

# 자율주행차 평가 시나리오 구성요소 도출: 고속도로 본선구간을 중심으로

## Derivation of Assessment Scenario Elements for Automated Vehicles in the Expressway Mainline Section

고 우 리\* · 윤 일 수\*\* · 박 상 민\*\*\* · 정 하 림\*\*\*\* · 박 성 호\*\*\*\*\*

\* 주저자 : 아주대학교 교통공학과 석박사통합과정  
\*\* 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수  
\*\*\* 공저자 : 한국교통연구원 도로교통연구본부 부연구위원  
\*\*\*\* 공저자 : 아주대학교 교통공학과 박사과정  
\*\*\*\*\* 교신저자 : 아주대학교 교통공학과 박사과정

Woori Ko\* · Ilsoo Yun\*\* · Sangmin Park\*\*\* · Harim Jeong\* · Sungho Park\*

\* Dept. of Transportation Eng., Univ. of Ajou  
\*\* Dept. of Transportation System Eng., Univ. of Ajou  
\*\*\* Dept. of Road Transport, Korea Transport Institute

† Corresponding author : Sungho Park, fenix3339@ajou.ac.kr

Vol. 21 No.1(2022)  
February, 2022  
pp.221~239

pISSN 1738-0774  
eISSN 2384-1729  
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.1.221>

Received 6 December 2021  
Revised 20 December 2021  
Accepted 12 January 2022

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

### 요 약

자율주행차의 안전성을 실효성 있게 평가하기 위해서는 기하구조, 교통안전시설, 혼잡도, 기상 등 다양한 항목들이 평가 시나리오 내에 고려될 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 자율주행차 평가 시나리오에 반영되어야 하는 구성요소들을 도출하기 위해 먼저 평가 시나리오의 체계를 수립한 후 반영될 구성요소를 계층별로 범주화하였다. 이후 계층별로 관련 문헌을 검토하여 자율주행차 평가에 영향을 줄 수 있는 모든 평가 구성요소 후보를 도출한 후, 전문가 설문조사 결과를 바탕으로 총 77개의 자율주행차 평가 시나리오 구성요소들을 선정하였다. 선정된 자율주행차 평가 구성요소들은 시뮬레이션 평가, 주행시험장 평가, 실도로 평가 등에서 자율주행차의 안전성 평가를 위한 시나리오 개발에 많이 활용될 것으로 기대된다.

핵심어 : 자율주행차, 주행안전성, 평가, 시나리오, 구성요소

### ABSTRACT

Various elements such as geometry, traffic safety facilities, congestion level, weather, etc., need to be appropriately reflected in the assessment scenario evaluating the driving safety of automated vehicles. Therefore, this study first established a scenario structure and defined the layer of elements, to derive the elements to be reflected in the automated driving safety evaluation. After that, all elemental candidates that can be reflected in each layer were derived by reviewing the relevant literature. Finally, as a result of an expert survey, 77 items were selected to be reflected in the automated driving safety evaluation. The selected elements are expected to be actively utilized in developing scenarios for the driving safety evaluation of automated vehicles in simulation, proving ground, and real road assessments.

Key words : Automated vehicle, Driving safety, Assessment, Scenario, Assessment elements

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

자율주행차(Autonomous vehicles 또는 automated vehicles, AVs)의 도입 이후 자동차 산업은 기존 자동차에 정보통신기술(information and communications technology, ICT), 인공지능(artificial intelligence, AI), 디지털 도로 인프라, 모빌리티(mobility) 등이 융합되어 새로운 산업으로 진화하고 있다. 미래 모빌리티의 중추적인 수단인 자율주행차의 도입 시 운행 비용과 같은 교통비용이 감소하고, 도로시설 용량이 증대되며(Ko et al., 2017), 고령자, 면허 미소지자 등 자동차를 이용하는 데 불편함이 있던 사람들이 편리하게 사용할 수 있고, 운전자들은 운전시간을 다른 활동에 활용함으로써 생산성을 높이는 등 긍정적인 영향을 줄 수 있다(Kang et al., 2016).

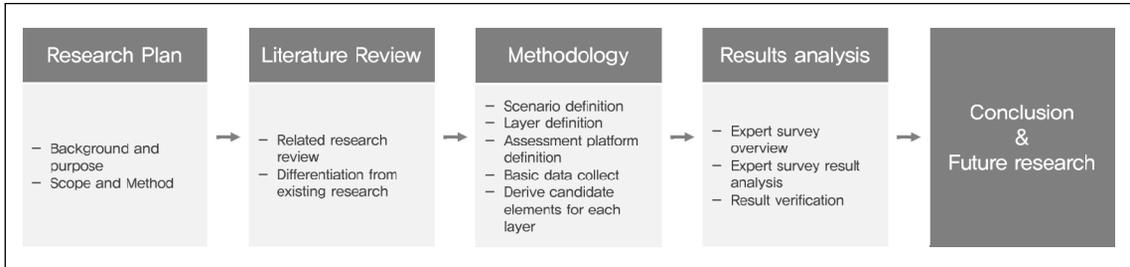
이러한 자율주행차에 대한 긍정적 기대에 부응하여 전 세계적으로 자율주행차의 기술 개발과 실증을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내에서도 2019년 12월 SAE 기준 레벨 3 자율주행 안전기준이 세계 최초로 제정된 바 있으며, 정부의 2027년 레벨 4 자율주행차 세계 최초 상용화 목표에 따라 「자율주행 기술개발 혁신사업」이 2021년 착수된 바 있다. 이렇듯 자율주행차의 상용화는 점차 다가오고 있지만, 자율주행차와 관련된 지속적인 교통사고 소식은 자율주행차의 안전성에 대한 우려를 제기하고 있다. 따라서 전 세계적으로 이러한 우려를 잠재울 수 있는 자율주행차의 안전성 확보가 쟁점이 되고 있다(Kim and Cho, 2021). 자율주행차의 안전성을 확보하기 위해서는 자율주행차의 안전을 충돌안전(crash safety), 기능안전(operational safety), 성능안전(functional safety), 행동안전(behavioral safety), 충돌방지안전(non-collision safety) 등으로 구분할 수 있고(Waymo, 2020; Ko et al., 2018), 각각을 평가하는 평가기술을 개발할 필요가 있다. 자율주행차 안전성 평가는 자율주행차가 주행 중 마주하는 다양한 상황에서 안전성을 확보할 수 있는 지 평가하는 것을 말한다. 일반적으로 자율주행차의 안전성은 시나리오를 기반으로 시뮬레이션, 주행시험장(proving ground, PG) 또는 실도로에서 평가된다. 또한, 시나리오 기반 평가 방법을 수립하면 보다 체계적이고 다양하고 효과적인 평가가 가능하다. 시나리오 기반 자율주행차 평가를 수행하기 위해서는 시나리오 개발을 체계적으로 수행할 필요가 있으며, 자율주행차의 주행에 영향을 줄 수 있는 차량 위치, 기하구조, 교통안전시설, 혼잡도, 기상 등 다양한 항목들이 평가 시나리오 내에 포함될 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 자율주행차 평가 시나리오에 포함되어야 할 구성요소들을 도출하기 위해 먼저 자율주행차 평가 시나리오의 체계를 수립하였다. 구체적으로는 국내 자율주행차 안전성 평가를 위한 시나리오 개발 관련 주요 개념과 플랫폼을 정의하고자 한다. 또한 평가 시나리오에 반영될 구성요소를 관련 연구 등을 참조하여 계층별로 범주화한 후, 관련 문헌을 검토하여 자율주행차의 주행안전성(driving safety)에 영향을 미치며 평가 시 고려될 필요가 있는 모든 구성요소 후보를 도출하였다. 마지막으로 전문가 설문조사를 통해 자율주행차 평가 시나리오 내 포함될 최종 구성요소들을 도출하였으며, 관련 표준 등과 비교함으로써 도출된 구성요소들의 적절성을 검증하였다.

