

가상환경 기반 자율주행 운전능력 평가방안 연구

Study on the Evaluation Method of Autonomous Vehicle Driving Ability Based on Virtual Reality

김 중 호* · 김 도 훈** · 주 성 갑*** · 오 석 진****

* 주저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 융합기술연구처 책임연구원
 ** 교신저자 : ㈜포럼에이트코리아 대표이사
 *** 공저자 : 서울시립대학교 일반대학원 박사과정
 **** 공저자 : 호남대학교 토목환경공학과 교수

Joong Hyo Kim* · Do Hoon Kim** · Sung Kab Joo*** · Seok Jin Oh****

* Department of Convergence Technology, Traffic Science Institute, Korea Road Traffic Authority
 ** FORUM8 KOREA Co., Ltd
 *** Dept. of Smart Cities, University of Seoul
 **** Professor, Civil & Environmental engineering, University of Honam

† Corresponding author : Do Hoon Kim, dhkim@forum8.co.kr

Vol.20 No.5(2021)

October, 2021
pp.202~217

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.5.202>

Received 5 August 2021
Revised 17 August 2021
Accepted 7 September 2021

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

요 약

세계 최대 차량공유업체 우버의 자율주행에 의한 보행자 사망사고에 이어 지난 4월에는 테슬라의 자율주행 교통사고로 2명이 사망하는 등 자율주행의 안전성 문제가 대두됨에 따라 자율주행 도입에 따른 도로 이용자의 안전성 확보가 필요한 실정이다. 이에 자율주행의 안전성을 확보하기 위해서는 실제로 자율주행자동차가 주행할 도로 및 교통 환경을 기반으로 다양한 상황에서의 자율주행 운전능력을 평가할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 다양한 운전능력 시험방법 중 가상현실 기반 자율주행 운전능력 평가도구를 제시하고자 일반 운전면허시험 문제를 기반으로 UC-win/Road ver.14.0을 활용하였다. 이를 바탕으로 복잡적이고 다양한 주행환경에서 돌발상황에 대한 운전능력을 시험하고자 하였으며 자율주행 운전능력 시험평가의 최적의 도구로서의 실제 적용가능성을 확인하고자 하였다.

핵심어 : 자율주행 운전능력, 도로교통법, 가상현실, UC win-Road, 자율주행 시험평가 도구

ABSTRACT

Following the fatal accident of pedestrians caused by Autonomous Vehicle by Uber, the world's largest ride-hailing company, two people were killed in a self-driving car accident by Tesla in April. There is a need to ensure the safety of road users. Accordingly, in order to secure the safety of Autonomous Vehicle driving, it is necessary to evaluate Autonomous Vehicle driving technologies in various situations based on the road and traffic environment in which the Autonomous vehicle will actually drive. Therefore, this study used UC-win/Road ver.14.0 based on general driver's license test questions to present a virtual reality-based Autonomous Vehicles driving ability evaluation tool among various driving ability test method. Based on this, it was intended to test driving ability for unexpected situations in complex and diverse driving environments, and to confirm its practical applicability as an optimal tool for Autonomous vehicle ability test and evaluation.

Key words : Autonomous Vehicle driving ability, Road Traffic Law, Virtual Reality environment, UC win-Road, Autonomous Vehicle driving ability test and evaluation system

I. 서 론

1. 개요

최근 정부와 민간기업 모두 자율주행 현실화를 위해 연구 개발에 매진하고 있고, 레벨 3 자율주행 상용화를 위한 기술개발 단계에 도달하였다. 더불어 자율주행 레벨 4 상용화 목표로 각종 센서나 차량제어 등 자율주행 기술은 빠른 속도로 개발 중이다. 그러나 자율주행 모드로 실도로상 안전한 운행을 위한 법·제도적 근거, 교통안전시설 등은 준비가 부족한 실정이다. 그뿐만 아니라 자율주행 센서의 작동범위가 다른 방해물에 가리거나, 물리적으로 제동거리가 부족한 상황 등의 돌발상황 대응은 교통안전상의 한계점이 있다. 자율주행은 일반 운전자와 보행자들과 혼재된 상황에서 도로주행을 해야 하며 자율주행은 다양한 센서와 고정밀지도 등을 탑재하여 주변 차량과 보행자, 사물을 인지하고 판단해야 한다. 그러나 자율주행은 일반 운전자 운전능력 수준 이상으로 다양하고 위험한 상황을 예측하고 대비해야 하며 숙련된 운전자와 동등하게 운전 할 수 있어야만 고신뢰성 자율주행의 역할과 기능이 가능하다. 따라서 자율주행 운전능력평가에 대한 실증이 요구되며 자율주행의 안정성차원에서 주행안전성(Stability) 보다 안전성(Safety) 차원에서 사람중심의 자율주행 운전능력 평가 체계가 요구된다. 자율주행 AI 기술은 도로 및 교통환경 시스템에 전적으로 의존하기 때문에 인공지능 기술과 도로 및 교통환경을 함께 고려해야 하며 실제 교통환경에서 일반 도로 이용자와 공존하면서 안전하게 주행이 가능한지 운전능력 적정성을 평가하는 것이 필요하다. 더불어 자율주행 운전능력 시험평가를 바탕으로 장래 교통안전 문제에 대한 대비가 요구되며 자율주행의 단순한 이동성 측면에서의 운전능력평가 외에도 「도로교통법」을 기준으로 도로 이용자의 수용할 수 있는 범위 내의 위험인식 수준, 법규준수, 양보 및 윤리의식 등 현실적인 측면에 대하여 자율주행의 운전능력과 행태를 위한 시험평가 체계가 필요하다. 그러나 자율주행의 실제 도로 주행을 위한 운전능력 평가 및 운전면허 체계는 미비한 실정으로 현재 시험운행을 위한 제도적 근거 수립과 임시운행허가 제도만 시행하고 있다. 더구나 현재 자율주행 평가체계는 자율주행의 구조·성능·기능만을 위한 시험평가에 집중하고 있을 뿐 자율주행과 함께하는 일반 도로이용자와의 교통안전은 크게 고려되지 않고 있다. 자율주행 운전능력 평가 방법의 기초는 인간이 운전할 때 일어나는 일련의 과정을 차량이 대신하는 것이고, 인간의 운전능력 이상인 경우에 모두가 공감하고 사회적으로 수용해야 한다는 사실을 전제로 해야 한다. 결론적으로 공도로상 자율주행 대상이 수많은 보행자와 일반 차량들 간에 뒤섞인 상황으로부터 나타날 수 있는 다양한 상호작용을 검증해야 한다.

