

실도로 기반 자율주행자동차 주행안전성 평가 방법론 개발 연구

Study on the Development of Methodology for Evaluation of Driving Safety of Automated Vehicles on Real Roads

이 영 택* · 김 에 진** · 정 하 립*** · 유 호 식**** · 윤 일 수*****

- * 주저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 석사과정
- ** 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 석사과정
- *** 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 박사과정
- **** 공저자 : 한국도로공사 해외사업처 부장
- ***** 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

Youngtaek Lee* · Yejin Kim* · Harim Jeong* · Hosik Yoo** · Ilsoo Yun*

- * Dept. of Transportation Eng., Univ. of Ajou
- ** Overseas Project Div. Korea Expressway Corporation

† Corresponding author : Harim Jeong, gkfla0731@ajou.ac.kr

Vol.20 No.6(2021)

December, 2021
pp.280~298

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.6.280>

Received 8 November 2021
Revised 23 November 2021
Accepted 6 December 2021

© 2021. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

전 세계적으로 자율주행자동차의 개발이 활발히 진행됨에 따라 자율주행자동차에 대한 합리적이고 체계적인 평가 방법에 대한 요구가 증가하고 있다. 시뮬레이션 및 주행시험장(proving ground, PG)에서 수행하는 자율주행자동차 평가를 위한 시나리오, 평가 절차 및 방법 관련 연구는 국제적으로 활발하게 진행되고 있다. 이에 비해, 실도로에서의 평가에 대한 방법 및 절차 등은 국제적으로 아직 초기 단계이다. 따라서, 향후 자율주행자동차의 상용화에 대비하여 실도로에서 자율주행자동차를 평가하는 것에 대한 연구가 진행될 필요가 있다. 본 연구에서는 실도로에서 자율주행자동차의 주행안전성 평가에 관한 기초적인 방향을 정의하고자 한다. 이를 위해 실도로에서의 자율주행자동차의 평가 방향과 프로세스를 제시했으며 주행안전성을 평가하기 위한 정성적 및 정량적 평가지표를 선정하였다. 실도로에서 자율주행자동차의 주행안전성 평가를 위한 정성적 평가항목으로 「도로교통법」을 기반으로 하여 총 38개의 항목을 선정하였다.

핵심어 : 실도로, 자율주행자동차, 주행안전성, 평가 방법, 도로교통법

ABSTRACT

As the development automated vehicles(AV) actively progresses around the world, the demand for a reasonable and systematic evaluation method for AVs is increasing. Research on scenarios, evaluation procedures, and methods for evaluating AVs conducted in simulations and proving ground(PG) is actively conducted internationally. In contrast, methods and procedures for evaluations on real roads are still in their infancy internationally. Therefore, it is necessary to conduct research on evaluating AVs on real roads in preparation for future use of AVs. This study aims to define the basic direction for evaluating the driving safety of AVs on real roads. To this end, the evaluation direction and process of AVs were presented on the real roads, and qualitative and quantitative

evaluation indicators were selected to evaluate driving safety. A total of 38 items were selected based on the Road Traffic Act as qualitative evaluation items for evaluating the driving safety of AVs on real roads.

Key words : Real roads, Automated vehicles, Driving safety, Evaluation method, Road traffic act

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

시장조사 전문업체 Navigant Research에 의하면 북미, 아시아, 유럽을 기준으로 하여 2020년부터 2035년까지 자율주행자동차(automated vehicles 또는 autonomous vehicles, AVs)의 판매율은 연평균 85%의 성장률을 나타낼 것으로 예측하였다(Navigant Research, 2013). 이에 따라, 전 세계적으로 자동차 제작사, 스타트업, IT 기업 등에서 자율주행자동차의 개발이 활발히 진행되고 있으며, 자율주행자동차 안전성 평가를 위한 다양한 시험들이 진행되고 있다(Lee et al., 2020). 우리나라 국토교통부 또한 2027년까지 레벨 4 수준의 자율주행자동차를 상용화할 것이라고 발표하였다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2021). 이를 위해 국내에서는 국토교통부, 산업통상자원부, 과학기술정보통신부, 경찰청의 주관하에 ‘자율주행혁신기술개발사업’을 추진하고 있다. 이 사업에서는 다양한 자율주행자동차 및 관련 서비스 등 생태계가 개발되고 있다.

이러한 자율주행자동차와 관련하여 안전성에 대한 대중의 인식이 긍정적인 것만은 아니다. 미국자동차협회(American Automobile Association, AAA)에서 자율주행자동차에 대한 운전자 반응을 조사해본 결과, 86%의 운전자는 완전자율주행자동차를 탑승하는 것에 불안함을 느낀다고 발표하였다(AAA, 2021). 이러한 현상은 우버, 테슬라 등의 자율주행자동차 교통사고로 인하여 자율주행자동차의 안전성에 대한 신뢰도가 저하된 것으로 볼 수 있다. 이러한 상황에서 성공적인 자율주행 기술 도입과 기술 수용성 증진을 위해 주행 중 발생 가능한 상황에서의 안전성을 평가할 수 있는 합리적이고 체계적인 실도로 기반 자율주행자동차의 안전성 평가 방법에 대한 요구가 증가하고 있다.

자율주행자동차의 평가와 관련하여서는 대표적으로 시뮬레이션, 주행시험장(proving ground, PG), 실도로를 통한 평가가 가능하다(UNECE, 2021). 이러한 평가 방법은 각각의 장단점이 존재하며, 모든 평가 방법들이 대부분 시나리오에 기반하여 수행된다. 현재, 시뮬레이션 및 주행시험장에서의 평가에 대하여 다양한 연구가 진행되어 안전기준 및 시행세칙 등이 나온 바 있다. 하지만, 실도로를 기반으로 한 자율주행자동차의 안전성 평가에 대한 방법 및 절차 등에 대한 연구는 국제적으로 아직 초기 단계이다. 따라서, 향후 자율주행자동차의 상용화에 대비하여 이러한 부분과 관련된 연구가 진행될 필요가 있다.

본 연구의 목적은 자율주행자동차의 주행안전성(driving safety)을 실도로에서 평가하는 것과 관련된 기초적인 개념, 방법, 절차, 평가 항목 등 기초적인 내용을 정의하는 것이다. 이를 위해 자율주행자동차의 안전성을 평가하는 것과 관련된 국제 동향 및 연구를 조사하였다. 이를 바탕으로 자율주행자동차 주행안전성 평가와 관련된 개념을 정의한 후, 효과적이고 과학적인 실도로 기반 자율주행자동차 주행안전성 평가 체계를 제시하고자 한다. 본 연구에서 정의한 실도로 기반 자율주행자동차의 주행안전성 평가와 관련된 기초적인 내용과 도출된 평가 항목 및 지표 등을 통해 자율주행자동차의 개발에 합리적인 안전성을 더할 수 있을 것으로 생각된다.

2. 연구의 범위 및 절차

본 연구의 범위는 자율주행자동차의 운영설계영역(operational design domain, ODD)에 포함될 수 있는 모든 도로를 대상으로 하였다. 실도로 기반 자율주행자동차 주행안전성 평가 방법론을 개발하기 위해 우선 실도로 기반 자율주행자동차 평가와 관련된 국제 동향 및 연구를 고찰하여 시사점을 도출하였다. 이를 통해 자율주행자동차의 주행안전성 평가를 위한 개념의 정의와 평가 방향, 평가 절차 등을 포함한 기본 방향을 설정하였다. 다음으로 주행안전성 평가를 위한 정량적 평가지표와 정성적 평가항목을 제시하였다. 마지막으로 결론과 본 연구를 바탕으로 향후 필요한 연구과제를 제시하였다.

II. 자율주행자동차 평가 관련 동향 및 연구 사례 고찰

1. 자율주행자동차 평가 관련 동향

1) 세계자동차규제조화포럼(WP.29)의 자동주행검증방법(VMAD)

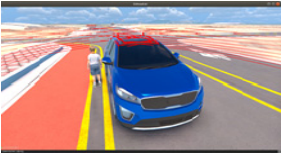
세계자동차규제조화포럼(World forum for harmonization of vehicle regulations, WP.29)은 유엔 유럽 경제 위원회(United Nations Economic Commission for Europe, UNECE)의 자동차 규제 조화를 위한 포럼이다. WP.29는 유럽, 북미, 아시아의 56개 회원국의 자동차 규제의 일치화를 위한 세계 포럼으로 우리나라 또한 회원국 중 하나이다.

