



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](#)

공 학 박 사 학 위 논 문

자동차 운전자의 심리 · 생리반응을 고려한
온열감성 평가 및 적용에 관한 연구



2017년 8월

부경대학교 대학원

냉동공조공학과

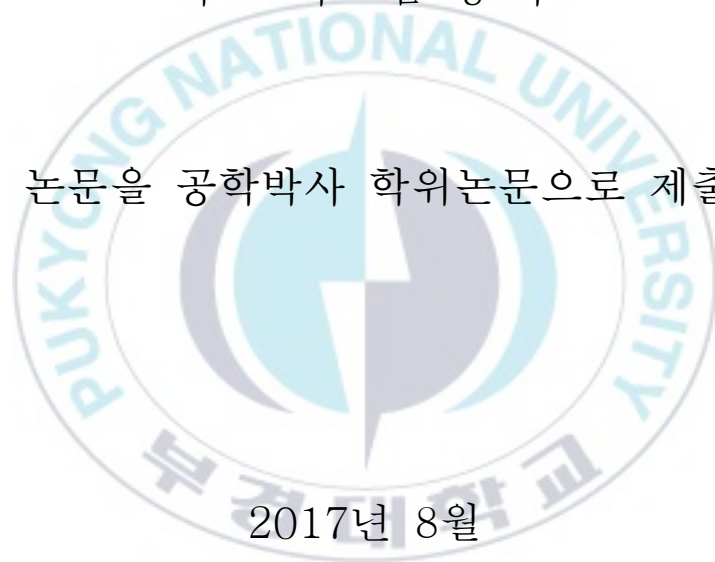
김 민 수

공 학 박 사 학 위 논 문

자동차 운전자의 심리 · 생리반응을 고려한
온열감성 평가 및 적용에 관한 연구

지도교수 금 중 수

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함.



2017년 8월

부경대학교 대학원

냉동공조공학과

김 민 수

김민수의 공학박사 학위논문을 인준함.

2017년 8월 25일

위 원 장 공학박사 김 종 수 (인)

위 원 공학박사 박 종 일 (인)

위 원 공학박사 정 석 권 (인)

위 원 공학박사 김 동 규 (인)

위 원 공학박사 금 종 수 (인)

목 차

List of figures	v
List of tables	ix
Nomenclature	xi
Abstract	xiv
제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적	5
1.3 선행 연구	8
1.4 연구범위 및 구성	16
제 2 장 승용차 실내 열환경 특성과 온열감성 분석	21
2.1 승용차 공조시스템의 구성과 실내 열환경 특성	21
2.1.1 승용차 공조시스템의 구성	21
2.1.2 승용차 실내 열환경 특성	25
2.2 온열감성 지표	31
2.2.1 온열환경 지표	31
2.2.2 주관적 심리반응 지표	39

2.2.3 객관적 생리반응 지표	42
2.3 온열감성 평가 프로토콜	56
제 3 장 승용차 실내 냉방 시 운전자 온열감성 평가	60
3.1 연구개요	60
3.2 여름철 승용차 실내 열환경	63
3.3 온열감성 평가	72
3.3.1 피험자 선정	72
3.3.2 실험 스케줄	74
3.3.3 실험 환경	77
3.4 실험결과	83
3.4.1 심리반응	83
3.4.2 생리반응	91
3.5 고찰	99
3.6 요약	105
제 4 장 승용차 실내 난방 시 운전자 온열감성 평가	107
4.1 연구개요	107
4.2 겨울철 승용차 실내 열환경	108
4.3 온열감성 평가	111

4.3.1 피험자 선정	111
4.3.2 실험 스케줄	112
4.3.3 실험 환경	116
4.4 실험결과	118
4.4.1 심리반응	118
4.4.2 생리반응	123
4.5 고찰	126
4.6 요약	129
제 5 장 승용차 실내 환기 시 운전자 송풍 효과	131
5.1 연구개요	131
5.2 온열감성 평가	134
5.2.1 피험자 선정	134
5.2.2 실험 스케줄	136
5.2.3 실험 환경	141
5.3 실험결과	142
5.3.1 뇌 파	142
5.3.2 심전도	145
5.4 고찰	149
5.5 요약	152

제 6 장 감성 쾌적 공조운전 프로세스	154
-----------------------------	-----

제 7 장 결 론	162
-----------------	-----

부 록	165
-----------	-----

참 고 문 헌	190
---------------	-----

감사의 글	199
-------------	-----



List of figures

Fig. 1.1 Scope of research	17
Fig. 1.2 Thesis organization	20
Fig. 2.1 Schematic diagram of automobile HVAC	22
Fig. 2.2 Temperature control sensor for automobile	24
Fig. 2.3 Thermal image according to irradiation	26
Fig. 2.4 Heat transfer environment in automobile cabin	27
Fig. 2.5 Comparison of cooling load on building and automobile ..	29
Fig. 2.6 Effective temperature	33
Fig. 2.7 PMV and PPD index	36
Fig. 2.8 Neuron	43
Fig. 2.9 Action potential	43
Fig. 2.10 EEG generation	44
Fig. 2.11 Sticking position of EEG electrode	46
Fig. 2.12 RRV tachogram	49
Fig. 2.13 Process of physiological signal analysis	50
Fig. 2.14 Factors and responses of thermal comfort sensation	57
Fig. 2.15 Process of the analysis of thermal comfort	58

Fig. 3.1 Measurement points of indoor and ambient temperature ...	64
Fig. 3.2 Measurement points of the surface of automobile	64
Fig. 3.3 Process of experiment schedule	67
Fig. 3.4 Indoor mean temperatures at each interior positions in case of cooling	70
Fig. 3.5 Indoor mean temperatures at each boarding seats in case of cooling	70
Fig. 3.6 Experimental procedure in case of cooling	75
Fig. 3.7 Schematic diagram of experiment	75
Fig. 3.8 Indoor temperature variation in the automobile	79
Fig. 3.9 Supply temperature variation in the automobile	79
Fig. 3.10 Thermal sensation vote in case of cooling	84
Fig. 3.11 Comfort sensation vote in case of cooling	84
Fig. 3.12 Standard new effective temperature in case of cooling ..	86
Fig. 3.13 Electroencephalogram in case of cooling	92
Fig. 3.14 Changes in autonomic nervous system in case of cooling ..	95
Fig. 3.15 Mean skin temperature	96
Fig. 3.16 Mean skin temperature regression equation of indoor temperature	97
Fig. 3.17 Thermal comfort evaluation of driver in case of cooling ...	104

Fig. 4.1 Indoor mean temperature at each interior positions in case of heating	109
Fig. 4.2 Indoor mean temperature at each boarding seats in case of heating	109
Fig. 4.3 Experimental procedure in case of heating	114
Fig. 4.4 Experimental view in case of heating	115
Fig. 4.5 Indoor temperature variation according to heating mode ..	117
Fig. 4.6 Thermal sensation vote in case of heating	119
Fig. 4.7 Comfort sensation vote in case of heating	119
Fig. 4.8 Standard new effective temperature in case of heating ..	120
Fig. 4.9 Electroencephalogram in case of heating	124
Fig. 4.10 Changes in autonomic nervous system in case of heating ...	124
Fig. 4.11 Thermal comfort evaluation of driver in case of heating ...	128
Fig. 5.1 Experimental procedure in case of ventilation	137
Fig. 5.2 Schematic diagram of experimental equipment	137
Fig. 5.3 Experimental view in case of ventilation	140
Fig. 5.4 Environmental condition of chamber room	141
Fig. 5.5 α/β wave	143
Fig. 5.6 Relative Θ wave	145
Fig. 5.7 Mean R-R intervals	146

Fig. 5.8 Changes in autonomic nervous system in case of ventilation ...	148
Fig. 6.1 Diagram of thermal comfort sensibility evaluation for driver ...	157
Fig. 6.2 Process of thermal comfort sensation for HVAC system in case of cooling at automobile	159
Fig. 6.3 Process of thermal comfort sensation for HVAC system in case of heating at automobile	161
Fig. A.1 Operative comfort temperature function of clothing and activity ...	174



List of tables

Table 2.1 Thermal comfort index	38
Table 2.2 Scale of TSV and CSV	41
Table 2.3 Equations to estimate mean skin temperature	53
Table 3.1 Specification of test automobile	63
Table 3.2 Measurement points at the outdoor location	66
Table 3.3 Measurement points at the indoor location	67
Table 3.4 Temperature change according to solar intensity	69
Table 3.5 Anthropometric data of the subjects in case of cooling ...	73
Table 3.6 Experimental equipment in case of cooling	76
Table 3.7 Environmental climate of ambient	78
Table 3.8 Air volume of supply diffuser	82
Table 3.9 Preference rate of air volume	87
Table 3.10 Preference rate of air direction	88
Table 3.11 Thermal image in case of cooling	90
Table 3.12 Preference of air conditioner controller in automobile ..	100
Table 4.1 Temperature change of day	108
Table 4.2 Anthropometric data of the subjects in case of heating ...	112

Table 4.3 Experimental equipment in case of heating	115
Table 4.4 Thermal image in case of heating	122
Table 5.1 Anthropometric data of the subjects in case of ventilation ...	135
Table 5.2 Experimental equipment in case of ventilation	139
Table A.1 Typical metabolic heat generation for various activities ..	170
Table A.2 Garment insulation values	173



Nomenclature

Symbols

A	skin surface area of human body	$[m^2]$
c	specific heat	$[kJ/(kg \cdot K)]$
C	convection heat loss	$[W/(m^2 \cdot K)]$
Cl_o	clothing	$[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$
DBT	dry-bulb temperature	$[^\circ C]$
E	evaporative heat loss from skin	$[W/m^2]$
f	clothing area factor	$[-]$
H	height	$[m]$
h	heat transfer coefficient	$[W/(m^2 \cdot K)]$
i_m	mass to heat transfer property for clothing and air layer combined	$[-]$
L	thermal load on body	$[W/m^2]$
LR	Lewis relation coefficient	$[K/kPa]$
m	mass	$[kg]$
$\dot{m}$	mass flow	$[kg/(s \cdot m^2)]$
M	metabolic heat production	$[W/m^2]$
MRT	mean radiant temperature	$[^\circ C]$
p	water vapor pressure	$[kPa]$
P	probability	$[-]$
PMV	predicted mean vote	$[-]$
PPD	predicted percent dissatisfied	$[\%]$
Q	quantity of heat	$[W]$

Q	heat dissipation	$[W/m^2]$
R	thermal resistance	$[(m^2 \cdot K)/W]$
R	radiative heat loss from skin	$[W/m^2]$
S	heat storage	$[W/m^2]$
SET^*	standard new effective temperature	$[^\circ C]$
τ	time	$[s]$
t	temperature	$[^\circ C]$
$\bar{t}$	mean temperature	$[^\circ C]$
V	air velocity	$[m/s]$
W	external work accomplished	$[W/m^2]$
W	humidity ratio of air	$[kg/kg']$
WBT	wet-bulb temperature	$[^\circ C]$
w	skin wettedness	$[-]$

Subscript

a	ambient air
$conv$	convection
$cond$	conduction
cl	clothing
clo	clothing
cr	body core
$diff$	due to moisture diffusion through skin
e	evaporation
es	evaporative at surface

<i>ex</i>	exhaled air
<i>fg</i>	vaporization of water
<i>i</i>	indoor surface
max	maximum
<i>o</i>	operative
<i>pa</i>	pressure of air
<i>r</i>	radiation
<i>res</i>	respiration
<i>rsw</i>	regulatory sweat
<i>s</i>	surface
<i>so</i>	standard operative
<i>sk</i>	skin



Research on Evaluation & Application of Thermal Comfort Sensibility
Considering Psychological and Physiological Response
of Automobile Drivers

Kim Min Soo

Department of Refrigeration and Air Conditioning Engineering,
The Graduate School, Pukyong National University

Abstract

Automobiles, which can be called the result of technological integration, need more comfortable and practical improvements with the development of technology. Humans are demanding for more comfort and convenience in automobile, and want to apply new technologies in air-conditioning system. This paper presents evaluation data of psychological and physiological response and application for comfortable sensibility air conditioning system that can satisfy human needs and futuristic air conditioning system for automobiles.

In the preliminary research, the thermal comfort index has been using standardized PMV indices for decades with a focus on physical environmental factors. This is a pleasant indicator based on the numerical thermal equilibrium model, assuming that people will feel comfortable when the thermal elements of the human body and the surrounding thermal elements are in equilibrium. This index can be judged as an index reflecting the psychological factor through the experiment of the subject and the subjective factor as well. However, in the preliminary research, the comfort of the occupant changed as the air conditioning condition changed within the same PMV variation range. Based on these research data, it is necessary to take an index that considers the physiological response of the human body.

In this paper, we investigate the subjective human psychological responses such as the subjective questionnaire on the thermal comfort of the car, and the

preference of the air conditioning system operating mode. Experiments were carried out on physiological responses such as brain waves, electrocardiogram, and skin temperature. Based on the results of psychological reaction and physiological response, we tried to evaluate the thermal comfort by the pleasantness evaluation index. And this paper not only evaluated comfort by the solar radiation and temperature conditions but also studied to prevent driving drowsiness due to CO₂ in the car. We quantitatively evaluated the driver's objective psychological and physiological responses to the ventilation airflow of the air-conditioning system to demonstrate the arousal effect.

According to the results, the cold air of the air conditioner needs to be adjusted according to the solar radiation by the physiological response of the driver during the air conditioning of the automobile in the first 15 minutes of driving, on sunny day increased by 17% of the comfort and decreased by 23% of the thermal stress, on cloudy day decreased by 19% of the comfort, and increased by 54% of the thermal stress. For 20 minutes after boarding the driver, comfort in the physiological response by heating mode in the heating, warm-wire seat and heating & warm-wire seat mode rose by 27%, 17% and 20%. But the thermal stresses increased by 14% and 23% in heating, heating & warm-wire seat mode. However as the thermal stresses decreased by 19% in warm-wire seat mode, as a result active use of heating of warm-wire seat is required. In the drowsing state of the driver, when the wind stimulation was applied to the driver's face under the conditions of the air-blowing temperature of 21°C and the air velocity of 6m/s to 7m/s, In EEG changes the α/β decreased by 52.9% and as a result it was confirmed that tension was induced.

In this paper, we derive the thermal convert index based on the psychological and physiological variables and evaluate the driver's warm sensation. And suggest a sensible air-conditioning operation method to create a pleasant and safe driver-centered indoor heat environment. And it can contribute to the development of a pleasant sensibility air conditioning system by applying human emotional factors in the design of futuristic automobile air conditioning systems such as self-driving car.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

21세기 현재 산업혁명의 변화로 3차 산업혁명을 거쳐 로봇이나 컴퓨터의 인공지능인 AI(Artificial Intelligence)를 통한 현실과 가상이 통합된 가상 물리 시스템의 구축이 기대되는 산업상의 변화 시대인 가칭 4차 산업혁명 시대에 접어들고 있다.

4차 산업혁명이란 새로운 패러다임(paradigm)으로 인하여 현재 자동차는 자율주행차(self-driving car)와 커넥티드카(connected car)로서 자동차의 현재진행형 또는 미래형으로 대표된다. 자율주행차는 인간의 기계적인 조작 활동에 제약을 받지 않고 자율적으로 주행하는 자동차이며, 커넥티드카는 인터넷과 모바일 기기를 자동차와 연결된 자동차로서 주행 상태나, 교통정보, 생활정보 등을 제공해 준다.

자율주행 자동차와 커넥티드카의 개발로 인해 자동차는 단순한 이동 수단의 개념에서 업무 수행이나 개인 활동 등 복합적인 활동이 가능한 생활공간의 개념으로 그 범위는 확장될 것이다. 인간이 생활하는 공간은 기본적으로 적절한 온도와 습도를 요구하며, 공기질과 함께 쾌적성을 동시에 요구하게 된다. 이러한 생활공간의 확장과 쾌적한 실내 공간에는 쾌적한

공조시스템을 필요로 하게 된다. 따라서, 현재 승용차의 공조시스템은 단순히 온·습도 조절 기능에 중점을 둔 기계적 공조시스템에서 인간의 쾌적성까지도 고려하는 지능형 공조시스템으로의 변화가 필요하다.

기계적 공조시스템은 일사의 유무, 실내·외 온도 변화, 상대습도 변화 등 외부의 물리적 요소를 측정하여 공기의 흡입구, 토출구, 토출온도, 풍량, 압축기의 운전 상태 등을 자동화시킴으로써 실내 온도가 설정온도로 일정하게 유지하게 되어 쾌적한 실내 환경을 조성하는 것이다. 반면 지능형 공조시스템이란 쾌적한 실내 환경을 조성하기 위한 대상인 인간의 쾌적 감성을 고려한 공조시스템으로 ‘덥다’, ‘춥다’, ‘쾌적하다’, ‘불쾌하다’ 등 심리적인 반응에 즉각적으로 대응할 수 있는 실내 환경 조절 시스템이다. 따라서, 인간 중심의 공조시스템으로 인체 온열 쾌적성에 대한 인체의 심리적인 반응에 대한 평가는 필수 요소이다. 이러한 인체의 심리적 반응은 주관적인 평가 요소이며, 객관적인 평가 방법 또한 필요하다.

현재 온열환경 지표에는 Fanger, P Ole¹⁾가 1,300명 이상의 운전자를 대상으로 실험한 결과 값을 근거로 제안한 PMV(Predicted Mean Vote) 지표를 많이 사용하고 있는 실정이고, 이는 1984년 ISO 7730²⁾에 등록된 규격이다. PPD(Predicted Percent Dissatisfaction) 지표는 동일 환경에 노출된 많은 사람들의 온열감에 의한 의사 표시의 평균값을 예측하는 것으로 열적으로 불만족한 사람들의 숫자를 정량적으로 예측가능한 지표이다. 하지만, 이 지표들은 실내 열환경에서 물리적 요소들이 정상상태일

때 사용가능한 열 쾌적성 모델이고, 승용차와 같이 좁은 공간에서 온도 변화가 심하며, 외부에 노출된 환경에서는 적용에 어려움이 있다. 따라서, 자동차와 같은 수송기계의 실내 열환경을 평가하기 위한 국제규격 (ISO/DIS 14505)으로 “Evaluation of thermal environment in vehicles”³⁾가 제안되었다.

ISO 144505-1은 육상, 해상 및 항공 운항에 사용되는 차량 내부의 열적 스트레스 평가 지침을 제공하며, 국제 표준 규격에 명시된 여러 가지 방법을 참조하여 차량 기후 평가 시 특수한 경우에 필요한 제약 사항과 필요한 조정 사항을 지정함으로써 덥고, 추운 곳에서의 온열 환경 평가에 대한 정보를 제공한다.

ISO 144505-2는 차량 내부의 각 구획별 열환경을 평가하기 위한 지침으로, 불균일한 기후 조건의 한정된 공간에서 적용 가능하며, 열적 중립 상태에서 편차가 적은 열환경 상태를 평가하기 위한 지침이다. 또한 차량과 유사한 실내 공간에서 HVAC(Heating, Ventilation and Air Conditioning) 시스템 성능 시험을 위한 표준이다.

ISO 144505-3은 운전자를 이용한 차량의 열 쾌적성을 평가하는 표준 시험 방법에 관한 규정으로, 특정 차량에만 한정되지 않고, 자동차, 버스, 트럭, 기차, 항공, 선박, 잠수함 등 모든 유형의 차량에 적용 가능하다. 하지만, 이러한 규정은 여러 종류의 써멀마네킨(thermal manikin)과 운전자를 이용한 실험값을 근거로 열 쾌적성을 평가함으로써, 등가온도로 정의

된 수치적 인체 열평형식이다.

이러한 국제규격에 정의된 인체 열평형에 대한 온열 지표는 인체의 온열감에 영향을 미치는 물리적 인자들의 영향을 종합적으로 평가할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 평가 시 활용되는 물리적 인자는 온도, 습도, 기류, 복사, 활동량, 의복량에 대한 온열환경 6요소이며, 실내 환경의 변동이 없는 정상상태일수록 정확한 평가가 가능하게 된다. 하지만, 주위의 환경조건에 따른 실내 열환경에 중점을 두고 있기 때문에 인체의 감성적인 반응은 고려하지는 못한다. 그리고, 실내 환경이 비정상 상태인 경우 평가 결과는 재실자의 쾌적감과 다를 수도 있다는 단점도 내포한다. 따라서, 인체의 심리적 반응과 생리적 반응을 측정하여 이를 정량적으로 평가하는 방법이 요구된다. 이러한 생리적 기능들을 공학적으로 접근하고자 생리신호를 측정하여 객관적으로 평가하기 위한 노력은 의학, 물리학, 생물학, 심리학, 사회학 등 여러 분야에서 연구 중에 있다.

승용차와 같이 외부 환경에 노출되어 있고, 이동성으로 인한 실내 환경 변동이 심한 경우에는 인간의 심리적 상태와 생리적 현상의 변화도 복합적으로 나타난다. 이러한 다양한 심리·생리적 변화에 대한 기준을 외부의 물리환경 요소와 인체 발열에 의한 생리적 요소만으로 쾌적성을 평가하는 데는 한계가 있다. 따라서 승용차 공조시스템 가동 시 실내 환경 변화와 외부 자극에 따른 인체의 심리적 반응과 생리신호를 이용해 측정된 생리적 반응을 분석하여 온열 감성을 평가하기 위한 연구는 필요하다.

1.2 연구 목적

자동차 실내 쾌적성의 사용 주체인 인간은 의식적이건 무의식적이건 자신의 신체를 항상 쾌적한 상태로 유지하기 위해 노력한다. 쾌적한 환경은 쾌적성을 확보하려는 인간의 불필요한 노력을 줄여주기 때문에 능률적인 생활 활동을 위한 필수 조건이다. 따라서, 오랜 과거로부터 현재까지 쾌적성을 추구하려는 인간의 본능은 건축물, 옷, 자동차 등 인간이 접하는 모든 제품이나 분야에 적용되어 왔으며, 열적으로 쾌적한 환경을 조성하는 것은 건물과 자동차용 에어컨 설계에 중요한 요소 중 하나이다.

승용차 실내의 열 쾌적성에 대한 관심은 자동차의 발달과 함께 수십 년 간 꾸준히 증가해 오고 있지만 이에 대한 연구는 건축 분야에서 수행된 연구 성과에 크게 의존하고 있는 실정이다. 승용차 실내의 열환경 특성은 일반 건축구조물 내부와는 다른 특성을 갖고 있다. 가장 대표적인 특성은 불균일한 온도분포가 빈번히 발생하는 승용차의 실내 열환경 특징이다. 건축구조물 내부에서는 불균일한 온도분포가 발생되지 않지만 승용차 실내에서는 공간이 좁고, 실내 내장재의 시트 등이 기류 흐름을 방해하기 때문에 빈번하게 발생된다. 인간의 몸은 각 부위마다 주변 온도에 반응하는 특성이 다르기 때문에 승용차 실내에서 인체의 열적 쾌적성을 예측하기 위해서는 인간의 몸에서 발생하는 열전달 현상을 설명해 주는 생리학

적 모델뿐만 아니라 생리학적 모델의 결과물로부터 인간의 감성을 예측할 수 있는 심리학적 모델 또한 필요하다.

미국의 NREL(National Renewable Energy Laboratory)⁴⁾에서는 동적 이면서 불균일한 온도변화가 신체의 각 부위에서 어떠한 열적인 쾌적함을 줄 수 있는지, 그리고 신체의 각 부위에서 느껴지는 열적 쾌적성이 통합적으로 어떻게 탑승자의 감정에 영향을 줄 수 있는지에 대한 연구가 진행 중이다. 이러한 연구결과를 통해 운전자의 열적 쾌적성을 만족시킴과 동시에 에어컨 시스템의 에너지 소비량을 절약하는 효과를 기대한다.

본 논문은 승용차 탑승 시 열적 불쾌감을 단시간에 해소시키고, 쾌적감 향상을 목적으로 연구를 진행하였다. 승용차 실내 환경을 쾌적하게 조성시키기 위해, 우선적으로 승용차 공조시스템 가동 시 운전자의 심리·생리적 반응을 정량적으로 파악할 수 있는 평가 및 분석방법을 도입하였다.

심리적 반응에서는 승용차 공조 운전 시 실내 온도 변화 상태에 따른 피험자의 온열감과 쾌적감에 대한 응답 신고를 받았고, 기존 온열환경 지표를 근거로 피험자의 심리 상태를 파악하였다. 심리적 반응은 주관적인 요소가 강하기 때문에 인체의 뇌파와 심전도, 피부온도를 이용한 객관적인 생리량을 근거로 분석하였다. 이는 물리적 환경 요소에 개인적인 생리 반응을 분석함으로써, 실내 환경 변화에 대한 감성적인 반응을 동시에 평가 가능하다.

따라서, 본 논문에서는 실측 실험을 통해 측정된 심리·생리반응에 대

한 평가 자료와 연구 내용을 근거로 승용차용 쾌적 공조 운전 프로세스를 제안하고, 승용차 운전자의 인체 감성 반응을 공조시스템에 적용시키고자 한다.



1.3 선행 연구

자동차 실내 열환경과 관련된 선행연구 자료를 조사하여 검토한 내용은 다음과 같다.

오상한 등⁵⁾은 자동차 에어컨 개발에 기본이 되는 자동차 열부하를 잘 묘사할 수 있는 모델링 및 해석기법에 의한 시뮬레이션 프로그램을 개발한 후 실차 시험을 통해 그 타당성을 검토하고, 외기조건, 에어컨 작동조건, 차체색상과 유리 재질에 따른 자동차 각 부분의 열부하를 분석하였다. 이는 자동차 에어컨 개발에 목적을 두고 있으며, 에어컨의 용량 선정 및 설계 조건을 위해 필요한 연구이다. 하지만, 탑승자의 온열 쾌적성은 고려되지 않았다.

이대웅 등⁶⁾은 태양에너지를 승용차에 활용하기 위한 기술 개발의 타당성 검토로써, 환기 유무가 자동차 실내 열부하에 미치는 영향을 분석하고자 환경제어풍동에서 일사에 의해 실내에 축적되는 열 부하의 거동을 살펴보고, 다음으로 여러 대의 승용차를 옥외에 주차한 후, 외부에서 전원 공급기로 공기분배장치의 송풍기에 전원을 공급하여 태양전지에서 발생하는 전력을 모사하였다. 실내 체적이 서로 다른 승용차에서 강제 환기가 열 부하축적에 미치는 영향을 비교 실험하여 태양에너지 응용기술의 적합성을 확인하는 연구를 진행하였다. 그 결과 태양에너지로부터 전기에너지

를 공급받아 강제 환기에 이용한다면 실내 열 부하는 저감될 것이고, 쾌적한 실내 환경을 제공할 수 있을 것으로 기대하였다. 이는 물리적 환경 요소를 고려하여 열 부하 조건을 개선시키기 위한 연구로서 태양에너지를 이용하였다는 데 의미가 있다. 하지만, 실내 열 부하 저감으로 인해 실내 환경 쾌적성 평가에 대한 내용은 미진하다.

이준민 등⁷⁾은 열부하 계산을 위한 단순화된 관계식들을 사용하여 프로그램을 작성하고, 해석에 필요한 열전달 관련 계수들을 실험을 통하여 얻은 후, 승용차 등급(grade) 별 평균 실험값을 구하고 이를 향후 개발 단계에서 승용차별 열부하를 산정할 때 활용할 수 있도록 자동차 공조시스템 개발 엔지니어가 활용할 수 있는 해석 코드를 개발하였다. 이를 실제 실험 데이터와의 상관관계를 분석하는 과정을 통해 좀 더 단순하면서도 정확도를 확보할 수 있는 자동차 실내 열부하 해석 프로그램을 개발하기 위한 연구를 수행하였다. 이는 자동차 열부하 계산 프로그램 개발을 위한 연구이며, 공조시스템 설계자를 위한 자료로 가치가 있다. 하지만, 단순 수치적 계산이라는 한계점을 가지고 있다.

김윤기 등⁸⁾은 승객이 느낄 수 있는 열적 쾌적성에 지배적으로 영향을 미칠 수 있는 상세한 유동 구조를 수치 해석적으로 관찰하기 위하여 자동차 실차모델을 대상으로 하였고, 승객실과 자동차 차체에 대해 각각 도메인을 생성하여 이를 연동시키는 커플링(coupling) 해석을 통해 차체가 가지는 열용량에 따른 효과를 해석과정에 반영하였다. 수치해석 결과를 토

대로 열적 쾌적성을 평가하였고, 각 위치별 쾌적성의 정도를 분석하여 실차에 바로 적용 가능한 정량적인 데이터 분석을 제시하였다. 서진원 등⁹⁾은 인체모델이 고려된 자동차 실내의 냉방 성능을 향상시킬 수 있는 에어컨 토출구 위치를 제안하여 온열쾌적성 평가에 관한 연구를 수행하였다. 에어컨 토출구 위치에 따른 냉방 성능 및 온열 쾌적성 평가를 수행하고, 효율이 가장 좋은 토출구 설치 위치를 제안하였다. 이는 수치 해석적 방법을 근거로 열 쾌적성을 평가하였고, 자동차 실내 부위별 열환경을 분석하여 실내 환경 조건 변동 시 변화된 결과를 수치적으로 확인할 수 있다는 특징을 가진다. 하지만, 실내 물리적 환경 요소만이 고려됨으로써 탑승자의 심리적인 요소는 고려되지 못한다는 한계가 있다.

박민수 등¹⁰⁾은 운전 중 졸음 시 운전자의 생체신호(호흡, 맥박, 악력) 변화, 운전자의 조향 및 페달입력과 승용차의 거동(횡가속도, 조향각, 승용차의 지역 위치 정보)등을 통해 운전자의 반응을 알 수 있는 주행 시뮬레이터 개발에 관한 연구를 진행하였고, 운전자의 상태에 따라 생체신호 경향이 변화하는 정도로 운전자의 상태를 판단하는 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단하였다. 안대진 등¹¹⁾은 근전도 측정 시스템을 이용해서 페달 조작 시 근육 부하를 측정하였으며, 이러한 근육 부하의 차이가 발생하는 주요 원인을 인체적 특성과 차량 설계적 특성으로 구분하여 살펴보고 페달 설계 시 근육 불편도를 저감하기 위한 개선방안을 제시하였다. 김진용 등¹²⁾은 운전자 친화형 지능형 시스템과 HVI(Human Vehicle

Interface) 연구, 경제운전자 패턴 연구 등에 활용될 수 있도록 개발된 차량환경을 이용하여 운전상황 및 도로상황 데이터를 실차주행상태에서 측정하고 수집된 데이터 중 운전자의 뇌파신호를 이용하여 도로형태에 따른 운전부하를 정량적으로 분석하여 운전부하를 구별할 수 있는 개선된 뇌파활성도 계산방법을 제안하였다. 이원섭 등¹³⁾은 실험을 통해 파악된 운전생체 신호를 처리하고 운전 부하 시의 생체신호 변화 양상을 분석하는 프로토콜(protocol) 및 시스템(system)을 개발하였다. 데이터 분석은 운전시뮬레이터를 사용하여 측정된 20대와 60대 남녀 60명의 생체 신호(심박수, 피부전도, 호흡수)를 대상으로 수행하였다. 분석을 위해 측정된 생체신호의 잡음제거(noise filtering)와 이상치 검출을 위해 신호처리(signal processing)를 수행하고, 도시 및 고속도로 환경 주행 시 운전자에게 부여된 난이도별 인지 부하 작업 및 부하 전후의 생체 신호 변화 양상을 파악하였다. 본 연구는 방대한 데이터의 체계적이고 효율적인 분석을 위해 데이터를 필터링(filtering) 및 신호 처리하고, 통계 분석에 용이하도록 운전 구간별 생체 신호 및 운전 수행도 분석 결과를 출력하는 시스템을 개발하였다. 이는 운전 상황에 대한 인체 반응을 생체 신호 분석을 이용하여 검토 및 분석하였다는 데 의미가 있고, 인체의 활동 상태나 운전 상황 개선에 목적이 있다.

유성연 등¹⁴⁾은 차량용 에어컨 압축기가 실차 연비에 미치는 영향에 대하여 실험적으로 연구한 것으로, 연비에 주요한 영향 인자인 압축기의 토

출 용량별 구동 토크에 의한 실차 연비 기여도를 분석하였다. 연비에 직접적인 영향을 주는 압축기의 부하를 측정하기 위하여 압축기 클러치에 직접 부착하는 토크 센서를 개발하였으며, 실차 평가전 벤치 토크 미터와의 비교 평가를 통하여 토크 센서의 신뢰성을 검증하였다. 토크 센서가 부착된 압축기를 장착한 차량을 환경 풍동에서 연비 측정을 할 수 있도록 장치를 구성한 상태에서 연비 평가를 수행한 결과, 압축기의 토출 용량에 따른 구동 토크는 연비에 직접적인 영향을 주며, 동일 사양 압축기에서 토출 용량이 약 11% 커질 때 연비는 약 2~3% 악화됨을 확인하였다. 이는 공조장치의 기계적 효율 개선에 의미가 있고, 기계적 측면만 고려되어 자동차 성능 향상에 목적을 두었다.

Omer Kaynakli et al.¹⁵⁾은 자동차 실내 난방 시 열 쾌적성에 대한 이론과 실험적 연구를 수행하였다. 난방 시 열역학적 조건이 인간 생리학 및 열 쾌적성에 미치는 영향을 조사하기 위해 자동차 내부의 여러 지점에서 온도, 습도 및 공기 속도를 측정하였고, 인체에서 16개의 정착 구역으로 나누어 피부 온도 변화를 분석하였다. 이는 열역학적 조건을 고려한 열 쾌적성 평가에 의미가 있으나, 인체의 심리적인 요소는 반영되지 않았다는 한계가 있다.

Sheng-Chung Tzeng et al.¹⁶⁾은 밀폐된 승용차 내부 공간에서 구역(zone) 별 냉방 제어를 통해 각 승객별 쾌적감을 향상 시킬 수 있는 승용차 실내 공기 흐름을 제어하는 기류 관리 기술에 관한 연구를 수행하였

다. Masoud Dehghandokht et al.¹⁷⁾은 열 쾌적성을 유지하고 송풍기 취출 기류 속도 및 순환 공기율을 제어하기 위해 퍼지 제어기를 사용하여 실내 온도를 제어하기 위한 자동차 실내 온도 모델링에 관한 연구를 수행함으로써, 제안된 퍼지 제어기의 적용 가능성을 검토하였다. 이는 온열환경 6요소 중 기류를 중심으로 탑승자의 쾌적성을 평가하고, 제어기를 이용한 실내 공기 상태 제어를 통해 쾌적성을 향상시킨 연구이다. 하지만, 물리적 환경 요소만을 고려하였다는 단점이 있다.

Mohammed Omar et al.¹⁸⁾은 승용차의 열 쾌적성 매개 변수를 분석 및 모델링하고, 기후 챔버(chamber)를 사용하여 시험 승용차를 주행하고 과도 및 정상 상태를 정확히 평가하고, 시험 승용차 실내의 온도 분포, 열적 감각을 조사하였다. 인위적으로 생성된 상대 습도를 변화시켜 쾌적성을 평가하였고, 시뮬레이션을 수행하여 열전달 모드의 상호 작용을 포함하는 전도, 대류 및 복사를 효과적으로 분석하여 인간의 열 쾌적성을 평가하였다. 이는 자동차의 외부 환경에 의한 실내 환경을 검토하고, 시뮬레이션을 이용하여 수치적으로 열 쾌적성을 평가하였다. 하지만, 실내 환경 중심의 쾌적성 평가에 한계를 가지며, 운전자나 탑승자의 인체적 요소에 대한 열 쾌적성 평가는 미진하다.

Xiaoping Li et al.¹⁹⁾은 운전 중 무의식 수면과 의식 수면 시 자발적인 수면 발현에 대한 뇌파 특성의 차이를 연구하였다. 모의 주행 실험에서 20명의 운전자를 대상으로 뇌파 측정 및 분석을 실시하여 뇌파 특성을

도출하였다. 연구는 뇌파 그라포요소(graphoelements)가 대뇌 피질의 과정에 영향을 받고 널리 퍼진 수면 상태에 따라 다양하다는 것을 암시하는 각성 및 모의 운전 조건 시 수면 시작 단계에서 뇌파 그래프에서 특유한 차이를 확인하였다. 이 연구는 운전 중 안전성 향상을 목적으로 졸음 감지 시 안전 경고 장치를 개발하기 위한 기초 자료를 제공하였다. 이는 졸음 감지를 위한 경고 장치 개발에 한계를 가진다.

Hajime Oi et al.²⁰⁾은 자동차 시트의 쾌적성에 대해 8명의 운전자를 대상으로 초기 난방 시 피부 온도, 온도 감각 및 열 쾌적성에 대한 연구를 수행하였다. 실험 조건은 시험실의 공기 온도 (5, 10, 15, 20℃)와 가열 가능한 시트(on / off)의 조합으로 설계하였고, 그 결과 가열 된 시트는 기온이 15℃ 미만인 초기 예열 시간 동안 열 쾌적성을 향상시키는 데 효과적임을 확인하였다. 이는 열선 시트 조건에 따른 쾌적성에 관한 연구에 의미가 있다. 하지만, 자동차 난방 모드는 열선 시트 외에 송풍으로 인한 가열모드도 존재함으로 여러 난방 모드에 대한 열 쾌적성 평가가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

그 외 승용차용 에어컨의 성능 향상을 위한 압축기나 증발기 개발과 연비 향상을 위한 공조장치 성능 향상 및 개발에 관한 연구가 지속적으로 수행되고 있다.

선행 연구 자료를 분석한 결과 열부하에 관련된 연구는 자동차용 공조 시스템 설계를 위한 수치적인 계산과 자동차 열부하의 특성만을 분석하였

다. 온열 쾌적성에 대한 관련 연구는 수치 시뮬레이션을 이용한 수치 해석 결과를 바탕으로 자동차 실내 열환경 데이터를 열쾌적 지표에 적용시킴으로써 열적 쾌적성을 평가하였다. 따라서, 실측 실험을 통한 쾌적성 평가는 미흡하다는 단점이 있다. 생체신호를 이용한 심리·생리반응에 관한 연구에서는 운전 상황에 대한 인체반응과 행동특성 분석을 통해 제품 설계 시 개선안과 운전 중 운전자의 상태를 파악하여 운전 부하를 감소시키고, 안전 운전을 위한 사전 감지와 판별장치 개발에 관한 연구가 다수이다. 기타 연구에서는 승용차용 냉매의 개발, 압축기나 증발기 등 공조 장치의 기계적인 효율 개선을 위한 연구 등이 있다.

본 논문은 선행 연구에서의 수치적 계산, 시뮬레이션을 이용한 열 쾌적성 평가, 운전자 상태 감지 등의 기존 연구 범위를 확장시키는 연구이다. 본 논문에서는 운전자를 대상으로 승용차 실측 실험을 통해 장소와 시간에 따라 변동하는 승용차 실내 열환경에 대한 운전자의 심리 반응과 생리 반응을 측정 및 분석하였다. 분석 내용을 근거로 승용차용 공조시스템의 온열 쾌적성을 평가함으로써, 운전자의 심리·생리 반응이 고려된 공조 운전 방법을 제안하였고 승용차용 공조시스템에 적용시키기 위한 복합적 온열 쾌적성 평가에 관한 연구이다.

1.4 연구범위 및 구성

본 연구는 승용차의 실내 열환경 개선으로 운전자의 열적 불쾌감을 빠른 시간에 해소시킴으로써 운전자의 안전성과 편의성을 높여 물적·정신적으로 쾌적성 향상을 위한 지표를 마련하는데 목적이 있다. 승용차는 일반 건물과 다르게 운전자의 안전성 확보를 위하여 철제 구조물로 되어 있으며, 운전자와 탑승자의 시야 확보를 위한 투명 유리창이 대부분을 차지한다. 또한 건물에서의 거주 공간보다 협소한 실내 공간을 가지며 외부 환경으로 부터의 단열에 매우 취약하다. 여름의 경우 유리창을 통과하는 일사와 내부 복사열의 영향으로 실내 온도는 운전자가 탑승하기에 매우 불쾌한 열기가 축열되어 있으며, 겨울철에는 외기의 영향으로 차가운 실내 온도를 유지하고 있다. 또한 승용차의 경우 수시로 이동을 위해 탑승하게 되고 상시 냉·난방 기기를 가동하지 못하는 현실에 직면해 있다.

건축물에 대한 열환경과 온열환경 지표에 대한 기존 많은 연구가 수행되어 왔지만, 승용차의 경우 건축물과 다른 환경적 요인으로 인해 다른 관점에서의 연구가 필요하다. 본 연구에서는 자동차 종류 중 승용차를 대상으로 연구를 진행하였고, 열적으로 불쾌감이 높은 계절인 여름과 겨울 기간에 실험을 실시하였으며, 공조조건은 냉방, 난방 및 환기에 대한 연구이며, 승용차를 직접 운전하고 동승자의 안전을 책임지며 운행의 주체

가 되는 운전자를 중심으로 탑승 시 열적 불쾌감을 느끼는 시점부터 실내 열환경이 쾌적한 조건으로 유지되는 운전 초기 시점을 중심으로 심리·생리량을 측정하여 운전자의 쾌적성을 평가하고 승용차 쾌적 공조 운전 방법을 제안한다. 이러한 쾌적 감성을 적용시킨 공조운전 시 소비자와 사용자는 안전성과 편의성, 쾌적성을 향상시킬 수 있고, 국가나 기업적인 측면에서는 인적, 물적, 사회적 비용을 감소시키는 기대효과를 얻을 수 있을 것이다.

Fig. 1.1에 본 논문의 연구 범위를 요약하여 나타내었다.

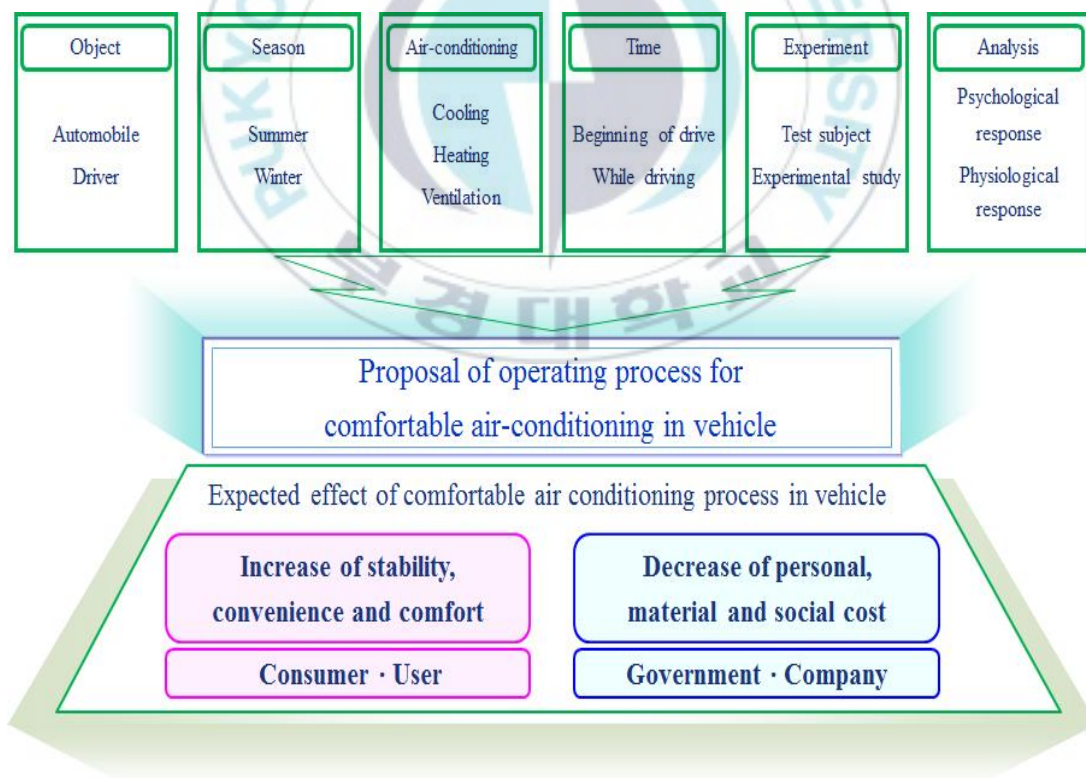


Fig. 1.1 Scope of research

본 논문의 구성은 Fig. 1.2와 같이 총 6장으로 구성하였고, 각 장의 내용은 다음과 같다.

제 1장은 본 논문의 서론 부분으로 본 연구의 배경과 목적에 대해 서술하였고, 국내 · 외에서의 승용차 실내 열환경과 운전자 또는 탑승자의 생리신호에 관한 선행 연구에 대해 서술하였다. 또한 연구범위와 구성에 대해 기술하여 논문의 내용을 파악할 수 있도록 하였다.

제 2장은 승용차 실내 열환경 특징과 온열환경 지표, 인체 심리적 · 생리적 반응에 대한 기초적인 이론 및 온열감성 분석 내용을 서술하여 인체와 주변 실내 환경과의 열교환, 심리 · 생리반응에 관한 내용을 정리하였다.

