

자동차 에어컨 쾌적제어 알고리즘 개발을 위한 운전자 온열감성 평가 : 제 2보-운전자의 생리반응

Comfort Control Algorithm Development of Car Air Conditioner using Thermal Comfort Evaluation of The Driver : Part II - Physiological Response of Driver

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

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

⁴부경대학교 냉동공조공학과

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

²Specialized Graduate School Science and Technology Convergence, Pukyong National University, Busan, 48547, Korea

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

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

(Received March 21, 2016; revision received April 22, 2016; Accepted: April 26, 2016)

Abstract In this study, we investigated the operating method of a driver for an air conditioning system according to the temperature difference between the indoor and outdoor environments of a car parked outside during the summer. Researchers of this study suggest the comfort mode of a car air conditioner to improve the thermal comfort of the driver, thereby maintaining longer comfort. This study separately, analyzed temperatures on a cloudy day and sunny day. The results showed the car indoor heat environment and physiological results (EEG, ECG) of the subject. It showed a difference of the car indoor heat environment by weather with the difference also appearing in the physiological response of the subject. In conclusion, in this paper, on the basis of the physiological response of a subject, a comfortable algorithm of automobile air conditioner is being suggested.

Key words Automobile air conditioner(승용차용 에어컨), EEG(뇌파), ECG(심전도), MST(평균 피부온도)

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

기호설명

clo : 의복량
MET : 활동량
EEG : 뇌파
ECG : 심전도
MST : 평균피부온도

1. 서 론

자동차는 생활 수준의 향상과 더불어 일상생활의 한 요소로 자리 잡고 있다. 대한민국의 자동차 보유대수는 2014년 기준 2,000만대를 돌파하였고, 자동차 1대당 인구수는 2.56명으로 보고되었다.⁽¹⁾ 전체 승용차 등록대수는 1,563만 8,582대로 약 78%에 육박한다. 그러므로, 자동차의 주된 역할인 이동수단으로써의 기능뿐만 아니라, 생활공간의 일부로 인간과 밀접한 관계를 맺고

있다.

건축물은 인간의 주거 및 사무·휴식공간으로 일상 생활 대부분의 시간을 건축물 내에서 보냄으로써 실내 환경에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나, 자동차의 경우 주된 기능인 운송·교통수단으로써의 역할에 충실하기 위한 기계 메커니즘과 하드웨어 관점에서 개발과 연구가 활발히 이루어져 왔다. 또한, 현재는 화석연료의 고갈과 환경문제의 대안으로 대체에너지를 이용한 기계분야의 연구가 진행되고 있는 실정이다. 그러나, 자동차를 구성하고 있는 수 만개의 기계적 요소뿐만 아니라, 사용자 측면인 인간 중심의 인터페이스화가 소비자들에게 각광받고 있는 실정이다.

자동차는 인간 생활의 일부가 되었고, 사용자들의 편의성과 안전성에 대한 요구가 급격히 늘어나면서 웰빙화, IT화 되고 있다. 이러한 자동차의 변화에 맞추어 자동차 공조시스템에도 역시 새로운 아이템을 도입하고 발

전시시키고 있으며, 새로운 부가 기능을 추가시키고 있다.

최근의 연구에서는 자동차 실내 환경의 질 평가,⁽²⁾ 실내 열환경에 대한 열적 평가,⁽³⁾ 실내 열부하 저감을 위한 태양에너지 응용기술 등과 같은 자동차 실내의 환경 평가에 대한 연구와 인간의 생체반응을 통한 차량 실내 환경의 쾌적역 추출, 인체 모델을 고려한 자동차 실내 에어컨 위치,⁽⁴⁾ 운전중 주의 분산에 따른 생체 신호에 관한 연구 등 인체 생리변화와 접촉시킨 실내 환경 쾌적성 평가에 관한 연구⁽⁵⁾로부터 수치해석을 이용한 자동차 실내 열환경 예측 또는 탑승자의 쾌적성을 평가하는 연구⁽⁶⁾까지 다양하게 진행되고 있다. 기존 연구를 바탕으로 본 연구는 자동차용 공조시스템의 쾌적 운전 알고리즘 개발의 일환으로 진행되었다.

