자율주행자동차 안전성 검증을 위한 ODD 기반 평가요소 제시 : K-City를 중심으로

Suggestion of Evaluation Elements Based on ODD for Automated Vehicles Safety Verification : Case of K-City

김 인 영* · 고 한 검** · 윤 재 웅*** · 이 요 셉**** · 윤 일 수*****

* 주저자 : 아주대학교 교통공학과 석박사 통합과정
** 공저자 : 한국교통안전공단 자동차안전연구원 자율주행실 차장
*** 공저자 : 티유브이슈드코리아 모빌리티 부서 과장
**** 교신저자 : 아주대학교 교통공학과 석박사 통합과정
***** 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

Inyoung Kim* · Hangeom Ko** · Jae-Woong Yun*** · Yoseph Lee* · Ilsoo Yun*

* Dept. of Transportation Eng., Univ. of Ajou
** Korea Automobile Testing & Research Institute, Korea Transportation Safety Authority
*** Dept. of Mobility, TUV SUD Korea Ltd.

† Corresponding author : Yoseph Lee, dldytpq3@ajou.ac.kr

Vol. 21 No.5(2022)
October, 2022
pp.197~217

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.5.197

Received 11 July 2022
Revised 3 August 2022
Accepted 13 September 2022

ⓒ 2022. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

자율주행자동차(Automated vehicle, AV) 교통사고가 지속적으로 발생하면서 자율주행시스템(automated driving system, ADS)의 안전성 및 신뢰성을 확보하기 위한 안전성 검증의 중요성이 강조되고 있다. 안전성 및 신뢰성을 확보하기 위해서는 ADS의 운행가능영역(operational design domain, ODD)을 정의하고 ODD를 벗어나는 상황에서의 대응 능력을 평가하면서 ADS의 안전성을 검증해야 할 필요가 있다. 이를 위해 SAE, BSI, NHTSA, ISO 등의 국제 기구에서는 ODD 분류 기준 및 표준을 규정하고 있으나 국내의 경우 ODD 기준이 부재하여 AV의 ODD 표현 방법 및 안전성 검증 및 평가가 적절히 이루어지지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 해외 ODD 분류 기준을 분석하고 안전성 검증 및 평가에 적합한 분류 기준을 선정하였다. 선정된 ODD를 기반으로 ADS 안전성 검증 및 평가에 필요한 평가요소를 제시하였다. 특히, ADS 기술 개발을 지원하는 자율주행 실험도시(K-City)의 평가환경을 분석하여 평가요소를 제시하였다.

핵심어 : 자율주행자동차, 안전성 검증, 평가요소, 운행가능영역, K-City

ABSTRACT

As automated vehicle(AV) accidents continue to occur, the importance of safety verification to ensure the safety and reliability of automated driving system(ADS) is being emphasized. In order to encure safety and reliability, it is necessary to define an operational design domain(ODD) of the ADS and verify the safety of the ADS while evaluating its ability to respond in situations outside of the ODD. To this, international associations such as SAE, BSI, NHTSA, ISO, etc. stipulate ODD standards. However, in Korea, there is no standard for the ODD, so automated vehicles's ODD expression method and safety verification and evaluation are not properly conducted. Therefore, this study analyzed overseas ODD standards and selected suitable ODD for safety verification and evaluation, and presented evaluation elements for ADS safety verification and evaluation. In particular, evaluation elements were selected by analyzing the evaluation environment of the

automated driving experimental city (K-City) that supports the development of ADS technology.

Key words : Automated Vehicles, Safety Verification, Evaluation Elements, Operational Design Domain, K-City

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

자율주행자동차(Automated vehicles, AV)가 주목받기 시작하면서 전 세계적으로 레벨 3 수준의 AV 양산과 더불어 레벨 4 수준의 AV 상용화를 위한 기술 개발 경쟁이 본격화되고 있다. 국외 자동차 완성차 업체인 혼다에서는 2021년 3월 세계 최초로 미국 자동차 공학회(SAE International, 이하 SAE) 레벨 3 수준의 AV를 승인받은 바 있으며, Mercedes-benz는 올해 4월 독일에서 SAE 레벨 3 수준의 자율주행시스템(automated driving system, ADS) 옵션이 적용된 AV 판매를 본격적으로 돌입하였다(Nikkei Asia, 2022; Autoweek, 2022). 이때, ADS는 운전자의 제어 없이 주변 상황과 도로 정보 등을 스스로 인지하고 판단하여 자동차의 가·감속, 제동 또는 조향장치를 제어하는 기능 및 장치를 의미한다. 국내에서는 현대자동차가 올해 말 레벨 3 수준의 ADS 기술을 적용한 제네시스 G90을 출시할 예정이다(Hankyung, 2022). 이외에도 자동차 기술 관련 기업들은 향후 2~3년 내에 레벨 4 AV 양산이 가능하다고 발표했다(Lee and Woo, 2021). 이렇듯 세계 각국에서는 레벨 3 수준의 AV 양산이 가시화되고 있으며, 이와 동시에 레벨 4 수준의 AV 상용화를 위한 기술 개발에 박차를 가하고 있다.

국내외적으로 레벨 3 이상의 고도화된 AV가 개발되고 있으나 AV와 관련된 교통사고가 지속적으로 발생하면서 자율주행의 기능 안전(functional safety) 및 주행 안전성(driving safety)에 대한 문제가 제기되고 있다. 2019년도에는 캘리포니아주에서 웨이모가 공사 중인 도로 옆의 모래주머니를 피하려다가 옆 차선 버스를 들이받은 사고가 있었으며, 2021년 미시간주에서는 테슬라의 모델 Y가 화물차량과 충돌하며 운전자와 동승자가 중태에 빠진 사고가 있었다(Ai times, 2022). AV 사고가 잇달아 발생하면서 The New York Times(2022)에서는 미국 자동차 업체들이 AV 개발에 나서고는 있으나 안전성이 여전히 검증되지 못하고 있다고 지적하였다. AV 기능 및 주행 안전성에 대한 지속적인 문제는 AV에 대한 안전성 및 신뢰성에 대한 우려로 이어지게 된다. 따라서 AV 상용화를 위해서는 안전성을 확보할 필요가 있다.

AV의 안전성 및 신뢰성을 확보하기 위해서는 ADS의 운행가능영역(operational design domain, ODD)을 정의하고 ODD를 벗어나는 상황에서의 대응 능력(object and event detection and response, OEDR)을 평가할 필요가 있다(NHTSA, 2018). 이를 위해 해외에서는 ODD 분류 체계 및 구성요소를 정의하고 있으며 다양한 평가환경 내에서 ODD를 활용하여 AV의 안전성을 평가하는 연구가 활발히 진행되고 있다(ISO, 2022). 하지만 ADS의 안전성을 검증하는 평가환경에 대한 ODD를 제시하는 연구는 부족한 실정이며, 국내의 경우 이를 작성하는 기준 또한 부재한 실정이다. 일반적으로 ODD는 자동차 제작사가 결정하게 되지만 현재 작성 기준이 부재하고 자동차 제작사마다 ODD를 표현하는 방식이 달라 이에 대한 개선이 필요하다. 따라서 ODD를 활용하는 이해관계자들에게 표현 방법을 제시할 필요가 있으며, 특히 ODD를 기반으로 ADS의 기능 및 주행 안전성을 검증하고 안전성이 확보된 ODD를 정의할 수 있도록 평가환경에 대한 안전성 평가요소를 제시할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 ODD를 제시하기 위한 분류 체계 및 구성요소를 선정하였으며, 이를 기반으로 ADS

의 안전성 검증 및 평가에 필요한 평가요소(evaluation element)를 제시하였다. 평가요소란 ADS의 안전성을 검증하고 평가할 수 있는 대상 즉, 환경적 요소를 의미한다. 예를 들어 안개 속에서 ADS가 속도제한 표지판을 식별하고 감속하는지에 대한 평가를 진행하는 경우 안개와 속도제한 표지판이 평가요소가 된다. 특히, 안전성을 확보한 ADS 기술 개발이 가능하도록 실도로와 유사한 AV 테스트베드를 제공 중인 자율주행 실험도시(K-City)를 대상으로 ODD 기반 평가요소를 제시하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 K-City 평가환경을 검토 후 K-City 평가요소를 제시하였다.

