

Development Direction of Autonomous Vehicle Driving Ability Evaluation System based on Virtual Environment

가상환경에 기반한 자율주행 운전 능력 평가시스템 개발 방향

Joong Hyo Kim¹, Seok Jin Oh²

김중효¹, 오석진²

¹ Chief researcher, Korea Road Traffic Authority, Republic of Korea, ccacca-1@hanmail.net

² Professor, Civil Environment department, Honam Univ., Republic of Korea, ohgoon85@naver.com

Corresponding author: Seok Jin Oh

Abstract: While technology development for the realization of autonomous vehicle driving is being actively promoted worldwide, In Korea, autonomous vehicle laws, systems and infrastructure will be overhauled by '24, and various commercialization of autonomous vehicle Lv. 4 on major roads nationwide will be carried out by '27. policy is being pursued. The strategy was changed from the existing Lv. 3, Lv. 4 step-by-step promotion strategy to Lv. 3+, Lv. 4 simultaneous foundation creation. Accordingly, the size of the autonomous vehicle market is also expected to reach approximately KR 26,179.4 billion in 2035 based on an average annual growth rate of 41% from KR 150.9 billion in 2020. Recently, both the government and private companies are striving for R&D to realize autonomous vehicle driving and have reached the stage of technology development for commercialization of Lv. 3 autonomous vehicle. In addition, autonomous vehicle technologies such as various sensors and vehicle control are being developed at a rapid pace with the goal of commercializing autonomous vehicle Lv. 4. However, legal and institutional grounds and traffic safety facilities for safe operation on actual roads in autonomous vehicle mode are still lacking in preparation[1]. In addition, there are limitations in terms of traffic safety in responding to unexpected situations, such as when the operating range of the autonomous vehicle sensor is covered by other obstacles or when the braking distance is physically insufficient. Autonomous vehicle must drive on the road in a mixed situation with ordinary drivers and pedestrians, and autonomous vehicle must be equipped with various sensors and high-precision maps to recognize and judge surrounding vehicles, pedestrians, and objects. In addition, autonomous vehicle must predict and prepare for various and hazardous situations beyond the level of ordinary driver's driving ability, and the role and function of highly reliable autonomous vehicle is possible only when it can drive on an equal basis with a skilled driver. Nevertheless, it is necessary to secure the safety of road users as safety issues of autonomous vehicle have recently emerged due to autonomous vehicle accidents abroad. Therefore, in order to prepare for the commercialization of autonomous vehicle, in addition to the driving ability test evaluation in terms of simple mobility of autonomous vehicle, based on the Road Traffic Act, the level of risk awareness within the acceptable range of road users, legal compliance, concession and ethical awareness, etc. There is a need for a test evaluation system that can check the driving ability and behavior of autonomous vehicle driving. This study aimed to secure the driving safety of autonomous vehicle by comparing and reviewing autonomous vehicle driving ability test evaluations

Received: August 15, 2022; 1st Review Result: September 30, 2022; 2nd Review Result: November 05, 2022
Accepted: November 30, 2022

through domestic and foreign cases, and by presenting the direction and contents of the autonomous vehicle driving ability evaluation system development considering cost efficiency. In addition, during the test evaluation of autonomous vehicle driving ability, we tried to reconfirm the scope of autonomous vehicle driving ability, focusing on safe in use scenarios and virtual environment-based evaluation systems.

Keywords: Autonomous Vehicle Driving Ability Test, Infrastructure, Autonomous Vehicle Safety, Virtual Environment

요약: 자율주행 구현을 위한 기술개발이 전 세계적으로 활발히 추진되고 있는 가운데 국내에서는 자율주행 법제도 및 인프라를 '24년까지 정비하고 '27년까지 전국 주요 도로에서의 자율주행 Lv. 4 상용화를 위한 다양한 정책을 추진하고 있다. 기존 Lv. 3, Lv. 4 단계적 추진 전략에서 Lv. 3+, Lv. 4 동시 기반 조성으로 전략을 변경하였다. 이에 자율주행 시장 규모 역시 2020년 1,509억 원에서 연평균 41%의 성장률을 기반으로 2035년에는 약 26조 1,794억 원에 이를 것으로 전망된다. 최근 정부와 민간기업 모두 자율주행 현실화를 위해 연구개발에 매진하고 있고 Lv.3 자율주행 상용화를 위한 기술개발 단계에 도달하였다. 더불어 자율주행 Lv. 4 상용화 목표로 각종 센서나 차량제어 등 자율주행 기술은 빠른 속도로 개발 중이다. 그러나 자율주행 모드로 실 도로상 안전한 운행을 위한 법제도적 근거, 교통안전시설 등은 여전히 준비가 부족한 실정이다[1]. 그뿐만 아니라 자율주행 센서의 작동범위가 다른 방해물에 가리거나 물리적으로 제동거리가 부족한 상황 등의 돌발상황 대응은 교통 안전상의 한계점이 있다. 자율주행은 일반 운전자와 보행자들과 혼재된 상황에서 도로주행을 해야 하며 자율주행은 다양한 센서와 고정밀 지도 등을 탑재하여 주변 차량과 보행자, 사물을 인지하고 판단해야 한다. 또한 자율주행은 일반 운전자 운전 능력 수준 이상으로 다양하고 위험한 상황을 예측하고 대비해야 하며 숙련된 운전자와 동등하게 운전할 수 있어야만 고신뢰성 자율주행의 역할과 기능이 가능하다. 그럼에도 불구하고 최근에 국외 자율주행 교통사고로 인한 자율주행의 안전성 문제가 대두됨에 따라 도로 이용자의 안전성 확보가 필요한 상황이다. 따라서 자율주행 상용화 대비를 위하여 자율주행의 단순한 이동성 측면에서의 운전 능력 시험평가 외에도 도로교통법을 기준으로 도로 이용자의 수용할 수 있는 범위 내의 위험 인식 수준, 법규 준수, 양보 및 윤리 의식 등 사회적 수용성 차원에서의 자율주행의 운전 능력과 행태를 확인할 수 있는 시험평가 체계가 필요하다. 이에 자율주행 운전 능력 시험평가를 국내외 사례를 통하여 비교검토하고 자율주행 운전 능력 평가시스템 개발 방향과 내용을 제시하여 자율주행의 주행 안전성을 확보하고자 하였다. 또한 자율주행 운전 능력 시험평가 시 Safe in use 시나리오와 가상환경 기반 평가 시스템을 중심으로 자율주행 운전 능력의 자격 범위를 확인하고자 하였다.

핵심어: 자율주행 운전 능력 평가, 인프라, 자율주행 안전, 가상환경

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 필요성

국외에서의 자율주행에 의한 사상 사고 발생 등으로 자율주행의 안전성 문제가 대두됨에 따라 자율주행 도입에 따른 도로 이용자의 안전성 확보가 필요한 실정이다. 따라서 자율주행 운전 능력 시험평가를 바탕으로 장래 교통안전 문제에 대한 대비가

요구되며 자율주행의 단순한 이동성 측면에서의 운전 능력 시험평가 외에도 도로교통법을 기준으로 도로 이용자가 수용할 수 있는 범위 내의 위험 인식 수준, 법규준수, 양보 및 윤리 의식 등 자율주행 운전 능력 시험평가 체계가 필요하다. 자율주행은 일반 운전자와는 달리 시스템에 의해 운전 행동이 이루어지기 때문에 자동차에 대한 인식과 개념도 바뀌어야 하며 자율주행 시험평가에 대한 방식이 사회적 합의 측면에서 접근해야 한다. 다시말해 자율주행의 단순한 기능 위주의 접근보다 복잡하고 다양한 교통 상황에 대한 운전 능력을 미시적으로 검증해야 하고 이를 위해서는 수많은 상황 시나리오에 의한 운전 능력을 시험평가해야 한다. 자율주행 운전 능력에 대한 논의는 다소 이르지만, 반드시 논의되어야 할 대상이며 자율주행 기능성능구조상의 시험평가와는 구별되어야 한다. 그 이유는 자율주행의 퓨전센서, ECU(Electirc Control Unit), 제동 성능 등 진단 분야는 자율주행의 시스템 측면이 주목받은 대상일 뿐 사람 중심의 인적요소를 고려한 다양하고 복잡한 교통환경의 범위를 포함하지 않기 때문이다. 특히 자율주행 운전행동 제어권이 사람 중심에서 차량 중심으로 전환될 것으로 예상됨으로써 자율주행의 기능 안전성 뿐만 아니라 운전 주체에 대한 인적요소도 동시에 수반되어야 할 것이다. 본 연구는 자율주행 안전운전 차원에서 운전 능력 시험평가를 위한 중요성을 제시하고 가상환경에 기반한 자율주행의 안전성 확보 방안을 제시하고자 하였다. 또한 자율주행 운전 능력 시험평가시 Safe in use 시나리오와 평가 시스템을 중심으로 자율주행 운전 능력 시험평가 자격 범위를 확인하고자 하였다. 국내외 자율주행 기술 수준이 빠르게 고도화되고 있고 인공지능 기반의 다양한 자율주행 기술이 발전되어 가고 있으나 자율주행의 안정성을 검증하는 평가체계는 부족한 실정이다. 또한 도로교통법 관점에서 자율주행의 도로 주행을 허용하는 운전면허 발급 기준이 마련되지 않아 시험운행을 위한 제도적 근거 수립에 초점을 맞추고 있을뿐, 자율주행 모드로 공도로상 안전한 운행을 위한 법·제도적 근거, 교통안전시설 등은 준비가 여전히 부족한 실정이다. 더구나 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 고정밀 지도 등을 탑재하여 주변 차량과 보행자, 사물을 인지하고 판단해야 한다. 자율주행은 일반 운전자 운전 능력 수준 이상으로 다양하고 위험한 상황을 예측하고 대비해야 하며 숙련된 운전자와 동등하게 운전 할 수 있어야만 고신뢰성 자율주행의 역할과 기능이 가능하다. 이에 자율주행 운전 능력 시험평가에 대한 검증이 필요하며 자율주행의 주행 안정성(Stability) 보다 사람 중심의 안전성(Safety) 차원에서 사람 중심의 자율주행 운전 능력 평가체계가 요구된다. 본 연구는 악의적인 주행 환경과 가변적인 운전 상황을 고려한 고신뢰성 자율주행 운전 능력 평가를 시행하는데 가상환경에 기반한 평가 시스템 개발 방향을 제시하고자 하였으며 도로교통법 관점에서 도로 이용자가 수용할 수 있는 위험예측, 위험 인식 수준, 예측불허 행동, 준법 및 양보운전 등 운전행위 관점에서 자율주행 운전 능력 평가시스템의 실제 적용 가능성과 효용성을 살펴보고자 하였다[2].

