

# 드라이빙 시뮬레이터 기반 자율주행차 판단능력 등급화를 위한 평가지표 선정

오민종\* · 진은주\*\* · 한미선\*\*\* · 박제진\*\*\*\*

Oh, Min Jong\* · Jin, Eun Ju\*\* · Han, Mi Seon\*\*\* · Park, Je Jin\*\*\*\*

## Selection of Evaluation Metrics for Grading Autonomous Driving Car Judgment Abilities Based on Driving Simulator

### ABSTRACT

Autonomous vehicles at Levels 3 to 5, currently under global research and development, seek to replace the driver's perception, judgment, and control processes with various sensors integrated into the vehicle. This integration enables artificial intelligence to autonomously perform the majority of driving tasks. However, autonomous vehicles currently obtain temporary driving permits, allowing them to operate on roads if they meet minimum criteria for autonomous judgment abilities set by individual countries. When autonomous vehicles become more widespread in the future, it is anticipated that buyers may not have high confidence in the ability of these vehicles to avoid hazardous situations due to the limitations of temporary driving permits. In this study, we propose a method for grading the judgment abilities of autonomous vehicles based on a driving simulator experiment comparing and evaluating drivers' abilities to avoid hazardous situations. The goal is to derive evaluation criteria that allow for grading based on specific scenarios and to propose a framework for grading autonomous vehicles. Thirty adults (25 males and 5 females) participated in the driving simulator experiment. The analysis of the experimental results involved K-means cluster analysis and independent sample t-tests, confirming the possibility of classifying the judgment abilities of autonomous vehicles and the statistical significance of such classifications. Enhancing confidence in the risk-avoidance capabilities of autonomous vehicles in future hazardous situations could be a significant contribution of this research.

**Keywords :** Autonomous vehicle, Driving simulator, Judgment ability, K-means cluster analysis

### 초록

현재 전 세계적으로 연구·개발 중인 자율주행차 Level 3에서 Level 5단계는 운전자의 인지·판단·제어과정을 차량에 탑재된 각종 센서로 대체하여, 운전과정의 대부분을 인공지능이 자율적으로 수행할 수 있도록 한다. 하지만 현재 자율주행차는 국가별로 상이한 자율주행차의 판단능력 최소기준을 만족할 경우, 임시운행 허가를 받아 도로주행이 가능하도록 하고 있다. 향후 자율주행차가 보급될 때 구매자들은 임시운행 허가의 한계로 위험상황 회피능력에 대한 신뢰도가 높지 않을 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 드라이빙 시뮬레이터 기반으로 운전자의 위험상황 회피능력 비교·평가를 통해 자율주행차 판단능력 등급화 방안 제시 및 시나리오별 등급화가 가능한 평가지표를 도출하고자 하였다. 드라이빙 시뮬레이터 실험에는 성인 30명(남=25, 여=5명)이 참여하였다. 실험결과 분석은 K-평균 군집분석과 독립표본 T-검정을 진행하였으며, 이를 통해 자율주행차의 판단능력 등급 분류가 가능함과 등급 분류의 통계적 유의성을 확인할 수 있었다. 향후 자율주행차의 위험상황 회피능력에 대한 신뢰수준을 향상시키는데 크게 기여할 수 있을 것이다.

**검색어 :** 자율주행차, 드라이빙 시뮬레이터, 판단능력, K-평균 군집분석

\* 전남대학교 건축토목공학과 석사수료, 공학사 (Chonnam National University · meen8952@naver.com)

\*\* 전남대학교 심리학과, 박사수료 (Chonnam National University · ejjin30@gmail.com)

\*\*\* 정회원 · MG Engineering 대표, 박사수료 (MG Engineering · fox1841@daum.net)

\*\*\*\* 종신회원 · 교신저자 · 전남대학교 토목공학과 부교수, 공학박사 (Corresponding Author · Chonnam National University · jinpark@jnu.ac.kr)

Received November 16, 2023/ revised December 18, 2023/ accepted December 18, 2023

## 1. 서론

자율주행차 운전이란 주행환경에서 운전자가 필요한 정보를 인지하고 판단하여 정확하게 자율주행차를 조작하는 행위라고 할 수 있으며, 자율주행차 Level 3에서 Level 5단계는 운전자의 인지·판단·제어 과정을 차량에 탑재된 각종 센서로 대체한다(SAE, 2021). 이처럼 운전자의 개입이 덜하거나, 필요하지 않은 주행상황을 고려하면, 자율주행차의 안전성에 대한 운전자의 신뢰도가 중요할 것으로 판단된다. 하지만 현재 국내의 자율주행차 주행은 「자율차관리법 시행규칙」 제5장 자동차의 임시운행 제26조(임시운행허가신청 등)에 따라 임시운행허가만으로 도로주행이 가능하여 자율주행차 이용 시 안전성 측면에서 신뢰도는 감소할 것으로 예상된다. 따라서, 자율주행차를 보다 신뢰할 수 있도록 주행 안전성을 담당하는 자율주행차 판단능력에 대한 등급화 및 표준화 필요성이 증가하고 있다. 현재까지는 자동차의 충돌성능을 평가하는 신차 안전성 평가(New Car Assessment Programme, NCAP)와 같이 자동차의 하드웨어에 대한 안전성 평가가 주로 이루어지고 있다(Hobbs and McDonough, 1998). 하지만 자율주행차의 주행 안전성을 담당하는 판단능력에 대한 평가 시스템은 여전히 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 인간 운전자를 대상으로 드라이빙 시뮬레이터 실험을 진행하여, 실험 데이터에 대해 K-평균 군집분석과 독립표본 T-검정을 진행하였다. 이를 통해, 자율주행차의 판단능력 등급화 방안 제시 및 시나리오별 등급화가 가능한 평가지표를 도출하고자 한다.

## 2. 기존 연구문헌 고찰

### 2.1 자율주행차의 운영 알고리즘

자율주행차의 주행 알고리즘은 인간과 동일하게 인지·판단·제어의 과정을 거쳐 이루어지고 있다. 먼저, 자율주행차의 인지과정에서는 차량 외부 상황 감지, 본 차량의 위치 파악 등의 작업을 진행한다. 이와 같은 작업을 통합하여 차량 외부에 대한 인지 데이터를 형성한다. 인지과정에서는 주로 라이다·카메라·레이더 등의 각종 센서를 활용한다. 인지 데이터 형성 후, 차량은 목적지로 안전하게 이동하는 것을 목표로 하며, 장애물과의 충돌 회피, 주행 제어 결정(주행 경로 결정, 가속속 결정)을 위해 판단의 과정을 거친다. 이 판단과정은 주로 머신러닝·인공지능 기술이 담당하고 있다. 판단과정에서 가속, 정지, 회전 등 주행 관련 의사가 결정되면 자율주행을 위한 세 번째 필수 과정인 제어로 넘어간다. 이 제어과정에서는 자율주행차의 판단에 근거하여 차량의 파워트레인·브레이크·스티어링 등을 통해 제어를 수행한다(Shi et al., 2017; So, 2021). 상기 언급한 바와 같이 자율주행차 주행 과정 중 인지와 제어는

라이다·카메라·레이더·파워트레인·브레이크·스티어링 등의 하드웨어 부품을 사용한다. 이와 같이 자율주행차의 운영 알고리즘 중 인지와 제어과정은 성능이 좋은 하드웨어 부품을 사용하면 높은 성능을 보여줄 수 있다. 그러나 판단과정은 인공지능을 활용하고 있으므로, 인공지능 자체 성능 평가를 통한 자율주행차의 판단능력 등급화가 필요하다.

