

WAVE-LTE 하이브리드 V2X 통신시스템의 커버리지 테스트

Coverage Test of WAVE-LTE Hybrid V2X Communication System

윤상훈¹ · 임기택¹ · 곽재민^{2*}

¹전자부품연구원 모빌리티플랫폼 연구센터

²목포해양대학교 항해정보시스템학부

Sang-hun Yoon¹ · Ki-taeg Lim¹ · Jae-min Kwak^{2*}

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

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

[요 약]

최근 4차산업 혁명에 대한 관심과 더불어 자율주행 기술에 대한 요구가 높아지고 있다. V2X (vehicle to everything) 통신기술은 자율주행차량에 있어 핵심기술로서 유무선 망을 통해 차량, 인프라, 네트워크, 보행자 등과 같은 객체들과 정보를 교환하는 기술이다. 본 논문에서는 WAVE (wireless access in vehicular environment)와 LTE (long term evolution)를 복합설계하여 구현한 하이브리드 V2X 통신 시스템의 개발결과와 시스템의 성능을 확인하기 위해 커버리지 테스트를 수행한 결과를 제시한다. 커버리지 측정을 통해 하이브리드 V2X 통신 성능이 기존의 LTE나 WAVE의 단일 통신 시스템보다 통신 커버리지에 있어 우수하여 자율주행서비스에 효율적으로 적용 가능하다는 것을 보인다.

[Abstract]

Recently, with the interest in the 4th industrial revolution, the demand for autonomous driving technology is increasing. V2X communication technology is a core technology for autonomous vehicles that exchanges information with objects such as vehicles, infrastructure, networks, and pedestrians through wired and wireless networks. In this paper, we present the results of the hybrid V2X communication system, which is a hybrid design of WAVE and LTE, and the coverage test to confirm the performance of the system. Through coverage measurement, we show that the hybrid V2X communication performance is superior to the existing LTE or WAVE single communication system in communication coverage, so it can be effectively applied to autonomous driving services.

Key word : Coverage test, Hybrid V2X, Intelligent transport system, WAVE, LTE.

<https://doi.org/10.12673/jant.2020.24.3.212>



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 27 April 2020; Revised 27 May 2020

Accepted (Publication) 11 June 2020 (30 June 2020)

*Corresponding Author; Jae-Min Kwak

Tel: +82-61-240-7268

E-mail: kjm@mmu.ac.kr

I. 서론

기본적인 자율주행차는 센서를 활용하여 주변 상황을 인식하여 기계적으로 장치들을 제어하여 주행을 한다. 하지만 최근 들어 V2X 통신 기술을 이용하여 자율주행 차량의 인식범위를 확장함으로써 보다 안전하고 자연스런 자율주행을 가능케 하기 위한 연구 활동이 활발히 진행되었다. 자율협력주행은 개별 차량에 의한 자율주행을 수행하는 것 뿐만 아니라 차량 간 또는 차량과 외부의 장치들 간의 정보교환을 통해 보다 높은 완성도의 자율주행을 지원할 수 있게 한다[1],[2].

안전한 자율협력주행을 위해서는 주변의 차량이나 도로 인프라로부터의 실시간 도로교통 정보를 안전하게 받을 수 있는 V2X 통신 기술이 필요하며, 기존 IEEE802.11p 규격에서 정의하는 WAVE 통신 기술만으로는 상시연결성을 보장하기가 어렵다. 따라서 터널 등에서의 통신 음영을 해결하고 언제 어디서나 연결되는 상시연결성 및 LTE direct와 같은 향후의 새로운 V2X 통신의 포용을 위해 WAVE 통신 기술에 LTE 통신기술 등을 융합하는 복합형 V2X 통신 기술 및 시스템의 개발이 요구된다[3].

WAVE 통신기술은 저 지연 특성으로 인해 차량간 V2V (vehicle to vehicle) 통신과 근거리 기지국-차량 간 V2I (vehicle to infra) 통신에 특화되어 있어 안전 서비스 어플리케이션에 적합하며, Legacy LTE는 고지연, 고용량 특성으로 인해 차량간 통신보다는 기지국-차량간 통신을 이용한 비 안전(교통정보, 인포테인먼트 등) 어플리케이션에 적합한 기술이다[4]-[6].

