

자율주행차 평가용 상황 시나리오 개발 : 톨게이트, 램프 구간을 중심으로

Development of Functional Scenarios for Automated Vehicle Assessment : Focused on Tollgate and Ramp Sections

노 종 민* · 고 우 리** · 김 중 호*** · 오 석 진**** · 윤 일 수*****

* 주저자 : 아주대학교 교통공학과 석사과정

** 공저자 : 아주대학교 교통공학과 석박사통합과정

*** 교신저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 첨단교통연구부 수석연구원

**** 공저자 : 호남대학교 토목환경공학과 교수

***** 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

Jongmin Noh* · Woori Ko* · Joong Hyo Kim** · Seok Jin Oh*** · Ilsoo Yun*

* Dept. of Transportation Eng., Univ. of Ajou

** Department of Advanced Traffic, Traffic Science Institute, Korea Road Traffic Authority

*** Civil & Environmental engineering, Univ. of Honam

† Corresponding author : Joong Hyo Kim, ccacca-1@hanmail.net

Vol. 21 No.6(2022)
December, 2022
pp.250~265

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.6.250>

Received 14 September 2022
Revised 27 September 2022
Accepted 26 October 2022

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

요 약

자율주행차의 도입으로 인적 오류에 의한 교통사고가 크게 줄어드는 것과 같은 긍정적 파급효과를 기대할 수 있다. 그러나 자율주행차의 H/W 또는 S/W의 오류 및 기능 부족 등으로 새로운 교통안전 이슈가 앞으로 발생할 것으로 예상됨에 따라 자율주행차의 주행 안전성을 평가하기 위한 현실적이고 체계적인 시나리오 구축이 필요하다. 이에 본 연구에서는 경찰청 교통사고 데이터를 바탕으로 자율주행차 주행 안전성을 평가하기 위한 상황 시나리오(functional scenario)를 개발하였다. GIS 프로그램인 QGIS를 활용하여 국내 고속도로 톨게이트 및 램프 구간에서 발생한 교통사고 데이터를 추출하고 교통사고 개요 항목을 확인한 후, 교통사고 유형을 분류하였다. 또한, 교통사고 유형 분류 결과를 바탕으로 톨게이트와 램프 구간의 다양한 위험 상황을 내용으로 하는 상황 시나리오를 개발하였다.

핵심어 : 자율주행차, 주행 안전성, 상황 시나리오, 톨게이트, 램프

ABSTRACT

Positive effects such as significantly reducing traffic accidents caused by human error can be expected by the introduction of Automated vehicles (AV). However, as new traffic safety issues are expected to occur in the future due to errors in H/W or S/W of autonomous vehicles and lack of its function, it is necessary to establish a scenario to evaluate the driving safety of AV. Therefore, in this study, functional scenario was developed to evaluate the driving safety of AV based on traffic accident data of the National Police Agency. Using the GIS program, QGIS, traffic accident data that occurred in the toll gate and ramp sections of expressway were extracted and accident summary items were checked to classify the types of accident. In addition, based on the results of accident type classification, functional scenario were developed that contains various dangerous situations in the tollgate and ramp sections.

Key words : Automated Vehicles, Driving Safety, Functional Scenario, Tollgate, Ramp

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

자율주행차(Autonomous 또는 Automated vehicle)는 운전 중 사람이 수행하는 일련의 인지, 판단, 제어 과정을 자동차가 대신 수행함으로써 사람의 조작이나 개입 없이 스스로 운행이 가능한 자동차를 의미한다. 「자동차관리법」 제2조 제1호의3에서는 자율주행차를 운전자 또는 승객의 조작 없이 스스로 운행이 가능한 자동차로 정의하고 있다. 자율주행차의 기술단계는 통상적으로 미국 자동차공학회(SAE International, 이하 SAE)에서 제시하는 6단계(레벨 0~5) 기준을 따르며, 다양한 국가 및 자율주행 관련 산업체를 중심으로 현재 레벨 3~5 수준의 자율주행 기술개발이 진행 중이다(Kim et al., 2020).

대부분의 교통사고가 인적 오류에 의해 발생하는 점을 감안할 때(KOROAD, 2022), 자율주행 시스템(Automated driving system, ADS)이 운행설계영역(operational design domain, ODD) 내에서 차량의 제어권을 갖는 자율주행차의 도입 및 상용화는 인적 요인의 교통사고를 크게 감소시킬 것으로 전망된다. 또한, 자율주행차의 도입으로 운전이 어려운 교통약자들의 차량 이용을 가능하게 하는 등 여러 긍정적 파급효과를 기대할 수 있다(Park, 2019). 그러나, 주행 중 자율주행차를 구성하는 센서 등 H/W 및 S/W 요소들의 오류와 기능 부족이 교통사고의 새로운 원인으로 작용함으로써 교통사고 원인이 기존보다 다변화될 것으로 예상된다(Kim, 2021). 따라서, 본격적인 자율주행차 도입 및 상용화를 앞두고 자율주행차의 교통사고 원인이 될 수 있는 요인들의 성능을 다양한 상황에서 세부적으로 평가하는 것이 필요하다.

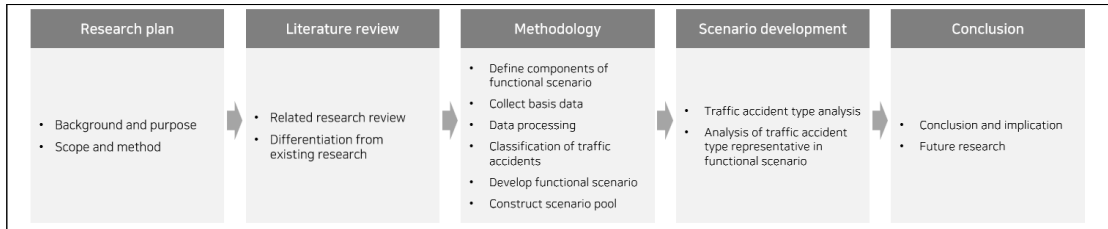
이를 위해, 자율주행차가 실도로 환경에서 주행 중 직면할 다양한 상황들을 시나리오(scenario)로 정의하는 것은 자율주행차의 잠재적인 교통사고 요인을 파악하고 예방하기 위한 평가에 적극적으로 활용할 수 있다. 더 나아가 시나리오를 자율주행차의 주행 안전성(driving safety)을 정량적으로 평가하기 위한 수단으로 활용할 수 있다. 또한, 교통사고 데이터는 교통사고를 구성하는 다양한 요인들이 원인이 된 하나의 결과물로서, 자율주행차의 교통사고 원인으로 작용하는 요인들을 고려하기 위한 기초자료로 활용할 수 있다.