### 2.2 의도된 기능의 안전성 SOTIF

현재 국내의 자율주행차 보급이 증가함에 따라, 자율주행차의 성능뿐만 아니라 성능과는 관련 없이 발생할 수 있는 상황에 관한 연구의 필요성이 증가되고 있는 추세이다. 이에 전 세계적으로 의도된 기능의 안전성(Safety of the Intended Functionality, SOTIF, ISO 21448)의 검토 필요성이 논의되고 있다. SOTIF는 자동차 E/E(전기/전자) 시스템의 오작동이 없는 상태에서 발생하는 사용자 오용, 성능 부족/상황인지 오류, 주변 차량, 환경요소 반영 미흡 등과 같이 예상치 못한 위험 상황을 주로 다루고 있다. 이는 자동차 기능안전 표준(ISO 26262)에서 다루는 자동차의 하드웨어적인 E/E 시스템의 오작동을 보완하기 위한 요소라고 할 수 있다. 따라서 자율주행차의 판단능력 등급화를 위한 드라이빙 시뮬레이터 실험 시나리오 선정 시 SOTIF에 부합하는 상황을 고려하여 실험설계를 진행하였다.

### 2.3 도로주행 시 위험상황 회피 관련 문헌 검토

일본의 JARI(2019) 연구에서는 끼어들기(Cut-in) 상황 기반의 시나리오를 이용하여, 20명의 운전자를 대상으로 드라이빙 시뮬레이터 실험을 진행하였다. 실험을 통해 운전자의 운전행동 및 회피특성을 취득하여, 충돌피해 경감 브레이크가 탑재된 자율주행차의 회피특성과 비교하였다. 실험 결과, TTC(Time-to-Collision) 2초 부근의 회피에서 비숙련된 운전자는 과도한 핸들 조작에 의한 불안정한 회피 거동을 보였다. 또한, 숙련된 운전자와 자율주행시스템의 회피특성을 비교하였을 때, 자율주행시스템이 인간 운전자에 비해 여유롭게 충돌에 회피함을 확인하였다. 이에 인간 운전자와 비교·평가하는 방법을 자율주행시스템의 안전성을 언급하기 위한 하나의 방법론으로 결론내렸다.

Han et al.(2020) 연구에서는 92명의 운전자를 대상으로 인지반응시간 연구를 위해 드라이빙 시뮬레이터 실험을 진행하였다. 시나리오는 왕복 4차로 상의 도로에서 자가차량은 60 km/h의 속도로 주행하며, TTC(Time-to-Collision)이 2.5초가 되는 시점에서 어린이 보행자가 사각지대로부터 시속 5 km/h의 속도로 출현한다. 실험결과 연구대상자들의 반응시간은 0.24초에서 1.72초 사이인 것으로 나타났다. 또한, 연령과 성별에 따른 브레이크 반응시간은 큰 차이가 없었으나, 남성의 핸들 조향 반응 시간이 여성보다 짧은

것으로 나타났다.

Li et al.(2019) 연구에서는 측면충돌, 정면충돌, 보행자와 충돌 시나리오를 이용하여, 45명의 운전자를 대상으로 드라이빙 시뮬레이터 실험을 진행하였다. 실험을 통해 운전자의 종·횡방향 충돌 회피능력과 충돌 결과를 기록하였다. 실험 결과, 긴 브레이크 반응시간과 잘못된 핸들 조향이 교통상황에서 높은 충돌 가능성으로 이어졌다. 또한, 충돌을 회피하기 위한 핸들 조향이 브레이크 조작시간을 지연시키고 제동 성능을 저하하는 것으로 나타났다. 이에 향후 차량 충돌방지시스템을 개발할 때 주행 조향보조시스템에 많은 노력을 기울여야 한다고 제안하였다.

### 2.4 기존 연구와의 차별성

기존 드라이빙 시뮬레이터 연구에서는 주로 인간의 인지반응 시간을 확인하였다. 더불어, 드라이빙 시뮬레이터 기반의 자율주행차 관련 연구에서는 단일 변수만을 사용하여 인간 운전자와의 위험상황 회피능력 비교·평가를 통해 자율주행차의 시스템 안전성 검증이 가능함을 확인하였다. 또한, 현재 국내·외로 개발 중인 자율주행차의 판단능력에 대한 명확한 기준 수립이 부족한 상황이며, 국가 및 제조사별로 상이한 자율주행차 판단능력의 최소기준을 만족하면 도로주행이 가능한 것으로 확인되었다. 이에 본 연구에서는 자율주행차를 보다 신뢰할 수 있도록 자율주행차 판단능력의 최소기준을 넘어 더 세분화하여 등급화하고자 하였다. 따라서, 인간의 운전능력 최소기준인 운전면허증을 소지한 성인을 대상으로 실험을 진행하였으며, 이를 통해 자율주행차의 판단능력을 더 세부적으로 평가하고 등급을 부여할 수 있을 것으로 판단하였다.

### 3. 실험환경 구축

본 연구는 인간을 대상으로 실험을 진행하였다. 따라서 본 연구에서는 전남대학교 생명윤리심의위원회(Chonnam National University Institutional Review Board, CNU IRB)의 심의를 받아 진행하였다(IRB 승인번호: 1040198-230316-HR-022-02).

#### 3.1 연구대상자

본 연구에서는 운전경력별 운전자의 위험상황 회피능력 비교·평가를 통해 자율주행차의 판단능력을 등급화하고자 한다. 운전면허증을 소지한 성인 30명(남=25, 여=5)을 대상으로 실험을 진행하였으며, 고령자(65세 이상)는 드라이빙 시뮬레이터 실험 시 3D 멀미가 발생하기 쉬우므로 연구대상자에서 제외하였다. 또한, 연구대상자는 실 운전경력별로 5년 미만 15명, 5~9년 5명, 10년 이상 10명으로 구성되었으며, 연구대상자에 대한 기초통계는 Table 1과 같다.