1.2 연구의 방향

국내외 자율주행Proving Ground(이하, PG) 기반의 시험인증 단지나 공도로 상에서의 평가는 막대한 비용이 수반되고 다른 도로 이용자의 교통안전을 위협할 수 있는 위험

요소가 될 수 있다. 이러한 위험한 상황을 대체할 수 있는 자율주행 운전 능력 시험평가는 가상환경 기반 자율주행 운전 능력 평가 시스템이라 판단된다. 해당 문제를 해결할 수 있는 것은 가상환경 기반 자율주행 운전 능력 평가시스템이며 이를 위해서는 Software in the Loop Simulation(이하, SILS), Hardware in the Loop Simulation(이하, HILS), Vehicle in the Loop Simulation(이하, VILS) 방법을 적용할 필요가 있으나, 자율주행 알고리즘 정보의 제약, 제조사의 기술적 노하우 등의 보안 문제로 인해 시스템을 활용하는 데에는 많은 걸림돌로 작용하고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 가상환경에 기반한 자율주행 대상으로 시험평가 하는 것이 최적의 방법으로 판단된다. 이때 가상환경 기반의 평가 시스템은 실제 교통환경에서의 모든 경우를 시뮬레이션해 검증해야 하므로 평가상 시나리오의 표준화가 필수적이며, 교통사고 데이터를 통해 시나리오의 적용 가능성을 높여야 한다. 또한 일반 도로 이용자가 예측하기 어려운 비정형적 상황에서 안전성을 확보하기 위해서는 주변으로부터 다양한 정보를 빠르게 분석하여 제어할 수 있도록 시나리오 환경을 구성해야 하며 같은 시나리오의 반복을 통하여 자율주행의 학습능력도 검증해야 한다. 결론적으로 자율주행 운전 능력 시험 평가의 기초는 인간이 운전할 때 일어나는 일련의 과정을 차량이 대신하는 것이고 인간의 운전 능력 이상인 경우에 모두가 공감하고 사회적으로 수용해야 한다는 사실을 전제로 해야 한다. 또한 공도로 상 자율주행 대상이 수많은 보행자와 일반 차량들 간에 뒤섞인 상황으로부터 나타날 수 있는 다양한 상호작용을 검증하고 안전한 자율주행 환경을 조성할 수 있는 시스템 개발 방향이 중요하다[2].

2. 국내외 자율주행 운전 능력 시험평가 시스템 개발 동향

국내의 자율주행 기술 관련 운전 주체가 사람이 아닌 자율주행 시스템에 부여하는 운전면허제도가 부재한 상황이다. 자율주행 시스템의 도입은 운전행위에 대한 운전자의 역할을 현격히 감소시켜 차 사고의 책임 소재에 대한 모호함을 일으킬 수 있어 기존의 자동차 법 제도의 정비와 필요하다. 현재 전 세계적으로 다양한 자율주행 방식에 따라 법 제도를 어떻게 적용할 것인지에 대한 논란이 가중되고 있으며 미국의 경우에도 미흡한 수준이다. 미국의 경우 연방과 주에서 동시에 자율주행에 대한 입법을 시도하였고 대체로 주 위주로 입법이 진행되었으며 연방의 NHTSA는 포괄적인 구조를 제시하고 있다[2]. 특히 국내의 경우 자율주행의 시험 운행과 관련된 규정은 존재하지만 실제 도로 운행을 위한 법 제도는 미비한 상황이다. 따라서 자율주행의 상용화를 위해서는 허가 및 면허, 교통 사고처리 등에 대한 관련 법의 전반적인 정비와 필요하다. 현재 세계적으로 추진되고 있는 시험 환경에는 산업, 정부 및 학계의 여러 파트너가 있다. 이들 대부분은 기존 시설, 지역 자원 및 전문성을 토대로 구축 중이다. 그러나 각 시험은 구조적 성능, 운행기능을 테스트하는 데 중점을 두고 있다. 자율주행은 자체 센서만으로는 안전하고 원활한 주행을 기대하기는 불가능하다. 자율주행 상용화를 위해서는 다양한 이용자의 수용성 제고, 복잡한 교통상황 대응과 사고 예방, 기존 차량과 보행자, 이륜차 등 교통약자들의 고려가 복합적으로 필요하다. 자율주행 도입 초기 단계에는 일반 차량과의 혼재로 인해 도로교통 혼잡 가중과 기존 운전자 주행과 다른 형태의 사고가 발생하여 사회문제를 일으킬 수 있다. 자율주행 도입에 따른 위험 요소로 시스템의 오작동, 사고의 법적 책임, 보안 등이 제기됨에 따라 자율주행 안정성 검증과 평가 필요성이 점차 중요해지고 있어 다양한 도로 시설을 보유한 동시에 눈, 비, 안개

등의 악조건 주행환경 설정이 가능하고 반복 실험이 허용되는 실도로 평가환경, 즉 자율주행 운전 능력 평가시험 체계가 요구되고 있다.

2.1 정부 중심의 인프라 구축

미국, 유럽 등의 자율주행 개발 선진국들은 대규모 테스트베드 인프라를 비롯해 실제 도로에서의 주행 테스트를 위한 인프라 구축에 정부 차원의 다양한 정책을 추진하고 있다. (예: 미국의 M-City, ACM) 국내에서도 자율주행 실험도시 ‘K-City’와 같은 자율주행 시험평가 단지를 구축 중이나, 실제 운전자(사람)와 유사한 운전 능력 검증을 고려한 검증시설은 미비한 실정이어서 이와 관련한 테스트베드의 확충이 필요한 실정이다. 반면에 세계 각국은 앞다투어 자율주행 차량 기술을 개발하고 시범운영하고 있으며 이러한 자율주행 기술 발전은 교통안전에 향상할 수 있는 잠재력을 제공한다. 자율주행 기술이 발전함에 따라 테스트 환경의 필요성이 점차 증가하고 있으며, 자율주행 기술을 테스트하기 위해 설계, 예산 지원 및 운영이 국가 주도하에 이루어지고 있다. 초기 테스트는 폐쇄된 공간에서 시작하여 점차 공공 도로로 옮겨지고 있는 추세이다.

2.2 자율주행 운전 능력평가를 위한 유럽경제위원회의 정책 추진 현황

유럽연합 차원에서 도로 내 주행 테스트를 위한 협약 조율 및 규제 완화를 수행하는 추세이며, 국가별로 고속도로 수준에서 도로 주행 평가 및 실험 시설에 관한 테스트 인프라를 운영 중이다. 테스트 베드, 고속도로 주행 테스트 등을 초점으로 법·제도 및 규제 개정 등이 현재 추진 중인 상태이며 자율주행기술의 안전성과 관련하여 UN ECE/WP29 산하 ITS-AD(Automated driving) IWG를 통해 자율주행기술의 정의, 법적 한계 및 이슈, 국제 기준, eSafety, eSecurity에 대한 일반적인 가이드라인을 제시하고 있다. 또한 유럽연합 인프라를 활용한 다국적 참여형 R&D 프로젝트를 통해 경쟁력을 확보하는데 집중하고 있다.

2.3 유럽

유럽은 FP7을 통해 지능형 차량을 위한 자동주행 애플리케이션 및 기술개발 지원(Adaptive)과 자동주행 네트워크 연구(Autonet 2030) 등을 통해 다양한 도로교통 상황을 고려한 자율주행 시나리오를 개발하고 있으며, 다양한 형태의 실차 실험을 지원 중이다. 특히 2017년 9월 Horizon 2020 프로젝트로 “L3 PILOT”을 착수하여 자율주행 Lv. 3, 4의 기능에 대해 34개 기업이 참여하여 100대의 차량, 1,000명의 운전자가 참여하는 대규모 실증 실험을 추진하고 있다. 또한 PEGASUS(Project for the Establishment of Generally Accepted Quality Criteria, Tools and Methods as well as Scenarios and Situations for the Release of Highly Automated Driving Functions) 프로젝트를 통해 자율주행 차량의 테스트 및 상용화의 공백을 해소하고 기존 기능 및 프로토타입 생산으로의 신속한 전개를 지원하고 있다. PEGASUS 프로젝트는 독일 연방정부가 자금을 지원하는 공동 프로젝트로써, 어떻게 자율주행차량이 안정적으로 작동한다는 것을 입증하는가에 대한 질문에 답하고 있다.

