

# 가속도 기반 자율주행 패턴에 대한 이용자 만족도 평가 연구

## A Study on User Satisfaction Evaluation of Acceleration-Based Automated Driving Patterns

황 순 천\* · 이 동 민\*\*

\* 주저자 : 서울시립대학교 스마트시티학과 연구교수

\*\* 교신저자 : 서울시립대학교 교통공학과 & 스마트시티학과 교수

Sooncheon Hwang\* · Dongmin Lee\*\*

\* Research Professor, Dept. of Smart cities., Univ. of Seoul

\*\* Professor, Dept. of Transportation Eng & Smart cities., Univ. of Seoul

† Corresponding author : Dongmin Lee, dmlee@uos.ac.kr

Vol. 22 No.6(2023)  
December, 2023  
pp.284~298

pISSN 1738-0774  
eISSN 2384-1729  
<https://doi.org/10.12815/kits.2023.22.6.284>

Received 21 November 2023  
Revised 28 November 2023  
Accepted 4 December 2023

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

### 요 약

자율주행 기술이 빠르게 발전함에 따라 자율주행 기술을 직·간접적으로 체험할 수 있는 기회가 대중에게 제공되고 있지만, 이용자 관점에서 편안한 승차감을 기대할 수 있는 선호하는 자율주행 패턴에 대해서는 연구가 미비하다. 본 연구에서는 주행 시뮬레이터와 자율주행이 가능한 실험차를 활용하여 종·횡방향 가속도에 대한 이용자 측면 만족도 평가를 수행하였다. 주행 실험을 통하여 도출한 5가지 종·횡방향 가속도 값을 활용하여 자율주행 패턴을 가상환경 시뮬레이션으로 구현하였으며, 그 중 3가지 값에 대해서는 실차 기반 자율주행으로 구현하여 만족도 및 불안감 수준 평가실험을 추가 진행하였다. 연구 결과, 실험 참가자들은 종방향 가속도에 비하여 횡방향 가속도에 더 민감한 평가를 하였으며, 불안감 수준도 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 이용자 측면 자율주행 패턴 평가연구 필요성과, 시뮬레이터 기반 평가방법의 적정성을 제시하였다.

핵심어 : 주행 시뮬레이터, 자율주행, 가속도, 인적요인, 만족감

### ABSTRACT

With the rapid advances in automated driving technology, opportunities to experience automated driving directly or indirectly are being provided to the public. On the other hand, research on the preferred automated driving patterns from the user's perspective has not been conducted in Korea. This study used a driving simulator and an experimental vehicle capable of automated driving to evaluate the user satisfaction regarding longitudinal and lateral accelerations. Automated driving patterns were implemented in a virtual environment simulation using five values of longitudinal and lateral accelerations derived from driving experiments. Among these values, three were implemented through experimental vehicle-based automated driving to evaluate satisfaction and anxiety. The participants evaluated lateral acceleration more sensitively than longitudinal acceleration and showed higher levels of anxiety. Based on these results, the necessity of user-oriented evaluation research for automated driving patterns and the suitability of simulator-based evaluation methods were presented.

Key words : Driving simulator, Automated driving, Acceleration, Human factors, Satisfaction

## I. 서론

### 1. 연구 배경 및 목적

자율주행 기술이 빠르게 발전함에 따라 제한적인 환경 내에서 시범 운행되고 있는 자율주행차를 대중이 접할 수 있는 기회가 많아지고 있다. 이미 Cruise Control, LKAS(Lane Keeping Assistance System)와 같은 고도화된 ADAS(Advanced Driver Assistance Systems)가 탑재된 차량을 통하여 운전자들은 부분적인 자율주행 기술을 활용하며, 운전에 대한 부담을 더는 경험을 누리고 있다. 이와 같은 자율주행 관련 기술의 발전은 운전자들이 점차 운전 부하로부터 벗어나 탑승객으로써 차량 주행을 관찰하고, 의외하게 되는 새로운 패러다임이 전개되는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 이 과정에서 자율주행 기술을 통한 자율주행 패턴을 구현함에 있어 개별 이용자들의 만족도가 반영될 수 없으면 자율주행에 대한 대중의 활용성이 낮아지는 문제에 직면할 수 있다. 특히, 종·횡방향 가속도 행태는 개인마다 만족하는 수준이 다르며, 종·횡방향 가속도를 통한 자율주행 패턴이 본인 특성과 다를 경우 심리적 불안감이나 멀미 증상과 같은 신체적 불편함을 초래할 수 있어 정밀한 주행패턴 구현이 요구된다. 이에 자율주행을 이용하게 될 이용자 측면에서 만족하는 자율주행 패턴에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 이용자 관점에서 만족하는 자율주행 패턴을 종·횡방향 가속도 측면에서 평가하여 대중이 보편적으로 수용할 수 있는 가속도 수준을 추정하고, 종·횡방향 가속도에 대한 평가 결과가 어떤 차이를 보이는지 확인하는 연구를 수행하였다.

### 2. 연구의 범위 및 수행절차

이용자 측면에서의 종·횡방향 가속도 만족도 평가를 위하여 다음과 같이 연구 범위를 설정하였다. 본 연구에서는 가상환경 기반 주행 시뮬레이터와 실차 기반 자율주행이 가능한 실험차를 활용하였다. 해당 장비들에서 참가자들이 체험할 수 있는 자율주행 기술 수준은 핸들에 손을 대지 않고 일부 자율주행이 가능한 제한적인 SAE(Society of Automotive Engineers) Level 3 수준이었다(SAE, 2018). 참가자들이 직접 운전 조작을 하지 않는 상황에서 구현되는 자율주행을 최대한 현실감 있게 체험할 수 있는 환경을 구축하고자 핸들 조작이 필요없는 자율주행 기술 수준을 전제로 하였다. 자율주행 패턴을 구현하는데 영향을 미치는 다양한 요인 중 본 연구에서는 종·횡방향 가속도에 한정하여 만족도 평가를 수행하였다. 자율주행 과정에서 직접 운전 조작을 하지 않는 운전석에 탑승한 사람을 이용자로 정의하여, 이용자 관점에서 평가를 하도록 관련 실험을 수행하였다.

