

# 대형버스용 자율주행 부품·시스템 개발 및 친환경 수소자율버스 시범운행 Development of Automated Driving Systems and Core Components for Buses and Field Demonstration of Automated Fuel Cell Electric Buses

유시복 · 박정태 · 임현주 · 박지훈 · 이용기 · 신유영 · 정기윤 · 허건수 · 김기훈 · 최재호  
Si-bok Yu, Jung-tae Park, Hyun-ju Lim, Ji-hoon Park, Yong-ki Lee, Yu-young Shin,  
Ki-yoon Jung, Kunsoo Huh, Kim, Kihun, Jaeho Choi

## 1. 서 론

자율주행 기술이 국내에 도입되면서 2015년 고속도로자율주행(HDA; Highway Driving Assist) 제품 양산 이후, 교통체증구간자율주행(TJA; Traffic Jam Assist) 등 다양한 자율주행 레벨2 시스템들이 양산되고 적용 차종도 확대되어 왔다. 그러나 이는 승용차의 경우이고, 상용차량의 경우에는 자율주행/ADAS 제품을 적용하는 데 애로가 있어 왔다.

상용차량은 센서 등 주요 부품의 장착 위치가 승용차와 상이하여 충분한 성능을 확보하기 위해서는 장착 후 로직의 튜닝 또는 별도 개발이 필요한 경우가 대부분이다. 반면 자율주행 부품을 납품하는 글로벌 부품기업들은 시장이 작은 상용차를 위한 전용 부품을 공급하지 않는 사례가 많을 뿐만 아니라, 중견기업 규모인 우리나라 상용차 완성차들을 위해 기술지원 팀을 별도로 운영하는 것을 기대하기도 어려운 실정이다. 결과적으로 기술력과 자본력을 갖춘 현대자동차 등 일부를 제외한 대부분의 국내 상용차 완성차들은 자율주행 레벨2 시스템뿐만 아니라, 레벨1 시스템인 LKAS와 ACC의 양산 적용을 위한 기반도 확보하기 어려운 실정이다.

이러한 상용차 완성차들의 수요 제기와 맞물려, 아직 시장 초기 진입 단계인 국내 자율주행 부품기업들에게는 양산 수량은 많지 않은 반면 해외에서도 상용차 전용 부품이 거의 없어 시장경쟁이 치열하지 않고, 제품의 수명주기가 상대적으로 길며, 실차 장착 및 운영 트랙 레코드를 쌓아 국내외 완성차에게 제품의 우수성을 증명할 수 있는 데이터를 제시할 수 있는 상용차량용 자율주행 부품 및 시스템의 개발 필요성이 제기되었다. 아래 그림에 나타난 바와 같이, 자율주행 부품에 있어서 양산 대수는 승용차용 부품이 월등하지만, 자율주행 서비스의 적용 범위는 상용차 부품이 훨씬 넓어, 중소·중견기업에 더욱 유리한 특징이 있다.

이러한 필요성에 따라 산업통상자원부와 자율주행 PD실에서는 기존의 자율주행 핵심기술 개발사업(2017-2021, 소위 ‘9대핵심부품 과제’)에서 개발되는 승용차용 자율주행 부품기술에 상대적으로 적은 사업비를 추가하면 상용차용으로 개발이 가능한 점에 착안하여, 첨단 수소버스를 대상으로 대형차량용 자율주행 부품 및 시스템을 개발하는 과제를 추진하게 되었고, 한국자동차연구원 총괄주관으로 과제가 진행(2019-2021)되게 되었다. 부품이 수소버스용으로 개발되면, 장착위치와 형태가 거의 동일한 다른 중/대형버스에 그대로 또는 약간의 수정만으로 장착 적용이 가능하고, 마찬가지로 중/대형 트럭에도 적용이 가능하다는 장점이 있다. 본 기고문에서는 대형버스용 자율주행 부품 일부와 자율주행 시스템을 중심으로 소개하고자 한다.

