

# 고속 주행 환경에서의 V2X 통신 성능 측정 시스템

강보영\*, 배정규\*, 서우창\*, 박종우\*\*, 양은주\*, 서대화<sup>o</sup>

## Performance Evaluation of V2X Communication System Under a High-Speed Driving

Bo-young Kang<sup>\*</sup>, Bae Jeongkyu<sup>\*</sup>, Woo-Chang Seo<sup>\*</sup>, Jong Woo Park<sup>\*\*</sup>,  
Yang EunJu<sup>\*</sup>, Dae-Wha Seo<sup>o</sup>

요 약

C-ITS(Cooperative-Intelligent Transportation System)는 전방 충돌 경고, 도로 안전 서비스 및 비상 정지와 같은 엄격한 실시간성이 요구되는 서비스들을 제공한다. C-ITS의 핵심 기술인 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments)는 고속 이동 환경을 위해 고안된 기술이지만, 실제 도로 환경에 적용하여 안정적인 통신 서비스를 제공하기 위해서는 실차 환경의 다양한 성능 시험이 요구된다. 실제 도로 환경에서 WAVE 통신 성능은 이동 중인 차량, 도로의 형상 및 지형 등의 주변 환경에 의해 영향을 받으며 특히, 차량이 고속으로 이동하는 경우 차량의 속도에 따라 주행하는 위치와 노변장치와의 접근성 등 주변 환경이 빠르게 변화한다. 이 변화는 통신 성능에 영향을 주는 요소이므로 이를 분석하기 위한 시스템과 방법이 필요하다. 본 논문에서는 고속 주행 환경에서 효과적인 성능 시험 시스템 구성과 시험 방법을 제안하고, 실차 시험을 통해 측정된 데이터를 기반으로 통신 성능을 분석한 결과를 제시한다.

Key Words : ITS, V2X, WAVE, LTE, Performance Test

### ABSTRACT

C-ITS(Cooperative-Intelligent Transportation System) provides services that require strict real-time such as forward collision warning, road safety service and emergency stop. WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments), a core technology of C-ITS, is a technology designed for high-speed driving. However, in order to provide stable communication service by applying to real road environment, various performance tests of real vehicular environment are required. In the real road environment, WAVE communication performance is influenced by the surrounding environment such as moving vehicle, road shape and topography. Especially, when the vehicle is moving at high speed, the traveling position according to the speed of the vehicle, The surrounding environment changes rapidly. Such changes are factors affecting the communication performance, therefore a system and methods for analyzing them are needed. In this paper, we propose the configuration and test method of an effective performance evaluation system under high-speed driving and describe the results of analyzing the communication performance based on the data measured through the actual vehicle test.

\* First Author : Center for Embedded Software Technology, bykang@cest.re.kr, 정회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : Kyoungpook National University, dwseo@ee.knu.ac.kr, 종신회원

\* Cest Co., LTD, jkbee@cest.co.kr, 정회원, wcseo@cest.co.kr, gong@cest.re.kr

\*\* Graduate School of Electronics Engineering Kyungpook National University, jwpark0921@ee.knu.ac.kr

논문번호 : KICS2017-01-017, Received January 16, 2017; Revised April 12, 2017; Accepted May 17, 2017

## I. 서 론

지능형교통체계(Intelligent Transport Systems: ITS)는 도로, 차량 등 교통체계의 구성 요소에 ICT(Information & Communication Technology) 및 센서 기술 등의 첨단기술을 융·복합하여 실시간 교통 정보를 운전자에게 제공한다. 최근 ITS 기술은 WAVE를 기반으로 도로와 차량(Vehicle to Infrastructure: V2I), 차량과 차량(Vehicle to Vehicle: V2V), 차량과 보행자(Vehicle to Pedestrian: V2P) 등 교통의 주요 주체가 서로 협력적으로 각자의 교통 정보를 교환하는 개념(Vehicle-to-Everything: V2X)의 도로-자동차-보행자 간 협력 시스템(Cooperative System: CS)을 중심으로 국내외에서 빠르게 진화하고 있다. ITS는 도로상에서 예측할 수 없이 발생하는 사고의 예방이 가능한 수준에 이르렀고, 이를 통해 미국에서는 Connected Vehicle, 유럽에서는 C-ITS(CVIS, SAFESPOT, COOPERS) 등 대규모 R&D 프로젝트를 수행한 바 있으며, 현재 연구 개발 결과 및 서비스의 시험을 실제 도로환경에서 추진하고 있다. 국내에서도 국토교통부와 한국도로공사에서 진행된 스마트하이웨이 연구가 다양한 IT 기술과 도로 기술을 융합하여 좀 더 안전하고 빠른 고속도로를 만드는 것을 목표로 수행되었다.<sup>[1-6]</sup>

