자율주행자동차와 교통안전

The Automated Vehicle and Transportation Safety





신재곤
한국교통안전공단
자동차안전연구원
Jae Kon Shin
Korea Automobile Testing
& Research Institute



문병준
한국교통안전공단
자동차안전연구원
Byoung Joon Moon
Korea Automobile Testing
& Research Institute



김성섭
한국교통안전공단
자동차안전연구원
Sung Sub Kim
Korea Automobile Testing
& Research Institute

테슬라의 자율주행(오토파일럿) 자동차 운전자 사망사고와 우버의 자율주행자동차 보행자 사망사고가 발생하면서 자율주행자동차 시험운행에 대한 안전성 논란이 증폭되고 있다. 그러나, 자율주행자동차 상용화를 통한 교통사고 감소로 인적, 물적 손실을 줄이기 위한 노력은 계속되어야 한다. 이를 위해 자율주행자동차 상용화는 반드시 안전도 확보가 전제되어야하며, 국민의 생명과 재산을 보호하기 위한 안전성 확보는 결코 타협대상이 될 수 없다. 이에, 본 고에서는 자율주행자동차의 요소기술과 안전도 평가방법에 대해 기술하고자 한다.

그림 1.
자율주행자동차
사고사례

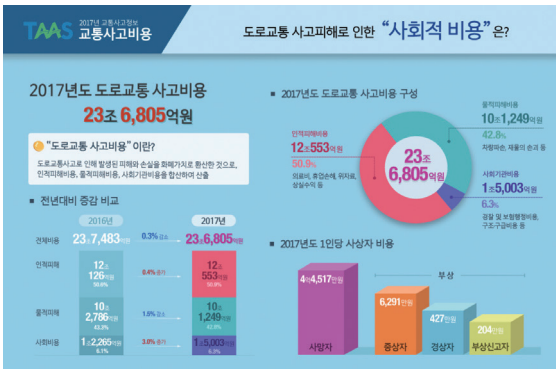


테슬라



우버

그림 2. 2017년 교통사고비용



(출처 : 교통사고정보시스템)

그림 3. 자율주행 기술레벨 정의



(출처 : 국토교통부_한국교통안전공단_국토교통과학기술진흥원)

자율주행자동차 개발

교통사고 발생원인은 크게 운전자, 자동차, 도로로 나눌 수 있으며, 교통사고의 발생 요인별 사고분석결과를 보면 운전자의 운전미숙, 피로, 과실 등이 전체 교통사고 발생율의 90%를 넘고 있다. 이에, 첨단 안전장치 등의 기술개발을 통해 운전자 과실에 의한 교통사고를 감소시켜, 인적, 물적 손실을 줄이기 위한 노력을 경주하였다. 미국 도로교통안전청(NHTSA)에서는 자율주행자동차가 상용화되면 운전자 실수로 발생하는 치명적인 교통사고의 94% 예방 가능하며, 교통사고 건수는 최대 90% 감소가 예상되며 이에 따른 경제적 효과는 1,900억 달러로 전망하고 있다.

그리고, 4차 산업혁명, 공유경제 등과 같은 패러다임의 변화에 따라 자율주행자동차 시장이 크게 확대될 것으로 예상되고 있으며, 세계적인 자동차, ICT(Information and Communications Technologies) 기술을 보유한 우리나라에 현재 진행 중인 자율주행자동차 대변혁기는 침체된 국내 자동차산업의 위기를 극복하여 새로운 시장과 일자리를 창출할 수 있는 기회이자 위기로 인식되고 있는 현실이다.

자율주행자동차 기술단계 및 발전 방향

"자율주행자동차"란 운전자 또는 승객의 조작 없이 자동차 스스로 운행이 가능한 자동차를 말한다(자동차관리법 제

2조). 하지만, 모든 기술에는 단계가 있듯이 자율주행기술에도 단계가 있으며, 법적인 정의는 최고 기술단계인 5단계이다. 자율주행자동차의 기술레벨은 미국자동차공학회(SAE)에서 제안한 레벨0부터 레벨5까지(총 6단계) 세분화한 내용이 현재 국제적으로 통용되고 있으며, 〈그림 2〉는 SAE J3016 내용을 기반으로, 자율주행 기술레벨 간의 차이점을 주행 시나리오와 함께 재구성하여 자율주행 기술레벨에 대한 이해를 돕기 위해 제작된 인포그래픽이다.