이에 본 연구에서는 고속도로 톨게이트 및 램프 구간을 대상으로 자율주행차의 주행 안전성을 평가하기 위하여 국내 고속도로 톨게이트 및 램프 구간에서 발생한 교통사고의 유형을 분석하여 해당 도로구간을 주행하는 자율주행차가 직면 가능한 다양하고 실제적인 상황(safety-in-use)들을 유형화한 상황 시나리오(functional scenario)를 개발하고자 한다. 고속도로 톨게이트 및 램프 구간은 향후 자율주행차가 가장 먼저 이용할 것으로 예상되는 고속도로 구간을 이용하기 위해 반드시 거쳐야 하는 구간으로, 본격적인 자율주행차 도입에 앞서 고속도로 본선구간과 더불어 주행 안전성 평가가 필요한 도로구간이다. 또한, 톨게이트와 램프 구간을 전후하여 차로폭, 차로수 등의 도로 기하구조 요소의 변화가 발생하므로 주행 중 도로환경이 변화되는 조건 하에서 자율주행차의 주행 안전성을 평가하는데 필요한 도로구간이다.

2. 연구의 범위 및 절차

본 연구는 특정 조건 하에서 시스템이 자율주행을 수행하는 레벨 3 이상의 자율주행차를 대상으로 하며, 해당 수준의 자율주행차가 가장 먼저 주행하는 것이 허용될 고속도로 중 톨게이트와 램프 구간을 공간적 범위로 설정하였다. 해당 구간에서 발생한 교통사고 데이터의 생산연도인 2012년부터 2014년까지를 시간적 범위로 설정하였다. 연구의 수행 절차는 <Fig. 1>과 같이 연구 계획 수립, 관련 연구 고찰, 시나리오 구성요소 정의, 기초자료 수집, 데이터 가공, 교통사고 유형 분류, 상황 시나리오 도출, 시나리오 Pool 구축 순으로 구

성하였으며, 데이터 가공 단계는 분석 대상구간 정의, 교통사고 데이터 속성결합, 공간적 범위 기준 수립, 데이터 전처리 순으로 이루어진다.



<Fig. 1> Research procedure

II. 관련 이론 및 선행 연구 고찰

1. 시나리오 개요

자율주행차의 안전성 평가와 관련하여 진행된 프로젝트로는 2016년부터 2019년까지 독일 정부가 주도하여 여러 완성차 업체가 참여한 페가수스(PEGASUS) 프로젝트를 예시로 들 수 있다. 페가수스 프로젝트는 자율주행 기능을 다방면으로 평가하기 위한 기준을 수립하고자 시나리오를 개발하였다(PEGASUS, 2022). 이때 시나리오의 형태를 시나리오 개수 및 추상화 정도에 따라 functional, logical, concrete로 구분한다(Park et al., 2019). 먼저 functional scenario는 평가하고자 하는 상황을 포함하여 도로 네트워크, 환경조건, 정적·동적요소 등을 서술한 시나리오로 추상화 정도가 가장 높다. 다음으로 logical scenario는 평가를 위해 사용되는 모든 요소의 값의 범위를 정의하는 시나리오로, 추상화 정도가 functional scenario보다 낮다. 마지막으로 concrete scenario는 위 세 가지 형태의 시나리오 중 가장 추상화가 낮은 시나리오로, 평가를 위한 모든 요소의 값을 정의한다(Park et al., 2019). 참고로 본 연구에서 functional scenario는 상황 시나리오로, logical scenario는 범위 시나리오, concrete scenario는 실험 시나리오로 불린다. 고속도로 톨게이트 및 램프 구간에서 자율주행차가 직면 가능한 위험 상황들을 시나리오로 정의하기 위하여 본 연구에서는 상황 시나리오에 한정하여 시나리오를 개발하고자 한다.

2. 자율주행차 평가 시나리오 관련 연구

앞서 소개한 페가수스 프로젝트 외에도 자율주행차의 주행 안전성을 평가하기 위한 시나리오 기반(scenario-based) 평가 방법론이 다양한 연구를 통해 수행되고 있다. 특히, 평가가 필요하다고 판단되는 특정 상황과 구성요소들을 평가 시나리오에 포함시켜 실제로 평가 등의 타 방법론에서 평가항목으로 활용하는 형태의 연구가 진행 중이다.

Chung et al.(2018)는 미국 고속도로교통안전위원회(National Highway Traffic Study Administration, NHTSA)의 교통사고 데이터베이스인 National Automotive Sampling System(NASS) Crashworthiness Data System(CDS)을 기반으로 다양한 교통사고 상황을 자율주행차 평가를 위한 고위험도 주행 시나리오로 재구성하는 전략을 소개하였다. 이를 위해 NASS CDS 데이터베이스의 차대차 교통사고 데이터를 검토하여 특정 교통사고 상황을

선정하여 주행속도 예측의 관점으로 교통사고 상황을 재구성한 시나리오를 개발하였다. 해당 시나리오를 시뮬레이션 및 실도로 환경에서 검증한 결과, 실도로에서 발생하는 고위험도 주행 시나리오를 자율주행차 평가 시나리오로 활용할 수 있음을 확인하였다.

Lim et al.(2017)는 자율주행차의 임시운행 허가를 목적으로 차로유지와 차로변경 상황에서 자율주행차의 주행 안전성을 평가하기 위한 시나리오와 안전성 평가항목을 도출하였다. 또한, 고속주회로에서 실차 실험을 수행하여 확보한 주행데이터를 통해 앞서 도출한 시나리오와 평가항목의 타당성을 검증하였다.

Park et al.(2018)는 고속도로 환경에서 운전자의 안전을 위한 자율주행차의 제어권 전환(take-over) 안전성 평가 시나리오 도출 과정을 소개하였다. 고속도로 주행 중 발생 가능한 상황을 주행 시나리오로 정의한 다음, 실제 교통사고 데이터와 제어권 전환 특성을 고려하여 최종적으로 고속도로 환경의 제어권 전환 안전성을 평가하는데 필요한 대표 시나리오를 도출하였다.