본 연구는 자율주행 시험평가 중 반복재현성을 구현하고 실제 적용할 수 있으며 시험평가가 가능한 가상현실(Virtual Reality, VR) 시뮬레이션 방법을 활용하여 자율주행 운전능력을 평가할 수 있는 기법을 개발하고자 하였다. 즉, 자율주행의 주행안전성 검증시 VR시뮬레이션 방법의 효용성을 확인하고, 운전능력 평가용 VR 환경을 구축하여 VILS(Vehicle in the Loop System)¹⁾ 기반 실제 적용 가능성을 사전 검토하는 것이 연구의 목적이다. 이를 위해, 본 연구는 일반 운전면허시험의 동영상 시험 문제(2012년도와 2019년도) 중 사고 유형에 해당된 시험문제를 선별하고 동일한 도로환경과 시나리오를 VR 환경으로 구축하였다. 그리고 해당 VR 환경내 자율주행 모의주행을 실시하고, 주행기록 데이터를 기록하였다. 한 시나리오당 자율주행차량의 속도, TTC(Time to Collision) 값을 $\pm 10\%$ 씩 변경하여 여러 차례 모의주행 하였고, 각 주행기록데이터를 비교분석하여 운전능력 결과값을 제시하였다. 이러한 과정을 통해 자율주행차량의 주행행태 및 주행능력을 모사·계량화할 수 있어 운전능력 평가지표로 활용할 수 있을 항목을 도출하고, 기술적인 가능성을 검토하고자 하였다.

1) 실제 차량의 주행과 VR평가 시나리오를 결합한 형태의 평가방법인, 차량동역학과 타이어, 마찰력 등 실차 주행테스트와 최대한 유사하며, 알고리즘 테스트를 하기에 적합성이 높은 방법으로서 활용되고 있음.

II. 연구 동향 및 사례 고찰

1. 자율주행 안전운전능력 평가에 관한 연구

Korea Raod Traffic Authority(2018)은 자율주행 AI 운전능력 평가기법 및 모형개발에 관한 연구를 수행한 바 있다. 현재 자율주행 시장에서 자율주행기술 레벨은 미국 자동차공학회(Society of Automotive Engineers International)에서 제시한 5단계 구분을 기본으로 적용하고 있다. 그 중 레벨 3의 상용화를 목표로 AI 운전능력평가 방법을 설계하기 위해 국내외 자율주행능력평가 기법 및 연구 동향을 조사하였고, 여러 전문가의 자문의견을 취합하여 기본계획을 수립하였다. 평가 방법으로 SILS(Software in the Loop System)/HILS(Hardware in the Loop System)을 이용한 시뮬레이션 기법을 채택하였는데 그 이유는 개발시간의 단축, 비용절감, 품질향상 3가지 이유를 가장 큰 장점으로 보았다. 전체 시스템 구성으로는 통신 변환, 이벤트 발생기, 3D픽서, 영상변환기, 분석기로 이루어진 자율주행 AI 운전능력평가 시스템을 구상하였으며, 사고 발생 시 분석기는 통신불량, 센서고장 등의 사고 발생 원인까지 분석할 수 있도록 흐름도를 작성하고 그에 따른 평가방안을 구상하였다.

Korea Raod Traffic Authority(2019)은 자율주행 안전운전능력평가 기법 개발의 후속연구를 진행하면서 사람과 동등한 운전능력 이상의 운전행동 능력 이상을 보유하여야만 완벽한 자율주행 운전면허를 발급할 수 있을 것이라고 강조하였다. 이에, 일반운전자가 수용할 수 있는 객관적인 방법으로 자율주행의 운전능력평가 방법과 내용을 제시하였다. 이는 차량의 제어·조작은 사람이 직접 운전할 때 일어나는 매커니즘과 동일한 절차를 거치는 것을 전제로 하고 있으며, 국내 자동차 제조사에서 자율주행 알고리즘을 개발 방향과도 일치하고 있다. 자율주행의 행동 제어·조작의 과정을 3단계로 분류하였으며, 각 단계를 사람과 시스템에 대입하면 다음과 같다.

<Table 1> Process of Behavior Control and Operation of Self-Driving Vehicles

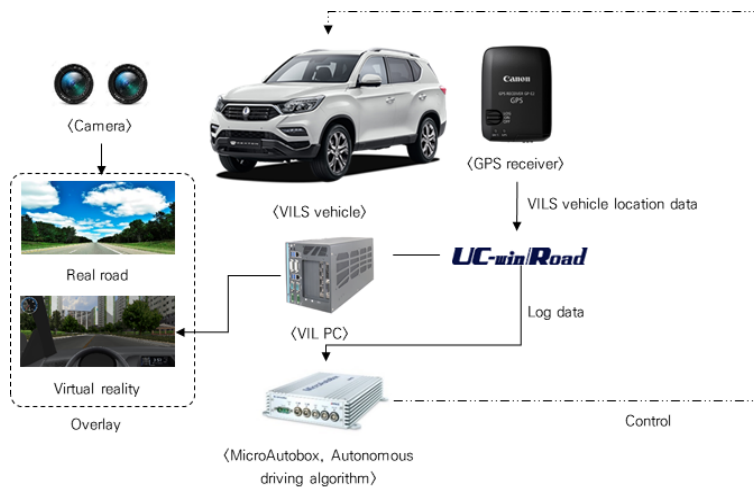
Mechanism Step	Content	Method	
		Driver	System
Step 1: Cognition	<ul style="list-style-type: none"> • Detection and recognition of surrounding traffic condition or obstacle, etc. • Acquire information such as road type, regulation, guidance, and instruction 	<ul style="list-style-type: none"> • Depend on sight and hearing 	<ul style="list-style-type: none"> • Radar, Lidar and Camera sensor • Information received by V2X including V2V and V2I
Step 2: Judgment	<ul style="list-style-type: none"> • Route setting, Vehicle speed determination • Thinking/Response to Perceived Surrounding Situation 	<ul style="list-style-type: none"> • Route setting based on empirical judgment or traffic information • Respond to surrounding traffic condition based on empirical judgment 	<ul style="list-style-type: none"> • Route setting according to travel time calculation of algorithm • Determination of Vehicle speed by road sign or road information DB • Response to surrounding traffic condition by algorithm
Step 3: Manipulation/Control	<ul style="list-style-type: none"> • Vehicle operation and control based on the judgment result 	<ul style="list-style-type: none"> • Control by directly operating the pedal or steering wheel 	<ul style="list-style-type: none"> • The ECU transmits the result determined by the algorithm as an electrical signal to operate the pedal and steering wheel

2. VILS 구축 및 활용 사례

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(2019)는 경기도 연천군에 SOC 실증 연구센터를 설립하여 차량 및 도로 시설물을 시험할 수 있는 Test bed를 구축하였다. 자율주행 관련 연구는 Test bed에서의 검증이 필수적인데 대형 자동차 회사 및 기관을 제외한 업체, 산학 및 기관들은 자체 Test bed가 없어 개발 진척에 어려움이 있었다. 한국건설기술연구원은 자율주행 관련 연구를 수행하고 있는 각 주체들이 Test bed에서 테스트를 진행할 수 있도록 테스트 환경을 임대하는 방식으로 지원하고 있다. 자율주행 연구의 박차를 가하기 위해서 Test bed 뿐만 아니라 테스트 플랫폼도 필요함에 따라 실차 테스트의 전 단계인 VILS 시스템을 공통 테스트 플랫폼으로 채택하여 개발에 착수하였다.

