

5G포럼 교통융합위원회 백서 워크숍

C-V2X 기술 현황 I

5G포럼 교통융합위원회 부위원장 |
LG전자 정재훈 책임연구원



2019.04.03



목 차

- | | |
|-----|-------------------|
| I | C-V2X 기술 개요 |
| II | C-V2X 3GPP 기술 표준화 |
| III | C-V2X 기술 적용 이득 분석 |

I

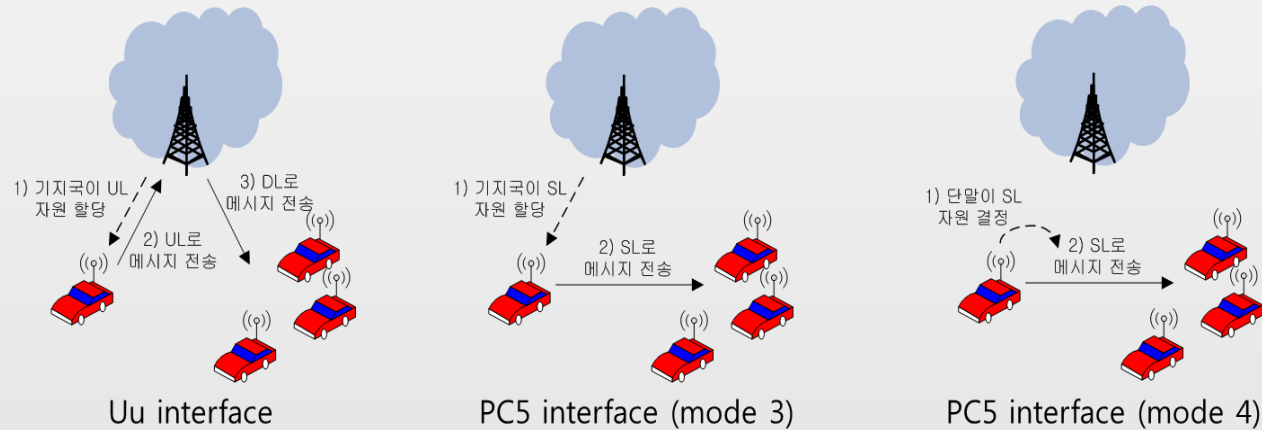
C-V2X 기술 개요

- C-V2X와 WAVE 간 기술 비교 중심

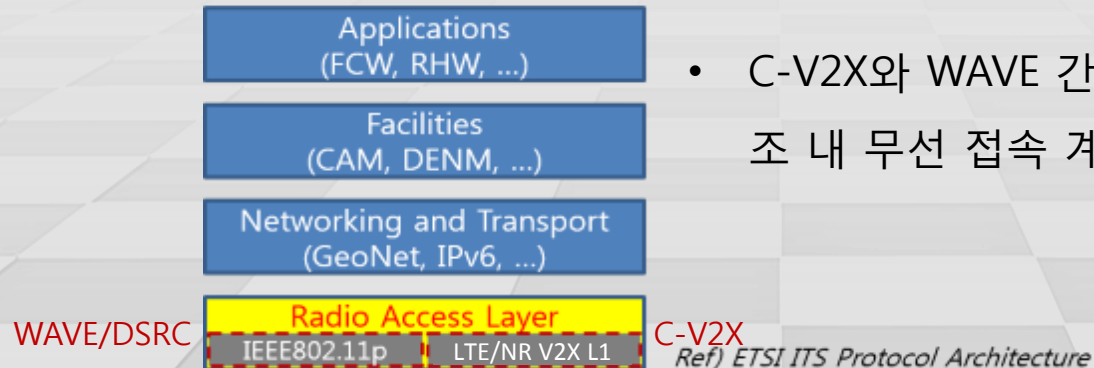
C-V2X 인터페이스 종류 및 플랫폼 구조

C-V2X 인터페이스 종류

- 인터페이스 종류: Uu 인터페이스 (V2I / V2N 활용), PC5 인터페이스 (V2V / V2I / V2P 활용)
- PC5 인터페이스의 전송 모드: Tx mode3 (기지국 제어 지원), Tx mode4 (단말 자율)



플랫폼 구조

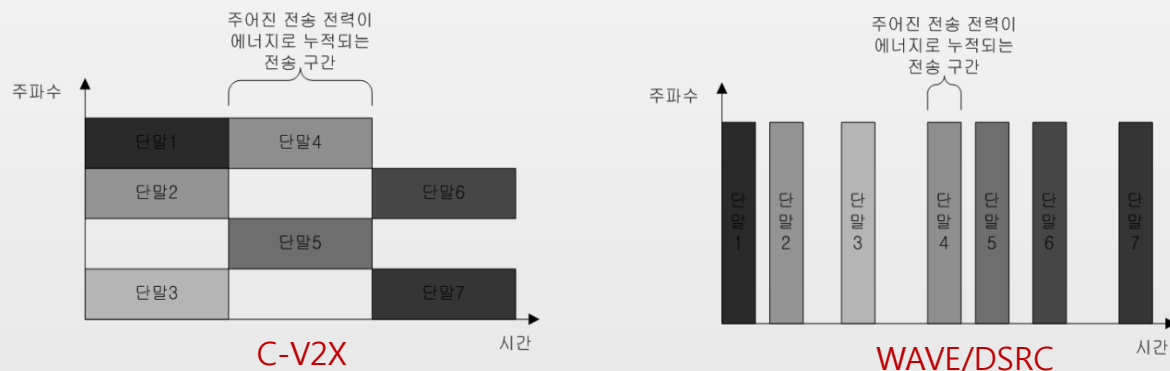


- C-V2X와 WAVE 간 무선 성능의 차이는 전체 플랫폼 구조 내 무선 접속 계층(L1)의 적용 기술 차이에 기인함.

