환경은 적절하게 설계 및 운전되었고, 실험 환경은 쾌적한 상태로 유지되었음을 확인할 수 있다.

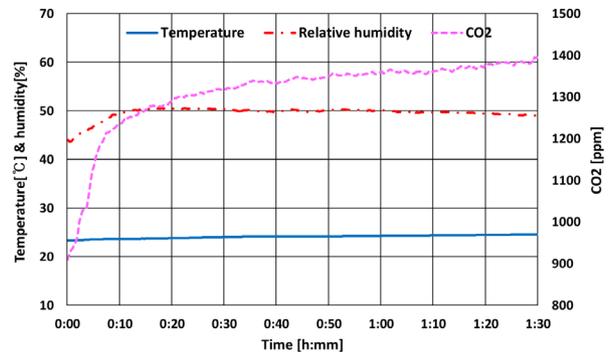


Fig. 4 Environment of chamber room.

3.2 뇌파

뇌파는 뇌의 전기적인 활동을 머리 표면에 부착한 전극에 의해 비침습적으로 측정된 전기신호이다. 이러한 뇌파는 주파수의 범위에 의해 인위적으로 델타파(0.2~3.99 Hz), 세타파(4~7.99 Hz), 알파파(8~12.99 Hz), 베타파(13~29.99 Hz), 감마파(30~50 Hz)로 구분된다.

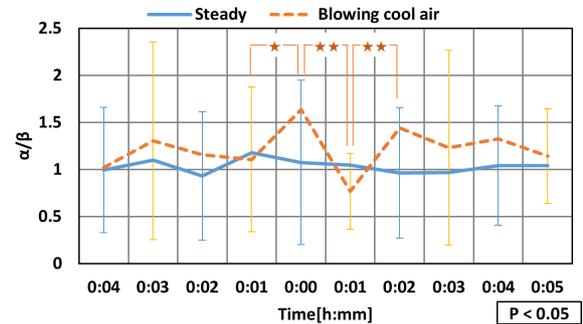
뇌파의 파형에서 알파파는 일반적으로 눈을 감고 긴장이완 상태이면 증가하는 경향이 나타난다. 하지만, 정신활동이나 신체적 운동 상태일 때는 알파파는 감소된다. 알파파의 감소는 시간각극 중에서도 특히 개안에 의한 시간 자극에 의해 감쇠가 뚜렷하게 나타난다.⁽¹¹⁾ 베타파는 정신적인 활동이나 신체적 운동에 의해 발생되며, 불안과 같은 긴장상태 시에 우세하게 나타나며, 청각, 촉각, 정서적 자극에 영향을 받는다. 세타파는 정서적 안정과 수면으로 이어지는 과정에서 주로 나타나며, 성인보다는 아동에게 더 많이 분포한다.

본 연구에서는 졸음 및 각성과 연관된 알파파, 베타파, 세타파를 파워 스펙트럼 분석법과 통계 기법을 이용하여 분석하였다.

실험은 냉풍 자극 유무에 따라 구분하였으며, 총 90분간의 본실험 시간 중 졸음시간(0:00)을 기준으로 전·후 5분 동안 1분 간격의 데이터를 비교하였다. Fig. 5에서 송풍 자극 없이 실험조건을 유지하면서 피험자가 가만히 앉아 있는 경우 알파파와 베타파의 비율이 유사하게 나타났으며, 냉풍 자극 시 졸음구간에서는 폐안 시 알파파가 증가하였다가 감소하는 “alpha block” 현상의 영향으로 알파파가 증가하였다. 피험자는 졸음직후 20초간 냉풍자극을 받으면서 개안으로 인한 알파파 감소와 졸음상태를 스스로 인지하고 집중하고자 하는 행동을 보였으며, 이러한 영향으로 베타파가 우세한 경향이 뇌파 신호에서 나타났다. 이러한 결과로 졸음시 냉풍에 의한 자극이 피험자들에게 유효한 반응을 일으킨다는 사실을 확인하였다. 냉풍자극 후 1분에서 2분 사이 알파파가 다시 우세하게 나타나는 현상은 졸음을 완전히 억제시키지는 못하고, 피험자의 눈깜빡임 행동이 반복됨으로써 나타나는 결과로 판단된다.