Level 0 비자동화(No-Automation)는 사람인 운전자가 전적으로 모든 조작을 제어하고, 모든 동적 주행을 조정하는 단계이다.

Level 1 운전자지원(Driver Assistance)은 자동차가 조향 지원시스템 또는 가/감속 지원시스템에 의해 실행되지만 사람인 운전자가 동적 주행에 대한 모든 기능을 수행하는 단계로서, 대표적인 기능으로는 크루즈콘트롤(CC: Cruise Control), 차선유지장치(LKS: Lane Keeping System) 등이 있다.

Level 2 부분자동화(Partial Automation)는 주행환경에 대한 정보를 활용하여 조향(횡방향)과 가/감속(종방향) 등 자동차에 대한 핵심제어 기능을 시스템이 수행할 수 있는 기술을 가진 단계지만, 주행환경의 모니터링은 사람인 운전자가 하며 안전운전의 책임도 운전자가 부담하는 단계이며, 해당되는 시스템은 적응형크루즈콘트롤(ACC: Adaptive Cruise Control) + 차선유지장치(LKS: Lane Keeping System) 등이 있다.

Level 3 조건부자동화(Conditional Automation)는 자율주행시스템이 동적 운전의 모든 측면을 제어하지만, 자율주행시스템이 (비상시) 운전자 개입을 요청하면 운전자가 적절하게 자동차를 제어해야 하며 그에 따른 책임도 운전자에게 있는 단계로서, 해당되는 시스템은 현재 전세계적으로 연구개발이 활발하게 진행 중이며 자율주행모드와 운전자모드가 혼재되어 있는 단계이다.

Level 4 고도자동화(High Driving Automation)는 자율주행시스템이 정상적으로 작동할 수 있는 도로 환경 내에서만 주행에 대한 핵심제어, 주행환경 모니터링 및 비상시 대처에 이르기까지 모두 수행하는 단계로서, 자율주행시스템이 운용될 수 없는 상황에서는 운전자에게 제어권 전환을 요청하여 운전자모드로 전환하며, 운전자가 요청을 받아들이지 않을 경우 최소위험상황에 도달하기 위해 비활성화를 수행한다.

Level 5 완전자동화(Full Driving Automation)는 모든 도로환경에서 자율주행시스템이 항상 주행을 담당하는 단계로서, 운전의 주체는 오로지 자율주행시스템이고, 차량에 탑승한 사람은 일종의 '승객'으로 구분할 수 있다.

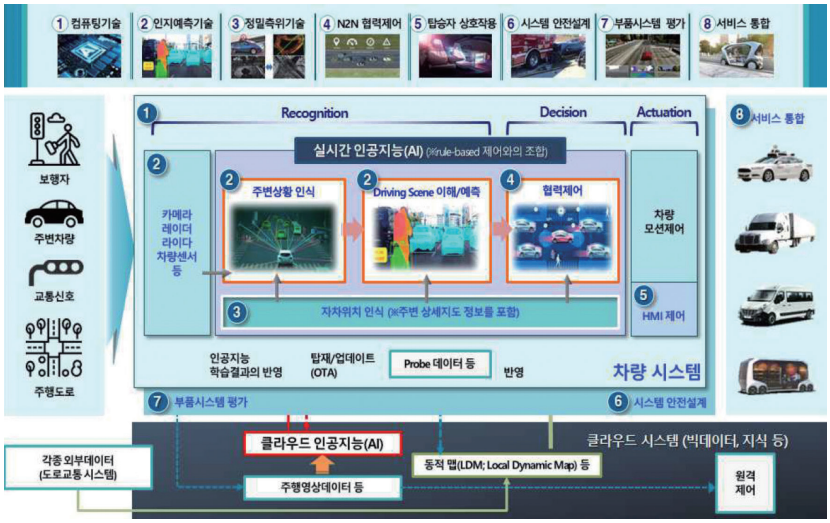
자율주행자동차의 발전방향은 차량의 주변 환경을 인식하는 레이더, 라이더, 카메라 등과 같은 서라운드 센서를 독립적으로 개발되던 영역을 벗어나, 소프트웨어, 통신, 보안, ICT 인프라, IoT(Internet of Things) 센서, 인공지능 등 거의 대부분의 영역과 자율주행자동차간의 융·복합이 진행될 것으로 전망되고 있다. 현재 전 세계적으로 자율주행 SAE 레벨 2수준의 차량이 양산되고 있으며, 향후 미래시장의 점유를 위해 경쟁적으로 SAE 레벨 4 수준의 자율주행 기술개발이 진행되고 있다.

