

# 드라이빙 시뮬레이터를 활용한 자율주행 이용자 선호도 평가에 관한 연구

## A Study on Assessing User Preferences for Autonomous Driving Behavior Using a Driving Simulator

김도훈\* · 주성갑\*\* · 최호민\*\*\* · 류준범\*\*\*\*

\* 주저자 : 서울시립대학교 교통공학과 박사수료, ㈜포럼에이트코리아 대표이사  
\*\* 교신저자 : ㈜포럼에이트코리아 VR개발연구사업부 자율주행연구실 실장  
\*\*\* 공저자 : ㈜포럼에이트코리아 VR개발연구사업부 차장  
\*\*\*\* 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 정책연구처 수석연구원

Dohoon Kim\* · Sungkab Joo\*\* · Homin Choi\*\*\* · Junbeom Ryu\*\*\*\*

\* Dept. of Transportation Eng., University of Seoul, CEO of FORUM8 KOREA Co., Ltd.  
\*\* VR Research Department, FORUM8 KOREA Co., Ltd.  
\*\*\* VR Research Department, FORUM8 KOREA Co., Ltd.  
\*\*\*\* Traffic Science Institute, Korea Road Traffic Authority

† Corresponding author : Sungkab Joo, skjoo@forum8.co.kr

Vol. 22 No.3(2023)  
June, 2023  
pp.147~159

pISSN 1738-0774  
eISSN 2384-1729  
<https://doi.org/10.12815/kits.2023.22.3.147>

Received 12 May 2023  
Revised 23 May 2023  
Accepted 25 May 2023

© 2023. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

### 요약

자율주행차량을 신뢰하고 탑승하도록 하기 위해서 자율주행 차량에 탑승하는 이용자를 위한 고민이 필요해지고 있다. 자율주행 차량 주행 행태에 대한 선호도를 평가하여 이용자의 자율주행차량 탑승 만족도를 높이는 주행행태를 찾아내고자 한다. 실험환경은 드라이빙 시뮬레이터에 공격적인 운전과 방어적인 운전 두 가지 자율주행 성향을 구현하고, 체험할 수 있도록 하였다. 탑승시 생체데이터를 수집하고, 탑승 전·후 설문조사를 실시하였다. 운전 습관에 따라 2그룹으로 분류하고, 수집한 생체데이터와 비교 분석하였다. 공격적인 성향의 운전자와 조심 운전 성향의 운전자 모두 자율주행차량의 조심운전 주행행태를 선호하였다.

핵심어 : 자율주행, 자율주행 성향, 가상현실, 자율주행 수용성, 생체데이터

### ABSTRACT

In order to make autonomous vehicles more trustworthy, it is necessary to focus on the users of autonomous vehicles. By evaluating the preferences for driving behaviors of autonomous vehicles, we aim to identify driving behaviors that increase the acceptance of users in autonomous vehicles. We implemented two driving behaviors, aggressive and cautious, in a driving simulator and allowed users to experience them. Biometric data was collected during the ride, and pre- and post-riding surveys were conducted. Subjects were categorized into two groups based on their driving habits and analyzed against the collected biometric data. Both aggressive and cautious driving subjects preferred the cautious driving behavior of autonomous vehicles.

Key words : Autonomous driving, Autonomous driving behavior, Virtual reality, Autonomous driving acceptance, Biometric data

## I. 서론

### 1. 연구배경

자율주행 차량에 대한 개념은 1920년대에 시작되었고, 자동변속기처럼 기계적인 장치가 인간을 대체하는 방식으로 개발되어 왔다. 2000년대 이후 인공지능, 머신러닝, 딥러닝 등의 기술이 발전하면서 센서 정보 수집, 데이터처리 등이 가능해졌고, 처리속도도 빨라지고 있다. 그러면서, 자율주행 차량에 대한 연구가 가속화되고 있다. 자동차공학에서는 차량의 자율적이고 능동적인 주행에 대한 부분에 집중하여 기술을 발전시켜왔고, 최근에는 도로인프라 또는 다른 차량들과 정보를 공유하는 자율협력주행이라는 개념으로 변화되고 있다. 자율주행차량 레벨 3의 기술들이 일부 제한적으로 상용화되고 있고, 자율주행차량 레벨4~5 기술이 연구되고 있는 상황이다. 하지만, 이런 발전의 방향과 변화에 소외되고 있었던 부분이 자율주행 차량 탑승자 또는 이용자에 대한 것이다. 레벨 3단계에서 운전자가 필요한 상황에서는 직접 운전을 해야 하므로, 조향권 이양에 관한 주제는 계속 연구되고 있다. 하지만, 탑승자가 만족할 수 있는 자율주행차량의 주행행태 등 이용자 관점에서의 연구는 이제 시작되고 있다. 자율주행차량의 최종목표가 운전자의 개입이 없이 탑승자를 안전하게 이동시키는 것이라면, 탑승자 또는 이용자에 대한 만족도를 높이기 위한 것에 대한 여러 형태의 연구가 많아져야 하는 상황이다.

