

운전자의 심리·생리 반응을 고려한 승용차 쾌적 난방 모드에 관한 연구

Research on the Thermal Comfort Heating Mode Considering Psychological and Physiological Response of Automobile Drivers

김민수(Min Soo Kim)¹, 금종수(Jong Soo Kum)¹, 박종일(Jong Il Park)², 김동규(Dong Gyu Kim)^{3*}

¹부경대학교 냉동공조공학과, ²동의대학교 건축설비공학과, ³부경대학교 기계조선융합공학과

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

²Department of Building Systems Engineering, Dong-Eui University, Busan, 47340, Republic of Korea

³Department of Mechanical & Shipbuilding Convergence Engineering, Pukyong National University, Busan, 48547, Republic of Korea

(Received January 11, 2018; revision received January 30, 2018; Accepted: February 5, 2018)

Abstract In this research, the psychological and physiological reactions of the driver were measured during winter to evaluate thermal comfort. The experiment was conducted using 3 different cases which are hot air heating, warm-wire seat heating and hot air & warm-wire seat heater operating simultaneously. With regard to psychological reaction, the warm-wire heating mode was the most preferred. The reason is that it is dry in other cases. With regard to EEG response, thermal comfort increased by 37% in warm air mode heating. In addition, when the warm-wire heating mode and the hot air & warm-wire heating mode were simultaneously operated, the thermal comfort continuously increased by between 17% and 20% for 20 minutes after boarding. Under the change of the autonomic nervous system, the thermal stress level increased by 23% after 15 minutes on board in the hot air heating mode and decreased continuously by 13% during the warm-wire seat heating mode. We recommended the hot air heating mode is only used for a short time to raise the inside temperature during the early boarding period and that warm-wire seat heating mode be actively utilized.

Key words Thermal comfort(온열 쾌적성), Electroencephalogram(뇌파), Electrocardiography(심전도), Psychology(심리), Physiology(생리), TSV(온열감), CSV(쾌적감)

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

기호설명

| | | | |
|-----|--------|-----|--------|
| EEG | : 뇌파 | HF | : 고주파대 |
| ECG | : 심전도 | clo | : 착의량 |
| LF | : 저주파대 | MET | : 활동량 |

1. 서론

사물의 인공지능화(AI : Artificial Intelligence)가 대두되면서 현재의 산업은 새로운 국면에 접어들고 있다. 이러한 산업화의 변화는 사회, 문화, 경제에 큰 영향을 미치고 있으며, 생활 문화의 변화도 가져다 줄 것이다.

자동차는 바퀴의 발명으로 시작하여, 증기기관의 실용화, 내연기관의 발달로 인해 기계적인 힘으로 움직일 수 있는 형태를 갖추게 되었다. 현재는 이동 수단으로써의 목적 뿐 만 아니라 자동차 내부의 IT기기와 연동하여 생활공간으로써의 역할도 충실히 수행되고 있다. 또한 자율주행 능력을 갖추게 됨으로써 산업 분야의 변화와 동시에 사용자들의 생활 문화에 대한 변화를 가져다 줄 것이다. 곧 다가오게 될 생활 패턴의 변화로부터 승용차 실내 환경에 대한 인식은 바뀌게 되어, 항상 접하고 있는 주거환경과 같이 승용차 내부 환경은 안락함과 쾌적성에 대한 사용자들의 요구를 만족시키기 위한 공조시스템은 필수 불가결한 요소로 자리 매김하게 될 것이다.

승용차의 실내 환경은 비공조시 실외 물리적 환경에 쉽게 노출되고, 실외 환경 변화에 따른 변화 양상이 뚜렷하게 나타나는 단점이 있다. 반면, 좁은 실내 공간으로 인해 공조 시에는 단시간에 적절한 실내 온도를 구현할 수 있는 장점이 있다. 그러므로, 겨울철 쾌적한 주거 공간에서 이동을 목적으로 외부에 주차된 승용차에 탑승 시 운전자는 추위로 인한 불편함을 느끼게 되고, 적절한 실내 온도가 유지될 때 까지 심리·정신적으로 불안한 상태에서 운전하게 된다. 운전 초기 운전자의 불안감은 교통사고 유발의 위험성을 가지게 되고, 운전 중 집중력을 저하시키게 된다. 따라서, 자동차 실내 열환경에 대한 연구와 공조시스템에 대한 연구는 지속적으로 수행되어 오고 있다.

