

자율주행 안전 개발 프로세스와 시뮬레이션 표준 Autonomous Driving Safety Development Process and Simulation Standards

박근남 · 기석철

Geunnam Park and Seok-Cheol Kee

1. 서 론

미국자동차공학회(SAE) J3016 에서는 자동차의 주행 자동화를 6단계로 정의하고 있다¹⁾. 기존 자동차 기업과 신규 ICT 기업들은 3단계 이상의 고도 자율주행 시장의 주도권을 잡기 위한 무한 경쟁을 펼치고 있다. 그럼에도 불구하고 당초 예상보다 자율주행의 상용화 시기가 지연되고 있는 이유 중에 하나는 고도 자율주행기술의 안전성을 검증하기 위한 평가 절차와 방법론에 대한 준비에서 찾을 수 있다. 이에, 자동차 안전 개발 프로세스와 최근 그 필요성이 강조되고 있는 시나리오기반 시뮬레이션 기술의 표준화 동향에 대해 알아보하고자 한다.

2. 자동차 안전개발 표준 프로세스

높은 2000년대 이후 신규 자동차에 각종 전기전자시스템의 도입이 확대되면서 자동차산업은 V&V(Verification & Validation) 프로세스 개발이 일반화되었다. 초창기 V&V 프로세스는 간단한 전자 부품의 단위 모듈 또는 시스템을 대상으로 시작하였다. 그 이후 전자제어 조향시스템, 전자제어 제동시스템과 같이 고도로 복잡하고 높은 수준의 안전 요구사항을 만족해야 하는 시스템이 개발되면서 ISO 26262 (Functional Safety) 표준 규격으로 발전하였다²⁾. ISO 26262에서는 예를 들어 ‘운전자가 의도하지 않은 조향 방지’ 와 같은 안전 목표 (Safety Goal)를 설정하고, 제조사가 이를 달성하기 위한 안전기술을 개발 프로세스 과정에서 모두 적용했음을 입증하는 표준 프로세스와 산출물들을 정의하고 있다. Functional Safety 표준 프로세스는 기능의 고장으로 인해 치명적인 사고 가능성이 있는 전자제어시스템의 위험 확률을 수용 가능한 수준으로 줄이기 위한 활동으로 그림 1과 같이 구성되어 있다.

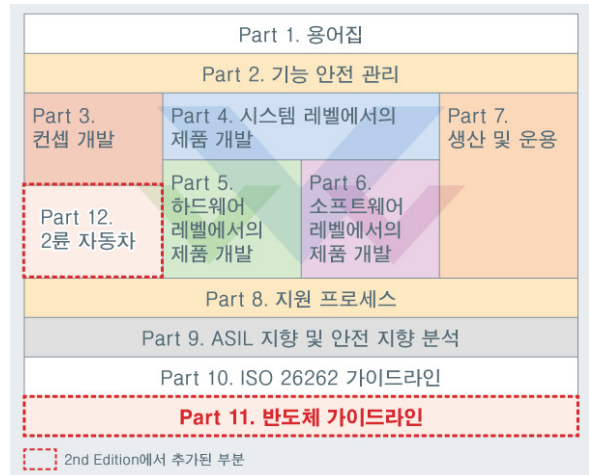


Fig. 1 ISO26262 Overview

전자제어 시스템의 발전과 동시에 전방 감지카메라, 레이더, 초음파와 같은 능동안전시스템을 위한 지능형 센서들의 개발이 이어지면서 ADAS 산업이 성장하였다. 예측하기 어려운 시스템의 H/W와 S/W 오류의 발생 확률을 줄이는 ISO26262 개발 프로세스와는 달리 ADAS는 의도된 기능의 오류를 검증할 필요성이 요구되었다. 전방 카메라를 가정한다면, 시스템 측면에서 카메라가 정상적으로 동작하더라도 폭설, 폭우와 같은 환경에서 차선 또는 차량인식에 실패하는 경우에도 안전 대책을 강구해야만 한다.

이와 같이 의도된 시스템 인지 기능의 오류를 검토하고, 안전성을 확보하기 위한 프로세스를 ISO 21448 (Safety Of The Intended Functionality, 이하 SOTIF)에서 다루고 있다. 시스템의 의도된 기능은 예측 가능성 측면에서 Known과 Unknown으로 구분할 수 있고, 오류 발생 후 안전성 측면에서 Safe와 Unsafe로 구분할 수 있다. 그림 2에서 설명하는 것과 같이 예측 가능성과 상관없이 Safe 상태는 SOTIF의 관심 영역은 아니고, Known-Unsafe 영역과 Unknown-Unsafe 영역의 발생 확률을 낮추는 방법을 찾는 것이 SOTIF 활동의 대상이 된다.