2. 연구의 범위 및 절차

본 연구는 ADS 안전의 핵심 구성요소인 ODD의 표현 방법을 제시하고 이를 기반으로 ADS 실험이 가능한 테스트 환경(도로 인프라, 통신환경, 평가 시스템 등) 및 평가요소를 제시하여 ADS 기술 검증 및 안전성이 확보된 ODD 선정을 도모하고자 수행되었다. 이를 위한 연구의 공간적 범위로는 실도로와 유사하고 다양한 실험환경이 조성되어있는 폐쇄형 테스트베드인 K-City로 설정하였다. K-City에는 현재 K-City와 주행 시험로(proving ground, PG) 두 개의 시험장이 존재하기 때문에 K-City와 PG로 구분하여 ODD 기반 테스트 환경 및 평가요소를 제시하였다. 시간적 범위는 K-City가 처음 구축된 2016년부터 2022년으로 설정하였으며, 내용적 범위는 국내외 ODD 표준 분석, ODD 분류 체계 및 구성요소 선정, 선정된 ODD 기반 K-City 평가요소 제시로 하였다.

Ⅱ. 관련 이론 및 연구 고찰

1. 관련 이론 고찰

1) 자율주행 기술 분류

SAE J3016 표준 문서에서는 ADS를 레벨 0부터 레벨 5까지 총 6개의 단계로 구분하고 있다. 레벨 0은 비자동화(no driving automation) 단계로 운전자가 차량의 모든 동작을 제어하고 모든 동적 주행을 수행하게 된다. 레벨 1에 해당하는 운전자 보조(driver assistance)와 레벨 2에 해당하는 부분 자율주행 단계(partial driving automation)는 운전자가 전반적인 주행을 하지만 종방향 또는 횡방향 등 차량의 일부 동작은 첨단 운전자 보조 시스템(advanced driver assistance system, ADAS)과 같은 자동화 시스템이 제어하게 된다(SAE, 2021). 이때, 레벨 2가 레벨 1보다 시스템이 차량의 동작을 제어할 수 있는 범위가 더 넓어진다. 레벨 3, 즉 조건부 자율주행(conditional driving automation) 단계부터는 ADS가 종·횡방향 제어를 모두 수행하게 되며, 운전자는 비상상황에서만 운전에 개입하게 된다(Sabaliauskaite et al., 2018). 레벨 4 고등 자율주행(high driving automation)은 종·횡방향 제어와 비상 대처를 모두 ADS가 수행한다(Zanchin et al., 2017). 이때, 레벨 3과 레벨 4의 가장 큰 차이점은 비상 대처를 수행하는 주체이다. 레벨 3의 경우 운전자가 비상 대처를 수행하게 되며 레벨 4의 경우 ADS가 비상 대처를 수행하게 된다. 또한, ODD의 경우 레벨 3보다는 레벨 4의 ODD 범위가 넓어 다양한 환경에서의 ADS 수행이 가능하다(Zanchin et al., 2017). 레벨 5 완전 자율주행(full driving automation)의 경우 ODD 범위 제한이 없고 모든 운전 구간에서 ADS 기능이 활성화되며 비상 대처 또한 ADS가 수행하게 된다(Cui and Sabaliauskaite, 2017). 자율주행 기술 분류는 다음 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Automated driving technology classification

Driver Support	Level	Name	DDT		DDT Fallback	ODD
			Sustained Lateral and Longitudinal Vehicle Motion Control	OEDR		
-	0	No driving automation	Driver	Driver	Driver	n/a
Driver support	1	Driver assistance	Driver and system	Driver	Driver	Limited
	2	Partial driving automation	System	Driver	Driver	Limited
Automated driving	3	Conditional driving automation	System	System	Fallback-ready user (becomes the driver during fallback)	Limited
	4	High driving automation	System	System	System	Limited
	5	Full driving automation	System	System	System	Unlimited

Source : Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (SAE International, 2021)

2) ODD 개념

ODD는 ADS이 주어진 조건에서 정상적이고 안전하게 작동될 수 있는 조건을 정의하기 위한 특정 운영 환경으로 도로 종류, 특정 시간, 날씨, 통신환경 등과 같은 주행 환경과 ADS의 작동한계, 안전운행 조건 등이 포함된다.

SAE에서는 레벨 4 AV를 대상으로 ADS의 운영유지 보수를 위해 표준화된 ODD framework 및 분류 체계에 따른 세부 구성요소와 범위를 제공한다. 특히, ADS 개발자 이외에도 시험자, 제조사 등 모두가 이해 가능한 표준화된 ODD 제공을 목적으로 하였다(AVSC, 2020). 또한, SAE에서는 AV의 안전 표준을 만들기 위해 제조사 중심 컨소시엄(Automated Vehicle Safety Consortium, AVSC)을 결성하였다.

AVSC는 자율주행 기술 개발자, 시험자 및 보급자를 대상으로 레벨 4 AV ADS의 운영 및 유지보수를 위해 top-down 방법과 bottom-up 방법을 모두 고려하여 ODD framework와 세부항목 및 범위를 정립하였다(AVSC, 2020). 그 결과 ODD를 5가지 상위 범주(physical infrastructure, road geometry, operational constraints, environmental conditions, objects)로 분류한 후 하위 범주를 정의하였다(AVSC, 2020).

NHTSA(2018)는 ADS의 안전한 개발을 위해 ADS 특정 기능을 평가 및 테스트할 수 있는 테스트 시나리오 기반의 ADS 평가 방법을 제시하였다. 해당 테스트 시나리오는 ADS의 평가에 ODD 요소를 포함하도록 제시되었다. ODD는 6가지(physical infrastructure, operational constraints, objects, environmental conditions, connectivity, zones)로 분류되었으며, 레벨 3~레벨 5에 해당하는 AV를 대상으로 ADS가 ODD를 식별하고 작동할 수 있게 설계하도록 권고했다.

BSI에서는 차량 제조사 및 안전 담당자, 시뮬레이션 등 다양한 이해관계자를 대상으로 레벨 3과 레벨 4 수준의 AV의 ADS가 안전하게 작동할 수 있는 ODD 분류법 및 조건에 대한 설명·형식을 포함한 표준 문서(Publicly Available Specification, PAS) 1883을 발표하였다. 특히, 레벨 3과 레벨 4에 해당하는 ADS가 ODD를 인지하고 판단할 수 있는 능력을 검증하기 위해서는 ODD 정의 및 기준이 필요하다고 강조했다. 이를 위해 3가지의 분류 체계(scenery, environmental conditions, dynamic element) 및 운전상황과 같은 작동조건을 설명하기 위한 공통어를 정의하였다. 또한, 시뮬레이션에서도 적용이 가능한 포맷을 제안하였다(BSI, 2020).