3. 기존 연구와의 차별성

자율주행차 평가 시나리오와 관련된 선행 연구들을 검토한 결과, Chung et al.(2018)의 연구는 실제 교통사고 데이터에 기반한 교통사고 상황 시나리오를 도출하였지만, 차대차 교통사고에 한정되어 단독사고와 같은 타 유형의 교통사고를 고려하지 못하였다. 또한, Lim et al.(2017)의 연구는 차로유지와 차로변경이라는 특정 유형의 상황에서 자율주행차를 평가하기 위한 상황 시나리오를 개발하였으나, 해당 유형 이외의 다양한 상황들을 고려하지 못하였다는 한계가 있었다. 또한, Park et al.(2018)의 연구는 고속도로 구간을 공간적 범위로 자율주행차의 제어권 전환 상황의 안전성을 평가하기 위한 상황 시나리오를 도출하였지만, 제어권 전환이 아닌 다른 상황을 평가하기 위한 방법론으로는 부족한 부분이 있었다.

이에 본 연구에서는 도로구간의 특성에 의해 발생하는 다양한 상황 유형들을 시나리오의 형태로 정의하며, 향후 다른 유형의 도로구간에 적용 가능하다는 점에서 기존 연구와 차별성을 지닌다.

Ⅲ. 상황 시나리오 개발 과정

1. 상황 시나리오 구성요소 정의

상황 시나리오 도출에 앞서, 시나리오에 포함되어야 할 구성요소를 <Table 1>과 같이 총 여섯 가지로 구분하여 정의하였다. 먼저 시나리오 타입(scenario type)은 해당 시나리오가 유형과 함께 상황이 발생한 위치, 시나리오를 도출하고자 하는 목적을 포함한다. 전체 상황도(overall flow of situation)는 상황을 이해하기 쉽도록 상황이 발생할 당시의 도로 기하구조 및 이동객체의 거동을 종합적으로 표현한 그림 자료를 의미한다. 시나리오 상세 설명(scenario description)은 해당 시나리오를 설명하고자 이동객체의 거동과 대상자동차에게 요구되는 상황 등의 내용을 포함한 글(text)이다. 기하구조(road geometry)는 상황 시나리오의 공간적 배경이 되는 도로 기하구조를 의미하며, 이동객체가 진행하는 방향의 편도 차로수와 차로유형을 포함한다. 이때, 차로 유형은 도로 곡률에 의한 상황 발생을 고려하기 위해 직선부와 곡선부로 구분하며, 필요한 경우 감속차로와 같이 해당 차로의 특성을 추가할 수 있다. 이동객체(moving objects)는 시나리오에 관련된 모든 객체를 의미하며, 객체의 차종 및 주행차로, 위치, 거동정보와 함께 상황을 발생시키는 객체의 구분, 위치, 거동정보를 포함한다. 이때, 객체의 위치는 평가 대상을 기준으로 하는 상대적 위치를 의미한다. 마지막으로 시나리오 출

처(scenario source)는 상황 시나리오 도출에 활용한 데이터의 출처, 시나리오 작성자 및 해당 시나리오를 도출하게 된 근거를 포함한다. 도출근거로는 사고건수, 사고 심각도, 기존 문헌 및 선행 연구 고찰 등을 활용할 수 있으며, 본 연구에서는 경찰청 교통사고 데이터를 상황 시나리오의 도출근거로 삼았다.

<Table 1> Components of functional scenario

Classification		Components	
1	Scenario type	Type, location, purpose	
2	Overall flow of situation	Illustration that describes overall flow of the situation	
3	Scenario description	Description that describes the situation in scenario by text	
4	Road geometry	Number of lanes, road alignment	
5	Moving objects	about object	Sortation, vehicle type, driving lane, relative location, movement
		about situation	Object sortation that caused the situation, relative location, movement
6	Scenario source	Data source, writer, basis for deriving scenario	

본 연구는 이동객체의 종류를 대상자동차(ego vehicle), 목표자동차(target vehicle or actor), 주변자동차(neighboring vehicle)로 구분하였다. 먼저 대상자동차는 평가의 대상이 되는 차량으로, 본 연구에서는 자율주행차를 의미한다. 목표자동차는 상황 시나리오 내에서 대상자동차와 상호 작용하는 차량이며, 도로구조물 등과 같이 차량이 아닌 객체의 경우는 ‘목표객체’ 로 표현이 가능하다. 마지막으로 주변자동차는 상황에 개입하지 않는 차량으로, 차량이 아닌 객체의 경우는 ‘주변객체’ 로 표현이 가능하다.

2. 기초자료 수집

본 연구에서는 사고 당시 상황을 파악할 수 있는 교통사고 데이터를 고속도로 톨게이트 및 램프 구간의 교통사고 유형을 분석하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다. 이를 위해, 취득 가능한 교통사고 데이터 중 사고 당시 상황을 글로 설명한 사고개요 정보가 포함된 2012-2014년도 경찰청 교통사고 데이터를 기초자료로 수집하였다. 또한, 전체 고속도로 구간 중 톨게이트와 램프 구간을 추출하기 위하여 2021년 7월 기준 국가표준노드링크 데이터와 2017년 기준 전국 고속도로 영업소 위치 데이터를 활용하였다.

3. 데이터 가공

1) 분석 대상구간 정의

국가표준노드링크로부터 고속도로 톨게이트 및 램프 구간을 추출하기 위하여 본 연구는 오픈소스 GIS 소프트웨어인 QGIS 프로그램을 사용하였다. 이를 위해 먼저 「지능형교통체계 표준 노드·링크 구축기준」(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015)에서 정의하는 링크의 속성정보 코드값 기준에 따라 QGIS 프로그램으로 도로등급이 ‘고속국도’ 에 해당하는 링크 중 연결로가 아닌 고속도로 본선구간과 고속국도 연결로에 해당하는 링크를 각각 추출하였다. 도로등급과 연결로에 대한 링크의 속성정보 코드값은 <Table 2>의 기준을 따른다. 예를 들어 고속도로 램프 구간의 경우 ROAD_RANK와 CONNECT 항목의 코드값이 ‘101’로 동일하다.