Choi et al.^(1, 2)는 차 실내의 온열쾌적성을 수치해석적으로 평가하기 위해 태양광선 추적모형을 사용하여, 공조시스템 가동 20분 간 냉방시스템의 작동 모드와 작동 풍량, 인체 모델 탑승 조건에 대한 자동차 실내의 온열쾌적성을 평가하였다. 그 결과 적용된 변수 중에서 공조시스템의 풍량의 영향을 가장 크게 받는 것으로 나타났고, 작동모드에 따라 실내의 열환경에서 차이가 나타남을 확인하였다. 또한 실내 열환경과 온열쾌적성 지표는 서로 다른 감성영역에 속할 수 있다는 사실을 확인하였다. Choi and Park⁽³⁾은 자동차 실내 온도 21℃, 23℃, 25℃ 환경에서 평균피부온도와 심전도를 측정하여 운전자의 상태를 즉시 반영할 수 있는 수치적 모델 개발에 관한 연구를 수행하였다. Park and Kim⁽⁴⁾은 대중교통 수단으로 이용되는 저상버스를 대상으로 탑승자의 자리배치에 따른 냉방 및 난방 조건에 대해 인체의 쾌적성을 객실 내 열유동 특성을 고려하여 수치적으로 계산하여 평가하였다. 그 결과 덕트 취출구의 위치와 창문의 일사량, 태양의 위치는 인체의 열쾌적성에 영향을 미친다는 결론을 도출하였다. 자동차와 같은 수송기계에 관한 연구는 다양하게 진행되고 있으며, 수송기계의 실내 열환경 평가는 국제규격 ISO/DIS 14505⁽⁵⁾에 의해 실시되기도 한다.

본 연구는 겨울철 승용차 난방 시 운전자의 심리·생리적 반응을 주관 설문 응답과 뇌파, 심전도 반응을 실측하여 온열 쾌적성을 평가하였다. 겨울철 운전자 탑승 시 외부 환경 조건으로 낮은 실내 온도로 인한 운전자의 열적 불편함을 단시간에 해소시키기 위한 난방 모드를 제안하고, 안전운전과 편의성을 개선시킬 수 있는 승용차 실내 환경을 조성하기 위한 목적으로 연구를 진행하였다.

2. 본 론

2.1 피험자

본 실험에서 피험자는 운전 면허증을 소지한 20대 운전자를 대상으로 모집을 실시하였다. 모집 대상 중 지원자 40명에 대해 기본적인 신체검사 항목인 신장, 체중, 혈압, 맥박 등을 검사하여 건강상태를 확인하였고, 개인 면담을 통해 생활 주기 상태를 확인하고 약물을 미복용 중인 남·여 각 10명의 피험자를 선정하였다.

선정된 피험자들에게는 실험 종료 전까지 건강 상태나 신체 리듬을 유지하기 위해 무리한 운동이나 과로, 과식, 음주, 흡연, 약물복용 등을 금지하도록 권유하였다. 또한, 본 실험에 참여하기 전 최근의 개인 생활패턴을 조사하고, 실험참가 여부를 판별하기 위해 실험자와 연락이 가능하도록 하였고, 실험자는 수시로 피험자의 건강 상태를 확인하였다.

본 실험에 참가를 희망하는 피험자들에게는 실험에 관한 전반적인 내용 및 주의 사항을 설명하였고, 자발적으로 실험 동의를 작성토록 하였다. 또한, 실험 중 실험자는 피험자에게 외부 자극으로 인한 심리·정신적 불안감을 최소화시키기 위하여 최대한 안정적이고 편안한 상태로 응대하였다.

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

Table 1 Anthropometric data of the subjects

| | | Age [year] | Height [cm] | Weight [kg] | Body fat percentage [%] | Pulse [bpm] | Blood pressure [mmHg] |
|-------------------------------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------------------|----------------|------------------------------|
| Mean anthropometric dimension | Male | 20Years of age | 173.6±54.9 | 74±11.5 | 21±6.2 | 50~100 | 120/80 |
| | Female | 20Years of age | 160.9±52.2 | 55±8.6 | 29.6±4.5 | | |
| Male subjects | | 24.1±1.66 | 177.1±6.12 | 71.5±10.77 | 19.16±4.76 | 79.21±13.21 | 125.05/81.2 (±11.12/10.5) |
| Female subjects | | 23.2±2.57 | 160.5±3.66 | 54.1±5.51 | 27.99±4.67 | 86.06±9.69 | 109.89/76.74 (±6.67/8.47) |

2.2 실험방법

실험은 부산광역시 소재 부경대학교 용당캠퍼스에서 진행하였다. 외기온도가 다소 낮은 겨울 오전 시간대에 일사의 영향이 없고, 유동인구가 적은 그늘진 장소에서 실험을 실시하였다. 실험용 승용차는 국산 중형 승용차 중 은색 2,000 cc를 대상으로 하였다.