제 3장은 여름 승용차 실내 환경에 따른 운전자의 심리반응을 난방 시 에어컨 조작 선호도와 인체 심리 · 생리 반응을 분석하여 승용차 운전자의 에어컨 가동으로 인한 쾌적성을 평가하여, 여름 승용차 탑승 시 쾌적감성 공조 운전 방법을 제안하였다.

제 4장은 겨울 승용차 실내 환경에 따른 운전자의 심리반응과 선호도, 뇌파와 심전도 생리신호 분석 결과를 토대로 승용차 운전자의 난방 모드별 쾌적성을 평가하여, 난방 시 쾌적 감성 공조운전 방법을 제안하였다.

제 5장은 운전자가 운전 중 실내 쾌적 영역 상태일 때, 졸음이 우려됨으로 인해 환기 모드 시 기류감으로 인한 송풍 효과를 생리반응에 대한 분석을 통해 확인한 내용을 서술하였다.

제 6장은 운전자의 심리 · 생리 반응에 대한 종합적인 내용으로 쾌적
감성 데이터에 근거한 공조운전 프로세스를 제안하였다.

제 7장은 본 논문의 총괄 결론을 서술하였다.



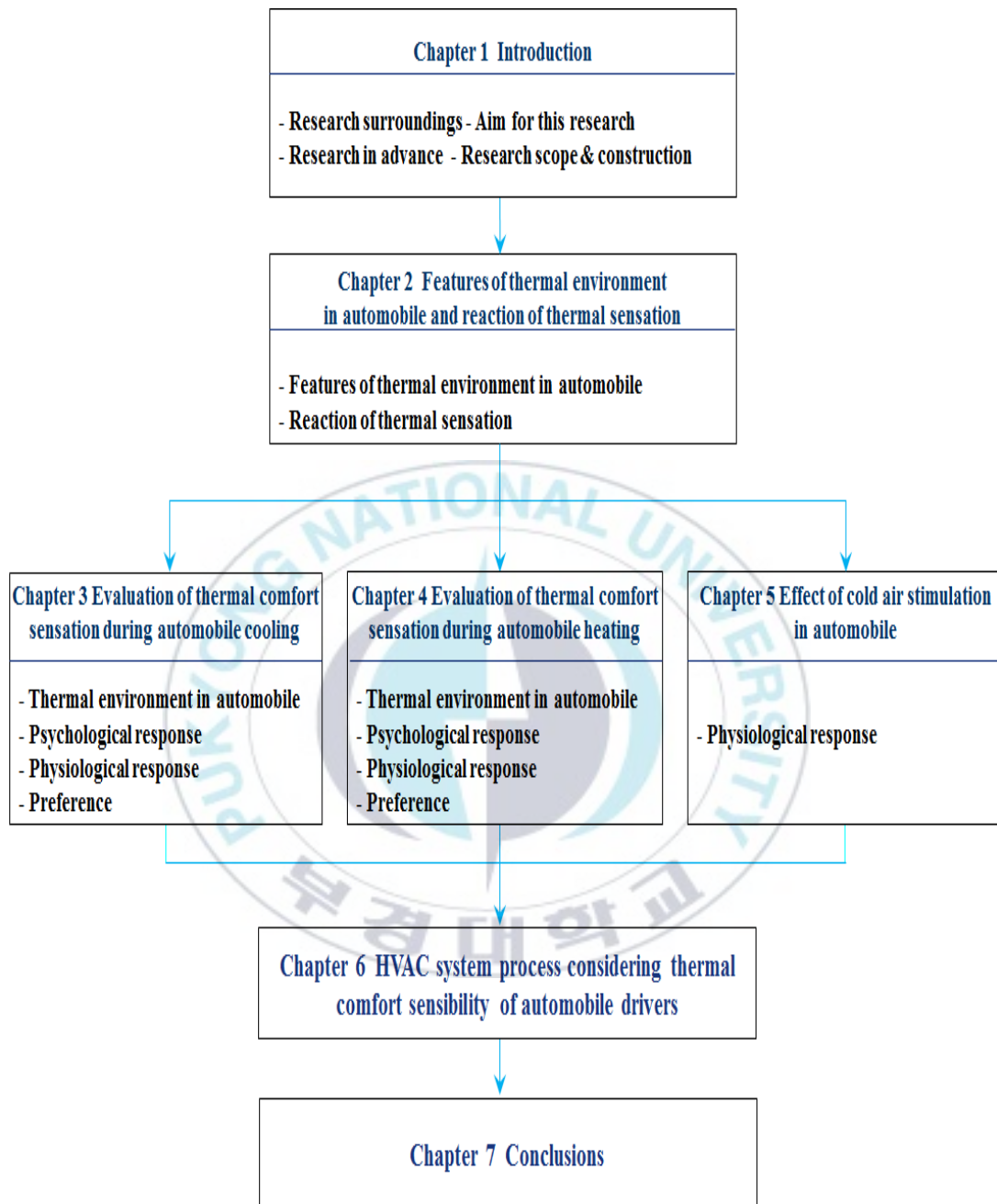


Fig. 1.2 Thesis organization

제 2 장 승용차 실내 열환경 특성과 온열감성 분석

2.1 승용차 공조시스템의 구성과 실내 열환경 특성

2.1.1 승용차 공조시스템의 구성

승용차용 공조시스템은 운전자와 탑승자의 열적 불쾌감을 해소하기 위한 목적으로 설치된 냉·난방장치의 공기 상태와 기류를 조절하는 공기 조화 장치이다. 이는 쾌적한 실내 공기를 제공하는 기능은 물론 승용차의 실내·외 온도 차에 따른 서리 제거 기능 등을 포함한다.

승용차의 공기 조화 기능은 제어 방식에 따라 반자동식 공조장치(semi-automatic temperature control type)와 전자동식 공조장치(full automatic temperature control type)로 구분한다. 반자동식 공조장치는 사용자의 설정 온도에 따라 실내 온도를 자동으로 조절하는 공조장치이며, 전자동식 공조장치는 사용자의 설정 온도를 자동으로 조절하는 공조장치뿐 아니라 실내외의 온습도 검출을 통한 보정 기능, AQS(Air Quality System) 장치와 같은 자동 공기 정화장치를 포함하는 자동 공기 조화장치이다. 또 최근의 공조장치는 탑승자의 체감 특성에 대응해 제어하는 인공지능 공조 기능뿐만 아니라, 보다 더 쾌적한 실내 공기를 제공하기 위해 별도의 산소 공급 장치도 포함된다.

승용차는 실내 공간이 협소하고, 밀폐되어 있으며, 외기에 취약하여 유리창의 온·습도 차에 따른 결로 등으로 운전자의 시야 확보에 어려움이 있어 안전 운전을 방해한다. 또 승용차의 실내 공간은 짧은 시간에도 이산화탄소의 농도 증가로 운전자의 집중력을 저하시키고 졸음운전을 유발시킨다. 이러한 운전자의 안전 운전 방해 요소와 사고 유발 요소 등을 미연에 방지하기 위해 승용차 실내 환경을 쾌적한 상태로 유지시키는 공조시스템은 자동차 구성요소 중 중요한 장치이다.

Fig. 2.1에서는 자동차용 공조시스템의 구성품을 나타내었다.

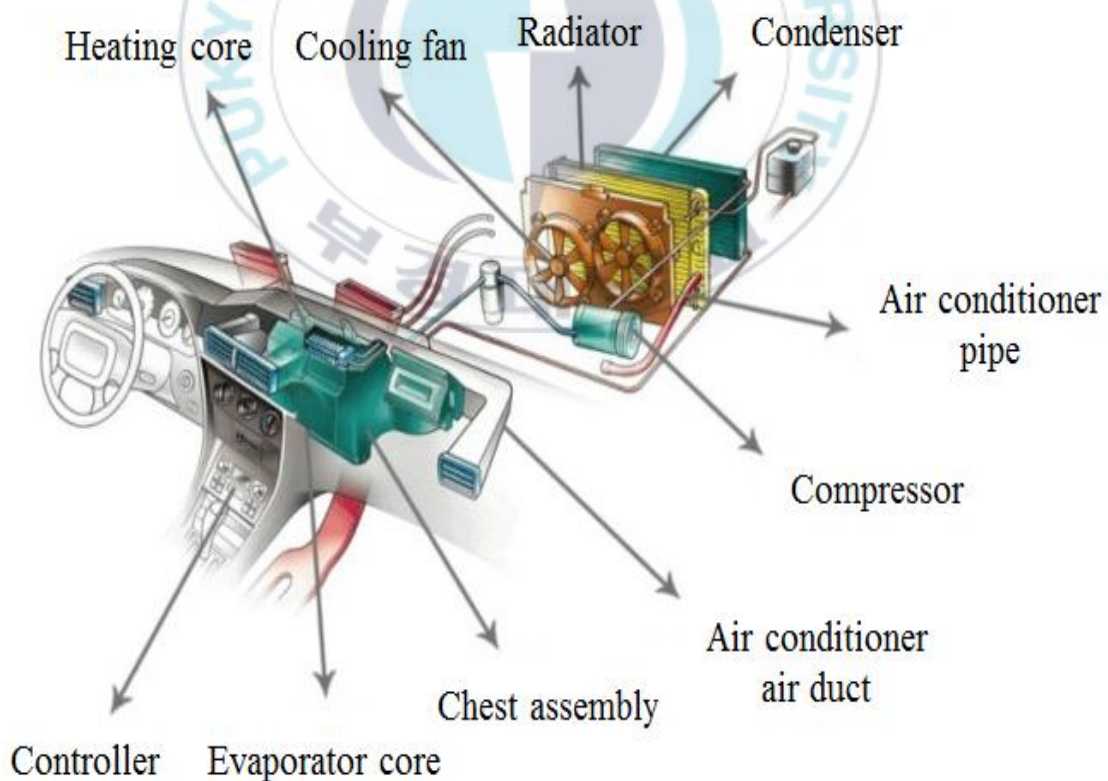


Fig. 2.1 Schematic diagram of automobile HVAC²¹⁾

제 2 장 승용차 실내 열환경 특성과 온열감성 분석

자동차용 공조시스템은 냉방 장치로는 압축기, 응축기, 증발기, 팽창밸브 등으로 구성되어 있고, 난방 장치로는 히터 유닛(heater unit), 히팅 코어(heating core) 등으로 구성되어 있으며, 냉·난방 열원을 실내로 공급하기 위한 블로워(blower), 온도나 풍량 조절을 위한 컨트롤러(controller), 열교환을 위한 라디에이터(radiator) 등으로 구성되어 있다. 이러한 공조시스템에서의 공기 조화 기능은 승용차의 일사량, 실내·외 온도, 습도, 수온 등을 검출해 실내 온도를 제어하게 된다.

일사량 센서는 메인 크래쉬패드(main crash pad) 중앙에 위치하여 광기전성 다이오드를 내장하고 있으며, 일사량 감지는 광기전성 다이오드에 빛이 받아들여지는 양에 비례하여 기전력이 발생되고, 이 기전력이 에어컨 ECU(Electronic Control Unit)에 전달되어 토출온도와 풍량이 운전자가 선택한 온도에 근접할 수 있도록 보정한다.

실내 온도 센서는 승용차 실내온도를 감지하여 에어컨 ECU에 입력시켜 주는 일을 하며, 에어컨 ECU는 입력된 값에 의해 오토 모드 시 블로워 모터의 속도, 온도조절 액츄에이터(actuator) 및 내·외기 전환 액츄에이터의 위치를 보정해 주는 역할을 한다.

외기 온도 센서는 라디에이터(radiator) 전면부에 장착되어 있으며, 외기온도를 감지하여 ECU에 입력시켜 주면, 입력된 신호에 의해 ECU는 토출 온도와 풍량을 운전자가 원하는 온도에 근접하도록 설정한다.

습도 센서는 리어(rear) 선반 트림(trim)에 설치되어 있고, 승용차 실내

습도를 감지하여 에어컨 ECU로 신호를 보내주며, 에어컨 ECU는 이 신호를 이용하여 승용차 실내 온도, 습도, 외기 온도 및 실내 · 실외 순환 모드상태에 따라 승용차 실내의 습도를 조절하게 된다.

수온 센서는 히터코어에 장착되어 있으며, 히터코어에 흐르는 냉각수 온도를 감지하여 에어컨 ECU로 전송한다. 에어컨 ECU는 설정온도와 실내온도, 외기온도와의 차이를 비교하여 난방기동 제어가 되도록 한다. Auto 모드에서 풍향이 바이레벨(bi-level), 플로워(floor)일 때, 에어컨 ECU 설정온도가 실내온도보다 3°C 이상 높고, 수온 센서의 온도가 58°C 이하인 경우 풍향을 디프로스트(defrost) 모드로 액츄에이터를 구동하여 외부에서 유입되는 차가운 공기가 승객의 발 부위로 토출되는 것을 방지시킨다. 승용차 실내 온도 조절을 위한 센서 위치는 Fig. 2.2와 같다.

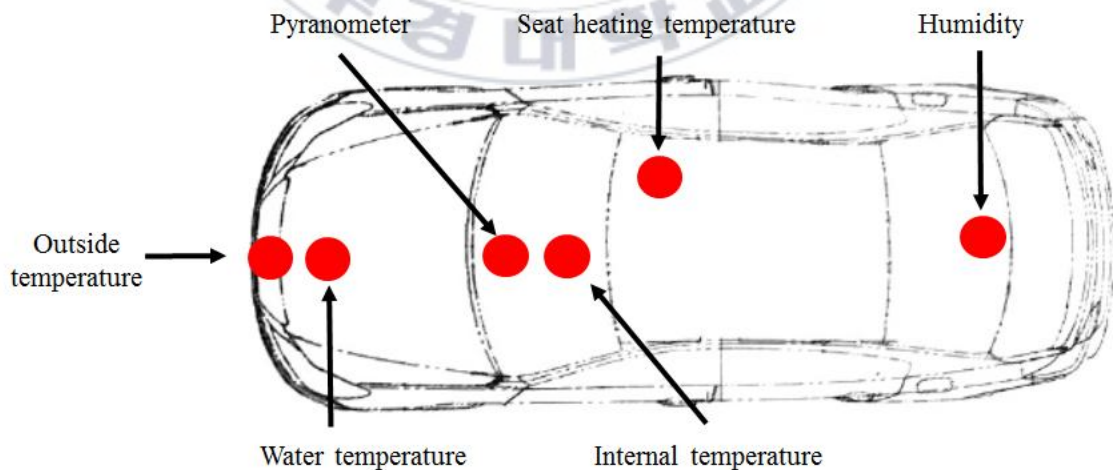


Fig. 2.2 Temperature control sensor for automobile

2.1.2 승용차 실내 열환경 특성

승용차는 태양으로부터의 복사열에 의한 열부하, 대류 및 전도에 의한 열부하, 실내 · 외 공기의 자연 환기에 의한 열부하, 인체에 의한 열부하 등으로 인한 열부하가 발생하게 되며, 이에 대한 실내 열환경 개선이 필요하다. 실내 열환경 개선을 위해 열부하로 부터 냉 · 난방을 위한 에너지 소비를 줄이기 위해서 승용차의 복사열이나 외기의 영향을 최소화 시키는 것이 중요한 개선책 중 하나이다. 냉방 능력을 향상시키기 위해서는 인체로부터 열부하나 엔진으로부터의 열전도로 인한 열을 쉽게 방열시킬 수 있어야 하며, 승용차의 실내에는 차체와 판넬, 트림 보드(trim board)를 통한 열부하 차단도 중요한 대책 중 하나이다.

Fig. 2.3은 일사량에 따른 승용차 열부하 상태를 열화상 카메라로 촬영한 사진을 나타내었다. 일사량에 따라 외부 차체와 실내 대시보드, 시트의 열적 상태를 육안으로도 확연히 구분할 수 있을 정도로 큰 차이가 발생한다. 구름이 거의 없고 일사가 강한 맑은 날의 경우에는 차체의 온도는 39℃, 전면 유리창을 통해 들어오는 일사의 영향과 내장재의 복사열로 인한 대시보드의 온도는 90℃를, 운전석 시트온도는 60℃ 이상의 온도를 보였다. 이는 승용차 실내 열환경 개선을 위해서는 전도나 대류에 의한 열부하 감소도 중요하지만, 승용차의 경우 일사에 노출되기 쉬우므로, 일사에 의한 복사열에 대한 고려가 더 중요한 요소로 적용될 필요가 있다.

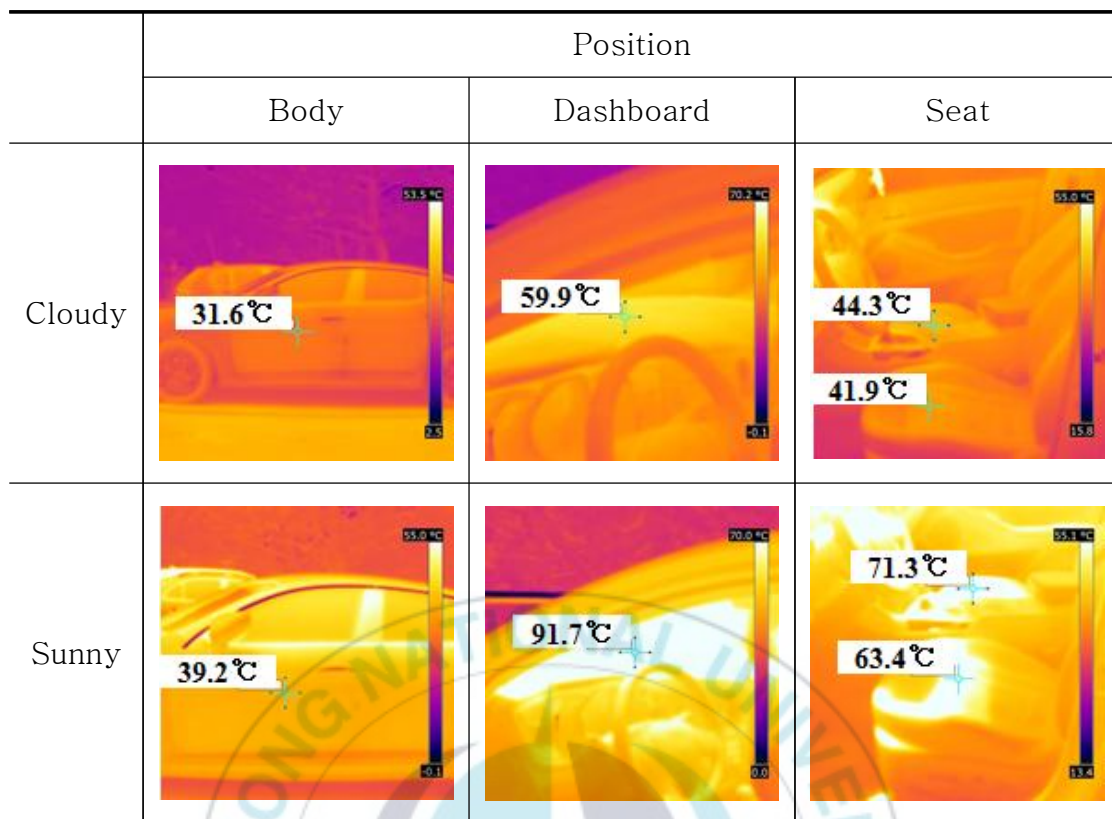


Fig. 2.3 Thermal image according to irradiation

Fig. 2.4에서는 승용차에서 열전달 개념도를 보여주고 있으며, 식 (2.1)과 식 (2.2)는 실외 표면과 실내 표면에서의 열평형 관계식을 나타내었다. 외부 표면에서는 복사와 대류에 의한 주변과 외기 사이의 열교환 상태를 고려하였고, 실내 내부는 실내(대류, 복사), 실내 공기, 에어컨 기류(대류), 인체(복사, 대류, 증발 및 호흡)와 주위 공기(투과된 태양 복사) 사이의 열교환을 고려하였다.

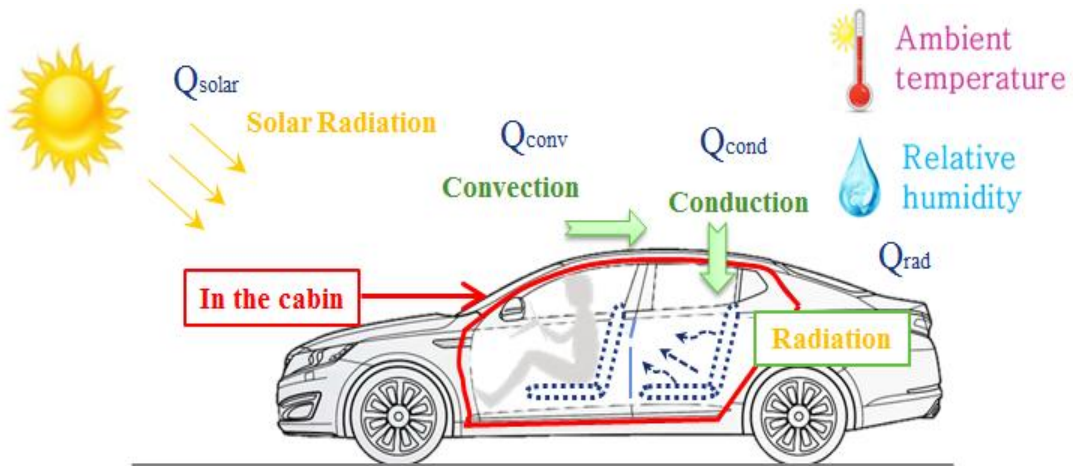


Fig. 2.4 Heat transfer environment in automobile cabin

$$c_E m_E \frac{dt_E}{d\tau} = Q_{E.rad} + Q_{E.conv} + \alpha Q_{sol} + Q_{E.cond} \quad (2.1)$$

여기서, c : 비열 [J/(kg·K)]

m : 질량 [kg]

τ : 시간 [s]

α : 실외 표면에서의 일사흡수율 [-]

$Q_{E.rad}$: 실외와 주위 온도 사이의 복사열 [W]

$Q_{E.conv}$: 실외와 주위 온도 사이의 대류열 [W]

Q_{sol} : 실외 표면으로 흡수되는 일사열 [W]

$Q_{E.cond}$: 실외와 주위 온도 사이의 전도열 [W]

$$c_I m_I \frac{dt_I}{d\tau} = Q_{I.conv} + \mu Q_{sol} - Q_{E.cond} + Q_{H.rad} \quad (2.2)$$

여기서, μ : 일사열 취득율[-]

$Q_{I.conv}$: 실내 대류열전달[W]

Q_{sol} : 실내로 유입되는 일사열[W]

$Q_{H.rad}$: 인체 복사열[W]

Fig. 2.5는 승용차와 건물에서의 냉방부하 요소들의 비율을 비교한 것으로, 승용차의 경우 차체의 전도로 인한 부하와 일사에 의한 부하가 80%로 냉방부하의 대부분을 차지한다.

제 2 장 승용차 실내 열환경 특성과 온열감성 분석

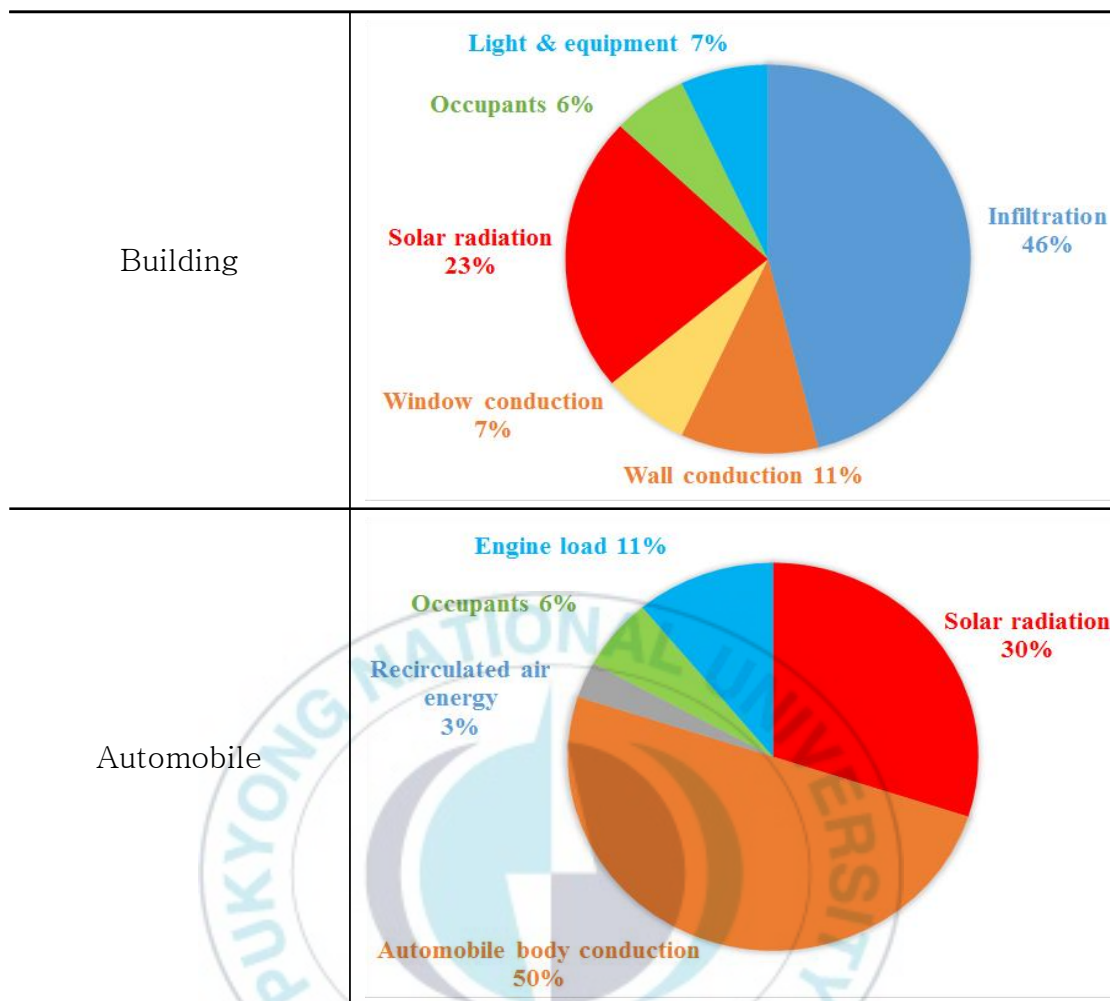


Fig. 2.5 Comparison of cooling load on building and automobile²²⁾

승용차의 실내 열환경은 외부 환경 및 주행상태에 따라 열부하가 크게 변동하기 때문에 동적인 요소를 제어 가능하도록 시스템을 구성할 필요가 있다. 승용차의 경우 실내 공간은 일반 건축물에 비해 1/10 정도이고, 승용차용 에어컨의 냉방능력은 2배 이상이 필요하므로, 단위 체적 당 냉방능력은 건물과 비교하여 20배 정도가 요구된다. 이러한 냉방능력은 여름철 야외에 주차된 승용차의 경우 일사가 실내로 직접 유입됨으로써 실내

제 2 장 승용차 실내 열환경 특성과 온열감성 분석

온도는 60℃ 이상 상승하기 때문에 운전자 탑승 시 단시간에 실내 온도를 낮추기 위해 필요하다. 그리고, 승용차의 실내 열환경은 밀폐된 협소한 공간에서 단위체적 당 공조시스템의 능력이 매우 클 뿐만 아니라 에어컨 토출구와 운전석이 인접해 있어, 신체 부위별로 온도와 기류 상태가 크게 차이가 나기 때문에 사무실이나 일반 건물의 재실공간에 비해 상대적으로 매우 불균일한 온도분포가 형성된다. 또한, 태양의 위치에 따른 일사의 방향도 변동이 심하므로 유리창의 개폐상태와 풍량 설정에 따른 기류 분포도 영향을 받게 된다. 이러한 불균일한 온도분포와 기류 분포로 인해 운전자의 쾌적성을 온도와 기류 같은 물리적 요소만으로 측정하기에는 어려움이 따르므로, 승용차 실내 환경 조건에 반응하는 인체의 생리 반응을 고려한 평가 방법이 요구되는 실정이다.

2.2 온열감성 지표

2.2.1 온열환경 지표

(1) 불쾌지수(Discomfort Index)

불쾌지수²³⁾는 1959년 미국의 기상청이 기상예보에 최초로 사용하였으며 광범위하게 사용되고 있다. 기류를 0m/s로 한 조건에 온도와 습도만을 이용한 유효온도를 근사적으로 나타낸 것이다. 불쾌지수를 건구온도와 습구온도에 의해 식 (2.3)으로 정의할 수 있다.

$$Discomfort\ Index = (DBT + WBT) \times 0.72 + 40.6 \quad (2.3)$$

불쾌지수와 체감과의 관계는 75이상일 때 “약간 덥다”, 80이상일 때 “더워 땀이 난다”, 85이상이면 “매우 덥다”를 나타낸다. 가까운 일본의 경우 불쾌지수가 72에 9%, 77에 65%, 85에 93%의 사람이 불쾌감을 느낀다고 한다.

(2) 작용온도(Operative Temperature)

1937년 Gagge 등²⁴⁾에 의해 제안되었으며, 인체와 환경 사이의 열교환에 기초를 두어 기온, 기류, 복사열의 영향을 이론적으로 종합한 지표이

다. 작용온도는 대류에 의한 열전달율과 복사에 의한 열전달율에 의해 기온과 평균복사온도를 가중한 평균값이며, 계산식은 식 (2.4)와 같다. 작용온도는 미국기준인 ANSI/ ASHRAE Standard 55-1992에서 쾌적 범위를 나타내는데 사용되고, 국제 기준인 ISO-7730에서도 쾌적 범위를 알기 쉽게 표현하는데 사용되고 있다.

$$OT = \frac{h_c \times t + h_r \times MRT}{h_c + h_r} \quad (2.4)$$

여기서, h_c : 대류 열전달율[W/(m²·K)]

h_r : 복사 열전달율[W/(m²·K)]

t : 주위 공기온도[°C]

MRT : 평균 복사온도[°C]

(3) 유효온도(Effective Temperature)

유효온도는 1923년 C. P. Yaglou²⁵⁾에 의해 온도, 습도, 기류 3가지의 온열요소의 조합으로 더위 · 추위의 감각을 온도의 척도로 표시하는 것을 제안하였다. 이 지표는 계측기에 의한 것이 아니라 다수의 운전자에 의한 주관적 판단에 기초한 것이다. 실험은 같은 구조를 가진 2개의 실험실을 이용하여 한쪽에는 습도 100%, 기류 0m/s로 하여 온도 조절이 가능하게 하고, 또 다른 한 실험실은 온도, 습도, 기류가 임의로 변화되게 하였다.

그리고 운전자가 양쪽 실험실에 같은 온열감각을 느낄 때의 온도를 유효 온도라 정의하였다.

유효온도에 따르면 일반적인 착의상태에 가벼운 작업을 하는 사람의 쾌적 범위로 겨울철에는 온도 17.2~21.7℃, 습도는 30~70%이며 여름철에는 온도 18.9~23.9℃, 습도는 30~70%이다.

Fig. 2.6은 유효온도 노모그램을 보여주고 있다.

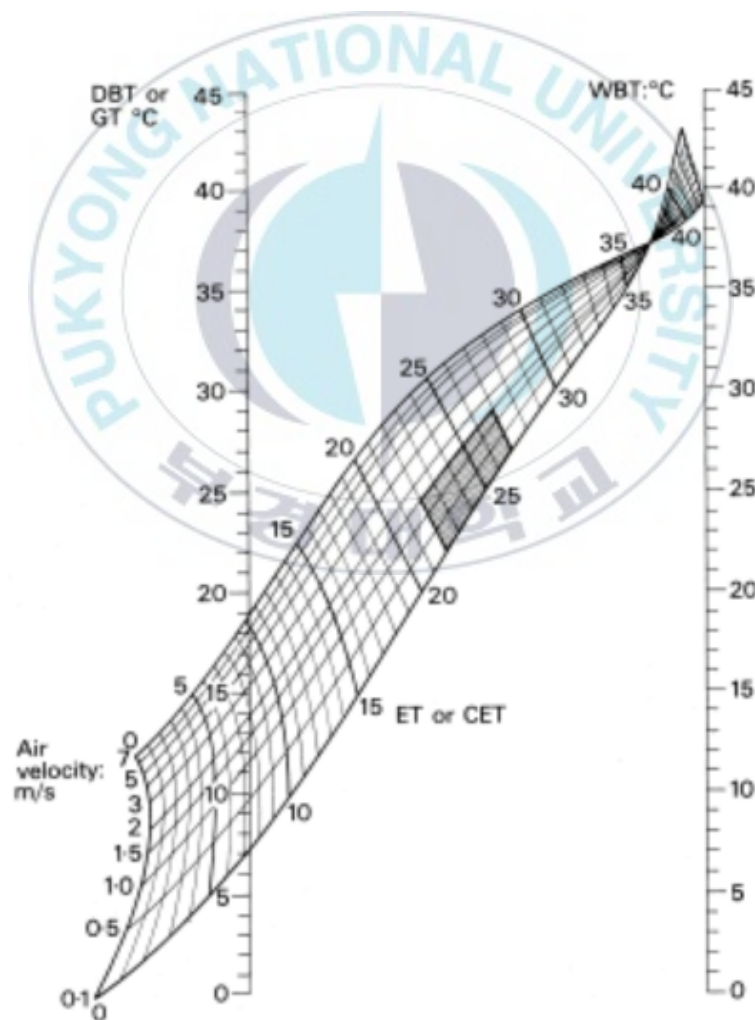


Fig. 2.6 Effective temperature²⁶⁾

(4) 신표준유효온도(Standard New Effective Temperature)²⁷⁾

신표준유효온도는 표준 착의량의 재실자가 실제의 환경에서와 같은 현열손실(피부온도)과 잠열손실(피부습윤율)을 경험하게 되는 기류속도 0.1m/s, 상대습도 50%인 표준조건하에서 균일한 열환경(기온 = 주위 벽면온도)의 온도로 정의된다. 이것은 온열환경에 있어서 인간의 체온조절 시스템을 생리학 등에 의해 얻어진 데이터에 기초해서 수학적으로 모델화해 산출한 것으로, 온도의 차원을 갖는다. 이 SET* 를 사용하면, 여러 가지 조건의 실내환경을 가상 공기온도이기는 하나 단일변수에 의해 비교 평가될 수 있으며, 또한 공기온도라는 우리에게 친숙한 물리량을 척도로 사용하기 때문에 실내 온열환경의 양상이 쉽게 이해될 수 있다.

$$SET^* = t_{so} + w(im \times LR)(p_{so} - 0.5p_{set^*,s}) \quad (2.5)$$

여기서, t_{so} : 표준작용온도[℃]

w : 피부 습윤도[-]

im : 의복과 공기층 사이의 투습도[-]

LR : Lewis 상수(h_e/h_c)[K/kPa]

p_{so} : 표준작용 수증기 분압[kPa]

$p_{set^*,s}$: SET*에서의 포화 수증기압[kPa]

(5) 예상온열감(Predicted Mean Vote)

1967년 Fanger²⁸⁾에 의해 제시된 예상온열감은 인간의 온열감각에 대한 이론을 정량화시킨 것이다. 인체의 대사율, 의복의 열저항 값 등을 산정하고 건구온도, 평균복사온도, 기류속도 및 수증기 분압 등을 측정하여 인체의 열평형을 기초로 한 쾌적 방정식에 대입하여 인체의 온열감을 이론적으로 예측한 것이다. 즉, PMV는 온열환경 6가지 요소를 쾌적 방정식에 대입시켰을 때의 발산열량과 방열량의 불평형분(인체 열부하)과 인간의 온열감각을 운전자 실험에 의해 연관시켜 나타내는 지표로서, PMV값을 열적 중립상태를 0으로 하고 -3 ~ +3의 수치 척도를 각각 춥다(cold), 서늘하다(cool), 약간 서늘하다(slightly cool), 중립(neutral), 조금 따뜻하다(slightly warm), 따뜻하다(warm), 덥다(hot)로 나타낸다.

(6) 예상불만족감(Predicted Percentage of Dissatisfied)

PMV는 같은 환경에 처해 있는 많은 사람의 열적반응에 대한 평균치를 나타낸 것이다. 그러나 각각의 응답은 평균치 근처에서 분산된 것으로 더운 사람과 추운 사람의 수를 확인하는 것도 중요하다. 예상 불만족율은 어느 환경에 재실 중인 사람들의 불만족율을 나타낸 것으로 몇 명의 사람이 온열적으로 불만을 느끼고 있는가를 나타낸다. 그리고 이것은 앞서 언급되었던 예상온열감과 연관되어 온열 지표로 널리 활용되고 있다.

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0.03353 PMV^4 + 0.2179 PMV^2)] \quad (2.15)$$

Fig. 2.7에 PMV와 PPD의 관계 그래프를 나타내었다. ISO 7730²⁹⁾에서는 PMV, PPD의 값으로써 $-0.5 < PMV < +0.5$, $PPD < 10\%$ 를 권장하고 있지만, $PMV = 0$ 에서도 5%의 불만족자가 있음을 예측할 수 있다. PMV는 다른 온열지표와 달리 직접 감각량을 표시하기 쉬우며, 또한 PPD에 의해 불만족율을 간단하게 예측할 수 있기 때문에 광범위하게 사용되는 온열환경 지표이다.

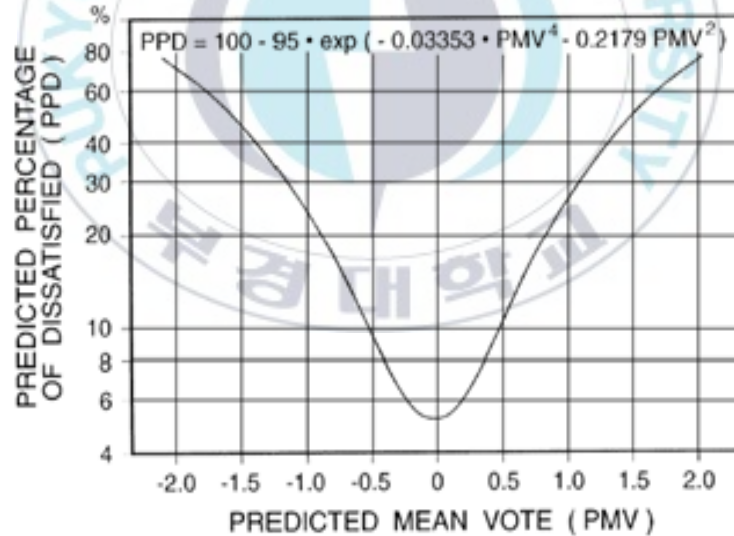


Fig. 2.7 PMV and PPD index²⁸⁾

제 2 장 승용차 실내 열환경 특성과 온열감성 분석

온열환경 지표에 대해 요약한 내용을 제안된 연도순으로 Table 2.1에 나타내었다. 온열환경 지표 중에서 예상온열감(PMV)은 인체 열평형 시스템에 대한 신체적 반응을 1,300명 이상의 피험자로부터 수집된 온열감 의사 표시를 반영한 지표이다. 온열감에 대한 쾌적성 평가로 피험자들의 심리적 상태가 고려되었으나, 실험 환경이 정상 상태에서 실시되었기 때문에 승용차와 같이 외부의 물리적 환경으로 인해 실내 환경의 변화가 심한 경우에는 쾌적성 평가 시 적용에 어려움이 있다.



Table 2.1 Thermal comfort index

Researcher	Year of issue	Thermal comfort index	DB	RH	V	MRT	Met	Clo
Yaglou, C.P.	1923	Effective Temperature	○	○	○		Seated Light work	1 Clo
Gagge, A.P. et al.	1937	Operative Temperature	○		○	○		
The Boston Globe	1959	Discomfort Index	○	○				
Fanger, P Ole.	1967	Predicted Mean Vote	○	○	○	○	○	○
		Predicted Percentage of Dissatisfied	○	○	○	○	○	○
Gagge, A.P. et al.	1986	Standard new Effective Temperature	○	○	○	○	1Met	0.6 Clo

- DB : Dry Bulb temperature[℃]
- RH : Relative Humidity[%]
- V : Velocity[m/s]
- MRT : Mean Radiant Temperature[℃]

2.2.2 주관적 심리반응 지표

인간은 누구나 쾌적한 환경을 요구하며, 심리·정신적으로 안정된 상태를 선호한다. 이러한 선호는 주관적 심리 상태와 매우 연관성이 깊다. 승용차 외형을 시작으로 내장재에도 사용자의 심리적 욕구를 충족시키기 위한 노력의 결과물로 이루어져 왔으나, 공조시스템에는 적용의 어려움으로 인해 현재까지 미미한 실정에 있다.

승용차의 쾌적 환경을 조성하기 위해서 물리적 환경요소들의 상태를 파악하고 이를 조절하는데 목표를 두었다. 하지만, 승용차 실내 환경 개선의 목적은 탑승자의 쾌적 환경 조성이다. 그러므로, 탑승자의 심리적 ‘쾌적감’에 대한 평가는 온열 환경 평가에서 중요한 요소이다. 심리반응에서 ‘쾌적감’이라는 요소는 주관적인 요소이기 때문에 객관적인 지표는 근거로 제시되어야 한다. 선행 연구에서도 살펴보았듯이 대부분의 연구들은 물리적 환경요소에 초점을 두고 진행되어 왔으며 온열 쾌적 지표로써 수십 년간 표준화된 PMV 지표를 활용하여 왔다. 이는 인체의 열적 요소와 주변 환경의 열적 요소들이 평형을 이룰 때에 사람들이 쾌적하다고 인지할 것이라는 전제하에서 수치적 열평형 모델에 근거한 쾌적 지표이고 피험자 실험을 통해 심리적 요소가 고려된 지표로 주관적 요소도 반영된 지표라 판단할 수도 있을 것이다. 하지만, Kim 등³⁰⁾은 동일한 PMV 변화 범위 내에서 재실자의 심리적 쾌·불쾌 및 긴장·이완 반응과 생리적 반응이 공조 조건이 달라짐에 따라 변화하는 것을 확인하였다. de Dear 등

³¹⁾은 기존 열평형 모델에서 정의하고 있는 6요소(온도, 습도, 복사온도, 기류, 활동량, 착의량) 외에 문화적, 심리적 요소들에 대한 인자들도 주목하였다. 이는 온열 환경 평가 시 인체의 심리적 반응을 적절하게 고려하기 위함이다.

이러한 단점을 개선시키기 위한 노력으로 심리적 적응에 대한 연구가 진행되고 있다. 심리적 적응이란 열적자극에 반복적으로 노출되는 경우 열적지각, 기대, 반응 등이 변하는 상태를 의미한다. Adaptive PMV Model이 대표적이며 균일 상태의 열평형 모델인 PMV를 개선하기 위하여 심리적 · 행동적 반응을 고려한 새로운 모델이다.

Kim³²⁾은 심리 측정 방법론에서는 사람들의 주관적인 상태를 객관화시키기 위한 방법으로 Likert 척도 방식을 활용해 왔고, 쾌적한 환경의 주체인 인간에게 있어 이들의 표현 가능한 특성을 수치로 부여하는 데에는 Likert 척도의 활용도 및 가치가 매우 높기 때문에 쾌적감 역시 Likert 척도 방식으로 활용되고 있다고 하였다. TSV(Thermal Sensation Vote)나 CSV(Comfort Sensation Vote) 척도가 이러한 Likert 척도 방식의 온열 환경에 대한 온열감과 쾌적감 척도이다.³³⁾

본 연구에서는 TSV와 CSV를 Table 2.2와 같은 7점 신고의 척도로 피험자를 통해 신고를 받았다. 실험 중 온냉감과 쾌적감에 대한 피험자의 설문 신고 시 실험자는 전혀 관여하지 않았으며, 피험자는 심리적인 상태를 적극적으로 응답에 반영할 수 있도록 실험 시 주의를 기울였다.

Table 2.2 Scale of TSV and CSV

Scale	TSV	CSV
-3	Cold	Very uncomfortable
-2	Cool	Uncomfortable
-1	Slightly cool	Slightly uncomfortable
0	Neutral	Neutral
1	Slightly warm	Slightly comfortable
2	Warm	Comfortable
3	Hot	Very comfortable

2.2.3 객관적 생리반응 지표

(1) 뇌파(electroencephalogram)

뇌파(EEG : electroencephalogram)는 몇 십억 개의 신경세포간의 결합상태나 활동에 의해서 생긴 여러 가지 전기현상으로 대뇌피질 표면을 덮고 있는 조직, 두개골, 두피 등을 매개로 뇌의 전기적인 활동을 머리 표면에 부착한 전극에 의해 비침습적으로 측정된 전기신호를 말하며 뇌파에 반영되는 뇌의 전기적 활동은 주로 신경세포에 의해 발생한다.

뇌전위는 전체 신경세포의 활동이 아니라 동일한 활동을 하는 시냅스군 즉 ‘시냅스의 기능적 단일체’에 의해서 유발된다. 이것은 특수한 뇌전위 발생인자가 존재하는 것이 아니라 모든 신경세포가 뇌전위 발생과 잠정적으로 연관되어 있다. 전체 세포군 중 일부만이 특정 시점에서 동기화 되어 뇌전위를 발생시키며, 매 순간마다 동기화되는 신경세포는 상이하다. 비록 모든 신경세포활동에 의해서 뇌전위가 발생할 수 있지만, 이러한 뇌전위의 기저가 되는 피질활동은 피질하조직인 시상하부 조절한다.