## 2. 과제 개요

### 2.1 총괄

전체 과제는 총괄과 3개 세부로 구성되었다. 총괄은 부품과 시스템 각각의 HW/SW적인 기능과 인터페이스, 작동순서와 전체 시스템 및 네트워크 아키텍처를 정의하는 총괄 사양서를 개발하고, 해당 문건을 수요기업 기술위원회에게 검토받아 수요기업들이 원하는 방향으로 개발이 진행되도록 하는 역할을 수행하였다.

### 2.2 1세부 대형버스용 자율주행 부품기술 개발

9종의 자율주행 핵심부품을 대형차량용으로 개발하는 역할을 수행하였다. 비전센서, LIDAR, ADR, HVI 등 신규개발과 RADAR, HAV-DCU, V2X, 맵 및 측위 모듈 등 개선개발을 포함한다. 이는 상이한 센서 장착 위치와 차량동역학적 특성을 반영한 인식 알고리즘 개발과 대형차량용 부품 기능 및 인터페이스 반영, 다수의 보행자 차량 근접 특

성을 반영한 센서 추가배치, 센서 수 증가와 네트워크 구성에 따른 토폴로지와 HAV-DCU 개발 등을 포함한다.

### 2.3 2세부 대형버스용 자율주행 시스템 개발

자율주행 핵심부품을 통합한 대형버스를 제작하고, 대형버스용 자율주행 시스템을 개발하며, 성능을 평가하고 실도로 주행을 구현. 요구사항, 근접물체 인식성 향상을 위한 로직 고도화, 지정노선 반복 주행을 위한 교차로 좌우회전 및 직진, 근접위험 감속/정지, Fallback 대비용 Minimal Risk Maneuver 설계, 기능안전 개발, 차량 내 빅데이터를 이용하여 부품의 신뢰도 판단 및 신뢰도 향상시킬 수 있는 알고리즘 개발 등을 포함한다. 개발되는 자율주행은 레벨3이며, 일부 레벨4<sup>1)</sup> 기술이 적용되었다.

### 2.4 3세부 대형버스 자율주행 운영 및 실증

대형버스용으로 개발된 자율주행 부품을 장착한 일반버스 및 수소버스를 대상으로 실도로에서 안전하게 부품 실증을 수행하기 위한 안전운용기술을 개발. 신호등 정보 취득을 위한 도로인프라 연계 장치 설치, 안전 운영 시스템, 부품 데이터 수집 및 분석용 서버, 대국민 안전홍보 및 안전 매뉴얼 등을 포함한다.

## 3. 대형버스용 자율주행 부품기술 개발

대형버스의 특성 상, 승객 및 보행자가 차량에 바로 옆으로 접근하므로 기존의 센서 구성으로는 사각 커버에 애로가 많다. 따라서 센서 수 증가, 검지범위 확대형 센서 재개발, DCU 등 프로세서의 성능 향상, 인터페이스 및 전원 재개발, 센서 장착위치를 고려한 동역학적 차량운동 특성 반영 등을 개발에 포함할 필요성이 제기되었다.

기능안전 및 SW 전문기업인 (주)솔루션링크가 주관을 맡고, 1세부 안전요구사항/안전설계패턴/안전분석 개발과 사업 전체의 일정 및 산출물 관리를 담당했다. 전체 네트워크를 통합하는 네트워크 아키텍처 구현 관련 기술개발은 부산대학교에서 담당하고 있으며, 차량용 Ethernet/CAN/CAN FD 네트워크 허브인 ESU(Ethernet Switching Unit)는 다양한 기술을 자체 보유한 (주)와이즈오토모티브에서 담당했다.