제 1보 운전자의 에어컨 조작 선호도에서는 일사량에 따른 운전자의 에어컨 조작 방법을 중심으로 조사·분석하여 쾌적모드를 제안하였다. 본 2보 연구에서는 사무공간이나 주거공간에서 이동을 위해 야외에 주차된 승용차에 탑승시 에어컨 가동으로 인한 차량내 초기 실내 환경이 운전자의 생리반응에 미치는 영향을 뇌파(EEG), 심전도(ECG), 평균 피부온도(MST) 등을 분석하여 제 1보의 에어컨 조작 선호도와 함께 운전자의 열적 불쾌감을 해소시킬 수 있는 에어컨 쾌적 운전 모드 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 피험자

피험자는 운전면허증을 소지하고, 운전경험이 있는 20대 성인남성을 대상으로 하여 모집하였고, 40명의 지원자 중 맥박, 혈압 등을 확인하여 신체·정신적으로 질환이 없는 건강한 20명의 피험자를 선별하여 실험을 진행하였다. 실험은 주간 시간대인 오전 11시부터 오후 5시까지 피험자 1명 당 2시간씩 하루에 3명의 피험자를 대상으로 진행하였다. 각 피험자는 동일한 실험일자를 피하고 총 2회의 실험을 실시하였다.

본 실험은 실험 전 실험에 참가한 모든 피험자들에게 실험에 관한 전반적인 내용을 설명하였으며, 실험에 참가한 피험자들의 자발적인 실험 동의서 작성 및 제출 후 실험을 진행하였다. 본 실험의 피험자들에게는 실험기간 전부터 실험이 끝날 때까지 규칙적인 생활을 하도록 권유하였고, 무리한 운동이나 과로, 과식, 음주, 흡연, 약물복용 등을 금하도록 교육시켰다. 또한, 신체나 개인사정으로 인하여 실험일정에 무리가 있을 때에는 즉시 실험자에게 연락을 취하도록 하여 실험일정의 변동을 최소화시켰고, 타 피험자에게 영향을 끼치지 않도록 피험자들의 상태를 수시로 관리하였으며, 실험 당일 실험자는 피험자가 안정을 유지할 수 있도록 편

Table 1 Anthropometric data of the subjects

	Standard*	Sunny Subjects (N = 5)	Cloudy Subjects (N = 5)	Subjects
Age	Twenty	26.0 ±2.55	25.4 ±3.05	25.56 ±2.79
Height	175.8 ±5.38	173.6 ±2.30	173.6 ±5.86	174.0 ±4.24
Weight	75.6 ±10.78	67.4 ±5.55	69.2 ±6.10	69.0 ±5.43
BMI	18.5 ~22.9	17.54 ±2.42	20.04 ±4.31	19.04 ±3.66
Pulse	50 ~100	68.0 ±7.35	73.4 ±8.32	69.67 ±7.66
Blood pressure	120/80	119.4 /75.0 (±7.23 /8.06)	126.2 /73.4 (±10.06 /7.67)	123 /74.22 (±9.53 /7.92)

N(person) : Number of subject.
* KOSIS(국가 통계 포털), 2013.

안하게 응대하였다.

본 실험에 참가한 20명의 피험자 중 생리신호 분석시 노이즈가 관측되거나, 피부온도 센서 접촉 불량으로 인해 데이터가 누락된 피험자를 제외하고 맑은 날과 흐린 날 각 5명의 피험자를 대상으로 실험 데이터를 분석하였다.

Table 1에 선별된 피험자의 평균 신체 치수와 한국인 표준 신체 치수를 비교하여 나타내었다.

2.2 실험방법

본 실험은 6월 중에 실시하였고, 여름철 운전자가 야외에 주차된 승용차에 탑승하여 에어컨 가동시 열쾌적성을 생리반응을 통해 평가하기 위한 실험으로, 주변 환경에 영향을 받지 않는 개방된 공간인 야외 주차장에서 실험을 진행하였다. 실험대상 승용차는 G사의 T모델 2,000 cc 국내 중형 은색 승용차이다.

$$\begin{aligned}
 t_s = & t_{sk}(\text{forehead}) \times 0.07 + t_{sk}(\text{forearm}) \times 0.14 \\
 & + t_{sk}(\text{backofthehand}) \times 0.05 + t_{sk}(\text{abdomen}) \times 0.35 \\
 & + t_{sk}(\text{upperthighs}) \times 0.19 + t_{sk}(\text{lowerthighs}) \times 0.13 \\
 & + t_{sk}(\text{foot}) \times 0.07
 \end{aligned} \tag{1}$$

