

# 자율주행 실험도시(K-city) 내 V2V 통신 환경에 관한 연구

조병찬\* · 김동환\*\* · 신재곤\*\*\* · 김성섭\*\*\*\* · 조성우\*\*\*\*\*

## A Study on V2V Communication Environment in K-city

Byeongchan Jo\*, Donghwan Kim\*\*, Jaekon Shin\*\*\*,  
Sungsub Kim\*\*\*\*, Seongwoo Cho\*\*\*\*\*

**Key Words:** V2V(차량간 통신), K-city(자율주행 실험도시), WAVE(wireless access in vehicular environments), Received signal strength indication(수신 신호 강도), BSM(기본 안전 메시지)

### ABSTRACT

K-city is an experimental area for developing self-driving cars. V2X communications such as WAVE, C-V2X and 5G are an essential technology for autonomous driving above level 4. In this paper, the research on the V2V communication environment was carried out through BSM receiving level analysis on the driving route in K-city. A stationary vehicle communicated with a test vehicle moving along urban area and suburban road in two different scenarios. The communication range and receiving levels obtained from this study will be used to develop and verify various safety scenarios using V2V communication within K-city in the future.

### 1. 서론

현재 ADAS시스템 등 센서 기반으로 운영을 하고 있는 레벨 3 수준의 자율주행자동차는 장착된 센서의 인식 범위 내의 정보만을 활용할 수 있으며 기상 환경 및 주변 장애물 존재 유무에 따라 인식 오류 또는 센서의 인식 범위가 축소될 수 있어 주변 환경을 정확하게 인식하는데 한계가 있다.

자율주행자동차에 커넥티드 관련 기술이 접목된 자율협력주행자동차는 V2X(Vehicle to Everything) 무선 통신 기술을 사용하여 센서 기반 자율주행자동차의 주변 환경 인식 한계를 보완하고 시야 확보가 어려운 다양한 상황에서도 주변 환경을 인지하여 안전운전을 지원한다. 따

라서 레벨 4 이상의 완전 자율주행을 위해서는 V2X 무선 통신 기술이 필수적이다.

대표적인 V2X 통신 기술로는 무선랜 기술 기반의 WAVE와 이동통신 기술(LTE, 5G) 기반의 C-V2X가 있다.

WAVE 기술은 IEEE 802.11a 무선 랜 기술을 기반으로 자동차 주행 환경에 적합하도록 개정된 무선 통신 기술로 2010년에 해당 표준 802.11p<sup>(1)</sup>가 개발된 이후 2016년에는 네트워크 및 전송 계층 표준으로 1609.3<sup>(2)</sup>, 채널 할당 표준으로 1609.4<sup>(3)</sup>, 보안 통신 표준으로는 1609.2<sup>(4)</sup>가 개발되어 차량용 통신 표준으로 자리 잡았다.

C-V2X 기술은 LTE 기술을 사용하여 단말간 직접 통신에 적합하도록 정의된 표준 3GPP Rel. 14<sup>(5)</sup>를 2017년에 개정한 이후 2020년 7월에는 5G 기술을 사용한 NR-V2X 표준 3GPP Rel. 16[6]을 개정하였다.

자율주행 기술의 성능을 실도로에서 테스트하는 것은 많은 제약사항과 높은 사고 위험이 존재한다. 따라서 각 나라에서는 자율주행 기술을 테스트하기 위한 테스트베드를 구축하여 자율주행 기술 개발을 장려하고 성능 검증을 지원하고 있다. 대표적인 테스트베드로는 미국의

\* 자동차안전연구원 정보통신연구처, 선임연구원  
\*\* 자동차안전연구원 정보통신연구처, 연구원  
\*\*\* 자동차안전연구원 자율주행연구처, 수석연구원  
\*\*\*\* 자동차안전연구원 정보통신연구처, 처장  
\*\*\*\*\* 자동차안전연구원 자율주행실, 실장  
E-mail: jbc@kotsa.or.kr

M-city<sup>(7)</sup>, 일본의 J-Town<sup>(8)</sup>이 있다.

