

협력형 자율주행 기술 개발 동향과 시사점

Some Lessons Learned from Previous Studies in Cooperative Driving Automation

전 현 명* · 양 인 철** · 김 형 수*** · 이 준 형**** · 김 선 검***** ·

장 지 용***** · 김 지 윤*****

- * 주저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 박사후연구원
- ** 교신저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 연구위원
- *** 공저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 연구위원
- **** 공저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 수석연구원
- ***** 공저자 : 한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부 수석연구원
- ***** 공저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 전임연구원
- ***** 공저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 박사후연구원

Hyeonmyeong Jeon* · Inchul Yang* · Hyoungsoo Kim* · Junhyung Lee* ·
Sun-Kyum Kim** · Jiyong Jang* · Jiyoon Kim*

* Department of Highway & Transportation Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

** Department of Future & Smart Construction Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

† Corresponding author : Inchul Yang, ywinter75@kict.re.kr

Vol. 21 No.4(2022)
August, 2022
pp.62~77

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.4.62>

Received 5 July 2022
Revised 22 July 2022
Accepted 1 August 2022

© 2022. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

독립형 자율주행 기술의 한계를 극복하기 위해 협력형 자율주행 기술이 필요하다. 협력형 자율주행 시스템은 자율주행 차량이 다른 차량 또는 인프라와 협력함으로써 주행의 효율성과 안전성을 높이는 기술을 의미한다. 본 연구에서는 협력형 자율주행 기술 개발을 위해 필요한 기술적 요소를 알아보고, 국내·외 연구 동향을 조사하였다. 미국, 유럽, 일본, 국내에서 수행된 협력형 자율주행 관련 서비스, 통신 기술, 표준 개발 등의 사례 검토를 통해 국가별 연구의 특성을 비교하였다. 연구 동향 검토를 통해 향후 협력형 자율주행 기술 개발을 위한 시사점을 도출하고, 자율주행차량을 지원하기 위한 인프라 가이드언스의 필요성을 제시하였다.

핵심어 : 독립형 자율주행, 협력형 자율주행, 차세대 지능형 교통체계, 인프라 가이드언스, 주행 안전

ABSTRACT

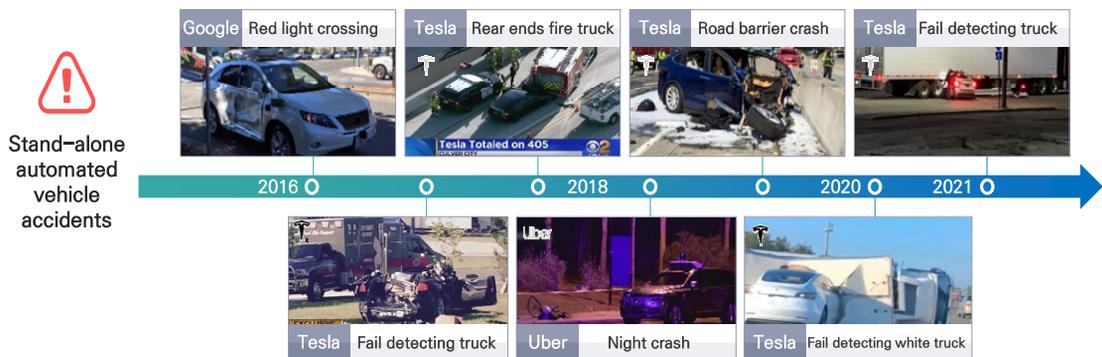
A cooperative driving automation system is imperative to overcome the limitation of the stand-alone automated driving technology. By definition, a cooperative driving automation system refers to a technology in which an automated vehicle cooperates with other vehicles or infrastructure to increase driving efficiency and safety. Specifically, in this study, the technical elements necessary for the cooperative driving automation technology and the technological research trends were investigated. Subsequently, implications for future cooperative driving automation technology development were drawn through the research trends. Finally, the importance of cooperative driving automation technology and infra-guidance service for automated vehicles were discussed.

Key words : Stand-alone automated driving, Cooperative driving automation, C-ITS, Infra-guidance, Driving safety

I. 서론

자율주행차량 기술이 발전하면서 도로 인프라 분야와 교통 분야에서도 이를 수용하고 지원하기 위한 연구와 기술개발이 이루어지고 있다. 자율주행 기술은 운전자의 편의와 안전성을 높이기 위해 계속해서 개발과 테스트가 이루어지고 있는데, 자율주행 기술의 보급과 이용자가 증가하면서 자율주행 관련 교통사고도 증가하고 있는 추세이다. 예를 들어, 최근 웨이모, 테슬라, 우버 등 자율주행 자동차의 보급으로 자율주행 기능을 이용하는 운전자들이 증가하여 이와 관련된 교통사고가 다수 발생하였다. <Fig. 1>에 실제 보고된 사고의 일부 사례를 정리하였는데, 사고유형으로 트럭 검지 오류, 신호교차로 사고, 구조물 충돌 사고, 야간 사고 등이 있다. 자율주행 시스템은 차량의 카메라, 라이다, 레이더 등 검지 센서에 의존하여 주행하는데 센서 성능의 한계가 사고의 원인으로 지목되고 있다(Noh, 2021; Hwang, 2020; Soh and Moon, 2018). 특히, 차량의 센서는 원거리 또는 사각지대의 이동체를 검지하는데 한계가 있으며, 자율주행 기술은 기존에 학습되지 않은 돌발상황, 악천후 상황에서 대응 능력이 저하될 수 있다. 실제 발생한 교통사고에서도 보행자의 무단횡단에 대한 대응 부족, 물체인지 오류, 주행판단 오류에 대한 문제가 제기되었다(Soh and Moon, 2018).

이러한 독립형 자율주행(stand-alone automated driving) 기술의 한계를 극복하기 위해 협력형 자율주행(cooperative automated driving) 기술의 필요성이 대두되었다. 여기서, 독립형 자율주행이란 개별 차량의 센서와 주행 로직에 의한 자율주행 시스템을 의미하며 협력형 자율주행 시스템은 자율주행차량이 다른 차량 또는 인프라와 협력(통신)함으로써 주행의 효율성과 안전성을 높이는 기술을 의미한다(U.S. DOT, 2018). 자율주행차 융·복합 미래포럼에서는 협력형 자율주행 시스템을 도로 운영자, 인프라, 차량, 운전자, 그리고 보행자 등 다양한 도로 참여자를 체계적으로 운영하는 것으로 정의하였다(Autonomous Vehicle Convergence Future Forum, 2018). 자율주행 기술에 협력형 시스템을 활성화 하여 각 도로 참여자의 독자적 운영시스템보다 더 개선된 효과를 기대할 수 있다. 독립형 자율주행과 달리 협력형 자율주행을 위해서는 도로를 통행하는 다양한 참여자가 서로 정보를 주고 받아야 하기 때문에 차량의 주행기술뿐만 아니라 인프라 기술과 도로교통 운영방법이 뒷받침 되어야 한다. 협력형 자율주행 기술 개발의 필요성이 증가함에 따라 전 세계적으로 자동차 제조회사뿐만 아니라 교통 관련 소프트웨어 기업, 도로 관리기관, 공공기관, 연구기관이 협력하여 기술 개발에 참여하고 있다. 따라서 이와 관련된 기술 개발의 동향을 분석하고 이를 통해 향후 협력형 자율주행 분야에서 필요한 시사점과 연구개발 분야를 도출할 필요가 있다.



