

# 운전 중 분노가 생체 신호에 미치는 영향 연구 및 분노 유도 기법 비교

최보규<sup>1)</sup> · 김동환<sup>2)</sup> · 양지현<sup>2)</sup>

국민대학교 자동차모빌리티대학원<sup>1)</sup> · 국민대학교 자동차공학과<sup>2)</sup>

## The Effect of Driver Anger on Physiological Signals and a Comparison of Anger Induction Methods

Bogyu Choi<sup>1)</sup> · Donghwan Kim<sup>2)</sup> · Ji Hyun Yang<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School of Automobile and Mobility, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

<sup>2)</sup>Department of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

(Received 24 June 2024 / Revised 18 July 2024 / Accepted 19 July 2024)

**Abstract :** This study aimed to induce anger in a vehicle simulator environment and understand the properties of physiological signals when anger is induced. To classify drivers' emotions, Russell's model, which categorizes emotions based on valence and arousal, was used. The experiment comprised data collected via a self-assessment manikin(SAM) survey and physiological data(i.e., ECG and EDA) from 39 participants aged 20 to 50. Emotion induction methods included film-watching, writing passages, interviews, and driving simulators selected from relevant literature and studies. Results validated the effectiveness of these methods through arousal indicators, with film-watching as the most effective for inducing anger. Also, significant differences in physiological indicators were observed when participants felt anger compared to neutral emotions. Hence, based on these findings, future research could contribute to improving traffic safety by developing a driver monitoring system that detects anger.

**Key words :** Emotion(감정), Driver emotions(운전자 감정), Driver anger(운전자 분노), Emotion induction(감정 유도), Driver monitoring system(운전자 모니터링 시스템), Physiological signals(생체 신호)

### 1. 서론

학문과 학파에 따라 감정에 대한 정의를 내리는 방식은 다양하지만, 감정은 일반적으로 합리적인 이성과 대립하는 개념으로, 비합리적이고 주관적인 경험으로 설명되어 왔다.<sup>1)</sup> 이러한 인식으로 인해 그동안 많은 연구에서 감정은 이성에 지배되어야 하는 것으로 여겨졌다.<sup>2)</sup> 하지만 최근 연구에서는 이성과 감정을 대립적인 시각으로 보는 것에서 탈피하여 이성과 감정이 상호보완적으로 인간의 인지, 사고, 판단에 영향을 주는 것으로 설명되기도 한다.<sup>3)</sup>

미국심리학회(American Psychological Association, APA)<sup>4)</sup>는 감정을 주관적으로 경험하는 의식적인 정신 반응으로 정의하며, 감정의 변화가 신체의 생리적 변화와 행동

의 변화를 동반한다고 설명한다. Damasio<sup>5)</sup>는 정서적 판단을 수행하는 전두엽 손상을 입은 환자의 연구를 통해 감정이 의사결정과 행동에 영향을 주는 요인임을 밝혔으며, Somatic marker 가설을 통해 개인이 의사결정을 수행하는 데 이성적인 판단보다 경험에서 비롯된 감정이(Somatic marker) 우선함을 주장하였다.

이처럼 감정 상태가 이성 판단에 앞서거나 실제 행동에 영향을 줄 수 있음이 확인되면서, 감정 상태의 제어나 대응을 통한 인지, 사고, 판단 수준의 향상에 대한 연구 필요성이 확대되고 있다. 이는 특히 인적 요인에 의한 사고가 많은 운전 상황에서 중요한 문제로 대두되고 있다.

운전 상황에서 인간은 다른 차량 운전자, 외부 도로 이용자, 주행 상황 및 환경에 의해 다양한 감정을 경험하게

\*Corresponding author, E-mail: yangjh@kookmin.ac.kr

<sup>†</sup>This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

된다. 이러한 감정 변화는 주행 능력을 감소시키거나 과속 등으로 인한 문제를 유발하여 도로 및 사회의 안전을 위협할 수 있다.<sup>6)</sup> 실제로 CBS News에 따르면 2019년 미국 전역에서 월평균 22명이 감정적인 선택으로 발생한 차량 사건 및 사고로 사망하거나 상해를 입었으며, 이 수치는 2020년 월 34명, 2021년 월 44명으로 증가하는 추세를 보였다.<sup>7)</sup> 이러한 감정의 특징으로부터, 운전자의 감정을 인식하고, 감정에 따른 적절한 대응을 제공하는 운전자 모니터링 기술의 개발이 요구됨을 확인할 수 있다.

본 연구는 운전 중 발생할 수 있는 감정 변화를 생체 신호의 변화하는 특성을 기반으로 감지하고 이해하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 운전자가 분노를 경험할 때 나타나는 생체 신호의 특성을 분석하여 감정 변화를 식별할 수 있는 근거를 찾는 것에 중점을 둔다. 연구의 결과는 운전 환경에서 발생할 수 있는 감정을 효과적으로 유도하고 인식하는 방법을 개발하여, 운전자의 감정 상태에 따른 적절한 대응을 가능하게 함으로써 도로 안전을 향상시킬 것으로 예상된다. 또한, 감정 인식 기술의 발전에 기여하며, 분노로 인한 사고 위험 감소에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

## 2. 문헌 연구

Steinhauser 등<sup>8)</sup>은 분노, 행복 감정이 운전 행동에 미치는 영향을 연구하였다. 운전자의 감정 유도를 위해 자기 회상과 정서적 음악을 결합한 방식을 사용하였다. 실험 참가자는 분노, 행복과 관련된 과거의 사건을 회상하고 제공되는 음악을 감상하며 여러 운전 작업을 수행하였다. 연구 결과, 분노 감정이 유도된 참가자는 주행의 평균 속도가 유의하게 빨랐으며, 선두 차량과의 간격을 짧게 유지하는 경향이 나타났다.

Zhang 등<sup>9)</sup>은 분노, 행복, 중립 감정이 차량 추종 작업에서 운전자의 운전 능력에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 실험 감정을 참가자에게 유도하기 위해서 각각의 감정을 유발할 수 있는 글을 읽도록 지시하였고, 실험 참가자에게 스스로를 글 속 주인공으로 인식할 것을 요청하였다. 행복한 감정 유도에는 한 젊은이의 행복한 하루를 묘사한 선행 연구의 글을 사용하였으며, 분노 감정을 유도하는 글 또한 선행 연구에서 사용된 글을 사용하였다. 실험 참가자는 감정 유도 절차를 경험한 후, 시뮬레이터에 탑승하여 전방 차량을 따라가는 운전 작업을 수행하였다. 연구 결과, 분노 감정 상태의 실험 참가자가 중립 상태의 참가자 대비 주변의 시각적 목표를 감지하는데 소요된 반응시간이 길게 나타났으며, 제동 조작에 더 긴 시간을 소비하였음을 확인하였다.

