

상용차 자율협력주행 플랫폼 평가를 위한 V2X 기반 평가환경 개발

Evaluation Environment based on V2X Communication for Commercial Vehicle Cooperative Autonomous Driving

정한균¹ · 진성근¹ · 광재민^{2*}

¹한국전자기술연구원 모빌리티플랫폼연구센터

²목포해양대학교 항해정보시스템학부

Han-gyun Jung¹ · Seong-keun Jin¹ · Jae-min Kwak^{2*}

¹Mobility Platform Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Gyeonggi-do, 13509, Korea

²Division of Navigation Information System, Mokpo National Maritime University, Jeollanam-do, 58628, Korea

[요 약]

본 논문에서는 V2X 통신 기반의 상용차 자율협력주행 플랫폼 평가환경 구축 연구의 내용을 소개한다. V2X 통신 기반의 자율협력주행 플랫폼 평가를 위해서는 다양한 주행 시나리오를 적용할 수 있는 도로 및 V2X 인프라 등의 테스트베드 구축과 함께 시험평가를 위한 각종 제반 규격 및 표준, 지침 등이 개발되어 피시험자에게 제공되어야 한다. 또한, 이를 기반으로 실제 시험평가를 진행할 수 있는 각종 레퍼런스 장비와 시험장비 등이 개발되어야 한다. 본 논문에서는 V2X 통신 기반 상용차 자율협력주행 플랫폼 평가환경을 구성하기 위해 개발된 다양한 기술과 규격, 장비 그리고 구축 인프라를 소개한다.

[Abstract]

In this paper, we introduce the contents of research on the establishment of an evaluation environment for autonomous cooperative driving platform for commercial vehicles based on V2X communication. For the evaluation of the autonomous cooperative driving platform based on V2X communication, various standards, standards, and guidelines for test evaluation should be developed and provided to the test subject, along with the establishment of test beds such as roads and V2X infrastructure that can apply various driving scenarios. do. In addition, based on this, various reference equipment and test equipment for actual test and evaluation should be developed. In this paper, various technologies, standards, equipment, and construction infrastructure developed to construct the evaluation environment for autonomous cooperative driving platform for commercial vehicles based on V2X communication are introduced.

Key word : V2X, Cooperative Autonomous Driving, Test method, Evaluation environment, Infrastructure.

<https://doi.org/10.12673/jant.2021.25.6.450>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 11 November 2021; Revised 1 December 2021

Accepted (Publication) 24 December 2021 (30 December 2021)

*Corresponding Author ; Jae-min Kwak

Tel: +82-61-240-7268

E-mail: kjm@mmu.ac.kr

I. 서론

최근 V2X(vehicle to everything) 통신 기술 기반으로 자율주행 차량의 인식범위를 확장하여 좀 더 안전하고 자연스러운 자율주행을 가능케 하기 위한 연구 활동이 활발히 진행되고 있다. 자율협력주행은 개별 차량에 의한 자율주행을 수행하는 것뿐만 아니라 차량 간 또는 차량과 외부장치 간 정보교환을 통해 좀 더 높은 완성도의 자율주행을 지원할 수 있게 한다. 자율주행을 선도하는 미국과 유럽은 물류 시장의 급격 성장에 따른 자율주행 트럭을 실증·도입하고 있고 특정 구간을 반복 운행하는 특성으로 인해 상대적으로 조기 성공 확률이 높은 자율주행 트럭의 상용화가 일반 승용차보다 앞서 이루어질 것으로 전망되고 있다[1]. 특히, 장거리·장시간·야간 운행 위주인 고속도로 화물트럭은 사고 발생 시에 대형 사고로 이어질 수 있어 자율협력주행/군집주행 기술의 개발이 필요하며, 해당 기술 실현 시 운전자 부족과 고령화 심화로 인한 문제점 해결은 물론 연료 절감과 탄소 중립 실현 및 총소유비용 절감에도 효과적일 것으로 예상된다. 본 논문에서는 새만금 지역 상용차 자율주행 테스트베드 구축 연구에서 수행 중인 상용차 자율협력주행 시험평가 환경 구축 내용을 소개한다. 2장에서는 상용차 자율협력주행에 대한 일반적인 내용을 기술하고, 3장에서는 현재 구축 중인 상용차 자율협력주행 평가환경을 소개하며, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 상용차 자율협력주행