자동화 및 측정 시스템 표준화 협회(Association for Standardisation of Automation and Measuring systems, ASAM)에서는 자율협력주행자동차(connected and automated vehicles, CAVs)의 주행 안전성을 확보하기 위해 CAVs의 기능 및 한계를 정의하도록 CAVs의 시뮬레이션에 대한 표준인 OpenX를 제정하였다. OpenX의 표준 내 CAVs의 주행에 관한 OpenODD Concept Paper를 제시하였으며, 이는 BSI에서 제안하는 분류 체계를 근거로 ODD를 정의하였다. 또한, 복잡해진 ADS 기능을 검증하기 위해 다양한 환경에서 반복·재현이 가능한 시뮬레이션과 자동차 운행 환경 내에서 쉽게 사용될 수 있는 기계 언어 및 표준 포맷을 제공하였다(ASAM, 2022).

국내에서는「자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙」제111조의2(자율주행시스템의 운행가능 영역 지정)에서 ODD와 관련된 사항을 정의 중이다. 본 내용에서는 제작자가 ADS의 작동영역을 지정해야 하며, ODD에는 도로·기상 등 주행 환경, ADS 작동 한계, 그 밖에 자동차의 안전한 운행과 관련된 조건 등을 포함하도록 명시하고 있다(Korea Ministry of Government Legislation, 2022).

2. 선행 연구 고찰

최근 국내외에서는 ODD를 기반으로 ADS 기술을 평가하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그 예시로 시나리오 기반의 자율주행 기술 안전성 검증 및 평가에 대한 연구인 독일의 PEGASUS 프로젝트와 일본의 SAKURA 프로젝트, United Nations Economic Commission for Europe(UNECE) Working Forum for Harmonization of Vehicle Regulations(WP).29 Working Party on Automated/autonomous and Connected Vehicles(GRVA) Validation Method for Automated Driving(VMAD)의 연구 등에서 자율주행 평가 시나리오 개발 과정을 제시한 바 있다(PEGASUS, 2020; SAKURA, 2022; UNECE, 2021). 평가 시나리오는 시나리오 추상화 수준 및 개수에 따라 상황(functional), 범위(logical), 시험(concrete) 시나리오 세 가지 형태로 구분된다. 상황 시나리오에서는 도로망, 고정 및 동적 요소, 환경 조건, 상황 등에 대해 묘사해야 하며, 범위 시나리오에서는 상태 값의 매개변수 종류와 범위를, 시험 시나리오에서는 구체적인 실험값을 지정해야 한다(Park et al., 2019). ISO 34502 표준 문서에서는 ADS 테스트 시나리오를 위한 가이드라인 및 시나리오 기반 안전성 평가 프로세스를 규정하였다. 이는 일본에서 개발한 ADS 평가 framework를 기반으로 개발한 표준이며 ODD, 법제도, ISO 26262와 ISO/PAS 21448 표준 및 시나리오의 특징을 분석하여 중요 시나리오를 추출한 후 ADS를 평가하는 절차로 진행하였다(ISO, 2021).

최근 국내에서도 ADS 평가를 위해 해외 ODD 분류 체계를 기반으로 평가구간을 분석하고 선정하는 연구가 진행되고 있다. 정부가 2027년 레벨 4/4+ AV 상용화를 목표로 함에 따라 자율주행기술개발혁신사업단(국토교통부, 경찰청, 산업통상자원부, 과학기술정보통신부)이 출범하면서 각 사업단에서는 자율주행 도로 인프라, ADS 기술, 모빌리티 서비스, 법 규제, 평가 방법 등과 관련된 연구를 진행 중이다(Korea Transport Institute, 2020). 특히, 국토교통부에서는 AV의 안전성을 평가하기 위한 법제도 및 평가기술, 관련 인프라 등을 개발 중이다. 이러한 개발의 일환으로 TUV SUD Korea에서는 ODD를 선정하기 위한 방법론을 수립하고 해외 ODD 분류 체계 및 요소를 선정한 바 있다(TUV SUD Korea, 2021). 특히, 중국, 미국, 캐나다, 유럽 연합 회원국, 한국, 일본 등 주요 자동차 시장을 고려한 국제 기술 기준(Global Technical Regulations, GTR) 1998 Agreement 가입국을 대상으로 ODD를 표현하고 요소를 선정하였다. 이외에도 Kim and Kee(2020)는 NHTSA ODD 분류법을 활용하여 세종시 자율주행 실증구간 도로체계 및 운행환경 ODD 요소를 정의하였으며, 이를 기반으로 ADS 작동이 가능한지에 대한 조건을 명시하였다. 또한, Kim et al.(2020)은 NHTSA ODD 분류법을 활용하여 안양시 도시부 자율주행 셔틀 실증을 위한 ODD를 정의하고 평가하였다.

3. 시사점 및 연구의 차별성 도출

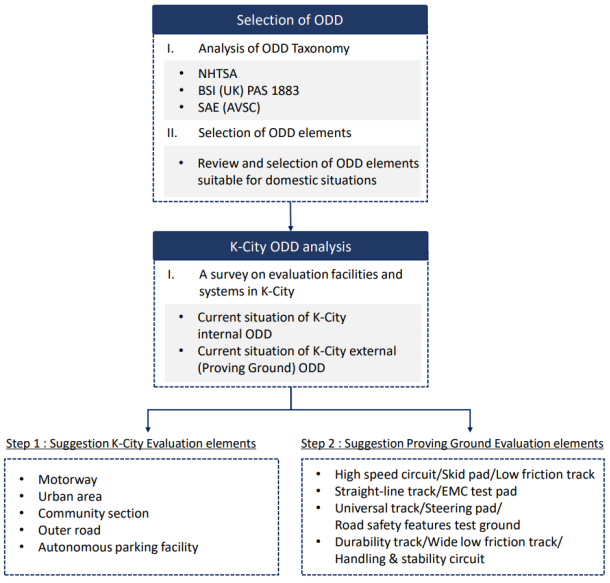
관련 이론 고찰 및 선행 연구 고찰을 통해 도출된 시사점은 다음과 같다. 해외의 경우 공통적으로 ODD를 정의하고, 도로 및 기상 환경, 주행 환경과 같은 요소들을 포함하도록 명시하였다. 다만, 한국의 경우 ODD를 정의하는 대상이나 명확한 기준이 부재하며, 이를 활용하는 구체적인 방안이 존재하지 않는 실정이다. 국내외적으로 ADS의 ODD를 정의하고 ADS 기능을 평가하여 안전성을 확보하도록 강조하고 있는 만큼 ADS는 ODD 기반의 다양한 평가요소를 통한 검증이 필요하며, ADS가 작동할 수 있는 ODD를 구체적으로 표현하고 선정해야 할 필요가 있다. 따라서 K-City는 ODD에 대한 기준을 정립하고 이를 기반으로 구체적인 평가환경의 요소 및 범위를 제시해야 할 필요가 있다.

본 연구의 차별성은 다음과 같다. 기존의 분류 체계와 달리 최근에는 다양한 기관에서 ODD 분류 체계를 제안하고 있어 각 분류 체계를 비교 분석하여 분류 체계를 선정할 필요가 있다. 본 연구에서는 비교 분석을 통해 차량 제작사 및 개발자, 도로 관련 인프라 연구진, 안전 담당자, 시뮬레이션 개발자 등이 다양한 분야에서 활용할 수 있는 BSI의 ODD 분류 체계를 선정하고 구성요소를 제시하였다. 또한, ODD 기반 K-City 평가요소 유무를 표현하고 평가환경 세부사항(시스템 및 시설) 등을 시뮬레이션에 활용 가능한 표현으로 제시하여 범용성을 높이고자 하였다. 본 연구에서 제시한 K-City 평가요소를 통해 이용자들의 신속한 ADS 기술 검증 및 평가를 도모하고 안전성이 확보된 ADS의 ODD를 선정하도록 하였다.

