

# 무선 네트워크 기술과 응용

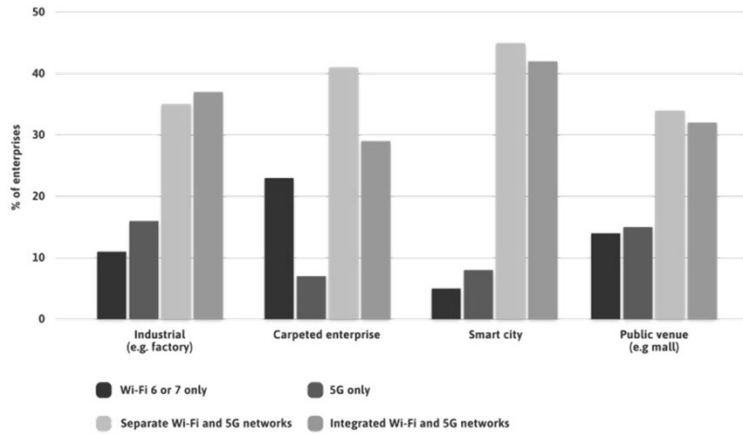
(무선 네트워킹 실전 기초부터 최신 애플리케이션)  
v1.0

2024년 6월  
안종석  
james@jslab.kr

I. 개요	3
II. Wi-Fi 7 기술과 서비스	46
III. Wi-Fi 7 응용 서비스 개발	58
IV. NR 표준의 발전	78
V. NR 표준 기술	123
VI. NR 적용 시나리오	152
VII. 활용 기술	176

# I. 개요

## ❖ 시장에서 선호하는 무선 연결 전략 (2022-2026)

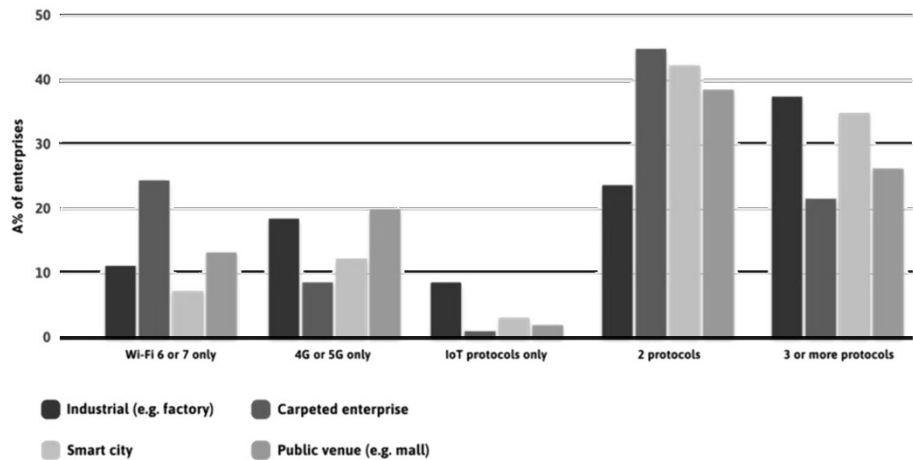


415개 기업을 대상으로 한 Deloitte의 조사에 따르면 이들 기업 중 62%가 이미 5G와 Wi-Fi 6/6E를 이미 사용하고 있거나 1년 이내에 사용할 계획이라고 답했으며, 93%는 향후 3년 동안 두 기술을 동시에 채택할 것이라고 답했다.

Source: [https://wballiance.wpenginepowered.com/wp-content/uploads/2022/10/WBA\\_2023-Industry-Report\\_Final-Oct\\_01-3.pdf](https://wballiance.wpenginepowered.com/wp-content/uploads/2022/10/WBA_2023-Industry-Report_Final-Oct_01-3.pdf)

# I. 개요

## ❖ 기업의 선호하는 IoT 접속 전략 (Preferred IoT connectivity strategies for enterprises)



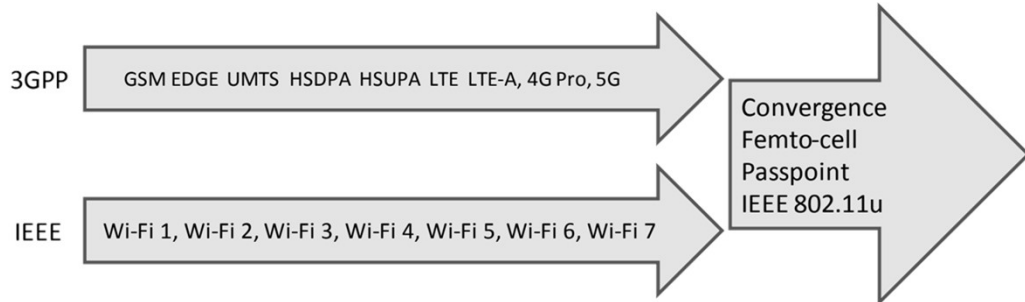
Source: Rethink Technology Research enterprise survey June 2022

# I. 개요

5

## ❖ 무선 기술 융합 (Wi-Fi 와 5G)

- The two major wireless solutions and their convergence
- 이기종 네트워크간 심리스 핸드오버 기술 표준화
- 노트북이나 스마트폰 등 통신 기기들이 무선랜 등에 연결 할 수 있는 IEEE 802.11의 기술 표준



Source: Software Networks (Virtualization, SDN, 5G and Security), by ISTE Press Ltd and John Wiley & Sons, Inc. 2020



JS Lab

5

# I. 개요

6

- ❖ The BeanDevice® WiLow® AX-3DS is an ULP (Ultra-Low-Power) WIFI accelerometer dedicated to shock detection with built-in data logger and a scalable measurement range.
- ❖ Thanks to WIFI technology, this wireless IOT sensor can be used for dynamic measurement without network bottleneck issues.



Source: <https://www.beanair.com/wireless-iot-shock-sensor-wifi-overview.html>

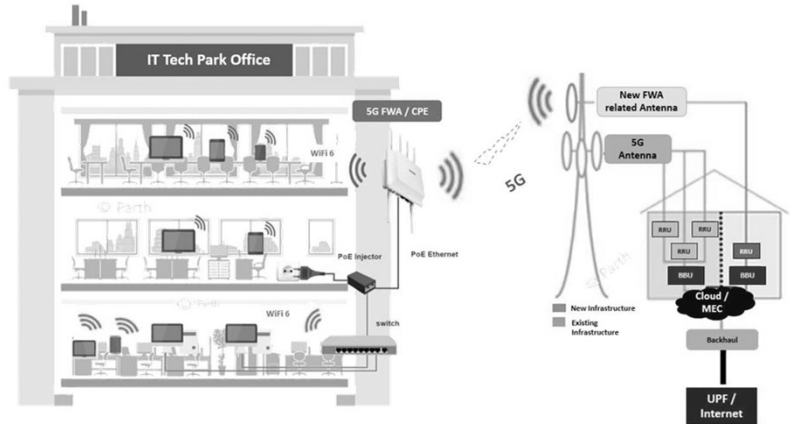


JS Lab

6

# I. 개요

## ❖ Diagram for IT Tech Park Office Scenario: FWA + 5G + WiFi6 & WiFi7



Source: <https://www.telecomhall.net/t/high-level-connectivity-diagram-for-it-tech-park-office-scenario-were-fwa-5g-wifi6-wifi7-are-working-hand-in-hand/24805>

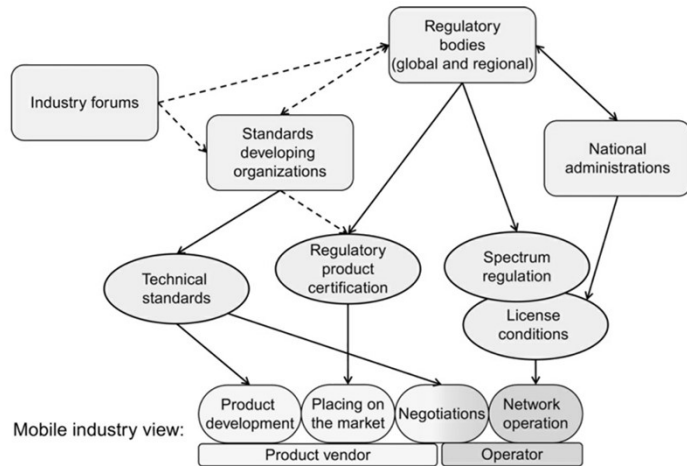
# I. 개요

## ❖ 5G와 결합·보조하는 비면허 기술(Wi-Fi, NR-U) 을 5G 성능으로 고도화 전략



# I. 개요

## ❖ 규제 기관, 표준 개발 조직, 업계 포럼 및 모바일 업계 간의 관계



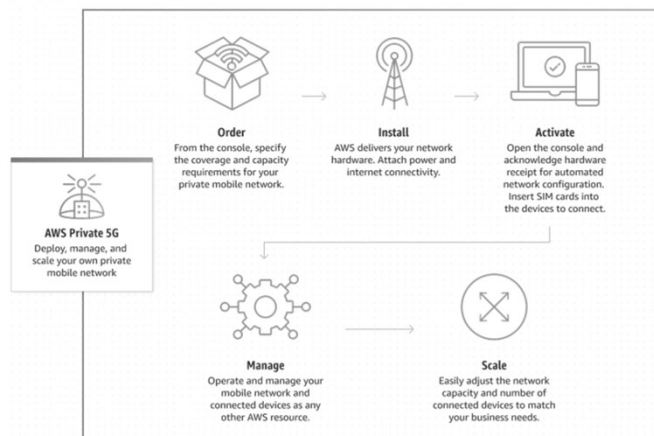
Source: Dahlman, Erik; Parkvall, Stefan; Skold, Johan. 5G NR (p. 47). Elsevier Science. Kindle Edition.

# I. 개요

## ❖ AWS Private 5G

### • 온프레미스에서 프라이빗 모바일 네트워크 배포 및 확장

1. 주문
2. 설치
3. 활성화
4. 관리
5. 확장

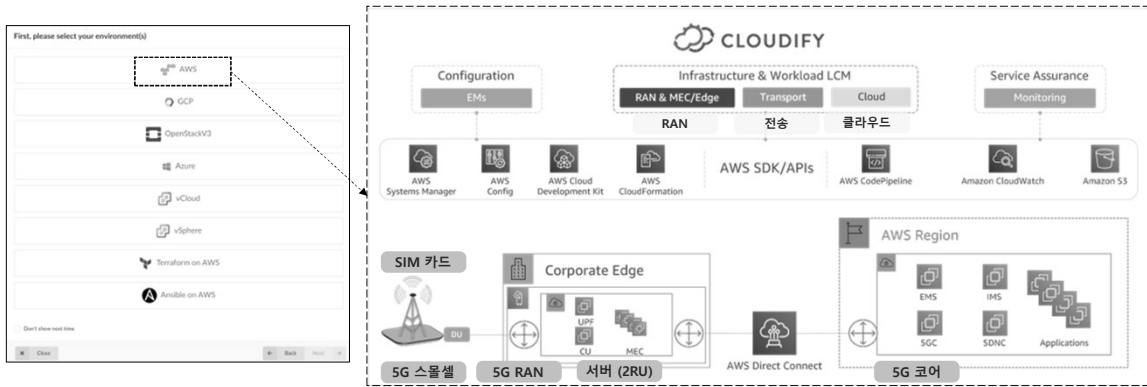


Source: <https://us-east-1.console.aws.amazon.com/private-networks/home?region=us-east-1#/>

# I. 개요

## ❖ Cloudify: AWS 서비스에 5G 네트워크 슬라이싱 적용

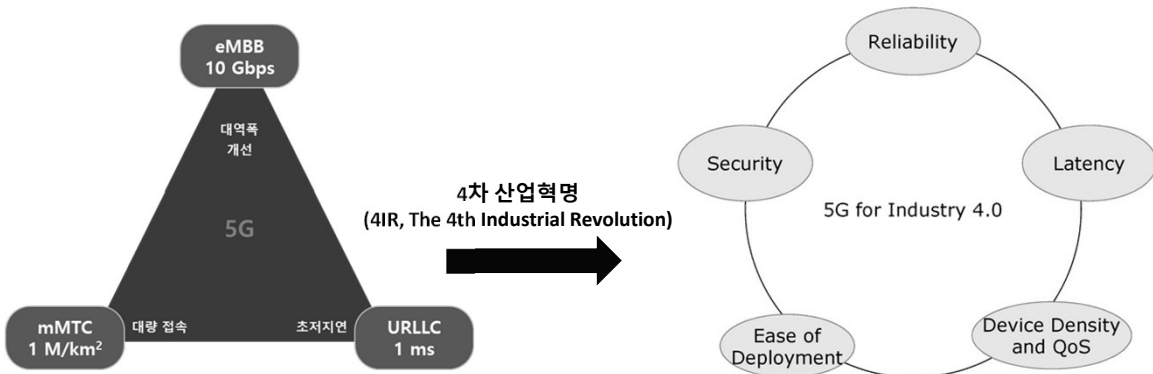
- 멀티클라우드 오케스트레이션: Cloudify is for multi-cloud orchestration
- 아마존 AWS 적용 (예): Cloudify architecture on AWS.



Source: <https://aws.amazon.com/blogs/industries/implementing-5g-network-slicing-with-cloudify-on-aws/>

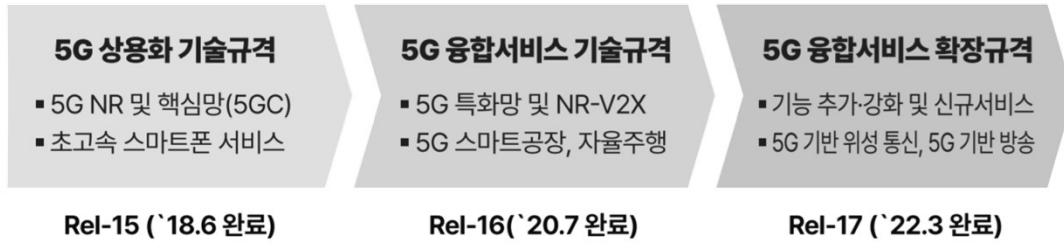
# I. 개요

## ❖ 5G communication opportunity for Industry 4.0



# I. 개요

## ❖ 이동통신 기술의 진화와 세대별 특징 / 명칭

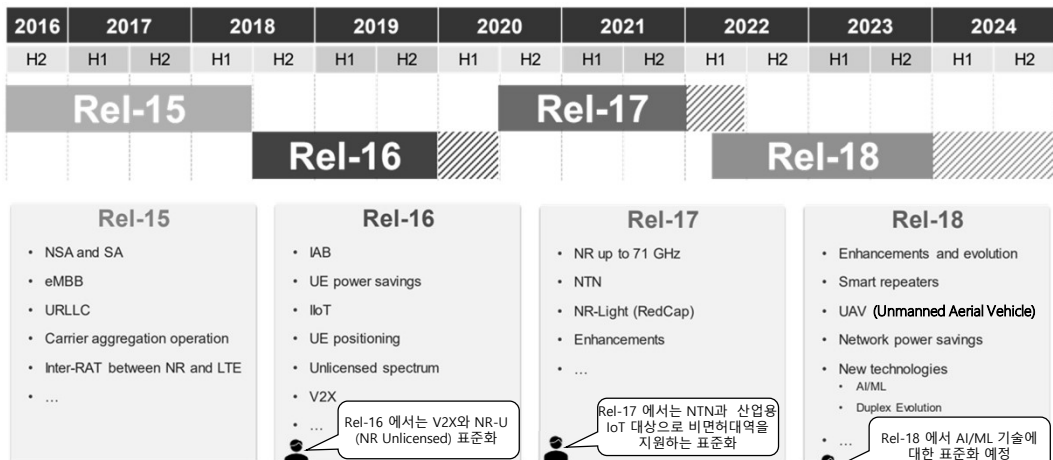


Rel-18은 2024년 표준화

Source: 3GPP Rel. 17 기술규격 분석 보고서 (2022년 주파수 확보 및 공급 기반기술 개발 보고서, TTA 연구 보고서)

# I. 개요

## ❖ 3GPP NR Workplan



Source: KEYSIGHT

# I. 개요

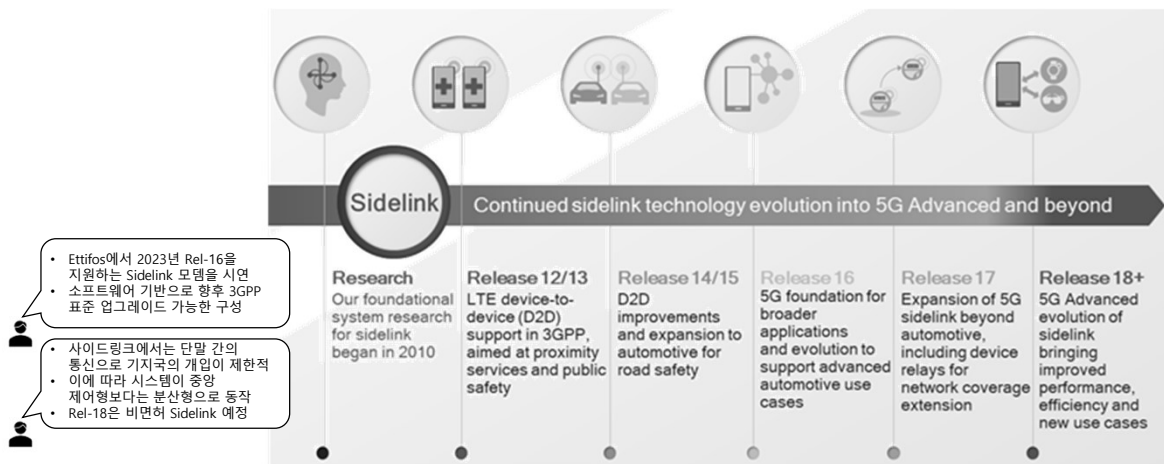
## ❖ 3GPP - Looking forward – Rel. 18 & 5G Advanced

- Full Duplex Operation
- AI / ML
- Lower Energy Consumption



# I. 개요

## ❖ Sidelink continues to evolve in 5G Advanced and beyond



- Ettifos에서 2023년 Rel-16을 지원하는 Sidelink 모델을 시연
- 소프트웨어 기반으로 향후 3GPP 표준 업그레이드 가능한 구성
- 사이드링크에서는 단말 간의 통신으로 기지국의 개입이 제한적
- 이에 따라 시스템이 중앙 제어형보다는 분산형으로 동작
- Rel-18은 비공개 Sidelink 예정

Source: Amdocs 5G xRAN Automation vision





# I. 개요

## ❖ Radio Access Network evolution

- Distributed RAN
- Centralized RAN
- Virtualized RAN

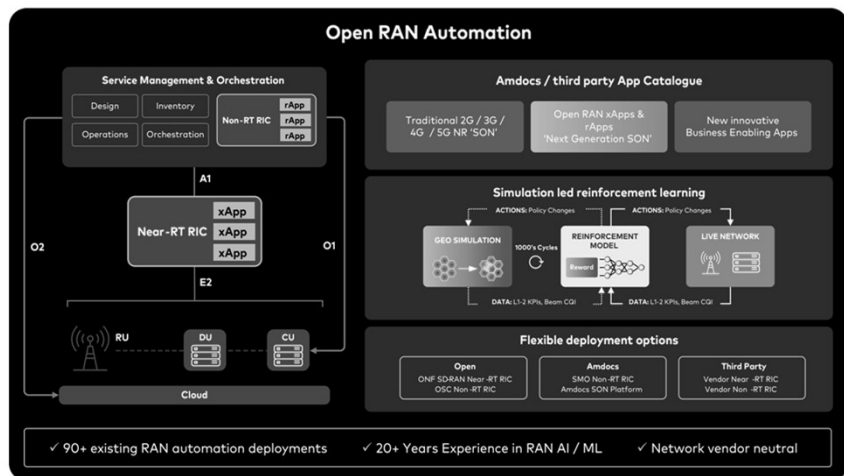


Enterprise	Distributed RAN	Centralized RAN	Virtualized RAN
Rationales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce transport cost</li> <li>• Smaller outage units at equipment failure</li> <li>• Reduced latency for end-user services</li> <li>• Data centers are limited by floor space and power supply</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pooling of hardware resources (optimization)</li> <li>• Fewer nodes/sites leading to reduced CAPEX/OPEX</li> <li>• Competence consolidation</li> <li>• Energy efficiency</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vendor agnostic commercial off-the-shelf (COTS) hardware to enable innovation across a range of a software ecosystem</li> </ul>
Benefits	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexible backhaul</li> <li>• Use at most locations and scenarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximum radio coordination</li> <li>• Flexible baseband configuration and dimensioning/pooling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Virtualization on General Purpose Processors (GPP i.e., x86)</li> </ul>
Challenges	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baseband dimensioning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strict delay requirements (i.e., fiber fronthaul)</li> <li>• Fronthaul/baseband single point of failure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GPP inefficient for real time baseband processing (~1/10)</li> <li>• Diminishing returns on pooling</li> </ul>

Source: Enterprise Evolution with 5G Adoption, A 5G America White Paper

# I. 개요

## ❖ Open RAN Automation (Amdocs)

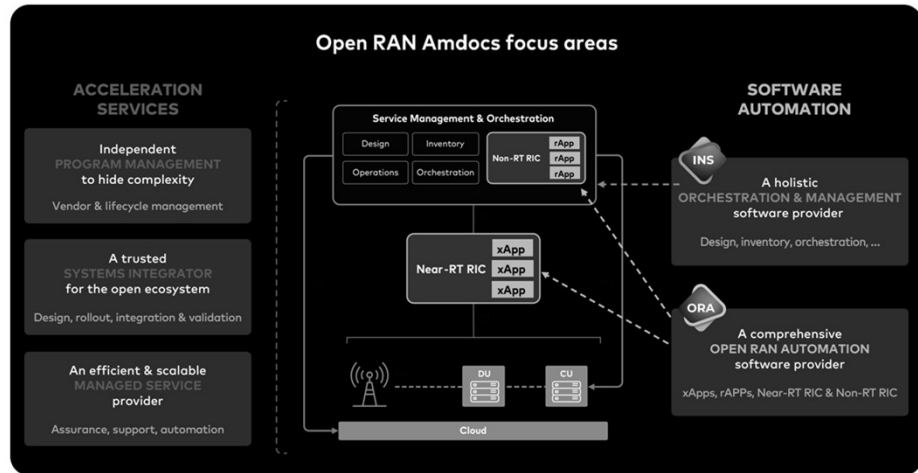


Source: Amdocs 5G xRAN Automation vision

# I. 개요

19

## ❖ Amdocs 5G xRAN focus on x/rApps (Amdocs)



Source: Amdocs 5G xRAN Automation vision



JS Lab

19

# I. 개요

20

## ❖ NR-U

- 5G NR-U는 5G NR의 새로운 작동 모드로, 비면허 스펙트럼에서 사용을 원하는 사람이라면 누구나 사용
- 스마트폰, 태블릿, 노트북, IoT 디바이스 등 다양한 디바이스 및 애플리케이션에 고속, 저지연 연결을 제공
- NR-U는 2014년에 처음 도입된 LTE-LAA 표준을 기반: LTE-LAA는 비면허 주파수에서도 LTE 네트워크가 작동할 수 있도록 지원하며, NR-U는 LTE-LAA를 기반으로 하며 다음과 같은 여러 가지 새로운 기능을 추가
  - 더 넓은 대역폭 지원
  - 더 많은 사용자 지원
  - 혼잡한 지역에서의 성능 개선보안 및 개인정보 보호 강화
  - 허가된 스펙트럼에서 작동하는 기존 5G 네트워크에 비해 향후 몇 년 내에 널리 배포될 것으로 예상
  - 고속, 저지연 연결을 비용 효율적인 방법을 제공할 수 있으며, 허가된 스펙트럼이 제공되지 않는 지역으로 5G 네트워크의 범위를 확장하는 데 사용할 수 있음

New Radio-Unlicensed (NR-U)

License Assisted Access, LAA (면허 대역 지원 접속): LTE 망에서 기지국이 면허 대역을 주요 요소 운반파로 사용하고, 면허 불필요 대역을 보조 요소 운반파로 사용하는 운반파 묶음(CA: Carrier Aggregation) 기술.



JS Lab

20

# I. 개요

21

## ❖ NR-U

### • New Radio-Unlicensed (NR-U)

#### • NR-U의 설치를 지원하는 3가지 모드

- **Carrier Aggregation:** 비면허 스펙트럼은 다운스트림 사용자 플레인 용량을 늘리는 데만 사용하며, 제어 플레인 데이터는 허가된 스펙트럼을 통해서만 전송한다.
- **Dual Connectivity:** 비면허 스펙트럼을 통해 업스트림 및 다운스트림 사용자 플레인 트래픽을 모두 지원한다. 트래픽 오프로드를 위해 설계되었으며 컨트롤 플레인 트래픽은 허가된 스펙트럼을 통해서만 전송한다.
- **Standalone:** 제어 및 사용자 플레인 트래픽을 비면허 스펙트럼에만 의존하는 3GPP 정의 작동 모드이다.



JS Lab

21

# I. 개요

22

## ❖ NR-U: NR-Unlicensed, NR in unlicensed spectrum (Source: TTA)

### • 면허 불필요 대역(unlicensed radio frequency) 주파수를 사용하는 5세대 이동통신(5G) 무선 접속 기술 엔알(NR), 3GPP의 5G 무선 접속 기술 NR을 면허 불필요 대역 주파수를 사용하여 구현하는 것을 말한다.

- 일반적으로 이동통신 시스템은 이동통신 사업자가 정부로부터 이동통신 용도로 허가 또는 면허를 받은 주파수 대역을 사용하지만, 주파수 공동 이용 정책에 따라 소출력 통신에 이용하는 면허 불필요 대역 주파수를 사용할 수도 있다. 3GPP는 LTE 기술을 표준화하면서 면허 불필요 대역 주파수를 사용하는 무선 접속 방식을 고려하였고 이 방식을 **LTE-U**(LTE-Unlicensed)라고 하였다.
- 면허 불필요 대역 주파수를 사용하여 이동통신 시스템을 구현할 때 가장 중요한 것은 기존에 해당 주파수를 사용하는 다른 통신 시스템과의 공존을 고려해야 한다는 것이다. Wi-Fi, Bluetooth 등과 같이 면허 불필요 대역을 사용하는 통신 시스템에는 해당 주파수를 서로 공평하게 공유할 수 있는 기술이 포함되어 있다. 반면 LTE 같은 이동통신 시스템에는 공유할 수 있는 기술이 포함되지 않아서 시스템 사이에 간섭이 생길 수 있다. 이를 해결하기 위해 다른 통신 시스템과 공존할 수 있는 기술을 추가한 것이 면허 대역 지원 접속 **LTE(LTE-LAA: LTE-License Assisted Access)** 기술이다. 참고로 다른 통신 시스템과 공존하기 위한 대표적인 기술들은 **엘비티(LBT: Listen-Before-Talk)**, **불연속 송신(DTX: Discontinuous Transmission)** 등이 있다. LBT는 통신 시스템이 신호를 송신하기 전에 해당 주파수를 다른 시스템이 사용하는지를 먼저 확인하고, 사용하는 시스템이 없을 때 신호를 송신하는 기술이다. **DTX**는 통신 시스템이 송신을 마친 다음에는 송신을 중단하여 다른 시스템이 해당 주파수를 사용할 수 있도록 하는 기술이다.
- 5G 무선 접속 기술(NR)도 면허 불필요 대역에서 사용하기 위해서는 NR에 LBT, DTX와 같은 기술이 포함되어야 한다. 또한 NR은 기존의 LTE에 비해 훨씬 넓은 채널 대역폭(Channel Bandwidth)을 사용하기 때문에 각국은 NR에 사용할 면허 불필요 대역 추가 분배를 고려할 필요가 있다.
- 3GPP Release 15 NR 규격의 Mini-slot(또는 non-slot) 전송방식은 NR-U에 LBT를 적용할 때 사용한다. 또한 3GPP는 NR-U를 위해 기존의 5GHz 대역 외에 6 GHz~7.125 GHz를 추가로 고려하였다. NR-U는 **Release 16**에서 정의하였다.



JS Lab

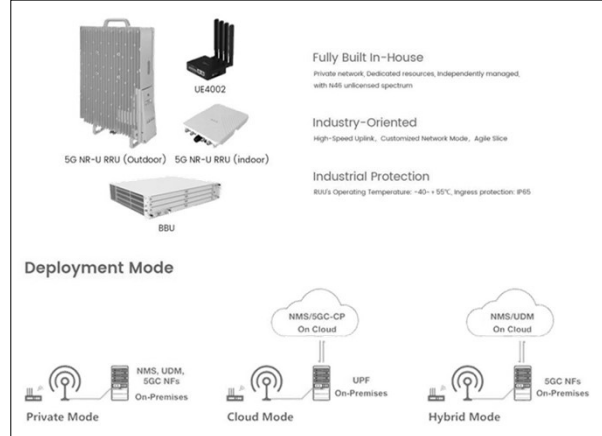
22

# I. 개요

## ❖ 5G NR-U는 다음과 같은 다양한 사용 사례를 기대할 수 있다.

- **모바일 광대역:** NR-U는 스마트폰, 태블릿, 노트북에 모바일 광대역을 제공하는 데 사용
- **고정 무선 액세스:** NR-U는 가정과 기업에 고정 무선 액세스를 제공하는 데 사용
- **산업용 IoT:** NR-U는 센서 및 액추에이터와 같은 산업용 IoT 디바이스를 연결하는 데 사용
- **스마트 시티:** NR-U는 스마트 신호등, 스마트 주차 등 스마트 시티 애플리케이션을 지원하는 데 사용

AI-LINK Debuts the World's First Cloud Native Industrial 5G NR-U on 2023 MWC

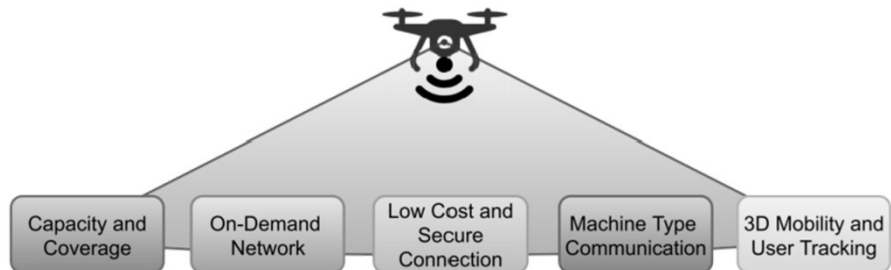


Source: <https://en.pnasia.com/releases/apac/ai-link-debuts-the-world-s-first-cloud-native-industrial-5g-nr-u-on-2023-mwc-395166.shtml>

# I. 개요

## ❖ NR-U 기반 WI UAV의 기회

- 용량 및 커버리지
- 간편한 온디맨드 네트워크 배포
- 보안 강화와 함께 저렴한 비용
- 머신형 통신
- 사용자 경험 품질 향상



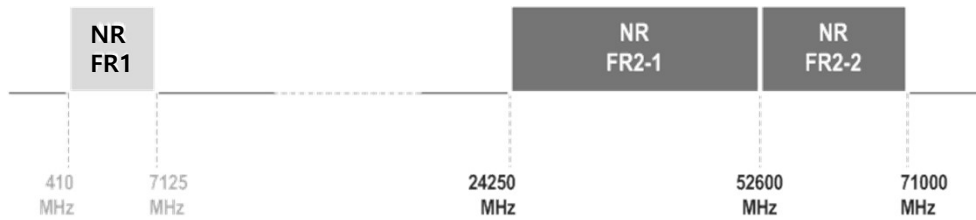
WI (Wireless Infrastructure), UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Drone, ...