자율주행자동차의 요소기술

현재 양산 적용된 레벨 2 부분자동화(Partial Automation) 수준의 자율주행자동차의 요소기술은 다음과 같다.

- 전방충돌 경고장치(FCW: Forward Collision Warning)란 주행 중인 차로의 전방에서 동일한 방향으로 이동 중이거나 정차중인 자동차를 감지하고, 앞차와의 충돌을 회피하거나 완화하기 위해 운전자에게 경보를 주기 위한 장치
- 비상자동 제동장치(AEBS: Advanced Emergency Braking System)란 주행 중 전방충돌 상황을 감지하여 비상시 충돌을 완화하거나 회피할 목적으로 자동차를 감속하기 위해 자동으로 제동장치를 작동 시키는 장치
- 적응순항 제어장치(ACC: Adaptive Cruise Control)란 주행차로 전방에서 주행 중인 차량의 속도를 감지한 후 운전자가 설정한 전방차량과의 타임갭 등에 따라 자동

그림 4.
레벨 3~5 자율주행자동차 구현을 위한 신기술 분야의 범위 개념
(출처 : 자동차안전연구원)



으로 가·감속하여 안전거리 또는 설정속도를 유지하기 위한 장치

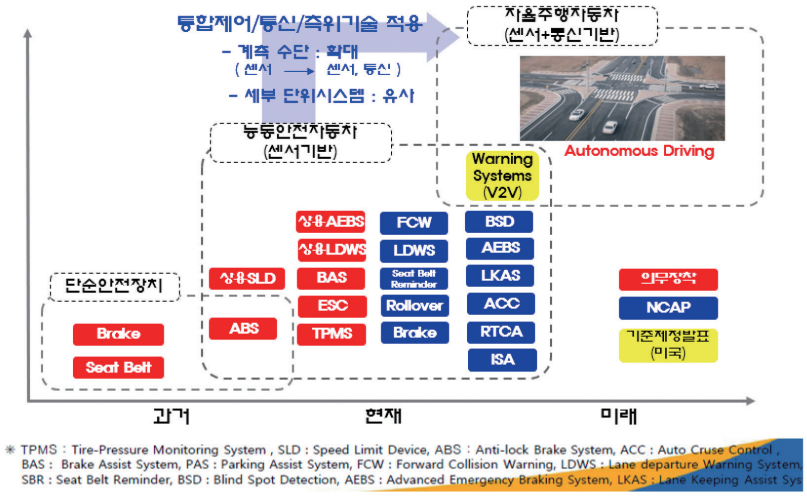
- 차로이탈 경고장치(LDWS: Lane Departure Warning System)는 자동차가 주행하는 차로를 운전자의 의도와는 무관하게 벗어나는 것을 운전자에게 경고하는 장치
- 차로유지 지원장치(LKAS: Lane Keeping Assistance System)이라 함은 자동차의 횡방향 거동에 영향을 가하여, 자동차가 주행 중인 차로 내를 주행하도록 운전자를 보조하는 장치
- 지능형 최고속도 제한장치(ISA: Intelligent Speed Assistance)는 조절형 최고속도 제한장치에 제한속도알림기능이 서로 연계되어 결합된 장치를 말하며, 설정된 제한속도는 운전자의 확인이 있을 때 또는 운전자의 확인이 없더라도 제한속도 알림기능으로 설정
- 사각지대 감시장치(BSD: Blind Spot Detection)라 함은 접근하는 자동차 그리고 사각지대에 위치한 자동차에 대한 정보를 운전자에게 제공하는 장치
- 후측방접근 경고장치(RCTA: Rear Cross Traffic Alert)란 자동차가 후진하려 하거나 후진 중 후측방에서 접근하는 다른 교통수단을 감지하여 그 교통수단과 충돌을 회피하거나 완화하기 위해 운전자에게 사전에 경고를 주는 장치