<Fig. 1> Accident Cases of Stand-alone Automated Vehicles

본 논문에서는 국내외 협력형 자율주행 기술 개발 동향, 연구동향 검토하고 국가별 연구의 특성을 비교하였다. 협력형 자율주행 연구들은 각기 다른 연구 목적과 공간적·상황적 범위를 가지며, 연구대상이 되는 도로 참여자 유형 또한 다르게 설정하고 있다. 뿐만 아니라 자율주행 기술을 활용하는 서비스를 중점적으로 개발한 연구와 통신·차량·검증 기술 개발을 중점적으로 수행한 연구 등 다양한 형태로 연구가 수행되었다. 이러한 연구 동향 검토를 통해 더욱 향상된 협력형 자율주행 수준 달성을 위해 도로·교통 분야에서 나아가야 할 기술개발 방향을 제시하고자 한다. 또한, 향후 자율주행차량과 인프라의 협력을 통해 자율주행 기능을 지원하고 확장시키는 인프라 가이드 서비스의 개발방향에 대한 시사점을 도출하고자 한다.

II. 협력형 자율주행 통신 기술 및 서비스

본 논문에서는 자율주행 기술과 관련된 여러 기술적 용어들을 영어 약어로 표현하므로, 약어에 대한 표현을 정리하였다. 먼저, 차량을 표현하는 용어는 협력형 자율주행차량(CAV; connected automated vehicle), 커넥티드 차량(CV; connected vehicle), 독립형 자율주행차량(AV; stand-alone automated vehicle), 그리고 일반차량(CHV; conventional human-operated vehicle)으로 표기하였다. 그리고 자율주행기술과 관련한 용어는 협력형 자율주행 시스템(C-ADS; cooperative-automated driving system), 자율협력주행(CDA; cooperative driving automation), 운행설계영역(ODD; operational design domain), 정보표출장치(HMI; human machine Interface)로 표기하였다. 마지막으로 지능형 교통체계와 통신 기술 관련 용어는 차세대 지능형 교통체계(C-ITS; cooperative intelligent transportation system), 차량과 차량 간 통신 (V2V; vehicle-to-vehicle), 차량과 인프라 간 통신 (V2I; vehicle-to-infrastructure, I2V; infrastructure-to-vehicle), 차량과 특정 사물(차량, 인프라 포함) 간 통신(V2X; vehicle-to-everything)으로 나타내었다.

1. 정보전달을 위한 통신 기술

협력형 자율주행을 위해서는 C-ITS 기술인 V2V, V2I, I2V 등의 V2X 통신 기술이 필요하다(Choe, 2017). 자율주행 차량과 다른 요소를 연결시킬 수 있는 통신 기술이 뒷받침되어야만 자율주행차량의 주행상태와 도로에서 수집한 정보를 전달하고, 다른 차량이나 인프라로부터 정보를 수신할 수 있기 때문이다. 이러한 통신 기술을 통해 전달되는 메시지를 정의하기 위해 다양한 표준도 개발되고 있다. 대표적으로 미국의 SAE (Society of Automotive Engineers) International의 SAE J2735 표준에서는 차량의 V2X 통신에 포함되는 메시지 셋, 데이터 프레임, 데이터 요소 등을 정의하였다(SAE International, 2020). 이러한 표준에서 정의한 V2X 메시지를 교환하기 위한 통신 프로토콜로는 IEEE 802.11p/WAVE(wireless access in vehicular environment) 통신과 3GPP의 C-V2X(cellular-V2X) 통신 프로토콜이 사용되고 있다(Lee and Lee, 2020; Mun, 2019).

2. 협력형 자율주행 서비스

자율주행 차량이 주변의 다른 차량 또는 인프라와 협력하기 위해서는 협력의 대상이 되는 상황과 그 상황에서 전달 대상인 메시지 등이 정의되어야 한다. 이를 협력형 자율주행 서비스라 하며, 협력주행 서비스의 목표를 설정함으로써 자율주행 기능을 향상시킬 수 있는 방법을 도출할 수 있다. 또한 협력형 자율주행 서비스가 정의되어야 서비스에 참여하는 참여자, 정보전달 대상 객체, 메시지 종류, 메시지 주기, 메시지 전달 절

차 등을 명확하게 설정할 수 있다.

협력형 자율주행 서비스를 정의하기 위해 미국의 SAE International과 유럽의 ERTRAC(European Road Transport Research Advisory Council)에서는 협력형 자율주행의 협력등급 레벨을 각각 정의하였다. 이러한 협력등급 레벨에 기반하여 미국에서는 CARMA(Cooperative Automation Research Mobility Applications) 프로젝트를 통해 협력형 자율주행 서비스와 관련 기술을 개발하고 있으며, 유럽에서는 MAVEN, CoEXist 등 다수의 프로젝트를 통해 협력형 자율주행 기술을 개발하고 있다. 각각의 프로젝트에 대해서는 III장에 자세히 기술하였다.

2014년에 SAE International에서는 자율주행의 기술을 기술 수준에 따라 Lv.0(자동화 없음) ~ Lv.5(완전 자율주행)까지 6개 레벨로 정의한 SAE J3016 표준을 발표하였다(SAE International, 2021b). 이후 2020년에 SAE J3216 표준을 발표하며 협력형 자율주행의 협력등급을 Class A(상태공유) ~ Class D(지시)의 4개 등급으로 구분하였다(SAE International, 2021a). 특히 J3216 표준에서는 SAE J3016의 자율주행 기술 수준과 협력등급을 조합하여 협력형 자율주행 기술 수준별 특성을 설명하고 있다(<Table 1> 참고). 이 표준에 의하면 협력형 자율주행은 CAV와 인프라, 다른 도로 참여자 간의 통신과 협력을 가능하게 하고, 협력등급이 A에서 D로 향상됨에 따라 협력의 범위도 넓어진다.

<Table 1> Relationship between classes of CDA cooperation and levels of automation

| CDA Cooperation Classes | Driving Automation Levels (SAE J3016) | | | | | |
|---------------------------|--|--|--|--|------------------------------------|------------------------------------|
| | No Automation | Driving Automation System | | Automated Driving System(ADS) | | |
| | Level 0 No driving automation | Level 1 Driver assistance | Level 2 Partial driving automation | Level 3 Conditional driving automation | Level 4 High driving automation | Level 5 Full driving automation |
| No cooperative automation | (e.g., Signage, Traffic control device) | Relies on driver to complete the DDT and to supervise feature performance in real-time | | Relies on ADS to perform complete DDT under defined conditions (fallback condition performance varies between levels) | | |
| A : Status-sharing | (e.g., Brake Lights, Traffic Signal) | Limited cooperation: Human is driving and must supervise CDA features (and may intervene at any time), and sensing capabilities may be limited compared to C-ADS | | C-ADS has full authority to decide actions Improved C-ADS situational awareness beyond on-board sensing capabilities and increased awareness of C-ADS state by surrounding road users and road operators | | |
| B : Intent-sharing | (e.g., Turn Signal, Merge) | Limited cooperation (only longitudinal OR lateral intent that may be overridden by human) | Limited cooperation (both longitudinal AND lateral intent that may be overridden by human) | C-ADS has full authority to decide actions Improved C-ADS situational awareness through increased prediction reliability, and increased awareness of C-ADS plans by surrounding road users and road operators | | |
| C : Agreement seeking | (e.g., Hand Signals, Merge) | N/A | N/A | C-ADS has full authority to decide actions Improved ability of C-ADS and transportation system to attain mutual goals by accepting or suggesting actions in coordination with surrounding road users and road operators | | |
| D : Prescriptive | (e.g., Hand Signals, Lane Assignment by Officials) | N/A | N/A | C-ADS has full authority to decide actions, except for very specific circumstances in which it is designed to accept and adhere to a prescriptive communication | | |