Source: IEEE Access, 6G NR-U Based Wireless Infrastructure UAV: Standardization, Opportunities, Challenges and Future Scopes

# I. 개요

## ❖ Frequency ranges FR1 and FR2.

- NR FR1: 410MHz~7.125GHz
- NR FR2-1: 24.25GHz~52.6GHz
- NR FR2-2: 52.6GHz~71GHz



Source: <https://www.tech-invite.com/3m38/tinv-3gpp-38-101-2.html>

# I. 개요

## ❖ Taxonomy of technologies that use unlicensed spectrum.

	Standardization body	Underline Technology	Operational band	Deployment capabilities	RAT in unlicensed	Key features
802.11n	IEEE	802.11a/g	sub 7 GHz	standalone (unlicensed)	Wi-Fi	Unlicensed band: 2.4, 5 GHz Aggregated bandwidth: 40 MHz MIMO: up to 4 streams, MU-MIMO: no Modulation: up to 64-QAM HARQ: no channel access scheme: CSMA/CA
802.11ad	IEEE	802.11	above 7 GHz	standalone (unlicensed)	WiGig	Unlicensed band: 60 GHz Aggregated bandwidth: 2.16 GHz MIMO: up to 8 streams, MU-MIMO: no Modulation: up to 64-QAM HARQ: no channel access scheme: CSMA/CA
802.11ac	IEEE	802.11n	sub 7 GHz	standalone (unlicensed)	Wi-Fi	Unlicensed band: 5 GHz Aggregated bandwidth: 160 MHz MIMO: up to 8 streams, MU-MIMO: up to 4 Modulation: up to 256-QAM HARQ: no channel access scheme: CSMA/CA
LTE-U	LTE-U Forum	LTE Rel-12	sub 7 GHz	carrier aggregation (licensed + unlicensed)	LTE	Unlicensed band: 5 GHz Aggregated bandwidth: 40 MHz MIMO: up to 8 streams, MU-MIMO: up to 4 Modulation: up to 256-QAM HARQ: yes channel access scheme: duty-cycle
LWA	3GPP	LTE Rel-13	sub 7 GHz	LTE + Wi-Fi integration at PDCP level	Wi-Fi	LTE Rel-13 + Wi-Fi
LWP	3GPP	LTE Rel-13	sub 7 GHz	LTE + Wi-Fi integration at IP level	Wi-Fi	LTE Rel-13 + Wi-Fi
LAA	3GPP	LTE Rel-13	sub 7 GHz	carrier aggregation (licensed + unlicensed)	LTE	Unlicensed band: 5 GHz Aggregated bandwidth: 80 MHz MIMO: up to 8 streams, MU-MIMO: up to 8 Modulation: up to 256-QAM HARQ: yes channel access scheme: LBT
MuWi-Fi	MuWi-Fi Alliance					
eLWA	3GPP	LTE Rel-14	sub 7 GHz and above 7 GHz	standalone (unlicensed)	LTE	Unlicensed band: 7.1, 2.4, 5 GHz Aggregated bandwidth: 80 MHz MIMO: up to 8 streams, MU-MIMO: up to 8 Modulation: up to 256-QAM HARQ: yes channel access scheme: LBT
eLWP	3GPP	LTE Rel-14	sub 7 GHz and above 7 GHz	standalone (unlicensed)	LTE	Unlicensed band: 60 GHz Aggregated bandwidth: 160 MHz MIMO: up to 8 streams, MU-MIMO: up to 8 Modulation: up to 1024-QAM HARQ: yes channel access scheme: CSMA/CA
eLAA	3GPP	LTE Rel-14	sub 7 GHz	carrier aggregation (licensed + unlicensed), dual connectivity (licensed + unlicensed)	LTE	Unlicensed band: 5 GHz Aggregated bandwidth: 160 MHz MIMO: up to 8 streams, MU-MIMO: up to 8 Modulation: up to 256-QAM HARQ: yes channel access scheme: LBT
eLAA	3GPP	LTE Rel-15	sub 7 GHz	carrier aggregation (licensed + unlicensed), dual connectivity (licensed + unlicensed)	LTE	Unlicensed band: 5 GHz Aggregated bandwidth: 160 MHz MIMO: up to 8 streams, MU-MIMO: up to 8 Modulation: up to 256-QAM HARQ: yes channel access scheme: LBT
802.11ax	IEEE	802.11ac	sub 7 GHz	standalone (unlicensed)	Wi-Fi	Unlicensed band: 1 to 6 GHz Aggregated bandwidth: 160 MHz MIMO: up to 8 streams, MU-MIMO: up to 8 Modulation: up to 1024-QAM HARQ: yes channel access scheme: CSMA/CA
802.11ay	IEEE	802.11ad	above 7 GHz	standalone (unlicensed)	WiGig	Unlicensed band: 60 GHz Aggregated bandwidth: 8.64 GHz MIMO: up to 8 streams, MU-MIMO: up to 8 Modulation: up to 64-QAM HARQ: no channel access scheme: CSMA/CA
NR-U	3GPP	NR Rel-17	sub 7 GHz and above 7 GHz	carrier aggregation (licensed + unlicensed), dual connectivity (licensed + unlicensed), standalone (unlicensed)	NR	Unlicensed band: 2.4, 5, 7, 12, 60 GHz Aggregated bandwidth: 800 MHz MIMO: up to 8 streams, MU-MIMO: up to 12 Modulation: up to 1024-QAM HARQ: yes channel access scheme: LBT

Source: New Radio Beam-based Access to Unlicensed Spectrum: Design Challenges and Solutions, IEEE Communications Surveys & Tutorials · October 2019

# I. 개요

## ❖ Comparison 5G vs. Wi-Fi 7

Feature	5G	Wi-Fi 7
Speed	Up to 10Gbps	Users can expect speeds of up to 46Gbps
Latency	1-10ms	Below 5ms
Frequency Bands	Sub 6GHz & mmWave	Expected to utilize the 6GHz band (5.925 - 7.125GHz)
Range	328 feet - 1500 feet for higher bands	Approximately 50 feet at 5Ghz
Security Protocols	WPA3 and TLS	WPA3

Source: <https://www.iplook.com/info/wi-fi-7-the-biggest-threat-to-5g-i00339i1.html>

# I. 개요

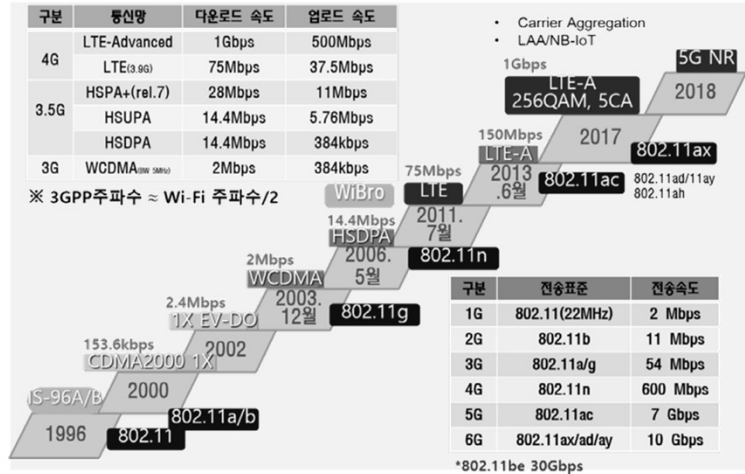
## ❖ Wi-Fi 표준의 발전

IEEE Standard	WiFi Gen	Year	Frequency	Max PHY Data Rate	Max Range
802.11	-	1997	2.4 GHz	2 Mbps	20m (indoor) 100m (outdoor)
802.11a	-	1999	5 GHz	54 Mbps	35m (indoor) 120m (outdoor)
802.11b	-	1999	2.4 GHz	11 Mbps	35m (indoor) 140m (outdoor)
802.11g	-	2003	2.4 GHz	54 Mbps	38m (indoor) 140m (outdoor)
802.11n	WiFi 4	2009	2.4/5 GHz	600 Mbps	70m (indoor) 250m (outdoor)
802.11ac	WiFi 5	2013	5 GHz	6.9 Gbps	35m (indoor)
802.11ad	-	2012	60 GHz	8.1 Mbps	3.3m (indoor)
802.11ah	-	2017	Sub 1 GHz	347 Mbps	1km
802.11ax	WiFi 6	2021	2.4/5/6 GHz	9.6 Gbps	30m (indoor) 120m (outdoor)
802.11ay	-	2021	60 GHz	303 Gbps	10m (indoor) 100m (outdoor)
802.11be	WiFi 7	2024	2.4/5/6 GHz	46.1 Gbps	30m (indoor) 120m (outdoor)

Source: dan\_nanni

# I. 개요

## ❖ 이동 셀룰러 통신과 IEEE 802.11 진화

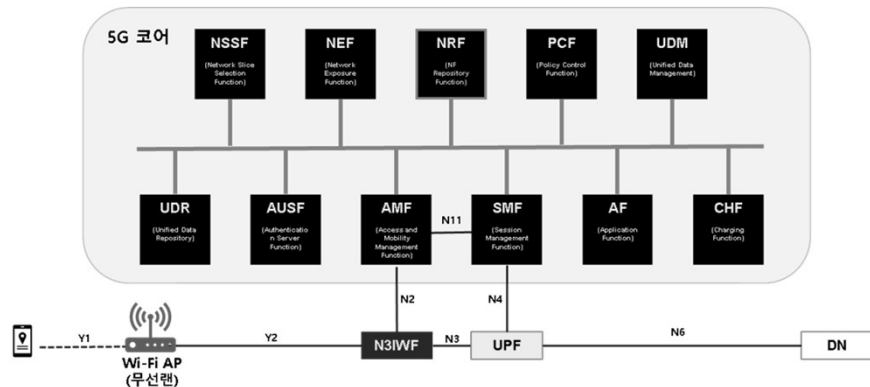


Source: [https://ettrends.etri.re.kr/ettrends/180/0905180001/34-6\\_1-16.pdf](https://ettrends.etri.re.kr/ettrends/180/0905180001/34-6_1-16.pdf)

# I. 개요

## ❖ non-3GPP

- Architecture of untrusted non-3GPP access using Wi-Fi network
- N3IWF: Non-3GPP Interworking Function



# I. 개요

## ❖ WBA의 Enterprise Wi-Fis, 2023 PROJECTS ROADMAP



Source: Wireless Broadband Alliance (WBA) Connected Communities Forum (CCF) Meeting, March 16th 2023

# I. 개요

## ❖ Wi-Fi 7 (based on IEEE P802.11be)



### Key Enhancements

320 MHz channels  
4096-QAM  
Multi-RU (puncturing)  
Puncturing: 간섭이 차단되고 채널의 활용도를 개선

Multi-link operation  
Deterministic low latency  
P2P operation



Source: [https://www.ieee802.org/11/PARs/P802\\_11be\\_PAR\\_Detail.pdf](https://www.ieee802.org/11/PARs/P802_11be_PAR_Detail.pdf)



# I. 개요

## ❖ IEEE 802.11 표준 개정 요약: 802.11be (Wi-Fi 7)

	Standard / Amendment	Release (Year)	Freq. Band (GHz)	Max. Data Rate	Channel Width (MHz)	Maximum Modulation	MIMO Capabilities
	802.11	1997	2.4	2 Mbps	20	QPSK	--
	802.11a	1999	5	54 Mbps	20	64-QAM	--
	802.11b	1999	2.4	11 Mbps	20	QPSK	--
	802.11g	2003	2.4	54 Mbps	20	64-QAM	--
	802.11n	2009	2.4/5	600 Mbps	20/40	64-QAM	SU-MIMO (4x4)
Wi-Fi 5	802.11ac	2013	5	6.93 Gbps	20/40/80/160	256-QAM	MU-MIMO (8x8) <sup>†</sup>
Wi-Fi 6	802.11ax	2021	2.4/5/6	9.6 Gbps	20/40/80/160	1024-QAM	MU-MIMO (8x8) <sup>‡</sup>
Wi-Fi 6E							
Wi-Fi 7	<b>802.11be</b>	<b>Exp. 2024</b>	2.4/5/6	<b>46.1 Gbps</b>	20/40/80/160/ <b>320</b>	<b>4096-QAM</b>	MU-MIMO (16x16)

<sup>†</sup> Up to four simultaneous users and downlink-only MU-MIMO

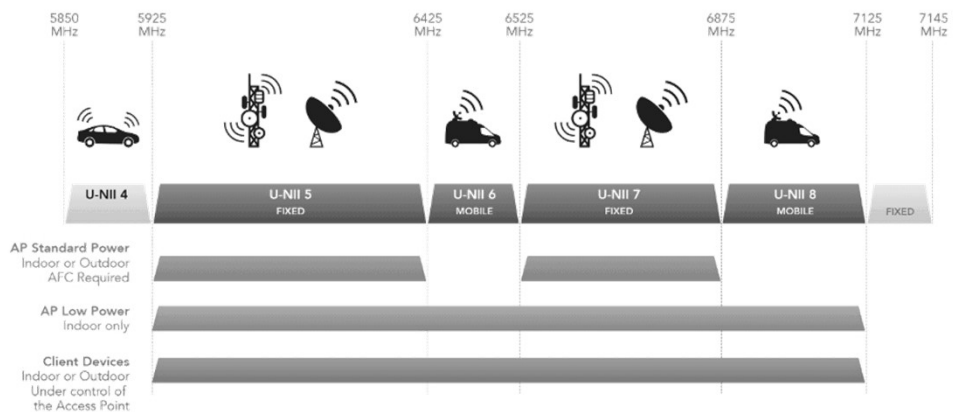
<sup>‡</sup> MU-MIMO in both uplink and downlink

MU-MIMO: Multiple User – Multiple Input Multiple Output (다중 사용자 - 다중 입력 다중 송출)

Source: Bejarano, Oscar. Wireless: A Total Beginner's Guide to Modern Wireless Communication Technologies (p. 299). Bitflip Media. Kindle Edition.

# I. 개요

## ❖ Incumbent Users of U-NII 5, U-NII 6, U-NII 7 and U-NII 8 Band



AFC = Automatic Frequency Coordination

Source: <https://www.litepoint.com/blog/an-introduction-to-wi-fi-6e-spectrum/>

# I. 개요

❖ **Key Updates on Wi-Fi Standards:** IEEE는 Wi-Fi 7이라고도 하는 차세대 802.11be 초고속 처리(Extremely High Throughput, EHT)을 개발

• **PHY layer:**

- 320 MHz channels
- 4096 QAM
- 16 spatial streams
- Multi Resource Unit (RU) puncturing to protect incumbents (기존 사용자 보호를 위한 Puncturing)

Puncturing: 간섭이 차단되고 채널의 활용도를 개선

• **On the MAC layer,**

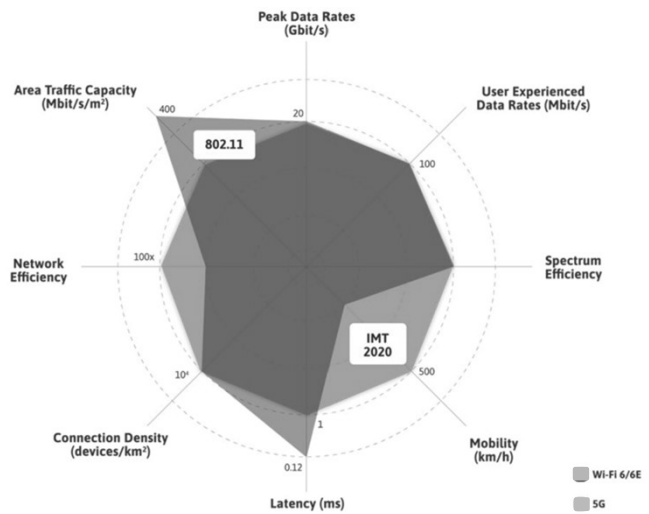
- 802.11az-2nd generation positioning
- 802.11bb-Light Communications
- 802.11bc-Enhanced Broadcast Service
- 802.11bd-Enhancements for Next Generation V2X

Source: <https://grouper.ieee.org/groups/802/11/index.shtml>

# I. 개요

❖ **WBA의 Enterprise Wi-Fis**

- Wi-Fi 7은 Wi-Fi 6/6E 이상
- IMT 2020 (5G)

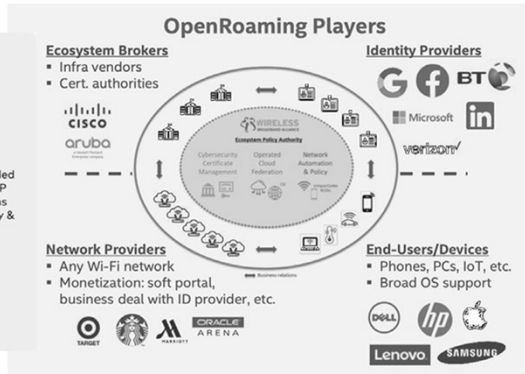
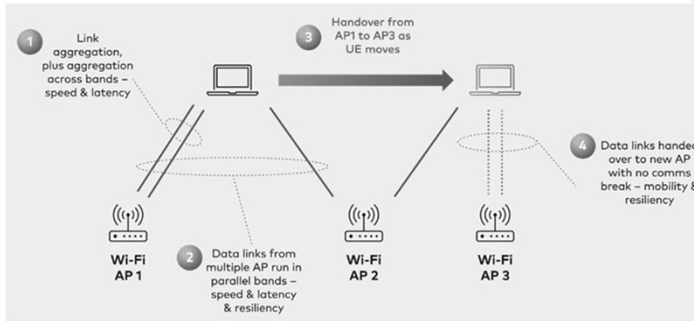


Source: Wireless Broadband Alliance

# I. 개요

## ❖ Wi-Fi 7's impact on mobile

- 모바일이 실내 엔터프라이즈 비즈니스 및 가정 소비자 시장에서 Wi-Fi를 대체할 가능성은 거의 없다.
- 소규모 공장, 소매점 및 소규모 실외 지역에서 Wi-Fi와 모바일 기반 솔루션 간의 경쟁이 치열해질 것으로 예상
- 더 넓은 야외 공간에서는 모바일이 지배적일 것으로 예상된다.



Source: Bejarano, Wi-Fi 7 – WHAT IS IT ALL ABOUT?, Whitepaper, Amdocs Networks

# I. 개요

## ❖ 주요 시장 부문과 Wi-Fi의 영향

- 가정에 도입되는 새로운 애플리케이션에는 훨씬 낮은 수준의 지연 시간과 더 많은 처리량이 필요
- AR/VR을 위한 목표: 동등 화질 4K, 처리속도 1000~2350 Mbps, 지연 10 ms

APPLICATION	BANDWIDTH	MAX E2E LATENCY
OTT video HD	~5 Mbps	Not critical for OTT video
OTT video 4K	~25 Mbps	Not critical for OTT video
4K Gaming	~25 Mbps	<20 ms
VR/AR HD, 360°	~100 Mbps	<20 ms
VR/AR 4K, 360°	~500 Mbps	<20 ms

	VR Resolution	FPS	Equivalent Resolution	Maximum Throughput (Mbps)	Maximum Streaming Latency (ms)	Maximum Interactive Latency
Early VR	1K X 1K	30	240p	25	40	10
Entry VR	2K X 2K	30	SD	100	30	10
Advanced VR	4K X 4K	60	HD	400	20	10
Extreme VR	8K X 8K	120	4K	1000-2350	10	10

목표

Source: Airties

Source: Mantiante

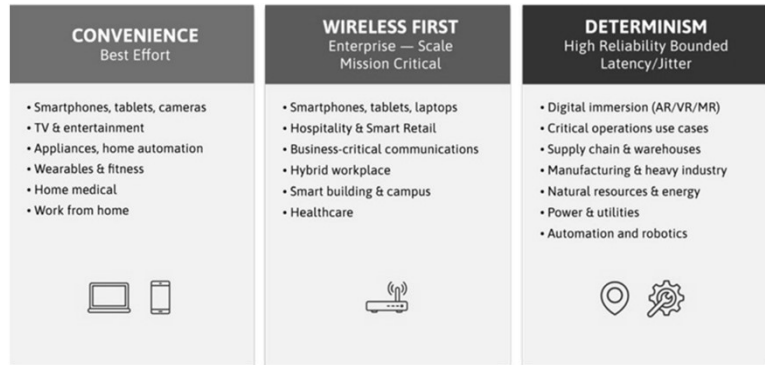
Source: [https://wballiance.wpenginepowered.com/wp-content/uploads/2022/10/WBA\\_2023-Industry-Report\\_Final-Oct-01-3.pdf](https://wballiance.wpenginepowered.com/wp-content/uploads/2022/10/WBA_2023-Industry-Report_Final-Oct-01-3.pdf)

# I. 개요

## ❖ Evolution to Deterministic Wi-Fi (Wi-Fi 7)

### • The Path to Wireless Determinism

- ✓ 디지털 몰입감(AR/VR/MR)
- ✓ 중요 운영 사용 사례
- ✓ 공급망 및 물류창고
- ✓ 제조 및 중공업
- ✓ 천연 자원 및 에너지
- ✓ 전력 및 유틸리티
- ✓ 자동화 및 로봇 공학



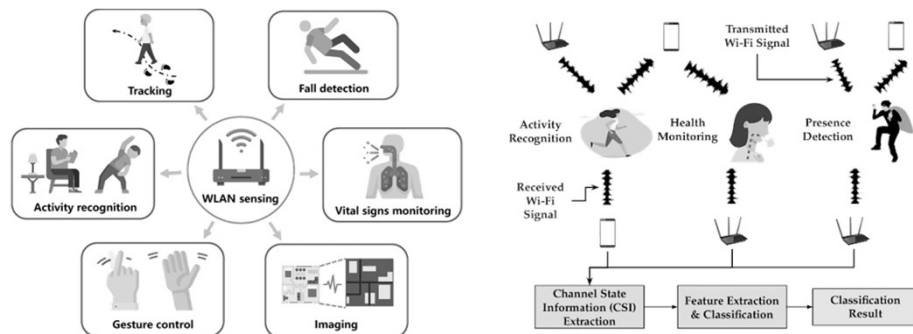
Source: Cisco

Source: [https://wballiance.wpenginepowered.com/wp-content/uploads/2022/10/WBA\\_2023-Industry-Report\\_Final-Oct\\_01-3.pdf](https://wballiance.wpenginepowered.com/wp-content/uploads/2022/10/WBA_2023-Industry-Report_Final-Oct_01-3.pdf)

# I. 개요

## ❖ IEEE 802.11bf (Wi-Fi sensing)

- 근접 감지, 제스처 인식, 목표 카운팅, 상태 모니터링 등 다양한 사용 사례에서 효과가 입증
- IEEE 802.11 워킹 그룹은 새로운 작업 그룹인 802.11 bf를 구성하여 7GHz 이하 대역(2.4GHz, 5GHz 및 6GHz 대역)과 60GHz를 포함한 모든 스펙트럼 대역에서 Wi-Fi 감지를 지원하는 데 필요한 PHY 및 MAC 프로토콜을 정의하는 새로운 개정안을 개발



Source: <https://arxiv.org/pdf/2207.04859.pdf> , <https://b5g-mints.eu/blog36/>

# I. 개요

## ❖ SDR 기술을 활용한 격리 기간 중 신체 활동의 비접촉 스마트 센싱

- 일반 웨어러블 센서는 사람의 신체 활동을 감지하고 인식할 수 있지만, Wi-Fi Sensing은 스마트폰 및 기타 무선 디바이스를 비접촉 방식으로 지원하는 스마트 센싱으로 신체 활동을 지속적으로 모니터링하고 심각한 건강 문제로 고통받는 환자를 지원하는 데 유망한 솔루션
- 소프트웨어 정의 무선(SDR) 기술을 사용하여 격리 기간 동안 사람의 신체 활동을 모니터링하기 위한 비접촉식 스마트 센싱 플랫폼을 개발하며, 지능적이고 유연하며 휴대가 가능
- 수신된 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 신호와 세분화된 64-부반송파 무선 채널 상태 정보(WCSI)는 머신러닝 알고리즘을 적용하여 다양한 활동을 분류하는 데 활용
- 세밀한 트리 알고리즘을 사용하여 99.7%의 정확도로 서기, 걷기, 달리기, 구부리기 등과 함께 낙상 활동을 별도로 분류
- 스마트 센싱은 코로나19 증상을 감지하고 비전염성 및 전염성 질병을 모니터링하는 연구 방향을 제시

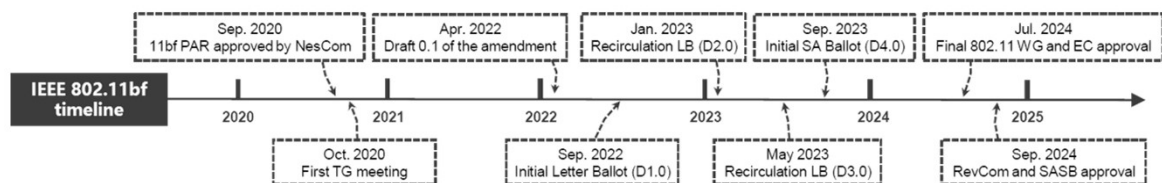
Wi-Fi 7의 320 MHz channel width를 이용하여 사람들 외에 대상하는 주변 환경, 동물, 사물을 감지, 인식, 추정하는 등 다른 영역에 적용 가능

Source: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/4/1348> Non-Contact Smart Sensing of Physical Activities during Quarantine Period Using SDR Technology

# I. 개요

## ❖ IEEE 802.11bf (Wi-Fi sensing) 표준화 활동의 타임라인

- TGbf(Task Group bf)의 주요 역할은 라이선스 면제 대역인 1GHz~7GHz 및 45GHz 이상(mmWave 주파수 대역)에서의 향상된 감지 작동을 위해 물리 계층(PHY)과 매체 액세스 제어(MAC) 모두에서 IEEE 802.11 표준(IEEE 802.11 ad/ay/n/ac/ax/be)의 수정을 정의하는 개정안을 개발하는 것이다.



Source: <https://b5g-mints.eu/blog36/>

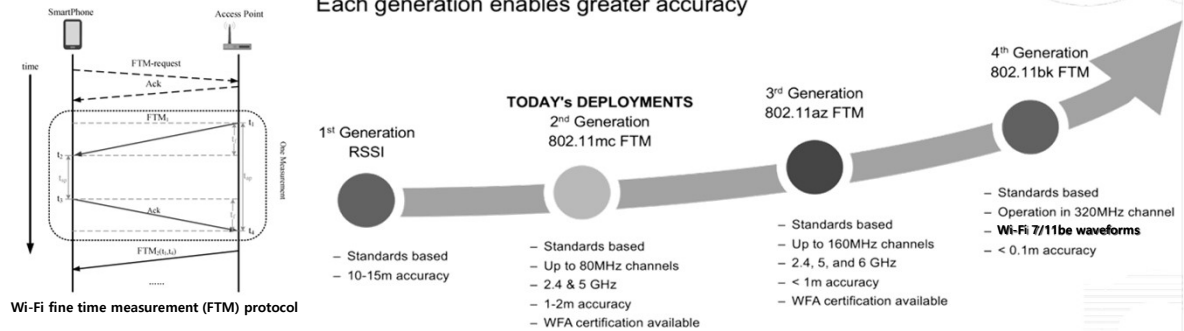
# I. 개요

## ❖ IEEE 802.11bk: 320 MHz positioning project to expand the FTM

- 320MHz 포지셔닝을 사용하는 정보 기술 표준, 시스템 간 통신 및 정보 교환, 무선 LAN 매체 액세스 제어(MAC) 및 물리 계층(PHY) 사양 개정

### The Evolution of Wi-Fi Location-based Services

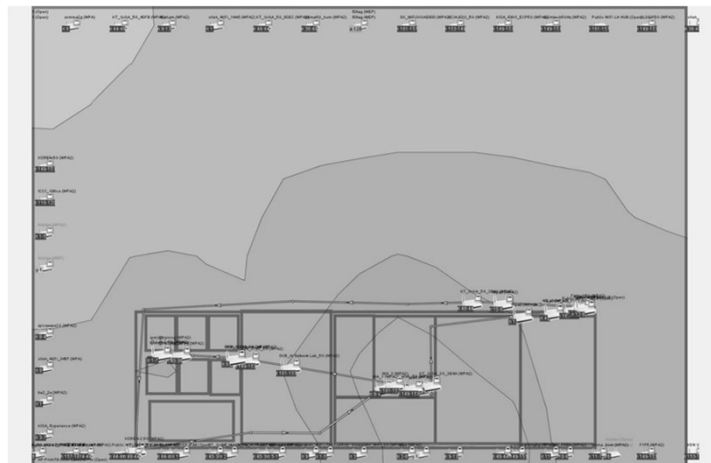
Each generation enables greater accuracy



Source: IEEE SA - P802.11bk <https://www.lumenci.com/> / <https://blogs.arubanetworks.com/solutions/wi-fi-location-based-services-how-did-we-get-here/>

# I. 개요

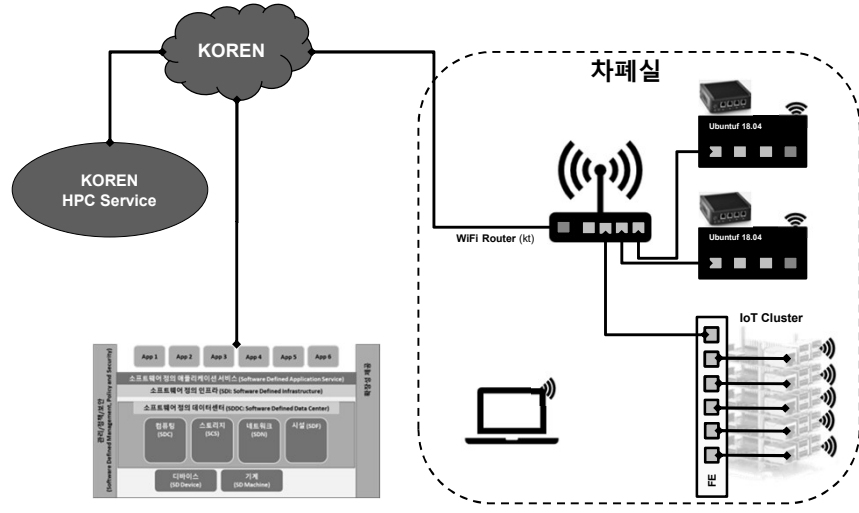
## ❖ Shield Room (차폐실) 과 와이파이 히트맵 (Wi-Fi Heatmap)