연구 결과 도출을 위하여 다음과 같이 연구가 수행되었다. 먼저, 자율주행 패턴의 종·횡방향 가속도 설정을 위하여 주행 시뮬레이터를 활용하여 실험 참가자들의 주행행태를 분석하는 주행 실험을 진행하였다. 주행행태 중 종·횡방향 가속도를 분석하여 일정한 기준에 따라 자율주행 패턴을 5가지로 유형화하였다. 유형화된 자율주행 패턴을 가상환경 시뮬레이션 개별 시나리오로 구현하여 임의의 도로 환경에서 설정된 다양한 종·횡방향 가속도에 따라 다른 주행패턴을 보이는 자율주행에 대하여 이용자 측면 만족도를 평가하는 실험을 진행하였다. 이렇게 도출된 결과 중 횡방향 가속도에 대한 평가 결과를 보완하고, 주행 시뮬레이터 기반 평가실험 방식의 적정성을 추정하기 위하여 실차 기반의 자율주행이 가능한 실험차를 활용하여 일부 참가자에 대한 실험을 추가로 진행하였다. 이와 같이 진행된 일련의 실험 과정을 통하여 도출된 결과를 토대로 결론 및 시사점을 도출하였다.

## II. 선행연구 고찰

### 1. 자율주행 만족도 평가 연구 사례

이용자 관점에서 만족하는 자율주행 패턴을 결정하기 위한 많은 연구가 진행되었다(Basu et al., 2017; Bellem et al., 2016; Dettmann et al., 2021; Hartwich et al., 2019; Lee et al., 2021; Wang et al., 2022). 자율주행 패턴을 정의하여 이용자 측면 평가연구를 수행하는 배경에는 차량 탑승 시 느끼는 편안함은 주로 주행행태 유형(Wang et al., 2022)에 영향을 받기 때문에 자율주행 차량 탑승 시에도 주행하는 패턴 유형에 따라 이용자 측면에서 편안함 수준이 다르다고 판단할 수 있기 때문이다. 주행행태 유형을 구분하는 요인으로는 종·횡방향 주행 움직임에 따른 가·감속도와 이에 기반한 주행속도 변화에 기인한다. 기존 연구에서 자율주행 패턴 유형은 크게 세 가지 개념으로 정의하였는데, 이 개념들은 기존 운전자 기반 주행행태 특징을 규정하는데 활용한 용어와 유사한 특징을 보이고 있다. 세 가지 유형으로는 공격적(aggressive 또는 dynamic, sporty)으로 분류되는 상대적으로 빠르게 주행하는 유형과 방어적(defensive 또는 conservative)으로 분류되는 느린 속도로 안전하게 주행하는 유형, 그리고 그 중간인 중도적(moderate) 유형으로 분류된다. 분류된 유형에 따라 자율주행 패턴을 구현하기 위하여 활용된 파라미터 값은 기존 주행행태 데이터를 분석하여 분포 내에서 일정한 기준에 맞춰 값을 적용하거나(Lee et al., 2021), 주행패턴 간 차이를 구분하기 위하여 임의로 파라미터 값 차이를 두거나(Hartwich et al., 2019), 선행 연구를 통하여 도출된 값을 활용하는 경우(Dettmann et al., 2021) 등으로 확인되었다.

구현된 자율주행 패턴을 평가하는 방법으로는 설문 기반의 정성평가가 주로 이루어지고 있다. 이 외 실차를 기반으로 자율주행 패턴을 평가하는 방법으로는 NASA-TLX 등 실제 승차감에 기반하여 평가를 할 수 있도록 설계된 기법을 활용하기도 한다(Lin et al., 2020; Stapel et al., 2019). 또한 정성평가 결과를 교차검증하기 위하여 실험 간 나타나는 참가자의 신체 변화를 측정하여 분석하는 방법도 활용되고 있다(Beggiato et al., 2019). 그 중에서도 동공 크기는 놀람, 불안감 등을 확인할 수 있는 지표로 알려져 있고, 상대적으로 쉽게 측정이 가능하여 많은 연구에서 활용되고 있는 것으로 알려졌다(Lee et al., 2022).

### 2. 종·횡방향 가속도 평가 사례

종·횡방향 가속도는 주행패턴 유형을 규정하는 요소로 많이 활용되었으며, 특히 승차감과 관련하여 사람들이 느끼는 편안함 수준의 가속도를 확인하기 위하여 많은 연구가 수행되었다(Van Arem et al., 2006; Askari et al., 2017; Deligianni et al., 2017). 기존 연구에서 제시된 결과를 참고하면 편안함을 느끼는 종방향 가속도는  $1\sim 2m/s^2$ 임을 확인할 수 있다. 또한, Bac(2020) 연구에 따르면 횡방향 주행상황에서 주의 운전을 하는 소극적 성향의 운전자들이 보이는 가속도 범위는  $0.9m/s^2$  이내이며, 일반운전자의 경우  $0.9\sim 3.0m/s^2$ , 공격적 운전자는  $3.0\sim 6.0m/s^2$ 의 행태를 보인다고 제시하였다. 종방향 주행에서는 일반운전자는 가속도  $0.9\sim 1.5m/s^2$ 에서 가속도 행태를 보이며, 공격적 운전자는  $1.5\sim 3.0m/s^2$ 의 가속도 행태를 보이는 것으로 제시하였다. 연구 결과를 종합하면 사람들이 체감하는 편안함은 횡방향 가속도가 종방향 가속도에 비하여 상대적으로 넓은 범위를 포함하고 있다. 선행 연구에서 도출된 결과를 토대로 본 연구에서 사용한 자율주행 종·횡방향 주행패턴 가속도 값의 적절성을 검토하였다.

### 3. 연구 차별점

선행연구 검토를 통하여 2010년대부터 자율주행 연구가 활발히 진행됨에 따라 이용자 관점에서 자율주행 기술을 평가하는 연구도 본격적으로 이루어진 것을 확인할 수 있었다. 해외에서는 자율주행 관련 인적요인 연구가 활발히 진행되고 있는 반면에, 국내에서는 아직 관련 연구가 미비하다는 점에서 본 연구 결과의 의의가 있다. 또한, 본 연구에서는 가상환경 기반 주행 시뮬레이터 장비를 활용하여 자율주행 관련 인적요인 연구 방법을 제시하고, 이와 같은 방법을 통하여 도출되는 결과의 신뢰성을 높이기 위하여 실차 기반 실험 결과와 비교분석하여 결과를 제시하였다는 점에서 차별점이 있다.