또한 후속 연구를 통해 Zhang 등<sup>10)</sup>은 운전자의 분노 감정이 보행자 회피 능력에 미치는 영향을 연구하였다. 실험 참가자에게 감정을 유도하기 위해 실험 참가자의 국가에서 제작한 1분 내외의 영상을 시청하도록 하였다. 또한 실험 참가자에게 감정이 적절히 유도되었는지 확인하기 위하여 Self-assessment manikin(SAM) 설문 방식으로 감정의 유인성과 각성도를 평가하였다. SAM 설문은 감정 상태를 측정하기 위해 그림을 사용하는 간단한 감정 측정 방법으로, 실험 참가자가 스스로의 감정 상태를 평가할 수 있다.<sup>11)</sup> 감정 유도 과정을 거친 후, 실험 참가자는 시뮬레이터를 이용하여 보행자 회피 상황을 주행하였다. 주행의 결과, 운전자의 감정 상태에 따른 보행자 충돌 회피 능력에는 유의미한 차이가 보고되었다. 분노한 운전자는 보행자 충돌 회피 시 상대적으로 위험도가 높은 방식인 낮은 감속 수준과 보행자 앞으로 지나가는 행태를 보였다. 반면, 행복, 중립 상태의 운전자는 보행자 회피 시 더 낮은 주행 속도 뿐만 아니라 더 먼 거리에서 충돌을 회피하는 양상을 보였다.

FakhrHosseini와 Jeon<sup>12)</sup>은 분노 감정이 운전자 행동에 미치는 영향을 연구하기 위하여 실험 참가자를 음악을 들으며 운전하는 분노 운전자, 음악 없이 운전하는 분노 운전자, 음악 없이 운전하는 중립 감정의 운전자 그룹으로 분류하여 실험을 진행했다. 감정 유도를 위해서는 개인적인 분노 경험을 작성하도록 하였다. 실험 참가자는 자신이 속한 그룹의 조건에 따라 설정된 시뮬레이터 환경에서 운전을 수행하였다. 심박수를 분석한 결과 음악 없이 운전한 분노 감정 그룹의 참가자 심박수가 높은 반면, 음악이 제공된 분노 감정 그룹과 음악이 제공되지 않은 중립 감정 그룹의 경우, 심박수가 높아지는 경향이 보이지 않았다. 운전 능력 또한 그룹 간의 유의미한 차이가 있었다. 음악을 듣지 않은 분노 운전자가 과속 등의 가장 낮은 운전 능력을 보였으며, 음악이 있는 분노 그룹과 음악이 없는 중립 감정의 그룹이 그 뒤를 이었다. 연구는 분노 감정이 운전자의 생체 데이터에 변화를 준다는 것과 그로 인해 운전 능력에 부정적 영향을 줄 수 있음을 확인하고, 음악을 통해 그러한 영향을 상쇄할 수 있다는 가능성을 시사하였다.

Leng 등<sup>13)</sup>은 운전 중 운전자가 느끼는 감정에 따른 생체 데이터를 취득하는 연구를 진행하였다. 연구에서 채택한 운전 중의 감정은 공포와 즐거움으로 감정을 유도하기 위해 영상시청의 기법을 채택하였다. 영상시청은 공포영화와 코믹 TV 쇼를 편집한 영상 클립을 통해 이루어졌으며, 편안한 자세에서 영상을 시청하도록 하였다. 감정 유도 시에는 실험 참가자의 심박수, 피부전기전도도, 피부온도, 호흡수, 스티어링 휠을 쥐는 힘 등의 생체

데이터를 취득하였다. 연구 결과 취득한 대부분의 생체 데이터에서 감정에 따른 유의한 차이를 확인할 수 있었다. 즐거운 감정일 때 심박수 표준 편차는 분노 감정의 심박수 표준편차보다 크게 나타났고 ( $\alpha=0.1$ ,  $F=3.269$ ,  $P=0.089$ ), 피부전기전도도 평균은 유의미하게 낮은 것으로 확인되었다 ( $\alpha=0.1$ ,  $F=3.084$ ,  $P=0.098$ ). 연구는 이러한 결과를 통해 운전자의 감정 인식을 위해 생체 데이터 취득이 가능한 센서를 활용할 것을 제안하였다.

### 3. 연구 방법

#### 3.1 연구 질문

문헌 연구를 통해 본 연구는 두 가지 연구 질문을 설정하였다. 첫째, 감정 유도 기법을 사용하여 운전자에게 실험 감정을 유도하여, 감정 변화에 따라 차이가 발생하는 생체 데이터와 그 차이를 확인한다. 둘째, 사용한 감정 유도 기법 중, 가장 효과적인 방법을 확인한다. 이러한 연구 목표를 검토하기 위한 연구 질문은 다음과 같다.

- 1) Research Question 1(RQ 1): 운전자의 감정 변화에 따른 생체 데이터 비교.
- 2) Research Question 2(RQ 2): 감정 유도 기법의 유도 효과 비교.

#### 3.2 독립 변수

독립 변수는 실험에서 유도할 감정과 그 감정을 유도하기 위한 감정 유도 기법이다.

##### 3.2.1 실험 감정

본 연구에서 실험 참가자인 운전자에게 유도하는 감정은 분노, 중립 감정이다. 실험 감정의 정의를 위하여 본 연구에서는 인간의 감정을 유인성(Valence)와 각성도(Arousal)의 2차원 모델로 분류한 Russell의 감정 모델을

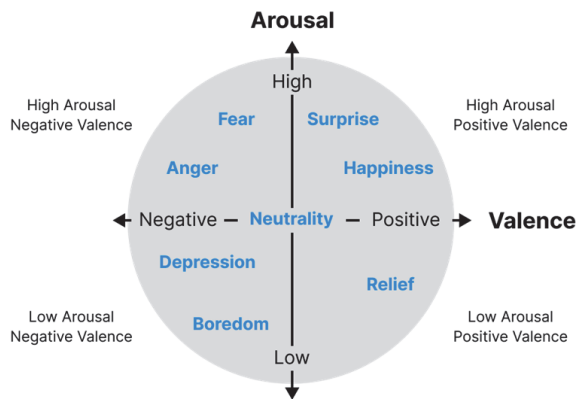


Fig. 1 Russell's circumplex model

채택하였다.<sup>14)</sup> 이 모델에서 가로축은 유인성으로 감정의 긍정/부정 상태를 나타내며, 세로축은 감정의 활성화 정도인 각성도를 나타낸다. Russell의 감정 분류에 따르면 분노 감정은 낮은 유인성과 높은 각성도를 가지며, 중립 감정은 긍정적이기도 부정적이기도 않은 상태로 2차원 모델에서 (0,0) 지점에 위치한다(Fig. 1).

#### 3.2.2 감정 유도 기법

실험 참가자에게 실험 감정을 유도하기 위하여 문헌 검토를 통해 총 네 가지의 감정 유도 기법을 선정하였다.

##### 1) 영상시청

영상시청은 특정 감정에 기반한 영상의 시청을 통해 감정을 이입하도록 하는 방법이다. 영상시청은 특히 분노 감정을 유도하는 데 효과적인 것으로 알려져, 많은 연구에서 채택되고 있다.<sup>15)</sup> 본 연구에서는 5분간의 영상시청을 통해 감정을 유도한 Nass 등<sup>16)</sup>의 연구 방법을 근거로 각각 5분 분량의 중립, 분노 감정 유도 영상 2건을 설계하였다. 중립 감정 유도를 위해서는 자연 다큐멘터리를 선정하였으며, 분노 감정 영상으로는 사회적으로 이슈가 되었던 서비스 업종 종사자 폭행을 다룬 뉴스 영상을 선정하였다.