#### 3.2 실험장비 선정

본 연구에서는 전남대학교 스마트도로연구실에서 보유하고 있는 실험장비인 드라이빙 시뮬레이터를 활용하여 실험을 Fig. 1과 같이 수행하였다. 드라이빙 시뮬레이터는 예비실험 진행 당시, 3D 멀미를 유발하였던 HMD(Head Mounted Display)와 모션체어를 사용하지 않았으며, 대신 Curved LED 27인치 모니터를 트리플 모니터로 설정하여 실험을 진행하였다. 드라이빙 시뮬레이터 실험을 위한 시뮬레이션 소프트웨어로는 이노시뮬레이션의 GD Studio를 사용하였다. GD Studio로부터 출력되는 데이터는 주행

**Table 1.** Basic Statistics on the Study Participants

	N	Minimum	Maximum	Average	Standard Deviation
Age	30	23	55	32.5	10.6
Years Since Driver's License (Years)	30	2	36	12.4	10.3
Actual Driving Experience (Years)	30	0.08	34	10.1	10.9
Valid Counts (Per List)	30	-	-	-	-



**Fig. 1.** Driving Simulator and GD Studio Program

경과시간, 주행거리, 차량의 위치좌표, 차로 중심으로부터 주행차량의 중심까지 이격거리, 속도, 가속도, 회전 가속도, 액셀 답력, 핸들 조향, 브레이크 답력, 주변 차량과의 거리, 충돌 횟수 등이 있다.

### 3.3 시나리오 및 평가지표 선정

드라이빙 시뮬레이터 시나리오 선정 시 안전운전에 필요한 위험 상황 회피능력의 객관적 지표 도출이 필요하다. 이를 위해 「TAAS 교통사고분석시스템」(TAAS, 2022)에서 제공하는 교통사고 통계분석 결과를 토대로 교통사고 유형 비율을 검토하였다. 2017~2020년 사고유형별 교통사고 비율 분석 결과 차대차사고, 차대사람사고가 Table 2와 같이 전체 사고건수의 95% 이상인 것으로 나타났다. 따라서 본 연구의 드라이빙 시뮬레이터 시나리오 선정을 위해, 주요 발생 교통사고인 ‘차대차사고 시나리오’ 및 ‘차대사람사고 시나리오’를 포함하고, SOTIF에 부합하는 시나리오를 중심으로 기존 연구문헌 검토를 실시하였다. 기존 연구문헌 중 국토교통부 R&D 과제인 「고위험군 운전자 행동개선 및 위반억

제 기술 개발」(MOLIT, 2018) 연구가 본 연구에서 도출하고자 하는 시나리오 유형에 적합한 것으로 판단되었다. 해당 시나리오는 위험 상황 회피능력을 높이고자 개발된 안전운전 교육용 시나리오이며, 구성 및 내용은 Table 3와 같다.

국토교통부 연구에서 시나리오와 함께 평가지표를 개발하였고, 해당 평가지표는 차대차사고, 차대사람사고의 사고 상황에 대한 평가를 위해 단일차량뿐만 아니라 주변 차량과의 관계를 고려하여 개발되었다. 이는 운전자의 위험상황 회피능력 평가에 적절하고, 시나리오에 부합할 것으로 판단하여 본 연구의 평가지표로 선정하였다. 평가지표는 총 22개로 구성되었으며, 세부내용은 Table 4와 같이 구성하였다. 본 연구에서는 22개의 평가지표 중 자동차 거동과 관련된 데이터를 사용하여, 자율주행차 평가에 효용성이 있을 것으로 판단하였다.

### 3.4 설문조사 설계

본 연구에서는 설문조사를 통해 연구대상자들의 평상시 운전능력에 대한 경향 파악과 드라이빙 시뮬레이터 실험 결과 데이터 적절성 검토 및 심층 분석을 진행하였다. 본 설문조사에서는 운전자들의 운전능력과 드라이빙 시뮬레이터 실험에 대한 내용을 조사하였다. 본 설문조사는 ‘운전 경력 사항’, ‘가상주행실험 중 문제점’, ‘평상시 운전능력 및 습관 자가판단’, ‘교통사고 경험’, ‘유사 교통사고 경험’, ‘도로주행 시뮬레이터 위험상황 대처능력’의 총 6개 파트로 구성하였다.

‘평상시 운전능력 및 습관 자가판단’ 척도는 Tronsmoen(2008) 연구에서 사용한 ‘Dimensions of self-assessment of driving

**Table 2.** Accident Ratios by Accident Types (2017~2020)

Accident Types	Number of Accidents	Accident Ratio (%)
Vehicle to Vehicle	659,944	76
Vehicle to Pedestrian	174,347	20
Single Vehicle	38,429	4
Railroad Crossing	17	0

**Table 3.** Scenario Composition and Description

Accident Types	Accident Location	Scenario	Accident Details
Vehicle to Vehicle	Main Road	Scenario1	Accident Caused by Collision with the Preceding Vehicle due to a Highway Accident
		Scenario4	Accident Caused by the Leading Merging in During the Straight Driving of the Subject Vehicle
		Scenario6	Accident Caused by Collision with the Preceding Vehicle due to Vehicle Congestion in a Construction Zone
	Intersection	Scenario5	Accident Caused by Collision with a Straight-Going Vehicle that Violated the Signal While the Subject Vehicle was Making a Left Turn
		Scenario7	Accident Caused by Collision with a Straight-Going Vehicle that Violated the Signal While the Subject Vehicle was Making a Left Turn
Vehicle to Pedestrian	Main Road	Scenario3	Accident Caused by Collision with a Pedestrian Crossing from the Blind Spot While the Subject Vehicle was Proceeding Straight
	Intersection	Scenario2	Accident Caused by Collision with a Jaywalking Pedestrian While the Subject Vehicle was Making a Right Turn
		Scenario8	Accident Caused by Collision with a Cyclist Jaywalking While the Subject Vehicle was Proceeding Straight
		Scenario9	Accident Caused by Collision with a Cyclist Crossing While the Subject Vehicle was Entering an Intersection

**Table 4.** Evaluation Metrics Composition

Hierarchy	Evaluation Criteria	Evaluation Metrics
Relationship with Surrounding Vehicles	Maintaining a Safe Distance	Gap Distance (GD)
		Proportion of Stopping Distance (PSD)
		Time to Collision (TTC)
		Modified Time to Collision (MTTC)
	Safe Lane Change	Lag Gap Distance (Lag GD)
		Front Time to Collision (Front TTC)
Single Vehicle	Handling Dangerous Situations	Min Time to Collision
	Compliance with Speed Limits	Accumulated Speeding (AS)
		Constant Speed Driving
	Acceleration and Deceleration	
		Acceleration
		Deceleration
	Steering Control	Acceleration Noise (AN)
		Yaw Rate
	Compliance with Traffic Regulations	Number of Signal Violations
		Number of Speeding Violations
		Number of Stop Line Violations
		Number of Center Line Violations
		Number of Turn Signal Violations
		Number of Vehicle Collisions
Number of Hazard Event Emergency Light Violations		
Wearing of Seat Belts		