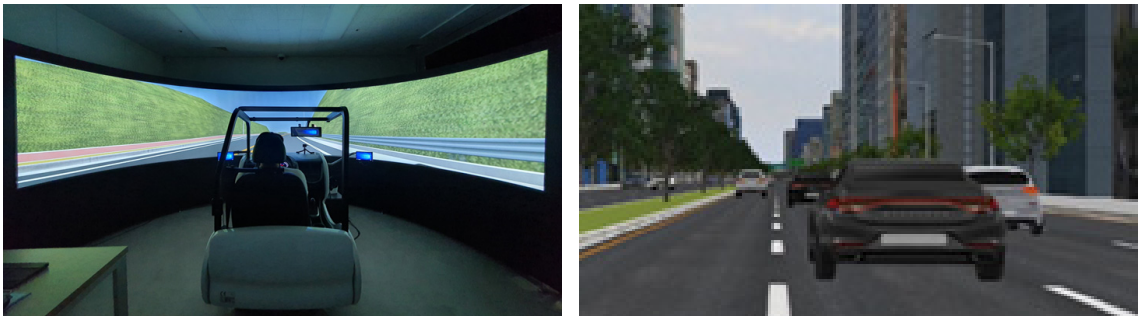
## III. 분석방법론

### 1. 실험 장비 및 환경

#### 1) 가상환경 기반 주행 시뮬레이터

본 연구에서 활용한 주행 시뮬레이터 장비는 서울시립대학교 VR 센터에서 운영하고 있는 것으로 <Fig. 1>과 같다. 해당 장비는 실제 차량 운전석을 구현한 차체와 주행 영상에 몰입할 수 있게 반돔 형태 스크린으로 구성되어 있다. 또한, 시뮬레이터 주변에 암막커튼을 설치하여 외부 빛이 완벽히 차단되도록 설계되었다. 참가자들로 하여금 주행 환경에 최대한 몰입할 수 있게 환경을 구현한 것이 해당 장비의 주요 특징이다.

해당 장비를 구동시키는 소프트웨어 프로그램으로는 도로 주행환경 구현이 가능한 UC-winRoad(ver. 14.0)를 활용하였다. 해당 프로그램은 주행 시뮬레이터와 연동되어 속도, 조향각, 차로편측위치 등 여러 주행 데이터가 실시간으로 수집된다. 또한, 속도, 가·감속도 등을 설정하여 자율주행 기능을 구현하는 것도 가능하다는 장점이 있다.



<Fig. 1> Driving Simulator with UC-winRoad program

#### 2) 실차 기반 자율주행차

실차 기반 자율주행차는 한국건설기술연구원에서 보유하고 있는 <Fig. 2>에서 제시된 실험용으로 개조된 아반떼 모델 차량을 활용하였다. 해당 장비는 사전에 정의된 way-point 기반 주행 경로에 따라 핸들 조작 없이 일정한 속도로 자율주행이 가능하여 SAE Level 3 수준의 자율주행 구현이 가능하다. 사전에 기록된 경로와 주행속도 값을 설정하면 반복적으로 동일한 주행을 할 수 있다는 장점이 있다. 본 실험 연구에서는 참가

자들의 안전을 고려하고, 돌발상황에 대비하기 위하여 주행속도를 30km/h로 설정하여 실험을 진행하였다. 실험은 한국건설기술연구원에서 운영하는 연천SOC실증실험센터에서 진행하였다. 해당 실험장은 도로주행 실증 실험이 가능하도록 전용 도로 환경이 구축되어 있어 실차 기반 실험을 수행하는데 적절한 환경을 갖추고 있다. 본 연구에서는 500m 이상 주행이 가능한 직선도로 구간에서 실험을 진행하였다.



<Fig. 2> Driving Simulator with UC-winRoad program

## 2. 실험 참가자 구성 및 실험진행 방법

본 연구에 참여한 전체 참가자는 총 36명이었다. <Table 1> 내용에서와 같이 실험에 참가한 참가자들의 연령대는 20대에서 50대로 구성되었으며, 상대적으로 20대와 30대 구성 비율이 높았다. 성별로 보면 남성이 전체 대비 약 75%로 여성에 비하여 많은 참가자 구성이 이루어졌다. 이 중 5명의 참가자가 추가로 실차 기반 자율주행 실험에 참여하였다. 추가 실험에 참가한 5명 중 20대가 4명, 30대가 1명이었으며, 성별로는 남성 4명, 여성 1명으로 구성되었다. 실험 참가자들에게 자율주행 상황을 모사한 시뮬레이터 실험과 실차 기반 실험이 이루어진다는 내용 및 이와 관련하여 개인 평가와 생체 데이터가 수집되는 점을 사전에 고지하였으며, 이에 대하여 참가자들이 동의한 후 본 실험을 진행하였다.

<Table 1> Composition of participants

Age	20's	30's	40's	50's	Total
Male	9	8	5	5	27
Female	2	3	2	2	9
Total	11	11	7	7	36

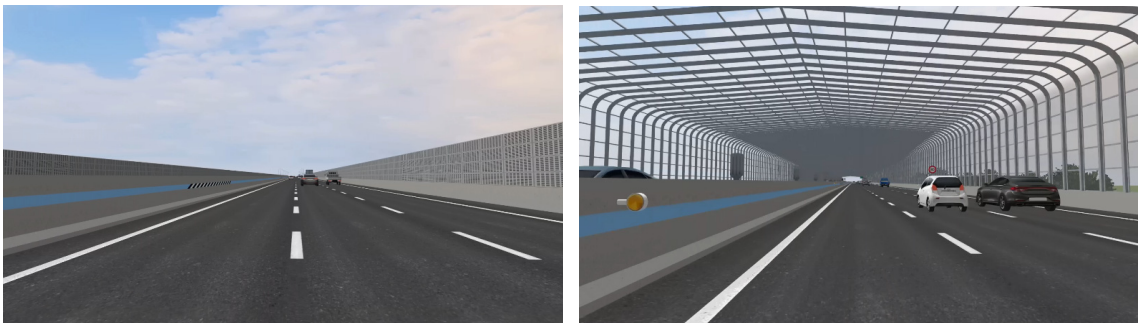
본 실험 연구는 총 3단계로 진행되었다. 먼저 1단계에서는 자율주행 패턴 구현에 필요한 파라미터 값을 도출하기 위하여 참가자들을 대상으로 직접 운전을 하는 주행 시뮬레이터 기반 주행 실험을 진행하였다. 해당 실험에서 도출된 중·횡방향 가속도 값을 활용하여 5가지 자율주행 패턴을 구현하는 파라미터 값으로 활용하였다. 2단계에서는 1단계 실험에 참가했던 동일한 참가자들이 1단계 실험을 통하여 구현된 5가지 자율주행 패턴에 대하여 1단계 실험과 동일한 도로환경에서 이용자 측면 만족도 평가 실험을 진행하였다. 2단계 실험은 1단계 실험과 3주의 간격을 두고 진행을 하여 참가자들이 직접 운전했던 도로 환경에 익숙한 경험을 최소화하고자 하였다. 마지막으로 3단계에서는 2단계 시뮬레이터 기반 자율주행 패턴 평가 결과를 일부 보완하고, 검증하기 위하여 횡방향 가속도에 기반한 자율주행 실차로 구현되는 차로변경 행태에 대한 만족도 및 불안감 평가실험을 추가적으로 진행하였다. 전체 참가자 중 5명을 대상으로 실험이 진행되었다. 각기 다

른 횡방향 가속도에 따라 차로변경 행태를 보이는 상황에 대하여 이용자 측면에서 만족도와 불안감을 평가하고, 시각행태 중 동공크기 변화를 측정하여 불안감 수준 평가 결과와 비교분석하였다.