WP.29는 자동차와 자동차에 포함된 장비 및 부품에 대한 형식 승인 기준을 정의한다. WP.29의 여러 개의 분과 중 자율주행자동차분과(working party on automated/autonomous and connected vehicles, GRVA)는 자동 및 자율주행자동차 기능 요구 사항(Functional Requirements for Automated and Autonomous Vehicles, FRAV), 자동주행검증방법(Validation Methods for Automated Driving, VMAD), 사이버 보안 및 소프트웨어(Cyber Security and Software Updates, CS/OTA) 등이 포함된다. 이 중 VMAD는 자율주행자동차의 평가 기준을 제시하고 있다.



VMAD는 자동주행을 위한 새로운 평가/시험 방법(new assessment/test method for automated driving, NATM)을 바탕으로 자율주행시스템(automated driving system, ADS)의 능력을 평가하는 프레임워크를 제공하여 안전성을 입증하고자 하고 있으며, 이를 위해 시나리오에 기반한 평가 방법을 지속적으로 고도화할 예정이다.

VMAD에서 제시하는 평가 방법은 크게 시뮬레이션 및 가상 테스트, PG 테스트, 실도로 테스트로 구분할 수 있으며, 다음 <Table 1>과 같다. 평가를 위한 시나리오의 경우 일반(typical), 중요(critical), 특이(edge case) 시나리오로 구분할 수 있으며, 다음 <Table 2>와 같은 특징을 가진다.

<Table 1> Autonomous vehicles evaluation methods

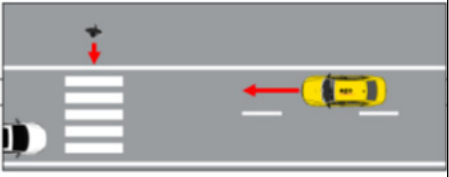
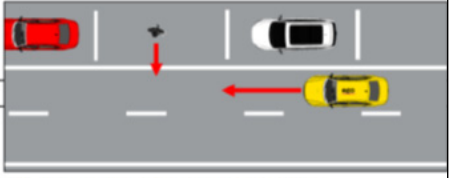
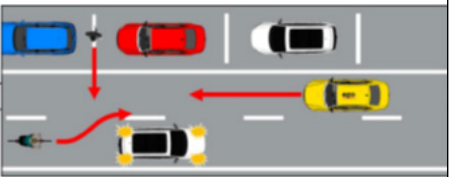
Evaluation Methods		Characteristics
Simulation and Virtual testing		<ul style="list-style-type: none"> • Test in a comprehensive and cost-effective way an ADS in a wide range of traffic scenarios • Suitable for evaluation of critical scenarios that are difficult and/or unsafe to reproduce in PG or real roads

<Table 1> Continue

Evaluation Methods		Characteristics
PG testing		<ul style="list-style-type: none"> • Controllable for many test elements, including certain aspects of ODD • Provide an opportunity to test at less risk than real-world test
Real-world testing		<ul style="list-style-type: none"> • Tested under various real conditions related to ODD • Used to assess aspects of the ADS performance related to its interaction with other road users

source : New assessment/Test Method for Automated Driving Master Document(UNECE, 2021)

<Table 2> Evaluation scenario

Scenarios	Definitions	Examples
Typical scenario	Traffic scenario including situations that reflect regular and non-critical driving maneuver	 Pedestrian crossing a crosswalk
Critical scenario	Traffic scenario involving situations in which ADS needs to perform an emergency maneuver in order to avoid/mitigate a potential collision	 Obstructed pedestrian crossing
Edge case scenario	Traffic scenario including rare situations that require attention to be handled by autonomous vehicles in a reasonable and safe way	 Obstructed pedestrian crossing + cyclist overtaking

source : New assessment/Test Method for Automated Driving Master Document(UNECE, 2021)

2) 자율주행자동차의 안전성

자율주행자동차의 안전성에 대하여 차량의 기능 안전성(functional safety)은 자동차를 제어하는 전기, 전자, 프로그래밍이 가능한 전자 시스템(electrical, electronic, programmable electronic systems, E/E/PE)의 오작동 및 고장에 대해 능동적으로 대처하여 탑승자 및 보행자의 안전을 보장할 수 있는 능력으로 정의할 수 있다(Kim, 2013).

ISO 26262 국제 표준은 차량의 E/E/PE의 기능 안전성에 관한 요건을 정의하고 있다. 또한 IEC 61508의 안전무결성수준(safety integrity level, SIL)을 개선하여 차량안전무결성수준(automotive safety integrity level, ASIL)을 제시하였다. ASIL은 ISO 26262의 핵심 개념으로 차량 및 시스템이 도달하고자 하는 기능 안전성의 수준을 나타낸다(Kim and Jang, 2011). ASIL은 A부터 D까지 4개의 수준으로 나누어져 있고, D 수준으로 갈수록 기능 안전성을 확보하기 위해 더 많은 요구사항을 부합하여야 한다. ASIL은 사고 발생시 사람이 다치는 정도를 다루는 사고심각성(severity, S1: 경상, S2: 중상, S3: 치명상 혹은 사망), 사고가 일어날 수 있는 확률인 노출확률(probability of exposure, E2: 1% 미만, E3: 1~10%, E4: 10% 이상), 탑승자 또는 다른 도로 사용자 등이 제어할 수 있거나 피할 수 있는 정도를 나타내는 제어가능성(controllability, C1: 99% 이상 제어 가능, C2: 90% 이상 제어 가능, C3: 90% 미만 제어 어려움)의 세 가지 요소를 통해 결정된다. 이러한 ASIL은 시스템에서 사용되는 기술이 아닌 탑승자 및 다른 도로 사용자에게 미치는 피해를 중점으로 한다(Kim, 2013).

ISO 26262는 안전 메커니즘 설계와 하드웨어와 소프트웨어에서의 구현 기술, 고장 검출 및 검증 등에 중점을 두고 있다. 그러나 자율주행자동차는 설계에서 발생한 오류나 시스템 사용 중 발생하는 고장이 없음에도 불구하고 시스템의 기능으로 인해 위험한 상황이 발생할 수 있다. 이에 따라, ISO/PAS 21448는 기존 기능 안전성에서 분리되어 자율주행자동차의 의도된 기능(intended functionality)이 다양한 시나리오에서 구현되는지 안전성을 검증하는 Safety of the Intended Functionality(SOTIF)를 제시하였다(Lee et al., 2020). 기능 안전성은 시스템 고장으로 인해 발생하는 안전성에 중점을 둔다면, SOTIF는 ADAS 혹은 자율주행자동차 등의 성능(performance)으로 인해 발생하는 안전성에 중점을 둔다. 또한 SOTIF는 자율주행자동차의 하드웨어 및 소프트웨어의 고장이 없는 경우에도 발생할 수 있는 잔류 위험(residual risk)을 줄이는 것에 중점을 두며 잔류 위험을 평가하는 방법은 다음 <Table 3>과 같다(Son, 2020).

<Table 3> Residual risk evaluation

No	Evaluation Methods
1	Validation of robustness to signal-to noise ratio degradation (e.g. by noise injection testing)
2	Verification of the architectural properties including independence, if applicable
3	In the loop testing on randomized test cases
4	Randomized input tests
5	Vehicle level testing on selected test cases (derived from a technical analysis and error guessing)
6	Long term vehicle test
7	Fleet tests
8	Tests derived from field experience
9	Tests of corner cases and reasonably foreseeable misuse
10	Comparison with existing systems
11	Simulation of selected scenarios
12	Analysis of worst case scenarios

2. 관련 연구 사례

1) Waymo Safety Report

Waymo의 안전 보고서(Waymo Safety Report)에 따르면 Waymo는 자율주행 기술을 평가하기 위해 150억 마

일의 시뮬레이션 평가와 2,000만 마일의 실제 도로를 통해 자율주행자동차를 평가하였다. Waymo의 자율주행자동차 안전 프로그램은 주행안전성을 행동 안전(behavioral safety), 기능 안전(functional safety), 충돌 안전(crash safety), 작동 안전(operational safety), 비충돌 안전(non-collision safety)으로 총 5가지 영역으로 구분하여 평가를 수행한다(Waymo, 2021).