2.4 중국

중국 정부의 '자율주행 자동차 도로 주행 테스트 관련 업무 추진을 위한 가이드'

발표에 따라 베이징시는 2018년 2월 9일부터 자율주행 자동차에 대한 성능 테스트를 위한 폐쇄형 시험장 운영을 시작하였다. 또 베이징시는 공도로에서의 테스트를 위해 실제 도로 주행이 가능하도록 베이징 경제기술 개발구와 순이구, 하이톈구 내의 33개 총 105km 도로를 개방하였다. 베이징시에 따르면 폐쇄형 시험장에서의 테스트는 난이도가 일반인의 면허시험 취득 수준이며, 자율주행은 폐쇄된 환경에서 기본 능력에 대한 테스트를 거친 이후 시내 도로에서 실제 도로주행에 임할 수 있다. 베이징시 자율주행 시험제도와 관련하여, “자동 조종장치 차량의 도로 시험작업 가속화에 관한 베이징시 정부 지침”과 “베이징시 자율차량 시험도로 도로요건 규정”을 마련하였다.

2.5 미국 American Center for Mobility(ACM)

M-City는 기타 위치정보를 송수신하는 GPS와 통신이 방해받을 수 있는 다양한 환경(가로수 식재 또는 지하차도 구간 등)에서의 자율주행과 Connected Vehicle 기술 및 기타 통신 관련 실험이 가능하도록 구성하였다. ACM은 미시건대학, 미시건주 정부, 완성차업체, 통신업체 등이 함께 자율주행과 커넥티드카 분야의 기술 개발, 성능 개선, 양산성 검토, 표준화 구축 등을 목적에 두고 설립한 미국 DOT 공인 산학협력 기관으로, 월로우 런에 자율주행차 시험기지를 구축하였다. 월로우런은 연면적 약 200만m²(약 61만 평) 규모의 차량, 도로, 인프라 및 통신시스템 등의 기술 검증을 위한 시설로써, 다양한 주행 상황과 기상 상황(태양, 비, 얼음 및 눈) 등의 검증 조건을 제공함과 동시에 통제된 환경에서의 반복적인 테스트가 가능하며, 고속도로, 고가도로, 비포장도로, 도심 및 시골 도로, 상가 및 주택지역, 터널 등의 실제 도로환경과 2X, 4G와 5G, DSRC(근거리전용 무선통신), GPS와 위치추적 등의 첨단 정보통신기술 기반 통신네트워크 환경을 구축 중이다[3].

2.6 시사점

유럽의 경우 자율주행 자동차의 상용화를 위해 완성차 업체 및 부품 업체에서 기술 개발을 담당하고 있으며 국가 차원에서 데모, 표준화 및 법규, 상용화를 담당하는 이분화된 구조를 지니고 있다. 국외 교통 선진국의 사례를 참고하여 국내의 경우도 완성 기술의 표준화 및 법규 제정과 상용화를 위해 정부 차원의 정책 지원이 필요하다. 이를 위해서는 국가별 교통 법규, 정책, 도로 환경 등이 다르기 때문에 각 나라의 교통 문화에 적합한 제도 및 평가를 위한 환경이 구축되어야 한다. Lv. 4 이상의 차량 보급이 시작되는 본격적인 자율주행 자동차의 경우 2030년 이후에 가능할 것으로 전망되기 때문에 단계적인 절차 수립을 통해 장기적인 관점에서 보다 체계적인 대응이 요구된다. 또한 현재 인지·판단 등 사용자와의 인터페이스적인 측면에서 인공지능 기술 수준이 미흡한 실정이다. 완전 자율주행을 위해서는 다양한 인공지능 기술이 융복합적으로 구현되어야 하나 현재는 Lv. 2 수준 자율주행 자동차의 상용화가 진행되고 있다. 더불어 Lv. 3 수준의 부분 자율주행자동차 기술이 일부 상용화 되고 있는 단계이다. 추후 예상되는 인공지능 기술의 발전에 따라 국민의 편의성 향상 및 시장의 경쟁력 확보를 위해 자율주행 기술개발 수준에 대한 분석이 필요하다고 판단된다.

3. 자율주행 운전 능력 평가 시스템

3.1 자율주행 운전 능력 평가 시스템의 우수성

자율주행 운전 능력 평가 시스템은 이론적으로 무한에 가까운 조건에서 평가하고자 하는 시스템의 메카니즘을 분석하기 위한 가상의 모형을 구축하는 것을 의미한다. 시스템을 활용할 때 시험평가 등에 드는 시간과 비용을 획기적으로 줄일 수 있으며, 실제 상황에서 일어나기 어렵거나 위험 상황 등에 대한 평가 환경을 구축하여 테스트 할 수 있다. 또한 동일 시스템상 시뮬레이션을 반복함으로써 사용자가 의도하는 결과를 도출하기가 쉬운 장점이 있고 시스템상 오동작이나 고장이 발생하였을 경우 시스템 내부에서 발생하는 근본적인 원인도 분석할 수 있다. 결론적으로 다양하고 복잡한 주행 환경을 모사하여 자율주행 운전 능력 시험평가를 위해서는 효율적인 평가가 수행되어야 한다. 일반적으로 날씨, 도로의 상태, 교통환경 등 수많은 상황에 대한 조합으로 평가 시나리오를 생성하고, 시뮬레이션을 통해 분석과 평가를 해야 한다. 해당 시뮬레이션은 사고 상황, 기상 악조건 등 실제 상황에서 발생하기 어려운 주행 환경에 대한 묘사가 가능하고 같은 환경을 반복적으로 수행하여 평가할 수 있다. 특히 시뮬레이션 테스트는 실제 테스트보다 유연하고 융통성 있게 진행되기 때문에, 위험도가 높은 경우 등 예외의 주행 조건을 테스트할 때 더욱 효과적일 수 있다. 예를 들면, 주차된 차량 뒤에서 갑자기 어린이가 도로로 뛰어나오거나 적색 신호에도 주행하는 차량처럼 위험예측은 어렵지만 사고발생 가능성이 있는 경우에는 반드시 시뮬레이션을 통해 수행되어야 한다. 또한 시뮬레이션 첨단 그래픽 기법으로 기존의 시나리오를 복제하고 수정하는 것도 가능해야 한다. 가령 사막 지역에서 눈보라를 만들어 내거나, 일출, 일몰 시에 태양 빛으로 인해 차량이 보이지 않는 상황을 연출하기 위해 태양의 위치를 변경하는 것도 할 수 있다. 심지어 고속도로에서 빙판길 구간을 만드는 시뮬레이션을 통해 도로교통 상황을 연출하며 시험주행 중인 운전자의 위험 상황을 가정하는 것 역시 가능해야 한다. 차량에 대한 검증은 과거의 경우 단순한 기능적인 검사만으로 가능했지만, 도로교통 환경의 영향으로 테스트만으로 검증하는 것이 사실상 불가능하다. 따라서 가상환경 기반에 의한 시험평가는 실제 상황을 대신하여 현실성을 최대한 반영하여 시뮬레이션 방법을 통해 다양한 시나리오를 도출하고 테스트함으로써 심층적으로 검증할 수 있는 장점이 있다.

3.2 자율주행 운전 능력 평가 시뮬레이션의 구분

3.2.1 SILS

소프트웨어 레벨에서 수행되는 시뮬레이션을 SILS이라 한다. SILS는 일반적으로 PC 상에서 이루어지는 소프트웨어 테스트로 표적 모델에 가상의 값을 입력시키고 그에 따른 출력값을 확인하는 방식으로 수행된다. 가상환경을 통해 설계한 알고리즘과 결과값을 검증하기 위한 기술이며, 물리적인 장비 없이도 제어 알고리즘을 테스트 할 수 있는 도구이다. 특히 실제 시스템 테스트 비용이 높거나 위험할 경우 대체할 수 있는 유용한 방법이다. 이때 가상환경에서 도로, 운전 행동, 날씨, 차량 특성, 고장 상황 등을 설계하고 PreScan, CarMaker, VTD 등의 소프트웨어를 사용하여 평가할 수 있다[4].

3.2.2 HILS

HILS는 시뮬레이션의 한 종류이며, 컨트롤러와 같은 시스템을 설계하고 테스트하기

위한 용도로 사용한다. HILS는 테스트 소프트웨어를 실제 하드웨어와 연결하여 테스트하는 방법이다. 타겟 하드웨어와의 동기화를 통해 실제로 테스트 하는 것과 유사한 결과를 얻는 방법도 있다. HILS는 하나의 모듈 테스트부터 통합 모듈 테스트까지 범위가 다양하며 특정 모듈을 개발하거나 테스트 하기 위해 사용하는 방법이다. 기존에는 동력장치 제어용 ECU 등의 제한적으로 적용되었지만, 점차 차량 전체를 시뮬레이션하는 대규모 시스템으로 발전하고 있다[4].