시계열에 대한 통계분석 t-test 결과 냉풍 자극 전후 1분간 유의미한 차이가 나타났으며, 피험자들의 표준편차 값도 상당히 줄어들었다. 졸음 후 1분간과 2분간에 대해서도 유의미한 차이를 확인할 수 있다. 냉풍 자극 전·후 1분간은 냉풍 자극이 유의미함을 나타내며, 졸음 후 1분과 2분 사이는 졸음과 각성에 대한 뇌파 반응의 차이로 판단된다. 송풍 유무와 졸음 전·후 5분간의 전체 시계열에 대한 분산분석 결과 냉풍 유무에서만 유의미한 통계적 차이를 확인할 수 있었다.

Fig. 6에서는 델타파를 제외하고 전체 뇌파 파형에 대한 세타파의 결과 값으로 상대 세타 값을 보여준다.



*P < 0.05, **P < 0.01.

Fig. 5 Alpha/Beta wave.

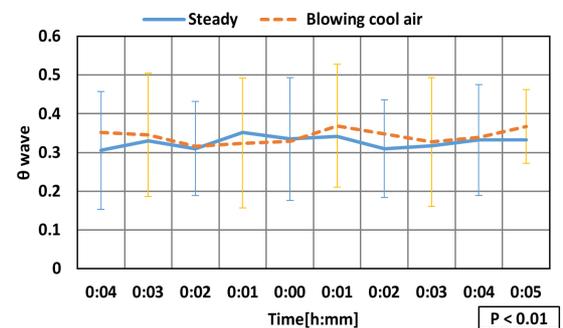


Fig. 6 Relative theta wave.

세타파는 느린 파형을 보이는 서파이며 수면상태와 연관된다. 송풍 유·무에 대한 상대 세타파 경향은 유사하게 나타났으며, 통계적으로도 유의미한 차이를 발견하지 못하였다. 이는 실험 중 피험자들이 졸음 단계를 넘어서서 얇은 수면이나, 깊은 수면 상태에 까지는 이르지 않았음을 반증하는 결과이다. 또한 냉풍 반응 시를 제외하고 전체 구간에서 유사한 졸음 상태였음을 상대 세타파 결과로 유추해 볼 수 있다.

3.3 심전도

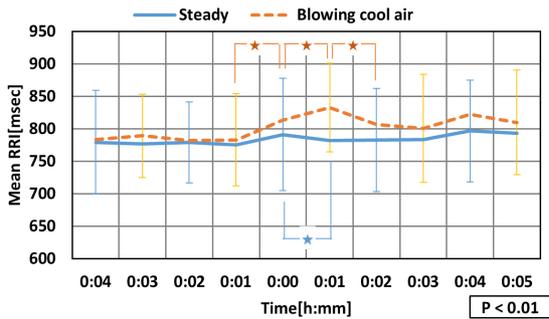
심전도는 신체표면에서 측정 가능한 심장의 전기적 활성단계를 반영하는 전위차 신호이다. 본 연구에서는 측정된 데이터를 기반으로 심장 주기 사이의 간격 변화를 나타내는 시간역 분석영역에서는 R-R 간격의 평균과 R-R간격의 표준 편차를 이용해 분석하였다. 심장의 방실결절 리듬에서의 다양한 주파수와 진동으로 분해 한 심장 박동 신호의 주기적인 진동을 나타내는 주파수 분석영역에서는 저주파(LF)와 고주파(HF)의 비를 분석하여 자율신경계 변화를 분석하였다.

심박 간격 변화에서 졸음 전 1분까지는 실험 Case 별 큰 변화가 나타나지 않았다. 이는 졸음시 냉풍 자극 유·무에 따른 생리 반응 실험으로 냉기를 송풍하는 시점 이전은 실험 조건이 동일하고, 상대 세타파에

서 유추되었던 실험 조건별 졸음 상태는 유사하였음을 입증한다.