이에 따라 본 논문에서는 차량 환경에 적합하게 설계된 WAVE 기반의 C-ITS (cooperative intelligent transportation system) 통신프로토콜과 이동 통신 프로토콜인 Legacy LTE 통신 기술을 함께 지원하는 하이브리드 V2X 통신시스템의 구현 결과를 제시하고 구현한 시스템을 이용한 커버리지 테스트 과정 및 결과를 제시한다.

본 논문의 주요 구성은 다음과 같다. 2장에서 하이브리드 V2X 통신시스템 구현 결과를 제시한다. 3장과 4장에서는 커버리지 테스트 환경과 테스트 결과를 제시한 후, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 차량용 하이브리드 V2X 통신단말 설계

본 연구에서 구현한 차량용 하이브리드 V2X 통신 단말기는 WAVE 통신모듈, LTE 통신모듈, GNSS (global navigation satellite system) 모듈, 안테나 등으로 구성되며 이에 필요한 요구사항들을 다음과 같이 도출하였다.

WAVE 통신모듈은 물리적인 듀얼 (dual) 채널이 적용되어 동시적으로 발생하는 서비스 처리가 가능해야 하고, 넓은 전송 범위에서 신뢰성 높은 전송주파수 확보를 위해 5.850~5.925 GHz 주파수 대역을 사용한다. 또한 다수의 차량에 데이터 전송

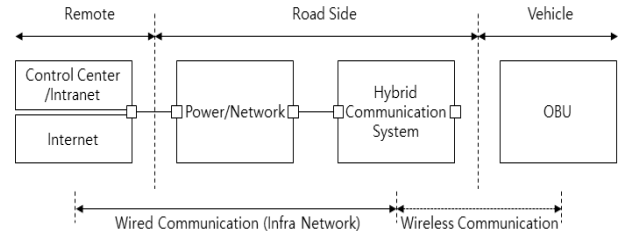


그림 1. 하이브리드 V2X 통신 네트워크 시스템 구성도
 Fig. 1. Block diagram of hybrid V2X communication network system.

이 가능하도록 브로드캐스팅 지원이 필요하다. WAVE 통신 서비스 지원을 위해 IEEE802.11p, IEEE P1609.1, IEEE P1609.2, IEEE P1609.3, IEEE P1609.4를 지원해야 한다[7]-[11].

그림 1은 하이브리드 V2X 통신을 기반으로 한 네트워크 시스템 구성을 원격지, 노변, 차량 요소로 구분하여 나타낸 것이다.

LTE 통신에 대해서는, WAVE 통신의 난청지역이나 데이터 에러율이 높은 지형이나 지역을 극복하기 위하여 범용 상용망인 Legacy LTE의 활용이 필요하게 된다. LTE를 통해 차량정보의 전달 및 인프라 정보 수집을 위한 충분한 전송량을 확보하여야 한다(3GPP Rel1.0이상, Category4이상).

외부지원장치로서 타 기기와 IP (internet protocol) 기반 통신이 가능한 외부포트가 필요하여 이더넷 (ethernet)이 구성되어야 한다. 또한, 표준단말기의 디버깅 용도 및 외부 연결포트로 1 포트 이상의 UART (universal asynchronous receiver transmitter)가 필요하다. 그밖에 외부연결 및 Wi-Fi/BT (wireless fidelity/bluetooth) 등 외부 장치 연결이 가능도록 하기 위해 USB (universal serial bus) 포트가 지원 되어야 하며, 차량 ECU (electronic control unit) 및 내부 통신을 위한 전용 인터페이스로서 CAN (controller area network) 포트의 구성이 필요하다.

WAVE 통신의 신호 동기화를 위해 GPS (global positioning system) 1 pps 신호가 요구되며 위도, 경도, 고도, 방면, 속도 등의 서비스를 위한 위치정보 제공을 위한 GNSS 모듈이 구성된다.

안테나는 차량용으로 사용하기 위해 성능이외에도 장착성을 고려하여 설계되어야 하며 WAVE 통신에 필요한 GPS 데이터 수신용 안테나도 함께 고려되어야 한다. 구체적인 요구 성능은 다음과 같다.