C-V2X 기술 비교 분석: PC5 Tx Mode4 vs. IEEE802.11p (1/3)

다중 단말 전송 자원 할당 방식

- C-V2X는 TDM/FDM 무선 자원 할당 방식 적용으로 고밀도 단말 상황에 대한 자원 효율성 증대로 단위 단말의 전송 사용 에너지 확보 용이

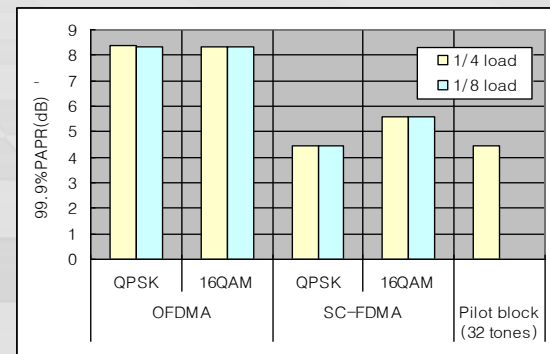
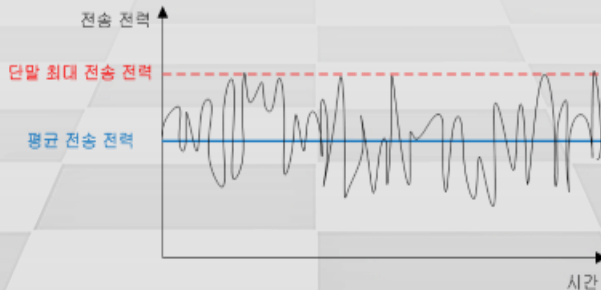
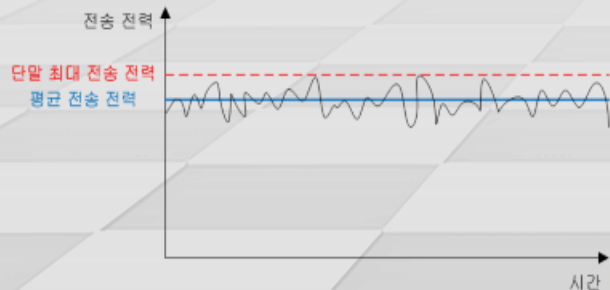


Low PAPR (Peak-to-Average Power Ration) 신호 파형 특성

- C-V2X는 평균 대비 순시적 신호 변화율이 낮은 SC-FDMA 적용으로 보다 높은 평균 전력 할당 (최대 3.8dB 수준)을 통한 전송 커버리지 확장 내지 무선 통신 성능 향상에 유리

[Low PAPR 신호의 실제 운용 전력]

[High PAPR 신호의 실제 운용 전력]



C-V2X 기술 비교 분석: PC5 Tx Mode4 vs. IEEE802.11p (2/3)

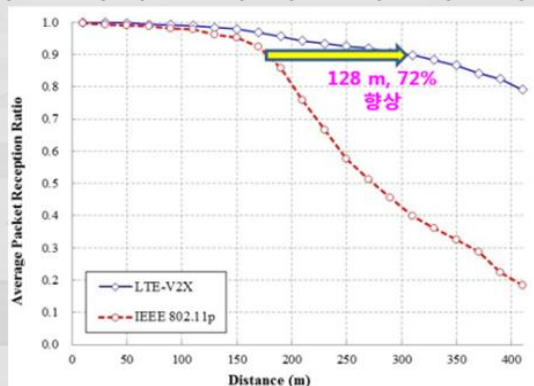
물리계층 규격 적용 기술 및 성능 규격 지원

차이점	802.11p (WAVE/DSRC)	LTE SL Tx mode 4 (C-V2X)
다중 안테나 적용	관련 기술 규격 없음	2개의 수신 안테나 의무화
채널 부호화 방식	Convolutional coding	Turbo coding
단말 성능 규격 지원	독자 성능 규격 부재로 인해 상위 표준 /규제를 통한 정지 상태의 수신 성능 기준 마련 고려 중	다양한 이동환경에서의 단말 수신 성능 요구사항을 규격화 함.