VILS 시스템 개발에 활용된 VR 소프트웨어는 UC-win/Road Customizing version을 사용하였으며, GPS 수신기와 연동하여 위치 오차 10cm 내에서 작동할 수 있도록 구현되었다. 또한 전방 상황을 HMD(Head Mounted Display) 장비에 투영할 수 있는 카메라 일체형 최신 HMD 장비를 연결하여 실제 시선 환경과 VR 환경을 중첩하는 실제+VR Overlay 로 구현할 수 있다.

자율주행 시험평가 환경의 검증을 위해 EURO NCAP의 간단한 ADAS 프로토콜(AEB, SAS, LSS)시나리오를 가상환경으로 평가하였으며, 평가 관련 연구와 자동차 회사, 연구기관의 테스트 지원 등 다양하게 활용할 계획이다.



<Fig. 1> VILS configuration diagram of Korea Institute of Construction Technology

Chung et al.(2018)은 2017년 국내 자동차 제작사인 현대자동차의 자율주행 테스트 비용의 절감과 안전성 확보, 반복재현성, 다양한 시나리오에서의 검증을 위해 VILS 평가 개발에 착수하였다. 지난 2018년 VILS 기반 시험평가는 개발이 완료되었고, 시스템 구성은 위에서 언급한 한국건설기술연구원의 VILS 시스템과 동일하나 당시 HMD기술의 한계로 HMD Overlay 기능은 제외되었다.

자율주행 시험평가는 2018년에 수행한 자율주행 고위험도 평가 시나리오 개발 및 검증에 관한 연구가 있다. 자율주행 시험평가 검증 시나리오 개발을 위해 독일, 미국 등의 심층 사고 데이터를 기반으로 충돌유형을 후방충돌, 전방충돌, 입사각 후방충돌, 직각충돌, 입사각 측면충돌, 도로유형을 교차로와 직선로로 분류하고 사고를 재구성하여 유형별 관계식을 도출하였다. 사고의 재구성은 사고재현 소프트웨어인 PC crash를 활

용하여 재현하였으며, 재구성된 시나리오를 바탕으로 ADAS의 제어 개입에 따른 사고 회피성능을 VILS 시스템을 통하여 확인하였다. 이로써 ADAS의 사고 회피성능을 검증하는데 성공하였다.

3. 관련 연구 고찰을 통한 시사점 도출

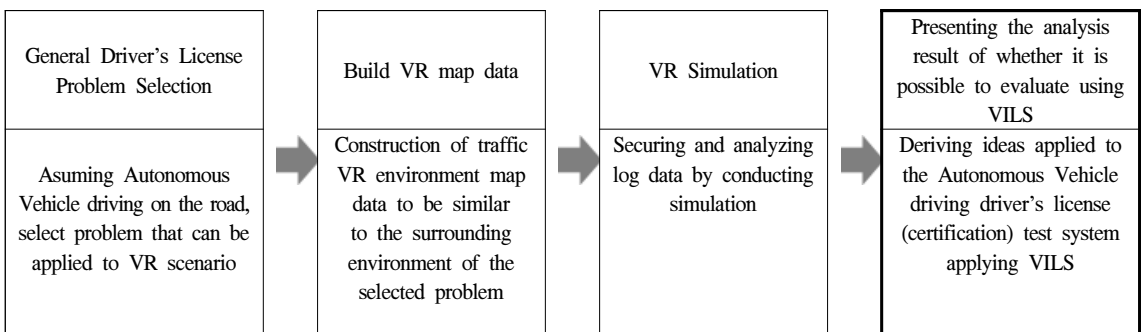
앞서 자율주행 안전운전능력 평가시 VR을 활용한 주행능력평가 연구사례를 살펴보았다. 상기 연구는 모두 운전능력을 평가하는데 평가의 효율성을 극대화하기 위해 VR기술을 이용하였다. 자율주행 운전능력 평가시 VR기술을 적용하면 첫 번째로 평가 중 발생할 수 있는 위험요소를 배제할 수 있어 안전성을 확보할 수 있으며, 두 번째로 평가 시나리오의 다양화 및 반복재현성의 구현으로 평가의 신뢰도를 높일수 있을것으로 판단되며 비용절감 효과가 나타낼 것으로 기대된다. 또한 운전능력 평가시 VR상의 차량 움직임에 대한 주행 행태가 주행기록데이터에 기록되므로 데이터 취득과 분석에 용이하다. 이러한 이유로 도로교통공단은 향후 자율주행 운전능력 평가 시스템을 SILS/HILS/VILS를 이용한 방안을 구상하였으며, 본 연구는 이 중 VILS 시스템의 전단계인 SILS 시스템 기반으로 평가를 수행하였다.

Ⅲ. 자율주행 운전능력 평가 방법

1. 자율주행 운전능력 평가 시나리오 개발을 위한 동영상 문제 선정







본 연구는 자율주행 운전능력에 있어서 판단 알고리즘에 대한 평가로 센서 데이터는 모두 취득되는 것으로 가정하였다. 순간적으로 판단해야 하는 딜레마적 위험상황을 주고 극복할 수 있는지만을 판단하기 위함이다. 도로교통공단의 일반 운전면허 동영상 문제는 실제로 일어날 수 있는 딜레마적 위험 상황을 잘 표현하고 있으므로 이를 기반으로 하여 VR 시나리오를 구축하였다.

2012년, 2019년에 개발된 동영상 문제 전체를 분석하여 평가 테스트에 적합한 문제를 선별하였다. 시험문제 선별은 3가지 기준에 의해 선정하였는데 그 3가지 기준은 첫째 VR 환경 구축에 사용할 소프트웨어로 구축이 가능한 시나리오일 것, 둘째 향후 VILS를 활용한 실차 검증시 적용 가능한 시나리오일 것, 셋째 주행기록 데이터로 유의미한 분석이 가능한 시나리오일 것이다. 해당 기준을 적용하여 총 7개의 문제(총 16번 위험 상황 발생)를 선별할 수 있었다.









