

## 자율주행 V2X 도입을 위한 표준화 및 주파수 정책

# Standardization and Spectrum Policy for the Introduction of Autonomous V2X

강 영 흥

Young-Heung Kang

### 요 약

자율주행차에 대한 관심이 높아지면서 신뢰성이 높고 지연시간이 낮은 무선접속 기술개발이 매우 중요해지고 있다. 자율주행의 필수 기술인 V2X(vehicle-to-everything)는 미국의 DSRC(dedicated short-range communication)와 유럽의 C-ITS(cooperative intelligent transport system)가 주도해 왔다. 최근 이동통신사업자들은 고신뢰성, 저지연성, 높은 스루풋(throughput) 성능을 갖는 C-V2X(cellular-V2X) 기술을 도입하면서 국내외적으로 향후 V2X 방식 결정이 큰 이슈가 되고 있다. 또한, 두 가지 기술의 새로운 V2X 표준으로 5.9 GHz 대역을 사용하는 IEEE802.11bd와 이동통신 인프라를 이용하는 NR(new radio)-V2X 규격이 개발되어 이를 자율주행 자동차에 응용하기 위한 본격적인 노력이 이루어지고 있다. 이에 본 논문에서는 국내외 V2X 관련 기술 및 표준, 주파수 정책을 분석하여 국내 V2X 정책 결정에 필요한 데이터를 제공하고자 한다.

### Abstract

With the increasing interest in autonomous vehicles, the development of radio access technologies (RATs) that have high reliability and low latency has become of paramount importance. As an essential technology for autonomous driving, vehicle-to-everything (V2X) has been developed by both the American dedicated short-range communication (DSRC) and the European cooperative intelligent transport system (C-ITS). Recently, because mobile providers have introduced cellular V2X (C-V2X), which can be characterized by high reliability, low latency, and high throughput performance, certain regulators are concerned with the decision of future V2X methods to be applied to advanced vehicular communications. Furthermore, both the DSRC and C-V2X are undergoing extensive enhancements into IEEE 802.11 bd in the 5.9 GHz band and New Radio (NR)-V2X using mobile infrastructure, and certain efforts are underway to apply them to autonomous vehicles. In this paper, V2X related technologies, standards, and spectrum policy have been analyzed, and the results will be helpful in deciding a domestic V2X method in the future.

Key words: Autonomous Driving, DSRC, C-ITS, IEEE802.11bd, NR-V2X

### I. 서 론

V2X(vehicle to everything)는 차량이 유무선망을 통하여 보행자의 기기, 도로 교통 시스템 탑재 기기, 다른 차량

등 주변 환경의 다양한 요소들과 소통하는 기술로서 자율주행차의 필수 기술이다. V2X 기술로서 Wi-Fi 기반 IEEE(Institute Of Electrical And Electronics Engineers) 802.11p의 DSRC(dedicated short-range communication) 방식<sup>[1]</sup>과

군산대학교 컴퓨터정보통신공학부(School of Computer Information and Communication Engineering., Kunsan National University)

· Manuscript received November 22, 2020 ; Revised December 29, 2020 ; Accepted February 2, 2021. (ID No. 20201122-016S)

· Corresponding Author: Young-Heung Kang (e-mail: yhkang@kunsan.ac.kr)

3GPP(3rd generation partnership project)의 LTE/5G를 이용한 C-V2X(cellular-V2X) 방식<sup>[2]</sup> 중 하나를 결정하기 위한 논의가 국내외적으로 뜨겁다.

한편, ITU-R WP5A에서는 ITS(intelligent transport system) 시스템을 국제적으로 널리 사용하고자 V2X에 이용하는 국제 주파수 조화를 위한 가이드라인, 권고, 보고서 및 핸드북을 개발해 오고 있다<sup>[3]</sup>.

FCC(Federal Communications Commission)에 의해 제안된 DSRC 방식은 IEEE 802.11p 표준을 기반으로 단순하면서 분산 작업이 가능한 MAC(media access control) 프로토콜을 사용하고 있지만, 고속 이동성 환경에서의 통신 문제 및 신뢰성(reliability)이 좋지 않아 차량에서의 채택이 지연되고 있다. 한편, 3GPP에서는 C-V2X를 지원할 수 있는 LTE(long term evolution) 기반의 RAT(radio access technology)를 개발하여 셀룰러 인프라 유무에 상관없이 통신운영이 가능하도록 하고 있다<sup>[4]</sup>. C-V2X 방식은 DSRC 방식에 비해 링크 버짓(budget) 성능, 간섭에 대한 탄력성, NLOS(non line of sight) 능력에서 우수한 면을 보이고 있다.

그러나 DSRC와 C-V2X 모두 약 100 ms 종단(end-to-end) 지연시간(latency)을 요구하는 응용 서비스에 안정적으로 지원 가능하지만, V2X 유스케이스(use case)의 QoS (quality of service) 요구사항이 보다 엄격함에 따라 현재 두 방식의 V2X RAT 규격은 원하는 성능 제공이 불가능하다. 이에 DSRC와 C-V2X간의 성능 격차를 줄이고, 추가 운영 모드를 지원하면서 제공 스루풋(throughput)을 높이기 위해 차세대 V2X로 IEEE 802.11bd 표준과 3GPP Rel.15에서 표준화된 5G 통신위에 Rel.16를 향한 NR(New Radio)-V2X 규격을 개발하였다. 새로운 NR-V2X는 99.999 %의 신뢰성과 3 ms 이하의 종단 지연시간을 요구하는 유스케이스 QoS를 만족하게 될 것이다<sup>[4],[5]</sup>.