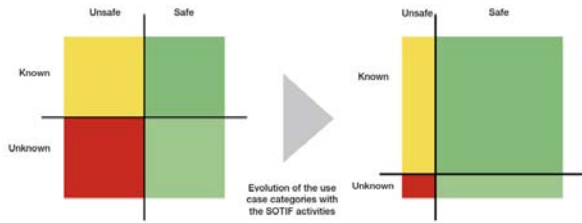


Fig. 2 SOTIF Approach

차선이탈방지, 자동긴급제동 등과 같은 ADAS 기능들은 SAE J3016 기준으로 자율주행 2단계 이하로 분류된다. 자율주행 2단계까지는 독립적인 단위 기능의 시스템이기 때문에 기존의 안전성 검증 프로세스로 대응이 가능하였다. 현재 버전의 SOTIF 표준도 자율주행 2단계 이하의 시스템만을 적용 범위에 포함하고 있다. 따라서, 이종센서 퓨전, DCU, 차량 내부 통신, 전자제어 샴시 시스템 등이 통합되고, V2X 통신에 의한 자율주행 인프라(OTA, HD Map, 안전주행 정보 제공)까지 포함되는 3단계 이상의 자율주행 시스템의 안전성을 검증하기 위해서 최근에는 시나리오 기반의 시뮬레이션 기술이 대안으로 선택되고 있다.

3. 시나리오기반 시뮬레이션 표준

자율주행 기술 연구는 실제 운전의 복잡성을 포함하기 때문에 다양한 위험 요소를 동반하며, 방대한 절차 및 테스트가 필요하다. 이와 같은 위험과 시간적 요소를 해결하고자 시뮬레이션을 이용하여 자율주행 시스템의 문제의 원인에 대한 해결 방안을 찾을 수 있다.

시뮬레이션은 첨단 운전자 보조 기능 테스트와 자율주행 기능 분석 및 검증을 가상현실에서 수행하는 것이다. 자율주행 상황 중 발생할 수 있는 위험 요인들은 옛지 케이스에서 문제가 되기 때문에 다양한 시나리오 테스트를 요구한다. 따라서 OEM에서 사용하고자 하는 시뮬레이션은 다양한 시나리오 생성 및 도구를 지원해야한다.

3.1 시뮬레이션 표준 ASAM(Association for Standardization of Automation and Measuring Systems)

OEM들은 자율주행 기술을 시뮬레이션에서 테스트를 진행할 때 요구하는 다양한 시나리오가 증가함에 따라 전문적인 시뮬레이션 도구가 필요하게



Fig. 3 ASAM Simulation Standard

되었다. 이는 자율주행 기술 안전성을 검증하기 위한 상호 운영성을 가진 시뮬레이션 도구의 표준 정의가 필요하다.

ASAM(Association for Standardization of Automation and Measuring Systems)은 자율주행 시뮬레이션에 대한 OpenX라는 표준을 제정하고 있다³⁾. ASAM의 목적은 그림 3과 같이 자동차 개발 및 테스트 단계에서 도구 체인의 표준화를 추진하는 비영리 단체이다. 전 세계 자동차 산업의 제조업, 엔지니어링 서비스 제공업체 및 연구기관 350 개 이상이 회원으로 등록되어있다. 충북대학교도 자율주행 시뮬레이션 관련 과제를 수행하고, 표준 기술개발에 참여하고자 2021년에 ASAM 회원으로 등록하였다.

OpenX 표준으로는 먼저 신호, 교통 인프라와 같은 도로 네트워크 주변의 정적 물체에 대한 표준인 OpenDRIVE가 있다. 시뮬레이션을 통해 ADAS(Advanced Driver Assistance System) 기능을 개발하고, 검증할 수 있는 도로 네트워크 설명 제공을 목적으로 한다.

OpenSCENARIO는 복수의 독립체이며, 주행 시뮬레이션 내 가상 개발, 자율주행 시뮬레이션 테스트 검증에 사용을 위한 표준을 제안하였다. 날씨, 운전 형태 등 주행 및 교통 시뮬레이터의 동적 콘텐츠가 포함되어 있다. 그림 4는 OpenX 표준을 기반으로 유럽에서 진행한 PEGASUS 프로젝트이다⁴⁾. 시나리오 기반 시뮬레이션 표준으로 PEGASUS 프로젝트의 OpenDrive는 Layer 1, 2단계에 해당된다. OpenSCENARIO는 Layer 3, 4단계에 해당된다.