□ 벽에 대한 차폐 정도 등의 물리 정보 부족하여 탐지 위치 조정 필요

# I. 개요

## ❖ Shield Room (차폐실)이용 IoT를 위한 Wi-Fi 시험 구성 (예)



- I. 개요
- II. Wi-Fi 7 기술과 서비스
- III. Wi-Fi 7 응용 서비스 개발
- IV. NR 표준의 발전
- V. NR 표준 기술
- VI. NR 적용 시나리오
- VII. 활용 기술

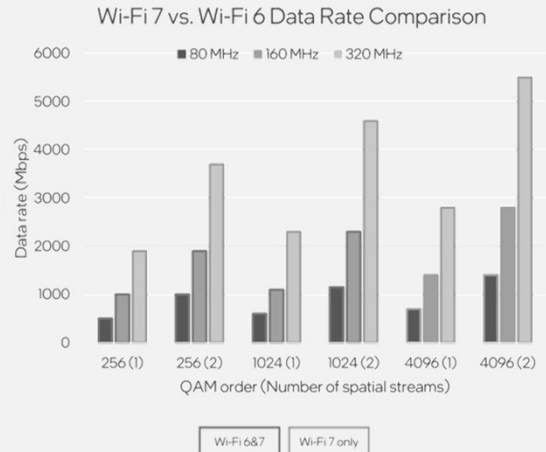
## II. WI-FI 7 기술과 서비스

47

### ❖ 제조사의 Wi-Fi 7의 주요 PHY 개선 사항 (Intel)

- Forward compatible preamble design: U-SIG
- Wider bandwidth: 320 MHz support
- Higher peak rate: 4096-QAM support and 16 spatial streams
- Enhanced resource allocation: Multiple resource units (RUs) allocation

	Wi-Fi 6	Wi-Fi 7
Max channel bandwidth	160 MHz	320 MHz
Highest modulation order	1024-QAM	4096-QAM
Max no. of spatial streams	8	8
Max data rate	~9.6 Gbps	~23 Gbps
Resource allocation	Single RU	Multi-RU



Source: Intel

JS Lab

47

## II. WI-FI 7 기술과 서비스

48

### ❖ Wi-Fi 7 표준 로드맵 (based on IEEE P802.11be)

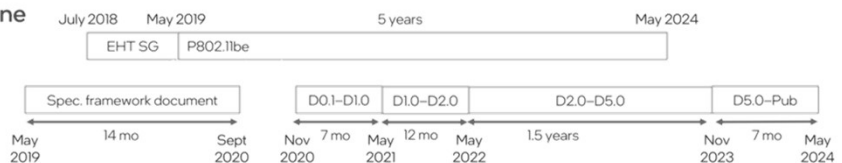
#### P802.11be project goals\*

- Amendment to 802.11, building on 11ax
- Maximum throughput of at least 30 Gbps
- Frequency range: 2.4, 5, 6 GHz
- Improvements to worst-case latency & jitter

#### Targeted usages



#### Target timeline



Source: [https://www.ieee802.org/11/PARs/P802\\_11be\\_PAR\\_Detail.pdf](https://www.ieee802.org/11/PARs/P802_11be_PAR_Detail.pdf)

JS Lab

48



## II. WI-FI 7 기술과 서비스

49

### ❖ 주요국 6GHz 활용을 위한 기술조건 비교

구분	대한민국		미국		유럽	
	주파수	출력	주파수	출력	주파수	출력
SP*	AP	-	5,925~6,425MHz 6,525~6,875MHz (AFC적용)	4,000mW (23dBm/MHz)	-	-
	Client	-		1,000mW (17dBm/MHz)		
LPI**	AP	5,925~7,125MHz	5,925~7,125MHz	1,000mW (5dBm/MHz)	5,925~6,425MHz	200mW
	Client			250mW (-1dBm/MHz)		
VLP***		5,925~6,425MHz	25mW (1dBm/MHz)	-	5,925~6,425MHz	25mW
비고	2020.10월 시행		2020.7월 시행		2021.1Q 시행 예정	

Source: 차세대 Wi-Fi의 개막과 활성화를 위한 논의 동향, 한국전자진흥협회 전파방송산업전략본부, 남원모

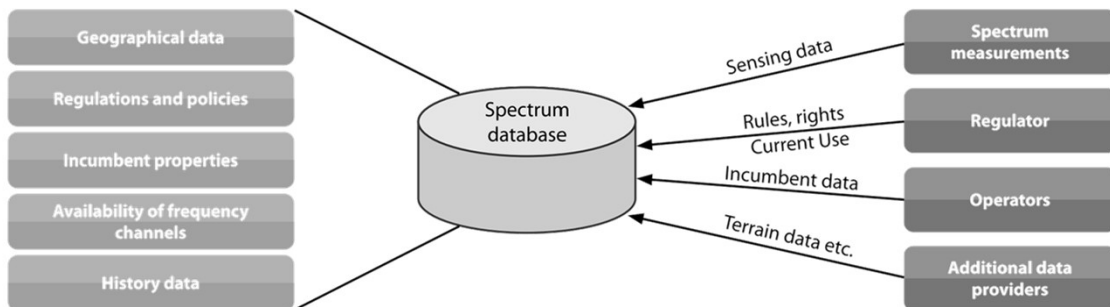
JS Lab

49

## II. WI-FI 7 기술과 서비스

50

### ❖ AFC(Automated Frequency Controller)를 위한 DB 기반의 주파수 관리 시스템



Source: [http://weekly.tta.or.kr/weekly/files/20214807044820\\_weekly.pdf](http://weekly.tta.or.kr/weekly/files/20214807044820_weekly.pdf)

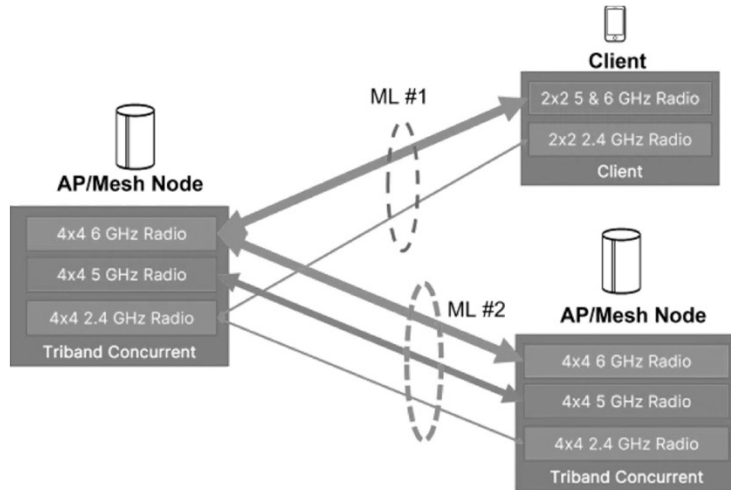
JS Lab

50

## II. WI-FI 7 기술과 서비스

51

### ❖ Multi Link Operations



Source: Onsemi

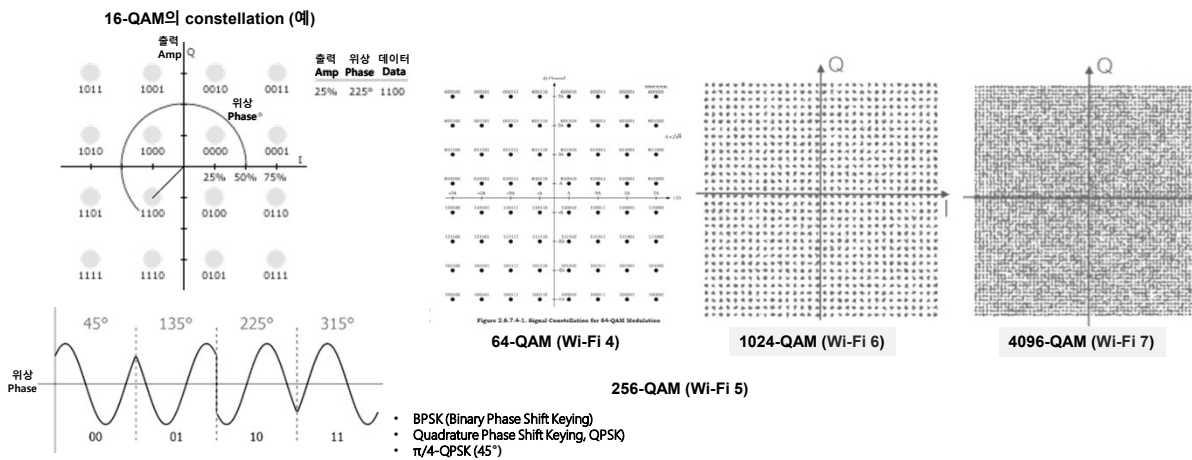
JS Lab

51

## II. WI-FI 7 기술과 서비스

52

### ❖ QAM은 signal space(신호 공간) 개념과 복소평면을 사용하는 constellation(구성, 별자리) 표현



Source: [https://namu.wiki/w/%EB%B3%80%EC%A1%B0\(%ED%86%B5%EC%8B%A0\)](https://namu.wiki/w/%EB%B3%80%EC%A1%B0(%ED%86%B5%EC%8B%A0))

JS Lab

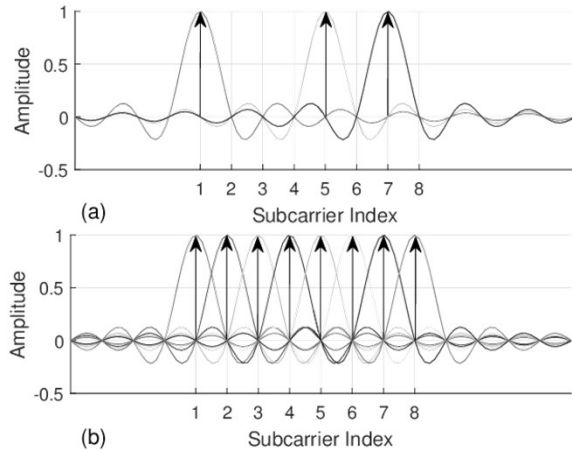
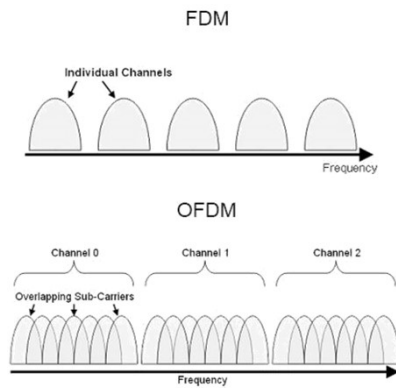
52

## II. WI-FI 7 기술과 서비스

53

### ❖ Waveforms and Mixed-Numerology

#### ❖ OFDM 신호의 스펙트럼



JS Lab

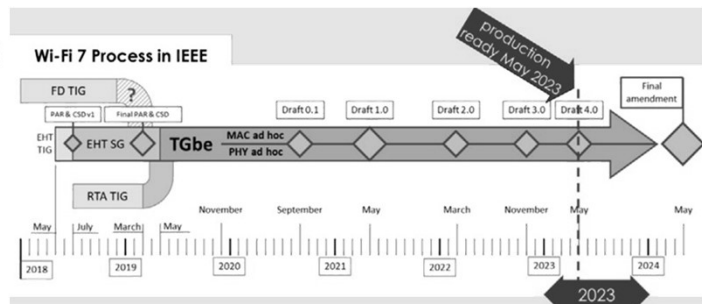
53

## II. WI-FI 7 기술과 서비스

54

### ❖ Wi-Fi 7's key feature set

- **Multi-link aggregation** (다중 링크 집계)
- **Bigger channels** (더 큰 채널)
- **Multi-band congestion avoidance** (다중 대역 혼잡 회피)
- **Multi-AP data transfer** (다중 AP 데이터 전송)
- **Multi-AP mobility** (다중 AP 이동성)
- **Roaming compatibility** (로밍 호환성)
- **Enhanced sensing** (향상된 감지 기능)
- **Restricted Targeted Wait Time (rTWT)** (목표 대기 시간 제한)



Source: Bejarano, Wi-Fi 7 – WHAT IS IT ALL ABOUT?, Whitepaper, Amdocs Networks



JS Lab

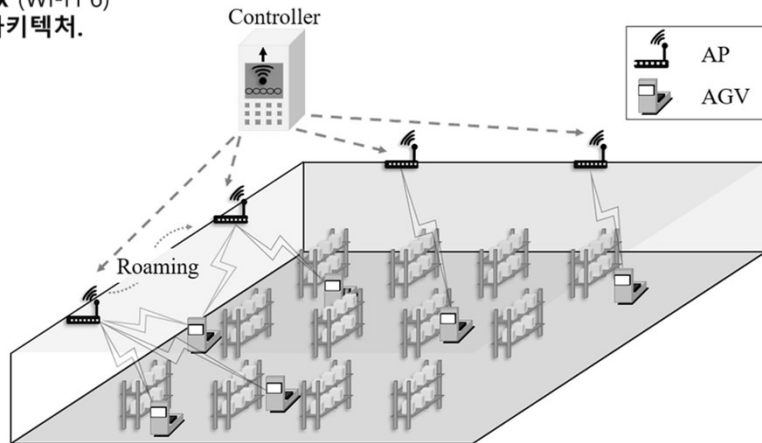
54

## II. WI-FI 7 기술과 서비스

55

### ❖ Wi-Fi 7의 로밍 호환성

- 스마트 웨어하우스에서 802.11ax (Wi-Fi 6) 기반 고속 로밍을 위한 시스템 아키텍처.



무인운반차량(AGV: Automated Guided Vehicle)

Source: Distributed Multi-Agent Deep Q-Learning for Fast Roaming in IEEE 802.11ax Wi-Fi Systems, Institute of Artificial Intelligence innovation, Industry Academia Innovation School



JS Lab

55

## II. WI-FI 7 기술과 서비스

56

### ❖ Wi-Fi 7의 320 MHz 대역폭

Wi-Fi 4 (802.11n)  
40 MHz Channel Bandwidth



Wi-Fi 5/6(6E) (802.11ac/ax)  
160 MHz Channel Bandwidth



Wi-Fi 7 (802.11be)  
320 MHz Channel Bandwidth



IEEE 802.11bk: 320 MHz positioning project  
320 MHz channel width Wi-Fi Sensing

Source: Onsemi



JS Lab

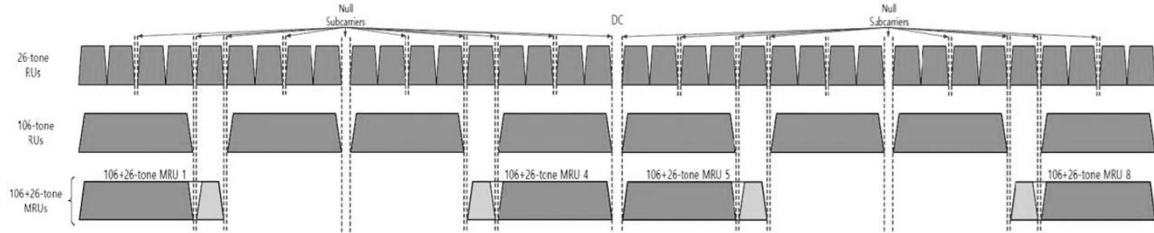
56

## II. WI-FI 7 기술과 서비스

57

### ❖ RU & MRU of 320 MHz OFDMA PPDU

- MRU(다중 리소스 유닛)는 Wi-Fi 6에 처음 도입된 또 다른 기능인 직교 주파수 분할 다중 액세스(OFDMA)를 기반으로 하는 Wi-Fi 7의 새로운 기능
- OFDMA는 주파수 내에서 독립적으로 변조되는 서브캐리어를 설정하여 여러 클라이언트와 동시에 전송할 수 있으므로 처리량은 증가하고 지연 시간은 줄어든다.
- MRU는 향상된 간섭 완화 및 OFDMA 효율성을 제공하여 다중 사용자 지연 시간을 25% 더 줄일 수 있다.



Source: Onsemi



JS Lab

57

- I. 개요
- II. Wi-Fi 7 기술과 서비스
- III. Wi-Fi 7 응용 서비스 개발
- IV. NR 표준의 발전
- V. NR 표준 기술
- VI. NR 적용 시나리오
- VII. 활용 기술

58

◆ ◆ ◆ ◆ james@jslab.kr

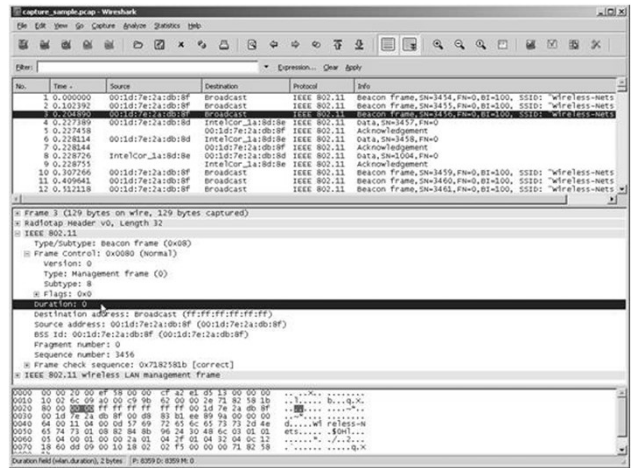
JS Lab

58

### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

#### ❖ 차폐실 (shield room)

- 인증이나 개발 시 원하는 브로드캐스트 무선 데이터만 캡처 가능

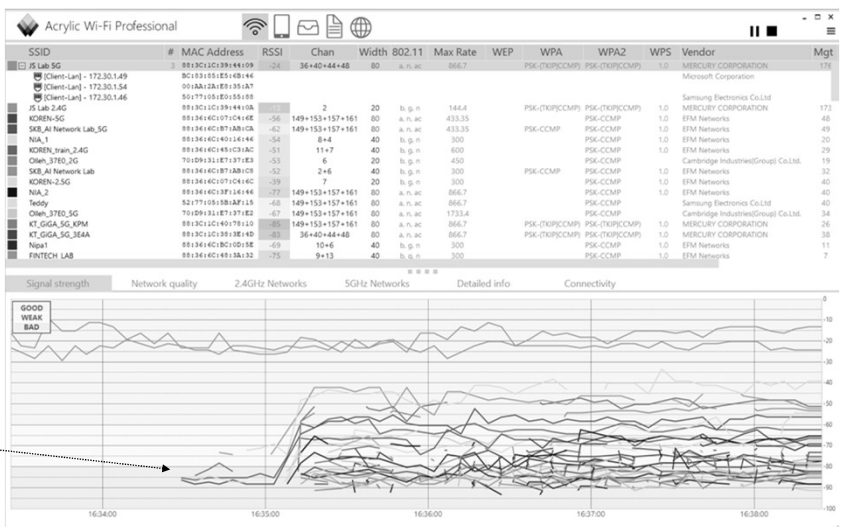


### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

#### ❖ 차폐실 (예)



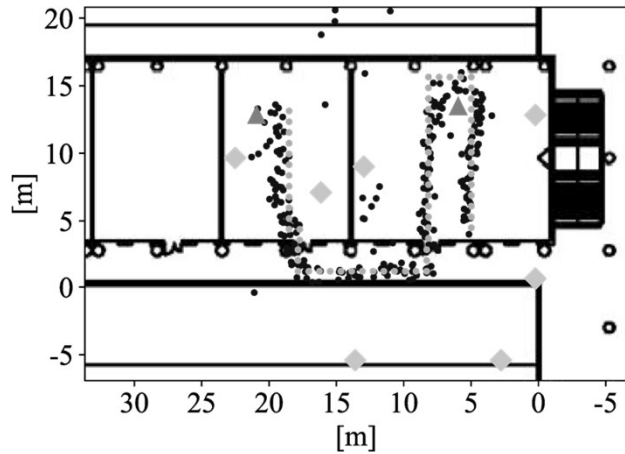
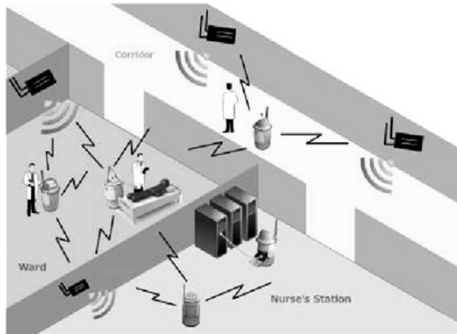
차폐실 Door Lock을 Open시 문을 열지 않더라도 외부 주파수 감지



### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

61

#### ❖ 실내 위치 추적 (Indoor Positioning)



Source: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/21/7020>



JS Lab

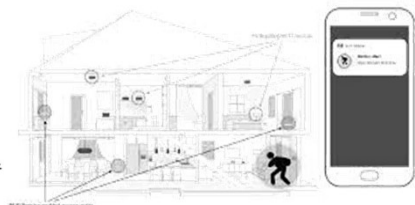
61

### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

62

#### ❖ Wi-Fi 센싱의 미래의 도전 과제

- 기존 Wi-Fi 센싱은 주로 사람에 초점
- 향후 Wi-Fi 센싱은 주변 환경, 동물, 사물을 감지, 인식, 추정하는 등 다른 영역에 적용될 수 있다.
- 기존 Wi-Fi 감지 기술의 주요 과제는 다음과 같다:
  - ✓ 견고성(Robustness): Wi-Fi 신호는 네트워크 설정, 환경, 사물, 사람, 지형 및 이동성 상황 등에 영향을 받기 쉬우므로 Wi-Fi 감지가 다양한 실제 환경에서 견고하게 작동하는 것이 매우 중요하고 어렵다.
  - ✓ 개인 정보 보호 및 보안: Wi-Fi 센싱의 장점 중 하나는 비침입적이고 방해가 되지 않는다는 것인데, 이로 인해 많은 개인정보 보호 및 보안 문제가 발생할 수 있다.
  - ✓ Wi-Fi 센싱과 네트워크의 공존: Wi-Fi는 무선 통신을 위해 설계되었지만 감지 애플리케이션을 위해 설계되지는 않았다. Wi-Fi 디바이스를 센싱에 사용하면 네트워크 성능에 영향을 미치고 네트워크 설정의 영향을 받을 수 있다.



Source: <https://www.lumenci.com/post/wi-fi-sensing-applications-and-standards-development?fbclid=IwAR3VIBcUSRc8t0-UPUMsb4YpLapLai3YDUeAiloVf3hf-LjBx62JEr2s9sY>



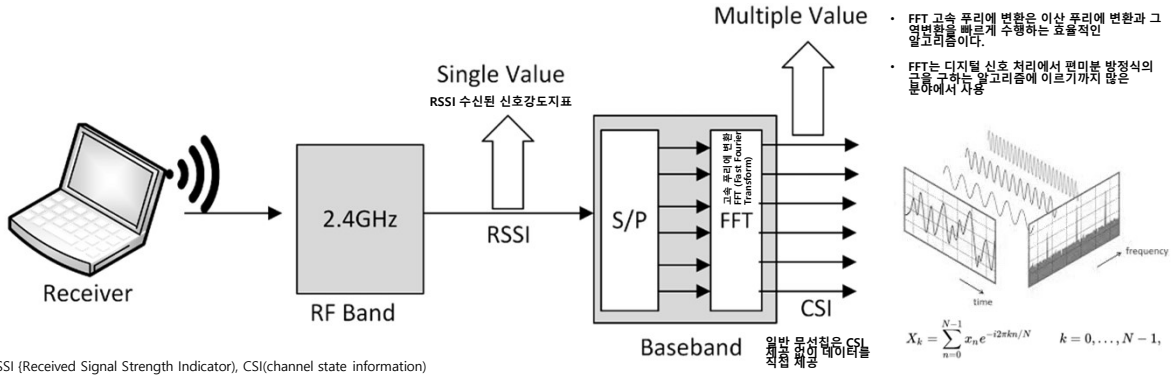
JS Lab

62

### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

❖ 시간-주파수 다이어그램 CNN 방식을 사용한 Wi-Fi 기반 인간 활동 분류 시스템

- 채널 상태 정보(CSI)를 사용하여 컨볼루션 신경망(CNN)을 학습
- Wi-Fi 기반의 낙상 감지 시스템
- 시뮬레이션 결과, 같은 장소와 다른 장소의 평균 정확도는 각각 93.2%와 90.3%



### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

❖ Experimental Setup 개요 (예)

- 수술 후 활동 감지를 위한 실험 설정
- 25~35세 사이의 남성 4명과 25세에서 35세 사이의 신체 구조, 키, 몸무게가 다른 4명의 남성과 1명의 여성
- 제시된 올바른 자세와 잘못된 자세 활동을 수행

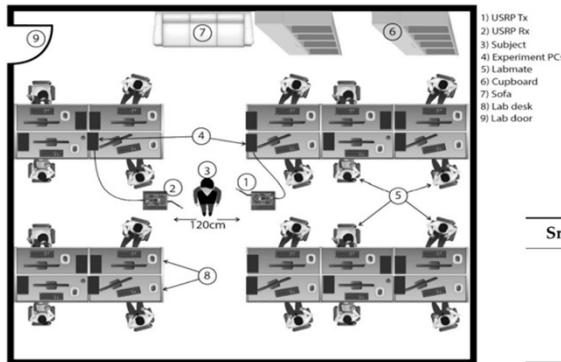


Figure 6. Expert prescribed posture: (a) wrong posture and (b) correct posture.

Sr.No	Subject	Body structure	Height (cm)	Weight (Kg)
1	Male	Ectomorph	168	55
2	Male	Endomorph	180	95
3	Female	Mesomorph	168	60
4	Male	Mesomorph	174	76
5	Male	Ectomorph	176	60

Source: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/14/4886>, Non-Contact Sensing Testbed for Post-Surgery Monitoring by Exploiting Artificial-Intelligence



### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

65

#### ❖ Experimental 시나리오 Setup (예)

- 25~35세 사이의 남성 4명과 25세에서 35세 사이의 신체 구조, 키, 몸무게가 다른 4명의 남성과 1명의 여성
- 제시된 올바른 자세와 잘못된 자세 활동을 수행하도록 한다.
- 올바른 자세와 잘못된 자세 웨이트 리프팅 활동 문헌 및 비디오를 사용하여 참가자를 교육
- 참가자는 올바른 자세와 잘못된 자세 활동을 모두 수행하며, 각 활동은 다음과 같은 목적으로 10회 반복
- 규정된 대로 무게를 짊어 드는 활동을 위한 척수 환자의 위치
- 모든 참가자 모든 환경적 영향과 함께 실험실의 정상적인 일상에서 두 가지 활동을 모두 수행했으며, 예를 들어 반사, 산란, 회절, 그림자 등 실험을 수행
- 실험을 위해 테이블과 의자 테이블, 의자, 찬장에 놓인 데스크톱 컴퓨터, 그리고 사람이 많은 환경을 설정
- 시스템의 효과를 검증하기 위해 다중 경로 효과를 고려

Source: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/14/4886>, Non-Contact Sensing Testbed for Post-Surgery Monitoring by Exploiting Artificial-Intelligence



JS Lab

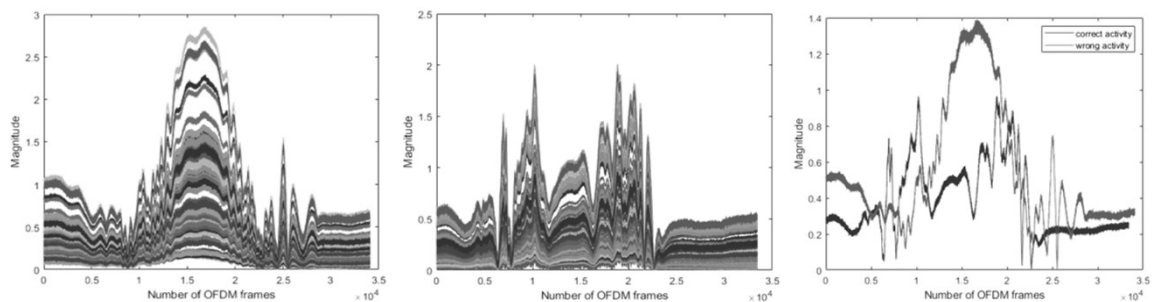
65

### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

66

#### ❖ Experimental Setup (예)

- 64 서브 캐리어를 사용한 올바른 활동의 결과
- 64 서브 캐리어를 사용한 잘못된 활동의 결과
- 올바른 활동과 잘못된 활동의 비교



Source: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/14/4886>, Non-Contact Sensing Testbed for Post-Surgery Monitoring by Exploiting Artificial-Intelligence



JS Lab

66

### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

67

❖ 오픈 하드웨어 사용(예): Hardware parameters for Non-contact sensing testbed architecture



Testbed	USRP B210
Antenna	Omni-directional
Device Frequency Range	70 MHz-6 GHz
Channel Mapping Rx	1
Channel Mapping Tx	1
Center Frequency	5.32 GHz
Clock Source & PPS Source	Internal
Master Clock Rate	200 MHz
Interpolation Factor	250
Enable Burst mode	False
Transport data type	int16
Decimation Factor	250
Output data type	Same as transport data type
Transmitter serial number	30AD2FE
Receiver serial number	30AD311
Transmitter Gain	70
Receiver Gain	50
Samples per frames	80

Source: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/14/4886>, Non-Contact Sensing Testbed for Post-Surgery Monitoring by Exploiting Artificial-Intelligence

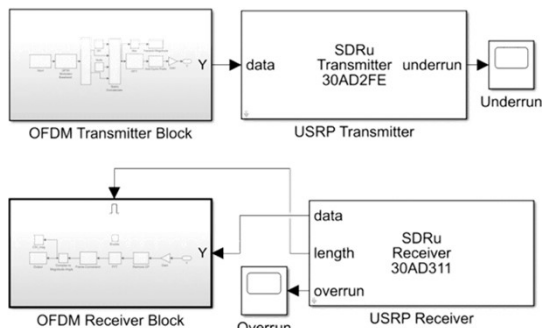
JS Lab

67

### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

68

❖ 시뮬레이터 사용(예): Simulink model / Software parameters



Parameter	Values/Type
Input Bits	104
Bits per Symbols (M)	2
Modulation type	QPSK
OFDM subcarriers	64
Data subcarriers	52
Null subcarriers	11
DC	1
Used subcarriers	52
NFFT	64
Cyclic prefix	NFFT - Data subcarriers
Sampling Frequency	80,000
Samples per frames	80

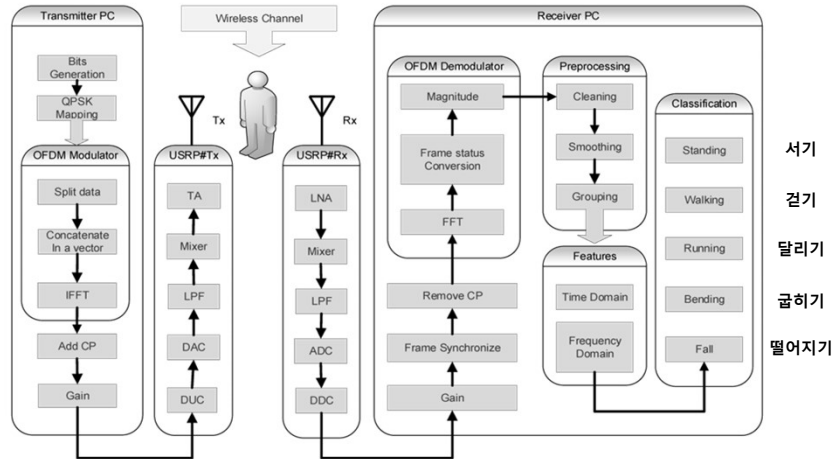
Source: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/14/4886>, Non-Contact Sensing Testbed for Post-Surgery Monitoring by Exploiting Artificial-Intelligence

JS Lab

68

### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

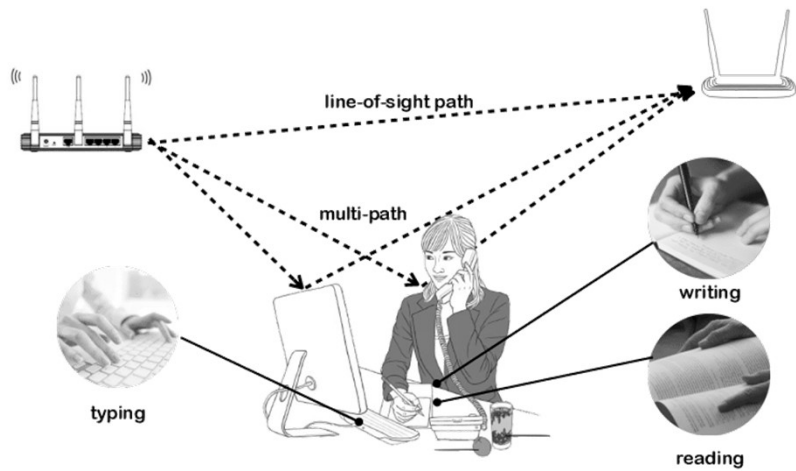
#### ❖ Non-contact smart sensing system overview.