##### 2) 자기경험기술

자기경험기술은 과거의 경험이나 사실에 대한 자전적 에세이 작성을 통해 감정을 유도하는 기법이다.<sup>17)</sup> 본 연구에서는 감정에 따른 생체 신호의 특성을 연구한 선행 논문의 방법에 근거하여 최대 12분간 자기경험기술을 통해 실험 참가자의 감정을 유도하였다.<sup>18)</sup> 실험 참가자는 영상시청이 종료된 후, 차량 시뮬레이터 탑승 상태에서 캐빈 내에 비치된 노트북을 이용하여 영상의 내용과 관련된 자신의 경험 등에 대해 작성하였다.

##### 3) 자기회상

자기회상은 과거의 경험이나 사실에 대하여 직접 구두로 설명하는 감정 유도 기법이다.<sup>19)</sup> 본 연구에서는 실험 참가자에게 과거 및 최근의 감정 경험을 인터뷰하여 감정을 유도한 Burns 등<sup>20)</sup>의 연구 방법을 활용해 최대 5분간 자기회상 과정을 진행하였다. 실험 참가자는 영상 시청 단계에서 시청한 영상 또는 자기경험기술에서 작성한 에세이를 기반으로 자유롭게 자신의 경험과 감정을 발화하였다. 발화에 어려움이 있는 경우를 대비하여, 자기경험기술에서 작성한 에세이를 노트북 화면에 제공하여 따라 읽을 수 있도록 하였다. 만약 실험 참가자가 5분 이내에 자기회상을 마치고, 종료를 요청할 경우 즉시 종료하였다.

4) 시뮬레이터 주행

시뮬레이터 주행은 특정 감정을 유도할 수 있도록 도로 환경을 설계하여 주행 환경에서 감정을 유도하는 기법이다.<sup>21)</sup> 본 연구에서는 감정에 따라 날씨, 교통량, 평균 속도, 배경음을 다르게 설정하였다(Fig. 2, Fig. 3).<sup>18)</sup> 주행은 경부고속도로 오산 IC 인근을 구현한 시나리오로, 2차선을 5분간 주행하는 것으로 실시되었다.<sup>18)</sup> 이때 차량은 자율주행 모드로 실험 참가자는 차량 조작의 의무가 없었다. 차량 시뮬레이터 주행은 장비에 대한 호기심에 의한 영향을 최소화하기 위하여 연습 주행 단계에서 중립 시나리오와 유사한 설계의 시나리오를 주행하도록 하였다.

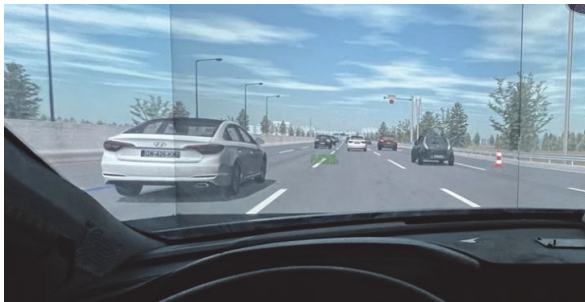


Fig. 2 Neutral scenario(Traffic: low(LOS C), Average speed: 80 km/h, Weather: sunny, Background sound: none)



Fig. 3 Angry scenario(Traffic: heavy(LOS F), Average speed: 8-12 km/h, Weather: cloudy, Background sound: repeated horns)

감정 유도를 위한 네 가지 방법은 영상시청, 자기경험 기술, 자기회상, 시뮬레이터 주행의 순서로 진행되었다. 본 순서는 영상시청을 통해 감정을 유도하고, 자기경험 기술의 과정에서 유도된 감정에 몰입할 수 있도록 한다. 또한 자기회상을 거치면서 몰입의 심화와 주행 시나리오를 통해 유도된 감정이 계속해서 유지될 수 있도록 하는 순서로 설계하였다.

3.3 종속 변수

종속 변수는 운전자 설문 응답과 생체 데이터로 상해한 내용은 다음과 같다(Table 1).

3.3.1 감정의 유인성 및 각성도

감정 유도 기법을 통해 실험 참가자에게 실험 감정이 적절하게 유도되었는지 확인하고, 감정 유도 기법 간의 유도 효과를 비교하기 위하여 감정의 유인성과 각성도 데이터를 취득하였다. 유인성과 각성도 데이터 취득에는 SAM 설문을 사용하였다. SAM 문항은 유인성과 각성도를 9점 척도로 설계하여, 실험 참가자가 감정 상태를 스스로 평가하도록 하였다.

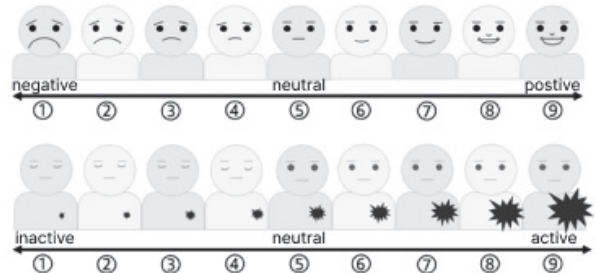


Fig. 4 Self-assessment manikin(SAM) questionnaires

3.3.2 Electrocardiogram(ECG)

ECG는 심장의 수축과 이완 과정에서 발생하는 심장의 전기적 활동을 기록한 생체 신호이다. 부정적 감정은 심박수 증가 등의 ECG 변화를 유발하여, 변화를 통해 감정의 변화를 유추할 수 있다.<sup>22)</sup> 본 연구에서는 취득한

Table 1 Dependent Variables(DV)

Data type	Dependent variables	Unit	Description
Physiological	ECG R-Peak	mV	Maximum value of ECG R wave
	ECG R-R	ms	Time interval between ECG R-Peak
	Heart rate	BPM	Heart rate per minute
	EDA	μS	The electrical conductivity changed due to sweat on the skin surface
Survey(SAM)	Valence	Point	The degree of positive or negative emotion
	Arousal	Point	The degree of emotional activation



ECG 데이터를 전처리를 거쳐 ECG R- peak, ECG R-R, Heart rate(심박수)로 변환하여 분석하였다.

### 3.3.3 Electrodermal Activity(EDA)

EDA는 피부의 전기적 특성이 지속적으로 변화하는 인체의 특성을 기록한 신호로, 교감신경계의 활성 상태를 확인할 수 있는 데이터다.<sup>23)</sup> 특히 스트레스, 각성, 감정 등의 심리적 상태를 평가하는 데 활용된다.<sup>24)</sup> 이러한 특성을 토대로 감정 변화에 따른 EDA 데이터의 변화를 확인하였다.