레벨 3~5 수준의 자율주행자동차 구현을 위한 자율주행 기술은 개발이 진행 중이며, 비상자동제동장치(AEBS), 차로유지 지원장치(LKAS) 등과 같은 기존의 레벨 2 기술 기반에 자율주행 컴퓨팅기술, 인지예측 센싱기술, 정밀 측위기술, 협력형 제어기술, 자율주행시스템과 운전자 상호작용기술, 자율주행 안전설계 기술 등과 같은 차량융합신기술이 개발되고 있다.

자율주행자동차 요소기술 평가방법 및 현황

자동차의 안전도 확보를 위한 정부의 방침은 크게 두 가지로 추진되고 있다. 그 중 첫 번째는 안전기준 적용이다. 이는 강제기준으로서 모든 자동차가 만족하지 못하면 실질적으로 판매가 어려우며, 강제리콜 및 과징금 부과 등을 통해 안전기준 관리를 철저히 하고 있다. 두 번째는 국토교통부

그림 5.
안전기준 및 자동차안전도평가 항목
(출처 : 범부처기획자료)



주관으로 자동차안전연구원에서 실시하고 있는 자동차안전도평가(KNCAP: Korean New Car Assessment Program)이다. 이는 국내 자동차의 안전도를 평가하는 프로그램으로, 1999년부터 현재까지 약 200여종의 자동차에 대한 안전도를 평가하여 결과를 발표하였다. KNCAP는 사고 시 탑승자 상해 최소화 위해 기존의 평가 기준을 강화하고 있을 뿐만 아니라, 사고예방을 위한 자율주행자동차 요소기술 평가를 수행하고 있다. 이러한, 자동차안전도평가 정보 제공을 통해 보다 안전한 자동차의 소비를 촉진하고, 자동차 제조사들이 보다 안전한 자동차를 만들 수 있도록 유도하고 있다. 〈그림 5〉는 자율주행자동차 요소기술에 대한 안전기준 및 신차안전도 평가항목이다.

현재 수행하고 있는 자동차안전도평가 항목은 총 22항목이며, 이 중 자율주행자동차 요소기술 평가 항목 및 시험방법은 다음과 같다.

- 전방충돌 경고장치 : 시험자동차가 전방 자동차에 접근할 때 설정된 TTC(Time To Collision) 이전에 충돌경고 발생여부 확인(전방 자동차가 정지상태인 경우, 감속중인 경우, 저속주행중인 경우)
- 적응순항 제어장치 : 전방 자동차를 감지하여 운전자 설정모드에 따라 속도제어 여부 확인
- 비상자동 제동장치 : 전방의 자동차 및 보행자 충돌 상황을 감지하여 비상시 충돌 완화 및 회피를 위해 운전자에게 경고를 한 후, 운전자 미 반응 시 자동으로 제동장치를 작동 여부 확인
- 지능형 최고속도 제한장치 : 실제 교통표지판의 제한속도 값과 속도제한 알림기능에 의해 표시되는 제한속도 값을 비교하여 일치 여부 확인
- 차로이탈 경고장치 : 60km/h 이상의 속도에서 0.1~0.8m/s 이탈속도로 좌측 또는 우측으로 주행 중인 차로를 이탈할 경우 이탈경고를 제공하는지 여부 확인
- 차로유지 지원장치 : 60km/h 이상의 속도에서 0.2~0.5m/s 이탈속도로 좌측 또는 우측으로 주행 중인 차로를 이탈하지 않도록 자동차를 제어하는지 여부 확인
- 사각지대감시장치 : 60km/h 이상의 속도에서 사각지대에 다른 자동차의 존재를 운전자에게 알려주는 경고를 시각을 통하여 제공하는지 여부 확인
- 후측방접근 경고장치 : 후방 자동차의 속도가 10km/h일