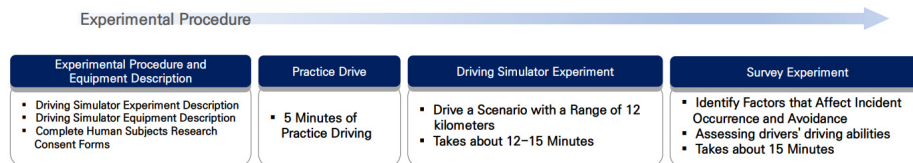
ability(Gregersen and Nyberg, 2002; Spolander, 1983)’를 번역하여 이용하였다. 해당 척도는 자신의 운전능력을 스스로 평가하기 위한 것으로, 총 22문항으로 구성되어 있다. 설문지 문항의 차원은 크게 4개이며, 문항은 ‘일반적인 운전능력’, ‘안전운전’, ‘자동차와의 일체감과 제어력’, ‘주차 및 후진 능력’의 4개 차원으로 구분된다. 문항에 대한 응답은 5점 리커트 척도로 이루어져 있으며, 점수가 높을수록 설문대상자의 운전능력이 높다는 것을 의미한다. 원척도의 Cronbach  $\alpha$  값은 차원별로 각각 ‘일반적인 운전능력=0.85’, ‘안전운전=0.70’, ‘자동차와의 일체감과 제어력=0.79’, ‘주차 및 후진 능력=0.76’으로 나타났다.

‘도로주행 시뮬레이터 위험상황 대처능력’의 경우 객관식과 주

관식 질문으로 진행하여 시나리오별 사고의 발생과 회피에 영향을 미치는 요소를 확인하고자 하였다. 객관식 문항의 경우 각 구간별 주행 시 이벤트 상황을 얼마나 쉽게 회피할 수 있었는지에 대해 5점 리커트 척도로 응답하게 하였으며, 주관식 문항의 경우 각 구간에 대한 상황 인지 시점, 핸들 및 브레이크 조작 시점, 사고 발생 여부로 구성하였다.

### 3.5 실험절차

자율주행차 판단능력 등급화를 위하여 본 연구에서는 다양한 사고유발 시나리오가 구현된 드라이빙 시뮬레이터 실험을 진행하였으며, 수행절차는 다음과 같다(Fig. 2 참조).



**Fig. 2.** Experimental Procedure

1. 드라이빙 시뮬레이터 실험에 대한 실험과정 및 장비 설명
2. 인간대상 연구 동의서 작성
3. 실제 주행환경과 드라이빙 시뮬레이터 실험환경의 차이에 따른 오차를 줄이기 위한 사전 연습주행 실시
4. 주행거리 12 km의 본 실험 시나리오 주행
5. 시나리오별로 사고의 발생과 회피에 영향을 미치는 요소 확인을 위한 설문조사

#### 4. 실험결과

##### 4.1 설문조사 분석

연구대상자들의 평상시 운전능력에 대한 경향 파악을 위해 ‘평상시 운전능력 및 습관 자가판단’ 설문문에 대한 빈도분석을 진행하였다. ‘평상시 운전능력 및 습관 자가판단’ 설문 문항의 응답은 5점 리커트 척도(1=매우 그렇지 않다, 2=그렇지 않다, 3=보통이다, 4=그렇다, 5=매우 그렇다)로 점수가 높을수록 연구대상자의 운전능력이 높다는 것을 의미한다.

분석 결과, 차원별로 응답의 평균이 ‘일반적인 운전능력=3.62’, ‘안전운전=3.8’, ‘자동차와의 일체감과 제어력=3.76’, ‘주차 및 후진 능력=3.61’로 나타났다.

‘평상시 운전능력 및 습관 자가판단’, ‘도로주행 시뮬레이터 위험상황 대처능력’ 설문문의 여러 문항에 대한 답변의 일관성을 확인하기 위해 신뢰도 분석을 진행하였다. 먼저 ‘평상시 운전능력 및 습관 자가판단’의 Cronbach  $\alpha$  값은 차원별로 각각 ‘차원 전체=0.947’, ‘일반적인 운전능력=0.924’, ‘안전운전=0.674’, ‘자동차와의 일체감과 제어력=0.842’, ‘주차 및 후진 능력=0.892’로 나타났다. 또한 ‘도로주행 시뮬레이터 위험상황 대처능력’의 Cronbach  $\alpha$  값은 0.612로 나타났다. 이에 두 설문조사 모두 신뢰도 허용 기준을 만족하였다.











‘평상시 운전능력 및 습관 자가판단’의 설문에서 설문 문항 간의 상관성 확인을 위해 pearson 상관분석을 실시하여 두 문항 간의 상관관계를 알아보았다. 분석 결과, ‘자동차와의 일체감과 제어력’ 차원의 ‘도로 위에서 내 차의 위치를 정확히 알고 있다.’

**Table 5.** Self Assessment of Everyday Driving Skills and Habits Exploratory Factor Analysis Results

Item	Factor				Factor Name
	1	2	3	4	
I am proficient at nighttime driving	0.815	0.237	0.195	0.077	Predictive and Rapid Response Capability
I have excellent driving skills	0.797	0.251	0.345	0.018	
I can drive proficiently under slippery road conditions	0.771	0.065	0.402	-0.112	
I can easily reverse using the rearview mirrors	0.735	0.484	-0.071	0.095	
I have confidence in dealing with unexpected situations	0.731	0.266	0.213	0.023	
I can effectively drive in high traffic density situations	0.676	0.437	0.453	-0.077	
I am skilled at driving quickly when necessary	0.652	0.412	0.337	-0.291	
I can parallel park quickly and accurately	0.626	0.510	0.254	-0.029	
I have a lower accident risk compared to the average driver	0.595	0.097	0.306	0.377	
I am adept at predicting	0.582	0.381	0.436	0.105	
I know my car's exact position on the road	0.210	0.896	0.154	0.015	Spatial Perception Ability
I can accurately gauge the spacing in traffic flow	0.277	0.802	0.267	0.014	
I can immediately assess whether my car can fit into narrow passages	0.419	0.756	0.095	-0.033	
I can reverse quickly and accurately into parking spaces	0.514	0.711	0.144	0.103	
I accurately gauge stopping distance while driving at high speeds	0.063	0.667	0.451	0.092	
I am quite good at safe driving	0.238	0.050	0.765	0.142	Road Condition and Hazard Awareness
I feel a direct connection to the road surface	0.328	0.247	0.696	0.319	
I feel a sense of unity with my car	0.414	0.270	0.692	-0.095	
I am aware of hazardous situations	0.196	0.435	0.680	0.109	
I know how to steer when slipping	0.413	0.193	0.463	0.436	
Dangerous situations rarely occur	0.117	0.178	0.026	0.799	Safe Driving Habits
I have a driving style that seeks to avoid dangerous situations	-0.210	-0.197	0.171	0.681	