Ⅲ. ODD 선정 및 K-City 평가요소 제시 방법론

1. ODD 선정 및 K-City 평가요소 제시 절차

본 연구의 경우 ‘ODD 선정’과 ‘K-City ODD 환경 분석’으로 나누어 수행하였다. 각 과정에 대한 세부 절차



<Fig. 1> Research process

는 다음 <Fig. 1>과 같다.

2. ODD 분류 체계 선정

본 연구에서는 국외 ODD 분류 체계를 방향성 제시 여부, 범용성, 용이성, 친숙성, 체계성을 기준으로 분석하였다. 이때, 방향성 제시 여부는 각 표준화 기관별로 계층별 명확한 요소가 포함되어 향후 제도화될 방향성을 제시하였는지의 여부를 의미하며 범용성은 제시된 ODD가 다양한 분야에서 널리 쓰일 수 있는지의 여부를 의미한다. 그다음으로 용이성은 계층별 ODD 요소가 시뮬레이션에 적용 및 문서화 되기에 적합한지의 여부를, 친숙성은 자동차 제조사 및 자동차 이용자 모두에게 친숙한 용어이며 이해하기 쉬운지에 대한 여부를 의미하며 체계성은 계층 및 범주의 분류가 체계적 인지의 여부를 의미한다. 5가지 분석 기준은 다음 <Table 2>와 같다.

<Table 2> ODD analysis criteria

Classification	Contexts
Proposal direction	• It is necessary to confirm that clear elements for each ODD category were included and that the direction to be institutionalized in the future was presented.
Generality	• It should be checked whether it can be widely used in various fields.
Usefulness	• It is necessary to ensure that the ODD elements are applicable to the simulation and suitable for documentation.
Familiarity	• It is necessary to check whether it is a term familiar to stakeholders and easy to understand.
Systematicity	• It is necessary to check whether the classification of classes and categories is systematic.

상기 언급한 분석 기준을 통해 분류 체계를 비교하고자 NHTSA, AVSC, BSI의 ODD 특성을 분석하였으며, 그 결과는 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Characteristics of NHTSA, AVSC, BSI ODD taxonomy

Classification	Contexts
NHTSA	• NHTSA presents an ODD framework that allows developers and manufacturers to evaluate and test specific features of ADS for ADS testing and development. • Upper and lower categories of ODD were defined and a structured ODD classification scheme was provided where the ADS could identify subdivided elements of the ODD • The structure of ODD was designed to facilitate discussion of system requirements, functions, tests and furthermore presented ODD to define scenario components and changes in the operating environment.
AVSC	• The ODD framework was developed for the operation and maintenance of ADS vehicles, and subsequently accelerate the growth of the AV market. • ODD framework was developed using the top-down and bottom-up approach and divided into road and route network selection, road and route network sub-element selection, and road and route network deployment requirements setting. • Provide standardized ODD for the development, testing, and dissemination of autonomous vehicles by providing an ODD framework and detailed items and scope
BSI	• In order to propose an ODD classification for ODD standardization, upper and lower categories were defined hierarchically and a common language was defined to describe operating conditions such as environments and driving conditions designed to enable autonomous driving. • For the safe development and use of ADAS and ADS, the requirements for minimum classification for ODD setting were defined, and ODD was defined so that ODD could be utilized in various fields such as manufacturers and stakeholders. • In addition, a description and format of the ODD conditions are presented and presented in a form suitable for documentation so that they can be applied to simulations and scenarios.

분석 결과 NHTSA의 경우 ODD 분류를 체계적이고 명확하게 정의하였으나 ADS 테스트 및 개발을 위해 정의되어 다양한 이해관계자들을 고려하지 못하였다는 한계점이 존재하였다. 또한, 향후 개발될 ADS 기능의 전반적인 취약점을 관리하기 위해서는 시뮬레이션을 통한 반복적인 안전성 검증이 필요하다. 하지만 NHTSA는 시나리오의 요소 혹은 ADS 개발 관점에서 ODD 분류 체계를 개발하여 시뮬레이션과의 호환성을 고려하지 않아 범용성 및 용이성에서 다소 한계점이 존재한다.

그다음으로 AVSC는 top-down과 bottom-up 접근법을 이용하여 체계적으로 ODD framework를 정의하고 세부 항목 및 범위를 제공하였으나 차량 운영 및 유지보수를 목적으로 개발되어 ODD 범위가 다소 적다는 한계점이 있다. 또한, ODD의 분류 범주별 포함 내용이 개략적이어서 자동차의 진입 및 진출과 같은 하위 요소들을 반영하지 않았다는 한계가 존재한다(NHTSA, 2018). 다양한 분야에서 ODD를 활용하고 있는 만큼 ODD는 구체적이고 명확하게 정의되어야 할 필요가 있다. 따라서 AVSC는 범용성과 용이성, 체계성 부분에서 다소 한계가 존재한다.

BSI에서는 자동차 제조사, 개발자 및 보험사, 안전 관리자 등 다양한 분야에서 ODD를 활용하고 서로 상호보완할 수 있는 분류법을 제안하였다. 특히, 상위 및 하위 범주로 계층을 나누어 정의하였으며, AV 관련 이해관계자들 모두가 이해하기 쉬운 공통어를 제시하여 분류 체계를 정의하였다. 또한 ODD에 대한 세부적인 범위 및 요소를 명확하게 정의하여 활용이 용이하도록 정의하였다. 따라서 다양한 분야에서 활용할 수 있는 공통어를 정의하고 명확한 ODD를 제시한 BSI의 분류 체계가 본 연구에 가장 적합한 것으로 분석되었다.

3. ODD 구성요소 선정

본 연구에서는 TUV SUD Korea에서 제시한 ODD 항목 및 요소를 활용하였다. TUV SUD Korea에서는 해외 ODD 관련 연구(AVSC, OpenODD 등) 및 국제 또는 국가 표준(BSI, ISO 34503)을 기반으로 ODD 항목 및 요소를 구성하였다(TUV SUD Korea, 2021). 따라서 다양한 나라에 적용이 가능하고 선제적으로 국내 ODD를 표현한 TUV SUD Korea 연구 내용을 활용하였다.

앞서 선정된 BSI의 ODD 분류 체계에 따라 TUV SUD Korea에서 제시한 ODD 항목 및 요소를 제시한 결과는 다음 <Table 4>와 같다.

<Table 4> TUV SUD Korea ODD elements based on BSI ODD taxonomy

Classification Ⅰ	Classification Ⅱ	ODD Elements	
Scenery	Zones	Geo-fenced ares, Traffic management zones, School zones, Regions or states, Interference zones, Port zones, Freight distribution centre	
	Drivable area	Type	Motorways or highways or interstates, Primary roads, Radial roads, Distributor roads, Minor roads, Slip roads, Parking space, Shared space
		Geometry	Horizontal plane, Transverse plane, Longitudinal plane
		Lane specification	Lane dimensions, Lane marking, Lane type, Number of lanes, Direction of travel
		Signs	Information signs, Regulatory signs, Warning signs
		Edge	Line markers, Shoulder(paved or gravel), Shoulder(grass), Solid barriers, Temporary line markers, Snowbanks
		Surface	Drivable area surface type, Drivable area surface features, Drivable area induced surface condition