## 3.4 실험 장비

### 3.4.1 차량 시뮬레이터

국민대학교의 Full Scale Driving Simulator인 KMU-DS를 사용하여 실험을 진행하였다. KMU-DS는 2016년식 Hyundai LF Sonata를 기반으로 하여 SCANeR Studio 2022.1 소프트웨어를 통해 운영된다. 차량 전방에 위치한 3채널 프로젝터와 스크린을 통해 주행 영상을 운전자에게 송출하였다. 또한 캐빈 내의 5.1 채널 스피커를 통해 실제 주행과 같은 청각 환경을 제공하였다.

### 3.4.2 데이터 취득 장비

분노 감정 유도에 따른 실험 참가자의 생체 신호(ECG, EDA)의 취득을 위해 BIOPAC사의 MP160 장비를 사용하였다. 해당 장비는 실험 참가자의 몸통과 손가락에 센서를 부착하여 생체 신호를 취득할 수 있다. 한편, 감정 유도 기법의 구현과 SAM 설문 응답을 위해서 차량 시뮬레이터 캐빈 내에 노트북을 비치하였다.

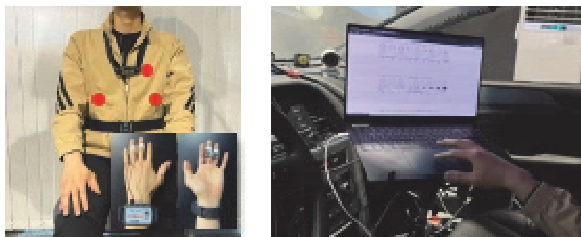


Fig. 5 Test apparatus(left: BIOPAC sensor, right: laptop)

## 3.5 실험 절차

실험은 실험 준비, 감정 유도 및 평가, 감정 중화의 순서로 진행된다. 실험 준비 단계에서 실험 참가자는 생체 신호 취득을 위한 센서를 부착하고, 차량 시뮬레이터의 주행 연습을 통해 실험 환경에 익숙해지도록 하였다. 다음으로는 중립 감정의 유도 및 평가를 진행하였다. 먼저

SAM 설문을 수행하여 평소의 감정 상태를 기록하고, 중립 감정의 유도를 위한 영상시청, 자기경험기술, 자기회상, 시뮬레이터 주행을 순차적으로 경험했다. 이때 전체 구간에서 생체데이터를 취득하였으며, 각 감정 유도 기법이 종료되는 시점에 SAM 설문을 수행하여 기법 사용에 따른 유인성과 각성도 점수를 기록하였다. 중립 감정 유도 및 평가 종료 후에는 동일한 절차로 분노 감정을 유도하고 평가하였다. 모든 실험이 종료된 후에는 실험 참가자에게 유도된 부정적인 감정의 해소를 위한 감정 중화 과정을 수행하였다. 감정 중화에는 즐거운 감정을 유도할 수 있는 내용의 영상을 제공하였다.

## 3.6 실험 참가자

실험 참가자는 1년 이상의 운전 경력이 있는 20대부터 50대까지의 남녀 39명이다. 평균 연령은 39.2세(표준편차: 11.2세)이다. 실험은 2023.01.19부터 2023.02.17까지 총 30일간 진행되었으며, 실험 참가자는 총 1일에 걸쳐 2시간 동안 본 실험에 참여하였다. 본 연구는 국민대학교 생명윤리위원회(IRB)의 사전 승인을 받아 생명윤리위원회의 규정을 준수하여 진행되었다(KMU-202210-HR-337).

## 4. 실험 결과

39명의 실험 참가자가 네 가지 감정 유도 기법을 사용하여 중립과 분노 두 가지 감정을 경험한 결과, 총 4종의 생체 데이터와 2종의 설문 데이터가 취득되었다. 취득된 데이터는 감정 유도 기법 전체, 영상시청, 자기경험기술, 자기회상, 시뮬레이터 주행으로 그 구간을 분류하여 분석을 진행하였다. 분석은 MATLAB R2021b와 SPSS 26 SW를 사용하였다. 통계 분석 방법은 분노 감정의 데이터와 중립 감정의 데이터 비교를 위해 Paired T-test, 유의수준은 0.05로 설정하였다. 생체 데이터는 분석 구간 동안 취득된 데이터의 평균값을 대푯값으로 선정하여 데이터를 분석하였다.

### 4.1 감정 유도 적절성 검증

먼저 감정 유도 기법을 통해 실험 참가자에게 실험 감정이 적절히 유도되었는지 검증하였다. 이를 위해 실험 참가자가 자신의 감정 상태를 평가한 SAM 설문의 결과를 활용하였다. 감정 유도 기법 후 4회에 걸쳐 취득한 설문 데이터의 유인성 점수 분석 결과, 유인성 점수 평균은 중립 감정 시 6.72점, 분노 감정 시 3.08점으로 나타나 중립 감정의 유인성 점수가 높았음을 확인하였다( $t(155)=20.392, p<0.001$ ). 각성도 점수의 평균은 중립 감정 시 6.55점, 분노 감정 시 6.76점으로 각성도 점수는 중립과 분노 감정간 유의미한 차이가 나타나지 않았다( $t(155)=-1.216, p=0.226$ ).

#### 4.2 감정 변화에 따른 생체 데이터 변화 비교(RQ 1)

감정 유도 기법 사용 중에 취득한 생체 데이터를 분석하여, 중립 감정 시와 분노 감정 시에 유의미한 차이가 있는 데이터의 종류와 그 특징을 확인하였다. 통계 분석 방법으로는 Paired t-test를 사용하여 감정 유도 기법 사용 구간별 중립, 분노 감정 생체 데이터를 비교하였다.

##### 4.2.1 영상시청

###### 1) ECG R-peak

영상시청 구간에서의 ECG R-peak(평균)은 유도한감정에 따른 유의한 차이가 있었다( $t(38)=2.673$ ,  $p=0.011$ ). ECG R-peak의 평균은 중립 감정일 때 0.77 mV, 분노 감정일 때 0.74 mV로 중립 감정에서의 ECG R-peak가 높았다.

###### 2) ECG R-R

영상시청 구간에서의 ECG R-R(평균)은 감정에 따른 변화가 있는 것으로 확인되었다( $t(38)=-5.068$ ,  $p<0.001$ ). ECG R-R 평균은 분노 감정일 때 791.48 ms로 중립 감정 시의 평균인 761.24 ms 보다 높게 나타났다.

###### 3) 심박수

분석 결과 영상시청 구간에서의 심박수(평균)은 중립과 분노 감정 간의 유의한 차이가 있었다( $t(38)=5.172$ ,  $p<0.001$ ). 중립 감정 시 심박수 평균 80.20 BPM, 분노 감정일 때의 심박수 평균 77.10 BPM으로 중립 감정에서 심박수 평균이 높은 것으로 분석되었다.

###### 4) EDA

EDA(평균)은 중립과 분노 감정 간 유의한 차이가 있었다( $t(38)=3.684$ ,  $p=0.001$ ). 중립 감정일 때의 EDA 평균은 7.27  $\mu$ S, 분노 감정일 때의 평균은 8.59  $\mu$ S로, 분노 감정 시의 EDA 평균이 높았다.