### 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 자율주행차가 가장 먼저 주행하게 될 고속도로 본선구간을 공간적 범위로 설정하였다. 즉, 고속도로 본선구간을 대상으로 자율주행차 평가 시나리오의 도출 과정을 제시하고, 평가 시나리오 내 구성요소를 도출하기 위해 <Fig. 1>과 같이 연구 절차를 수립하였다. 방법론으로는 자율주행차 평가 시나리오를

정의하고, 시나리오 내 계층과 평가 플랫폼을 먼저 정의하였다. 그리고 자율주행차 평가 시나리오의 구성요소 후보들을 모두 조사하였다. 구성요소를 조사한 결과를 바탕으로 전문가 설문조사를 통해 유의미한 구성요소만을 도출하였고, 그 결과를 관련 표준 등과 비교하여 도출된 구성요소들의 적절성을 검증하였다.



<Fig. 1> Procedure of the study

## II. 관련 연구 고찰

### 1. 자율주행차 평가 시나리오에 반영할 요소 관련 연구 고찰

자율주행차의 안전성 평가를 위해서는 차량 위치, 기하구조, 교통안전시설, 혼잡도, 기상 등 다양한 요소들이 평가 시나리오에서 적절하게 반영될 필요가 있다. 그래야만, 보다 현실적인 상황에서 구체적으로 자율주행차의 주행안전성을 평가할 수 있다. 이러한 필요성에 따라서 자율주행차 평가 시나리오에 반영할 구성요소들에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

Neurohr et al.(2020)은 자율주행차의 승인을 위한 시나리오 기반 평가에 필요한 근본적인 고려사항 목록을 제시하였다. 고려사항을 제시하기에 앞서 시나리오 프레임워크를 정의하였는데, 각 단계는 시나리오 도출, 요구사항 도출, 평가, 평가 유형(test case), 평가 실행, 평가 결과 검토, 안전 논쟁으로 구성된다. 이후 시나리오 기반 평가 관련 문헌을 종합적으로 검토 및 분석하여 각 단계에서 고려해야 하는 사항을 서술하였다.

Weber et al.(2020)은 데이터에 기반해 PEGASUS 프로젝트의 상황 시나리오(functional scenario)에서 범위 시나리오(logical scenario)의 구성요소의 범위를 도출하고자 교통 시뮬레이션을 이용하여 주요 구성요소 값의 변화에 따른 영향을 통계적으로 분석하였다. 이후 영향이 있는 것으로 판단된 구성요소들을 정량화하였다. 주요 구성요소는 결정론적 변동을 구현해 시험 시나리오(concrete scenario)로 정의했으며 분석 결과 개발된 방법론이 범위 시나리오(logical scenario)의 체계적인 도출과 시험 시나리오의 정의를 가능하게 함을 확인하였다.

Ahmed and Kim(2020)은 주행 중에 발생 가능한 모든 근임계 조건(near critical condition)을 정의하기 위해 문헌 검토와 영상 자료 수집을 중심으로 자율주행차의 교통사고 변수를 확인하였다. 이후 근임계 조건은 자율주행차와 교통공학 두 가지 관점에서 식별 및 정의되었다. 자율주행차 관점에서는 사고 전, 사고 예방, 예상치 못한 상황 이후, 악천후의 네 가지 범주로 근임계 조건을 분류하였고, 교통공학 관점에서는 자율주행차의 주행방향, 잠재적 사고 위치·물체·상황, 조건에 따라 총 71개로 분류하였다.

Park et al.(2017)은 자율주행차 평가 시나리오 구성을 위해 선행 국내외 자율주행차 평가 시나리오, 손해보험협회 사고유형, 경찰청 교통사고 보고서를 분석해 위험상황 유발 항목을 도출하였다. 도출된 항목은 크게

도로환경, 주행환경, 주행상황, 차량요인, 기타사항으로 분류되며, 약 서너 개의 세부 항목으로 구성되었다.

Chae et al.(2016)은 자율주행차 임시운행 허가를 위한 안전성 평가 시나리오와 그 평가 항목을 도출하였다. 평가 시나리오는 자율주행차 임시운행 허가 규정에 근거해 일반 주행모드, 정지-서행 주행모드, cut-in/cut-out 주행모드로 분류되어 제안되었다. 평가 항목은 논문 및 관련 규정을 근거로 횡방향 거리, 종방향 속도, 종방향 가속도, 횡방향 가속도, 차간거리로 정의되었다. 이후 시뮬레이션을 활용해 검증을 수행하였다.

Woo and Lee(2021)는 다양하고 복잡한 상황에서 레벨 3 이상의 자율주행 시 안전을 위해 인지, 판단, 대응해야 하는 평가 항목과 고려사항을 조사하였다. 평가 항목의 경우 인지 기능 평가 항목과 소통 부문 평가 항목을 도출하였다. 고려사항으로는 시험 시나리오에 의한 평가로 고속도로 구간별, 교통상충 유형별, 상황별 고려사항을 도출한 후 수행 가능성, 비용 및 시간 대비 효과성, 위험성을 판단하여 최종 평가 항목을 확정하였다.

## 2. 기존 연구와의 차별성

선행 연구고찰 결과, Neurohr et al.(2020)의 연구는 각 시나리오 개발 단계에서 고려해야 하는 사항을 도출하였고, Weber et al.(2020)의 연구는 평가 시나리오 구성요소의 범위를 도출하는 방법론에 집중하여 평가 시나리오에서 어떤 구성요소를 고려할지를 결정하는 것과는 거리가 멀었다.

반면, Ahmed and Kim(2020), Park et al.(2017), Chae et al.(2016), Woo and Lee(2021)의 연구는 시나리오 구성요소 도출을 위한 연구로, Ahmed and Kim(2020)은 자율주행차 관점과 교통공학 관점으로 크게 분류해 조건을 나누었고, Park et al.(2017)과 Chae et al.(2016)은 기존 연구 및 규정을 고찰하여 평가 항목을 도출하였으며, Woo and Lee(2021)는 고속도로 분류 방법에 따라 평가 항목을 도출하였다. 하지만 기존 연구에서는 평가 요소의 범주가 나누어진 배경이나 세부 요소에 대한 구체적인 언급이 부족하고, 평가 상황을 구체적으로 설명하기엔 도출된 구성요소가 부족한 부분이 있었다.

이에 본 연구에서는 자율주행차 평가 시나리오 내 구성요소를 이해하기 쉽게 범주를 분류한 배경과 방법을 정의하고, 고속도로 본선구간에서의 자율주행차 평가 시나리오를 설명하는데 필요한 모든 요소를 정의한 후 전문가 설문조사를 통해 유의미한 구성요소를 도출한다는 점에서 기존 연구들과 차별성을 지닌다.

## Ⅲ. 자율주행차 평가 시나리오 내 구성요소 도출 방법론

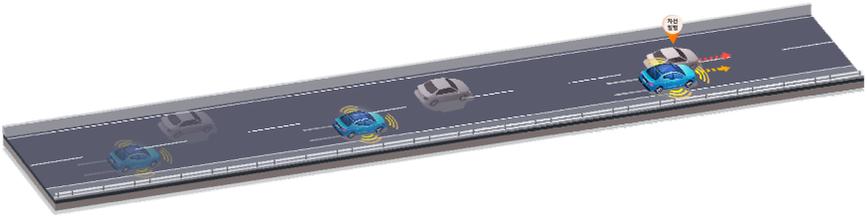
### 1. 자율주행차 평가 시나리오 정의

자율주행차의 안전성 평가와 관련해서는 독일의 PEGASUS 프로젝트에서 제시한 시나리오 기반 평가 체계가 가장 널리 활용되고 있다. PEGASUS 프로젝트에서는 시나리오 기반 평가 개념, 절차 및 방법 등에 대하여 정의하고 있다. PEGASUS 프로젝트는 자율주행차 평가를 위해 시나리오를 네 가지로 구분하고 각 단계를 점차 구체화하는 형식을 가진다. 네 가지 체계의 시나리오는 상황 시나리오(functional scenario), 범위 시나리오(logical scenario), 시험 시나리오(concrete scenario), 시험유형(test case)으로, 각각 평가를 위한 상황, 평가를 위한 변수의 범위, 평가를 위한 변수의 값, 평가 가능한 변수 값을 지정하게 된다. 참고로, PEGASUS 프로젝트에서 제시한 'functional scenario', 'logical scenario', 'concrete scenario'가 시나리오의 추상화 과정을 표현하는 데 가장 널리 사용된다. 하지만, 이 시나리오들의 영문 명칭을 직역하게 되면 그 본연의 의미를 전달하는

데 어려움이 있을 것으로 판단되어, 다수의 자율주행차 평가 전문가들이 모여서 합의하여 각각 상황 시나리오, 범위 시나리오, 시험 시나리오, 시험유형으로 정의하였음을 밝힌다.