IEEE802.11bd와 NR-V2X 기술은 미완성으로 현재 개발 중에 있으며, C-V2X는 기기간 모드의 직접 통신을 위해서는 ITS와 동일한 5.9 GHz 대역을 사용하지만, 차량대 네트워크(V2N) 모드에서는 모바일 네트워크와 통신할 수 있다는 점, 데이터 속도 및 지연시간에서 우수한 점을 갖고 있어 국내외적으로 이에 대한 실험 및 검증이 활발히 이루어지고 있다.

이에 본 논문에서는 V2X에 대한 서비스 요구사항과

새로운 IEEE 802.11bd와 NR-V2X 표준 기술, 국내외 이용 주파수 현황 등을 분석하여 국내 V2X 기술 정책 수립에 필요한 데이터를 제공하고자 한다.

## II. V2X 서비스 요구사항

ITS 서비스를 제공하는 V2X 통신은 그림 1과 같이 차량을 중심으로 볼 때 V2V(vehicle to vehicle), V2I(vehicle to infrastructure), V2N(vehicle to nomadic device), V2P (vehicle to pedestrian)가 있다. 여기서 V2I와 V2N은 모두 차량과 인프라간 통신이지만, V2I 통신은 5.9 GHz 전용 주파수 대역을 사용하고, V2N은 이동통신 사용 주파수 대역을 사용하는 측면에서 통신 방식에 차이가 있다. ITU-R M.2121<sup>[6]</sup>에서는 차량 안전과 C-ITS(cooperative ITS) 서비스를 제공하는 V2X 통신으로 5.855~5.925GHz 주파수 대역을 권고하고 있으며, ITU-R M.2084<sup>[7]</sup>에서는 V2X 통신 주파수 대역에서 신기술의 규격은 ETSI, IEEE, 3GPP, ARIB, TTA 등의 산업 표준을 준용할 것을 권고하고 있다<sup>[3]</sup>.

또한, ITU-R M.1452<sup>[8]</sup>는 밀리미터파 무선통신 시스템을 위한 시스템 요구사항 및 운영 특성을 규정하고 있다. 이 권고는 76~77 GHz 및 77~81 GHz 대역에서 운영하는 차량 충돌 회피 레이더와 V2V 및 V2I 용 57~66 GHz 대역의 ITS를 위한 통합 밀리미터파 무선통신시스템을 다루고 있다. 한편, ITU-R M.1453<sup>[9]</sup>에서는 ITS 대역을 5.725~5.875 GHz 대로 지정하고 있으며, 두 가지 기술, 능동(송수신기) 시스템과 수동(중계기) 시스템을 다루고 있다.

V2X 기술에 대한 한 가지 분명한 요구사항은 기존 유

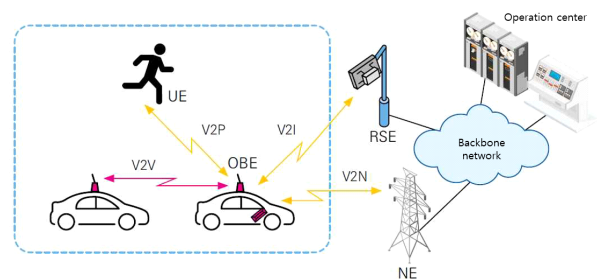


그림 1. V2X 통신 개념도  
Fig. 1. V2X communication diagram.

표 1. 첨단 V2X 응용의 QoS 요구사항

Table 1. QoS requirements for advanced V2X applications.

Use case group	Max. latency (msec)	Payload size (Bytes)	Reliability (%)	Data rate (Mbps)	Min. range (meters)
Vehicle platooning	10~500	50~6,000	90~99.99	50~65	80~350
Advanced driving	3~100	300~12,000	90~99.999	10~50	360~500
Extended sensors	3~100	1,600	90~99.999	10~1,000	50~1,000
Remote driving	5	-	99.999	UL: 25 DL: 1	-

즈케이스의 안정성을 향상시키면서 지연시간 기준 내에서 패킷을 전송하는 것이다. 그러나 이 외에도 기본 안전 애플리케이션을 제공하는 것만으로는 자율주행차의 요구사항을 충족할 수 없다. 이에 3GPP는 일부 첨단 차량 응용 분야의 요구사항을 연구하고 있으며, 이러한 첨단 V2X 유즈케이스는 도로 안전을 개선할 뿐만 아니라, 더 나은 교통관리를 지원하고 승객의 인포테인먼트 요구사항을 충족하게 된다. 이러한 응용은 ① 차량 군집, ② 첨단 주행, ③ 확장 센서 및 ④ 원격 주행의 네 가지 범주로 분류하고 있으며, 각각의 V2X 응용 QoS 요구사항을 표 1에 요약해 놓았다<sup>[4]</sup>.