한국교통안전공단 자동차안전연구원 주행시험장 내에 위치한 자율주행 실험도시 K-city는 자율주행자동차의 기술개발과 검증을 위한 테스트베드이다. K-city에는 교차로, 신호등 등 도심 및 교외 환경을 실제 도로와 같게 구현하여 다양한 환경에서 자율주행 기술을 테스트할 수 있도록 하였다. 최근에는 자율주행 기술 고도화 흐름에 따라 교통정보 송수신, 자율협력주행 등 V2X 통신 기반 개발 환경의 필요성이 요구되고 있는데, K-city는 WAVE, C-V2X, 5G 기술을 활용한 통신 환경을 구축하여, V2X 무선 통신 기술을 활용한 자율주행 기술 개발을 지원하고 있다.

이와 같이 K-city에서 다양한 통신 기술을 지원하고 있지만 아직까지 K-city 내에서 통신 성능을 예측할 수 있는 송수신 환경에 대한 연구는 진행된 적이 없다. 이에 본 논문에서는 V2V 통신을 위한 단말기를 차량에 장착하여 BSM<sup>(9)</sup> 송수신을 통해 K-city 내 다양한 주행 경로 상에서 수신 레벨 분석을 통해 V2V 통신 환경에 대한 연구를 수행하였다.

## 2. V2V 통신 시험을 위한 환경 구성

### 2.1. 시험 장치 및 차량 구성

V2V 통신을 위해 WAVE 단말기와 안테나를 시험 차량에 설치하였다. WAVE 단말기는 Cohda Wireless 사의 MK5<sup>(10)</sup>를 사용하였으며 안테나는 MobileMark사의 SMW-313<sup>(11)</sup>을 사용하였다.

Fig. 1은 차량 구성에 대한 개략도와 구성된 실제 차량을 나타낸 것이다.



Fig. 1 Setup of test vehicle

MK5는 2개의 WAVE 채널과 GPS 수신기를 포함하고 있으며 GPS 신호를 기반으로 차량의 위치 정보, 속도, 주행 방향, 경로이력 및 경로예측 정보 등을 생성하여 BSM을 전송한다. BSM 송수신은 하나의 WAVE 채널에서만 이루어지며 송수신되는 모든 BSM을 로깅할 수 있다. 이를 위해 MK5와 제어 PC는 차량 내부에 설치하였다.

SMW-313에는 WAVE 및 GPS 안테나가 포함되어 있다. WAVE용 안테나는 무지향성 방사패턴을 가지고 있으며 방위각(azimuth) 방향의 최대 이득은 약 4dBi, 고도각(elevation) 방향의 최대 이득은 약 7dBi이다. SMW-313은 케이스 바닥에 마그네틱 플레이트가 포함되어 있어 차량 루프 중앙에 설치하였으며 마그네틱 플레이트를 포함한 안테나의 높이는 약 0.094m이다. 안테나에 포함된 WAVE 및 GPS 케이블의 길이는 약 2.1m이다.

시험에 사용된 차량의 전장은 4.90m, 전폭은 1.86m, 전고는 1.44m이며 본 논문에서는 BSM 데이터 요소 중 차량의 상태 정보는 제외하고 차량의 위치 정보와 수신 신호 레벨만 필요하기 때문에 MK5는 차량으로부터 전원만 공급받는다.

### 2.2. 주행 시나리오

Fig. 2는 BSM 송신 기준점이 되는 차량(SV)의 위치 및 주행 차량(MV)의 경로를 나타낸 것이다. SV의 위치는 검은색 점으로 표시되어 있으며 MV의 주행 시나리오는 실선과 점선으로 표시되어 있다.