행동 안전의 경우 도로 위에서 자동차의 주행 결정 및 행동을 의미하며 자율주행자동차가 교통 법규를 준수하고 일반적인 시나리오 외에도 예상치 못한 다양한 시나리오를 안전하게 주행하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 기능 분석, 시뮬레이션 도구 및 도로 주행을 조합을 통해 ODD에서 당면한 어려움을 분석하고 안전 요건과 단단계의 시험 및 검증 프로세스를 개발하였다. 기능 안전에선 시스템 결함 또는 고장이 발생했을 경우 차량이 안전하게 작동하는 것으로 백업 시스템 구축과 중복성을 갖는 것을 목표로 한다. 예를 들어, Waymo의 자율주행자동차는 메인 컴퓨터가 고장이 났을 경우 자동차를 최소 위험 조건으로 안전하게 이동시킬 수 있는 보조 컴퓨터를 장착하고 있으며 예비 조향 및 제동 기능을 갖추고 있다. 충돌 안전은 내부에 탑승자를 지켜주는 구조 설계에서부터 부상을 완화시키거나 사망을 방지하는 에어백 등 다양한 조치를 통해 자동차 내부의 탑승자를 보호할 수 있는 능력을 의미한다. 미국의 충돌 안전은 미국도로교통안전국(The National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)가 발행하는 연방자동차안전표준(Federal Motor Vehicle Safety Standards, FMVSS)에 의해 관리된다. 즉 미국 자동차 제조업체는 기본 자동차가 해당 요건을 충족한다는 것을 증명해야만 한다. 작동 안전의 경우 자동차와 탑승자 간의 상호작용을 의미한다. Waymo는 탑승자가 자동차에서 안전하고 편안한 경험을 할 수 있도록 탑승자가 목적지를 지정하고, 자동차를 정지하도록 지시할 수 있게 사용자 인터페이스를 개발 및 테스트하였다. 마지막으로 Waymo는 자동차와 상호작용할 가능성이 있는 사람들의 범위에 대한 물리적 안전을 다루는 것을 비충돌 안전으로 정의하였다. 예를 들어, 상호작용할 수 있는 사람들로 는 자동차 정비사, 응급구조요원 또는 주변 사람에게 해를 끼칠 수 있는 전기 시스템 등을 포함한다.

Waymo 문서에 따르면 자율주행자동차는 ODD 내에서 예측 가능한 다양한 상황에서 역량을 입증할 수 있어야 한다고 하였다. 이에 따라, Waymo는 NHTSA가 권장하는 행동 역량 리스트 외에 자체적으로 도로 구조, 자동차 또는 다른 자동차 속도, 조명(빛) 조건과 같은 다양한 조건의 조합을 통해 행동 역량 리스트를 추가하여 광범위한 시나리오를 테스트하였다. NHTSA에서 권장하는 행동 역량 리스트와 Waymo에서 자체적으로 추가한 행동 역량 리스트는 다음 <Table 3>과 같다(Waymo, 2021).

<Table 4> List of behavioral competencies recommended by NHTSA and Waymo

No	Description
1	Detect and respond to speed limit changes and speed advisories
2	Perform high-speed merge(e.g. freeway)
3	Perform low-speed merge
4	Move out of the travel lane and park (e.g. to the shoulder for minimal risk)
5	Detect and respond to encroaching oncoming vehicles
6	Detect passing and no passing zones and perform passing maneuvers
7	Perform car following (including stop and go)
8	Detect and respond to stopped vehicles
9	Detect and respond to lane changes
10	Detect and respond to static obstacles in the path of the vehicle
11	Detect traffic signals and stop/yield signs

<Table 4> Continue

No	Description
12	Respond to traffic signals and stop/yield signs
13	Navigate intersections and perform turns
14	Navigate roundabouts
15	Navigate a parking lot and locate spaces
16	Detect and respond to access restrictions (one-way, no turn, ramps, etc.)
17	Detect and respond to work zones and people directing traffic in unplanned or planned events
18	Make appropriate right-of-way decisions
19	Follow local and state driving laws
20	Follow police/first responder controlling traffic (overriding or acting as traffic control devices)
21	Follow construction zone workers controlling traffic patterns (slow/stop sign holders)
22	Respond to citizens directing traffic after a crash
23	Detect and respond to temporary traffic control devices
24	Detect and respond to emergency vehicles
25	Yield for law enforcement, EMT, fire, and other emergency vehicles at intersections, junctions, and other traffic controlled situations
26	Yield to pedestrians and bicyclists at intersections and crosswalks
27	Provide safe distance from vehicles, pedestrians, bicyclists on side of the road
28	Detect/respond to detours and/or other temporary changes in traffic patterns
29	Moving to minimal risk condition when exiting the travel lane is not possible
30	Perform lane changes
31	Detect and respond to lead vehicle
32	Detect and respond to a merging vehicle
33	Detect and respond to pedestrians in road (not walking through intersection or crosswalk)
34	Provide safe distance from bicyclists traveling on road (with or without bike lane)
35	Detect and respond to animals
36	Detect and respond to motorcyclists
37	Detect and respond to school buses
38	Navigate around unexpected road closures (e.g., lane, intersection, etc.)
39	Navigate railroad crossings
40	Make appropriate reversing maneuvers
41	Detect and respond to vehicle control loss (e.g., reduced road friction)
42	Detect and respond to conditions involving vehicle, system, or component-level failures or faults (e.g., power failure, sensing failure, sensing obstruction, computing failure, fault handling or response)
43	Detect and respond to unanticipated weather or lighting conditions outside of vehicle's capability (e.g., rainstorm)
44	Detect and respond to unanticipated lighting conditions (e.g., power outages)
45	Detect and respond to non-collision safety situations (e.g., vehicle doors ajar)
46	Detect and respond to faded or missing roadway markings or signage
47	Detect and respond to vehicles parking in the roadway

2) CETRAN

CETRAN(The Centre of Excellence for Testing and Research of Autonomous Vehicles) 프로젝트는 싱가포르

난양기술대학교(Nanyang Technological University, NTU)를 주체로 싱가포르 육상교통청(Land Transport Authority, LTA), NTU, BMW 미래 모빌리티 연구소 및 TÜV SÜD 등이 참여하고 있다. CETRAN 프로젝트는 자율주행자동차 관련 기술의 채택과 도입을 위한 시험 방법론을 개발하고 있다(CETRAN, 2020).

CETRAN 프로젝트를 통해 발표된 시나리오 관련 문서(Scenario Categories for the Assessment of Automated Vehicles)에는 자율주행자동차의 안전성 평가를 위해 시나리오 데이터 기반의 접근법을 제시하였다. CETRAN 프로젝트의 자율주행자동차 평가를 위한 시나리오는 시나리오 범주(scenario category)와 태그(tags)를 통해 분류하였다. 시나리오 범주의 경우 시나리오에 대한 설명이 제시되어 있고 태그는 대상 차량과 목표 차량, 보행자, 물체의 유무, 도로 형태 등 시나리오의 특징을 정의한다. 시나리오는 태그에 따라 시나리오 범주가 결정되며 이를 통해 특정 시나리오가 어떠한 시나리오 범주에 속하는지 알 수 있고 시나리오 범주 데이터베이스에서 단일 태그 또는 태그의 조합을 통해 시나리오를 쉽게 선택할 수 있다. CETRAN 프로젝트에선 ego, actor, road layout, static object 등과 같은 태그의 조합을 통해 67개의 시나리오 범주를 다음 <Table 5>와 같은 형태로 제시하였다(CETRAN, 2020).