3.2.3 VILS

차량 전체 시스템을 대한 평가방법으로 차량에 대한 블랙박스 평가가 가능한 방안으로 가상 환경 기반의 시뮬레이션 평가와 실도로 평가의 장점을 혼합한 형태이다. 실도로 기반의 평가 검증은 다양한 시나리오에 의한 사고 상황, 위험한 상황 등의 평가가 어려울 뿐만 아니라 큰 비용과 시간이 필요하다. 그뿐만 아니라 SILS, HILS 방식의 평가 검증은 가상 환경에 기반을 두고 때문에 실제 차 테스트와는 달리 현실성이 떨어지는 단점이 있다. 그러나 VILS는 실제 차량과 가상의 시나리오와 결합한 형태로 센서 기반의 시스템이다. 가상 환경이 접목된 VILS 시스템은 SILS, HILS와 검증 방식의 장점과 실차 검증 방식의 장점을 결합한 형태로 검증할 수 있다. VILS는 완성차와 시뮬레이션 환경을 연결하는 방식으로써 가상 시험 환경에서 실제 차량이 적정 거리를 주행하면서 시험하는 방식이다. 교통환경 조건은 가상환경으로 제공되고, 실제 주행 환경과 유사한 상황에서 돌발 상황 등을 가상으로 평가함으로써 더 다양하고 복합적인 검증을 가능하게 한다. 광범위한 시뮬레이션 환경 구성을 위해서 단일 시뮬레이션을 구성하여 실도로 상에서 발생할 수 있는 환경을 생성할 수 있다. VILS 시스템은 적용 방법에 따라 Roller bench, Open road로 구성할 수 있다. 시뮬레이션 환경에 대한 운전 능력을 분석하고 평가할 수 있으며, 평가하고자 하는 대상에 따라 시스템을 구성해야 한다.



Roller bench setup



Open road setup

[그림 1] 자율주행 Roller Bench 와 Open Road Setup

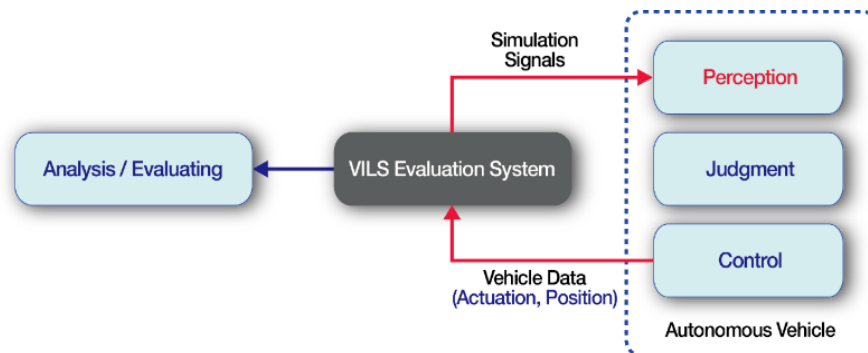
[Fig. 1] Autonomous vehicle Roller Bench and Open Road Setup

VILS 평가 시스템을 구축하기 위해서는 가상환경 기반의 시나리오를 자율주행 차량이 인지할 수 있도록 해야 하며 인지된 센싱 데이터로 제어되는 출력 데이터를 전송 받아 주행 능력을 평가할 수 있다. 이때 자율주행 차량의 센서를 인지도시킬 방법은 가상 영상을 센싱 데이터의 형태로 전송받거나 자율주행 차량의 센서가 가상의 영상을 실제 상황으로 인지할 수 있도록 하는 장치를 사용하는 방법이 필요하다[5].

4. 연구의 범위 및 내용

4.1 연구의 범위

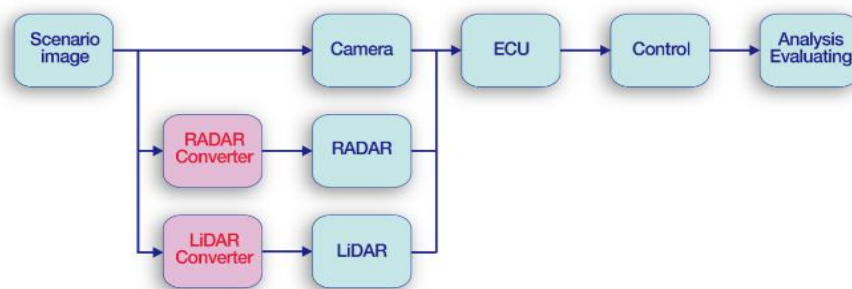
가상환경 기반 자율주행 시험평가 시스템은 기상 조건, 도로의 상태와 환경, 신호기, 주행 속도 등 수많은 상황에 대한 조합으로 평가 시나리오를 생성하고 시뮬레이션을 통해 검증해야 한다. 이때 시뮬레이션은 사고 상황, 기상 악조건 등 실제 상황에서 발생하기 어려운 주행 환경에 대한 묘사가 가능하고 같은 환경을 반복적으로 수행하여 평가할 수 있다. 따라서 본 연구는 가상 환경을 기반으로 시뮬레이션을 수행하기 위해서 VILS방식을 도입하여 운전 능력 평가의 실제 적용 가능성과 우수성을 확인하고자 하였다. VILS 평가 방법은 가상의 시뮬레이션 환경을 실제 차량에 인식시켜 자율주행 운전 능력을 평가할 방안이며 VILS를 이용한 평가 시스템 구성도는 아래 [Fig. 2] 과 같다.



[그림 2] VILS 방식

[Fig. 2] VILS Method

4.1.1 주입 모드 블록다이어그램



[그림 3] 주입모드 블록 다이어그램

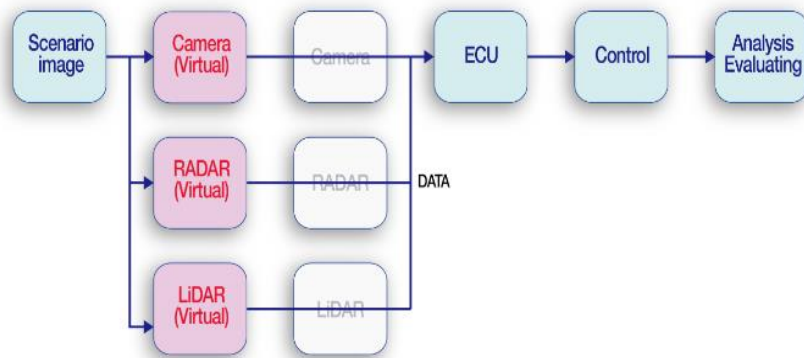
[Fig. 3] Block Diagram of the Injection Mode

주입 모드에 대한 시뮬레이션 절차는 위 그림 [Fig. 3]과 같다. 가상의 시나리오 영상은 가상 환경에서 설계된 각종 센서(카메라, 레이더, 라이다 등)에 의해 데이터가 생성되고 해당 데이터를 실제 자율주행 자동차의 ECU(Electronic Control Unit)에 주입하는 방법이다. 가상 센서에 의해 생성된 데이터는 실제 자율주행 차량과 같은 데이터 형식으로

구성되어야 하며, 실제 센서에서 생성되는 데이터 대신에 ECU로 전송된다. 이때 주입 모드는 일반적인 전장 시스템 테스트 방식과 같아 절차상으로 접근이 같은 장점이 있다. 그러나 외부 시뮬레이션 장치와 자율주행 차량의 ECU와의 연동이 필요하여 기밀 사항에 해당하는 일부 차량의 데이터의 공개가 불가피하다. 여기서 각 차량별로 각기 다른 센서 및 ECU를 사용할 경우 이에 맞춰 각각 모형을 해야 하고 모형화하는 수를 줄이기 위해 데이터 인터페이스를 표준화하는 방법이 필요하다.

4.1.2 투사모드 블록다이어그램

투사 모드에 대한 시뮬레이션 절차는 아래 [Fig. 4] 과 같다. 가상 시나리오 영상을 실제 자율주행 차량의 센서(카메라, 레이더, 라이다)가 인식할 수 있는 신호의 형태로 변환하여 주는 장치를 활용하는 방법이다. 자율주행 전체에 대한 블랙박스 형태로 시뮬레이션 평가가 가능하지만, 자율주행의 실제 레이더와 라이다가 인식할 수 있는 신호로 변환해주는 장치의 개발 구현이 필요하다. 가상환경 기반 시뮬레이션 시나리오는 자율주행 차량이 도로를 주행하면서 발생할 수 있는 도로 환경, 신호기 주변 건물 가로수 등의 도로 주변 환경, 주야간, 눈, 비, 안개 등의 기상 환경, 젖은 노면, 블랙 아이스 등의 단일 시나리오를 구성하고, 이들 단일 시나리오를 복합적으로 재구성하여 랜덤하게 생성할 수 있어야 한다. 또한 이전에 발생한 교통사고 분석을 통해 자율주행 차량이 교통사고가 발생한 상황에서 안전한 주행을 할 수 있는지도 여부도 판단해야 한다.