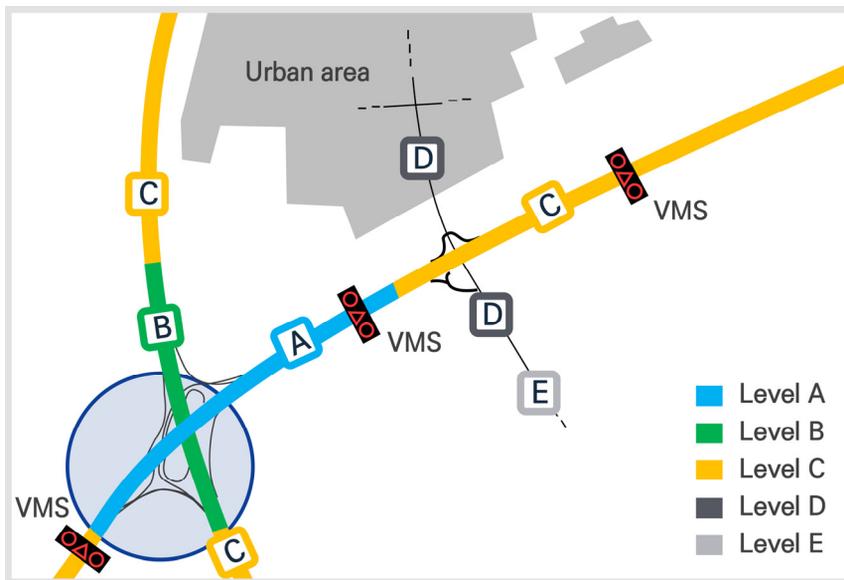
Source: SAE International(2021a) J3216™ Standard.

유럽에서는 협력형 자율주행의 수준을 A(협력주행) ~ E(협력없음)의 5개 레벨로 정의하였다(<Table 2> 참고). 미국의 표준이 차량과 차량의 협력주행을 포함하는 수준으로 구분하였다면, 유럽의 표준은 자율차를 지원하는 인프라의 역할에 초점을 맞추어 그 수준을 구분하고 있다. E에서 A로 갈수록 인프라의 지원수준이 높아진다. 이러한 인프라 지원 수준은 도로의 위계별로 다르게 적용시킬 수 있으며 그 예시가 <Fig. 2>에 나타나 있다.

<Table 2> Infrastructure support levels for automated driving in projects by EU

| Infrastructure Support for Automated Driving (ISAD) | | | Digital information provided to AVs | | | |
|---|---|---|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| | | | Digital map with static road signs | VMS, warnings, incidents, weather | microscopic traffic situations | Guidance: speed, gap, lane advice |
| Digital infrastructure | A | Cooperative driving | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | B | Cooperative perception | ○ | ○ | ○ | |
| | C | Dynamic digital information | ○ | ○ | | |
| Conventional infrastructure | D | Static digital information / Map support | ○ | | | |
| | E | Conventional infrastructure / no AV support | | | | |

Source : ERTRAC(2019), Connected Automated Driving Roadmap 2019.



Source : ERTRAC(2019), Connected Automated Driving Roadmap 2019.

<Fig. 2> Infrastructure support levels for automated driving - on schematic road segment

Ⅲ. 협력형 자율주행 기술 개발 프로젝트

1. 미국의 협력형 자율주행 개발 동향

미국의 협력형 자율주행 기술은 정부 주도로 개발이 진행되고 있다. CARMA 라는 명칭으로 미국교통부와 고속도로관리국 주도하에 2014년부터 현재까지 추진되고 있으며, 이 프로그램에서 진행되는 기술개발과 더불어 SAE와 자율주행 표준을 연계하여 협력형 자율주행을 위한 연구가 진행되고 있다. CARMA 프로그램은 교통 시스템 관리와 운영을 지원하는 CDA 개념의 연구개발 프로그램으로, 오픈소스 소프트웨어(OSS; open source software) 방식으로 인프라와 차량, 도로 이용자들에게 CDA 기능을 적용시킬 수 있는 기술 개발을 목표로 하고 있다(Bujanović, 2021).

CARMA는 크게 4가지 영역에서 프로그램을 진행하고 있는데, <Table 3>에서 나타나 있듯이 CDA를 위한 제품, 연구개발을 위한 도로 트랙, 평가 방법 및 도구, 참여활성화 전략으로 구성된다. CARMA의 제품은 CDA 연구와 테스트를 위한 필수적인 소프트웨어이다. CARMA 성과물에 해당하는 4가지 기술은 모두 V2X 통신 기술에 의해 작동하며, 이러한 OSS 형식의 통신 기술에 기반하여 자율주행차량, 인프라, 개인용 통신기기 간 무선 통신이 가능하다. 여기서 V2X 통신은 SAE J2735 메시지 표준을 기반으로 사용자가 원하는 메시지 형태를 개발하고 있다. 이렇게 개발한 기술을 교통 혼잡관리와 돌발상황 관리, 물류 분야의 CDA 기술에 적용시키고, 시뮬레이션을 활용하여 시스템의 효과를 평가한다. 뿐만 아니라 CARMA 프로그램은 정부, 학계, 산업 분야의 이해관계자가 CDA 기술 개발과 테스트에 참여할 수 있도록 하여 기술 개발을 가속화 하고 있다(CARMA | FHWA, 2022).

CARMA는 협력형 자율주행 시스템 개발을 위해 자율주행차량 뿐만 아니라 데이터 클라우드, 비자율주행 차량을 위한 정보제공 시스템, 테스트 도구를 포함하여 개발함으로써 협력형 자율주행을 지원하기 위한 도로교통 인프라 기술 개발 시 고려해야 할 요소를 제공한다. 무엇보다 연구와 개발을 위해 다양한 이해관계자들의 참여가 필요함을 인식하고 프로젝트 초기부터 이들과 협업하여 국가 연구프로젝트를 진행하고 있다. 이러한 프로젝트의 구성과 추진체계는 자율주행 기술이 하나의 산업분야 발전뿐만 아니라 아닌 모빌리티 서비스와 교통 시스템의 변화로 이끌어 간다는 점에서 기술의 연구개발 방향성을 제시한다고 볼 수 있다.

<Table 3> CARMA Programs

| Program | Item | Explanation |
|-----------------|-----------------|---|
| Products | CARMA Cloud | A set of downloadable, cloud-based, OSS services enabling communication and cooperation between cloud services, vehicles, infrastructure, and road users |
| | CARMA Platform | A downloadable, vehicle-based platform that bestows the research functionality of a C-ADS |
| | CARMA Messenger | A downloadable, vehicle-based application for manual (nonautomated) vehicles, and enables their communication with other participants to engage in CDA |
| | CARMA Streets | A downloadable, infrastructure-based application supporting CDA participation of the infrastructure and interactions with other participants to engage in CDA |
| Research Tracks | Traffic | CDA application to recurring traffic congestion on freeways and arterials |
| | Reliability | CDA application to nonrecurring traffic congestion on freeways and arterials (e.g. work zones, inclement weather, traffic incidents) |
| | Freight | CDA application to commercial motor vehicle and port operations |

| Program | Item | Explanation |
|------------|------------------|--|
| Evaluation | Simulation | Everything-in-the-loop (XiL) or simulation includes hardware-in-the-loop (HiL), model-in-the-loop (MiL), and software-in-the-loop (SiL) simulations, with multiple CDA systems in the loop equipped with CARMA |
| | 1Tenth car | A scaled-down vehicle equipped with a slightly modified CARMA Platform stack |
| | Testing | Educate stakeholders on CARMA, enable users to test their CARMA capabilities, and build awareness for the benefits of CDA |
| | Analytics | A cloud-based data management plan supporting the fusion, analysis, and management of cooperative, automated vehicle, and traditional transportation data |
| Engagement | Collaborative | A community of CARMA users, prospective users, and other stakeholders working to advance CDA through shared expertise |
| | Support Services | Provide the necessary resources and assistance to enhance collaborations supporting CARMA development and deployments at no additional cost to users |

Source : CARMA | FHWA(2022), USDOT CARMA(2022)

2. 유럽의 협력형 자율주행 개발 동향

유럽은 협력형 자율주행 기술 개발을 위해 미국보다 더 다양한 지역에서 여러 단체가 참여하여 연구 프로젝트를 수행하였다. 대표적으로 MAVEN, CoEXist, TransAID, INFRAMIX 등의 프로젝트가 있으며 모든 프로젝트는 유럽연합(EU; European Union)의 주관으로 이루어졌다. 각 프로젝트는 협력형 자율주행 서비스를 세분화 하여 차량 주행, 교통류 관리, 인프라 역할 등 세부목표를 달리하였으며, 연구 목표에 따라 공간적/상황적 범위를 설정하고 도로 참여자를 구성하였다.