시나리오 기반 평가는 개별 교통 상황을 가상 시뮬레이션을 통해 평가할 수 있는 효과적인 방법이다 (Riedmaier et al., 2020). 시나리오 기반의 평가를 수행할 경우 가장 관련성이 높은 시나리오를 식별하여 다양하고 어려운 자율주행차 안전성 평가를 수행할 수 있으며(Riedmaier et al., 2020), 도출된 시나리오는 시험 목적에 따라 시뮬레이션 평가, PG 평가, 실도로 평가 등 다양한 방법으로 활용할 수 있다. 시나리오 기반 평가를 활용해 자율주행차 주행안전성 평가를 수행하기 위해서는 우선 시나리오 체계와 각 단계에 대한 정의가 필요하며, 이에 본 연구에서는 PEGASUS 프로젝트에서 정의한 방식을 바탕으로 각 시나리오의 명칭과 정의를 국내 여건을 반영하여, 이해하기 쉬운 형태로 일부 수정하였다. 또한, 각 시나리오에 반드시 포함되어야 하는 구성요소를 도출하였다.

먼저 상황 시나리오는 가장 기본적인 형태의 시나리오로서 도로·환경·이동객체의 상황에 대해 간략히 묘사하는 단계이다. 상황 시나리오는 시나리오 유형·위치·목적과 같은 시나리오 개요와 차량의 주행 경로를 확인할 수 있는 전체 상황도가 포함되어야 한다. 여기에 추가로 차로수·도로 선형과 같은 기하구조, 시나리오 참여자의 위치 및 움직임과 발생 상황, 자료 출처, 시나리오 작성자, 시나리오 도출 근거와 같은 시나리오 출처가 포함되어야 한다. 상황 시나리오는 추상도가 굉장히 높은 편으로, 평가가 필요한 상황이 명확하게 전달되는 것이 중요하기 때문에 평가를 위한 구성요소는 상대적으로 중요하지 않다. 상황 시나리오 도출 예시는 <Fig. 2>와 같다.

Scenario type	Type	Car following			
	Location	Expressway mainline			
	Purpose	Evaluation of awareness and response to the Actor			
Overall flow of situation					
Scenario description	The situation that Actor driving on the adjacent lane is invading the lane				
Road geometry	Number of lanes	2 lanes for one-side			
	Road alignment	Straight			
Moving objects	Sortation	Vehicle type	Driving lane	Relative location	Movement
	Ego	Passenger car	2	-	Going straight
	Actor	Passenger car	1	Side-left	Going straight
	Situation	Sortation	Location	Movement	
	Actor	Side-left	Lane invading		
Scenario source	Data source	Traffic accident data from the National Police Agency	Writer	Ajou university	
	Basis for deriving scenario	Out of the 6,951 traffic accidents in the mainline expressway section from 2012 to 2014, 165 cases of lane invasion while driving, accounting for about 2.4% of all accidents			

<Fig. 2> Example of functional scenario

범위 시나리오는 상황 시나리오를 명확하게 표현할 수 있도록 구성요소와 구성요소의 범위를 지정한 시나리오이다. 범위 시나리오부터는 상황 시나리오와는 달리 평가를 위한 구성요소가 매우 중요해진다. 그 이유는 범위 시나리오부터 시뮬레이션, PG, 실도로 평가에서 활용하기 위해 점차 시나리오 추상도가 낮아지고 자세하게 발전하기 때문이다. 따라서, 범위 시나리오 구성요소 조정을 통해 해당 상황을 평가할 때 어떤 구성요소를 조정해야 하는지, 구성요소를 조정한다면 그 범위를 어떻게 설정해야 하는지에 대한 가이드를 제공할 수 있다. 범위 시나리오는 상황 시나리오에서 사용된 구성요소를 모두 포함해야 하며, 추가적으로 구성요소의 유형 및 단위, 범위 값의 증감폭, 그리고 각 구성요소의 범위를 설정한 근거 및 출처를 포함해야 한다. 시험 시나리오는 범위 시나리오에서 설정된 구성요소의 범위 중 구체적인 평가 값을 정의한 시나리오로, 모든 범위의 데이터를 시험하기엔 시간적 및 비용적인 한계가 있으므로 대표적인 평가 값을 선정하여 난이도별 기준을 마련하는 단계이다. 시험 시나리오의 구성요소는 범위 시나리오에서 도출된 모든 구성요소와 데이터의 구체적인 평가 값을 반드시 포함해야 한다. 마지막으로 시험유형은 시험 시나리오 중에서 유의미한 평가 결과를 도출할 수 있는 시나리오이다. 시험유형에는 시험 시나리오에서 도출된 모든 구성요소의 평가 가능 값과 평가 통과기준을 반드시 포함해야 한다.

## 2. 구성요소 범주화를 위한 계층 정의

자율주행차 평가를 위한 시나리오 구성요소를 정의하기에 앞서 유사한 구성요소의 묶음인 계층(layer)을 정의하였다. 계층을 정의할 경우 평가에서 고려되어야 할 구성요소를 체계적으로 구성할 수 있고, 정의된 계층별로 관리하기 용이하다는 장점을 지닌다. 계층 정의를 위해서는 독일 PEGASUS 프로젝트에서 정의한 6-계층과 local dynamic map(LDM)의 계층 정의를 고찰한 후 시사점을 도출하여 반영하였다.

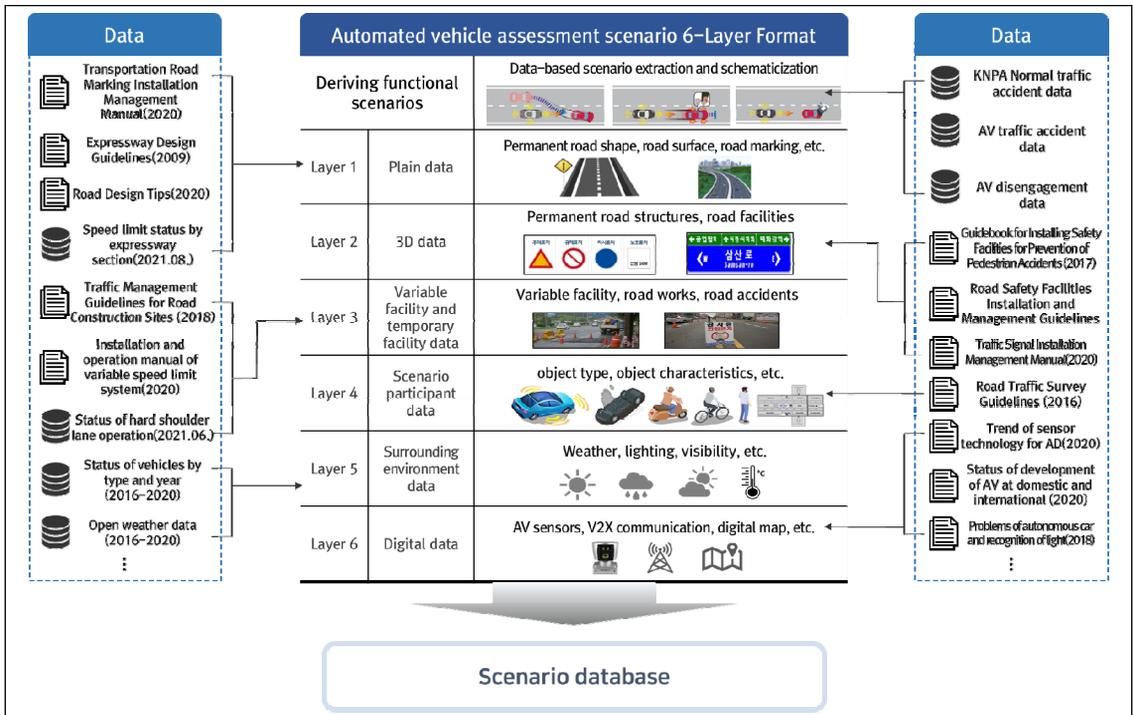
먼저 PEGASUS 프로젝트의 6-계층 정의는 대체로 정의가 이해하기 쉽고 분류가 잘 되어 있으나, Layer 2에서 정의한 영구적 물리시설은 Layer 1의 정의와 그 경계가 모호한 바 있어 명확하게 구분할 필요가 있었다. 다음으로 LDM의 정의는 각 계층이 명확하게 구분되지만, 계층이 4개이기 때문에 하나의 계층에 정의되는 항목이 너무 많아 관리가 어렵다고 판단하였고, 자율주행차와 관련된 센서와 통신 등 디지털 정보에 대한 정의가 부족하였다. 이에 본 연구에서는 PEGASUS 프로젝트의 6-계층 정의를 기반으로 도출한 시사점에 따라 일부 수정하여 <Table 1>과 같이 각 계층을 정의하였다.