### 3.1 대형차량용 전·후방 및 전측방 카메라 통합 모듈

(구) (주)PLK가 최근 사명을 바꾼 (주)A.I.matics가 개발을 담당했다. 대형차량은 사각의 특성이 승용차와 달라, 측방에 밀착하여 위치한 보행자 등 물체를 감지하는 기술을 추가할 필요가 있다. 이에 따라 전후방 카메라뿐만 아니라 좌우 후측방에 장착되어 전방을 인지하는 카메라가 추가된 모듈을 개발하였다. 이는 해외 선진사에서 개발하였으나 국내에서는 최초의 개발이다. 그림1과 같이 전후방 카메라 외에도 측후방에 장착되어 전측방의 물체를 감지하는 카메라가 추가된 형태이며, 주요 개발 내용은 아래와 같다.

- 카메라 장착 높이에 관계없이 인식 가능한 대형차용 알고리즘 개발. 전고/전방유리/와이프 동작 범위를 고려한 상향장착(1.5m ⇒ 2.0m 이상)
- 대형버스의 전장/전고를 고려한 전방3/후방1/측방2 채널 등 총 6채널 카메라로 구성
- 버스의 우측 및 좌측 측후방에 카메라를 포함한 사각지대, 보행자, 자전거, 인식기술 개발. 주행차선, 도로경계 인식 및 위험 구역 판단, 보행자, 자전거 인식/움직임 감지, 측면 장착에 따른 환경변화를 반영한 기계학습 및 파라미터 최적화
- AI기반 야간 인식성능향상기술 개발. 야간 카메라의 희미함, 번짐, 역광 등 한계 상황 영상의 부족한 객체 정보를 최신 AI 알고리즘으로 보완
- 차량 부품에 필요한 전자파, 방수, 방진, 온도 신뢰성 평가 통과 및 실차 장착 주행시험 실시

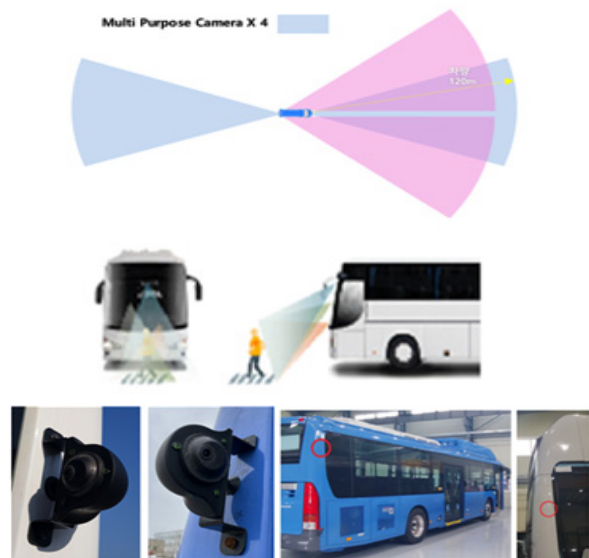


Fig. 1 대형차량용 카메라 모듈 구성 및 장착

### 3.2 대형차량용 SSVM 모듈 개발

(주)와이즈오토모티브에서 개발을 담당하였다. 긴 전장을 갖는 버스는 탑승객과 보행자 등의 근접상황이 빈번하게 발생됨에 따라 근접센서의 중요성이 증대된다. 또한 근접 차량 및 승하차 고객에 대한 인식 성능과 버스 자율주행 운행에 중요 요소인 전방 정지선 감지 기능, 근접 장애물 인식 기능, 승하차 모니터링 기능이 개발되었다. AVM과 같이 주변 상황 탐부(승용차 4채널 ⇒ 6채널) 영상도 제공한다. 주요 특성은 아래와 같다.