[그림 4] 투사모드 블록 다이어그램

[Fig. 4] Block Diagram of the Projection Mode

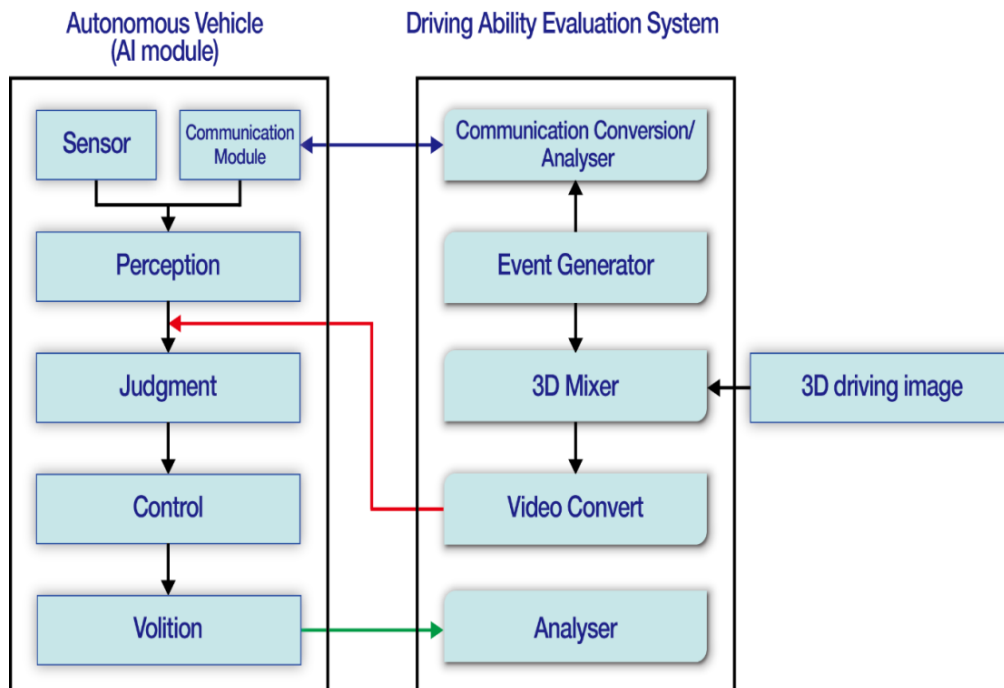
도로의 형태와 교통상황이 변할 경우를 대비하여 평가 시나리오를 추가할 수 있어야 한다. 해당 시스템 사용 시 범용적 측면에서의 자율주행 차량을 평가, 분석할 수 있는 방법으로 자율주행 차량과 별도의 케이블 연결 등의 절차를 필요로 하지 않는다. 가상환경 기반으로 생성된 평가 시나리오를 실제 자율주행 차량이 인지할 수 있도록 3D 가상 영상을 실제 영상으로 변환하는 ‘영상 컨버터’를 필요로 한다. 가상으로 생성된 시나리오의 각 개체를 실제 환경으로 변환하여 자율주행의 각종 센서(RADAR, LiDAR, Camera, Ultrasonic, GPS 등)에 입력시켜 실제 주행하는 것과 같은 효과가 발생하도록 해야 한다. 가상환경 기반의 시뮬레이션에는 자율주행에 필요한 모든 정보가 담겨 있어야 하며, 영상 컨버터는 이 정보들을 실제 센서가 인식할 수 있는 형태로 변환할 수 있어야

한다. 또한 가상환경 기반 3D 시뮬레이션 영상을 평가 시스템 센서를 통해 자율주행의 ECU로 입력시키는 방식이 필요하며 자율주행 차량에 장착된 각종 센서는 소프트웨어를 통해 미리 모델링하고 영상을 인식시켜야 한다. 가상 환경상의 센서를 통해 입력받은 데이터를 자율주행의 ECU로 입력시켜 실제 주행을 하는 것과 같은 효과가 발생하도록 해야 한다. 이를 가능하게 하기 위해서는 실제 센서를 정확하게 가상 환경상의 센서로 모델링을 해야 하며 가상 센서를 통해 생성된 입력값이나 데이터가 실제 센서에서 생성되는 것과 동일해야 한다. 더불어 센서 출력값을 각 ECU 입력시킬 수 있도록 자율주행과 연결이 필요하다. 가상환경 기반 시험평가 시스템에서 생성한 가상환경 Physical 센서 데이터를 자율주행의 ECU에 입력해 주고 ECU는 자율주행 인지, 판단, 제어 기능을 수행하고 생성된 제어 신호를 통해 자율주행은 가상환경 도로상에서 주행할 수 있다. 가상환경에서는 다양한 기상 및 교통 상황을 생성시킬 수 있으며 자율주행은 공도로 상 주행하지만 증강현실의 형태로 다양한 기상 및 교통상황에서 센싱되는 데이터를 입력받고 해당하는 상황에 적합한 자율주행을 수행하게 된다. 따라서 자율주행을 위한 인지, 판단, 제어뿐만 아니라 차량의 동역학적 특성을 모두 포함하여 운전 능력을 평가할 수 있다[6].

4.2 연구의 설계

4.2.1 구성도

가상환경 기반 자율주행 평가시스템은 가상 시뮬레이션 환경을 고려하여 설계를 주목적으로 한다.



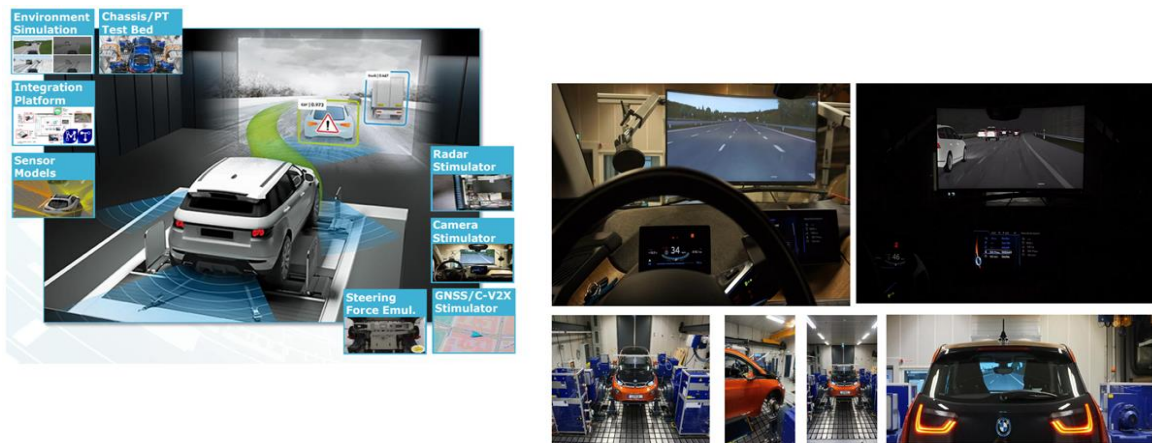
[그림 5] 자율주행 운전 능력 평가시스템 구성도

[Fig. 5] Configuration Diagram of Autonomous Vehicle Driving Ability Evaluation System

따라서 자율주행 차량을 가상의 시뮬레이션 평가할 수 있는 시뮬레이터 구성이

요구되며 테스트해야 하는 자율주행 차량은 운전 능력 평가 시스템에서 생성된 표준 데이터를 인지하고 이에 대해 적절한 반응을 할 수 있도록 하는 테스트 환경이 필요하다. 운전 능력 평가 시스템 또한 다양한 환경의 모사를 위해서 인공지능 기능을 탑재할 필요성도 있다. 이벤트 발생기를 통해 생성된 표준 데이터는 유선 또는 무선의 통신 채널을 이용하여 시험 차량에 송신되며, 통신환경에 적합한 상세 프로토콜의 정의가 필요하다. 자율주행 차량은 표준 데이터를 이해할 수 있는 기능을 필수로 갖추어야 한다.

자율주행 차량은 스스로 판단해서 주행하기도 하지만 주변 인프라와 다른 자율주행 차량 간에 통신 데이터 교환을 통하여 교통 정보를 송수신하고 이를 주행에 활용해야 하므로 통신 성능에 대한 평가도 필요로 한다. 주행에 필요한 정보를 통신을 통해 송신 또는 수신 시 통신속도(data rate), 통신 지연 시간(delay, jitter) 등을 측정하여 허용 범위 내에 속하는지에 대한 통합 테스트가 필요하다. 아래 그림 [Fig. 6]은 가상환경 기반 자율주행 운전 능력 평가 플랫폼이며 현재 도로교통공단에서 연구개발 중인 프로토타입 수준의 설계안이다.



[그림 6] 가상환경에 기반한 자율주행 운전 능력 평가 플랫폼

[Fig. 6] Autonomous Vehicle Driving Capacity evaluation platform based on the Virtual Environment

4.2.2 자율주행 운전 능력 평가시스템 요소

● 3D 믹서

영상 이미지를 자율주행 차량에 노출하기 위한 장치이다. 주행 영상 이미지와 이벤트 발생기로부터 생성된 사물의 영상을 합성하여 차량에 제공한다. 다양한 주행 환경 시나리오와 주행 시 발생할 수 있는 이벤트 상황을 조합하여 하나의 영상으로 만든다. 자율주행 차량은 합성된 이미지를 활용하여 안전 운전에 적절한 제어를 할 수 있도록 해야 한다.

● 이벤트 발생기

자율주행 차량을 테스트하기 위한 다양한 주행 이벤트를 생성하여 차량에 제공하며, 실제 주행환경에서 나타날 수 있는 장애물 등 도로교통 요소를 생성한다. 예로는 신호기, 보행자, 차량 등이 있으며 신호정보 데이터를 활용하여 장애물의 크기, 속도, 이동 방향 등의 표준화할 필요가 있다.

● 영상 변환기

자율주행 차량에 영상을 변환한 표준화된 데이터를 전송하기 위한 장치이다. 주행 영상과 이벤트 발생기에서 생성된 영상 데이터를 자율주행 차량이 인지할 수 있도록 표준화된 데이터로 변환하며, 자율주행 차량에 유선 또는 무선의 채널을 사용하여 송신한다. 각 영상 시나리오 및 장애물에 대한 데이터의 표준화 정립이 필요하며, 통신에 사용할 프로토콜에 대한 정의 또한 함께 제시되어야 한다.