### III. V2X 표준화 동향

#### 3-1 IEEE 802.11bd

IEEE 802.11bd는 Next Generation V2X(NGV)이며, 5.9 GHz 대역을 기본으로 60 GHz 대역을 선택적으로 사용한다. 응용 서비스는 BSM(basic safety message), 멀티채널 운영, 인프라 서비스와 같이 기존의 IEEE 802.11p 응용 서비스와 센서 정보 공유, 차량의 위치 정보 제공, 자율주행 지원 등과 같은 자동차 자율주행 서비스와 기차 간 통신 서비스를 포함하고 있다. IEEE 802.11 NGV 그룹에서는 IEEE 802.11bd 성능 목표를 만족하기 위한 물리 계층과 MAC 계층에 대한 기술제안과 규격화 작업이 진행되고 있으며, 내용은 다음과 같다<sup>[3],[4]</sup>.

#### 3-1-1 물리계층(PHY)

전송속도를 2배 이상 증가시키기 위하여 256QAM 기술과 10 MHz 주파수 채널 2개를 묶어 20 MHz 채널을 사용한다. 수신 성능을 개선하기 위하여 LDPC(low density parity check) 코딩 기술과 패킷 반복 전송, 그리고 듀얼(dual) 안테나 전송 방식을 사용한다. 그리고 페이딩 채널 환경에서 채널 추정을 위해 미드앰블(midamble) 신호를 주기적으로 전송하며, OFDM 신호의 PAPR(peak-to-average power ratio) 개선을 위해 송신 신호 변조 시 DCM(double carrier modulation) 방식을 적용한다. 또한, 고속 패킷 데이터 전송과 cm급 거리 추정을 위하여 60 GHz 전송 기술을 선택적으로 사용할 수 있다.

802.11bd의 PHY 설계의 한 방식은 베이스라인으로 802.11ac PHY를 사용하는 것으로 서브캐리어(sub-carrier) 간격을  $1/2(2 \times \text{down clock})$ 으로 표시)로 하여 64개의 802.11bd 서브캐리어를 10 MHz 채널 내에 채워 넣는 것이다. 적절한 주파수로 OFDM 데이터 심볼간(이 경우 Data\_1과 Data\_2 사이)에 도입되는 그림 2의 미드앰블은 모든 데이터 심볼에 대해 정확한 채널 추정치를 얻을 수 있도록 채널 추정에 도움이 된다.

DCM(dual carrier modulation)은 802.11ax에서 도입된 기술이다. DCM은 주파수 다이버시티가 수행되도록 충분히 멀리 떨어져 있는 서브캐리어를 통해 동일한 심볼을 두 번 전송하는 것을 포함한다. 각 심볼 전송이 두 개의 서로 다른 서브 캐리어를 통해 반복되기 때문에 스루풋을 유지하려면 변조 차수(order)를 두 배로 해야 한다(예: BPSK에서 QPSK로 또는 QPSK에서 16QAM으로). 변조 차수는 증가하지만, DCM은 BLER(block-error-rate) 성능을 개선할 뿐만 아니라, 레인지(range)를 개선할 수 있다.

802.11bd 링크 성능은 재전송을 사용하여 3~8 dB (BLER 10<sup>-1</sup>에서) 이득을 보이며, 802.11p 장치의 경우는 사용된 재전송 횟수에 따라 0.5~1.7 dB(BLER 10<sup>-1</sup>에서)

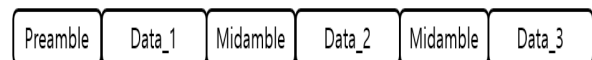


그림 2. 채널추정을 위한 미드앰블

Fig. 2. Midamble for channel estimation.

표 2. 802.11p와 802.11bd의 특성 비교

Table 2. Features comparison of 802.11p and 802.11bd.

Feature	802.11p	802.11bd
Radio bands of operation	5.9 GHz	5.9 GHz & 60 GHz
Cannel coding	BCC	LDPC
Re-transmissions	None	Congestion dependent
Countermeasures against Doppler shift	None	Midambles
Sub-carrier spacing	156.25 kHz	312.5 kHz, 156.25 kHz, 78.125 kHz
Supported relative speeds	252 kmph	500 kmph
Spatial streams	One	Multiple

로 감소한다. 반면에 패리티 기반 상호 운용성 메커니즘을 사용한 경우는 802.11bd는 1~3 dB(BLER 10<sup>-1</sup>에서) 이득을 보인다. 그러나 802.11bd 장치의 안정성이 향상되면 패리티 기반 메커니즘이 더 낮은 에어 타임(air-time) 이용으로 인해 더 효율적이다. DCM 메커니즘은 802.11ax에서 MCS(modulation and coding scheme)에 따라 0.6~4 dB 이득을 보인다. 스루풋 측면에서 데이터 심볼 사이에 미드앰블을 삽입하면 고차 MCS를 사용할 수 있는데, 이는 고속도로 NLOS(non-line-of-sight) 시나리오에서 20 MHz 채널로 미드앰블과 LDPC 코딩을 사용하여 스루풋이 2배 개선된다. 표 2에 802.11p와 802.11bd간의 주요 특성을 비교하였다<sup>[4]</sup>.