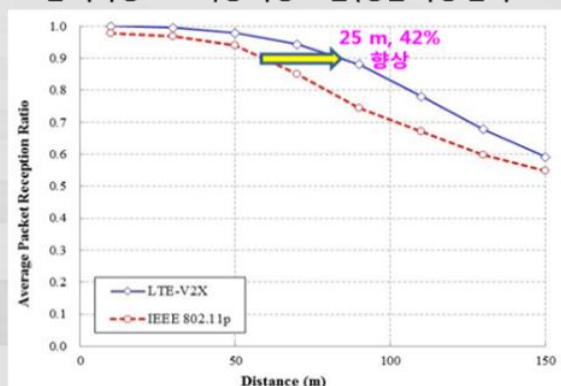
복수 차량 이동 환경에서의 유효 커버리지 성능

- 4G/5G 시스템 설계 적용 다중 단말 대상 V2V 서비스 시스템 레벨 시뮬레이션 수행 결과
 - ✓ 고속도로 왕복 6차선 도로 – 단말 속도 120km/h, 평균 차량 간격 97.2m
 - ✓ 도심 격자형 도로 – 단말 속도 60km/h, 평균 차량 간격 41.6m

고속도로 왕복 6차선 도로 다중 차량 모델 (평균 차량 간격 97.2m)



도심 격자형 도로 다중 차량 모델 (평균 차량 간격 41.6m)



Ref) LG's simulation results for 3GPP, NGMN, and 5GAA

C-V2X 기술 비교 분석: PC5 Tx Mode4 vs. IEEE802.11p (3/3)

C-V2X (PC5 Tx Mode4)와 WAVE (IEEE802.11p) 기술 비교 요약

비교점	802.11p	LTE SL Tx mode 4	분석 결과
자원 할당 방식	시간 분할	시간-주파수 분할	<: 자원 분할 자유도 제공으로 수신 에너지 확보에 용이
신호 파형	OFDM(high PAPR)	SC-FDMA(low PAPR)	<: 높은 전송 전력 확보
다중 안테나 송수신	기술 규격 미지원	2 Rx. 안테나 의무	<: 수신 품질 강화 가능
채널 부호화	Convolutional Coding	Turbo Coding	<: 수신 성능 개선
단말 성능 규격	독자 규격 부재	이동 환경 성능 규격	<: 개발 요구 기준 확보
유효 전송 커버리지	- 다중 차량 환경 시뮬레이션을 통해 데이터 패킷 수신율 90%기준으로 C-V2X가 WAVE 대비 최소 40% 이상의 커버리지 이득 확보함. - 최근 WAVE HW 실증 테스트는 상용 차량 혼잡 상황을 반영하지 못함.		

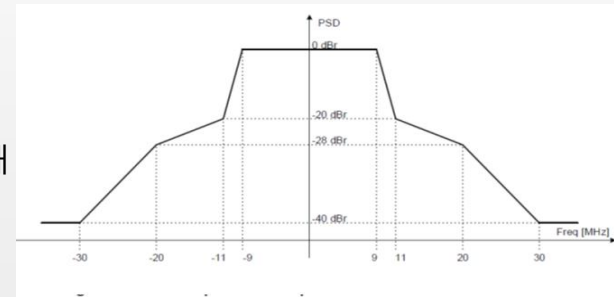
C-V2X의 단계적 기술 진화에 따른 WAVE 대비 통신 성능 비교

항목	WAVE (IEEE 802.11p)	LTE-V2X (Rel.14)	5G-V2X (Rel.15~) (LTE-eV2X, NR-V2X)
Data Rate	최대 27Mbps	최대 100Mbps	최대 20Gbps (eMBB)
Reliability	95~99%	95~99%	99.9~99.999% (URLLC)
Latency	<100ms	<100ms	<10ms (URLLC)
Density	가능	가능	적합(제공km당 10^6대:mMTC)
Mobility	가능(최대 200km/h)	가능(160km/h)	가능(최대 500km/h)
Positioning	부적합(<50m)	부적합(<50m)	가능(<0.1m)
Coverage	가능 (평균 250~300m)	적합 (대략 수 킬로미터)	적합 (대략 수 킬로미터)
V2I & V2N	가능	적합	적합

C-V2X 인접 채널 간섭 영향도 분석

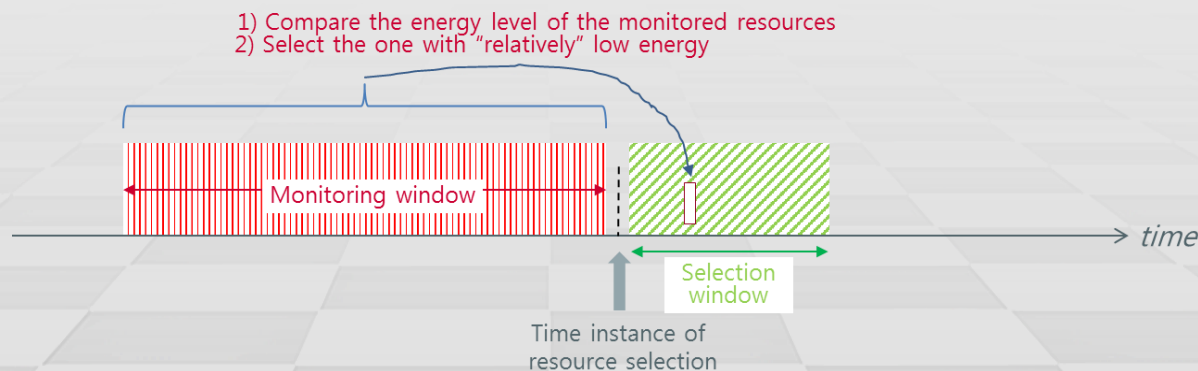
WAVE (IEEE802.11p)