Fig. 2.8은 뉴런의 구조를 보여주고, Fig. 2.9와 Fig. 2.10에서는 전위 발생 개념도를 보여준다.

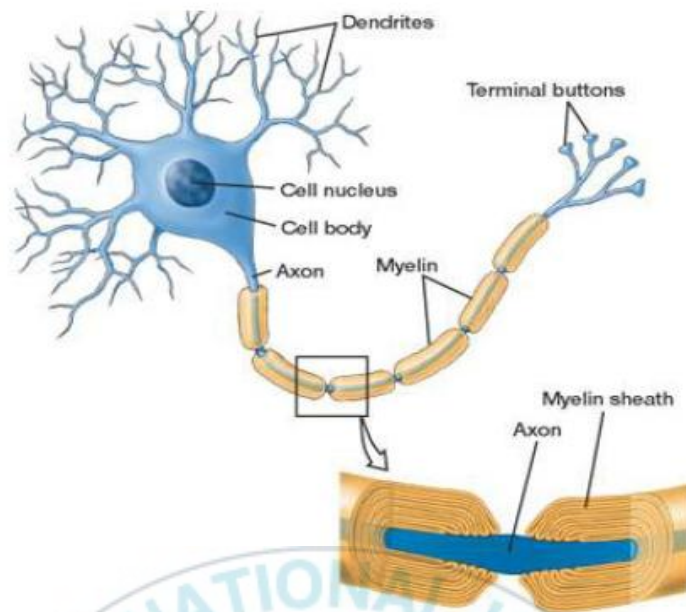


Fig. 2.8 Neuron³⁴⁾

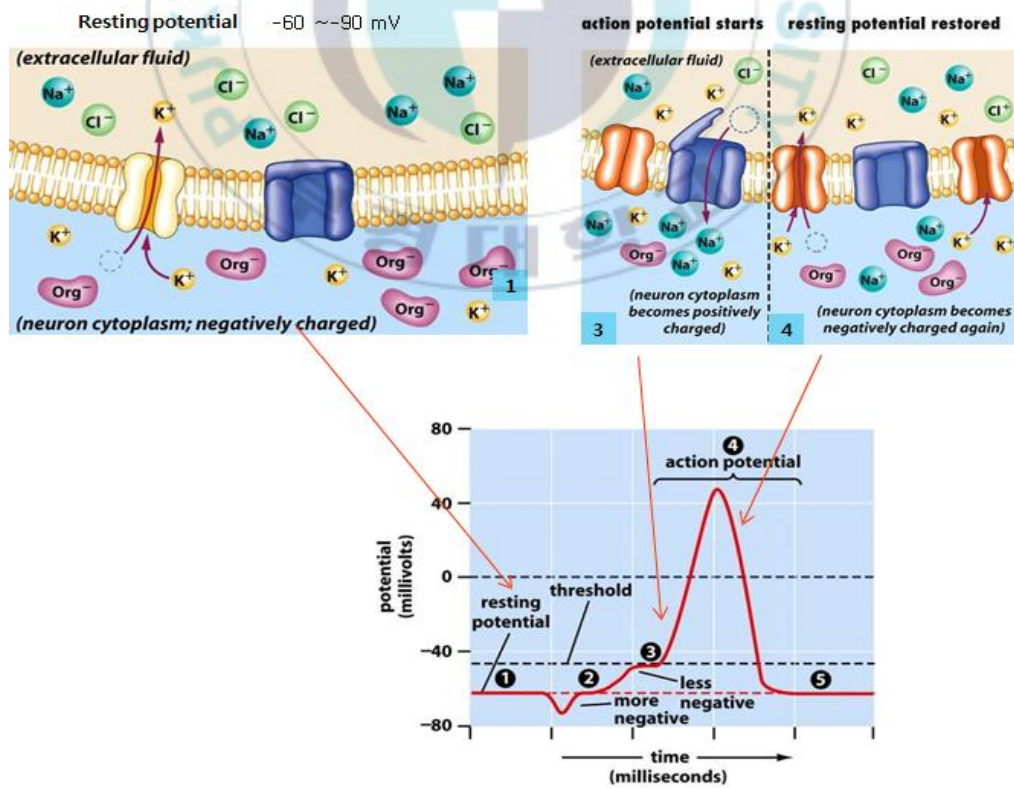
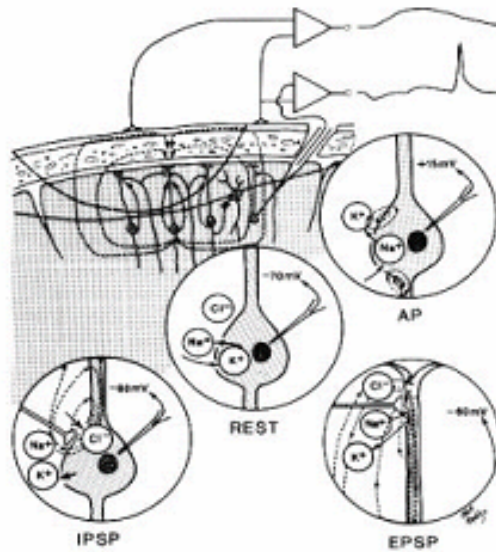


Fig. 2.9 Action potential³⁴⁾

Fig. 2.10 EEG generation³⁴⁾

대부분의 뇌파들은 불규칙하며 일반적인 패턴들은 관측할 수 없다. 그러나 어떤 경우에는 뚜렷한 패턴을 나타내는데 그들 중 어떤 파형들은 간질과 같은 뇌의 이상상태를 나타내는 파형이다. 또 다른 몇몇의 파형들은 정상인에게서 나타나며 다음과 같이 네 가지 파형중의 하나로 분류된다.

δ파: 1-3Hz의 파로 수면 중, 깊이 잠든 상태에서 나오며 물질대사가 저하했을 때 나타난다. 이 파형은 망상 활성화계(reticular activating system)로부터 대뇌피질을 기능적으로 분리시키기 위해 피질 절개 수술을 한 실험동물의 뇌에서 발생되기도 한다. δ파는 뇌의 아래 쪽 영역에서의 활동에 무관하게 피질 내부에서만 발생한다.

θ파: 4-7Hz의 파는 수면 초기, 졸음 시기에 발생한다. 주로 아이들의

제 2 장 승용차 실내 열환경 특성과 온열감성 분석

두정과 측면부위에서 발생하고 낙망, 좌절 상태에서 감정적으로 많은 스트레스를 받고 있는 성인에게서 발생된다.

α 파: 8-13Hz의 파로 눈을 감고 광자극을 차단하거나, 조용하면서도 안정된 대뇌상태를 갖고 있으며 깨어있는 정상인에게서 나타난다. 뇌의 후두부, 두정부에서 우세하며 30-50 μ V의 진폭이 큰 규칙적 리듬을 보인다.

β 파: 14-30Hz의 파로 광자극을 주거나 무언가에 주의를 집중하거나 정신 활동이 활발할 때 빠르고 진폭이 작은 β 파가 발생한다. 정점부위와 정면부위에서 검출된다.

γ 파: 30-50Hz의 파로 고도의 인지 작용 시 활성화되고, 알코올, 약물 등에 의한 불안 상태에서 발생한다.

일반적으로 뇌파는 매우 복잡한 패턴으로 진동하는 파형이므로 뇌파 파형을 시각적으로 관찰할 경우에는 의미를 찾기 어렵다. 흔히 뇌파를 관찰할 때에는 주파수에 따라 분류하는 파워 스펙트럼 분석을 이용한다. 파워 스펙트럼 분석은 뇌파가 특정 주파수로 진동하는 단순 진동들의 선형적 결합이라고 가정하고, 이 신호에서 각각의 주파수 성분을 분해하여 그 파워를 표시한 것이다.

뇌파의 파워 스펙트럼 분석은 뇌파 신호를 0.1~50Hz의 대역통과 디지털 필터에 통과시킨 후 필터링 된 신호를 푸리에 변환(fast fourier transform)하여 주파수 스펙트럼을 살펴보고 각 주파수 대역은 δ 파

(0.1-4Hz), θ 파(4-8Hz), α 파(8-13Hz), β 파(13-30Hz), γ 파(30-50Hz)로 구분하였다. 이때 대역별 주파수 구간을 선택하여 그 파워 스펙트럼의 밀도를 계산 한 뒤 β 에 대한 α 파의 상대적인 값을 분석하였다.

Fig. 2.11에서는 뇌파 센서 부착위치를 나타내었다.

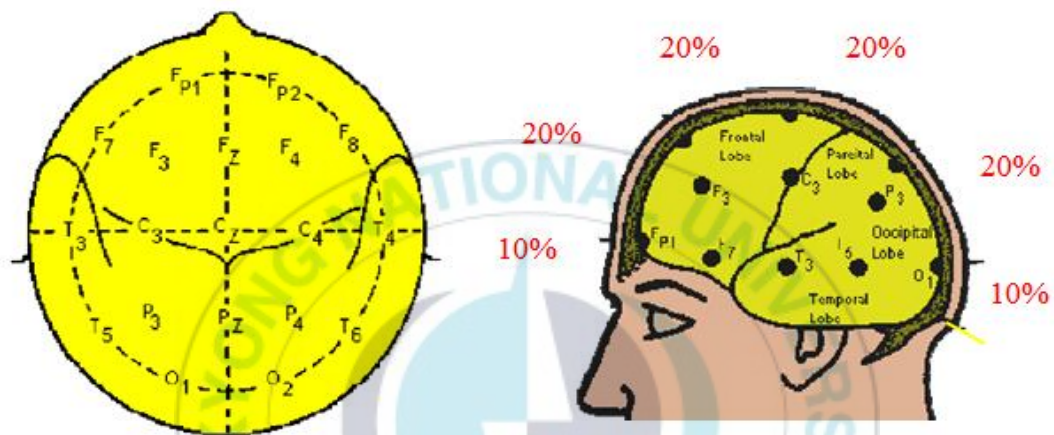


Fig. 2.11 Sticking position of EEG electrode³⁴⁾

(2) 심전도(electrocardiogram)

심전도(ECG : electrocardiogram)는 심장의 전기적 활동에 의해 생긴 미약한 전위변화를 체표면으로부터 파형으로서 나타나는 전기적 신호이다. 심장의 전기적 활성단계는 크게 심방 탈분극, 심실 탈분극, 심실 재분극 시기로 나뉘며, 이러한 각 단계에서 여러 가지 파형으로 나타난다. 이러한 파형들이 표준적인 형태를 갖추어야 심장의 전기적 활성이 정상이라고 볼 수 있다.

심전도 측정 시 전극위치는 표준사지유도법, 증폭사지유도법, 흉부유도법을 사용하고 있으며, 착의 · 착석한 상태에서 심전도를 측정할 경우엔 팔목, 발목에만 전극을 부착하는 표준사지유도법을 주로 사용하며, 더욱 정밀한 진단이 필요한 경우엔 상의를 올리고 침대에 누워 측정해야 하는 흉부유도법까지 포함하여 사용한다.

심전도는 P-Q-R-S-T파에 해당하는 연속된 파형으로 나타나며 R피크는 매 심박동마다 반복적으로 나타난다. 이러한 R피크간의 간격, 즉 심박간격 변화를 심박변이도라 부르며, HRV(Heart Rate Variability)라 한다.

심박변이도는 자율신경의 기능평가 시 유용하며, 자율신경계는 RR간격의 미세한 변화패턴으로 스트레스에 가장 민감하게 반응하고, 교감신경계와 부교감신경계를 포함한다. 자율신경계에서 균형성은 교감신경계와 부교감신경계의 상대적 흥분성을 지칭하는 것으로 심장과 같은 대부분의 내부기관은 자율신경계의 자극을 받고, 특히 심장박동율은 교감신경계와 부

교감신경계의 균형성에 의해 결정된다.

일반적으로 교감신경계는 공격, 방어적인 스트레스 상황에서 주로 활성도가 높아지며 부교감신경계는 편안하고 이완된 상태에서 활성도가 높아지게 된다. 교감과 부교감 신경에 자극이 가해졌을 때, 교감신경의 반응시간은 부교감신경에 비해 5초 정도 지연되어 느리게 나타나고, 교감신경의 활성화는 느린 변화패턴을 유도하고 부교감신경은 상대적으로 빠른 변화패턴을 유도하게 된다. 이러한 현상으로 RR 간격의 변화 패턴으로부터, 느리게 진동하는 성분의 파워와 빠르게 진동하는 성분의 파워 값으로 정량적 변수를 통해 자율신경계를 분석하였다. LF(Low Frequency)는 0.04~0.15Hz의 주파수 범위로 HF(High frequency)는 0.15~0.4Hz의 범위로 구분하였다.

Fig. 2.12에서는 측정한 시간동안의 심박간격의 변화그래프를 보여준다.

제 2 장 승용차 실내 열환경 특성과 온열감성 분석

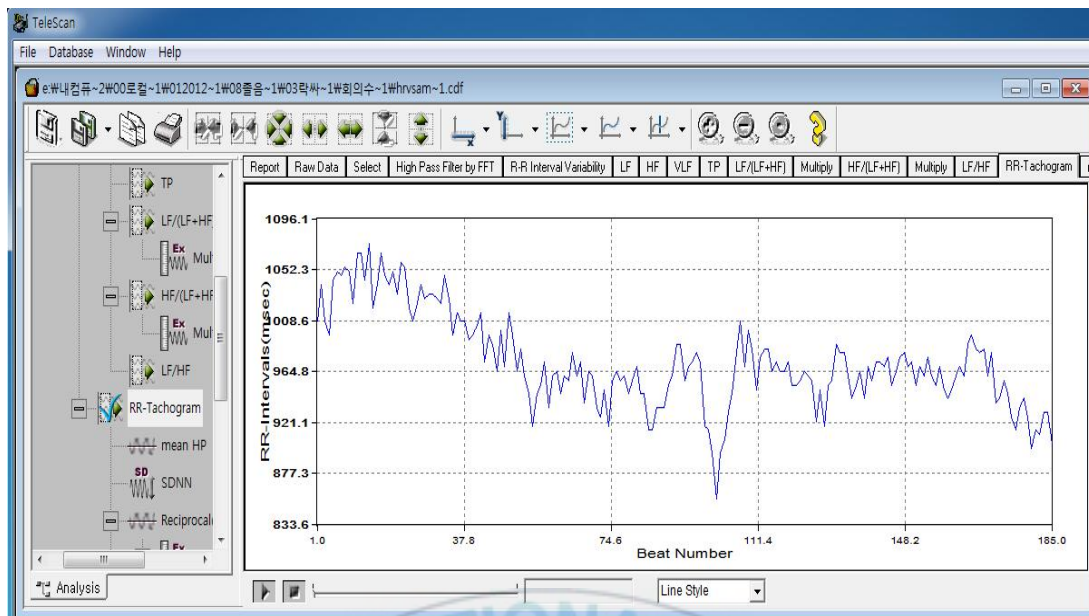


Fig. 2.12 RRV tachogram

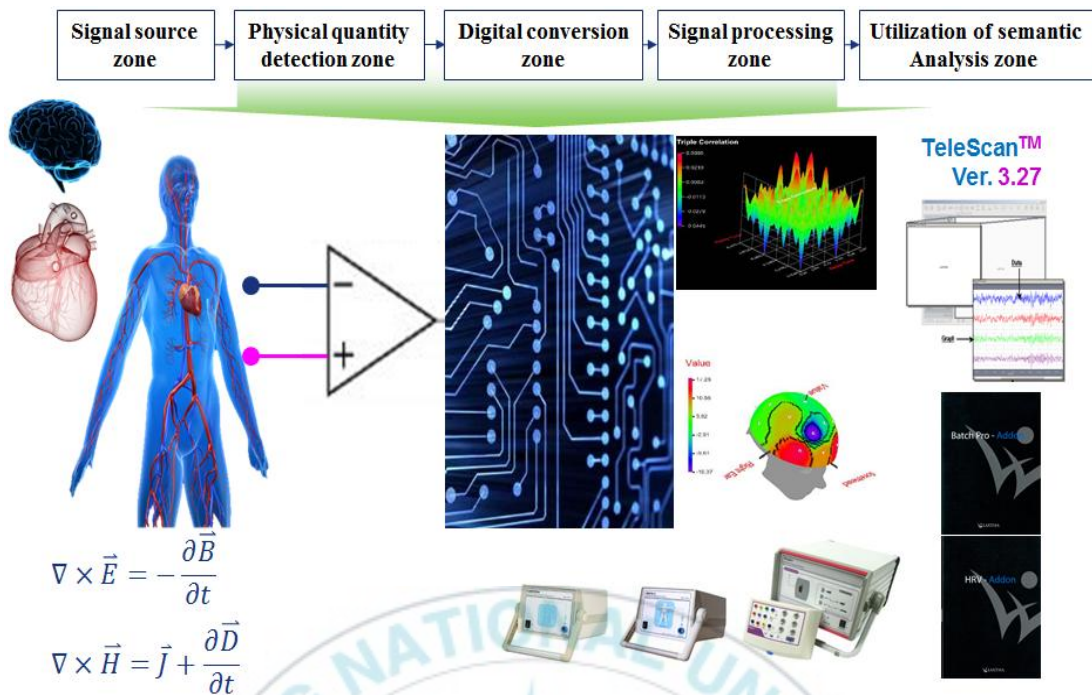


Fig. 2.13 Process of physiological signal analysis

인체의 심리적 반응에 대한 주관적 평가를 객관화시키기 위한 장치로 본 연구에서는 생리신호를 활용하였다. Fig. 2.13에서는 생리신호 분석에 대한 프로세스를 나타내었다.

인체로부터 생리신호를 추출하여 물리량을 검출하고, 디지털 변환을 통하여 육안으로 확인 가능하며, 실시간으로 데이터를 수집한다. 검출된 신호를 시간영역과 주파수영역으로 구분하고 파워 스펙트럼 분석을 통해 뇌파 신호와 심전도 신호를 정량적으로 파악하였다.

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

하였다.

정량화된 데이터는 뇌파 데이터를 활용하여 감성 정량화를 수행하여 편안하고 안정된 상태의 감성 상태를 분석하였고, 심전도 데이터를 활용하여 자극이나 환경 변화에 대한 스트레스 상태를 분석함으로써, 심리적 반응과 생리적 반응에 대한 운전자의 감성을 객관적으로 분석 가능하였다.



(3) 피부온도(skin temperature)

피부온도는 신체부위에 따라 다르므로 인체의 열평형을 논의할 때 평균 피부온도에 해당하는 값을 이용하여 인간과 주위환경 사이의 열교환량을 결정하는데 사용한다. 평균피부온도(MST : Mean Skin Temperature)는 여러 군데의 피부온도를 측정한 후 그 부위의 중량비 및 면적비를 이용하여 산출하는데 이론적인 값이므로 보통 연속적인 측정을 통해 산출된다. 많은 연구자들이 제안한 평균피부온도 측정 방법을 Table 2.3에 나타냈지만, 보통 신체의 많은 부위를 측정할수록 평균피부온도는 정확하다. 본 연구에서는 Hardy & Dubois의 7점법³⁵⁾을 사용하여 평균피부온도를 산출하였다.

Table 2.3 Equations to estimate mean skin temperature³⁶⁾

Author	Equation of mean skin temperature
Burton	$\bar{t}_s = 0.5t_{sk}(\text{chest}) + 0.14t_{sk}(\text{arm}) + 0.36t_{sk}(\text{thigh})$
Kurata	$\bar{t}_s = 0.043t_{sk}(\text{head}) + 0.055t_{sk}(\text{face}) + 0.081 \times 2t_{sk}(\text{abdomen}) + 0.166t_{sk}(\text{back}) + 0.082t_{sk}(\text{upper arm}) + 0.061t_{sk}(\text{forearm}) + 0.053t_{sk}(\text{hand}) + 0.172t_{sk}(\text{upper thigh}) + 0.134t_{sk}(\text{lower thigh}) + 0.072t_{sk}(\text{foot})$
Mitchell & Wyndham	$\bar{t}_s = 0.07t_{sk}(\text{face}) + 0.35/4t_{sk}(\text{chest}) + 0.35/4t_{sk}(\text{abdomen}) + 0.7/4t_{sk}(\text{back}) + 0.14t_{sk}(\text{upper arm}) + 0.05t_{sk}(\text{hand}) + 0.19t_{sk}(\text{upper thighs}) + 0.13t_{sk}(\text{lower thighs}) + 0.07t_{sk}(\text{foot})$
Nadel	$\bar{t}_s = 0.07t_{sk}(\text{face}) + 0.1t_{sk}(\text{chest}) + 0.09 \times 3t_{sk}(\text{back}) + 0.07 \times 2t_{sk}(\text{arm}) + 0.11t_{sk}(\text{hand}) + 0.16t_{sk}(\text{thigh}) + 0.16t_{sk}(\text{foot})$
Hardy & Dubois	$\bar{t}_s = t_{sk}(\text{fore head}) \times 0.07 + t_{sk}(\text{fore arm}) \times 0.14 + t_{sk}(\text{back of the hand}) \times 0.05 + t_{sk}(\text{abdomen}) \times 0.35 + t_{sk}(\text{upper thighs}) \times 0.19 + t_{sk}(\text{lower thighs}) \times 0.13 + t_{sk}(\text{foot}) \times 0.07$

인간이 정상상태를 유지하며 상호 협력하는 생리반응은 매우 복잡한 과정을 가지며 신체를 유지한다. 신체가 정상상태로 있는 것을 신체 항상성(homeostasis) 이라고 말하며 이러한 항상성을 유지하기 위해 신체의 활

동을 항상성 유지반응(homeostatic reaction)이라 한다. 신체의 기능적구조단위인 세포는 그 범위에 있는 액체로 세포외액(혈장, 조직액, 림프)에 의해 필요한 물질과 정보가 주어지면 대사와 노폐물을 발생시킨다. 즉 세포외액은 세포의 운동에 필요한 조건을 주어지는 세포의 직접적인 환경이라고 한다. 이러한 환경은 신체의 내부 환경(internal environment)이라고 하고 신체의 외부환경(external environment)과 구별한다. 외부환경이 변화할 때 신체 내부 환경은 거의 정상상태를 유지하려고 하고 이것을 외부환경의 신체 항상성이라 한다. 이것은 인간이 생존하기 위한 필요조건이다.

생리적 순응(physiological adaptation)은 개체로 된 인체가 환경의 장기적 변화에 대응하여 정상적으로 존재하기 위해 생체기능을 변화하거나 새로운 항상성을 형성하는 과정이다. 인체기능을 교란시키는 환경으로부터 자극(한냉, 서열, 저산소 등)이 지속적이거나 반복적으로 작용할 때 인체기능은 근본적 변수(체온, 혈중산소농도 등)를 생리적 한계내로 유지하기 위해 인체기능의 기타 변수를 변화시켜서 적응한다. 즉 적응은 많은 인자의 관련을 가진 복잡한 현상이다.

생리적 적응에서는 시간적 인자가 중요하다. 최초의 과대한 대상성 조절반응을 일으킬 때 적응을 일으키는 인자에 의해 자극이 유지되고 최초의 반응보다 안정되며 에너지 소비가 적은 경제적인 적응성 반응으로 변화한다.

제 2 장 승용차 실내 열환경 특성과 온열감성 분석

인간과 같은 고등동물의 특징은 중요한 생체기능(체온의 항상성)이 환경조건의 변화에 넓은 범위에 걸쳐 유지된다는 것이다. 이 같은 인체를 조절성유기체(regulating organism)라고 한다. 이와 반대로 환경의 변화에 순응하여 생체기능이 변화하는 종합성유기체(conforming organism)의 특징 또한 가지고 있다.

이러한 시간에 따른 환경 변화에 순응하는 인체의 상태를 객관적으로 분석하기 위해 평균피부온도를 실시간으로 측정하여 분석하였으며, 인체의 생리반응 지표로 사용하였다.



2.3 온열감성 평가 프로토콜

승용차 탑승 시 열적 불쾌감은 심리·생리 반응이 고려된 감성 공조운전을 함으로써 감소시킬 수 있다. ASHRAE에서는 온열 쾌적감을 다음과 같이 정의한다.

“Thermal comfort is the condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment and is assessed by subjective evaluation.” ³⁷⁾

즉, 온열 쾌적감이란 온열환경에서 만족을 나타내는 마음의 상태로써 주관적 판단이다. 이러한 주관적 판단은 인체의 온열감에서 비롯되며 영향을 미치는 인자로는 개인적인 요소와 물리적인 요소로 크게 구분된다. 개인적 요소로는 인체측 조건으로 착의량과 활동량 등이 대표적이고, 물리적 요소로는 기온, 습도, 기류, 복사열 등이 대표적이다. 또한 배경적인 요소로써, 성별이나, 연령, 체질, 체형 등과 채실공간이나 기상 조건과 같은 환경적 요소도 포함된다. 이러한 인자와 요소들은 인체에 대한 입력요인으로 작용하게 되고, 심리적 반응인 온열감과 쾌적감, 선호도, 생리적 반응으로 뇌파, 심전도, 피부온도의 출력반응으로 나타남으로써 쾌적감을 평가할 수 있다. 심리적 반응은 주관적인 지표로써 객관화시키기 위한 출력 반응인 생리적 반응을 객관적 지표로 사용하여 본 연구에서는 온열 감

성 평가를 실시하였다.

Fig. 2.14에서는 인체의 온열감과 쾌적감에 영향을 미치는 요인과 각 인자들의 영향을 종합하여 나타내었다.

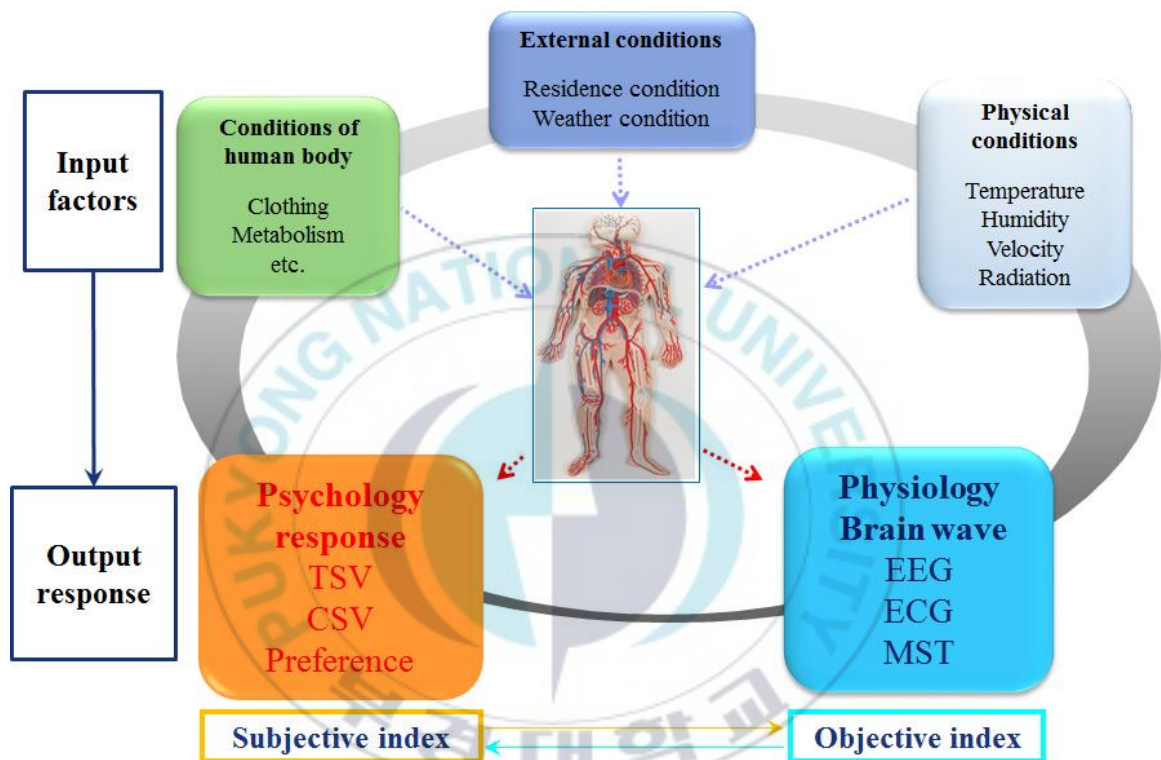


Fig. 2.14 Factors and responses of thermal comfort sensation

본 연구에서는 온열감성 분석을 위해 심리반응, 생리반응, 선호도에 대한 인체의 직접적인 반응 및 행동상태를 측정하여 분석하였으며, Fig. 2.15에 분석항목과 요소, 분석 방법, 평가방법, 의미에 대해 요약하여 나타내었다.

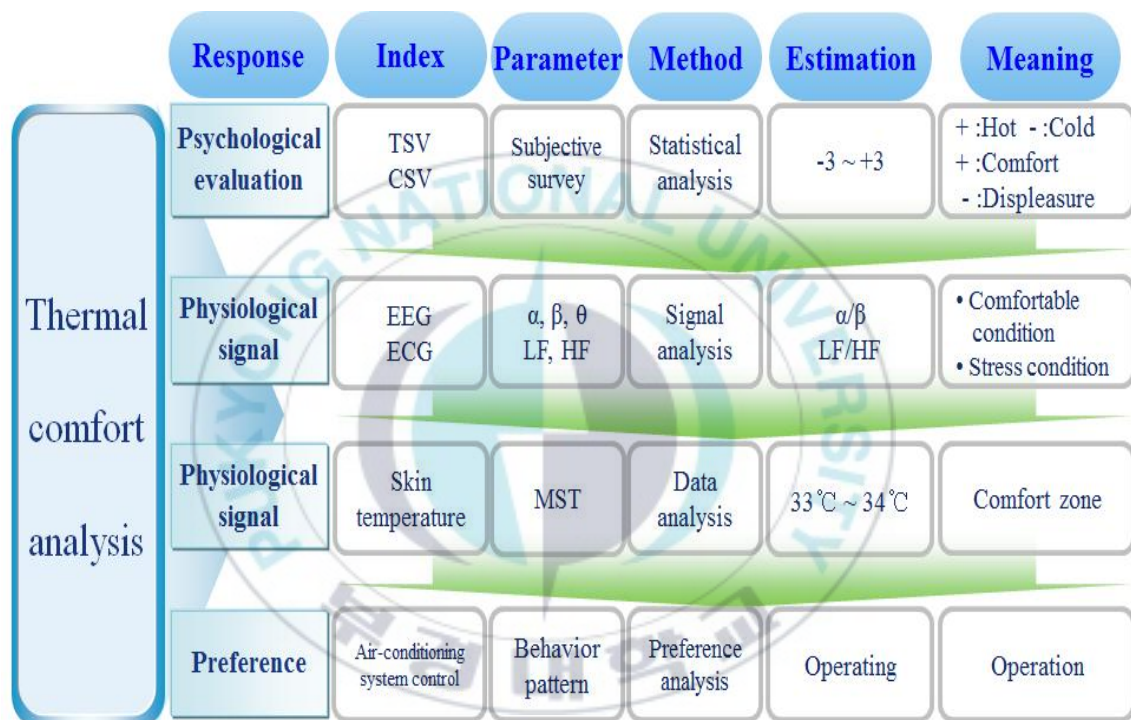


Fig. 2.15 Process of the analysis of thermal comfort

제 2 장 승용차 실내 열환경 특성과 온열감성 분석

심리반응은 주관설문을 통해 온열감과 쾌적감을 평가하였고, 통계분석을 통해 유의미한 차이를 확인하였다. 평가는 7점법을 사용하여 +3 ~ -3의 ‘덥다’와 ‘춥다’, ‘쾌적하다’와 ‘불쾌하다’로 구분하였으며, 피험자를 통한 직접 설문응답을 실시하였다. 생리신호는 뇌파와 심전도를 이용하여 생체신호를 측정하였고, 편안하고 안정된 상태와 긴장상태를 뇌파를 통해 관찰하였고, 스트레스 상태를 파악하기 위하여 자율신경계를 대표하는 LF와 HF의 비율로써 분석하였다. 인체의 생리적 반응 요소인 피부온도를 측정하여 평균피부온도를 수식화하여 산출하였으며, 선행 연구를 통해 잘 알려진 $33^{\circ}\text{C} \sim 34^{\circ}\text{C}$ ³⁸⁾의 쾌적영역을 기준으로 평균피부온도를 분석하였다. 또한 선호도를 조사하여 운전자의 행동패턴을 확인함으로써 승용차용 공조기기의 조작방법에 대한 선호도 조사를 실시하였다. 이러한 인체 반응들은 실험 Case 별로 분산분석, 상관분석, 회귀분석, 교차분석 등 기술 통계분석을 실시하였고, 각각의 요소들을 종합하여 통계분석 함으로써 운전자의 온열감성 평가를 수행하였다.

제 3 장 승용차 실내 냉방 시 운전자 온열감성 평가

3.1 연구개요

2016년 기준 한국의 자동차 총 등록대수 중 승용차는 80%에 이른다. 승용차의 비율이 높음으로 인하여 교통사고 빈도도 높아지고 있으며, 교통사고로 인한 사망자는 매년 5,000명에 이르고, 부상자는 30만 명을 넘어서고 있는 실정이다.³⁹⁾ 본 논문은 승용차 탑승초기 불쾌한 실내 열환경을 단시간에 개선시킴으로써 운전자의 쾌적성을 향상시키고 쾌적한 운전환경을 조성하여 교통사고 발생률을 감소시키는데 도움이 될 것이다.

교통사고의 주요 원인으로 운전자의 부주의로 인한 사고가 대부분을 차지한다. 따라서, 교통사고 시 자동차 충돌로 인한 운전자 보호 차원의 안전장치에 앞서, 사고를 미연에 방지시킬 수 있는 방안으로 운전자의 정상적인 신체 · 심리적 안정 상태를 오랫동안 유지시켜 줄 수 있도록 쾌적한 실내 환경 조성이 필요하다. 쾌적한 승용차 실내 환경은 정상적인 신체 상태를 유지시켜 불필요한 인체의 활동을 줄이고, 운전자의 집중력을 향상시킴으로써 인적 사고발생 요소를 최소화시킬 수 있다.

자동차 선진국인 미국, 일본, 유럽 등에서는 성별, 연령층, 기후 조건별 다양한 인체실험을 바탕으로 온열쾌적성을 평가하기 위한 연구가 진행되

고 있으나, 건축분야에서의 건축 환경 쾌적성이나 의류개발을 위한 열적 쾌적성에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 그러나 승용차 실내 환경에 대한 인체실험 연구는 미진한 실정에 있고, 공조시스템에 대한 하드웨어적인 연구가 대부분을 차지하고 있다.

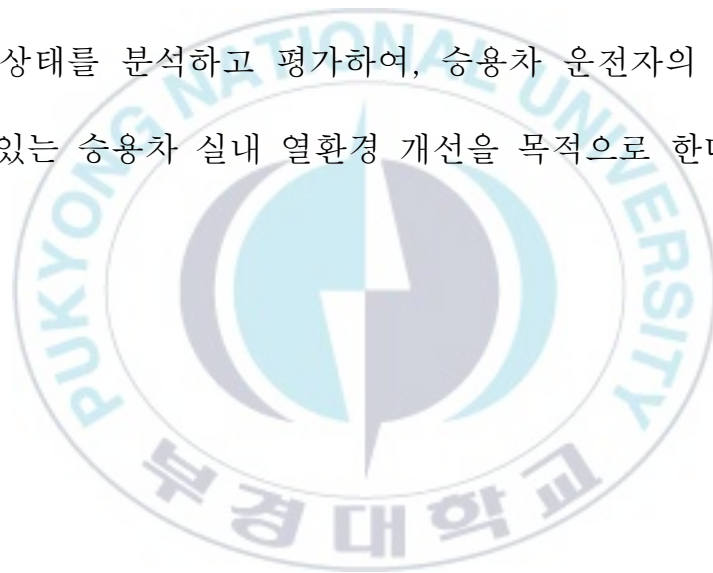
건축물은 인간의 주거 및 사무·휴식공간으로 일상생활 대부분의 시간을 건축물 내에서 보냄으로써 실내 환경에 대한 많은 연구가 진행되어 왔고, 자동차의 경우 주된 기능인 운송·교통수단으로써의 역할에 충실하기 위한 기계 메커니즘(mechanism)과 하드웨어 관점에서 개발과 연구가 활발히 이루어져 왔다. 또한, 현재는 화석연료의 고갈과 환경문제의 대안으로 대체에너지를 이용한 기계분야의 연구가 진행되고 있는 실정이다. 자동차 또한 인간생활의 일부가 되어, 자동차를 구성하고 있는 수 만개의 기계적 요소뿐만 아니라 사용자 측면인 인간 중심의 인터페이스화가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

국내에서는 많은 시민들이 이동수단으로 사용하는 지하철이나 고속철도와 같은 대중교통 시설에서의 환경적 측면에 대한 연구⁴⁰⁾가 진행되었고, 자동차와 관련된 연구는 졸음운전 방지를 위한 운전자의 안면부 인식⁴¹⁾, 졸음 각성시스템 개발을 위한 연구⁴²⁾ 분야에서 활발하게 진행되고 있다.

자동차는 사용자들의 편의성과 안전성에 대한 요구가 급격히 늘어나면서 웰빙화, 정보화 되고 있다. 이러한 자동차의 변화에 맞추어 자동차 공조시스템에도 역시 새로운 아이템을 도입하고 발전시키고 있으며, 새로운

부가 기능이 요구된다.

본 장에서는 승용차의 하드웨어적이고 기계적인 메커니즘을 넘어서, 여름철 에어컨 가동 시 운전자 중심의 감성 평가를 수행하였다. 여름철 사무실이나 건물 내부에 채설 해 있던 운전자가 이동을 위해 외부에 주차된 승용차에 탑승 시 열적 불쾌감은 극에 달하고, 심리·정신적으로 불안정한 상태를 유발하게 된다. 이러한 불안감을 운전 초기 시점에 단시간에 해소시킬 수 있는 에어컨 운전 방법을 제시하기 위해 승용차 실내 냉방 시 온열감성 상태를 분석하고 평가하여, 승용차 운전자의 온열 쾌적성을 증대시킬 수 있는 승용차 실내 열환경 개선을 목적으로 한다.



3.2 여름철 승용차 실내 열환경

(1) 실측방법

실측장소는 부산광역시 소재 부경대학교 용당캠퍼스 야외 주차장에서 실시하였으며, 위도 35.12°, 경도 129.09°의 위치이다. 대상 승용차는 2,000cc 중형 은색 승용차이다. Table 3.1은 실측용 승용차의 제원이다.

측정 항목으로는 일사량, 외기 온 · 습도, 실내 온 · 습도가 있으며, 승용차 외부 측정 항목 중 일사량을 측정하기 위한 일사계는 대상 승용차의 그림자와 기타 요인으로 인해 일사를 측정하지 못하는 경우를 고려하여 반경 2m 이격된 거리에서 측정하였다. 외기온도와 습도 역시 승용차 표면에서 발생하는 복사열을 고려하여 전방 2m 지점에서 측정하였으며, 일사의 영향이 없는 승용차 바닥에서의 외기온도를 추가하여 측정하였다.

Table 3.1 Specification of test automobile

Section	Overall length	Overall width	Overall height	Wheel base	Tread
Specification [mm]	4,845	1,835	1,455	2,795	1,591
Indoor view					

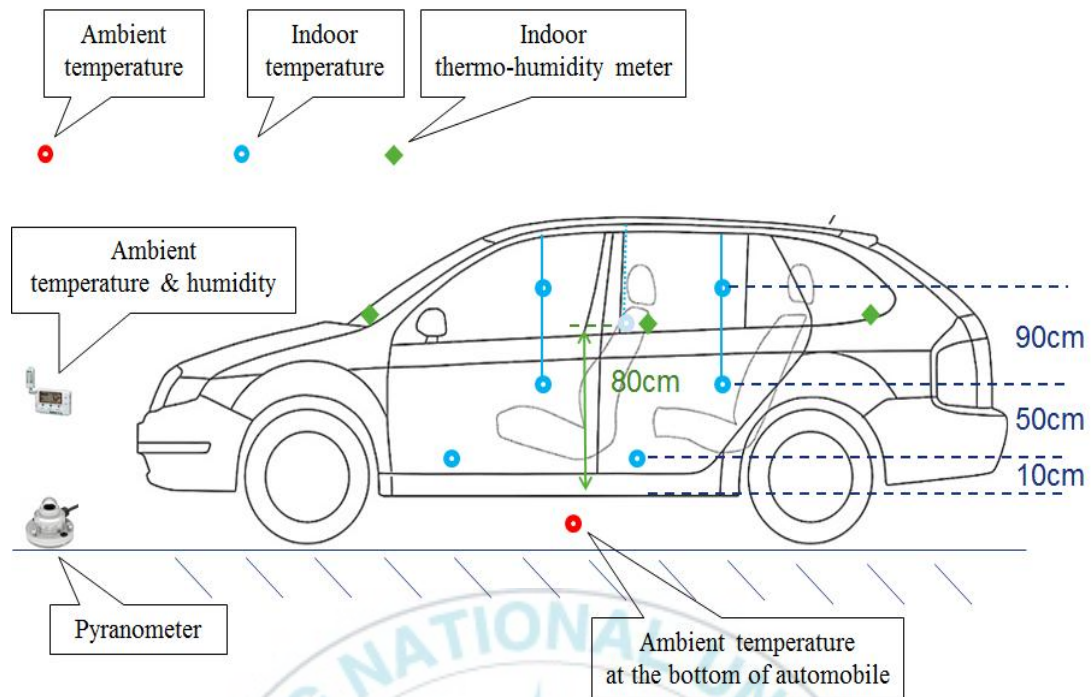


Fig. 3.1 Measurement points of indoor and ambient temperature

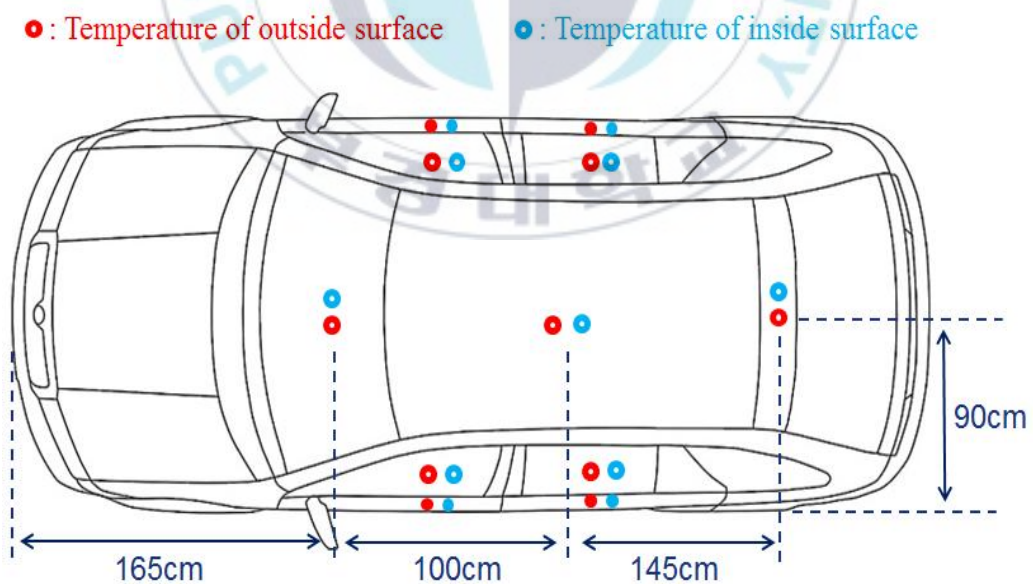


Fig. 3.2 Measurement points of the surface of automobile

Fig. 3.1과 Fig. 3.2에서 외부와 실내 측정 위치를 나타내었다. 승용차 실내 측에는 실내 대표점으로 실내 중앙점으로부터 실내 온도와 습도를 측정하였고, 실내 중앙점에는 흑구온도계를 설치하여 실내 복사온도를 측정하였다. 그리고, 전면 대쉬보드 상부와 후면 뒷좌석 선반 상부에 온 · 습도계를 설치하여, 전면부와 후면부에서의 실내 온 · 습도를 동시에 측정하였다. 운전자와 탑승자가 거주하는 공간에는 운전석, 조수석, 탑승석 좌 · 우로 구분하였고, 호흡선, 배, 발목으로 나누어 실내 구역을 세분화시켜 측정하였다.

승용차 외부와 실내 측에 대한 열환경 측정 시 고려되어야 할 요소는 외부열이 내부로 전도되는 현상이다. 이러한 전도열을 알아보기 위하여 승용차 내 · 외부 표면에 온도 센서를 부착하였으며, Fig. 3.2에 표면온도 측정점을 표시하였다.

Table 3.2와 Table 3.3에는 측정 위치와 측정점의 개수를 상세히 나타내었다.