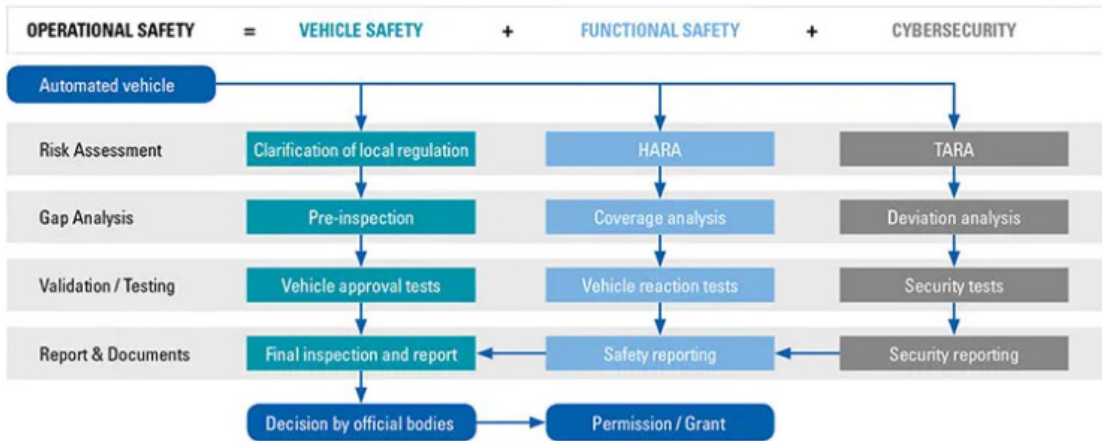
<Table 5> Example of scenario categories presented by CETRAN

Scenario category	Tags - Ego	Tags - Actor	Tags - Road layout & Object
Maneuvering a bend	Lateral activity - Going straight	-	Road layout - Curved
	Longitudinal activity - Driving forward		
Turning left	Lateral activity - Turning - Left	-	Road layout - Junction
	Longitudinal activity - Driving forward		
Navigating on an empty roundabout	Longitudinal activity - Driving forward	-	Road layout - Junction - Roundabout
Impassable object on intended path	Lateral activity - Going straight	-	Static object - On intended path - Impassable
	Longitudinal activity - Driving forward		
Lead vehicle braking	Lateral activity - Going straight	Carriageway user type - Vehicle	
	Longitudinal activity - Driving forward	Initial state	Direction - Same as ego
			Lateral position - Same lane
			Longitudinal position - In front of ego
		Lead vehicle - Following	
		Vehicle lateral activity - Going straight	
		Vehicle longitudinal - Driving forward - Braking	

3) AV-permit

TÜV SÜD는 자동차 제작사에서 정의한 안전성과 사이버 보안 개념의 개발을 지원하거나 검증을 수행하는 기술 인증 기관이다. TÜV SÜD는 차후 개발될 자율주행자동차에 대한 도로 인증, 규제가 부재함에 따라

‘AV-permit’라는 자체적인 평가 절차를 개발하였다. AV-permit에서는 자동차 제작사의 자율주행자동차 프로토타입의 운행 안전성을 자동차 안전성, 기능 안전성, 사이버 보안성으로 분류한다. AV-permit의 운행 안전성 평가 절차는 크게 위험 평가(risk assessment), 갭 분석(gap analysis), 검증/테스트(validation/testing), 보고서 작성(report & documents)으로 구분되며 보고서는 제작사에 전달되어 특정 국가에서 실도로 평가를 할 수 있는 국가 승인을 받도록 도움을 주고 있다. Av-permit의 전체 구조는 다음 <Fig. 1>과 같다(TÜV SÜD, 2021).



Source : Universal Approach for The Assessment of AV's Operational Safety(TÜV SÜD, 2021)

<Fig. 1> AV-permit process

자동차 안전성은 규제 파악, 사전 검사, 자동차 인증 테스트, 최종 검사 및 보고서 작성으로 이루어져 있으며 실도로 평가를 하려는 국가의 자동차 안전기준에 따라 자동차 형식에 대한 평가를 진행한다. 기존 일반 자동차의 평가와는 다르게 자율주행자동차는 일부 항목만을 반영하여 평가한다.

기능 안전성과 사이버 보안성의 경우 자율주행자동차를 평가함에 따라 추가된 항목이며 기능 안전성을 평가하기 위해 ODD와 관련된 설명과 자율주행자동차 시스템에 대한 정의가 필요하다고 제시하였다. 또한, 자동차 제조업체에서 진행한 위험원 분석(hazard and risk analysis, HARA), 안전성 개념(safety concept) 등에 대한 정보가 필요하다고 제시하였다. 위험원 분석은 도로나 자동차 수준에 따른 주행 능력, 주행 상황과 기능의 위험한 조합(e.g. 위험한 상황에 시스템 개입이 없을 경우 등)을 중점으로 분석한다. TÜV SÜD는 위험한 상황이 발생했을 때 운전자가 직접 시스템의 제어를 종료하고 자동차 제어에 개입하는 것을 안전성 개념으로 정의하였다. 예를 들어, 운전자가 on/off 스위치를 통해 제어를 넘겨받는 오버라이드 기능, 비상 정지 버튼 등이 포함된다. 기능 안전성 평가 항목으로 위험원 분석, 안전성 개념 및 요구사항 준수, 자동차 반응 시험을 통한 검증으로 정의하였다.

AV-permit의 레벨 4 수준의 자율주행자동차 프로토타입에 대한 인증 첫 번째 중요 단계는 지역 평가(site assessment)이다. 이는 자동차 안전성에 속한 항목으로 규제 파악과 사전 검사 부분에 해당하며 지역, 경로 선정 등에 중점을 두고 주행 영역(driving corridor)의 적절성을 평가한다. 두 번째는 위험원 분석으로 안전성 개념은 배제하고 위험할 수 있는 주행 상황에 중점을 두고 평가를 진행한다. 이는 잘못된 조향, 감속, 가속 등으로 인해 부상을 초래할 수 있는 교차로에서의 회전, 곡선부 구간 등에서의 주행 능력을 평가한다. 다음으로 위험에 대한 근본 원인을 평가하는 범위 분석(coverage analysis)을 수행한다. 범위 분석은 안전 요구사항

에 따른 시스템 자체의 위험 원인을 확인하고 안전성 개념에 허점이 존재하는지를 밝히는 데 초점을 둔다. 범위 분석은 주행 기능의 기본 시스템 및 구성 요소와 위험한 오작동 자체를 중점으로 분석을 수행하며 위험원 분석과 범위 분석의 차이점은 다음 <Table 6>와 같다(TÜV SÜD, 2021).

<Table 6> Difference between hazard analysis and coverage analysis

	Hazard analysis	Coverage analysis
Focus	<ul style="list-style-type: none"> • Road and overall vehicle • Driving functions on vehicle level • Dangerous combinations of driving situation and driving functions (false positive / false negative) 	<ul style="list-style-type: none"> • A driving function's underlying system/ components • Dangerous malfunctions
Output	<ul style="list-style-type: none"> • Dangerous state of driving function on vehicle level (Hazard) • Associated driving situation (Hazardous situation) • Safe state • Fault tolerant time (FTTI) 	<ul style="list-style-type: none"> • System related causes for hazards (Dangerous root causes) • Technical & Organization measures • Documentation of the effectiveness & trustworthiness (integrity) of measures • Gaps in Safety Concept : y/n

마지막으로 자율주행자동차 기술 수준만을 중점으로 평가를 수행하여 안전성 개념의 제어가능성, 안전 상태와 같은 실효성과 시스템 성능이 상황을 처리하기 어려운 경우의 안전성(SOTIF)을 확인한다. 이와 같은 단계를 거친 후 보고서를 통해 기술 인증을 문서화한다.

3. 시사점 및 연구의 차별성 도출

자율주행자동차 평가와 관련된 연구는 많은 것으로 확인되었지만(Park et al., 2018; Chung et al., 2018; Chae et al., 2016; Sun et al., 2014; Rosenser et al., 2016) 실도로에서 개발된 자율주행자동차를 평가하는 것에 대한 요구는 지속적으로 제기되고 있다. 하지만, 실도로에서 평가를 하기 위한 제도 및 방법론의 개발은 국제적으로 초기 단계이다. 또한, 국내에서도 자율주행자동차의 실도로 평가와 관련된 연구는 없는 것으로 확인된다. 이러한 국제 동향에 맞추어 국내에서도 관련 연구를 진행할 필요가 있다. 또한, 이러한 방법론은 ‘자율주행혁신기술사업’과 연계하여 진행하는 것이 필요하다.