### 3-1-2 MAC 계층

MAC에서는 802.11bd 및 802.11p 장치에 공정한 채널 액세스 보장을 위해 802.11bd는 다양한 EDCA(enhanced distributed channel access) 환경에서 802.11p의 경합(contention) 매개 변수를 재사용한다. 또한, 높은 스루풋을 지원하기 위해 802.11bd는 802.11 n/ac와 유사한 20 MHz 채널 액세스 메커니즘을 고려하고 있다. 802.11bd 송신기가 20 MHz 채널에서 운영되도록 구성된 경우, 2개의 10 MHz 채널(20 MHz 채널 구성) 중 하나가 주 채널(primary channel)로 처리된다(802.11bd에서는 경합 채널이라고 함).

### 3-1-3 프로토콜

DSRC 프로토콜 구조는 그림 3과 같다. 802.11p에서 채택된 PHY 및 MAC 계층과 상위계층인 IEEE 1,609.2(보안 서비스), 1,609.3(네트워크 서비스) 및 1,609.4(채널 스위칭) 서비스를 처리하는 프로토콜로 구성되어 있다. 네트워크 계층에서는 WSMP(WAVE short message protocol)가 사용되지만, 그림 3에 보인 것처럼 응용프로그램에 따라 IPv6, TCP 및 UDP와 같은 프로토콜도 사용할 수 있다. 한편, WAVE 프로토콜 구조는 IEEE P1609.1(응용 계층), P1609.2(보안 계층), P1609.3(네트워크 계층), P1609.4(상위 MAC 계층), 802.11p(하위 MAC 및 물리계층)를 포함하고 있다. SAE J2735 표준은 DSRC/WAVE, 기타 통신 프로토콜과 데이터 교환을 위해 사용되는 메시지 세트, 데이터 프레임, 데이터 엘리먼트(element)를 정의한다<sup>[10]</sup>.

### 3-2 NR-V2X

5G 핵심기술로는 초고속 광대역 기술(eMBB, enhanced mobile broadband), 고신뢰 및 초저지연 기술(URLCC, ultra-reliable and low latency communication), 초연결 기술(mMTC, massive machine type communication)이다. 5G V2X 응용 서비스에는 ITS 서비스와 자율주행 서비스를

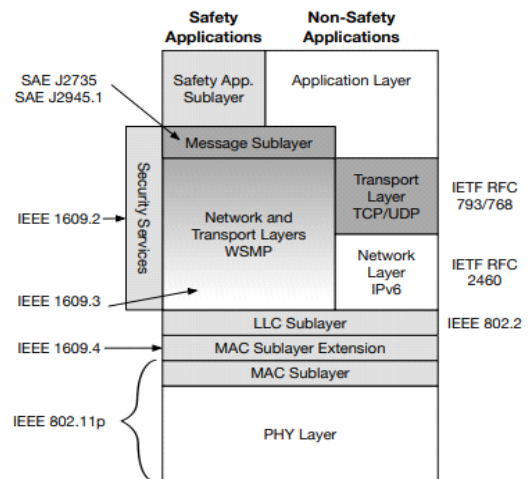


Figure 2. DSRC architecture.

그림 3. DSRC 프로토콜 구조

Fig. 3. DSRC protocol architecture.

포함하고 있으며, 대표적인 응용 서비스에는 차량군집 주행, 차량 센서와 맵 정보 공유, 원격 제어 등 27가지의 서비스를 제시하고 있다<sup>[3]</sup>.

NR-V2X 확장 가능 기술에 대한 지원은 3GPP Rel.15에 도입된 주요 기능을 따르고 있다. LTE에서 사용되는 고정 서브 캐리어 간격과 달리 NR은 다양한 서브 캐리어 간격을 지원한다. 15, 30 및 60 kHz의 서브 캐리어 간격은 6 GHz 이하의 NR-V2X(즉, frequency range 1; FR1)을 지원하는 반면, 60 및 120 kHz는 6 GHz 이상(즉, FR2)을 지원한다. 더 높은 서브 캐리어 간격을 사용하면 지연시간을 줄일 수 있다.

유니캐스트(unicast) 및 그룹캐스트(groupcast) 통신의 경우, 초기 전송 동안 UE에서 수신에 실패할 경우, 만일 소스 UE가 패킷을 재전송할 수 있다면 신뢰성이 향상될 수 있다. 두 가지 기술 향상, 즉 피드백 기반 재전송 및 채널 상태 정보 획득이 가능하도록 NR-V2X는 새로운 피드백 채널 PSFCH(physical sidelink feedback channel)를 도입하게 된다. PSFCH에 사용할 리소스(resource) 선택은 아직 연구 중이지만, 리소스 선택과 관련된 복잡성을 줄이기 위해 3GPP의 연구에서는 송신 UE가 PSFCH에서의 전송에 사용할 리소스에 대해 수신 UE에 알려야 한다고 권장하고 있다.

NR-V2X를 구성할 메커니즘의 개발이 진행 중이지만, C-V2X에서 사용되는 15 kHz 간격에서 60 kHz 서브캐리어 간격을 사용하여 큰 성능 이득을 얻는다. 또한, 확장 가능한 NR 기술을 사용하여 가능해진 더 큰 서브캐리어 간격을 활용함으로써 NR-V2X는 C-V2X 성능을 상당히 능가할 수 있다. NR-V2X의 우수한 링크 성능으로부터 고속도로 시나리오에서 60 kHz 서브캐리어 간격을 사용하면, 20 MHz 채널에서 PDR(packet delivery rate)은 모든 통신 유형(즉, 유니캐스트, 그룹캐스트 및 브로드캐스트) 및 메시지 유형(즉, 주기 및 비주기)에 대해 99.7~99.8 %이다. 이는 고속도로 시나리오에서 NR-V2X가 표 2의 성능 기준을 거의 충족하고 있다. 그러나 일반적으로 차량의 밀도가 높고 경로 손실이 큰 도시 시나리오에서 NR-V2X의 성능은 93~97 % 범위에 있어 도시 환경에서 안정적인 통신을 위해서는 개선이 필요하다. 표 3에 C-V2X와 NR-V2X의 주요 특성을 비교하였다<sup>[4]</sup>.