<Table 1> Definition of layers

Layer	Definition	Abbreviation
1	All explainable plane data such as permanent road shape, road surface, road marking, etc. related to road geometry	Plane data
2	All three-dimensional data such as permanent road structures, road facilities, etc. related to transportation infrastructure	3D data
3	Variable facility data that vary depending on the situation or time zone and temporary facility data such as temporary road works	Variable facility and temporary facility data
4	Data related to scenario participants such as object type, number of objects, object characteristics (speed, distance), etc.	Scenario participant data
5	Surrounding environment data for indicating driving environment conditions such as illuminance, weather, visibility, etc.	Surrounding environment data
6	Digital data such as items and performance related to automated vehicle sensors, V2X communication, digital maps	Digital data

### 3. 자율주행차 평가 플랫폼 정의

자율주행차 평가 플랫폼은 자율주행차 평가를 위한 상황 시나리오부터 시험유형 도출까지 필요한 기초 자료와 도출 절차, 포맷을 한눈에 보기 쉽게 정의한 구조도이다. 평가 플랫폼을 정의함으로써 평가를 위해 필요한 기초자료와 도출 절차를 이해하기 용이하며, 계층별로 필요한 구성요소의 누락 없이 구성 가능한 특징을 갖는다. 따라서, 본 연구에서는 각 계층에서 정의해야 하는 구성요소를 도출하기 위한 기초자료를 먼저 조사하였다. 「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼」(Korean National Police Agency(KNPA), 2020a)과 같은 기초자료는 계층별 정의에 따라 고속도로 본선구간 평가 시나리오에 필요하거나 고려되어야 하는 구성요소를 도출하는데 활용되며, 관련 법규, 기준, 매뉴얼 등을 포함한다. <Fig. 3>과 같이 구축된 플랫폼을 활용하면 향후 기술 발전에 따른 상황 변화를 수용할 수 있도록 관련 데이터를 주기적으로 최신화하여 지속 가능하다는 장점이 있다.



<Fig. 3> Assessment platform for automated vehicles

### 4. 기초자료 수집

앞서 제시한 계층의 정의에 따라 고속도로 본선구간 자율주행차 평가에 필요한 구성요소를 정의하는 데 활용한 계층별 모든 기초자료는 다음과 같다.

계층 1에 해당하는 평면 데이터와 관련해 수집한 기초자료는 「고속도로설계지침서」(Korea Expressway Corporation(KEC), 2009), 「도로설계요령」(KEC, 2020), 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설」(Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT), 2020), 「도로설계기준」(MOLIT, 2016a), 한국도로공사 고속도로 공

공데이터 포털의 노선별 중단선형 현황(2021년 6월 기준)과 콘존 데이터(2020년 6월 기준)와 고속도로 구간별 제한속도 데이터(2021년 8월 기준), 국가교통정보센터의 국가표준노드링크 데이터(2021년 7월 기준), 「도로안전시설 설치 및 관리지침 제4편 미끄럼방지포장」(MOLIT, 2016b), 「도로안전시설 설치 및 관리지침 제12편 노면요철포장」(MOLIT, 2017a), 「보행사고 예방을 위한 안전시설 설치 가이드북」(KNPA and Korea Road Traffic Authority(KoROAD), 2017), 「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼」(KNPA, 2020a), 「노면 색깔 유도선 설치 및 관리 매뉴얼」(MOLIT, 2017b), 「가변형 속도제한시스템 설치·운영 매뉴얼」(KNPA, 2020b), 「도로교통법 제17조」, 「도로교통법 시행규칙 제19조」이다.

계층 2에 해당하는 입체 데이터와 관련해 수집한 기초자료는 「부산광역시 도시디자인 기본계획 별첨 가로시설물 매뉴얼」(Busan Metropolitan City, 2010), 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설」(MOLIT, 2020), 「도로설계요령」(KEC, 2020), 「도로설계기준」(MOLIT, 2016a), 「고속도로설계지침서」(KEC, 2009), 「건축법 시행규칙 [별표 6] 옹벽에 관한 기술적 기준」, 「도로안전시설 설치 및 관리지침 제8편 낙석방지시설」(MOLIT, 2021a), 「도로안전시설 설치 및 관리지침 제3편 차량방호안전시설」(MOLIT, 2021b), 「도로 공사장 교통관리지침」(MOLIT, 2018), 「도로안전시설 설치 및 관리지침 제11편 긴급제동시설」(MOLIT, 2021c), 「도로안전시설 설치 및 관리지침 제9편 도로전광표시」(MOLIT, 2008), 「교통신호기 설치·관리 매뉴얼」(KNPA, 2020c), 「보행사고 예방을 위한 안전시설 설치 가이드북」(KNPA and KoROAD, 2017), 「도로안전시설 설치 및 관리지침 제1편 시선유도시설」(MOLIT, 2021d), 「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼」(KNPA, 2020a), 「도로안전시설 설치 및 관리지침 제2편 조명시설」(MOLIT, 2016c), 「무인교통단속장비 경찰규격서」(KNPA, 2020d)이다.

계층 3에 해당하는 입체 데이터와 관련해 수집한 기초자료는 「도로교통법 제15조」, 「도로교통법 제61조」, 「도로교통법 시행령 제9조」, 「고속도로 버스전용차로 시행 고시」(2021), 「가변형 속도제한시스템 설치·운영 매뉴얼」(KNPA, 2020b), 「가변형 교통안전표지 표준지침」(KNPA, 2017), 「도로 공사장 교통관리지침」(MOLIT, 2018)이다.

계층 4에 해당하는 입체 데이터와 관련해 수집한 기초자료는 「도로교통량 조사지침 제14조」, 「도로교통량 조사지침 [별표 2]」, 한국도로공사 고속도로 공공데이터 포털의 콘존 데이터(2020년 6월 기준), 「고속도로 기반 자율차 본선구간 차로유지 평가 시나리오 연구 보고서」(Korea Transportation Safety Authority(TS) Korea Automobile Testing & Research Institute(KATRI), 2020), 「[별표 1] 제어상실경고서비스(CLV) 시험절차서 표준(안)」, 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설」(MOLIT, 2020), 「자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙 [별표 27] 부분 자율주행시스템의 안전기준」(2019)이다.

계층 5에 해당하는 입체 데이터와 관련해 수집한 기초자료는 한국도로공사 고속도로 공공데이터 포털의 2016~2020년 고속도로 교통량통계, 연도별 차종별 이용 차량, 「도로안전시설 설치 및 관리지침 제2편 조명시설」(MOLIT, 2016c), 「보행사고 예방을 위한 안전시설 설치 가이드북」(KNPA and KoROAD, 2017), 「도로설계요령」(KEC, 2020), 「도로 조명 기준」(Korean Standards Association(KSA), 2019), 「자율주행 AI 운전능력 평가기법 및 모형개발에 관한 연구」(KoROAD, 2018), 기상자료개발포털의 2016~2020년 일별 데이터, 에어코리아의 통합대기환경지수 표현방법이다.