<Fig. 2> Research performance flow chart





<Table 2> Content and composition of common driver's license video problem scenario

Division		Situation	Rear view
Scenario 1	Conflicts between Ego Vehicle and Barge Vehicle	<ul style="list-style-type: none"> • A driving Vehicle is driving in two lanes and there is a crosswalk waiting in front • Conflict occurred when a Vehicle in lane 3 attempted to enter lane 2 without a queue 	
	Conflict between Ego Vehicle and Crosswalk Pedestrian	<ul style="list-style-type: none"> • When approaching a crosswalk, the driving Vehicle signal change from red to green • Vehicle runs due to green light change, but conflict with pedestrians crossing late • In a driving Vehicle, it is difficult to recognize pedestrian because they are obscured by a waiting bus in the first lane 	
	Conflict with cross-traveling Vehicle when Ego Vehicle approach the intersection	<ul style="list-style-type: none"> • When approaching an intersection, the driving Vehicle signal changes from red to green • When the driving Vehicle accelerates again to pass the intersection due to the change of the green light, a collision occurs as the driving Vehicle on the intersecting road passes the intersection late. 	
Scenario 2	Conflict with oncoming Vehicle when overtaking an Ego Vehicle	<ul style="list-style-type: none"> • Encounter with a bus at a bus stop on a two-lane two-lane road in the district • Collision with a Vehicle in the opposite lane when attempting to overtake 	
Scenario 3	Conflict when changing lane	<ul style="list-style-type: none"> • Start driving with two lanes on a four-lane road in both directions in downtown • Conflict with other Vehicle driving in the rear of the first lane when changing lanes to one lane 	
	Conflict with pedestrian when passing a crosswalk	<ul style="list-style-type: none"> • Signal turns red while passing through an intersection • Conflict with pedestrian at crosswalk while driving to pass • Pedestrian are not visible from driving Vehicles due to a two-lane queue 	

<Table 2> Continue

Division		Situation	Rear view
Scenario 3	Conflict with Barrier Vehicle	<ul style="list-style-type: none"> • After passing the intersection, drive in the 1st lane, and in the 2nd lane, the Vehicle is congested in a queue • Conflict arises due to the interruption of a Vehicle that is stopped in a long queue while driving 	
Scenario 4	Conflict with a two-wheeled Vehicle at a crosswalk	<ul style="list-style-type: none"> • The Vehicle decelerates due to a pedestrian crossing signal on a two-way 4-lane road in the city center, then accelerates again according to the green change of the driving signal • Conflict with two-wheeled Vehicle crossing late • A situation in which the two-wheeled Vehicle is not visible from the driving Vehicle due to the truck stopped on the first lane 	
Scenario 4	Conflict with pedestrian when passing a crosswalk	<ul style="list-style-type: none"> • When approaching a crosswalk while driving in two lanes, the driving signal changes to red • Conflict with pedestrian at crosswalks when passing the intersection to avoid stopping inside the intersection • Pedestrian are not visible from the driving Vehicle by the bus stopped on the 3 lane 	
Scenario 5	Collision with Vehicle in front	<ul style="list-style-type: none"> • While driving on the first lane of a downtown road, driving by violating the center line to enter a short left-turn lane • Conflict occurs due to lane change of Vehicle driving in front at the moment of entering left-turning lane 	
	Collision with oncoming Vehicle when turning left	<ul style="list-style-type: none"> • After entering the left-turning lane, the driving signal changes to yellow and to red when entering an intersection. • When attempting to pass an intersection to make a left turn, a collision occurs with a Vehicle going straight ahead in the opposite lane 	
Scenario 6	Conflict with trailer turning right	<ul style="list-style-type: none"> • Approaching an intersection while driving on a 3-lane road in both directions of downtown • Conflict occurred when a trailer traveling in two lanes at an intersection tried to turn right 	

<Table 2> Continue

Division		Situation	Rear view
Scenario 6	Conflict with a Vehicle turning right at the intersection	<ul style="list-style-type: none"> When approaching an intersection, the driving signal changes to yellow When passing an intersection, a collision with a Vehicle attempting to turn right on the intersection road occurs 	
Scenario 7	Conflict when changing lane	<ul style="list-style-type: none"> Start driving with two lanes on a four-lane road in both directions in downtown Conflict with other Vehicle driving in the rear of the first lane when changing lanes to lane 1 to avoid Vehicles parked in front 	
	Collision with oncoming Vehicle when turning left	<ul style="list-style-type: none"> After entering the left-turning lane, the driving signal changes to yellow and to red when entering an intersection. Conflict with a two-wheeled Vehicle in the opposite lane occurs when passing a left turn at an intersection 	
	Conflict with an unprotected left-turning Vehicle	<ul style="list-style-type: none"> At the intersection that meets after turning left, the driving Vehicle wants to go straight through the intersection Conflict occurs when a Vehicle approaching from the opposite lane attempts an unprotected left turn 	

2. VR환경 구축

운전면허 동영상 문제를 3D VR환경으로 제작하기 위해 UC-win/Road ver.14.0을 사용하였다. UC-win/Road는 3D VR환경을 구축하기 위해 도로 및 시설물, 건물, 수목 등 3D 모델을 작성 하고, VR 상에서 각종 시물레이션 또는 드라이빙 시뮬레이터를 이용한 가상주행을 할 수 있도록 하는 3D VR 플랫폼 소프트웨어이다.

그 중 도로 작성은 도로의 평면선형, 종단선형, 횡단면 작성에 필요한 파라미터를 도로설계와 동일하게 입력하도록 구성되어 정확한 도로환경을 작성하는데 용이하다. 또한 주행차량 및 타차량의 움직임 제어 등 시나리오 이벤트 연출을 간단한 조작으로 편리하게 설정할 수 있어 활용하였다.

1) 평면 및 종단선형 입력

선정된 운전면허 동영상 문제에서 곡선부가 특징적으로 존재하는 시나리오는 없었다. 따라서 모든 도로를 직선으로 구성하고, 교차로의 위치만 고려하여 작성하였다. 한편 설계도면이나 위성지도와 같은 자료가 없어

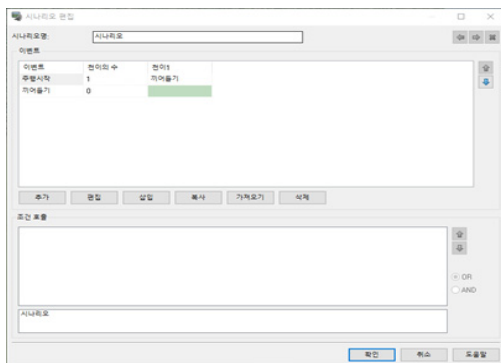
도로의 스케일을 반영하지 않았다. 즉, 교차로와 교차로의 간격이 몇 m로 구성되어 있는지 등의 정보를 확보할 수 없었다. 따라서 동영상 문제에 표기되는 차량 계기판의 속도와 주행시간으로 주행거리를 계산하여 평면선형을 입력하였다. 종단선형의 경우 동영상 시험문제에서 도로경사와 관련된 특징적인 이벤트가 없기 때문에 모두 0%를 적용하였다. 추후 VILS 기반 시험평가를 이용한 테스트를 고려하고 있기 때문에 종단경사는 0%로 설정하는 것이 바람직하다고 판단된다. 또한 VILS 기반 시험평가 차량은 실제로 구축된 Test bed를 주행하게 되는데 Test bed의 경사를 VR 환경 상의 시나리오에 맞춰 설계하는 것이 아니기 때문에 VILS 기반 시험평가는 종단경사를 배제하였다.