- 대형버스에 각각 설치되어야 하는 SVM, 근접 장애물 인식 시스템, 승하차차 모니터링 시스템을 하나의 솔루션으로 통합하여 약 55%의 비용감소 효과를 가져옴
- 버스의 안전한 정차에 반드시 필요한 정지선 검출기능 개발(다목적 전방 카메라는 화각 특성 상 바로 앞에 위치한 정지선을 감지하지 못함)
- 6개 채널 영상을 하나의 이미지로 붙여 한번에 인식프로세스 구동하도록 개발, 속도 성능 개선
- 차량 및 보행자 등 물체에 대한 야간영상 학습 보완 및 성능 개선, 추가 학습 후 인식을 개선
- 세종 BRT 노선 주행, 천안 지역 일반도로 주행/정지 상태 영상 취득 및 이에 기반한 개발
- 차량 부품에 필요한 전자파, 방진, 온도 신뢰성, 실드 설계, 실차 버스 장착 주행시험 실시



그림 2 SSVM이 제공하는 탐부 및 물체인식

### 3.3 레이더, LIDAR, ADR 등 개발

(주)스마트레이더시스템은 검지범위 확대형 중단거리 레이더를, (주)파인디지털의 자회사이며 측위 솔루션 전문기업인 (주)디파인이 복합측위 및 디지털맵 모듈을, (주)씨스가 V2X 하이브리드 통신 모듈을, (주)카네비컴이 수직 검지범위를 대폭 확대한 LIDAR(FOV 145×9.6° ⇒ 145×20°)를 개발하였다. 또한 (주)퓨전소프트는 검지범위를 확대한 광각형 운전자 모니터링 장치 개발(50° ⇒ 70°) 하였고, (주)모베이스전자(구 서연전자)가 대형차량용 DCU를, (주)아진산업의 계열사인 오토아이티(주)에서 ADR 개발을 담당하였다.

## 4. 대형버스용 자율주행 시스템 개발

2세부는 한국자동차연구원이 세부주관을 했다. 자율주행 핵심부품을 통합한 대형버스를 제작(Rework)하고, 대형버스용 자율주행 시스템을 개발하며, 성능을 평가하고 실도로 주행을 구현. 요구사항, 근접 물체 인식성 향상을 위한 로직 고도화, 지정노선 반복주행을 위한 교차로 좌우회전 및 직진, 근접위험 감속/정지, Fallback 대비용 Minimal Risk Maneuver 설계, 기능안전 개발, 차량 내 빅데이터를 이용하여 부품의 신뢰도 판단 및 신뢰도 향상시킬 수 있는 알고리즘 개발 등을 포함한다.

### 4.1 대형버스용 자율주행 시스템 설계

자율주행 시스템의 설계는 차량의 주행 특성을 기반으로 상세 및 유즈케이스를 개발하고, 주행 시나리오를 개발하며, 이를 기반으로 부품 및 시스템의 요구조건을 정의하는 과정을 거친다. 본 과제에서 자율주행 시스템의 총괄 요구사항서가 총괄주관인 한국자동차연구원에서 개발되었으며, 이를 기반으로 각 부품의 기능과 성능에 대한 방향성이 제시되어 개발 담당 기업/기관들이 부품별 사양서를 개발하였다.

전체 아키텍처 설계의 핵심은 네트워크 아키텍처, 논리적 아키텍처, 물리적 아키텍처이다. 해당 차량은 그림 3과 같이 CAN, CAN FD, 차량용 Ethernet 등으로 네트워크가 구성되어 있다. 한국자동차연구원이 개발을 담당한 총괄 사양서는 각 부품간의 통

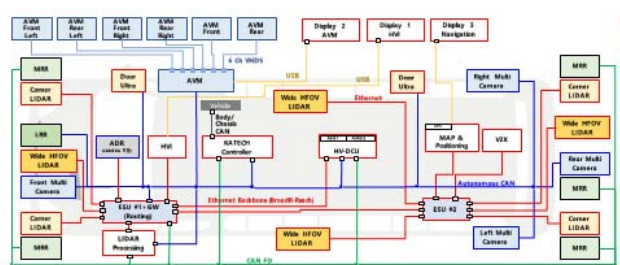


그림 3 대형버스 자율주행 네트워크 아키텍처(예)

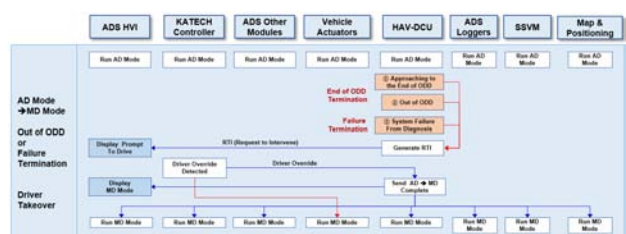


그림 4 대형버스 자율주행 시스템의 동적 작동(예)

신규격과 메시지 정의, 각 상황에서 부품간의 동적인 기능 동작 및 메시지 송수신 관계를 정의한 Dynamic System Behavior(그림4)를 포함하고 있다.