국내 보급용 승용차의 경우 난방 모드는 실내 공기의 온도를 조절하는 온풍난방 모드와 운전자의 신체 부위에 직접 난방 할 수 있는 열선시트 난방 모드가 대부분이다. 본 실험에서는 난방 모드 별로 온풍난방 모드, 열선시트 난방 모드, 온풍+열선 시트 난방 모드로 구분하여 3 Case를 실시하였다. 본 실험을 진행하는 동안 운전자의 심리반응을 평가하기 위해 주관 설문 응답을 실시하였으며, 생리반응에 대한 평가를 위해 뇌파와 심전도를 실시간으로 측정하였다.

Fig. 1에서는 실험 계통도를, Fig. 2에서는 실험 전경을 보여준다. Fig. 3에 실험 스케줄을 나타내었다.

피험자는 본 실험 전 설정온도 24°C인 재실 공간에서 현재 신체 상태에 대한 응답지를 작성하고, 실험자는 피험자의 기본 건강상태를 확인하도록 하였다. 인터뷰를 통하여 심리적 안정 상태를 재확인하였으며, 피험자의 신체·심리 상태를 파악한 후 실험 가능 여부를 판별한 후 생리신호 센서를 부착하였다. 30분 동안 피험자의 신체 부위에 뇌파와 심전도 센서를 부착한 후, 승용차 실내 온·습도 센서와 데이터 측정 장비가 정상적으로 작동하는지를 확인한 후 피험자를 야외에 주차된 실험용 승용차에 탑승하도록 하였다.

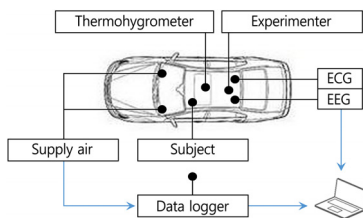


Fig. 1 Schematic diagram of experiment.



Fig. 2 Experimental view in case of heating.

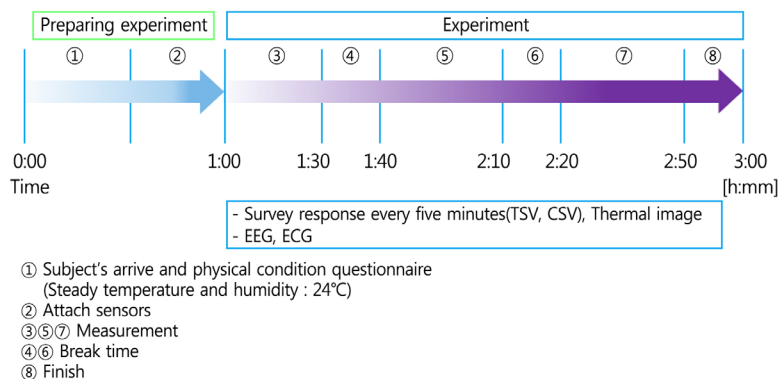


Fig. 3 Experimental procedure in case of heating.

Table 2 Experimental equipment in case of heating

| Section | Measuring equipment | Measuring model & type | Measurement data |
|-------------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|
| Environment | Data Logger | MV2000 | Data acquisition |
| | Thermohygrometer | TR-72U | Temperature & humidity |
| | Thermocouple | T-type | Supply air temperature |
| Physiology | EEG | PolyG-I | Electroencephalogram |
| | ECG | | Electrocardiogram |
| | Thermal image | FLIR i60 | Facial region surface temperature |

본 실험에서 온풍 모드는 실험 대기실 온도와 같은 24℃로 고정시키고, Auto 모드에서 진행하였다. Auto 모드는 주로 하부 취출부에서 급기되는 다리 부위의 하향 취출이며, 상부 취출부에서도 약풍의 급기가 수평 방향으로 취출된다. 상부 취출부에서 급기되는 기류로 인한 환경적 변수를 최소화시키기 위하여 취출구 방향은 피험자의 피부에 닿지 않는 운전석 외측으로 고정시켰다. 환기 모드는 외기도입이 가능하도록 ‘on’ 상태에서 실험을 진행하였다. 피험자에게는 실험 중 온풍 모드 설정에 대한 자율적 조작을 금지시켰고, 열선 시트 가동 시 열선으로 인한 열적 불쾌감이 유발될 경우 열선시트 온도 조절은 자율적으로 조작 가능하도록 하였다. 또한, 실험 중 불편한 사항이나 실험 중단을 자유롭게 신고할 수 있도록 하였다. 피험자들의 착의량은 1.1~1.3 clo 이며, 활동량은 운전석에 앉아 가벼운 움직임만 하는 상태이므로 1.1 MET로 가정하였다.