계층 6에 해당하는 입체 데이터와 관련해 수집한 기초자료는 「자율주행차 센서 기술 동향」(Kee, 2017), 「자율주행을 위한 센서기술동향」(Hwang, 2020), 「자율주행자동차의 문제점과 빛의 인식」(Son et al., 2018), 「V2X 기술 동향」(Kim et al., 2017), 「협력 자율 주행을 위한 V2X 통신기술」(Oh et al., 2016), 「셀룰러 차량사물통신(V2X)을 위한 5G 통신 기술」(Jeon et al., 2017), 「자율주행차 국내외 개발 현황」(Baek, 2020), 「정밀도로 지도 구축 매뉴얼」(National Geographic Information Institute(NGII), 2019), 「자율주행 지원을 위한 도로변화 신속탐지 기술개발 및 실증 기획연구보고서」(Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA),

2017), 「자율협력주행을 위한 LDM 및 V2X기반 도로시스템 개발」(KAIA, 2020)이다.

### 5. 기초자료 분석에 따른 계층별 구성요소 후보 도출

범위 시나리오에 포함되는 구성요소의 값은 자율주행차의 주행안전성에 분명한 영향을 줄 수 있는 항목들로 구성된다. 따라서, 범위 시나리오의 각 구성요소 값이 결정된 시험 시나리오가 평가하고자 하는 자율주

<Table 2> Types and elements for each layer

Layer	Types	Elements	Types	Elements
1	Road section	Type of road section	Road surface marking	Lane color
		Type of road pavement		Lane type
	Road alignment	Type of road alignment		Type of road surface marking except lane (arrow, text, symbol, etc.)
		Minimum radius of curvature		Lane standard
		Minimum length of curvature		Minimum recursive reflection performance of road surface marking
		Superelevation		Color of color lane
		Minimum road widening		Type of color lane
		Minimum length of transition curve		Standard of color lane
		Length of longitudinal curve		Paint type of color lane
	Road slope	Maximum longitudinal slope		Minimum recursive reflection performance of color lane
		Horizontal curve		Lateral sliding friction coefficient (actual measured value)
	Lane	Number of lanes		Lateral sliding friction coefficient (design application value)
		Minimum lane width		Longitudinal sliding friction coefficient
		Minimum width of the right shoulder		Maximum speed limit
Minimum width of the left shoulder		Design speed		
2	Road structure	Type of road structure (bridge, tunnel, soundproof facility, etc.)	Road facility	Message color of the Variable Message Sign(VMS)
		Type of soundproof facility		Installation structure format of the Variable Message Sign(VMS)
		Type of road ecology		Traffic signal type
		Width of greenbelt		Traffic signal installation type
		Type of median strip		Traffic signs shape
		Minimum width of median strip		Traffic signs color
		Type of safety facility		Traffic signs installation type
		Type of crash barrier		Traffic signs installation height
		Type of emergency refuge area		Type of delineator
		Standard of emergency refuge area		Tubular marker standard
		Width of emergency refuge area		Delineator sign structure
	Road facility	Type of road facility (Shock absorption facility, runaway truck ramp, etc.)		Delineator sign shape
		Type of shock absorption facility		Delineator sign reflector color
		Type of runaway truck ramp		Delineator sign installation height
		Display format of the Variable Message Sign(VMS)		Delineator sign installation interval

<Table 2> Types and elements for each layer (Cont'd)

Layer	Types	Elements	Types	Elements			
2	Road facility	Chevron alignment sign standard	Road facility	Obstacle target sign reflective performance			
		Chevron alignment sign color		Obstacle target sign installation height			
		Chevron alignment sign reflective performance		Type of road lighting facility			
		Chevron alignment sign installation height		Continuous lighting installation height			
		Chevron alignment sign installation interval		Tunnel lighting installation height			
		Road cat eyes structure		Type of camera			
		Road cat eyes reflector color		Type of bus stop			
		Road cat eyes reflective performance		Length of bus stop (Direct)			
		Road cat eyes installation height		Length of bus stop (Parallel)			
		Road cat eyes installation interval		Width of bus stop outer separator			
		Obstacle target sign standard		Width of bus stop lane			
		Obstacle target sign color		Width of bus stop platform			
		3		Variable facility	Type of variable facility	Variable facility	Variable speed limit applied speed
					Bus-only lane operation availability	Temporary facility	Construction and work presence
Bus-only lane operation time	Construction and work lane						
Hard shoulder lane operation availability	Type of construction and work related material (traffic cone, Temporary lane, etc.)						
Variable speed limit operation availability	Accident presence						
Variable speed limit operation standard	Accident lane						
Variable speed limit type	Accident related material (warning triangle, Accidental debris, etc.)						
Variable speed limit expression type	Others		Temporary parking presence				
Variable speed limit sign diameter	Road pothole presence						
Variable speed limit sign size							
4	Ego vehicle	Vehicle type	Actor	Relative location to Ego vehicle after t sec			
		Initial driving lane		Relative distance to Ego vehicle after t sec			
		Initial movement (driving, lane changing, etc.)		Movement after t sec (driving, lane changing, etc.)			
		Driving lane after t sec		Longitudinal speed			
		Movement after t sec (driving, lane changing, etc.)		Longitudinal acceleration			
		Longitudinal speed		Lateral lane departure speed			
		Lateral lane departure speed		Time to collision(TTC) with Ego vehicle			
		Time to collision(TTC) with Actor		Number of Neighboring			
		Actor		Neighboring	Number of Actors	Type of Neighboring	
					Type of Actor	Driving/position lane	
	Actor size		Relative location to Ego vehicle				
	Actor color and material		Relative distance to Ego vehicle				
	Initial driving/position lane		Movement (driving, lane changing, etc.)				
	Initial relative location to Ego vehicle		Longitudinal speed				
	Initial relative distance to Ego vehicle		Longitudinal acceleration				
	Initial movement (driving, lane changing, etc.)		Lateral lane departure speed				
	Driving/position lane after t sec		Time to collision(TTC) with Ego vehicle				

<Table 2> Types and elements for each layer (Cont'd)

Layer	Types	Elements	Types	Elements
5	Operational constraints	Average daily traffic volume on expressway	Lighting	Average local lighting illuminance
		Day and night		Average tunnel basic section lighting luminance
	Average continuous lighting luminance at night (dry road surface)	Standard of illuminance without lighting		
	Weather	Weather type	Weather	Road condition (dry, wet, etc.)
		Maximum surrounding temperature	Visibility	Type of visibility-reducing substance (fog, yellow dust, etc.)
		Minimum surrounding temperature		Density of visibility-reducing substance
		Maximum wind speed		
6	AV sensor	Type of sensor	V2X communication	Communication performance (latency, interference, etc.)
		Sensor performance (failure, misrecognition, etc.)	Digital map	Type of digital map
	V2X communication	Type of communication		Digital map performance (positioning error, update delay, etc.)

행차의 주행환경을 결정하게 되며, 하나의 상황 시나리오에서 다양한 구성요소 값의 조합을 통해 다양한 시험 시나리오를 도출할 수 있게 된다. 예를 들어, 차량 단독 주행상황이라는 시나리오가 존재할 경우, ‘도로 선형 종류’라는 구성요소의 값에 따라 직선부, 곡선부 등 더 다양한 시나리오를 도출할 수 있게 된다. 도로는 ‘곡선반경’이라는 구성요소의 값에 따라서 다양한 곡선반경을 갖는 곡선부로 구현할 수 있으며, 곡선부에서 자율주행차의 주행안전성을 평가할 수 있다. 따라서 구성요소와 그 값을 정의하여 시나리오를 명확하게 표현하는 과정이 필요하다. 이에 도출된 계층의 정의와 계층별 기초자료를 검토하여 포함되어야 하는 평가 구성요소를 계층별로 도출하였다. 구성요소 이해도를 높이기 위해 크게 유형을 분류하였는데, 각 유형은 도로 구간, 도로선형, 차로 등과 같이 계층에 포함되어야 하는 구성요소의 대분류를 나타낸다. 활용 데이터 검토 결과, 국내에서 도로의 설계 및 운영 시 고려하는 21개의 유형의 156개 구성요소를 <Table 2>와 같이 도출하였다.