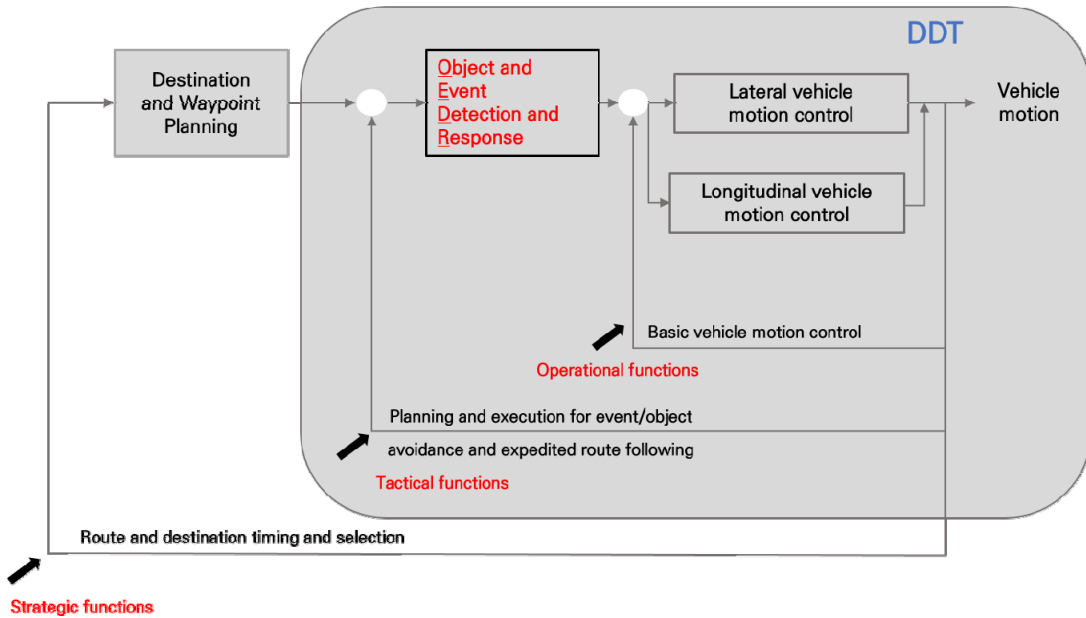
Ⅲ. 실도로 기반 자율주행자동차 주행안전성 평가 방향 설정

1. 주행안전성 평가의 정의

본 연구에서는 주행안전성 평가를 정의하기 위해 전략적 기능(strategic functions)과 동적운전임무(dynamic driving tasks, DDT)에 포함되는 전술적 기능(tactical functions) 및 운영적 기능(operational functions)을 바탕으로 주행안전성을 정의하였다. 전략적 기능은 주행을 위한 경로 및 목적지를 선정하는 것을 의미한다. 전술적 기능은 지정된 경로를 주행 중에 발생하는 사건, 물체 등에 따라 위험을 회피하기 위한 적절한 동작(object and event detection and response, OEDR)을 결정하는 것을 의미한다. 운영적 기능은 전략적 기능에 따라 종방향 및 횡방향 제어 등 결정된 사항들을 수행하는 것을 의미한다. 전략적 기능, 전술적 기능 및 운영적 기능의 관계는 다음 <Fig. 3>과 같다(SAE International, 2021). 이러한 기능을 바탕으로 ‘주행안전성’을 정의하였으

며, 이는 자율주행시스템이 한 단위의 주행을 계획하고 시행하며 관련 법규와 ODD를 준수하고, 탑승자에게 쾌적한 주행을 제공하면서 다양한 위험으로부터 탑승자를 보호하며, 주변 차량과 교통시설에 위해를 가하지 않고 교통류에 조화되도록 안전하게 주행하는 것을 의미한다. 또한, 주행안전성 정의를 기반으로 실도로 기반 자율주행자동차의 평가를 실도로에서 자율주행자동차가 ODD 내에서 전략적 기능과 동적운전임무를 수행함에 있어서 주행안전성을 확보하였는가를 사전에 선정된 구간에서 규정된 방법과 절차에 따라서 평가하는 것으로 정의하였다.

SAE J3016, Dynamic Driving Task (DDT)



Source : Surface Vehicle Recommended Practice(SAE International, 2021)

<Fig. 2> Relationship among functions

2. 실도로 기반 자율주행자동차 평가 방향

실도로 기반 자율주행자동차의 평가 방향은 크게 세 가지로 앞서 정의한 주행안전성의 전략적, 전술적, 운영적 기능의 평가를 염두에 두고 설정하였다. 또한 이러한 평가의 특성을 고려하여 적절한 평가 방법을 제시하였다.

첫 번째로 전략적 기능을 기반으로 ‘경로 계획의 적절성’을 평가하여야 한다. 경로 계획의 적절성은 출발지 및 목적지를 선정했을 때, 자율주행자동차의 ODD에 해당하는 구간을 올바르게 판단하고, 고속도로 진출입, 강우, 강설 등 도로 및 기상 조건 변화에 따른 ODD 변화를 확인한다. 맑음, 강우, 강설, 안개 등 기상 조건의 변화는 자율주행자동차의 ODD의 범위에 지대한 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 맑음일 경우 자율주행자동차가 고속도로에서 자율주행을 수행할 수 있지만 폭우, 폭설 등으로 인해 고속도로에서 자율주행이 불가능해질 경우가 있을 수 있다. 따라서 이러한 평가는 주행하는 도로의 ODD 범위와 함께 실제 기상 및 도로 조건 변화에 대응하는 능력을 평가하는 것으로 디지털 트윈 등의 구현이 가능한 PG 혹은 실도로에서 평가하는 것이 적절하다고 판단된다.

두 번째는 운영적 기능을 중심으로 ‘차량의 기능 안전, 성능 안전, 고장 안전, 사이버 보안’을 평가하여야 한다. 이는 ISO 26262와 ISO/PAS 21488을 바탕으로 차량의 전자 장비 시스템의 고장에 대한 대응 능력과 고장이 아닌 기능적 한계에 의한 오동작 등에 대한 대응 능력의 평가를 포함한다. 이러한 평가의 경우 교통사고의 발생 위험과 사고 발생 시의 심각도가 높을 수 있다. 예를 들어, Cut-in, Cut-out 등 위험한 시나리오에서의 평가를 수행할 때 자율주행자동차가 오작동을 하여 다른 차량과의 충돌이 발생할 수 있다. 따라서 위험해질 가능성이 있는 시나리오를 평가할 경우 통제된 구간에서 통제된 상황을 구현한 후에 정밀하게 수행 및 측정하는 절차가 필요할 것으로 판단되며 이는 PG 혹은 시뮬레이션에서의 평가가 적절할 것으로 판단된다.

마지막으로 교통안전시설물 인지와 주행 관련 규칙의 준수를 기반으로 ‘주행안전성’을 평가하여야 한다. 교통안전시설물 인지의 경우 자율주행자동차가 주행 중에 도로 상에 설치된 신호기, 안전표지, 노면표시 등을 정확히 인지하고 적절한 대응을 수행하는지 평가한다. 「도로교통법」과 같은 주행 관련 규칙 준수를 통해 사람 운전자들과 도로를 주행하는 객체들과의 조화를 평가한다. 또한, 주행 중에 발생하는 상황과 객체에 대한 인식 및 대응 능력을 평가하며 주변 교통류와의 조화 능력은 실도로에서 평가하는 것이 적절하다고 판단된다. 이때, 자율주행자동차가 주변 차량과 일정 속도를 유지하면서 주행하거나 차선 변경을 할 때 주변 차량의 급감속, 급가속을 유발하지 않고 수행하는 것 등을 주변 교통류와의 조화 능력으로 정의하였다.

본 연구에서는 마지막에 제시된 주행 관련 규칙의 준수성을 포함한 ‘주행안전성 평가’를 위한 구체적인 개념, 방법론, 절차 등을 제시하고자 한다.