- 통신 반경 : 500M 이상
- 포트 출력 : 20dBm (IEEE 802.11p)
- 방사 이득 : 33dBm (max) (IEEE 802.11p)
- 케이블 로스 : 2dB 이하/M
- 커넥터 : WAVE (FAKRA Z), GPS (FAKRA C)

정의된 요구사항들을 기반으로 WAVE 통신과 LTE 통신이 하이브리드로 구성된 하이브리드 V2X 차량용단말기를 아래 표 1의 사양과 같이 설계하였고 제작결과를 그림 2에 나타내었다.

표 1. 하이브리드 V2X 통신 단말기 사양

Table 1. Specification of hybrid V2X communication terminal.

Frequency	5.859 ~ 5.925GHz
Standards	IEEE 802.11p, 1609.2, 1609.3, 1609.4, J2735
CPU	e300 Power Architecture processor core(MPC5125)
LTE Module	R10, Cat.4
Memory	1Gb DDR2
Storage	(Int) 32Gb Flash Memory (Ext) micro SD(SDHC) support
Interface	100Mbps Ethernet x 1 RS232C x 2, CAN 2.0 A/B x 2, USB 2.0 x 4
GNSS	NEO-M8Q
Frequency	5.859 ~ 5.925GHz
Input voltage	12V DC



그림 2. 하이브리드 V2X 통신단말기 제작결과
Fig. 2. Implementation result of hybrid V2X communication terminal.

III. 하이브리드 V2X 통신 커버리지 테스트

3-1 테스트 환경

커버리지 테스트는 그림 3과 같이 WAVE와 LTE를 통하여 일련번호, 송신시간, 기지국 번호가 기록된 패킷을 전송하고 이들의 수신 시의 위치와 시간을 로깅하여 사후 분석하는 과정을 통해 이루어졌다. 실험의 편의를 위해 패킷은 LTE 통신서버와 기지국에서 각각 발신하였으며, 이들을 하나의 하이브리드 단말기에서 수신하여 수신 시간과 위치를 기록하였다. 수신 위치와 일련번호에 기반하여 지역별 PAR (packet acceptance rate)을 분석하였으며, 이때의 전송지연을 송신시간과 수신시간을 이용하여 측정하였으나, LTE 서버와 WAVE 기지국, 단말기 간의 동기 오차로 인하여 유의미한 결과를 얻지는 못하였다.

테스트는 WAVE 기지국과 WAVE-LTE 연계가 이루어지고 있는 서울TC-호법JC 구간에서 이루어졌으며 이를 그림 4에 나타내었다. 또한, 그림 5와 같이 차량 내부에 단말기와 모니터링을 위한 노트북을 장착하여 테스트를 수행하였다.

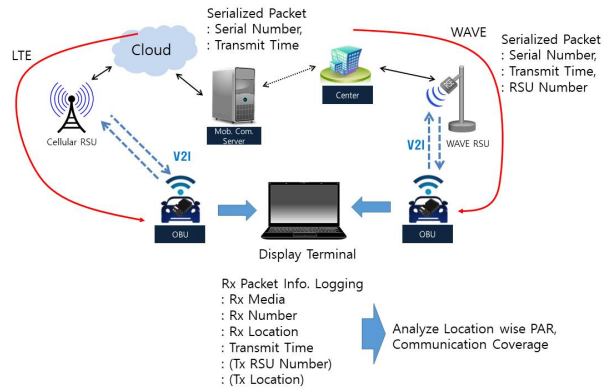


그림 3. 커버리지 테스트를 위한 시스템 구성도
Fig. 3. System configuration for coverage Test.

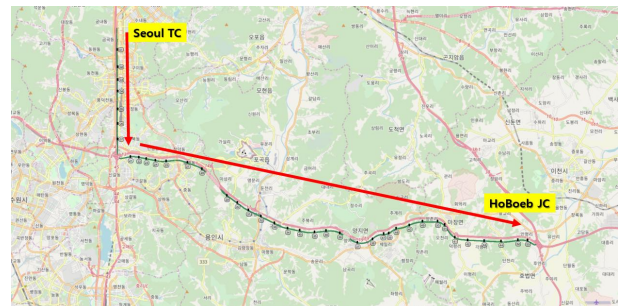


그림 4. 커버리지 테스트 구간
Fig. 4. Coverage Test Section.