Table 3.2 Measurement points at the outdoor location

Measurement list	Measurement location	The number of measurement points
Solar radiation	Around the automobile(side)	1
Roof	Surface of roof	1
Door	Surface of door	4
Door glass	Surface of glass	4
Window (front, back side)	Surface of window	2
Floor side	Outdoor temperature at the bottom of automobile	1
Outdoor temperature	Ambient air	1
Outdoor humidity	Ambient air	1

Table 3.3 Measurement points at the indoor location

Measurement list	Measurement location	The number of measurement points
Driver's seat	Nasal and abdominal region	2
Passenger seat	Nasal and abdominal region	2
Left side of back seat	Nasal and abdominal region	2
Right side of back seat	Nasal and abdominal region	2
Floor of the automobile	Ankle region	4
Center of the interior	Representative point of interior	1
Center of the interior	Globe temperature	1
Window	Surface of window	6
Door	Surface of door	4
Ceiling of the automobile	Surface of ceiling	1
Floor of the automobile	Surface of floor	1

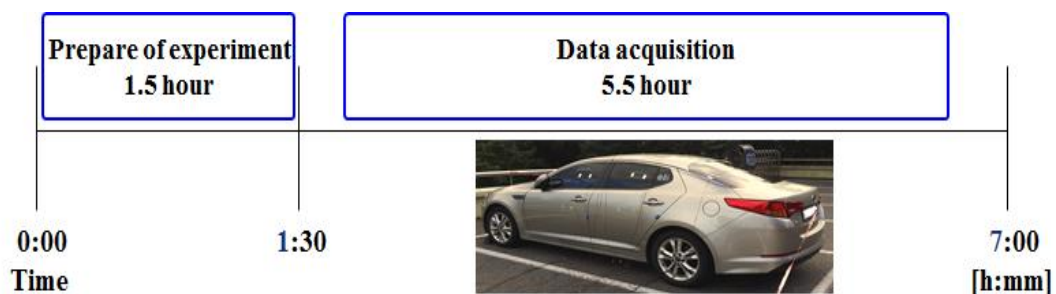


Fig. 3.3 Process of experiment schedule

Fig. 3.3에 실측 스케줄 및 실측 전경을 나타내었다. 실측을 위해 측정 장비 및 센서 확인을 위한 준비시간은 1시간 30분이 소요되었고, 실측 시간은 주변 나무와 장애물 등으로 일사가 가려지는 시간인 16시 30분까지 약 5시간 30분 동안 데이터를 수집하였다.

(2) 여름철 실내 열환경 실측결과

야외에 주차된 승용차의 경우 일사 유입으로 인한 복사열과 승용차 내부에서 발생하는 복사열로 인해 실내 열부하는 정체된 상태로 지속적으로 실내온도는 상승하게 된다. 따라서, 실내 열환경 실측 실험 시 이를 고려하여 일사 유·무에 따라 태양을 육안으로 확인 가능한 맑은 날과 구름으로 인해 태양을 육안으로 확인 불가능한 흐린 날로 구분하여 실측을 실시하였다.

Table 3.4와 Fig. 3.4에 실측된 결과 값을 맑은 날과 흐린 날로 구분하여 나타내었다. 실측 결과는 오전 11시부터 오후 16시 30분까지 5시간 30분 동안 실측된 값의 평균값, 최대값, 최소값이다. 일사 유·무에 따른 491.8W/m^2 의 일사량 차이로 인해 일사가 가장 많이 유입되는 부분인 실내 측 전면부에서의 온도차는 18.7°C 로 가장 높은 온도차가 발생함을 확인하였다. 실내 후면부에서의 온도차는 16.5°C 로 전면부에 비해 유입되는 일사각과 측정위치의 차이로 인해 전면부 보다 2.2°C 낮은 값을 확인하였으며, 실내 중앙에서의 온도차는 12.3°C 로 일사 유·무에 따라 10°C 이

제 3 장 승용차 실내 냉방 시 운전자 온열감성 평가

상의 실내 온도차가 발생함을 확인하였다.

또한, 일사 유·무에 따라 맑은 날은 흐린 날에 비해 실내 전면부에서는 41%, 실내 중앙부에서는 31%, 실내 후면부에서는 39% 상승된 온도를 나타내었다. 그러므로, 실내 평균 온도 상승률은 약 37%이며, 승용차 실내 온도 상승 요인으로는 일사가 대부분을 차지한다는 사실을 확인하였다.

Table 3.4 Temperature change according to solar intensity

Section	Sunny day				Cloudy day			
Position	Outdoor	Front	Center	Back	Outdoor	Front	Center	Back
Average [℃]	31.5	64.3	52.0	59.3	29.3	45.6	39.7	42.8
Max. [℃]	35.4	69.0	54.2	63.3	31.6	51.0	42.4	47.8
Min. [℃]	27.8	51.0	47.0	46.6	27.1	38.0	35.8	36.2
Solar radiation [W/m ²]	825.0 ±12.2				333.2 ±59.5			

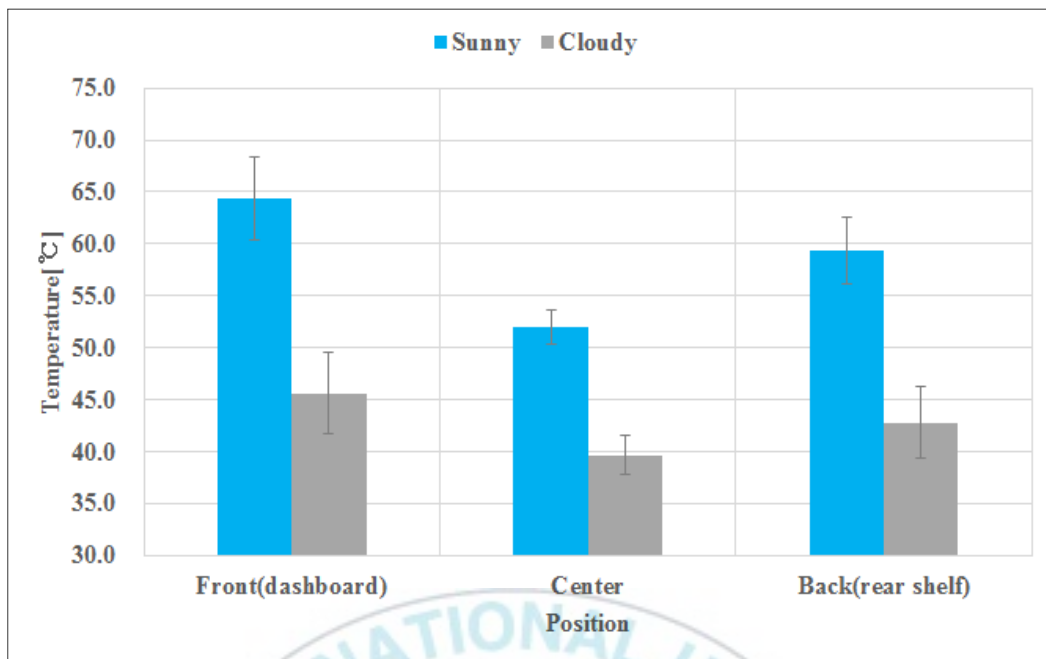


Fig. 3.4 Indoor mean temperatures at each interior positions in case of cooling

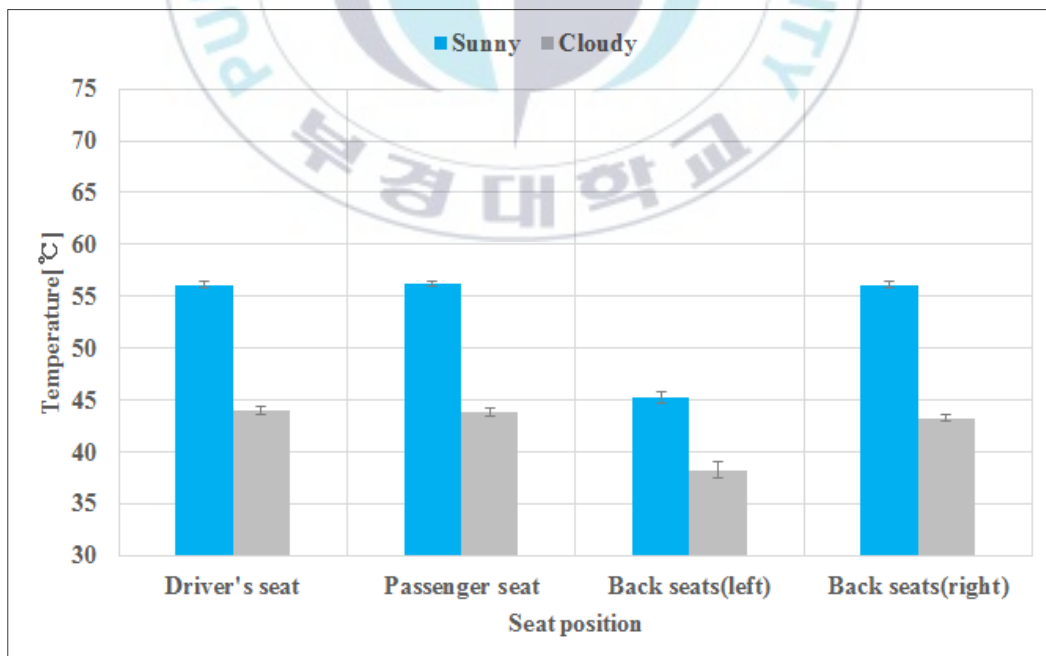


Fig. 3.5 Indoor mean temperatures at each boarding seats in case of cooling

Fig. 3.5는 탑승 좌석별 실내 온도로서, 운전석과 조수석, 뒷좌석 좌·우의 인체 호흡선 높이에서 측정된 결과이다.

맑은 날의 경우 뒷좌석 좌측에서 낮은 온도가 형성되는데, 이는 탑승문과 앞좌석 시트로 인해 직접적인 일사 유입이 없는 부위로써, 다른 좌석 부분과 약 11℃의 차이가 나타났다. 흐린 날의 경우에도 뒷좌석 좌측 부분에서는 5℃의 온도차를 나타내었다. 또한, 맑은 날 뒷좌석 좌측의 경우 흐린 날의 다른 좌석 부위와 비교 시, 2℃ 정도의 온도차만 나타났고, 흐린 날과 유사한 온도가 조성되었다. 따라서 승용차 실내 열환경은 일사에 의한 영향이 가장 크다는 사실을 확인하였다.

일사 유·무에 따라 실내 열환경 조건이 다르므로, 여름철 에어컨 가동 시 일사 유·무에 따른 운전 모드 변화가 필요할 것으로 판단된다.

3.3 온열감성 평가

3.3.1 피험자 선정

본 실험은 승용차 실내 운전석에서 실시하게 되므로 승용차 운전석에 대한 거부감을 최소화시키기 위해 운전 면허증을 보유하고, 운전경험이 있고 신체·정신적으로 가장 건강한 연령대인 20대를 대상으로 모집하였다. 지원자 40명을 대상으로 건강상태를 확인하기 위해 신장, 체중, 혈압, 맥박 등 기본적인 신체검사를 실시하였고, 인터뷰를 통해 생활 주기가 일정하고 약물을 복용하고 있지 않는 20명을 선정하여 실험을 진행하였다.

선정된 피험자들에게는 실험기간 중 다음과 같은 권고 사항을 공지하였다.

- ① 실험 시 영향을 줄 수 있는 무리한 운동을 피하십시오.
- ② 실험 시 피곤함을 느끼지 않도록 과로하지 마십시오.
- ③ 실험 전일 과식이나 음주를 피하십시오.
- ④ 비흡연자이나 흡연과 흡연 장소를 피하십시오.
- ⑤ 규칙적인 일상생활을 유지하십시오.
- ⑥ 배탈이나 기타 신체변화가 있을 시 즉시 실험자에게 연락하십시오.

실험 기간 중 실험자와 피험자는 비상 연락망을 유지함으로써 실험일정에 무리가 없도록 일정을 피험자의 상황에 맞추어 조절하였고, 피험자들

제 3 장 승용차 실내 냉방 시 운전자 온열감성 평가

을 수시로 관찰하였다. 또한, 실험에 참가하는 피험자에게는 실험 동의서를 자발적으로 작성토록 하고 제출한 피험자에 한하여 실험에 참가시켰다.

실험에 참가한 피험자의 신체 치수와 한국인 평균 신체 치수를 Table 3.5에 나타내었다.

Table 3.5 Anthropometric data of the subjects in case of cooling

	Standard	Sunny Subjects	Cloudy Subjects
Age [year]	Twenty	26.0 ±2.55	25.4 ±3.05
Height [cm]	175.8 ±5.38	173.6 ±2.30	173.6 ±5.86
Weight [kg]	75.6 ±10.78	67.4 ±5.55	69.2 ±6.10
Body fat percentage [%]	18.5 ~22.9	17.54 ±2.42	20.04 ±4.31
Pulse [bpm]	50 ~100	68.0 ±7.35	73.4 ±8.32
Blood pressure [mmHg]	120/80	119.4 /75.0 (±7.23 /8.06)	126.2 /73.4 (±10.06 /7.67)

* KOSIS(국가 통계 포털)

3.3.2 실험 스케줄

실험은 부산광역시 남구 신선로 소재 부경대학교 용당캠퍼스에서 실시하였으며, 여름철 운전자 탑승 시 열쾌적성을 평가하기 위하여, 그들이 없고, 주위가 개방되어 있는 야외주차장에서 진행하였다. 피험자가 탑승하는 실험용 승용차는 G사의 T모델 은색 승용차로 2,000cc 국내 생산용 중형 승용차이다.

실험자는 실험 전 피험자에게 실험에 대한 전반적인 내용을 설명하였고, 피험자와 질의응답을 통해 실험과정에 대해 이해시켰다.

실험 스케줄은 피험자 도착과 동시에 30분간 건강 상태에 대한 설문지를 작성하도록 하고, 기본적인 건강상태를 체크하였다. 인터뷰를 통하여 심리적 안정 상태를 확인하였으며, 피험자의 신체 · 심리 상태를 파악한 후 실험을 진행하였다.

30분간 피험자 상태를 확인한 후, 일사량, 승용차 내부 온 · 습도 센서 및 데이터 수집 장비가 정상적으로 작동하는지를 확인한 후 본 실험을 실시하였다. 피험자는 본 실험을 실시하기 전 여름철 건물의 실내 환경 조건인 26℃, 50%에서 20분간 대기시켰다. 이는 여름철 높은 외기온도에 대해 피험자가 적응하는 시간을 최대한 배제시키기 위함이다.

본 실험에서 에어컨 작동 모드는 수동 모드, 실내 순환 모드는 미작동으로 진행하였으며, 피험자들은 승용차 탑승과 동시에 승용차 에어컨 풍량과 풍향을 자유롭게 조작하도록 시킴으로써 피험자들의 조작 선호도를

조사하였다. Fig. 3.6은 실험 스케줄을, Fig. 3.7에서는 실험 구성도를 보여준다.

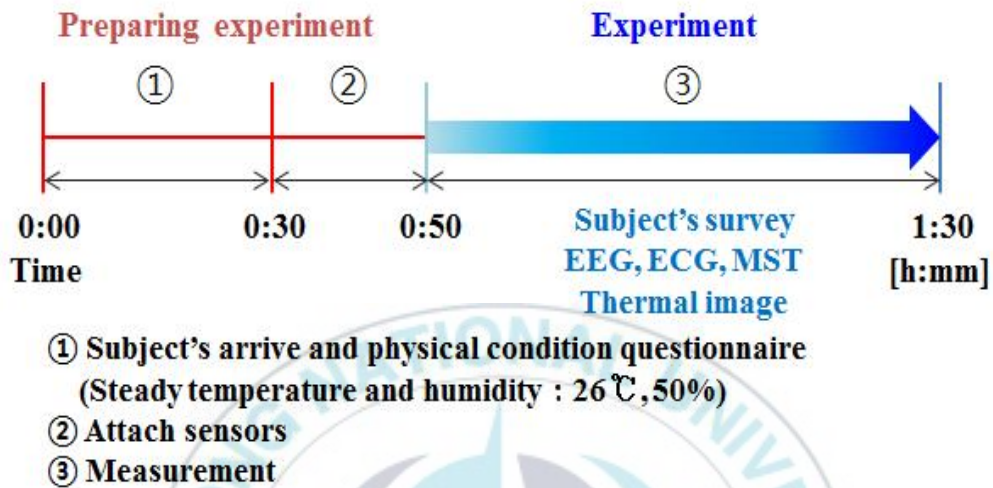


Fig. 3.6 Experimental procedure in case of cooling

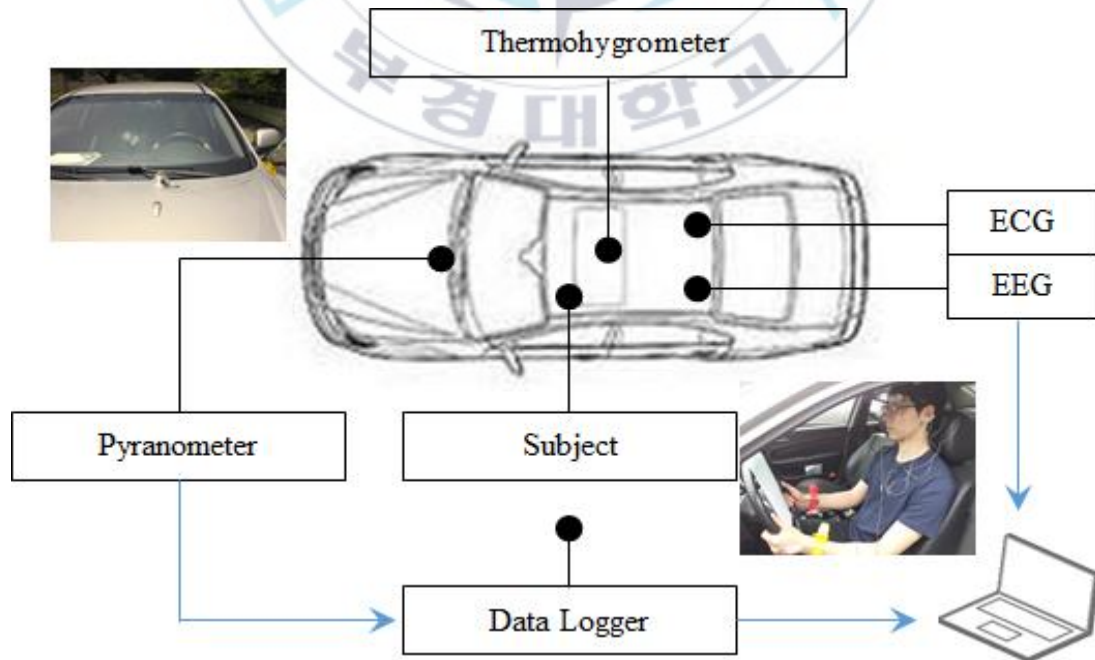


Fig. 3.7 Schematic diagram of experiment

Table 3.6 Experimental equipment in case of cooling

Section	Measuring equipment	Measuring model & type	Measurement data
Environment	Pyranometer	-	Solar radiation
	Data Logger	MV2000	Data acquisition
	Thermo-hygrometer	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
	Thermal image	FLIR i60	Facial region surface temperature

Table 3.6은 측정 장비와 측정 요소를 보여준다. 측정요소로는 크게 환경 측 요소와 인체 측 요소로 구분하였으며, 환경 측 요소로는 일사량, 외기 온·습도, 실내 온·습도, 급기 풍속, 급기 온도를 측정하였고, 인체 측 요소로는 생리반응 측정을 위한 뇌파, 심전도와 평균피부온도를 측정하였고, 열화상 카메라를 이용하여 얼굴부위의 피부온도를 촬영하였다.

뇌파는 국제적으로 명명된 10-20 전극배치법⁴³⁾을 이용하여 전두엽 머

리 표면 위에 4ch(Fp1, Fp2, F3, F4, REF', GND')을 부착하여 뇌파를 측정하였고, 심전도는 표준사지유도법⁴⁴⁾에 의해 왼쪽 팔목(LA), 오른쪽 팔목(RA), 왼쪽 발목(LL), 오른쪽 발목(RL)에 측정전극을 부착하여 3ch 신호를 측정하였다.

인체 측 요소 중 피부온도는 직경 0.2mm T-type 열전대를 사용하여 Hardy & Dubois 7점법을 근거로 신체 7부위(이마, 하박, 손등, 복부, 대퇴, 하퇴, 발등)에 부착하여 측정하였고, 매 10초 간격으로 데이터 저장장치(data logger)에 실시간 저장하였다. 또한, 피부온도 각 측정 부위마다 가중치를 두어 평균피부온도를 계산하였다.

피험자들은 모두 동일한 의복을 착용 하도록 하였고, 착용량⁴⁵⁾은 의복 중량을 이용한 Hanada, Mihira의 계산법⁴⁶⁾으로 구하였으며, 여름철 일반인들의 착용량과 같은 $0.5 Clo$ 이었다. 활동량은 운전석에 앉아 설문에 응답하는 상태이므로 $1.1 Met$ 로 가정하였다.

3.3.3 실험 환경

(1) 실내 · 외 환경 조건

야외에 주차된 승용차의 경우 태양과 지표면으로 부터의 복사에너지, 외기의 대류와 전도로 인해 실내 온도는 상승하게 된다. 특히, 태양 복사 에너지는 차체의 축열과 실내 복사열의 원인이 되므로, 일사량은 승용차 실내 열환경에 있어서 중요한 요소로 작용한다.

제 3 장 승용차 실내 냉방 시 운전자 온열감성 평가

본 연구에서는 실험기간 중 일사량에 따른 실내온도를 기상청 지역별 상세 관측자료(AWS)를 기준으로 맑은 날과 흐린 날로 구분하여 운전자의 온열 감성을 평가하였다. Table 3.7에 맑은 날과 흐린 날로 구분된 승용차 실내 · 외 온도와 습도의 범위를 나타내고 있다. 맑은 날의 경우 일사량에서 큰 편차가 나타나는 것은 실험 중 구름의 영향으로 그림자가 형성된 시간을 포함시켰기 때문이다.

Table 3.7로부터 일사의 영향으로 운전자가 승용차 탑승 시 실내의 큰 온도차로 인해 열적인 불쾌감에서 차이가 나타날 것으로 판단된다.

Table 3.7 Environmental climate of ambient

	Sunny	Cloudy
Quantity of solar radiation [W/m ²]	754.9±258.3	206.8±102.4
Outside temperature [℃]	22.8~24.7	18.8~24.2
Outside humidity [%]	59.9~72.7	49.1~90.6
Inside temperature [℃]	40.6~52.0	22.7~36.5
Inside humidity [%]	14.0~33.5	26.5~65

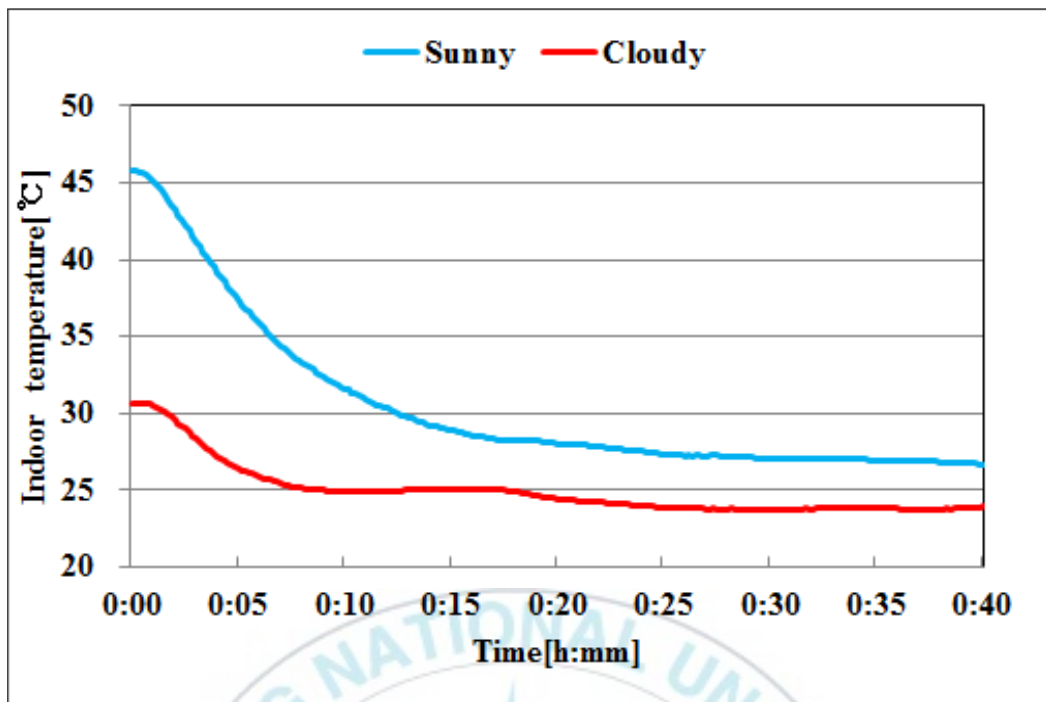


Fig. 3.8 Indoor temperature variation in the automobile

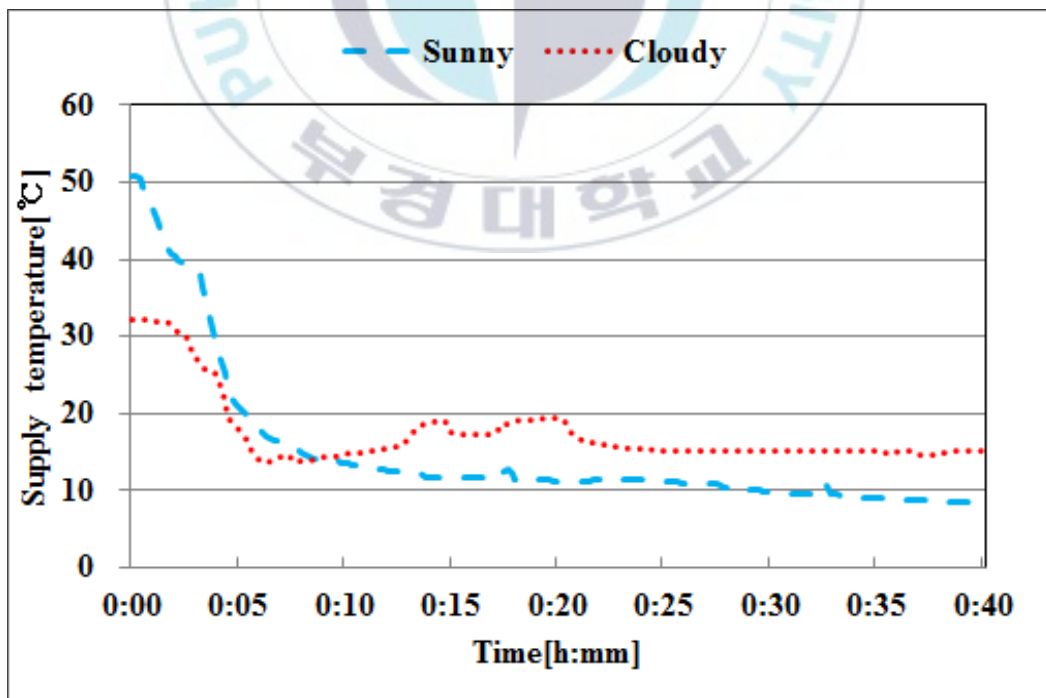


Fig. 3.9 Supply temperature variation in the automobile

제 3 장 승용차 실내 냉방 시 운전자 온열감성 평가

Fig. 3.8과 Fig. 3.9에서는 실험 중 승용차 실내 평균 온도와 에어컨 취출 평균 온도를 보여주고 있다.

맑은 날의 경우 운전자 승용차 탑승 시 $45.8 \pm 2.7^{\circ}\text{C}$ 를 나타냄으로써 운전자는 실내에서 축적된 열기로 인해 승용차 탑승을 꺼리는 경향을 나타냈다. 반면에, 흐린 날의 경우 $30.7 \pm 3.8^{\circ}\text{C}$ 로 운전자는 승용차 탑승에 대한 불쾌한 반응을 표현하지 않고 즉시 승용차에 탑승하는 행동을 보였다.

또한, 승용차 탑승과 동시에 에어컨을 가동시킴으로써 승용차 실내의 온도는 급격히 감소하는 경향이 나타났고, 에어컨 가동 20분 이후에는 맑은 날과 흐린 날의 실내온도차가 일정하게 유지되면서 24°C 에 수렴되었다.

승용차 실내 에어컨의 취출 온도는 일사량에 관계없이 에어컨 가동으로 급격한 하강곡선이 나타났고, 5분후 약 10°C 의 온도로 취출되었다. 맑은 날의 경우 운전자들은 3, 4단계의 풍량으로 에어컨을 가동함으로써 5분 이후에도 에어컨의 취출 온도는 점차 낮아지는 경향이 나타났다.

흐린 날의 경우 5분 이후 취출 온도가 상승하는 경향이 나타나고, 12분부터 20분 사이 에어컨의 취출 온도가 높아진 이유는 낮은 에어컨 취출 온도로 인해 에어컨의 가동을 중지시키거나 냉방모드를 'off' 시키는 행동을 취하는 운전자가 발생하였기 때문이다. 따라서, 일사 유·무에 따라 실내 에어컨 취출 풍량의 조절이 필요하다고 사료된다.

(2) 승용차 실내 에어컨 취출 풍량

승용차 실내 에어컨의 송풍량은 실내부하를 제거하고, 운전자의 열적 불쾌감을 감소시키는 중요한 요소 중 하나이다. 또한, 강한 풍량은 운전자에게 콜드 드래프트로 인한 불쾌감을 유발할 수 있으므로 적절한 풍량 조절이 요구된다.

풍속은 운전석을 기준으로 상부에 노출된 운전석 좌측과 우측 취출부, 운전석 아래로 취출되는 하부 취출부의 기류 속도를 측정하였다. 측정방법은 건축물 TAB 수행항목에서의 송풍량 측정법 중 대수 선형 분할법을 사용하였다. 이러한 측정방법은 취출구 벽면의 마찰 저항을 고려한 측정 방법으로 승용차 취출구의 경우 좁은 면적으로 인한 오차를 줄이기 위해 5개의 측정점으로 부터 풍속이 측정되었다.

실험용 승용차의 풍량 조절은 수동 모드로써, 풍량 단계별 풍속을 측정한 결과를 Table 3.8에 나타내었다. 풍속은 1단 2.4m/s, 2단 4.0m/s, 3단 5.2m/s, 4단 6.9m/s로 각 단계별로 1.2m/s~1.7m/s 정도의 풍속차가 나타나는 것을 알 수 있었다.

Table 3.8 Air volume of supply diffuser

	Position		Air volume control level			
			1	2	3	4
Air velocity [m/s]	Upper	Left	2.2	4.0	5.4	7.0
		Right	2.6	3.9	5.1	6.8
		Average	2.4	4.0	5.2	6.9
	Lower		3.1	5.0	5.6	7.4
Air diffuser area [m ²]	Upper	Left	0.0055			
		Right	0.00495			
	Lower		-			
Air volume [m ³ /h]	Left		43.3	79.0	106.3	138.2
	Right		46.3	70.0	90.6	121.3
	Lower		-			

3.4 실험결과

3.4.1 심리반응

(1) 주관설문

주관설문을 통해 운전자들에게 매 5분간 설문응답을 실시하였다. Fig. 3.10은 운전자가 느끼는 온냉감을 설문응답 시간의 흐름에 따라 나타낸 것이다. 맑은 날의 경우 대부분의 운전자가 승용차 탑승 직후 매우 덥다고 응답하여 열적으로 불쾌하다는 사실을 알 수 있다. 이는 일사로부터 승용차 내부로 전달되는 열기와 실내 내장재로부터의 복사열에 의해 승용차 내부의 온도가 40℃ 이상으로 높았기 때문이다.

실내 에어컨 가동으로 맑은 날의 운전자는 10분 이후 ‘시원하다’는 신고를 하였고, 흐린 날의 운전자는 탑승 시 ‘덥다’는 신고를 시작으로 탑승 후 5분경에 ‘시원하다’는 신고를 하였고, 탑승 후 15분경에는 ‘시원하다’는 신고에서 ‘서늘하다’는 신고가 나타났다. 이러한 주관설문 응답에서 맑은 날의 경우 운전자는 냉기에 심리적으로 안정된 상태를, 흐린 날은 에어컨 냉기로 인한 서늘함으로 추위가 우려된다는 사실을 확인하였다.

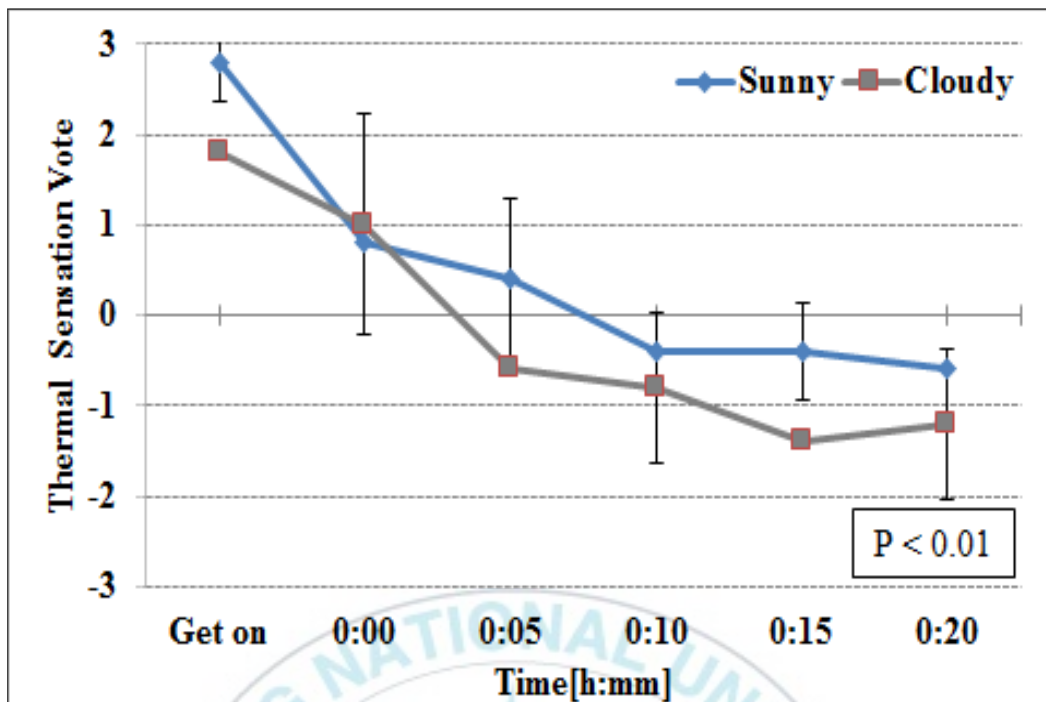


Fig. 3.10 Thermal sensation vote in case of cooling

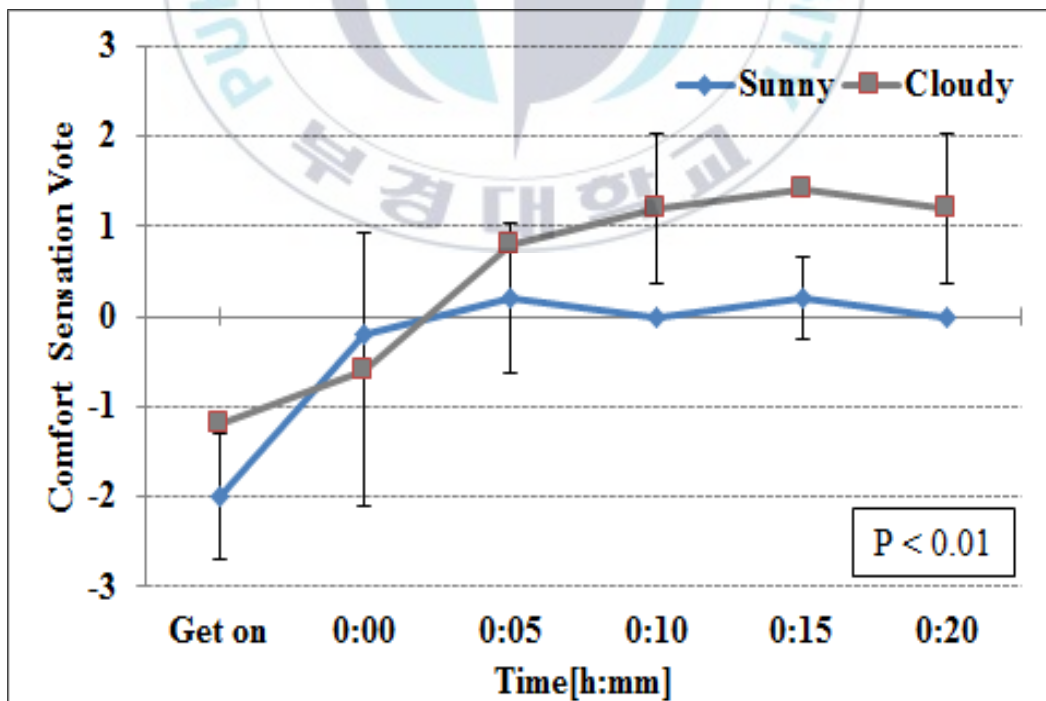


Fig. 3.11 Comfort sensation vote in case of cooling

제 3 장 승용차 실내 냉방 시 운전자 온열감성 평가

Fig. 3.11에서는 운전자의 쾌적감에 대한 설문조사 결과를 나타내었다. 일사의 영향으로 맑은 날의 경우 높은 실내온도에 따른 쾌적감에서도 차이를 보이고 있다. 온냉감 신고에서도 나타나듯이 쾌적감 신고에서도 맑은 날의 경우 운전자는 높은 온도로 인한 불쾌감을 적극적으로 표시하였다. 에어컨 가동 후 5분이 지나서는 승용차 내부의 열기가 제거되고, 냉기의 영향으로 인해 운전자는 곧 중립을 유지하였다. 이는 승용차 탑승 초기 승용차의 실내온도가 운전자의 온열 쾌적감에 미치는 영향이 매우 크다는 것을 의미한다. 흐린 날의 경우 탑승 직후 약간의 불만족도를 나타내었으나, 이후 ‘쾌적하다’고 신고를 하였다. 온열감 신고에서 나타난 추위로 인한 불쾌감은 쾌적감 신고에서 나타나지 않았다. 쾌적감에서도 일사 유·무에 따른 맑은 날과 흐린 날에 대한 통계분석 시 $P < 0.01$ 로 유의미한 차이가 나타남으로써, 일사 유·무에 따라 쾌적감과 온냉감에서 일사에 의한 실내 열환경의 차이가 운전자에게 영향이 있음을 확인하였다.

Fig. 3.12에서는 신표준유효온도를 보여준다. 맑은 날의 경우 20분 경부터 쾌적 영역에 근접하였고, 주관설문의 온냉감 신고에서 보다 쾌적 영역 도달 시간이 10분 지연되게 나타났다. 이는 신표준유효온도가 물리적 환경 요소에 의해 쾌적성을 평가하는 지표로, 승용차의 실내 온도가 40°C 이상인 맑은 날과 같은 에어컨 가동으로 인한 실내 온도 변화 폭이 큰 경우에 발생하게 된다. 흐린 날의 경우에는 온냉감 신고와 같은 5분경부터

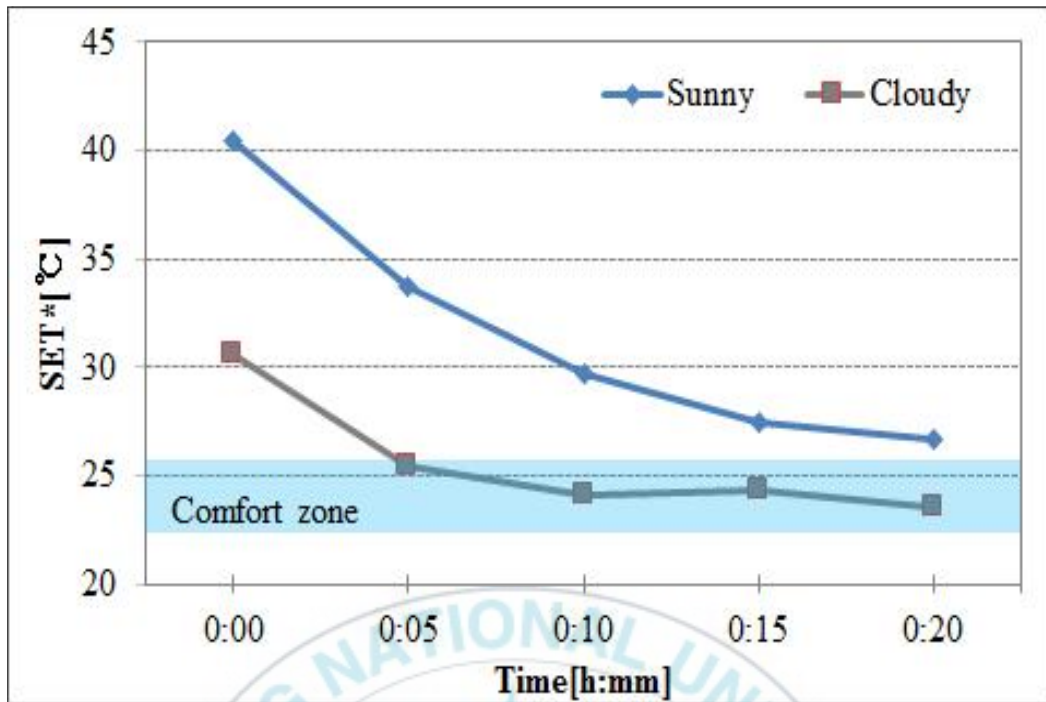


Fig. 3.12 Standard new effective temperature in case of cooling

쾌적 범위에 포함되었고, 쾌적 영역 도달 시간은 맑은 날과 15분 이상 차이가 발생하였다. 15분 이후에는 쾌적 범위 하한선까지 도달하여, 에어컨 가동이 유지된다면 쾌적 영역을 벗어날 것으로 판단된다.

(2) 에어컨 조작 선호

본 연구에서는 여름철 운전자 탑승 시 승용차 실내의 열환경에 따라 운전자가 선호하는 에어컨 조작 방법에 대한 조사를 실시하였다. 실험자는 운전자의 에어컨 조작에 전혀 관여하지 않았으며, 운전자의 조작 행동을 실험일지에 5분마다 기록하였다. 운전자의 에어컨 조작선호도를 Table

3.9와 Table 3.10에 나타내었다.

Table 3.9는 풍량에 대한 선호도이다. 선호도는 전체 운전자수에 대한 조작 선호자의 비를 백분율로 나타내었다. 맑은 날의 경우 운전자들은 높은 실내온도를 빠른 시간 내에 낮추기 위하여 3단계의 풍량을 선호하였고, 시간이 경과하면서 풍량을 줄이는 경향을 나타내어 10분경에는 풍량 1단계를 선호하는 운전자도 나타났다. 흐린 날의 경우 맑은 날 보다 낮은 실내온도로 인하여 탑승 초기부터 낮은 1단계의 풍량을 선호하는 경향이 나타났으며, 실험시작 5분 이후에는 에어컨을 중지시키는 운전자가 나타나기도 하였다.

Table 3.9 Preference rate of air volume

[%]

	Level	Time[h:mm]				
		0:00	0:05	0:10	0:15	0:20
Sunny	Stop	0	0	0	0	0
	Level 1	0	0	9.1	18.2	9.1
	Level 2	27.3	36.4	36.4	27.3	45.5
	Level 3	45.5	36.4	27.3	18.2	18.2
	Level 4	27.3	27.3	27.3	36.4	27.3
Cloudy	Stop	0	16.7	33.3	50.0	33.3
	Level 1	50.0	50.0	33.3	16.7	16.7
	Level 2	16.7	0	16.7	16.7	33.3
	Level 3	33.3	33.3	16.7	16.7	16.7
	Level 4	0	0	0	0	0

Table 3.10 Preference rate of air direction

[%]

	Direction	Time[h:mm]				
		0:00	0:05	0:10	0:15	0:20
Sunny	Stop	0	0	0	0	0
	Outside of body	0	0	0	0	0
	Chest	45.5	54.5	81.8	72.7	72.7
	Face	54.5	45.5	18.2	27.3	27.3
Cloudy	Stop	0	16.7	33.3	50.0	33.3
	Outside of body	33.3	16.7	0	0	33.3
	Chest	50.0	50.0	50.0	50.0	16.7
	Face	16.7	16.7	16.7	0	16.7

Table 3.10에서는 신체 부위에 따른 풍향에 대한 선호도를 나타내었다. 탑승 초기 맑은 날의 경우 얼굴 부위를 먼저 선호하고, 탑승 5분 이후에는 가슴 부위를 선호하였다. 이는 인체 말초부위의 높은 피부온도를 제거하고, 시원한 바람을 노출된 부위에 자극시킴으로써 쾌적감을 높이기 위함이다. 에어컨 가동 시부터 10분까지 얼굴에 대한 선호도가 감소하고 가슴에 대한 선호도가 증가하였고, 10분 경 부터는 몸 부위를 선호하는 경향이 뚜렷하게 나타났다.