유럽을 중심으로 상용차의 자율협력주행/군집주행 서비스의 호환성을 확보하기 위한 프로토콜 표준화 및 기술 개발 프로젝트인 앙상블(ENSEMBLE) 프로젝트가 활발히 진행되고 있다[2]. 상용차는 중량 및 기계장치 등 고유의 특징으로 인해 자율협력주행/군집주행 구현 시 일반 승용 자동차에 비해 더욱 높은 정밀도와 짧은 시간 지연을 요구한다. 차량에 장착된 센서를 기반으로 하는 ACC(Adaptive Cruise Control) 기술은 여러 대가 함께 운행하는 경우 제어 지연 웨이브가 발생하는데, 이를 해결하기 위한 수단으로 V2X 통신 기술이 사용될 수 있다. 유럽의 앙상블 프로젝트에서는 V2V(Vehicle to Vehicle) 통신을 이용한 CACC(Cooperative Adaptive Cruise Control) 기술을 개발하여 적용하고 있다. 해당 기술은 V2V 통신을 통해 자율협력주행/군집주행 중인 모든 차량이 지연 없이 제어 정보를 교환하도록 하여, 센서 기반 시스템에서 발생하는 누적 지연 문제를 해결한다. 따라서 상용차 자율협력주행/군집주행을 위해서는 V2X 통신 기술이 필수적이다.

상용차의 자율협력주행/군집주행이 가능해지면 주행 차량 간 공기저항을 줄이고 불필요한 감속 및 가속을 제어하여 연료 효율을 높이고 물류비용을 절감하는 효과를 얻을 수 있다. 이처럼 상용차 자율협력주행/군집주행 기술의 적용을 통한 사회적/

경제적 효과가 높으므로, 해당 기술에 대한 연구개발이 필요하며, 특히 연구개발 이후 실도로 실증 수행의 전 단계에서는 테스트 도로에서의 시험평가가 필수적이다. 이를 위해 현재 새만금 지역 상용차 자율주행 테스트베드 구축 연구에서는 상용차 자율협력주행/군집주행 기능에 대한 시험평가 환경을 구축하고 있다.

III. V2X 기반 상용차 자율주행 평가환경 구축

새만금 지역 상용차 자율주행 테스트베드 구축 연구에서는 V2X 통신 기반의 상용차 자율협력주행 플랫폼 평가환경을 구축하기 위해 다음과 같은 연구를 진행하고 있다.

- 시험평가를 위한 도로 및 C-ITS 인프라 구축
- 시험평가를 위한 제반 규격 및 표준, 지침 개발
- 시험평가를 위한 장비 구축

3-1 시험평가를 위한 도로 및 C-ITS 인프라 구축

본 연구에서는 상용차 자율협력주행 플랫폼을 평가하기 위한 테스트 도로 및 C-ITS(Cooperative Intelligent Transportation System) 인프라를 새만금 지역에 구축하고 있으며, 다음과 같은 특성을 통해 상용차 자율협력주행 평가에 특화된 평가환경을 제공한다.

- 80km/h 이상 고속 자율주행
- 곡선로를 반영한 시험로
- C-ITS 서비스 연계
- 연속성 시나리오 반복 및 재현 가능 시험로
- Hybrid V2X 통신 지원



그림 1. 새만금 지역 상용차 자율협력주행 평가 테스트베드
 Fig. 1. Test bed of automated driving system for commercial vehicle in Saemangeum area

3-2 시험평가를 위한 제반 규격 및 표준, 지침 개발

V2X 통신 기반의 상용차 자율협력주행 플랫폼의 평가를 위해서는 다양한 제반 규격과 표준, 지침 등이 개발되어 시험자와 피시험자에게 제공되어야 한다. 피시험자는 이를 통해 해당 평

가환경에서 자사 플랫폼이 평가될 수 있도록 사전에 준비할 수 있으며, 시험자와 피시험자 간 발생할 수 있는 오류를 최소화할 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 다음 규격과 표준, 지침 등을 개발하였다.