Source: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/4/1348> Non-Contact Smart Sensing of Physical Activities during Quarantine Period Using SDR Technology

### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

#### ❖ 무선 신호 전파 및 앞서서 하는 다양한 일상 활동의 다중 경로 효과.



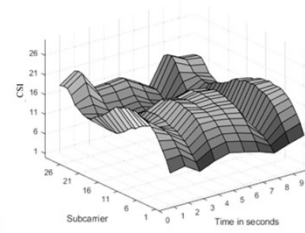
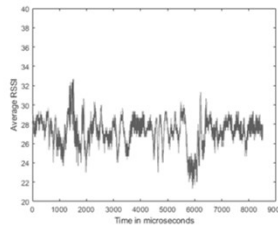
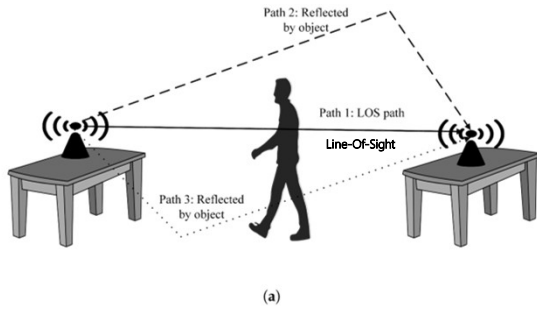
Source: Bejarano, Oscar. Wireless: A Total Beginner's Guide to Modern Wireless Communication Technologies (p. 183). Bitflip Media. Kindle Edition.

### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

71

❖ 시간-주파수 다이어그램 CNN 방식을 사용한 Wi-Fi 기반 인간 활동 분류 시스템

- a) An environment with different paths modulated in the WiFi signals;
- b) average RSSI;
- c) CSI for 30 sub-carriers.



RSSI (Received Signal Strength Indicator), CSI(Channel State Information), LOS (Line-Of-Sight)

Source: [https://www.mdpi.com/1424-8220/21/11/3797?fbclid=IwAR1jQSnWhrKvVKeaO4\\_xs9D1vPVAQmauDIRjtj9ScAhYsVWAexFNIYQnYhU](https://www.mdpi.com/1424-8220/21/11/3797?fbclid=IwAR1jQSnWhrKvVKeaO4_xs9D1vPVAQmauDIRjtj9ScAhYsVWAexFNIYQnYhU)



JS Lab

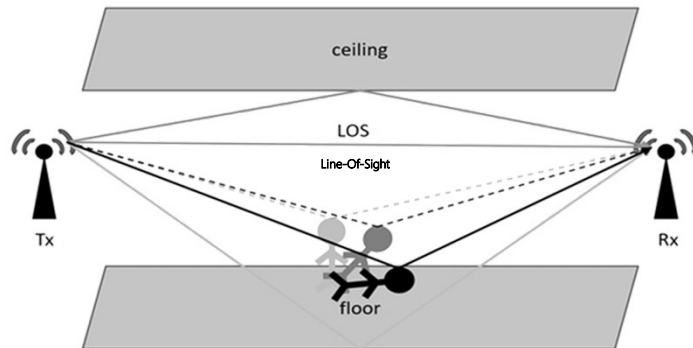
71

### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

72

❖ Channel State Information (CSI)

- a) An environment with different paths modulated in the WiFi signals;
- b) average RSSI;
- c) CSI for 30 sub-carriers.



RSSI (Received Signal Strength Indicator), CSI(channel state information)

Source: [https://www.mdpi.com/1424-8220/21/11/3797?fbclid=IwAR1jQSnWhrKvVKeaO4\\_xs9D1vPVAQmauDIRjtj9ScAhYsVWAexFNIYQnYhU](https://www.mdpi.com/1424-8220/21/11/3797?fbclid=IwAR1jQSnWhrKvVKeaO4_xs9D1vPVAQmauDIRjtj9ScAhYsVWAexFNIYQnYhU)



JS Lab

72

### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

73

#### ❖ Wi-Fi Routers Used to Detect Human Locations, Poses Within a Room



Source: <https://www.tomshardware.com/news/wi-fi-routers-used-to-detect-human-locations-poses-within-a-room>



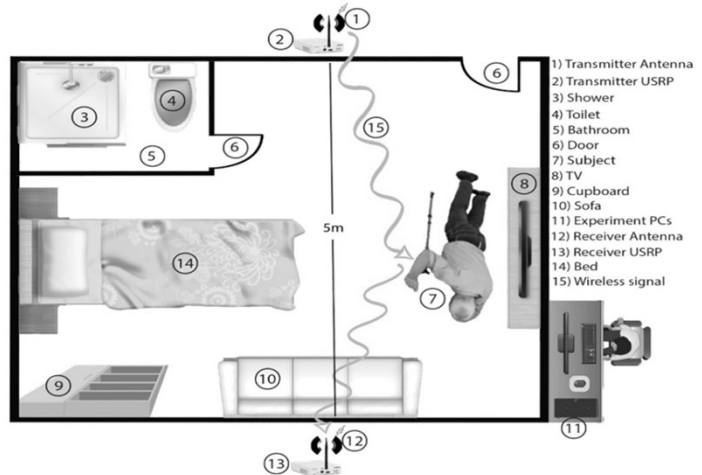
JS Lab

73

### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

74

#### ❖ Experimental setup (예): collecting WCSI data using SDR technology.



Wireless channel state information (WCSI)

Source: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/4/1348> Non-Contact Smart Sensing of Physical Activities during Quarantine Period Using SDR Technology



JS Lab

74

### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

75

#### ❖ 무선 위치에서 신경망 원자 잡음 제거의 도착 시간 추정 (The Time-of-Arrival Offset Estimation in Neural Network Atomic Denoising in Wireless Location:

- WiFi를 기반으로 한 실내 측위
- 채널 상태 정보(CSI)는 수신 신호 강도 표시기(RSSI)에 비해 무선 전파 환경을 더 정확하게 포착
- 정확한 CSI 기반 측위를 위해서는 신호 대역폭, 간섭, 잡음 등을 고려
- 신경망의 직접 가중치 결정 방법을 사용하여 사전의 노이즈를 제거하고 압축 센싱(CS)을 사용하여 채널 임펄스 응답(CIR)을 추출하는 새로운 사전 필터링 방법
- 피크 검색을 통해 고정밀 도착 시간(TOA)을 추정
- 중앙값 필터링 알고리즘을 사용하여 도착 시간 차이(TDOA) 기술을 기반으로 대상 디바이스를 찾는다.
- WiFi 측위 테스트베드에서 수집한 데이터를 사용
- 지문 위치추적 방식에 비해 사전 현장 조사가 필요하지 않아 빠른 시스템 구축이 가능

Source: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/14/5364>, The Time-of-Arrival Offset Estimation in Neural Network Atomic Denoising in Wireless Location

JS Lab

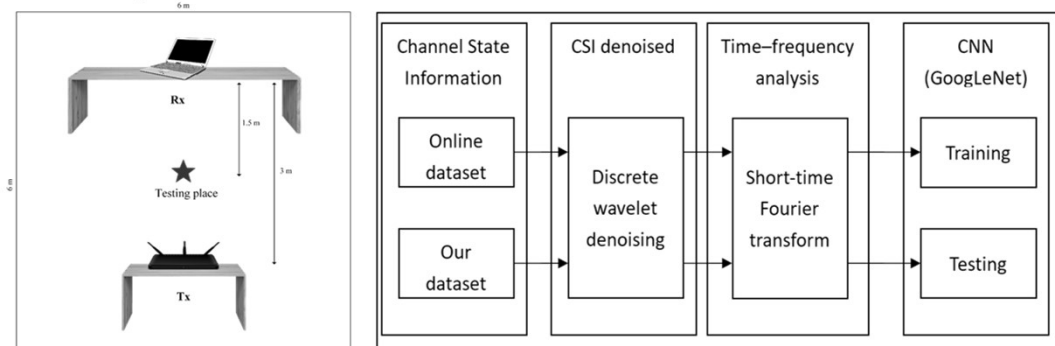
75

### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

76

#### ❖ Convolutional neural network 'CNN'(GoogLeNet) 모델을 사용하는 4단계 시스템 아키텍처

- Stage Two: Denoising
- Stage Three: Short-Time Fourier Transform;
- Stage Four: GoogLeNet.



RSSI (Received Signal Strength Indicator), CSI(channel state information) GoogLeNet: 네트워크의 depth와 width를 늘리면서도 내부적으로 inception 모듈을 활용해 computational efficiency를 확보한 모델  
Source: [https://www.mdpi.com/1424-8220/21/11/3797?fbclid=IwAR1jQSnWhrKvVKeaO4\\_xs9D1vPVAQmauDIRjtj9ScAhYsWAexFNiYQnYhU](https://www.mdpi.com/1424-8220/21/11/3797?fbclid=IwAR1jQSnWhrKvVKeaO4_xs9D1vPVAQmauDIRjtj9ScAhYsWAexFNiYQnYhU)

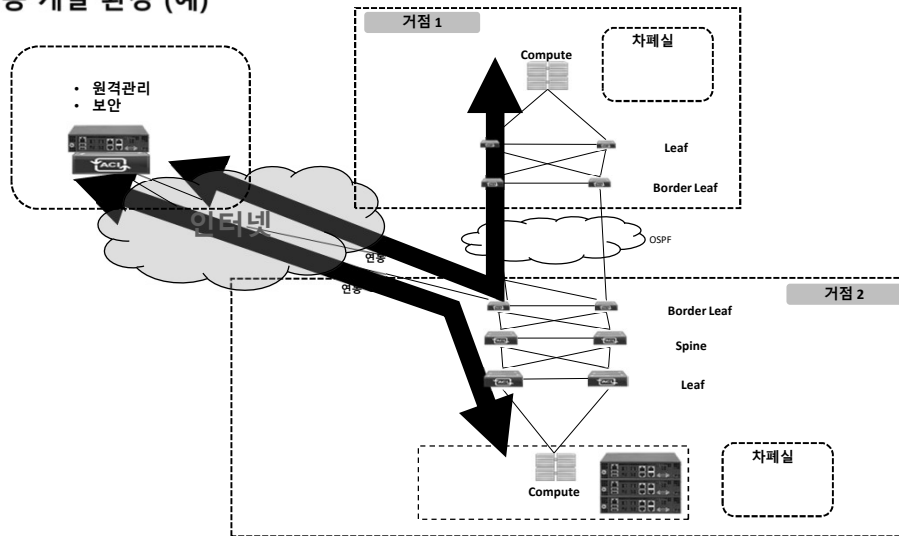
JS Lab

76

### III. WI-FI 7 응용 서비스 개발

77

#### ❖ 차폐실 이용 개발 환경 (예)



JS Lab

77

- I. 개요
- II. Wi-Fi 7 기술과 서비스
- III. Wi-Fi 7 응용 서비스 개발
- IV. NR 표준의 발전
- V. NR 표준 기술
- VI. NR 적용 시나리오
- VII. 활용 기술

78

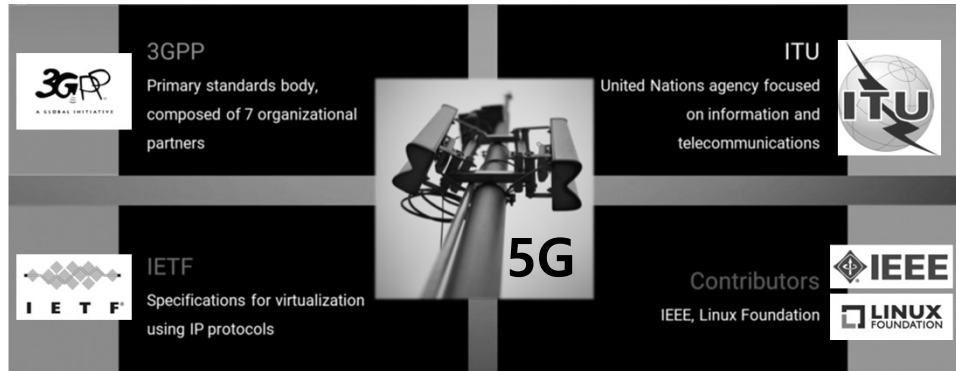
78

## IV. NR 표준의 발전

79

### ❖ 5G 무선 표준 기관

- 3GPP
- ITU
- IETF
- IEEE
- 리눅스 재단
- 기타



JS Lab

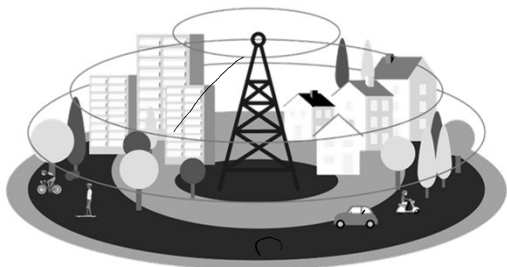
79

## IV. NR 표준의 발전

80

- ❖ 5G는 더 큰 대역폭의 스펙트럼을 사용
- ❖ 5G 안테나는 빔포밍 기술을 이용하여 동일 주파수를 반복 사용하며 무선 대역폭을 확대

### 4G antenna



### 5G antenna



MIMO (Multiple Input Multiple Output) 스마트 안테나를 사용하여 빔포밍(Beamforming)을 구현  
Source: <https://radio-waves.orange.com/en/radio-networks-and-antennas/5g/>



JS Lab

80



# IV. NR 표준의 발전

## ❖ 5G NR 기술

- OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing)
- Self-contained slot based framework
- Channel Coding
- MU-MIMO
- mmWave

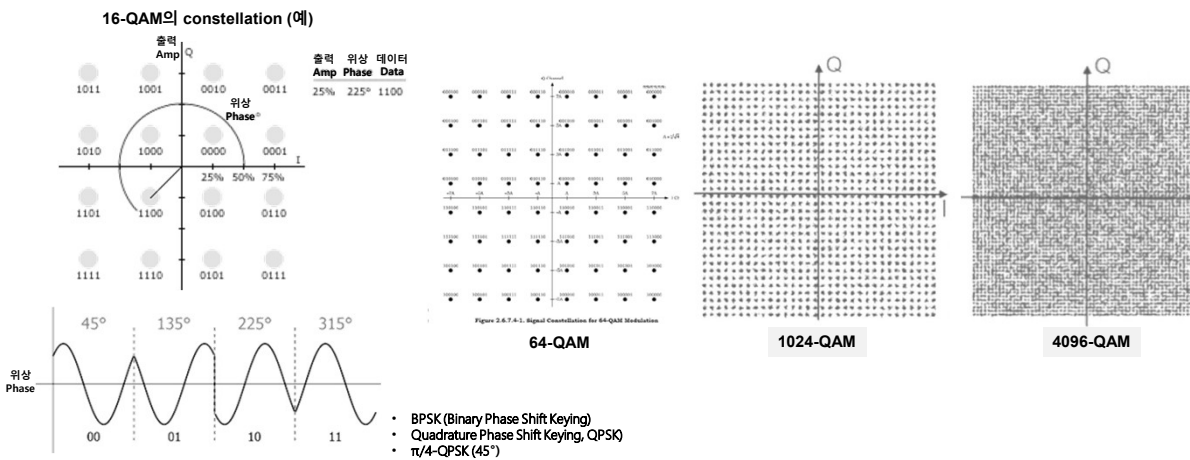


Source: <https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=11764280&memberNo=20717909>



# IV. NR 표준의 발전

## ❖ QAM은 signal space(신호 공간) 개념과 복소평면을 사용하는 constellation(구성, 별자리) 표현



Source: [https://namu.wiki/w/%EB%B3%80%EC%A1%B0\(%ED%86%B5%EC%8B%A0\)](https://namu.wiki/w/%EB%B3%80%EC%A1%B0(%ED%86%B5%EC%8B%A0))

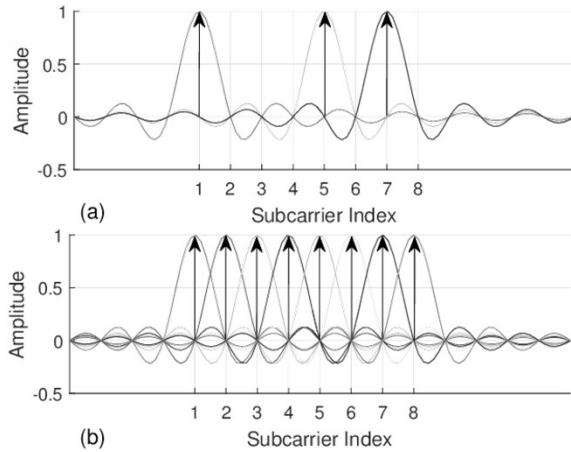
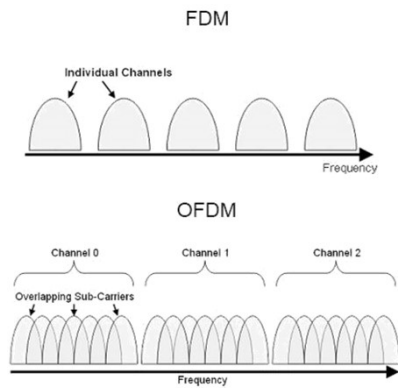


## IV. NR 표준의 발전

83

### ❖ Waveforms and Mixed-Numerology

#### ❖ OFDM 신호의 스펙트럼



JS Lab

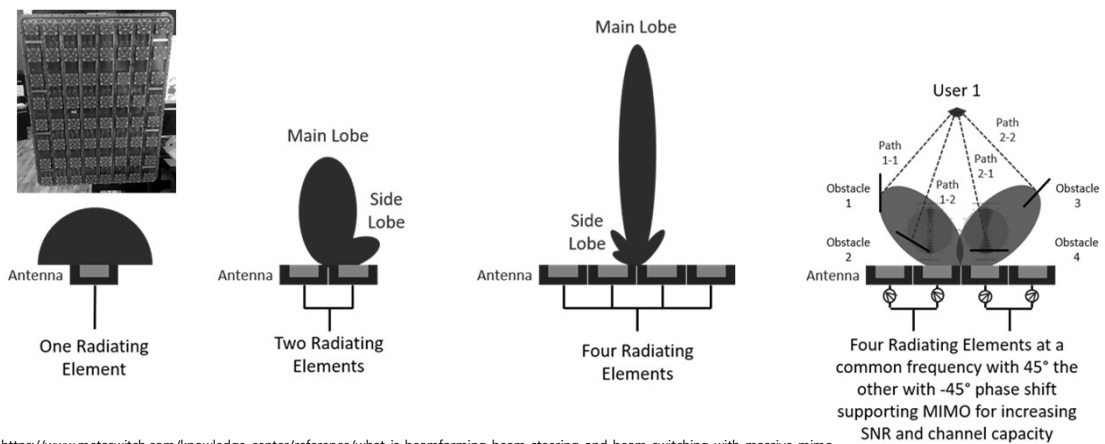
83

## IV. NR 표준의 발전

84

### ❖ 빔포밍 (What is 5G beamforming?)

- 무선의 위상제어(Beam steering): 위상변화를 수신자 목표로 지향성 무선 신호를 송신



Source: <https://www.metaswitch.com/knowledge-center/reference/what-is-beamforming-beam-steering-and-beam-switching-with-massive-mimo>



JS Lab

84

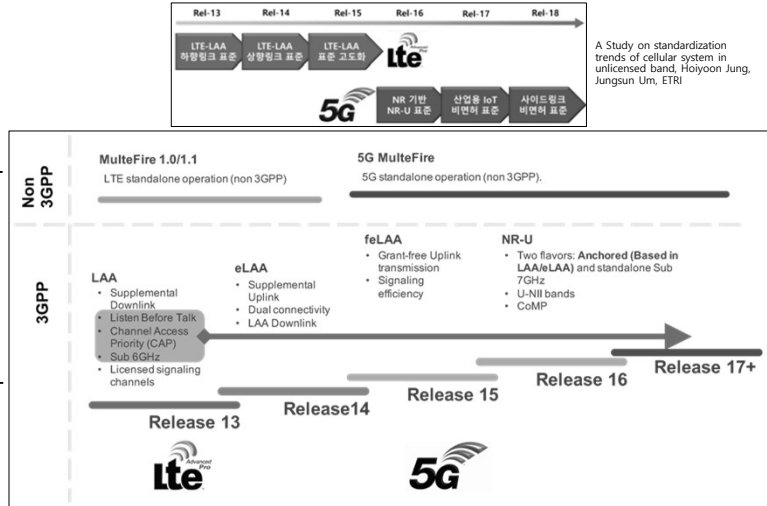
# IV. NR 표준의 발전

## ❖ 3GPP 비면허 무선 표준 발전

- MuLTEfire Alliance에서 개발한 멀티 파이어는 비면허 대역에서 LTE의 또 다른 변형으로, 스몰셀용 LTE의 독립형 버전으로 제안되었다.
- 이 변형은 비면허 스펙트럼 만 기본 및 유일한 캐리어로 사용하며 향후 중립 호스트가 LTE를 배포 할 수 있는 기회를 제공한다.
- 비면허 대역에서 LTE의 독립형 작동 아이디어는 원래 3GPP의 소수의 공급 업체가 제안했지만 기술이 면허가 있는 스펙트럼 보유에 의존하기를 원하는 네트워크 사업자에 의해 거부되었다.

- LTE-Unlicensed, LTE-U
- License Assisted Access (LAA)
- enhanced-Licensed Assisted Access (eLAA)
- Further Enhanced LAA (feLAA).

Source: <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/10/1701>



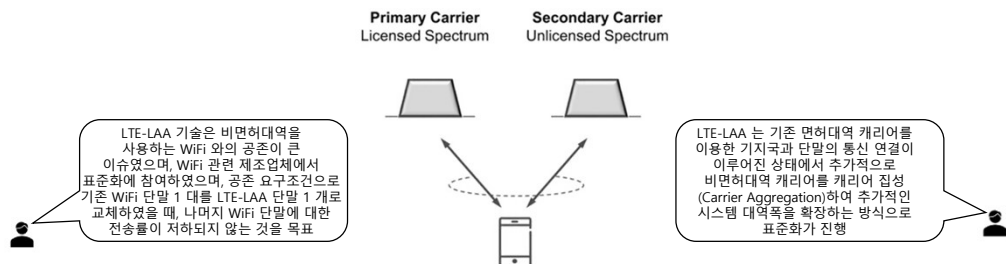
A Study on standardization trends of cellular system in unlicensed band. Hoiyeon Jung, Jungsun Um, ETRI



# IV. NR 표준의 발전

## ❖ LTE-LAA(Licensed Assisted Access)

- 증가하는 모바일 데이터 수요를 충족하기 위한 기술
- 중요한 정보는 면허 주파수 대역을 사용하고, 필요시 추가적인 전송이 가능한 비면허 주파수 대역 사용
- LTE 기기가 허가된 주파수 외에 5GHz 대역과 같은 비면허 주파수에 접속할 수 있도록 하는 기술이며, 이를 통해 데이터 속도와 용량을 높일 수 있을 뿐만 아니라 수요가 많은 지역의 커버리지를 개선
- 캐리어 어그리게이션 기술을 사용하여, 여러 개의 LTE 캐리어를 결합하여 더 넓은 대역폭을 생성
- 한 통신사는 면허를 받은 스펙트럼을 사용하고 다른 통신사는 면허를 받지 않은 스펙트럼을 사용
- 면허 주파수의 안정성과 성능, 비면허 주파수의 비용 효율성과 유연성이라는 두 가지 장점

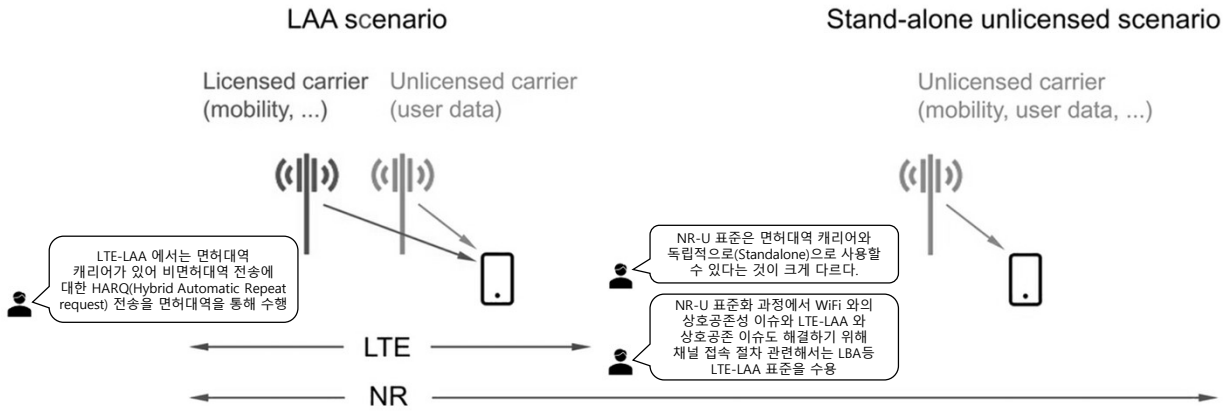


Source: Dahlman, Erik; Parkvall, Stefan; Skold, Johan. 5G NR (p. 105). Elsevier Science. Kindle Edition.



# IV. NR 표준의 발전

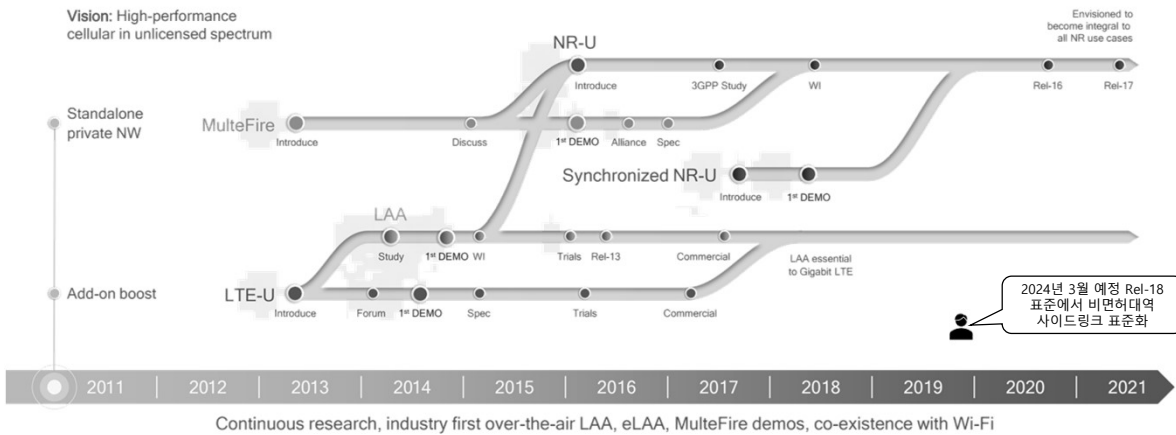
## ❖ 비면허 스펙트럼에서의 NR, 라이선스 지원 작동(왼쪽) 및 완전 독립형(오른쪽)



Source: Dahlman, Erik; Parkvall, Stefan; Skold, Johan. 5G NR (p. 105). Elsevier Science. Kindle Edition.

# IV. NR 표준의 발전

## ❖ From LTE-U/LAA to NR-U

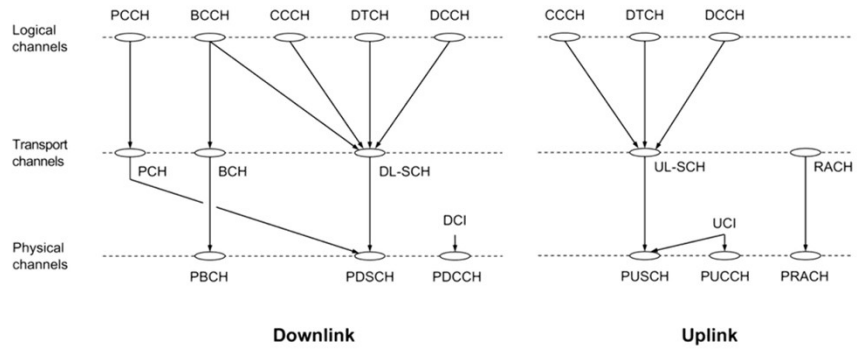


Source: [https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/how\\_nr\\_u\\_can\\_transform\\_what\\_5g\\_can\\_do\\_for\\_you\\_0.pdf](https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/how_nr_u_can_transform_what_5g_can_do_for_you_0.pdf)

# IV. NR 표준의 발전

## ❖ 논리적, 전송 및 물리적 채널 간 매핑

- Paging Control Channel (PCCH)
- Broadcast Control Channel (BCCH),
- Random-Access Channel (RACH)
- Common Control Channel (CCCH)
- Dedicated Control Channel (DCCH)
- Dedicated Traffic Channel (DTCH)
- Broadcast Channel (BCH)
- Paging Channel (PCH)
- The Downlink Shared Channel (DL-SCH)
- Uplink Shared Channel (UL-SCH)
- Discontinuous Reception (DRX)
- PBCH Physical Broadcast Channel
- PRACH Physical Random-Access Channel
- PDCCH Physical Downlink Control Channel
- PDSCH Physical Downlink Shared Channel
- PUCCH Physical Uplink Control Channel
- PUSCH Physical Uplink Shared Channel
- Physical Sidelink Control Channel (PSSCH)



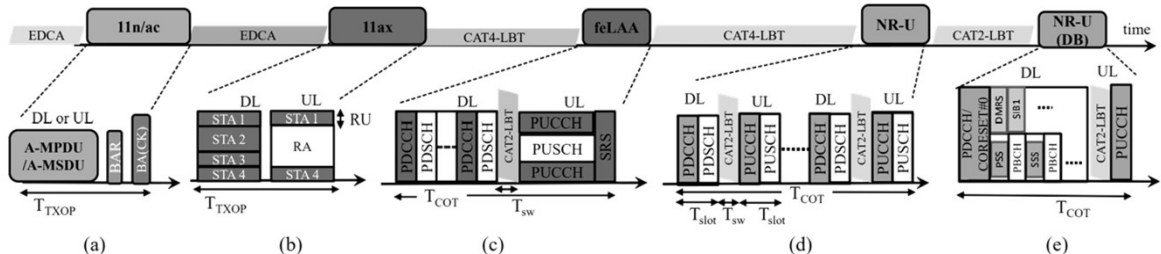
Source: Dahlman, Erik; Parkvall, Stefan; Skold, Johan. 5G NR (p. 185). Elsevier Science. Kindle Edition.