#### IV. 전문가 설문조사를 통한 구성요소 선정

##### 1. 전문가 설문조사 개요

구성요소 후보를 모두 고려하여 평가 시나리오를 도출할 경우 시나리오 개수가 기하급수적으로 증가하여 현실적으로 모든 구성요소와 그 범위를 고려하는 것은 불가능하다. 또한, 유의미한 평가 시나리오를 추출하기 어려워지는 문제가 발생한다. 따라서 유의미한 구성요소의 집합을 도출하고자 전문가 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 자율주행차 평가 시나리오 관련 전문가와 자율주행차 개발 및 평가 관련 전문가 총 11인을 대상으로 <Table 2>에 도출된 모든 구성요소 후보에 대해 리커트 척도를 이용해 개별 요소의 중요도를 1~5

점의 점수로 부여하도록 하였다. 각 점수는 ‘매우 필요 없음’(1), ‘필요 없음’(2), ‘중립’(3), ‘필요함’(4), ‘매우 필요함’(5)을 의미한다.

## 2. 전문가 설문조사 결과 분석

평가 시나리오에서 유의미한 구성요소를 도출하기 위한 전문가 설문조사 결과는 다음과 같은 기준으로 취합하였다. 첫째, 모든 구성요소 후보는 총 156개로 가급적 구성요소를 축소하여 시나리오가 기하급수적으로 많이 도출되는 것을 방지하고자 설문답변 중 ‘매우 필요 없음(1)’을 포함한 경우 구성요소에서 제외하였다. 첫 번째 기준을 통해 ‘매우 필요 없음’을 1개 이상 포함한 81개의 구성요소가 제거되었다. 둘째, 남은 구성요소 중 설문 답변이 ‘매우 필요함(5)’을 포함한 경우 구성요소로 선정하였다. 남은 75개의 구성요소는 모두 ‘매우 필요함’ 답변을 포함하고 있어 모두 구성요소로 선정되었다. 셋째, 전문가가 추가 의견으로 제시한 바를 적절히 반영하고, 연구진 내 협의를 통해 제거된 구성요소와 선정된 구성요소가 적합한지 검토하여 최종 구성요소를 확정하였다. 검토를 통해 제거된 구성요소 중 추가가 필요한 구성요소는 최종 구성요소로 확정하고, 남아있는 구성요소 후보 중 제거가 필요한 구성요소는 최종 구성요소에서 제거하고자 하였다. 검토 결과, 제거된 구성요소 중에서는 ‘중앙분리대 종류’의 추가가 필요하였다. 중앙분리대 종류는 ‘매우 필요 없음’을 포함하고 있어 제거되었지만, 전문가 설문조사 결과의 최빈값이 ‘매우 필요함(5)’이며, 평균 4.08의 중요도를 가지고 있어 충분히 유의미한 구성요소임을 확인할 수 있었다. 또한, ‘비상주차대 유형’, ‘비상주차대 설치규격’, ‘비상주차대 폭원’은 제거된 항목이지만 자율주행차에게 주행 중 문제가 생겼을 경우 최소위험운전(minimum risk maneuver, MRM)을 수행하기 위해 고려할 필요가 있다고 판단하였다. 따라서 세 개의 구성요소를 ‘비상주차대 여부’로 취합하여 최종 구성요소에 추가하였다. 이외에 남아있는 구성요소 중 제거가 필요한 구성요소는 존재하지 않았으나, 변경이 필요한 구성요소가 존재하였다. 변경이 필요한 구성요소는 ‘교통안전표지 표지판 모양’과 ‘교통안전표지 표지판 색상’으로, 전문가 추가 의견 중 모양과 색상이 아닌 교통안전표지의 종류별로 요소를 도출하는 것이 나올 것 같다는 의견을 반영하였다. 따라서 ‘규제표지 여부’, ‘보조표지 여부’로 변경하여 최종 구성요소에 추가하였다. 이때, 지시표지와 주의표지는 추가하지 않았는데, 그 이유는 두 종류의 표지는 네비게이션, 전자지도 등에 그 정보를 포함하고 있어 따로 고려할 필요가 없다고 판단했기 때문이다. 최종적으로 세 가지 기준을 통해 확정된 최종 구성요소는 총 77개로 <Table 3>와 같다.

<Table 3> The final elements for each layers

Layer	Types	Elements	Types	Elements
1	Road section	Type of road section	Lane	Minimum width of the left shoulder
	Road alignment	Type of road alignment	Road surface marking	Lane color
		Minimum radius of curvature		Lane type
		Minimum length of curvature		Type of road surface marking except lane
	Road slope	Maximum longitudinal slope		
	Lane	Number of lanes	Others	Type of color lane
		Minimum lane width		Maximum speed limit
Minimum width of the right shoulder				
2	Road structure	Type of road structure	Road facility	Regulatory sign presence
		Type of median strip		Supplementary sign presence
		Emergency refuge area Presence		Type of road lighting facility
	Road facility	Traffic signal type		Type of bus stop
Traffic signal installation type				

<Table 3> The final elements for each layers (Cont'd)

Layer	Types	Elements	Types	Elements
3	Variable facility	Type of variable facility	Temporary facility	Type of construction and work related material
		Bus-only lane operation availability		Accident presence
		Hard shoulder lane operation availability		Accident lane
		Variable speed limit operation availability		Accident related material
	Temporary facility	Construction and work presence	Others	Temporary parking presence
		Construction and work lane		Road pothole presence
4	Ego vehicle	Vehicle type	Actor	Driving/position lane after t sec
		Initial driving lane		Relative location to Ego vehicle after t sec
		Initial movement		Relative distance to Ego vehicle after t sec
		Driving lane after t sec		Movement after t sec
		Movement after t sec		Longitudinal speed
		Longitudinal speed		Longitudinal acceleration
	Actor	Number of Actors	Neighboring	Lateral lane departure speed
		Type of Actor		Number of Neighboring
		Actor size		Type of Neighboring
		Actor color and material		Driving/position lane
		Initial driving/position lane		Relative location to Ego vehicle
		Initial relative location to Ego vehicle		Relative distance to Ego vehicle
		Initial relative distance to Ego vehicle		Movement
		Initial movement		Longitudinal speed
5	Operational constraints	Average daily traffic volume on expressway	Weather	Road condition
	Lighting	Day and night	Visibility	Type of visibility-reducing substance
	Weather	Weather type		Density of visibility-reducing substance
		Maximum wind speed		
6	AV sensor	Type of sensor	V2X communication	Communication performance
		Sensor performance	Digital map	Type of digital map
	V2X communication	Type of communication		Digital map performance
Ego vehicle		Vehicle type	Actor	Actor color and material
		Initial driving lane		Initial driving/position lane
		Initial movement		Initial relative location to Ego vehicle
		Driving lane after t sec		Initial relative distance to Ego vehicle
		Movement after t sec		Initial movement
		Longitudinal speed		Driving/position lane after t sec
Actor		Number of Actors		Relative location to Ego vehicle after t sec
		Type of Actor		Relative distance to Ego vehicle after t sec
		Actor size		Movement after t sec
Actor		Longitudinal speed	Neighboring	Driving/position lane
		Longitudinal acceleration		Relative location to Ego vehicle
		Lateral lane departure speed		Relative distance to Ego vehicle
Neighboring		Number of Neighboring		Movement
		Type of Neighboring		Longitudinal speed

### 3. 최종 구성요소 검증

전문가 설문조사를 통해 선정한 77개의 최종 구성요소는 검증을 위해 관련 표준과 비교 분석하여 적절성을 평가하였다. 비교분석을 위한 관련 표준으로는 「정밀도로지도 구축 매뉴얼」(NGII, 2019)과 자동차 개발 및 통제인 표준화 추진 협회인 ASAM(Association for Standardization of Automation and Measuring Systems)을 선정하였고, 「정밀도로지도 구축 매뉴얼」에서 정의하는 항목과 ASAM의 다양한 표준 중 시물레이션 분야의 OpenDRIVE, OpenSCENARIO를 검토하였다. OpenDRIVE는 차량 시물레이션을 위한 도로 기하구조, 교통신호