표. 3. C-V2X와 NR-V2X의 특성 비교

Table 3. Features comparison of C-V2X and NR-V2X.

Feature	C-V2X	NR-V2X
Comm. types	Broadcast	Broadcast, groupcast, unicast
MCS	Rel. 14: QPSK 16-QAM Rel. 15: 64-QAM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Waveform	SC-FDMA	OFDM
Re-transmissions	Blind	HARQ
Feedback channel	Not available	PSFCH
Control & data multiplexing	FDM	TDM
DMRS	Four/sub-frame	Flexible
Sub-carrier spacing	15 kHz	Sub-6 GHz: 15, 30, 60 kHz mmWave: 60, 120 kHz
Scheduling interval	One sub-frame	Slot, mini-slot or multi-slot

#### IV. V2X 주파수 분배 현황

##### 4-1 ITS

그림 4에 국가별 ITS 주파수 대역을 나타낸다. 북아메리카에서는 902~928 MHz 및 5.850~5.925 GHz 대역으로 구분하고 있다. 이 주파수 대역은 다양한 분야의 ITS 응용, 트래픽 저감 관리, 트래픽 모니터링, 보행자 경고, 자동 요금 징수, 트래픽 혼잡 감지 및 기타 분야를 위해 할당되었다. 802.11p 표준은 차량 환경에서 무선 액세스

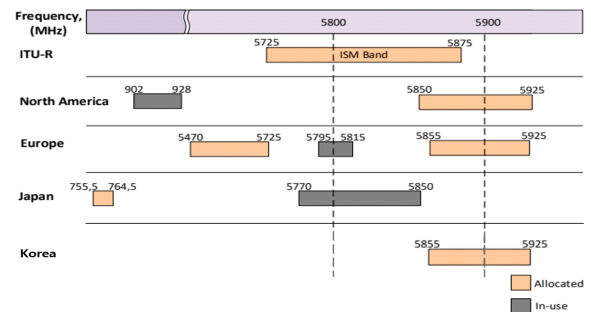


그림 4. ITS 주파수 대역

Fig. 4. ITS frequency bands.

를 위한 IEEE 1609 관련 표준에 기반하고 있으며, 5.850~5.925 GHz 주파수 대역에서 75 MHz 폭을 할당하여 각각 10 MHz의 7개 채널로 하나는 제어 채널, 나머지 6개 채널은 서비스 채널로 사용하고 있다. ASTM(American Society for Testing and Material)은 물리계층을 규정하여 북아메리카 902~928 MHz 대역의 E2158-01 표준을 개발하여 전자 요금 징수, 상용 및 비상용 차량 응용을 위해 사용하고 있지만, IEEE802.11p 표준과 호환되지 않는다.

유럽의 ITS 주파수 대역은 5.470~5.725 GHz, 5.795~5.815 GHz, 5.855~5.925 GHz 3개의 대역을 할당하고 있다. 물리계층과 MAC 계층은 각각 첫 번째 및 세 번째 대역을 사용한다. 이들 대역은 더욱 세분되어, 5.470~5.725 GHz 대역은 ITS-G5C로 RLAN(radio local area network) 등 무선 로컬망으로 사용된다. 5.855~5.875 GHz 대역은 ITS-G5B로 ITS 안전 이외의(non-safety) 응용에 지정되었으며, 5.875~5.905 GHz 대역은 ITS-G5A로 ITS 안전(safety) 응용으로 지정되었고, 5.905~5.925 GHz 대역은 ITS-G5D로 미래 ITS 표준 확장을 위해 남겨 두었다. 802.11p 표준과 유사하게 5.855~5.925 GHz 대역은 7개의 고정 10 MHz 채널로 나누어져 하나는 제어 채널에 나머지 6개 채널은 서비스 채널로 이용한다. 한편, 전체 255 MHz 대역폭의 ITC-G5C는 Wi-Fi에서 사용하는 RLAN 대역과 주파수를 공동사용하고 있으며, 10 MHz 또는 20 MHz 채널이 가능하다.

한편, 5.795~5.815 GHz 대역의 물리계층은 CEN(European Committee for Standardization) EN12253]에 규정되어 있다. 이 표준은 OBU(on board unit) 및 RSU(road side unit) 물리계층 파라미터를 정의하고 있으며, 다운링크(RSU → OBU)와 업링크(OBU → RSU)로 두 가지 형태의 통신을 구분하고 있다. 표준에 따르면 이 주파수 대역은 각각 5 MHz 폭의 4개 채널로 나누며, 각 다운링크는 5.7975 GHz, 5.8025 GHz, 5.8075 GHz, 5.815 GHz로 할당되어 있다. 한편, 두 개의 서브캐리어(sub-carrier)는 업링크에서 캐리어 주파수로부터 1.5 MHz 또는 2 MHz 만큼 오프셋(offset)되어 사용할 수 있다. 표준 규정에 따르면 이 주파수 대역은 도로 운송 및 트래픽 텔레메틱스 시스템에 사용한다.