# IV. NR 표준의 발전

## ❖ 7GHz 미만의 비면허 UNII 대역에서 다양한 기술 운영

- IEEE 802.11n/ac
- IEEE 802.11ax
- LTE-LAA exemplified by feLAA
- NR-U 검색 전송 없이 (without discovery transmission)
- NR-U 검색 프레임 전송 사용 (with discovery frame transmission)

- PDCCH Physical Downlink Control Channel
- PDSCH Physical Downlink Shared Channel
- PUCCH Physical Uplink Control Channel
- PUSCH Physical Uplink Shared Channel



Discovery Burst (DB): PDSCH를 스케줄링하는 관련 PDCCH의 조합을 DB라고 한다. DB는 지속 시간이 짧고 빈도가 낮다.

Source: [https://arxiv.org/pdf/2012.10937.pdf?fbclid=IwAR23813GNVgyowKn30r6lUJH7jzFbp8jCOWqdvR\\_hURWnQEQGrLI2OhgMnBY](https://arxiv.org/pdf/2012.10937.pdf?fbclid=IwAR23813GNVgyowKn30r6lUJH7jzFbp8jCOWqdvR_hURWnQEQGrLI2OhgMnBY), G New Radio Unlicensed: Challenges and Evaluation

## IV. NR 표준의 발전

91

### ❖ 비면허 스펙트럼에서 NR-U와 다양한 LTE 변형의 비교

- NR-U
- LAA
- LTE-U
- MulteFire

	NR-U	LAA	LTE-U	MulteFire
Deployment scenario	carrier aggregation, dual connectivity (NR-NR, LTE-NR), standalone, DL-UL	carrier aggregation	carrier aggregation	standalone
Operational bands	2.4, 3.5, 5, 6, 37, 60 GHz	5 GHz	5 GHz	5 GHz
Duplexing mode	FDD, semi-static TDD, dynamic TDD	FDD (LAA), semi-static TDD (eLAA)	FDD	semi-static TDD
Channel access scheme	LBT	LBT	duty-cycle	LBT
Type of carrier sense	omni/dir	omni	-	omni
Dimensions for carrier sense	time, frequency (channel and bandwidth part), space	time, frequency (channel)	-	time, frequency (channel)
Scheduling dimensions	time, frequency, space	time, frequency	time, frequency	time, frequency
Processing delays (described in Section X)	1 slot: 1, 0.5, 0.25, 0.125 ms (numerology-dependent)	1 subframe: 1 ms	1 subframe: 1 ms	1 subframe: 1 ms
Time-domain resource allocation granularity	1 OFDM symbol: 0.066, 0.033, 0.017, 0.008 ms	1 subframe: 1 ms	1 subframe: 1 ms	1 subframe: 1 ms
Frequency-domain resource allocation granularity	1 Resource Block (RB): 180, 260, 720, 1440 kHz (numerology-dependent)	1 RB: 180 kHz	1 RB: 180 kHz	1 RB: 180 kHz

Source: [https://www.researchgate.net/publication/336786850\\_New\\_Radio\\_Beam-Based\\_Access\\_to\\_Unlicensed\\_Spectrum\\_Design\\_Challenges\\_and\\_Solutions](https://www.researchgate.net/publication/336786850_New_Radio_Beam-Based_Access_to_Unlicensed_Spectrum_Design_Challenges_and_Solutions)

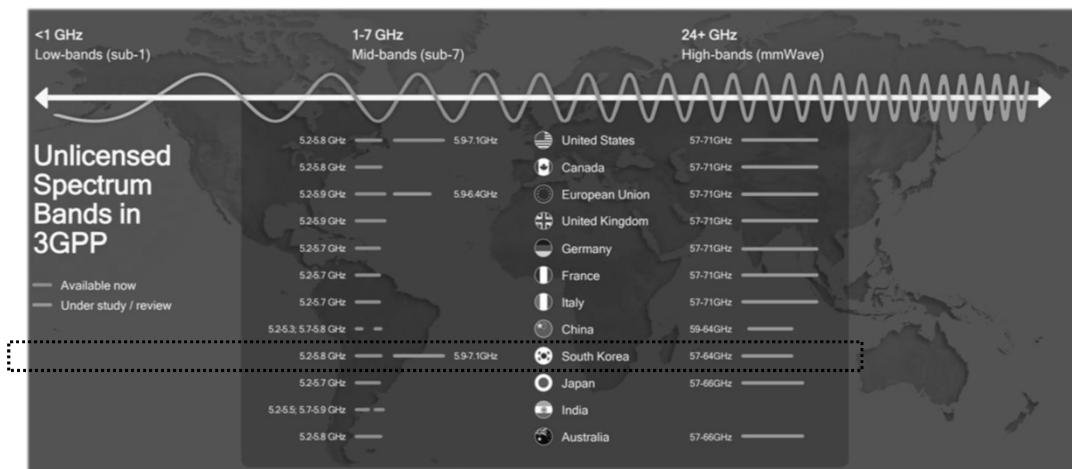
JS Lab

91

## IV. NR 표준의 발전

92

### ❖ 5G NR 표준화 (Rel. 16) - 라이선스 지원 및 비면허 스펙트럼의 독립형 사용을 모두 지원



Source: [https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/how\\_nr\\_u\\_can\\_transform\\_what\\_5g\\_can\\_do\\_for\\_you\\_0.pdf](https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/how_nr_u_can_transform_what_5g_can_do_for_you_0.pdf)

JS Lab

92

## IV. NR 표준의 발전

93

### ❖ 5G 스펙트럼 사용으로 데이터 전송 속도 향상 및 비트당 전송 비용 절감

5G Frequency Ranges	Maximum RF Channel Bandwidth	Maximum CA Channel Bandwidth
FR1 410 MHz – 7125 MHz	100 MHz	400 MHz
FR2-1 24250 MHz – 52600 MHz	400 MHz	800 MHz
FR1 + FR2-1 – 410 MHz to 52600 MHz	n/a	1200 MHz
FR2-2 52600 MHz – 71000 MHz	400 MHz	1200 MHz
FR2-2 52600 MHz – 71000 MHz (optional)	2000 MHz	N/A

Carrier Aggregation (CA)

Source: User Equipment (UE) radio transmission and reception 3GPP TS 38.101-2

JS Lab

93

## IV. NR 표준의 발전

94

### ❖ 할당된/대상 5G 스펙트럼의 글로벌 스냅샷

- 5G는 다양한 스펙트럼 유형/대역에 맞게 설계되고 있다.

	<1GHz	3GHz	4GHz	5GHz	6GHz	24-30GHz	37-50GHz	64-71GHz	>95GHz
600MHz (2x35MHz) (2x3MHz) (B41/n41)	900MHz 2.5/2.6GHz	3.1-3.45GHz 3.45-3.55GHz 3.55-3.7GHz	3.7-3.78GHz 3.78-3.98GHz	4.94-4.99GHz	5.9-7.1GHz	24.25-24.45GHz 24.75-25.25GHz 27.5-28.35GHz	37-37.8GHz 37.6-40GHz 47.2-48.2GHz	57-64GHz 64-71GHz	>95GHz
600MHz (2x35MHz)		3.475-3.65GHz	3.65-4.0GHz			26.5-27.5GHz 27.5-28.35GHz	37-37.8GHz 37.6-40GHz	57-64GHz 64-71GHz	
700MHz (2x30 MHz)		3.4-3.8GHz		5.9-6.4GHz		24.5-27.5GHz		57-66GHz	
700MHz (2x30 MHz)		3.4-3.8GHz				26GHz		57-66GHz	
700MHz (2x30 MHz)		3.4-3.8GHz				26GHz		57-66GHz	
700MHz (2x30 MHz)		3.46-3.8GHz				26GHz		57-66GHz	
700MHz (2x30 MHz)		3.6-3.8GHz				26.5-27.5GHz		57-66GHz	
700MHz	2.5/2.6GHz (B41/n41)	3.3-3.6GHz		4.8-5GHz		24.75-27.5GHz		40.5-43.5GHz	
700/800MHz	2.3-2.39GHz	3.4-3.42GHz 3.42GHz	3.7-4.0GHz	5.9-7.1GHz		26.5GHz 28.9GHz 29.5GHz	37GHz	57-66GHz	
		3.6-4.1GHz	4.5-4.9GHz			26.6-27GHz 27-29.5GHz	39-43.5GHz	57-66GHz	
700MHz		3.3-3.6GHz				24.25-27.5GHz 27.5-29.5GHz	37-43.5GHz		
		3.4-3.7GHz				24.25-29.5GHz	39GHz	57-66GHz	

Source: [https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/messaging\\_presentation\\_-\\_4g\\_5g\\_spectrums\\_-\\_december\\_2020.pdf](https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/messaging_presentation_-_4g_5g_spectrums_-_december_2020.pdf)

New 5G band  
 — Licensed  
 — Unlicensed/shared  
 — Existing band

JS Lab

94

# IV. NR 표준의 발전

## ❖ 2.4GHz, 5GHz, 6GHz 및 60GHz 비면허 대역 간 비교

제약점			
2.4GHz	5GHz / 6GHz		60GHz
<ul style="list-style-type: none"> <li>매우 혼잡함</li> <li>데이터 속도 저하</li> <li>간섭에 더 취약함</li> <li>5GHz 또는 6GHz보다 단위 주파수당 경치 수 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>낮은 커버리지 (2.4GHz 대역 대비)</li> <li>더 높은 침투 및 경로 손실</li> <li>2.4GHz보다 간섭에 덜 취약함</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>매우 높은 침투율 및 경로 손실</li> <li>차단</li> <li>선소 흡수</li> </ul>
장점			
2.4GHz	5GHz	6GHz	60GHz
<ul style="list-style-type: none"> <li>가장 많이 활용되는 비면허 공유 대역</li> <li>낮은 주파수로 인한 유리한 신호 전파 특성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2.4GHz보다 혼잡과 간섭이 적음</li> <li>대량의 스펙트럼 대역폭(예: 500MHz)을 사용할 수 있다.</li> <li>대부분의 IEEE 802.11 기반 기술은 5GHz 대역에서 작동</li> <li>실내에서 작동하는 SC에 적합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>5GHz와 달리 LTE-LAA의 채널 액세스 프로토콜을 현재 비면허 장치가 작동하지 않는 6GHz 대역의 WiFi 장치에서 사용하는 프로토콜에 맞출 필요가 없다</li> <li>실내 작동은 기본적으로 허용된다</li> <li>미래 모바일 네트워크의 고용량 수요에 대응할 수 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>넓은 스펙트럼 대역폭 가능성</li> <li>가시선(LOS) 신호 구성 요소</li> <li>실내 단거리에서 고용량 및 데이터 속도.</li> </ul>

Features	Unlicensed spectrum bands			
	2.4 GHz	5 GHz		60 GHz
Classification	Worldwide	Europe and the USA	Europe and the USA	High bands (mmWave)
Availability	Worldwide	Worldwide	Worldwide	Worldwide
Regulatory requirement	The maximum data rate, multiple access method, spread spectrum, Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM), digital modulation scheme, maximum coverage distance, and media access protocol (collision avoidance techniques) [40]	Indoor-only use, maximum in-band power spectral density, out-of-band and spurious emissions, DFS, LBT, and TPC [34]	DFS, AFC, TPC, and indoor coverage [11]	Short-range communication, Equivalent Isotropic Radiated Power (EIRP) densities, the maximum conducted power, and the maximum antenna gain [41-42]
Existing technologies [43], [13]	802.11b/g, ZigBee, and cordless phones	802.11a, 802.11n, 802.11ac, 802.11ax, and IEEE 802.11ad	802.11a, Licensed microwave links, fixed satellite systems, and mobile services	802.11ad only
Cellular technologies	NR-U	LAA, LTE-U, MulteFire, and NR-U	NR-U	NR-U
3GPP Releases	Release 16 (5G NR-U)	Release 10/11/12 (LTE-U), Release 13 (LAA) and Release 16 (5G NR-U)	Release 16 (5G NR-U)	Release 16 (5G NR-U)
Available bandwidth [3]	About 80 MHz	500 MHz [3]	500 MHz (Europe) and 1200 MHz (USA) [21-22]	9 GHz (Europe) and 14 GHz (the USA)
Minimum available bandwidth in most regions	Less than 85 MHz [31]	About 500 MHz [31]	500 MHz [21-22]	At least 7 GHz [31]
Suitable coverage	Indoors and outdoors	Indoors and outdoors	Indoors and outdoors	Indoors
Antenna pattern	Directional [21]	Directional [21]	Directional [13]	Directional [44-45]
Constraints	<ul style="list-style-type: none"> <li>Heavily congested</li> <li>Lower data rate</li> <li>more susceptible to interference</li> <li>more devices per unit frequency than that in 5 GHz or 6 GHz [46]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lower coverage (with respect to that of the 2.4 GHz band)</li> <li>Higher penetration and path losses</li> <li>Less prone to interference than that in 2.4 GHz [46]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extremely high penetration and path losses</li> <li>Blocking</li> <li>Oxygen absorption [27-28]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extremely high penetration and path losses</li> <li>Blocking</li> <li>Oxygen absorption [27-28]</li> </ul>
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>Most unlicensed shared band</li> <li>Favourable signal propagation characteristics due to the low frequency.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Less congested and interfered than the 2.4 GHz [7].</li> <li>Availability of a large amount of spectrum bandwidth (e.g., 500 MHz [3]).</li> <li>The majority of IEEE 802.11-based technologies operate in the 5 GHz band, and</li> <li>Suitable for SCs, operating indoors.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unlike 5 GHz, there is no need to align channel access protocols for the LTE-LAA with those used by WiFi devices in the 5 GHz band, where no unlicensed devices now operate [13].</li> <li>Indoor operations are permitted by default [17].</li> <li>The high capacity demand of future mobile networks can be addressed.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Large spectrum bandwidth availability</li> <li>Less-Of-Signals (LOS) signal components</li> <li>High capacity and data rates at a short distance indoors.</li> </ul>

Source: [https://www.researchgate.net/publication/354086362\\_Coexistence\\_of\\_Cellular\\_and\\_IEEE\\_80211\\_Technologies\\_in\\_Unlicensed\\_Spectrum\\_Bands\\_-\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/354086362_Coexistence_of_Cellular_and_IEEE_80211_Technologies_in_Unlicensed_Spectrum_Bands_-_A_Review)

# IV. NR 표준의 발전

## ❖ 6 GHz brings new unlicensed bandwidth for Wi-Fi and 5G (Rel-16)

United States

2.4 GHz



Outdoor + Indoor

5 GHz

580 MHz of unlicensed bandwidth



Outdoor + Indoor



Outdoor + Indoor

6 GHz

1200 MHz of unlicensed bandwidth



Outdoor + Indoor



Indoor

**1200 MHz**

A massive amount of new unlicensed spectrum is now available in the U.S. for Wi-Fi 6E and 5G

AFC= Automated frequency controller, DFS= Dynamic Frequency Selection, LPI= Low power indoor

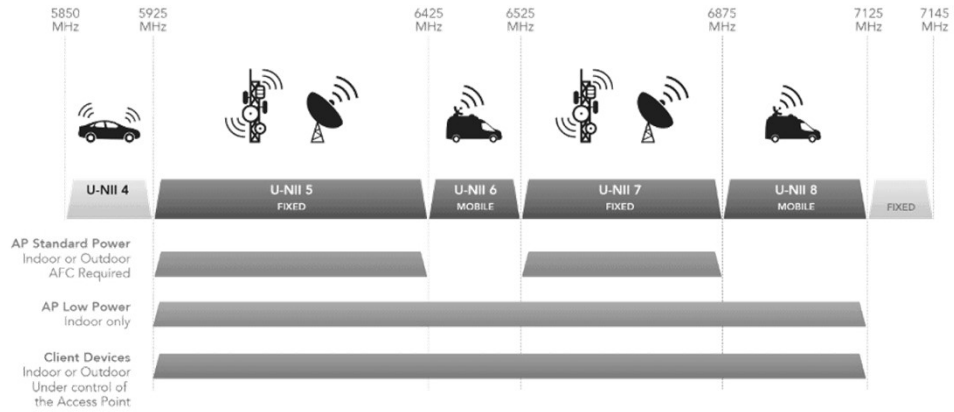
Source: [https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/how\\_nr-u\\_can\\_transform\\_what\\_5g\\_can\\_do\\_for\\_you\\_0.pdf](https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/how_nr-u_can_transform_what_5g_can_do_for_you_0.pdf)



## IV. NR 표준의 발전

97

### ❖ Incumbent Users of U-NII 5, U-NII 6, U-NII 7 and U-NII 8 Band



AFC= Automated Frequency Controller

Source: <https://www.litepoint.com/blog/an-introduction-to-wi-fi-6e-spectrum/>

JS Lab

97

## IV. NR 표준의 발전

98

### ❖ 주요국 6GHz 활용을 위한 기술조건 비교

구분	대한민국		미국		유럽	
	주파수	출력	주파수	출력	주파수	출력
SP*	AP	-	5,925~6,425MHz 6,525~6,875MHz (AFC적용)	4,000mW (23dBm/MHz)	-	-
	Client	-		1,000mW (17dBm/MHz)		
LPI**	AP	5,925~7,125MHz 250mW (2dBm/MHz)	5,925~7,125MHz	1,000mW (5dBm/MHz)	5,925~6,425MHz	200mW
	Client			250mW (-1dBm/MHz)		
VLP***	5,925~6,425MHz	25mW (1dBm/MHz)	-	-	5,925~6,425MHz	25mW
비고	2020.10월 시행		2020.7월 시행		2021.1Q 시행 예정	

Source: 차세대 Wi-Fi의 개막과 활성화를 위한 논의 동향, 한국전파진흥협회 전파방송산업전략본부, 남원모

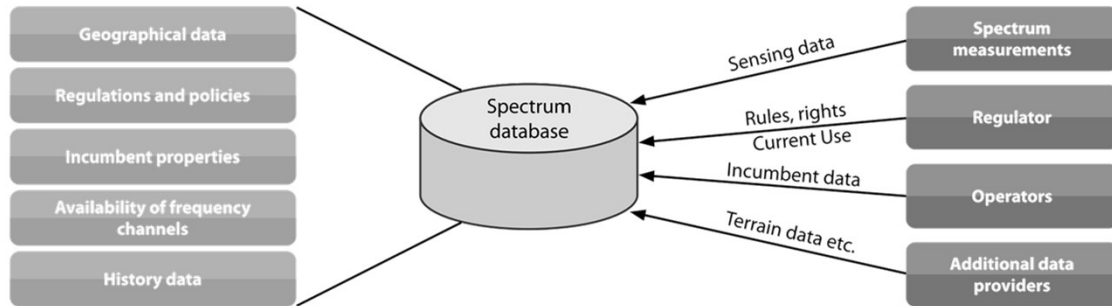
JS Lab

98

## IV. NR 표준의 발전

99

### ❖ AFC(Automated Frequency Controller)를 위한 DB 기반의 주파수 관리 시스템



Source: [http://weekly.tta.or.kr/weekly/files/20214807044820\\_weekly.pdf](http://weekly.tta.or.kr/weekly/files/20214807044820_weekly.pdf)



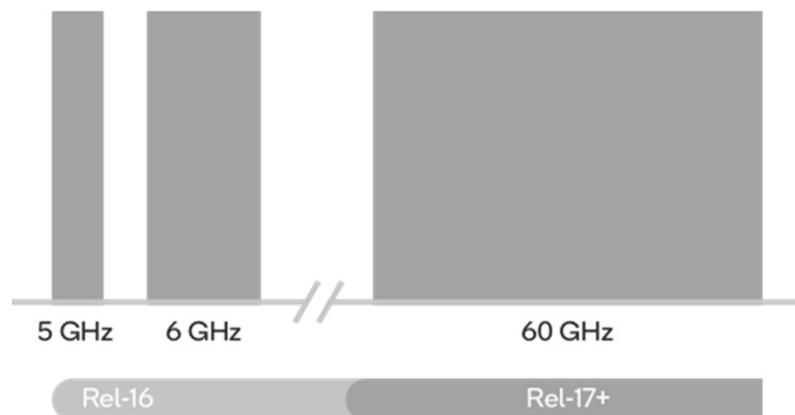
JS Lab

99

## IV. NR 표준의 발전

100

### ❖ Unlicensed bands in the 5G NR-U roadmap.



Source: <https://www.qualcomm.com/research/5g/5g-unlicensed-shared-spectrum>



JS Lab

100

## IV. NR 표준의 발전

101

### ❖ NR-U 배포 모드의 분류 체계

Rel-17에서는 산업용 IoT를 대상으로 비면허대역 캐리어를 지원 가능하도록 하는 표준화가 진행되었다. 산업용 IoT의 특징은 데이터 전송량이 많지 않고, 단말의 전력소모가 주요 고려 대상이며, 주기적인 전송이 필요한 비면허대역 산업용 IoT 표준에서는 채널 접속 절차를 통해 NR-U에서 사용하는 동적인 채널 접속 절차 이외에 준정적인(Semi-Static) 채널 접속 절차를 추가적으로 지원

	Carrier Aggregation Mode	Dual Connectivity	Standalone Mode
Standardization	Release 13	Release 14	Release 16
Frequency	5 GHz	5 GHz	2.4, 3.5, 5, 6, 37, 60 GHz
Frequency band	License + unlicensed	License + unlicensed	Unlicensed
Protocol	LTE	LTE	NR
Aggregated bandwidth	80MHz	80 MHz	800 MHz
Streams	Downlink	Uplink + Downlink	Uplink + Downlink
Underlying technology	LAA	eLAA	MulteFire

Source: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/10/2774>, Future Is Unlicensed: Private 5G Unlicensed Network for Connecting Industries of Future

JS Lab

101

## IV. NR 표준의 발전

102

### ❖ 스펙트럼 공유의 비동기 모드(Asynchronous) 와 동기 모드(Synchronous) 비교.

Mode	Asynchronous	Synchronous
Name	Evolutionary path of 5G	Revolutionary path of 5G
Spectrum under consideration	5 GHz	6 GHz
Technology adoption	Global	Under consideration (U.S. and Europe)
Spectrum efficient	No	Yes
Spatial and predictable spectrum sharing	No	Yes
Synchronization of contention windows	No	Yes
Predictable latency	No	Yes
URLLC	Not supported	Supported
Time synchronization	Not Needed	Needed
Channel occupancy time ("COT")	COT ≤ 1msec	COT ≤ 6 ms COT ≤ 12 ms
Coordinated multi-point (CoMP) mode gain	Difficult to realize	High probability

Source: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/10/2774>, Future Is Unlicensed: Private 5G Unlicensed Network for Connecting Industries of Future

JS Lab

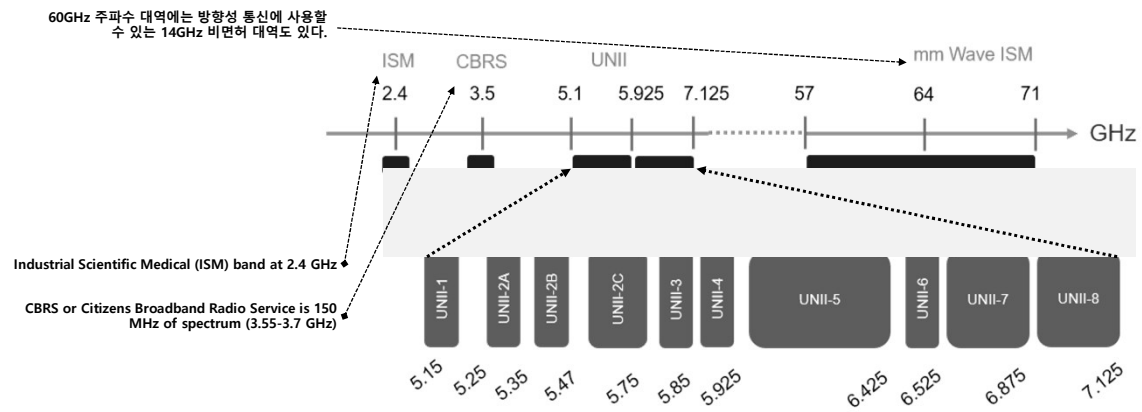
102

## IV. NR 표준의 발전

103

❖ 7GHz 이하 중대역 주파수 범위에서 5G NR-U의 특성.

- 미국, EU 및 한국에서는 현재 비면허 장치에 대해 5.925GHz ~ 7.125GHz(또는 6GHz) 주파수 범위가 개방



JS Lab

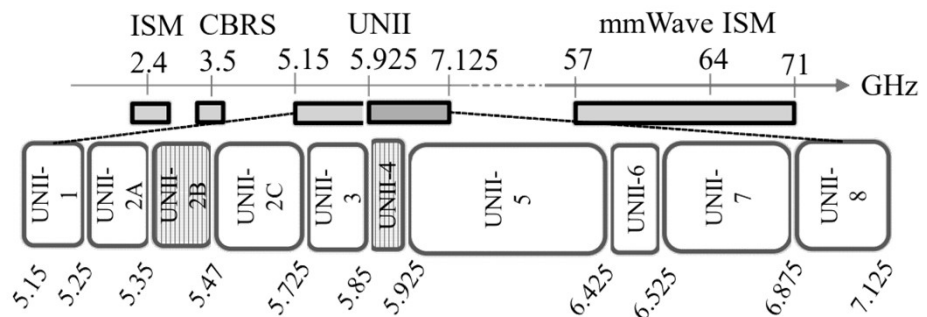
103

## IV. NR 표준의 발전

104

❖ NR-U 작동을 위한 비면허/공유 스펙트럼 대역

- UNII-2B 는 무면허 작동이 제한
- U-NII-4는 전용 단거리 통신 서비스(DSRC) 및 면허를 소지한 아마추어 무선 사업자만 사용할 수 있다.



Source: [https://arxiv.org/pdf/2012.10937.pdf?fbclid=IwAR23813GNVgyowKn30r6IUH7JzFbp8jCOWqdvR\\_hURWnQEQGrLI2QhgMnBY](https://arxiv.org/pdf/2012.10937.pdf?fbclid=IwAR23813GNVgyowKn30r6IUH7JzFbp8jCOWqdvR_hURWnQEQGrLI2QhgMnBY), 5G New Radio Unlicensed: Challenges and Evaluation

JS Lab

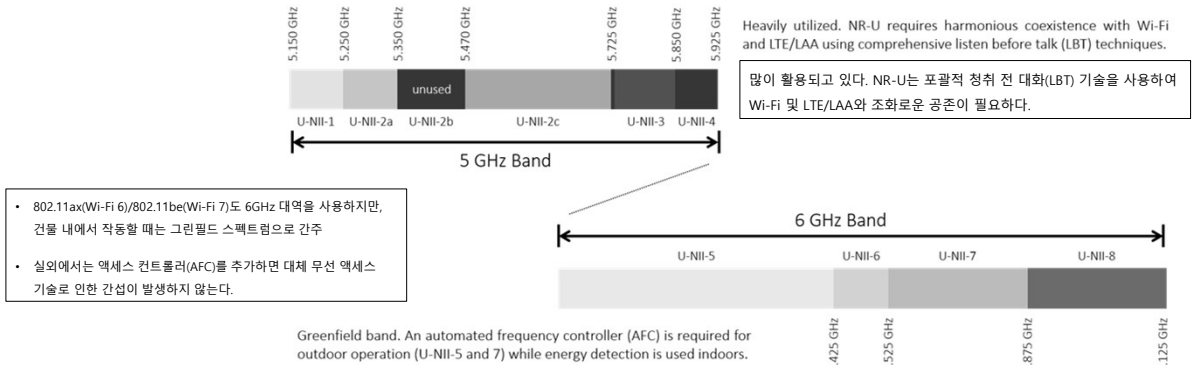
104

## IV. NR 표준의 발전

105

❖ 7GHz 이하 중대역 주파수 범위에서 5G NR-U의 특성.

- NR-U는 포괄적 청취 전 대화(LBT) 기술을 사용하여 Wi-Fi 및 LTE/LAA와 조화로운 공존
- 실외에서는 액세스 컨트롤러(AFC)를 추가하면 대체 무선 액세스 기술로 인한 간섭이 발생하지 않는다



- 802.11ax(Wi-Fi 6)/802.11be(Wi-Fi 7)도 6GHz 대역을 사용하지만, 건물 내에서 작동할 때는 그린필드 스펙트럼으로 간주
- 실외에서는 액세스 컨트롤러(AFC)를 추가하면 대체 무선 액세스 기술로 인한 간섭이 발생하지 않는다.

Source: <https://www.metaswitch.com/knowledge-center/reference/what-is-5g-new-radio-unlicensed-nr-u>

JS Lab

105

## IV. NR 표준의 발전

106

❖ NR-U 비면허/공유 주파수: 블루투스, ZigBee, 와이파이, 위성, 레이다, 고정 P2P, 케이블 TV 중계, 무선 브릿징/백홀

Frequency	Adoption	Total Bandwidth	Incumbent Technology
2.4 GHz [6]	Global	100 MHz	Bluetooth, ZigBee, WiFi
3.5 GHz [33]	U.S.	150 MHz	Satellite, military radar
5 GHz [37]	Global	600 MHz	WiFi, WiGig, radar
6 GHz [38]	Europe	1200 MHz	Broadcast, fixed P2P and satellite service, cable TV relays
60 GHz [10]	Global	7 GHz	P2P fixed wireless bridging/backhaul

Source: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/10/2774>, Future Is Unlicensed: Private 5G Unlicensed Network for Connecting Industries of Future

JS Lab

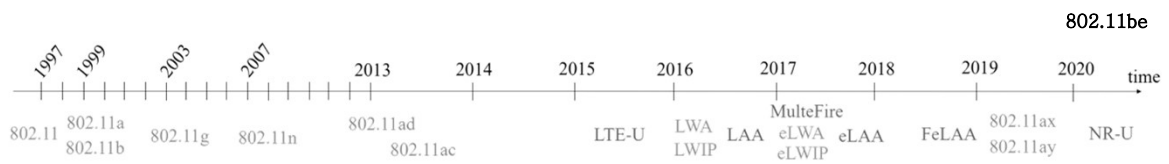
106

## IV. NR 표준의 발전

107

### ❖ 비면허 스펙트럼에 대한 새로운 무선 빔 기반 액세스: 설계 과제 및 솔루션

- 비면허 스펙트럼을 사용하는 기술의 표준화 타임라인.