### 2. 연구목적 및 범위

자율주행차량에 탑승하는 이용자의 만족도를 높이기 위하여, 이용자가 만족하고 수용할 수 있는 자율주행 차량의 운행모드를 찾아내기 위한 목적의 연구이다. 연구의 범위는 피실험자를 자율주행차량의 탑승자 및 이용자로 설정하여, 자율주행차량 탑승시 주행행태별 선호도에 관한 내용을 분석하였다.

### 3. 연구방법

실험 전 설문은 활용하여 운전자의 성향을 파악하고, 자율주행차를 어느 정도 신뢰하는지 파악하였다. 또한, 시뮬레이터 탑승실험을 하기 전 시뮬레이터와 현실의 차이에 대한 충실도를 확인하고자 ‘교통상황 유사성’, ‘운전행동 차이’, ‘시뮬레이터 멀미’ 등에 대하여 설문하였다. 이후, 차량 시뮬레이터에 탑승하여 직접 운전하는 것이 아니라, 자율주행 차량의 운전석에 탑승하는 상황으로 설정하여 진행하였다. 이때, 생체신호장치를 장착하여 뇌파, 심박수, 근전도 등의 데이터를 취득하고 분석하였다. 탑승 완료 후 실험 후 설문을 활용하여 시뮬레이터 탑승전의 설문과 비교하여 성향을 분석하였고, 정량적인 생체신호데이터와 비교하여 결과를 도출하였다.

## II. 기존 문헌 고찰

### 1. 관련 연구 고찰

Basu et al.(2018)은 이용자가 어떠한 운전성향의 자율주행차를 선호하는가에 대한 연구를 수행하였다. 자율주행차 이용자는 자신들의 운전습관과 다른 운전 성향을 선호할 것이라는 가설을 세우고 드라이빙 시뮬레

이터를 활용하여 자율주행차를 경험하게 한 후 평가하도록 하였다. 자율주행차 운전성향은 공격적 운전, 방어적 운전, 자신의 운전성향을 경험하도록 하였고, 자신의 운전성향이 시나리오에 포함되어 있다는 것을 알지 못하게 했다. 그 결과 이용자는 자신이 생각하는 본인의 운전성향과 유사한 자율주행 운전성향을 선호하는 것으로 나타났다. 그러나 본인이 인식하는 운전성향과 실제 운전성향에는 상관관계가 없는 것으로 나타나 실제 운전성향과 선호하는 운전성향은 관련이 없는 것으로 나타났다.

The Korea Transport Institute(2020)은 자율주행차가 이용자들이 원하는 주행행태를 제공할 수 있는가를 이용자 수용성 측면에서 분석하였다. 드라이빙 시뮬레이터를 활용하여 가장 적극적, 적극적, 보수적, 가장 보수적 4가지 운전성향을 경험하도록 하고, 설문을 통해 어떤 운전성향을 선호하는지를 조사하였다. 각각의 운전성향은 가·감속도, TTC, 차로변경빈도 등을 조정하여 차별화하였다. 설문결과 가장 선호하는 주행시나리오는 공격적 시나리오로 전체 인원 중 60%가 선호하는 것으로 나타났다. 특히 본인의 평소 주행행태가 비교적 보수적이라 할지라도 자율주행차는 상대적으로 적극적인 주행을 원하는 것으로 나타나 기존의 연구와는 상반된 결과가 도출되었다.

Hwang(2021)은 자율주행차의 수용성을 제고하기 위한 방안을 모색하기 위해 이용자가 어떤 성향의 자율주행차를 선호할지에 관한 연구를 수행하였다. 이를 위해 이용자의 평소 본인 운전행태에 대한 인식을 설문기법으로 분석하였고, 자율주행성향을 경험하게 한 후 선호도를 조사하였다. 자율주행성향은 총 5가지 시나리오를 경험하게 하였고, 편안함과 수용성 측면에서의 만족도를 평가하도록 하였다. 그 결과 본인이 인식하고 있는 운전성향과 유사한 자율주행패턴을 선호하거나 본인보다 약간 소극적인 주행성향을 선호하는 것으로 나타났다. 그러나 스스로 인식하고 있는 운전성향과 실제 운전성향에는 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

## 2. 선행 연구와의 차별점

차량시뮬레이터를 활용한 선행연구들의 제한점으로는 자율주행모드(공격적운전모드, 조심운전모드)에 따라 주행속도, 가·감속도, 추월빈도, 차두간격이 달라지면서 주행시간의 차이가 필연적으로 발생하게 된다. 이러한 경우 자율주행 모드에 따른 선호도 평가에 운행시간에 따른 선호도가 혼입되어 있는지 여부를 판단하기 어렵다. 왜냐하면, 차량시뮬레이터 실험연구 특성상 실제 운전과는 상이하게 탑승시간이 조금만 길어지더라도 운전자 부하가 크게 증가되기 때문이다.(NASA, 2011), Evaluation of Electronic Formats of the NASA Task Load Index) 따라서 자율주행모드에 따른 영향보다는 탑승시간에 의한 영향이 작용될 가능성이 존재한다. 특히 본 연구처럼 자율주행모드에 대한 운전자의 만족도나 향후 이용의도를 수용성 측면에서의 분석하는 경우 운전자가 느끼는 주행 지속시간의 차이를 최소화하는 게 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 자율주행 모드간 실제 주행시간을 동일하게 맞출 수는 없기 때문에 실험참가자들이 두 모드간 주행시간을 동일하게 지각할 수 있도록 실험 조작을 하였다. 실험참가자들이 주행시간을 동일하게 지각할 수 있도록 하였던 조작방법은 자율주행 모드에 상관없이 주행시나리오 화면에 1/4 간격(시작, 1/4 지점, 2/4 지점, 종료)으로 동일한 소요시간을 시각적으로 표기해 줌으로써 동일한 주행시간임을 인지할 수 있도록 하였다.