실험 Case별 30분간 본 실험이 진행되었으며, 뇌파와 심전도의 생리신호는 실시간으로 저장하였다. 실험 중에는 뇌파와 심전도의 생리신호 분석 시간을 고려하여 매 5분마다 주관 설문 응답을 실시하였고, 피험자의 안면부를 열화상 카메라를 사용하여 촬영하였다. 30분 실험 후 피험자의 경직된 신체 상태를 완화시키기 위해 10분의 휴식시간을 가졌고, 승용차 실내 환기를 위해 문을 개방시켰다.

Table 2에 실험 장비와 측정 요소를 나타내었다. 환경 측 요소와 인체 측 요소로 구분하였고, 환경 측 요소는 외기 온·습도, 승용차 실내 온·습도, 실내 급기 온도를 측정하였다. 인체 측 요소는 피험자의 생리 반응을 살펴보기 위해 뇌파와 심전도를 측정하였으며, 열화상 카메라를 이용하여 피험자 안면부의 피부온도를 측정하였다. 측정된 데이터는 각 실험 Case 간 상관관계를 분석하기 위하여 T-test를 실시하였다.

3. 실험결과

3.1 실험환경

Fig. 4에 실험 Case별 실내 온도 변화를 나타내었다. 온풍난방 모드 시 10분경부터 실내 온도는 24℃가 나타났고 10.7℃ 상승하였다. 열선시트 난방 모드는 17.3℃의 실내 온도를 보임으로써, 온풍난방 유·무에 따라 6.7℃의 실내 온도 차가 발생하였다. 따라서 열선시트 난방 모드는 온풍난방 모드 보다 실내의 낮은 온도로 인해 운전자의 추위 우려의 가능성이 확인되었다.

Fig. 5는 승용차 실내 난방 시 실내 상대습도를 보여준다. 온풍난방 모드와 온풍과 열선시트 난방 모드를 동시에 작동하였을 경우 상대습도는 21%를 나타내었고, 열선시트 난방 모드는 38%의 상대습도가 나타났다. 실내 온도 변화로 인해 상대습도에서도 온풍난방 유·무에 따라 17%의 상대습도 차가 발생하였고, 이는 온풍 난방 시 실내 온도 상승으로 인한 상대습도의 감소 때문으로 판단된다.

열선시트 난방 모드의 경우 실내 온도 변동은 2.4℃로 온풍난방 모드 보다 작은 온도 변화폭과 낮은 실내 온도, 높은 상대습도가 조성되어 승용차 실내 열환경에서 차이가 발생하므로, 온풍난방 모드와 심리·생리 반응을 비교하여 운전자의 온열 쾌적성을 평가하고 겨울철 쾌적한 승용차 실내 난방 모드 제안이 필요할 것으로 사료된다.

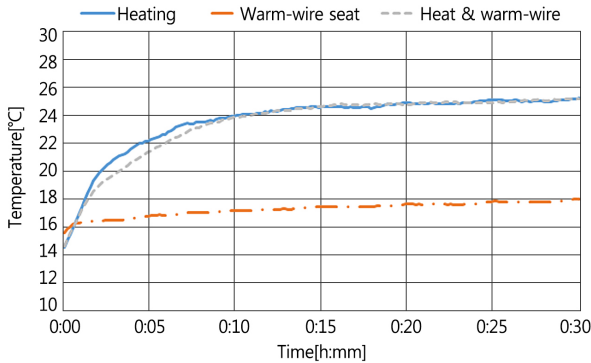


Fig. 4 Indoor temperature variation according to heating mode.

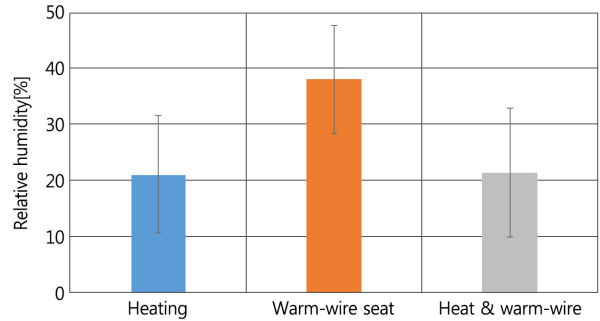


Fig. 5 Relative humidity.

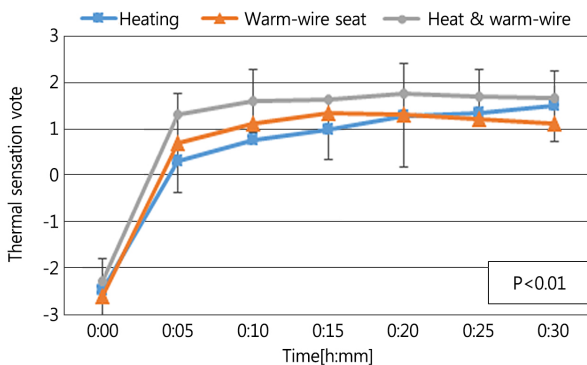


Fig. 6 Thermal sensation vote in case of heating.