3. 실도로 기반 자율주행자동차 주행안전성 평가 구조 및 절차

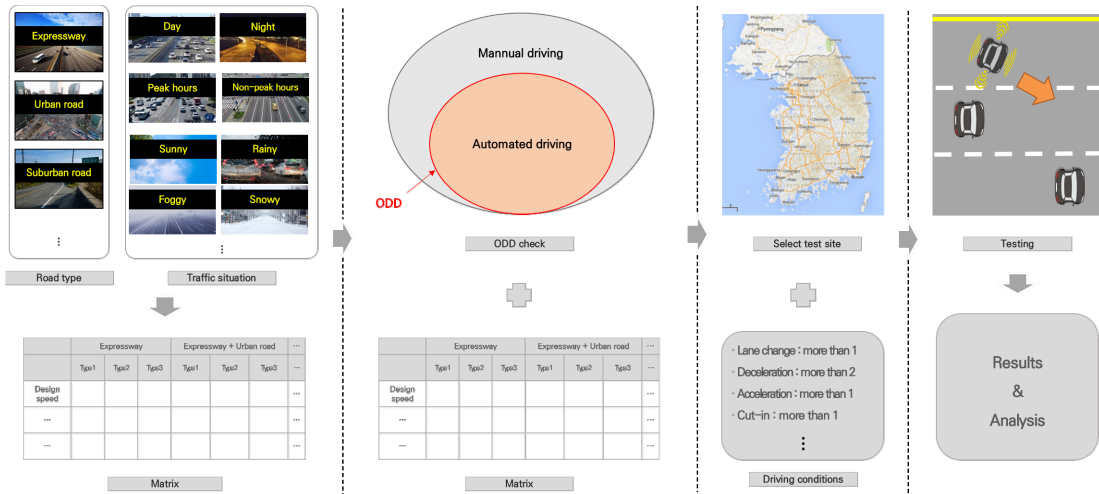
본 연구는 실도로 기반 자율주행자동차의 주행안전성을 평가하는 형식과 절차를 제시하고자 한다. 우선 본 연구에서 제안한 평가는 시나리오를 기반으로 평가 방향에서 제시한 항목들을 평가하게 된다. 이러한 시나리오 기반의 평가는 현재 페가수스 프로젝트, ASAM의 OpenSCENARIO 등과 같이 자율주행자동차의 안전성을 평가하기 위해 개발되는 시나리오를 우리나라의 주행 환경에 맞도록 활용할 수 있다는 특징이 있다. 그러나, 기존 시뮬레이션 및 PG를 이용한 시나리오를 기반으로 한 평가 프로세스의 경우 실도로 자율주행자동차 평가에 적용이 곤란하다는 시사점을 도출하였다. 이에 따라 본 연구에서는 시나리오를 기반으로 국내 주행환경에서 안전하고 공정하게 이루어질 총 네 단계의 절차를 가진 실도로 평가 프로세스를 제시하였고 이는 <Fig 3>과 같다.

첫 번째 단계는 우리나라의 교통환경을 대표할 수 있는 도로, 기하구조, 교통상황 등을 조합한 매트릭스(matrix)를 생성한다. 예를 들어 도로의 종류는 고속도로, 도시부도로 등으로 구분할 수 있으며, 세부적으로 본선 구간, 연결로 구간, 휴게소 등으로 구분한다. 또한 교통상황은 침두시 교통량, 비침두시 교통량, 주간/야간 등으로 구분하며 이렇게 구분한 요소들의 조합으로 matrix를 구축한다.

두 번째 단계는 자율주행자동차의 ODD에 맞는 시험 구간을 선정하게 된다. 자율주행자동차의 ODD는 차량의 성능에 따라 차이가 존재할 수 있다. 또한 동일한 차량일지라도 고속도로, 도시부도로, 교외도로 등과 같이 주행 특성이 다른 도로에서의 성능이 다를 수 있다. 따라서 자율주행자동차의 ODD를 확인하여 앞서 생성한 matrix의 모든 요소들이 평가될 수 있도록 하며, 자율주행자동차의 ODD에 맞는 임의의 시험 구간을 선정한다. 이때, 자율주행자동차의 ODD 경계와 ODD entry, exit와 같은 ODD 변화를 확인한다.

세 번째 단계는 주행 조건을 지정한다. 주행 조건의 경우 설정된 경로를 주행 중 자율주행자동차가 차로 변경, 앞지르기, 좌회전, 우회전 등과 같은 항목을 적절한 횟수 이상 시행하기 위한 조건을 말한다. 이러한 주행 조건의 지정을 통해 자율주행자동차를 평가와 검증이 필요한 상황 및 환경에 강제로 노출시켜 안전성을 만족하기 위해 지나치게 단순한 주행을 하는 것을 방지할 수 있다.

마지막으로 앞의 단계를 통해 설정된 조건에 따라 주행안전성 평가를 시행하는 단계이다. 주행안전성 평가는 실제 자율주행자동차를 실도로에서 주행시켜 주행안전성을 평가하기 위한 데이터를 수집한다. 실도로 주행을 통해 수집한 데이터의 분석을 통해 평가지표를 산정하게 되며, 산정된 평가지표를 바탕으로 주행안전성에 대한 정성적 및 정량적 평가를 수행한다. 평가지표의 경우 실도로 기반 자율주행자동차 평가 방향의 내용을 고려하여 구성하였으며 자세한 내용은 다음 단락에서 다룬다.

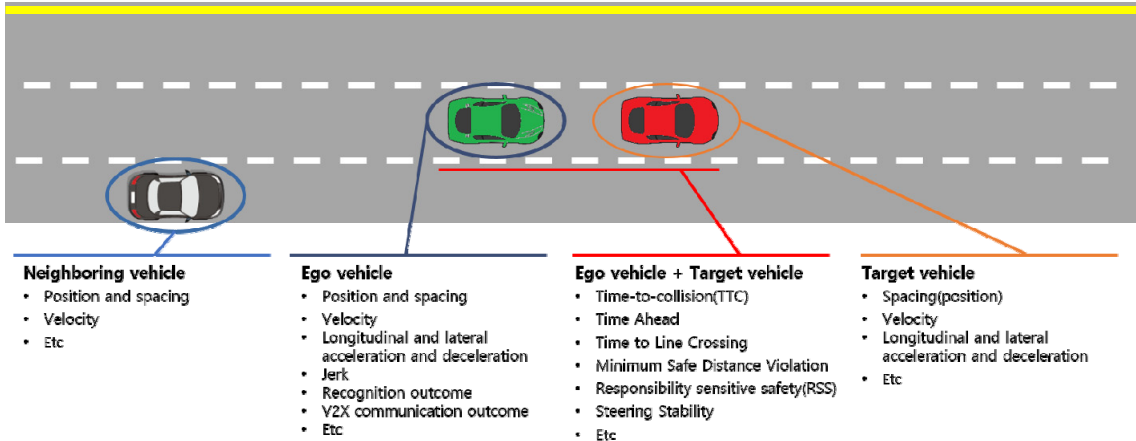


<Fig. 3> Flowchart of driving safety evaluation

4. 주행안전성 평가지표

자율주행자동차의 주행안전성을 평가하기 위한 평가지표는 크게 정량적 지표와 정성적 지표로 구분하였다. 정량적 지표의 경우 안전기준 준수 여부, 교통안전시설물 인지 여부, 교통류 조화 여부로 선정하였다. 이에 평가하기 위한 항목으로는 현재 국토교통부에서 발표한 「부분 자율주행시스템의 안전기준」과 RSS 공식, steering stability를 기반으로 responsibility sensitive safety(RSS), time-to-collision(TTC), 전방최소안전거리, 횡방향 및 종방향 가-감속도, time headway, OEDR 시간, 속도 등으로 구성하였다. RSS는 자율주행카메라 및 센서 제작사인 모빌아이에서 개발한 전방 차량과의 안전거리를 계산하는 모형이다(Park et al., 2018). RSS 모형을 통해 후방 차량과 전방 차량 간의 안전거리를 계산할 수 있다. 전방최소안전거리의 경우 「부분 자율주행시스템의 안전기준」에서 제시하고 있으며 감속하거나 끼어드는 다른 차량과의 거리를 감지하고 안전거리보다 같거나 큰 거리를 유지하도록 자동차 속도를 조절할 것을 제시하고 있다. TTC는 주변 차량의 움직임(방향, 속도 등)이 변하지 않는 경우에 충돌이 발생할 때까지 남은 시간을 의미한다(Yun et al., 2011). Time headway의 경우 전방의 차량을 따라가는 차량이 동일한 지점을 통과하는 두 차량 간의 시간 차이를 의미하며 거리를 차량 속도로 나눈 값으로 정의된다(Bazilinskyy et al., 2018).