KMO=0.521, Bartlett=577.999 (df=231, p=0.000)

**Table 6.** Road Driving Simulator Hazard Response Exploratory Factor Analysis Results

Scenario No.	Factor				Factor Name	Scenario Composition		
	1	2	3	4				
8	0.825	0.214	0.136	-0.167	Accident Situation in an Area Requiring Deceleration			
7	0.798	-0.278	0.214	-0.073				
4	0.634	0.321	0.121	0.069				
2	-0.013	0.875	0.093	-0.025	Pedestrian Accident Situation During Right Turn			
9	0.589	0.632	-0.047	0.088				
6	0.187	-0.007	0.934	0.003	Sudden Vehicle Stop Instruction Situation			
3	0.176	0.585	0.669	-0.038				
1	0.061	-0.035	0.061	0.911	Highway Segment Accident Situation	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
5	0.510	-0.079	0.162	-0.617	Accident Situation Due to Traffic Rule Violation and Signal Infraction			
						Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
								
KMO=0.506, Bartlett=80.375 (df=36, p=0.000)						Scenario 7	Scenario 8	Scenario 9

문항과 ‘일반적인 운전능력’ 차원의 ‘교통 흐름의 간격을 정확히 파악할 수 있다.’ 문항의 상관관계가  $r=0.863$ ,  $p=0.000$ 으로 상관관계 중 가장 높은 정(+)적 상관관계를 나타냈으며, 유의확률을 만족하는 문항 간의 부(-)적 상관관계는 나타나지 않았다. 또한, ‘도로주행 시뮬레이터 위험상황 대처능력’의 설문에서 시나리오 간의 상관관계 확인을 위해 pearson 상관분석을 실시하였다. 분석 결과, 시나리오 5번 ‘신호교차로 좌회전 중 좌측방면 직진 차량과 정면 및 측면 충돌 상황을 쉽게 회피할 수 있었나요?’ 문항과 시나리오 8번 ‘신호교차로 직진 시 횡단하는 보행자(자전거) 충돌 상황을 쉽게 회피할 수 있었나요?’ 문항의 상관관계가  $r=0.61$ ,  $p=0.000$ 으로 상관관계 중 가장 높은 정(+)적 상관관계를 나타냈으며, 유의확률을 만족하는 문항들 간의 부(-)적 상관관계는 나타나지 않았다.

‘평상시 운전능력 및 습관 자가판단’ 설문 원척도의 변인이 잘 되었는지에 대한 여부와 설문 구성의 타당도 파악을 위해 탐색적 요인분석을 실시하였다. 탐색적 요인분석의 요인추출방식은 주성분, 요인회전 방식으로는 직교방식인 베리맥스를 이용해 실시하였다. 분석 결과, KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)는 0.521로 나타나 본 자료가 요인분석에 적합한 것으로 나타났다. 또한, Bartlett 구형성 검정 결과  $\chi^2=577.999$ ,  $p=0.000$ 으로 변수 간의 상관성이 인정되어 전반적으로 요인분석이 가능하다고 할 수 있다. 이에 4개의 하위요인이 추출되었으며, ‘예측과 신속한 대응능력’, ‘공간

지각 능력’, ‘도로 상태 및 위험상황 인지능력’, ‘안전 주행 습관’으로 각각 명명하였다(Table 5). 또한, ‘도로주행 시뮬레이터 위험상황 대처능력’ 설문 문항의 구성개념 타당도를 파악하기 위하여 탐색적 요인분석을 실시하였다. 탐색적 요인분석의 요인추출방식은 주성분, 요인회전 방식으로는 베리맥스를 이용해 실시하였으며, 본 분석에서는 드라이빙 시뮬레이터 실험 당시 연구대상자들의 안전운전, 정속주행 등으로 인한 시나리오별로 이벤트가 발생하지 않은 경우를 고려하였다. 따라서 탐색적 요인분석 수행 시 문항에 대한 응답인 5점 리커트 척도에 (0=상황 미발생)을 추가하여 진행하였다. 분석 결과, KMO는 0.506로 나타나 본 자료가 요인분석에 적합한 것으로 나타났다. 또한, Bartlett 구형성 검정 결과  $\chi^2=80.375$ ,  $p=0.000$ 으로 변수 간의 상관성이 인정되어 전반적으로 요인분석이 가능하다고 할 수 있다. 이에 4개의 하위요인이 추출되었으며, ‘감속이 필요한 구간에서의 사고 상황’, ‘우회전 중 보행자와 사고 상황’, ‘급작스러운 차량 정지 유도 상황’, ‘고속도로 구간 사고 상황’으로 각각 명명하였다(Table 6).

**4.2 드라이빙 시뮬레이터 실험결과 분석 범위**

드라이빙 시뮬레이터 실험결과 분석 시 22개의 평가지표 중 각 시나리오별 이벤트 내용과 관련성이 있는 지표 재선정을 통하여 분석을 진행하였다. 또한, 자율주행차 판단능력 등급화와 무관한

평가지표(방향지시등 위반 횟수, 비상등 점등 여부, 안전벨트 착용 여부, 신호 위반 횟수, 정지선 위반 횟수, 중앙선 침범 횟수, 차량 충돌 횟수)는 분석에서 제외하였다. TTC와 MTTC의 경우에는 2.5 초를 초과하는 값은 제외하였으며, 이는 국토교통부 「도로설계기준」(MOLIT, 2016) 운전자인지 반응 시간을 준용하였다. MTTC의 경우에는 TTC와 값이 동일하게 도출되어 분석에서 제외하였다.

본 연구에서는 자율주행차의 판단능력 최소기준을 넘어 보다 세분화된 등급 분류 확인이 목적이다. 따라서, 드라이빙 시뮬레이터 실험에서 운전능력 최소기준에 만족하지 못하여 사고가 발생한 연구대상자는 해당 시나리오에서만 분석에서 제외되었다. 시나리오 2-8의 분석 범위는 이벤트 발생 위치로부터 150 m 이전까지로 설정하였으며, 이는 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설」(MOLIT, 2020) 신호교차로의 사전 인지를 위한 최소 시거를 준용하였다. 또한, 상대적으로 이벤트 구간이 길었던 시나리오 1은 이벤트 시작과 끝을 포함할 수 있는 분석 범위인 915 m로 설정하였다. 분석에 사용된 평가지표 값은 각 시나리오의 범위(150 m, 915 m)의 대푯값을 사용하였으며, 대푯값 선정 기준은 다음과 같다. 값이 클수록 위험한 주행행태를 보이는 평가지표(Acceleration, Yaw Rate, AS, SU, SV, AN)는 최댓값을 사용하였고, 값이 작을수록 위험한 주행행태를 보이는(Deceleration, GD, PSD, TTC, Lag GD, Front TTC)는 최솟값을 사용하였다. 또한, 시나리오 9는 시뮬레이터 과부하로 인한 화면 정지 현상이 빈번하게 발생하여 분석에서 제외하였다.