Source: [https://www.researchgate.net/publication/336786850\\_New\\_Radio\\_Beam-Based\\_Access\\_to\\_Unlicensed\\_Spectrum\\_Design\\_Challenges\\_and\\_Solutions](https://www.researchgate.net/publication/336786850_New_Radio_Beam-Based_Access_to_Unlicensed_Spectrum_Design_Challenges_and_Solutions)



JS Lab

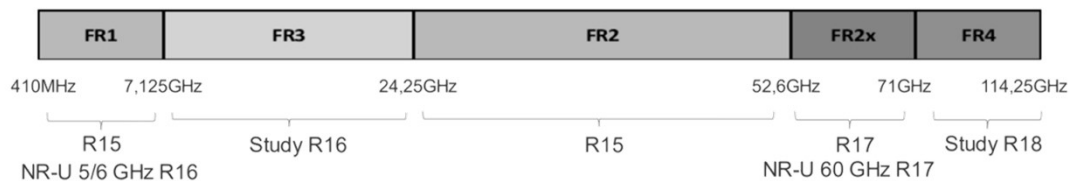
107

## IV. NR 표준의 발전

108

### ❖ Flexible to work from 400 MHz to 100 GHz, using the 3GPP SCM [TR 38.901]

- FR1
- FR2
- FR2-2
- FR3
- FR4



Source: 5G-LENA NR MODULE OVERVIEW: MODELS, IMPLEMENTATION, NR-U EXTENSION AND EXAMPLES (21/06/2022, WNS3 TUTORIAL)



JS Lab

108

## IV. NR 표준의 발전

109

### ❖ Summary of 6 GHz operations in the US.

	U-NII-5		U-NII-6		U-NII-7		U-NII-8	
Frequency range	5.925–6.425 GHz		6.425–6.525 GHz		6.525–6.875 GHz		6.875–7.125 GHz	
No. of channels	20 MHz	24	20 MHz	4	20 MHz	18	20 MHz	11
	40 MHz	12	40 MHz	1	40 MHz	9	40 MHz	5
	80 MHz	6	80 MHz	0	80 MHz	4	80 MHz	2
	160 MHz	3	160 MHz	0	160 MHz	2	160 MHz	1
Regulatory constraints 규제 제약점	Indoor operations permitted. Outdoor operations permitted <i>only if</i> device is outside exclusion zones.		Indoor operations permitted. Outdoor operations <i>not</i> permitted.		Indoor operations permitted. Outdoor operations permitted <i>only if</i> device is outside exclusion zones.		Indoor operations permitted. Outdoor operations <i>not</i> permitted.	
Outdoor constraints 실외 제약점	Devices must connect to the AFC system database. Max power: 36dBm (AP)/ 30dBm (client)		N/A		Devices must connect to the AFC system database. Max power: 36dBm (AP)/ 30dBm (client)		N/A	
Indoor constraints 실내 제약점	- Devices <i>cannot</i> be weather resistant. - Devices <i>cannot</i> be equipped with external antennas. - Devices <i>cannot</i> be operated on battery power. - Max power: 30dBm (AP)/ 24dBm (client)							

Source: IEEE Access, Next Generation Wi-Fi and 5G NR-U in the 6 GHz Bands: Opportunities & Challenges

JS Lab

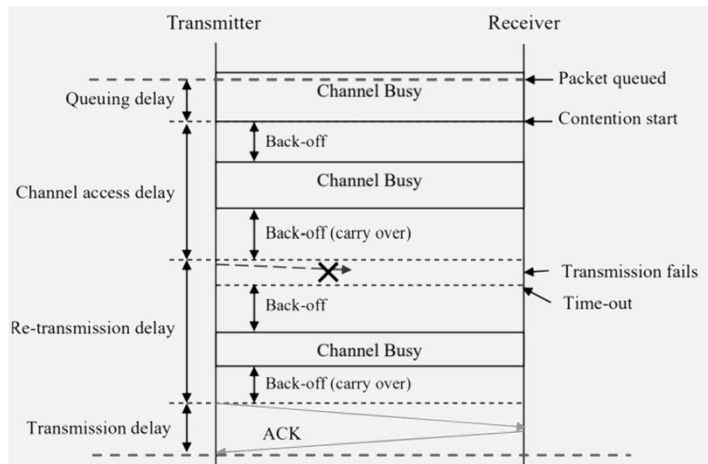
109

## IV. NR 표준의 발전

110

### ❖ Wi-Fi 및 NR-U와 같은 LBT 기반 비면허 RAT에서 패킷 전송의 엔드투엔드 지연

- 패킷 대기열에서 발생하는 지연
- 채널 액세스 지연
- 전송 지연
- 재전송 지연



Source: IEEE Access, Next Generation Wi-Fi and 5G NR-U in the 6 GHz Bands: Opportunities & Challenges

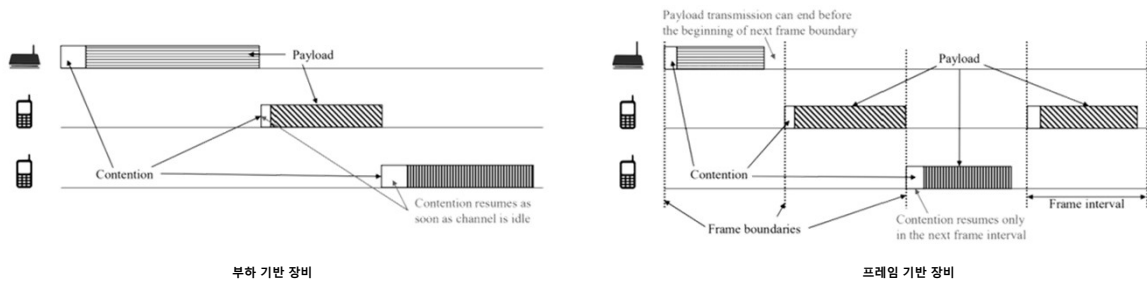
JS Lab

110

## IV. NR 표준의 발전

111

- ❖ 부하 기반 장비: 채널이 유휴 상태가 되는 즉시 장치가 채널을 차지하기 위해 경쟁
- ❖ 프레임 기반 장비: 장치는 새 프레임이 시작될 때만 채널을 차지하기 위해 경쟁



Source: IEEE Access, Next Generation Wi-Fi and 5G NR-U in the 6 GHz Bands: Opportunities & Challenges

JS Lab

111

## IV. NR 표준의 발전

112

- ❖ Wi-Fi 및 NR-U에 대한 컨텐션 매개변수

Access Category	Wait Time		CWmin		CWmax		TXOP		
	Wi-Fi	NR-U	Wi-Fi (IFS)	NR-U ( $T_d$ )	Wi-Fi	NR-U	Wi-Fi	NR-U	
VO	1	25 $\mu$ sec	25 $\mu$ sec	4	4	8	8	2.080 msec	2 msec
VI	2	25 $\mu$ sec	25 $\mu$ sec	8	8	16	16	4.096 msec	3 msec
BE	3	43 $\mu$ sec	43 $\mu$ sec	16	16	1024	1024	2.528 msec	8 msec or 10 msec
BK	4	79 $\mu$ sec	79 $\mu$ sec	16	16	1024	1024	2.528 msec	8 msec or 10 msec

VO: Voice, VI: Video, BE: Best effort, BK: Background, TXOP: 송신 기회

Source: IEEE Access, Next Generation Wi-Fi and 5G NR-U in the 6 GHz Bands: Opportunities & Challenges

JS Lab

112



## IV. NR 표준의 발전

❖ 비인가 RAT 간의 공존을 위한 에너지 감지와 프리앰블 감지의 비교.

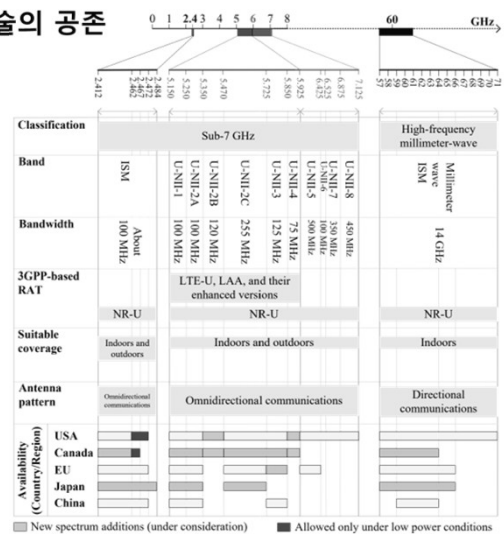
Mechanism	Pros	Cons
Energy Detection	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simple, low-cost implementation</li> <li>- Technology Neutral</li> <li>- ED with high threshold can yield improvements through spatial reuse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No power saving feature</li> <li>- Not suitable for low detection thresholds</li> <li>- ED with high threshold can worsen the hidden node problem</li> </ul>
Preamble Detection	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reliable at low detection threshold</li> <li>- Power saving through virtual carrier sensing</li> <li>- New, efficient common preamble can be defined</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- More complex implementation than ED</li> <li>- Specification of a common preamble will be time-consuming</li> <li>- Low threshold in PD exacerbates the exposed node problem</li> </ul>
Hybrid (ED + PD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Greater flexibility to individual RATs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Performance in dense scenarios is questionable</li> <li>- Complex implementation</li> </ul>

Source: IEEE Access, Next Generation Wi-Fi and 5G NR-U in the 6 GHz Bands: Opportunities & Challenges

## IV. NR 표준의 발전

❖ 비면허 스펙트럼 대역에서 셀룰러 및 IEEE 802.11 기술의 공존

- 전 세계 셀룰러 기술을 위한 비면허 스펙트럼 대역



Source: [https://www.researchgate.net/publication/354086362\\_Coexistence\\_of\\_Cellular\\_and\\_IEEE\\_80211\\_Technologies\\_in\\_Unlicensed\\_Spectrum\\_Bands\\_-\\_A\\_Survey](https://www.researchgate.net/publication/354086362_Coexistence_of_Cellular_and_IEEE_80211_Technologies_in_Unlicensed_Spectrum_Bands_-_A_Survey)

# IV. NR 표준의 발전

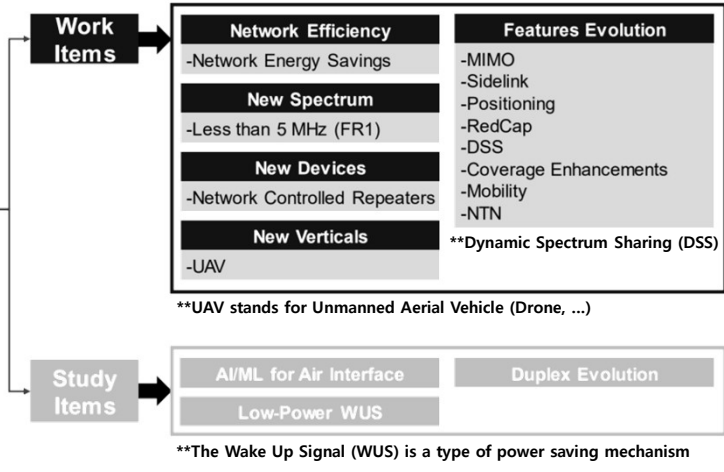
## ❖ Release-18 Content Summary

Rel-17에서는 산업용 IoT의 주기적인 전송이 필요한 비면허대역 산업용 IoT 표준에서는 기존 동적 채널 접속 절차는 기지국 또는 단말이 전송할 데이터가 있을 때마다 채널 접속 절차를 수행하여 전송가능 여부를 판단하고, 가능한 경우 전송을 수행하는 방식을 사용한다. 준정적 채널 접속 절차는 단말이 주기적으로 채널 접속 절차를 수행하여 해당 주기에서 데이터 전송이 가능한 경우 전송을 수행하고, 그렇지 않은 경우, 다음 주기까지 대기하는 방식이다.

### Rel-18

Rel-18에서 비면허대역을 이용한 Sidelink 표준 기술에 대한 표준화가 이루어지고 있다.

- 비면허대역 스펙트럼에 대한 Sidelink 지원
  - ▷ NR-U에 기반한 채널 접속 절차
  - ▷ 물리계층 채널 설계 프레임워크
  - ▷ 기존 NR 사이드링크 기술에 대한 고도화 제외
  - ▷ FR1(Frequency Range1, ~7.125GHz) 대역

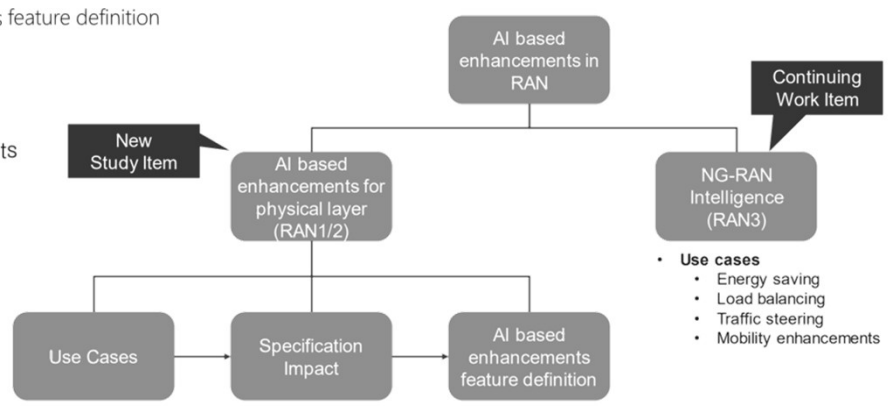


Source: KEYSIGHT

# IV. NR 표준의 발전

## ❖ AI/ML for the Air

- AI based enhancements for physical layer(RAN1/2)
  - Use cases
  - Specification impact
  - AI based enhancements feature definition
- RAN3 Use cases
  - Energy saving
  - Load balancing
  - Traffic steering
  - Mobility enhancements



Source: KEYSIGHT

## IV. NR 표준의 발전

117

### ❖ AI/ML for the Air Interface

- **Goal: enhanced performance or reduced complexity/overhead**

- AI/ML 기술을 활용한 미래 에어 인터페이스 사용 사례의 토대 마련

- **Areas to study**

- 기존 방식과의 성능 비교
- 잠재적인 사양 영향
- 후속 프로젝트에서 사용할 공통 AI/ML 프레임워크 식별
- AI/ML로 에어 인터페이스 기능의 성능을 개선할 수 있는 영역 식별

- **Use cases:**

- CSI 피드백 향상. 예: 오버헤드 감소, 정확도 향상, 예측
- 빔 관리: 시간 및/또는 공간 영역에서의 빔 예측을 통한 오버헤드 및 지연 시간 감소, 빔 선택 정확도 향상
- 위치 정확도 향상(예: 심한 NLOS 조건) \*\*NLOS stands for Non-Line Of Sight

Source: KEYSIGHT

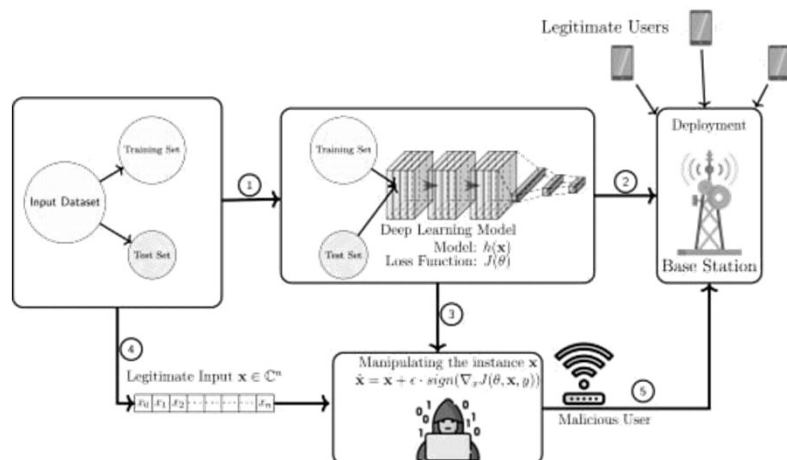
JS Lab

117

## IV. NR 표준의 발전

118

### ❖ 밀리미터파 빔 예측에서 6G 네트워크용 머신 러닝 솔루션에 대한 보안 문제



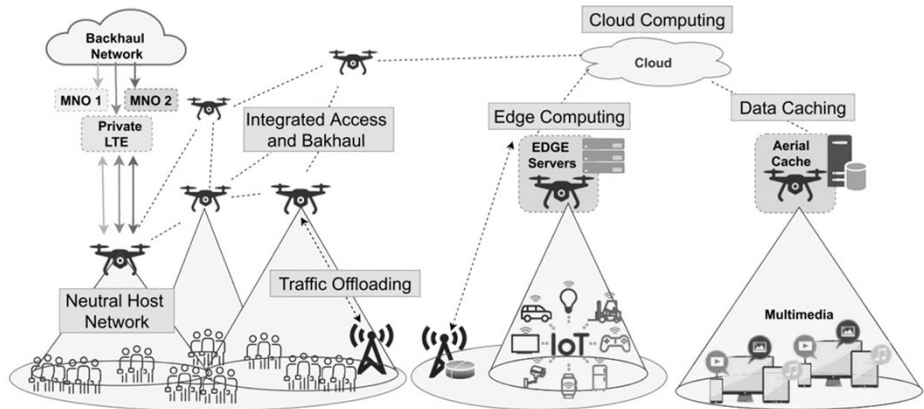
Source: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1874490722000155?fbclid=IwAR3plTAJqU92g4ByHS7FsCond6Xih9DdKlBmqXjuubDRtXb2tko8kPSX-4E>

JS Lab

118

# IV. NR 표준의 발전

## ❖ NR-U 기반 WI UAV의 향후 범위 (6G NR-U)

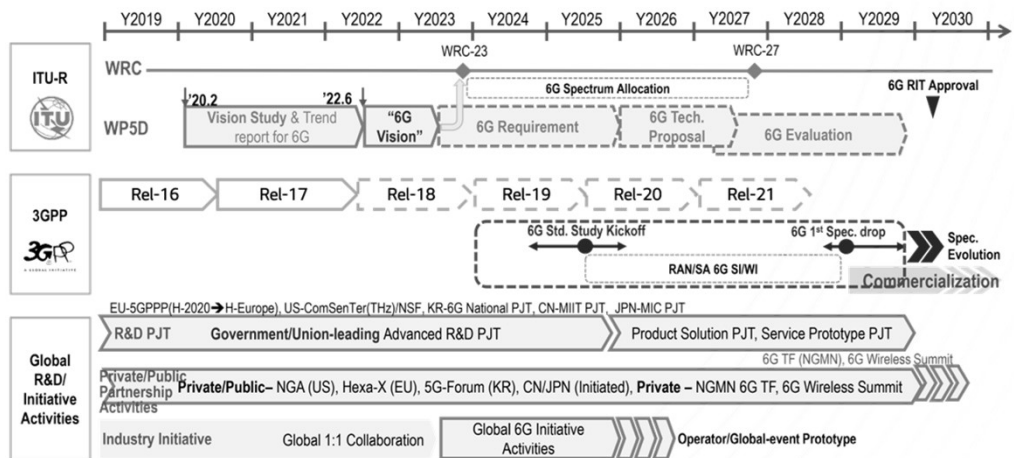


WI (Wireless Infrastructure), UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Drone, ...

Source: IEEE Access, 6G NR-U Based Wireless Infrastructure UAV: Standardization, Opportunities, Challenges and Future Scopes

# IV. NR 표준의 발전

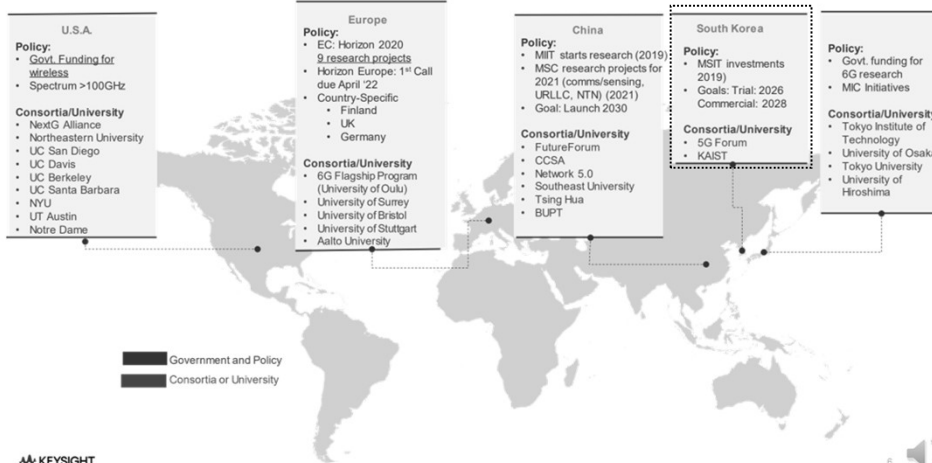
## ❖ 6G: 2025년경부터 표준화되어 2028년 말 이후에 최초로 상용화될 예정



Source: Keysight 5G Summit 2022, Research Fellow, LG Electronics, Inc., Jaehoon Chung

# IV. NR 표준의 발전

## ❖ 6G Action Worldwide



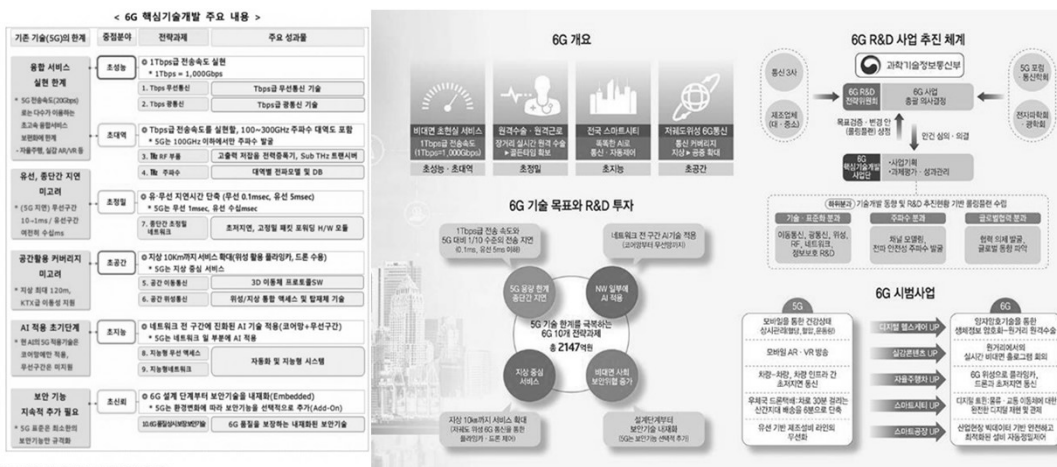
Source: Keysight

KEYSIGHT

JS Lab

# IV. NR 표준의 발전

## ❖ 과기부 - 6G 6대 중점 개발 분야 & 10대 전략과제



Source: 과기부

6G 핵심기술개발 주요내용 (지표=과기부기술정보통신부)

JS Lab

- I. 개요
- II. Wi-Fi 7 기술과 서비스
- III. Wi-Fi 7 응용 서비스 개발
- IV. NR 표준의 발전
- V. NR 표준 기술
- VI. NR 적용 시나리오
- VII. 활용 기술

## V. NR 표준 기술

### ❖ 비면허대역 지원 채널 액세스 메커니즘

- 52.6GHz 부터 71GHz 까지의 대역(FR2-2)내의 비면허대역에서 NR 동작을 지원하기 위한 채널 액세스 절차가 정의
- 센싱 절차를 수행하기 위한 기본 센싱 슬롯의 구조로 FR2-2를 위해 새롭게 정의되었다. 하나의 센싱 슬롯( $T_{sl}$ )의 5us로 정의되었고, 디퍼구간( $T_d$ )으로는 8us 가 정의
- 디퍼구간내에서 채널이 빈(idle)인지의 결정을 하기 위해서는 8us의 마지막 5us 센싱 슬롯을 설정하여 적어도 한번의 측정을 수행하도록 정의
- 기지국 혹은 단말이 전송을 수행하기 위해 채널 센싱을 요구하는 지역에서 지역의 regulation에 따라 Short Control Signaling(SCS)에 대해서 채널 센싱을 면제하는 전송을 허용하는 지역에 대해서는 채널 센싱없는 동작을 아래와 같은 전송에 대해서 정의
  - ✓ 기지국에 의한 discovery 버스트의 전송
  - ✓ 단말에 의한 랜덤 액세스 절차시 첫 메시지 전송

## V. NR 표준 기술

125

### ❖ 5G 주파수 범위 정의

- Rel-17에서 비면허 대역으로 57-71GHz을 할당하고 해당 대역에서 전력 등급 1(PC1: FWA), 전력 등급 2 (PC2: Vehicular UE), 전력 등급 3 (PC3: Hand held UE)에 해당하는 단말에 관한 요구사항이 정의
- n263 밴드에서 새로운 SCS(Sub carrier space) 480kHz, 960kHz와 2000MHz까지의 채널 대역폭(Channel bandwidth)이 정의

Frequency range designation	Corresponding frequency range	
FR1	410 MHz – 7125 MHz	
FR2	FR2-1	24250 MHz – 52600 MHz
	FR2-2	52600 MHz – 71000 MHz

Operating Band	UL operating band		DL operating band		Duplex Mode
	BS receive UE transmit	$F_{UL\_low}$ – $F_{UL\_high}$	BS transmit UE receive	$F_{DL\_low}$ – $F_{DL\_high}$	
n263		57000 MHz – 71000 MHz		57000 MHz – 71000 MHz	TDD <sup>1</sup>

NOTE 1: This is for unlicensed band operation and subject to regional and/or country specific regulatory requirements.

Operating band	SCS (kHz)	UE channel bandwidth (MHz)						
		50	100	200	400	800	1600	2000
n263	120		100		400			
	480 <sup>2</sup>				400	800 <sup>1</sup>	1600 <sup>1</sup>	
	960 <sup>2</sup>				400	800 <sup>1</sup>	1600 <sup>1</sup>	2000 <sup>1</sup>

NOTE 1: This UE channel bandwidth is optional in this release of the specification.

NOTE 2: This SCS is optional in this release of the specification.

N263: 57000 MHz – 71000 MHz  
 Fixed Wireless Access (FWA), SCS(Sub carrier space)  
 Power Class: <https://www.rfwireless-world.com/5G/5G-NR-UE-power-class-types.html>  
 Source: 3GPP TS 38.101-2

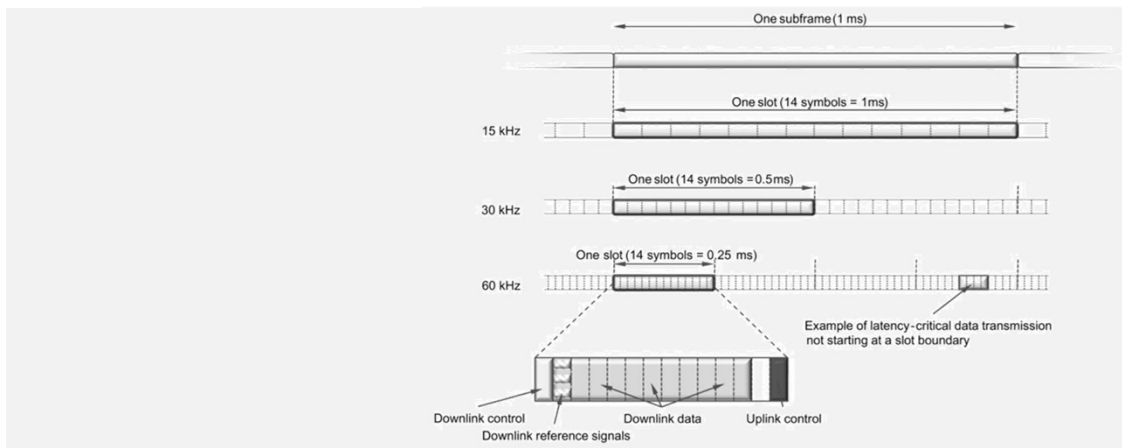
JS Lab

125

## V. NR 표준 기술

126

### ❖ Frame structure (TDD assumed in this example)



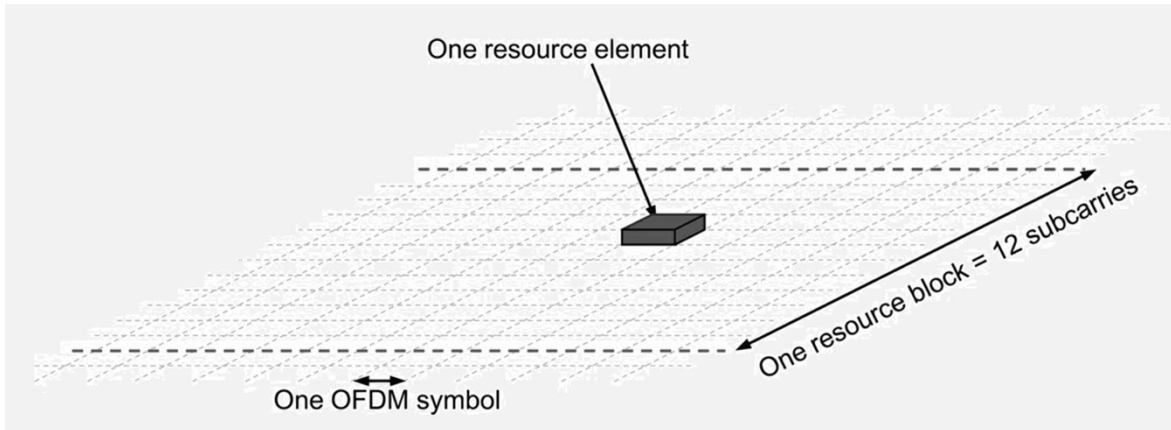
Source: Dahlman, Erik; Parkvall, Stefan; Skold, Johan. 5G NR (p. 133). Elsevier Science. Kindle Edition.

JS Lab

126

# V. NR 표준 기술

## ❖ Resource element and resource block.

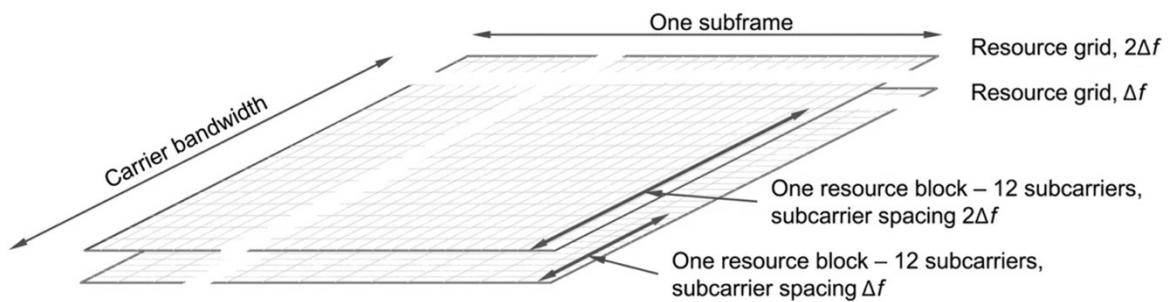


Source: Dahlman, Erik; Parkvall, Stefan; Skold, Johan. 5G NR (p. 226). Elsevier Science. Kindle Edition.



# V. NR 표준 기술

## ❖ Resource grids for two different subcarrier spacings.



Source: Dahlman, Erik; Parkvall, Stefan; Skold, Johan. 5G NR (p. 227). Elsevier Science. Kindle Edition.