### 3. 실험 내용

#### 1) 가상환경 시뮬레이션 도로환경 구현

UC-winRoad 프로그램을 활용하여 <Fig. 3>과 같이 5km 구간의 3차로 도시부 고속도로 환경을 구현하였다. 이는 참가자가 시뮬레이터 실험으로 인하여 느낄 수 있는 불편감을 최소화하고 몰입할 수 있는 소요시간을 고려하여 30분 내외로 실험이 진행되도록 하기 위함이었다. 구현된 도로환경에 속도 70~85kph, 차간간격 60~160m로 주행하는 임의 교통량을 배정하였으며, 참가자로 하여금 직접 운전을 하면서 자연스럽게 가속과 차로변경을 하도록 설계하였다. 이렇게 구현된 도로환경에서 실험 참가자들은 1단계 실험에서 최대한 본인 평소 운전습관에 맞춰 운전을 하는 주행 실험을 수행하였다. 해당 가상환경 도로에서 참가자들은 1단계 실험을 통하여 주행 실험을 수행하였고, 2단계에서는 종·횡방향 가속도에 대한 자율주행 만족도 평가를 수행하였다.



<Fig. 3> Driving Simulator with UC-winRoad program

#### 2) 가상환경 시뮬레이션 자율주행 시나리오 구현

1단계 시뮬레이터 기반 주행 실험을 통하여 도출된 전체 참가자들의 종·횡방향 가속도 주행행태 특성을 토대로 5가지 자율주행 패턴을 다음과 같이 정의하였다. 전체 참가자의 종·횡방향 가속도 데이터 분포에서 최솟값, 15 백분위수, 평균값, 85 백분위수, 최댓값을 각각 5가지 자율주행 패턴을 구현하는 파라미터 값으로 활용하였다. 이와 같은 방식은 Lee et al.(2021) 연구에서 활용되었던 방식으로 해당 연구에서는 일정 규모의 운전자가 주행 시뮬레이터 실험을 통해 보인 주행행태 특성 분포가 이용자 측면에서 수용할 수 있는 자율주행 특성 분포와 유사할 것이라는 점을 전제로 백분위수를 보수적 및 공격적 주행 특성의 정의 값으로 활용하였다. 이는 도출된 참가자들의 주행행태가 실제 운전행태를 반영한다는 점을 전제로 하였기 때문이다. 본 연구에서도 이와 같은 기준 정의를 활용하여 백분위수와 평균값을 기준으로 가속도 행태 특성을 정의하고, 가장 극단적인 행태를 보인 특성(최솟값, 최댓값)값까지 활용하여 총 5가지 자율주행 가속도 행태 특성을 규정하였다.

먼저, 종방향 가속도의 경우 1단계 실험을 통하여 도출된 최솟값은 <Table 2> 내용과 같이  $0.1m/s^2$ , 15 백분위수  $0.53m/s^2$ , 평균값  $0.99m/s^2$ , 85 백분위수  $1.55m/s^2$ , 최댓값  $1.84m/s^2$  였다. 이를 자율주행 패턴으로

구현하는 과정에서 각각  $0.1m/s^2$ ,  $0.5m/s^2$ ,  $1.0m/s^2$ ,  $1.5m/s^2$ ,  $2.0m/s^2$ 로 보정하여 설정하였다. 이는 이용자 측면에서 5가지 자율주행 패턴을 평가함에 있어 일정한 차이를 체감하고 평가할 수 있게 하기 위함이었다. 횡방향 가속도의 경우 도출된 특성 값이  $1.49m/s^2$ ,  $1.99m/s^2$ ,  $2.90m/s^2$ ,  $4.10m/s^2$ ,  $4.91m/s^2$  순이었으며, 이를 같은 방식으로 보정하여  $1.0m/s^2$ ,  $2.0m/s^2$ ,  $3.0m/s^2$ ,  $4.0m/s^2$ , 그리고  $5.0m/s^2$ 를 자율주행 패턴 파라미터 값으로 활용하였다. 이와 같이 도출된 종·횡방향 가속도 값은 앞서 살펴본 선행연구에서 제시된 값들과 배치되지 않는 것으로 확인되어 해당 값들을 활용하여 5가지 자율주행 패턴을 시나리오로 구현하였다.

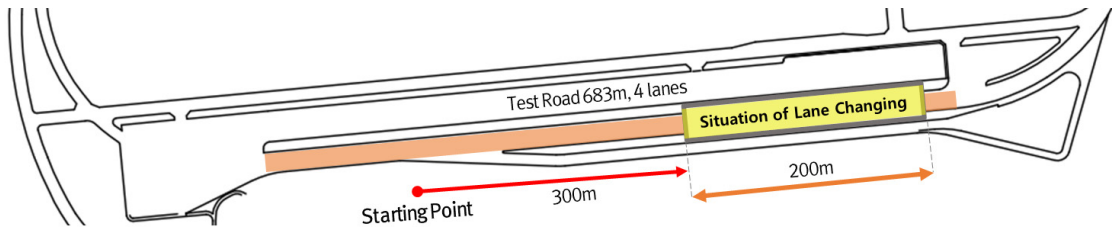
<Table 2> Acceleration setting values for automated driving pattern implementation

Scenarios	Longitudinal Acceleration ( $m/s^2$ )		Lateral Acceleration ( $m/s^2$ )	
	Derived driving behaviors	Setting A.V pattern value	Derived driving behaviors	Setting A.V pattern value
Scce. 1	0.10	0.1	1.49	1.00
Scce. 2	0.53	0.5	1.99	2.00
Scce. 3	0.99	1.0	2.90	3.00
Scce. 4	1.55	1.5	4.10	4.00
Scce. 5	1.84	2.0	4.91	5.00