일본 ITS는 5.770~5.850 GHz 및 755.5~764.5 MHz의

2개의 대역이 할당되었으며, ARIB(Association of Radio Industries and Businesses) 표준에 규정되어 있다. 5.770~5.850 GHz 대역은 14개의 5 MHz 채널로 이루어지고 있는데, 이 중 7개 채널은 다운링크, 나머지 7개 채널은 업링크에 사용된다. 이 표준은 전자 요금 징수, 보행자 정보 수집, 재난 정보, 여러 엔터테인먼트 이벤트를 위한 무선 통신 인터페이스를 규정하고 있다. 한편, 700 MHz 주파수 대역의 이용은 STD-T109<sup>[11]</sup>에 규정되어 있으며, R2V(roadside-to-vehicle) 통신 및 로드사이드(roadside)간 통신에 사용된다. STD-T109 표준은 중심 주파수 760 MHz와 채널폭이 최대 9 MHz인 755.5~764.5 MHz 대역을 규정하고 있다. DSRC 표준은 고속 데이터 속도(10 MHz)와 1~10 ms 아주 낮은 종단 지연시간을 요구하는 연속 업링크 데이터 전송을 위해 제어 평면(control plane) 및 유저 평면(user plane)의 리소스 이용을 최적화하고 있다.

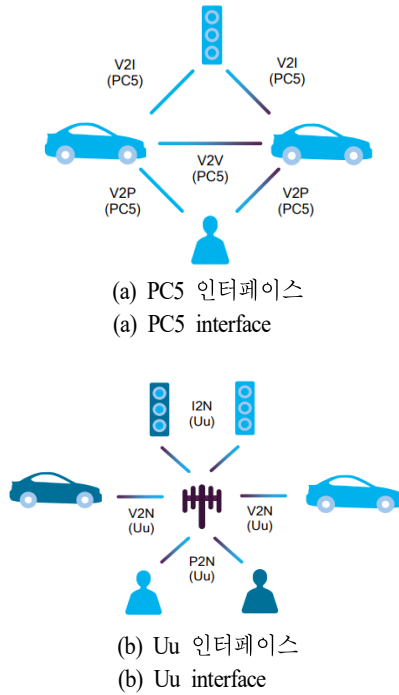
#### 4-2 C-V2X

C-V2X는 LTE-A Pro V2X 서비스, 아키텍처, 무선 액세스망 규정, 4가지 유즈케이스 시나리오(V2V, V2I, V2N, V2P)는 3GPP Service (stage 1), LTE-A Pro 무선기술 규정, Rel.14 규격에 정의되어 있다. C-V2X 통신은 PC5를 사용하는 단일 대역, PC5와 Uu 인터페이스 모두를 사용하는 대역간 통신에 근거하고 있다.

그림 5(a)에 나타내는 PC5 인터페이스는 5.9 GHz ITS 대역에서 셀룰러망과 독립적으로 V2V, V2I, V2P를 운영하는 사이드링크이며, 그림 5(b)에 나타내는 Uu 인터페이스는 셀룰러 이동통신 주파수에서 V2N을 운영하는 업/다운링크이다.

최초 C-V2X Rel.14 버전은 Band 47에서 반이중(half duplex) PC5 인터페이스를 지원하고 있으며, 이는 북아메리카 DSRC(5.850~5.925GHz) 대역과 일치하지만, 차후 Uu 인터페이스를 지원하도록 추가되었다.

3GPP Rel. 15에서 TS 36.101 규정은 PC5 인터페이스는 Band 47로 유지하는 반면, Uu 인터페이스를 위해 10개의 대역을 구분하고 있다. Uu 통신은 CA(Carrier Aggregation)를 지원하지는 않고, 20 MHz 대역폭(대부분 10 MHz 사용)으로 제한되었으며, PC5 인터페이스는 10 MHz와 20 MHz 대역폭 옵션으로 총 30 MHz를 초과하지 않는 대역폭을

그림 5. C-V2X 통신모드<sup>[12]</sup>Fig. 5. C-V2X communication modes<sup>[12]</sup>.

갖는 3개의 인트라 밴드(intra-band) 캐리어로 구성된다. LTE 기반 C-V2X 통신을 위한 주파수는 표 4에 나타낸다.

#### 4-3 미국 FCC 제안

사실상 사용되지 않는 5.9 GHz 대역은 미국의 모든 가정, 직장, 기업, 학교 및 공공장소에 기가비트의 저렴한 무선 연결을 제공할 수 있도록 연속 채널로 구성할 수 있는 Wi-Fi 주파수 대역이라 할 수 있다. 현재 DSRC 대역은 7×10 MHz와 5 MHz의 보호대역으로 구성되어 자율주행에 사용되고 있다. 한편, FCC는 DSRC 대역을 그림 6과 같이 변경 제안하고 있다<sup>[13]</sup>.

- 비면허 Wi-Fi에 45 MHz 할당
- 차량용 및 운송용으로 30 MHz
- C-V2X의 경우 20 MHz
- C-V2X 또는 DSRC의 경우 10 MHz

그림 6처럼 Wi-Fi 사용을 위해 45 MHz를 할당하면 U-NII-3(ISM) 대역의 탐지 및 회피 요구사항에 해당되지

표 4. FCC의 DSRC 대역 제안

Table. 4. FCC's proposal for DSRC.