드라이빙 시뮬레이터 실험결과 분석은 K-평균 군집분석과 독립표본T-검정을 통해 진행하였다. K-평균 군집분석은 각 평가지표에 대한 등급 분류를 위해 진행하였으며, 독립표본 T-검정은 분류된 등급 간의 통계적 유의성을 확인하기 위해 진행하였다. K-평균 군집분석 진행 시 군집을 2개로 설정하였는데, 이는 Rstudio내 최적 군집개수를 확인할 수 있는 패키지인 NbClust를 활용하였다. 최적 군집개수 산정결과, 8개 구간 중 4개 구간에서 군집의 개수가 2개로 나타나 최빈값인 k=2를 군집분석에 사용하였다.

### 4.3 드라이빙 시뮬레이터 실험결과 분석

차대차사고는 시나리오 1, 4-7에서 발생하였으며, 차대사람사고는 시나리오 2, 3, 8, 9에서 발생하였다. 시나리오별 재선정된 평가지표는 Table 7과 같다. 시나리오 1은 고속도로 사고 정체로 인한 선행 차량과의 충돌 사고이다. 분석에 사용된 지표는 후방추돌 사고와 관련성이 있는 AS, SU, SV, 가속도, 감속도, AN, 회전 각속도, GD, PSD, TTC, Lag GD, Front TTC이며, 1명의 연구대상자가 추돌이 발생하여 시나리오 1 결과 분석에서 제외되었다. 시나리오 2는 본 차량 우회전 중 무단횡단하는 보행자와 충돌 사고이다. 분석에 사용된 지표는 사람사고와 관련성이 있는 AS, SU, SV, 가속도, 감속도, AN, 회전 각속도이다. 시나리오 3은 본 차량 직진 중 사각지대로부터 횡단하는 보행자와 충돌 사고이다. 분석에 사용된 지표는 사람사고와 관련성이 있는 AS, SU, SV, 가속도, 감속도, AN, 회전 각속도이며, 1명의 연구대상자가 추돌이 발생하여 시나리오 3 결과 분석에서 제외되었다. 시나리오 4는 본 차량 진행 중 선행 차량 끼어들기로 인한 추돌 사고이다. 따라서 분석에 사용된 지표는 끼어들기 사고와 관련성이 있는 AS, SU, SV, 가속도, 감속도, AN, 회전 각속도, GD, TTC, Lag GD, Front TTC이었으나, TTC와 Front TTC는 대부분의 연구대상자가 기준인 2.5초를 초과하여 해당 시나리오 분석에서 제외하였다. 또한, 1명의 연구대상자가 추돌이 발생하여 시나리오 4 결과 분석에서 제외되었다. 시나리오 5는 본 차량 좌회전 중 신호 위반하는 직진 차량과의 충돌 사고이다. 분석에 사용된 지표는 측면충돌 사고와 관련성 있는 AS, SU, SV, 가속도, 감속도, AN, 회전 각속도이며, 1명의 연구대상자가 추돌이 발생하여 시나리오 5 결과 분석에서 제외되었다. 시나리오 6은 공사구간 차량 정체로 인한 선행 차량과의 추돌 사고이다. 분석에 사용된 지표는 후방추돌 사고와 관련성이 있는 AS, SU, SV, 가속도, 감속도, AN, 회전 각속도, GD, PSD, TTC이며, TTC는 대부분의 연구대상자가 기준인 2.5초를 초과하여 해당 시나리오 분석에서 제외하였다. 시나리오 7은 본 차량 좌회전 중 신호 위반하는 직진 차량과의 충돌 사고이다.

**Table 7.** Reselected Evaluation Metrics by Scenario

Accident Types	Accident Location	Scenario	The Evaluation Metrics Used in the Analysis
Vehicle to Vehicle	Main Road	Scenario1	AS, SU, SV, Acceleration, Deceleration, AN, Yaw Rate, GD, PSD, TTC, Lag GD, Front TTC
		Scenario4	AS, SU, SV, Acceleration, Deceleration, AN, Yaw Rate, GD, Lag GD
		Scenario6	AS, SU, SV, Acceleration, Deceleration, AN, Yaw Rate, GD, PSD
	Intersection	Scenario5	AS, SU, SV, Acceleration, Deceleration, AN, Yaw Rate
		Scenario7	AS, SU, SV, Acceleration, Deceleration, AN, Yaw Rate
Vehicle to Pedestrian	Main Road	Scenario3	AS, SU, SV, Acceleration, Deceleration, AN, Yaw Rate
	Intersection	Scenario2	AS, SU, SV, Acceleration, Deceleration, AN, Yaw Rate
		Scenario8	AS, SU, SV, Acceleration, Deceleration, AN, Yaw Rate



**Table 8.** K-Means Cluster Analysis Results for Scenario 1 (Standardized Values)

Scenario	Metrics	AS		SU		SV		Acceleration	
		Group 1	Group 2	Group 1	Group 2	Group 1	Group 2	Group 1	Group 2
Scenario 1	n	20	9	16	13	17	12	18	11
	Centroid	-0.59812	1.32915	-0.73238	0.90140	-0.66803	0.94637	-0.65112	1.06547
	Metrics	Deceleration		AN		Yaw Rate		GD	
Scenario 2	n	13	16	23	6	22	7	4	25
	Centroid	0.88163	-0.71633	-0.41996	1.60985	-0.42363	1.33140	2.21600	-0.35456
	Metrics	PSD		TTC		Lag GD		Front TTC	
Scenario 3	n	5	24	8	7	4	16	7	4
	Centroid	1.86644	-0.38884	0.804025	-0.91914	1.75269	-0.43817	0.59911	-1.04843
	Metrics	Group 1	Group 2	Group 1	Group 2	Group 1	Group 2	Group 1	llGroup 2