#### 4.2 대형버스용 자율주행 시스템 개발

대형버스용 자율주행 시스템의 주요 로직은 아래와 같이 개발되었다.

- (목적지 지정 및 경로 생성) 운전자(운전자석에서 버스를 운영하는 탑승자)가 목적지를 지정하면, 맵&측위 모듈에서 가장 상위단계인 Route와 Path를 계산한다. 이를 통하여 어느 도로를 이용하여 어디에서 좌/우회전을 하며, 어느 차선을 주행해야 하는지가 도출된다. 산출된 경로 정보는 전방 2,000m 분량을 매 1초마다 자율주행 제어시스템으로 전달한다. 전달 방식은 국제 통용 표준인 ADASIS 3.0 방식을 활용한다. 여기에서 자율주행 제어기측의 ADASIS 3.0 통신모듈은 (주)아이비스가 담당했다.

- (동적 정보 처리) 움직이는 물체(obstacle)는 주로 RADAR와 LIDAR 정보를 중심으로 하고, 다목적 비전센서와 SSVM 정보를 추가로 활용한다. 해당 센서들은 물체 정보를 동적 물체 처리 로직으로 전달하여, 센서융합 후 물체를 식별(Classification)하고 추적(Tracking)하며, 물체의 과거 궤적 및 움직임을 기반으로 향후 경로를 예측한 후 이러한 결과를 종합하여 동적 장애물 지도(Dynamic Obstacle Map)를 생성한다.

- (정적 정보 처리) 도로형상 정보를 포함하고 있는 주변지도를 측위&맵 모듈에서 제공하면, LIDAR가 제공하는 인도경계석, 비전센서가 제공하는 차선 및 신호등, SSVM이 제공하는 정지선 및 측면 차선 등 정보를 비교하여, 자율주행 제어시스템은 차선 상에서 현재의 위치와 정지선으로 부터의 위치 등을 판단하고, 정지된 차량 등의 정적장애물(Static Obstacle) 정보를 추가하여 정적 물체 지도(Static Obstacle Map)를 생성한다.

- (동적 & 정적 정보 통합) 도로형상과 정적물체가 나타난 정적 맵 위에 동적 물체의 움직임을 통합하여 생성된 결과를 World Model로 생성한다. 이러한 동적·정적 인지처리는 (주)오토노머스에이투지에서 담당하고 있다.

- (주행전략) 주행전략을 관리하는 Local Task Manager는 주행모드(자율주행 or 수동주행 or 비상주행 등) 관리, Waypoint(Trajectory를 지도상에 나타

낸 점), 보정된 위치, 차량의 자세, 장애물, 위험도 등을 판단하며, 차량의 실제 주행으로 구현하기 위한 구체적인 주행전략은 Behavior Executor에서 담당한다. 여기에서는 전방차량 추종(ACC), 차선변경, 교차로 직진 등의 차량 행동을 결정한다. 주행전략과 차량행동 로직은 기본적으로 한양대학교에서 오토박스를 기반으로 실험을 병행하며 개발하고, 이를 한국자동차연구원이 HAV-DCU에 임베디드로 구현하는 작업과 실차실험을 진행하였다.