Fig. 7에서 평균 심박간격을 살펴보면, 졸음 전 1분부터 졸음시 까지 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 경향은 심전도 관련 선행 연구들에서 확인되었던, 졸음의 영향으로 심박동수가 줄어든다는 사실과 일치한다. 각성을 위한 냉풍자극 시 R-R interval은 1분 동안 계속 증가하는 상태가 지속되다가 이후 감소하는 경향이 나타남으로써, 심전도에 의한 자극 반응은 뇌파에서 나타나는 반응보다 대략 1분 내로 지연된다는 사실을 확인할 수 있다.

평균 심박간격에 대한 t-test 결과 냉풍 자극 전·후 유의미한 차이가 나타났으며, 이러한 차이는 자극 후



* P < 0.05.

Fig. 7 Mean R-R intervals.

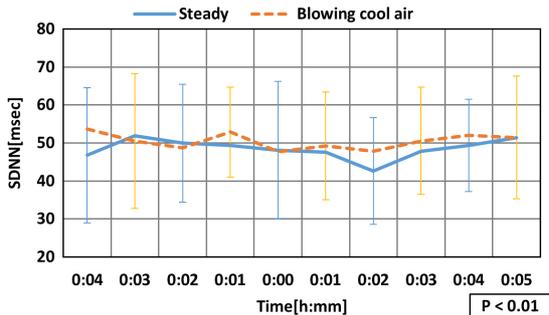


Fig. 8 Standard deviation of all normal R-R intervals.

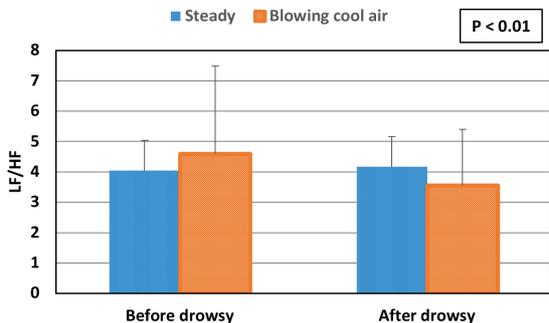


Fig. 9 Changes of autonomic nerve.

2분간 지속되었다. 분산 분석 시 냉풍 자극 요인과 각 시간대에서 전체적으로 유의미한 차이가 통계적으로 나타났다.

SDNN의 표준 범위는 30~60 msec로 표준범위 이내에서 높을수록 스트레스에 대한 저항도가 높고 건강한 상태를 의미하며, Fig. 8에서와 같이 피험자들은 건강한 상태의 SDNN 범위 내에 포함되었다. 그리고, 분산 분석 결과에서는 냉풍 자극 유·무에 따른 유의미한 차이를 확인하였다.

자율신경계는 교감 신경계와 부교감 신경계의 활성화 양상으로부터 신체적 또는 육체적 스트레스를 판별할 수 있으며, LF(0.04~0.15 Hz)는 심장에 대한 교감신경의 활성화에 대한 지표이고, HF(0.15~0.4 Hz)는 부교감 신경계의 활성화에 대한 지표이다. 교감신경의 활성화는 심박동수 증가, 혈압 및 혈당 증가 등 초기 스트레스 상태를 반영하고, 부교감 신경의 활성화는 편안한 신체 이완 상태 시 증가하는 경향을 나타낸다.

자율 신경계 변화는 HF에 대한 LF의 비로 나타내었으며, Fig. 9에서 그 결과 값을 보여준다. 냉풍 자극이 없는 상태에서는 LF/HF의 값은 졸음 전 4.03(±2.53), 졸음 후 4.16(±2.15)으로 다소 증가된 값이 나타났지만, 거의 유사한 결과 값을 보인다. 하지만 졸음시 냉풍으로 인한 자극을 주었을 때는, 졸음 전 4.60(±2.90)에서 졸음 후 3.55(±1.86)로 약 22.8% 감소하였고, 냉풍 자극이 없는 상태보다도 9.5% 낮게 나타났다. 결과적으로 졸음을 깨우기 위한 냉풍 자극은 피험자들에게 스트레스 요인으로 작용하지는 않고, 교감신경계를 억제하고 부교감 신경계를 증가시켜 편안함을 유도하였다고 판단된다.

자율 신경계 변화에 대한 분산분석에서도 냉풍 자극 유·무에 의한 유의미한 차이를 확인할 수 있었다.