1) 테스트베드 V2X 통신 및 메시지 규격

본 규격은 테스트베드 내에서 제공되는 자율협력주행 서비스 기반의 시험평가를 수행하기 위해 C-ITS 인프라와 차량플랫폼 간에 교환되는 정보 및 메시지를 정의하며, 자율협력주행 서비스 지원을 위한 메시지 규격과 실시간 차량 정보 업로드 메시지 규격을 포함한다. 해당 규격에 정의된 테스트베드 제공 자율협력주행 서비스 및 관련 메시지는 다음과 같다.

표 1. 테스트베드 제공 서비스 및 메시지

Table 1. Test bed service and message

No.	Service	Type	Message
1	Driving in response to road conditions	I2V	TIM/RSA
2	Driving in response to irregular road conditions	I2V	TIM/RSA
3	Driving in response to signal intersections	I2V	SPAT/MAP
4	Driving in response to variable lane	I2V	SPAT/MAP
5	Driving in response to speed limits	I2V	TIM/SPAT/MAP
6	Driving in response to facility information	I2V	RSA
7	Driving in response to abnormal vehicle	V2V	BSM
8	Driving in response to emergency vehicle	V2V	BSM/EVA
9	Driving in response to non-signalized intersection	V2V	BSM/ICA
10	Driving in response to forward collision	V2V	BSM
11	Driving in response to convergence road	V2V	BSM
12	Lane change driving	V2V	BSM
13	Overtaking	V2V	BSM
14	DNPW	V2V	BSM
15	Driving in response to forward emergency braking	V2V	BSM
16	Driving in response to VRU	V2V	PSM/SPAT

본 규격에서는 각 서비스를 제공하기 위해 사용되는 메시지에 수납되는 정보와 해당 정보의 해석에 대한 상세한 내용이 정의되어 있으며, 이를 통해 피시험자가 시험에 쉽게 대응하고 시험 시 시험자와 피시험자 간 해석의 차이로 인한 오류를 최소화하도록 한다. 아래 표는 노면 상태 대응 주행 서비스 제공을 위한 RSA(Road Side Alert) 메시지의 사용 방법 예시를 보여준다.

표 2. 노면 상태 대응 주행 서비스를 위한 RSA 메시지 구성

Table 2. RSA message for road surface condition service

Message field	M/O	Description
typeEvent	M	Event type (ITIScodes) Black ice: black-ice(5908) Wet road surface: wet-pavement(5895)
heading	M	Event application direction
position	M	Coordinates of the event point
furtherInfoID	M	Event ID * 0x0301~0x03FF - 0x03: Weather/disaster information alerts - 0x01~0xFF: Serial number

또한, 차량플랫폼의 상태 정보를 관제센터로 실시간 전송함으로써 서비스 제공에 따른 차량플랫폼의 대응 및 주행 상황을 평가할 수 있도록 차량 정보의 형식과 전송 방법을 정의한다. 다음 표는 시험평가를 위해 업로드되는 차량 정보를 나타낸다.

표 3. 시험평가를 위한 차량 정보 업로드 항목

Table 3. Vehicle information upload items for test evaluation

Input	Data	Description	Duration (ms)
GNSS	accuracy	position accuracy	10
	latitude	vehicle latitude	10
	longitude	vehicle longitude	10
	elevation	vehicle elevation	10
Vehicle	Wheel Speed_FL	speed of the driven axle	20
	Wheel Speed_FR	speed of the driven axle	20
	Longitudinal Accel	longitudinal acceleration	10
	Lateral Acceleration	lateral acceleration	10
	Yaw-rate	z-axis angular velocity	10
	steer angle	angle of steer handle	20
	steer torque	applied torque of steer handle	20
	Gear state	gear state	20
	Accel pedal	state of acceleration pedal	20
	Brake pedal	state of brake pedal	20
	Control fault	error message for vehicle control	20
	System	Active state	system activation status
Alive counter		system alive counter	100
Fault message		System fault status information	100
TTC		Estimated time to collide with an obstacle ahead	20
TTE		Estimated time of vehicle departure from lane	20
Command accel		System commands for longitudinal control	20
Command steer torque		System commands for lateral control	20