WAVE는 고속 이동 환경을 위해 고안된 기술이지만, 실제 도로 환경에 적용하여 안정적인 통신 서비스를 제공하기 위해서는 실차 환경의 다양한 성능 시험이 필요하다. 실제 도로 환경에서 WAVE 통신 성능은 이동 중인 차량, 도로의 형상 및 지형 등의 주변 환경에 의해 영향을 받는다. 특히, 차량이 고속으로 이동하는 경우 차량의 속도에 따라 주행하는 위치와 노변장치와의 접근성 등 주변 환경이 빠르게 변화한다. 이 변화는 통신 성능에 영향을 주는 요소이므로 이를 분석하기 위한 시스템과 방법이 요구된다.<sup>[7]</sup>

본 논문은 차량의 이동 속도와 노변 장치와의 접근성을 중심으로 고속 주행 환경에서의 통신 성능을 측정하기 위한 시스템의 구성과 그 시험 방법에 대하여 제안하고, 이를 활용하여 측정된 V2X 통신 시스템의 성능 측정 결과를 제시한다. 2장에서는 WAVE 통신 규격에 대하여 소개하며, 3장에서는 고속 주행 환경에서 효과적인 성능 시험을 위한 시스템 구성과 시험 방법을 제안한다. 4장에서는 제시된 시험 방법을 실제 차량에 탑재하여 성능 시험 수행한 결과를 분석하고, 마지막으로 논문에서 제안한 시험 방법과 결과를 요약하고 향후 연구 과제에 대해 기술한 후 논문을 마무리

리한다.

## II. WAVE 통신 규격

WAVE는 고속 이동성(최대 200km/h)과 차량 안전 서비스를 제공할 수 있도록 짧은 링크 접속과 패킷 전송의 Low Latency를 고려한 무선 통신 기술이다. WAVE 규격은 기존 5GHz Wi-Fi 규격인 IEEE 802.11a를 차량 환경에 맞도록 물리 계층 규격을 수정하여 IEEE 802.11p 표준에 정의하고, 서비스 규격인 IEEE P1609 규격을 합친 것이다. 이동성을 거의 충족시키지 못하여 주로 실내에서 준정적인 통신 대역폭을 사용하는 IEEE 802.11 a/g와 달리 IEEE 802.11p는 채널 대역폭을 절반(20MHz→10MHz)으로 줄이고 초기화 과정에서 검색(Scanning), 인증(Authentication), 연결(Association) 과정을 생략함으로써 높은 이동성을 제공하고 빠른 전송이 가능하여 실외 환경에 적합하다.

표 1은 IEEE 802.11a와 IEEE 802.11p를 비교한 내용이다. IEEE 802.11p는 기존의 무선랜 표준과는 다르게 ISM(Industry-Science-Medical) 밴드가 아닌 5.850~5.925 GHz의 주파수를 사용하며, OFDM 방식을 이용하여 10 MHz의 대역폭을 1개 기본 채널로 이용한다. 데이터 속도(data rate)는 10 MHz의 채널 대역폭을 이용하여 BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM 등의 변조 방식에 따라 데이터전송 속도 3~27 Mbps를 지원한다. OFDM 신호는 64개의 부반송파로 구성되어 있는데, 48개는 데이터, 4개는 파일럿, 12개는 직류 성분을 나타낸다. 이외에도 IEEE 802.11p 표준에서는 기존 무선랜 표준에 비해 좀 더 협대역 송신 스펙트럼 형태를 가짐으로 해서 인접 채널의 간섭에

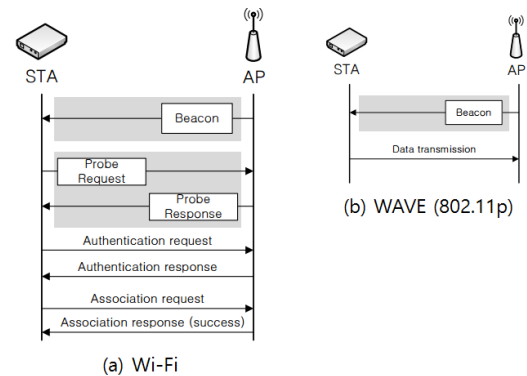


그림 1. 초기화 과정  
Fig. 1. Initialization process

표 1. IEEE 802.11a/p 물리 계층 비교  
Table 1. Comparison of IEEE 802.11a/p physical layer