1) MAVEN (Managing Automated Vehicles Enhances Network)

MAVEN 프로젝트는 유럽의 자율협력주행 프로젝트 중 가장 먼저 시작한 프로젝트로, 2016년부터 2019년까지 수행되었다. 프로젝트의 목적은 신호교차로를 포함하는 단속류 도로에서 협력주행을 위한 자율주행차량 간 협상 알고리즘 개발과 협력주행에 필요한 기술을 개발하고 이를 통해 자율주행차량을 관리하는 것이다(MAVEN, 2022). 자율주행차량이 도입된 후 혼재상황에서 효율적인 교통류 관리 방안에 초점을 맞추어 추진된 프로젝트라 할 수 있다. MAVEN 프로젝트에서는 총 16개의 유스케이스를 구분하여 기술을 개발하였다(Schindler et al., 2019). 유스케이스는 크게 차량군(Platoon), 속도 가감속 권고, 차로 변경 권고, 긴급상황 지원, 신호최적화, 차량 간 주행 협상, 교통류 혼재상황으로 구성되어 있다. 이러한 유스케이스를 통해 중점적으로 개발한 알고리즘은 Platoon 형성, 유지, 종료까지 Platoon 주行的 전반을 다루고, 신호최적화, 주행계획 생성, 차량 간 협상 알고리즘을 포함하고 있다.

2) CoEXist

CoEXist 프로젝트는 2017년부터 2020년까지 유럽의 4개 도시(Helmond, 네덜란드; Milton Keynes, 영국; Gothenburg, 스웨덴; Stuttgart, 독일)에서 추진된 프로젝트로, 자율주행차량과 기존 비자율주행차량이 도시 내 도로에서 혼재되어 주행할 수 있는 도로환경 마련에 중점을 두고 진행되었다(CoEXist, 2021). 차량의 기술이나 협력주행에 필요한 기술적 요소보다 기존의 도로 네트워크를 자율주행차량(CAV, AV)과 비자율주행차량(CHV)이 서로 안전하게 공유하여 사용할 수 있도록 도로 운영자와 차량 이용주체의 역할을 강화하는데 목적을 두고 있다. 이 프로젝트에서는 정책, 인프라, 계획, 기술, 교통운영 및 관리, 이용자 측면에서 자율주

행차량을 수용할 수 있는 단계를 ‘Automation-ready’ 로 정의하였고, 각각의 요소가 갖추어야 할 목표를 설정하였다(Rupprecht Consult - Forschung & Beratung GmbH, 2020).

이 프로젝트에 참여한 네 개 도시에서 추진한 유스케이스는 <Table 4>와 같다(Olstam and Johansson, 2018b; Olstam, 2018). 각 도시의 도로 현황과, 지역 특성에 맞는 유스케이스를 마련하고, 모델링, 실증까지 진행된 프로젝트로, 자율주행차량을 위한 별도의 네트워크 구성이나 시범지역 선정 없이 기존의 네트워크 활용방안을 마련하였다. 각 유스케이스별로 자율주행차량의 시장점유율(market penetration)에 따라 단계를 구분(introductory, established, prevalent)하고, 차량의 주행협력 기능(driving logic)을 정의하여 도로의 유형별로 필요한 기능을 정의하였다. 여기서 주행 협력기능은 사전에 결정된 경로대로 운행하는 Rail-safe, 차간간격을 차량이 자체적으로 조정하면서 합류기능을 수행하는 Cautious, 일반 사람 운전자와 유사한 주행능력을 수행하는 Normal, 주변 환경과 다른 도로 이용자의 행동을 인식하고 예측하는 All-knowing 단계로 구분한다(<Table 5> 참고). 여기서, Rail-safe와 Cautious는 협력주행이 필요 없는 독립형 자율주행을 의미하고, Normal과 All-knowing은 차량 간 협력과 통신이 필요한 단계로 협력형 자율주행 기능을 포함하는 주행기능이라 할 수 있다. 이렇게 자율주행차량 침투율과 주행 협력기능에 따라 유스케이스별로 모델을 설정하고, VISSIM 시뮬레이션을 활용해 그 효과를 검증하였다.

<Table 4> Use cases of CoEXist project

| City | Use Case | Modelling approach |
|------------------------|---|--------------------|
| Gothenburg, Sweden | 1) Shared space (car, pedestrian, bicycle) | Micro |
| | 2) Accessibility during long-term construction works | Macro |
| Helmond, Netherlands | 3) Signalized intersection including pedestrians and cyclists | Micro |
| | 4) Transition from interurban highway to arterial (speed change) | Micro |
| Milton Keynes, England | 5) Waiting and drop-off areas for passengers | Micro |
| | 6) Roundabouts | Micro |
| Stuttgart, Germany | 7) Impacts of CAV on travel time and mode choice on a network level | Macro |
| | 8) Impact of driverless car- and ride sharing services | Macro |

Source : Olstam and Johansson(2018b), Olstam(2018)

<Table 5> Driving logics of CoEXist project

| Driving Logic | Definition | Communication and cooperation |
|---------------|--|-------------------------------|
| Rail-safe | The logic based on the switch principle: if anything is on the collision course OFF if not ON. The vehicle follows a pre-defined path for the whole trajectory. | X |
| Cautious | The logic calculates gaps accurately and only merges when gaps are acceptable, and it slows down every time its sensors can have blind angles to have no surprises. | X |
| Normal | The logic of an average driver but with the augmented (or diminished) capacities of the sensors for the perception of the surroundings. | O |
| All-knowing | Perfect perception and prediction of the surroundings and the behaviour of the other road users. This automated-driver is capable of forcing his way on other drivers whenever is needed without however ever causing accidents. | O |

Source : Olstam and Johansson(2018a)

3) TransAID(Transition Areas for Infrastructure-Assisted Driving)

TransAID 프로젝트는 2017년부터 2020년까지 진행된 프로젝트로, 자율주행차량이 기술적/환경적 요소로

인해 자율주행기능을 원활히 수행할 수 없는 상황에서 인프라가 자율주행차량을 지원하기 위한 기술개발에 목표를 두고 있다. 여기서, 자율주행의 자동화 수준을 낮춰야 하는 기술적/환경적 상황이라 함은 차량의 센서 오류, 도로의 복잡성 증가 등의 상황을 예로 들고 있다(TransAID, 2022).

TransAID는 주로 자율주행이 불가능한 상황에서 운전자에게 차량 제어권을 이양하거나 안전지대에 정차하도록 지원하는 서비스가 주된 연구 범위이다. 따라서 이 프로젝트에서 다루는 유스케이스와 시나리오는 일반적인 도로교통상황이 아닌 자율주행 기능이 원활하게 작동할 수 없는 상황을 대상으로 한다. 도로 공사현장의 안전한 주행 지원을 위해 일반 차량(AV, CAV, CHV 포함)이 버스 전용차로를 주행하도록 지원하거나, 자율주행차량과 비자율주행차량이 혼재된 상황에서 속도와 차로변경을 지원하고, 합류부 또는 분류부에서 교통류를 안정화하는 등의 서비스 지원, 사고 발생 시 교차로 제어 등이 포함된다(Wijbenga, 2018; Wijbenga, 2019).