2) V2X 메시지 변환 규격

본 규격은 ASN.1(Abstract Syntax Notation One) 형태로 교환되는 V2X 메시지를 차량용 V2X 단말기에 연결된 차량 내 자율협력주행 플랫폼으로 전달할 때 사용되는 메시지 형식을 정의한다. 일반적으로 차량 내부의 시스템들은 V2X 기능이 탑재되어 있지 않아 ASN.1 형식 메시지를 처리하는 기능을 지원하지 않으며, 따라서 V2X 통신장치가 이를 일반적인 형태의 메시지로 변환하여 차량 내부의 시스템으로 전달해 줄 필요가 있다. 본 규격은 이러한 메시지 변환규격을 정의함으로써 필요시 피시험자가 이에 맞게 시스템을 구현하여 시험평가를 수행할 수 있도록 한다. 해당 규격은 한국지능형교통체계협회 ITS표준총회에서 ITS 단체표준으로의 제정 작업이 진행되고 있다.

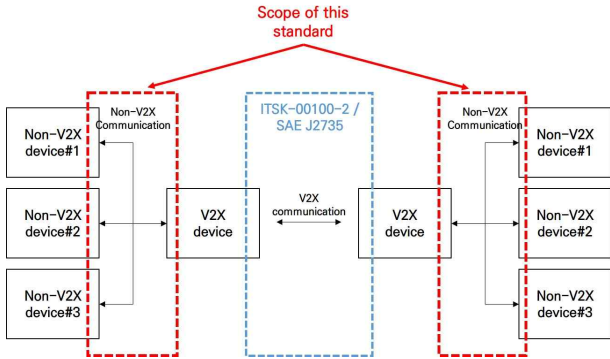


그림 2. V2X 메시지 변환 규격
Fig. 2. V2X message conversion specification

3) 시험평가법 및 테스트 지침

본 문서에는 테스트베드 상에서 실제 시험평가를 진행하기 위한 시험평가법과 시험을 위한 지침이 포함된다. 시험자와 피시험자는 본 문서들을 통해 시험을 준비하고 진행할 수 있다. 시험평가법에는 다음과 같은 시험평가 관련 내용이 포함된다.

- 기지국, 단말기, 공통으로 적용되는 시험평가
- DSRC(Dedicated Short Range Communication), C-V2X(Cellular V2X) 통신을 대상으로 한 시험평가
- 기능, 성능에 대한 시험평가

표 4. V2X 기지국/단말기의 기능 및 성능 시험평가 분야
Table 4. Function and performance test and evaluation field for V2X RSU/ObU

Target	Classification	Item	Standard	Comm.
RSU/ObU	Function	V2X protocol compatibility test	IEEE 802.11p	D
			3GPP 36.52x	D / C
			SAE J3161/1 Radio	C
			IEEE 1609.2	D / C
			IEEE 1609.3	D / C
			IEEE 1609.4	D
RSU	Function	Function test	ITSK-00114	D
	Performance	PER test	ITSK-00100-5	D / C
ObU	Function	Function test	SAE J2945/1	D / C
			ITSK-00100-5	D / C
	Performance	Driving test	SAE J2945/1	D / C
			SAE J2945/1A	D / C

테스트 지침서에는 각 피 시험기관이 시험평가를 위해 준비해야 할 사항을 기술한다. 피 시험기관에서는 본 지침을 확인하여 지침에 맞게 시험을 준비해야 한다.