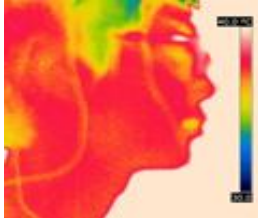
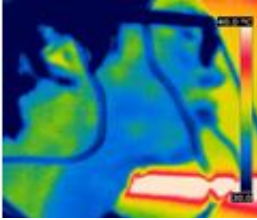
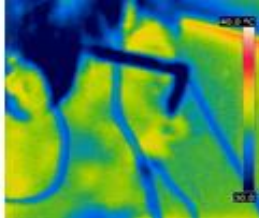
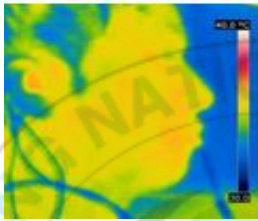
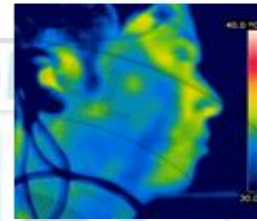
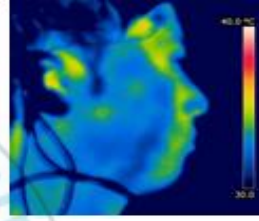
제 3 장 승용차 실내 냉방 시 운전자 온열감성 평가

흐린 날은 맑은 날에 비해 얼굴과 몸에 대한 선호도가 상당히 감소하였다. 그리고, 몸 바깥 부위 또는 에어컨을 중지시키는 운전자가 발생하였다. 에어컨을 정지하는 시점은 에어컨의 취출 온도가 안정화되는 10℃에 수렴하는 시점과 동일한 실험 시작 5분 후로 나타났다.

Table 3.11에서는 실험 중 운전자들의 피부표면온도 변화를 열화상 카메라로 촬영한 사진이다. 맑은 날 승용차 탑승 시 인체의 노출된 부위 중 하나인 얼굴부위의 온도는 37.8℃로 나타났다. 이는 체내의 열을 외부로 배출시키고 인체의 열적 항상성을 유지하려는 생리적인 현상 때문이다. 10분경에는 에어컨 냉기와 피부의 대류로 인해 얼굴 피부온도는 32.6℃로 나타났고, 20분경에는 34.2℃로 에어컨의 풍량이 감소되었기 때문이다.

흐린 날의 경우 탑승 시 맑은 날 보다 2.1℃ 낮은 얼굴 피부온도가 나타났고, 에어컨 가동 10분 후 맑은 날과 같은 얼굴 피부온도를 보였다. 20분경에는 31.5℃로 흐린 날에는 피부온도가 계속 감소됨을 확인하였다. 흐린 날의 경우 열화상 촬영에서도 피부온도의 지속된 감소가 확인되므로, 에어컨 냉기로 인한 추위가 우려된다.

Table 3.11 Thermal image in case of cooling

	Time [h:mm]		
	0:00	0:10	0:20
Sunny [℃]			
	37.8	32.6	34.2
Cloudy [℃]			
	35.7	32.6	31.5

3.4.2 생리반응

(1) 뇌 파

뇌파는 진동하는 주파수의 범위에 따라 인위적으로 δ 파(0.2~3.99 Hz), θ 파(4~7.99 Hz), α 파(8~12.99 Hz), β 파(13~29.99 Hz), γ 파(30~50 Hz)로 구분하여 파워 스펙트럼 분석을 실시하였다.

뇌파의 파형 중에서 α 파는 긴장이완과 같은 편안한 상태에서 주로 나타나며, 안정되고 편안한 상태일수록 진폭이 증가한다. β 파는 깨어 있을 때, 말할 때와 같이 모든 의식적인 활동을 할 때 나타나며, 특히 불안한 상태나 긴장 시에 주로 나타난다.

본 연구에서는 탑승 시 기준으로 β 파에 대한 α 파의 비를 매 5분간의 증감률을 구하여 운전자의 생리 반응을 분석하였다. 뇌파의 증감률은 식 (3.1)과 같이 계산하였고, Fig. 3.13에 α/β 의 증감률을 나타내었다.

$$\text{Rate of change } \alpha/\beta = \frac{\text{Over time } \alpha/\beta}{\text{Initial } \alpha/\beta} \times 100 [\%] \quad (3.1)$$

실험 초기 15분 동안의 증감률을 기준으로 맑은 날의 경우 운전자들은 α 파의 증가로 인해 17% 편안함이 상승하고, 흐린 날 뇌파 변화에서 α 파의 감소 또는 β 파의 증가로 15분간 탑승 시 보다 19% 편안함이 감소하였다. 이는 승용차 실내의 온도가 높게 나타난 맑은 날의 경우 에어컨 가

제 3 장 승용차 실내 냉방 시 운전자 온열감성 평가

동으로 인해 $1.4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 온도강하가 운전자들의 열적 불쾌감을 해소시켜 정신적으로 안정된 상태를 유도하였다고 판단된다. 흐린 날의 경우 $0.8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 온도강하로 인한 에어컨의 냉기는 운전자들의 열적 불쾌감을 증가시키는 요인으로 작용한 것으로 판단된다.

이러한 뇌파 변화의 차이로부터 에어컨의 냉기가 운전자에게 맑은 날은 안정된 상태를 유도하고, 흐린 날은 불쾌감을 유발 시킨다는 사실을 확인하였다.

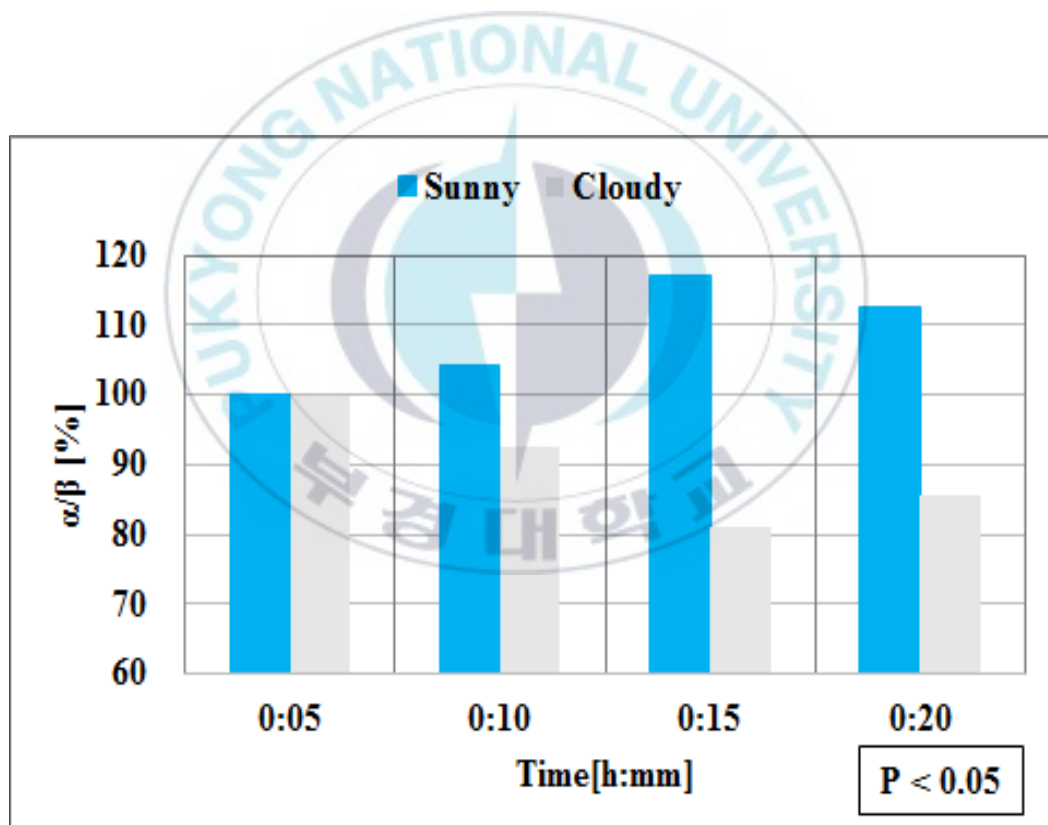


Fig. 3.13 Electroencephalogram in case of cooling

(2) 심전도

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

HRV로부터 자율신경계를 구성하는 교감신경계(LF)와 부교감 신경계(HF)의 활성양상을 확인할 수 있고, 신체의 스트레스 상태를 파악할 수 있다. 교감신경의 활성화는 R-R 간격의 느린 변화패턴을 유도하고, 부교감신경은 빠른 변화패턴을 유도하게 된다. 자율신경계에 대한 스트레스 상태를 분석하기 위한 LF/HF의 변화율을 Fig. 3.14에 나타내었다. LF/HF의 변화율은 식 (3.2)와 같이 계산하였다.

$$Rate\ of\ change\ LF/HF = \frac{Over\ time\ LF/HF}{Initial\ LF/HF} \times 100 [\%] \quad (3.2)$$

교감신경계와 부교감신경계의 변화율로부터, 스트레스 상태는 맑은 날 탑승 후 15분 경 23% 감소, 흐린 날에서는 탑승 후 15분경 54% 증가하고 20분까지 지속적으로 스트레스가 증가하는 경향이 나타났다. 맑은 날의 경우 교감 신경계보다 부교감신경계의 활성화로 인하여 실험 시작 후 15분간 스트레스 상태가 감소하였다. 이는 승용차 실내온도로 인한 열적

제 3 장 승용차 실내 냉방 시 운전자 온열감성 평가

스트레스가 에어컨 가동 이후 감소하였음을 의미하며, 에어컨 가동으로 인한 냉기가 열적 스트레스를 감소시키고 있음을 나타낸다. 흐린 날의 경우 에어컨의 냉기는 운전자들의 긴장상태와 열적 스트레스를 증가시키는 요인으로 작용한다는 사실을 자율신경계로부터 확인하였다.

운전자의 온열감성 평가에 대한 생리 변화 상태를 뇌파와 자율신경계로부터 확인해 본 결과 맑은 날의 경우 열적 불쾌감의 해소로 인하여 α 파의 비율이 증가하여 편안한 상태가 우세하게 나타났다. 15분 이후 자율신경계 변화에서는 스트레스 증가 현상으로 인해 15분 내에 열적 불쾌감을 단시간에 해소시키기 위한 냉풍 조절이 필요하다고 판단된다. 흐린 날의 경우 자율신경계 변화로부터 LF/HF 증감율이 증가하는 경향을 나타냄으로써, 낮은 온도의 에어컨 냉기보다는 외기를 도입시킬 수 있는 창문 환기나 외기와 동일한 온도의 에어컨 가동이 필요할 것으로 사료된다.

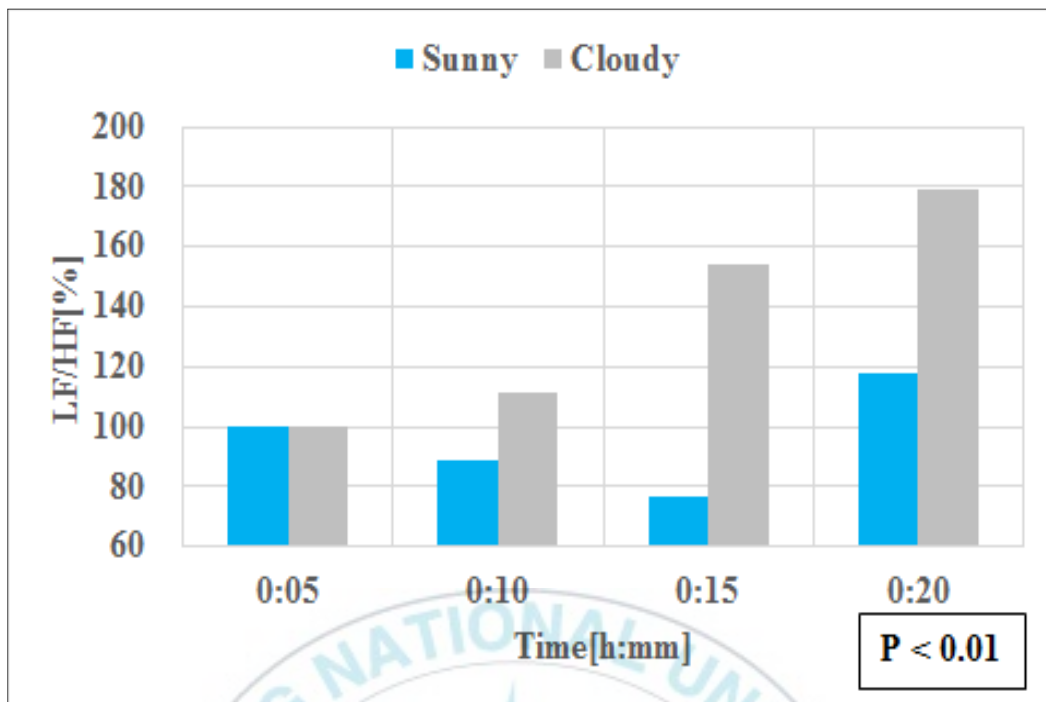


Fig. 3.14 Changes in autonomic nervous system in case of cooling(LF/HF)

(3) 평균피부온도

평균피부온도는 인체의 열적 평형성을 대표하는 객관적인 열쾌적 지표로 사용되고 있다. 평균피부온도에 관한 선행연구에서는 쾌적감을 느끼는 인체의 피부온도는 33℃~34℃로 알려져 있다.

Fig. 3.15에서 볼 수 있듯이 맑은 날의 경우 운전자들은 높은 실내온도의 영향으로 노출된 부위인 이마, 팔, 손등의 온도가 높아 탑승 초기 피부온도는 높게 나타났다. 시간이 경과함에 따라 승용차 실내 에어컨 가동으로 인해 실내온도는 하강하게 된다. 실내 온도하강으로 노출된 부위의 피부온도는 낮아지고, 평균피부온도는 쾌적 영역에 도달하게 된다. 또한,

제 3 장 승용차 실내 냉방 시 운전자 온열감성 평가

인체 열평형을 위한 인체의 생리적 변화량도 감소된다. 따라서, 여름철 승용차 탑승 시 에어컨의 풍량은 승용차 실내부하를 단시간에 제거하고, 인체의 열평형을 빨리 유지시킬 수 있도록 많은 양이 취출되어야 한다. 운전자들의 풍량 선호도에서도 3단계의 많은 풍량을 선호하였다. 흐린 날의 경우 탑승 초기부터 평균피부온도는 쾌적 영역에 가까웠으며, 5분 이내에 쾌적 영역에 도달되었다. 이후 쾌적 영역 내에서 평균피부온도는 유지되었다. 이로 인해 흐린 날은 에어컨 풍량이 적은 1, 2단계로 가동시키고, 풍향은 피부 접촉면 외의 실내 공간으로 에어컨을 가동한다면 운전자의 쾌적성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

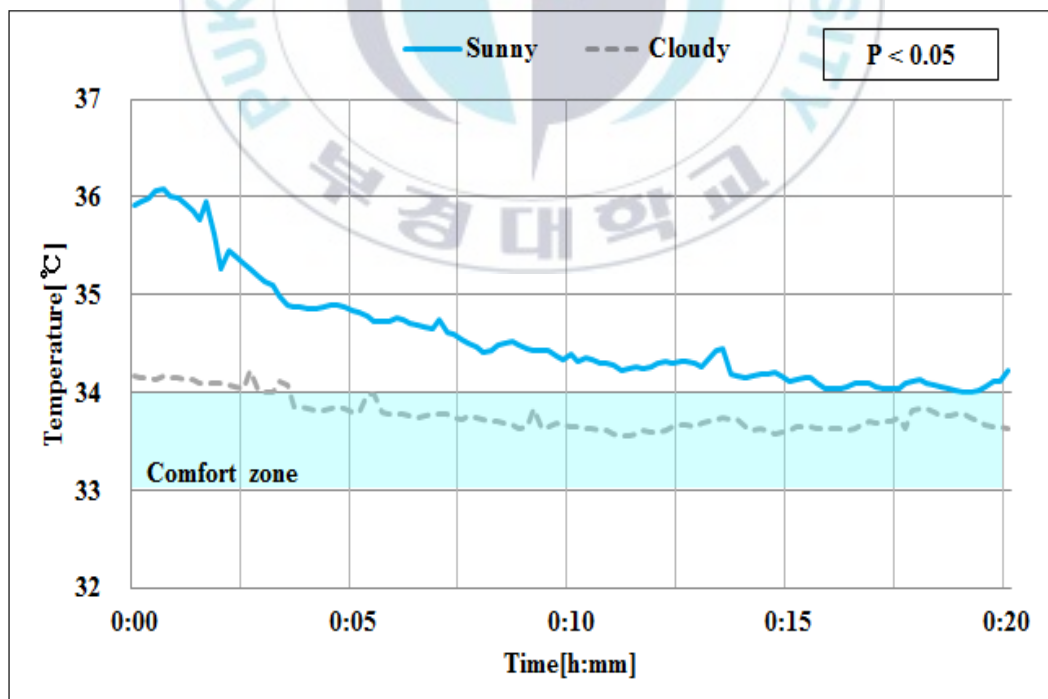


Fig. 3.15 Mean skin temperature

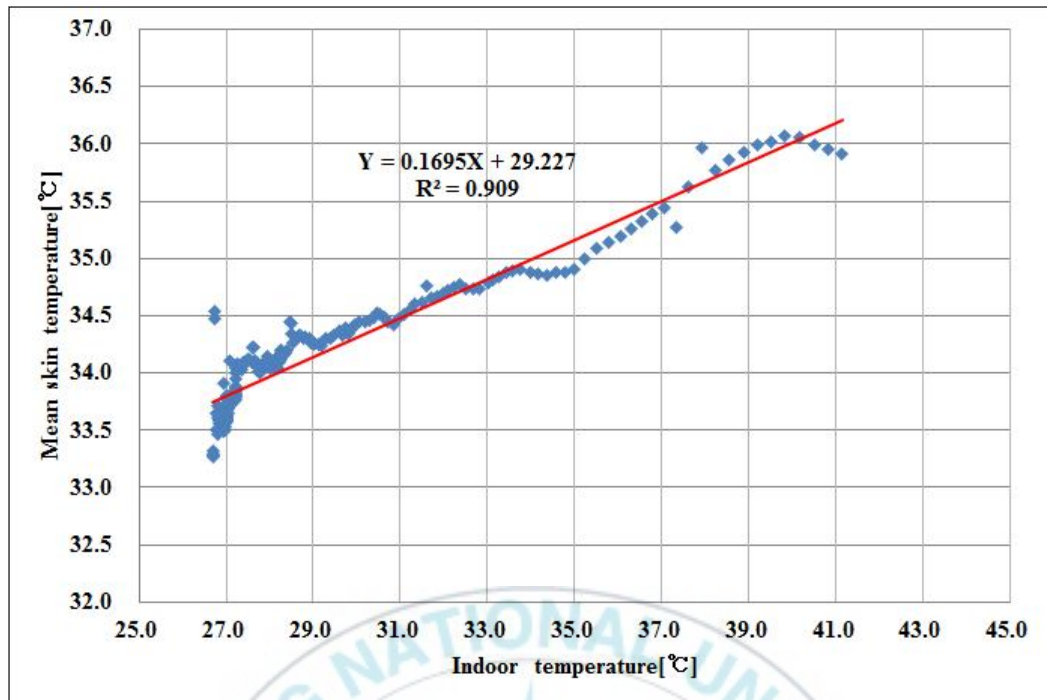


Fig. 3.16 Mean skin temperature regression equation of indoor temperature

Fig. 3.16에서는 맑은 날 실내온도 변화에 따른 평균피부온도 변화에 대한 회귀선을 통계분석을 이용하여 나타내었다. 다중 상관계수는 0.953, 결정계수는 0.909로 높은 상관관계를 보였다. 회귀식은 식 (3.3)과 같이 도출되었다.

$$Y = 0.17X + 29.227 \quad (3.3)$$

여기서, X : 실내온도[℃]

Y : 평균피부온도[℃]

제 3 장 승용차 실내 냉방 시 운전자 온열감성 평가

선행연구에서 쾌적감을 느끼는 인체 평균피부온도인 $33^{\circ}\text{C}\sim 34^{\circ}\text{C}$ 를 승용차 실내 환경에 적용시킨다면, 식 (3.3)으로부터 승용차 실내온도는 약 28.2°C 이하를 유지시켰을 때 승용차 운전자의 평균피부온도는 쾌적 범위에 도달하게 된다.



3.5 고찰

인체는 내부로부터 지속적으로 열을 생산해내며, 인체의 내부는 항상 일정한 온도를 유지시키기 때문에 외부로 열을 방출시킨다. 인체의 중심부로부터 방출되는 열은 외부 환경과 열전달 되기 때문에 승용차 실내온도는 운전자의 열적 쾌적성과 깊은 관련이 있다. 따라서, 운전자들의 에어컨 조작 방법은 승용차 실내 온도에 따라 에어컨 작동 알고리즘에 변화를 주어야 한다.

여름철 야외에 주차된 승용차의 경우 탑승 초기 일사량에 따라 약 15℃의 승용차 실내 · 외 온도차가 크게 발생하였고, 일사에 관계없이 에어컨은 가동 후 5분경 10℃의 온도로 취출되었다. 승용차 실내 · 외 온도차의 영향으로 운전자들의 에어컨 조작 방법에서 다른 경향을 확인하였다. Table 3.12에 여름철 승용차 탑승 초기 에어컨 조작 선호도를 나타내었다.

Table 3.12 Preference of air conditioner controller in automobile

	Section	Time[h:mm]				
		0:00	0:05	0:10	0:15	0:20
Sunny	Air volume	Level 3	Level 2,3	Level 2	Level 4	Level 2
	Air direction	Face	Body	Body	Body	Body
Cloudy	Air volume	Level 1	Level 1	Stop or Level 1	Stop	Stop or Level 2
	Air direction	Body	Body	Body	Stop or Body	Stop or Outside

운전자 탑승 후 승용차용 에어컨이 정상적으로 가동되는 시간은 5분 정도가 소요되는 것으로 실내온도 변화에서 확인하였다. 5분 동안 실내온도는 35℃와 25.8℃로 9℃의 실내온도차가 발생하였으며, 풍량 조작 선호도에서 맑은 날은 4단계 또는 3단계의 많은 풍량을 선호하였고, 흐린 날의 경우 1단계의 적은 풍량을 주로 선호하였다. 흐린 날의 경우 5분 이후에는 냉방모드를 정지시키는 운전자가 나타나, 실내온도가 올라가는 경향이 나타나기도 하였다. 흐린 날 운전자들이 주로 낮은 풍량을 선호한 것은 인체 심부온도 37℃ 보다 낮은 31℃의 승용차 실내 온도로 인해 피부표면과 에어컨 냉기의 대류로 인한 열손실을 감소시키기 위함이다.

제 3 장 승용차 실내 냉방 시 운전자 온열감성 평가

신체 부위별 풍향 선호도에서 맑은 날의 경우 얼굴부위를 먼저 선호하고, 가슴 부위를 선호하였다. 이는 인체의 높은 피부온도를 제거하고 노출된 부위에 냉기를 느낌으로, 쾌적감을 높이려는 행동 반응이다. 맑은 날의 경우 탑승 초기에는 얼굴 부위를 주로 선호하였고, 시간이 경과 할수록 가슴 부위에 대한 선호도가 높게 나타났다. 흐린 날의 경우 가슴 부위를 주로 선호하였으며, 에어컨의 냉기가 몸에 직접 닿는 것을 기피하는 행동을 나타냈고, 몸 바깥 부위나 에어컨을 정지하는 운전자도 나타났다.

에어컨 수동 모드에서 운전자의 선호도를 일사 유·무에 따라 구분하여 조사한 결과 운전자들의 에어컨 조작 패턴에서 차이가 나타났고, 조작 패턴으로부터 평균피부온도는 쾌적 영역에 도달하게 되었다.

뇌파를 통해 운전자의 생리반응을 분석한 결과, 맑은 날의 경우 탑승 전 인체 내부로 흡수된 열을 단시간에 방출시키는 환경을 조성시켜 α 파 비율이 증가하였다. 이는 운전자들의 쾌적감 향상에 에어컨 냉기가 도움이 된다고 확인하였다. 하지만, 15분 후 α 파의 비율이 감소하는 경향이 나타남으로써 풍량의 감소나 온도의 상승이 필요하다. 흐린 날의 경우 탑승 시 에어컨의 냉기는 α 파를 감소시켜 불쾌감을 유발시켰다. 그러므로, 운전자에게 직접적인 냉풍 취출을 자제하고, 외기 도입을 통한 실내 열환경을 개선시킬 수 있는 송풍모드나 승용차 실내 환기와 통풍이 가능하도록 창문 개방이 필요하다.

열적 스트레스 상태를 파악할 수 있는 심전도를 측정하여 운전자들의

제 3 장 승용차 실내 냉방 시 운전자 온열감성 평가

자율신경계를 분석한 결과, 맑은 날과 흐린 날 비교에서 승용차 탑승 시 실내 열환경에 의한 열적 불쾌감은 확연한 차이가 나타났다. 흐린 날의 스트레스 증가 요인은 에어컨 가동 시 냉기에 대한 불쾌감의 직접적인 생리반응으로 해석된다. 하지만, 맑은 날의 경우에는 에어컨 냉기가 열적 불쾌감 해소에 도움을 주었음을 LF/HF 값이 15분간 감소하는 경향으로 확인할 수 있었다.

이와 같은 뇌파와 심전도의 생리반응은 운전자의 에어컨 조작선택도 조사로부터 맑은 날 승용차의 높은 실내 온도에서 탑승 초기 운전자가 4단계 혹은 3단계의 많은 풍량을 선호하고, 15분 경 풍량을 줄이는 경향을 보인 사실과 일치한다. 인체 심부온도보다 낮은 흐린 날 실내 열환경에서는 탑승 시 1단계의 낮은 풍량을 선호하고, 냉기에 대한 불쾌감으로 얼굴 부위나 몸과 같이 직접적으로 냉기를 느낄 수 있는 풍향을 지양하였던 결과와 일치한다.

평균피부온도를 살펴보면, 맑은 날의 경우 인체의 열평형으로부터 피부를 통한 열발산을 원활히 하기 위한 강한 냉풍이나 낮은 온도의 에어컨 실내 취출 조건이 필요하다. 또한, 에어컨 가동 후 15분경 평균피부온도는 쾌적 영역에 가까이 도달되므로, 생리반응 분석결과를 바탕으로 15분이 지난 후에는 에어컨 가동 상태를 풍량이 적은 단계로 설정하거나 실내 온도를 상승시킬 필요가 있다. 흐린 날의 경우 에어컨 가동 3분 후부터 쾌적 영역에 도달하므로 냉기로 인한 운전자의 국소 불쾌감을 고려하여

풍향 조절시 피부에 직접 접촉되지 않도록 설정하고, 지속적으로 평균피부온도가 감소되어 쾌적 영역 하한선 아래로 내려갈 경우를 불쾌감을 느끼므로 에어컨의 정지나 환기모드로의 전환이 요구된다.

Fig. 3.17에서는 승용차 실내 냉방 시 운전자 온열감성 평가에 대한 종합적인 내용을 그래프로 나타내었다.

조작선호도로 부터 풍향은 탑승 직후 맑은 날은 얼굴, 흐린 날은 가슴 방향으로, 15분 경 맑은 날은 가슴 부위로 취출 시 온열 쾌적성을 향상시킬 수 있다. 15분 경 흐린 날은 주관 설문에 의한 심리 반응과 뇌파, 심전도, 피부온도에 의한 생리반응으로부터 에어컨의 냉기로 인한 불쾌감과 추위가 우려되므로 에어컨 가동을 자체 시키는 것이 쾌적감 향상에 도움이 될 것으로 판단된다. 또한, 15분을 경계로 탑승 시 운전자가 느끼는 열적 불쾌감은 해소되므로, 15분 이내에 쾌적 감성 공조운전을 통한 승용차 실내 환경 조성으로 운전자의 쾌적감을 극대화시킬 수 있으리라 사료된다.

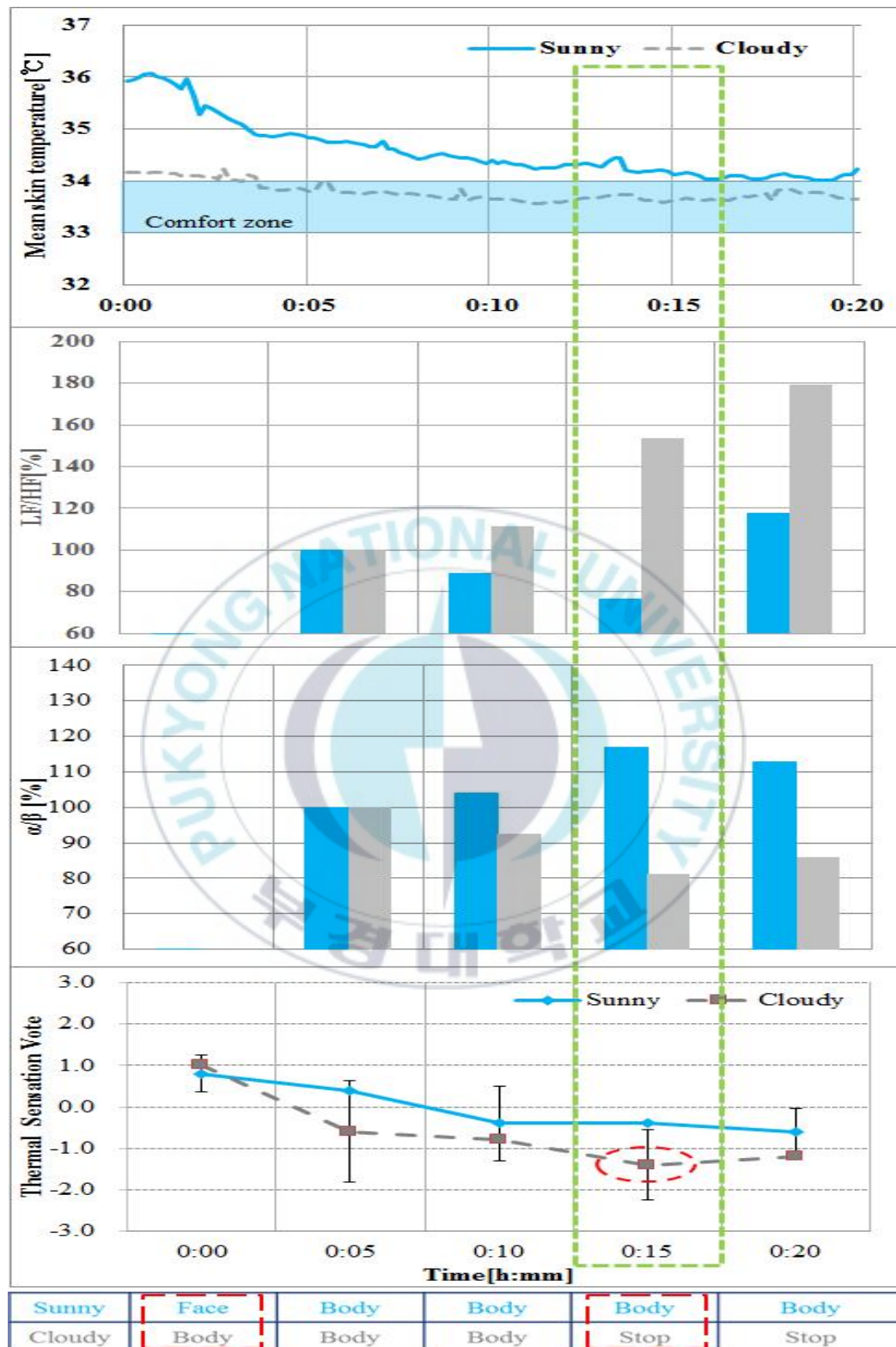


Fig. 3.17 Thermal comfort evaluation of driver in case of cooling

3.6 요약

본 연구에서는 에어컨 자동 조작 방법을 여름철 승용차 실내 열환경과 운전자 에어컨 조작 선호도를 바탕으로 진행하였다. 또한 여름철 승용차에 탑승 시 에어컨 쾌적 작동 모드를 제시하기 위해 초기 실내온도 영향에 따른 운전자의 뇌파, 심전도, 평균피부온도를 분석하여 생리반응을 평가한 결과 다음과 같은 결과를 도출할 수 있었다.

(1) 일사량에 따른 승용차 실내 열환경 변화는 운전자의 생리반응에서 차이가 나타남으로써 쾌적한 운전환경 조성을 위해서는, 날씨에 따른 승용차 실내 에어컨의 작동 모드 변화가 필요하다.

(2) 승용차 실내온도가 37℃ 이상인 맑은 날의 경우 많은 풍량(3단계), 풍향은 탑승 시 얼굴, 15분 후 가슴 부위로 전환시킬 필요가 있다.

(3) 승용차 실내온도가 인체 심부온도 보다 낮은 37℃ 이하인 흐린 날의 경우 낮은 풍량(1단계)으로 에어컨을 가동시키고, 풍향은 탑승 시 부터 운전자의 피부에 직접 접촉되지 않는 몸 부위로 유지시킬 경우 승용차 탑승 초기 운전자의 열적 쾌적감을 단기간에 향상시킬 수 있으리라 사료된다.

(4) 승용차 실내온도 변화에 따른 운전자의 평균피부온도 상관관계를

제 3 장 승용차 실내 냉방 시 운전자 온열감성 평가

회귀식으로 도출한 결과 $Y=0.17X+29.227$ 과 같이 나타낼 수 있으며, 실내온도가 28.2℃이하가 될 때 평균피부온도는 쾌적 영역에 포함된다.

(5) 에어컨 가동 시 맑은 날 17% 편안함 상승, 열적 스트레스 23% 감소하는 경향이, 흐린 날의 경우 운전자 탑승 후 15분간 19% 편안함 감소, 열적 스트레스 54% 증가하는 경향을 보이므로, 맑은 날은 적극적인 냉기 도입이 요구되고, 흐린 날은 외기도입을 통한 실내 냉방모드나, 송풍모드로 실내 기류를 조성하여 인체 피부와의 열교환을 원활히 함으로써 운전자의 쾌적감을 향상시킬 수 있다.

(6) 여름철 야외에 주차된 승용차에 탑승 후 에어컨 가동으로 인한 운전자의 심리·생리반응은 15분 동안 일사유·무에 따른 변화 양상이 확연하게 관찰된다.

제 4 장 승용차 실내 난방 시 운전자 온열감성 평가

4.1 연구개요

본 연구는 승용차 보급의 확대와 이용시간의 증대로 인해 주거 문화와 더불어 생활공간으로 다가와 있는 승용차에서의 열적 편안함을 극대화시키는데 목적이 있다. 이에, 겨울철 승용차 운전자의 추위로 인한 열적 불쾌감에 대하여 온열 쾌적성을 증대시킬 수 있는 난방 모드를 온열 감성 평가를 통해 제안하고자 한다.

승용차의 경우 일사에 의한 복사열은 겨울철에 난방 부하에서 플러스 요인으로 작용하지만, 야외에 주차된 승용차의 경우 일사가 없는 야간에는 외부 환경에 무방비한 상태로 노출되므로 낮은 실내 온도가 조성된다. 따라서, 겨울철 사무실이나 건물 내부에 재실 해 있던 운전자는 이동을 위해 승용차에 탑승 시 추위로 인한 열적 불쾌감으로 심리·정신적으로 불안정하게 된다. 이러한 운전자의 불쾌감을 최소화시키고 운전 초기 단 시간에 추위를 해소시킴으로써 안전운전과 편의성을 개선시킬 수 있는 실내 환경을 조성하기 위해 승용차 난방 시 운전자의 온열감성 상태를 평가하고자 한다.

4.2 겨울철 승용차 실내 열환경

Table 4.1에서는 겨울철 주간과 야간에 실측된 자료를 보여준다. 겨울철 주간의 경우에 일사의 영향으로 20℃ 이상의 승용차 실내온도를 보임으로써 난방모드는 선택사항일 수 있으나, 일사가 없는 야간의 경우 외기의 온도가 승용차 내부로 유입되어 외기온과 동일한 온도를 형성한다. 그러므로 일사가 없거나 야간인 경우 겨울철 승용차 탑승 시 난방모드 가동은 필수이다.

Table 4.1 Temperature change of day

Section	Daytime			Nighttime		
Position	Avg. [℃]	Max. [℃]	Min. [℃]	Avg. [℃]	Max. [℃]	Min. [℃]
Ambient	2.1	4.7	-1.3	-4.4	-3.4	-5.5
Driver' seat	24.3	24.9	23.5	-4.1	-3.9	-4.4
Passenger seat	24.8	26	23.4	-4.3	-4.1	-4.6
Back seats (left)	22.4	23.2	20.6	-4.0	-3.8	-4.4
Back seats (right)	23.8	25	22.5	-4.0	-3.8	-4.3
Solar intensity [W/m ²]	549.4 ±93.5			-		

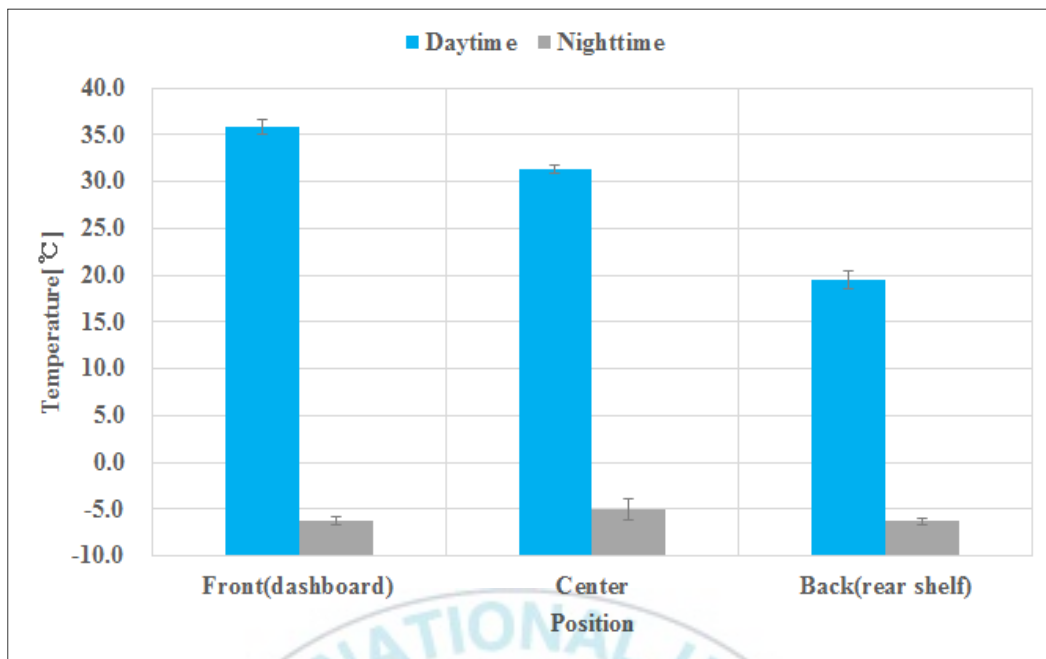


Fig. 4.1 Indoor mean temperature at each interior positions in case of heating

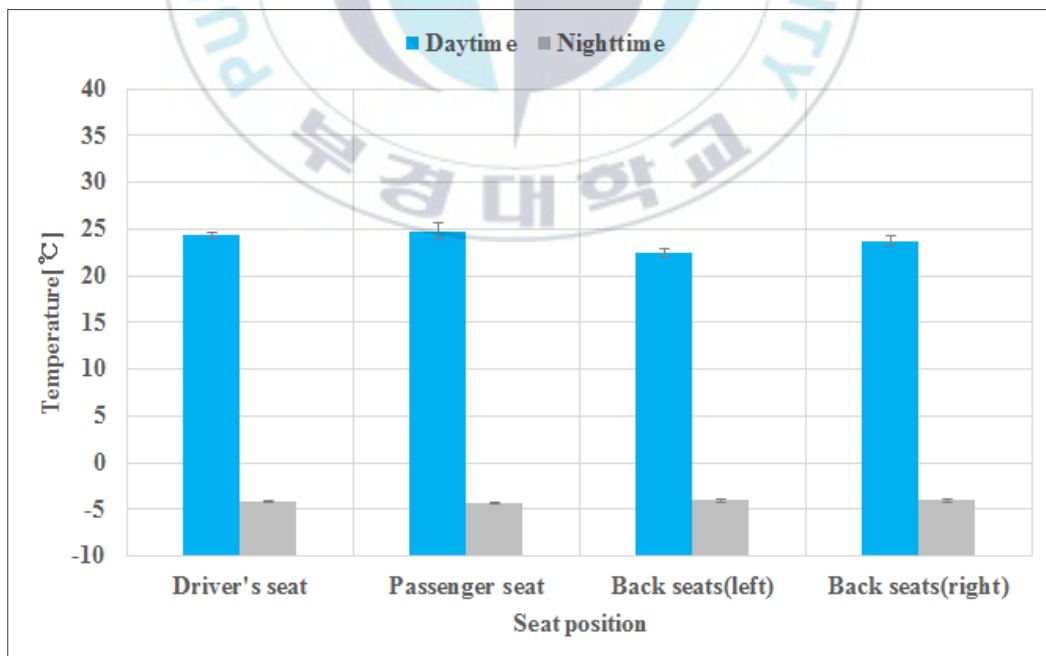


Fig. 4.2 Indoor mean temperature at each boarding seats in case of heating

Fig. 4.1과 Fig. 4.2는 승용차 실내 온도분포를 보여준다. Fig. 4.1에서는 실내 공간의 폭과 높이의 중앙점을 기준으로 전면 대쉬보드와 뒷 좌석 선반을 앞, 뒤, 중앙 구역으로 나누어 측정된 값이다. Fig. 4.1에서 볼 수 있듯, 주간과 야간의 승용차 실내 온도차는 최고 42℃, 최소 25.8℃로 나타났다. 이는 주간에는 일사에 의한 복사열의 영향으로 승용차 실내 온도는 상승하게 되지만, 일사가 없는 야간에는 외기온도에 직접적으로 노출되므로 영하의 낮은 온도가 형성되기 때문이다.

Fig. 4.2에서는 좌석별 실내 온도 상태를 보여주고 있으며, 측정 지점은 탑승자의 호흡선 높이(90cm)이다. 일사가 없는 야간의 경우 영하의 낮은 온도가 형성됨을 재확인 할 수 있다. 좌석별 주간과 야간의 온도차에서는 최고 29.2℃, 최소 26.4℃로 나타났으며, 겨울철 일사가 없는 경우 운전자 탑승 시 난방 부하를 제거하고, 추위로 인한 열적 불쾌감 해소를 위해서는 승용차 실내 난방 모드 가동을 필요로 한다.

4.3 온열감성 평가

4.3.1 피험자 선정

본 실험은 운전 면허증을 보유하고, 운전경험이 있고 신체 · 정신적으로 가장 건강한 연령대인 20대를 대상으로 모집하였다. 지원자 40명을 대상으로 건강상태를 확인하기 위해 우선 신장, 체중, 혈압, 맥박 등 기본적인 신체검사를 실시하였고, 인터뷰를 통해 생활 주기가 일정하고 약물을 복용 중이지 않는 남 · 여 각 10명의 피험자를 선정하여 실험을 진행하였다.

실험에 참가한 피험자의 신체 치수와 한국인 평균 신체 치수를 Table 4.2에 나타내었다.

Table 4.2 Anthropometric data of the subjects in case of heating

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

* KOSIS(국가 통계 포털), 2015

4.3.2 실험 스케줄

겨울철 운전자는 추위로 인한 열적 불쾌감 해소를 위해 승용차용 난방기를 작동하게 된다. 현재 시중에 출시된 승용차의 경우 난방기기를 이용한 온풍난방과 열선 시트에 의한 직접 난방 모드가 있다. 본 실험에서는 난방 모드 별로 온풍 난방 모드, 열선 시트 난방 모드, 온풍 + 열선 시트 난방 모드와 같이 3 Case로 구분하여 주관설문을 이용해 운전자의 심리

제 4 장 승용차 실내 난방 시 운전자 온열감성 평가

반응을 평가하고, 뇌파와 심전도를 이용해 생리반응을 평가하였다.

실험은 외기온도가 낮은 추운 겨울철 오전 중 야외에 주차된 승용차 내에서 실시하였으며, 일사의 영향이 없는 그늘진 장소에서 실험을 진행하였다. 피험자가 탑승하는 실험용 승용차는 은색 2,000cc 국내 생산용 중형 승용차를 대상으로 하였다.

피험자가 실험실에 도착하면 실험자는 피험자에게 실험에 대한 전반적인 내용을 이해할 수 있도록 설명하였고, 피험자와 질의응답을 통해 실험 과정에 대한 의문이나 불편할 우려가 있는 사항에 대해 이해를 도왔고, 최대한 편안한 상태를 유지시켰다. 피험자는 설정온도 24℃인 재실 공간에 대기하면서 30분간 건강 상태에 대한 설문지를 작성하도록 하고, 기본적인 건강상태를 확인하였다. 인터뷰를 통하여 심리적 안정 상태를 재확인하였으며, 피험자의 신체·심리 상태를 파악한 후 생리신호를 부착하여 실험에 참여토록 하였다.

30분간 피험자에게 뇌파와 심전도 센서를 부착한 후, 승용차 실내 온·습도 센서 및 데이터 수집 장비가 정상적으로 작동하는지를 확인한 후 피험자는 야외에 주차된 실험용 승용차에 탑승하도록 하였다.