Classification Ⅰ	Classification Ⅱ	ODD Elements	
	Junctions	Roundabouts	Normal, Compact, Double, Large, Mini
		Intersections	T-junctions, Staggered, Y junction, Cross Roads, Grade separated
	Basic road structures	Buildings, Street lights, Street furniture (e.g. bollards), Vegetation	
	Special structures	Automatic access control, Bridges, Pedestrian crossings, Rail crossings, Tunnels, Toll plaza	
	Temporary road structures	Construction site detours, Refuse collection, Road works, Road signage	
Environmental conditions	Weather(coverage)	Wind(calm~hurricane force), Rainfall(light rain~cloudburst), Snowfall(light snow~heavy snow)	
	Particulates	Marine(coastal areas only), Non-precipitating water droplets (i.e. mist/fog), Sand and dust, Smoke and pollution, Volcanic ash	
	Illumination	Day, where attributes are classified based on, Night or low-ambient lighting condition, Cloudiness, expressed as, Artificial illumination	
	Connectivity	Communication, Positioning	
Dynamic elements	Traffic agent	Agent type	Motor vehicle, Non-motor vehicle, Vulnerable road users, Two-wheels or bicycles, Animals
		Presence of special vehicle	-
	Subject vehicle	-	

4. 선정된 ODD 기반 평가요소 제시

선정된 ODD 분류 체계 및 구성요소를 기반으로 K-City 내부에 해당하는 평가환경(자동차전용도로, 교외도로부, 도심부, 커뮤니티부, 자율주차시설)과 K-City 외부에 해당하는 PG 평가환경(고속주회로, 직선로, 전파장애시험장, 종합시험로, 선회시험장, 도로안전시설평가장, 저마찰로, 광폭저마찰로, 비포장로, 경사로 및 원형저마찰로, 조향성능로, 특수내구로)을 분석 후 K-City 평가요소를 제시하였다. 이때, ODD 구성요소의 경우 K-City에 존재하는 평가환경을 기준으로 도출하였으며, 평가요소는 경우 국내 평가환경 내에서 자율주행자동차의 안전성을 평가해야 하므로 국내 도로교통 관련 자료집(도로안전시설 설치 및 관리지침, 교통안전표지 설치 관리 매뉴얼, 교통노면표시 설치 관리 매뉴얼 등)내에 존재하는 평가요소를 제시하였다.

Ⅳ. ODD 기반 K-City 평가요소 제시

1. K-City 평가요소

K-City는 현재 자동차전용도로(motorway), 교외도로부(outer road), 도심부(urban area), 커뮤니티부(community section), 자율주차시설(autonomous parking facility) 등의 평가환경이 존재한다. K-City 평가환경의 경우 자동차안전연구원(Korea Automobile Testing & Research Institute, KATRI)에서 제공 중인 K-City 가상현실(virtual reality, VR)이 존재하여 이를 활용한 각 평가환경 별 ODD 기반 평가요소 및 세부사항을 다음 <Table 5>와 같이 제시하였다.

평가요소 제시 형태는 K-City 이용자들이 평가요소 파악이 쉬운 형태로 제시하기 위해 구축된 평가요소의 경우 '○'표시로, 구축 예정인 경우 '△'로, 미구축된 경우에는 '-'로 표시하였다. 또한, 평가환경별 구축되어

있는 평가시설 및 시스템을 시뮬레이션에서도 활용이 가능하도록 자연어 형태로 제시하였다. 최근에는 실제 주행환경의 물리적인 한계를 극복하고 ADS의 안전성 검증을 가속화하기 위해 시뮬레이션을 활용하여 복잡한 상황을 구현하고 테스트를 반복·재현하는 등 시뮬레이션을 활용한 안전성 검증의 중요성이 커지고 있다. K-City에서도 가상 K-City를 구현하여 제공하고 있어 시뮬레이션에도 적용이 가능한 평가요소를 표현해야 할 필요가 있다.

<Table 5> K-City evaluation elements based on ODD

Classification I	Classification II	Classification III	ODD Elements		K-City Evaluation Elements				
					Motorway	Outer Road	Urban Area	Community Section	Autonomous Parking Facility
Scenery	Zones		School zones	-	-	-	-	○	-
			Regions or states		○	○	○	○	○
			Interference zones		-	○ (Shadow in communication)	-	-	○ (Shadow in communication)
	Drivable area	Type	Motorways or highways or interstates	-	○	-	-	-	-
			Primary roads		-	○	○	○	-
			Radial roads		-	○	○	○	-
			Minor roads		-	-	○	○	-
			Slip roads		○	-	-	-	-
			Parking space		-	-	-	-	○ (Perpendicular, Parallel, Diagonal)
		Geometry	Horizontal plane	Straight	○	○	○	○	○
				Curve	○	○	○	○	○
			Transverse plane	Divided	○	○	○	○	○
				Undivided	-	○ (Narrow road)	-	-	-
				Pavements	○ (Asphalt)	○ (Asphalt, Concrete, Long-wave, Washboard)	○ (Asphalt)	○ (Asphalt)	○ (Asphalt)
				Barriers on road edges	○ (Guardrail)	-	○ (Curb, Guardrail, Crash cushion, Plastic)	○ (Curb, Guardrail, Crash cushion, Plastic traffic barrier)	-
				Types of lanes together	-	-	○	○	-
				Superelevation /banking	○	○	○	○	○

Classification I	Classification II	Classification III	ODD Elements		K-City Evaluation Elements				
					Motorway	Outer Road	Urban Area	Community Section	Autonomous Parking Facility
			Longitudinal plane	Up-slope	○	○	○	○	○
				Down-slope	○	○	○	○	○
				Level plane	○	○	○	○	○
		Lane specification	Lane dimensions	-	○	○	○	○	○
			Lane marking	-	○ (Solid yellow, Curb bus lane, Lane changing, Hipass, Safe zone, Edge, Median)	○ (Solid yellow, Safe zone, Yield, Stop, Median, edge)	○ (Solid and double solid Yellow, Median and curb, Bus lane, Safe zone, Edge, Pedestrian crosswalk, Lane changing, Notice pedestrian crosswalk, Stop, Obstacle)	○ (Solid and double solid yellow, Bicycle crosswalk and roadway, Pedestrian crosswalk, School zone, Notice pedestrian crosswalk, Edge, Safe zone, Median, Stop, No straight)	○ (Parking for the disabled)
			Lane type	-	○	○	○	○	○
			Number of lanes	-	○ (Three-lane)	○ (One-lane)	○ (Two-lane)	○ (One-lane)	-
			Direction of travel	-	○ (Two-way)	○ (Two-way)	○ (Two-way)	○ (Two-way)	○ (Two-way)
		Signs	Information signs	-	○ (Hipass and exit)	○ (Railway crossing, Under construction)	○ (Bus exclusive lane, Pedestrian crosswalk, Permitted left-turn, Left turn and straight, Slow)	○ (Pedestrian crosswalk, School zone)	-
			Regulatory signs		○ (Speed limit, Lane control)	○ (Stop)	○ (No straight)	○ (Speed limit)	-
			Warning signs		-	○ (Speed bump)	-	○ (Speed bump)	-
		Edge	Line markers	-	○	○	○	○	○
			Solid barriers		○ (Steel, guardrail, Concrete guardrail, Gutter, plastic)	○ (Curb)	○ (Curb)	○ (Curb)	-
			Temporary line markers		○ (Attachable)	○ (Attachable)	○ (Attachable)	○ (Attachable)	○ (Attachable)