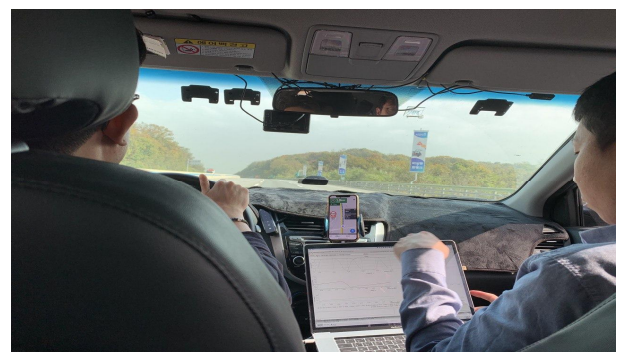


그림 5. 테스트 단말 및 주행환경
Fig. 5. Test terminal and driving environment.

경부 고속도로 및 영동 고속도로에 설치된 모든 기지국을 직선상에 나열하기 위해 다음과 같은 위치 계산 방법을 사용하였다.

각 도로의 시작과 끝, 그리고 두 도로를 연결하기 위한 중간 지점을 다음과 같이 기준점으로 설정하고 이 기준점을 기반으로 거리를 계산하였다.

- 경부 시작점 : 서울 TG 부근(37.365236, 127.103455)
- 영동 시작점 : 호법 JC 부근(37.236028, 127.426775)
- 중간 지점 : (37.290143, 127.103638)

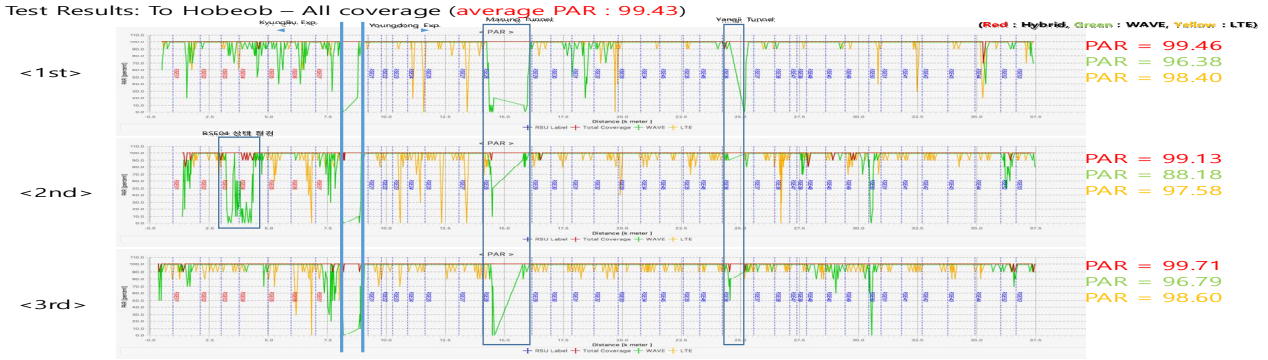


그림 6. 정방향 주행시의 측정 결과
Fig. 6. Measurement result when driving in forward direction.