두 번째 문제점으로는 그동안 자율주행 모드에 적용된 차량시뮬레이터 주행 파라미터(조향휠 및 가·감속 페달 조작, 차간 거리 등)가 연구별로 상이하였다. 자율주행차량의 주행모드에 대한 파라미터 값들의 표준화가 충분히 정립되어 있지 않아 연구자들의 주관적 판단이나 선행연구들에서 활용된 파라미터 값을 그대로 사용하였던 것으로 판단된다. 그러나 실제 자율주행 차량의 동특성이 반영된 파라미터라 할지라도 차량시뮬레이터 스펙이나 모션의 거동특성 등 성능에 따라 실험참가자들이 지각하는 주행 행태는 상이하게 느껴질 수 있으므로, 획일적인 주행 파라미터 값의 사용은 주의가 필요하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본

연구에서는 실험에 사용하고자 하는 차량시뮬레이터에서 과거 동일한 시나리오의 수동모드 주행시 측정되었던 실험참가자들의 평균적인 주행특성을 분석하였다. 이를 기준 값으로 공격적 모드와 조심운전 모드의 주행 파라미터 값을 작성하여 자율주행 시나리오 설계시 반영하였다.(Hwang, 2021), 운전성향 기반 자율주행 패턴 선호도 평가 연구)

또한 기존의 선호하는 자율주행차 운전 성향에 관한 연구를 보면 대부분 본인이 인지하고 있는 운전습관과 유사하거나 보다 보수적인 운전성향을 선호하는 것을 알 수 있다. 이는 설문조사에 의한 결과로 주관적인 평가에 의한 결과이다. 본 연구는 기존의 연구에서 정의한 공격적 운전과 방어적 운전의 주행성향을 참조하고, 설문조사와 더불어 실험 시 생체데이터를 추가로 수집하여, 이용자가 느끼는 심리적인 측면도 고려하여 보다 객관적인 분석결과를 도출하고자 하였다.

### III. 실험설계

#### 1. 실험설계 개요

본 연구의 실험설계는 피험자간 요인으로 신뢰수준(저 vs 고), 운전성향(공격적 성향 vs. 조심운전 성향), 피험자내 요인으로는 자율주행모드(공격적운전모드 vs. 조심운전모드)로 하여 실험설계를 하였다. 피험자는 유효표본수가 30명이 되도록 모집하였으며, 신뢰수준은 사전 설문을 통해 중앙값을 기준으로 저집단과 고집단으로 구분하였다. 운전성향은 공격적 운전성향과 조심운전 성향의 평균 점수의 차이를 고려하여 상위 50%를 공격적 운전성향, 하위 50%를 조심운전 성향으로 선정하였다. 자율주행 모드는 앞서 설명하였던 것처럼 기존 수동모드 데이터를 분석하여 평균값을 도출하고 이를 중심으로 자율주행 시나리오를 공격적 운전 모드와 조심운전 모드로 개발하였다.

#### 2. 실험 설문

실험 전 설문으로 피실험자의 성별, 연령, 운전경력, 평소 운전습관 등에 대해 조사하였다. 평소 운전습관은 분석 시 그룹분류를 하기 위한 중요한 요인으로 Ryu and Oh(2022)이 개발한 한국판 운전행동평가지표 중 운전자의 공격운전 성향 요인(5문항)과 조심운전 성향 요인(7문항)을 사용하였다. 단, 한국판 운전행동평가지표에 사용된 공격운전은 난폭운전에 관한 문항들이 일부 포함되어 있어서 이를 보완할 수 있도록 차량 거동에 중점을 두고 추가적인 문항들을 개발하여 설문에 반영하였다.(11문항). 운전자 성향의 평가척도는 5점 Likert 척도(1: 전혀 아니다 ~ 5: 항상 그렇다)를 사용하였다(Ryu and Oh, 2022).

실험 후 설문으로는 실험참가자의 자율주행 운행모드별 만족도를 비교분석하기 위해 각 운행모드에 따른 정서가(emotion value)를 측정하였다. 자율주행차 구매 및 이용의도는 Ryu et al.(2021)\*이 개발한 자율주행차 수용성 요인을 일부 수정하여 사용하였다. 실험참가자의 정서가는 공격적 운전모드와 조심운전 모드에서 느꼈던 정서 상태를 측정하였다. 실험참가자의 정서가는 어의미문척도(semantic differential scale)를 활용하여 측정하였다.(예를 들면, -5: 불안하다 ~ 5: 편안하다)(Ryu et al., 2021).