C-V2X operating band	Uplink MHz	Downlink MHz	Interface	Maximum bandwidth MHz
47	5,855~5,925		PC5	301
3	1,710~1,785	1,805~1,880	Uu	20
5	824~849	869~894	Uu	20
7	2,500~2,570	2,620~2,690	Uu	20
8	880~915	925~960	Uu	10
20	832~862	791~821	Uu	20
28	703~748	758~803	Uu	20
34	2,010~2,025		Uu	15
39	1,880~1,920		Uu	20
41	2,496~2,690		Uu	20
71	663~689	617~652	Uu	20

1 (Using carrier aggregation format 10 + 20 MHz or 10 + 10 + 10 MHz.

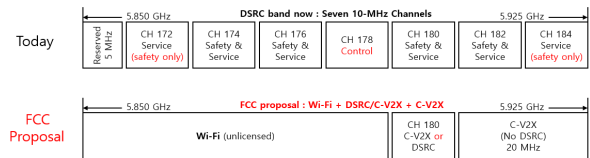


그림 6. FCC의 DSRC 대역 제안

Fig. 6. FCC's proposal for DSRC.

않은 유일한 Wi-Fi 채널이 생성될 수 있다. 그러나 이와 같이 DSRC 대역의 새로운 제안은 20~30 MHz 대역폭만으로 자율주행에 활용해야 하므로 75 MHz 대역폭 할당에서 45 MHz의 주파수 부족이 발생하여 도로 안전에 위협이 될 수 있다.

#### V. 국내 V2X 도입 방안

다양한 V2V 시나리오에서 V2X 기술의 성능을 신뢰성 측면에서 비교하면, NR-V2X는 802.11bd에 비해 성능이 우수하다. 한편, 802.11bd는 도플러 시프트에 의해 심각한 영향을 받지만, 미드앰블을 사용하면 미드앰블 주기성이 채널 코히어런스 시간보다 훨씬 낮을 때, 높은 도플러 시



프트에서 802.11bd의 성능을 크게 향상시키는 것으로 알려져 있다. 또한, 미드앰블, 확장 레인지 프리앰블 및 DCM이 802.11bd의 신뢰성을 향상시키는 것으로 알려져 있지만, 여전히 NR-V2X를 능가할 수는 없다. 그 이유는 NR-V2X 방식은 높은 밀도의 DMRS, 낮은 코드 레이트 및 DFT-s-OFDM을 이용한 더 나은 채널 추정이 가능하기 때문이다.

한편, ITU에서는 V2X 통신용으로 5.855~5.925 GHz 주파수 대역으로 사용할 것을 권고하고 있다. 이 주파수 대역을 이용하여 국제적으로 C-ITS 시범 사업이 추진되어 왔지만, IEEE 802.11p/bd 기술과 C-V2X 기술 진영 간의 논쟁으로 사업이 연기되거나 표류하고 있다. EU의 경우, 5.855~5.925 GHz 대역에서 V2X 통신 기술로 ITS G5 기술표준을 채택하려고 했으나, LTE V2X를 지지하는 5GAA 진영의 반발로 ITS G5 기술의 채택이 무산되었으며, 그로 인하여 C-ITS 사업이 표류하고 있다. 또한, 미국 FCC는 5.9 GHz 대역 75 MHz 대역폭 중 45 MHz는 무선 랜과 공유하고 20 MHz는 C-V2X 용, 그리고 10 MHz는 DSRC 용도로 제안하고 있다.

현재 유럽을 비롯한 대부분 국가에서 V2X 두 가지 기술, IEEE 802.11p와 C-V2X에 대한 채택에 고심을 하고 있으며, 국내에서도 부처 간의 자율주행 기술도입에 이견이 있는 실정이다. 이러한 국내외적 상황을 보면 V2X 발전 추이와 성능면에서 5G 기반의 NR-V2X 기술이 주도적으로 자율주행 기술을 리드해 나가고 있다고 판단된다. 하지만, IEEE 802.11bd 기술이 발전하면서 국내에서는 IEEE 802.11bd와 NR-V2X 기술 수준과 우수성에 대한 검토와 함께 두 기술 모두 사용할 수 있는 하이브리드 V2X 기술 구조를 도입해 나가야 한다. 즉, V2X의 서로 다른 기술을 수용할 수 있도록 차량과 인프라에서의 통신 플랫폼을 마련하고 정보를 교환할 수 있는 표준을 마련하는 것이 필요하다. 현재 PC5 인터페이스는 셀룰러망과 독립적으로 V2V, V2I, V2P를 운영하는 사이드링크로 Uu 인터페이스는 셀룰러 이동통신 주파수에서 V2N을 운영하는 업/다운링크로 운영할 예정이지만, 네트워크가 서로 보완 및 백업구조의 형태로 이중화 통신망을 구축해야 한다.