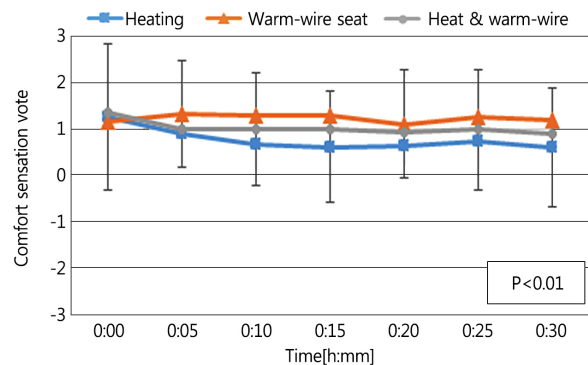


Fig. 7 Comfort sensation vote in case of heating.

3.2 심리반응

심리반응은 매 5분마다 주관설문 응답 시 온열감과 쾌적감에 대한 신고를 분석하였다. 온열감 신고는 Fig. 6, 쾌적감 신고는 Fig. 7과 같다.

실험 Case 별 온열감 신고에서 승용차 실내 난방 시 5분 이내에 모든 Case에서 중립 상태에 도달하였고, 온풍+열선시트 난방 모드 시 ‘덥다’는 신고가 가장 많이 확인되었다. 열선시트 난방 모드 시 실내의 낮은 온도로 인해 운전자의 ‘서늘함’에 대한 가능성은 온열감 신고에서 탑승 후 15분까지 온풍난방 모드 보다 높게 나타남으로써, 냉기에 대한 열적 불쾌감을 느끼지 못하는 것으로 확인되었다.

쾌적감 신고에서는 온풍난방 모드에서 가장 낮은 쾌적감을 보이고, 이는 온풍으로 인해 운전자 중 90%가 ‘건조하다’고 신고하였기 때문이다. 열선시트 난방 모드의 경우 온풍난방 모드 보다 높은 쾌적감 신고가 나타났고, 승용차 실내 환경의 건조한 특성이 열적인 심리적 반응에 의해 온열 쾌적성에 영향을 미친다는 사실을 확인할 수 있다. 따라서, 겨울철 승용차 실내 쾌적성을 높이기 위해서는 열적 조건뿐만 아니라 습도 조절이나 외기 도입을 통한 실내 환기가 필요할 것으로 사료된다.

주관설문 응답을 이용한 심리반응 분석 결과, 열선시트 난방 모드를 온열감과 쾌적감에서 가장 선호한다는 사실을 확인하였다. 열선시트 난방 모드의 경우 인체 접촉 부위를 직접 가열하는 국부 난방 방식이므로, 실내 공기온도와 습도, 기류 등 인체 주위의 물리적 환경을 대상으로 쾌적성을 평가하는 기존의 온열지표와는 구분하여 온열 쾌적성 평가 시 심리적 요소가 적용된 항목이 필요할 것으로 판단된다.

3.3 생리반응

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 구분되며, 파워스펙트럼 분석기법을 이용하였다. 뇌파의 파형 중에서 알파파는 긴장 이완과 같은 편안한 상태에서 주로 나타나고, 안정·편안한 상태일수록 진폭은 증가한다. 베타파는 의식적인 활동을 할 때 나타나며, 특히 불안한 상태나 긴장 시에 우세하게 나타난다.

심전도는 R-R 간격의 변화를 분석함으로써 자율신경계를 구성하는 교감신경계와 부교감 신경계의 활성양상을 통해 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.⁽⁶⁾

실험결과 분석을 위해 뇌파 및 자율신경계 변화율을 이용하였다. 각 변화율에 대한 정의는 식(1), 식(2)와 같다.⁽⁷⁾

$$\text{Rate of change } \alpha/\beta = \frac{\text{Over time } \alpha/\beta}{\text{Initial } \alpha/\beta} \times 100[\%] \quad (1)$$

$$\text{Rate of change } LF/HF = \frac{\text{Over time } LF/HF}{\text{Initial } LF/HF} \times 100[\%] \quad (2)$$

승용차 실내 난방 모드 별 뇌파 반응의 변화율을 Fig. 8에 나타내었고, Fig. 9에서는 심전도 반응에서의 자율신경계 변화율을 보여준다.