## V. NR 표준 기술

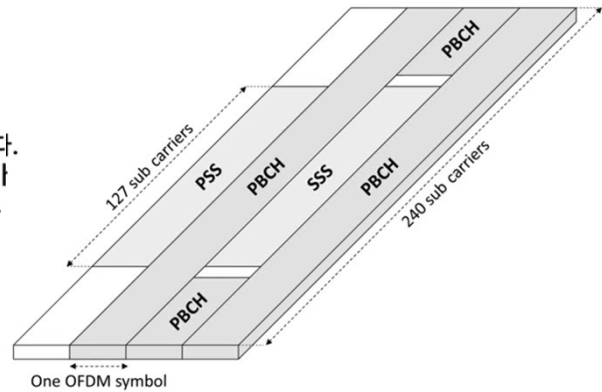
129

### ❖ Cell Search and System Information

- Time/frequency structure of a single SS block consisting of PSS, SSS, and PBCH.

### ❖ Cell Search, Discovery Bursts, and Standalone Operation

- SSB, SIB1을 전달하는 PDSCH, PDSCH를 스케줄링하는 관련 PDCCH의 조합을 DB라고 한다.
- Discovery Burst (DB)는 지속 시간이 짧고 빈도가 낮으므로 채널 액세스 유형 2A를 사용할 수 있다.



- PDCCH Physical Downlink Control Channel
- PDSCH Physical Downlink Shared Channel
- Primary Synchronization Signal (PSS),
- Secondary Synchronization Signal (SSS),
- Physical Broadcast Channel (PBCH)

Source: Dahlman, Erik; Parkvall, Stefan; Skold, Johan. 5G NR (p. 547). Elsevier Science. Kindle Edition.

JS Lab

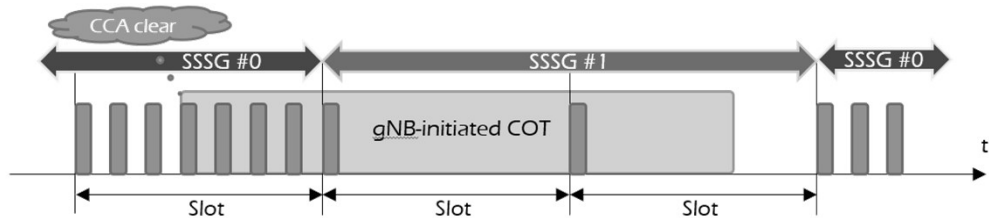
129

## V. NR 표준 기술

130

### ❖ 동적 PDCCH 모니터링 적응 기술

- Rel-15 단말은 트래픽 상황과 관계없이 설정된 모든 PDCCH 탐색 공간 집합들을 모니터링해야 하므로 상시 불필요한 전력 소모가 발생
- Rel-16 NR-U에서는 단말 CCA 동작의 전력 소모를 줄이기 위한 목적으로 탐색 공간 집합 그룹(SSSG) 스위칭 방식을 도입
- 기지국은 단말에 2개의 SSSG들을 설정 할 수 있고 이들 간의 스위칭을 동적으로 지시



- PDCCH: Physical Downlink Control Channel
- COT: Configured Timer
- CCA: Clear Channel Assessment.

Source: ETRI

- SSSG 스위칭에 의한 NR-U 저전력 CCA 동작 -

JS Lab

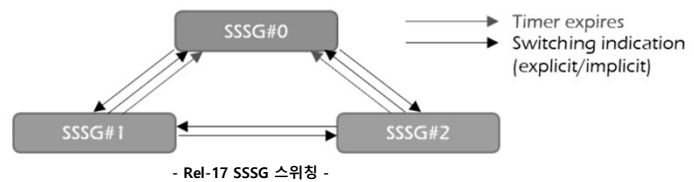
130

## V. NR 표준 기술

131

### ❖ 동적 PDCCH 모니터링 적응 기술

- Rel-17에서는 RRC 연결 모드 단말의 전력 소모 개선을 위해 상술한 SSSG 스위칭 기술을 면허 대역에 도입하는 작업과 PDCCH 모니터링 생략 기술을 새로 도입하는 작업을 수행
- SSSG 모니터링 생략 기술은 단말에 일정 시간, 즉 생략 구간(skipping duration) 동안 PDCCH 모니터링 동작을 생략할 것을 동적 지시하는 방법이며, 생략 구간의 길이는 최대 3개까지 단말에 설정
- PDCCH 모니터링 생략 기술과 SSSG 스위칭 기술은 RRC 설정에 따라 함께 또는 따로 동작할 수 있다.
  - 1) 모드 1: PDCCH 모니터링 생략 동작
  - 2) 모드 2: 2개의 SSSG들 간의 스위칭 동작
  - 3) 모드 3: 3개의 SSSG들 간의 SSSG 스위칭 동작
  - 4) 모드 4: PDCCH 모니터링 생략 동작 + 2개의 SSSG들 간의 스위칭 동작



Source: ETRI

JS Lab

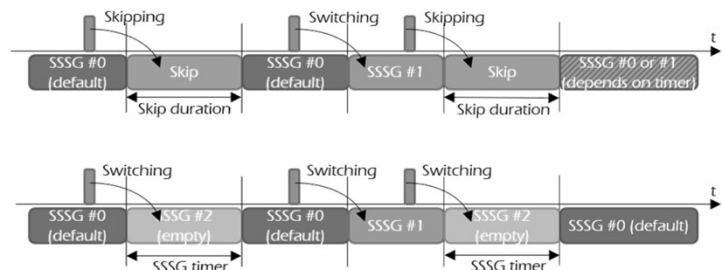
131

## V. NR 표준 기술

132

### ❖ 동적 PDCCH 모니터링 적응 기술

- 모드 3의 예시에서 SSSG #2는 PDCCH 후보를 포함하지 않도록 설정될 수 있고
- 모드 4의 예시에서 SSSG #2를 모니터링하는 동작은 PDCCH 모니터링을 생략하는 동작에 상응



Source: ETRI

JS Lab

132

## V. NR 표준 기술

133

### ❖ FR1 대역에서의 무선 주파수(RF) 진화

- Rel-17의 FR1 RF 규격 향상은 기존 Rel-16에서 다루지 못했던 크게 아래 6가지 항목에 대해 RF 표준 규격 설정을 목표로 진행

- 1) 동일 밴드 내의 연속반송파(intra-band contiguous) 주파수 집성 (CA) 고출력(전력 등급 2) 단말 RF 규격 정의
- 2) 동일 밴드 내의 비연속반송파(intra-band non-contiguous CA) 주파수 집성 (CA) 고출력(전력 등급 2) 단말 RF 규격 정의
- 3) n77/n78/n79 TDD Band에 대한 고출력(전력등급 1.5) 단말 규격 정의
- 4) FDD Band에 대한 고출력(전력등급 2) 단말 RF 규격 정의
- 5) 송신 다이버시티(Tx Diversity, TxD) 고출력(전력등급 2) 단말 RF 규격 정의
- 6) 각 국가 규격을 고려한 비면허 대역(NR-U) 단말 RF 규격 정의

5G NR Band	Uplink / Downlink Frequency	Bandwidth
n77	3300 - 4200 MHz	900 MHz
n78	3300 - 3800 MHz	500 MHz
n79	4400 - 5000 MHz	600 MHz

Source: 3GPP Release 17 기술규격 분석 보고서 (2022년 주파수 확보 및 공급 기반기술 개발 과제, TTA 연구 보고서)

JS Lab

133

## V. NR 표준 기술

134

### ❖ Rel-17에서 추가 고려된 비면허 대역(NR-U) 규격

- 한국의 경우 LPI(Low Power Indoor) 와 VLP(Very Low Power) 대한 국가 규격을 모두 반영하여, 비면허 대역(NR-U) 단말 RF 규격의 3GPP 표준이 완료

3GPP Rel-17			Regulatory parameters					
Power Class	NR Band	Network signalling	Country	Permissible operation	Frequency Range [MHz]	Maximum mean power density (dBm/MHz)	Maximum mean EIRP density for out-of-band emissions	Maximum mean EIRP for in-band emissions
		NS_59	Canada	LPI	5925 - 7125	5		30dBm
PC5 (+20dBm)	n96	NS_60	South Korea	LPI	5925 - 7125	2	-27 dBm/MHz (f ≤ 5925MHz, f ≥ 7125MHz)	24dBm
		NS_61		VLP	5925 - 6425	1	-34 dBm/MHz (f ≤ 5925MHz, f ≥ 6445MHz)	14dBm
	n102	NS_58	EU/CEPT	LPI	5945 - 6425	10	-22 dBm/MHz (below 5935MHz)	23dBm

Source: LG전자 EIRP : 실효 등방성 복사전력 (effective isotropic radiated power)

JS Lab

134

## V. NR 표준 기술

135

- ❖ Unlicensed devices allowed to operate in the 6 GHz bands in the US
- ❖ Unlicensed device classes feasible in the 6 GHz bands in Europe

6 GHz bands in the US

Device class	Bands	Maximum EIRP	Maximum EIRP PSD
Standard power AP	U-NII-5/U-NII-7	36 dBm	23 dBm/MHz
Clients connected to standard power AP		30 dBm	17 dBm/MHz
LPI AP	U-NII-5 through U-NII-8	30 dBm	5 dBm/MHz
Clients connected to LPI AP		24 dBm	-1 dBm/MHz
VLP devices*	U-NII-5 through U-NII-8	4 to 14 dBm	-18 to -8 dBm/MHz

6 GHz bands in the Europe

Device class	Constraint	Maximum unlicensed EIRP	
		Coexisting Incumbent	Permitted EIRP
LPI	Indoor	Fixed services	23-24 dBm
		Fixed satellite services	23-24 dBm
		CBTC	21.5 dBm/20 MHz (in-band) and -29.5 dBm/5 MHz (out-of-band)
		ITS	-69 to -36 dBm/MHz (out-of-band)
VLP	Indoor and outdoor	Under consideration	
Standard power	To be considered (AFC-like database)	To be considered, approximately 30 dBm	

Source: IEEE Access, Next Generation Wi-Fi and 5G NR-U in the 6 GHz Bands: Opportunities & Challenges

JS Lab

135

## V. NR 표준 기술

136

- ❖ Rel-17에서 추가 고려된 비면허 대역(NR-U) 네트워크 시그널링(NS, Network signaling)
- 한국(NS\_60, NS\_61),

Country	Mode		
	SP	LPI	VLP
Region 1			
EU/CEPT	N/A	NS_58	TBD
Region 2			
US	NS_54	NS_53	N/A
Canada	NS_54	NS_59	TBD
Brazil	N/A	NS_53	TBD
Peru	N/A	NS_53	N/A
Chile	N/A	NS_53	N/A
Costa Rica	N/A	NS_01	TBD
Colombia	N/A	NS_53	N/A
Region 3			
South Korea	N/A	NS_60	NS_61

Source: LG전자

JS Lab

136

## V. NR 표준 기술

137

### ❖ 비면허 대역(NR-U) 단말 NS\_60(한국, LPI) A-MPR 값

LPI(Low Power Indoor)

Pre-coding	Modulation	Channel bandwidth (Sub-band allocation) / RB Allocation							
		20 MHz		40 MHz		60 MHz		80 MHz	
		Full (dB)	Partial (dB)	Full (dB)	Partial (dB)	Full (dB)	Partial (dB)	Full (dB)	Partial (dB)
DFT-s-OFDM	QPSK	≤ 6.0	≤ 8.5	≤ 4.0	≤ 5.5	≤ 3.5	≤ 4.5	≤ 3.0	≤ 4.5
	16 QAM	≤ 6.0	≤ 8.5	≤ 4.0	≤ 5.5	≤ 4.0	≤ 5.0	≤ 3.5	≤ 5.0
	64 QAM	≤ 6.0	≤ 8.5	≤ 4.0	≤ 5.5	≤ 4.0	≤ 5.0	≤ 3.5	≤ 5.0
	256 QAM	≤ 6.0	≤ 8.5	≤ 5.0	≤ 5.5	≤ 5.0	≤ 5.5	≤ 5.0	≤ 5.5
CP-OFDM	QPSK	≤ 6.0	≤ 8.5	≤ 5.5	≤ 5.5	≤ 5.0	≤ 5.5	≤ 4.5	≤ 5.5
	16 QAM	≤ 6.0	≤ 8.5	≤ 5.5	≤ 5.5	≤ 5.0	≤ 5.5	≤ 4.5	≤ 5.5
	64 QAM	≤ 6.0	≤ 8.5	≤ 5.5	≤ 5.5	≤ 5.5	≤ 5.5	≤ 5.5	≤ 5.5
	256 QAM	≤ 6.0	≤ 8.5	≤ 7.0	≤ 7.0	≤ 7.0	≤ 7.0	≤ 7.0	≤ 7.0

Source: 3GPP TS 38.101-1



JS Lab

137

## V. NR 표준 기술

138

### ❖ 비면허 대역(NR-U) 단말 NS\_61(한국, VLP) A-MPR 값

VLP(Very Low Power)

Pre-coding	Modulation	Channel bandwidth (Sub-band allocation) / RB Allocation							
		20 MHz		40 MHz		60 MHz		80 MHz	
		Full (dB)	Partial (dB)	Full (dB)	Partial (dB)	Full (dB)	Partial (dB)	Full (dB)	Partial (dB)
DFT-s-OFDM	QPSK	≤ [7.5]	≤ [10.0]	≤ [6.5]	≤ [6.5]	≤ [6.0]	≤ [6.0]	≤ [6.0]	≤ [6.0]
	16 QAM	≤ [7.5]	≤ [10.5]	≤ [6.5]	≤ [6.5]	≤ [6.0]	≤ [6.0]	≤ [6.0]	≤ [6.0]
	64 QAM	≤ [7.5]	≤ [10.5]	≤ [6.5]	≤ [6.5]	≤ [6.0]	≤ [6.0]	≤ [6.0]	≤ [6.0]
	256 QAM	≤ [7.5]	≤ [10.5]	≤ [6.5]	≤ [6.5]	≤ [6.0]	≤ [6.0]	≤ [6.0]	≤ [6.0]
CP-OFDM	QPSK	≤ [7.5]	≤ [10.0]	≤ [6.5]	≤ [6.5]	≤ [6.0]	≤ [6.0]	≤ [6.0]	≤ [6.0]
	16 QAM	≤ [7.5]	≤ [10.5]	≤ [6.5]	≤ [6.5]	≤ [6.0]	≤ [6.0]	≤ [6.0]	≤ [6.0]
	64 QAM	≤ [7.5]	≤ [10.5]	≤ [6.5]	≤ [6.5]	≤ [6.0]	≤ [6.0]	≤ [6.0]	≤ [6.0]
	256 QAM	≤ [7.5]	≤ [10.5]	≤ [7.0]	≤ [7.0]	≤ [7.0]	≤ [7.0]	≤ [7.0]	≤ [7.0]

Source: 3GPP TS 38.101-1



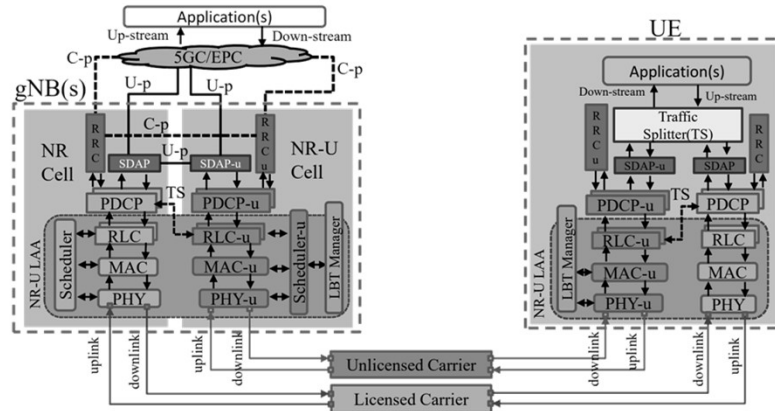
JS Lab

138

# V. NR 표준 기술

## ❖ NR/NR-U radio stack architecture

- Suffix '-u' indicates NR-U block; 'U-p': User plane; 'C-p': control plane

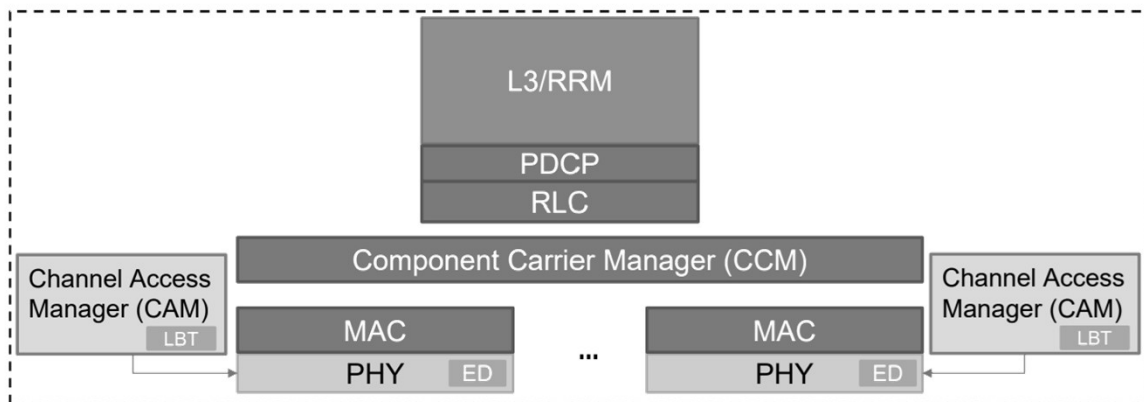


Source: [https://arxiv.org/pdf/2012.10937.pdf?fbclid=IwAR238l3GNVgyowKn30r6lUH7JzFbp8jCOWqdvR\\_hURWnQFQGrLi2QhgMnBY](https://arxiv.org/pdf/2012.10937.pdf?fbclid=IwAR238l3GNVgyowKn30r6lUH7JzFbp8jCOWqdvR_hURWnQFQGrLi2QhgMnBY), G New Radio Unlicensed: Challenges and Evaluation

# V. NR 표준 기술

## ❖ NR-U 디바이스 아키텍처

- MAC 처리 구현 후 다중 컴포넌트 캐리어 및 LBT (Listen before Talk)

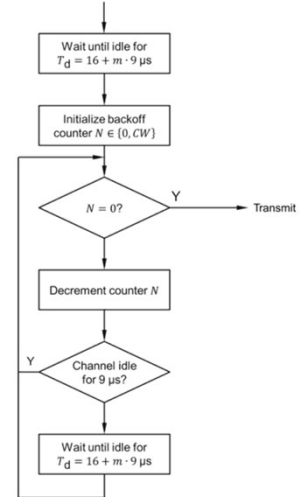


Source: [https://www.researchgate.net/publication/340625488\\_NR-U\\_and\\_4G-LTE\\_Technologies\\_Coexistence\\_in\\_Unlicensed\\_mmWave\\_Spectrum\\_Models\\_and\\_Evaluation](https://www.researchgate.net/publication/340625488_NR-U_and_4G-LTE_Technologies_Coexistence_in_Unlicensed_mmWave_Spectrum_Models_and_Evaluation)

# V. NR 표준 기술

## ❖ Channel-Access Procedure Type 1 and Listen-Before-Talk

- Channel-Access Procedure Type 1 ("LBT cat4")은 하나의 동일한 COT 내에서 전송을 개시하는 데 사용되는 절차이다.
- 개시자는 gNB 또는 디바이스일 수 있으며, 무작위 백오프를 통해 LBT 절차를 수행하여 채널의 사용 가능 여부를 평가



채널 액세스 절차 유형 Channel-access procedure type 1.

COT(Channel occupancy time)

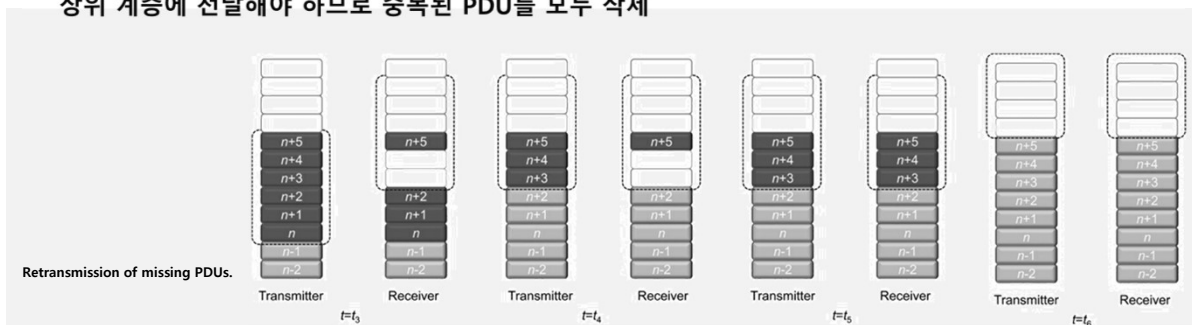
Source: Dahlman, Erik; Parkvall, Stefan; Skold, Johan. 5G NR (p. 631). Elsevier Science. Kindle Edition.



# V. NR 표준 기술

## ❖ SDU delivery in acknowledged mode.

- 두 RLC 엔티티 모두 승인 모드에서 각각 전송 창(window)과 수신 창(window)이라는 두 개의 창을 유지
- 전송 창에 있는 PDU만 전송할 수 있으며, 창 시작 부분 아래에 시퀀스 번호가 있는 PDU는 수신 RLC에서 이미 승인한 것
- 수신기는 수신 창 내에 있는 시퀀스 번호가 있는 PDU만 수락하고, 또한 수신기는 각 SDU의 사본 하나만 상위 계층에 전달해야 하므로 중복된 PDU를 모두 삭제



SDU: Service Data Unit, RLC: Radio link control, PDU: Protocol Data Unit

Source: Dahlman, Erik; Parkvall, Stefan; Skold, Johan. 5G NR (p. 484). Elsevier Science. Kindle Edition.



## V. NR 표준 기술

143

❖ **Contention-Window Sizes for Different Priority Classes:** 개시자는 지연 기간이라고 하는 최소 기간 동안 주파수 채널을 사용할 수 있을 때까지 수신 대기하며, 지연 기간은  $16\mu\text{s}$ 와 여러 개의  $9\mu\text{s}$  슬롯으로 구성되고, 지연 기간은 우선순위 클래스에 따라 달라진다.

- 규정 요건에 따라 버스트 길이가 표보다 작은 값으로 제한될 수 있다. 채널을 공유하는 다른 기술이 없는 경우  $10\text{ms}$ 가 사용되며, 그렇지 않은 경우  $6\text{ms}$ 가 사용된다.
- $6\text{ms}$ 는 하나 이상의 갭을 삽입하여  $8\text{ms}$ 로 늘릴 수 있다. 갭의 최소 지속 시간은  $100\mu\text{s}$ 이다. 이러한 갭을 포함하기 전 최대 지속 시간은  $6\text{ms}$ 여야 한다.

Priority Class		Defer Period $T_d = 16 + m \cdot 9$ ( $\mu\text{s}$ )	Possible CW Values ( $CW_{\min}, \dots, CW_{\max}$ )	Channel occupancy time (COT)
				Max COT <sup>a,b</sup> (ms)
1	DL	25	{3,7}	2
	UL	34		2
2	DL	25	{7,15}	3
	UL	34		4
3	DL	43	{15,31,63}	8 or 10
	UL		{15,31,63,127,255,511,1023}	6 or 10
4	DL	79	{15,31,63,127,255,511,1023}	8 or 10
	UL			6 or 10

Source: Dahlman, Erik; Parkvall, Stefan; Skold, Johan. 5G NR (p. 631). Elsevier Science. Kindle Edition.

JS Lab

143

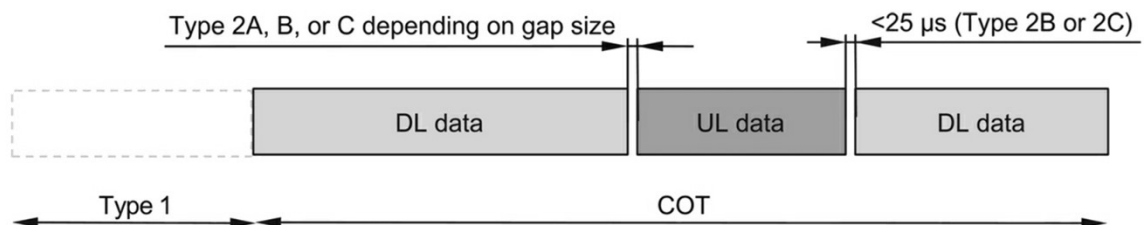
## V. NR 표준 기술

144

❖ **Channel-Access Procedure Type 2 and COT Sharing**

❖ **COT(Channel occupancy time) sharing (예)**

- Type 1은 하나의 COT 내에서 전송을 시작하는 데 사용되는 절차
- Type 2는 다음 전송이 이전 전송 후 최대  $16\mu\text{s}$  후에 이어지는 경우, 전송 버스트 사이에 유휴 감지가 필요하지 않다.



Source: Dahlman, Erik; Parkvall, Stefan; Skold, Johan. 5G NR (p. 637). Elsevier Science. Kindle Edition.

JS Lab

144

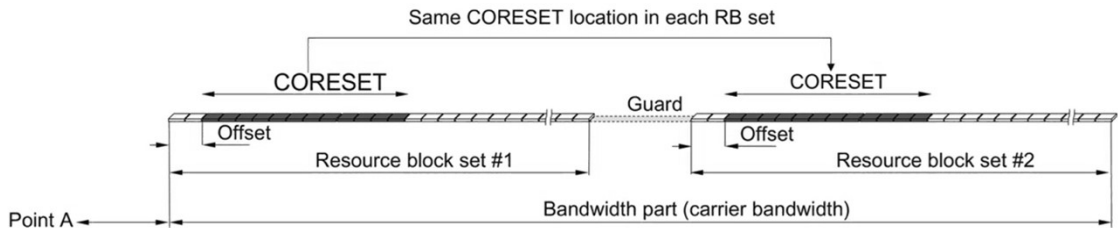


## V. NR 표준 기술

145

### ❖ 단일 캐리어를 사용하는 광대역 작동의 경우 CORESET을 확장

- Rel-15의 CORESET 구성은 유연하며, Rel-15 디바이스에서는 지원되지 않지만 원칙적으로 모든 OFDM 심볼에서 PDCCH 모니터링을 위한 CORESET을 빈번하게 구성할 수 있다
- 빈번한 모니터링을 통해 다운링크 데이터 전송을 모든 OFDM 심볼에서 시작할 수 있으므로 비면허 스펙트럼에서 작동할 때 유용하며, 비면허 스펙트럼을 지원할 수 있는 디바이스는 더 자주 모니터링하는 인스턴스로 구성할 수 있다.
- 통신사가 제공한 코어셋 구성을 확장하여 구성된 코어셋이 주파수 도메인의 모든 리소스 블록 설정에서 반복되도록 한다



CORESET Control resource set

Source: [https://www.researchgate.net/publication/354086362\\_Coexistence\\_of\\_Cellular\\_and\\_IEEE\\_80211\\_Technologies\\_in\\_Unlicensed\\_Spectrum\\_Bands\\_-\\_A\\_Survey](https://www.researchgate.net/publication/354086362_Coexistence_of_Cellular_and_IEEE_80211_Technologies_in_Unlicensed_Spectrum_Bands_-_A_Survey)

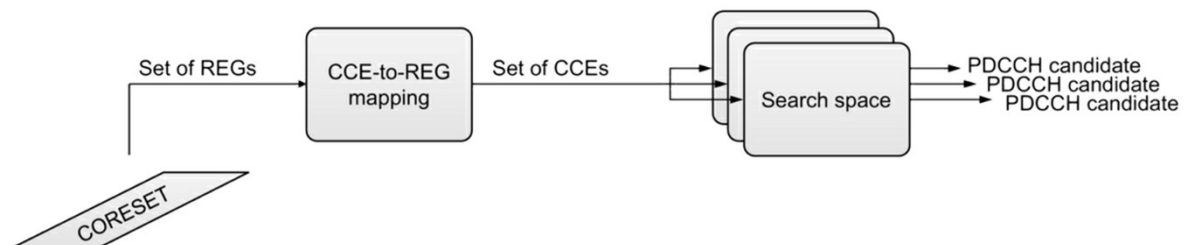
JS Lab

145

## V. NR 표준 기술

146

### ❖ 디바이스 관점에서 본 NR의 PDCCH 처리 개요



CORESET: Control resource set, CCE: Control Channel Element, REG: Resource Element Group

Source: Dahlman, Erik; Parkvall, Stefan; Skold, Johan. 5G NR (p. 340). Elsevier Science. Kindle Edition.

JS Lab

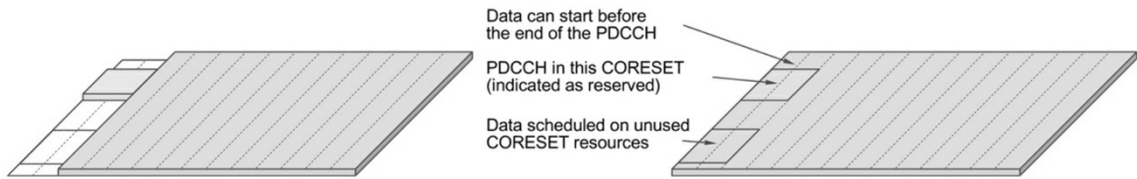
146

## V. NR 표준 기술

147

### ❖ CORESET

- NR에서 다운링크 제어 신호의 핵심은 CORESET 개념
- 제어 리소스 세트 CORESET는 디바이스가 하나 이상의 검색 공간을 사용하여 후보 제어 채널을 디코딩하려고 시도하는 시간-주파수 리소스
- 시간-주파수 도메인에서 CORESET의 크기와 위치는 네트워크에 의해 반정적(semi-statically)으로 구성되므로 반송파 대역폭보다 작게 설정할 수 있다.
- 반송파가 최대 400MHz까지 매우 넓을 수 있고 모든 디바이스가 이러한 넓은 대역폭을 수신할 수 있다고 가정하는 것은 합리적이지 않으므로 NR에서 특히 중요



재사용 없음 (왼쪽) 및 데이터 전송을 위한 코어셋 리소스의 재사용(오른쪽), 이 예제에서는 기기가 두 개의 코어셋으로 구성됨

CORESET Control resource set

Source: Dahlman, Erik; Parkvall, Stefan; Skold, Johan. 5G NR (p. 344). Elsevier Science. Kindle Edition.