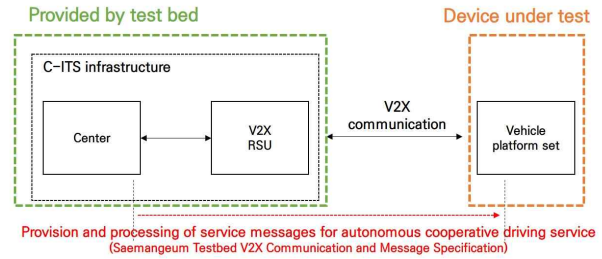


그림 3. V2X 통신단말기 포함한 차량플랫폼 시험평가 환경 구성
Fig. 3. Configuration of vehicle platform test and evaluation environment including V2X ObU

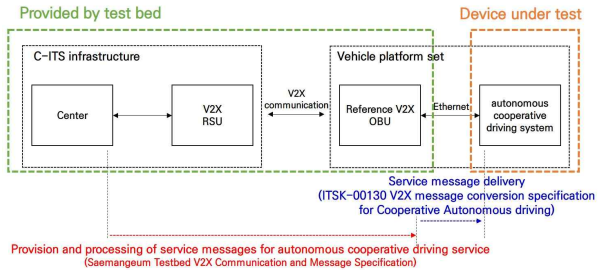


그림 4. V2X 통신단말기 불포함 시 차량플랫폼 시험평가 환경 구성
Fig. 4. Configuration of vehicle platform test and evaluation environment without V2X ObU

3-3 시험평가를 위한 장비 구축

위에서 설명된 바와 같이 평가를 위해 구축/개발된 인프라와 제반 문서들을 기반으로 실제 시험평가를 수행하기 위한 시험장비의 구축이 함께 진행되고 있다.

1) V2X 프로토콜 표준적합성 시험장비 구축

차량플랫폼의 기본적인 V2X 통신 프로토콜 기능을 검증하기 위한 표준적합성 시험장비가 구축되어 활용된다. 표준적합성 장비는 모두 미국 Omniair의 인증을 득한 공인시험장비가 적용되며, IEEE 802.11p 및 1609.x, 3GPP 36.52x, SAE J3161/1, SCMS 등의 표준기능을 검증하기 위해 사용된다.

2) 장치의 기능 및 성능 시험장비 구축

기지국과 차량단말기의 기능 및 성능에 대한 시험평가를 위한 시험장비들이 구축되어 활용된다. 해당 장비들은 국내 ITSK-00114, ITSK-00100-5 표준과 미국의 RSU 4.1a, SAE J2945/1 표준에 정의된 장치 기능과 성능을 검증하기 위해 사용된다. 또한 테스트베드 상에서의 PER 통신 성능을 검증하기 위한 측정 장비가 직접 개발되었다.

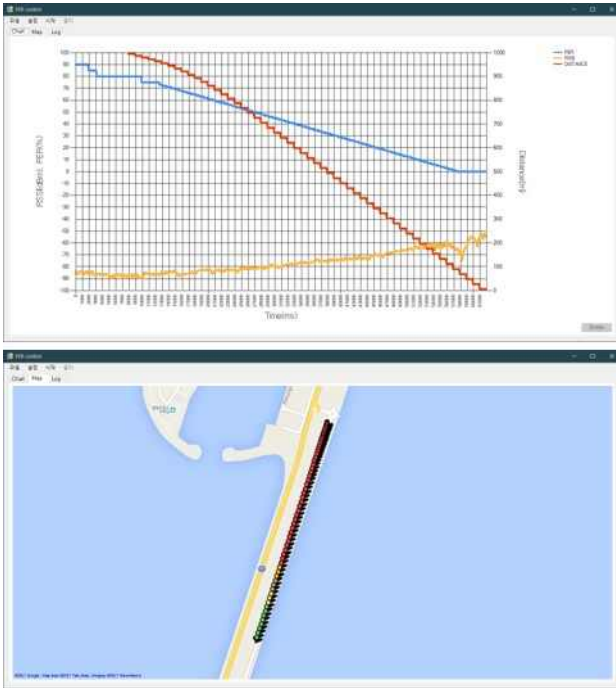


그림 5. V2X 통신 PER 측정 장비
 Fig. 5. V2X Communication PER Measurement Equipment

3) V2X 레퍼런스 단말기 개발

V2X 통신단말기를 포함하지 않은 차량플랫폼에 대한 테스트를 지원하기 위해 관련 규격들의 기능을 지원하는 V2X 레퍼런스 단말기가 개발되었다[3]. 해당 단말기는 다양한 시험평가 시나리오를 지원하기 위해 DSRC 및 C-V2X, LTE/5G 통신을 모두 지원하도록 개발되었으며, V2X 통신단말기를 보유하지 않은 차량플랫폼 제조사는 본 레퍼런스 단말기를 활용하여 시험평가를 진행할 수 있다.