- (하위제어) 상위제어기에 해당되는 HAV-DCU에 탑재된 자율주행 제어기의 명령을 받은 하위제어기(KATECH 제어기)는 차량의 조향과 가감속을 담당하는 조향 MDPS, 브레이크, 엔진 제어기 등에 신호를 제공하여 Behavior Executor가 지시한 속도 및 궤적을 추종하기 위한 액추에이터 제어를 실시한다. 0호차와 1호차(CNG 버스)는 기존 조향계통이 전동식이 아니므로, 추가적인 조향제어기를 장착하여 구현하였으며, 브레이크와 가속은 약간의 부품 추가와 튜닝을 통해 구현하였다.

- (기능안전) 자율주행 시스템은 주행 중 부품 및 시스템의 고장 및 오류가 발생하더라도 곧바로 사고 발생으로 연결되지 않도록 중복설계 및 안전설계가 ISO 26262를 기준으로 진행되었다. 2세부에서는 가장 중요한 자율주행 시스템에 대한 기능안전을 수행하고, 부품단위는 안전설계를 강화하는 전략을 추진하고 있으며, 관련 부분은 (주)씨엔비즈가 담당했다.

- (차량 통합 및 자율주행 임시운행 허가) 차량의 개조 및 통합은 한국자동차연구원이 총괄하였다. 0호차와 1호차는 CNG 버스이고, 2호차와 3호차는 수소버스이다. 1~3호 차량은 과제 이후에 운행사업자와 연결이 가능하도록 세종테크노파크 소유로 진행되고 있다. 국토부 자율주행 임시운행허가를 2020년 11월에 취득하였으며, 2021년 12월에는 세종시 BRT 일부 구간을 대상으로 여객운송을 위한 한정운수면허를 발급받은 바 있다.

- (자율주행 데이터 및 실차시험) 자율주행 데이터를 위해 차량에 탑재된 엡지로거는 (주)파인씨앤아가 개발하고, 이에 대한 부품 및 데이터 식별/분류체계는 KAIST가, 대형 상용차 PG평가 및 시험규격은 (재)자동차융합기술원(JIAT)에서 지원을 담당하고 있다. 차량은 2021년 말까지 3,000km의 실도로 주행을 실시하였다.





그림 5 야간에 BRT에서 자율주행 실증 장면

#### 4. 결론

개발된 대형버스용 자율주행 시스템은 과제의 목적에 충실하게 9종의 대형버스용 자율주행 핵심부품에 대한 실장 및 성능평가를 완료하였으며, 부품기업들은 실증 주행 결과를 트랙 레코드로 하여 제품의 성능적 완결성 확보를 위한 노력을 계속하고 있다.

자율주행 시스템이 장착된 대형버스는 현재 세종시 BRT 도로를 중심으로 실증을 추가로 진행하기 위한 프로그램이 추진 중이며, 여객운송 서비스를 고려한 추가적인 기술개발이 예정되어 있다.

#### 참고 문헌

- 1) 유시복, 김준기, 민석기 외 15명 “도로 차량 운전 자동화시스템의 분류와 정의”, KS R ISO/SAE PAS 22736:2021

#### [저자 소개]

유시복

E-mail : sbyu@katech.re.kr

2003년 Old Dominion University(버지니아 주립 대학). Aerospace Engineering 박사. 2003-현재 한국자동차연구원 자율협력주행연구센터 센터장. 2006-현재 ISO TC204 WG14(자율주행/ADAS 시



스템 표준) 한국대표, 국무총리 표창(제194892호, 2017.10), 미래창조과학부장관 표창(제13507호, 2015.11), 모빌리티 생태계 혁신 연구반 총괄간사 (4차산업혁명위원회, 2021년), 자율주행 분과 위원, (공학한림원, 2021~현재), 자율주행차분야 규제혁파로드맵 연구반 (STEPI, 국무총리실, 2017~2018), NASA Langley Research Center 극초음속 풍동을 위한 고정밀 3축 측정장치의 개발 ('00.1~'02.12), 실시간 교통안전 시설 운용을 위한 인프라 정보 융합 및 관리 기술 개발('21~'26) 총괄주관 책임 등 20여개의 과제 수행, 한국자동차공학회 회원, 공학박사