#### 3. 실험 장비 및 설정

실험을 위한 VR환경과 주행 시나리오, 자율주행모드는 가상현실 소프트웨어인 UC-win/Road ver.15.1를 활

용하여 구축하였다. UC-win/Road는 시뮬레이터 실험에 많이 활용되고 있고, 차량 주행행태 설정에 적합한 기능을 탑재하고 있다.

실험을 위한 드라이빙 시뮬레이터는 32인치 디스플레이 3채널과 차량운전석으로 구성된 드라이빙 시뮬레이터(Dr. Sim)를 사용하였다. 실제 차량에 탑승했을 때와 동일한 몰입감을 주기 위해서 스티어링 휠과 가·감속 페달, 계기판, 기어, 틸트레버가 장착되어 있으며, 스티어링 휠은 자율주행차량의 주행에 맞춰 자동으로 조작되도록 개발·제작되었다. 피실험자가 직접 운전을 하지 않지만 자동으로 조작되는 스티어링휠을 보고 자율주행차량에 탑승한 것처럼 느낄 수 있도록 하였다.

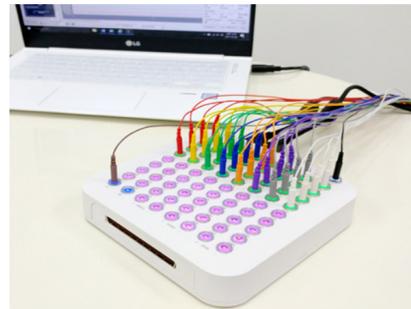
뇌파를 측정하기 위한 장비로는 Laxtha의 QEEG-64FX를 사용하였다. QEEG-64FX는 DC~1000HZ에 해당하는 광대역을 측정할 수 있고, 필터와 오토캘리브레이션 기능이 있어 전극신호의 왜곡을 최소화할 수 있다. 본 연구에서는 캡과 디스크 전극 중 디스크 전극으로 부착하여 측정하였고, Telescan S/W를 사용하여 분석을 수행하였다.

근전도는 NORAXON Telemyo DTS System을 사용하여 측정하였다. 근육이 움직일 때 발생하는 전극을 감지하여 기록할 수 있는 장비로 감지센서가 무선으로 되어 실험을 효율적으로 수행할 수 있도록 구성되어 있다. 본 연구에서는 우측팔과 우측다리에 센서를 연결하여 근전도를 측정하였다.

심박수는 Garmin의 Forerunner955를 사용하여 측정하였다. Forerunner955는 손목시계의 형태로 손목에 착용하여 심박수를 측정할 수 있다. 심박수 외 호흡수, 혈중 산소포화도까지 같이 측정이 가능하여 보다 더 정확한 생체 데이터 분석을 수행할 수 있다.



<Fig. 1> Driving simulator



<Fig. 2> EEG measuring device



<Fig. 3> Electromyography measuring device



<Fig. 4> Heart rate measuring device

#### 4. 측정항목 및 변수

뇌파분석은 머리에 전극을 부착하고, 신경세포들이 정보 전달을 처리하는 과정에서 발생하는 전자기파 강

도를 측정함으로써 사람이 느끼는 심리 상태를 유추하는 기법이다. 심리상태에 따라 활성화되는 뇌파의 주파수 대역이 다른데 그 중 14Hz~30Hz에 해당하는  $\beta$ 파는 불안, 긴장 또는 스트레스 상태에서 활성화되는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는  $\beta$ 파를 통해 자율주행차 이용자의 수용성 또는 선호정도를 분석하고자 하였다. 사람마다 기본적으로 발생하는 뇌파의 강도는 다르기 때문에 특정 값을 기준으로 평가하지 않고, 상대적 비교를 통한 분석을 수행하였다. 활성화되는 주파수 대역에 따른 심리 상태를 정리하면 다음과 같다.

<Table 1> Characteristic of each EEG frequency band

EEG	Frequency band	Characteristic
$\delta$	0 ~ 4 Hz	Asleep, Suspected brain tumor, encephalitis when activated in a state other than sleep
$\theta$	4 ~ 8 Hz	Occurs during drowsiness or deep meditation, most active in REM sleep
$\alpha$	8 ~ 13 Hz	Default state, relaxation, most active in a relaxed state
$\beta$	14 ~ 30 Hz	Most active in states of stress, attention, concentration or anxiety or tension

근전도는 근육이 움직일 때 발생하는 전극을 감지하여 기록하는 것으로 본 연구에서는 우측 팔과 다리에 센서를 부착하여 측정하였다. 자율주행차 이용자가 자율주행 중 불안감을 느끼면 스티어링 휠 또는 감속 페달을 조작할 것으로 예상하고, 조작횟수를 측정하기 위한 방안으로 근전도를 활용하였다.