정량적 지표를 설정함에 따라 자율주행자동차의 주행안전성에 대한 데이터 수집 항목을 정의하였다. 자율주행자동차인 대상 차량(ego vehicle), 대상 차량과 목표 차량(target vehicle), 목표 차량, 주변 차량(neighboring vehicle)으로 개체마다 수집하여야 할 데이터를 분류하였으며 이는 다음 <Fig. 4>와 같다.



<Fig. 4> Data collection items for qualitative evaluation

정성적 평가의 경우 교통 법규 준수 여부에 대한 평가가 필요한 것으로 판단된다. 이를 통해 국내 관련 법규와 기존 운전자들의 특성을 고려하여 교통류에 얼마나 조화가 가능할 것인가를 평가할 수 있다. 정성적 평가와 관련하여 필요한 항목은 다음 장에서 다룬다.

IV. 자율주행자동차 주행안전성 평가를 위한 정성적 평가항목 조사

1. 정성적 평가 항목 정의

자율주행자동차의 정량적 평가와 달리 정성적 평가와 관련하여 충분한 연구가 이루어지지 않는 실정이다. 이러한 정성적 평가의 경우 앞서 제시한 평가지표인 교통 법규 준수 여부를 평가하기 위한 기준으로 「도로교통법」을 살펴보았다. 「도로교통법」의 경우 도로와 기하구조에 따른 주행 관련 규칙을 제시하고 있으며, 법이라는 특성에 따라 강제성을 지니고 있어 도로를 주행하는 사람 운전자와 자율주행자동차 모두에게 공통적인 기준으로 적용될 수 있다고 판단된다. 이에 따라 「도로교통법」, 「도로교통법 시행령」 및 「도로교통법 시행규칙」을 조사하여 주행안전성의 정성적 평가를 위해 자율주행자동차가 준수해야 하는 항목을 선정하였다.

2. 도로교통법 상 준수 항목

앞서 말한 바와 같이 「도로교통법」과 해당 법의 시행령 및 시행규칙의 조사를 통해 총 41개의 항목을 선정하였다. 선정한 항목은 크게 관련된 도로의 종류 및 시설을 기준으로 구간과 보행자 및 차량과 관련한 객체를 기준으로 구분하여 <Table 7>과 같이 제시하였다. 구간의 경우 모든 도로에서 적용되는 공통항목과 고속도로와 일반도로, 교차로의 종류에 따라 구분된다. 다음으로 객체의 경우 각 조항에 연관된 차량 혹은 보행자로 구분하였으며, 각 조항에 대하여 자율주행자동차가 준수해야 하는 내용을 제시하였다.

<Table 7> Compliance items under Road Traffic Act for qualitative evaluation

Road	Related objects	Road traffic act	Description
Common	Vehicles	Article 13(3)	The driver shall travel along the part of the road that is is to the right of the center line of the road
		Article 17(3)	The driver shall comply with the maximum and minimum speeds of the road
		Article 19(1)	The driver shall drive while securing a safety distance from the car in front of you in the same direction
		Article 19(3)	The driver shall not change your course in case of obstructing the passage of a vehicle in the rear
		Article 19(4)	The driver shall not stop or brake suddenly without reasons such as risk prevention
		Article 46-3	The driver shall not drive recklessly, such as traffic violations, centerline violations, or speed violations.
local road (road section)	Pedestrian	Article 27(4)	The driver shall drive the vehicle slowly while maintaining a safe distance where pedestrians are passing through a safety zone that is set up on the road
		Article 27(5)	The driver shall pause at a safe distance when there is pedestrian on the road
		Article 49(1)	The driver shall pause if there are children, the disabled, the elderly, etc. crossing the road or stopping
		Article 27(1)	The driver shall pause on the stop line if there is a pedestrian passing through the crosswalk
		Article 49(1)	The driver shall pause if there are children, the disabled, the elderly, etc. crossing or stopping through the crosswalk
	Vehicles	Article 20(1)	Where a driver intends to drive at a speed slower than that of a vehicle behind, the driver shall yield the way for the vehicle behind by driving vehicle along the right side of the road
		Article 21(1)	When a driver intends to overtake another vehicle, the driver shall drive on the left side of the other vehicle
		Article 21(4)	The driver shall not impede the other vehicle trying to overtake the vehicle
		Article 22(1)	Where another vehicle is traveling along on the left-hand side of the vehicle running ahead of it, The driver shall not attempt to get ahead
		Article 22(2)	The driver shall not overtake the stopped/slow vehicle according to the instructions of the police official
		Article 22(2)	The driver shall not overtake a stopped/slow vehicle to prevent danger
		Article 23(1)	The driver shall not intervene in front of the stop/slow vehicle according to instructions from the police, etc.
		Article 23(1)	The driver shall not intervene in front of a stopped/slow vehicle to prevent danger
		Article 29(5)	When any emergency vehicle is approaching a place, the driver shall yield the right of way to the emergency vehicle
Article 51(3)	The driver shall not overtake the school bus marked with children's boarding		

<Table 7> Continue

Road	Related objects	Road traffic act	Description
local road (intersection)	Pedestrians	Article 27(1)	The driver shall pause on the stop line if there is a pedestrian passing through the crosswalk
		Article 27(2)	If the driver intends to turn right, the driver shall not interfere with the passage of pedestrians crossing the road according to the signal
		Article 27(5)	If a pedestrian is crossing to a place other than a crosswalk, the driver shall temporarily stop the vehicle
		Article 49(1)	The driver shall pause if there are children, the disabled, the elderly, etc. crossing the road near the intersection or stopping
	Vehicles	Article 22(3)	The driver shall not overtake other vehicles in the intersection
		Article 25(5)	The driver shall not enter when there is a risk of obstructing the passage of another vehicle due to stopping at the intersection according to traffic conditions.
Article 29(4)		When any emergency car approaches an intersection, the driver shall pull away from the intersection to temporarily stop	
local road (non-signalized intersection)	Vehicles	Article 26(1)	The driver shall yield the route if a vehicle already entered the intersection exists
		Article 26(2)	The driver shall yield his or her course if there is another car trying to enter the intersection from this wider road than the width of the road he or she is passing through
		Article 26(3)	When the driver tries to enter the intersection at the same time, he or she shall give way to the car on the right side.
		Article 26(4)	If the driver intends to turn left at the intersection, he or she shall yield his or her course when there is a vehicle going straight or right at the intersection
Highway	Vehicles	Article 60(1)	The driver shall not drive through the shoulder except when passing on the shoulder is permitted through a signal, etc.
		Article 62	The driver shall not cross, make a U-turn or move in reverse on highway
		Article 67	When the driver finds it difficult to drive his or her vehicle due to breakdown or other inevitable reasons, the driver shall stop the vehicle on the right edge of the road

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구는 자율주행자동차의 안전성을 실도로에서 평가하는 것과 관련된 기초적인 개념, 절차, 방법, 평가 항목 등 기초적인 내용을 정의하고자 하였다. 이를 위해 관련된 국제 활동 및 연구 고찰 등을 통하여 실도로에서 자율주행자동차를 평가하기 위한 주행안전성과 평가의 기초적인 개념을 정의하였다. 또한 정의에 기반하여 주행안전성을 평가하기 위한 평가 방향을 설정하였다. 평가 방향은 세 가지로 ‘경로 계획의 적절성’, ‘차량의 기능 안전, 성능 안전, 고장 안전, 사이버보안’, ‘주행안전성’으로 구분된다. 다음으로 이러한 평가 방