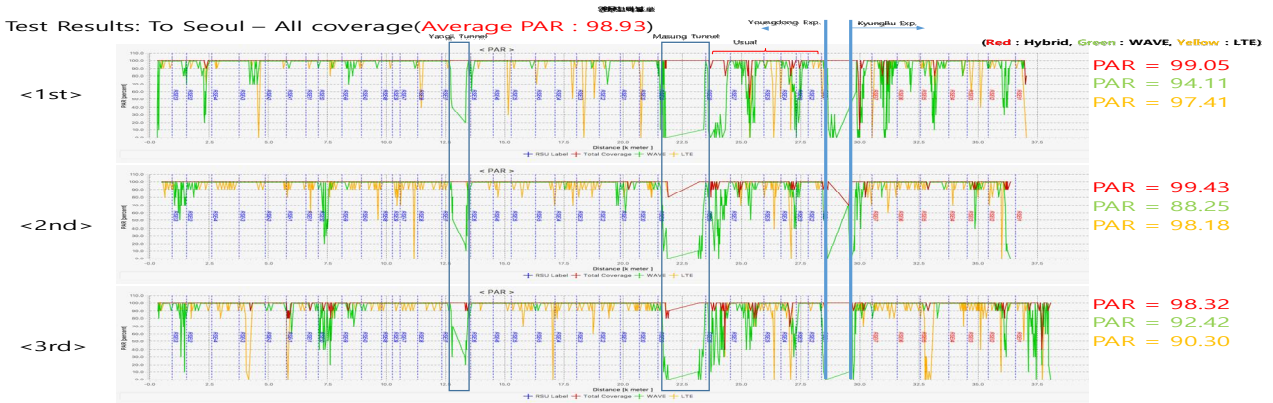


그림 7. 역방향 주행시의 측정 결과
Fig. 7. Measurement result when driving in reverse direction.

표 2. 로그 메시지 설명

Table 2. Log message commentary.

index	Rx Logging(example)	Description
0	S	Start Delimiter
1	2019-10-29-06:47:49	Tx Time
2	373140536	Latitude
3	1271036981	Longitude
4	RSE06	RSU ID
5	080.00	PAR
6	00.008	Latency
7	-86.25	RSS
8	E	Message End
9	Gyeongbu	RSU located Express way
10	31881.29384	Distance from reference point

거리의 계산은 경부 시작점을 기준으로 경부 기지국과 통신되는 지점의 경우 경부 시작점으로부터 차량단말기 위치 위경도를 이용해 거리를 계산하였으며, 영동기지국과 통신되는 지점의 경우에는 경부시작점에서 중간지점까지의 거리를 계산하고 중간지점으로부터 차량 단말기 위치 위경도를 이용해 계산된 거리를 합산하였다.

로그데이터는 아래와 같은 형태로 수집되며, 이들의 의미는 표 2와 같다.

• 로그 데이터 예시 :

S,2019-10-29-06:47:49,373140536,1271036981,RSE06,080.00,0.008,-86.25,E,Gyeongbu,31881.29384

3-2 커버리지 테스트 결과

테스트 결과를 거리별, 기지국별 PAR로 구성하여 다음과 같이 나타내었다. 기지국의 설치 위치에 따라 정방향과 역방향의 통신 성능에 차이가 발생할 수 있으므로 정방향과 역방향 진행 결과를 각각 나타내었다. 그림 6과 그림 7에서 붉은색은 LTE와 WAVE 중 하나라도 수신될 확률을 나타내며 연두색은 WAVE, 노란색은 LTE의 PAR을 각각 나타낸다.

WAVE와 LTE가 통신을 이루는 기지국의 위치는 각각 서로 달라 WAVE 단말기 기지국간 통신에 불리한 지리 환경에 있더라도 LTE는 통신이 유리한 상황에 있을 수 있으며, WAVE와 LTE는 사용하는 주파수 대역이 서로 달라 혼신, 반사, 투과 등의 특성이 달라 통신 환경에 따른 다이버시티 효과를 얻어낼 수 있다.

그림 6은 정방향, 즉, 서울에서 호법JC방향으로 진행하면서 측정된 결과를 나타내며, 그림에 나타난 바와 같이 전체구간에는 두 개의 터널구간, 경부-영동고속도로 간 JC를 포함하고 있다. 실험결과 전체구간에 대한 PAR은 99.43 %로 나타났으며, WAVE와 LTE만의 통신 성능은 이보다 낮게 나타남을 확인할

수 있었다.

WAVE는 JC구간, 터널 구간 등은 RSU (road side unit)가 설치되지 않아 테스트 전체구간을 커버하지 못하여 상대적으로 낮은 PAR을 나타냄이 확인되었다. 여기서 참고해야할 부분 중에 하나는 2차 테스트 진행시 RSE04에 대한 점검이 필요한 상태였으며, 2차 테스트에서는 점검되지 않은 상태로, 3차 테스트에서는 점검을 마친 상태로 테스트를 수행하였다는 점이다.