피험자가 실험을 위해 실험실에 도착하면 피험복으로 착의 한 후 26℃, 50%의 실내 조건인 항온항습실에 먼저 입실하도록 하였다. 입실 후 피험자에게 생활습

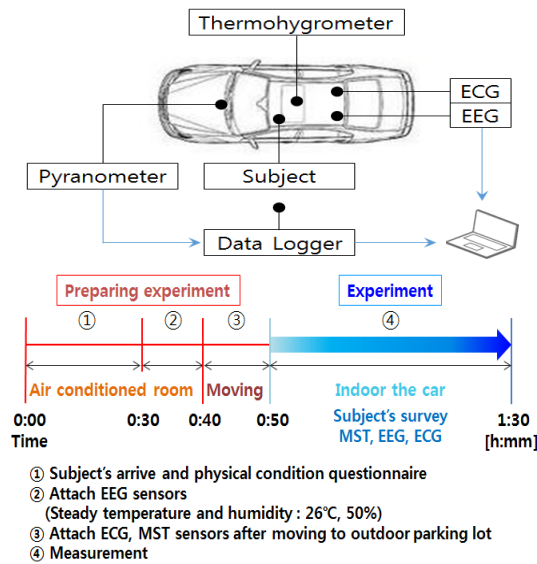


Fig. 1 Experimental procedure.



Fig. 2 Experimental view.

관에 대한 설문지를 작성하도록 하고 기본적인 건강상태를 확인하였다. 실험자는 30분간 피험자의 건강상태 이상 유무를 확인한 후 피험자와 인터뷰를 통해 신체·심리 상태를 파악하여 실험 진행여부를 판단하였다. 피험자가 실험에 동의하면 피험자에게 뇌파 센서를 10분간 부착하였고, 야외 주차장에 설치된 대기실로 이동 후 10분간 심전도 센서와 피부온도 센서를 부착하여 데이터 수집 기기 및 장치의 가동상태를 확인한 후 본 실험을 진행하였다. Fig. 1에 실험 개략도와 실험 스케줄을 나타내었고, Fig. 2에서 실험 전경을 보여주고 있다.

본 실험시 승용차 실내 에어컨의 작동모드는 피험자가 에어컨의 풍량과 풍향을 자유롭게 조작할 수 있도록 수동모드로 진행하였다.

Table 2는 측정 장비와 측정 요소를 보여준다. 측정 요소로는 크게 환경 측정 요소와 인체 측정 요소로 구분하였으며, 환경 측정 요소로는 일사량, 외기 온·습도, 실내

Table 2 Measurement

Section	Measuring equipment	Specification	Measurement data
Environment	Pyranometer	-	Solar radiation
	Data Logger	MV2000	Data acquisition
	Thermohygrometer	TR-72U	Temperature & humidity
	Ventilation test instrument	TSI 9555-P	Supply air speed
	Thermocouple	T-type	Supply air temperature
Physiology	EEG system	LXE 3204	Electroencephalogram
	ECG system	LXC 3203	Electrocardiogram
	Thermocouple	T-type	Skin temperature

온·습도, 급기 풍속, 급기 온도를 측정하였고, 인체 측정 요소로는 생리반응 측정을 위한 뇌파, 심전도와 평균 피부온도를 측정하였다.

뇌파는 국제적으로 명명된 10~20전극배치법을 이용하여 전두엽 머리 표면 위에 4 ch(Fp1, Fp2, F3, F4, REF', GND')을 부착하여 뇌파를 측정하였고, 심전도는 표준사지 유도법에 의해 왼쪽 팔목(LA), 오른쪽 팔목(RA), 왼쪽 발목(LL), 오른쪽 발목(RL)에 측정전극을 부착하여 3 ch 신호를 측정하였다.

인체 측정 요소 중 피부온도는 직경 0.2 mm T-type 열전대를 사용하여 Hardy and Dubois 7점법⁽⁷⁾을 근거로 신체 7부위(이마, 하박, 손등, 복부, 대퇴, 하퇴, 발등)에 부착하여 측정하였고, 매 10초 간격으로 Data logger에 실시간 저장하였다. 또한, 피부온도 각 측정 부위마다 식(1)과 같이 가중치를 두어 평균 피부온도를 계산하였다.⁽⁸⁾

피험자는 여름철 일반적인 착의량인 0.5 clo이고, 활동량은 운전석에 앉아 가벼운 움직임만 있는 상태이므로 1.1 MET로 가정하였다.