<Table 2> Link property information by road rank and connecting road

Sortation	Code			Sortation	Code		
	Name	Value	Information		Name	Value	Information
Road rank	ROAD_RANK	101	Expressway	Connecting road	CONNECT	000	Not a connection
		102	Urban expressway			101	Expressway
		103	National highway			102	Urban expressway
		104	Metropolitan road			103	National highway
		105	State-funded provincial road			104	Metropolitan road
		106	Provincial road			105	State-funded provincial road
		107	City&county road			106	Provincial road
		108	Other type of roads			107	City&county road
		-	-			108	Other type of roads

다음으로, 고속도로 톨게이트 구간을 정의하기 위해 QGIS 프로그램의 공간연산 기능을 활용하여 톨게이트와 인접한 고속도로 구간의 링크 속성정보에 톨게이트 속성정보를 결합하였다. 본 연구에서 수집한 영업소와 교통사고 데이터에 명시된 GPS 좌표는 국가표준노드링크와 이격된 점을 고려하여 영업소 위치의 GPS 좌표로부터 일정 반경을 버퍼(buffer)로 지정한 다음, 해당 버퍼와 교차하는 고속도로 본선 및 연결로 링크를 톨게이트 구간의 링크로 정의하였다. 이를 위해 먼저 버퍼의 크기를 20m부터 50m까지 10m 단위로 설정하여 버퍼의 크기에 따른 속성결합 결과를 검토하여 속성결합이 가장 잘 된 40m를 기준으로 톨게이트 구간의 링크를 정의하였다. 또한, 영업소 좌표의 버퍼와 속성결합된 링크의 유형에 따라 본선 영업소와 나들목(IC) 영업소를 구분함으로써 전체 고속도로 링크 중 톨게이트를 포함하는 연결로 및 본선 링크, 톨게이트를 포함하지 않는 램프 링크를 분석 대상구간의 링크로 추출하였다. <Fig. 2>는 추출한 톨게이트 및 램프 구간의 링크를 QGIS 프로그램으로 표출한 예시이다.



<Fig. 2> Example of extracted tollgates and ramp links

2) 교통사고 데이터 속성결합

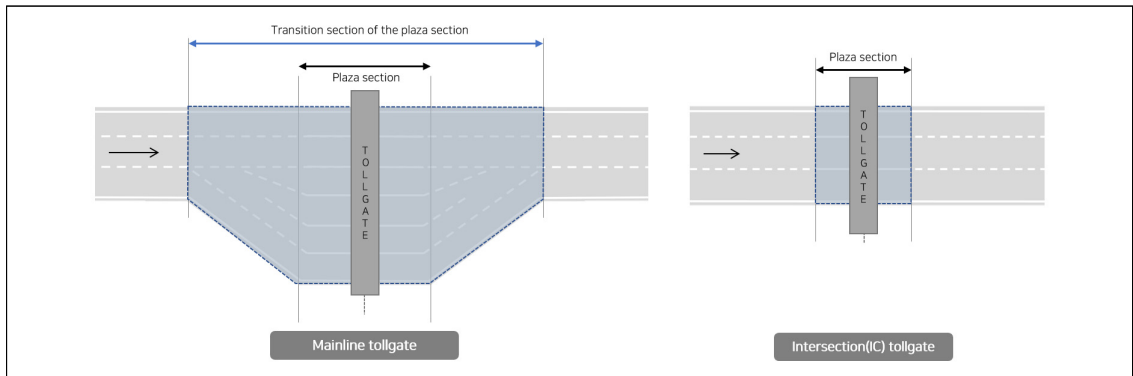
경찰청 교통사고 데이터에 분석 대상구간의 링크 속성정보를 입력하기 위하여 QGIS 프로그램의 공간연산 기능을 활용해 톨게이트 및 램프 구간의 링크와 연도별 교통사고 데이터의 속성정보를 결합하였다. 영업소

와 마찬가지로 교통사고 데이터의 GPS 좌표를 기준으로 버퍼의 크기를 20m부터 50m까지 10m 단위로 설정하여 속성결합된 결과를 비교하였으며, 속성결합이 가장 잘 된 40m를 교통사고 데이터 버퍼의 크기로 선정하여 교통사고 데이터에 링크의 속성정보를 입력하였다. 그 다음, 버퍼와 교차하는 링크 전체를 대상으로 교통사고 데이터 정보를 추가하기 때문에 버퍼 1개와 교차하는 링크가 여러 개일 경우 교통사고 데이터의 중복이 발생한다는 점을 고려하여 속성결합된 교통사고 데이터의 사고개요 항목을 기준으로 중복 데이터 제거를 수행하였다.

3) 데이터 전처리

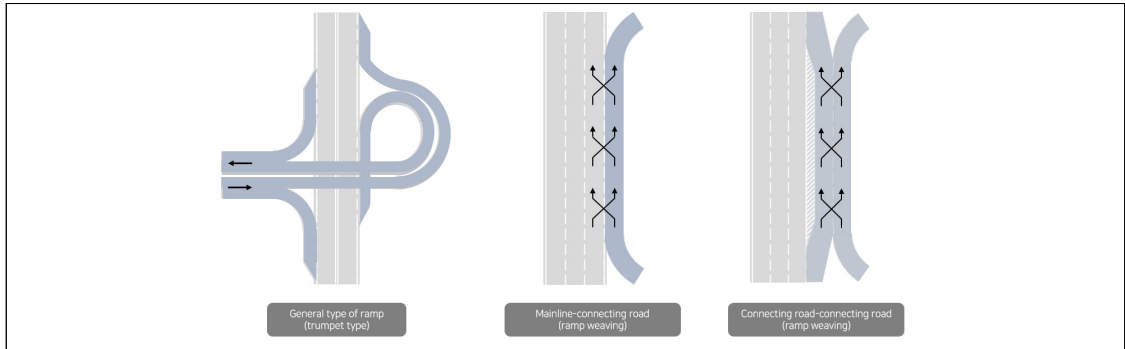
앞서 교통사고 데이터 속성결합을 위하여 활용한 공간연산 기능은 사고 데이터의 GPS 좌표를 활용한다는 점에서 사고 발생지점의 수직적인 위치정보를 제공하지 못한다는 한계점이 있다. 따라서 고속도로 나들목과 같이 본선과 연결로가 입체교차하는 도로구간에서 본선구간의 교통사고가 램프 구간으로 분류되는 오류가 발생할 수 있다. 또한, 톨게이트 및 램프 구간과 무관한 지점에서 발생한 교통사고 데이터의 버퍼가 분석 대상구간의 링크와 교차할 경우, 해당 교통사고 데이터가 톨게이트 및 램프 구간에서 발생했다는 잘못된 결과를 도출할 수 있다.