그 결과 2차 테스트에 대한 WAVE의 PAR이 상대적으로 낮게 나타나는 결과가 도출되었으나, 이와 같은 문제를 하이브리드 V2X 단말기로 해결가능한지 여부를 판단하기 위하여 실험 결과를 그대로 적용하여 분석하였다. 그림 6에서 나타나는 바와 같이 WAVE의 PAR이 약 8 %가 낮아졌으나, 하이브리드 PAR은 약 0.3~0.6 %의 감소만이 이루어진 것을 알 수 있으며, 하이브리드 V2X 통신을 통해 통신 신뢰성이 향상될 수 있음이 확인되었다.

그림 7은 역방향, 즉, 호법 JC에서 서울 방향으로 진행하며 측정된 결과를 나타낸다. 그림에서 나타나는 바와 같이 역방향에는 마성터널 출구 부근에 회차에 무관하게 지속적으로 통신 성능이 저하되는 상습 불통 지역이 존재함을 볼 수 있다. 이로 인하여 역방향에 대한 전체적인 성능은 정방향에 비하여 다소 나빠지는 경향이 나타나고 있다. 본 장에서는 나타나고 있는 현상에 대한 결과를 위주로 기술하고, 상습 불통 지역을 분석하여 커버리지를 확대하기 위한 방안은 이후 다루도록 한다.

또한, LTE는 전체 테스트 구간을 모두 커버하고 있어 평균 97~98 %의 통신 성공률을 나타내고 있으나, 역방향 3차 테스트에서 보이는 바와 같이 때에 따라 수 초간 통신이 두절되는 경우가 발생함을 알 수 있으며, 이때에는 WAVE가 통신을 유지하여 평균 PAR에 큰 변화가 없도록 유지되고 있음이 확인된다.

위에서 살펴본 바와 같이 역방향은 상습 불통 지역과 일시적인 LTE 통신 두절로 인해 정방향에 비하여 성능이 상대적으로 낮은 것으로 확인되었으며, 정방향과 역방향을 모두 합한 전체 구간에 대한 통신 성공률은 99.18 %로 본 과제의 성능 목표인 99 % 이상의 통신 성공률을 나타내었다.

3-3 커버리지 확대 방안

통신 커버리지를 확대하기 위해서는 상습적으로 통신이 두절되는 지역을 분석하여 원인을 파악하고 문제를 해결하여야 하며, 본 커버리지 테스트에서는 그림 7에서 확인된 상습 불통 지역이 확인이 되어 해당지역을 분석하도록 한다.

불통이 일어나고 있는 마성터널 인근 지역은 상,하행 각 2개의 터널이 존재하며 터널의 입구 지역과 출구 지역에 각 1개의 RSU가 설치되어있다. 하지만, 상,하행 차선 사이는 나무들로 구분되어있어 정방향 차로에 설치되어있는 기지국은 역방향 차선에서는 보이지 않게 설치되어있다.

WAVE 뿐만 아니라 LTE도 해당지역에서는 정방향, 역방향에서 모두 미약한 전파특성을 가지고 있어 해당 지역은 정방향, 역방향에 모두 WAVE RSU의 설치를 통해 커버리지 확대가 가

표 3. WAVE 단독, LTE 단독, WAVE+LTE 하이브리드 통신성공률 (T.H : To Hoboeb, T.S. : To Seoul, Hyb.: Hybrid)

Table 3. Communication success rate in case of WAVE only, LTE only, and hybrid WAVE+LTE.

		1st	2nd	3rd	Average
WAVE	T.H.	96.38	88.18	96.79	93.78
	T.S.	94.11	88.25	92.42	91.59
	Av.	95.25	88.22	94.61	92.69
LTE	T.H.	98.40	97.58	98.60	98.19
	T.S.	97.41	98.18	90.30	95.30
	Av.	97.91	97.88	94.45	96.75
Hyb	T.H.	99.46	99.13	99.71	99.43
	T.S.	99.05	99.43	98.32	98.93
	Av.	99.26	99.28	99.02	99.18

능하다.