- 인접 채널 간섭 발생으로 인한 통신 단절 현상 발생에 취약
 - ✓ 수신 신호 에너지 절대값 -65dBm 기준 캐리어 센싱 알고리즘 적용
 - ✓ IEEE802.11 규격 내 spectrum mask 적용 시 다른 인접 채널 간섭 유발 요소 내재
 - ✓ 간섭 유발 단말의 근접 위치 시 통신 단절 가능성이 있고 이를 배제하기 위한 구현 알고리즘 적용 시 cost 증가 요인 발생



C-V2X

- 상대적으로 인접 채널 간섭 발생으로 인한 통신 단절 발생 가능성이 낮음
 - ✓ 상대 수신 에너지가 낮은 주파수 자원을 선택하여 적정 무선 전송률 기반으로 자원 설정하고 무선 전송 진행하여 통신 단절 배제



- ✓ 셀룰러 통신 규격 상의 ACLR 및 OOB 관련 명시적 요구사항에 부합하는 디지털 필터와 spectrum mask 적용

II

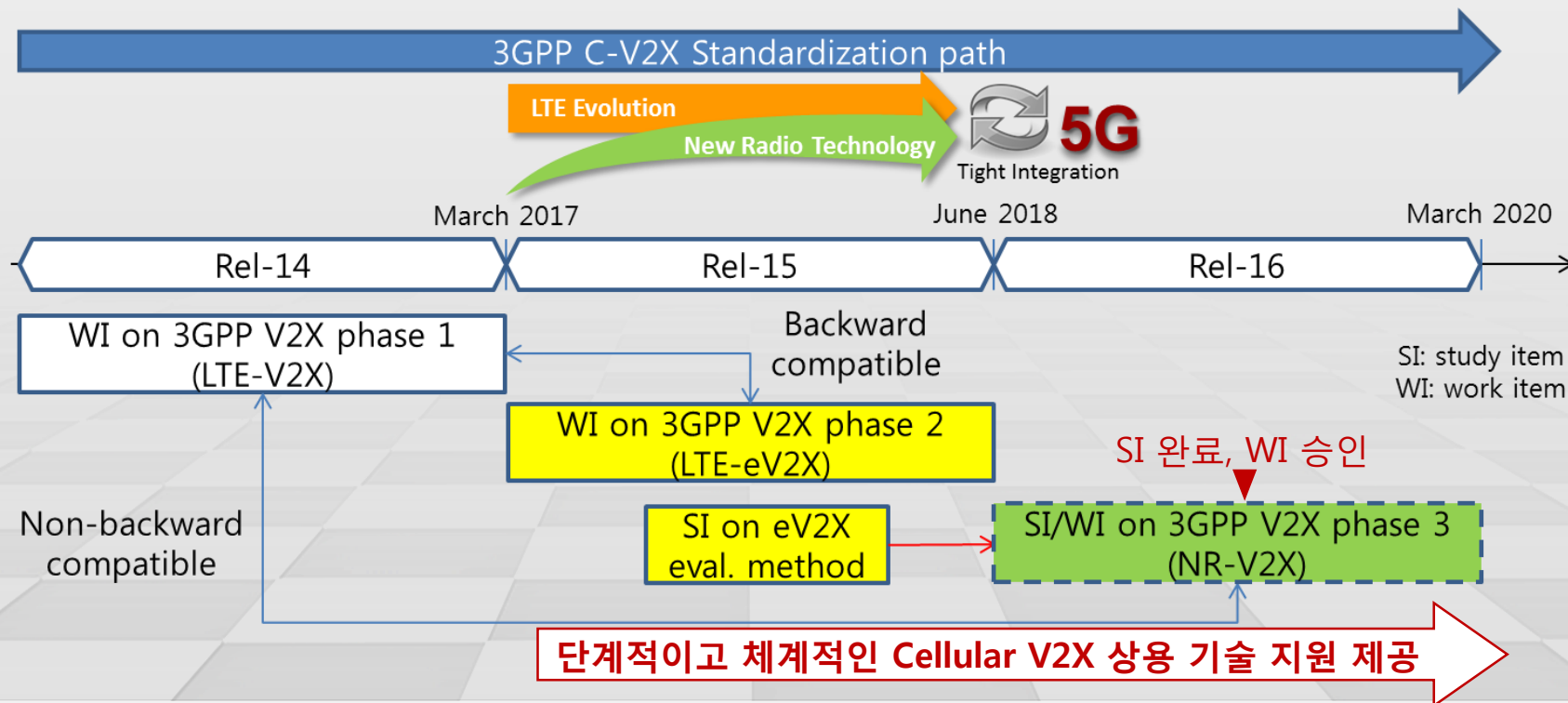
C-V2X 3GPP 기술 표준화

C-V2X관련 3GPP 기술 표준화 진행 현황

C-V2X는 20여년 간 이동통신 산업을 주도한 **3GPP**에서 셀룰러 무선 규격을 기반으로 만든 **차량 통신 규격**

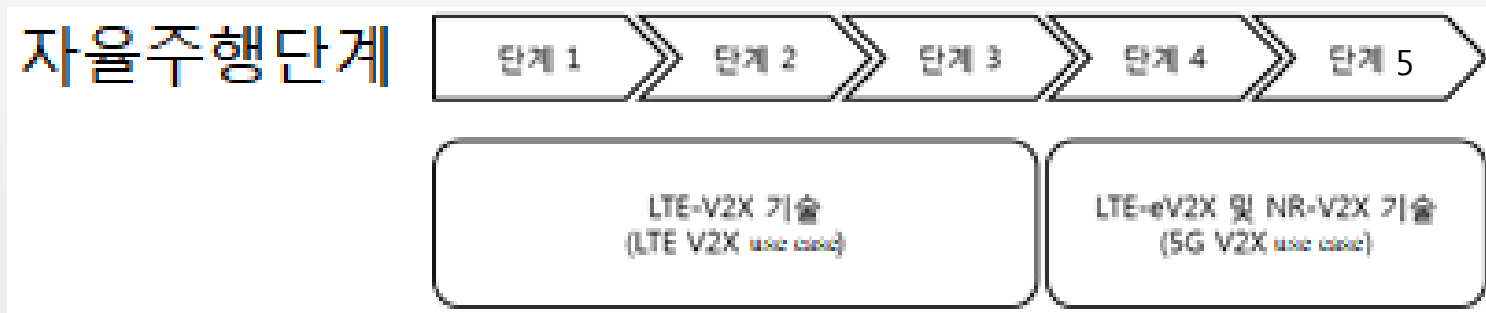
3GPP는 산업계 관심을 반영하여 지속적인 **단계적 진화 기술 표준화 진행** 중이며, 현재 2017년 3월에 규격화 완료한 **LTE 기반 C-V2X 기술**에 대한 상용 개발 추진

- Phase 1 LTE-V2X (Rel-14): 교통 안전 중심의 V2X 서비스를 지원하는 **LTE 기반 기술 규격**
- Phase 2 LTE-eV2X (Rel-15): 증진된 차량 통신 서비스 지원 목적의 **LTE-V2X의 진화 기술 규격**
- Phase 3 NR-V2X (Rel-16): 신규 5G NR 무선 기술 기반의 **기존 Phase 1/2과 구분되는 신규 기술 규격**



C-V2X 기술 진화 및 적용 서비스/응용 관계성

3GPP C-V2X 진화 기술들과 자율주행 발전 단계 간 관계



전송지연 및 전송대역 요구조건 기준 3GPP C-V2X 진화 기술들과 주요 서비스 관계

LTE-V2X	LTE-eV2X	NR-V2X