본 실험에서 난방 작동 모드 중 온풍 모드는 오토 모드로, 설정온도는 재실공간의 설정온도와 같은 24℃로 고정시켰다. 일부 환기가 가능하도록 외기도입 모드를 ‘on’ 시킨 상태이며 승용차 문과 유리창은 닫혀있는 밀폐된 상태이다. 피험자는 실험 중 난방 기기 조작을 금지시켰고, 열선 시

제 4 장 승용차 실내 난방 시 운전자 온열감성 평가

트 모드가 포함된 실험의 경우 열선으로 인한 불쾌감이 유발될 시 열선시트 온도 조절을 가능하도록 하였다.

실험 준비시간은 1시간 소요되었고, 각 실험 조건에서 30분간 본 실험이 진행되었으며, 매 5분마다 주관 설문 응답을 실시하여 심리반응을 기록하였고, 피험자의 안면부를 열화상 카메라를 사용하여 촬영하였다. 뇌파와 심전도의 생리신호는 실시간으로 저장하였다. 30분 실험 후 10분의 휴식시간을 가지고 실험 조건 초기화를 위한 승용차 실내 환기를 위해 문을 개방시켰다.

Fig. 4.3은 실험 스케줄을, Fig. 4.4는 실험 사진을 나타내었다.

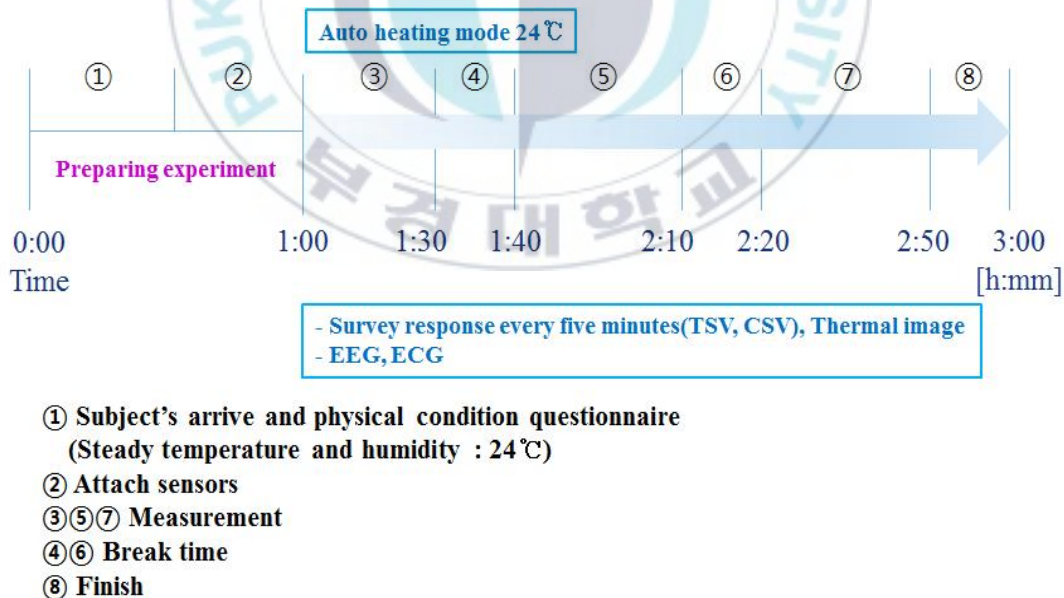


Fig. 4.3 Experimental procedure in case of heating



Fig. 4.4 Experimental view in case of heating

Table 4.3 Experimental equipment in case of heating

Section	Measuring equipment	Measuring model & type	Measurement data
Environment	Data Logger	MV2000	Data acquisition
	Thermo-hygrometer	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

Table 4.3은 측정 장비와 측정 요소를 보여준다. 측정요소로는 크게 환경 측 요소와 인체 측 요소로 구분하였으며, 환경 측 요소로는 외기 온 · 습도, 실내 온 · 습도, 급기 온도를 측정하였고, 인체 측 요소로는 생리반응 측정을 위한 뇌파, 심전도를 측정하였으며, 열화상 카메라를 이용하여 얼굴부위의 피부온도를 촬영하였다.

4.3.3 실험 환경

Fig. 4.5에서는 실험 중 난방 모드 별 실내 온도 변화를 보여준다. 온풍가동 시 10분경부터 실내온도는 24℃로 나타났고, 열선 시트 모드 시에는 17.3℃의 실내온도가 나타났다. 온풍 난방 유 · 무에 따른 실내온도 차이는 최대 7.4℃로 확인되었고, 열선 시트난방 시 실내의 17.3℃ 낮은 온도로 운전자의 추위가 우려되었다. 이러한 운전자의 추위에 대한 우려는 피부 접촉면에서의 직접 난방효과를 심리반응과 생리반응 분석 시 확인되어야 할 사항으로 판단된다.

또한, 온풍 난방 시 실내 온도는 탑승 시부터 실험 중 10.7℃ 변화되었고, 운전자의 심리 · 생리상태의 변화를 확인하여 쾌적성을 평가할 필요가 있다. 실내 온도 변동이 2.4℃로 온도 변화폭이 적은 열선시트 난방 모드는 온풍 난방 모드와 심리 · 생리 반응을 비교 · 분석하여 겨울철 쾌적한 실내 난방 모드를 제시할 필요가 있다.

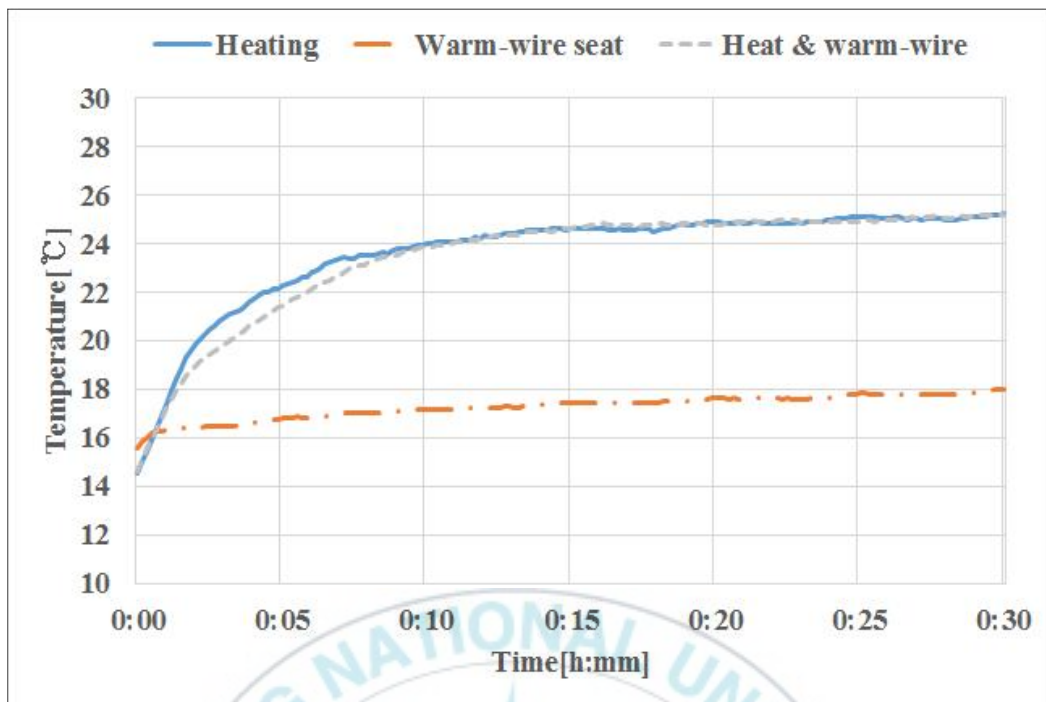


Fig. 4.5 Indoor temperature variation according to heating mode

4.4 실험결과

4.4.1 심리반응

Fig. 4.6과 Fig. 4.7에 난방 모드별 온열감과 쾌적감 신고를 나타냈다.

본 실험에서 운전자들은 매 5분마다 온열감과 쾌적감 신고를 하였고, 주관설문 응답 시 불편한 사항에 대해서도 간단하게 신고할 수 있도록 하였다. 온열감 신고에서 난방 모드 별로 확연한 차이가 나타나지 않았고 난방 시 5분 이내 중립 상태에 모두 도달하였다. 난방모드 별로 특징은 온풍+열선시트 난방 시 덥다는 신고가 나타났고, 더위에 대해 민감한 운전자는 불쾌하다는 신고를 하였다. 열선시트 난방 시 운전자들이 가장 선호하였고, 온풍 난방 가동 시에는 운전자 중 90%가 온풍으로 인하여 건조함을 느낀다고 신고하였다.

쾌적감에서는 온풍 난방 시 건조함으로 인해 가장 낮은 쾌적감 상태를 보이고 있으며, 열선시트 난방 시 쾌적감에 대한 가장 높은 응답 신고를 하였다. 쾌적감 신고에서도 볼 수 있듯이, 열선시트 난방 모드의 경우 온풍 난방을 가동하는 경우보다 높은 쾌적감 상태를 보임으로써, 직접 난방으로 인한 쾌적성 평가 시 인체의 심리적 요소는 필히 고려되어야만 한다. 난방 모드별 운전자 심리반응 분석 결과 열선시트 난방 모드 시 온열감과 쾌적감을 선호하는 것으로 나타났다.

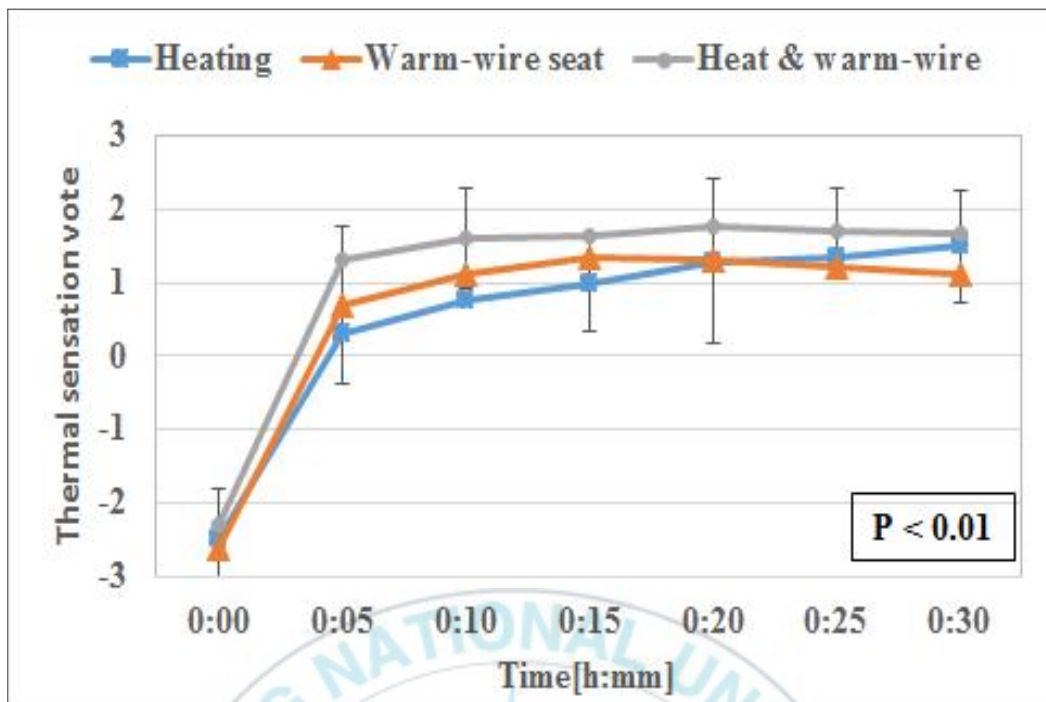


Fig. 4.6 Thermal sensation vote in case of heating

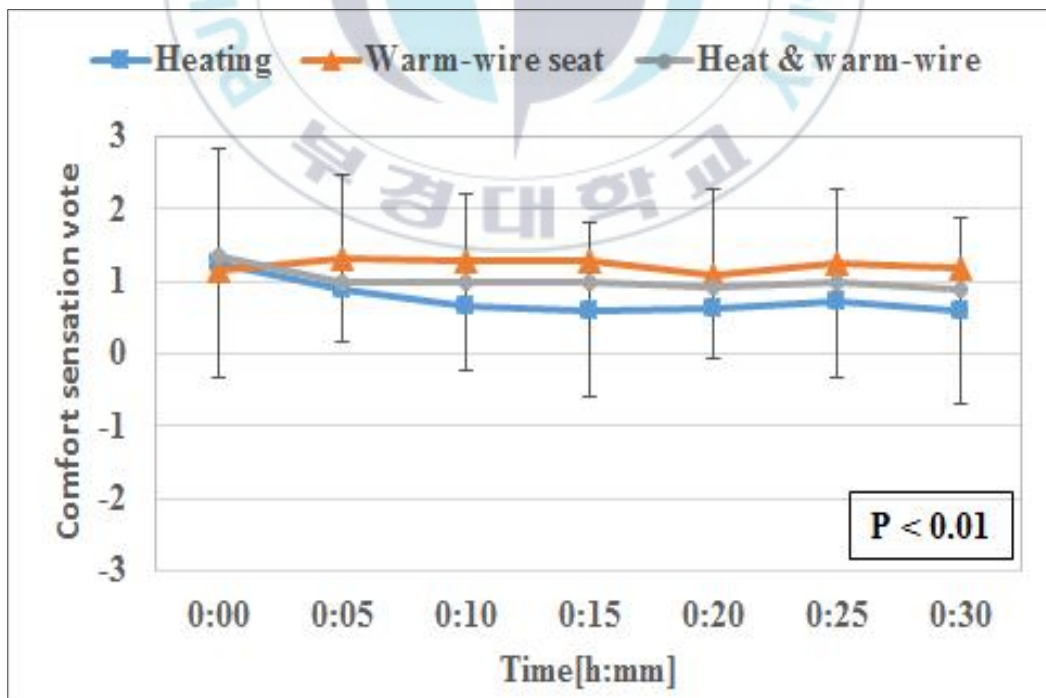


Fig. 4.7 Comfort sensation vote in case of heating

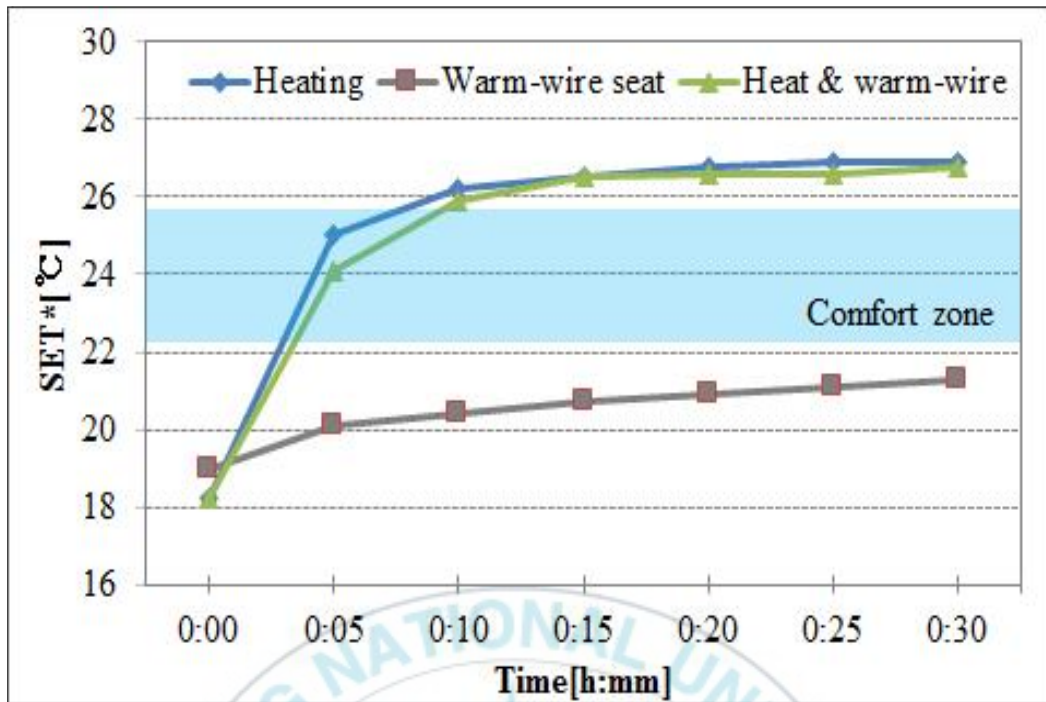


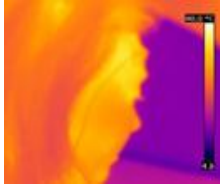
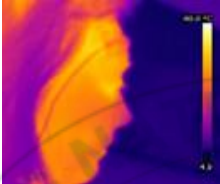
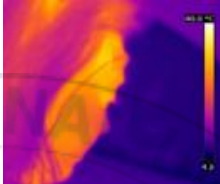
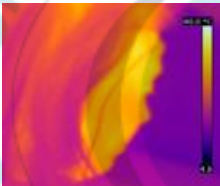
Fig. 4.8 Standard new effective temperature in case of heating

Fig. 4.8에서는 신표준유효온도를 나타내었다. 온풍난방 모드와 온풍과 열선시트 난방을 동시에 가동하였을 시에는 탑승 후 5분 이내에 각각 25°C, 24.1°C로 쾌적 범위에 포함되었다. 열선시트 난방 모드 시 온열감과 쾌적감 신고에서는 탑승 5분 후 ‘따뜻하다’, ‘쾌적하다’고 신고하였으나, 신표준유효온도에서는 21.3°C 이하로 쾌적 범위 보다 낮게 나타났다. 열선시트 난방 모드의 경우에는 인체와 직접 접촉하는 부위에 난방을 함으로써 공기온도와 습도, 기류 등을 고려하는 기존의 온열지표를 이용하여 쾌적성을 평가하기에는 적절하지 않은 것으로 판단되며, 열선 시트 난방 모드의 경우 주관설문이나 생리반응을 통한 감성 요소를 적용한 쾌적성

평가를 실시하여야 할 것이다. 이는 온열감 평가에서 온풍 난방 모드 작동 시 건조함으로 인한 운전자의 불편 사항을 고려하고, 열선시트 난방 시 인체 접촉면에서의 난방에 대한 열적 쾌적성이 고려되어야 하기 때문이다.

Table 4.4에서는 운전자의 얼굴 부위를 열화상 카메라로 촬영한 사진이다. 온풍 난방 모드와 온풍 난방과 열선시트 난방 시에는 온풍으로 인한 열기로 얼굴 피부온도는 상승하였다. 열선시트 난방의 경우 얼굴 피부온도는 탑승 시 25.7℃로 나타났고, 10분 경 24.4℃로 감소되었으나, 이후 유지된 상태가 나타났다. 온풍 난방은 실내 온도 상승과 피부온도 상승을 목적으로 가동하고, 열선 시트 난방은 심리적 쾌적감을 상승시키기 위한 목적으로 가동한다면, 운전자의 온열감과 쾌적감은 향상될 것으로 판단된다.

Table 4.4 Thermal image in case of heating

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

4.4.2 생리반응

승용차 실내 난방모드 별 뇌파반응의 변화율을 Fig. 4.9에 나타내었고, 뇌파 변화율은 식 (4.1)과 같다.

$$\text{Rate of change } \alpha/\beta = \frac{\text{Over time } \alpha/\beta}{\text{Initial } \alpha/\beta} \times 100 [\%] \quad (4.1)$$

온풍만 난방 시 실내 공기의 온도상승으로 인해 탑승 후 15분까지는 탑승 초기에 비해 37% 편안함이 상승하고, 20분 경 10% 감소하는 경향이 나타났다. 열선시트 난방과 온풍+ 열선시트 난방의 경우 탑승 초기 이후 20분간 17%와 20% 편안함이 상승하였다. 난방 모드의 경우 탑승 시 추위로 인한 불쾌감은 승용차용 난방 기기 가동으로 감소되었다.

Fig. 4.10에서는 심전도 반응의 자율신경계 변화율을 보여준다. 자율신경계 변화율은 식 (4.2)와 같다.

$$\text{Rate of change } LF/HF = \frac{\text{Over time } LF/HF}{\text{Initial } LF/HF} \times 100 [\%] \quad (4.2)$$

심전도 반응에서 온풍 난방 모드 시 탑승 초기에 비해 15분경 스트레스는 23% 증가하였고, 온풍+ 열선시트 난방에서도 15분간은 스트레스에 큰 변화가 없으나, 20분경 탑승 시에 비해 스트레스가 23% 상승하였다.

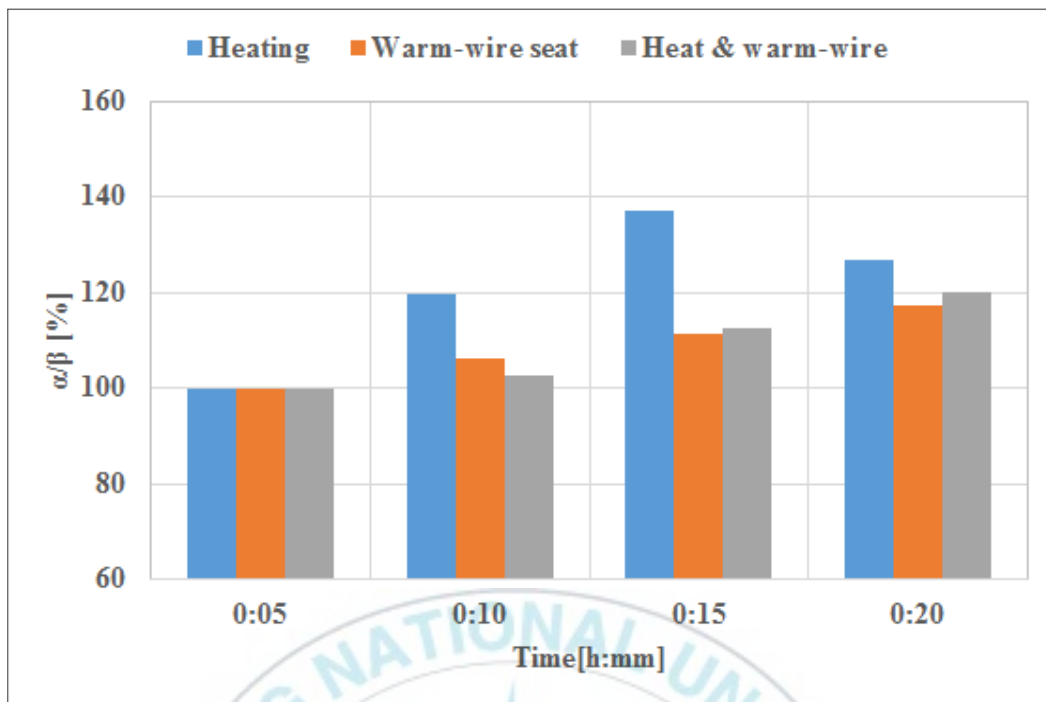


Fig. 4.9 Electroencephalogram in case of heating

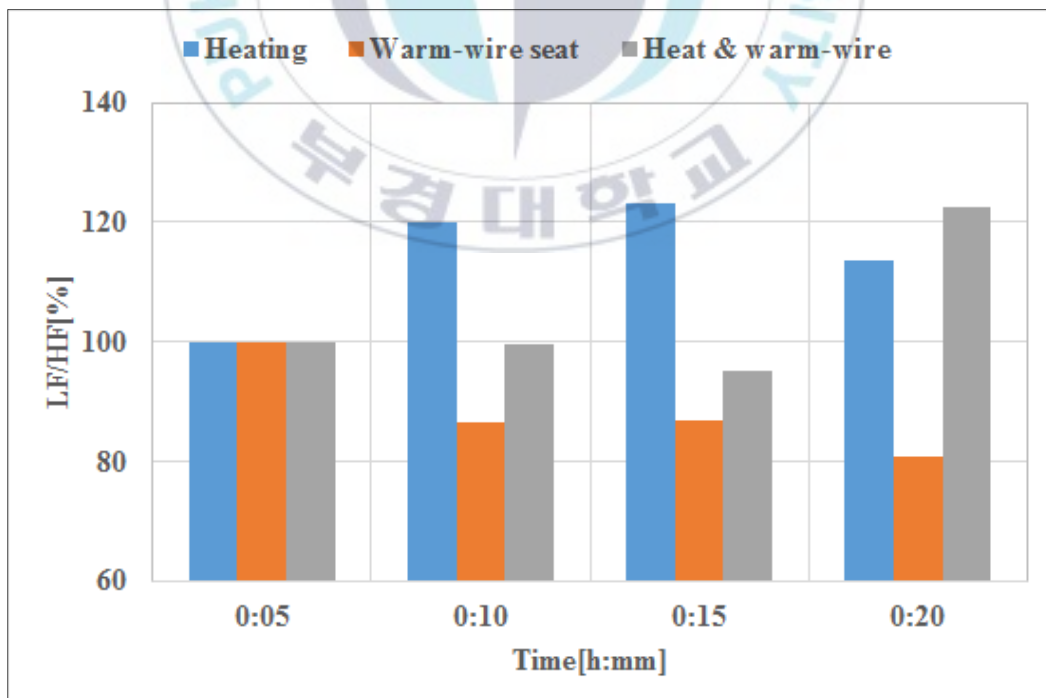


Fig. 4.10 Changes in autonomic nervous system in case of heating(LF/HF)

제 4 장 승용차 실내 난방 시 운전자 온열감성 평가

열선 시트 난방 모드에서는 탑승 후 15분 동안 13% 스트레스가 감소되었고, 20분 동안 19% 스트레스가 감소되었다. 뇌파 변화율과 심전도 변화율에서 편안함 감소와 스트레스 상승은 온풍 가동으로 인한 실내 상대습도의 감소로 운전자들이 건조함을 느끼는 생리 반응 상태로 판단된다.

뇌파와 자율신경계 반응으로부터 겨울철 승용차 실내 난방은 온풍 모드 작동 시 단시간에 실내 온도를 상승시키고, 실내의 건조함으로 인해 15분 이내 정지시켜야 한다. 온풍 모드의 정지는 운전자의 심리반응에서 건조함에 대한 불편함 신고와 생리 반응의 결과로부터 확인되었고, 온풍 난방 모드 가동의 자제는 필요하다. 열선시트 난방의 경우 뇌파와 심전도 반응에서 탑승 시부터 20분간 편안함 상승과 스트레스 감소 상태가 유지되는 반응을 보였다. 따라서, 열선시트 난방은 가장 안정된 상태로 20분간 유지되었고, 쾌적 난방 모드로서 적극적으로 활용되어야 한다.

4.5 고찰

승용차 난방 모드는 온풍 난방 모드와 열선시트 난방 모드로 구분된다. 온풍 난방 모드의 장점은 실내에 열을 공급하고, 실내 온도를 단시간에 상승시킬 수 있다. 열선시트 난방의 장점은 인체 접촉면에 직접 난방 하여 단시간에 열적 쾌적감을 높일 수 있다.

심리반응 결과에서, 온열감은 난방 모드별로 확연한 차이가 관찰되지 않았으나, 온풍 난방 가동 시에 운전자들은 실내 공기가 ‘건조하다’는 신고를 하였다. 이러한 신고는 쾌적감 신고에서도 나타났다. 온풍 난방 가동 시 열선시트 난방 모드 보다 낮은 쾌적감 신고를 나타내었다.

열선시트 난방 모드 시 실내의 낮은 온도로 인해 서늘하거나 추위에 대한 우려가 예상되었으나, 결과적으로 온열감 신고로부터 온풍 난방 모드와 같은 경향이 나타났다. 또한, 신표준유효온도와 같은 물리적 요소를 중심으로 한 쾌적 지표는 열선시트 난방 모드의 경우처럼 실내의 공기 온도가 고려되지 않고, 피부 접촉면으로 직접 난방 하는 경우에는 실제 심리반응과 큰 차이가 나타났다. 이는 열선 시트 난방의 경우 실내 공기 온도와는 직접적으로 연관이 없고, 시트의 뜨거운 열기를 인체의 감각으로 느낌으로 인해 심리적으로 따뜻함을 인지하고 추위를 해소시킬 수 있었기 때문이다. 그러므로 승용차와 같이 실내 환경과 온도변동이 심한 경우에

는 주관설문을 이용한 운전자의 심리반응이 고려되어야 한다.

생리반응에서는 온풍 난방 모드 시 뇌파 변화율에서 탑승 초기에 비해 탑승 후 15분경 37% 편안함 상승 효과를, 열선 시트 난방 모드 시 11%, 온풍+열선 시트 난방 모드 시 12% 편안함이 상승되는 효과가 나타났다. 이는 탑승 시 추위로 인한 불쾌감은 난방 모드 가동으로 감소되었음을 의미한다.

또한 난방 모드 가동 시 건조함으로 인한 생리반응은 심전도의 자율신 경계 반응에서 뚜렷한 경향을 확인할 수 있었다. 온풍 난방 모드는 탑승 초기에 비하여 15분경 23% 스트레스가 증가하였고, 열선 시트 난방 모드는 13% 스트레스가 감소하였고, 온풍+열선 시트 난방 모드는 5% 스트레스가 감소하였다. 온풍 난방 가동 시 15분 이후 스트레스는 증가하였고, 스트레스의 증가는 건조한 실내 공기가 원인으로 판단된다.

Fig. 4.11은 승용차 실내 난방 시 운전자 온열감성 평가를 종합한 그래프이다. 결과적으로 승용차 실내 난방 모드 가동 시 심리·생리 반응의 변화 시점은 15분이며, 탑승 시 15분 내에 쾌적 감성 운전을 통한 쾌적 감 상승이 필요할 것으로 사료된다. 난방 시 쾌적 운전 모드는 열선 시트 난방을 적극적으로 활용하되, 단시간에 실내 온도를 상승시키기 위해 온풍 난방 모드를 사용 시에는 5분 이내에서 온풍 난방 사용을 권장한다. 단, 온풍 난방 시 15분 이상 사용을 자제하면 겨울철 쾌적한 승용차 실내 환경이 조성될 것으로 사료된다.

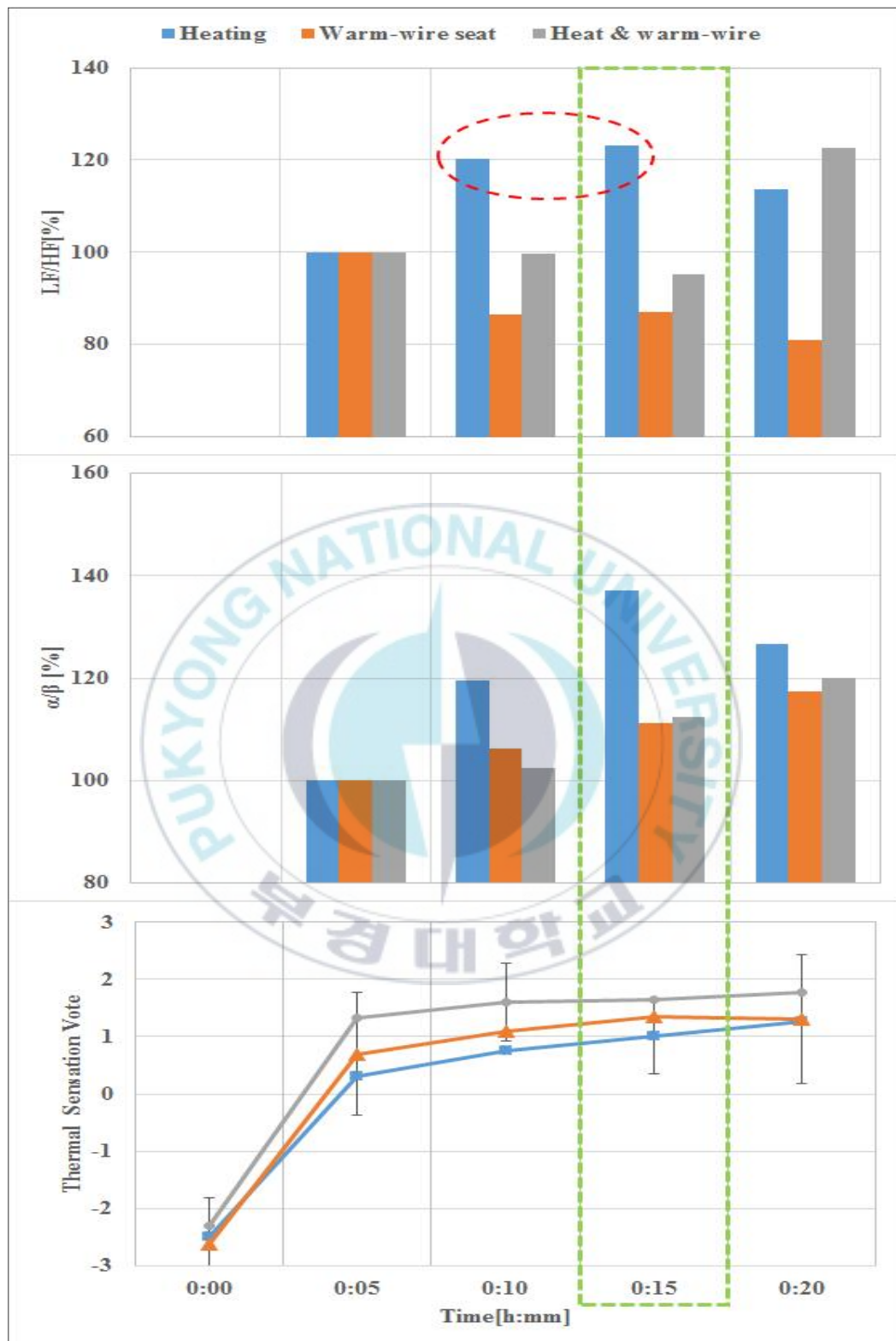


Fig. 4.11 Thermal comfort evaluation of driver in case of heating

4.6 요약

본 연구는 겨울철 운전자의 추위로 인한 불쾌감을 단시간에 해소시키고 쾌적한 난방 모드를 제시하기 위해 심리반응과 생리반응을 뇌파와 심전도 생리신호를 근거로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

(1) 겨울 실내 열환경에서 일사량은 승용차 실내 난방부하에 있어서 플러스 요인으로 작용하여 난방 모드 작동은 운전자의 선택 사항이지만, 일사가 없는 경우 승용차 실내는 외기온도와 유사함으로 난방 모드 작동은 필수사항이다.

(2) 난방 모드 선호도에서 운전자는 온열감과 쾌적감, 선호도 평가에서 운전자 중 90%가 온풍으로 인하여 건조함을 느낀다고 신고함으로써, 열선시트 난방 모드를 가장 선호하였다.

(3) 난방 모드 가동 시 탑승 후 운전 초기 15분 이전 온풍 난방 시 스트레스는 23% 증가하였고, 열선 시트 난방 모드는 13% 스트레스가 감소하였다. 이로 인해 열선 시트 난방 모드를 적극적으로 활용하고, 온풍 난방 모드를 자제한다면 쾌적한 감성 공조 운전으로 운전자의 온열 쾌적성을 향상시킬 수 있다.

(4) 건조함에 대한 생리반응은 심전도 반응의 자율신경계 변화에서 경

향이 일치하고, 온열감에 대한 열적 불쾌감 해소는 뇌파변화에서 일치한다.



제 5 장 승용차 실내 환기 시 운전자 송풍 효과

5.1 연구개요

승용차는 수많은 기술의 집약체로 이동이나 운반수단으로써 꾸준히 발전해 왔으며, 앞으로 4차 산업혁명과 더불어 무한히 성장할 것이다. 승용차의 발달과 함께 승용차 공조시스템 역시 지속적으로 발전하고 있다. 승용차 공조시스템은 20세기 초 외부로부터 운전자와 탑승자의 신체를 보호하기 위한 지붕이 추가되어 승용차 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 개발되어오고 있다.⁴⁷⁾

승용차의 경우 좁은 공간에서 장시간 운전이 지속되는 경우 승용차 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 교통안전공단³⁹⁾에서 발표한 보도 자료에 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 국내외 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 승용차를 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,⁴⁸⁾ 운전자의 각성 상태, 졸음 상태, 수면 상태를 단시간 뇌파샘플을 이용하여 판별 가능한 분석 시스템,⁴⁹⁾⁵⁰⁾ 심전도를 이용한 졸음 및 각성 상태 시 심장박동의 특성과 졸음 방지를 위해 생리신호 분석⁵¹⁾⁵²⁾ 등 생체신호를 이용한 졸음 방지와 판별이나 눈 영상 에지를 이용한 졸음 감지 시스템 개발⁵³⁾ 등 비접촉식 방법들이 다양하게 연구되고 있으며, 이러한 연구들은 인체 접촉식과 비접촉식의 센서 부착 방식으로 구분되며 운전자의 상태를 직접적으로 관찰하고 분석 가능한 장점이 있다.

본 논문에서는 졸음운전의 원인이 되는 CO₂ 농도를 일정 수준 이하로 유지시키고 실내 냉풍장치를 이용하여 운전자의 안면부로 송풍시킴으로써, 송풍 시 콜드 드래프트 효과로 인한 운전자의 졸음 및 각성 상태를 뇌파와 심전도를 이용하여 확인하고자 하였다. 냉풍에 따른 감성 반응 실험을 통해 생리변화를 분석하여 졸음방지를 위한 승용차 쾌적 감성 공조 시스템 개발의 기초자료로 활용하고자 한다.



5.2 온열감성 평가

5.2.1 피험자 선정

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.

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 생활패턴을 조사하고, 실험참가 여부를 판별하였다.

Table 5.1 Anthropometric data of the subjects in case of ventilation

	Mean anthropometric dimension		Male subjects	Female subjects
	Male	Female		
Age [year]	25~29	20~24	26.1 ±1.85	23.5 ±1.65
Height [cm]	173.6 ±54.9	160.9 ±52.2	175.0 ±2.31	162.6 ±4.54
Weight [kg]	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 [bpm]	50~100		78.0 ±9.35	84.0 ±8.62
Blood pressure [mmHg]	120/80		126.3 /86.0 (±7.83 /6.82)	108.2 /71.2 (±7.11 /9.72)

* KOSIS(국가 통계 포털), 2015

본 실험에 참가한 피험자들에게는 자발적인 실험 동의서를 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 5.1에 실험에 참가한 피험자들의 평균 신체 치수와 한국인 표준

신체 치수를 나타내었다.

5.2.2 실험 스케줄

실험 장소는 부산광역시 소재 부경대학교 친환경 공조시스템 연구실 내 향온향습실에서 진행되었으며, 향온향습실은 전실과 본실로 구분되어있다. 피험자가 도착하면 먼저 실험복장으로 착용하고, 실내온도 25℃, 상대습도 50%인 전실에 입실하였다. 전실에서 실험자는 피험자의 건강상태를 확인 후 기록하고, 실험 진행 여부를 판별한 후 생리신호 센서를 부착하였다. 센서 부착 후 피험자는 본실과 연결된 통로를 통해 본실로 이동하고, 본실에서 30분간 25℃, 50%의 온·습도 조건인 실내 환경에 순응하였다. 실험자는 실험 장치를 점검하고, 생리신호 이상 유·무를 확인한 후에 본 실험을 90분간 승용차용 의자에 앉은 자세로 진행하였다.

실험 Case는 90분간 앉은 자세에서 졸음상태를 파악하는 무풍 실험과 졸음 시 냉풍 자극에 반응하는 송풍 실험으로 구분하여 실시되었다. 냉풍 반응 실험 시 송풍온도는 약 21℃이고, 풍속은 6.68m/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. 5.1에 전체 실험 스케줄을 나타냈다.

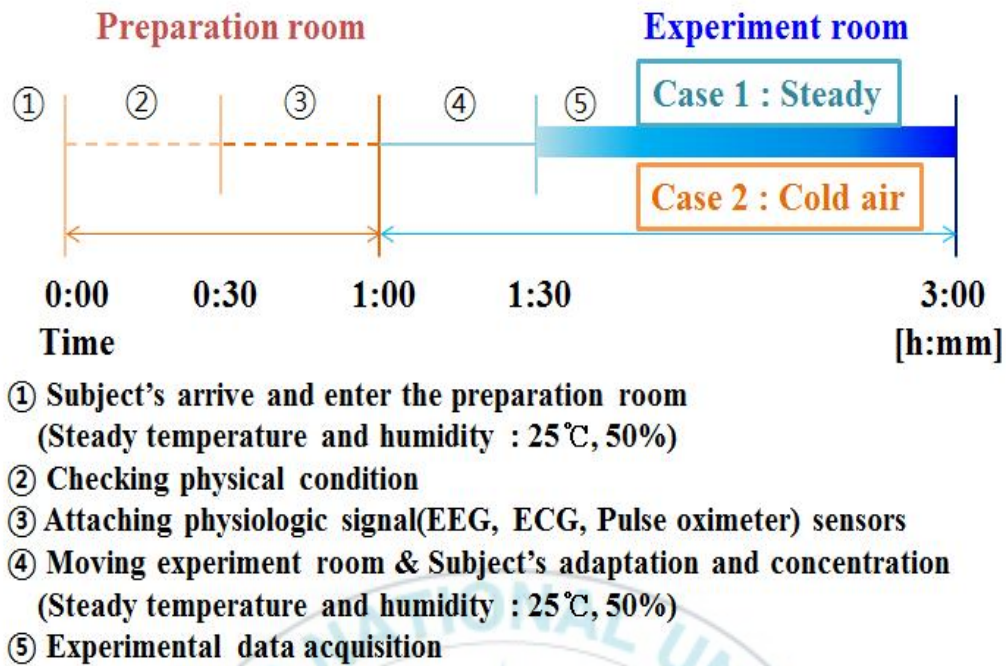


Fig. 5.1 Experimental procedure in case of ventilation

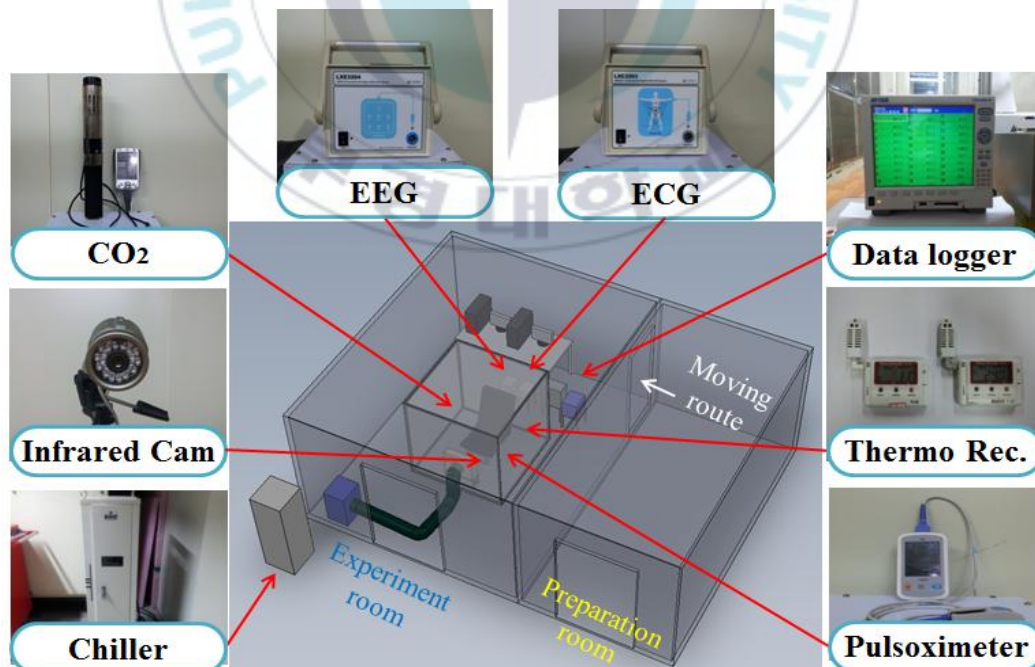


Fig. 5.2 Schematic diagram of experimental equipment

Fig. 5.2에 실험장치 개략도를 나타내었다.

실험 시 피험자 재실공간은 본실 내부에 하나의 챔버실을 설치하여 입
 실시켰으며, 챔버실의 크기는 소형 승용차 내부공간의 용적을 고려하고,
 피험자를 관찰하기 위해 투명 아크릴을 사용하여 $1.5\text{m(W)} \times 1.5\text{m(D)} \times$
 1.5m(H) 크기로 제작되었다. 좁은 공간에서 피험자 호흡으로 인한 실내
 CO_2 농도 상승을 억제하기 위하여 신선한 외기 도입부 및 실내 배기구를
 개폐 가능하도록 제작되었다.

실험장비는 냉풍을 공급하기 위한 냉각장치를 항온항습실 외부에 설치
 하였고, 챔버실 내로 송풍하기 위한 송풍시스템이 구성되었다. 항온항습
 실과 챔버실 내의 실내 온·습도를 측정하기 위하여 데이터 저장 장치와
 T-type 열전대, 온·습도계를, 실내 공기질 모니터링을 위하여 CO_2 측
 정 장비를, 피험자의 졸음 상태를 확인하기 위한 적외선 카메라를 설치하
 여 실시간으로 측정 및 동영상을 저장하였다. 또한, 피험자의 생리신호
 측정 및 분석을 위한 뇌파와 심전도 장비와 산소포화도 측정기를 설치하
 여 실시간으로 데이터를 수집하였다.