**Table 9.** Independent Samples T-Test Results for Scenario 1 (Standardized Values)

Scenario	GP.	AS				SU				SV			
		AVG.	S.D.	t	p	AVG.	S.D.	t	p	AVG.	S.D.	t	p
Scenario 1	1	-0.598	0.331	-11.219	0.000	-0.732	0.564	-7.64	0.000	-0.668	0.68	-7.156	0.000
	2	1.329	0.598			0.901	0.583			0.946	0.454		
Scenario 2	GP.	Acceleration				Deceleration				AN			
	AVG.	S.D.	t	p	AVG.	S.D.	t	p	AVG.	S.D.	t	p	
Scenario 3	1	-0.651	0.594	-8.302	0.000	0.882	0.699	7.145	0.000	-0.42	0.549	-7.941	0.000
	2	1.065	0.434			-0.716	0.505			1.61	0.595		
Scenario 4	GP.	Yaw Rate				GD				PSD			
	AVG.	S.D.	t	p	AVG.	S.D.	t	p	AVG.	S.D.	t	p	
Scenario 5	1	-0.424	0.72	-8.611	0.000	2.216	0.638	10.862	0.000	1.866	0.83	9.04	0.000
	2	1.331	1.331			-0.355	0.408			-0.389	0.427		
Scenario 6	GP.	TTC				Lag GD				Front TTC			
	AVG.	S.D.	t	p	AVG.	S.D.	t	p	AVG.	S.D.	t	p	
Scenario 7	1	0.804	0.458	7.036	0.000	1.753	0.651	8.715	0.000	0.599	0.556	4.486	0.002
	2	-0.919	0.49			-0.438	0.397			-1.048	0.642		

분석에 사용된 지표는 측면충돌 사고와 관련성 있는 AS, SU, SV, 가속도, 감속도, AN, 회전 각속도이며, 1명의 연구대상자가 충돌이 발생하여 시나리오 7 결과 분석에서 제외되었다. 시나리오 8은 본 차량 직진 중 무단횡단하는 자전거 운전자와 충돌 사고이다. 분석에 사용된 지표는 사람사고와 관련성 있는 AS, SU, SV, 가속도, 감속도, AN, 회전 각속도이며, 3명의 연구대상자가 충돌이 발생하여 시나리오 8 결과 분석에서 제외되었다.

시나리오 1~8 드라이빙 시뮬레이터 실험결과에 대해 K-평균 군집분석과 독립표본 T-검정을 진행하였으며, 예시로 시나리오 1의 표준화된 K-평균 군집분석 및 독립표본 T-검정 결과를 Table 8, Table 9과 같이 제시하였다. 독립표본 T-검정 결과 집단 간의

평균 차이가 유의미하지 않은 변수는 해당 시나리오에서 자율주행차 판단능력 등급화가 불가능한 평가지표로 판단하였다.

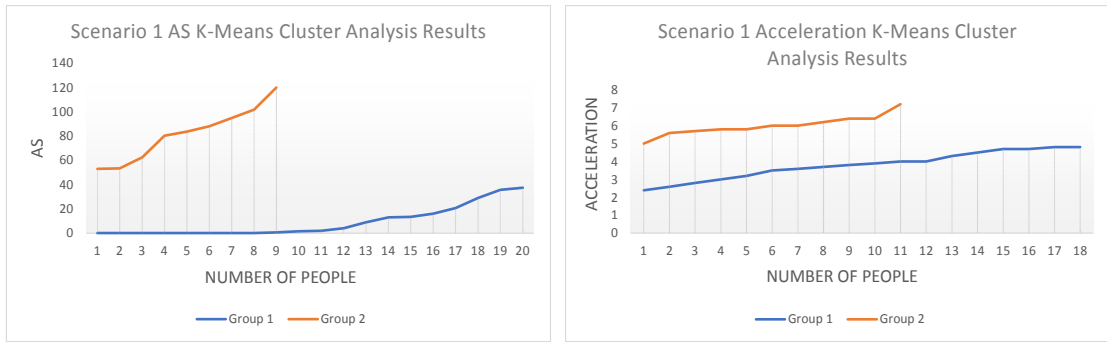
#### 4.4 드라이빙 시뮬레이터 실험결과 해석

K-평균 군집분석으로 시나리오별 평가지표에 대한 등급 분류 후, 독립표본 T-검정을 진행하여 유의확률 0.05를 만족한 평가지표는 자율주행차 판단능력 등급화가 가능한 평가지표로 Table 10과 같이 도출되었다.

드라이빙 시뮬레이터 실험 결과 분석은 시나리오별 각 평가지표에 대해 K-평균 군집분석과 독립표본 T-검정을 진행하였으나, 예시로 시나리오 1의 AS(제한속도 위반 거리), 가속도 분석결과를

**Table 10.** Assessment Metrics Enabling Grading of Autonomous Vehicle Judgment Abilities

Accident Types	Accident Location	Scenario	Assessment Metrics Enabling Grading
Vehicle to Vehicle	Main Road	Scenario1	AS, SU, SV, Acceleration, Deceleration, AN, Yaw Rate, GD, PSD, TTC, Lag GD, Front TTC
		Scenario4	AS, SU, SV, Acceleration, Deceleration, AN, Yaw Rate, GD, Lag GD
		Scenario6	AS, SU, SV, Acceleration, Deceleration, AN, Yaw Rate, GD, PSD
	Intersection	Scenario5	SU, SV, Acceleration, Deceleration, AN, Yaw Rate
		Scenario7	SU, SV, Acceleration, Deceleration, AN, Yaw Rate
Vehicle to Pedestrian	Main Road	Scenario3	AS, SU, SV, Acceleration, Deceleration, AN, Yaw Rate
	Intersection	Scenario2	AS, SV, Acceleration, Deceleration, AN, Yaw Rate
		Scenario8	SU, SV, Acceleration, Deceleration, AN, Yaw Rate



**Fig. 3.** Scenario 1 AS and Acceleration K-Means Cluster Analysis Results

Fig. 3과 같이 제시하였다. 시나리오 1의 AS 분석 결과 군집1 20명, 군집2 9명으로 등급이 분류되었으며, 군집1 AS 평균 9.12 m, 군집2 AS 평균 82.01 m로 군집1은 군집2에 비해 상대적으로 AS 평균이 낮게 도출되었다. 또한, 독립표본 T-검정 결과,  $t=11.219$ ,  $p=0.000$ 으로 두 군집 간의 평균 차이가 유의미한 것으로 나타났다. 따라서, 군집1의 제한속도 위반거리에 비해 군집2의 제한속도 위반거리가 큰 것으로 해석할 수 있었다. 시나리오 1의 가속도 분석 결과 군집1 18명, 군집2 11명으로 등급이 분류되었으며, 군집1 가속도 평균  $3.79 \text{ m/s}^2$ , 군집2 가속도 평균  $6.01 \text{ m/s}^2$ 으로 군집1은 군집2에 비해 상대적으로 가속도 평균이 낮게 도출되었다. 또한, 독립표본 T-검정 결과,  $t=8.302$ ,  $p=0.000$ 으로 두 군집 간의 평균 차이가 유의미한 것으로 나타났다. 따라서, 군집1의 가속도에 비해 군집2의 가속도가 큰 것으로 해석할 수 있었다.