\*A.V: Automated Vehicle

### 3) 실차 기반 자율주행 시나리오 구현

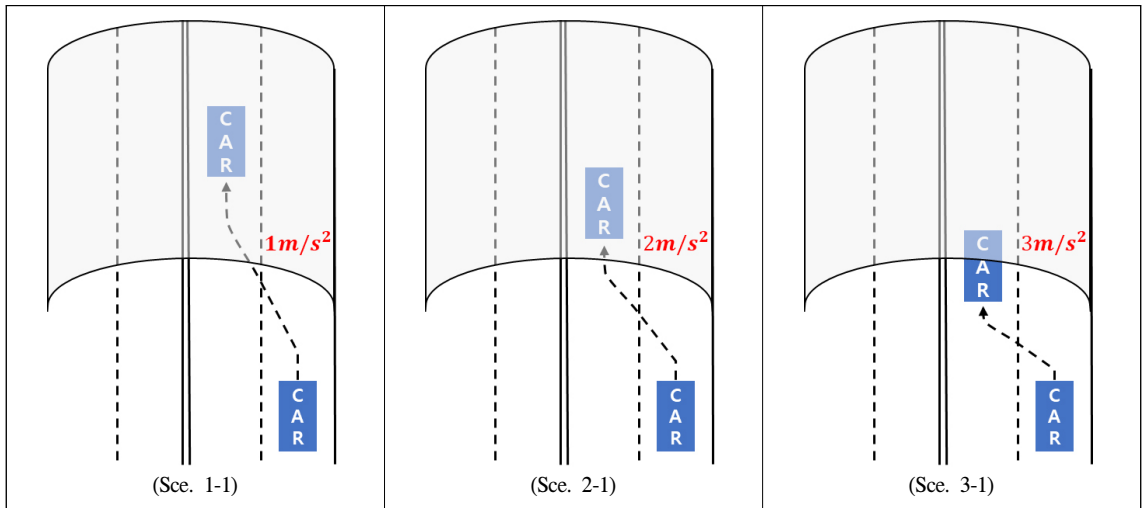
3단계 이용자 측면 실차 기반 횡방향 가속도 만족도 평가를 위하여 <Fig. 4>에 제시되어 있는 것과 같이 연천SOC실증시험센터에 있는 직선도로 구간 683m 중 일부 구간을 활용하였다. 차로변경에 앞서 이용자가 충분히 자율주행 상황을 인지할 수 있도록 300m 직선구간을 실험차가 주행하도록 설정하였으며, 이 후 이벤트 발생 구간에서 각 시나리오별로 설정된 횡방향 가속도에 맞춰 차로변경이 이루어지도록 설정하였다. 설정된 시나리오는 <Table 3> 내용과 같이 총 3개 시나리오(Scce. 1-1, 2-1, 3-1)로 설계하였으며, 각 시나리오별로 설정된 횡방향 가속도는 <Table 2>에 제시된 Scce. 1~3 시나리오별 설정 값과 동일한 수준으로 설계하였다.  $4m/s^2$  이상의 횡방향 가속도를 실차 실험에 반영하지 못한 것은 실험 차가 해당 파라미터로 차로변경 행태를 구현하는데 물리적 한계가 있어 제외하였다. 실차 기반 실험 시나리오별 차로변경 행태는 <Fig. 5>과 같은 방식으로 설정하였다.



<Fig. 4> Experimental driving course based on the real car

<Table 3> Setting values of automated driving patterns in lane changing scenarios

Scenarios	Setting Lateral Acceleration ( $m/s^2$ )
Sc. 1-1	1.00
Sc. 2-1	2.00
Sc. 3-1	3.00



<Fig. 5> Features of automated driving patterns in lane changing scenarios

#### 4. 이용자 측면 자율주행 만족도 평가 방법

본 실험에서 활용한 이용자 측면 자율주행 패턴 평가 방법은 다음과 같다. 2단계 시뮬레이터 기반 자율주행 패턴 평가는 매 시나리오별 자율주행 상황에서 나타나는 종·횡방향 가속도에 대하여 실험 참가자가 느낀 만족감 수준을 5점 만점 척도로 평가하도록 하였다. 시나리오는 참가자별로 임의 순서로 진행하였으며, 매 시나리오 종료 후 만족도를 평가하는 방식으로 진행하였다. 만족도에 대한 평가는 참가자에게 시나리오 종료 후 해당 시나리오에서 나타난 자율주행 가속도 수준에 대하여 귀하께서 느끼신 바를 5점 척도로 평가하도록 하여 참가자가 응답한 평가 결과를 기록하는 방식으로 진행되었다. 같은 방식으로 3단계 실차 기반 자율주행 차로변경 상황에서도 실험 참가자들이 느낀 만족감 수준을 5점 척도로 평가하였다. 이와 더불어 실차 기반 평가에서는 불안감 수준을 5점 만점 척도로 평가하도록 하였으며, 평가 결과를 실험 간 측정된 동공 크기와 비교분석하였다.

참가자들의 만족도 평가를 보완하기 위하여 실험 간 나타나는 참가자들의 동공크기 변화를 측정하였다. 운전 중 작업부하가 증가하거나, 불안감이 증가하는 상황에서 운전자의 동공이 크게 변하는 것으로 알려져 있다(Alneas et al., 2014; Klingner et al., 2011). 이에 본 연구에서는 동공크기 변화를 측정하여 분석에 활용하였으며, 동공크기 측정은 <Fig. 6>에 제시되어 있는 Tobii pro glasses 3 장비를 활용하였다. 해당 장비는 1/1000초 간격으로 실시간 시각행태를 측정할 수 있는 장비로 안경 형태로 제작되어 착용이 쉬우며, 별도 렌즈 액세서리를 통하여 저시력자들도 착용 가능한 장점이 있다.





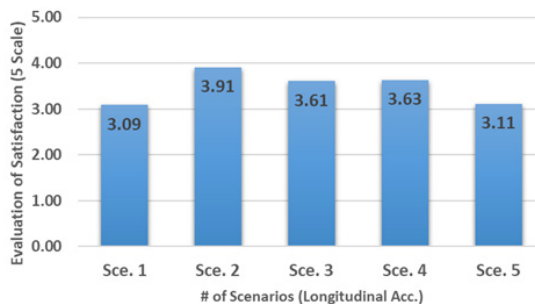
<Fig. 6> Visual Behavior Measurement Equipment - Tobii pro glasses 3

## IV. 분석 결과

### 1. 시뮬레이터 기반 자율주행 패턴 만족도 평가 결과

#### 1) 종방향 가속도 평가

도시부 고속도로를 주행하는 5가지 유형의 자율주행에 대하여 참가자들은 다음 <Fig. 7>과 같이 개별 종방향 가속도 주행행태에 대한 만족도 수준을 나타냈다. 참가자들은 구현된 종방향 가속도 기반 자율주행 패턴 중 두 번째로 낮은  $0.5m/s^2$  (Scce. 2)에 대하여 3.97점의 상대적으로 가장 높은 만족도를 보였다. 다음으로  $1.5m/s^2$  (Scce. 4),  $1.0m/s^2$  (Scce. 3) 순으로 높은 만족도 평가가 이루어졌으나 큰 차이가 나타나지는 않았다. 마지막으로 가장 빠른 종방향 가속도( $2.0m/s^2$ , Scce. 5)와 가장 낮은 종방향 가속도( $0.1m/s^2$ , Scce. 1)에 대하여 상대적으로 낮은 만족도 평가 결과가 나타났다. 평가 결과를 세부적으로 살펴보면 <Table 4>와 같으며, Scce. 2 ~ Scce. 4에 대하여 참가자의 50% 이상이 4점 이상의 높은 만족도를 보인 것으로 나타났다. 반면에, Scce. 1과 Scce. 5에 대해서는 4점 이상의 높은 만족도와 2점 이하의 낮은 만족도를 보인 참가자 비율이 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 이를 토대로 사람들은  $0.5 \sim 1.5 m/s^2$  사이의 종방향 가속도에 대하여 상대적으로 높은 만족도를 보이는 반면, 상대적으로 가장 빠르고, 느린 종방향 가속도 행태에 대해서는 좋고, 싫음이 개인에 따라 확연히 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.