Table 5.2 Experimental equipment in case of ventilation

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

Table 5.2에서 실험 시 사용된 측정 장비와 수집된 데이터를 표기하였다.

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

피험자는 가벼운 실내 평상 복장의 착의량인 $0.6Clo$ 이고, 활동량은 앉은 상태에서 가벼운 움직임 정도의 상태이므로 $1.1Met$ 이다.

Fig. 5.3에서는 본 실험 시 촬영한 실험 전경 사진을 보여주고 있다.

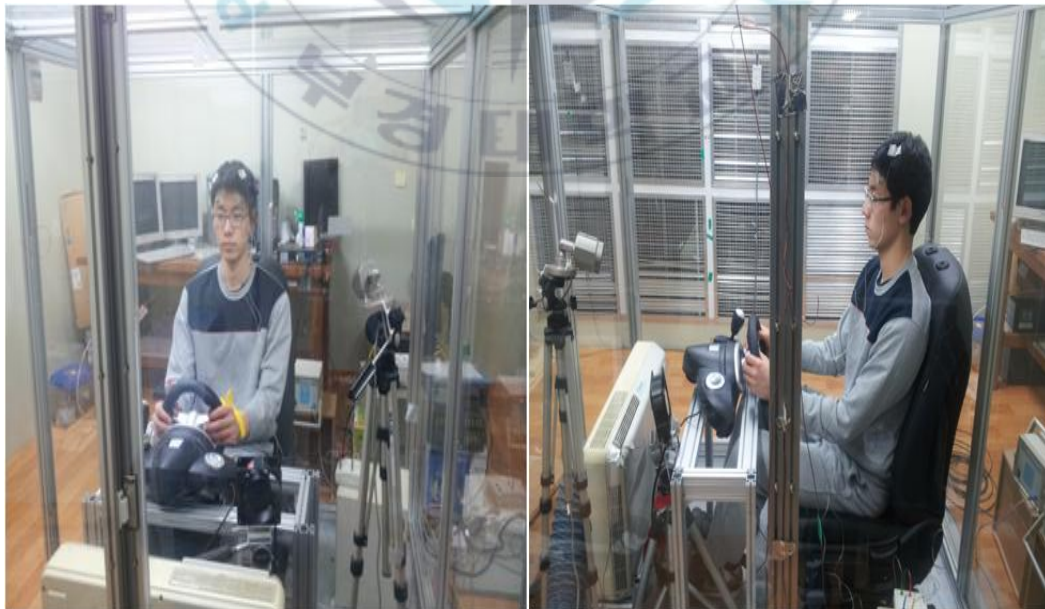


Fig. 5.3 Experimental view in case of ventilation

5.2.3 실험 환경

본 실험에서 실험 공간은 향온향습실과 운전자 재실공간인 챔버실로 구분하였다. 향온향습실의 온도는 실내 쾌적 온·습도 조건인 25℃, 50%로 설정하였고, 챔버실 내부공간의 온도는 Fig. 5.4에서와 같이 향온향습실 내부 온·습도와 동일한 조건에서 실험을 진행하였다. 실내 CO₂ 농도는 본 실험 전 챔버실 개방으로 향온향습실 내부 농도와 같은 1,000ppm 이하로 유지되었고, 챔버실 밀폐와 운전자 호흡으로 인한 CO₂ 발생으로 1,400ppm까지 상승되었다. 이는 미국의 실내 환기조건⁵⁴⁾ 기준에 적합한 2,000ppm 이하이다.

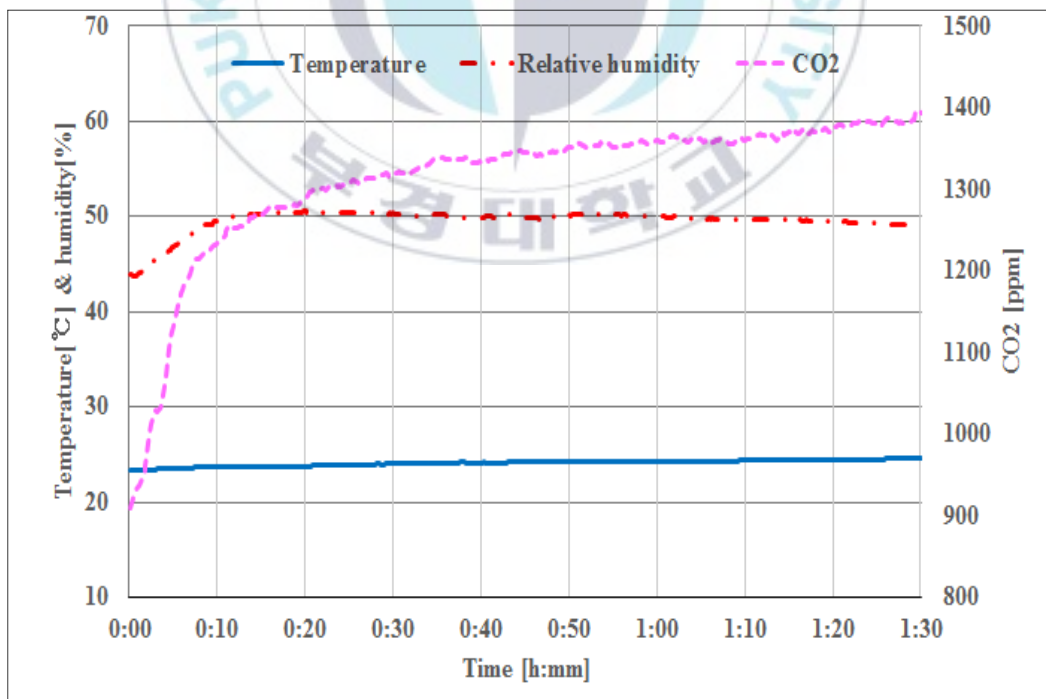
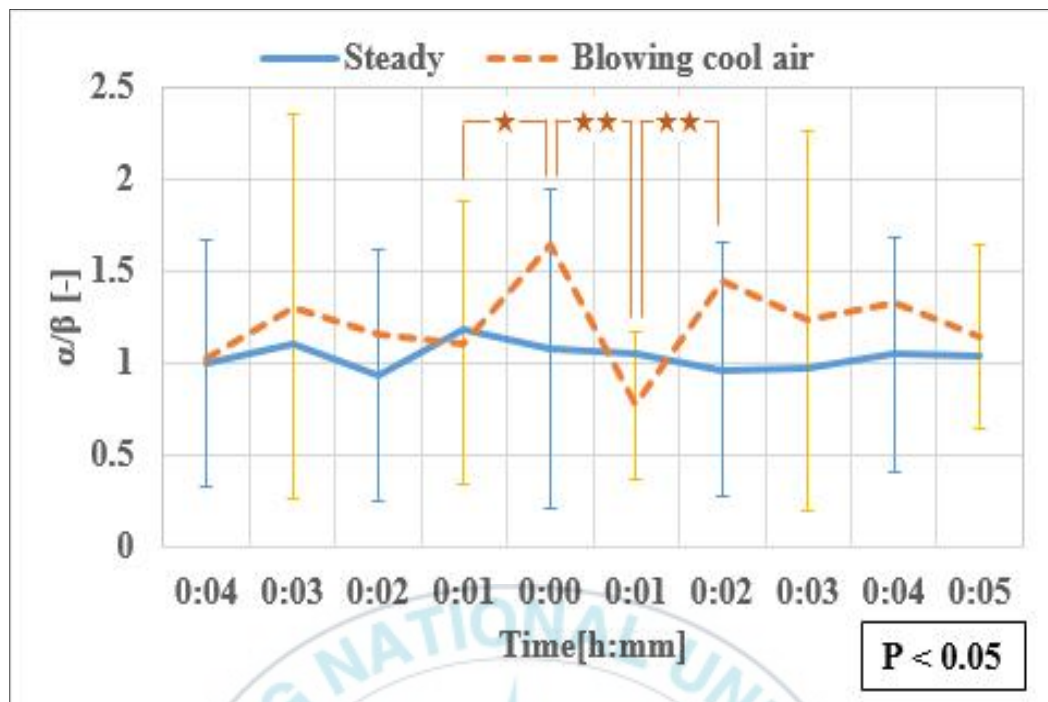


Fig. 5.4 Environmental condition of chamber room

5.3 실험결과

5.3.1 뇌 파

뇌파의 파형에서 α 파는 일반적으로 눈을 감고 긴장이완 상태이면 증가하는 경향이 나타난다. 하지만, 정신활동이나 신체적 운동 상태일 때는 α 파는 감소된다. α 파의 감쇠는 시각 자극 중에서도 특히 개안(open eyes)에 의한 시각 자극에 의해 감쇠가 뚜렷하게 나타난다.⁵⁵⁾ β 파는 정신적인 활동이나 신체적 운동에 의해 발생되며, 불안과 같은 긴장상태 시에 우세하게 나타나며, 청각, 촉각, 정서적 자극에 영향을 받는다. θ 파는 정서적 안정과 수면으로 이어지는 과정에서 주로 나타나며, 성인보다는 아동에게 더 많이 분포한다.



★: $P < 0.05$, ★★: $P < 0.01$

Fig. 5.5 α/β wave

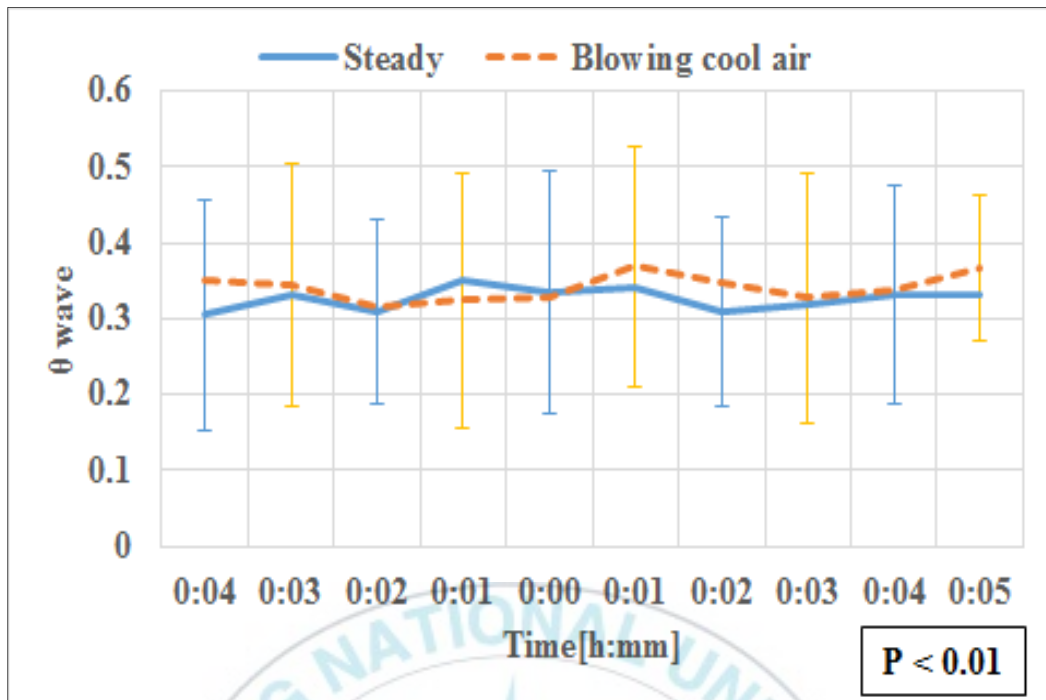
본 연구에서는 졸음 및 각성과 연관된 α 파, β 파, θ 파를 파워 스펙트럼 분석법과 통계 기법을 이용하여 분석하였다.

실험은 냉풍 자극 유무에 따라 구분하였으며, 총 90분간의 본 실험 시간 중 졸음시간(0:00)을 기준으로 전·후 5분 동안 1분 간격의 데이터를 비교하였다. Fig. 5.5에서 송풍 자극 없이 실험조건을 유지하면서 운전자가 가만히 앉아 있는 경우 α 파와 β 파의 비율이 유사하게 나타났다. 냉풍 자극 시 졸음구간에서는 폐안(close eyes) 시 α 파가 증가하였다가 감소하는 α 파 억제(alpha block) 현상의 영향으로 α 파가 증가되었다가 감소되는 현상이 뚜렷이 나타났다. 운전자는 졸음 직후 20초간 냉풍자극을 받으

면서 개안으로 인한 α 파 감소와 졸음상태를 스스로 인지하고 집중하고자 하는 행동을 보였으며, 이러한 영향으로 β 파가 우세한 경향이 뇌파 신호에서 나타났다. 이러한 결과로 졸음 시 냉풍에 의한 자극이 운전자들에게 유효한 반응을 일으킨다는 사실을 확인하였다. 냉풍자극 후 1분에서 2분 사이 α 파가 다시 우세하게 나타나는 현상은 졸음을 완전히 억제시키지는 못하고, 운전자의 눈깜빡임 행동이 반복됨으로써 나타나는 결과로 판단된다.

시계열에 대한 통계분석 t-test 결과 냉풍 자극 전후 1분간 유의미한 차이가 나타났으며, 운전자들의 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. 5.6에서는 δ 파를 제외하고 전체 뇌파 파형에 대한 θ 파의 결과 값으로 상대 θ 값을 보여준다. θ 파는 느린 파형을 보이는 서파이며 수면상태와 연관된다. 송풍 유 · 무에 대한 상대 θ 파 경향은 유사하게 나타났으며, 통계적으로도 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 이는 실험 중 운전자들이 졸음 단계를 넘어서서 얇은 수면이나, 깊은 수면 상태에까지는 이르지 않았음을 반증하는 결과이다. 또한 상대 θ 파로부터 송풍 자극 시

Fig. 5.6 Relative Θ wave

를 제외하면 졸음 상태는 동일하였다.

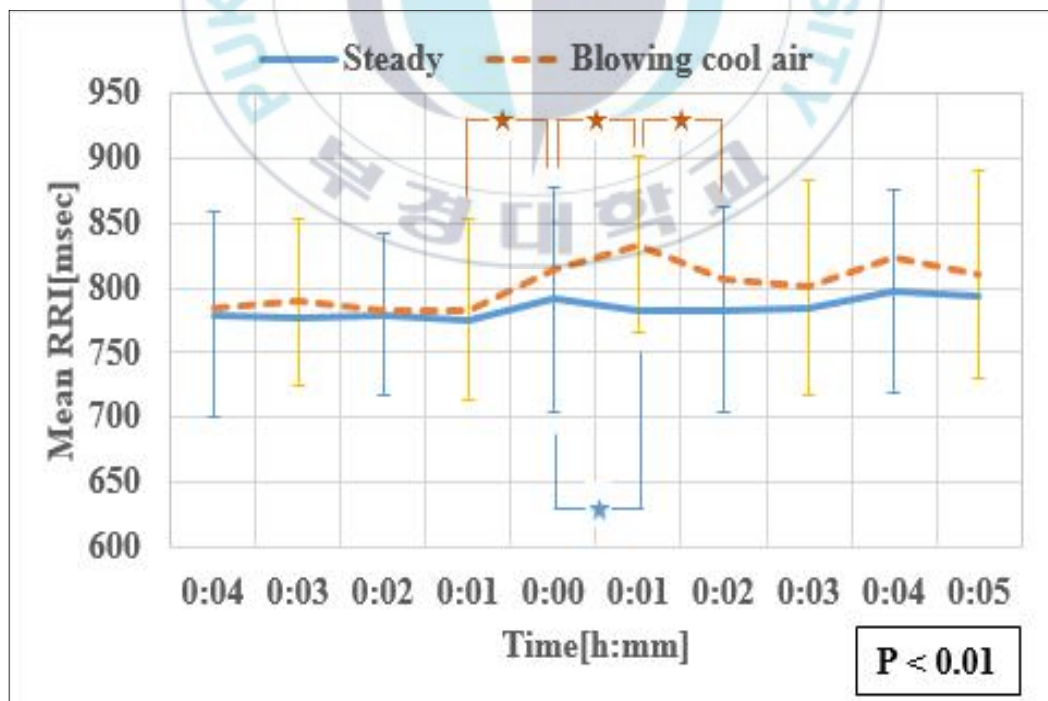
5.3.2 심전도

심박 간격 변화에서 졸음 전 1분까지는 실험 Case 별 큰 변화가 나타나지 않았다. 이는 졸음 시 냉풍 자극 유·무에 따른 생리 반응 실험으로 냉기를 송풍하는 시점 이전은 실험 조건이 동일하고, 상대 Θ 파에서 유추되었던 실험 조건별 졸음 상태는 유사하였음을 나타낸다.

Fig. 5.7에서 평균 심박간격을 살펴보면, 졸음 전 1분부터 졸음 시 까지 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 경향은 심전도 관련 선행 연구들에

서 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 약 1분 내로 지연되는 것으로 나타났다.

평균 심박간격에 대한 t-test 결과 냉풍 자극 전·후 유의미한 차이가 나타났다으며, 이러한 차이는 자극 후 2분간 지속되었다. 분산 분석 시 냉풍 자극 요인과 각 시간대에서 전체적으로 유의미한 차이가 통계적으로 나타났다.



★: $P < 0.05$

Fig. 5.7 Mean R-R intervals

자율 신경계 변화는 HF에 대한 LF의 비로 나타내었으며, Fig. 5.8에서 그 결과 값을 보여준다. 냉풍 자극이 없는 상태에서는 LF/HF의 값은 졸음 전 $4.03(\pm 2.53)$, 졸음 후 $4.16(\pm 2.15)$ 으로 다소 증가된 값이 나타났지만, 거의 유사한 결과 값을 보인다. 하지만 졸음 시 냉풍으로 인한 자극을 주었을 때는, 졸음 전 $4.60(\pm 2.90)$ 에서 졸음 후 $3.55(\pm 1.86)$ 로 약 22.8% 감소하였고, 냉풍 자극이 없는 상태보다도 9.5% 낮게 나타났다. 결과적으로 졸음을 깨우기 위한 냉풍 자극은 운전자들에게 스트레스 요인으로 작용하지는 않고, 교감신경계를 억제하고 부교감신경계를 증가시켜 편안함을 유도하였다고 판단된다.

자율 신경계 변화에 대한 분산분석에서도 냉풍 자극 유·무에 의한 유의미한 차이를 확인하였다.

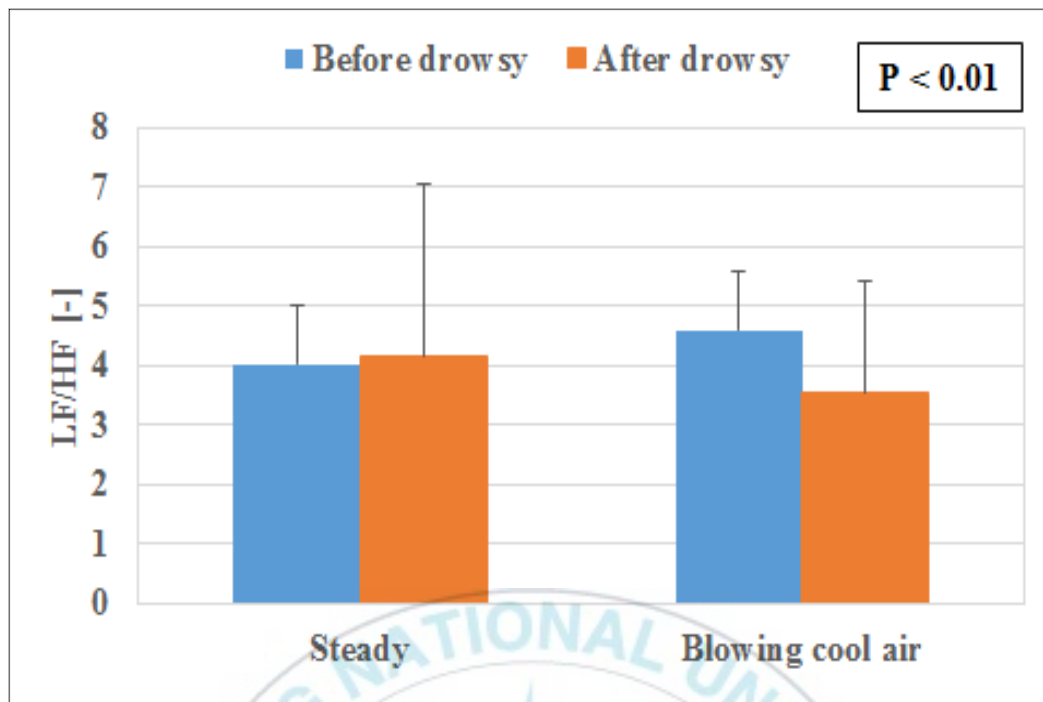


Fig. 5.8 Changes in autonomic nervous system in case of ventilation(LF/HF)

5.4 고찰

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

본 연구에서 실험환경은 운전자가 쾌적하게 느끼는 25℃, 50%(RH)의 온 · 습도 조건에서 진행되었으며, 졸음 유발이 우려되는 CO₂ 농도 2,000ppm 이하인 1,400ppm의 실내 환경에서 수행되어, 운전자의 쾌적 조건을 만족시켰다. 또한, 송풍 자극에 대한 인체 반응 상태를 확인하기 위한 실험으로, 송풍 자극외의 외란에 의한 자극을 최대한 배제시킨 환경 조건을 조성하였다.

냉풍 자극 시 운전자들의 뇌파 반응에서는 α 파와 β 파의 비, Θ 파를 통해 운전자의 졸음 상태를 살펴보았다. α/β 로부터 무풍 조건에서는 변화를 확인 할 수 없었으나, 냉풍 자극 후 1분 동안 α 파의 감소와 β 파의 증가로 α/β 는 약 52.9% 감소되었다. 냉풍 시 뇌파의 생리신호에서 α/β 의 감

소는 운전자가 졸음 상태에서 냉풍 자극을 인지하여 각성하고자 하는 생리적 현상으로 냉풍 자극이 졸음 시 각성효과에 유효함을 확인하였다. 운전자 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 49.9msec 증가하였고, 냉풍 자극 후 1분 후부터 2분 동안 32.3msec 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 졸음 시 냉풍은 운전자의 졸음 각성에 대한 스트레스를 줄일 뿐 만 아니라 공조 시스템에서 송풍으로 인한 냉풍 자극 효과를 극대화 시킬 수 있다고 사료된다.



5.5 요약

본 연구는 운전자 졸음 시 안면부로 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 α 파가 감소되고, β 파가 증가하는 경향이 뚜렷이 나타났고, α/β 의 비율이 약 52.9% 감소됨으로써 졸음을 억제시키는 효과를 확인하였다.

(2) 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.

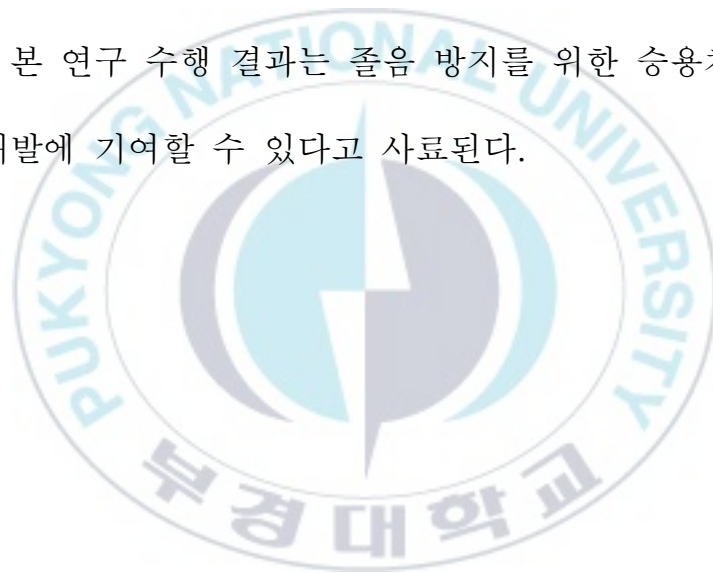
(3) 자율신경계 변화에서도 냉풍 자극 시 졸음 각성 효과를 확인하였고, 냉풍 자극은 인체에 생리적 변화를 동반하나, 이 생리변화는 LF/HF가 22.8% 감소되고, 무자극 시 보다 9.5% 낮은 수치를 나타냄으로써 긍정적인 송풍 효과 반응임을 확인하였다.

(4) 인체 생리반응에 관한 연구는 복잡한 심리 · 생리적 현상으로 인해 지속적이고 반복적인 연구가 필요하며, 신뢰성과 편의성 등이 확보된 생

리신호 측정센서 개발이나 다양한 생리반응 분석 기법과 알고리즘 등에 대한 연구가 요구된다.

(5) 승용차 실내 환경에서 가장 큰 변수는 일사량에 따른 실내온도 상승이므로, 본 연구를 바탕으로 실내온도와 송풍온도 변화가 고려된 실내 환경에서 졸음과 각성상태에 미치는 인체 생리반응에 관한 연구가 필요하다.

결론적으로 본 연구 수행 결과는 졸음 방지를 위한 승용차용 쾌적 감성 공조시스템 개발에 기여할 수 있다고 사료된다.



제 6 장 감성 쾌적 공조운전 프로세스

본 논문은 외부환경에 노출되기 쉬운 자동차의 열악한 실내 환경 개선을 위해 승용차 운전자를 대상으로 온열 감성 평가를 수행하였다. 승용차용 공조시스템을 빈번히 사용하게 되는 여름철과 겨울철에 운전자를 대상으로 연구를 수행하였고, 운전자의 심리·생리 반응에 대한 실측 실험을 실시하였다. 승용차용 공조 운전 상태에 따른 운전자의 심리·생리 반응에 대한 감성 평가를 실시한 결과를 근거로 쾌적 감성 공조운전 프로세스 구성도를 Fig. 6.1에 나타내었다.

본 구성도는 승용차 탑승 시 운전자의 불쾌감을 최소화시키기 위한 공조운전 방법을 제안하는 목적으로 프로세스는 구성되었다. 구성도의 흐름은 탑승 시 심리반응 확인, 승용차 실내 환경 상태 확인, 생리반응 확인, 쾌적 범위 포함 상태를 확인하는 순서이다.

여름철 냉방 시 운전자 탑승 직후 심리반응을 가장 먼저 확인하여 에어컨 가동 유·무가 선택된다. 운전자의 심리반응으로 온열감과 쾌적감에 대한 신고를 입력받게 된다. 심리반응 확인 후 실내 온도 센서로부터 승용차의 실내 환경을 확인하게 되고, 실내 온도는 일사 유·무에 따른 온도범위인 맑은 날 40℃ 이상, 흐린 날 36.5℃ 이하의 범위와 인체 열평형에 따른 심부온도인 37℃를 기준으로 공조 운전 방식은 구분되어진다.

구분된 공조 운전 방식에 따라 운전자의 생리반응인 뇌파와 심전도를 확인하여, 운전자의 편안함과 스트레스 상태를 파악하게 되고, 평균피부온도를 통해 운전 모드 변화를 필요로 하게 된다. 운전 상황을 고려하여 운전자로부터 직접 피부온도를 측정하기 어려운 상황과 운전 방해 요인 등의 이유로 평균피부온도는 승용차 실내온도로 확인한다.

실내온도 변화와 평균피부온도를 이용한 통계분석을 통해 평균피부온도는 $Y = 0.17X + 29.227$ 의 회귀식으로부터 산출할 수 있다. 여기서, X 는 승용차 실내 온도이고, Y 는 인체 평균피부온도이다. 평균피부온도를 통해 운전자의 쾌적 상태를 파악하기 위한 실내 기준온도는 28°C 이다. 실내 온도 28°C 이하에서는 회귀식으로부터 평균피부온도는 쾌적 영역에 포함되기 때문이다.

생리반응의 뇌파변화로부터 편안하고 안정된 상태, 심전도로부터 스트레스 감소 상태가 나타나고, 실내온도 28°C 이하가 확인 된다면 피부온도 역시 쾌적 범위에 포함되게 되므로, 운전자의 감성 상태는 ‘쾌적하다’고 판단할 수 있으므로, 열적으로 쾌적한 상태이다.

겨울철 난방 모드에서는 탑승 시 운전자의 심리반응 확인으로 난방 모드 가동 유·무는 선택된다. 난방 모드는 열선시트 난방과 온풍 난방으로 구분되고, 난방으로 인한 운전자의 생리반응 분석 시 뇌파 반응에서는 편안하고 안정된 긍정적인 효과 반응을 나타내었으므로, 구성도의 생리반응에서는 뇌파반응을 생략하였다. 심리반응 확인 이후 생리반응 상태를 파

악하게 되고 생리반응은 심전도로부터 확인한다. 심전도의 자율신경계 반응으로부터 운전자의 스트레스 상태를 확인하여 열적 쾌적 상태를 파악하게 된다.

환기 모드는 운전 초기 쾌적 감성 공조 운전모드를 통해 운전자가 쾌적 영역에 도달하게 되면 운전자는 편안함과 쾌적함으로 인한 졸음 유발 시작된다. 이때, 환기 모드는 송풍 모드를 작동 준비 상태로 대기시킨다. 졸음으로 인한 운전자의 졸음운전이 확인되면, 승용차용 공조장치를 이용한 송풍 모드를 통해 운전자의 졸음을 각성시키기 위한 모드로 전환된다. 송풍 모드를 이용한 각성효과는 송풍 자극으로 인한 운전자의 생리반응 상태를 분석함으로써, 송풍 시 뇌파반응으로부터 52.9% 편안함이 감소되어 긴장상태가 유발된 결과로부터 확인하였다.

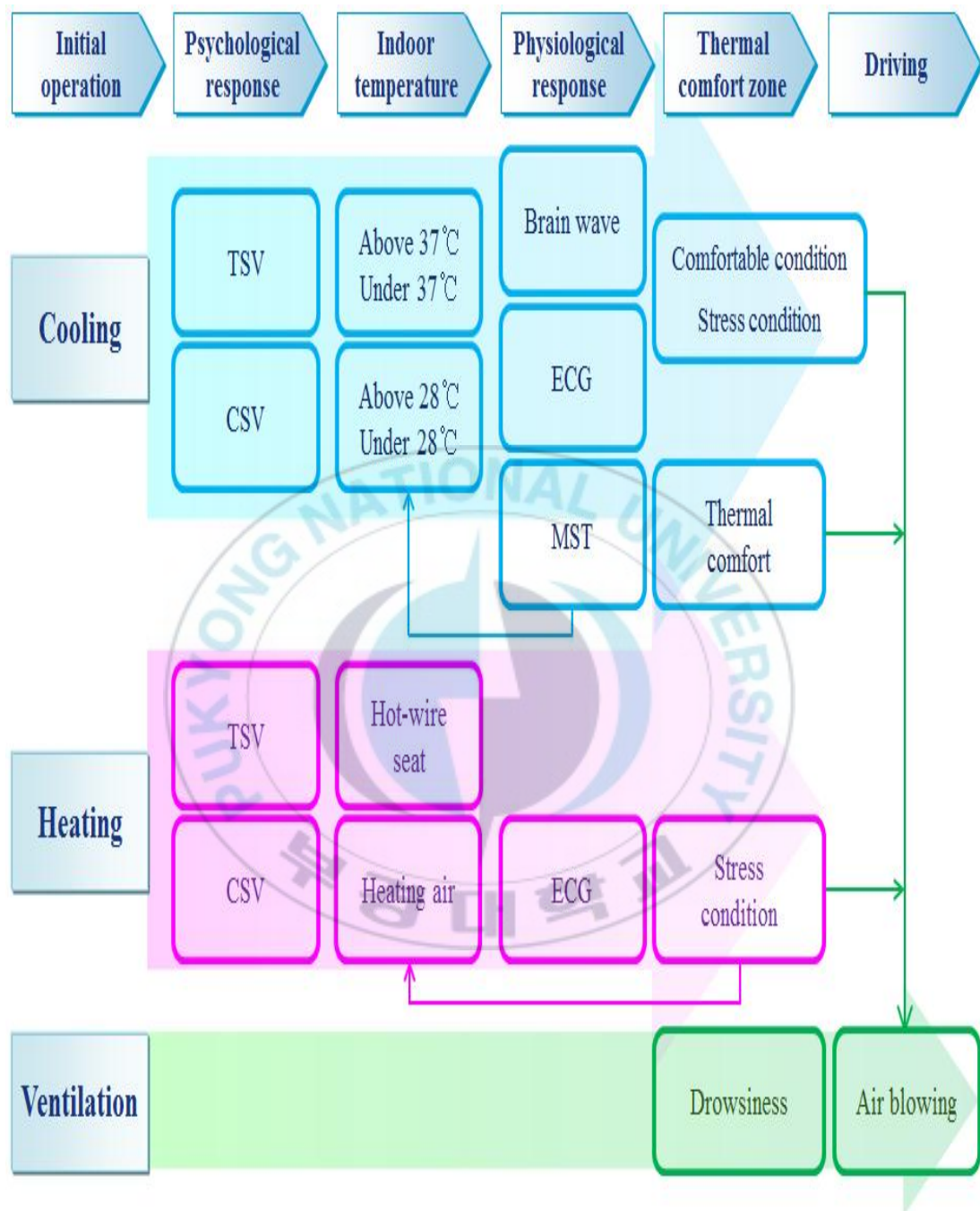


Fig. 6.1 Diagram of thermal comfort sensibility evaluation for driver

Fig. 6.2는 여름철 냉방 시 쾌적 감성 공조운전 프로세스이다.

여름철 야외에 주차된 승용차에 운전자 탑승 시, 먼저 온냉감 신고를 통해 심리반응을 확인한다. 심리반응 확인은 에어컨 가동 유·무를 확인하기 위함이며, 실내 온도 센서를 통해 측정된 온도에 따라 냉방 모드는 변화한다. 이때, 실내의 기준 온도는 37°C 이며, 37°C 이상이면 풍량은 3단계 이상의 $90\text{m}^3/\text{h}$ 이상으로 급기시키고, 37°C 이하라면 실내 온도를 확인하여 인체 피부로부터 발산되는 열을 제거하기 위한 풍향이 선택된다. 선택된 풍량과 풍향으로 에어컨이 정상 가동상태이면 운전자의 생리 반응 중 뇌파를 확인하여 α/β 가 증가하면 급기온도를 낮추고, α/β 가 감소되면 급기온도를 높인다. 취출 온도 변화로 인해 인체의 생리반응은 동시에 변화될 것이고, 이러한 변화 시 심전도의 자율신경계 변화를 확인함으로써, 열적 스트레스 상태를 확인한다. 자율신경계 변화로부터 교감신경계와 부교감신경계의 비율 변화를 통해 교감신경계 활성화가 나타나면, 실내 온도를 재확인하게 되고, 부교감신경계의 활성화가 확인되면, 운전자의 온열 감성 상태는 쾌적 영역에 도달하였다고 판단할 수 있다. 쾌적한 실내 환경이 조성되면, 운전자의 쾌적감 신고를 통해 감성 상태를 재확인하고, 실내온도를 유지시킨다. 실내 온도 유지와 동시에 졸음운전 시 각성을 위한 송풍 모드는 작동 준비 상태로 대기시킨다.

이러한 에어컨 운전 프로세스는 운전자의 감성 상태를 적용시킨 쾌적 감성 공조운전 프로세스이다.

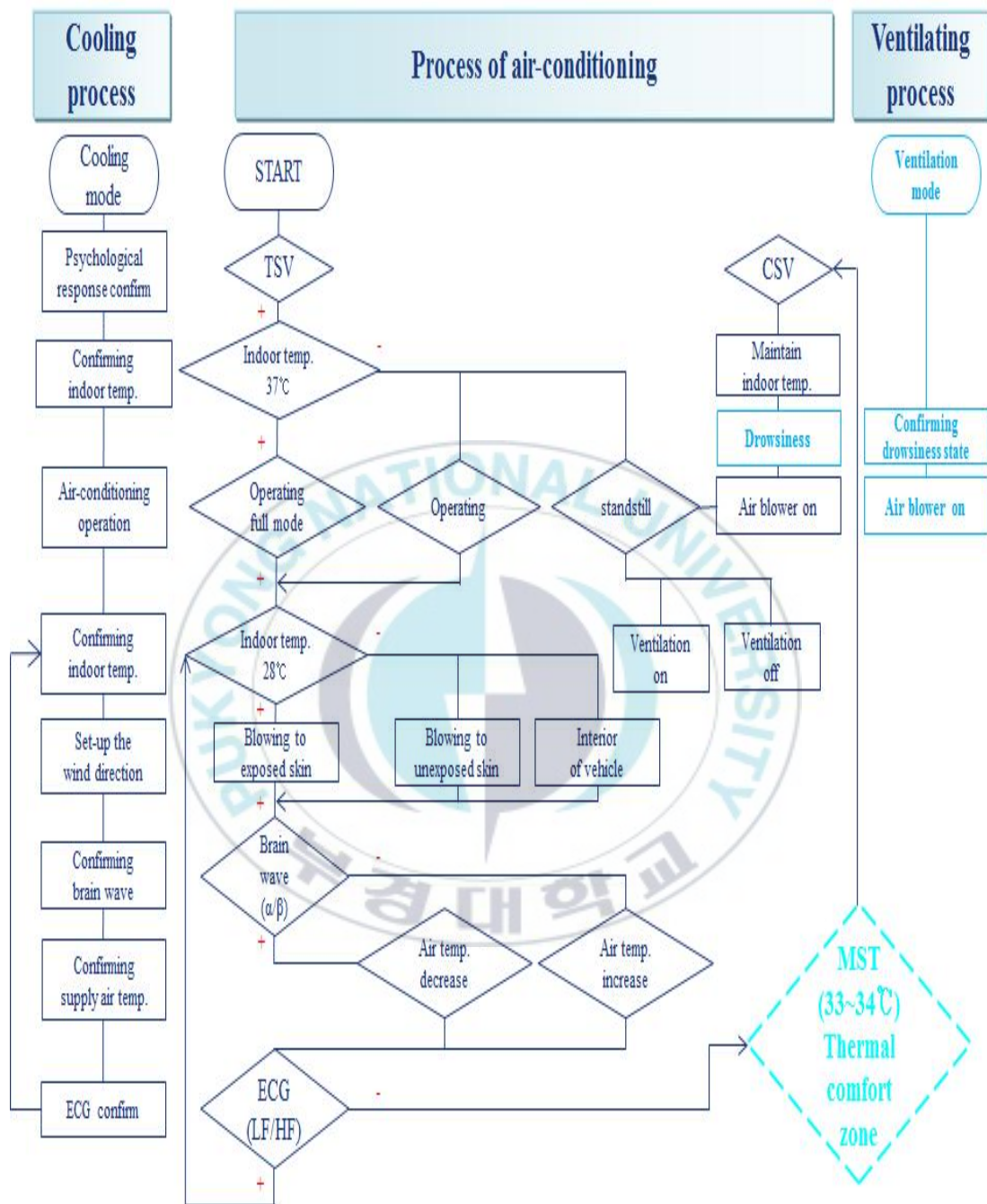


Fig. 6.2 Process of thermal comfort sensation for HVAC system in case of cooling at automobile

Fig. 6.3은 겨울철 난방 시 쾌적 감성 공조운전 프로세스이다.

겨울철 야외에 주차된 승용차에 운전자 탑승 시 온열감 신고를 통해 운전자의 심리반응을 확인한다. 온열감에 대한 심리반응 상태를 확인한 후 난방 모드 가동 여부는 선택되고, 난방 시 열선시트 모드를 우선하여 가동시킨다. 열선 시트 가동 온도는 45℃, 40℃ 순이며, 운전자의 추위에 대한 불쾌감이 해소되면 열선시트를 ‘off’ 시킨다. 온풍난방 모드는 실내의 건조함으로 인한 불쾌감을 유발시킬 수 있는 우려로 선택사항으로 설정하였다. 온풍난방 가동 시에는 심전도를 확인하여, 운전자의 열적 스트레스 상태를 부가적으로 확인하게 된다. 교감신경계와 부교감신경계의 활성화 상태를 확인하여, 교감신경계가 활성화 되어 LF/HF 증감율이 탑승 초기에 비해 증가하게 되면 온풍난방을 ‘off’ 시킨다. 온풍난방 모드가 ‘off’ 되면, 운전자의 온열감을 재확인하여 난방기기 가동에 대한 선택 여부를 다시 확인하는 순서로 프로세스는 순환된다. 또한, 부교감신경계가 활성화 되어 LF/HF 증감율이 탑승 초기에 비해 감소하게 되면 쾌적감에 대한 심리반응을 확인함으로써, 열적 쾌적 상태에 도달하면 실내 환경 조건을 유지시키고 졸음 각성을 위한 송풍모드는 가동 준비상태로 대기시킨다.

이러한 프로세스 과정들을 승용차용 공기조화기에 적용시킨다면 운전자는 쾌적한 실내 환경에서 편안하고 안락한 운전환경을 경험하게 될 것이다.

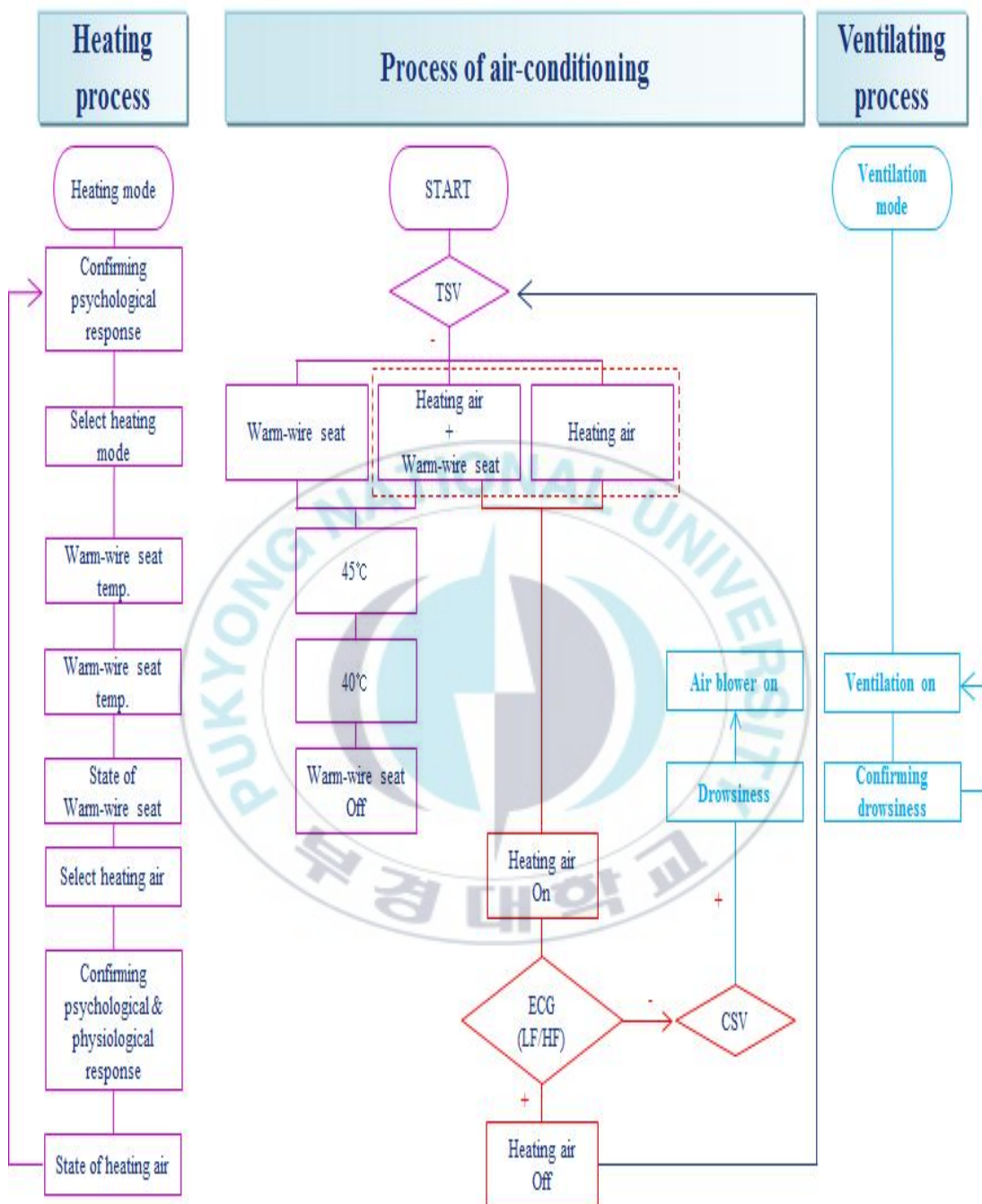


Fig. 6.3 Process of thermal comfort sensation for HVAC system in case of heating at automobile

제 7 장 결 론

승용차 실내 냉방 시 심리 · 생리 반응을 통한 운전자 온열감성 평가로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 운전자의 생리반응에서 운전 초기 15분간 맑은 날에는 뇌파 변화에서 α/β 는 17% 상승, 심전도 변화에서 LF/HF는 23% 감소하였다. 한편, 흐린 날에는 뇌파 변화에서 α/β 는 19% 감소, 심전도 변화에서 LF/HF는 54% 증가하였다. 에어컨의 냉기는 일사 유 · 무에 따라 맑은 날 긍정적인 반응을, 흐린 날 부정적인 반응을 보임으로써 생리반응에서 확연한 차이가 나타났다. 그러므로, 일사 유 · 무에 따른 공조 운전의 변화가 필요하다.