	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p
Frequency	5.725 ~ 5.825GHz	5.850 ~ 5.925GHz
Bandwidth	20MHz	10MHz
Modulation mode	OFDM (BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM)	
Data rate	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps	3, 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24, 27Mbps
Channel Operations	Single Channel	Multi-Channel Switching
MAC	CSMA-CA	
Channel switching	CCH 50ms, SCH 50ms	

영향을 덜 받도록 정의하고 있으며, 높은 RF 출력을 가진다. 7개의 채널은 제어 및 응급상황 메시지 전송을 위하여 1개의 컨트롤 채널(CCH, Control Channel), 일반 서비스 메시지 전송을 위하여 6개의 서비스 채널(SCH, Service Channel)로 구분된다. 단일 트랜시버를 가지는 장치는 컨트롤 채널과 서비스 채널을 반복적으로 스위칭하면서 메시지를 송수신한다. 채널 스위칭은 컨트롤 채널과 100ms 주기로 이루어지고, GPS(Global Positioning System)의 1PPS(Pulse Per Second) 신호를 이용하여 각 무선통신 장치 사이의 시간을 동기화하는 특징을 가진다.<sup>[8-12]</sup>

### III. 고속 주행 기반 V2X 성능 측정 시스템

대부분의 V2X 서비스는 전방 충돌 경고, 도로 안전 서비스 및 비상 정지와 같은 엄격한 실시간성이 요구되는 서비스들을 제공한다. 99.999%의 확률로 모든 V2X 메시지를 전송해야 할 뿐만 아니라, 약 1,600 바이트의 메시지를 5ms 미만의 End-to-End 대기 시간을 보장하여 전송해야 한다. 또한 트래픽은 이벤트 기반 또는 주기적(일반적 간격 100ms)으로 전송되어야 하며, 고속 도로 환경에서 최대 500km/h의 상대 속도가 지원되어야 한다.<sup>[13]</sup> 본 장에서는 이러한 V2X 서비스의 요구 사항을 만족하는 통신 성능을 분석하기 위해 고속 주행 환경에서 효과적인 V2X 통신 성능 측정 시스템의 구성과 시험 방법을 제안한다.

#### 3.1 성능 측정 시스템 구성

그림 2는 성능 측정 시스템 구조도이다. 성능 측정 시스템은 성능 분석 서버(Analysis Server)와

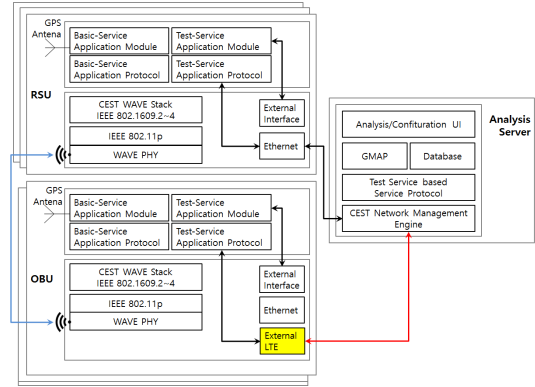


그림 2. 성능 측정 시스템 구조도  
Fig. 2. Architecture of performance evaluation system

RSU(Road-Side Unit, Infrastructure), OBU(On-Board Unit, Vehicle device) 로 구성된다. 성능 분석 서버는 성능 시험의 시작과 종료를 알리고 측정된 성능 시험 결과를 모니터링하고 기록한다. 서버는 이더넷과 LTE를 통해 RSU와 OBU의 시험 시나리오를 제어할 수 있으며, 성능 시험 결과를 수집하여 GPS 정보와 함께 성능 분석 결과를 실시간으로 제공한다. RSU와 OBU는 정해진 시험 구간 내에서 서버에 의해서 설정된 시험 조건에 따라 메시지를 전송하고 성능 측정 후 그 결과를 서버로 즉시 전송한다. RSU와 OBU는 공통의 하드웨어 플랫폼을 가지며 CEST에서 개발한 IEEE 802.1609.2~4 WAVE Stack을 탑재하고 있다. RSU와 OBU는 WAVE 통신 계층과 서비스 계층을 분리하여 설계함으로써 여러 제조사에서 개발된 WAVE 통신 모듈과 호환이 가능한 구조로 다양한 WAVE 통신 모듈의 성능 분석이 가능하다. 또한 주변 장치들과의 연결을 위해 여러 가지 타입의 커넥터들을 지원하며, 시간 동기화 및 차량 위치 정보를 위한 GPS가 탑재되어 있다.