심박수는 일정시간 동안 일어나는 심장 박동의 횟수를 기록하는 것으로 스트레스 및 불안 상태에서 교감신경에 의해 증가하게 된다. 본 연구에서는 이를 통해 자율주행차 이용자가 느끼는 심리상태를 유추할 수 있을 것으로 판단하였고, 1분 간격으로 심박수를 기록하여 분석에 활용하였다.

### 5. 실험방법

실험을 위한 자율주행차의 주행경로와 시나리오 구성은 연구자의 주관적 판단을 배제하고, 연구결과와 신뢰도를 높이기 위해 기존의 유사 연구사례를 참조하여 설정하였다.(The Korea Transport Institute, 2020), 주행 시뮬레이터 기반 자율주행 이용자 행태 및 영향 분석) 자율주행모드는 공격적운전모드와 조심운전모드 2가지로 구성하였고, 가·감속도, 차간거리, 차로변경 빈도, 끼어들기 양보 유무, 딜레마 존 교차로 통과여부 등을 차별화하여 주행성향을 차별화하였다. 자율주행 운전성향 구현에 활용된 파라미터값은 다음과 같다.

<Table 2> Autonomous driving behavior implementation parameter value

Parameter		Cautious	Aggressive
Reaction time	Normal condition	0.1s	
	Unexpected situation		
	Acceleration		
	Deceleration		
Start-up delay	Signalized intersection	0.1s	
Gap distance	When driving	TTC <sub>1</sub>	TTC <sub>4</sub>
	When stopping	1.5m	0.5m
Acceleration	Passenger car	1.3m/s <sup>2</sup>	1.7m/s <sup>2</sup>
Deceleration	Passenger car	3.5m/s	4.5m/s <sup>2</sup>
Target speed	Cannot exceed speed limit	Current driving lane speed limit	

주행경로 및 시나리오는 고속도로(연속류), 도시부도로(단속류)에서의 주행을 모두 경험할 수 있도록 하고, 각 도로 환경에 맞춰 공격적 운전과 방어적 운전 특성을 경험할 수 있는 시나리오를 구성하였다. 고속도로 연결로에서 주행을 시작하여 본선에 합류하고, 원활한 교통환경에서 주행하다 지정체 구간을 지나 연결로로 진출하여 도시부도로를 주행하는 경로로 구성하였다. 고속도로 본선 합류시 간격 수락과 주변 차량에 대한 양보여부를 차별화하였고, 원활한 교통환경에서의 주행속도, 차두간격, 가·감속도, 차로변경 빈도를 차별화하였다. 지·정체 구간에서 공격적운전모드는 지속적으로 차로변경을 하도록 하고, 조심운전모드의 경우 정해진 차로에서 계속 주행하도록 설정하였다. 연결로 진출 시 조심운전모드는 대기행렬 끝에 대기하도록 하였고, 공격적운전모드의 경우 대기행렬 중간에 끼어들기 하도록 시나리오를 구성하였다. 도시부 도로의 경우 주로 교차로 통과 시의 주행행태의 차이를 두어 차별화 하였다. 좌회전 또는 우회전 시 회전속도, 교차로 접근속도, 간격수락을 차별화하였고, 적색신호로 변경되는 딜레마존에서 통과여부로 공격적운전모드와 조심운전모드의 차이를 느낄 수 있도록 구성하였다. 주행경로 및 시나리오를 정리하면 다음과 같다.

<Table 3> Driving routes and driving scenarios

Road	Traffic environment	Differentiation factors by driving behavior
Expressway	Merging section	· Gap acceptance · Yield to nearby vehicles
	Free driving	· Driving speed, gap distance, acceleration, deceleration, lane change frequency
	When congestion	· Gap acceptance when lane change · Lane change completion time · Yield for lane changing vehicles
	Diverging section	· Whether to cut in · Yield for cut in vehicles
Urban road	Entering urban road	· Gap acceptance
	Right turn1	· Approach speed, turning speed, gap acceptance
	Stop at intersection	· Deceleration start point, Deceleration, lane selection according to queue
	Left turn	· Approach speed, turning speed
	Dilemma zone	· Whether to Traverse, approach speed, deceleration
	Right turn2	· Approach speed, turing speed, gap acceptance



<Fig. 5> VR environment (Expressway)



<Fig. 6> VR environment (Urban road)

## IV. 분석결과

### 1. 그룹 분류

수집한 뇌파, 심박수, 근전도와 같은 생체데이터는 특정한 값을 기준으로 하여 분석하지 않고 상대적 비교를 통해 분석을 수행하므로 비교 그룹을 어떻게 분류하는가가 중요하다. 앞서 살펴본 기존 연구에서는 본인이 인지하고 있는 본인의 운전성향에 따라 그룹을 분류하는 것이 일반적이었다. 본 연구에서도 선호하는 자율주행성향을 판단하는 지표로 활용한 설문결과와 생체데이터는 본인이 인지하고 있는 심리상태에 기인하는 것이기 때문에 실제 운전습관보다는 설문을 통한 본인의 운전습관 응답에 따라 그룹을 분류하였다. 따라서 스스로 공격적인 운전습관을 가지고 있다고 인정한 그룹을 A, 방어적인 운전습관을 가지고 있다고 인정한 그룹을 B로 분류하였다.