뇌파 반응에서 온풍모드 난방 시 실험 시작 15분 후 실내 온도상승으로 인해 열적 편안함은 37% 증가하였으나, 20분경에는 10% 감소하였다. 열선시트 난방 모드와 온풍+열선시트 난방 모드의 경우 탑승 초기 이후 지속적으로 증가하는 경향이 나타났고, 20분간 열적 편안함이 17%와 20% 상승하였다.

자율신경계 반응에서 온풍난방 모드 시 실험 시작 15분 후 열적 스트레스는 23% 증가하였고, 온풍+열선시트 난방 모드에서는 15분 동안 5% 감소하였으나, 20분 경 탑승 시에 비해 23% 상승하였다. 열선시트 난방 모드는 실험 시작 15분 동안 13% 스트레스가 감소하였고, 20분까지 19% 스트레스가 감소되어 스트레스가 지속적으로 감소되는 경향이 나타났다.

뇌파 변화율과 자율신경계 변화율로부터 편안함 감소와 스트레스 상승 요인은 심리반응 결과에서 확인된 온풍난방 시 실내 상대습도 감소의 영향이 생리 반응에도 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다. 따라서, 겨울철 승용차 실내 난방 시 온풍난방 모드는 단시간에 실내 온도를 상승시키는 효과를 얻기 위해 가동시킬 수 있으나, 실내의 건조함으로 인해 운전자에게 불편감을 유발함으로써 15분 이내에 작동을 정지시키거나 자제할 필요가 있다. 열선시트 모드 난방 시 뇌파와 자율신경계 반응으로 탑승 후 20분간 편안함 상승과 스트레스 감소 상태가 유지되었다. 따라서, 열선시트 난방은 운전자를 안정된 상태로 20분간 유지시켰고, 쾌적 난방 모드으로써 적극적으로 활용 가능할 것으로 판단한다.

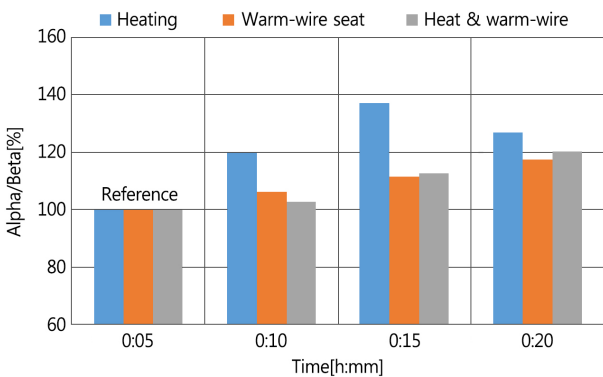


Fig. 8 Electroencephalogram in case of heating.

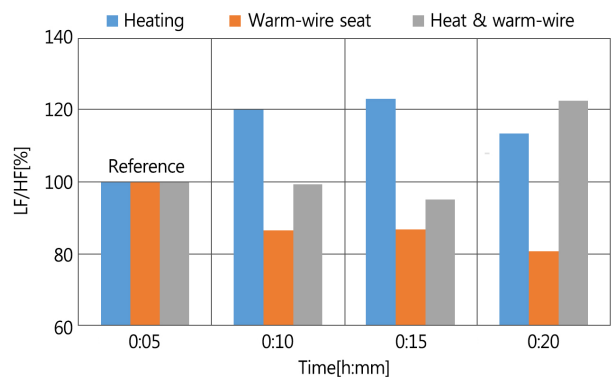


Fig. 9 Changes in autonomic nervous system in case of heating.

Table 3 Thermal image in case of heating

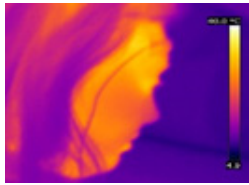
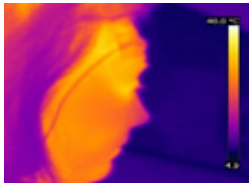
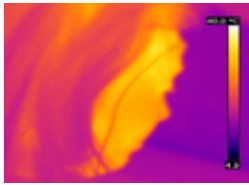
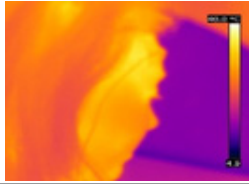
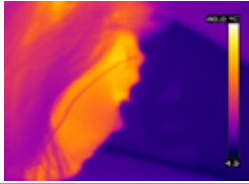
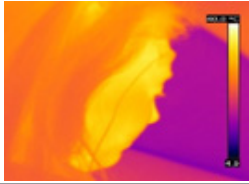
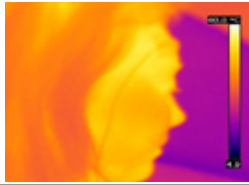
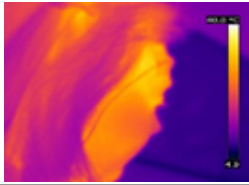
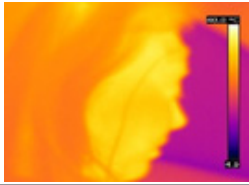
| | | Heating[°C] | Warm-wire seat[°C] | Heating and Warm-wire[°C] |
|------------------|------|---|--|---|
| Time [h : mm] | 0:00 |  24.5 |  25.7 |  29.0 |
| | 0:10 |  28.0 |  24.4 |  31.3 |
| | 0:20 |  29.6 |  24.4 |  32.1 |