##### 4.2.2 자기경험기술

###### 1) ECG R-peak

자기경험기술 기법을 사용하여 중립, 분노 감정을 유도하였을 때, 감정에 따른 ECG R-peak(평균) 데이터의 차이는 없었다( $t(38)=1.268$ ,  $p=0.212$ ). 중립 감정일 때의 ECG R-peak의 평균은 0.70 mV, 분노 감정일 때의 평균은 0.69 mV로 나타났다.

###### 2) ECG R-R

ECG R-R(평균)은 중립과 분노 감정 간 유의한 차이가 나타나지 않았다( $t(38)=-1.365$ ,  $p=0.180$ ). ECG R-R 지표

분석 결과, 중립 감정일 때의 평균은 693.04 ms, 분노 감정일 때의 평균은 700.18 ms로 기록되었다.

###### 3) 심박수

분석 결과 자기경험기술 기법의 사용을 통한 중립, 분노 감정 유도 시 심박수(평균)은 중립과 분노 감정 간 차이가 없었다( $t(38)=1.964$ ,  $p=0.057$ ). 중립 감정일 때의 심박수 평균은 89.41 BPM, 분노 감정일 때의 심박수 평균은 88.11 BPM으로 나타났다.

###### 4) EDA

자기경험기술 기법으로 감정 유도 시, EDA(평균)는 중립과 분노 감정 간 유의한 차이가 나타나지 않았다( $t(38)=1.597$ ,  $p=0.119$ ). EDA(평균) 지표의 기술통계 분석 결과는 중립 감정일 때 평균 10.10  $\mu$ S, 분노 감정일 때의 평균은 9.67  $\mu$ S이다.

##### 4.2.3 자기회상

###### 1) ECG R-peak

자기회상 기법으로 분노와 중립 감정 유도 시 취득한 ECG R-peak(평균) 지표 분석 결과 중립 감정일 때의 평균은 0.76 mV, 분노 감정일 때의 평균은 0.74 mV로 감정에 따른 유의한 차이가 없었다( $t(38)=1.269$ ,  $p=0.212$ ).

###### 2) ECG R-R

ECG R-R(평균)은 중립과 분노 감정 간 유의한 차이가 나타나지 않았다( $t(38)=-1.313$ ,  $p=0.197$ ). 자기회상 기법 경험 중의 ECG R-R(평균)은 중립 감정 유도 시 725.26 ms, 분노 감정 유도 시 732.06 ms로 기록되었다.

###### 3) 심박수

심박수(평균) 지표 분석 결과 중립 감정일 때의 평균은 84.07 BPM, 분노 감정일 때의 평균은 83.15 BPM으로 나타났다. 통계 분석 결과 또한, 심박수(평균)은 중립과 분노 감정 간 유의한 차이가 없는 것으로 확인되었다( $t(38)=1.584$ ,  $p=0.121$ ).

###### 4) EDA

EDA(평균)은 자기회상 기법으로 유도한 중립과 분노 감정 간 차이가 있었다( $t(38)=2.708$ ,  $p=0.010$ ). 기술통계 분석 결과 중립 감정일 때의 평균은 10.00  $\mu$ S, 분노 감정일 때의 평균은 9.16  $\mu$ S로 분노 감정 유도 시의 EDA 평균값이 낮은 수치를 보였다.

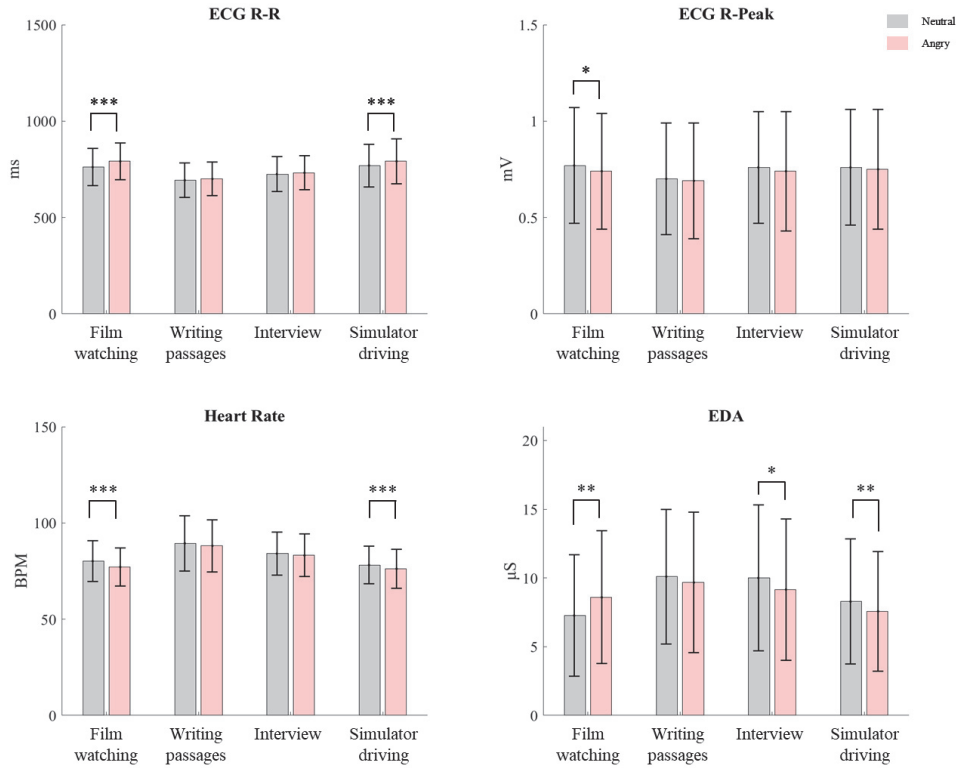


Fig. 6 Mean of physiological data in each emotion induction method (\*:  $p < 0.050$ , \*\*:  $p < 0.010$ , \*\*\*:  $p < 0.001$ ) (n=39)

Table 2 Result of inference statistics of physiological data between neutral and angry emotion in each induction method (statistically significant\*)

Data type	Dependent variables	Induction method			
		Film watching	Writing passages	Interview	Simulator driving
Physiological	ECG R-peak (mV)	t(38)=2.673 <b>p=0.011*</b>	t(38)=1.268 p=0.212	t(38)=1.269 p=0.212	t(38)=1.359 p=0.182
	ECG R-R (ms)	t(38)=-5.068 <b>p&lt;0.001*</b>	t(38)=-1.365 p=0.180	t(38)=-1.313 p=0.197	t(38)=-5.725 <b>p&lt;0.001*</b>
	Heart rate (BPM)	t(38)=5.172 <b>p&lt;0.001*</b>	t(38)=1.964 p=0.057	t(38)=1.584 p=0.121	t(38)=5.391 <b>p&lt;0.001*</b>
	EDA (µS)	t(38)=-3.684 <b>p=0.001*</b>	t(38)=1.597 p=0.119	t(38)=2.708 <b>p=0.010*</b>	t(38)=2.799 <b>p=0.008*</b>

#### 4.2.4 시뮬레이터 주행

##### 1) ECG R-peak

시뮬레이터 주행에서 실험 참가자의 ECG R-peak(평균)은 중립과 분노 감정 간 유의한 차이가 없었다( $t(38)=1.359$ ,  $p=0.182$ ). 지표 분석 결과 중립 감정일 때의 평균은 0.76 mV, 분노 감정일 때의 평균은 0.75 mV로 나타났다.