## 5. 결론 및 향후 연구과제

### 5.1 결론

본 연구에서는 드라이빙 시뮬레이터 실험을 통해 운전자들의 주행 데이터를 수집하였고, 운전자의 위험 상황 회피능력 비교 평가를 통해 자율주행차의 판단능력 등급화 방안을 도출하였다. 결과

분석 시 사용된 시나리오별 구간은 시나리오 2~8 이벤트 발생 위치로부터 150 m 이전, 시나리오 1은 이벤트 시작과 끝을 포함할 수 있는 915 m로 지정하였다. 분석 결과, 예시로 제시한 AS, 가속도 평가지표의 결과와 같이 군집1과 군집2로 구분되었다. 평가 지표 AS의 경우 군집1의 제한속도 위반거리에 비해 군집2의 제한속도 위반거리가 큰 것으로 해석할 수 있었으며, 평가지표 가속도의 경우 군집1의 가속도에 비해 군집2의 가속도가 큰 것으로 해석할 수 있었다. 이처럼 시나리오별 평가지표에 대해 K-평균 군집분석과 독립표본 T-검정을 통해 자율주행차 판단능력 등급화가 가능한 평가지표를 도출하였으며, 통계적으로 유의미한 등급 분류가 가능함을 확인하였다. 하지만, 본 논문에서는 몇 가지 한계점이 존재하였다. 첫 번째는 30명이라는 연구대상자의 제약으로 인한 남녀 간의 결과 차이, 실 운전경력별 차이와 같은 분석의 다양성 확보가 어려웠다는 점이다. 두 번째는 드라이빙 시뮬레이터 기반으로 실험데이터를 분석한 측면에서 실제 운전능력과 상이한 부분이 있다는 점이다. 하지만, 모든 연구대상자들이 동일한 실험 환경에서 진행했다는 점에서 실험결과 도출에는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.

이러한 연구 방법과 결과를 기반으로, 국가별, 제조사별로 상이한 자율주행차 판단능력 기준을 표준화하고 세분화된 등급을 부여할 수 있을 것으로 기대된다.





## 5.2 향후 연구과제

본 논문에서는 국토교통부 R&D 과제인 「고위험군 운전자 행동 개선 및 위반억제 기술 개발」(MOLIT, 2018) 연구에서 개발한 시나리오와 평가지표를 사용하였으며, 인간 운전자를 대상으로 자율주행차 판단능력에 대한 등급 분류의 가능성과 시나리오별로 평가가 가능한 평가지표를 도출하였다. 따라서 향후 연구에서는 본 논문에서 도출한 평가지표 결과를 기반으로 실험 시나리오 제작이 필요하다. 또한, 본 논문에서 제시한 판단능력에 대한 등급 분류 방안을 기반으로 인간 운전자가 아닌 자율주행차 시뮬레이션 실험을 통해 자율주행차의 판단능력 등급 분류가 필요하며, 선정된 평가지표 및 군집이 더 세분화 되는지 확인하기 위해, 연구참여자를 추가로 모집하여 결과를 분석해야 할 것으로 판단된다. 뿐만 아니라, 등급 분류 후 평가지표별 종합적인 평가 해석을 진행할 필요성이 있음을 확인하였다.

## Acknowledgements

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education(2021R111A3055993). This paper has been written by modifying and supplementing the KSCE 2023 CONVENTION paper.

## ORCID

Min Jong Oh  <https://orcid.org/0000-0001-9351-9597>  
 Eun Ju Jin  <https://orcid.org/0000-0002-2179-5469>  
 Mi Seon Han  <https://orcid.org/0009-0008-5338-4673>  
 Je Jin Park  <https://orcid.org/0000-0002-2899-7944>

## References

- Gregersen, N. P. and Nyberg, A. (2002). "Privat övningskörning: en undersökning om hur den utnyttjas och om dess för- och nackdelar för trafiksäkerheten." *Swedish National Road and Transport Research Institute, VTI-report 481*.
- Han, H. S., Lee, S. J., Shim, H. Y., Kim, S. H. and Yang, J. H. (2020). "A study on the driver's response time under jaywalking situation using simulator." *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, KSAE*, Vol. 28, No. 7, pp. 471-481, <https://doi.org/10.7467/KSAE.2020.28.7.471> (in Korean).
- Hobbs, C. A. and McDonough, P. J. (1998). "Development of the European new car assessment programme (Euro NCAP)." *Regulation, NHTSA*, Vol. 44, No. 3, pp. 2439-2453.
- ISO 21448:2022 (2022). *Road vehicles-Safety of the intended functionality*, Available at: <https://www.iso.org/standard/77490.html> (Accessed: January 12, 2023) (in Korean).
- ISO 26262:2018 (2018). *Road vehicles-Safety Part 1 : Vocabulary*, Available at: <https://www.iso.org/standard/68383.html> (Accessed: January 12, 2023).
- Japan Automobile Research Institute (JARI). (2019). *FY 2018 Research, Development, and Demonstration Project for Social Implementation of Advanced Automated Driving Systems: Research and Development Project for Construction of Safety Evaluation Technology for Automated Driving Systems*, General Foundation Japan Automobile Research Institute, Tokyo, Japan (in Japanese).
- Land, Infrastructure and Transport, Korean Law Information Center, 「Motor Vehicle Management Act」 Article 26 (Permission for Temporary Operation), Act NO. 13486, Aug. 11, 2015.
- Li, X., Rakotonirainy, A. and Yan, X. (2019). "How do drivers avoid collisions? A driving simulator-based study." *Journal of Safety Research*, Elsevier, Vol. 70, pp. 89-96, <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.05.002>.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT) (2016). *Road Design Standards* (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT) (2018). *Development of High-Risk Driver Behavior Improvement and Violation Deterrence Technologies* (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT) (2020). *Rules About the Road Structure & Facilities Standards* (in Korean).
- SAE (2021). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles J3016\_202104*, SAE, Available at: [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_202104/](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/) (Accessed: January 6, 2023).
- Shi, W., Alawieh, M. B., Li, X. and Yu, H. (2017). "Algorithm and hardware implementation for visual perception system in autonomous vehicle: A survey." *Integration*, Elsevier, Vol. 59, pp. 148-156, <https://doi.org/10.1016/j.vlsi.2017.07.007>.
- So, J. H. (2021). "Autonomous driving algorithms." *Journal of TTA*, Vol. 197, pp. 63-69 (in Korean).
- Spolander, K. (1983). "Bilförarens uppfattning om egen körförmåga [Drivers' assessment of their own driving ability]." *Linköping, Sweden: Väg-och transportforskningsinstitutet, VTI rapport Nr. 252*.
- Traffic Accident Analysis System(TAAS) (2022). *Traffic Accident Statistical Analysis, KoROAD*, Available at: <http://taas.koroad.or.kr/> (Accessed: January 24, 2023).
- Tronsmoen, T. (2008). "Associations between self-assessment of driving ability, driver training and crash involvement among young drivers." *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Elsevier, Vol. 11, No. 5, pp. 334-346, <https://doi.org/10.1016/j.trf.2008.02.002>.