Table 3은 매 10분마다 운전자의 안면부를 열화상 카메라로 촬영한 사진을 보여준다.

온풍난방으로 인한 실내 온도 상승으로 온풍난방 모드와 온풍+열선시트 난방 모드에서 얼굴 피부온도가 상승되는 상태를 육안으로도 확인 가능하다. 열선시트 난방 모드에서 얼굴 피부온도는 탑승 시 25.7°C를 시작으로, 10분 경 24.4°C로 감소되었으나, 이후 유지된 상태를 확인할 수 있다. 이는 추위로 인해 탑승 초기 안면부 발열에 의한 생리적 반응이고, 시간이 지남에 따라 생리적 반응이 안정된 상태에 도달하는 신체 반응 때문이다. 열화상 촬영에 의한 안면부 피부온도 변화로부터 온풍난방 모드는 실내 온도 상승으로 인한 피부온도 상승을 목적으로 가동시키고, 열선 시트 난방은 심리적 쾌적감과 인체 항상성 유지를 위한 목적으로 가동시킨다면, 운전자의 온열·쾌적감을 극대화 시킬 수 있을 것으로 판단한다.

4. 논 의

승용차 실내 난방 모드는 온풍난방 모드와 열선시트 난방 모드로 구분된다. 본 연구에서는 온풍난방 모드, 열선시트 난방 모드, 온풍과 열선시트를 동시에 작동시키는 온풍+열선시트 난방 모드 총 3 Case에 대한 실험을 진행하여 운전자의 심리·생리 반응을 살펴보았다. 온풍난방 모드의 장점은 실내에 열을 공급하여 실내 온도를 단시간에 상승시킬 수 있으며, 열선시트 난방 모드의 장점은 인체 접촉면에 직접 가열하여 단시간에 열적 쾌적감을 높일 수 있다는 사실을 확인하였다.

실내 온도 변화로부터 열선시트 난방 모드는 실내의 낮은 온도로 인해 서늘하거나 추위에 대한 우려가 예상되었으나, 결과적으로 온열감 신고로부터 온풍난방 모드와 유사한 경향이 나타났다. 운전자의 주관적 요소인 심리반응 결과에서 온열감은 난방 모드별로 확인한 차이가 관찰되지 않았으나, 온풍난방 모드에서 운전자들은 대부분 실내 공기가 ‘건조하다’는 신고를 하였다. 이러한 신고는 쾌적감 신고에 영향을 미침으로써 열선시트 난방 모드는 온풍난방 모드에서 보다 높은 쾌적감 신고를 확인할 수 있다.

또한, 기존의 온열 쾌적 지표는 실내의 온도, 습도, 기류 등 물리적 환경 요소를 고려하여 온열 쾌적성을 평가하지만, 열선시트 난방 모드와 같이 인체 접촉부위에 직접적으로 온열감을 유발시키는 경우 심리적 반응에

의해 온열감을 만족시키므로 심리적 반응 또한 온열 평가지표에 포함되어야 한다. 따라서 승용차와 같이 실내 환경과 온도변동, 외부 환경과 자극에 민감한 경우에는 주관설문을 이용한 운전자의 심리반응을 쾌적성 평가 시 고려해야 한다.

생리반응에서 온풍난방 모드는 뇌파 변화율에서 탑승 15분 후 37% 편안함이 상승되는 효과가 나타났고, 열선시트 난방 모드는 11%, 온풍+열선시트 난방 모드는 12% 편안함이 상승되는 효과를 확인할 수 있었다. 이는 실내 난방 모드 가동은 탑승 시 추위에 대한 불쾌감을 해소시킬 수 있으며, 온풍난방 모드는 단시간에 효과가 나타날 수 있음을 의미한다.

실내 난방 모드 작동 시 건조함으로 인한 불쾌감은 생리반응 중 심전도의 자율신경계 반응으로부터 뚜렷한 경향을 확인할 수 있다. 온풍난방 모드는 탑승 시에 비하여 탑승 15분 후 23% 스트레스가 증가하였고, 열선시트 난방 모드는 13% 스트레스가 감소하고, 온풍+열선시트 난방 모드는 5% 스트레스가 감소하였다. 온풍난방 가동 시 스트레스의 지속적인 증가는 심리반응의 결과와 같이 건조한 실내 공기가 원인으로 판단된다.