Classification I	Classification II	Classification III	ODD Elements		K-City Evaluation Elements				
					Motorway	Outer Road	Urban Area	Community Section	Autonomous Parking Facility
	Junctions	Roundabouts	Normal	-	○ (K-City entrance)				
		Intersections	T-junctions	-	-	-	○	○ (School zone)	-
			Cross roads	-	○ (Toll plaza)	○ (Roundabouts and narrow road)	○ (Exclusive median bus lane station, Signalized intersections)	○ (School zone, Bus and taxi station, Bicycle roadway and pedestrian walkway)	○
			Grade separated		△				
	Basic road structures		Buildings	-	-	-	○ (Fake wall and bus station)	○ (Elementary school, bus and taxi station)	-
			Street lights	-	-	-	○	○	-
			Street furniture (e.g. bollards)	-	○ (Tubular markers, Chevron alignment sign, Speed bump, Raised pavement marker, Crash cushion, Noise barrier, Median barrier)	○ (Traffic light)	○ (Pedestrian Island, Tubular markers, Traffic light)	○ (Tubular markers, Traffic light, Speed bump)	-
			Vegetation	-	-	○ (160m)	-	-	-
	Special structures		Automatic access control	-	-	○ (Vehicle access control)	-	-	-
			Bridges	-	△				
			Pedestrian crossings	-	-	-	○	○ (School zone)	-
			Rail crossings	-	-	○	-	-	-
			Tunnels	-	○ (Tent tunnel (120m), Two-lane two-way)	-	-	-	-
			Toll plaza	-	○ (Two-lane One-way)	-	-	-	-

Classification I	Classification II	Classification III	ODD Elements		K-City Evaluation Elements				
					Motorway	Outer Road	Urban Area	Community Section	Autonomous Parking Facility
	Temporary road structures		Construction site detours	-	-	○ (Pothole, Manhole, Road surface Damage, Road deformation	-	-	-
Environmental conditions	Weather	Rainfall	Moderate rain: 2.5 mm/h ~ 7.6mm/h	-	-	○ (Tunnel (5~60mm/h))	-	-	-
			Heavy rain: 7.6 mm/h ~ 50mm/h						
			Violent rain: 50mm/h ~ 100mm/h						
	Particulates		Marine (coastal areas only)	-	-	○ (Tunnel type experimental facility)	-	-	-
			Non-precipitating water droplets (i.e. mist/fog)		-	○ (Tunnel type experimental facility, (visibility 30m))	-	-	-
	Illumination		Day	Elevation of the sun above the horizon	-	○ (Tunnel, Light and dark adaptation)	-	-	-
				Position of the sun					
			Night or low-ambient lighting condition	-	-	○ (Tunnel, Light and Dark adaptation)	-	-	-
			Artificial illumination	-	-	○ (Tunnel)	-	-	-
	Connectivity		Communication	V2V	○	○	○	○	○
				V2I	○	○	○	○	○
				V2P	○	○	○	○	○
				V2N	○	○	○	○	○
			Positioning	Galileo	○	○	○	○	○
				GLONASS	○	○	○	○	○
				GPS	○	○	○	○	○
Dynamic elements	Traffic agent	Agent type	Vulnerable road users	-	○ (Adult and child dummy)				
			Two-wheels or bicycles	-	○ (Bicycle dummy)				
	Subject vehicle		-	-	○ (Two vehicle dummies)				

2. PG 평가요소

본 연구에서는 KATRI 사이트에서 제공하는 PG 설명서를 바탕으로 각 평가환경 별 ODD 기반 평가요소 및 세부사항을 제시하였다. PG에서는 PG 평가요소 Ⅰ과 PG 평가요소 Ⅱ로 나누어 제시하였다. 우선 고속주회로(high speed circuit), 직선로(straight-line track), 전파장애 시험장(EMC test pad), 종합 시험로(universal track), 선회시험장(steering pad), 도로안전시설 평가장(road safety features test ground)에 대해 <Table 6>과 같이 제시하였다. 그다음으로는 저마찰로 및 광폭저마찰로(low and wide low friction track), 비포장로(off-road test track), 경사로 및 원형 저마찰로(hill test track and skid pad), 조향 성능로(handling & stability circuit), 특수내구로(durability track)에 대해 다음 <Table 7>과 같이 제시하였다.

<Table 6> PG evaluation elements Ⅰ based on ODD

Classification Ⅰ	Classification Ⅱ	Classification Ⅲ	ODD Elements		PG Evaluation Elements					
					High Speed Circuit	Straight-line Track	EMC Test Pad	Universal Track	Steering Pad	Road Safety Features Test Ground
Scenery	Zones		Interference zones	-	-	-	○	-	-	-
	Drivable area	Type	Motorways or highways or interstates	-	○	○	-	-	-	-
			Slip roads		-	○	-	-	-	-
		Geometry	Horizontal plane	Straight	○	○	-	-	-	○
				Curve	○	-	-	-	○	○
			Transverse plane	Divided	○	○	-	○	○	-
				Pavements;	○ (Asphalt)	○ (Asphalt)	○ (Iron)	○ (Asphalt)	○ (Asphalt)	○ (Asphalt)
				Barriers on road edges	○ (Guardrail)	-	-	-	-	-
				Types of lanes together	-	○	-	-	-	-
				Superelevation /banking	○	○	-	○	○	○
			Longitudinal plane	Up-slope	○	○	-	○	○	○
				Down-slope	○	○	-	○	○	○
				Level plane	○	○	-	○	○	○
		Lane specification	Lane dimensions	-	○ (Straight (4.0/3.6/ 3.6/4.0m), Curve (5.5/5.0/ 5.0/4.0m)	○ (Straight (3.5m), Barrier (1.0m), Straight (3.5m))	-	○ (Shoulder (3.0 and 3.0m))	-	○ (Curve (4.5m))
			Lane marking	-	-	○ (Edge and safe zone)	-	○ (Edge, safe zone, color lane)	○ (Color lane, median, Edge, Stop)	-

Classification I	Classification II	Classification III	ODD Elements		PG Evaluation Elements					
					High Speed Circuit	Straight-line Track	EMC Test Pad	Universal Track	Steering Pad	Road Safety Features Test Ground
			Lane type	-	○ (Solid and dotted)	○ (Solid and double solid)	-	○ (Solid and dotted)	-	-
			Number of lanes	-	○ (Four-lane)	○ (Two-lane)	-	○ (Eight-lane)	-	○ (Two-lane)
			Direction of travel	-	○ (One-way)	○ (Two-way)	-	○ (One-way)	-	○ (Two-way)
		Edge	Line markers	-	○ (Solid white and dotted white)	○ (Solid white and double solid yellow)	-	○ (Solid white and dotted white)	○ (Solid white and dotted white)	-
			Shoulder	-	-	-	-	○	-	-
			Solid barriers	-	○ (Guardrail)	-	-	-	-	-
	Junctions	Intersections	Cross roads	-	-	-	-	-	-	○ (Four-legged intersections)
	Basic road structures		Street lights	-	○	-	-	-	-	-
Environmental conditions	Connectivity		Positioning	Galileo	○	○	○	○	○	○
				GLONASS	○	○	○	○	○	○
				GPS	○	○	○	○	○	○

<Table 7> PG evaluation elements II based on ODD

Classification I	Classification II	Classification III	ODD Elements		PG Evaluation Elements				
					Low and Wide Low Friction track	Off-Road Test Track	Hill Test Track and Skid Pad	Handling & Stability Circuit	Durability track
Scenery	Drivable area	Type	Motorways or highways or interstates	-	○	-	-	-	-
			Primary roads		-	-	-	○	-
			Radial roads		-	-	-	○	-
			Slip roads		-	-	-	○	-
		Geometry	Horizontal plane	Straight	○	○	○	-	○
				Curve		○	-	-	○
			Transverse plane	Divided	○	-	○	○	○