##### 2) ECG R-R

ECG R-R(평균) 분석 결과 중립 감정일 때의 평균은

769.87 ms, 분노 감정일 때의 평균은 791.40 ms로 분노 감정 시의 EDG R-R 지표가 유의미하게 높은 것으로 확인하였다( $t(38)=-5.725$ ,  $p < 0.001$ ).

##### 3) 심박수

시뮬레이터 주행을 통해 참가자에게 중립, 분노 감정 유도 시, 감정에 따른 심박수(평균)의 유의한 차이가 있었다( $t(38)=5.391$ ,  $p < 0.001$ ). 중립 감정일 때의 심박수 평균이 78.13 BPM으로 분노 감정 시의 심박수 평균 76.19 BPM보다 크게 나타났다.

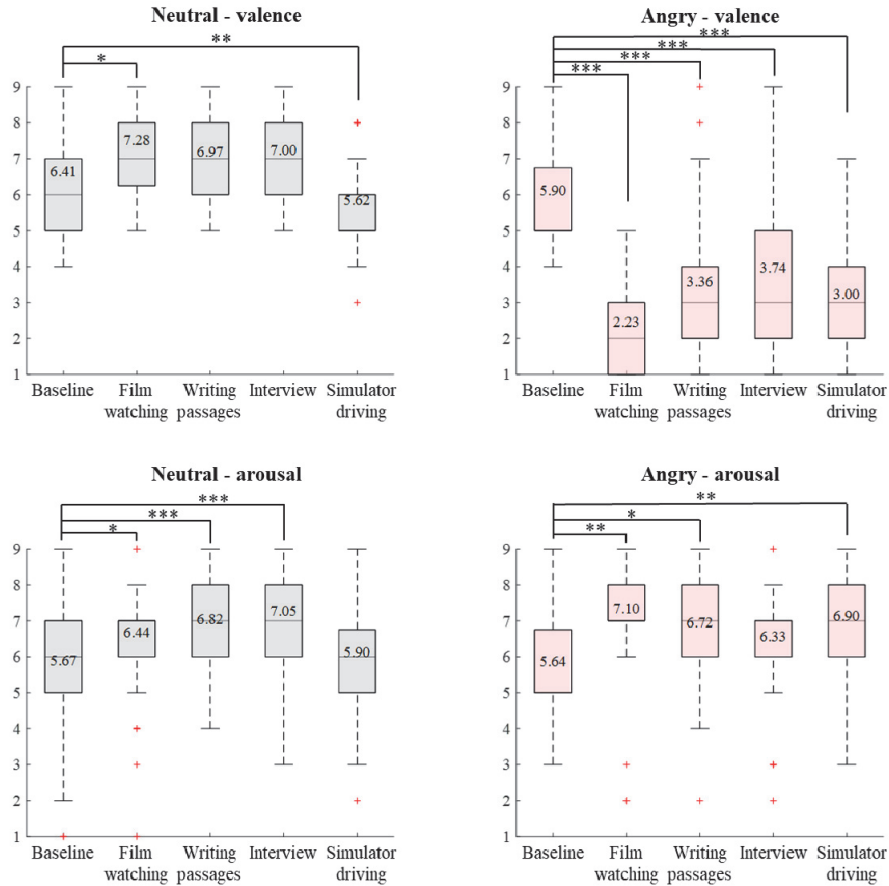


Fig. 7 Boxplot of valence and arousal in each emotion induction method and baseline (\*:  $p < 0.050$ , \*\*:  $p < 0.010$ , \*\*\*:  $p < 0.001$ ) (n=39)

Table 3 Result of inference statistics of survey data between neutral and angry emotion in each induction method (statistically significant\*)

Data type	Dependent variables	Induction method			
		Film watching	Writing passages	Interview	Simulator driving
Survey (SAM)	Valence (point)	t(38)=18.383 <b>p&lt;0.001*</b>	t(38)=10.763 <b>p&lt;0.001*</b>	t(38)=8.276 <b>p&lt;0.001*</b>	t(38)=8.658 <b>p&lt;0.001*</b>
	Arousal (point)	t(38)=-1.621 p=0.113	t(38)=0.342 p=0.735	t(38)=2.371 <b>p=0.023*</b>	t(38)=-3.231 <b>p=0.003*</b>

4) EDA

EDA(평균)은 시뮬레이터 주행을 통해 유도한 중립과 분노 감정에 따른 유의한 차이가 나타났다(t(38)=2.799,  $p=0.008$ ). 기술통계 분석 결과 중립 감정일 때의 평균은 8.28  $\mu S$ , 분노 감정일 때의 평균은 7.57  $\mu S$ 로 분노 감정 유도 시에 다소 낮았다.

4.3 감정 유도 기법의 유도 효과 비교(RQ 2)

연구에서 사용한 네 가지 감정 유도 기법의 감정 유도 효과를 비교하기 위하여, 취득한 SAM 설문지의 응답을 분

석하였다. 이를 위해 각 감정 유도 기법 시행 이후의 SAM 설문 결과와 감정 유도 전의 SAM 설문 결과(Baseline)를 비교 분석하였으며, 통계 분석 방법으로는 RM ANOVA를 사용하였다. 사후분석으로는 Bonferroni를 채택하였다.

감정 유도 전(Baseline)의 SAM 설문 결과 중립 감정의 유인성 평균은 6.41점, 각성도 점수 평균은 5.67점이다. 분노 감정의 유인성 평균은 5.90점, 각성도 점수 평균은 5.64점이다.

### 4.3.1 영상시청

영상시청 기법의 감정 유도 효과 분석 결과, 중립 감정과 분노 감정 모두 Baseline 대비 유의미한 감정의 변화가 발생하였다. 먼저 중립 감정의 경우, 영상시청 이후 중립 감정의 유인성 평균은 7.28점으로 Baseline 대비 상승하였고( $F(2.758)=16.981, p=0.012$ ), 각성도 점수 또한 평균 6.44점으로 유의미한 차이가 있었다( $F(3.080)=9.870, p=0.039$ ). 분노 감정의 유인성은 영상시청 후 평균 2.33점으로 감소하였으며( $F(4.000)=38.875, p<0.001$ ), 각성도 점수는 평균 7.10으로 증가하였다( $F(3.215)=7.685, p=0.004$ ).

### 4.3.2 자기경험기술

자기경험기술 구간 수행 후에 실시한 SAM 설문 데이터 분석 결과, Baseline 대비 유의미한 감정 변화가 일부 나타났다. 중립 감정의 유인성과 각성도 점수의 평균은 자기경험기술 후, 유인성 6.97점으로 차이가 없었으나 ( $F(2.758)=16.981, p=0.524$ ) 각성도 점수는 6.82점으로 차이가 있었다( $F(3.080)=9.870, p<0.001$ ). 한편, 분노 감정의 경우 유인성 점수 평균 3.36점, 각성도 평균 6.72로 두 지표 모두에서 Baseline 대비 차이가 나타났다( $F(4.000)=38.875, p<0.001$ ), ( $F(3.215)=7.685, p=0.014$ ).