2) 횡단면 작성 및 시설물 배치

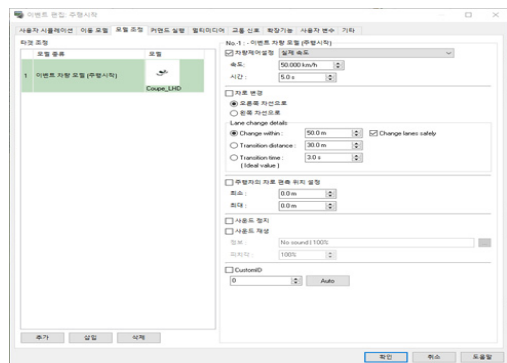
횡단면의 경우 운전면허 동영상 시험문제의 주행뷰를 보고 차로수, 보도유무, 가드레일 및 중앙분리대 유무를 동일하게 작성하였으며, 편경사는 테스트 시나리오에 큰 영향을 미치는 요인이 아니므로 0%로 적용하였다. 차로폭은 3.3m, 차선폭은 0.2m를 적용하였으며, 절·성토면은 테스트 내용과 관련이 없으므로 UC-win/Road의 기본값을 그대로 적용하여 작성하였다. 시설물 및 주변 환경을 구성함에 있어 신호기, 시선유도봉, 가로등, 과속방지턱, 수목 등은 UC-win/Road에서 기본으로 제공하는 3D 모델을 배치하였으며, 건물은 3D MAX로 새로 모델링한 후 배치하였다. 건물의 형태는 동영상 시험문제에서 판단되는 도로교통 상황으로 작성하였고, 건물의 텍스처는 가장 유사한 텍스처를 적용하였다.

3) 시나리오의 작성

UC-win/Road는 도로에 설정된 속도대로 차량이 주행을 하고, 전방차량 또는 병목구간의 합류, 분류에 따라 속도를 결정하는 기본적인 Car-following 알고리즘을 탑재하고 있다. 일반적인 구간에서는 UC-win/Road의 Car-following대로 주행을 하도록 하고, 위험상황에 대해서는 동영상 시험문제에서 나타나는 차량의 움직임을 그대로 구현하도록 설정하였다. 이후 주행차량의 기본속도 또는 Time-To-Collision(TTC) 설정을 $\pm 10\%$ 로 변화시켜 각 시나리오 당 3가지의 주행상황이 나타나도록 작성하였다. 위험상황의 이벤트 구현은 UC-win/Road에서 제공하는 시나리오 기능으로 설정하였다. 이후 플로우 차트를 만들고 각 플로우 차트마다 발생하는 이벤트와 다음 이벤트로 넘어가기 위한 조건을 설정하는 방식으로 작성하였다. 이벤트는 주행차량 및 타차량의 발생, 가·감속, 차로변경, 거리유지 등 다양한 주행행태를 구현할 수 있으며, 이벤트가 전환되기 위한 조건은 일시적인 시간 경과, 특정 물체와의 충돌, 특정 지점 통과, 특정 주행속도 도달 등으로 설정할 수 있다.



<Fig. 3> Scenario flow chart editing screen



<Fig. 4> Scenario event setting screen

3. 시뮬레이션 및 주행기록 데이터 분석

총 7개 시나리오에 대하여 주행차량의 파라미터를 $\pm 10\%$ 씩 변경하여 3번씩 시뮬레이션 주행을 하였다(운전면허 동영상 시험문제와 동일하게 주행, 공격적으로 주행, 방어적으로 주행). 향후 VILS를 활용하여 동일한 시나리오를 주행할 경우 자율주행 운전능력 평가가 가능한지 파악을 위해 주행기록 데이터를 분석하였다.

자율주행 성능에 대한 평가에서 가장 중요한 분석항목은 상충하는 대상과의 충돌여부일 것이다. 자율주행 알고리즘 테스트 방법 중 공신력 있고 자동차 제작사들이 주로 활용하고 있는 EURO NCAP도 충돌여부를 차로유지, 속도제어 등과 함께 테스트 프로토콜의 중요한 평가지표로 제시하고 있다. 도로교통공단에서 강조하고 있는 자율주행 평가방향은 일반운전자와 동일한 운전능력 이상인 경우에 운전면허발급이 가능한 것이고, 자율주행과 함께 하는 일반 운전자와 보행자의 안전성도 고려하는데 중점을 두고 있다. 이에 본 연구에서는 충돌여부와 관련 있는 항목을 고려하여 주행기록 데이터를 분석하고자 하였다. 주행기록 데이터 항목 중 이를 대변할 수 있는 항목을 검토하였는데 주행속도와 상충되는 대상과의 거리가 가장 적합한 것으로 판단하였다. 이는 TTC와 유사한 개념인데 TTC는 방향성을 포함하고 있기 때문에 정확한 평가를 할 수 없다고 판단하였다. 예를 들어 동일한 방향으로 평행주행하고 있는 두 차량이 있다고 했을 때 두 차량의 간격이 매우 좁고, 주행속도가 높다면 탑승자는 큰 불안감을 느낄 것으로 판단된다. 그러나 두 차량은 평행상태이므로 횡방향으로 가까워지고 있지 않기 때문에 TTC는 무한대로 기록이 된다. 따라서 본 연구는 주행속도와 상충 대상과의 거리를 별개 항목으로 놓고 분석하였고, 향후 VILS 기반 자율주행 운전능력 평가 시 보완해야 할 사항에 대하여 검토하였다.

IV. 가상환경 기반 운전능력 평가 시뮬레이션 결과

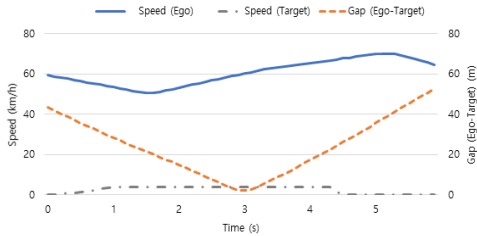
앞서 언급하였듯이 대상과의 거리는 감소하는데 주행속도가 증가하거나 대상과의 거리는 가까운데 높은 주행속도를 유지하는 경우를 위험상황으로 간주하고 주행기록 데이터를 분석하였다. 해당 내용은 일반적으로 일반운전자나 탑승자들에게는 위험상황으로 인식될 수 있고 사고 가능성이 증가하는 주행태이기 때문이지만, 자율주행의 경우 이러한 상황이 무조건적으로 위험하다고 평가할 수는 없다. 그러나 본 연구는 자율주행 운전능력 평가방향인 일반 운전자와 보행자의 안전성을 고려하고 있고 평가의 기준 등 평가지표는 제시되지 않았기 때문에 점수나 등급으로 산출 가정하에서 연구를 수행하였다. 향후 VILS를 통한 자율주행 운전능력 평가를 사전 검토하기 위한 기초연구라는 전제 조건으로 평가결과를 도출하였다. 따라서 가상환경 기반 시뮬레이션 결과는 유의미한 결과가 있는 것만 제시하였다.