신뢰성 있는 성능 측정 시스템을 구성하기 위해 시험 결과를 서버로 전송하는 단계에서 고려해야 할 사항이 있다. IEEE 802.11p는 전송 거리가 짧고 직진성이(Line of sight: LOS) 확보되어야 하며 데이터 전송량에도 한계가 있다. 또한 네트워크 부하가 심해질수록 throughput 저하가 심하게 가속화된다는 단점이 있다. 따라서 WAVE 통신으로 시험 결과를 서버로 전달할 경우 패킷이 손실되거나 전송 지연이 발생할 수 있으며 이는 성능 분석 결과에 영향을 주게 된다. 그러므로 시험 결과를 서버로 전송하는 구간은 정보의 실시간성, 통신의 신뢰성과 용량 증대를 위해서는 무선 전송 기술의 새로운 접근이 필요하다.

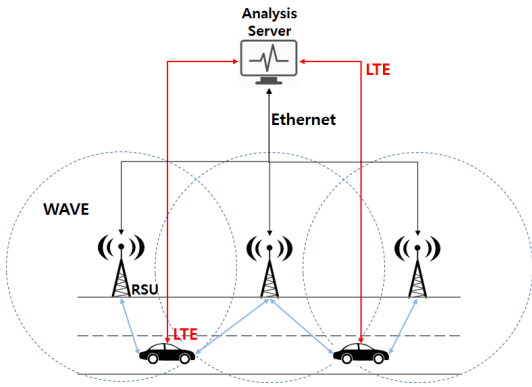


그림 3. 성능 측정 시스템 네트워크 구성  
Fig. 3. Network configuration of performance evaluation system

본 논문에서 최근 WAVE의 단점을 보완하기 위해 V2X 기술로 연구가 활발한 LTE를 적용한 성능 측정 시스템을 제안한다. 제안하는 성능 측정 시스템은 그림 3의 V2X 성능 측정 시스템 네트워크 구성과 같이 WAVE-LTE 망 협력 운용을 통해 통신 부하를 분산하고 신뢰성 있는 데이터 전송을 보장한다. RSU는 고정 인프라이므로 서버와의 통신 인터페이스는 이더넷을 사용하였으며, 차량에 탑재되는 OBU는 무선랜을 이용할 경우 IEEE 802.11p와 같은 문제가 발생 될 수 있으므로 정확한 성능 분석을 위해 LTE를 사용하였다.

3.2 고속 주행 성능 시험 환경 및 방법

본 논문에서는 고속도로와 같은 100km/h 이상의 속도를 유지하며 성능 시험을 수행하기 위해 대구테크노폴리스에 위치한 지능형자동차부품진흥원(KIAPI)의 ITS 고속 주회로(ITS High Speed Circuit)에 V2X 성능 측정 시스템을 구축하고 성능 시험을 수행하였다. 그림 4는 KIAPI ITS 고속 주회로이며, 표 2는 KIAPI ITS 고속주회로의 규격이다. KIAPI의 ITS 고속주회로는 직선로와 벙크부의 선회로로 구성된 주행 시험도로 곡선 반경 R=100, 직선 거리 1.5km, 최고 속도 204km/h까지 주행이 가능한 시험로이다.<sup>[14]</sup> 이 주회로는 100km/h 이상의 속도를 유지하며 주행할 수 있으며, 개방형 도로여서 LOS가 보장



그림 4. KIAPI ITS 고속 주회로  
Fig. 4. ITS high speed circuit of KIAPI

표 2. KIAPI ITS 고속 주회로 규격  
Table 2. Specification of KIAPI ITS high speed circuit

Circuit	3,681.124m (straight-line distance: about 1.5km)
Lane	3 lane
Angle of bank	30deg, R100
Circuit time	2min 1sec(100km/h)

되고 멀티패스 페이딩(Multipath Fading)의 영향이 적다. 따라서 고속 주행 환경이 V2X 통신 성능에 어떤 영향을 미치는지 시험하기 적합한 조건을 가지고 있다.

성능 측정 시스템에서 통신 모듈과 안테나의 설치 위치는 통신 성능에 영향을 주는 중요한 요소이다. 그림 5에서와 같이 RSU는 OBU와의 LOS를 확보하기 위해 지상으로부터 약 12m 위치에서 설치하였으며, 5개의 RSU를 평균 446m의 간격으로 배치함으로써 커버리지가 중첩되어 통신이 끊기는 것을 최소화할 수 있도록 망을 설계 하였다.