인프라가 자율주행차량에게 통신을 통해 서비스를 지원하기 위해서는 도로교통상황을 검지/인지하고 이를 통신 메시지로 변환하여 CAV와 CV에게 전달해야 하는데, 이를 위해 TransAID는 도로 인프라에 구축되어야 하는 센서 기술과 통신 기술, 서비스를 위한 정보연계절차(message flow)를 정의하였다(Correa, 2020). 이러한 내용은 자율협력주행 기술을 실제로 구현하기 위한 필수적인 내용으로서 차량과 인프라의 역할 정의뿐만 아니라 기술적 정의를 통해 향후 협력주행 기술 개발 시 고려해야할 전반적인 요소를 제시했다는 점에서 의의가 있다.

4) INFRAMIX (Road INFRAstructure ready for MIXed vehicle traffic flows)

INFRAMIX 프로젝트는 2017년부터 2020년까지 진행되었으며, 기존 차량과 자율주행차량이 혼재된 교통류에서 자율주행차량을 지원하기 위한 도로 인프라의 기술을 개발한 프로젝트이다(INFRAMIX EU Project, 2022). 프로젝트의 이름에도 드러나 있듯이 이 프로젝트는 교통류를 관리함에 있어 도로 인프라의 역할에 초점을 맞추고 있다. 도로 인프라의 물리적 요소와 디지털 요소를 설계하고, 업그레이드, 조정 및 테스트까지 일련의 과정을 모두 포함한다(Lytrivis et al., 2019).

앞서 소개한 MAVEN, CoEXist, TransAID 프로젝트가 주로 도심도로를 중심으로 진행한 프로젝트였다면, INFRAMIX는 연속류 도로에서 자율주행차량의 주행을 지원하기 위한 미시적인 기능적 요소를 다루고 있다. 크게 세 가지 교통 상황을 다루고 있는데, 자율주행차량 전용차로 운영 시 동적 차로 할당, 공사 구역에서의 차로 변경 지원, 병목지점(합류부)에서 속도/차로변경 지원이 포함된다. 이 프로젝트에서는 물리적 인프라로 교통관제센터와 도로에서 교통상황을 센서를 통해 수집하고 차량에게 정보를 전달하는 RSU(Road Side Unit), 인프라로부터 차량으로 전송된 정보를 전달받는 OBU(On-Board Unit)를 정의하고 있다. 또한 디지털 인프라로 통신 기술(C-V2X, WAVE), 통신 메시지 등을 정의한다. 물리적 요소 간에 통신 기술과 통신 메시지의 전송과정을 시스템 아키텍처로 나타내어, 협력형 자율주행 차량을 지원하기 위한 물리적 요소의 역할과 데이터 흐름을 정의함으로써 도로 운영자와 인프라 역할의 범위를 명확하게 제시하였다(Erhart et al., 2019).

3. 일본의 협력형 자율주행 개발 동향

일본은 자율주행 기술 개발을 위해 미국, 유럽과 마찬가지로 공공이 주도하여 연구를 추진하고 있다. 자율주행 기술을 주도하고 있는 SIP(Strategic Innovation Promotion Program)는 일본의 과학기술혁신협의회(Council for Science, Technology and Innovation) 주도로 수행한 과학기술 연구개발 프로그램으로, 자율주행에 특화된 SIP-adus(SIP-Automated Driving for Universal Services)를 추진 중이다. SIP-adus는 교통사고 감소, 교통 혼잡 완화, 교통약자를 위한 교통수단 확보를 목표로 자율주행 기술을 개발하고 있다(Cabinet Office of Japan, 2021; SIP-adus, 2022).

SIP-adus에서는 자율주행 서비스를 개인차량/물류차량/모빌리티 서비스로 구분하고, 연속류 도로와 도시부 일반도로에서 이를 실증하고 있으며, 인프라에서 교통신호/날씨/긴급차량통행/혼잡차로 정보를 수집하여 차량에게 전달하는 통신 기술과 정보 전달을 위한 LDM(Local Dynamic Map) 구축기술을 포함하는 협력형 자율주행 기술을 개발 중이다. 주로 도로환경정보와 객체 동적정보를 수집하여 차량에게 전달하는 C-ITS 기술 사업화에 집중하고 있으며, 인프라 측면에서는 수집 센서의 정밀도 향상과 고속 통신 기술, 차량과 이용자 측면에서는 정보를 수신 받을 수 있는 HMI 기술이 포함된다. 또한, 개발된 기술을 실증하기 위하여 도쿄시, 하네다 공항 지역, 도쿄와 하네다 공항을 잇는 고속도로를 테스트베드로 지정하여 기술을 실증하고 있다 (Cabinet Office of Japan, 2021).

4. 국내 협력형 자율주행 개발 동향

1) C-ITS 시범사업

우리나라는 C-ITS 시범사업(2014-2021)을 통해 도로에서 차량의 안전주행을 지원하기 위한 인프라 기술을 개발하였다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT) | C-ITS Pilot Project, 2022). 이 사업은 자율주행차량을 직접적으로 지원하는 기술이기보다는 도로 주변상황 정보를 차량과 운전자에게 전달하여 교통사고를 예방하는데 초점을 맞추고 있다. 여기서, 도로 주변상황 정보는 위험구간정보, 돌발상황, 대중교통 운행 정보, 스쿨존 정보 등을 의미한다(<Table 6>). 자율주행을 지원하기 위해서는 단순 주변상황 정보 전달뿐만 아니라, 실제 차량주행에 영향을 미치는 차로변경, 속도제어, 차량 간 주행협상에 필요한 정보가 필요하다. 차량-인프라 간 통신이나 차량 간 통신 기술이 필요하기 때문에 C-ITS 기술은 협력형 자율주행 기술의 중요한 요소이다. 향후 협력형 자율주행 기술 개발 시에는 이 시범사업을 통해 개발된 인프라 기반의 동적정보 인지 기술과 통신 기술을 활용하여 자율주행차가 주행하는데 필요한 보다 정확하고 신속한 정보를 전달함으로써 인프라 지원 관점의 협력형 자율주행시스템을 더 효율적으로 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

<Table 6> Application of C-ITS Pilot Project

| No. | Function | Application field |
|-----|--|--|
| 1 | Location based vehicle data collection | basic information collection/providing |
| 2 | Location based traffic information provision | |
| 3 | WAVE communication based toll collection | Toll collection |
| 4 | Hazardous location notification | Safe(caution) driving support |
| 5 | Road feature and weather notification | |
| 6 | Road work zone warning | |
| 7 | Signalized intersection violation warning | Intersection traffic safety support |
| 8 | Intersection right turn conflict warning | |
| 9 | Transit vehicle operation management | Public transportation safety support |
| 10 | School bus warning system | |
| 11 | School and silver zone warning | Pedestrian care |
| 12 | Pedestrian collision warning | |
| 13 | Forward collision warning | Prevent accident between vehicles |
| 14 | Emergency vehicle approaching alert | |
| 15 | Vehicle SOS application | |

Source : MOLIT | C-ITS Pilot Project(2022)

2) 도심도로 자율협력주행 안전·인프라 연구(Research on Safety-Infrastructure for Connected and Automated Driving at the Urban Road; CADUR)