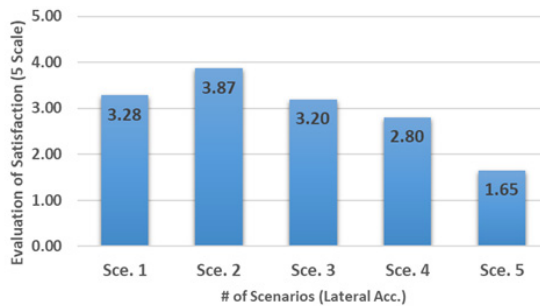
<Fig. 7> User satisfaction evaluation results for longitudinal acceleration of A.V based on a simulator

<Table 4> Detailed user satisfaction evaluation results for longitudinal acceleration of A.V based on a simulator (participants, %, scales)

Categories	# of respondents					Statistical Analysis Results	
	1 point	2 point	3 point	4 point	5 point	Average	S. D
Sc. 1	5 (13.9%)	10 (27.8%)	7 (19.4%)	5 (13.9%)	9 (25.0%)	3.09	1.33
Sc. 2	0	5 (13.9%)	6 (16.7%)	10 (27.8%)	15 (41.7%)	3.91	1.05
Sc. 3	1 (2.8%)	5 (13.9%)	9 (25.0%)	13 (36.1%)	8 (22.2%)	3.61	1.00
Sc. 4	1 (2.8%)	6 (16.7%)	6 (16.7%)	14 (38.9%)	9 (25.0%)	3.63	1.10
Sc. 5	8 (22.2%)	7 (19.4%)	3 (8.3%)	11 (30.6%)	7 (19.4%)	3.11	1.45

2) 횡방향 가속도 평가

5가지 횡방향 가속도 기반 자율주행 패턴에 대하여 다음 <Fig. 8>과 같이 이용자 측면 만족도 평가 결과가 도출되었다. 참가자들은  $2.0m/s^2$  (Sc. 2)의 횡방향 가속도에 대하여 3.87점으로 상대적으로 가장 높은 만족도를 보였다. 다음으로  $1.0m/s^2$ (Sc. 1),  $3.0m/s^2$ (Sc. 3) 순으로 높은 만족도 평가가 이루어졌다. 횡방향 가속도에 대해서는  $2.0m/s^2$  이후 가속도가 높아질수록 만족도 평가가 낮아지는 경향이 나타났으며, 특히  $5.0m/s^2$ (Sc. 5)에 대해서는 평균 1.65점의 상대적으로 낮은 만족도 평가 결과가 도출되었다. <Table 5>는 자율주행 횡방향 가속도 만족도 평가 결과를 세부적으로 정리한 것으로, Sc. 2에 대하여 참가자의 약 70% 이상이 4점 이상의 높은 만족도를 보인 것으로 나타났다. 반면에, 상대적으로 빠른 가속도 행태를 보이는 Sc. 4와 Sc. 5에 대해서는 낮은 만족도를 보였으며, 특히 Sc. 5에 대해서는 약 86%의 참가자가 2점 이하의 낮은 만족도를 보이는 것을 확인할 수 있었다.



<Fig. 8> User satisfaction evaluation results for lateral acceleration of A.V based on a simulator

<Table 5> Detailed user satisfaction evaluation results for lateral acceleration of A.V based on a simulator (participants, %, scales)

Categories	# of respondents					Statistical Analysis Results	
	1 point	2 point	3 point	4 point	5 point	Average	S. D
Sc. 1	7 (19.4%)	5 (13.9%)	8 (22.2%)	7 (19.4%)	9 (25.0%)	3.28	1.38
Sc. 2	0	6 (16.7%)	4 (11.1%)	14 (38.9%)	12 (33.3%)	3.87	1.00
Sc. 3	3 (8.3%)	8 (22.2%)	11 (30.6%)	10 (27.8%)	4 (11.1%)	3.20	1.11
Sc. 4	5 (13.9%)	13 (36.1%)	6 (16.7%)	10 (27.8%)	2 (5.6%)	2.80	1.15
Sc. 5	22 (61.1%)	9 (25.0%)	2 (5.6%)	3 (8.3%)	0	1.65	0.90

## 2. 실차 기반 자율주행 패턴 만족도 평가 결과

### 1) 차로변경 행태에 대한 만족도 평가 결과

전체 실험 참가자 중 5명에 대하여 실차 기반 자율주행 차로변경 행태에 대한 추가적인 평가 실험을 진행한 결과, 다음 <Table 6>과 같은 결과가 도출되었다. 횡방향 가속도  $1.0m/s^2$ 로 차로변경 하는 상황에서는 가상환경 시뮬레이션 기반 평가 결과(Sec. 1)와 실차 기반 평가(Sec. 1-1) 모두에서 유사한 만족도 평가가 도출되는 것을 확인할 수 있었다. 반면, 횡방향 가속도  $2.0m/s^2$ 로 차로변경하는 상황에서는 2명의 참가자(#2, #4)가 시뮬레이션 평가(Sec. 2)와 실차 평가(Sec. 2-1) 결과에서 차이를 보였다. 해당되는 참가자 2명은 상대적으로 빠른 가속도( $3.0m/s^2$ )로 차로변경하는 상황(Sec. 3, Sec. 3-1)에서도 낮은 만족도 평가를 나타냈다. 이들은 횡방향 가속도에 대하여 상대적으로 느린 행태로 주행하는 것에 만족하며, 빠른 가속 행태에 대하여 낮은 만족도를 보인 경우로 실차 기반 평가에서 더 민감하게 만족도 평가가 이루어진 것을 확인할 수 있었다.