3. 실험 결과

3.1 승용차 내 실내온도 변화

본 연구는 여름철 운전자가 야외에 주차된 승용차에 탑승시 승용차 내부의 열환경에 기초하여 진행되었다. 여름철 야외에 주차된 승용차의 경우 실내 열환경은 일사의 영향을 가장 많이 받아 운전자에게 불쾌감을 유발하는 요인으로 작용한다.

Table 3에서는 실험 중 일사량과 탑승시 승용차 실내 온·습도 범위를 보여주고 있으며, 승용차 실내 열환경은 일사량에 큰 영향을 받고 있다는 사실을 확인하였다.

Table 3 Environmental climate of ambient

	Quantity of solar radiation [W/m ²]	Cabin temperature [°C]	Cabin relative humidity[%]
Sunny	782.4±169.6	42.2~48.9	17~24
Cloudy	265.8±162.5	27.7~36.2	27~51

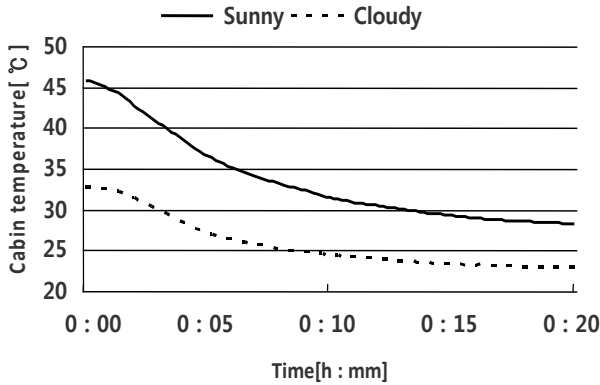


Fig. 3 Indoor temperature of the car.

맑은 날과 흐린 날 운전자가 승용차 탑승시 실내온도 범위에서 최대 21.2°C의 온도차가 발생하였으며, 최소 6°C의 실내온도차를 보였다. 이는 실내온도차에 의해 운전자의 탑승 초기 생리반응에 영향을 미칠 것으로 판단되어 일사를 직접 받았던 날을 맑은 날, 태양이 구름에 가려진 날을 흐린 날로 구분하여 분석하였다.

Fig. 3에 실험 중 승용차 실내온도 변화를 나타내었으며, 승용차 탑승과 동시에 에어컨 가동시 날씨별 승용차 내부의 온도차는 13.1°C였고, 에어컨 가동 20분 이후부터는 맑은 날과 흐린 날 비교에서 5°C의 실내온도차를 보였다. 실험 시작 후 10분경 맑은 날은 14.3°C의 온도강하를 보였고, 흐린 날은 8.3°C의 온도강하를 보임으로써, 날씨에 따라 피험자들의 에어컨 조작방법에도 차이가 나타났다.

3.2 뇌파

뇌파는 진동하는 주파수의 범위에 따라 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 구분하여 파워스펙트럼 분석을 이용하였다.

뇌파의 파형 중에서 알파파는 긴장이완과 같은 편안한 상태에서 주로 나타나며, 안정되고 편안한 상태일수록 진폭이 증가한다. 베타파는 깨어 있을 때, 말할 때와 같이 모든 의식적인 활동을 할 때 나타나며, 특히 불안한 상태나 긴장시에 우세하게 나타나기도 한다.

본 연구에서는 탑승시 기준으로 베타파에 대한 알파

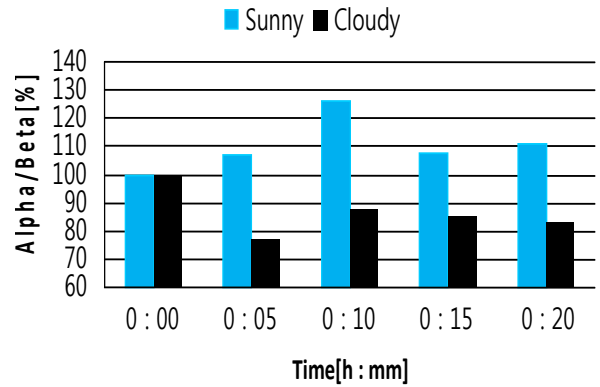


Fig. 4 Electroencephalogram(EEG)[P < 0.1].