LTE V2X 서비스 지원 3GPP Release 14 (2017년 3월 완료)	5G V2X 서비스 지원 (LTE-V2X 서비스 지원 포함) 3GPP Release 15 (2018년 6월 완료)	
전송 자원 선정: 기지국 스케줄링 (mode 3) 또는 단말 스스로 선택 (mode 4)	전송 자원 선정 방법은 LTE-V2X와 동일	3GPP Release 16 (2019년 12월 완료 예정)
지연시간 (latency)에 따라 서비스 차별화	지연시간 및 Reliability에 따라 서비스 차별화	2018년 8월부터 기술 논의 시작 NR-V2X 기술은 LTE-eV2X 보다 강화된 서비스 성능 요구사항을 지원할 수 있어야 함
단일 Carrier	Carrier Aggregation 지원 (최대 8개 carrier)	
20 msec 지연 시간 (Over-the-Air 무선 지연)	10 msec 지연 시간 (Over-the-Air 무선 지연)	
데이터 전송률	LTE-V2X 보다 높은 데이터 전송율 지원 (단말의 carrier aggregation 능력에 따라 다름)	
Backward Compatibility	LTE-V2X 단말과 공존	LTE-V2X 및 LTE-eV2X 단말과 공존

C-V2X의 3GPP 표준 기술 단계별 서비스 성능 요구사항 및 기술 차이점

3GPP C-V2X 서비스 별 기술 성능 요구사항

요구사항	LTE-V2X	5G-V2X (LTE-eV2X & NR-V2X)
최대 지연 시간	100 msec 20 msec (특정 이벤트) 1000 msec (3GPP망 공유시)	3~100 msec
Reliability+	80~95%	90~99.999%
메시지 크기	50~300 Bytes (주기성) 1200 Bytes (이벤트성)	300~12000 Bytes
최대 차량 속도	250 Km/h (절대 속도) 500 Km/h (상대 속도)	250 Km/h (절대 속도) 500 Km/h (상대 속도)
최소 유효 서비스 범위++	20~320 미터	50~1000 미터

+ Reliability는 정해진 시간 (= 최대지연시간)에 유효 서비스 범위에서 X bytes 크기의 메시지 데이터 패킷이 성공적으로 수신될 확률

++ 최소 유효 서비스 범위는 차량 속도와 반응 시간 및 차량 수 밀도에 비례하여 결정됨.