1. 주행속도와 상충대상과의 거리를 이용한 위험 분석

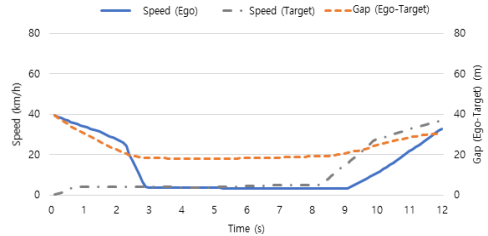
시나리오1의 끼어들기 차량과의 상충의 경우 주행속도와 상충대상과의 거리를 이용한 분석 방법이 정확하게 위험상황을 모사하는 것으로 나타났다. 양방향 4차로 도로에서 자율주행은 2차로에서 주행을 시작하고, 전방에 정차차량으로 인해 1차로로 차로변경 시 1차로 후방에 타차량이 추종하고 있는 상황이다. 여기서 Case1은 무리하게 끼어들기 하여 사고위험 상황이 나타나도록 하였고, Case2는 후방차량을 보낸 후 안전하게 차로변경 하도록 설정하였다. 그 후 주행기록 데이터를 분석하였는데 다음 <Fig. 5>와 <Fig. 6>과 같이 Case1의 경우 대상과의 거리가 가까워지는 상황에서도 높은 주행속도를 유지하는 것으로 나타났고, Case2의

경우 긴 차량간 거리와 낮은 주행속도를 유지한 것으로 나타났다.

이는 주행기록 데이터가 실제 주행상황을 잘 대변한 것으로 대부분의 시나리오에서 동일한 결과가 나타났다. 그러나 주행속도와 대상과의 거리 데이터가 주행상황을 제대로 표현하지 못하는 경우도 있었는데 아래부터 예외적 상황을 서술하였다.



<Fig. 5> Scenario 1 Case1 Driving graph



<Fig. 6> Scenario 1 Case2 Driving graph



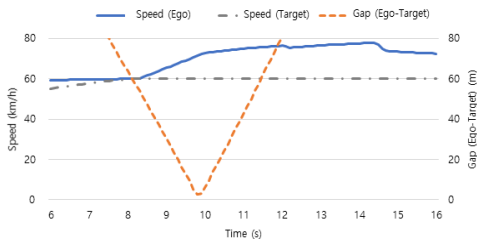
<Fig. 7> Scenario 1 Case1 Driving rear view



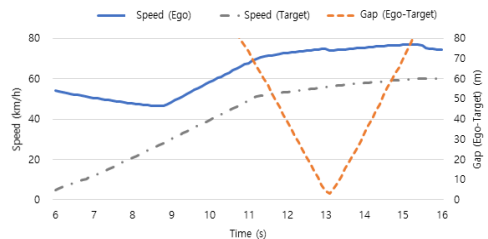
<Fig. 8> Scenario 1 Case2 Driving rear view

2. 주행차로 정보의 조건부 처리 분석

아래 시나리오2는 앞지르기가 허용되는 양방향 2차로 도로에서 주행차량이 전방에 정차하고 있는 버스를 앞지르기 할 때 대향차로에서 대향차량과 마주하게 되는 시나리오다. Case1는 무리하게 앞지르기를 시도하여 대향차량과 사고위험 상황을 야기하도록 하였고, Case2는 앞지르기 시거가 충분히 확보되어 대향차량과의 위험상황 없이 앞지르기를 하도록 설정하였다. 그러나 <Fig. 9>와 <Fig. 10>을 보면 모두 대상과 가까운 거리에서 높은 주행속도를 기록한 것으로 나타났다. 앞지르기가 완료된 후 대향차량을 지나치기 때문에 위험한 패턴으로 기록될 수밖에 없고 주행차로의 정보가 조건부로 평가에 반영되어야 할 것이다. 일반 사람이 직접 VR 영상을 보고 평가를 한다면 이러한 착오가 발생하지 않았지만 무수한 시나리오와 주관적 판단을 최대한 배제하고 운전능력 평가를 하기 위해서 평가의 자동화 및 계량화는 필요하다고 판단된다.



<Fig. 9> Scenario 2 Case1 Driving graph



<Fig. 10> Scenario 2 Case2 Driving graph



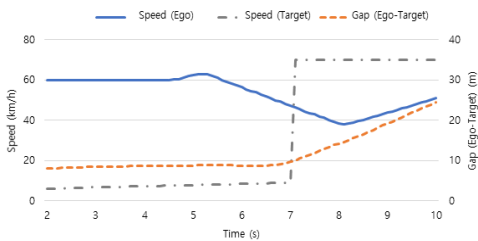
<Fig. 11> Scenario 2 Case1 Driving rear view



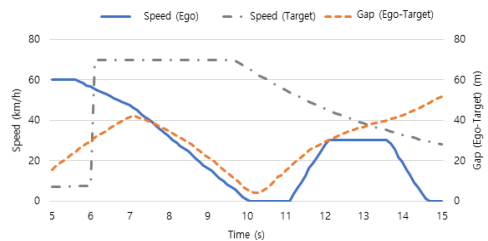
<Fig. 12> Scenario 1 Case2 Driving rear view

3. 대상 차량의 상대적 위치 분석

일반적으로 주행속도가 높으면 사고위험이 증가하고, 주행속도가 낮으면 사고위험이 감소할 것으로 판단 하지만 교통공학에서 감속행위는 추돌사고를 야기하는 주된 요인이다. 시나리오3에 포함된 이벤트에서 이와 관련한 평가 방법의 보완점을 뚜렷하게 확인할 수 있었다. 시나리오3은 양방향 4차로 도로에서 2차로를 주행하다 전방 차량의 정체로 1차로로 차로변경 시 1차로 후방 추종차량과 상충이 발생하는 시나리오이다. Case1 은 무리한 차로변경으로 사고위험 상황이 발생하도록 하였고, Case2는 대기행렬에 정지하여 후방 추종차량이 지나간 후 차로변경 하도록 설정하였다. <Fig. 13>을 보면 주행속도는 줄어들고 대상과의 거리는 증가하는 것으로 나타나 사고위험이 없던 것으로 판단할 수 있는데 대상차량이 주행차량보다 후방에 존재하고 있으므로 감속으로 인한 추돌사고를 야기할 수 있는 상황이다. 대상과의 거리가 증가한 것은 후방에 있던 대상 차량이 주행차량의 무리한 차로변경 때문에 급감속을 하였기 때문인데 이러한 특성이 평가에 고려되어야 할 것이다.