<Table 6> Comparison of satisfaction levels in regard to lateral acceleration

(5 scales)

Participants	Scenarios					
	Sec. 1	Sec. 1-1	Sec. 2	Sec. 2-1	Sec. 3	Sec. 3-1
#1	4	4	4	4	4	4
#2	5	5	5	3	1	2
#3	4	4	4	4	4	4
#4	4	4	5	3	3	3
#5	4	5	5	5	3	3

### 2) 차로변경 행태에 대한 시각행태 분석 결과

실차 기반 자율주행 차로변경 행태에 대하여 불안감을 평가한 결과 <Table 7>과 같은 결과가 도출되었다. 참가자 5명 중 3명(#1, #3, #5)은 횡방향 가속도가  $1.0 \sim 3.0m/s^2$ 인 상황 모두에서 상대적으로 낮은 불안감을 표출하였다. 이 중 2명(#3, #5)은 차로변경 상황에서 나타나는 동공크기 변화에 있어서도 시나리오 간 특별한 차이가 나타나지 않았다. #4 참가자의 경우 가속도  $3.0m/s^2$ (Sec. 3-1)에서 상대적으로 높은 불안감을

<Table 7> Measurement results of user anxiety levels and pupil size changes in lane-changing situations

Participants	Scenarios								
	Sec. 1-1			Sec. 2-1			Sec. 3-1		
	Anxiety (5 scales)	Pupil Diameter (mm)		Anxiety (5 scales)	Pupil Diameter (mm)		Anxiety (5 scales)	Pupil Diameter (mm)	
		Lane changing	Straight Driving		Lane changing	Straight Driving		Lane changing	Straight Driving
#1	1	4.53	3.09	1	4.52	3.06	1	4.80	3.23
#2	1	5.09	3.48	4	5.20	3.41	5	5.41	3.43
#3	2	4.03	2.78	2	4.13	2.73	2	3.98	2.64
#4	2	5.10	3.62	2	5.07	3.56	3	5.23	3.57
#5	2	3.87	3.13	2	3.93	3.17	2	3.80	3.24

표출했으며, 해당 상황에서 동공크기 변화도 다른 시나리오에 비하여 더 높아지는 현상이 나타났다. 마지막으로 #2 참가자는 횡방향 가속도  $2.0m/s^2$  이상부터 상대적으로 높은 불안감을 표출하였으며, 높은 불안감을 표출하는 만큼 동공크기도 커지는 현상(불안감 4점, 동공크기  $5.2mm$  / 불안감 5점, 동공크기  $5.41mm$ )이 나타난 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 앞서 <Table 6>에 제시된 만족도 평가와 상반된 결과로 만족도와 불안감이 상반된 관계임을 확인할 수 있다.

### 3. 분석 결과에 따른 시사점

자율주행 패턴 중 구현할 수 있는 여러 중·횡방향 가속도에 대하여 실험 참가자들의 만족도를 평가한 결과 참가자들 개인 만족도에 따라 만족도 차이가 다양하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 참가자들의 주행 행태를 분석하여 도출된 유형 중 종방향 가속도의 경우 대체적으로 만족하는 범위가 상대적으로 넓게 분포하는 것을 확인할 수 있었다. 가속도  $0.5\sim 1.5m/s^2$ 에 대해서는 전체 참가자 중 약 85% 이상이 3점 이상의 만족도를 보여 다수의 사람들이 수용할 수 있는 종방향 가속도 범위를 확인할 수 있었다. 반면, 느린 가속도 ( $0.1m/s^2$ )와 빠른 가속도( $2.0m/s^2$ )에서는 4점 이상으로 높은 만족도를 보인 참가자들과 2점 이하 낮은 만족도를 보이는 참가자 수가 유사한 특징을 보였다. 이는 개인 만족도에 따라 상대적으로 안전하게 주행하는 자율주행 패턴을 만족하는 경우 빠르게 주행하는 자율주행 패턴에 불안감을 느낄 수 있으며, 반대의 경우 느리게 주행하는 자율주행 패턴에 대하여 답답함과 짜증을 느낄 수 있어 적절한 자율주행 패턴이 제공되지 않으면 낮은 수용성으로 이어질 수 있음을 시사한다.

하지만, 횡방향 가속도의 경우 이용자 측면에서 종방향 가속도에 비하여 더 민감하게 반응하는 것을 확인할 수 있었다. 횡방향 가속도가  $2.0m/s^2$ 인 상황(Sc. 2)에서는 상대적으로 전체 참가자 중 약 80% 이상이 3점 이상의 높은 만족도를 보여 다수 사람들에게 가장 만족도가 높은 횡방향 가속도인 것을 확인할 수 있었다. 횡방향 가속도  $1.0m/s^2$ (Sc. 1),  $3.0m/s^2$ (Sc. 3)에 대해서는 만족하는 참가자와 만족하지 않는 참가자 수치가 비슷한 경향을 보였으며,  $4.0m/s^2$ (Sc. 4) 이상부터는 만족하지 않는 수치가 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 자율주행 상황에서 횡방향 가속도에 대해서는 사람들이 더 민감하게 반응하여 평가하는 경향이 있음을 확인할 수 있었다.

또한, 불안감 수준에 따라 생체 변화 현상이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 참가자들 모두 도로 직선구간 주행 상황에서보다 차로변경하는 상황에서 동공크기가 커지는 현상이 나타났다. 이는 자율주행 차로변경 상황이 이용자 측면에서 상대적으로 불안감을 유발할 수 있는 만큼 개인 만족도에 부합하는 정밀한 자율주행 주행행태가 이용자들에게 제공될 필요가 있음을 시사한다. 개인 만족도에 영향을 미치는 인적요인은 사람마다 다르며, 특히 자율주행 주행행태에 대하여 민감하게 반응하는 사람들은 더 큰 불안감을 느낄 수 있는 만큼 개인 만족도에 기반한 자율주행 패턴이 이루어질 수 있도록 관련 인적요인 등에 대한 연구가 필요함을 확인할 수 있었다.

## V. 결 론

본 연구에서는 중·횡방향 자율주행 패턴 차이에 따른 이용자 측면 만족도를 평가하고, 횡방향 자율주행 패턴에 대하여 실차 기반 실험을 추가로 진행하여 횡방향 가속도 차이에 따른 실제 탑승감 차이를 만족감과 불안감 측면에서 평가하는 실험을 수행하였다. 이용자 측면에서 자율주행 패턴을 평가한 기존 연구사례와,

적절한 자율주행 패턴을 구현하기 위한 적정 종·횡방향 가속도 값을 확인할 수 있는 연구사례를 검토하였다. 이를 토대로 가상환경 시뮬레이터 기반 주행 실험을 통하여 도출되는 실험 참가자들의 종·횡방향 가속도 특성을 도출하여 5가지 자율주행 패턴으로 구현하였으며, 이 중 실차 기반 자율주행 구현이 가능한 3가지 횡방향 가속도 값에 대해서는 추가 실험을 통하여 시뮬레이터 기반 실험 결과와 상호 비교분석하였다. 시뮬레이터와 실차 기반으로 구현된 자율주행 패턴에 대하여 참가자들에게 만족감 수준을 5점 척도로 평가하도록 하였으며, 분석한 결과를 상호 비교하고, 실차 기반 실험에서 나타난 불안감 수준을 동공크기 변화와 같이 분석하여 실제 차로변경 상황에서 이용자가 얼마나 불안감을 느낄 수 있는지 분석하였다.