이에 본 연구에서는 중복제거를 수행한 교통사고 데이터를 대상으로 데이터 전처리를 수행하여 톨게이트와 램프 구간에서 발생한 교통사고 데이터를 선별하였다. 먼저 톨게이트 및 램프 구간의 범위를 정의한 문헌을 바탕으로 교통사고 데이터가 톨게이트 또는 램프 구간에서 발생하였는지를 구분하기 위한 공간적 범위 기준을 수립하였다. 톨게이트 구간은 「고속도로를 위한 통행료 수납차로 설계지침(안)」(Korea Expressway Corporation, 2019)을 참고하여 영업소, 영업소 광장부, 광장부 변이구간을 포함한 도로구간으로 정의하였다. 램프 구간은 나들목(IC)과 분기점(JC)의 연결로, 가속차로, 감속차로를 포함하며, 엇갈림구간(weaving section)의 경우에는 측도까지를 램프 구간으로 정의하였다. <Fig. 3>와 <Fig. 4>는 각각 톨게이트 구간과 램프 구간의 공간적 범위를 시각화한 결과로(Ko et al., 2022), 교통사고 데이터의 사고개요 내용을 확인하여 톨게이트 또는 램프 구간에서 발생한 교통사고인지를 판별하였다.



Source : Methodology for Developing Lv.4 Self-Driving Vehicle Evaluation Scenarios(Ko et al., 2022)

<Fig. 3> Spatial range of tollgate section



Source : Methodology for Developing Lv.4 Self-Driving Vehicle Evaluation Scenarios(Ko et al., 2022)

<Fig. 4> Spatial range of ramp section

4. 교통사고 유형 분류

데이터 전처리 과정에서 추출한 교통사고 데이터의 사고개요를 분석하여 고속도로 톨게이트 및 램프 구간의 상황 시나리오를 도출하기 위한 교통사고 유형 분석을 수행하였다. 교통사고 데이터에 명시된 교통사고 개요 항목을 기준으로 사전에 정의한 아홉 개의 교통사고 유형 대분류(1차 분류)에 해당하는 소분류(2차 분류)를 추가하는 방식으로 교통사고 데이터의 유형을 분류하였다. <Table 3>은 교통사고 대분류에 따른 소분류의 예시를 나타낸다. 대분류 중 컷인(cut-in) 유형은 인접 차선을 주행 중인 차량이 끼어들어 발생하는 교통사고 유형을 뜻하며, 컷아웃(cut-out)은 선행 차량이 인접 차선으로 차선 변경하여 발생하는 교통사고 유형을 의미한다(Lim et al., 2017). 컷쓰루(cut-through)는 한 번에 두 개 차로 이상을 가로질러 발생하는 교통사고 유형을 의미한다.

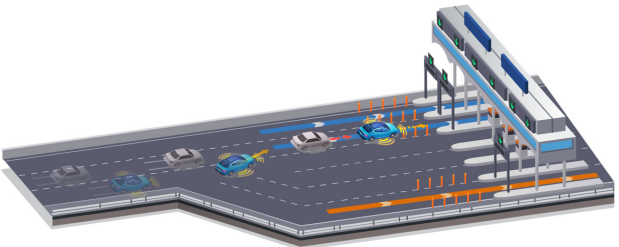
<Table 3> Criteria for classifying traffic accident

Prime category	Subcategory(example)
General driving	Collision with preceding vehicle, collision with vehicle in another lane
Slow driving	Low speed due to congestion, low speed due to toll payment
Stop	Stop due to congestion, stop for toll payment
Cut-in	(Just or suddenly) cut-in, cut-in for joining the main line
Cut-out	Collision with cut-out vehicle, collision with obstacle after cut-out
Cut-through	(Just or suddenly) cut-through, cut-through after passing toll booth
Repeated cut-in/cut-out	During cut-in after cut-out, during cut-out after cut-in
Wrong way driving	Head-on collision with wrong way vehicle, reverse due to mistake in entry
Others	Slip in the rain, loss of center due to oversteering

본 연구는 도로 선형개량 등의 사유로 사고개요에 묘사된 도로의 기하구조가 표준노드링크 구축 당시와 불일치한 경우와 함께, 교통사고 발생지점이 공간적 범위를 벗어났거나 사고개요만으로 상황을 파악하기에 불분명한 교통사고 데이터를 분석 대상에서 제외하였다. 또한, 자율주행차의 특성을 고려하기 위하여 사고개요 상 음주운전, 졸음운전, 보복운전에 해당하는 교통사고 데이터를 제외하였는데, 이는 시스템이 아닌 전적으로 인적 오류에 의해 발생하는 교통사고 유형을 상황 시나리오로 도출하지 않기 위함이다.

5. 상황 시나리오 도출

교통사고 유형 분류 결과로부터 도출된 톨게이트 및 램프 구간의 교통사고 상황들을 상황 시나리오로 구성하였다. 이를 위해 먼저 상황 시나리오에 반영이 필요한 교통사고 유형을 임의로 선정한 다음, 해당 유형의 사고상황을 구성하는 기하구조 요소와 객체 요소를 조합하여 객체별 위치와 거동 행태를 전체 상황도로 작성하였다. 이때, 교통사고에 관련된 객체를 대상자동차, 목표자동차, 목표객체로 구분하였으며, 본 연구의 목적이 자율주행차의 주행안전성 평가임을 고려하여 제어권 전환이 불가피한 상황들을 시나리오로 도출하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 대상자동차가 톨게이트를 통과할 때 하이패스 차로만을 이용하는 것으로 가정하여 TCS 차로에서 발생하는 교통사고 유형을 상황 시나리오로 도출하지 않았다. 그다음, 작성한 전체 상황도를 포함하여 시나리오의 구성요소들을 상황 시나리오 포맷에 입력함으로써 교통사고 데이터에 기반한 상황 시나리오를 도출하였다. 다음 <Fig. 5>는 대상자동차가 주행 중 하이패스 차로 진입을 위해 목표자동차의 전방으로 컷인하는 상황을 상황 시나리오로 도출한 예시이다.