국내에서는 국토교통부 주관으로 ‘도심도로 자율협력주행 안전·인프라 연구(2019-2021)’를 통해 협력형 자율주행 서비스를 도출하고 관련 기술을 개발 및 실증하였다(Korea Automobile Testing and Research Institute, 2022). 이 연구는 교통안전을 위한 주변 정보제공이라는 대주제에서 출발한 C-ITS 시범사업과 달리, 자율주행 차량의 주행 전반을 지원하기 위한 기술 개발에 초점을 맞추어 추진되었다. 자율주행 레벨 4 수준을 지원하기 위한 인프라의 역할을 정의하였고, 이러한 기술을 구현하기 위해 동적정보 수집 기술을 개발하여 테스트베드(K-City)와 실제 도로에서 실증을 수행하였다. 자율주행 차량이 도시부 도로 주행 시 차량이 스스로 주행하기 어려운 상황에서 인프라의 지원을 통해 자율주행이 가능하도록 정보를 제공하는 기술을 개발하였다. 인프라가 차량에게 제공하는 정보는 인프라가 실시간으로 수집한 도로의 이동체 정보로, 차량이 직접 인지하기 어려운 LDM 레이어 4(동적정보) 정보를 신속하게 인지하여 차량에게 전송하는 기술을 개발함으로써 협력주행을 위한 정보수집 및 가공, 정보 전달체계를 확립하였다. 실도로 검증을 통해 도로상의 정보를 수집하고 노변장치(RSU)의 엣지컴퓨팅 기술 개발을 통해 차량에게 정보를 제공할 수 있는 플랫폼을 구축함으로써 자율주행차량 주행 시 인프라와 협력하여 주행 안전성을 높일 수 있음을 보여주었다.

이 연구는 공간적 범위로 도심도로의 일반구간과 신호교차로를 포함하며, 상황적 범위에 보행자 무단횡단이나 공사 구간과 같은 돌발상황을 포함하고 있다. 국내의 도로 현황과 신호체계, 통신 기술을 기반으로 수행된 연구로서 자율주행차량(AV)이 가지는 한계점을 확인하고, 국내 도로 여건에서 인프라가 지원할 수 있는 기술적 영역을 정의했다는 점에서 향후 자율협력주행 연구를 위한 방향성을 제시한 연구라 할 수 있다.

5. 국내·외 협력형 자율주행 기술 개발 동향 비교

앞선 절에서 기술된 미국, 유럽, 일본, 그리고 국내에서 수행된 협력형 자율주행 기술 개발 연구를 <Table 7>과 같이 요약하였다. 유럽의 연구는 실증 지역이 다양한 특성이 있고, 요소 기술과 서비스를 세분화하여 다양한 주체가 참여하여 연구를 수행하였다. 반면, 미국과 일본 그리고 국내 연구과제는 정부와 공공 주도로 연구를 수행하고, 사업화를 통해 기술을 확장해 나가는 방식으로 추진하였다. 각 프로젝트는 자율협력주행 기술 개발을 목표로 하는 교통류 특성과 공간적·상황적 범위를 정의하고, 존재되어 있는 차량의 종류(CAV, CV, AV, CHV) 또한 한정하여 실증을 진행한 것을 알 수 있다.

미국의 CARMA 프로젝트는 연속류 구간에서 CAV간 협력대응 시나리오에 중점을 두고 연구를 수행하였기 때문에 CAV가 아닌 다른 차량과의 혼재상황에서의 협력주행 연구는 부족한 것으로 파악된다. 미국의 자율주행 기술 개발은 웨이모, 테슬라 등의 민간기업이 주도하고, 공공은 자율주행차량이 협력주행을 구현할 수 있도록 데이터 클라우드를 제공하고 실증할 수 있는 환경을 마련해주는 것이 주된 역할이다.

미국과 달리 유럽, 일본, 그리고 국내의 연구는 비자율주행차량과 일반차량과의 혼재상황 실증이나 데이터 공유/융합/운영 관점에서 진행되고 있다. 유럽은 교통류 혼재상황, 자율주행차량 제어권 전환 등 다양한 연구를 수행하였고, 연구를 통해 다양한 유스케이스를 제시하였다. 또한 이러한 프로젝트를 통해 다수의 자동차 제조 기업, 소프트웨어 개발 기업, 시뮬레이션 기업들이 참여하였기 때문에 기술 개발의 다양성을 가진다는 점에서 다른 나라들과 차별성을 가진다. 또한 CAV 뿐만 아니라 AV, CV, CHV, 보행자 등 다양한 도로 참여자와의 혼재상황을 고려해 연구를 추진하여, 실제 자율주행차량이 도로를 주행할 때 주행의 안전성을 높일 수 있는 방안을 마련했다. 하지만 자율협력주행에 인프라의 역할을 자율주행 성능저하나 연속류 구간에서의 교통류 최적화에 국한하여, 혼재상황에서 non-CAV를 지원할 수 있는 인프라 가이드선의 연구가 부족했다.

일본은 자율주행차량 성능 기술에 초점을 맞추어 서비스를 개발하고 있으며, 협력형 자율주행에서 인프라의 역할을 단순히 차량에게 도로의 신호, 교통 혼잡, 날씨 등 현재 상황을 알려주는 역할에 국한하고 있다. 국내의 자율협력주행 연구는 현재까지 자율협력등급 Class A~B 수준(SAE J3216)에서 기술 실증이 진행된 바 있으며, 자율주행 레벨 4수준 기술 개발에 있어서도 매우 제한적인 ODD를 대상으로 연구를 수행하였기 때문에 실제 자율주행차량 도입과 협력주행 구현을 위해서는 더 높은 수준의 자율협력주행 기술 개발과 실증 연구가 필요하다.

<Table 7> Summary of C-ADS researches

| Projects | USA | EU | | | | Japan | Korea |
|------------------------|---|---|--|--|---|---|--|
| | CARMA | MAVEN | CoEXist | TransAID | INFRAMIX | SIP-adus | CADUR |
| Periods(year) | 2014 - today | 2016 - 2019 | 2017 - 2020 | 2017 - 2020 | 2017 - 2020 | 2018 - today | 2019 - 2021 |
| Purposes | Development and testing of CDA features in the transportation ecosystem | Platoon and cooperative manoeuvre algorithm for CAV | Policy and operation guidelines in a mixed road environment for CAV and CHV | Development of traffic management procedures including transition of control for CAV/AV. | Road infrastructure to support the coexistence of conventional and automated vehicles | Implementation in Lv.4 automated driving services | Safety and infrastructure for connected and automated driving at the urban Road |
| Traffic regimes | uninterrupted flow | interrupted flow | interrupted and uninterrupted flow | interrupted and uninterrupted flow | uninterrupted flow | interrupted and uninterrupted flow | interrupted flow |
| Spatial scopes | freeway/ arterial, maritime port and terminal | intersection | freeway/ arterial, Shared space, intersection | freeway/ arterial, intersection and bus lane | freeway and arterial road | freeway and arterial road | intersection and crosswalk |
| Situations | recurring congestion, exceptional traffic situation (adverse weather condition, accident, roadwork) | platoon, accident | transition of speed limit, exceptional traffic situation (roadwork, drop-off passengers) | roadwork, accident, Spill-back | CAV dedicated lane, congestion, exceptional traffic situation (adverse weather condition, roadwork) | platoon | dilemma zone, emergency vehicle, exceptional traffic situation (jaywalk, roadwork) |
| Target Vehicles | CAV | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | CV | | | ○ | ○ | | ○ |
| | AV | | | ○ | ○ | ○ | |
| | CHV | | ○ | ○ | ○ | | |
| Role of infrastructure | traffic information collection and provision | N/A | N/A | dynamic traffic information collection and traffic control | dynamic traffic information collection and traffic optimization | traffic signal optimization | dynamic traffic information collection and provision(including traffic signal) |