K-city는 초입로에 회전교차로를 시작으로 자율주차 시설, 어린이보호구역, 버스전용차로, 신호교차로, 도심 교차로, 협로, 고속주행로, 터널, 아스팔트/콘크리트로, 공사도로, 가로수로 등 국내 도로 특성을 반영하여 다양한 환경에서 자율주행차의 안전성을 검증할 수 있도록 구축되어 있다. 본 논문에서는 K-city 내 모든 주행로에서 BSM 수신 레벨을 수집하기 위해 2가지의 주행 경로를

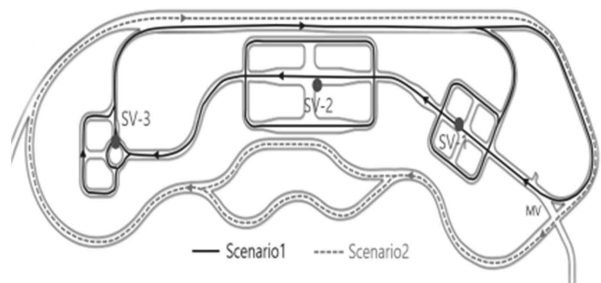


Fig. 2 Test scenario in K-City

수립하였다.

실선으로 표시된 첫 번째 주행 경로(Scenario 1)는 어린이보호구역, 버스전용차로, 신호교차로, 도심교차로, 고속주행로, 터널 등 주요 도로 및 시설들이 포함되어 있으며, 점선으로 표시된 두 번째 주행 경로(Scenario 2)에는 아스팔트/콘크리트로, 공사도로, 가로수로, 협로, 고속주행로, 터널 등의 도로가 포함되어 있다.

위와 같이 수립된 주행 시나리오는 길이 약 1.1km, 폭 약 330m 내에 구축된 K-city 경로를 대부분 포함하게 된다.

### 2.3. 통신 파라미터

Table 1은 본 시험에 사용된 통신 파라미터를 나타낸 것이다.

시험에 사용된 차량용 통신 시스템은 WAVE 표준 규격을 따르며 주파수는 지능형교통시스템용 무선 설비를 위해 할당된 5.855~5.925GHz 대역에서 1번 채널에 해당하는 5.855~5.865GHz 대역을 사용하였다. 전송 속도는 6Mbps, BSM 전송 주기는 100ms, 송신 BSM의 최대 크기는 264bytes, 수신 BSM의 크기는 178bytes이다. 수신 감도는 다중경로가 없는 가시경로 조건에서는 -95dBm, 고속도로 비가시경로 조건에서는 -88dBm 이다.

SMW-313에 포함된 WAVE 안테나 케이블의 최대 손실은 5.8GHz에서 약 1.1dB/m이며 케이블 길이가 약 2.1m 이기 때문에 최대 케이블 손실은 5.8GHz에서 약 2.3dB

Table 1 Communication parameters in this test

Parameter	Value
Frequency	5.855~5.865 GHz
Bandwidth	10 MHz
Transmission rate	6 Mbps
Transmission interval	100 ms
Transmit BSM size	max 264 bytes
Reception BSM size	178 bytes
Receiver sensitivity	No multipath : -95 dBm Highway NLoS : -88 dBm
Cable loss	about 2.3 dB @ 5.8 GHz
Transmit power	23 dBm
Antenna gain(peak)	Azimuth : about 4 dBi Elevation : about 7 dBi
Antenna height	about 1.534 m (1.44 m + 0.094 m)

가 되며 커넥터 손실까지 고려할 경우 전체 손실은 약 3dB 가 될 것으로 예상된다. 따라서 안테나에 전달되는 전력이 약 20dBm이 되도록 단말기 송신 전력을 23dBm으로 설정하였다.

앞서 설명한 통신 파라미터 중 전송전력, 케이블 손실, 안테나 이득 값과 가시신호만을 고려한 자유공간 300m 거리에서 이론적으로 수신되는 신호의 세기는 식 (1) 로 계산할 수 있다.

$$P_r [dBm] = P_t [dBm] + G_t [dB] + G_r [dB] - P_L [dB] - C_L [dB] - C_L [dB] \quad (1)$$

여기서  $P_r$ 는 수신 신호 세기,  $P_t$ 는 전송전력,  $G_t$ ,  $G_r$ 는 각각 송신 및 수신 안테나 이득,  $C_L$ ,  $C_L$ 는 각각 송신 및 수신 안테나에 연결된 케이블 손실이며  $P_L$ 는 자유공간 손실로 거리  $d$ m에서의 자유공간 손실은  $20 \log(4\pi d/\lambda)^2$  와 같다.