### 4.3.3 자기회상

자기회상 기법에 의한 중립, 분노 감정 유도 효과는 일부 확인되었다. 자기 회상 기법 사용 후 중립 감정의 유인성 점수 평균은 7.00점으로 유의미한 차이가 없었으나 ( $F(2.758)=16.981, p=0.270$ ), 각성도는 7.05점으로 Baseline 대비 증가하였다( $F(3.080)=9.870, p<0.001$ ). 분노 감정 유인성 평균 점수는 3.74점으로 유의미한 수준의 감소가 있었고( $F(4.000)=38.875, p<0.001$ ), 각성도 점수 평균은 6.33점으로 각성도 점수의 차이가 확인되지 않았다 ( $F(3.215)=7.685, p=0.209$ ).

### 4.3.4 시뮬레이터 주행

시뮬레이터 주행에 따른 중립과 분노 감정의 유도 효과는 일부 확인되었다. 유인성 점수 평균은 5.62점으로 Baseline에서의 유인성 평균 점수에 대비하여 감소하였으나( $F(2.758)=16.981, p=0.006$ ), 각성도 점수는 평균 5.90 점을 기록하여 차이가 없었다( $F(3.080)=9.870, p=1.000$ ). 시뮬레이터 주행 후 분노 감정의 유인성은 3.00의 평균 점수로 유의미하게 감소하였고( $F(4.000)=38.875, p<0.001$ ), 각성도 점수 평균 또한 6.90점으로 유의미한 차이가 있었다( $F(4.000)=38.875, p=0.002$ ).

## 5. 논의

### 5.1 감정 변화에 따른 생체 데이터 변화 비교(RQ 1)

본 연구는 실험 참가자에게 중립, 분노 감정을 유도하고 감정 변화를 인식할 수 있도록 하는 기준으로서, 감정 변화에 따른 차이가 있는 생체 데이터를 확인하고자 하였다. 이를 위해 감정의 영향으로 변화하는 교감신경계와 관련되고, 차량 내부에서 데이터 측정환경의 구현이 용이한 ECG, EDA 데이터를 취득 및 분석하였다.<sup>25)</sup>

분석 결과, 감정 변화에 따른 생체 데이터의 유의미한 변화가 일부 확인되었다. 먼저 ECG 데이터 분석에서 ECG R-R(평균)은 영상시청과 시뮬레이터 주행 시에 분노 감정의 데이터 평균이 높았다. 심박수 또한 ECG R-R과 동일한 구간인 영상시청과 시뮬레이터 주행 구간에서 유의미한 차이가 있었다. 다만, 분노 감정의 데이터 값이 크게 나타난 ECG R-R과 달리, 중립 감정의 데이터 값이 높게 나타났다. 이러한 ECG 데이터 분석 결과를 통해, 실험 참가자들이 분노 감정을 경험한 경우에 보다 낮은 심박수 변화를 보였음을 확인할 수 있었다. ECG R-R은 심장 박동 간의 간격으로, ECG R-R의 간격이 길어지게 되면 심박수가 감소한다.<sup>22)</sup>

EDA 데이터는 자기경험 기술 구간을 제외한 전체 구간에서 감정에 따른 데이터의 유의미한 차이가 있었으나, 영상시청 시에는 분노 감정에서의 데이터가 높게 나타난 반면 자기회상, 시뮬레이터 주행 시에는 중립 감정에서의 EDA 평균값이 큰 것으로 확인되었다.

감정 변화에 따른 생체 데이터 변화를 비교한 결과는 감정 유도 기법에서 그 해석의 근거를 찾을 수 있다. 본 실험에서는 네 가지 감정 유도 기법을 사용하여 실험 참가자에게 지속적인 감정적 자극을 제공하였다. Averill<sup>26)</sup>에 따르면 분노와 두려움은 다른 감정에 비해 지속시간이 상대적으로 짧은 감정으로, 계속된 분노 유도의 효과가 시간이 흐를수록 점차 미미해진 것으로 예상할 수 있다. 특히 EDA 지표는 특정 시점에서의 강렬하고 순간적인 감정 반응을 반영하는 데 유의한 지표로, 이러한 감정 유도 기법 별 차이에 의해 기존 연구와 생체 데이터의 경향이 일치하지 않았을 가능성이 있다.<sup>27-29)</sup>

한편 차량 시뮬레이터 내에서 1시간 이상의 실험을 진행하게 되면서 많은 참가자들이 실험 중 하품, 다리 떨기 등의 향상성을 유지하려는 행태를 보였다. 향후 연구에서는 실험 참가자의 행동을 녹화하여 분석하거나, 상용화된 운전자 감정 인식 기술을 사용하여 실험 참가자의 행동과 생체 지표 간의 상호작용을 보다 심층적으로 이해하고, 실험 결과의 일관성을 높일 필요가 있음을 확인하였다.



## 5.2 감정 유도 기법의 유도 효과 비교(RQ 2)

본 연구의 실험 참가자는 유인성과 각성도의 두 지표를 사용하여 자신의 감정 상태를 평가하였다. SAM 설문 을 통해 취득된 유인성, 각성도 데이터로 감정 유도 기법의 유도 효과를 비교한 결과 영상시청에 따른 감정 유도 효과가 가장 유의미하였다.

앞서 감정 유도 적절성 검증을 통해 실험 감정이 적절히 유도됨을 확인하였으나, 자기경험기술, 자기회상, 시뮬레이터 주행 기법 사용 시에 일부 감정과 지표에서 Baseline의 지표 응답 결과 대비 유의미한 차이가 확인되지 않았기 때문이다. 반면, 영상시청 기법을 사용하는 경우에는 중립 감정과 분노 감정의 유인성과 각성도 모두 유의미한 변화가 있었다. 또한, 이러한 중립 및 분노 감정의 유인성, 각성도의 분포 결과는 Russell의 감정 분류의 내용과도 일치한다.<sup>14)</sup>

## 6. 결론

본 연구에서는 주행 환경에서 실험 참가자에게 감정을 유도하고, 감정에 따른 생체 데이터의 변화를 검토하는 실험 과정을 설계하였다. 감정을 유도하는 방법으로 영상시청, 자기경험기술, 자기회상, 시뮬레이터 주行的 네 가지 방법을 사용하였으며, 각 방법의 감정 유도 효과를 비교, 영상시청 기법의 감정 유도 효과가 우수함을 확인하였다. 이러한 일련의 설계와 연구 결과는 향후 분노 감정 이외의 다양한 감정을 운전 환경에서 평가할 수 있는 실험 설계의 예시를 제공한다.

또한 실험을 통해 분노 감정으로의 감정 변화에 따라 차이가 발생하는 데이터의 종류를 확인하였다. 물론 분석 결과가 기존의 선행 연구와 일치하지 않는 결과로도 출되었음은 사실이다. 하지만 해당 데이터를 해석하는 과정에서 감정의 지속시간을 고려한 생체 데이터의 선별과, 생체 데이터 이외의 사용자 지표(표정, 행동) 등을 종합적으로 검토하여야 함을 제안하였다.