파의 비를 매 5분간의 증감율을 구하여 피험자의 생리적인 상태를 파악하였다. Fig. 4에 α/β의 증감율을 나타내었다.

실험 초기 10분 동안의 증감율을 기준으로 맑은 날의 경우 피험자들은 알파파의 우세로 인해 점차 편안한 상태를 보인 반면, 흐린 날에는 피험자들의 뇌파변화에서 알파파의 감소 또는 베타파의 증가 현상이 발생하여 맑은 날보다 알파파의 비율이 다소 낮게 나타났다. 이는 승용차 내부의 온도가 높게 나타난 맑은 날의 경우 에어컨 가동에 의한 1.4°C/min의 온도강하가 피험자들의 열적 불쾌감을 해소시켜 정신적으로 안정된 상태를 유도하였고, 탑승시 승용차 내부온도가 맑은 날에 비해 10°C 이상 낮고, 열적 불쾌감이 다소 낮았던 흐린 날의 경우 0.8°C/min의 온도강하로 인한 에어컨의 냉기는 피험자들의 열적 쾌적감을 감소시키는 요인으로 작용한 것으로 판단된다.

3.3 심전도

심전도는 신체표면에서 측정 가능한 심장의 전기적 활성단계를 반영하는 전위차 신호로써, 피험자는 착의, 착석한 상태이므로 심전도 측정시 전극 위치는 팔목과 발목에만 전극을 부착하는 표준사지유도 방식으로 측정하였다.

R-R 간격의 변화를 분석함으로써 자율신경계를 구성하는 교감신경계와 부교감 신경계의 활성양상을 파악할 수 있으므로 신체의 스트레스 상태를 파악할 수 있다. 교감신경의 활성화는 R-R 간격의 느린 변화패턴(Low Frequency)을 유도하고, 부교감신경은 빠른 변화패턴(High Frequency)을 유도하게 된다.

자율신경계에 대한 스트레스 상태를 분석하기 위한 LF/HF의 비를 Fig. 5에 나타내었다.

LF/HF의 교감신경계와 부교감신경계의 비율에서, 맑은 날의 경우 교감 신경계(LF)보다 부교감신경계(HF)

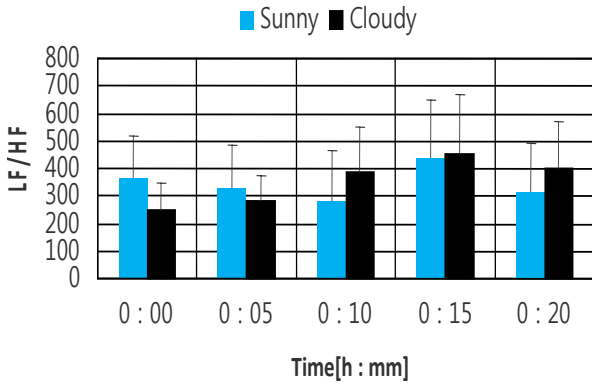


Fig. 5 Changes in autonomic nerve(LF/HF)[P = N.S.].

의 활성화로 인하여 실험 시작 후 10분간 스트레스 상태가 감소하였다. 이는 높은 승용차 실내온도로 인한 열적 스트레스가 에어컨 가동 이후 감소하였음을 의미하며, 에어컨 가동으로 인한 냉기가 열적 스트레스를 줄여주고 있음을 나타낸다. 흐린 날의 경우 실험 직후부터 점차 증가하는 경향을 보이면서 10분경 LF/HF 값에서 역전현상이 나타났다. 탑승이후 15분경 LF/HF 비율이 모두 증가하는 경향을 보이는 것은 에어컨 냉기로 인해 피험자들 대부분 추위를 느끼는 시점이라 판단된다.