● 통신 변환/분석기

이벤트 발생기에서 생성된 통신 데이터를 무선 채널을 이용하여 자율주행 차량에 제공하며, WAVE, 5G 등의 프로토콜을 지원해야 한다. 통신성능은 전송속도(data rate)와 지연시간(delay) 등을 측정하여 판단하며 허용 범위에 속하는지 여부를 판단한다. 자율주행 차량에 주행 정보를 제공하기 위한 주행 정보 메시지와 통신 연결 및 왕복시간, 지연시간 등을 측정하기 위한 테스트 메시지로 구성할 수 있다.

● 분석기

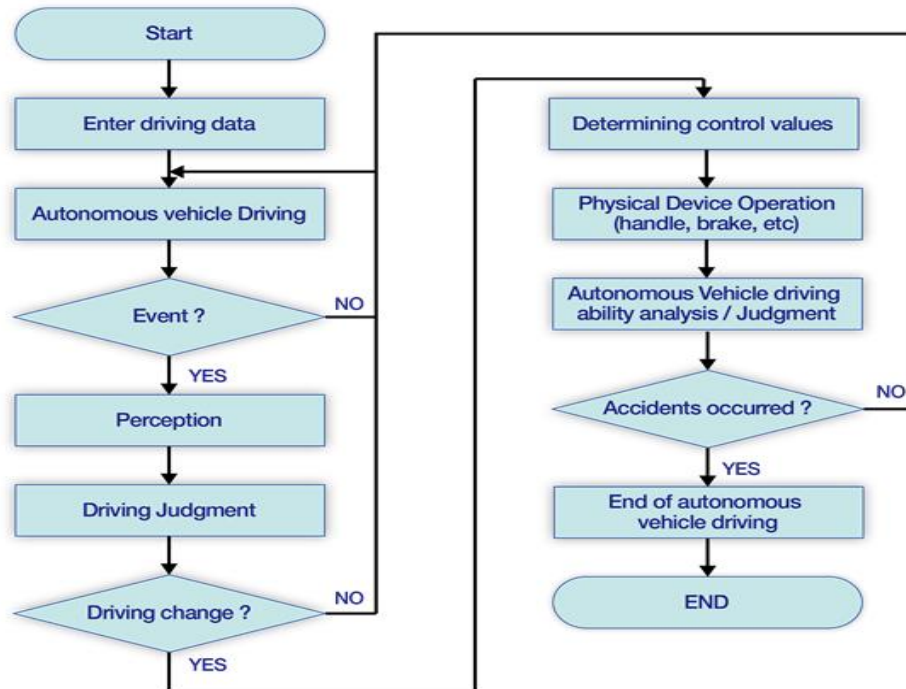
각종 테스트 주행 시나리오에 대한 자율주행 차량의 대응을 분석하고 판단하는 장치이다. 자율주행 차량이 이벤트 발생기에서 생성된 장애물을 적절하게 회피하였는지 등의 안전 운전 여부를 객관화된 지표로 평가하고 등급화(점수화)하는 역할을 한다. 다양한 시나리오별 객관화된 지표의 수립이 필요하며 향후 자율주행 운전 능력 시험평가를 통한 운전면허에도 활용할 수 있을 것이다. 참고로 아래 그림 [Fig. 7]은 가상환경 기반에 의한 자율주행 운전 능력 수준별 운전면허 등급 표시를 나타내며 도로교통법 관점하에 자율주행의 운전 능력에 따라 운전 행위가 가능한 도로구간과 운전 능력지수에 의한 안전 운전 수준을 의미한다. 해당 그림은 본 연구를 통하여 디자인 특허등록(특허청, 21.09.30)까지 완료하였다.



[그림 7] 자율주행 운전 능력 등급 예시

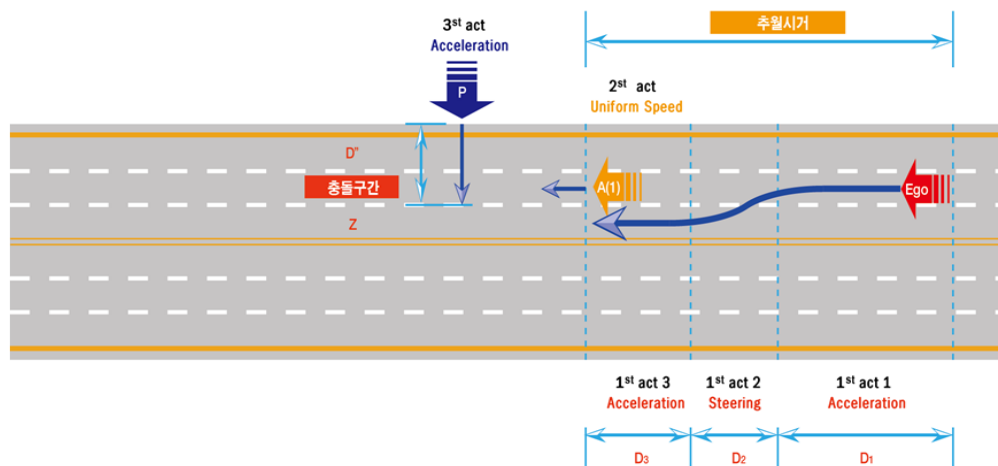
[Fig. 7] Example of Level of Autonomous Vehicle Driving Ability

4.2.3 자율주행 운전 능력 평가시스템 프로세스



[그림 8] 자율주행 운전 능력 평가시스템 작동원리

[Fig. 8] Operation Principle of Autonomous Vehicle Driving Ability Evaluation System



➤ **Ego** : 자율주행, **Actor** : 일반차량, **Pedestrian** : 보행자

[그림 9] 자율주행 운전 능력 평가시나리오 예시

[Fig. 9] Evaluation scenario of Autonomous Vehicle Driving Ability Evaluation System

예시_자율주행 안전운전능력 평가기법 및 모형개발(Safe in Use 기반 시나리오)																															
평가대상	평가조건	평가기준	평가요소	평가내용	평가방법																										
#1	<div>■교통조건</div> <div>·신호기(3색등) : 적색→녹색</div> <div>·제한속도 60km/h</div> <div>■도로조건</div> <div>·보조간선도로</div> <div>·왕복8차로(편도4차로)</div> <div>·횡단보도(예고표시)</div> <div>■기타조건</div> <div>·자율주행 : 전방을 향해 주행중</div> <div>·주변차량 : 신호대기중</div> <div>·보행자 : 보행자 대부분 횡단마침</div> <div>·시간대 : 비점도 시간</div>	<div>■위험행동기준</div> <div>·급감속</div> <div>·급정지</div> <div>※ 자율주행 위험행동결과 분석</div>	<div>■위험예측능력</div> <div>·악의적인 주행 환경과 다양한 운전 상황을 고려한 고신뢰성 안전운전능력 평가</div>	<div>■평가상황</div> <div>·보행자의 갑작스러운 출현으로 나타난 돌출행동에 대한 대응능력</div>	<div>■평가적용</div> <div>·VILS(Vehicle in the Loop Simulation) 기반 평가</div> <table><tr><th>시스템 투입요소</th><th>유무</th></tr><tr><td>사고지역</td><td>●</td></tr><tr><td>사고시간</td><td></td></tr><tr><td>사고날씨</td><td></td></tr><tr><td>사고유형</td><td></td></tr><tr><td>사고영상</td><td></td></tr><tr><td>사고요약</td><td></td></tr><tr><td>속도변화량</td><td></td></tr><tr><td>차량및보행자정보</td><td></td></tr><tr><td>차량제조사</td><td></td></tr><tr><td>차량CAN</td><td></td></tr><tr><td>차선/차로정보</td><td></td></tr><tr><td>주변차량정보</td><td></td></tr></table>	시스템 투입요소	유무	사고지역	●	사고시간		사고날씨		사고유형		사고영상		사고요약		속도변화량		차량및보행자정보		차량제조사		차량CAN		차선/차로정보		주변차량정보	
시스템 투입요소	유무																														
사고지역	●																														
사고시간																															
사고날씨																															
사고유형																															
사고영상																															
사고요약																															
속도변화량																															
차량및보행자정보																															
차량제조사																															
차량CAN																															
차선/차로정보																															
주변차량정보																															
	<div>■발생상황</div> <div>·자율주행차량은 편도2차로상 적색신호에 정지하려 했으나 녹색신호변환에 따라 횡단보도를 통과하려고 함</div> <div>·이때 보행자(어린이)는 뒤늦게 신호를 무시하고 횡단보도 진입을 시도</div>	<div>■급감속</div> <div>·초당 7.5km/h 이상 ~ 40km/h 이하 감속 운행한 경우</div> <div>·평가지표(위험지수 등급화)</div> <div>※ 5등급~1등급 구분</div> <table><tr><th>구분</th><th>5등급</th><th>4등급</th><th>3등급</th><th>2등급</th><th>1등급</th></tr><tr><td>최초변화량</td><td>40~55</td><td>34~39</td><td>29~33</td><td>24~28</td><td>19이하</td></tr></table>	구분	5등급	4등급	3등급	2등급	1등급	최초변화량	40~55	34~39	29~33	24~28	19이하			<div>■자율주행 운전상황</div> <div>·자율주행차량 센서기반으로 독립주행 중일 경우</div>														
구분	5등급	4등급	3등급	2등급	1등급																										
최초변화량	40~55	34~39	29~33	24~28	19이하																										
		<div>■급정지</div> <div>·초당 7.5km/h 이상 ~ 40km/h 이하 감속하여 속도가 "0"이 된 경우</div> <div>·평가지표(위험지수 등급화)</div> <div>※ 5등급~1등급 구분</div> <table><tr><th>구분</th><th>5등급</th><th>4등급</th><th>3등급</th><th>2등급</th><th>1등급</th></tr><tr><td>최초변화량</td><td>40~55</td><td>34~39</td><td>29~33</td><td>24~28</td><td>19이하</td></tr></table>	구분	5등급	4등급	3등급	2등급	1등급	최초변화량	40~55	34~39	29~33	24~28	19이하																	
구분	5등급	4등급	3등급	2등급	1등급																										
최초변화량	40~55	34~39	29~33	24~28	19이하																										