C-V2X의 3GPP 표준 단계 별 기술 차이점

LTE-V2X	LTE-eV2X	NR-V2X
LTE V2X 서비스 지원	5G V2X 서비스 지원 (LTE-V2X 서비스 지원 포함)	
3GPP Release 14 (2017년 3월 완료)	3GPP Release 15 (2018년 6월 완료)	3GPP Release 16 (2019년 12월 완료 예정)
전송 자원 선정: 기지국 스케줄링 (mode 3) 또는 단말 스스로 선택 (mode 4)	전송 자원 선정 방법은 LTE-V2X와 동일	2018년 8월부터 기술 논의 시작 NR-V2X 기술은 LTE-eV2X 보다 강화된 서비스 성능 요구사항을 지원할 수 있어야 함
지연시간 (latency)에 따라 서비스 차별화	지연시간 및 Reliability에 따라 서비스 차별화	
단일 Carrier	Carrier Aggregation 지원 (최대 8개 carrier)	
20 msec 지연 시간 (Over-the-Air 무선 지연)	10 msec 지연 시간 (Over-the-Air 무선 지연)	
100bps 데이터 전송률	LTE-V2X 보다 높은 데이터 전송율 지원 (단말의 carrier aggregation 능력에 따라 다름)	
-	LTE-V2X 단말과 공존	LTE-V2X 및 LTE-eV2X 단말과 공존

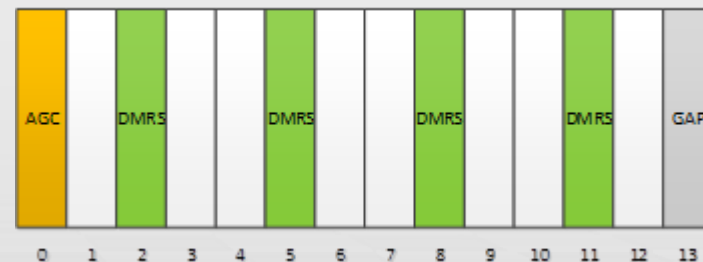
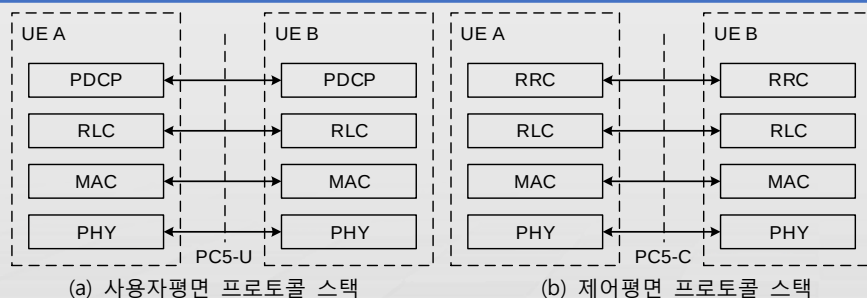
3GPP C-V2X Phase 1: LTE-V2X

단말-기지국 (Uu) 인터페이스 간 통신 기능 지원

- 상향링크 SPS(Semi Persistence Scheduling) 세션(논리 채널) 동시 설정을 8개까지 지원
- eMBMS 및 SC-PTM에서 V2X 지원을 위한 짧은 주기 스케줄링 기능 추가
- V2X 서비스 용도 (50ms 지연, 99% 전송 신뢰도)에 적합한 QCI 정의

QCI	Resource Type	Priority Level	Packet Delay Budget	Packet Error Loss Rate	Example Services
3	GBR	3	50 ms	10-3	Real Time Gaming, V2X messages (unicast)
75	GBR	2.5	50 ms	10-2	V2X messages (broadcast)
79	Non-GBR	6.5	50 ms	10-2	V2X messages (unicast)

단말간 직접통신을 비롯한 PC5 인터페이스 통신 기능 지원

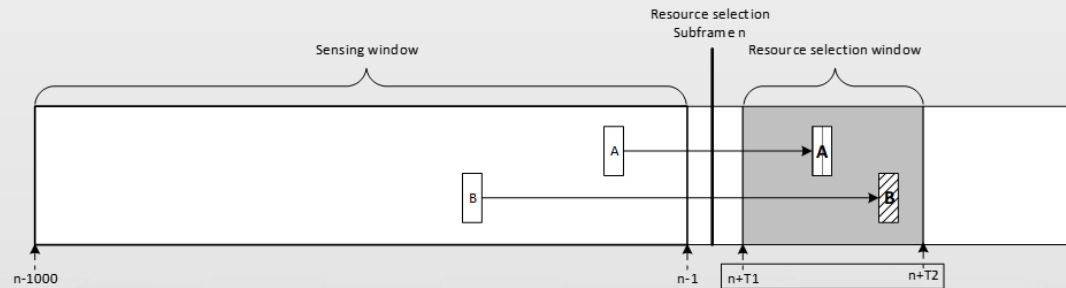


- 고속 이동성 지원 변복조 참조신호(DMRS) 패턴 설계
- Sidelink SPS 스케줄링 기반 Tx mode 3 자원 설정 기법 설계: 최대 8개의 sidelink SPS 세션
- 단말 자율 자원 pool 센싱 내지 랜덤 선택 기반 Tx mode 4 설계: 자원 충돌 방지 기법 중점
- 패킷우선전송 지원(PPPP기반) 및 채널 혼잡 제어 기법 (CBR기반)
- 상황 선택적인 GNSS, 기지국, 타 단말을 통한 동기 획득 절차
- 타 사업자 기지국, 단말로부터의 V2X 서비스 수신 기능