케이블 손실 값은 커넥터 손실까지 고려하여 약 3dB 라고 가정한다면 식 (1)을 사용하여 300m 거리에서 계산한 이론적인 수신 신호 세기는 약 -72.5dBm 이다.

### 3. V2V 통신 시험 결과

V2V 통신을 위해 총 2대의 차량을 사용하였으며 한 대의 차량(SV)은 Fig. 2에 표시한 것과 같이 총 3군데 고정 위치에서 BSM을 송수신하는 역할을 하고 나머지 한 대(MV)의 차량은 수립된 2가지 주행 시나리오를 주행하며 BSM을 송수신한다. 주행 시나리오에는 직선로뿐만 아니라 다양한 곡률을 가지는 곡선로가 포함되어 있기 때문에 MV 차량의 주행 속도는 약 20~60km/h 내에서 주행하였다.

SV와 MV 차량의 GPS 수신 조건은 K-city 내 도심 교차로, 터널, 가로수 길을 제외하고는 대부분 주변 장애물 등 신호 방해 요소가 없는 오픈 스카이 조건으로 위치 정보를 수신하기에 양호한 조건이며 위치 정보를 보정하기 위한 신호는 사용하지 않았다. Fig. 3~5에서 검정색 세모는 SV 차량의 위치를 나타낸다.

Fig. 3은 SV-1 위치에서 송신한 BSM을 MV 차량이 수립된 경로를 주행하면서 수신한 BSM의 수신 레벨을 나타낸 것이다. 수신 레벨은 최대 -38dBm에서 최소 -95dBm으로 분포되어 있으며 BSM을 수신하지 못한 부분은 검정색으로 표시되어 있다.