### 2. 검정 방법

본 연구는 동일한 자율주행모드(공격적운전모드, 조심운전모드)에 대해 분류된 그룹에 따라 선호도가 달라지는지와 동일한 그룹 내에서 자율주행모드에 따라 선호도가 달라지는지를 분석하였다. 상대비교를 위한 검정방법으로 정규성 검증 후 t-test를 사용하였다. 동일한 자율주행모드에 대해서 그룹간 비교를 하는 경우는 독립표본 t-test, 동일한 그룹 내에서 자율주행모드간 비교를 하는 경우는 대응표본 t-test를 수행하였다.

### 3. 설문지 분석

공격적운전모드와 조심운전모드 두 가지를 경험하고, 수용성 측면에서의 만족도를 설문조사하였다. 만족도에 대한 척도는 -5점부터 5점까지로 평가하도록 하였으며, 총 여섯문항으로 구성되어 있다. 여섯문항에 대한 점수 총합(-30점 ~ 30점)으로 평소 운전이 공격적인 그룹(Table 4, A그룹)과 방어적인 그룹(Table 4, B그룹)으로 분류하여 비교분석을 하였다. 그 결과 P value는 0.95, 0.84로 두 그룹은 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다. 따라서 본인이 인지하고 있는 운전습관과 수용성 측면에서 선호하는 자율주행 성향과의 영향관계는 없는 것으로 나타났다.

<Table 4> Preference comparison result between groups by autonomous driving behavior

Driving behavior	Group	Mean	Std.dev	t value	P value
Aggressive	A	-11.22	13.01	-0.06	0.95
	B	-10.89	9.56		
Cautious	A	1.79	14.62	0.20	0.84
	B	0.69	12.92		

또한 각각의 그룹 내에서 자율주행모드에 따른 만족도의 차이가 있는지를 통계적으로 분석하였다. 그 결과 두 그룹 모두 조심운전모드에 더 만족하는 것으로 평가하였고, t-test결과 A그룹은 P value가 0.042, B그룹은 0.033으로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 자율주행차 이용자는 본인의 운전습관에 관계없이 방어적인 운전을 수용성 측면에서 더 선호하는 것으로 도출되었다.

<Table 5> Preference comparison result between autonomous driving behavior by group

Group	Driving behavior	Mean	Std.dev	t value	P value
A	Aggressive	-11.22	13.007	-2.171	0.042
	Cautious	1.79	14.619		
B	Aggressive	-10.89	9.558	-2.284	0.033
	Cautious	0.69	12.925		

#### 4. 실험 생체계측 데이터 분석

주관적으로 평가한 설문조사 외 생체계측 데이터를 통해 선호하는 자율주행 성향에 대해 객관적으로 평가하고자 하였다.

뇌파는 불안 또는 스트레스 상황에서 활성화되는  $\beta$ 파를 비교분석하였으며, 전체 발생하는 뇌파 중에  $\beta$ 파가 차지하는 비율을 0부터 1까지로 산정하여 분석하였다. 분석결과 설문조사와 동일하게 공격적운전모드와 조심운전모드에서 모두 그룹간의 차이는 유의미하게 나타나지 않았다.

<Table 6> EEG( $\beta$ ) comparison result between groups by autonomous driving behavior

Driving behavior	Group	Mean	Std.dev	t value	P value
Aggressive	A	0.1793	0.0619	-1.289	0.209
	B	0.2197	0.0982		
Cautious	A	0.2172	0.0624	-1.274	0.214
	B	0.2783	0.1676		

또한 그룹 내에서 자율주행 성향에 따른  $\beta$ 파 강도의 차이가 발생하는지 살펴본 결과 95% 신뢰수준에서는 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다. 본인의 운전습관을 공격적으로 인지하고 있는 그룹(Table 7, A그룹)의 경우 90% 신뢰수준에서는 차이가 있는 것으로 나타났는데 자율주행차가 방어적으로 운전할 때  $\beta$ 파가 더 높게 나타났다. 이는 공격적 성향을 가진 운전자가 방어적인 주행을 하는 자율주행차를 이용할 때 너무 많은 양보로 인해 답답함을 느낀 것으로 판단된다. 따라서 공격적인 운전성향을 가진 사람의 경우 수용성 측면에서는 방어적인 주행을 선호하지만 방어적인 주행행태가 답답함을 야기할 수 있는 것으로 나타났다.

<Table 7> EEG( $\beta$ ) comparison result between autonomous driving behavior by group

Group	Driving behavior	Mean	Std.dev	t value	P value
A	Aggressive	0.1793	0.0619	-1.887	0.082
	Cautious	0.2172	0.0624		
B	Aggressive	0.2197	0.0982	-0.996	0.339
	Cautious	0.2783	0.1676		

근전도의 경우 팔과 다리에 감지센서를 부착하여 측정을 하였는데 다리 센서의 경우 감속 페달을 밟는 행위를 관측하기 위해 부착하였다. 다리에 부착된 근전도를 비교분석한 결과 두 자율주행성향 모두 그룹간의 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났다.