Classification Ⅰ	Classification Ⅱ	Classification Ⅲ	ODD Elements		PG Evaluation Elements				
					Low and Wide Low Friction track	Off-Road Test Track	Hill Test Track and Skid Pad	Handling & Stability Circuit	Durability track
				Undivided;	-	○	-	-	○
				Pavements	○ (Asphalt)	-	○ (Asphalt)	○ (Asphalt)	○ (Belgian, Washboard, Long-wave, Torsion, Special, Flooding)
				Barriers on road edges	○ (Guardrail)	-	○ (Curb and guardrail)	-	-
				Types of lanes together	-	-	-	○ (Double solid)	○ (Double solid)
				Superelevation /banking	○	○	○	○	○
			Longitudinal plane	Up-slope	○	○	○ (12%, 20%, 30%)	○	○
				Down-slope	○	○	○ (12%, 20%, 30%)	○	○
				Level plane	○	○	○	○	○
		Lane specification	Lane dimensions	-	○ (Ceramic Tile (4m), Basalt tile (6m), Bridged pebble (6.55m), μ-jump (4m)	○ (7m)	○ (5m)	○ (8~15m)	○ (Belgian (4m), Washboard (4m), Long-wave (4m), Torsion (4m), Special (4m), Flooding (5m))
			Lane marking	-	○ (Low friction (edge), Wide low friction (straight, edge))	-	○ (Edge)	○ (Median and obstacle)	○ (Median and edge)
			Lane type	-	○ (Solid and dotted)	-	○ (Solid)	○ (Solid and dotted)	○ (Solid, Dotted and double solid)
			Number of lanes	-	○ (Acceleration (two-lane), Low friction (six-lane))	-	○ (One-lane)	○ (Two-lane and three-lane)	○ (One-lane)

Classification I	Classification II	Classification III	ODD Elements		PG Evaluation Elements				
					Low and Wide Low Friction track	Off-Road Test Track	Hill Test Track and Skid Pad	Handling & Stability Circuit	Durability track
			Direction of travel	-	○ (One-way)	-	○ (One-way)	○ (One-way and Two-way)	○ (Two-way)
		Signs	Information signs	-	-	-	○ (Slope)	-	-
		Edge	Line markers	-	○ (Solid white and dotted white)	-	○ (Solid white)	○ (Dotted white, Double solid yellow)	○ (Solid white, Dotted white, Double solid yellow)
			Solid barriers		○ (Guardrail)	-	○ (Guardrail)	-	-
		Surface	Type		○ (Ceramic Tile, Basalt tile, Bridged pebble, Wet asphalt, Basalt)				
			Features (friction coefficient)	-	○ (Acceleration (0.1), Icy road (0.3), Snowy road (0.5), Rainy road (0.7~0.8))	-	-	-	-
			Surface condition	-	○ (Acceleration, Icy road, Snowy road, Rainy road)	○ (Gravel road, Sandy road, Muddy road, etc)	-	-	-
	Special structures		Automatic access control	-	-	-	-	-	○
	Temporary road structures		Construction site detours	-	-	-	-	○ (Road deformation)	○ (Pothole and manhole)
			Road signage		-	-	-	-	○ (Modified tubular makers)
Environmental conditions	Weather	Rainfall	Moderate rain: 2.5 mm/h～7.6mm/h	-	○ (Tunnel, 5~60mm/h)	-	-	-	-
			Heavy rain: 7.6mm/h～50mm/h						
			Violent rain: 50mm/h～100mm/h						

Classification I	Classification II	Classification III	ODD Elements		PG Evaluation Elements				
					Low and Wide Low Friction track	Off-Road Test Track	Hill Test Track and Skid Pad	Handling & Stability Circuit	Durability track
	Particulates		Marine	-	○ (Tunnel type)	-	-	-	-
			Non-precipitating water droplets (mist/fog)	-	○ (Tunnel type (visibility 30m))	-	-	-	-
	Illumination		Artificial illumination	-	○ (Tunnel type)	-	-	-	-
	Connectivity		Positioning	Galileo	○	○	○	○	○
				GLONASS	○	○	○	○	○
				GPS	○	○	○	○	○

3. 분석의 소결

본 연구에서는 ADS의 기능 및 주행 안전성을 증대시키기 위해 ADS 평가 방법 중 하나인 테스트베드 즉, K-City 의 평가환경을 분석 후 ODD 기반 K-City 평가요소를 제시하였다. 또한, K-City 내부의 평가환경 이외에도 향후 확장 예정인 K-City 외부 평가환경에 해당하는 PG의 평가요소 또한 함께 제시하였다.

평가요소를 제시할 때 평가 시설 및 시스템을 함께 기입하였으며, 해당 시설 및 시스템의 특징 및 작동 범위까지 자연어 형태로 상세하게 제시하여 시뮬레이션에서도 활용이 가능하도록 제시하였다.

최근 ADS 정책 동향을 살펴보면 국내외적으로 자율주행 정책 및 법규를 추가하고 기술개발을 위한 전략을 제시하고 있다. 특히, 미국의 경우 자율주행자동차 관련 입법 방향과 정책 가이드라인을 제시하면서 '안전'을 강조한 바 있으며 국내에서는 자동차의 안전한 운행과 관련된 조건을 설정하도록 ADS의 ODD 지정을 법제화하였다(Ministry of Science and ICT and Korea Institute of Science & technology Evaluation and Planning, 2021; Korea Ministry of Government Legislation, 2022). 또한, 자율주행기술개발혁신 사업단을 출범하여 차량융합신기술, ICT 융합신기술, 도로교통융합신기술, 자율주행서비스, 자율주행 생태계 등 총 5개 분야 내에서 자율주행 기술개발을 추진하는 전략을 마련하고 있다. 각 분야에서는 개발된 기술에 대한 안전성을 확보하기 위해 안전성 평가기술을 개발하는 등 다양한 노력을 기울이고 있다. 따라서 ODD 기반 K-City 평가요소 제시는 향후 ADS ODD를 선정하고 검증 및 평가하고자 하는 자동차 제작사, 안전성 평가자, 연구자 등에게 다양하고 명확하게 제시해줌으로써 안전성 및 신뢰성이 확보된 ADS 개발이 가능할 것으로 사료된다.

Ⅴ. 결론 및 향후 연구과제

전 세계적으로 레벨 3 수준의 ADS와 레벨 4 수준의 ADS가 적용된 AV 기술 개발 경쟁이 본격화되고 있다. 하지만 AV 사고가 지속적으로 발생하면서 ADS의 기능 안전(functional safety) 및 주행 안전성(driving safety)에 대한 문제가 제기되어 안전성 검증 및 평가의 중요성이 강조되고 있다. AV 기능 및 주행 안전성에

대한 지속적인 문제는 AV에 대한 안전성 및 신뢰성에 대한 우려로 이어지게 된다. 따라서 AV 상용화를 위해 AV 안전성을 확보할 필요가 있으며 특히, 레벨 3 이상의 AV의 안전성 및 신뢰성을 확보하기 위해서는 ADS의 ODD를 정의하고 ODD를 벗어나는 상황에서의 대응 능력을 평가하면서 ADS의 안전성을 검증해야 할 필요가 있다.

이렇듯 AV의 안전성 검증 및 평가의 필요성이 대두되면서 SAE, NHTSA, BSI 등의 각 국제 기구에서는 ODD 분류 체계 및 구성요소를 정의하였으며, ISO에서도 ADS의 ODD 속성 및 분류에 대한 표준 등을 규정하고 있다. 하지만 국내의 경우 이에 대한 기준이 부재하여 AV의 ODD 선정 및 안전성 검증 및 평가가 적절히 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 해외 ODD를 분석하여 본 연구에 적합한 분류 체계 및 구성요소를 선정하였다. 그 다음으로는 ADS 안전성 검증 및 평가에 필요한 요소를 제시하였다. 특히, 레벨 3과 레벨 4 이상의 ADS 기술 개발을 지원하는 자율주행 실험도시(K-City)를 대상으로 ODD 기반 평가요소를 제시하였다.