<Fig. 13> Scenario 3 Case1 Driving graph



<Fig. 14> Scenario 3 Case2 Driving graph



<Fig. 15> Scenario 3 Case1 Driving rear view

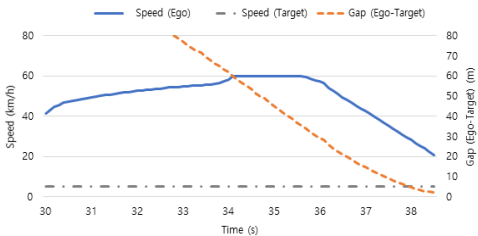


<Fig. 16> Scenario 3 Case2 Driving rear view

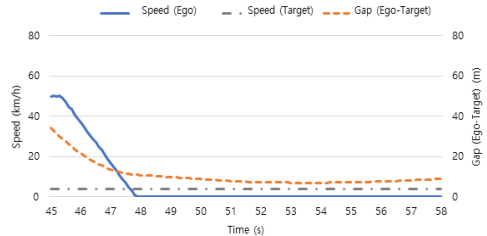
4. 대상 차량 외 영향 요인 분석

다음 시나리오 중에는 대상 차량의 다른 교통상황에 주행차량이 영향을 받아 특정 이벤트에 대해서 제대로 평가하기 어려운 경우도 있었다. 해당 시나리오4는 횡단보도 통과 시 보행자와의 상충 이벤트로 대표적인 사례라고 판단된다.

양방향 6차로 도로 횡단보도 부근에서 1차로와 3차로는 정체가 있고, 2차로는 비교적 대기행렬이 짧은 상황이다. 주행차량은 2차로를 주행하고 있고 횡단보도에 접근 시 3차로 대기행렬 사이에서 보이지 않던 보행자가 나타나는 위험상황이다. Case2는 안전하게 횡단보도 앞 정지선에 정지하여 대기하였고, Case1은 위험요인을 감지하지 못한 상태로 주행하도록 하였다. 주행기록 데이터를 분석한 결과 <Fig. 17>의 경우 위험요인을 감지하고 감속을 한 것처럼 나타났는데 이는 전방차량의 서행으로 인해 감속을 한 것이고, 위험요인에 반응한 것은 아니었다. 이처럼 평가 시나리오가 특정 대상 외 주행차량에 영향을 미칠 수 있는 요인이 있으면 제대로 된 평가를 할 수 없기 때문에 평가 시나리오 개발 시 이런 상황을 배제하여 수행하였다.



<Fig. 17> Scenario 4 Case1 Driving Graph



<Fig. 18> Scenario 4 Case2 Driving graph



<Fig. 19> Scenario 4 Case1 Driving rear view



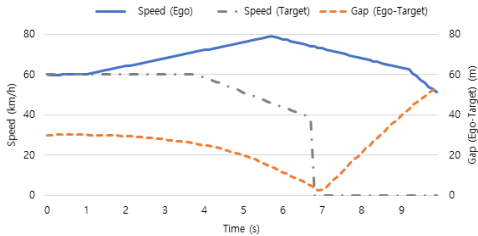
<Fig. 20> Scenario 4 Case2 Driving rear view

5. 도로교통법 위반 관점에서의 분석

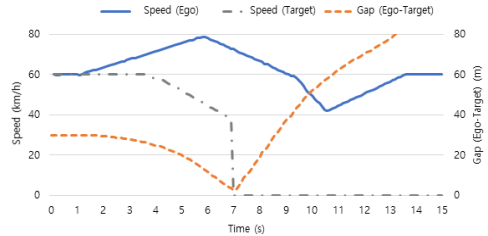
다음은 도로교통법 준수여부와 관련한 사항이다. 도로교통법 준수는 자율주행의 필수조건 중에서도 가장 기본이 되는 조건일 것이다. 그러나 VR 기반 자율주행 운전능력 평가는 다양한 도로교통 요인을 반영한 법규 준수여부를 판단하기가 어렵다. 또한 주행데이터 항목으로 이를 판단하기엔 부족하다. 과속과 같이 주행기록 데이터 항목과 직접적으로 관련되어 있는 경우 간단하게 가능하지만 그 밖의 법규는 주행기록 데이터만 분석하여 판단하기 어렵다. 시나리오5 전방차량과의 상충 이벤트는 교차로에서 좌회전 포켓의 길이가 짧아 직진차량의 대기행렬이 좌회전 차로를 막고 있을 때 중앙선을 침범하여 좌회전 포켓으로 진입하는 시나리오이다. Case1, Case2 모두 전방차량과의 상충정도의 차이가 있지만 중앙선을 침범하도록 하였다.

<Fig. 21>와 <Fig. 22>를 보면 대상차량과의 거리가 가까운데 높은 주행속도를 유지하고 있으므로 위험한

운전이라고 판단할 수 있다. 그러나 중앙선 침범여부를 주행데이터로 판단할 수는 없었다. 여기서 자율주행 운전능력평가를 자동화함에 있어 도로교통법 준수여부 관련 평가방안은 VR소프트웨어 기술 개발에 필요한 연구과제라고 판단된다.



<Fig. 21> Scenario 5 Case1 Driving graph



<Fig. 22> Scenario 5 Case2 Driving Graph



<Fig. 23> Scenario 5 Case1 Driving rear view

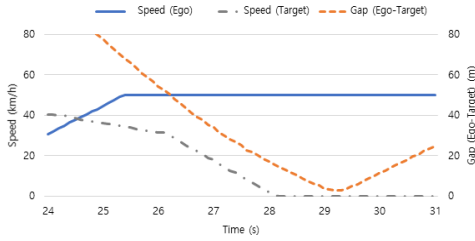


<Fig. 24> Scenario 5 Case2 Driving rear view

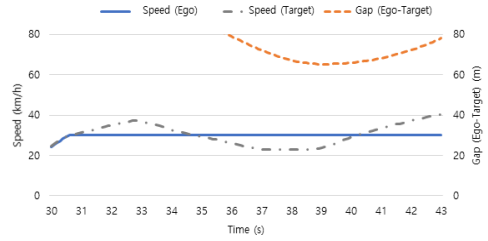
6. 통행우선권 관점에서의 분석

자율주행 운전능력평가에 있어 첫 번째로 확인해야 하는 것은 휴먼팩터 차원에서의 주행 안전성이겠지만 교통운영 측면에서의 주행능력도 확인해야 할 것이다. 실제로 운전면허시험에서 교통소통을 저해하지 않고 주변 교통류와 어울려 주행할 수 있는가도 평가 항목 중 하나이다. 시나리오7의 비보호 좌회전과의 상충 시나리오는 양방향 4차로 도로에서 1차로를 주행하다 교차로 통과 시 대향차로의 비보호 좌회전 차량과 상충이 발생하는 시나리오다. Case1은 좌회전 차량에게 양보를 하지 않고 그대로 직진하여 교차로를 통과하도록 하였고, Case2는 정지하여 대향차량이 좌회전을 완료하면 교차로를 통과하도록 하였다. 다양한 시나리오를 통하여 자율주행 차량이 운행할 시 위험상황에 직면할 경우 행동 반응을 관찰하는데 의미를 두었다.