그림 6. V2X 레퍼런스 단말기
 Fig. 6. V2X reference OBU

IV. 결 론

본 논문에서는 V2X 통신을 기반으로 상용차 자율협력주행 플랫폼을 평가하기 위한 시험평가 환경 구축 연구를 소개하였다. V2X 통신 기반 자율협력주행 플랫폼 평가를 위해 다양한 주행 시나리오를 적용할 수 있는 테스트 도로 및 C-ITS 인프라 구축이 진행되고 있으며, 시험 대상 차량 플랫폼이 테스트베드와 적절히 연계되어 시험 및 평가될 수 있도록 V2X 통신 및 서비스, 메시지 관련 규격과 자율협력주행 플랫폼 연계 규격 등이 정의되었다. 또한 위 규격들을 활용한 시험평가법과 지침이 개발되어 피시험자에게 제공되며 이를 통해 원활한 시험평가가 진행될 수 있는 환경이 제공된다. 마지막으로 실제 시험평가를 진행하기 위한 각종 시험장비들이 도입되었으며, 일부 특화된 시험항목을 위한 전용 시험장비도 개발되고 있다. 또한 V2X 통신 기능을 포함하지 않은 차량플랫폼의 시험평가도 지원하기 위한 V2X 레퍼런스 단말기가 개발되었다.

이와 같이 구축된 인프라 및 제반 환경을 통해 다양한 시나리오 및 유즈케이스 상에서 상용차 자율협력주행 플랫폼에 대한 면밀한 시험과 평가가 수행될 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgments

본 연구는 2021년도 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “새만금지역 상용차 자율주행 테스트베드 구축 사업”(과제 고유번호 1415171341)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

[1] K. Sjöberg(2018, March). Status of Truck Platooning in Europe [Online]. Available: https://docbox.etsi.org/Workshop/2018/20180306_ITS_WORSHOP/S04_ACCIDENT_FREE_AUTOM_DRIV/TRUCK_PLATOONING_SCANIA_SJOBERG.pdf

[2] ENSEMBLE project [Internet]. Available: <https://platooningensemble.eu/>

[3] K. T. Lim, S. K. Jin, and J. M. Kwak, “Design of Hybrid V2X Communication Module for Cooperative Automated Driving,” *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 22, No. 3, pp. 213-219, June 2018.



정 한 군 (Han-gyun Jung)

2005년 2월 : 한국항공대학교 정보통신공학과 (공학사)
2007년 2월 : 한국항공대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2008년 3월~현재 : 한국전자기술연구원 모빌리티플랫폼연구센터 책임연구원
※관심분야 : V2X 통신기술, 유무선 통신 프로토콜



진 성 근 (Seong-keun Jin)

2008년 2월 : 한국외국어대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2010년 2월 : 한양대학교 대학원 전자컴퓨터통신공학과 (공학석사)
2009년 12월~현재 : 한국전자기술연구원 모빌리티플랫폼연구센터 선임연구원
※관심분야 : V2X 통신기술, SoC, Embedded System



곽 재 민 (Jae-min Kwak)

2002년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학박사)
2002년 7월~2003년 7월 : 한국전자통신연구원 네트워크 연구소 (Post-doc.)
2003년 7월~2008년 2월 : 전자부품연구원 SoC 연구센터 책임연구원
2008년 3월~현재 : 목포해양대학교 항해정보시스템학부 교수
※관심분야 : 디지털 통신 시스템, 유무선 통신신호처리