ODD 분류 체계의 경우 다양한 분야에서 활용할 수 있는 공통어를 정의하고 명확한 분류 기준을 제시한 BSI의 분류 체계를 선정하였으며, 구성요소의 경우 선제적으로 국내 ODD를 표현한 TUV SUD Korea의 항목 및 요소를 선정하였다. 마지막으로 K-City 내부에 해당하는 평가환경(자동차전용도로, 교외도로부, 도심부, 커뮤니티부, 자율주차시설)과 K-City 외부에 해당하는 PG 평가환경(고속주회로, 직선로, 전파장애시험장, 종합시험로, 선회시험장, 도로안전시설평가장, 저마찰로, 광폭저마찰로, 비포장로, 경사로 및 원형저마찰로, 조향성능로, 특수내구로)을 분석 후 선정된 ODD 기반 K-City 평가요소를 제시하였다.

본 연구의 한계점 및 향후 연구과제는 다음과 같다. 현재 국내에는 ODD를 표현하는 기준과 필수요소가 제시되어 있지 않은 실정이다. 최근 ODD의 중요성이 커짐에 따라 국내에서도 ODD를 표현하는 기준이 필요할 것으로 판단되며, 연구자의 주관이 아닌 전문가의 의견을 반영하여 ODD 기준 정립 및 분류 체계를 재분석해 볼 필요가 있다. 그다음으로 고도화된 레벨 4 수준의 ADS가 적용된 AV의 잔류 위험(residual risk)을 밝혀내고 안전성을 확보하기 위해서는 가상 검증이 필수적이다. 특히, 다양한 도로 조건, 시나리오를 통해 자동차의 안전성을 반복·재현 및 검증하는 실차 기반 시뮬레이션 안전성 평가가 필요하다. K-City에는 현재 물리 K-City(K-City 실제 환경을 의미) 이외에도 가상 K-City(가상으로 생성된 K-City를 의미)를 통해 다양한 시나리오(가상의 교통류 생성 등) 및 도로 장애물 등을 제공하여 안전성 검증 및 평가를 지원할 계획이다. 다만, 본 연구에서는 K-City에서 지원하는 가상 K-City에 대한 평가요소를 제시하지 않았다. 따라서 향후에는 가상 K-City에 대한 ODD 기반 평가요소를 제시할 필요가 있다. 마지막으로 시뮬레이션을 활용하여 안전성을 검증 및 평가하기 위해서는 자동차 시뮬레이션 표준인 ASAM OpenODD에서 제안하는 형식으로 ODD를 표현해야 하므로 이와 관련한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원 (22AMDP-C162184-02)에 의해 수행하였습니다. 본 논문은 2022년 한국ITS학회 춘계학술대회에서 발표된 논문을 수정 및 발전시켜 작성하였음을 밝힙니다.

REFERENCES

Ai Times, http://www.aitimes.com/news/articleView.html?idxno=138745, 2022.07.04.

Association for Standardization of Automation and Measuring System(ASAM), https://www.asam.net/project-detail/asam-openodd/, 2022.05.10.

Automated Vehicle Safety Consortium(2020), *AVSC Best Practice for Describing an Operational Design Domain: Conceptual Framework and Lexicon*, pp.1-26.

Autoweek, https://www.autoweek.com/news/technology/a39943287/mercedes-drive-pilot-level-3-autonomous/, 2022.07.03.

British Standards Institution(BSI)(2020), *PAS 1883:2020 Operational Design Domain (ODD) taxonomy for an automated driving system (ADS)-Specification*, pp.1-26.

Cui, J. and Sabaliauskaite, G.(2017), "On the Alignment of Safety and Security for Autonomous Vehicles", *Proceedings of IARIA CYBER*, pp.59-64.

Hankyung, https://www.hankyung.com/car/article/2022010201021, 2022.07.04.

International Organization for Standardization(ISO)(2021), *Road vehicles-Scenario-based safety evaluation framework for Automated Driving Systems*, pp.1-94.

International Organization for Standardization(ISO)(2022), *Road vehicles-Test scenarios for automated driving systems-Taxonomy for operational design domain*, pp.4-33.

Kim, H., Lim, K., Kim, J. and Son, W.(2020), "Operational Design Domain for Testing of Autonomous Shuttle on Arterial Road", *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 19, no. 2, pp.135-148.

Kim, J. and Kee, S.(2020), "A Research on the ODD and OEDR Guidelines Based on the Demonstration Case of Autonomous Driving in Sejong City", *Transactions of The Korean Society of Automotive Engineers(KSAE)*, vol. 28, no. 10, pp.659-668.

Korea Automobile Testing and Research Institute(KATRI), http://vr2.dreamvrad.net/k-city360vr/, 2022.06.02.

Korea Automobile Testing and Research Institute(KATRI), https://www.katri.or.kr/web/contents/katri2030101.do, 2022.06.05.

Korea Ministry of Government Legislation, https://www.law.go.kr/, 2022.08.12.

Korea Transport Institute(2020), *Main contents of Automated driving technology development innovation project and future plan*, pp.1-10.

Korean National Police Agency(2011), *Traffic safety sign installation and management manual*, pp.1-256.

Korean National Police Agency(2020), *Traffic signal setting and management manual*, pp.1-238.

Lee, G. and Woo, H.(2021), "A Study on Safety Guideline of Level 4 Automated Driving Vehicles", *Korean Auto-vehicle Safety Association*, vol. 13, no. 3, pp.86-94.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2022), *Guidelines for the installation and management of road safety facilities*, pp.1-97.

Ministry of Science and ICT, Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning(2021), *Level 4 The future of automated vehicles*, pp.45-56.

National Highway Traffic Safety Administration(NHTSA)(2018), *A Framework for Automated*

Driving System Testable Cases and Scenarios, pp.1-180.

Nikkei Asia, https://asia.nikkei.com/Business/Automobiles/Honda-launches-world-s-first-level-3-self-driving-car, 2022.07.02.

Park, S., So, J., Ko, H., Jeong, H. and Yun, I.(2019), "Development of Safety Evaluation Scenarios for Autonomous Vehicle Tests Using 5-Layer Format (Case of the Community Road)", *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 18, no. 2, pp.114-128.

PEGASUS(2020), *PEGASUS Method an Overview*, pp.4-33.

Sabaliauskaite, G., Cui, J. and Liew, L. S.(2018), "Integrating Autonomous Vehicle Safety and Security Analysis Using STPA Method and the Six-Step Model", *International Journal on Advances in Security*, vol. 11, no. 1, pp.160-169.

Safety Assurance KUdos for Reliable Autonomous Vehicles(SAKURA), https://www.sakura-prj.go.jp/project_info/, 2022.06.25.

Society of Automotive Engineers(SAE) International(2021), *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*, pp.1-41.

The New York Times(2022), https://www.nytimes.com/2022/06/08/technology/tesla-autopilot-safety-data.html, 2022.06.30.

TUV SUD Korea(2021), *Selection of Operational Design Domain*, pp.1-9.

United Nations Economic Commission for Europe(UNECE)(2021), *New Assessment/Test Method for Automated Driving (NATM) Master Document(Final Draft)*, pp.1-5.

Zanchin, B. C., Adamshuk, R., Santos, M. M. and Collazos, K. S.(2017), "On the instrumentation and classification of autonomous cars", *2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics(SMC)*, pp.2631-2636.