OpenOSI는 Open Simulation Interface로써 자율주행 프레임워크, 센서 모델 간 일반적인 인터페이스 정의에 대한 표준을 제안한다. 개별 구성 요소의 모듈화 및 상호 호환성을 보장하기 위한 것이 목적이다. 통합을 단순화하여 가상 테스트의 접근성과 유용성을 대폭 강화하는 것이 목표이며, Ground Truth

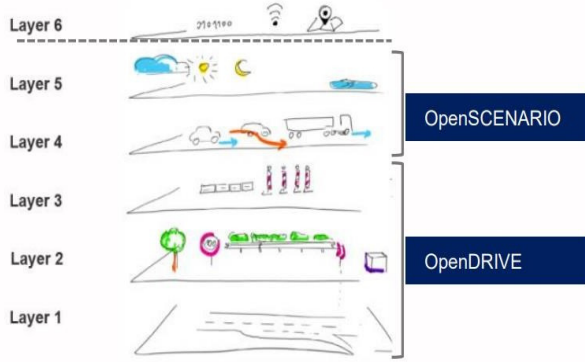


Fig. 4 PEGASUS Project

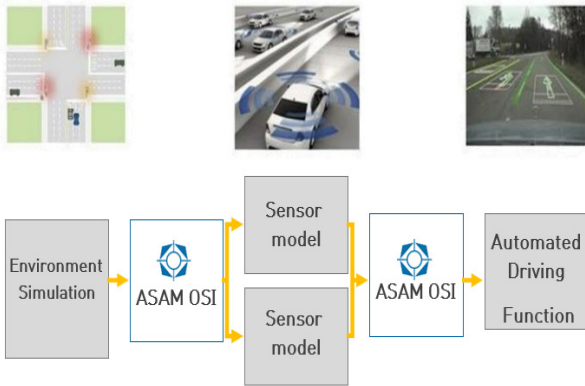


Fig. 5 ASAM Open Simulation Interface

인터페이스와 Sensor data 인터페이스의 개별 최상위 메시지로 구성되어 있다. 시뮬레이션 내 자율주행에 필요한 센서 모델에 대한 입력으로 사용할 수 있다. 통합 모듈인 OSI를 그림 5에 표시하였다.

OpenCRG는 곡선 정규 그리드를 활용해 도로 노면 파일 포맷의 정의 기준을 제안한다. 시뮬레이션으로 공급될 수 있는 노면 설명을 제공하고, 노면 설명을 교환하는 것이 목적이다. 도로의 기준선과 높이, 그리드를 기반으로 도로 표면의 구조를 묘사하여 차량 동역학, 타이어 진동을 바탕으로 주행 시뮬레이션을 위한 표준을 제안한다.

OpenDRIVE와 OpenSCENARIO를 병합하여 시나리오 기반 시뮬레이션을 생성하는 과정을 그림 6에 설명하였다. 여기서 OpenCRG는 OpenDRIVE에 도로 노면에 대한 정보를 제공한다. 통합형 OpenSCENARIO는 자율주행 운전 기술을 시나리오 기반으로 시뮬레이션 할 수 있는 다양한 통합 모듈을 제공한다. 차량, 보행자 및 기타 교통과 같은 여러 객체를 동기화된 움직임으로 제공한다. 동기화된 움직임을 구현하는 방법은 3-2에서 OpenX를 기반으로 개발되고 있는 시뮬레이터를 중심으로 설명하고자 한다.

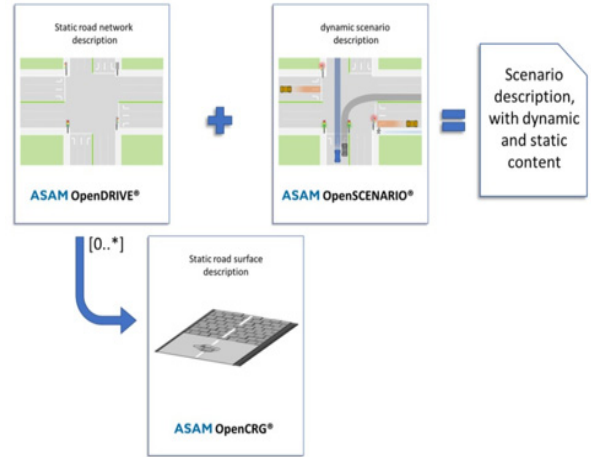


Fig. 6 ASAM Integrated OpenSCENARIO

3.2 OpenX 기반의 CARLA 시뮬레이터

CARLA는 ASAM의 제안하는 OpenX 표준을 따르는 무료로 제공되는 시뮬레이터이다⁵⁾. CARLA는 현재 개발팀 리더인 헤르만 로스(Germán Ros)와 바르셀로나 컴퓨터 비전 센터의 교수 안토니오 M. 로페즈(Antonio M. López)가 처음 제안한 시뮬레이터이다. 처음부터 표준 규격과 오픈 플랫폼을 지향하여 제작되었기 때문에 ASAM의 OpenDRIVE와 OpenSCENARIO를 지원하고 있으며, 시뮬레이터 엔진과 소스코드를 무료로 제공하고 있다. CARLA는 2017년 콘퍼런스 포 로봇 러닝(Conference for Robot Learning, CoRL)에서 처음으로 공식 발표되었다. 현재 세계 각지에서 개발에 주력하는 20여명의 개발팀이 있으며 이들은 2~3개월마다 새로운 버전을 출시하고 있다. 또한 학계 및 시뮬레이터 유저를 포함하여 약 1600명 이상의 사용자들도 보유하고 있다.