Scenario type	Type	Cut-in/Fare settlement			
	Location	Tollgate entry section			
	Purpose	Evaluation of driving safety for cut-in situation of ego vehicle			
Overall flow of situation					
Scenario description	The situation that Ego driving on the adjacent lane is cut-in for enter the high-pass lane				
Road geometry	Number of lanes	More than 3 lanes for one-side			
	Road alignment	Straight/Tollgate section			
Moving objects	Sortation	Vehicle type	Driving lane	Relative location	Movement
	Ego vehicle	Passenger car	3	-	Going straight
	Actor	Passenger car	2	Behind-left	Going straight
	Situation	Sortation		Location	Movement
		Ego vehicle		-	Cut-in
Scenario source	Data source	Traffic accident data from the Nation Police Agency		Writer	Ajou
	Basis for deriving scenario	Out of 566 traffic accidents in the tollgate expressway section from 2012 to 2014, 26 cases are cut-in for enter the high-pass lane situation, accounting for about 4.59% of all accidents			

<Fig. 5> Example of functional scenario

6. 시나리오 Pool 구축





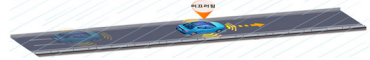




상황 시나리오는 상황의 공간적 범위와 활용한 데이터의 출처에 따라 다르게 도출되므로, 향후 공간적 범위를 도로구간 전체로 확대할 시 시나리오의 양이 많아져 관리가 어려워질 수 있다. 이에 본 연구에서는 도출된 상황 시나리오의 구성요소를 취합 및 유형화하는 시나리오 Pool을 구축함으로써 다양한 공간적 범위와 데이터로부터 도출된 상황 시나리오를 관리하고자 한다.

시나리오 Pool은 수집된 상황 시나리오의 모든 구성요소를 포함하며, 해당 상황 시나리오에 대한 시나리오 코드와 상황 유형분류 결과를 부여한다. 시나리오 코드는 상황 시나리오가 도출된 도로구간의 유형을 구별하기 위한 코드로, ‘도출된 상황의 공간적 범위-도출순서’로 작성한다. 본 연구에서는 톨게이트 구간을 ‘TG’로, 램프 구간을 ‘RP’로 하여 개별 상황 시나리오의 공간적 범위를 구별하기 위한 코드를 부여하였다. 다음으로 상황 유형분류는 수집된 상황 시나리오를 유형화하기 위해 개별 상황 시나리오에 부여하는 코드로, 유사한 상황 시나리오를 하나의 상황 유형으로 정의하는 시나리오 대분류와 해당 대분류에 속한 상황의 유형을 세분화한 시나리오 중분류로 구성된다. 다음 <Table 4>는 도출한 톨게이트 및 램프 구간의 상황 시나리오를 대상으로 구축한 시나리오 Pool을 나타낸다.

<Table 4> Functional scenario pool

Code	Type	Location	Diagram	Prime category	Subcategory
TG-1	car-following	tollgate		General driving	Car-following
RP-1		ramp		General driving	Car-following
TG-2	lane invasion of vehicles in adjacent lane	tollgate		General driving	Driving parallel
RP-2		ramp		General driving	Driving parallel
TG-3	driving alone	tollgate		General driving	Driving alone
RP-3		ramp		General driving	Driving alone
RP-4		ramp		General driving	Driving alone
RP-5		ramp		General driving	Driving alone
TG-4	pedestrian	tollgate		Stop	Person/animal on the road
RP-6		ramp		Stop	Person/animal on the road
RP-7	stop/vehicle congestion	ramp		Stop	Congestion

Code	Type	Location	Diagram	Prime category	Subcategory
TG-5	cut-in/fare settlement	tollgate		Cut-in	Normal cut-in
TG-6		tollgate		Cut-in	Normal cut-in
RP-8	cut-in/separation	ramp		Cut-in	Normal cut-in
RP-9		ramp		Cut-in	Normal cut-in
RP-10		ramp		Cut-in	Normal cut-in
RP-11		ramp		Cut-in	Normal cut-in
RP-12	cut-in/join	ramp		Cut-in	Lane reduction
RP-13		ramp		Cut-in	Lane reduction
RP-14		ramp		Cut-in	Normal cut-in
RP-15		ramp		Cut-in	Normal cut-in
RP-16	cut-in/preceded cut-in	ramp		Cut-in	Normal cut-in
TG-7	cut-in/lane reduction	tollgate		Cut-in	Lane reduction
RP-17		ramp		Cut-in	Lane reduction
RP-18		ramp		Cut-in	Lane reduction
TG-8	cut-through	tollgate		Cut-through	Cut-through of target vehicle
TG-9		tollgate		Cut-through	Cut-through of target vehicle
RP-19	wrong way driving	ramp		Wrong way driving	Wrong way driving on the same lane
RP-20		ramp		Wrong way driving	Wrong way driving on the same lane

Code	Type	Location	Diagram	Prime category	Subcategory
RP-21	stop/prior accident	ramp		Stop	Prior accident
RP-22	stop/shoulder lane	ramp		Stop	Stopped vehicle for unknown cause
RP-23	cut-in/pass through the safe zone	ramp		Cut-in	Violation of lane rules
RP-24		ramp		Cut-in	Violation of lane rules
RP-25	driving alone	ramp		General driving	Bad weather
RP-26		ramp		General driving	Driving alone
RP-27		ramp		General driving	Driving alone
RP-28		ramp		General driving	Driving alone
RP-29	car-following	ramp		Sudden stop/deceleration	Deceleration of target vehicle

IV. 상황 시나리오 개발 결과

1. 톨게이트 및 램프 구간 교통사고 유형 분석

2012~2014년도 경찰청 교통사고 데이터를 대상으로 고속도로 톨게이트 및 램프 구간의 상황 시나리오를 도출하기 위해 수행한 교통사고 유형 분석 결과는 <Table 5>와 같다. 고속도로 톨게이트 및 램프 구간을 대상으로 데이터 전처리 과정을 통해 추출한 교통사고 데이터 3,304건 중 공간적 범위를 벗어난 교통사고(2,015건)와 음주운전 단독 교통사고(46건), 사고개요 내용이 불분명한 데이터(30건)를 제외한 1,213건의 교통사고 데이터를 대상으로 교통사고 유형 분석을 수행하였다. 분석 결과, 톨게이트 구간에서 발생한 교통사고는 566건으로, 주요 사고유형은 정지(195건, 34.45%)와 컷인(168건, 29.86%)이다. 이는 톨게이트를 진출입하는 과정에서 차량의 감속과 차로변경이 발생함을 보여준다. 램프 구간에서 발생한 교통사고는 647건으로, 주요 사고유형은 컷인(180건, 27.82%)과 주행(169건, 26.12%)이다. 이는 고속도로를 진출입하기 위해 차로변경이 필요한 상황이 자주 발생하며, 합류 및 분류부를 전후하여 도로 기하구조의 변화로 주행환경이 변화하는 램프 구간의 특성을 반영한다.