IV. 협력형 자율주행 기술 개발 시사점

협력형 자율주행 표준인 미국의 SAE J3216와 유럽의 ISAD는 가장 높은 수준의 협력형 자율주행에 대해, 차량에게 인프라가 주행을 지시(prescriptive)하거나, 속도와 적정 주행차로 등을 가이드نس 할 수 있는 수준이라고 정의하고 있다. 이 표준에서 제시하는 협력형 자율주행의 목적에 근거하여 향후 기술 개발의 시사점을 도출하였다. 향상된 협력형 자율주행 수준을 달성하기 위해서는 인프라의 검지/인지 기술과 통신기술, 인프라가 전달하는 정보를 수신/활용할 수 있는 차량기술이 개발되어야 한다. 국내·외에서 수행된 협력형 자율주행 기술 개발 동향을 조사한 결과, 다수의 연구가 인프라의 역할을 단순 정보수집/전달에 국한하고 있었다. 예외로 TransAID와 INFRAMIX 프로젝트가 교통류를 제어하거나 최적화하기 위한 동적정보를 제공하는 협력주행 연구를 진행한 바 있다. 향후 협력형 자율주행 기술 개발은 교통류를 최적화 할 수 있도록 인프라가 수집한 정보를 분석/판단하여 차량에게 주행 가이드نس 정보를 제공할 수 있는 수준으로 발전되어야 한다. 이러한 필요성에 입각하여 인프라가 주행 가이드نس를 제공하기 위한 기술 개발 방향을 도출하였다.

1. 인프라 기반의 주행 가이드نس를 통한 협력주행 구현

자율주행차량이 독립형 자율주행 기술의 한계를 극복하기 위해서는 인프라 기반의 정보 제공을 통한 협력주행이 필요하다. 그리고 인프라 차원에서는 차량에게 전송할 정보생성을 위해서 도로에 설치된 RSU 센서를 통해 주변 동적정보를 검지/인지할 뿐만 아니라 교통관제센터와 통신, 주변 차량과의 통신을 통해 다양한 정보를 융합할 수 있어야 한다. 여기서, 교통관제센터를 통해 받는 정보로는 예정된 공사 계획, 도로 폐쇄 계획 등이 포함된다. 또한 인프라가 주변 차량과의 통신을 통해 수집하는 정보(V2I)는 협력인지 정보로 구분하는데, 인프라가 직접적으로 검지하지 못한 객체나 도로환경 정보에 대해 차량이 수집하여 전송하는 정보, 차량 자체의 운행정보 등을 인프라가 습득하여 협력인지 정보로 활용하는 것이다. 인프라는 다양한 정보의 융합/분석/판단 과정을 통해 주행 가이드نس 메시지를 제공한다면 차량은 자체 센서로 인지한 정보와 가이드نس 정보를 주행에 활용할 수 있다.

CAV는 인프라 가이드نس 정보를 수신하여 주행할 때, 인프라로부터 수신한 정보를 다른 차량과 공유하거나 인프라 가이드نس에 따라 주행한다는 의도 공유/합의-모색(SAE J3216) 과정을 통해 협력주행을 구현하여야 한다. 인프라 가이드نس 정보가 I2V로 제공된 정보라면, 실제로 주행 시에는 V2V 통신을 통해 협력주행 과정을 거치게 되는 것이다. 이처럼 협력형 자율주행을 위해서는 단방향의 정보제공과 통신이 아닌, 차량과 인프라의 상호 간 통신과 협력이 필요하다.

2. 자율주행차량 도입에 따른 혼재 교통류 최적화 기술 개발 필요

인프라 가이드نس를 통해 단순히 자율주행차량의 주행 안전성을 높이는 것뿐만 아니라 다양한 도로 참여자 측면에서도 효과를 기대할 수 있다. 먼저, 도로를 통행하는 비자율주행차량과 이륜차, 보행자 등 다양한 도로 참여자들을 인지하여 혼재상황에서 자율주행차량에게 돌발상황 정보, 동적정보를 제공하는 것뿐만 아니라 데이터에 기반하여 이러한 동적객체들의 경로예측정보를 함께 제공한다면 자율주행차량은 위험과 혼잡을 최소화 할 수 있는 주행로직을 만들어 낼 수 있을 것이다. 또한, 자율주행차량이 아닌 다른 도로 참여자에게도 주변의 위험상황을 알리고, 자율주행차량 통행정보를 제공하여 더 안전한 도로·교통환경을 조성할 수 있다. 이는 협력형 자율주행이 단순히 자율주행차량을 위한 서비스가 아니라, 교통체계 전체의 안전성과

교통류 효율성을 높일 수 있는 서비스라는 것을 나타낸다. 협력형 자율주행 기술을 통해 인프라는 다양한 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 활용하여 도로의 구간 또는 교통 네트워크 수준에서 최적 주행을 위한 가이드언스를 제공한다면 교통시스템 운영·관리 측면에서도 최적화된 교통 서비스를 제공할 수 있을 것이다.

3. 기술과 법/제도, 운영을 포함하는 서비스로서의 자율협력주행 필요

협력형 자율주행을 위한 인프라 가이드언스 서비스를 위해서는 기술적 개발과 이용자 측면의 서비스 개발에 대한 병행 연구가 필요하다. 여기서, 기술적 개발이라 함은 차량과 인프라가 정보를 송수신하기 위한 통신 기술, 인프라가 동적정보를 수집하기 위한 센서 기술, 데이터 저장/분석 기술, 가이드언스 메시지 생성 기술을 의미한다. 인프라 가이드언스를 위한 기술적 요소에 대한 개발은 현재도 활발하게 진행되고 있다. 인프라 RSU에 적용할 수 있는 카메라, 라이다, 레이더 센서 기술뿐만 아니라 C-ITS 통신기술 등이 이에 해당한다. 인프라가 차량을 지원할 수 있는 기술을 개발함과 동시에 실제 자율주행차량이 인프라를 통해 수신한 정보를 활용하여 협력주행을 구현하는 기술까지 구현하기 위해서는 기술의 신뢰성과 안정성이 확보되어야 한다. 또한, 많은 실증 연구를 통해 차량 이용자와 제조사가 인프라 가이드언스를 수용할 수 있는 기술로 발전되어야 할 것이다.

서비스 개발이라 함은 도로구간의 공간적 특성과 교통상황 특성을 고려한 상충유형과 위험성 도출, 여러 도로 참여자에게 가이드언스 정보를 표출할 수 있는 방법 마련, 기술적 요소를 효율적으로 운영하기 위한 방안, 기술 확산을 위한 표준화, 기술 적용을 위한 법/제도적 지원 방안 등을 포함한다. 예로써, 유럽의 TransAID 연구에서는 인프라와 차량 간 통신을 위한 통신 메시지를 개발하고 이를 표준화 하는 과정을 진행하였는데 이러한 과정이 서비스 측면에서 인프라 가이드언스를 개발한 사례라 할 수 있다. 협력형 자율주행을 위한 인프라 가이드언스를 개발하는 초기에는 기존 도로와 교통류 상황에서 기술을 단계적으로 적용할 수 있는 방안이 필요하다. 따라서 인프라 가이드언스가 필요한 공간적·상황적 우선순위가 필요하다. 예를 들어, 차량 간 상충 위험성이 높은 구간이나 교통 정체 가능성이 높은 구간을 선정하여 각 구간 특성에 적합한 협력주행 서비스를 우선순위에 둘 수 있다. 이러한 과정을 인프라 가이드언스 유스케이스 정의라 할 수 있으며, 유스케이스 정의와 함께 서비스 제공을 위한 시나리오를 구성함으로써 인프라 가이드언스가 이용자에게 어떠한 방식으로 어떠한 효용을 줄 수 있는지 보여줄 수 있다. 이렇게 자율협력주행 기술을 뒷받침하는 서비스를 함께 개발함으로써 자율주행차량의 보급 속도를 높이고 더 안전하게 주행할 수 있는 환경을 조성할 수 있다.