<Table 8> Electromyography (leg) comparison result between groups by autonomous driving behavior

Driving behavior	Group	Mean	Std.dev	t value	P value
Aggressive	A	3.44	1.582	-0.403	0.691
	B	3.70	1.702		
Cautious	A	3.67	1.727	1.369	0.184
	B	2.89	1.009		

그룹 내에서 자율주행성향에 따른 근전도를 비교한 결과 본인의 운전습관을 공격적으로 인지하고 있는 그룹(Table 9, A그룹)의 경우 자율주행성향에 따른 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 본인의 운전습관을 방어적으로 인지하고 있는 그룹(Table 9, B그룹)의 경우 공격적인 자율주행성향에서는 감속페달을 평균 3.7회, 방어적인 자율주행성향에서는 평균 2.89회 조작하였고, 이는 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 방어적인 운전습관을 가지고 있는 이용자들은 자율주행차가 공격적으로 주행할 때 더 큰 불안감을 느끼는 것으로 도출되었다.

<Table 9> Electromyography (leg) comparison result between autonomous driving behavior by group

Group	Driving behavior	Mean	Std.dev	t value	P value
A	Aggressive	3.44	1.582	-0.428	0.676
	Cautious	3.67	1.727		
B	Aggressive	3.70	1.702	2.205	0.050
	Cautious	2.89	1.009		

팔에 부착된 근전도의 경우 자율주행차량 탑승 중 불안감으로 인해 스티어링 휠을 잡거나 조작하는 행위를 관측하기 위해 측정하였다. <Table 10>처럼 공격적운전모드와 조심운전모드에서 그룹간의 차이를 비교분석한 결과 앞선 결과들과 마찬가지로 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났다.

<Table 10> Electromyography (arm) comparison result between groups by autonomous driving behavior

Driving behavior	Group	Mean	Std.dev	t value	P value
Aggressive	A	3.73	1.769	1.362	0.186
	B	2.91	1.150		
Cautious	A	3.45	3.06	1.212	0.238
	B	2.36	0.577		

각 그룹 내에서 두 자율주행모드 경험시 측정된 근전도를 비교한 결과 P value는 각각 0.619, 0.088로 95% 신뢰수준에서는 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 스스로 방어적인 운전 습관을 가지고 있다고 인지한 그룹(Table 11, B그룹)의 경우 90% 신뢰수준에서는 유의미한 차이를 보였으며, 공격적운전모드에서 평균 2.91회, 조심운전모드에서 평균 2.36회 스티어링 휠을 조향하여 공격적운전모드에서 더 불안감을 느낀 것으로 분석되었다. 따라서 팔의 근전도 분석결과 공격적인 운전성향을 가진 사람보다 방어적인 운전성향을 가진 사람이 더 민감하게 반응하고, 방어적인 자율주행을 더 편안하게 느낀 것으로 나타났다.

<Table 11> Electromyography (arm) comparison result between autonomous driving behavior by group

Group	Driving behavior	Mean	Std.dev	t value	P value
A	Aggressive	3.73	1.7694	0.510	0.619
	Cautious	3.45	3.0612		
B	Aggressive	2.91	1.150	1.870	0.088
	Cautious	2.36	0.577		

심박수는 스트레스 및 불안감을 느낄 때 교감신경으로 인해 증가하는 것으로 잘 알려져 있다. 따라서 자율주행차량의 운전 성향에 따라 이용자가 어떻게 느끼는지를 심박수를 통해 분석하고자 하였다. <Table 12>는 동일한 자율주행모드에서 그룹간의 심박수를 비교한 것이다. 그 결과 그룹간 심박수의 차이는 없는 것으로 나타났다.

<Table 12> Heart rate comparison result between groups by autonomous driving behavior

Driving behavior	Group	Mean	Std.dev	t value	P value
Aggressive	A	75.56	8.888	0.591	0.560
	B	73.46	9.589		
Cautious	A	74.85	8.304	0.526	0.603
	B	73.05	9.470		

<Table 13>처럼 그룹 내 자율주행모드간 심박수 비교분석에서도 유의미한 차이가 없는 것으로 도출되었다. 심박수의 경우 전체 실험시간 30분동안 1분 간격으로 값이 측정되어 기록되었다. 따라서 선호도에 대한 설명력을 가지기에는 한계가 있었던 것으로 판단된다.