<Table 4> Verification with related standards

Layer	Final types of this study	Elements of ASAM OpenDRIVE	Elements of ASAM OpenSCENARIO	Elements of 「High Definition Map Construction Manual」
1	-	-	-	NODE
	Road section	-	-	-
	Road alignment	palnView	-	LINK
	-	link	-	-
	Road slope	lateralProfile / elevationProfile	-	-
	Lane	lanes	-	-
	Road surface marking	lanes / signals	-	SURFACELINKMARK / SURFACEMARK
	Others (such as speed limit)	type	-	-
2	Road Structure	objects	-	DRIVEWAYSECTION / VEHICLEPROTECTIONSAFETY
	Road facility	objects	-	SUBSIDELARYSECTION / PARKINGLOT / SAFETYSIGN / TRAFFICLIGHT / KILOPOST / HEIGHTBARRIER / POSTPOINT
3	Variable facility	-	-	-
	Temporary facility	objects / sway	-	-
	Others (such as temporary parking, road pothole)	surface	-	-
4	Ego	-	Entities / Private / ManeuverGroup	-
	Actor	-	Entities / Private / ManeuverGroup	-
	Neighboring	-	Entities / Private / ManeuverGroup	-
5	Operational constraints	-	UserDefinedActions	-
	Lighting	-	GlobalActions	-
	Weather	-	GlobalActions	-
	Visibility	-	GlobalActions	-
6	AV sensor	-	-	-
	V2X communication	-	-	-
	Digital map	-	-	-

시설 등 도로망의 정적 내용을 설명하는 표준이며, OpenSCENARIO는 차량 시뮬레이션을 위한 운전자 행동 또는 주행계획 등의 동적 내용을 설명하는 표준으로, 날씨나 교통참여자나 같은 여러 실체가 참여하는 복잡하고 동기화된 거동을 설명한다. 본 연구에서 선정한 최종 구성요소 77개는 각각을 비교하기보다는 구성요소의 대분류인 유형을 비교하였는데, 그 이유는 비교군인 ASAM과 정밀도로지도에서 정의하는 요소와 위계를 맞추기 위해 유형을 비교 검토하는 것이 적절하다고 판단하였기 때문이다.

비교 결과는 <Table 4>와 같으며, 본 연구에서 선정한 구성요소의 유형이 다른 관련 표준보다 다양하고 광범위하며 선정된 최종 구성요소가 유의미하다고 판단하였다. 특히, 가변시설의 경우 다른 관련 표준에서는 정의하지 않아 국내의 특이사항으로 판단 가능할 것으로 기대되며, 평가 시나리오 도출 과정에서 본 연구에서 선정한 77개의 구성요소가 시나리오를 명확하게 표현함에 있어 적절하고 문제가 없다는 검증 결과를 도출하였다.

본 연구에서는 현재 사용 중인 자율주행차 PG, 관련 시뮬레이션 S/W, vehicle-in-the-loop simulation(SILS) 등에서 사용되는 변수들을 기준으로 범위 시나리오 등에 사용될 구성요소들이 선정되었다. 하지만, 향후 자율주행차 시험 방법 및 기술이 고도화됨에 따라 시나리오에 포함될 구성요소가 추가 또는 제거될 필요가 발생할 수 있다. 즉, 현재의 구성요소는 현재 기술 수준을 고려하여 최선을 다해 선정되었지만, 향후 기술 발전에 따라서 지속적으로 수정될 필요가 있다고 판단된다.

## V. 결론 및 향후 연구과제

### 1. 결론

본 연구에서는 국내 자율주행차 주행안전성 평가를 위한 시나리오 개발 절차와 시나리오에 반영되어야 하는 구성요소를 도출하고자 하였다. 따라서 시나리오 주요 개념, 계층, 시나리오 개발 플랫폼을 차례대로 정의한 후 계층별로 관련 문헌을 검토하였다. 시나리오 정의는 독일의 PEGASUS 프로젝트를 기반으로 국내에서 이해하기 쉬운 형태로 일부 수정한 후 각 시나리오에 반드시 포함되어야 하는 구성요소를 도출하였다. 계층은 평가에 필요한 요소를 체계적으로 구성 및 관리하는데 용이하기 때문에 독일의 PEGASUS 프로젝트에서 정의한 6-계층을 일부 수정하여 정의하고, 정의된 계층에 따라 평가 플랫폼을 구축하였다. 평가 플랫폼은 활용 데이터와 시나리오 도출 절차 등을 한눈에 보기 쉽게 정리한 구조를 갖는다. 따라서, 플랫폼에서는 각 계층별로 관련된 문헌을 정리하였고, 이후 계층별 관련 문헌을 검토하여 평가 시나리오에서 고려가 필요한 구성요소 후보를 정의하였다. 정의한 구성요소 후보를 시나리오에 모두 포함할 경우 무수히 많은 시나리오가 생성되어 유의미한 시나리오를 추출하기 어려워지는 문제가 발생하므로 전문가 설문조사를 수행하여 유의미한 구성요소만을 선정하고자 하였다. 전문가 설문조사는 리커트 척도를 활용하여 구성요소 후보 156개의 중요도를 1점에서 5점을 부여하도록 수행한 후 결과를 취합하고, 취합된 결과를 검토 및 검증하여 최종적으로 구성요소 77개를 확정지었다. 향후 확정된 구성요소는 범위 시나리오, 시험 시나리오 및 시험유형을 정의하는데 활용 가능하며, 자율주행차의 주행안전성 평가를 위한 시나리오 개발 프로세스에 적극적으로 활용될 것으로 기대된다.

## 2. 향후 연구과제

본 연구는 자율주행차 평가 시나리오의 구성요소를 도출하였으나 몇 가지 연구의 한계가 존재한다.

우선, 자율주행차의 안전은 충돌안전, 기능안전, 성능안전, 주행안전, 충돌방지안전 등의 다양한 분야가 존재하나, 본 연구에서는 주행안전성 평가로 그 범위를 한정하여 연구를 진행하였다는 한계가 존재한다. 그러므로 향후 연구의 범위를 점차 확장하여 자율주행차의 모든 안전을 평가 가능한 플랫폼과 평가 구성요소 등을 도출하는 연구를 수행할 필요가 있다.

두 번째로, 본 연구의 범위가 고속도로 본선구간에 한정되어 있다는 한계가 존재한다. 따라서 도출된 구성요소 역시 고속도로 본선구간에만 적합하며, 향후 연구 범위를 고속도로 전체구간과 도심도로로 확장하여 연구범위별로 적합한 평가 시나리오의 구성요소를 도출할 필요가 있다.

세 번째로, 본 연구의 주요 목표 중에 하나는 자율주행차 평가 시나리오에서 표현될 구성요소를 구체적으로 선정하는 것이다. 하지만, 이러한 구성요소 선정과 관련된 정량화된 사례, 모형 및 절차 등이 없는 관계로 본 연구에서는 전문가의 의견을 기반으로 선정하였다. 자율주행차 평가 시나리오 관련 전문가와 자율주행차 개발 관련 전문가 설문조사 결과를 취합한 후, 연구진 내 협의를 거쳐 교통공학적 관점에서 최종 구성요소를 확정했다는 한계가 있다. 교통공학적 관점 외에도 다양한 관점을 가진 연구진과의 협의를 통해 구성요소를 확정하는 연구가 진행된다면 더욱 연구 결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 현재 선정된 구성요소들은 향후 실제 적용 등을 통해서 그 필요성 등에 대한 의견이 누적될 것이며, 이러한 향후 관련 기술 및 여건 변화를 통해서 다시 한번 검토될 필요가 있을 것으로 판단된다.

네 번째로, 도출된 구성요소를 가지고 실차 평가를 수행하지 못한 한계가 있다. 실차 평가를 진행할 경우 모든 시나리오가 시뮬레이션, 주행시험장, 실도로에서 명확하게 정의되는지, 도출된 구성요소 외에 필수적으로 정의가 필요한 추가 구성요소가 있는지 확인이 필요하다. 본 연구에서는 관련 표준과의 비교분석을 통해 검증을 수행하였으나, 실차를 이용한 검증이 부재하여 적절한 구성요소가 도출되었는지 확실하기엔 부족한 부분이 있다. 향후 자율주행차 실도로 평가 방법론 수립 연구 결과와 본 연구 결과의 융합을 통해 본 연구에서 부족한 구성요소를 보완사항으로 반영할 수 있을 것으로 기대된다.