<Table 5> Traffic accident type analysis results in tollgate and ramp section

Classification	Section Type		Total	Ratio*
	Tollgate	Ramp		
General driving	91	169	260	21.43%
Slow driving	18	27	45	3.71%
Stop	195	96	291	23.99%
Cut-in	168	180	348	28.69%
Cut-out	8	11	19	1.57%
Cut-through	26	30	56	4.62%
Repeated cut-in/cut-out	4	8	12	0.99%
Wrong way driving	23	30	53	4.37%
Others	33	96	129	10.63%
Total	566	647	1,213	100%
Unclassified	Not occurred in the tollgate and ramp section		2,015	
	Drunk driving(solo)		46	
	Insufficient accident details		30	
Total			3,304	

* Based on 1,213 traffic accidents in tollgate and ramp section

2. 상황 시나리오의 교통사고 유형 대표 분석 결과

유형 분석을 통해 아홉 개의 유형으로 분류된 톨게이트 및 램프 구간의 교통사고 데이터 1,213건을 대상으로 사고개요 항목을 해석 및 재구성함으로써 총 38건의 상황 시나리오를 도출하였다. 도출된 상황 시나리오 오는 톨게이트 또는 램프 구간을 주행하는 자율주행차가 직면 가능한 상황을 포함하며, 각 상황에 해당되는 교통사고 데이터의 건수를 도출 근거로 한다. 이때, 통행료 수납과 같이 자율주행차의 입장에서 제어권 전환이 불가능한 상황이나 전적으로 인적 오류에 의한 교통사고 상황은 시나리오로 도출하지 않았기 때문에 1,213건의 교통사고 데이터 중 59.19%인 718건의 교통사고 데이터를 시나리오 개발에 활용하였다. 그 다음, 개발된 상황 시나리오의 구성 요소와 전체 상황도를 취합하여 시나리오 Pool을 구축하였으며, 시나리오 Pool의 개별 시나리오를 검토하여 각 시나리오의 대분류와 중분류를 정의함으로써 개발된 상황 시나리오를 유형화하였다.

다음 <Table 6>은 도출한 상황 시나리오에 대하여 유형분류를 수행한 결과로, 시나리오 대분류에 해당하는 중분류의 시나리오 수와 교통사고 건수를 나타낸다. 톨게이트 구간의 상황 시나리오는 총 9건을 개발하였으며, 톨게이트 구간의 교통사고 566건 중 44.35%인 248건의 상황을 설명한다. 램프 구간의 상황 시나리오는 총 31건을 개발하였으며, 램프 구간의 교통사고 647건 중 72.64%인 470건의 상황을 설명한다.

<Table 6> Functional scenario classification in tollgate and ramp section

Scenario classification		Tollgates		Ramps	
Prime categories	Subcategories	Scenario No.	Accident No. (ratio)*	Scenario No.	Accident No. (ratio)**
General driving	Driving alone	1	10 (1.77%)	6	61 (9.43%)
	Car-following	1	41 (7.24%)	1	47 (7.26%)
	Driving parallel	1	15 (2.65%)	1	33 (5.10%)
	Bad weather	0	-	1	33 (5.10%)
Stop	Prior accident	0	-	1	12 (1.85%)
	Person/animal on the road	1	15 (2.65%)	1	9 (1.39%)
	Stopped vehicle for unknown cause	0	-	1	13 (2.01%)
	Congestion	0	-	1	24 (3.71%)
Sudden stop /deceleration	Deceleration of target vehicle	0	-	1	13 (2.01%)
Cut-in	Normal cut-in	2	129 (22.79%)	7	131 (20.25%)
	Lane reduction	1	14 (2.47%)	4	40 (6.18%)
	Violation of lane rules	0	-	2	13 (2.01%)
Cut-out	-	-	-	-	-
Cut-through	Cut-through of target vehicle	2	24 (4.24%)	0	-
Wrong way driving	Wrong way driving on the same lane	0	-	2	41 (6.34%)
Total		9	248 (44.35%)	29	470 (72.64%)

* Based on 566 traffic accidents in tollgate sections

** Based on 647 traffic accidents in ramp sections

V. 결론 및 향후 연구과제

전세계적으로 시스템이 제어권을 가진 레벨 3 이상의 자율주행기술이 개발되고 있으며, 향후 자율주행차의 도입으로 인적 요인의 교통사고가 크게 감소하고 교통약자들의 차량 이용이 가능해지는 등 여러 긍정적 파급효과를 불러올 것으로 전망된다. 하지만 주행 중 발생하는 자율주행차의 오류가 새로운 교통사고 원인이 되어 교통사고의 원인이 보다 다변화될 것으로 전망된다.

즉, 주행 안전성 측면에서 자율주행차가 주행 중 직면 가능한 다양한 상황들을 평가하는 것이 필요함에 따라 자율주행차의 주행 안전성을 평가하기 위한 상황을 시나리오로 도출하는 연구가 수행되어져 왔다. 하지만 대부분의 연구가 특정 상황에 국한된 평가 시나리오를 도출하여 향후 자율주행차가 직면하게 될 다양한 상황들을 고려하지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 2012~2014년도 경찰청 교통사고 데이터를 기반으로 자율주행차 주행 안전성 평가에 필요한 다양한 상황들을 내용으로 하는 38건의 상황 시나리오를 개발하였다. 먼저, 국가표준노드링크 및 고속도로 영업소 위치정보로부터 분석 대상구간에 해당하는 고속도로 톨게이트 및 램프 구간의 링크를 정의한 다음, 사고 발생지점의 GPS 좌표를 기준으로 교통사고 데이터를 분석 대상구간의 링크와 속성결합시켜 톨게이트 및 램프 구간의 교통사고 데이터를 QGIS 프로그램의 공간연산 기능을 활용해 추출하였다. 추출한 교통사고 데이터를 대상으로 사고개요를 분석하여 공간적 범위를 벗어났거나 자율주행차가 원인이 될 수 없

는 교통사고를 제외하는 데이터 전처리 과정 및 사고유형 분류를 수행함으로써 상황 시나리오 개발을 위한 톨게이트 및 램프 구간의 교통사고 1,213건의 사고유형을 도출하였다. 마지막으로, 도출된 사고유형 중 자율주행차의 주행안전성 평가와 관련한 사고유형들을 9건의 톨게이트 구간 상황 시나리오와 29건의 램프 구간 상황 시나리오로 개발하였다.