결과적으로 승용차 실내 난방 모드 작동 시 심리·생리 반응의 변화 시점은 15분으로 나타났으며, 탑승 시 15분 내에 난방 모드 변화를 통한 쾌적감 상승이 필요할 것으로 사료된다. 승용차 실내 난방 시 쾌적 난방 모드는 열선 시트 난방을 적극적으로 활용하고, 단시간에 실내 온도를 상승시키기 위해서는 온풍난방 모드를 권장하며, 온풍난방 시 15분 이상 사용을 자제하면 겨울철 쾌적한 승용차 실내 환경이 조성될 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구는 겨울철 운전자의 열적 불쾌감을 단시간에 해소시키기 위해 승용차 실내 난방 시 쾌적 난방 모드를 제안하고자 주관설문을 이용한 심리반응과 뇌파와 심전도의 생리신호를 이용한 생리반응을 근거로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 승용차 실내 난방 시 온풍난방 유·무에 따라 실내 평균 온도는 6.7℃의 차이가 발생하였으며, 온풍난방과 열선시트 난방 시 실내 온도 변화 폭은 8.3℃로 다른 경향을 보임으로써 난방 모드 별 열적 쾌적성을 비교, 평가할 필요가 있다.
- (2) 주관설문 응답을 통한 심리반응에서 난방 모드 선호도는 운전자의 온열감과 쾌적감 평가 시 온풍난방 모드로 인해 운전자 중 90%가 ‘건조하다’고 신고하였고, 온열감 보다 쾌적감에 더 민감한 반응을 보임으로써 열선시트 난방 모드를 가장 선호하였다.
- (3) 생리반응 중 뇌파 반응에서 온풍모드 난방 시 열적 편안함은 37% 증가하였고, 열선시트 난방 모드와 온풍+열선시트 난방 모드의 경우 탑승 초기 이후 20분간 17%와 20% 열적 편안함은 지속적으로 증가하는 경향이 나타났다. 이로써 추위로 인한 열적 불쾌감의 단시간 해소는 온풍난방 효과가 가장 크다.
- (4) 자율신경계 변화에서 온풍난방 모드 시 탑승 15분 후 열적 스트레스는 23% 증가하였고, 열선 시트 난방 모드 시 열적 스트레스는 13% 지속적으로 감소하였다. 생리반응의 결과로 온풍난방 모드는 탑승 초기 실내 온도 상승을 위해 단시간(10분 이내) 사용하고, 열선시트 난방 모드를 적극적으로 활용한다면 겨울철 승용차 운전자의 온열 쾌적성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.
- (5) 인체의 생리적 반응에서 온열감에 대한 생리반응은 뇌파변화에서 경향이 일치하고, 건조함에 대한 생리적 반응은 심전도의 자율신경계 변화에서 일치하는 경향이 나타났다.

후 기

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

References

1. Park, K. S., Seo, J. W., Choi, Y. H., Song, B. H., and Kim, Y. S., 2013, Numerical Study on Correlation between Thermal Environment and Thermal Comfort Index inside Automotive Cabin, Korean Society of Computational Fluids

- Engineering, pp. 84-90.
2. Yoon, S. H., Park, J. Y., Son, D. Y., Choi, Y. H., and Park, K. S., 2014, A Numerical Study of Automotive Indoor Thermal Comfort Model According to Boarding Conditions and Parameters Related to HVAC, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A, Vol. 38, No. 9, pp. 979-988.
 3. Choi, S. J. and Park, K. S., 1998, Development of the Index to Estimate Thermal Comfort in the Driving Room of Motorcar, Ergonomics Society of Korea, pp. 188-193.
 4. Park, W. G. and Kim, M. H., 2008, Evaluation of Thermal Comfort in a Low Floor Bus, The Korean Society of Automotive Engineers, pp. 980-985.
 5. International Organization for Standardization, 2007, Ergonomics of the thermal environment-Evaluation of thermal environments in vehicles.
 6. Kim, M. S., Kim, D. G., Park, J. I., and Kum, J. S., 2016, Comfort Control Algorithm Development of Car Air Conditioner using Thermal Comfort Evaluation of The Driver : Part II-Physiological Response of Driver, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 28, No. 6, pp. 217-223.
 7. Kim, M. S., 2017, Research on Evaluation & Application of Thermal Comfort Sensibility Considering Psychological and Physiological Response of Automobile Drivers, Ph.D. thesis, Pukyong National University, Pusan, Korea.