이러한 연구 결과는 향후 운전자 감정 인식 모니터링 기술 개발의 기초 연구에 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 향후 연구에서는 이러한 제안 사항을 반영하고, 분노 감정 이외에 운전 상황에서 경험할 수 있는 다양한 감정으로 그 범위를 확대하여, 전반적인 감정 모니터링을 통한 운전자와 도로 안전 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 대한민국 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 4단계 BK21사업(5199990814084)의 지원을 받

았음. 본 연구는 산업통상자원부 자율주행기술개발혁신사업의 지원을 받아 수행된 연구임(20018101, T Car기반 자율주행 인지예측지능제어 차량부품시스템 통합평가 기술개발). 이 논문은 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0020536, 2024년 산업혁신인재성장지원사업). 이 논문은 2024년도 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0017120, 2024년 산업혁신인재성장지원사업). 마지막으로 실험 설계에 도움을 주신 이명규 연구원, 실험 진행 및 분석에 도움을 주신 박종우, 서원준 연구원님께 감사드립니다.

## References

- 1) J. S. Lee, "Reason and Emotion: Discussions on the Human Judgment Process with Brain Neuroscience and Biology Perspectives," *Communication Theories*, Vol.10, No.3, pp.161-194, 2014.
- 2) H. Cheon, "Artificial Intelligence and Artificial Emotions - Is an Emotion Robot Realizable?," *Korean Journal of Philosophy*, Vol.131, pp.217-243, 2017.
- 3) Editorial Board of the Korea Institute of Brain Science, "Emotions, a Neuroscience Perspective," *BRAIN*, Vol.52, pp.14-19, 2015.
- 4) American Psychological Association, *Emotions*, <https://www.apa.org/topics/emotions>, 2024.
- 5) A. Damasio, *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*, Penguin Books, New York, 2005.
- 6) E. Roidl, B. Frehse and R. Höger, "Emotional States of Drivers and the Impact on Speed, Acceleration and Traffic Violations—A Simulator Study," *Accident Analysis & Prevention*, Vol.70, pp.282-292, 2014.
- 7) CBS News and Stations, *Road Rage an Increasing Problem on North Texas Roads*, <https://www.cbsnews.com/texas/news/road-rage-an-increasing-problem-on-north-texas-roads/>, 2024.
- 8) K. Steinhauser, F. Leist, K. Maier, V. Michel, N. Pärtsch, P. Rigley, F. Wurm and M. Steinhauser, "Effects of Emotions on Driving Behavior," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol.59, pp.150-163, 2018.
- 9) Q. Zhang, W. Qu, Y. Ge, X. Sun and K. Zhang, "The Effect of the Emotional State on Driving Performance in a Simulated Car-Following Task," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology*

- and Behaviour, Vol.69, pp.349-361, 2020.
- 10) Q. Zhang, W. Qu and Y. Ge, "The Effect of Anger on Pedestrian Avoidance in a Simulated Driving Task," *Accident Analysis & Prevention*, Vol.171, Paper No.106664, 2022.
  - 11) M. M. Bradley and P. J. Lang, "Measuring Emotion: The Self-Assessment Manikin and the Semantic Differential," *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, Vol.25, No.1, pp.49-59, 1994.
  - 12) S. M. FakhrHosseini and M. Jeon, "How Do Angry Drivers Respond to Emotional Music? A Comprehensive Perspective on Assessing Emotion," *Journal on Multimodal User Interfaces*, Vol.13, No.2, pp.137-150, 2019.
  - 13) H. Leng, Y. Lin and L. A. Zanzi, "An Experimental Study on Physiological Parameters Toward Driver Emotion Recognition," *Ergonomics and Health Aspects of Work with Computers: International Conference*, pp.237-246, 2007.
  - 14) J. A. Russell, "A Circumplex Model of Affect," *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.39, No.6, p.1161, 1980.
  - 15) J. A. Jennifer and R. W. Picard, "Detecting Stress During Real-World Driving Tasks Using Physiological Sensors," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.6, No.2, pp.156-166, 2005.
  - 16) C. Nass, I. M. Jonsson, H. Harris, B. Reaves, J. Endo, S. Brave and L. Takayama, "Improving Automotive Safety by Pairing Driver Emotion and Car Voice Emotion," *CHI'05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp.1973-1976, 2005.
  - 17) C. Mills and S. D'Mello, "On the Validity of the Autobiographical Emotional Memory Task for Emotion Induction," *PloS One*, Vol.9, No.4, e95837, 2014.
  - 18) M. Lee, S. Lee, S. Hwang, S. Lim and J. H. Yang, "Effect of Emotion on Galvanic Skin Response and Vehicle Control Data During Simulated Driving," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol.93, pp.90-105, 2023.
  - 19) J. Lobbestael, A. Arntz and R. W. Wiers, "How to Push Someone's Buttons: A Comparison of Four Anger-Induction Methods," *Cognition & Emotion*, Vol.22, No.2, pp.353-373, 2008.
  - 20) J. W. Burns, A. Kubilus and S. Bruehl, "Emotion Induction Moderates Effects of Anger Management Style on Acute Pain Sensitivity," *Pain*, Vol.106, No.1-2, pp.109-118, 2003.
  - 21) H. Harris and C. Nass, "Emotion Regulation for Frustrating Driving Contexts," *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.749-752, 2011.
  - 22) J. Noh, H. Jun, S. Yang and J. H. Sohn, "Classification of Anger, Fear, Surprise Using Physiological Signals," *Ergonomics Society of Korea Conference*, pp.355-358, 2011.
  - 23) J. Bakker, M. Pechenizkiy and N. Sidorova, "What's Your Current Stress Level? Detection of Stress Patterns from GSR Sensor Data," *2011 IEEE 11th International Conference on Data Mining Workshops*, pp.573-580, 2011.
  - 24) S. Hong, J. W. Kim, S. J. Baek and J. H. Yang, "Simulator Study on Take-over Request in Partially Automated Vehicle Using Auditory and Haptic Modality," *Transactions of KSAE*, Vol.28, No.6, pp.401-411, 2020.
  - 25) M. S. Kim, Y. N. Kim and Y. S. Heo, "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, 2014.
  - 26) J. R. Averill, *Anger and Aggression: An Essay on Emotion*, Springer Science & Business Media, New York, 2012.
  - 27) S. Lee, J. Choi, G. Lee and H. K. Lee, "AffectTV: Watcher Preference Inference Based on Physiological Signal Analysis," *The HCI Society of Korea*, pp.559-564, 2006.
  - 28) A. Noh, Y. Kim, H. S. Kim and W. T. Kim, "Smart Emotion Management System Based on Multi-Biosignal Analysis Using Artificial Intelligence," *Journal of IKEEE*, Vol.21, No.4, pp.397-403, 2017.
  - 29) M. Jang, N. S. Jang, D. Y. Lim, E. S. Yoo and J. H. So, "Fabrication of Wearable Sensor Based on Textile and Its Application on Skin Conductance Monitoring," *The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, pp.235-235, 2020.