3GPP C-V2X Phase 2: LTE-eV2X

단말간 직접통신 기능 강화

- 최대 8개의 sidelink carrier aggregation 지원: 단말 능력과 캐리어별 PPPP 및 CBR에 기반한 캐리어 선택 기법
- Sidelink 64QAM 전송 지원
- Sidelink reliability 향상을 위한 PDCP 레벨 packet duplication 전송 기법
- Tx mode 3와 Tx mode 4간 전송 자원 pool의 부분 공유 및 전체 공유 지원
- LTE-V2X(Tx mode4)와 LTE-eV2X(Tx mode 3&4) 간 전송 자원 pool 공유 지원
- Tx mode4의 센싱 기반 자원 선택 소요 시간 감소를 위한 PPPP 기반 자원 선택 윈도우 T2 값 가변화 지원



- LTE-V2X 단말과 LTE-eV2X 단말의 공존을 지원하기 위한 LTE-eV2X 단말의 application에 따른 Tx profile 옵션 적용

Index	TX 프로파일
1	TX 프로파일 1 (Release 14과 호환가능; Release 14 MCS 테이블 적용)
2	TX 프로파일 2 (Release 14과 호환 불가; Release 15 MCS 테이블 및 레이트 매칭 적용)

3GPP C-V2X Phase 3: NR-V2X

RAN#83b('19.3) 승인 WID 주요 workscope (RP-190766: New WID on 5G V2X with NR sidelink)

- NR sidelink design: support of unicast/groupcast/broadcast and also considering in-network/out-of-network/partial network coverage
 - ✓ Support of sidelink signals, channels, BWP, and resource pools
 - ✓ Resource allocation modes: Mode1(scheduling기반), Mode2IW(센싱 및 자원 선택 기반) – Mode 1/2 동시 구성 및 UE relaying 지원 포함
 - ✓ Sidelink synchronization mechanism
 - ✓ Solutions for 'non co-channel' in-device coexistence btw. LTE and NR sidelink – TDM or FDM based
 - ✓ Sidelink physical layer procedures: HARQ, CSI acquisition for unicast, power control
 - ✓ Congestion control
 - ✓ Sidelink L2/L3 protocols and signaling: RRC, MAC, RLC, PDCP, and SDAP, AS level link management for unicast
 - ✓ Network solutions to support NR sidelink
 - ✓ UE Tx and Rx RF requirement
 - ✓ RRM core requirement
- Specify support for NR Uu to provide control for LTE sidelink
 - ✓ Sidelink mode4
 - ✓ Sidelink mode3-link RRC-configured SPS scheduling with either RRC-based or DCI-based activation/deactivation
- Specify UE report to assist gNB scheduling
- Specify support for QoS management

III

C-V2X 기술 적용 이득 분석

C-V2X의 제공 이득: 교통사고 사상률 감소

C-V2X의 무선 전송 성능 우위를 바탕으로 WAVE/DSRC(802.11p) 대비 차량 사고에 대한 사상률 저하 차원에서 심대한 이득을 제공하는 것으로 분석

EU 도로상황과 사고 통계를 기반으로 Cellular V2X와 사고 사상률 분석 결과

- Reference: "An assessment of LTE-V2X (PC5) and 802.11p direct communications technologies for improved road safety in the EU", 5G Automotive Association, Dec. 5th 2017.
- 도로 상황에 따른 차량 간 경고 메시지 전달 성공률

	Likelihood of successful delivery of warning messages between two vehicles					
	At a junction			Not at a junction		
	Urban	Rural	Motorway	Urban	Rural	Motorway
LTE-V2X (PC5)	96%	83%	N/A	96%	99%	94%
802.11p	78%	66%	N/A	81%	98%	86%

전송 성능 결과의 EU 차량 사고 통계치 적용 분석

- 차량 사고에 대한 차량 통신 기술 적용에 따른 사상자 발생 예방 수치

Time-frame: 2018-2040	Avoided fatalities		Avoided serious injuries	
	High	Low	High	Low
LTE-V2X (PC5)	59,000	29,000	660,000	275,000
802.11p	39,000	20,000	360,000	180,000

‘19년까지 5G포럼 교통융합위원회에서 국내 기반 동일 분석 전문 보고서 발간 예정

C-V2X의 제공 이득: 보행자 교통사고 감소를 위한 V2P* 실현 용이성

C-V2X는 도로 교통 안전에 중요한 요소인 **보행자/사회약자 교통 사고 발생**을 예방, 감소시키는 안전 서비스 상용화에 있어 **최적의 서비스 개발/상용화 환경을 제공함**.