<Fig. 25>와 <Fig. 26>을 보면 <Fig. 26>에 해당하는 Case2가 보다 더 안전하게 주행한 것으로 나타난 것을 알 수 있다. 그러나 교차로에서 직진차량이 비보호 좌회전 차량보다 통행우선권이 있는 경우 무조건적으로 양보하는 것보다 교차로 통과 의사가 있음을 전달하며, 먼저 통과하는 것이 운전능력이 더 우수하다고 평가할 수도 있다. 특히 자율주행과 일반차량이 혼재된 상황에서 자율주행이 안전성을 고려하여 무조건적인 양보를 하게 된다면 통행량이 많은 비신호교차로, 회전교차로에서 교차로를 통과하는데 긴 시간을 할애하게 될 것이며, 이는 교통소통에 지대한 영향을 미칠 것이다. 이러한 교통운영측면에서의 평가할 수 있는 방안이 마련되어야 한다고 판단된다.



<Fig. 25> Scenario 6 Case1 Driving graph



<Fig. 26> Scenario 6 Case2 Driving graph



<Fig. 27> Scenario 6 Case1 Driving rear view



<Fig. 28> Scenario 6 Case2 Driving rear view

V. 결 론

본 연구는 자율주행 상용화 시대에 대비 자율주행 운전능력평가 방안의 기본설계 내용을 바탕으로 가상 환경 기반 자율주행 운전능력 평가 방안을 제시하였고 이를 통하여 몇 가지 결론 및 제한점을 확인하고자 하였다. 이를 위해 일반 운전면허시험 문제를 기반으로 UC-win/Road ver.14.0를 통해 자율주행 운전능력 평가를 수행하였으며, 시험평가의 도구로서의 실제 적용가능성을 확인할 수 있었다. 그러나 향후 평가의 자동화를 위해서 평가방법의 정량적 계량화하는 과정을 고려한다면 연구의 한계점을 도출할 수 있었다.

첫째, 기존의 차량의 주행속도와 상충대상과의 거리에 의한 TTC 개념에 치우치면 주행데이터의 분석 결과와 실제 주행 내용은 전혀 다르게 나타나는 결과를 확인하였다. 또한 감속행위를 무조건 위험인자를 감지하여 대응하였다고 판단하여 운전능력이 우수하다고 할 수는 없는 부분도 참고해야 할 것이다. 운전능력 평가를 위해서는 상충 대상 외 다른 외부 변수는 배제할 수 있도록 평가 시나리오를 개발해야 할 것이며, 교통 소통 측면에서의 운전능력평가 기준이 정립되어야 할 것이다.

둘째, 자율주행 운전능력 평가 플랫폼 개발 시 정립된 평가 모델을 기술적으로 실현하기 위해서는 VR 소프트웨어의 주행데이터 기록항목이 평가 기준을 포함할 수 있도록 개발되어야 한다. 특히 도로교통법의 준수여부를 소프트웨어가 자동 판단할 수 있도록 개발하는데 노력을 기울여야 할 것이다. 또한 자율주행 운전능력 테스트 플랫폼은 VILS를 기반으로 계획하고 있기 때문에 각 자동차 제조사가 활용할 수 있도록 GPS 데이터, Micro Autobox 또는 ECU와의 데이터 통신 프로토콜과 같은 사항들이 표준화되어 연구개발 할 필요가 있다고 판단된다.

본 연구의 한계점은 현재 완성된 자율주행 판단 알고리즘은 존재하지 않으며, 자동차 제조사에서 공개하지 않는 것을 원칙으로 하기 때문에 자율주행의 구현에 한계가 있다고 판단된다. 따라서 본 연구는 자율주행 차량이 운전자가 직접 운전할 때의 주행행태를 모사할 것으로 가정하고, 운전면허 동영상 시험문제에 의존하여 구현하였다는 전제하여 수행하였다. 또한 일반 운전면허 동영상 시험문제에서 7개의 시나리오를 선별하여 진행한 것으로 향후 자율주행운전능력평가에 활용될 시나리오에 비하면 다소 부족할 것으로 판단된다. 그러나 현재 국내 자동차 제작사에서 ADAS나 자율주행 기능의 검증을 위한 방법 중 실차실험 전 단계인 VILS방법을 활용 중이므로, VR 기반 활용 가능성을 확인함에 따라 향후 VILS 테스트를 활용한 자율주행 검증방법 확인과 향후 평가 시나리오 개발에 참고가 될 것으로 기대된다. 한편 자율주행 운전능력 평가 시나리오를 대상으로 사전 시뮬레이션을 수행하면 본 연구에서 언급한 것 이외에 연구의 한계점 도출될 것이다. 이러한 일련의 과정이 계속 반복되면서 자율주행 운전능력 평가 방법의 완성도가 높아질 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 도로교통공단의 2020년도 기본연구(연구용역)과제 지원으로 수행하였습니다.

REFERENCES

- Chung S. H. et al.(2018), “A Study on Development of High Risk Test Scenario and Evaluation from Field Driving Conditions for Autonomous Vehicle,” *Journal of Auto-Vehicle Safety Association*, vol. 10, no. 4, pp.40-49.
- Kim B. S. et al.(2019), “A Study on the Field-Based Evaluation Technology of Automated-driving Operation Design Domain,” *Korea Intelligent Automotive Parts Promotion Institute, Spring Conference*, pp.776-777.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(2019), *Report on the Development of Hardware for Autonomous Vehicle Control*.
- Korea Road Traffic Authority(2018), *A Study on the Development of AI Autonomous Driving Capability Evaluation Techniques and Models*.
- Korea Road Traffic Authority(2019), *Traffic Science Research Brief*, vol. 22, no. 3, pp.2-11.
- Korea Road Traffic Authority(2020), *Traffic Science Research Brief*, vol. 25, no. 2, pp.2-7.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2016a), *Development of Safety Evaluation Technology for Autonomous Driving Vehicles and Establishment of Actual Road Evaluation Environment Phase2 Report*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2016b), *Development of Safety Evaluation Technology for Autonomous Driving Vehicles and Establishment of Actual Road Evaluation Environment Report*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2019), *Report on the Development of Safety Assessment Technology and Test Bed for Autonomous Driving Vehicles*.