RSU는 고속 주회로 상에 그림 6과 같은 순서로 배치되었다. 다양한 주행 시험이 가능한 ITS 고속 주회로는 여러 가지 구조물이 존재한다. 그 중 고속 주회로의 왼쪽 커브 구간 안쪽에 위치한 등판로 시험장과 커브 진입 구간 앞에 존재하는 언덕 그리고 오른쪽 커브 구간 앞에 존재하는 본관 건물로 인해 일부 구간에서 신호의 LOS 환경이 방해되어 충분한 통신 커버리지 확보에 어려움이 발생하였다.

OBU는 실제 차량 장착과 동일한 조건을 위해 그림 7과 같이 통신 장치는 차량 내부에 설치하고, 차량 통신용 안테나는 전파 경로 차단 및 통신 성능이 감소하는 현상을 최소화하기 위해 차량의 중심부 루프 상단에 설치하였다.

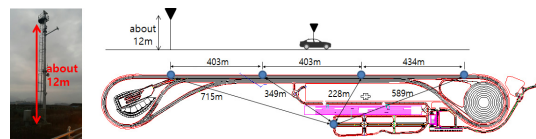


그림 5. 도로변에 설치된 RSU  
Fig. 5. RSU installed on the road side

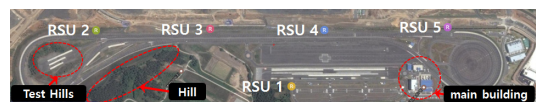


그림 6. 고속 주회로 상의 배치된 RSU의 위치  
Fig. 6. Location of installed RSUs on the ITS high speed circuit

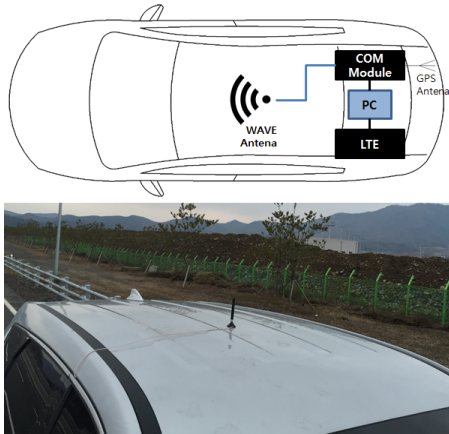


그림 7. OBU 셋업 환경  
Fig. 7. Setup environment of OBU

#### IV. 성능 측정 시험 결과

본 논문에서는 차량의 속도를 100km/h로 유지하여 반복 주행하면서 통신 장치의 성능을 측정하였으며 WAVE 통신을 위한 시험 조건은 표 3과 같다. WAVE 모듈의 메시지 송수신 채널 번호로 180번을 설정하였으며 신호의 출력 값은 20dBm이다. 성능 시험 시 RSU와 OBU는 6 Mbps의 전송 속도로 1,000 바이트의 데이터를 100ms의 시간 간격으로 재전송과 ACK가 없는 브로드캐스팅 송출하였다.

표 3. WAVE 시험 조건  
Table 3. Test conditions of WAVE

항목	값
Channel	180(5.900 GHz)
Tx Power	20 dBm
Data Rate	6 Mbps
Data Size	1,000 byte
Ix Interval	100 ms

##### 4.1 성능 시험 결과 분석

고속 주행 환경에서의 RSU와 OBU간의 통신 성능 분석 결과는 각 시험 회차 및 왕복 회차에 대한 시험 결과를 통합하여 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

그림 8은 RSU와 OBU간의 신호 강도 측정 결과를 도식화한 것으로 지도상의 각 점은 V2X 메시지가 수신된 차량 위치를 표시한 것이며 신호 강도가 강할수록 점의 색상을 진하게 표시하였다.<sup>[14]</sup> 이 시험 결과를