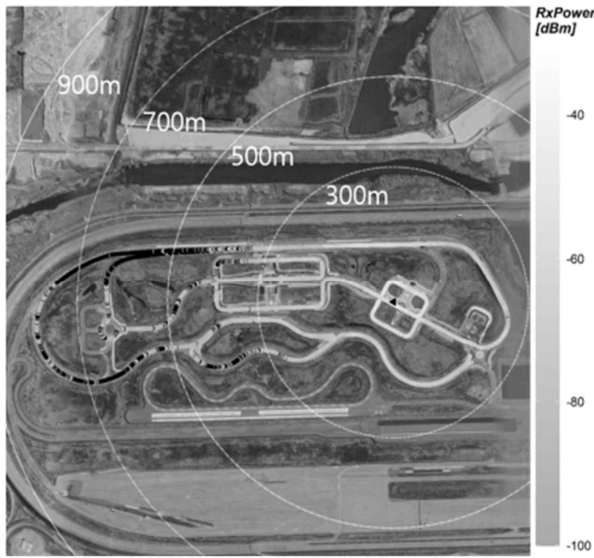


Fig. 3 Received signal strength indication under SV-1

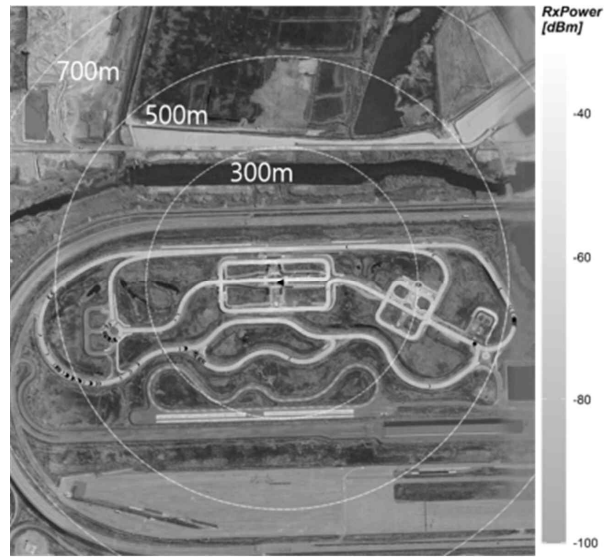


Fig. 4 Received signal strength indication under SV-2

SV-1 위치를 중심으로 약 400m까지는 비교적 BSM 수신이 잘 되고 있으며 약 500m 이상에서는 BSM을 수신하지 못하는 부분이 상당히 많이 분포하고 있음을 알 수 있다. 송수신 사이의 거리가 멀어지게 되면 거리에 따라 수신 신호 세기는 감소하게 되고 이러한 조건에서 주변 장애물들에 의한 반사 등으로 가시경로가 확보되지 않을 경우 신호를 수신하지 못할 가능성이 높아지게 된다. 따라서 도심교차로와 가로수길에 세워져 있는 건물과 나무들에 의해 가려진 부분(약 500~800m 사이)은 비가시경로로 인해 BSM을 수신하지 못했지만 가시경로가 확보된 부분에서는 신호 레벨이 낮음에도 불구하고 BSM이 수신되는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 SV-2 위치에서 송신한 BSM을 MV 차량이 수립된 경로를 주행하면서 수신한 BSM의 수신 레벨을 나타낸 것이다. 수신 레벨은 최대 -44dBm에서 최소 -94 dBm으로 분포되어 있으며 Fig. 3에서와 같이 BSM을 수신하지 못한 부분은 검정색으로 표시되어 있다.

SV-2 위치는 대략 K-city의 경로 상에서 거의 중앙에 위치하고 있으며 SV-2 위치를 중심으로 약 500m까지는 BSM이 비교적 잘 수신되고 있음을 알 수 있다. Fig. 3에서와는 다르게 비가시경로가 존재하는 도심교차로와 가로수길 부분에서도 BSM이 잘 수신되고 있는 이유는 해당 부분이 SV-2와의 거리가 가까워 수신 신호 레벨이 높기 때문이다.

Fig. 5는 SV-3 위치에서 송신한 BSM을 MV 차량이 수립된 경로를 주행하면서 수신한 BSM의 수신 레벨을 나

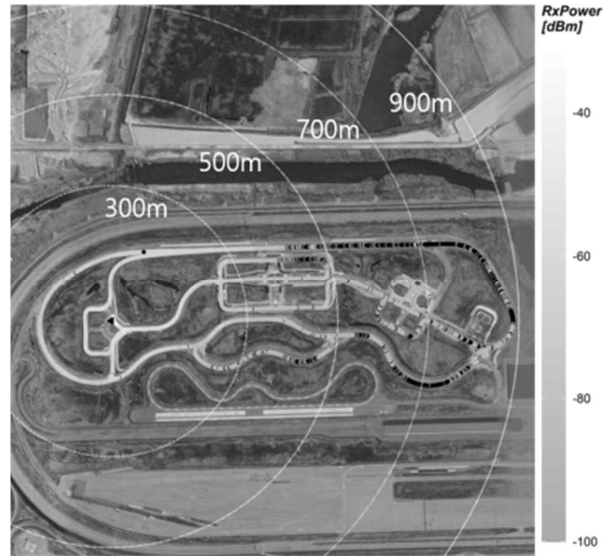


Fig. 5 Received signal strength indication under SV-3

타낸 것이다. 수신 레벨은 최대 -37dBm에서 최소 -95dBm으로 분포되어 있으며 Fig. 3에서와 같이 BSM을 수신하지 못한 부분은 검정색으로 표시되어 있다.

SV-3 위치를 중심으로 약 500m까지는 비교적 BSM 수신이 잘 되고 있으며 약 500m 이상에서는 BSM을 수신하지 못하는 부분이 상당히 많이 분포하고 있음을 알 수 있다. Fig. 3과 유사하게 SV-3 위치에서 거리가 멀고 비가시경로가 존재하는 약 700m 이상의 도심교차로와 가로수길 부분에서는 BSM이 잘 수신되지 않음을 알 수 있다.