그림 6.
자동차안전도 평가 중 자율주행자동차 요소기술 평가 방법


전방충돌 경고장치

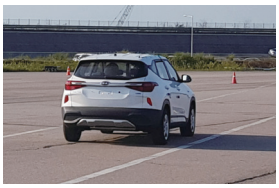

적응순항 제어장치


고속모드 비상자동 제동장치


시가지모드 비상자동 제동장치


보행자 감지모드 비상자동 제동장치


지능형 최고속도 제한장치

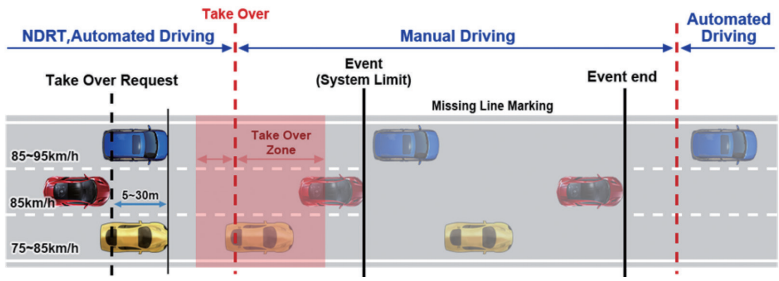

차로이탈 경고장치


차로유지 지원장치


사각지대 감시장치


후측방접근 경고장치

그림 7.
제어권 전환 안전성 평가기술 평가 방법



때, 충돌발생 예상시간 1.9초(30km/h인 경우 1.6초) 이전에 경고가 발생하는지 여부 확인

향후, 레벨 3 이상의 자율주행자동차 요소기술을 평가하기 위해서, 현재의 개별 장치 위주 평가에서 도로교통상황을 반영한 시나리오 기반 자율주행 요소기술 통합평가를 준비하고 있다. 이 중 레벨 3의 대표기술인 제어권 전환 안전성 평가기술은 자율주행과 비(非)자율주행 작동 사이의 자율주행자동차의 제어권 전환을 안전하게 수행하기 위하여, 직접적인 영향을 미치는 운전자와 자동차 사이의 커뮤니케이션 방법과 제어 기능 설계의 적절성 및 효율성 등을 평가한다.

예를 들어 시속 [xxx m/h]로 직선구간을 주행하는 중 전방 [xxx m]에 차선소실된 [xxx m] 직진 구간이 있는 경우 제어권전환 알림 작동여부 및 작동시간, 운전자 착석여부 확인 기능, 운전자가 제어권 전환이 가능한 상태인지 확인하는 기능 등에 대한 평가를 수행할 예정이다.

레벨 3~5 단계의 자율주행자동차 안전도 평가 방법 및 추진현황

자율주행자동차 기술개발이 빠르게 진전되고 있어서, 기존의 안전성을 확인하는 방법은 한계가 발생되고 있다. 현재 자동차 안전성을 평가하기 위해 주행시험장내에서 실차시험을 통한 기능검증을 주로 실시하였으나, 기존 주행시험장이 레벨 3~5 단계의 자율주행자동차 주행설계영역(지리적 요건 등)에 포함되지 않으므로 자율주행기능의 구현이 불가능하고, 각 나라별로 상이한 도로교통법 준수 검증 등의 문제점 등을 해소하고자 새로운 자율주행자동차 안전도 평가방법인 3가지 접근법(3-Pillars Approach)을 제시되었다

3가지 접근 평가방법 중 주행시험로 시험평가는 도심영역과 고속영역으로 구분되며, 도심영역에서는 비보호 좌회전과 인지사각의 보행자 무단횡단 등을 우선 검토항목으로 선정하였고, 고속영역은 기술적 난이도가 높은 시나리오와 사고데이터 분석을 통해 사고발생 비율이 높은 시나리오를 데이터베이스화하고, 이를 안전도 평가시 사용하기 위한 방안을 추진중이다. 공로주행 시험평가에서는 자율주행자동차의 도로교통법을 준수(제한속도 준수, 선회방향의 방향지시등 점등 등) 여부를 검증하고, 주변상황에 따른 운행능력을 검증하기 위해 일반적인 교통상황과 필수 확인이 필요한 교통상황 및 시험 중 추가로 발생되는 선택적인 교통상황에 대해 자율주행시스템이 적절하게 대응하는 지를 확인점검표(Checklist)를 통해 확인하는 방법이다. 그리고, 자율주행시스템의 기능안전(Functional Safety), 안전전략(적합성평가근거 : 제작자 자기선언, 실도로시험 데이터, 컴퓨터시뮬레이션/가상시험) 등과 같이 주행시험장 및 공로주행 시험평가로