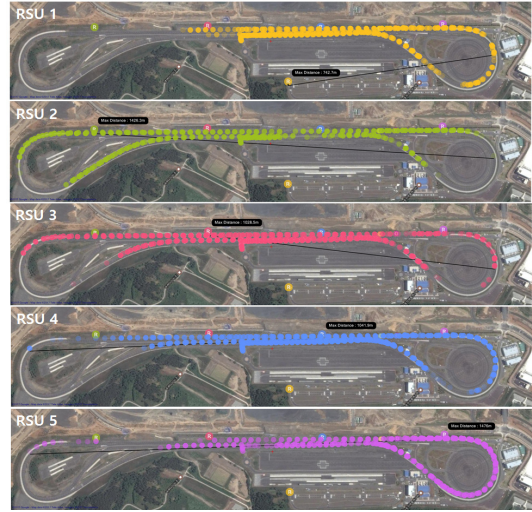


그림 8. RSU 통신 커버리지  
Fig. 8. Communication coverage of RSU

통해 근거리에서 송수신 성능이 좋다는 것을 확인할 수 있으며 각 RSU 간 통신 커버리지 중첩 구간을 확인할 수 있다. RSU1은 주회로 가운데에 설치되어 있지만 왼쪽 커브 구간에 위치한 장애물에 의하여 왼쪽 통신 커버리지가 좋지 않고, RSU2와 RSU3은 등판로 시험장에 의해 왼쪽 커브 구간 하단에 통신 장애가 발생하였다.

그림 9는 주회로에 설치된 모든 RSU에 대한 전체 통신 커버리지를 나타내며 전체 3,681.124m 중 큰 장애물이 있는 왼쪽 커브구간의 약 150m 음영 지역(약 4%)을 제외하고 주회로 거의 대부분의 구간에서 RSU와 OBU간 통신이 가능함을 확인할 수 있다.

표 4는 통신 성능 분석 결과를 분석한 것이다. 최대 통신 거리는 RSU와 OBU 사이에 수신된 메시지 중 GPS 좌표 정보를 기준으로 가장 먼 거리에서 수신된 메시지의 통신 거리를 의미한다. 평균 Loss는 주회로 전 구간에 대해 수신된 메시지들에 대한 Packet Loss를 의미한다. 대체적으로 RSU별 성능에 큰 차이는 없지만, RSU1 경우 다른 RSU와는 달리 주회로 인근 노변에 설치되지 않고 바깥쪽에 설치되어 충분한 LOS가 확보되지 못해 상대적으로 최대 통신 거리가 짧은 편이다. 최대 통신 거리는 평균 1,143.08m를 확보하였으며, 평균 Loss 평균 38.32% 성능을 보인다.



그림 9. 전체 통신 커버리지  
Fig. 9. Communication coverage of all RSUs

표 4. 통신 성능 분석 결과  
Table 4. Communication performance analysis result

	Max Distance(m)	Average Loss(%)
RSU1	742.7	44.3
RSU2	1426.3	36.5
RSU3	1028.5	35.5
RSU4	1041.9	31.1
RSU5	1476	44.2
Average	1,143.08	38.32
Total RSU	-	3.95

또한 전체 RSU에 대한 평균 Loss는 3.95%로 전체 구간 중 약 4%를 차지하는 음영 구간과 비슷한 수치를 보인다. 이는 음영구간을 제외한 나머지 구간에서는 Packet Loss가 없다는 것을 알 수 있다. 통신 커버리지 분석 결과 결론적으로 차량이 100km/h 이상으로 고속 주행 시에도 양호한 통신 성능을 보임을 확인할