출처 : 상기 평가기준은 한국교통안전공단 운행기록분석 시스템 11대 위험운전행동 기준으로 설계함 (<http://etas.ts2020.kr/etas/ftrl0401/pop/gdList.do>)

[그림 10] 자율주행 운전 능력 평가기준과 내용

[Fig. 10] Evaluation Criteria and Contents of Autonomous Vehicle Driving Ability Evaluation System

- ① 3D 믹서는 영상 변환기를 통해 테스트 차량에 주행 영상과 이벤트 영상을 제공한다.
- ② 자율주행 차량은 주행 영상에 따라 정상적인 자율주행을 진행한다.
- ③ 이벤트 발생기를 통해 자율주행 차량의 안전 운전을 방해하는 장애물을 생성하여 주입한다.
- ④ 상호 통신(WAVE, 5G 등) 성능 테스트를 수행한다
- ⑤ 자율주행 차량에 테스트 메시지를 송신하여 통신연결, 왕복시간을 측정하고, 연속적인 테스트 메시지 송수신하여 메시지 간 통신 지연 시간 등을 확인한다.
- ⑥ 자율주행 차량은 이벤트 발생기를 통해 생성된 주변 정보를 수신하고 분석한다.
- ⑦ 자율주행 차량은 안전 운전에 방해되는 물체(물체의 종류, 위치, 속도, 이동 방향)를 인지하고 물체의 이동 방향을 예측하여 안전 운행이 가능한 주행상태 혹은 정지상태를 결정한다.
- ⑧ 자율주행 차량은 주행의 변경이 필요한 경우 결정된 제어 값에 따라 운전대, 브레이크 등을 적절히 조절하여 안전운행 상태를 유지한다.
- ⑨ 분석기는 주행변경 값을 수집하여 기존에 설정된 안전운전 지표 값과 비교 분석하여 자율주행 안전 운전 여부를 결정한다.
- ⑩ 다양한 자율주행 시나리오에 대하여 상기 단계를 반복하여 테스트 데이터를 산출한다.
- ⑪ 반복된 데이터 값을 바탕으로 운전 능력 등급을 결정한다.

상기 이벤트 발생기에서 생성되는 데이터는 영상 데이터와 통신 데이터로 구분되며

단일 혹은 복합적으로 구성될 수 있다. 자율주행 차량은 다양한 주행 환경의 테스트를 수행할 필요가 있으며, 이를 통해 더욱 안정적인 주행이 가능한 시스템임을 증명할 수 있다[7].

4.2.4 자율주행 운전 능력 평가 시스템 고장 분석

자율주행 차량에 고장이 발생한 때도 고려하여 평가시스템을 구축할 필요가 있다. 다양한 원인으로 인하여 차량에 고장이 발생하면 오동작을 하게 되고 이에 따라 안전한 자율주행을 저해하는 요소로 작용할 수 있다. 차량의 고장은 자가 진단을 통해서 발견할 수 있도록 설계가 필요하고 시스템의 이중화, 삼중화 등을 통해 안전성과 가용성을 높일 수 있어야 한다. 주기적인 자가 진단으로 고장이 발견될 때 미리 정의된 안전 모드로 진입하고 고장의 중요도와 위험 요소에 따라 지정된 모드 또는 선택할 수 있는 운전 모드로 전환되어야만 한다. 따라서 시스템 고장으로 인하여 운전 모드의 변경이 필요한 경우 정상적으로 운전 모드가 변경되는지 여부도 운전 능력 평가 시스템에서 다양하게 점검해 볼 필요가 있다. 일반(사람) 운전자를 대신하는 시스템에 대한 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis) 정의가 필요하고 평가 절차 및 방법에 대한 검증이 선행되어야만 한다. 이에 따라 특정 부분에 고장이 발생할 때 대비한 시뮬레이션도 필요하다. 해당 시스템은 다양한 원인으로 인하여 고장이 발생할 수 있으며 이에 따라 전체 시스템이 오동작하거나 동작이 불능한 상황이 발생할 수도 있다. 따라서 특정 부분에 고장이 발생한 경우를 가정하여 위의 절차를 반복하여 정상 주행이 가능한지 혹은 안전한 상태(fail safe)로 동작할 수 있는지 분석도 필요하다. 상기 프로세스 중 고장 모드 분석을 위하여 특정 부분의 데이터를 왜곡 또는 배제하여 분석할 실시할 필요가 있으며 특정 고장모드에서의 표준화된 안전 운전 데이터를 설정하고 이와 비교분석하여 평가해야 한다[8].

4.2.5 자율주행 운전 능력 평가 시스템 센서 고장상황

카메라 등의 센서에서 고장이 발생한 경우를 가정하여 테스트를 수행해야 한다. 센서에서 ECU로 데이터값이 전달되지 않거나 잘못된 값이 입력되는 경우 해당 센서의 데이터 값을 배제하고 가능한 동작 모드 중 한 가지를 선택한다.

고장이 발생한 부분을 제외한 다른 센서의 데이터와 통신 데이터를 활용하여 운전자 및 보행자의 안전을 확보해야 한다[9].

4.2.6 자율주행 운전 능력 평가 시스템 통신 모듈고장 상황

자율주행 운전 능력 평가 시스템 통신 모듈의 고장의 경우는 주위의 정보 데이터를 얻지 못할 뿐 자율주행 차량 스스로 주행이 가능한 경우도 존재한다. 따라서 해당 경우에는 자율주행 차량 스스로 판단을 하여 자율주행 여부를 결정하고 이를 사용자(운전자 or 관제센터)에게 알려주어야 한다. 고장이 발생한 부분에 대한 정보도 사용자에게 알려주어야 한다.

- ① 선택 가능한 동작 모드
- ② 자율주행 모드
- ③ 수동 운전 모드
- ④ 비상 정차 모드
- ⑤ 저속 비상 주행 모드

5. 연구의 시사점

자율주행 상용화 시 기존의 운전 제어권이 사람 중심에서 차량 중심으로 이관될 것으로 예상된다. 따라서 현행 사람 중심의 운전면허 제도 또한 변화가 불가피할 것으로 판단된다. 자율주행 운전 능력 시험평가는 자율주행 기능 안전성 뿐만 아니라 운전 주체에 대한 평가도 동시에 수반되어야 한다. 다양한 주행 환경에서 정상적인 운행을 위해서는 사람과 유사한 지능을 보유한 인공지능이 자율주행에 탑재될 것이며, 이에 대한 객관적인 평가도 필요하다. 다양하고 복잡한 주행 환경을 반영할 수 있는 시스템 도입과 함께 인공지능에 대한 객관적인 평가가 체계를 마련 해야 한다. 이와 함께 더욱 다양하고 복잡한 주행환경 구성을 위해서 360° 테스트가 가능한 시뮬레이션 환경을 구축하여 실제 주행과 유사한 환경 구축이 필요하다. 현재와 마찬가지로 자율주행 상용화 시대 궁극적인 목표는 사람의 안전이며 자율주행을 더욱 효율적으로 이용하기 위해서는 자율주행에 대한 도로교통법 관점의 운전면허 정책과 제도가 마련되어야 한다. 자율주행 운전 능력 시험평가는 자율주행 운전행동 시 발생할 수 있는 모든 상황을 포함해야 한다. 그 이유는 자율주행은 초보 운전자가 아닌 숙련된 운전자를 대체해야 하기 때문이다. 통상적으로 숙련된 일반 운전자는 조작 상의 운전 능력뿐만 아니라 사고가 발생할 가능성이 큰 상황에서도 안전 운전을 가능하게 하는 위험예측과 대비도 포함하고 있다. 따라서 자동차의 운전 주체가 일반(사람) 운전자에서 차량 등 기계 중심으로 전환될 때 현행 사람 중심의 운전면허제도 적용이 필요하다. 향후 자율주행은 다양하고 복잡한 주행환경에 놓이게 될 것이며, 도로 이용자 관점에서의 운전 능력을 검증해야 한다. 국내 운전면허를 관장하고 있는 도로교통 공단에서는 자율주행 차량이 일반(사람) 운전자와 동등한 능력 이상의 운전행동 능력을 보유해야만 운전면허가 발급될 것이라고 강조하고 있다. 본 연구는 자율주행 운전 능력을 평가하기 위해 평가모형의 기본설계를 제시하였는데 자율주행 운전 행동의 인지·제어·조작은 사람이 운전할 때 일어나는 매커니즘과 같은 절차를 거치는 것을 전제로 하고 있다.

따라서 가상 환경 기반의 운전 능력 평가 시스템을 구축하기 위해서는 자율주행 차량 제조사의 정보 공개가 필요하다[10].

6. 결론 및 향후 연구과제

6.1 연구의 한계점

자율주행 평가 시스템은 SILS, HILS, VILS가 주요 활용 대상이며, 이를 운전 능력 평가 시스템에 적용하기 위해서는 제조사의 데이터, 알고리즘 등의 오픈소스 공개 여부가 관건이다. 또한 자율주행 평가 시나리오를 위해서는 도로 및 교통 환경, 기상 조건 등 수많은 경우를 고려해야 하며 다양한 변수를 복합적으로 검증해야 한다. 이때 평가 시나리오 경우의 수에는 실제 환경을 포함할 수 있도록 하는 시나리오의 표준화가 중요하다. 본 연구는 자율주행 평가 시나리오의 경우도 단일 및 복합 환경 등 구성 방법에 따라 난이도를 달리 설계하는 한계점이 있고 평가 난이도를 반영하여 평가 점수 및 등급을 객관화를 제시하지 못하였으나 추후 연구과제로 수행할 계획이다.