분석 결과, 이용자들은 주행 중 나타나는 종방향 가속도에 대해서는  $0.5\sim 1.5m/s^2$  내에서 상대적으로 높은 만족도를 보인 반면, 횡방향 가속도에 대해서는  $2.0m/s^2$  수준에 대해서만 높은 만족도를 보이는 것으로 나타났다. 이는 이용자 측면에서 종방향 가속도에 비하여 횡방향 가속도에 더 민감하게 반응하게 된다는 점을 의미한다. 또한, 실차 기반 차로변경 행태 평가 결과에서도 이용자들은 차로변경 상황에서 동공크기가 전반적으로 커지는 현상을 보였으며, 특히 빠른 횡방향 가속도에 불안감을 느끼는 이용자들은 상대적으로 더 큰 불안감을 느끼는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 시뮬레이터 기반 평가실험과 실차 기반 평가실험 간 분석 결과가 유사한 경향을 보이는 것으로 나타나 가상환경 기반으로 구현하는 자율주행 패턴 시뮬레이션으로 평가실험을 진행하는 것의 적정성도 확인할 수 있었다.

다만, 본 연구는 총 36명의 많지 않은 참가자를 대상으로 진행된 실험연구라는 점에서 관련 연구의 필요성을 제시하는 사전적 성격의 연구라는 한계가 있다. 또한, 5명이라는 제한된 인원에 한하여 실차 기반 평가 실험을 진행하였고, 시뮬레이터 실험과 실차 실험 간 주행속도에 차이가 있어 두 실험 결과를 상호 비교분석하는데 한계가 있었다. 사람을 대상으로 하는 실험을 진행하는데에는 물리적으로 많은 비용과 시간을 필요로 하는 만큼 관련 연구를 지속적으로 추진해갈 수 있는 여건을 마련한 후, 이를 토대로 지속적으로 표본 수를 추가적으로 확보해가는 것이 필요하다. 관련 심화연구를 통하여 이용자 측면에서 수용 가능한 가속도 등의 자율주행 주행행태 특성 파라미터 범위를 도출할 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 또한, 향후에는 가속도의 감속도, 차간거리 등 다양한 변수를 추가로 활용하여 자율주행 패턴을 유형화한다면 심도 깊은 연구 결과를 도출할 수 있을 것이다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 2021년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (No.092021C26S02000, Lv.4 자율협력주행 대응 교통객체 인지고도화 및 악조건 해소기술 개발).

This work was supported by the Korea Institute of Police Technology grant funded by the Korea Government(KNPA) (No.092021C26S02000, Development of Transportation Safety Infrastructure Technology for Lv.4 Connected Autonomous Driving).

## REFERENCES

Alnæs, D., Sneve, M. H., Espeseth, T., Endestad, T., Van de Pavert, S. H. P. and Laeng, B.(2014), "Pupil size signals mental effort deployed during multiple object tracking and predicts brain

- activity in the dorsal attention network and the locus coeruleus”, *Journal of Vision*, vol. 14, no. 4, pp.1-1.
- Askari, A., Farias, D. A., Kurzhanskiy, A. A. and Varaiya, P.(2017), “Effect of adaptive and cooperative adaptive cruise control on throughput of signalized arterials”, *2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium(IV)*, IEEE, pp.1287-1292.
- Bae, I.(2020), *An Occupant’s Preference-aware Controller for Autonomous Vehicles*, Doctoral Dissertation, Graduate School, Yonsei University School of Integrated Technology.
- Basu, C., Yang, Q., Hungerman, D., Singhal, M. and Dragan, A. D.(2017), “Do you want your autonomous car to drive like you?”, *Proceedings of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pp.417-425.
- Beggiato, M., Hartwich, F. and Krems, J.(2019), “Physiological correlates of discomfort in automated driving”, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 66, pp.445-458.
- Bellem, H., Schöenberg, T., Krems, J. F. and Schrauf, M.(2016), “Objective metrics of comfort: Developing a driving style for highly automated vehicles”, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 41, pp.45-54.
- Deligianni, S. P., Quddus, M., Morris, A., Anvuur, A. and Reed, S.(2017), “Analyzing and modeling drivers’ deceleration behavior from normal driving”, *Transportation Research Record*, vol. 2663, no. 1, pp.134-141.
- Dettmann, A., Hartwich, F., Roßner, P., Beggiato, M., Felbel, K., Krems, J. and Bullinger, A. C.(2021), “Comfort or not? Automated driving style and user characteristics causing human discomfort in automated driving”, *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 37, no. 4, pp.331-339.
- Hartwich, F., Witzlack, C., Beggiato, M. and Krems, J. F.(2019), “The first impression counts—A combined driving simulator and test track study on the development of trust and acceptance of highly automated driving”, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 65, no. 6, pp.522-535.
- Klingner, J., Tversky, B. and Hanrahan, P.(2011), “Effects of visual and verbal presentation on cognitive load in vigilance, memory, and arithmetic tasks”, *Psychophysiology*, vol. 48, no. 3, pp.323-332.
- Lee, G., Hwang, S. and Lee, D.(2022), “Improvements of warning signs for black ice based on driving simulator experiments”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 12, p.7549.
- Lee, J. D., Liu, S. Y., Domeyer, J. and DinparastDjadid, A.(2021), “Assessing drivers’ trust of automated vehicle driving styles with a two-part mixed model of intervention tendency and magnitude”, *Human Factors*, vol. 63, no. 2, pp.197-209.
- Lin, P. S., Menon, N., Chen, C. and Kourtellis, A.(2020), “Assessment of a Week-Long Campus Automated Shuttle Demonstration in Low-Speed Environments”, *Resilience and Sustainable Transportation Systems*, pp.263-272.
- SAE(Society of Automotive Engineers)(2018), “Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles”, *Technical Report SAE International:*

Warrendale, PA. U.S.A., SAE J3016.

- Stapel, J., Mullakkal-Babu, F. A. and Happee, R.(2019), “Automated driving reduces perceived workload, but monitoring causes higher cognitive load than manual driving”, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 60, pp.590-605.
- Van Areem, B., Van Driel, C. J. and Visser, R.(2006), “The impact of cooperative adaptive cruise control on traffic-flow characteristics”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 7, no. 4, pp.429-436.
- Wang, X., Chen, L., Shi, H., Han, J., Wang, G., Wang, Q., Zhong, F. and Li, H.(2022), “A real-time recognition system of driving propensity based on AutoNavi navigation data”, *Sensors*, vol. 22, no. 13, p.4883.