인프라 가이드언스가 필요한 궁극적인 이유는 자율주행차량의 센서 기술만으로 주행하기 어려운 상황을 극복하고 더 많은 정보를 제공하기 위함이다. 자율주행차량과 비자율주행차량이 혼재된 상황에서 도로교통 시스템 최적화를 달성하기 위한 방향으로 가이드언스 기술이 마련되어야 한다. 자율주행차량의 안전한 주행뿐만 아니라 비자율주행차량의 안전, 혼잡 감소, 불필요한 가감속을 줄여 에너지 최적화를 이루어낼 수 있어야 한다. 이것이 차량측면에서 자율주행 기술 개발뿐만 아니라 인프라 기술로 자율주행을 지원하는 서비스를 개발해야 하는 이유이다.

V. 결 론

본 연구에서는 국내·외 협력형 자율주행 기술 개발 동향을 정리하고 향후 자율협력주행 기술이 나아가야 할 방향과 시사점을 도출하였다. 현재 자율주행과 관련하여 표준 제정과 기술 개발이 활발히 이루어지고 있

다. 국가별 자율주행 기술 개발 내용이 제시하는 바는 결국 자율주행기술의 발전과 보급을 위해서는 협력형 서비스로 나아가야 한다는 것이다. 미국과 유럽은 자율주행 수준을 정의한 표준에서 더 나아가 협력형 자율주행 수준을 새롭게 정의하여 표준화 하였고, 특히 유럽은 협력형 자율주행에서 인프라의 지원이 중요함을 강조하였다. 또한, 협력형 자율주행 서비스에 필수적인 V2X 통신 기술은 현재도 계속해서 발전하고 있으며, 통신의 속도 향상과 안정성을 확보하기 위한 노력이 이루어지고 있다. 국내에서도 C-ITS 시범사업을 통해 협력형 교통 서비스를 도출하고 통신 기술을 검증한 바 있으며, 협력형 자율주행 서비스를 개발하는 많은 연구가 진행 중이다.

협력형 자율주행 기술과 서비스를 위해서는 인프라의 역할이 중요하다. 이러한 인프라 역할의 중요성에 입각해 국토교통부에서도 자율주행을 지원하기 위한 인프라 가이드선스 기술을 개발하는 연구과제가 수행 중이며, 이를 통해 협력형 자율주행 기술을 구현하고, 향후에는 실제 도로에서 자율주행차량이 더 안전하게 주행할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-00142565).

REFERENCES

- Autonomous Vehicle Convergence Future Forum(2018), *2018 Final Report of Autonomous Driving Vehicle Convergence Future Forum Operation*.
- Bujanović, P.(2021), *Using Open-Source Software to Transform the Transportation Network*, CARMA Presentation Report.
- Cabinet Office of Japan | Secretariat of Science, Technology and Innovation Policy(2021), *Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP) Automated Driving for Universal Services R&D Plan*.
- Choe, S.(2017), “Transportation Operation Management Plan in the Era of Connected and Automated Driving”, *Journal of the Korean Road Association*, vol. 19, no. 4, pp.14-18.
- CoEXist, <https://www.h2020-coexist.eu/>, 2021.12.24.
- Cooperative Automation Research Mobility Applications | Federal Highway Administration(CARMA | FHWA), <https://highways.dot.gov/research/operations/CARMA>, 2022.03.18.
- Correa, A.(2020), *V2X-based cooperative sensing and driving in Transition Areas (D5.2)*, TransAID Report, pp.101-129.
- Erhart, J., Lytrivis, P., Salguero Pizarro, J. J., Tötzl, D. and Wimmer, Y.(2019), *Design and Development of Infrastructure Elements (D3.1)*, INFRAMIX Report.
- European Road Transport Research Advisory Council(ERTRAC)(2019), *Connected Automated Driving Roadmap 2019*, pp.7-8.
- Hwang, J.(2020.04.), “Trend of Sensor Technology for Autonomous Driving”, *Auto Journal*, vol. 42, no. 4, pp.18-21.

- INFRAMIX EU Project, <https://www.inframix.eu/>, 2021.12.15.
- Korea Automobile Testing and Research Institute(2022), *Research on Safety-Infrastructure for Connected and Automated Driving at the Urban Road(CADUR) Final Report*.
- Lee, S. and Lee, J.(2020), “5G Network Based V2X Protocol for Video Transmission”, *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 45, no. 7, pp.1314-1321.
- Lytrivis, P., Manganiaris, S., Papanikolaou, E., Carreras, A., Daura, X. and Erhart, J.(2019), *Requirements Catalogue from the Status Quo Analysis (D2.1)*, INFRAMIX Report.
- Managing Automated Vehicles Enhances Network(MAVEN), <http://www.maven-its.eu/>, 2022.04.01.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) | C-ITS Pilot Project, <https://www.c-its.kr/introduction/concept.do>, 2022.03.23.
- Mun, C.(2019.12.), “Status of Standardization for Connected and Automated Driving Vehicles”, *Auto Journal*, pp.63-66.
- Noh, H.(2021), “Data for Artificial Intelligence Learning to Advance Automated Vehicle Recognition Performance”, *Ai Data Insight*, https://webzine.aihub.or.kr/insight/vol12/vol12_content03.html
- Olstam, J. and Johansson, F.(2018a), *Scenario specifications for eight use cases (D1.4)*, CoEXist Report.
- Olstam, J. and Johansson, F.(2018b), *Use case specifications (D1.3)*, CoEXist Report.
- Olstam, J.(2018), *Baseline microscopic and macroscopic models (D3.1)*, CoEXist Report.
- Rupprecht Consult-Forschung & Beratung GmbH(2020), *Automation-ready Framework (extended version) (D1.2)*, CoEXist Report.
- Society of Automotive Engineers (SAE) International(2020), *V2X Communications Message Set Dictionary(J2735TM Standard)*, Issued 2006.12., Revised 2020.07.
- SAE International(2021a), *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Cooperative Driving Automation for On-Road Motor Vehicles(J3216TM Standard)*, Issued 2020.05., Revised 2021.07.
- SAE International(2021b), *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles(J3016TM Standard)*, Issued 2014.01., Revised 2021.04.
- Schindler, J., Blokpoel, R., Rondinone, M., Walter, T., Přibyl, O., Saul, H., Leich, A. and Wesemeyer, D.(2019), *WP6 Integration, implementation and test (D6.4)*, MAVEN Final Report.
- Soh, J. and Moon, Y.(2018), “Infrastructure Implementation Plan for Connected Automated Driving Safety”, *Information & Communications Magazine*, vol. 35, no. 5, pp.37-43.
- Strategic Innovation Promotion Program-Automated Driving for Universal Services(SIP-adus), <https://en.sip-adus.go.jp/sip/>, 2022.03.16.
- TransAID, <https://www.transaid.eu/>, 2022.06.25.
- United States Department of Transportation | Cooperative Automation Research Mobility Applications(USDOT CARMA), <https://its.dot.gov/cda/>, 2022.06.26.
- United States Department of Transportation(U.S. DOT)(2018), *Preparing for the Future of Transportation: Automated Vehicle 3.0*.
- Wijbenga, A.(2018), *Use cases and safety and efficiency metrics (D2.1)*, TransAID Report.
- Wijbenga, A.(2019), *Scenario definitions and modelling requirements (D2.2)*, TransAID Report.