피험자의 쾌적감에 대한 생리 변화 상태를 뇌파와 자율신경계로부터 확인해 본 결과 맑은 날의 경우 열적 불쾌감의 해소로 인하여 알파파의 비율이 높아져서 쾌적감에서 우세하게 나타났지만, 10분 이후 스트레스 증가 현상으로 냉풍을 억제시킬 필요가 있다고 판단된다. 이런 점을 고려하면, 승용차의 실내온도를 미리 낮출 수 있는 예냉시스템 도입이 필요할 것으로 판단된다. 흐린 날의 경우 자율신경계 변화에서 15분간 증가하는 현상을 바탕으로 낮은 온도의 냉기보다는 외기를 도입하는 창문 환기나 외기와 비슷한 온도의 에어컨 가동이 필요할 것으로 사료된다.

3.3 평균 피부온도

평균 피부온도는 인체의 열적 평형성을 대표하는 객관적인 열쾌적 지표이다.

식(1)에서 나타낸 7점법으로 평균 피부온도를 각 부위별로 측정하여 계산하였고, 선행연구⁽⁸⁾ 결과로부터 쾌적감을 느끼는 인체의 피부온도는 33~34℃로 알려져 있어서 쾌적영역을 Fig. 6에 표시하였다.

Fig. 6에서는 실험 중 측정된 평균 피부온도를 보여 준다. 맑은 날의 경우 실험 시작시점부터 평균 피부온도는 쾌적영역 보다 2℃ 이상 높은 온도가 나타나면서 탑승 이후 5분까지 1.4℃의 급격한 하강 곡선을 나타낸 반면 5분 이후부터 20분까지 15분간 0.9℃의 온도 하강

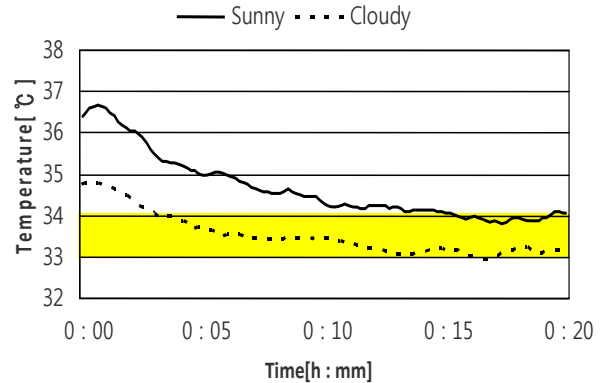


Fig. 6 Mean skin temperature(MST)[P < 0.01].

경향이 나타났다. 이는 일사량이 많은 맑은 날의 경우 탑승 초기 강한 에어컨의 냉풍으로 인체 피부로부터 발산되는 열을 빠른 시간에 제거시키고 5분 이후에는 냉풍으로 인한 국소 불쾌감을 해소시키기 위해 점차적으로 풍량을 감소시킬 필요가 있다고 사료된다.

흐린 날의 경우 탑승 초기부터 맑은 날보다 쾌적영역에 근접한 평균 피부온도를 시작으로 10분 이후 쾌적영역 하한선에 가까워져 가는 경향이 나타나 쾌적영역을 벗어날 우려가 있으므로 인체의 피부와 직접 닿는 인체 측 냉방으로 인한 빠른 평균 피부온도 강하보다는 실내 공간 냉방에 중점을 두어 평균 피부온도 하강 기울기를 낮출 수 있는 간접 냉방 모드의 에어컨 작동이 필요할 것으로 판단된다.

4. 논 의

여름철 야외에 주차된 승용차의 경우 일사량과 외기온의 영향으로 실내 환경은 열적으로 운전자에게 불쾌감을 유발시킨다. 본 연구에서는 이러한 불쾌감을 해소시키기 위해 피험자의 생리반응을 분석하여 적절한 에어컨 작동 상태를 도출하기 위해 진행하였다.

본 실험은 실제 운전자가 승용차에 탑승하는 상황을 고려하여 야외 개방된 공간에 주차된 승용차는 맑은 날의 경우 일사에 직접적으로 노출된 상태이다. 피험자의 경우 일사에 노출된 승용차 내부에 있으므로 승용차 전면 유리창과 운전석 측면 유리창으로 손등과 팔 부위는 일사에 직접적으로 노출되어 손등과 팔에 부착된 피부온도 센서에는 하얀색 부직포 반창고를 부착하였다. 일사에 직접 노출된 부위로 인해 피험자가 느끼는 온냉감에 대한 영향을 파악하기 위해 신체 부위별 온냉감에 관한 설문응답을 실시하였으며, 실제 응답률에서 일사나 외부 환경에 노출되지 않았던 부위보다 노출된 부위에서 ‘시원하다’는 응답이 많았으므로 외부 자극에 대한 영향보다 에어컨 냉기에 의한 영

향이 더 크다는 사실을 확인하였다.