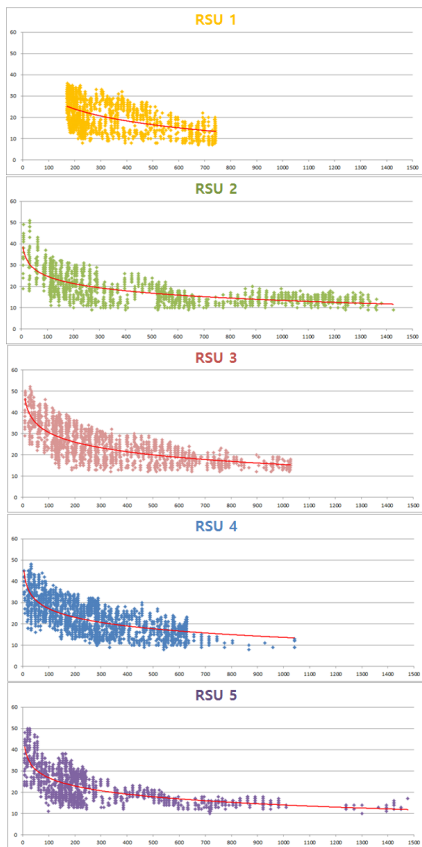


그림 10. 통신 거리별 RSSI 분석 결과  
Fig. 10. RSSI analysis results by distance

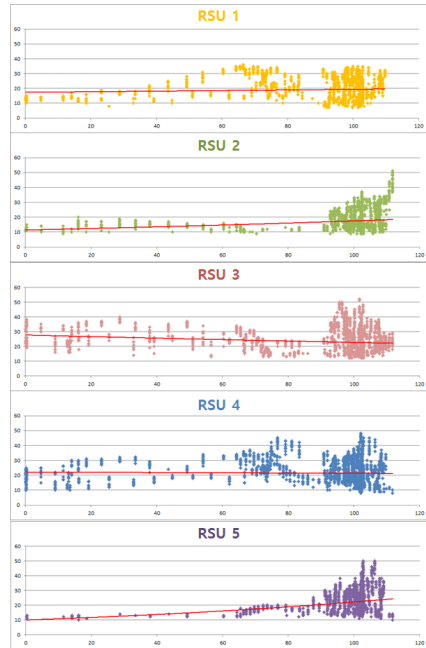


그림 11. 주행 속도에 따른 RSSI 분석 결과  
Fig. 11. RSSI analysis result according to driving speed

수 있다.

그림 10과 11에서와 같이 신호 강도는 RSU와 OBU 사이의 송수신 거리에 따라 성능이 달라지는 것을 확인 할 수 있다. 통신 거리별 RSSI 분석 결과를 통해 거리에 따라 신호 강도가 감소하는 경향을 알 수 있지만, 주행 속도에 따른 RSSI 분석 결과는 차량의 주행 속도가 신호 강도에 큰 영향을 주지 않는다는 것을 보여준다.

## V. 결 론

차량이 고속으로 이동하는 경우, 차량의 위치와 주변 환경이 빠르게 변화하여 통신 성능에 영향을 주므로 고속 주행 환경에서의 성능 시험이 필수적으로 수행되어야 한다. 본 논문은 차량의 고속 주행 환경에서 효과적으로 통신 성능을 측정하기 위한 시스템의 구성과 그 시험 방법에 대하여 제안하고, 제안된 방법으로 수행한 성능 측정 시험의 결과를 분석하였다.

제안된 V2X 성능 측정 시스템은 WAVE-LTE 망 협력 운용을 통해 통신 부하를 분산하고 신뢰성 있는 데이터 전송을 보장함으로써, RSU와 OBU에서 서버로 시험 결과를 전송 과정 중에 V2X 통신 성능에 영향을 줄 수 있는 요인들을 완전히 배제하였다. 또한 고속 주행 환경 조건을 만족하기 위해 ITS 고속 주회

로에서 실차 테스트를 수행함으로써 성능 시험 방법에 신뢰성을 확보할 수 있었다. 성능 분석 결과 최대 거리 평균 1,143.08m, 전체 RSU에 대한 평균 Loss는 3.95%의 성능을 보이며, 고속 주행 환경에서 거리에 따라 신호 강도가 감소하는 경향이 있지만 차량의 주행 속도에는 큰 영향을 받지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 결론적으로 WAVE 규격을 만족하는 통신 모듈일 경우, 차량의 주행 속도에는 큰 영향을 받지 않고 양호한 통신 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

제한된 성능 시험 방법은 다양한 차세대 C-ITS 서비스를 제공하는 차량 및 노변 간 통신 시스템의 성능 검증 시험에 적용 할 수 있을 것이다. 향후에는 최근 연구가 활발한 LTE기반 V2X 시스템의 성능 측정을 위해서 성능 측정 시스템을 확장할 필요가 있다. 또한 보다 다양한 WAVE 시험 조건과 환경 조건들을 접목하여 도로에서 발생할 수 있는 다양한 상황에 대한 통신 성능 검증을 수행함으로써 보다 신뢰성 있고 포괄적인 V2X 성능 검증 방안을 연구할 필요가 있다.

### References

[1] Robert J. Sheehan, *USDOT Connected Vehicle Research Program*, U.S. Department of Transportation(USDOT), 2014.

[2] G. Toulminet, J. Boussuge, and C. Lurgeau, "Comparative synthesis of the 3 main European projects dealing with Cooperative Systems (CVIS, SAFESPOT and COOPERS) and description of COOPERS Demonstration Site 4," in *Proc. 11th Int. IEEE Conf. Intell. Transport. Syst.*, pp. 809-814, Oct. 2008.

[3] G. D. Jin, S. T. Kim, S. Y. Lee, C. G. Kim, and J. H. Park, "A study on the operational results of SMART highway test-bed," *J. KIITS*, vol. 14, no. 4, pp. 27-39, 2015.

[4] KEC, *Final Report for 4-2 SMART Highway Study*, ISBN 979-1195529117, OLIT Press., 2015.