기존 교통사고 데이터를 기반으로 자율주행차의 상황 시나리오를 도출한 본 연구는 향후 자율주행차 도입 과정에서 불가피한 일반 차량과의 혼재 상황을 전제로 한다. 따라서, 현실적인 도로 조건 하에서 자율주행차가 겪게 될 다양한 상황들을 도출하기 위한 방법론으로 활용될 수 있다. 또한, 자율주행 서비스가 확대됨에 따라 일반 차량이 아닌 자율주행차의 데이터를 활용하여 자율주행차의 안전성 측면에서 평가가 필요한 중요도가 높은 상황들을 상황 시나리오로 개발 가능할 것으로 사료된다. 또한, 개발된 상황 시나리오는 향후 범위 시나리오, 실험 시나리오, 시험 유형으로 구체화되어 주행 시험로, 실험 시뮬레이션 실험 등에서 자율주행차의 주행 안전성 및 기능 안전(functional safety) 평가, 인증 등의 근거로 활용될 수 있다.

본 연구의 한계점 및 향후 연구과제는 다음과 같다. 첫째, 톨게이트 및 램프 구간의 교통사고 데이터를 추출하기 위하여 본 연구는 QGIS 프로그램의 공간연산 기능으로 영업소 위치와 교통사고 발생지점의 GPS 좌표로부터 일정 반경을 버퍼로 지정하는 방법을 사용하였다. 이러한 방법론은 버퍼의 크기에 따라 데이터의 속성결합 여부가 결정되기 때문에 버퍼의 크기를 필요 이상으로 작거나 크게 설정할 경우, 링크와의 이격거리로 인해 속성결합이 되지 않거나 불필요한 링크와 속성결합되는 문제가 발생한다. 본 연구에서는 속성결합이 가장 잘 된 경우의 버퍼를 활용하였으나, 향후 연구에서는 GPS 좌표와 오차 범위를 고려하여 속성결합을 위한 최적의 버퍼 크기를 선정하는 것이 필요하다.

둘째, 본 연구에서 기초자료로 활용한 경찰청 교통사고 데이터와 국가표준노드링크의 구축연도는 각각 2012~2014년, 2021년으로 서로 일치하지 않는다. 즉, 도로 이설 및 선형 개량 등의 사유로 비교적 최신 데이터인 표준노드링크와 교통사고 데이터의 사고개요 상의 도로 유형이 일부 구간에서 동일하지 않아 속성결합 과정에서 오류가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 오류가 교통사고 데이터 건수에 주는 영향을 최소화하고자 속성결합된 교통사고 데이터의 사고개요와 표준노드링크의 도로 유형이 일치하지 않은 경우를 제외하였으나, 향후 연구에서는 기초자료 수집 단계에서 가급적 데이터의 구축연도를 동일하게 할 필요가 있다.

셋째, 본 연구의 결과물인 상황 시나리오는 자율주행차의 주행안전성 평가를 위해 필요한 기본적인 상황들을 시나리오의 형태로 정형화한 것으로, 실도로 환경에서 시험하기 위한 시나리오의 고도화가 필요하다. 따라서, 실험을 위해 상황 시나리오를 구성하는 요소의 값과 범위를 정의하는 범위 시나리오로 발전시킬 필요가 있다. 또한, 본 연구의 공간적 범위를 도심도로, 생활도로 등으로 확대하여 향후 모든 유형의 도로구간에서 자율주행차의 주행 안전성을 평가하기 위한 상황 시나리오를 개발할 필요가 있다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원 (22AMDP-C161752-02)에 의해 수행하였습니다. 본 논문은 한국ITS학회 2022년도 춘계학술대회(2022.06.17)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

REFERENCES

- Chung, S., Ryu, J., Chung, N., Yu, M., Pyun, M. and Kim, J.(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, E. B.(2021), “Legal Issues and Responsibility for Self-driving Accidents in the Commercialization of Autonomous Cars-Focusing on the State of California,” *International Commerce and Information Review*, vol. 23, no. 1, pp.49-70.
- Kim, H., Lim, K., Kim, J. and Son, W.(2020), “Operational Design Domain for Testing of Autonomous Shuttle on Arterial Road”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 19, no. 2, pp.135-148.
- Ko, W., Park, S., Cho, K., Lee, M., Yun, J., Hwang, K. and Yun, I.(2022), *Methodology for Developing Lv.4 Self-Driving Vehicle Evaluation Scenarios*, earticle, pp.7-8.
- Korea Expressway Corporation(2019), *Guidelines for design of toll lanes for expressways(draft)*, pp.40-47.
- Korea Ministry of Government Legislation, <https://www.law.go.kr/LSW//lsLawLinkInfo.do?lsJoLnkSeq=1014191185&chrClsCd=010202&ancYnChk=>, 2022.07.01.
- KOROAD(Korea Road Traffic Authority), https://www.koroad.or.kr/kp_web/krPrView.do?board_code=GABBS_050&board_num=1082&file_num=, 2022.07.10.
- Lim, H., Chae, H., Lee, M. and Lee, K.(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(2015), *Development criteria for intelligent transportation system node and link*, pp.13-15.
- Park, J. Y.(2019), “Impact Analysis of Autonomous Vehicles and Policy Implications”, *Korean Society of Transportation*, vol. 16, no. 3, pp.74-79.
- Park, S., Jeong, H., Kim, K. and Yun, I.(2018), “Development of Safety Evaluation Scenario for Autonomous Vehicle Take-over at Expressways”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 17, no. 2, pp.142-151.
- 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 Transportation Systems*, vol. 18, no. 2, pp.114-128.
- PEGASUS Project, <https://www.pegasusprojekt.de/en/home>, 2022.08.06.