Fig. 3~5의 300m 거리에서의 수신 신호 세기를 분석해 보면 가시신호가 확보된 경로상에서는 앞서 계산한 이론적인 수신 신호 세기와 유사한 레벨을 갖는 반면에 장애물의 종류에 따라 손실 정도는 차이가 발생하지만 장애물이 존재할 경우 이론적인 신호 세기보다 10dB 이상 낮거나 신호를 수신하지 못하는 경로도 존재한다. 그러나 장애물에 의한 신호 세기가 감소하더라도 수신 신호 세기가 수신 민감도 값 이상이라면 신호를 정상적으로 수신할 수 있다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 자율주행 실험도시 K-city 경로상에서 V2V 통신 성능을 예측하기 위해 2대의 차량에 WAVE 단말기를 설치하였다. 한 대의 차량(SV)은 고정된 위치에서 BSM을 송수신하고 나머지 한 대의 차량(MV)은 K-city 경로를 주행하면서 BSM을 송수신을 수행하였다. MV 차량에서 송신한 BSM 로깅을 통해 송신 위치 정보를 알 수 있으며 이 때 수신된 BSM 로깅을 통해 수신 레벨을 알 수 있다. 이 두 가지 정보로 K-city 주행 경로상에서의 V2V 통신 환경을 분석하였다.

수신 신호 레벨은 최대 -37dBm에서 최소 -95dBm으로 분포되어 있으며 약 500m까지는 BSM 이 잘 수신되는 것을 확인하였다. 500m 이상에서는 수신 신호 세기 감소 및 주변 장애물들에 의한 비가시경로로 BSM이 잘 수신되지 않았으며 가시신호가 확보된 경로에서는 수신 신호 세기가 낮더라도 BSM이 수신되는 것을 확인할 수 있었다.

또한 송신 차량의 위치에 관계없이 송신 차량을 중심으로 약 300m까지는 BSM 수신에 잘 되는 것을 알 수 있으며 이는 미연방안전기준(FMVSS No.150)에서 요구되었던 송신거리(300m)를 만족하는 결과이며 K-city 경로와 같이 장애물들이 비교적 높이가 낮은 일반적인 도로 형태에 대해서는 국내에서도 고려 중인 통신 안전기준의 송신범위 요구사항으로 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

이와 같이 K-city 주행 경로상에서 V2V 메시지 전달 범위와 수신 신호 세기를 분석함으로써 K-city 내 V2V 통신 환경을 확인할 수 있었다. 이러한 연구 결과를 통해 K-city에서 V2V 통신을 이용한 다양한 안전 시나리오 개발과 검증에 필요한 통신 성능을 예측하고 평가하는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문에서는 비교적 평탄한 지형과 낮은 장애물들로 구성된 테스트베드에서 V2V 통신 성능을 분석하였지만

향후 국내 통신 안전기준 마련을 위해서 고도각이 포함된 도로유형, 비가시경로 및 혼잡환경에 대한 영향성 등 다양한 실차 주행환경을 고려한 통신 성능 평가 관련 연구가 필요할 것이다.

#### 후 기

본 연구는 국토교통부 도심도로 자율협력주행 안전·인프라 연구 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었다(No. 19PQOW-B152473-01).

#### 참고문헌

- (1) IEEE, 802.11p, "IEEE Standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks-Specific requirements-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", 2010.
- (2) "IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Networking Services", in IEEE Std 1609.3-2016.
- (3) "IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Multi-Channel Operation", in IEEE Std 1609.4-2016.
- (4) "IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments--Security Services for Applications and Management Messages", in IEEE Std 1609.2-2016.
- (5) 3GPP TS 22.185 V14.3.0 Release 14 LTE; Service requirements for V2X services.
- (6) 3GPP TS 38.460 V16.1.0 Release 16 5G; NG-RAN; E1 general aspects and principles.
- (7) <https://mcity.umich.edu/our-work/mcity-test-facility/>
- (8) <http://www.jari.or.jp/tabid/142/Default.aspx>
- (9) Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary, SAE J2735, SAE, Mar. 2016.
- (10) <https://cohawireless.com/solutions/hardware/mk5-obu/>
- (11) <https://www.mobilemark.com/product/smwg-313-2xdsrsrc-gns/>