향에 따른 평가 방법의 구조와 절차를 제안하였다. 평가 방법은 시나리오에 기반한 평가 방법으로 설정하여 기존 유럽 등에서 자율주행자동차의 기능 안전성을 평가하기 위해 연구 중인 시나리오를 활용함과 동시에 국내의 주행환경 특성을 반영할 수 있도록 제시하였다. 또한 주행안전성을 평가하기 위한 정량적, 정성적 지표를 제시하였다. 정량적 지표의 경우 안전기준 준수 여부, 교통안전시설물 인지 여부, 교통류 조화여부로 정의하였다. 이를 평가하기 위한 항목으로 RSS, TTC, 전방최소안전거리, time headway, OEDR 시간, 속도 등을 선정하였으며, 정량적 평가를 위해 수집하여야 할 데이터 항목을 정의하였다. 정성적 지표의 경우 교통법규 준수 여부를 평가하도록 설정하였다. 정성적 평가의 경우 평가를 위한 내용들이 법으로 제시되어 강제성을 지니고 있어 도로를 주행하는 인간 운전자와 자율주행자동차 모두에게 공통적인 기준으로 사용할 수 있는 「도로교통법」을 통해 정성적 평가를 위한 「도로교통법」 상 준수 항목을 도출하였다. 본 연구에서 도출한 실도로를 기반으로 한 자율주행자동차의 주행안전성 평가 방법론을 통해 자율주행자동차에 대한 안전기준 및 시행세칙을 개발하는 데 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 향후 연구과제

본 연구는 실도로를 기반으로 하여 자율주행자동차의 주행안전성을 평가하기 위한 기초 연구로서 본 연구를 토대로 다음과 같은 연구가 필요하다.

첫 번째로 본 연구에서 도출한 실도로 기반 자율주행자동차 주행안전성 평가 방법론에 대한 객관적인 근거가 부족하였다. 본 연구를 위해 자율주행자동차의 실도로 평가와 관련하여 UNECE, ISO 등의 자료를 조사하였으나 명확히 기술된 문서나 규정은 없는 것으로 확인되었다. 또한, TÜV SÜD 등에서 자율주행자동차 평가와 관련된 절차 및 지수 등을 정의하여 실제 자율주행자동차 평가에 사용하기는 하고 있으나, 외부에 대외적으로 공개되지 않는 실정이다. 이에 따라, 본 연구에선 자율주행자동차 안전성 평가와 관련된 동향을 조사 및 분석한 후 기초 개념, 평가 절차, 평가 방법, 계량화 방안 등을 정의하여 제시하였다. 그러나, 이는 저자의 주관적인 판단으로 제시되어 객관성이 떨어진다고 판단된다. 향후 진행될 연구를 통해 본 연구에서 도출한 실도로 기반 자율주행자동차 평가 방법론의 객관적인 근거를 제시하여야 할 필요성이 있다고 판단된다.

두 번째로 실도로 기반 자율주행자동차의 주행안전성을 평가하기 위한 지표에 대해 적합성 검사가 필요하다. 본 연구에서 제시한 정량적 평가 지표와 평가 항목, 수집하여야 할 데이터 간의 적합성 검사를 면밀하게 수행하여 수집 데이터를 통해 평가 항목을 정확히 평가가 수행되는지 여부와 평가 항목이 평가 지표와 비교하여 올바르게 정의되었는지에 대한 개별적인 적합성 검사가 필요하다. 따라서, 향후 진행될 연구에선 평가 지표와 평가 항목, 수집 데이터간의 관계가 적합한 지에 대한 검사가 진행되어야 할 것으로 보인다.

마지막으로 ADAS 안전기준 등을 참조하여 자율주행자동차의 주행안전성 평가 방법, 절차, 내용, 계량화 방안 등을 지속적으로 고도화할 필요가 있다. 앞에서 언급한 본 연구의 한계점을 개선한다면 향후 자율주행자동차 안전기준 및 시행세칙 개발에 객관적인 근거를 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 운전자 뿐만 아니라 보행자에게도 안전한 국내 주행환경을 만드는 데 도움이 될 것으로 생각된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부 도심도로 자율협력주행 안전·인프라 연구 사업의 연구비지원(과제번호 21PQOW-B154273-03)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- American Automobile Association(AAA), <https://www.8newsnow.com/news/local-news/aaa-survey-finds-86-of-drivers-afraid-to-ride-in-automated-vehicles/>, 2021.09.30.
- Bazilinskyy P., Stapel J., De Koning C., Lingmont H., De Lint T., Van der Sijs T., Van den Ouden F., Anema F. and De Winter J.(2018), "Graded auditory feedback based on headway: An on-road pilot study," *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe*, pp.115-126.
- Centre of Excellence for Testing and Research of Autonomous Vehicles(2020), *Scenario Categories for the Assessment of Automated Vehicles*, pp.1-148.
- Chae H. S., Jeong Y. H., Yi K. S., Choi I. S. and Min K. C.(2016), "Safety Performance Evaluation Scenarios for Extraordinary Service Permission of Autonomous Vehicle," *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 24, no. 5, pp.495-503.
- Cho J. H., Park K. M., Han T. M., Jung Y. J., Jeon S. H. and Kim H. S.(2009), "An Analysis of ISO 26262 and its applications," *The Korean Society of Automotive Engineers*, pp.1697-1702.
- Chung S. H., Ryu J. M., Chung N. S., Yu M. S., Pyun M. S. and Kim J. B.(2018), "A Study on Development of High Risk Test Scenario and Evaluation from Field Driving Conditions for Autonomous Vehicle," *Journal of Auto-vehicle Safety Association*, vol. 10, no. 4, pp.40-49.
- Kim B. C.(2013), "Vehicle Functional Safety ISO 26262 Standard and Automobile Industry Response," *The Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 40, no. 5, pp.21-32.
- Kim G. Y. and Jang J. S.(2011), "Hardware ASIL Quantitative Evaluation Procedure of ISO 26262," *In Proceedings of the Korean Reliability Society Conference, The Korean Reliability Society*, pp.271-279.
- Lee J. M., Jung U. I. and Song B. S.(2020), "Critical Scenario Generation for Collision Avoidance of Automated Vehicles Based on Traffic Accident Analysis and Machine Learning," *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 28, no. 11, pp.817-826.
- Lim H. H., Chae H. S., Lee M. G. and Lee K. S.(2017), "Development and Validation of Safety Performance Evaluation Scenarios of Autonomous Vehicle based on Driving Data," *Journal of Auto-vehicle Safety Association*, vol. 9, no. 4, pp.7-13.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT), http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?id=95083829, 2021.09.30.
- Navigant Research(2013), *Autonomous Vehicles(Self-Driving Vehicles), Autonomous Parking, and Other Advanced Driver Assistance Systems: Global Market Analysis and Forecasts*, 3Q.
- Park S. H., Jeong H. R., Kim K. H. and Yun I. S.(2018), "Development of Safety Evaluation Scenarios for Autonomous Vehicle Take-over at Expressways," *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 17, no. 2, pp.142-151.
- Park S. H., Park S. H., Hong Y. S., Ryu S. K. and Yun I. S.(2018), "Comparison of RSS Safety Distance for Safe Vehicle Following of Autonomous Vehicles," *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 17, no. 6, pp.84-95.
- Rosenser C., Fahrenkrog F., Uhlig A. and Eckstein L.(2016), "A Scenario-based Assessment Approach for Automated Driving by Using Time Series Classification of Human-Driving Behaviour," *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems*

- (ITSC), pp.1360-1365.
- SAE International(2021), *Surface Vehicle Recommended Practice*, p.10.
- Son M. H.(2020), “Virtual V&V Platform for Autonomous Driving Development,” *AUTO JOURNAL: Journal of the Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 42, no. 4, pp.22-26.
- Sun Y., Xiong G., Song W., Gong J. and Chen H.(2014), “Test and Evaluation of Autonomous Ground Vehicles,” *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 6, 681326.
- TÜV SÜD, <https://www.tuvsud.com/en/industries/mobility-and-automotive/automotive-and-oem/autonomous-driving/permit-for-operating-autonomous-vehicles>, 2021.09.27.
- United Nations Economic Commission for Europe(UNECE)(2021), *New Assessment/Test Method for Automated Driving(NATM)-Master Document*, Economic and Social Council, pp.1-37.
- Waymo(2021), *Waymo Safety Report*, pp.11-47.
- Yun I. S., Lee C. K., Choi J. H. and Ko S. J.(2011), “Safety Assessment of Signalized Intersection Using SSAM : A Case of Actuated Signal Control,” vol. 10, no. 6, pp.1-14.