다섯 번째로, 시나리오가 도출되면 규격 등을 정의한 평가부록이 작성될 필요가 있다. 도출된 시나리오별로 평가부록을 작성함으로써 시나리오 평가 절차를 표준화할 수 있고, 표준화된 시나리오 평가 절차는 향후 추가 연구 및 평가에 활용하기 용이해진다. 또한, 시나리오가 동일한 방식으로 평가되기 때문에 평가장소에 따라 결과가 달라지는 문제가 발생하지 않게 된다. 따라서, 평가부록을 작성해 시나리오의 평가가 수행될 필요가 있다.

마지막으로 본 연구는 복잡한 자율주행차 평가 시나리오 개발 과정 중 상황 시나리오에서 범위 시나리오로 전개되는 과정만을 상세히 설명하고 있다. 따라서, 향후에는 자율주행차 평가를 위한 전체적인 시나리오 개발 과정을 상세히 설명할 필요가 있다고 판단된다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 논문은 국토교통부 자율주행기술개발혁신사업 ‘주행 및 충돌상황 대응 안전성 평가기술개발(21AMDP-C160637-01)’ 과제 지원에 의해 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Ahmed, K. and Kim, J.(2020), “Near Critical Conditions for Training Autonomous Vehicles(AV)”, *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems Academic Conference*, pp.124-130.
- Baek, J.(2020), “Status of Development of Automated Vehicles at domestic and international”, *Korea Development Bank(KDB) Future Strategy Research Institute Monthly Report*, vol. 771, pp.17-36.
- Busan Metropolitan City(2010), *Basic Plan for Urban Design in Busan Metropolitan City Annex Road Facility Manual*.
- Chae, H., Jeong, Y., Yi, K., Choi, I. and Min, K.(2016), “Safety Performance Evaluation Scenarios for Extraordinary Service Permission of Autonomous Vehicle”, *Transaction of the Korea Society of Automotive Engineers*, vol. 24, no. 5, pp.495-503.
- Hwang, J.(2020), “Trend of Sensor Technology for Autonomous Driving”, *Auto Journal*, vol. 42, no. 4, pp.18-21.
- Jeon, Y., Kim, J., Choe, J. and Lee, N.(2017), “5G Communication Technology for Cellular Vehicle-to-everything”, *Information and Communications Magazine*, vol. 34, no. 6, pp.27-33.
- Korea Agency for Infrastructure Technology Advanced(KAIA)(2020), *Development of LDM and V2X-based Road Systems for Cooperative Automated Driving*.
- Kang, S., Won, Y., Choi, J., Shin, Y. and Kim, J.(2016), “Measures to improve the legal system to revitalize self-driving cars”, *Korea Technology Innovation Society Conference*, pp.335-355.
- Korea Expressway Corporation(KEC)(2020), *Road Design Tips*.
- Kee, S.(2017), “Trend of Automated Vehicle Sensor Technology”, *Telecommunications Technology Association Journal*, vol. 173, pp.16-22.
- Kim, D., Kim, G., Chae, C. Kim, S. and Lee, S.(2017), “V2X Technology Trend”, *Information and Communications Magazine*, vol. 34, no. 6, pp.11-19.
- Kim, G. and Cho, S.(2021), “A Study on Establishing Safety Concepts and Improving Safety Standards for Self-driving Vehicles”, *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 38, no. 6, pp.3-8.
- Korean National Police Agency(KNPA) and Korea Road Traffic Authority(KoROAD)(2017), *Guidebook for Installing Safety Facilities to Prevent Pedestrian Accidents*.
- Korean National Police Agency(KNPA)(2017), *Standard Guideline for Variable Traffic Safety Signs*.
- Korean National Police Agency(KNPA)(2020a), *Installation and Operation Manual for Variable Speed Limit System*.
- Korean National Police Agency(KNPA)(2020b), *Traffic Signal Installation and Management Manual*.
- Korean National Police Agency(KNPA)(2020c), *Unmanned Transportation Control Equipment Police Standard*.
- Ko, Y., Yi, K., Kim, K., Park, S., Chae, H., Joa, E. and Seo, H.(2018), “Evaluation Technology of Driving Safety, Functional Safety and Safety for SAE Lv.5 Fully Autonomous Vehicle”, *Journal of the Korea Society of Mechanical Engineers*, vol. 58, no. 4, pp.37-41.
- Ko, Y., Yook, D. and Rho, J.(2017), “Assessing Benefits of Autonomous Vehicle System Implementation through the Network Capacity Analysis”, *The Korea Spatial Planning Review*,

vol. 93, pp.17-24.

- Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA)(2017), *Development and Verification of Rapid Detection Technology of Road Change for supporting Autonomous Driving*.
- Korea Expressway Corporation(KEC)(2009), *Expressway Design Guidelines*.
- Korea Transportation Safety Authority(TS) Korea Automobile Testing & Research Institute(KATRI)(2020), *A Report on the Expressway Mainline Based Automated Vehicle Assessment Scenario of Lane Keeping*.
- Korean National Police Agency(KNPA)(2020), *Transportation Road Surface Marking Installation and Management Manual*.
- Korean Standards Association(KSA)(2019), *Road Lighting Rules*.
- Korea Road Traffic Authority(KoROAD)(2018), *A Study on the Development of Automated Driving AI Driving Ability Assessment Techniques and Model*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2020), *Explanation of Rules on Road Structure and Facility Standards*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2008), *Road Safety Facilities Installation and Management Guidelines Part 9 Road Message Signs*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2016a), *Road Design Standards*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2016b), *Road Safety Facilities Installation and Management Guidelines Part 4 Anti-slip Pavement*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2016c), *Road Safety Facilities Installation and Management Guidelines Part 2 Lighting Facilities*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2017a), *Road Safety Facilities Installation and Management Guidelines Part 12 Rumble Strips*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2017b), *Installation and Management Manual for Road Color Lanes*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2018), *Traffic Management Guidelines for Road Construction Sites*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2021a), *Road Safety Facilities Installation and Management Guidelines Part 8 Anti-falling Rock Facilities*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2021b), *Road Safety Facilities Installation and Management Guidelines Part 3 Vehicle Protection Safety Facilities*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2021c), *Road Safety Facilities Installation and Management Guidelines Part 11 Emergency Braking Facilities*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2021d), *Road Safety Facilities Installation and Management Guidelines Part 1 Delineator Facilities*.
- National Geographic Information Institute(NGII)(2019), *High Definition Map Construction Manual*.
- Neurohr, C., Westhofen, L., Henning, T., De Graaff, T., Möhlmann, E. and Böde, E.(2020), "Fundamental considerations around scenario-based testing for automated driving", *In 2020 Institute of Electrical and Electronics Engineers(IEEE) Intelligent Vehicles Symposium (IV), Institute of Electrical and Electronics Engineers(IEEE)*, pp.121-127.
- Oh, H., Choe, H. and Song, Y.(2016), "V2X Communication Technology for Cooperative Automated

- Driving”, *Information and Communications Magazine*, vol. 33, no. 4, pp.41-16.
- Park, Y., Cho, K. and In, Y.(2017), “A Study on Highway Accidents In-depth Analysis using Video data: Evaluation Scenarios for Taking over control from Autonomous Vehicles”, *Proceedings of the Ergonomics Society of Korea Conference*, pp.9-30.
- Riedmaier, S., Ponn, T., Ludwig, D., Schick, B. and Diermeyer, F.(2020), “Survey on scenario-based safety assessment of automated vehicles”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers(IEEE) Access*, vol. 8, pp.87456-87477.
- Son, H., Yu, S., Kim, K. and Lee, H.(2018), “Problems of autonomous car and recognition of light”, *The Korea Institute of Information and Communication Engineering 2018 Conference*, pp.683-686.
- Waymo(2020), *Waymo Safety Report*, p.11.
- Weber, N., Frerichs, D. and Eberle, U.(2020), “A simulation-based, statistical approach for the derivation of concrete scenarios for the release of highly automated driving functions”, *In AmE 2020-Automotive Meets Electronics; 11th Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikrosystem(GMM)-Symposium, Verband der Elektrotechnik(VDE)*, pp.1-6.
- Woo, H. and Lee, G.(2021), “A Study on Assessment Items and Considerations for Development of KNCAP of Automated Driving System”, *Korean Auto-vehicle Safety Association*, vol. 13, no. 3, pp.102-110.