4. 논의

본 연구는 운전자가 졸음시 냉풍자극에 대한 반응 효과를 살펴보기 위하여 실험 중 측정된 생리신호 데이터를 이용해 관찰하였다. 운전자의 시각, 청각, 촉각에 의한 직접적인 졸음방지 장치에 비하여 냉풍 자극은 운전자의 놀람으로 인한 급격한 행동변화를 최소화하여 2차 사고를 예방할 수 있다. 또한, 기존의 자동차 실내 공조시스템에 접목시켜 실내 환경 개선과 비접촉식 졸음 방지 시스템으로 운전자의 편의성과 안전성에 기여할 것으로 판단한다.

본 연구에서 실험환경은 피험자가 쾌적하게 느끼는 25℃, 50%(RH)의 온·습도 조건에서 진행되었으며, 졸음 유발이 우려되는 CO₂ 농도 2,000 ppm 이하인 1,400 ppm의 실내 환경에서 수행되어, 피험자의 쾌적 조건을 만족시켰다.

냉풍 자극 시 피험자들의 뇌파 반응에서는 알파파

와 베타파의 비, 세타파를 통해 피험자의 졸음 상태를 살펴보았다. α/β 로부터 무풍 조건에서는 변화를 확인할 수 없었으나, 냉풍 자극 후 1분 동안 알파파의 감소와 베타파의 증가로 α/β 는 약 52.9% 감소되었다. 냉풍 시 뇌파의 생리신호에서 α/β 의 감소는 피험자가 졸음 상태에서 냉풍 자극을 인지하여 각성하고자 하는 생리적 현상으로 냉풍 자극이 졸음시 각성효과에 유효함을 확인하였다. 피험자 각성 후 1분간 α/β 의 증가 현상이 나타나게 되는데 이는 각성 상태에서 인체의 항상성으로 인한 안정된 상태로 전이되는 과정의 생리적 반응으로 사료되며, 냉풍 자극 후 5분간 냉풍에 대한 자극 반응은 무풍 조건의 α/β 값에 점진적으로 수렴되어짐을 보인다.

심전도 분석에서는 시계열 분석과 주파수 영역 분석을 통해 졸림 상태, 스트레스 지수 등 생리적 반응 결과를 얻었고, 뇌파의 생리신호와 비교·대조하여 고찰하였다.

시간영역 분석인 평균 심박 간격에서 무풍 조건에서는 특징적으로 큰 변화가 없는 양상이 나타났고, 냉풍 조건에서 자극으로 인한 변화를 관찰할 수 있었다. 졸음 전 1분부터 졸음 후 1분 사이 2분 동안 49.9 msec 증가하였고, 냉풍 자극 후 1분 후부터 2분 동안 32.3 msec 감소한 후 무풍 조건과 같은 심박 간격 변화 경향이 나타났다. 결과적으로 이러한 변화를 뇌파 신호와 비교하면 냉풍자극 시 심전도 반응은 뇌파 반응 보다 1분 이내 지연된다는 사실을 발견하였다.

주파수 영역 분석은 데이터 분석 시 필요한 충분한 샘플링 주기를 확보하기 위하여 졸음 전·후 각 5분 동안의 LF와 HF의 비로 자율신경계 변화를 살펴보았다. 자율신경계 변화에서도 평균 심박 간격과 같이 무풍 조건에서는 일정한 값을 유지하였으며, 냉풍 자극 시 스트레스와 연관된 LF의 감소와 신체이완과 관련 있는 HF의 증가로 인해 전체 LF/HF를 감소시켰다. 교감 신경계의 억제와 부교감 신경계의 활성화로 인한 자율 신경계 변화로부터 졸음시 냉풍은 피험자의 졸음 각성에 대한 스트레스를 줄일 뿐 만 아니라 공조 시스템에서 송풍으로 인한 냉풍 자극 효과를 극대화시킬 수 있다고 사료된다.