최근 국내외적으로 C-V2X 자율주행 서비스 실증 사업이 진행되고 있으며, 5G 이동통신의 적용과 59~61 GHz

주파수 대역에서 광대역 전송 기술과 레이더 연구가 논의되고 있다. 우리나라에서도 NR-V2X 기술 실증을 진행하고 있으며, 기술개발을 위해 관련 산업체와 협력하여 서울, 대구, 판교의 3개 지역에서 자율주행 서비스와 결합한 실증이 이루어지고 있다. 이러한 V2X 통신기술 개발연구와 함께 ITU 및 IEEE/3GPP 표준화 활동과 국내 표준화가 추진되어야 한다.

한편, 국내 ITS 주파수로 5.855~5.925 GHz 대역을 사용하고 있지만, 미국 FCC와 같이 일부 대역을 Wi-Fi 용으로 주파수 재배치가 이루어진다면, ITS 주파수 부족에 대한 대처로서 주파수 공동사용 연구 및 추가적인 주파수 발굴 연구를 적극적으로 추진할 필요가 있다.

## VI. 결 론

최근 V2X 기술로서 Wi-Fi 기반의 IEEE 802.11p를 이용한 DSRC 방식과 3GPP 표준기반의 LTE/5G를 이용한 C-V2X 방식 중 하나를 결정하기 위한 논의가 국내외적으로 뜨겁다. C-V2X 기술, 서비스, 네트워크 성능, 활용 사례 등의 개발 및 시험 운영 등을 위하여 해외 정책사례를 지켜보고, 국내 정책수립에 참고할 필요가 있다. 또한, 정부와 관련 사업자 간 민관 협력을 통하여 NR-V2X, 자율주행, C-ITS 플랫폼 등의 핵심기술을 바탕으로 다양한 실증실험을 추진할 필요가 있다. 이에 C-V2X 기술이 기존의 C-ITS 및 DSRC 기술을 완전히 대체하는 정책보다는 C-V2X를 5.9 GHz 대역 내 빈 채널로 전환하는 등의 스펙트럼 공동사용 정책과 C-ITS 및 DSRC 상위계층 프로토콜에 적합한 C-V2X를 설계함으로써 세 가지 기술 모두 자율주행차의 안전도 및 협력 주행을 향상시킬 수 있는 하이브리드 기술로 발전할 수 있도록 국내 정책 전환이 필요한 시점이다.

## References

- [1] C. Bettisworth, M. Burt, A. Chachich, R. Harrington, J. Hassol, and A. Kim, et al., "Status of the dedicated short-range communications technology and applications," US Department of Transportation, Washington, DC, FHWA-JPO-15-218, Jul. 2015.



- [2] K. Ganesan, P. B. Mallick, J. Löhr, D. Karampatsis, and A. Kunz, "5G V2X architecture and radio aspects," in *2019 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking(CSCN)*, Granada, Oct. 2019, pp. 1-6.
- [3] H. S. Oh, Y. S. Song, "V2X communication technology standardization trend for ITS and autonomous driving service," 2020. Available: [http://weekly.tta.or.kr/weekly/files/20204113084100\\_weekly.pdf](http://weekly.tta.or.kr/weekly/files/20204113084100_weekly.pdf)
- [4] G. Naik, B. Choudhury, and J. M. Park, "IEEE 802.11bd & 5G NR V2X: Evolution of radio access technologies for V2X communications," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 70169-70184, May 2019.
- [5] 5GAA, "V2X technology benchmark testing," 2018. Available: <https://www.fcc.gov/ecfs/filing/109271050222769>
- [6] Harmonization of Frequency Bands for Intelligent Transport Systems in the Mobile Service, *Recommendation ITU-R M.2121-0*, Jan. 2019.
- [7] Radio Interface Standards of Vehicle-to-Vehicle Vehicle-to-Infrastructure Two Way Communications for Intelligent Transport System Applications, *Recommendation ITU-R M.2084*, Nov. 2019.
- [8] MillimetreWave Vehicular Collision Avoidance Radars and Radiocommunication Systems for Intelligent Transport System, *Recommendation ITU-R M.1452-2*, May 2012.
- [9] Intelligent Transport Systems-Dedicated Short Range Communications at 5.8 GHz, *Recommendation ITU-R M.1453-2*, Jun. 2005.
- [10] F. Arena, G. Pau, and A. Severino, "A review on IEEE 802.11p for intelligent transportation systems," *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 9, no. 2, p. 22, Apr. 2020.
- [11] Association of Radio Industries and Businesses, "700 MHz band intelligent transport systems: ARIB standard," Tokyo, Japan, 2012.
- [12] 5GAA, "Cellular-vehicle-to-everything(C-V2X): Today and next steps," 2020. Available: [https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2020/07/02\\_5GAA\\_Maxime-Flament.pdf](https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2020/07/02_5GAA_Maxime-Flament.pdf)
- [13] K. Moerman, "How re-allocating the 5.9 GHz band could affect road safety: DSRC, C-V2X and implications of the proposed spectrum changes," *NXP*, 2020. Available: <https://www.nxp.com/docs/en/white-paper/V2XFCCWP.pdf>

강 영 홍 [군산대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0001-7436-6265>



1984년 2월: 한국항공대학교 통신공학과 (공학사)

1986년 2월: 한국항공대학교 전자공학과 (공학석사)

1993년 2월: 한국항공대학교 전자공학과 (공학박사)

1990년 4월~현재: 군산대학교 컴퓨터정

보통신공학부 교수

[주 관심분야] 위성통신, 이동통신, 전파공학, 표준화