옥외 보행자 통신 환경



[옥외 사용자 통신 활용 환경]

- 셀룰러 통신 기술 : **"Always-on"**
 - WiFi : **"Manual Turn-on"**
- ➔ Cellular V2X는 기존 셀룰러 통신 기술과 최적의 정합 능력 제공

단말 개발 수급



[보행자 단말의 기술 별 개발 방향]

- Cellular V2X: 단일 칩 기능 추가
 - WAVE/DSRC : 이종 HW 모뎀 추가 필요
- ➔ Cellular V2X는 단말 수급 시점과 단말 비용 증가 최소화 지원

서비스/앱 개발 생태계



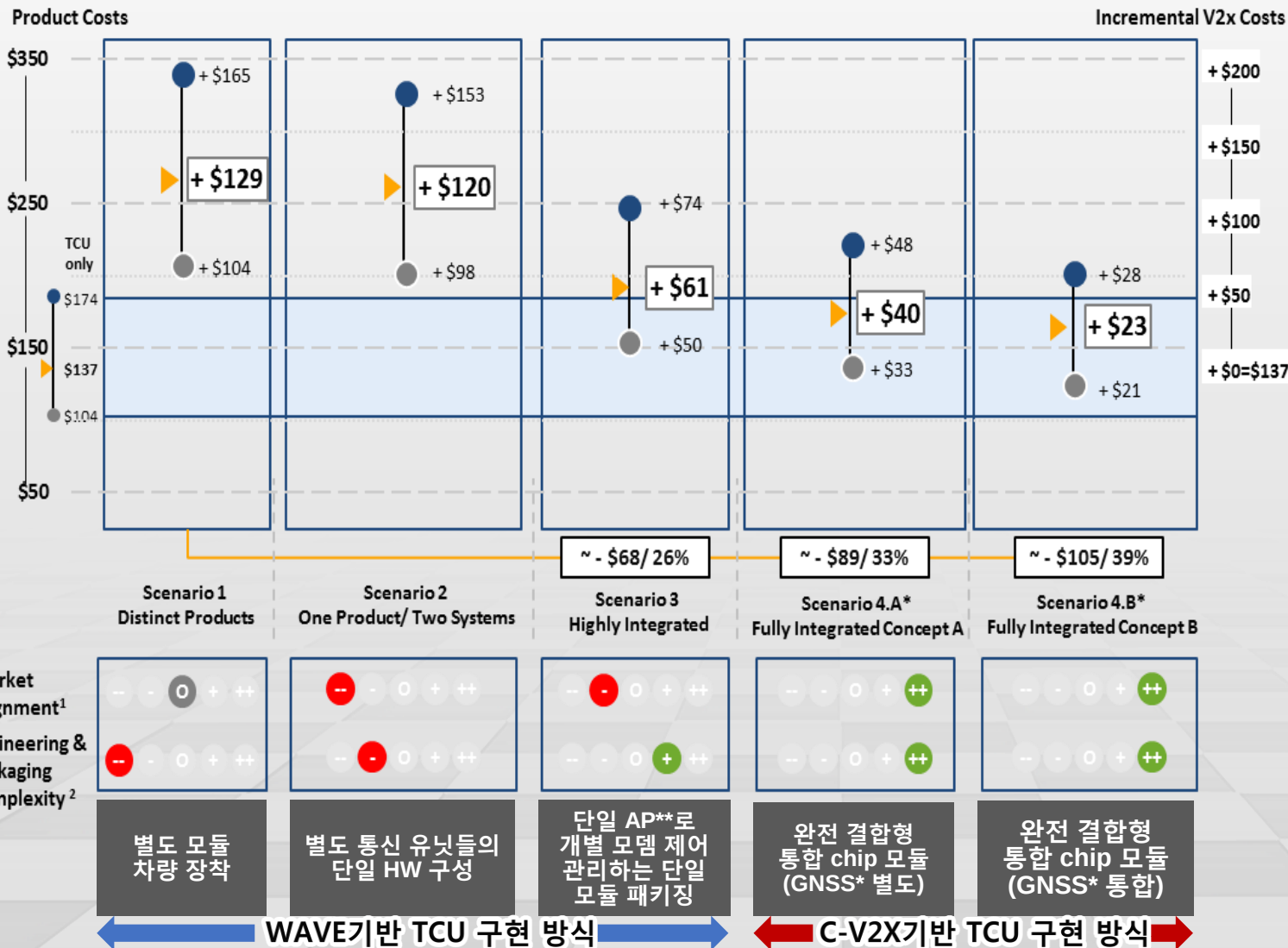
[서비스 앱의 개발 방향성]

- Cellular V2X: 공공 주체 뿐만 아니라 통신 네트워크 연계 상용 서비스 앱 개발 주체들의 적극적인 참여 지원 가능

* V2P: Vehicle-to-Pedestrian communication (차량-보행자 통신)

C-V2X의 제공 이득: 차량 OBU 통신 모듈의 cost-effective한 구현 지원

* P-3 North America의 "V2X Automotive On-Board Unit Cost Analysis"자료 발췌 (2018년; www.p3-group.com)



Annotations

Max. cost level for scenario:

High product requirements/
integration of overall features
into product

Expected cost level for scenario:

Balance of costs versus amount
of overall product features

Min. cost level for scenario:

Large economies of scale/ lower
integration of overall features
into product

Market Alignment¹ & Packaging Complexity²

Unfavorable -- -- O + ++ Beneficial

Cost band of TCU (LTE only) products
based on cost model

* Cost levels validated by industry
feedback

감사합니다.

질의응답