<Table 13> Heart rate comparison result between autonomous driving behavior by group

Group	Driving behavior	Mean	Std.dev	t value	P value
A	Aggressive	75.56	8.888	0.665	0.518
	Cautious	74.85	8.304		
B	Aggressive	73.46	9.589	0.614	0.551
	Cautious	73.05	9.470		

## V. 결 론

### 1. 실험 결과 해석 및 의의

본 연구는 자율주행차 이용자가 어떠한 운전성향을 선호할 것인가에 대한 실험 분석을 수행하였다. 설문 을 통해 본인의 운전습관을 공격적으로 인지하고 있는 그룹과 방어적으로 인지하고 있는 그룹으로 분류하였 으며, 가상현실과 드라이빙 시뮬레이터를 통해 자율주행을 가상체험하게 한 후 설문과 생체데이터 분석을 수행하였다. 생체데이터는 심리적 요인을 추정할 수 있는 뇌파, 근전도, 심박수를 측정하여 분석하였다. 분석

방법으로는 각 측정항목 내에서 피실험자 그룹간 통계적으로 유의미한 차이가 있는지와 피실험자 그룹 내에서 설문결과와 생체데이터가 자율주행 운전성향에 따라 유의미한 차이가 있는지를 t-test를 통해 분석하였다.

분석 결과 설문조사와 생체데이터 모두 피실험자 그룹간 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났다. 피실험자 그룹 내에서 자율주행 운전성향에 따른 설문과 생체데이터 측정결과를 비교분석한 결과 일부 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 설문결과에서는 두 그룹 모두 방어적인 자율주행 운전성향을 선호하는 것으로 나타났으며, 뇌파의 경우 공격적인 그룹, 근전도의 경우 방어적인 그룹이 각각 방어적인 자율주행 운전성향을 선호하는 것으로 도출되었다. 이 결과는 향후 자율주행차량의 주행행태를 이용자 수용성 측면에서 평가하기 위한 방안 수립 시 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 연구 결과의 한계점 및 향후 과제

본 연구는 피실험자의 자율주행 가상체험을 드라이빙 시뮬레이터를 활용하여 수행하였다. 디스플레이를 3채널로 구성하고, 스티어링 휠이 차량 주행행태에 따라 자동으로 조작되는 등 실제 자율주행차를 이용 시와 유사한 환경을 제공하여 몰입도를 높이고자 하였다. 하지만 모션플랫폼이 없는 시뮬레이터이므로, 관성이나 가속도를 느낄 수 없고, 가상현실(VR)환경을 주시하며 주행한다는 점에서 실제차량 탑승의 느낌과는 차이가 상당히 있을 것으로 판단된다. 현재 VILS(Vehicle in the Loop System)와 같이 실차, 실도로 기반의 테스트 플랫폼을 활용할 수 있는 기술이 개발되어 있는 바, 향후 실차 기반의 자율주행차량 운전성향 선호도 평가를 수행한다면 보다 정확한 분석결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 자율주행 차량 이용자 관점에서의 선호도 평가를 하는 것이었다. 자율주행 차량 중심의 연구는 계속 다양하게 이뤄지고 있지만, 이용자 관점의 연구는 아직 많지 않고 이제 시작인 주제이다. 그래서 앞으로 다뤄야 할 다양한 연구주제가 존재한다. 탑승시 내부공간에 대한 부분이나 자율차량 군집 주행 시 다른 자율차량과의 차두간격 등 주행 행태에 따른 심리적 탑승 만족도 등이 있을 것이다. 앞으로도 꼭 필요하고 다양한 주제가 연구되기를 기대한다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 2023년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No.092021D75000000, AI 운전능력평가 표준화 및 평가 프로세스 개발)

## REFERENCES

- Basu, C., Yang, Q., Hungerman, D., Singhal, M. and Dragan, A. D.(2018), “Do You Want Your Autonomous Car To Drive Like You?”, *Proceeding of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*.
- Elbanhawi, M., Simic, M. and Jazar, R.(2015), “Improved Manoeuvring of Autonomous Passenger Vehicles: Simulations and Field Results”, *Journal of Vibration and Control*, vol. 23, no. 12, pp.1954-1983.

- Hwang, S. C.(2022), *Preference Assessments of Automated Driving Patterns Based on Driver's Propensity*, Doctoral Dissertation, University of Seoul.
- NASA(2011), *Evaluation of Electronic Formats of the NASA Task Load Index*.
- Oliveira, L., Proctor, K., Burns, C. G. and Birrell, S.(2019), "Driving Style: How Should an Automated Vehicle Behave?", *Article in Information 2019, MDPI*.
- Ryu, J. B. and Oh, J. S.(2022), "Development of Korea Version of Driving Behavior Scale", *Traffic Safety Research*, vol. 41, no. 1, pp.47-64.
- Ryu, J. B., Yang, M. H. and Park, S. H.(2021), "Development of the Scale and Model for the Trust and acceptance of Autonomous Vehicles", *Journal of Transport Research*, vol. 28, no. 3, pp.33-48.
- The Korea Transport Institute(2020), *A Study on Diverse Preference for Driving Behaviors of the Automated Vehicles and the Simulation Methodology for Its Impact on the Traffic*.
- Yusof, N. M., Karjanto, J., Terken, J. M. B., Delbressine, F. L. M., Hassan, M. Z. B. and Rauterberg, G. W. M.(2016), "The Exploration of Autonomous Vehicle Driving Styles: Preferred Longitudinal, Lateral, and Vertical Accelerations", *Proceedings of the 8th International Conference on Automotivie User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI'16)*, pp.245-252.