충북대에서 구현하고 있는 시나리오 기반 시뮬레이션을 중심으로 CARLA 시뮬레이터의 기능을 간략하게 소개한다. 먼저, 시뮬레이션을 위한 테스트 시나리오를 생성한다. OEM에서 요구하는 다양한 시나리오 생성 및 도구를 지원하고, 시뮬레이션내 현재 상태를 저장하고 업데이트할 수 있는 기능을 지원한다.

다음으로 자율 주행 테스트를 위한 정밀한 센서 데이터를 생성하여 차량과 동기화를 진행한다. 센서 데이터는 동기화된 차량 주변 환경 인식을 위해 센서의 기준 프레임에 있는 개체를 설명한다. 이상적인 시뮬레이션 데이터를 사용하여 자율 주행 기능에 직접 연결하는 데 사용한다. 시뮬레이터에서 지원하는 테슬라 사이버 트럭 모델을 선택하여 다양



Fig. 7 CARLA Autonomous Driving Simulation

한 도심환경에서 자율주행 인지-판단-제어 알고리즘에 대한 성능평가 실험을 그림 7과 같이 수행할 수 있다.

아직까지 ASAM 표준 기반의 자율주행 시뮬레이션은 착수 단계이며, 중장기 개발 로드맵을 수립하고 개발 범위를 확장하고 있다. 테스트 시나리오 생성의 도구적 기능 추가와 보다 정밀한 센서 데이터 생성에 따른 데이터 출력, 물리모델 고도화, 알고리즘 성능 검증 최적화 등이 진행되어야 한다. 충북대는 소프트웨어 시뮬레이션이 가지는 물리적 특성들의 제약을 극복하기 위해 SILS/HILS를 바탕으로 VILS 및 실차 검증 환경을 통일적으로 적용할 수 있는 차량 안전성 평가 방법 연구를 진행할 예정이다.

4. 결론

고도 자율주행단계의 상용화를 위해서는 이에 대응하는 차량 안전 개발 프로세스가 선행으로 개발되어야 하며, 복잡한 자율주행 시스템을 검증하기 위해서 시나리오 기반 시뮬레이션 기술의 중요성이 점차 강조되고 있다. 지금까지는 자율주행 신기술의 등장과 실증 사례의 관점에서 전문가부터 일반인까지 많은 관심을 받아왔지만, 고도 자율주행자동차의 조기 상용화를 기대하는 시점에서는 자율주행기술의 안전성을 검증하는 기술과 프로세스의 혁신이 더욱 강조되어야 한다.

충북대에서는 자율주행 안전성 평가와 관련 다수의 정부지원과제에 참여하여 시뮬레이션 기반 평가 환경을 구축하고, 오창 캠퍼스에 건설하고 있는 자율주행 테스트베드 C-track을 기반으로 실차 평가기술 연구까지 진행할 계획이다.

참고 문헌

- 1) ISO 26262 -1:2018 Road vehicles – Functional safety – Part 1: Vocabulary from <https://www.iso.org/standard/68383.html?browse=tc>.
- 2) ISO/FDIS 21448 Road vehicles – Safety of the intended functionality, from <https://www.iso.org/standard/77490.html>
- 3) ASAM OpenX Simulation, from <https://www.asam.net>
- 4) Karsten Lemmer, PEGASUS PROJECT Summary 2019, from <https://www.pegasusprojekt.de/en/pegasus-symposium-2019>
- 5) CARLA Simulator, from <https://carla.org>

[저자 소개]



박근남
E-mail : geunnam@cbnu.ac.kr
2017년 청주대학교 전자공학과 졸업.
2019년 충북대학교 스마트자동차공학 석사 과정 졸업. 현재 동 대학원 박사과정.
관심분야는 자율주행 판단, 제어 및 시뮬레이션, 한국자동차공학회 학생회원



기석철
E-mail : [E-mail:sckee@cbnu.ac.kr](mailto:sckee@cbnu.ac.kr)
1987년 서울대학교 제어계측공학과 졸업, 2001년 서울대학교 전기공학부 박사과정 졸업. 1989년 삼성종합기술원 입사, 2010년 만도 전자연구소 입사, 2015년 충북대학교 산학연구본부 부교수, 2021년 동 대학 지능로봇공학과 교수. 자율주행 시스템 및 안전성 평가기술 연구, 한국자동차공학회 부문 부회장, 제어로봇시스템학회 국문논문편집위원, 공학박사