(2) 운전자의 에어컨 조작 선호도로부터 승용차 탑승 시 맑은 날 많은 풍량의 3단계($90\text{m}^3/\text{h}$ 이상)와 얼굴이나 노출된 피부 부위로 냉풍 취출, 흐린 날은 적은 풍량의 1단계($45\text{m}^3/\text{h}$ 이하)와 가슴부위로 냉풍 취출이 요구된다.

(3) 에어컨 가동으로 인한 심리 · 생리 반응 변화에서 탑승초기 15분을 경계로 변화 양상이 뚜렷함으로써, 운전초기 15분 동안 쾌적 감성 공조 운전이 필요하다.

승용차 실내 난방 시 심리·생리 반응을 통한 운전자 온열감성 평가로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(4) 난방 모드별 심리반응에서 열선시트 난방 모드를 가장 선호하였고, 온풍난방 가동 시 피험자의 90%가 ‘건조하다’는 신고를 하였다.

(5) 난방 모드별 생리반응에서 운전자 탑승 후 20분 동안 온풍, 열선시트, 온풍+열선시트 모드에서 α/β 는 27%, 17%, 20% 상승하였으나, 온풍과 온풍+열선시트 모드에서는 LF/HF가 14%, 23% 증가하였다. 열선시트 모드에서는 LF/HF가 19% 감소함으로써, 열선 시트 난방의 적극적인 활용이 요구된다.

(6) 승용차 운전자의 생리반응에서 공조운전으로 인한 온열감은 뇌파반응에서, 건조감은 심전도 반응에서 경향이 일치한다.

승용차 실내 환기 시 송풍 자극 반응에 대한 운전자 온열감성 평가로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(7) 운전자 졸음 시 송풍 온도 21℃, 기류 속도 6m/s~7m/s의 조건으로 운전자의 안면부에 송풍 자극을 가했을 때, 뇌파 변화에서 α/β 는 52.9% 감소하여 긴장상태가 유발된다는 사실을 확인하였다.

(8) 송풍 자극은 운전자에게 불쾌감을 유발시킬 수 있으나, 심전도의 자율신경계 변화에서 졸음 시 보다 송풍 자극 후 LF/HF는 22.8% 감소되어 스트레스를 감소시켰고, 무풍 시 보다도 9.5% 스트레스를 감소시켰다.

로써 편안한 자극임을 확인하였다.

(9) 승용차용 공조기의 환기모드에 송풍자극을 적용시킴으로써, 기존 졸음 운전 시 각성을 위한 접촉식 자극 방식에서 벗어나 비접촉식 자극 방식에 대한 적용 가능성을 입증하였다.



부 록

1. 이산 푸리에 변환³⁴⁾

파워 스펙트럼은 푸리에 변환을 이용하며, 이산적인 디지털 신호를 위한 이산 푸리에 변환(DFT: Discrete Fourier Transform)은 아래와 같이 정의된다.

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

여기서, h_k : k 번째 신호any discrete time signal

N : 신호의 수

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

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

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

면 다음과 같다.

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

식 (A.3)에서 원 신호의 제곱의 합과 푸리에 변환을 거친 신호의 제곱의 합은 같다. 이때 원 신호제곱의 합 또는 푸리에 변환의 합은 총 파워 값(total power)이라 한다. 즉, 신호의 총 파워 값은 시간공간이나 주파수 공간에서 모두 같음을 의미하며 이는 파스발(Parseval) 정리이다.

이 정리를 만족하는 파워 스펙트럼은 다음과 같이 정의된다.

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

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

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

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

2. 예상온열감(Predicted Mean Vote)⁵⁴⁾

아래에 PMV식을 나타냈으며, 사용범위는 $PMV = -3 \sim +3$ 이다.

$$\begin{aligned}
 M - W = & 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \\
 & + 3.05 [5.73 - 0.007(M - W) - p_a] \\
 & + 0.42 [(M - W) - 58.15] + 0.0173M(5.87 - p_a) \\
 & + 0.0014M(34 - t_a)
 \end{aligned} \quad (A.7)$$

여기서, M : 활동량 [W/m^2]

W : 외부일 [W/m^2]

f_{cl} : 나체일 경우 인체 표면적에 대한 착의 시 인체 표면적 비율[-]

t_a : 공기온도 [$^{\circ}C$]

t_{cl} : 의복의 표면온도 [$^{\circ}C$]

$\bar{t}_r$: 평균복사온도 [$^{\circ}C$]

h_c : 대류 열전달 계수 [$W/(m^2 \cdot K)$]

p_a : 주위 공기의 수증기 분압 [kPa]

R_{cl} : 피부로부터의 복사열손실 [W/m^2]

V : 기류속도 [m/s]

$$\begin{aligned}
t_{cl} = & 35.7 - 0.0275(M - W) - R_{cl}(M - W) \\
& - 3.05[5.73 - 0.007(M - W) - p_a] \\
& - 0.42[(M - W) - 58.15] - 0.0173M(5.87 - p_a) \\
& - 0.0014M(34 - t_a)
\end{aligned} \tag{A.8}$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} & 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{V} \\ 12.1\sqrt{V} & 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{V} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.0 + 0.2I_{cl} & I_{cl} < 0.5clo \\ 1.05 + 0.1I_{cl} & I_{cl} > 0.5clo \end{cases}$$

$$PMV = [0.303\exp(-0.036M + 0.028)L] \tag{A.9}$$

여기서, L : 인체 열부하 [W/m^2]

I_{cl} : 의복 저항값 [clo]

여기서 L 은 실제 활동량에서 피부온도 및 피부 증발열손실 비율의 쾌적값을 유지하는 인체 항상성으로부터 내부 열생산과 실제 환경에서 열손실 사이의 차로 정의되는 몸에서의 열적 부하이다. PMV 계산의 일부로 의류 온도 t_{cl} 은 다음 식 (A.10)으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
t_{cl} = & 35.7 - 0.028(M - W) \\
& - R_{cl}39.6 \times 10^{-9} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4]
\end{aligned} \tag{A.10}$$

인간은 체내의 방산열과 체외의 방열이 같아질 때 체온이 일정하게 유

지되고, 방산열은 인체가 섭취하는 영양소인 탄수화물, 지방, 단백질이 산화할 때 발생된다. 성인이 1일 대사하는 열에너지는 약 12,600kJ이며 일반적인 사무를 볼 때는 6,300kJ의 활동량을 소비하게 된다. 또한 인간의 활동이나 작업의 강도는 활동량으로 나타낼 수 있으며 일반적인 단위 체 표면적에 대한 단위 시간의 비를 뜻한다. 일반적으로 의자에 앉아 편안히 쉬고 있을 때의 활동량은 58.1W/m^2 이다. 이 활동량은 표준 체격의 성인이며 한사람에 대한 값은 100W 전구 1개분에 상당한다. 이 활동량을 기준 단위로 하여 여러 가지 작업에 대한 활동량은 비율로 나타낼 수 있으며, 이 비율을 활동량(혹은 대사량)이라 한다. 활동량의 단위는 Met로 나타내며 1 Met 의 값은 의자에 편안하게 앉아 있는 상태로 활동량은 58.1W/m^2 이다.

Table A.1은 일반적인 활동량 값을 보여주고 있다.

Table A.1 Typical metabolic heat generation for various activities⁵⁶⁾

	W/m ²	Met*
Resting		
Sleeping	40	0.7
Reclining	45	0.8
Seated, quiet	60	1.0
Standing, relaxed	70	1.2
Walking (on level surface)		
3.2 km/h (0.9 m/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 to 115	1.0 to 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	95 to 115	1.6 to 2.0
Housecleaning	115 to 200	2.0 to 3.4
Seated, Heavy limb movement	130	2.2
Machine work		
sawing (table saw)	105	1.8
light (electrical industry)	115 to 140	2.0 to 2.4
heavy	235	4.0
Handling 50 kg bags	235	4.0
Pick and shovel work	235 to 280	4.0 to 4.8
Miscellaneous Leisure Activities		
Dancing, social	140 to 255	2.4 to 4.4
Calisthenics/exercise	175 to 235	3.0 to 4.0
Tennis, singles	210 to 270	3.6 to 4.0
Basketball	290 to 440	5.0 to 7.6
Werstling, competitive	410 to 505	7.0 to 8.7

1 Met = 58.1 W/m²

겨울철 두꺼운 옷을 입을 경우 체내로부터 발생하는 열은 필요 이상으로 외부로 방출되지 못한다. 이와 같은 착의상태가 열을 차단하는 역할을 하는 것을 열저항이라고 한다. 이러한 착의상태의 열저항의 값을 나타내는 단위로 clo 값이 사용되며 인체표면적에 대한 열저항을 $1[clo] = 0.155[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$ 로 나타낸다.

원래 clo 단위는 1941년 미국의 Gagge⁵⁶⁾가 제안한 것으로 clo 는 인간이 생리적 · 심리적으로 쾌적함을 유지할 수 있는 피복의 단열성능으로 정의하였다. 의자에 앉아서 안정된 상태의 성인남자가 실온 $21^\circ C$, 상대습도 50% 이하, 풍속 $0.1m/s$ 이하의 실내에서 더위 또는 추위를 느끼지 않는 쾌적한 상태의 의복 단열성능이 1 clo 이다. 의복량은 온도측정에 의한 방법, 의복중량에 의한 방법, 의복단품 가산에 의한 방법으로 구할 수 있으며 다음식과 같다.

온도 측정에 의한 방법

$$I_{clo} = (1/0.155 \cdot h)(t_{sk} - t_s)/(t_s - t_o) \quad (A.11)$$

여기서, h : 대류 열전달 계수 [$W/(m^2 \cdot K)$]

t_{sk} : 피부온도 [$^\circ C$]

t_s : 습윤피부온도 [$^\circ C$]

t_o : 주위온도 [$^\circ C$]

의복 중량에 의한 방법

남성의복의 경우($W \leq 3,000\text{g}$)

$$I_{clo} = 0.00058 W + 0.068 \quad (\text{A.12})$$

여성의복의 경우($W \leq 2,000\text{g}$)

$$I_{clo} = 0.00103 W + 0.025 \quad (\text{A.13})$$

의복 단품 가산에 의한 방법

남성의복의 경우(총 합산값이 $1Clo$ 이하)

$$I_{clo} = 0.708 \sum I_{clo,i} + 0.052 [Clo] \quad (\text{A.14})$$

여성의복의 경우(총 합산값이 $1Clo$ 이하)

$$I_{clo} = 0.828 \sum I_{clo,i} + 0.013 [Clo] \quad (\text{A.15})$$

Table A.2에서는 의복량 값을 표로 나타내었고, Fig. A.1은 의복량과 활동량에 대한 쾌적 온도 그래프를 보여준다.

Table A.2 Garment insulation values⁵⁴⁾

Garment Description	Clo	Garment Description	Clo	Garment Description	Clo
Underwear		Long-sleeved, flannel shirt	0.34	Long-sleeved(thin)	0.25
Men's briefs	0.04	Short-sleeved, knit sport shirt	0.17	Long-sleeved(thick)	0.36
Panties	0.03	Long-sleeved, sweat shirt	0.34	Dresses and Skirts	
Bra	0.01	Trousers and coveralls		Skirt(thin)	0.14
T-shirt	0.08	Short shorts	0.06	Skirt(thick)	0.23
Full slip	0.16	Walking shorts	0.08	Long-sleeved shirtdress(thin)	0.33
Half slip	0.14	Straight trousers(thin)	0.15	Long-sleeved shirtdress(thick)	0.47
Long underwear top	0.20	Straight trousers(thick)	0.24	short-sleeved shirtdress(thin)	0.29
Long underwear bottom	0.15	Sweatpants	0.28	Sleeveless, scoop neck(thin)	0.23
Foot wear		Overalls	0.30	Sleeveless, scoop neck(thick)	0.27
Ankle-length athletic socks	0.02	Coveralls	0.49	Sleepwear and Robes	
Calf-length socks	0.03	Suit Jackets and Vests(Lined)		Sleeveless, short gown(thin)	0.18
Knee socks(thick)	0.06	Single-breasted(thin)	0.36	Sleeveless, long gown(thin)	0.20
Panty hose	0.02	Single-breasted(thick)	0.44	Short-sleeved hospital gown(thick)	0.31
Sandals/thongs	0.02	Double-breasted(thin)	0.42	Long-sleeved, long gown(thick)	0.46
Slippers(quilted, pile-lined)	0.03	Double-breasted(thick)	0.48	Long-sleeved, pajamas(thick)	0.57
Boots	0.10	Sleeveless vest(thin)	0.10	Short-sleeved, pajamas(thin)	0.42
Shirts and Blouses		Sleeveless vest(thick)	0.17	Long-sleeved, long wrap robe(thick)	0.69
Sleeveless, scoop-neck blouse	0.12	Sweaters		Long-sleeved, short wrap robe(thick)	0.48
Short-sleeved, dress shirt	0.19	Sleeveless vest(thin)	0.13	Short-sleeved, short robe(thin)	0.34
Long-sleeved, dress shirt	0.25	Sleeveless vest(thick)	0.22		

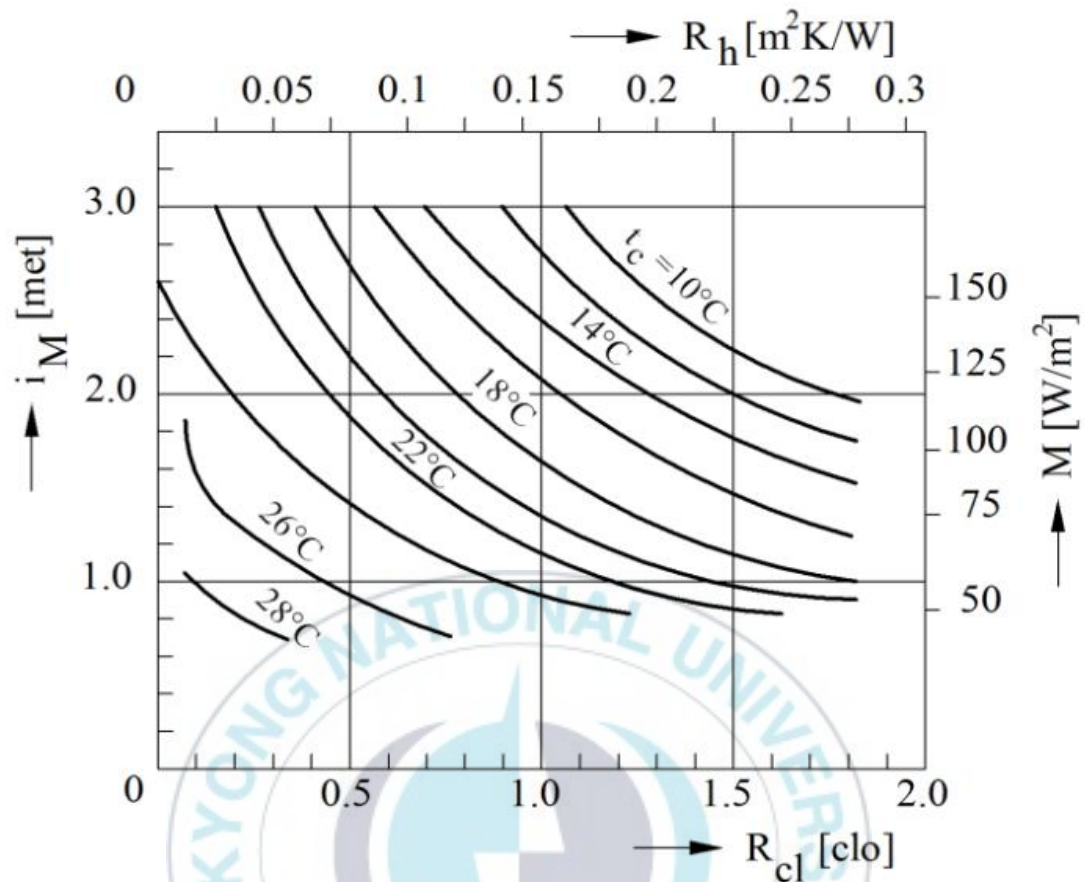


Fig. A.1 Operative comfort temperature function of clothing and activity⁵⁷⁾

3. 인체의 열평형

인체는 활동 상태에 따라 체내에서 열을 생산하며, 동시에 열을 주위 환경으로 발산한다. 인체에서 환경으로의 열발산은 피부표면, 의복 및 호흡을 통해 이루어진다. 인체에서 열생산과 열발산의 불균형에 따라 더위·추위 또는 쾌·불쾌의 온열감각이 발생하며, 환경과 인체 사이의 열평형은 다음 식 (A.16)과 같이 표현할 수 있다.

$$L = M - Q - Q' \quad (\text{A.16})$$

여기서,

M : 작업 활동에 의한 인체 열생산량 [W/m^2]

Q : 피부면·의복을 통해 인체로부터 환경으로의 열발산량 [W/m^2]

Q' : 호흡에 의해 인체로부터 환경으로의 열발산량 [W/m^2]

L : 인체의 열부하량 [W/m^2]

이와 같은 열량은 인체의 단위 체표면적당의 양 [W/m^2]으로 나타나게 되는데, 미국인 및 유럽인⁵⁸⁾에 대한 체표면적 측정은 식 (A.17)과 일본인⁵⁹⁾에 대한 체표면적 측정은 식 (A.18)과 같다.

$$A_D = 0.202 \times m^{0.425} \times H^{0.725} \quad (\text{A.17})$$

$$A_T = 0.204 \times m^{0.425} \times H^{0.725} \quad (\text{A.18})$$

여기서,

A : 체표면적 [m^2]

m : 중량 [kg]

H : 신장 [cm]

피부표면으로부터 주위 환경으로의 열발산량은 대류열 발산(C), 방사열 발산(R), 증발열 발산(E)으로 나뉘어진다.

대류열 발산은 인체 주변의 공기 움직임에 의해 열교환이 이루어지고, 방사열 발산은 인체 표면과 주위의 벽, 바닥, 천장, 창, 가구 등의 물체 표면과의 사이에서 전자파의 형태로서 열을 교환한다. 대류열 발산과 방사열 발산을 포함하여 현열 손실이라고 말하며, 증발열 발산은 피부 표면으로부터 수분 증발에 의한 잠열 손실이다. 잠열 손실은 체온조절 기능에 의한 인체 특유의 열발산이며, 무덥고 습한 기후에서는 특히 중요한 역할을 담당하게 된다. 호흡에 의한 열발산량은 대류와 증발로 나누어지고, 인체 전체의 방열량 중에서 약 10%정도를 차지하며, 기온이 높아짐에 따라 그 역할이 줄어든다.

열부하량(L)은 $L > 0$ 이 될수록 인체 내의 축열량은 증가하여 무더움으로 인한 불쾌감을 느끼게 된다. 역으로 $L < 0$ 이 되면 인체로부터 방열이 촉진되어 서늘함으로 인한 불쾌감을 느끼게 된다. L 이 0에 가까울수록

왜적하게 된다.



4. 피부를 통한 현열 교환⁵⁴⁾

착의한 신체의 외부표면에서 대류(C) 및 방사(R) 열손실은 열전달 계수 및 온도차로서 표현될 수 있다.

$$C = f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a) \quad (\text{A.19})$$

$$R = f_{cl} \times h_r \times (t_{cl} - t_r) \quad (\text{A.20})$$

여기서, h_c : 대류열전달 계수 [$W/(m^2 \cdot K)$]

h_r : 선형방사열전달 계수 [$W/(m^2 \cdot K)$]

f_{cl} : 의복 면적비[-]

t_a : 공기온도 [$^{\circ}C$]

t_r : 평균방사온도 [$^{\circ}C$]

t_{cl} : 착의표면온도 [$^{\circ}C$]

대류열전달 계수(h_c) 및 선형방사열전달 계수(h_r)는 착의 표면에서 평가된 것이다. 식 (A.19)와 식 (A.20)은 전현열교환을 나타내며, 작용온도

($t_o = \frac{t_a \times h_c + t_r \times h_r}{h_c + h_r}$)와 총괄 열전달 계수($h = h_c + h_r$)를 사용하여 정리하

면 다음과 같다.

$$(C+R) = f_d \times h \times (t_d - t_o) \quad (\text{A.21})$$

의복을 통한 현열의 전달에는 전도, 대류, 복사가 관련되므로 열저항값 (R_d)으로 정의하면 다음과 같다.

$$(C+R) = \frac{(t_{sk} - t_{cl})}{R_{cl}} \quad (\text{A.22})$$

식 (A.21)과 식 (A.22)로부터 착의표면 온도항(t_d)을 제거하면 다음과 같다.

$$(C+R) = \frac{(t_{sk} - t_o)}{[R_d + 1/(f_d \times h)]} \quad (\text{A.23})$$

5. 피부를 통한 증발열 손실⁵⁴⁾

피부로부터 증발열 손실(E_{sk})은 수증기압차, 피부에서의 수분양에 따라 좌우된다.

$$E_{sk} = \frac{w \times (p_{sk,s} - p_a)}{[R_{e,d} + 1/(f_d \times h_e)]} \quad (A.24)$$

여기서, w : 피부 습윤도

$p_{sk,s}$: 피부에서 수증기압, 일반적으로 피부온도(t_{sk})에서 포화수증기압으로 가정 [kPa]

p_a : 주위환경의 수증기압 [kPa]

$R_{e,d}$: 의복 표면층의 증발열전달 저항 [$(m^2 \cdot kPa)/W$]

f_d : 의복 면적비

h_e : 착의 표면의 증발열전달 계수 [$W/(m^2 \cdot kPa)$]

증발열 손실은 피부 습윤도(skin wettedness)를 통해 결정된다. 최대 증발 포텐셜은(E_{max})은 피부 표면이 완전히 젖었을 때 즉, $w = 1.0$ 일 때 발생한다. 피부로부터 증발열 손실은 체온조절 발한(E_{rsw}) 및 피부를 통한 수증기의 자연적인 확산(E_{diff})의 합이다.

$$E_{sk} = E_{rsw} + E_{diff} \quad (A.25)$$

체온조절 발한에 의한 증발열 손실은 직접적으로 체온조절을 위해 발생하는 발한의 양에 비례한다.

$$E_{rsw} = m_{rsw} \times h_{fg} \quad (A.26)$$

여기서,

h_{fg} : 물의 증발열 [kJ/kg]

m_{rsw} : 발한량 [$kg/(s \cdot m^2)$]

체온조절 발한을 증발시키기 위한 신체의 피부 습윤 비율은 다음과 같이 정의된다.

$$w = \frac{E_{rsw}}{E_{\max}} \quad (A.27)$$

체온조절 발한이 없는 경우, 확산을 통한 피부 습윤도는 보통의 조건하에서 약 0.06이지만, $E_{\max}$ 가 상당히 큰 값이거나 또는 저습에 상당히 오래 노출된 경우, 피부 습윤도는 거의 0.02까지 떨어진다. 체온조절 발한이 있는 경우, 피부가 땀으로 완전히 젖지 않은 상태($1 - w_{rsw}$)에 0.06의 값을 적용하며, 확산을 통한 증발열 손실은 식 (A.27)로 구할 수 있다.

$$E_{diff} = (1 - w_{rsw}) \times 0.06 \times E_{\max} \quad (\text{A.28})$$

최대 증발 포텐셜($E_{\max}$) 및 발한(E_{rsw})을 고려하면 피부 습윤도는 다음과 같다.

$$w = w_{rsw} + 0.06(1 - w_{rsw}) = 0.06 + 0.94 \times \frac{E_{rsw}}{E_{\max}} \quad (\text{A.29})$$

피부 습윤도가 결정되면, 피부로부터의 증발열 손실은 식 (A.24)로 계산되거나 또는 다음 식 (A.30)으로 구할 수 있다.

$$E_{sk} = w \times E_{\max} \quad (\text{A.30})$$

식 (A.24)에서 알 수 있듯이 신체로부터의 증발열 손실은 피부 습윤도에 의존하지만, 식 (A.26)과 같이 결국 발한량을 조절하여 열손실을 조절한다. 피부 습윤도는 상한 값(=1.0) 이상의 값은 유효하지 않다.

6. 호흡을 통한 열손실⁵⁴⁾

호흡하는 동안 인체는 증발 및 대류에 의한 현열과 잠열을 잃는다. 상당한 양의 열이 호흡과 관련이 있는데, 공기는 주위 환경 조건에서 흡입되어 신체의 심부온도(t_{cr})보다 다소 낮은 온도에서 거의 포화된 상태로 배출되기 때문이다. 호흡과 관련된 현열(C_{res}) 및 잠열(E_{res}) 손실은 다음과 같다.

$$C_{res} = \frac{\dot{m}_{res} \times c_{pa} \times (t_{ex} - t_a)}{A_D} \quad (A.31)$$

$$E_{res} = \frac{\dot{m}_{res} \times h_{fg} \times (W_{ex} - W_a)}{A_D} \quad (A.32)$$

$$C_{res} + E_{res} = [0.0014 \times M \times (34 - t_a) + 0.0173 \times M \times (5.87 - P_a)] \times A_D \quad (A.33)$$

여기서,

$\dot{m}_{res}$: 폐환기량 [kg/s]

W_{ex} : 배출되는 공기의 절대습도 [kg/kg']

W_a : 흡입되는 공기의 절대습도 [kg/kg']

t_{ex} : 배출되는 공기의 온도 [$^{\circ}C$]

t_a : 흡입되는 공기의 온도 [$^{\circ}C$]

c_{pa} : 공기의 정압비열 [$kJ/(kg \cdot K)$]

h_{fg} : 물의 증발열 [kJ/kg]

M : 활동량 [W/m^2]

Fanger는 폐환기량 및 호흡공기의 상태를 추측하기 위해 아래의 식을 제시하였다.

$$\dot{m}_{res} = K_{res} \times M \quad (A.34)$$

$$t_{ex} = 32.6 + 0.66 \times t_a + 32 \times W_a \quad (A.35)$$

$$W_{ex} - W_a = 0.0277 + 0.000065 \times t_a - 0.80 \times W_a \quad (A.36)$$

여기서,

K_{res} : 비례상수 [$0.00516(kg \cdot m^2)/kJ$ or $0.30kg/(h \cdot met)$]

7. 체열량⁵⁴⁾

평균피부온도와 심부온도를 알면 평균체온을 산출할 수 있는데, 그 일 반식은 다음과 같다.

$$T_b = fT_c + (1-f)T_s \quad (\text{A.37})$$

단, f 는 core와 shell의 상대적 중요성을 나타내는 coefficient로서 그 값은 환경온도(더 정확히는 thermal load)에 따라 달라진다. 실온에서는 f 가 약 0.67이므로 평균체온은 다음과 같이 산출된다.

$$T_b = 0.67T_c + 0.33T_s \quad (\text{A.38})$$

인체가 어떤 환경에 노출될 때 평균체온이 얼마나 변했는지를 알면 체 열량(body heat content)의 변화를 산출할 수 있다. 체열량(S)은 체내 총 열함량이므로 체온, 체중 및 인체조직의 비열(specific heat)에 의해 결정 된다. 즉,

$$S[kJ] = T_b[^\circ\text{C}] \times 3.47[kJ/(kg \cdot ^\circ\text{C})] \times bodyw_t[kg] \quad (\text{A.39})$$

단, 3.47은 인체조직의 평균 비열(specific heat capacity)로서 인체조직 1kg의 온도를 1℃ 올리는데 3.47kJ의 열량이 쓰인다는 의미이다.



8. 주관설문지

(1) 승용차 실내 냉방 시 주관설문지

년 월 일 설문 시각 :

성명 :

1. 실온에 대하여 평가하여 주십시오.

	춥다	서늘하다	약간 서늘하다	중립	약간 따뜻하다	따뜻하다	덥다
온열감	-3	-2	-1	0	1	2	3
	대단히 불쾌하다	불쾌하다	약간 불쾌하다	중립	약간 쾌적하다	쾌적하다	대단히 쾌적하다
쾌적감	-3	-2	-1	0	1	2	3
	대단히 습하다	습하다	약간 습하다	중립	약간 건조하다	건조하다	대단히 건조하다
건습감	-3	-2	-1	0	1	2	3
	느끼지 않는다	약간 느낀다	느낀다	많이 느낀다			
피로도	0	1	2	3			

2. 신체 각 부위의 온열감에 대하여 평가하여 주십시오.

	춥다	서늘하다	약간 서늘하다	중립	약간 따뜻하다	따뜻하다	덥다
이마							
어깨							
복부							
등							
허리							
가슴							
팔							
손							
대퇴부							
하퇴부							
발							
	-3	-2	-1	0	1	2	3

(2) 승용차 실내 난방 시 주관설문지

년 월 일 성명 : 실험 Case :

첫번째 실험시작 전 설문

1. 실온에 대하여 평가하여 주십시오.

	춥다	서늘하다	약간 서늘하다	중립	약간 따뜻하다	따뜻하다	덥다
온열감							
	-3	-2	-1	0	1	2	3
	대단히 불쾌하다	불쾌하다	약간 불쾌하다	중립	약간 쾌적하다	쾌적하다	대단히 쾌적하다
쾌적감							
	-3	-2	-1	0	1	2	3

2. 춥다면 가장 추운 부위는? ()

3. 기타 피험자 대상 불편사항은?

실험 시작 분후

1. 실온에 대하여 평가하여 주십시오.

	춥다	서늘하다	약간 서늘하다	중립	약간 따뜻하다	따뜻하다	덥다
온열감							
	-3	-2	-1	0	1	2	3
	대단히 불쾌하다	불쾌하다	약간 불쾌하다	중립	약간 쾌적하다	쾌적하다	대단히 쾌적하다
쾌적감							
	-3	-2	-1	0	1	2	3

2. 춥다면 가장 추운 부위는? ()

3. 기타 피험자 대상 불편사항은?

(3) 승용차 실내 환기 시 주관설문지

년 월 일 설문 시각 :

성명 :

1. 실몬에 대하여 평가하여 주십시오.

	춥다	서늘하다	약간 서늘하다	중립	약간 따뜻하다	따뜻하다	덥다
온열감							
	-3	-2	-1	0	1	2	3

	대단히 불쾌하다	불쾌하다	약간 불쾌하다	중립	약간 쾌적하다	쾌적하다	대단히 쾌적하다
쾌적감							
	-3	-2	-1	0	1	2	3

	대단히 습하다	습하다	약간 습하다	중립	약간 건조하다	건조하다	대단히 건조하다
건습감							
	-3	-2	-1	0	1	2	3

2. 실험 중 졸음 및 각성에 대하여 평가하여 주십시오.

	느끼지 않는다	약간 느낀다	느낀다	많이 느낀다
피로도				
	0	1	2	3

	매우 졸음	약간 졸음	졸지 않았음
졸음 상태			
	0	1	2

3. 실험 중 바람을 쐬었을 때 각성상태 대하여 평가하여 주십시오.

	바로 깨었다	조금 깨었다	깨지 않았다	느끼지 못했다
각성 상태				
	0	1	2	3

참 고 문 헌

1. Fanger, P Ole., 1970, Thermal Comfort: Analysis and applications in environmental engineering. McGraw-Hill.
2. ISO 7730
3. ISO/DIS 14505
4. National Renewable Energy Laboratory(NREL)
5. 오상한, 이창원, 원성필, 1996, 자동차 열부하의 계산, 한국자동차공학회 논문집 제4권, 제2호, pp. 50-59.
6. 이대웅, 장길상, 오동훈, 조경석, 김용철, 2009, 자동차 실내 열부하 저감을 위한 태양에너지 응용기술 검토에 관한 연구, 한국자동차공학회 학술대회및전시회, pp. 542-547.
7. 이준민, 양희주, 서재욱, 김승환, 장길상, 이정훈, 손일국, 정윤섭, 안준철, 최준영, 2013, 차량 실내 열부하 시뮬레이션 및 실험 검증에 관한 연구, 한국자동차공학회 부문종합 학술대회, pp. 742-747.
8. 김윤기, 양장식, 백제현, 김경천, 지호성, 2010, 차량 내부 탑승자의 쾌적성 평가를 위한 초기 냉방운전 성능에 대한 수치해석적 연구, Transactions of KSAE, Vol. 18, No. 5, pp. 115-123.
9. 서진원, 박재홍, 최윤희, 2012, 인체모델을 고려한 자동차 실내의 에어컨

- 토출구 위치 변화에 따른 냉방성능 및 온열쾌적성 평가, Transactions of KSAE, Vol. 20, No. 5, pp. 120-129.
10. 박민수, 이경훈, 김희용, 2013, 생체신호인지기반 운전자 상태감지를 위한 시뮬레이터 개발에 관한 연구, 한국자동차공학회 부문종합 학술대회, pp. 1534-1538.
 11. 안대진, 임성현, 김영준, 2010, 근전도를 이용한 페달 조작시 인체 특성에 관한 연구, 한국자동차공학회 부문종합 학술대회, pp. 1537-1542.
 12. 김진용, 정창현, 우진명, 정민지, 박준현, 정도현, 2011, 생체신호를 이용한 고속도로 운전부하 분석, 한국자동차공학회 학술대회 및 전시회, pp. 2117-2123.
 13. 이원섭, 박장운, 김수진, 윤성혜, Xiaopeng Yang, 유희천, 이용태, 손준우, 김만호, 2009, 운전 생체 신호 및 운전 수행도 분석 system 개발, 대한인간공학회 학술대회논문집, pp. 253-256.
 14. 유성연, 김영신, 2013, 차량용 에어컨 압축기가 실차 연부에 미치는 영향에 관한 실험적 연구, 대한기계학회 논문집 B권, 37(1), pp. 59-65.
 15. Omer Kaynakli, Muhsin Kilic, 2005, An investigation of thermal comfort inside an automobile during the heating period, Applied Ergonomics 36, pp. 301-312.
 16. K. David Huang, Sheng-Chung Tzeng, Tzer-Ming Jeng, Wing-Ding Chiang, 2006, Air-conditioning system of an intelligent ve-

- hicle-cabin, *Applied Energy* 83, pp. 545-557.
17. Sepehr Sanaye, Masoud Dehghandokht, Amir Fartaj, 2012, Temperature control of a cabin in an automobile using thermal modeling and fuzzy controller, *Applied Energy* 97, pp. 860-868.
 18. Ali Alahmer, Mahmoud Abdelhamid, Mohammed Omar, 2012, Design for thermal sensation and comfort states in vehicles cabins, *Applied Thermal Engineering* 36, pp. 126-140.
 19. Mervyn V. M. Yeo, Xiaoping Li, Einar P. V. Wilder-Smith, 2007, Characteristic EEG differences between voluntary recumbent sleep onset in bed and involuntary sleep onset in a driving simulator, *Clinical Neurophysiology* 118, pp. 1315-1323.
 20. Hajime Oi, Koji Tabata, Yasuhito Naka, Akira Takeda, Yutaka Tochihara, 2012, Effects of heated seats in vehicles on thermal comfort during the initial warm-up period, *Applied Ergonomics* 43, pp. 360-367.
 21. Bluemembers, 2013, 자동차트랜드-자동차 동작원리, <http://bluemembers.hyundai.com/>
 22. B. Multerer and R. L. Burton, 1991, *Alternative Technologies for Automobile Air Conditioning*.
 23. Thom, E. C., 1959, The Discomfort Index, *Weatherwise*, Vol. 12,

- Issue 2, pp 57-61.
24. Winslow, C. E. A., Herrington, L. P. and Gagge, A. P., 1937, Physiological reaction of the human body to varying environmental temperatures. Amer. J. Physiol., 120 pp. 1-22.
 25. Houghten, F. C. and Yaglou, C. P., 1923, Determining lines of equal comfort. ASHVE Trans., 29, pp. 163-176 and 361-384.
 26. Koenigsberger O. H., Ingersoll, T. G., MAYHEW, A. and Solzokay, S. V., 1974, Manual of Tropical Housing and Building. Longman, London., 320 pp.
 27. Gagge, A. P., Fobelets, A. P., and Berglund, L. G., 1986, A standard predictive index of human response to the thermal environment, ASHRAE Transactions (2nd ed.). 92: 709-31.
 28. Fanger, P Ole., 1970, Thermal Comfort: Analysis and applications in environmental engineering. McGraw-Hill.
 29. ISO 7730, 1984, Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort, ISO.
 30. Kim, B., Min, Y. K., Min, B. C. and Kim, J. H., 2011, Effects of thermal environmental factors on behavioral responses of the selective attention mechanism, Journal of the Korean Data Analysis
-

- Society, 13(5B), pp. 2523-2533.
31. de Dear, R. J. and Brager, G., 1998, Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort, Final Report on ASHRAE RP-884, Sydney, MPRL.
 32. 김보성, 2013, 온열환경 쾌적감에 따른 쾌적환경 구분에 있어 물리적 환경요소들의 특성, 대한인간공학회 학술대회 논문집.
 33. Tanabe, S., 1998, Thermal Comfort Requirements in Japan, Ph.D. Thesis, Waseda University, Tokyo, Japan.
 34. LAXTHA Inc. <http://www.laxtha.com/SiteView.asp?x=7&y=32&z=33>
 35. Hardy, J. D and Dubois, E. F., 1938, The technic of measuring radiation and convection, J. Nutr., Vol. 15, pp. 461-475.
 36. Tanabe, S., E. Arens, F. Bauman, H. Zhang, and T. Madsen., 1994, Evaluating thermal environments by using a thermal manikin with controlled skin surface temperature. ASHRAE Transactions, Vol. 100, Pt. 1, pp. 39-48.
 37. ANSI/ASHRAE Standard 55
 38. Hiroyuki Ogino, Yayoi Nishida, Akio Tajima, Teruo Yamamoto, Katsumi Ishi, 1987, The effects of the temperature of the bed upon sleep(Part 2), The Eleventh Symposium on Man-Thermal Environment System, pp. 10-13.
-

39. Korea Transportation Safety Authority.
40. Park, D. U., Jin, K. W. and Yoo, K. N., 2006, Analysis on Non-malignant Respiratory and Drowsiness Rate Symptom for passengers Using Subway in Seoul, Korean Society of Environmental Health, Vol. 32, No. 5, pp. 412-417.
41. Chung, H. J., Kim, H. W. and Park, C. W., 2010, Analysis of Advanced Driver Assistance System Technology Trend, Korea Multimedia Society, Vol. 13, No. 2, pp. 661-664.
42. Han, C. H. and Sim, K. B., 2008, Development of Driver's Emotion and Attention Recognition System using Multi-modal Sensor Fusion Algorithm, Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 18, No. 6, pp. 754-761.
43. 10/20 System Positioning Manual, Trans Cranial Technologies.
44. 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.
45. Gagge. A.P., Burton. A.C., and Bazett. H.C., 1941, A Practical System of Units for the Description of the Heat Exchange of Man with his Environment, Science, pp.428-430.

46. Hanada K., Mihira K., and Kamisasa H., 1982, The effect of un-evenly distributed thermal stimuli on the sensation of warmth and coolness, *Applied Ergonomics* 13, pp. 49-53.
47. Kim, S. H. and Chang, H. J., 2000, History of Automotive Air Conditioning, *Magazine of the SAREK*, Vol. 29, No. 10, pp. 9-13.
48. Lee, S. H., 2003, Drowsy Driving and Traffic Accidents, *Int. Journal of Sleep Medicine and Psychophysiology*, Vol. 10, No. 2, pp. 84-87.
49. 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.
50. 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.
51. 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.

52. 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.
53. 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.
54. ASHRAE 2013
55. Jin, B. H., Bae, H. J., Song, S. O. and Kim, Y. O., 1999, Clinical Physiology, Daihak Publishing Company, pp. 24-33.
56. Gagge, A.P., 1937, A new physiological variable associated with sensible and insensible perspiration. American Journal of Physiology 20(2), pp. 277-287.
57. Ioan Sarbu and Calin Sebarchievici, 2013, Aspects of indoor environmental quality assessment in buildings, Energy and Buildings 60, pp. 410-419.
58. Dubois, D. F. and Dubois, E. F., 1916, A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. Archives of Internal Medicine, 17, pp. 863-871.
59. Tanabe, S., 1998, Thermal comfort requirements in Japan, Ph.D,

Waseda University.



감사의 글

어두운 긴 터널 안에서 한줄기 빛을 향해 한걸음 한걸음 발자국을 내딛
이며 그 터널을 빠져나와 따스한 빛을 온몸으로 받는 듯한 느낌이 이런
기분이 아닐까 생각합니다. 너무 오랜 시간 긴 터널 안에 제 스스로를 가
뒹두었던 것 같습니다. 다시 저 터널 안으로 제 자신을 가뒹둔다고 해도
후회하지는 않습니다. 왜냐면 제 스스로의 선택이었고, 제 스스로의 결정
이었으며, 제 스스로 이렇게 밝은 세상을 품에 안을 수 있기 때문입니다.
지금 이 논문을 끝내며 제 혼자가 아니었기에 함께해 주신 많은 분들에게
감사의 마음을 글자 하나하나에 담아 전해드립니다.

먼저, 저를 여기까지 이끌어주신 부경대학교 냉동공조공학과 교수님들
께 감사의 인사를 드립니다. 논문 심사에 끝까지 세심하게 검토하여 주시
고 따뜻한 말씀을 아끼지 않으신 김종수 교수님, 지도 교수님으로서 늘
함께 저를 가족처럼 돌봐주신 금종수 교수님, 멀리서나마 아낌없는 가르
침을 선사해 주신 최광환 교수님, 윤정인 교수님, 따끔한 지적과 따뜻한
마음으로 늘 저의 안부를 걱정하여 주신 정석권 교수님, 학생들을 위해
애써주시는 김은필 교수님, 손창효 교수님께 감사의 마음을 전합니다. 연
구실 선배이고 이 논문이 있기까지 많은 논문들에 대해 의견을 나누고 검
토해 주신 김동규 교수님께 더 없이 많은 감사의 인사를 드립니다. 논문

심사를 위해 먼 발걸음을 해 주신 박종일 교수님, 실험에 많은 도움을 주신 정용현 교수님께도 감사드립니다. 많은 교수님들의 가르침과 도움으로 인해 이 논문을 완성하게 되어 다시 한번 감사드립니다.

연구실 선배로서 항상 저에게 많은 조언과 미래를 준비할 수 있게 해주신 김종열 교수님, 김보철 선배님, 김종률 선배님, 김장수 선배님, 김형철 선배님, 김기엽 선배님, 정경환 선배님, 김좌진 선배님, 연구실 출신 모든 선배님들께도 감사의 인사를 드립니다. 그리고 강성구 선배님께도 감사드립니다. 멀리서 늘 응원을 아끼지 않고 안부를 걱정해주신 연구실 선배이자 친구 같은 신호준 선배님, 석사 동기 강석중님과 최형우님, 그리고 연구실 후배인 하병용님, 이제현님, 이지훈님, 정경태님, 양은성님께 감사드리며, 모든 연구실 후배님들께 감사의 인사를 드립니다. 늦게나마 만학도의 꿈을 키우시는 정은철 이사님께도 감사드리며, 현재 석사과정생 이주원님과 산업대학원생 분들에게도 감사드립니다. 그리고 연구실에 지원을 아끼지 않으시는 (주)지이엔지니어링 김회률 사장님과 GS건설 김창연 부장님께도 진심으로 감사의 마음을 전합니다. 그리고 신성엔지니어링 김진철 부장님께도 감사의 인사를 드립니다.

시간강사와 실험 조교를 하면서 저 때문에 많이 힘들어 했던 학부생 후배님들에게도 여기서나마 미안한 마음과 감사의 마음을 함께 전합니다. 그리고 학과를 위해 고생하시는 조교 선생님들께도 감사드립니다. 학부, 석사, 박사 동기인 전민주님에게도 감사드립니다. 실험에 많은 도움을 주

신 LAXTHA 공병철 팀장님께도 감사드리며, 실험에 참여해주신 많은 피험자 분들에게도 진심으로 감사의 인사를 드립니다.

저보다 먼저 박사학위를 받고 지금은 교수직으로 있는 사촌동생 김성아 양에게도 감사드리며, 모든 친척분들에게 감사의 마음을 전합니다.

제가 이 논문을 마무리하기 까지 정말 많은 분들의 도움과 응원이 있었습니다. 그 마음을 알기에 여기 몇 글자로 감사의 인사를 드린다는 게 죄송스러울 뿐입니다. 직접 찾아뵙고 다시 한번 감사의 인사를 드리겠습니다. 그리고 이제는 제가 보답할 차례인 것 같습니다. 진심으로 감사드립니다.

제가 이렇게 논문을 마무리 짓고 지금의 행복한 삶을 영위하기 까지 친형의 도움이 가장 컸습니다. 언제나 아낌없이 주었던 형님의 마음을 감사히 여기며 감사하다는 말보다 진심으로 보답하겠습니다. 그리고 제가 하고 싶은 일, 제가 하고 싶은 공부, 제가 하고 싶은 모든 것에 아낌없이 희생하신 아버지와 어머니께는 무엇으로 보답해 드려야할지 저의 마지막 숙제가 아닌가 싶습니다. 한없이 모자란 아들에게 한없이 채워만 주신 아버지와 어머니, “진심으로 감사드리고, 사랑합니다.”

2017년 7월 17일 무더운 한여름 밤에...

김 민 수