일사량에 따라 승용차 실내온도는 평균 13.2℃의 온도차를 보임으로써 맑은 날과 흐린 날로 구분하였고, 승용차 내 열환경 또한 다르다는 사실을 인지하여 날씨별로 피험자의 생리반응을 분석하였다.

Table 4에서는 실험결과에서 나타난 시간별 생리반응 변화를 수치로 보여주고 있으며, 증가 또는 감소 경향이 화살표로 표시되어 있다. 화살표에서 최대 증가치와 최소 감소치는 ↑와 ↓로 표시하였고, 최대 증가치 또는 최소 감소치 보다 낮거나 높은 값일 때는 기울어진 화살표인 ↗와 ↘로 표시하였다.

뇌파를 통해 피험자의 열적 쾌적 상태를 분석한 결과, 맑은 날 피험자들의 승용차 탑승 직후 에어컨 조작시 강풍과 낮은 냉기를 선호하면서 에어컨 취출 풍량이 많고 낮은 온도로 급기시킴으로써 탑승 전 인체 내부로 흡수된 열을 빠른 시간에 방출시키는 환경을 조성하여 알파파 비율이 증가하였다. 이는 피험자들의 쾌적감 향상에 낮은 온도의 에어컨 작동 상태가 도움이 된다고 판단한다. 하지만, 10분 후 알파파의 비율이 감소하는 경향이 나타남으로써 풍량의 감소나 온도의 상승을 필요로 한다. 흐린 날의 경우 탑승시 에어컨 가동으로 인한 알파파의 감소를 보임으로써, 피험자에게 직접적인 냉풍 취출을 자제하고, 외기 도입을 통해 실내 열환경을 개선시킬 수 있는 송풍모드나 승용차 내 환기와 통풍이 가능한 창문 개방이 요구된다.

열적 스트레스 상태를 파악할 수 있는 심전도를 측정하여 피험자들의 자율신경계를 분석한 결과, 맑은 날과 흐린 날 비교에서 승용차 탑승시 실내 열환경에 의한 열적 불쾌감은 확연한 차이가 나타났다. 흐린 날의 스트레스 증가 요인은 에어컨 가동시 냉기에 대한 불쾌감의 직접적인 생리반응으로 해석된다. 하지만,

맑은 날의 경우에는 뇌파에서도 나타나듯이, 심전도 반응에서도 탑승시의 열적 불쾌감이 흐린 날 보다 높지만, 에어컨 냉기가 열적 불쾌감 해소에 도움을 주었음을 LF/HF 값이 10분간 감소하는 경향으로 확인할 수 있었다.

이와 같은 뇌파와 심전도의 생리반응은 제 1보 운전자의 에어컨 조작선호도 연구⁽⁸⁾로부터 승용차의 높은 실내환경에서 탑승 초기 피험자는 4단계 혹은 3단계의 높은 풍량을 선호하면서 10분경 풍량을 줄이는 경향을 보인 사실과 인체 심부온도보다 낮은 실내환경에서는 탑승 초기시 1단계의 낮은 풍량을 선호하고, 냉기에 대한 불쾌감의 표시로 얼굴부위나 몸과 같이 직접적으로 냉기를 느낄 수 있는 풍향을 지양하였던 결과와 일치한다.

평균 피부온도를 살펴보면, 승용차 탑승시 맑은 날과 흐린 날의 평균 피부온도 차이는 1.6℃로 높게 나타났다. 맑은 날의 경우 인체의 열평형으로부터 피부를 통한 방열을 원활히 하기 위해 강한 냉풍이나 낮은 온도의 실내 급기를 조성하여 실내 열환경과 인체의 활발한 열교환을 위한 환경이 필요하다. 또한, 에어컨 가동 후 10분경 쾌적영역에 가까이 도달되므로, 생리반응 분석결과를 바탕으로 10분이 지난 후에는 에어컨 가동 상태를 낮은 레벨의 풍량으로 설정하거나 실내온도를 상승시킬 필요가 있다.