[5] S. Lee, H. Jeong, S. Yoon, D. Shin, and K. Lim, "WAVE specification and trend of next-generation ITS communication technology," in *Proc. KICS Winter Conf.*, pp. 756-757, Jan. 2013.

[6] S. Lee, "Trends of next generation Domestic and International ITS technology," Retrieved

Dec. 27. 2016, from <https://www.nipa.kr/know/periodicalWebzineView.it>

[7] J. H. Song, J. J. Lee, S. W. Jung, and D. W. Seo, "Performance and multi-hop transmission tests for vehicular communication systems in real road environments" *J. KIITS*, vol. 1, no. 13, pp. 35-45, Oct. 2014.

[8] S.-M. Heo and S.-J. Yoo, "Multi-channel MAC protocol based on V2I/V2V collaboration in VANET," *J. KICS*, vol. 40 no. 01, pp. 96-107, Jan. 2015.

[9] H. S. Oh, H.-K. Cho, and Y.-S. Song, "V2X communication technology for collaborative autonomous driving," *KICS Inf. and Commun. Mag.*, vol. 33, no. 4, pp. 41-46, Mar. 2016.

[10] IEEE, *IEEE 802.11p-2010, Amendment6: Wireless Access in Vehicular Environment*, Oct. 2010.

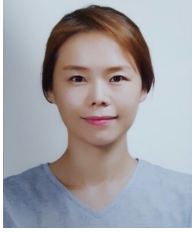
[11] IEEE, *IEEE 1609.3-2016, Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Networking Services*, ITS Standards, Apr. 2016.

[12] IEEE, *IEEE 1609.4-2016, Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Multi-channel Operation*, ITS Standards, Mar. 2016.

[13] P. Luoto, M. Bennis, P. Pirinen, S. Samarakoon, K. Horneman, and M. Latva-aho, "System level performance evaluation of LTE-V2X network," *Eur. Wirel. Conf.*, pp. 1-5, Apr. 2016.

[14] T. Frankiewicz, M. Möckel, and F. Köster, "Measurement and evaluation of communication parameters on a vehicle-to-infrastructure communication test site," *ICCVE*, pp. 99-104, Messe Wien, Vienna, Austria, Jun. 2014.

**강 보 영 (Bo-young Kang)**



2003년 2월 : 경북대학교 컴퓨터과학과 졸업  
2005년 2월 : 경북대학교 컴퓨터과학과 석사  
2005년 3월~현재 : 경북대학교 임베디드소프트웨어연구센터

<관심분야> IoT, C-ITS, WAVE, 차량간 무선통신, connected-car

**박 종 우 (Jong Woo Park)**



2011년 2월 : 대구대학교 컴퓨터 IT 공학부 졸업  
2014년 2월 : 경북대학교 전자공학부 석사  
2014년 3월~현재 : 경북대학교 전자공학부 박사과정

<관심분야> 운영체제, 플래시 스토리지, V2X 서비스

**배 정 규 (Bae JeongKyu)**



2007년 2월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 졸업  
2010년 8월 : 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 석사  
2010년 8월~2017년 1월 : 경북대학교 임베디드소프트웨어연구센터

2017년 2월~현재 : (주)세스트

<관심분야> V2X 통신, WAVE, 5G, 자율주행 자동차

**양 은 주 (Yang EunJu)**



2002년 2월 : 경성대학교 컴퓨터과학과 졸업  
2004년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 석사  
2003년 12월~2004년 9월 : (주)CGC SW  
2004년 10월~현재 : 경북대학교 임베디드소프트웨어연구센터

<관심분야> IoT, WAVE, 차량간 무선통신, connected-car

**서 우 창 (Woo-Chang Seo)**



2015년 8월 : 영남대학교 전자공학과 졸업  
2016년 9월~현재 : 경북대학교 전자공학부 석사과정  
2015년 10월~2017년 1월 : 경북대학교 임베디드소프트웨어연구센터

2017년 2월~현재 : (주)세스트

<관심분야> IoT, 차량통신, 정밀측위

**서 대 화 (Dae-Wha Seo)**



1981년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업  
1983년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 석사  
1993년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 박사  
1983년~1995년 : 한국전자통신연구원 컴퓨터 S/W 연구실

1998년~현재 : 경북대학교 전자공학부 교수

2004년~현재 : 경북대학교 임베디드소프트웨어연구센터장

<관심분야> 임베디드 소프트웨어, 병렬처리, 운영체제, 플래시 스토리지, V2X 서비스