5. 결 론

본 연구는 운전자 졸음시 안전부로 송풍시키는 감성 반응 실험을 통해 냉풍 자극 시 생리반응을 뇌파와 심전도 생리신호를 근거로 분석하여 인체 생리반응과 냉풍 효과를 확인 한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

- (1) 냉풍 자극으로 인한 뇌파 반응에서 알파파가 감소되고, 베타파가 증가하는 경향이 뚜렷이 나타났고,

α/β 의 비율이 약 52.9% 감소됨으로써 졸음을 억제시키는 효과를 확인하였다.

- (2) 수면 상태와 관련이 깊은 뇌파 파형 중 세타파에서는 냉풍 유·무에 상관없이 유사한 측정값과 경향이 나타났으며, 특징적인 변화나 통계분석 t-test에서 유의미한 차이를 확인할 수 없었다.
- (3) 심전도 분석 시 평균 심박 간격 변화로부터 냉풍 자극에 대한 유효성을 확인하였으며, 인체에서 심전도 반응은 뇌파 생리반응에 비해 최대 1분 정도의 반응 시간에 대한 지연 현상을 발견하였다.
- (4) 자율신경계 변화에서도 냉풍 자극 시 졸음 각성 효과를 확인하였고, 냉풍 자극은 인체에 생리적 변화를 동반하나, 이 생리변화는 긍정적인 효과 반응을 확인하였다.
- (5) 인체 생리반응에 관한 연구는 복잡한 심리·생리적 현상으로 인해 지속적이고 반복적인 연구가 필요하며, 신뢰성과 편의성 등이 확보된 생리신호 측정센서 개발이나 다양한 생리반응 분석 기법과 알고리즘 등에 대한 연구가 요구된다.
- (6) 자동차 실내 환경에서 가장 큰 변수는 일사량에 따른 실내온도 상승이므로, 본 연구를 바탕으로 차후 연구에서는 실내온도와 송풍온도 변화를 고려한 실내 환경에서 졸음과 각성상태에 미치는 인체 생리반응에 관한 연구를 각 연령대 별로 추가 진행하고자 한다.

결론적으로 본 연구 수행 결과는 졸음 방지를 위한 자동차용 능동형 공조시스템 개발에 기여할 수 있다고 사료된다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의기술연구비(2016년)에 의하여 연구되었음.

References

1. Kim, S. H. and Chang, H. J., 2000, History of Automotive Air Conditioning, Magazine of the SAREK, Vol. 29, No. 10, pp. 9-13.
2. Korea Transportation Safety Authority.
3. Lee, S. H., 2003, Drowsy Driving and Traffic Accidents, Int. Journal of Sleep Medicine and Psychophysiology, Vol. 10, No. 2, pp. 84-87.
4. Han, H. S. and Chong, U. P., 2012, Electroencephalogram-based Driver Drowsiness Detection System Using AR Coefficients and SVM, Int. Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 22, No. 6, pp. 768-773.

5. Han, H. S. and Song, K. Y., 2015, Improvement of EEG-Based Drowsiness Detection System Using Discrete Wavelet Transform, *Int. Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, Vol. 40, No. 9, pp. 1731-1733.
6. Kim, M. S., Kim, Y. N., and Heo, Y. S., 2014, Characteristics of Heart Rate Variability Derived from ECG during the Driver's Wake and Sleep States, *Transactions of KSAE*, Vol. 22, No. 3, pp. 136-142.
7. Lee, G. D., Kum, J. S., Kim, D. G., Oh, J. H., Kim, M. S. and Yu, S. J., 2012, A Study on Drowsiness Prevention using Blowing to Face during Driving, *Proceeding of KSAE*, pp. 1880-1884.
8. Kang, S. M., Huh, K. M. and Lee, S. H., 2016, Development of a Drowsiness Detection System using Retinex Theory and Edge Information, *Int. Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 22, No. 9, pp. 699-704.
9. 10/20 System Positioning Manual, *Trans Cranial Technologies*.
10. Kim, K. S., Shin, S. W., Lee, J. W., and Choi, H. J., 2008, The Assessment of Dynamic Mental Stress with Wearable Heart Activity Monitoring System, *Int. Journal of The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 57, No. 6, pp. 1109-1115.
11. Jin, B. H., Bae, H. J., Song, S. O., and Kim, Y. O. 1999, *Clinical Physiology*, Daihak Publishing Company, pp. 24-33.