흐린 날의 경우 에어컨 가동 3분 후부터 쾌적영역에 도달하므로 냉기로 인한 운전자의 국소 불쾌감을 고려하여 풍향 조절시 피부에 직접적으로 닿지 않도록 설정하고, 지속적으로 평균 피부온도가 감소되어 쾌적영역 이하로 벗어날 우려가 있으므로, 에어컨의 정지나 환기모드로의 변화가 필요하다.

5. 결 론

본 연구는 여름철 승용차에 탑승시 에어컨 쾌적 작동 모드를 제시하기 위해 초기 실내온도 영향에 따른 운전자의 뇌파, 심전도, 평균 피부온도를 분석하여 생리반응을 평가 한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 일사량에 따른 승용차 실내 열환경 변화는 운전자의 생리반응에서 차이가 나타남으로 쾌적한 운전 환경 조성을 위해서는, 날씨에 따라 승용차 실내 에어컨의 작동 모드 변화가 필요하다.
- (2) 여름철 맑은 날 야외에 주차된 승용차에 탑승 후 에어컨 가동으로 운전자가 열적으로 쾌적하게 느끼는 생리반응 시간은 10분 동안이며, 평균 피부온도는 2.1℃ 하강되는 경우 생리적인 측면에서 쾌적하게 느끼는 것으로 나타났다.
- (3) 흐린 날의 경우 에어컨 가동시 운전자는 탑승 초기

Table 4 Change of the physiological response

Section	Time[h : mm]					
	0 : 00	0 : 05	0 : 10	0 : 15	0 : 20	
Sunny	α/β [%]	100	106.9 ↗	125.9 ↑	107.7 ↘	110.8 ↗
	LF/HF [-]	369.6	328.0 ↘	283.6 ↓	436.1 ↑	313.4 ↘
	MST [℃]	36.4	35.0	34.3	34.1	34.1
	α/β [%]	100	76.9 ↓	87.6 ↗	85.4 ↘	83.4 ↘
Cloudy	LF/HF [-]	251.3	279.6 ↗	386.4 ↗	450.3 ↑	396.9 ↘
	MST [℃]	34.8	33.7	33.5	33.2	33.2

10분간 냉기에 대한 쾌적감 감소와 열적 스트레스가 증가하는 경향을 보이므로, 외기도입을 통한 실내 냉방모드나, 송풍모드로 실내 기류를 조성하여 인체 피부와의 열교환을 원활히 함으로써 운전자의 쾌적감을 향상시킬 수 있다.

- (4) 차후 연구에서는 승용차 시뮬레이터를 이용한 실험이나, 실제 운전시 발생할 수 있는 다양한 변수가 고려된 상황에서, 본 연구를 통해 제시된 승용차용 에어컨 쾌적모드를 적용시킨 추가 연구가 필요하다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2015년)에 의하여 연구되었음.

References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea.
2. Seo, J. W., 2013, Numerical study on the assessment of inoor environmental quality in automotive cabin. Ph.D Thesis, Ajou University.
3. Seo, D. C. and Oh, P. K., 2003, A automobile air conditioning system computer simulation which uses CFD, Proceeding of SAREK, pp. 143-146.
4. Seo, J. W., Park, J. H., and Choi, Y. H., 2012, Evaluation of thermal comfort and cooldown performance inside automotive cabin according to air-conditioning vent location, Int. Transactions of KSAE, Vol. 20, No. 5, pp. 120-129.
5. Kim, B. S., Min, B. C., Kim, J. H., and Min, Y. K., 2011, Driving performance and Heart-rate change of middle-aged drivers in left-turn situation, Int. Journal of the Ergonomics Society of Korea, Vol. 30, No. 1, pp. 213-220.
6. Kim, Y. K., Yang, J. S., Baek, J. H., Kim, K. C., and Ji, H. S., 2010, Numerical analysis on the initial cooldown performance inside an automobile for the evaluation of passenger's thermal comfort, Int. Transactions of KSAE, Vol. 18, No. 5, pp. 115-123.
7. Hardy, J. D. and Dubois, E. F., 1938, The technique of measuring radiation and convection, Journal of Nutrition, Vol. 15, No. 5, pp. 461-475.
8. Kim, M. S., Kim, D. G., Lee, G. D., and Kum, J. S., 2014, Comfort control algorithm development of car air conditioner using thermal comfort evaluation of driver : Part I-Air-conditioning operating preference of driver, Int. Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 26, No. 6, pp. 294-300.