표 1. 자율주행자동차의 3가지 접근(3-Pillars Approach) 평가방법

주행시험로 시험평가 (Physical Certification Test)	공로주행 시험평가 (Real World Drive Test)	적합성 심사평가 (Audit/Assessment)
실제 주행상에서 임의적으로 발생시키기 곤란하고 재현 가능한 최악의 주행사례(시나리오)를 평가하는 시험방법	실도로에서 자율주행자동차의 정상주행조건에서 자율주행자동차의 주행성능을 평가하는 시험방법	기능안전, 사이버보안 등의 안전개념 청문 확인 및 실차 시험으로 확인이 어려운 상황에 대해 시뮬레이션/가상 장치 등으로 평가

표 2. 3가지 평가방법으로 분류한 분야별 안전기준 커버영역

안전원칙 (Safety Principles)	청문/평가	주행시험로 평가	공로주행평가	비고
1. 안전기능 (예 : 고장전략, 이중화컨셉 등)	X			
2. 안전단계 (OEDR, 비상운전)	X	X	X	
3. 운행설계영역 (정의, 한계인지)	X		X	
4. 교통작동상태 (OEDR, 도로교통법 적합성)	X		X	
5. 운전자의 반응 (HMI, 운전자모니터링)	X	X	X	
6. 자동차에 의한 전환 (위험최소화운행, 전환시나리오, HMI 등)	X	X	X	
7. 운전자에 의한 전환 (예, 작동, 해제, 오버라이드)	X	X	X	
8. 자동화 효과 (운전자모니터링, 시스템설계, 운전자의 지원)	X			
9. 안전인증 (운행안전, 시험 및 검증 등)	X	X	X	
10. 데이터기록	X			기존
11. 보안 (Security)	X			기존
12. 현재 일반안전법규의 수동안전시험은 전통적인 접근법과 지속 (법규의 업데이트 필요)				
13. 운전자 교육	X			

그림 8. 자율주행 실험도시 K-City 및 자율주행 임시운행자동차





확인이 어려운 항목은 청문 및 서류 확인 등을 수행하는 적합성심사평가 통해 평가할 예정이다.

추가적으로, 자율주행자동차에 대한 해킹에 대비한 사이버보안 기준이 검토 중에 있으며, 사고원인분석 등을 위한 데이터 저장장치 등에 대한 적용기준도 검토되고 있다.

평가를 위한 기준 제정을 위해 본격적으로 움직이기 시작했다. 이에 우리 국토교통부에서도 레벨 3 자율주행자동차 안전기준을 도출하여 금년내 법제도 제개정 추진하는 등 자율주행자동차의 안전성 확보를 위해 최선을 다하고 있다.

자동차안전연구원의 국민의 자산과 생명을 보호하기 위한 노력과 성과

자율주행자동차 시장은 2019년 20억 달러 규모에서, 2030년 600억 달러로 규모로 증가할 것으로 전망되며, 자율주행자동차관련 서비스 시장은 2030년에 3조 2,410억 달러 규모의 시장을 형성할 것으로 전망되고 있다(Frost & Sullivan, 2018).

그러나, 이와 같은 자율주행자동차가 가져다 줄 달콤한 혜택들은 안전성이 보장된 상태에서만이 누릴 수 있기 때문에, 자율주행자동차의 기능 위주로 접근했던 UN에서도 안전성

한국교통안전공단 자동차안전연구원에서는 자율주행자동차 요소기술의 보급 활성화 유도 및 자율주행자동차 실험도시 K-City 구축과 같은 자율주행자동차 상용화 지원을 통해 자동차 산업 경쟁력 강화에 이바지하고 있으며, 자율주행자동차 평가 및 관련 법제도에 대한 지속적인 연구를 통해서 국민의 자산과 생명을 보호하기 위한 노력을 지속하고자 한다.

신재곤 실장 : katriemc@kotsa.or.kr