6.2 결론

자율주행 기술이 날로 발전하는 가운데 자율주행의 안정성을 검증하는 방법은 여전히 미흡하다. 기존 시험 방식으로는 자율주행을 시험평가 하는 데 한계가 있다. 특히 자율주행 운전 행동 제어권이 사람 중심에서 차량 중심으로 전환될 것으로 예상됨으로써 현행 사람 중심의 운전면허 제도 또한 변화가 불가피할 것으로 판단된다. 따라서 자율주행 시대에는 자율주행 자체 기능 안전성뿐만 아니라 운전 주체에 대한 평가도 동시에 수반되어야 할 것이다. 자율주행 평가 시스템은 SILS, HILS, VILS가 주요 활용 대상이며 이를 운전 능력 평가 시스템에 적용하기 위해서는 제조사의 데이터, 알고리즘 등의 오픈소스 공개 여부가 관건이다. 또한 자율주행 평가 시나리오를 위해서는 도로 및 교통 환경, 기상 조건 등 수많은 경우를 고려해야 하며 다양한 변수를 복합적으로 검증해야 한다. 이때 평가 시나리오 경우의 수에는 실제 환경을 포함할 수 있도록 하는 시나리오의 표준화가 중요하다. 상기 내용을 근간으로 본 연구의 결론을 다음과 같이 제시하였다.

첫째, 다양한 주행 환경에서 정상적인 운행을 위해서는 사람과 유사한 지능을 보유한 운전 주체인 자율주행 인공지능 시스템이 자율주행 차량에 탑재될 것이며, 이에 대한 객관적인 운전 능력 평가도 필요하다. 다양하고 복합적인 주행 환경을 반영할 수 있는 평가 시스템 도입과 함께 자율주행 인공지능에 대한 객관적인 평가가 가능하도록 평가 기준과 평가지표를 마련해야 한다.

둘째, 자율주행 운전 능력 시험평가는 교통안전 차원에서의 실 환경 테스트가 가능한 자율주행 평가 시뮬레이션 환경을 구축하여 실제 주행과 유사한 환경 구축이 중요하다.

현재와 마찬가지로 자율주행 운전 능력의 시험평가 차원에서의 궁극적인 목표는 사람의 안전이며 모두가 이해하고 공감할 수 있는 자율주행의 사회적 수용이다.

자율주행을 보다 안전하고 효율적으로 이용하기 위해서는 자율주행에 대한 운전면허 정책과 제도가 마련되어야 한다.

셋째, 자율주행 자동차 임시 운행을 위한 시험 운행과 자율주행 자동차 운전 능력평가는 분명한 차이점이 존재한다. 자율주행 자동차 임시운행을 위한 시험 운행의 경우에는 주로 자율주행의 연구개발을 위해 수행되는 것으로서 시험운행에 사용되는 차량 및 센서 기술과 운전 능력이 완전하지 못한 것이 일반적이다. 자율주행 운전 능력 시험평가의 경우에는 차량 및 센서 기술과 운전 능력이 어느 정도 완성된 차량에 대하여 상용화를 위한 최종 점검이라 할 수 있다. 따라서 자율주행 운전 능력 시험평가는 자율주행 자동차의 운전 능력에 대한 보다 객관적이고 종합적인 평가가 수행되어야 할 필요가 있다.

넷째, 자율주행 운전 능력 시험평가를 위해서는 “자율주행 자동차의 안전 운행요건 및 시험 운행 등에 관한 규정”에서 시험 운행을 위해 도로교통법에 따라 자율주행 자동차의 운전 능력 시험평가를 위한 제도 및 절차가 제정될 필요가 있다. 이를 위해서는 차량 제작 및 시험운행에 초점이 맞추어져 있는 임시운행 허가제도 보다는 도로교통법 준수 여부, 기계 윤리에 대한 부분을 해결하고 종합적인 운전 능력에 대한 보다 심도 있는 평가체계가 필요하다.

마지막으로 유럽의 경우 자율주행의 상용화를 위해 완성차 업체 및 부품 업체에서

기술 개발을 담당하고 있으며 국가 차원에서 표준화 및 법규, 상용화를 담당하는 이분화된 구조를 지니고 있다. 선진국의 사례를 참고하여 국내의 경우도 완성 기술의 표준화 및 법규 제정과 상용화를 위해 정부 차원의 정책 지원이 중요하다. 이를 위해서는 국가별 교통 법규, 정책, 도로 환경 등이 다르기 때문에 각 나라의 교통 문화에 적합한 제도 및 평가를 위한 환경이 구축되어야 한다. 한편 자율주행 기술 Lv. 4 이상의 차량 보급이 시작되는 본격적인 자율주행의 경우 2027년 이후에 가능할 것으로 전망되기 때문에 단계적인 절차 수립을 통해 장기적인 관점에서 보다 체계적인 대응이 요구되고 있다. 또한 자율주행 인지·판단·제어 등 사용자와의 인터페이스 측면에서 인공지능 기술 수준이 미흡한 실정이다. 따라서 자율주행 운전 능력 시험평가는 인간이 운전할 때 일어나는 일련의 과정을 차량이 대신하는 것이고, 인간의 운전 능력 이상인 경우에 모두가 공감하고 사회적으로 수용해야 한다는 사실을 인식해야 한다.

6.3 향후 연구과제

자율주행의 상용화에 따라 운전자, 보행자 등 다양한 관점에서 안전성을 확보하기 위해서는 자율주행 대상으로 시험평가에 관한 연구가 반드시 수행되어야 한다. 자율주행을 위하여 설치된 다양한 검지 체계를 통하여 수집되는 가상의 데이터 또는 신호 정보를 생성한다. 일반 운전자가 운전 중에 필요한 능력은 세 가지인데 인지, 판단, 제어 순이다. 이 중 가장 먼저 필요한 능력이 바로 인지능력이다. 해당 인지능력을 대체하는 것이 자율주행의 센서이다. 자율주행 주요 센서인 카메라, LiDAR, RADAR 등 각종 인지 체계의 가상 데이터 Input 역할은 가상으로 생성된 인지 데이터로 실제로 교통환경을 현실적으로 반영하여 정보를 생성하는 가상 인지 환경생성 모듈에 의하여 생성한다. 가상의 인지 환경으로부터 생성된 데이터 또는 신호는 자율주행을 위한 인공지능의 입력 자료로 변환되어 입력된다. 자율주행에 탑재된 인공지능 시스템이 인지할 수 있는 표준화된 정보 Set으로 변환할 수 있도록 Interface를 구축하고 이를 통하여 데이터 변환 가상인지 환경 데이터 입력 후 자율주행 인공지능은 입력 자료를 기반으로 가상 환경에 적합한 주행 의사결정을 수행하며, 차량을 제어하기 위한 제어 명령 생성은 차량 거동의 적합성 여부를 판단해야 한다.

7. 감사의 글

이 논문은 2018년도 도로교통공단 교통과학연구원 자체과제 연구지원으로 수행되었음.

References

- [1] Kim Joong Hyo, The study on the Autonomous Vehicle AI Driving Capacity estimation method & model development I, Korea Road Traffic authority, pp.1-10, (2018)
DOI: https://www.koroad.or.kr/kp_web/rndBiz2.do
- [2] Kim Joong Hyo, Study on the Evaluation Method of Autonomous Vehicle Driving Ability Based on Virtual Reality, The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, (2021), Vol.20 No.5, pp.202-217.
DOI: <https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.5.202>
- [3] Thorn Eric, Kimmel shawn C, Chaka Michelle, A Framework for Automated Driving System Testable Cases and Scenarios, National Highway Traffic Safety Administration, (2018)

Available from: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/38824>

- [4] Amnon Shashua and Shai Shalev-Shwartz, A Plan to Develop Safe Autonomous Vehicles. And Prove It, A Intel Company, pp.2-5, (2018)
- [5] Vehicles (CAVs): Accelerating Innovation, Integration, Deployment and Sharing Results, Road Vehicle Automation 5, pp.197-206, (2019)
DOI: https://10.1007/978-3-319-94896-6_17
- [6] Rajat Sagar, Making cars safer through technology innovation, Texas Instruments, (2017)
- [7] S. M. Skippon, Questionnaire measures of attitudes and driving behaviour: their relationships to driving behaviour measured in driving simulator, Symposium of The Korean Society of Automotive Engineers, pp.111-118, (2020)
- [8] Jaesik Lee, A Driving Simulation Study for the Effects of Divided-Attention on Driving Performance: Comparison of Young and Old Drivers, Journal of the Korean Data Analysis Society, (2003), Vol.5, No.4, pp.705-718.
- [9] Hermann Winner, Karsten Lemmer, Thomas Form and Jens Mazzega, PEGASUS—First Steps for the Safe Introduction of Automated Driving, Road Vehicle Automation 5, Springer, pp.185-196, (2018)
- [10]<https://www.businesswire.com/news/home/20180703005628/en/Baidu-to-integrate-Mobileye's-Responsibility-Sensitive-Safety-Model-Into-Apollo-Program>, Jul 03 (2018)