따라서, 동일 수의 RSU를 이용해 통신 커버리지를 확대하기 위해서는 먼저 도로의 LTE의 통신 상태를 점검하고 상대적으로 통신 성능이 떨어지는 지역을 중심으로 RSU를 설치하여야 하며, 각각의 통신 방식에 대한 성능 맵을 구성하여 해당지역에서 기지국으로의 송신 시 유효한 통신 방식을 선택할 수 있도록 할 필요가 있다. 이를 통하여 동일 설치비를 이용하여 통신 커버리지를 확대시킬 수 있을 것으로 예상된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 WAVE와 LTE를 복합설계하여 구현한 하이브리드 V2X 통신 시스템의 구현 결과를 제시하고, 터널, 고속도로 JC 등 WAVE 기지국이 설치되어있지 않은 지역을 포함한 경로에 대한 커버리지 테스트를 수행하였다. 마성터널 출구 부근은 상,하행선 총 4개의 터널로 구성되어 있어 하나의 WAVE RSU로는 모든 차선을 커버하지 못하였으며, LTE 또한 이지역에 대한 커버리지가 충분하지 못하여 상습 불통을 나타내었다.

하지만, 이와 같은 상황에서도 WAVE와 LTE 하이브리드 V2X 통신을 수행하였을 경우에는 전체구간에 대하여 평균 99 % 이상의 통신 성공률을 나타냄을 확인하였으며, 그 결과는 표3과 같다. 이를 통하여 통신 커버리지를 안정적으로 확대하기 위해서는 기본적으로 다수의 통신방식을 융합하여야 하며, WAVE와 LTE는 그중 하나의 성공적인 대안이 될 수 있음을 알 수 있었다.

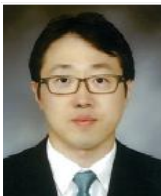
또한, 동일한 자원으로 보다 효율적으로 커버리지를 확대하기 위해서는 지역에 따른 LTE의 성능을 사전에 분석하여 상호 의존할 수 있는 형태로 WAVE RSU를 배치하여야 하며, 각각의 통신 장치에 대한 지역적 통신 성능 맵을 구성하여 해당지역에서 기지국과의 통신을 수행할 때 효율적인 통신 방식을 선택할 수 있도록 하여야 할 것이다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부 교통물류사업사업의 세부과제인 “하이브리드 V2X 통신 시스템 개발(19TLRP-B101406-03)” 과제의 지원에 의해 수행된 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] H. G. Jung et al., “Reliability verification of secured V2X communication for cooperative automated driving,” *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 22, No. 5, pp. 391-399 Oct. 2018.
- [2] K. T. Lim, “Vehicle communication system technology evaluation and management service,” *KEIT PD Issue Report*, Aug. 2016.
- [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.
- [4] S. Eichler, “Performance evaluation of the IEEE 802.11 p WAVE communication standard,” in *Vehicular Technology Conference*, Baltimore: MD, pp. 2199-2203, Sept. 2007.
- [5] A. Vinel, “3GPP LTE versus IEEE 802.11 p/WAVE: which technology is able to support cooperative vehicular safety applications?,” *IEEE Wireless Communications Letters*, Vol. 1, No. 2, pp. 125-128, Feb. 2012.
- [6] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio access capabilities [Internet]. Available: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2434>.
- [7] IEEE Computer Society, IEEE Standard for Information Technology - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications, 2012.
- [8] IEEE Vehicular Technology Society, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Multi-Channel Operation, IEEE 1609.4, 2016.
- [9] IEEE Vehicular Technology Society, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Networking Services, IEEE 1609.3, 2016.
- [10] IEEE Vehicular Technology Society, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments - Security Services for Applications and Management Messages, IEEE 1609.2, 2016.
- [11] SAE J2735, Dedicated Short Range Communication (DSRC) Message Set Dictionary, 2016.



윤 상 훈 (Sang-hun Yoon)

1998년 : 한양대학교 대학원 전자공학전공 (공학석사)
 2008년 : 한양대학교 대학원 전자공학전공 (공학박사)
 2012년 7월~현재 : 전자부품연구원 모빌리티플랫폼연구센터 선임연구원
 ※관심분야 : V2X 통신기술, 스마트카 전장시스템



임 기 택 (Ki-taeg Lim)

1994년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
 1996년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 2010년 2월 : 한양대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 (공학박사수료)
 1996년 3월~현재 : 전자부품연구원 모빌리티플랫폼연구센터 센터장
 ※관심분야 : V2X 통신기술, 스마트카 전장시스템



곽 재 민 (Jae-min Kwak)

1997년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학사)
 1998년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학석사)
 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