JS Lab

147

## V. NR 표준 기술

148

### ❖ 5Ghz 및 60Ghz 대역에서 작동하기 위한 규제 요건

- LBT
- MCOT
- EIRP/PSD
- OCB
- DFS

Regulatory Requirement		5 GHz	60 GHz
LBT	Mandatory	Japan and Europe	
	Based on	Channel energy detection	
	LBT mechanism and parameter for each band [66-67]	Clear Channel Assessment (CCA) slot duration is 9μs	CCA slot duration is 5μs
	Energy detection threshold	-42 dBm for a 20 MHz	-47 dBm for a 40 MHz
Maximum Channel Occupancy Time (MCOT)	Transmission	Continuous transmission is prohibited	
	MCOT	2ms, 4ms, and 6ms and can increase up to 8-10 ms [67]	9 ms [66]
EIRP, and power spectral density	Maximum mean EIRP and Power Spectral Density (PSD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 23 dBm and 10 dBm/MHz (for 5.15-5.35 GHz) [67]</li> <li>• 30 dBm and 17 dBm/MHz (for 5.47-5.725 GHz) [67]</li> </ul>	40 dBm and 13 dBm/MHz [66]
Occupied Channel Bandwidth (OCB)		Between 70% and 100% of the Nominal Channel Bandwidth (NCB) [67]	Between 80% and 100% of the NCB [66]
DFS		If radar signals are detected, a device should switch to another channel to avoid interference	

- EIRP: 실효 등방성 복사전력 (effective isotropic radiated power),
- PSD: 전력 스펙트럼 밀도 (Power Spectral Density)
- DFS: Dynamic Frequency Selection

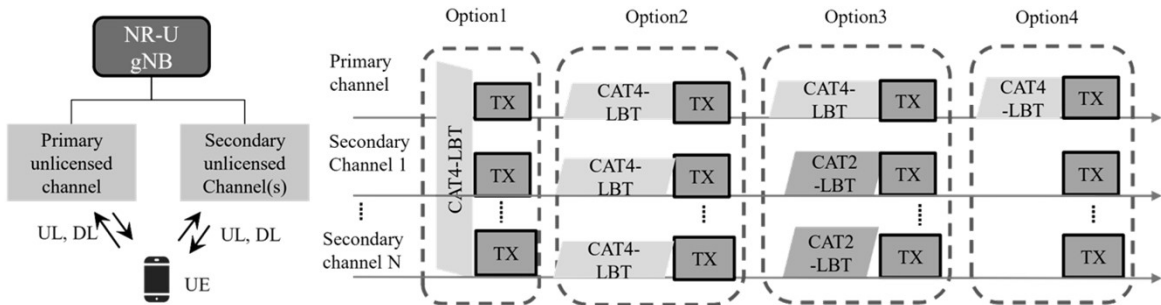
Source: [https://www.researchgate.net/publication/354086362\\_Coexistence\\_of\\_Cellular\\_and\\_IEEE\\_80211\\_Technologies\\_in\\_Unlicensed\\_Spectrum\\_Bands\\_-\\_A\\_Survey](https://www.researchgate.net/publication/354086362_Coexistence_of_Cellular_and_IEEE_80211_Technologies_in_Unlicensed_Spectrum_Bands_-_A_Survey)

JS Lab

148

# V. NR 표준 기술

❖ 라이선스가 없는 여러 채널에서 독립형 NR-U 운영을 위한 제안된 옵션

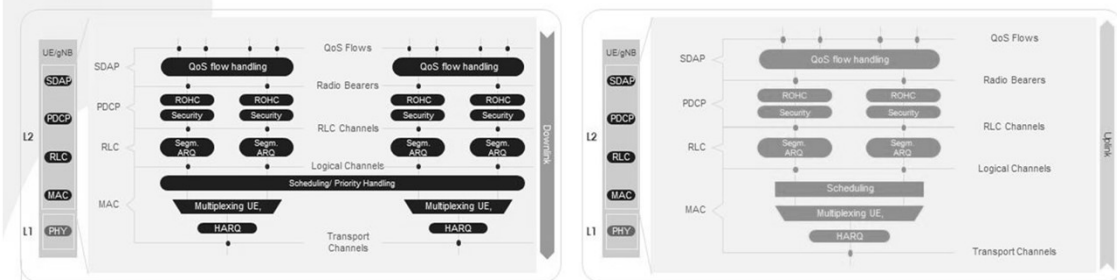


Source: [https://arxiv.org/pdf/2012.10937.pdf?fbclid=IwAR238l3GNVgyowKn30r6IUH7JzFbp8jCOWQdvR\\_hURWnQFQGrLI2QhgMnBY](https://arxiv.org/pdf/2012.10937.pdf?fbclid=IwAR238l3GNVgyowKn30r6IUH7JzFbp8jCOWQdvR_hURWnQFQGrLI2QhgMnBY), G New Radio Unlicensed: Challenges and Evaluation

# V. NR 표준 기술

❖ NR-U 플레인 무선 프로토콜의 구조

This slide represents the layer 2 structure of the New Radio U-Plane radio protocol, including the downlink and uplink. It also comprises the layer 2 components, such as service data adaptation protocol, packet data convergence protocol, RLC, and MAC.



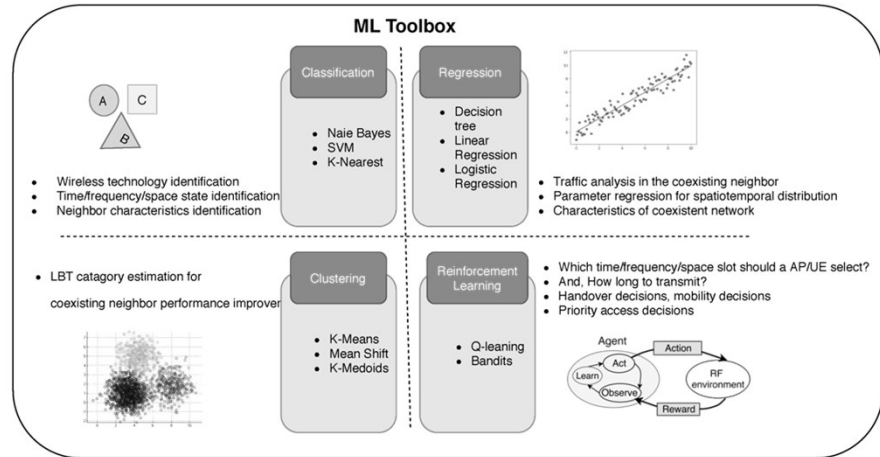
- Except for the new SDAP layer, the overall structure is nearly identical to LTE L2
- NR supports carrier aggregation from the start
- Data for each carrier is handled individually in SDAP, PDCP, RLC, and multiplexed/scheduled in the standard MAC layer

NR U-Plane Uplink radio protocol's L2 structure

Basic structure is the same as the downlink structure, with the exception that carrier aggregation is not supported on the uplink

Source: <https://www.slideteam.net/structure-of-the-nr-u-plane-radio-protocol-working-of-5g-technology-it-ppt-microsoft.html#images-1>

## ❖ ML as a toolbox for NR-U



Source: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/10/2774>, Future Is Unlicensed: Private 5G Unlicensed Network for Connecting Industries of Future

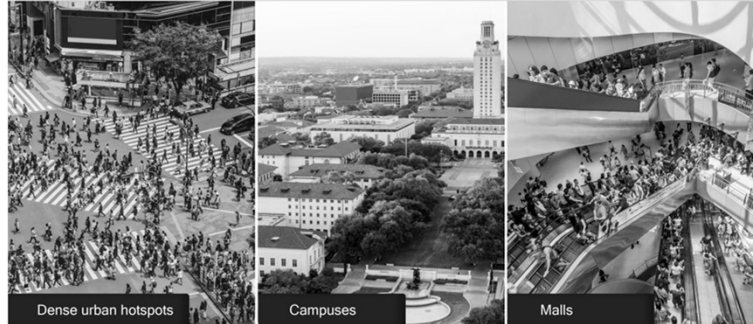
- I. 개요
- II. Wi-Fi 7 기술과 서비스
- III. Wi-Fi 7 응용 서비스 개발
- IV. NR 표준의 발전
- V. NR 표준 기술
- VI. NR 적용 시나리오
- VII. 활용 기술

## VI. NR 적용 시나리오

153

### ❖ Anchored NR-U

- Boosting existing deployments,
- Better user experience with higher speeds
- Manages congestion and mobility
- Delivers a consistent 5G experience



Source: <https://www.qualcomm.com/news/eng/2020/06/11/how-does-support-unlicensed-spectrum-nr-u-transform-what-5g-can-do-you>



JS Lab

153

## VI. NR 적용 시나리오

154

### ❖ Standalone NR-U

- Makes 5G private networks easy to deploy
- Benefits a wide range of industrial IoT



Source: <https://www.qualcomm.com/news/eng/2020/06/11/how-does-support-unlicensed-spectrum-nr-u-transform-what-5g-can-do-you>



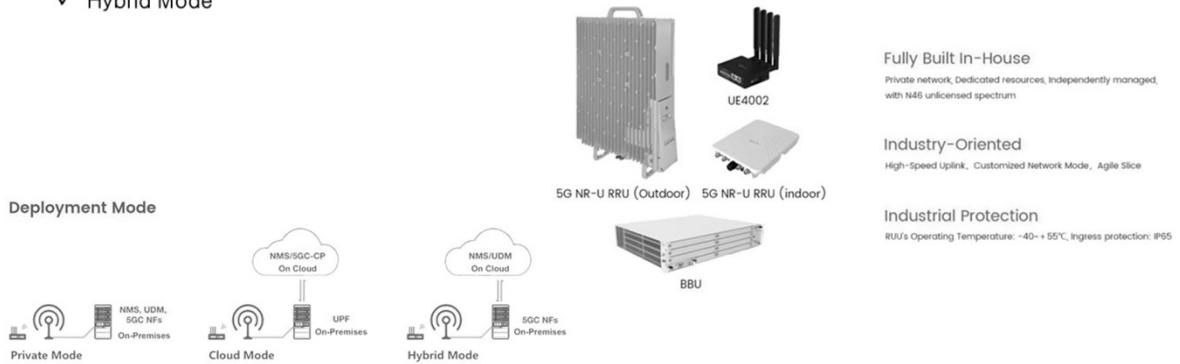
JS Lab

154

## VI. NR 적용 시나리오

155

- ❖ 5G NR-U synchronized sharing for more efficient private networks
  - AI-LINK Debuts the World's First Cloud Native Industrial 5G NR-U on 2023 MWC
    - ✓ Private Mode
    - ✓ Cloud Mode
    - ✓ Hybrid Mode



Source: <https://en.pnasia.com/releases/apac/ai-link-debuts-the-world-s-first-cloud-native-industrial-5g-nr-u-on-2023-mwc-395166.shtml>

JS Lab

155

## VI. NR 적용 시나리오

156

### ❖ Base Station Types

Cell Type	Output Power (W)	Cell Radius (km)	Users	Locations
Femtocell	0.001 to 0.25	0.01 to 0.1	1 to 30	Indoor
Pico cell	0.25 to 1	0.1 to 0.2	30 to 100	Indoor/outdoor
Micro cell	1 to 10	0.2 to 2.0	100 to 2,000	Indoor/outdoor
Macro cell	10 to more than 50	8 to 30	More than 2,000	Outdoor

Source: 5G RF, 2nd Qorvo Special Edition, by David Schnauffer, Tuan Nguyen, Ben Thomas, Alexis Mariani, Paul Cooper, Bror Peterson, Phil Warder

JS Lab

156

## VI. NR 적용 시나리오

157

### ❖ Video Traffic 과 대역폭

- Required data rates of 1080p and 720p video (~6.8 Mbps)
- Required data rate of UHD video (300 Mbps)

Video type	Video resolution	Frame rate (FPS)	Encoding scheme	Required data rate
720p	1280 × 720	60	H.264	3.8 Mbit/s
1080p	1920 × 1080	40	H.264	4.5 Mbit/s
1080p	1920 × 1080	60	H.264	6.8 Mbit/s

Video type	Video resolution	Frame rate (frame per second, FPS)	Encoding scheme	Quality requirement	Required data rate
4 K UHD	3840 × 2160	50	HEVC	Medium quality	20–30 Mbit/s
4 K UHD	3840 × 2160	50	HEVC	High quality	~75 Mbit/s
4 K UHD	3840 × 2160	50	AVC	High quality	~150 Mbit/s
8 K UHD	7680 × 4320	50	HEVC	High quality	~300 Mbit/s

Springer

Source: 5G System Design, An End to End Perspective, Wan Lei • Anthony C. K. Soong, Liu Jianghua • Wu Yong • Brian Classon, Weimin Xiao • David Mazzaresse, Zhao Yang • Tony Saboorian



JS Lab

157

## VI. NR 적용 시나리오

158

### ❖ Required data rate of VR (w/Round-trip delay)

VR level		Video resolution	Single-eye resolution	Frame rate (FPS)	Encoding scheme	Color depth	Required instantaneous data rate		Round-trip delay
Entry-level VR	Weak interaction	Full-view 8 K 2D/3D video (full-frame resolution 7680 × 3840)	1920 × 1920 [with view angle of 110°]	30	H.265	8	Field of view (FOV): 40 Mbps (2D) 63 Mbps (3D)	Full view: 75 Mbps (2D) 120 Mbps (3D)	30 ms (2D) 20 ms (3D)
	90			120 Mbps (2D) 200 Mbps (3D)					10 ms
Advanced VR	Weak interaction	Full-view 12 K 3D video (full-frame resolution 11,520 × 5760)	3840 × 3840 [with view angle of 120°]	60	H.265	10	FOV: 340 Mbps	Full view: 630 Mbps	20 ms
	120			1.4 Gbps					5 ms
Ultimate VR	Weak interaction	Full-view 24 K 3D video (full-frame resolution 23,040 × 11,520)	7680 × 7680 [with view angle of 120°]	120	H.266	12	FOV: 2.34 Gbps	Full view: 4.4 Gbps	10 ms
	200			3.36 Gbps					5 ms

Springer

Source: 5G System Design, An End to End Perspective, Wan Lei • Anthony C. K. Soong, Liu Jianghua • Wu Yong • Brian Classon, Weimin Xiao • David Mazzaresse, Zhao Yang • Tony Saboorian

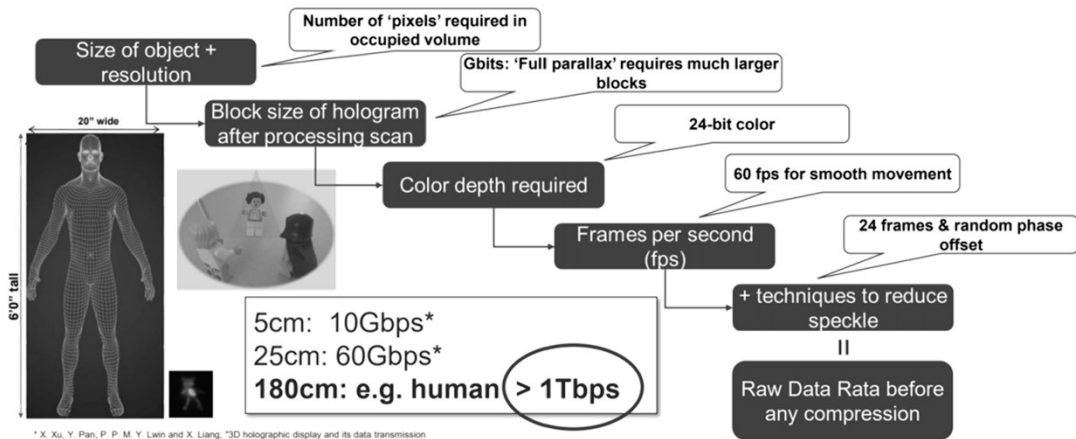


JS Lab

158

# VI. NR 적용 시나리오

## ❖ Holographic Telepresence ds:



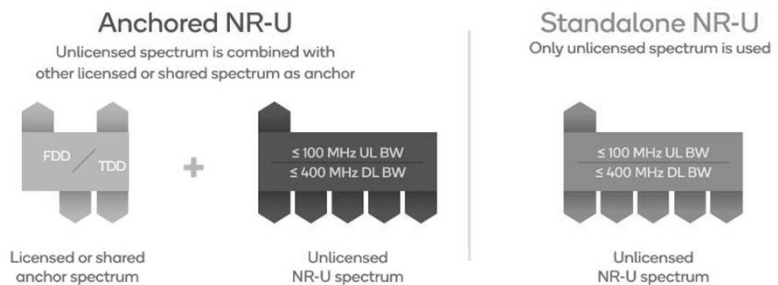
\* X. Xu, Y. Pan, P. P. M. Y. Lwin and X. Liang, "3D holographic display and its data transmission requirement", Proc. Int. Conf. Inf. Photon. Opt. Commun., pp. 1-4, 2011.

Source: Keysights

# VI. NR 적용 시나리오

## ❖ Rel-16 introduces NR in unlicensed spectrum: NR의 비면허대역폭(Unlicensed Band) 사용

- 비면허대역폭(Unlicensed Band)은 LTE와 NR에서 사용 가능
- NR에서 비면허 대역폭을 사용 하는 시나리오 2개
  - Anchored NR-U: 면허 대역폭을 Anchor로 사용하고 비면허 대역폭이 허용 할 때마다 조금씩 확장해서 사용
  - Standalone NR-U: 비면허대역폭 단독으로 사용



5G NR in unlicensed spectrum with 3GPP Release 16

Source: <https://www.qualcomm.com/news/eng/2020/06/11/how-does-support-unlicensed-spectrum-nr-u-transform-what-5g-can-do-you>

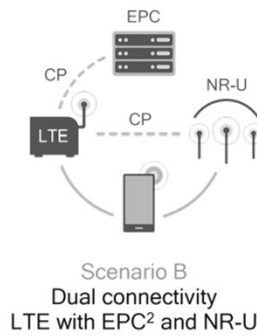
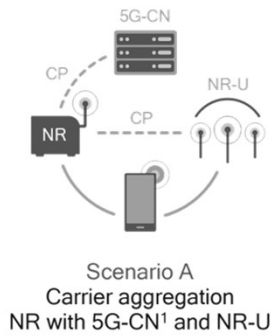


## VI. NR 적용 시나리오

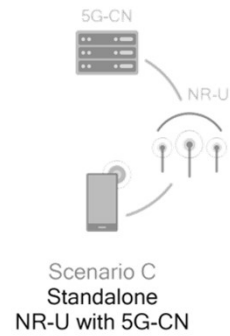
161

### ❖ NR-U deployment scenarios

#### Anchored NR-U



#### Standalone NR-U



Control Plane (CP) routes shown for Anchored NR-U; User Plane (UP) routes depend on network design; 1. 5G Core Network ; 2. Evolved Packet Core  
Source: [https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/how\\_nr-u\\_can\\_transform\\_what\\_5g\\_can\\_do\\_for\\_you\\_0.pdf](https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/how_nr-u_can_transform_what_5g_can_do_for_you_0.pdf)



JS Lab

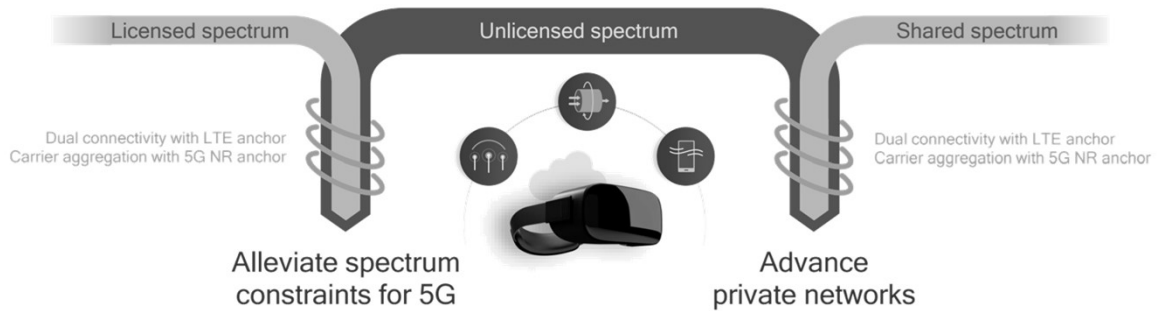
161

## VI. NR 적용 시나리오

162

### ❖ Anchored or Standalone NR-U:

- 라이선스 또는 공유 스펙트럼과 비면허 스펙트럼을 결합하여 모바일 네트워크 성능 향상
- LTE-LAA로 도입된 비면허 스펙트럼에 액세스하기 위한 라이선스 지원 액세스(LAA) 방식이 5G NR에서 지원된다. 모바일 네트워크 사업자(MNO)가 트래픽 증가 또는 핫스팟의 가입자 밀도 증가에도 불구하고 사용자가 기대하는 서비스 품질(QoS)을 유지하는 등 일반적으로 뒤따르는 과제를 해결하는 데 유용할 것으로 예상된다. NR-U는 통신사업자가 이러한 과제를 해결하는 데 도움을 줄 수 있다.



Source: <https://www.qualcomm.com/news/ong/2020/06/11/how-does-support-unlicensed-spectrum-nr-u-transform-what-5g-can-do-for-you>



JS Lab

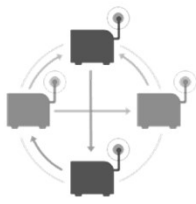
162

## VI. NR 적용 시나리오

163

### ❖ Unlicensed spectrum can support demanding IIoT

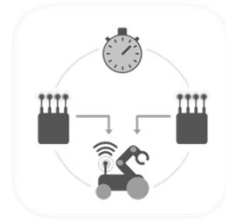
- 많은 산업에서 시간 민감형 네트워킹(TSN)에 크게 의존하며, 5G는 기존 TSN 네트워크를 투명하게 연결할 수 있는 표준화된 솔루션을 제공한다. 동기화된 공유, 조정된 다중 지점 전송(CoMP)을 통한 다중 송수신 지점(multi-TRP), 향상된 초신뢰성 저지연 통신(eURLLC) 등 IIoT를 위한 다른 5G 지원 기능도 모두 제어된 환경에서 NR-U를 통해 구축할 수 있다. 또한 새로운 6GHz 비면허 대역이 제공하는 넓은 대역폭으로 인해 6GHz의 NR-U는 IIoT에서 중요한 역할을 할 것으로 기대한다.



Today, unlicensed spectrum offers unpredictable QoS



In controlled environments, QoS becomes more predictable



Synchronized sharing enables CoMP and more predictable QoS

Source: <https://www.qualcomm.com/news/eng/2020/06/11/how-does-support-unlicensed-spectrum-nr-u-transform-what-5g-can-do-you>

JS Lab

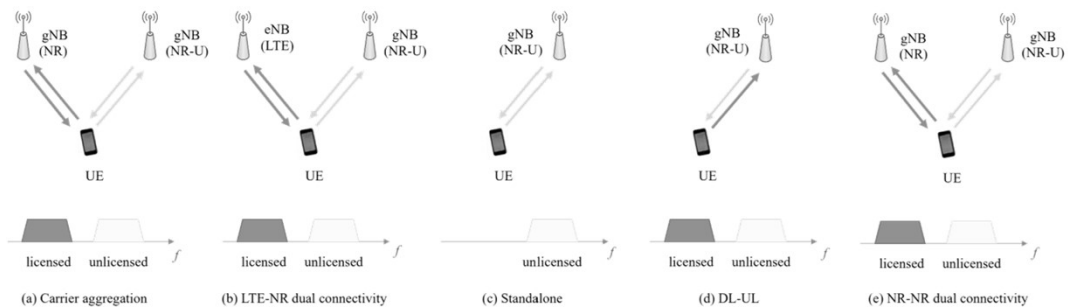
163

## VI. NR 적용 시나리오

164

### ❖ NR-U 적용 RAN 구성 시나리오

- Carrier aggregation
- LTE-NR dual connectivity
- Standalone
- DL-UL
- NR-NR dual connectivity



Source: [https://www.researchgate.net/publication/336786850\\_New\\_Radio\\_Beam-Based\\_Access\\_to\\_Unlicensed\\_Spectrum\\_Design\\_Challenges\\_and\\_Solutions](https://www.researchgate.net/publication/336786850_New_Radio_Beam-Based_Access_to_Unlicensed_Spectrum_Design_Challenges_and_Solutions)

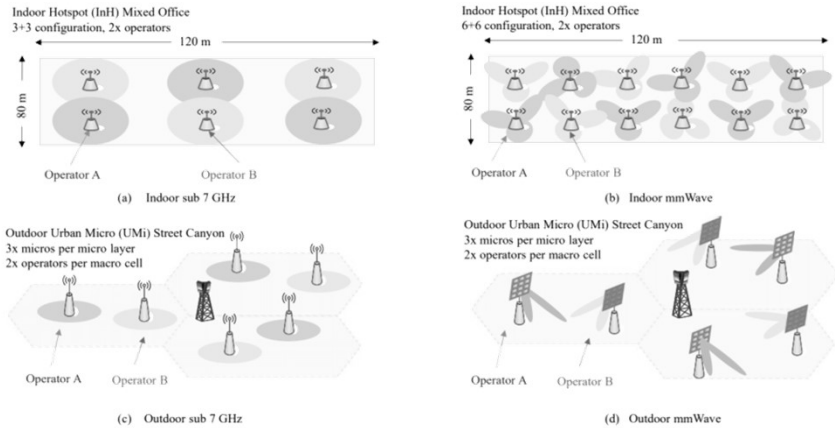
JS Lab

164

# VI. NR 적용 시나리오

## ❖ NR-U 레이아웃 시나리오

- a. Indoor sub 7 GHz
- b. Indoor mmWave
- c. Outdoor sub 7 GHz
- d. Outdoor mmWave



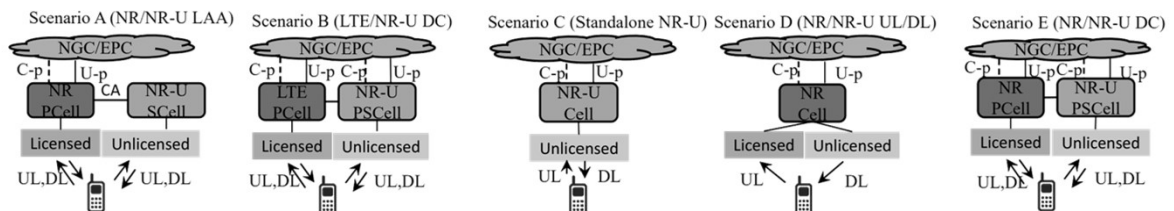
Source: [https://www.researchgate.net/publication/336786850\\_New\\_Radio\\_Beam-Based\\_Access\\_to\\_Unlicensed\\_Spectrum\\_Design\\_Challenges\\_and\\_Solutions](https://www.researchgate.net/publication/336786850_New_Radio_Beam-Based_Access_to_Unlicensed_Spectrum_Design_Challenges_and_Solutions)

# VI. NR 적용 시나리오

## ❖ NR-U 배포 시나리오

- NR/NR-U LAA
- LTE/NR-U DC
- Standalone NR-U
- NR/NR-U UL/DL
- NR/NR-U DC

- 'C-p': Control plane
- 'U-p': User plane
- NGC: Next-Generation Core
- EPC: Evolved packet core



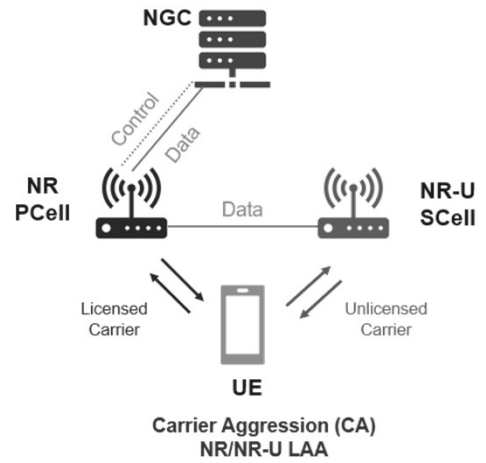
Source: [https://arxiv.org/pdf/2012.10937.pdf?fbclid=IwAR23813GNVgyowKn30r6IUH7JzFbp8jCOWqdvR\\_hURWnQEQGrLI2QhgMnBY](https://arxiv.org/pdf/2012.10937.pdf?fbclid=IwAR23813GNVgyowKn30r6IUH7JzFbp8jCOWqdvR_hURWnQEQGrLI2QhgMnBY), G New Radio Unlicensed: Challenges and Evaluation

## VI. NR 적용 시나리오

167

### ❖ NR/NR-U LAA.

- 5G-NR 셀이 제공하는 허가된 캐리어와 5G NR-U 셀이 제공하는 비면허 서비스로 구성된 CA 모드



Source: <https://www.techplayon.com/5g-new-radio-unlicensed-nr-u/>

JS Lab

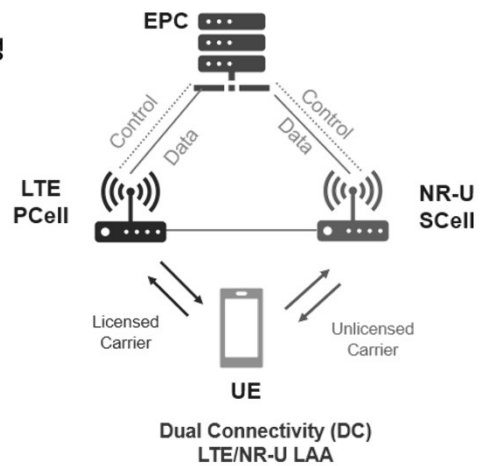
167

## VI. NR 적용 시나리오

168

### ❖ LTE/NR-U DC

- DC 모드는 LTE 셀을 통해 서비스되는 허가된 이동 통신사와 5G NR-U 휴대폰으로 서비스되는 비면허 이동 통신사로 구성



Source: <https://www.techplayon.com/5g-new-radio-unlicensed-nr-u/>

JS Lab

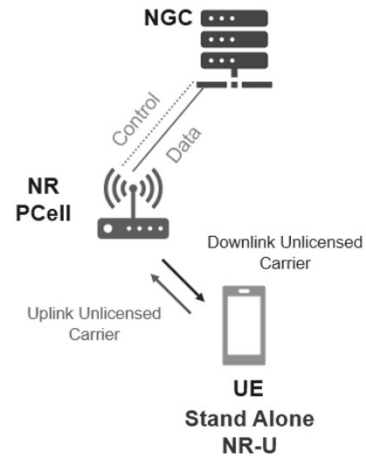
168

## VI. NR 적용 시나리오

169

### ❖ NR-U Standalone

- 5G NR-U 셀룰러에서 제공하는 비면허 이동 통신사로 구성된 독립형 모드이며, 사설 네트워크를 운영할 때 유용



Source: <https://www.techplayon.com/5g-new-radio-unlicensed-nr-u/>

JS Lab

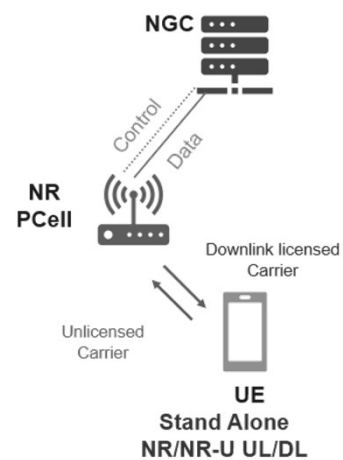
169

## VI. NR 적용 시나리오

170

### ❖ NR/NR-U UL/DL

- 5G-NR 셀에서 제공하는 라이선스 서비스를 결합하여 UL 통신을 허용하고 5G NR-U 모바일에서 제공하는 비면허 서비스를 결합하여 DL 통신을 허용



Source: <https://www.techplayon.com/5g-new-radio-unlicensed-nr-u/>

JS Lab

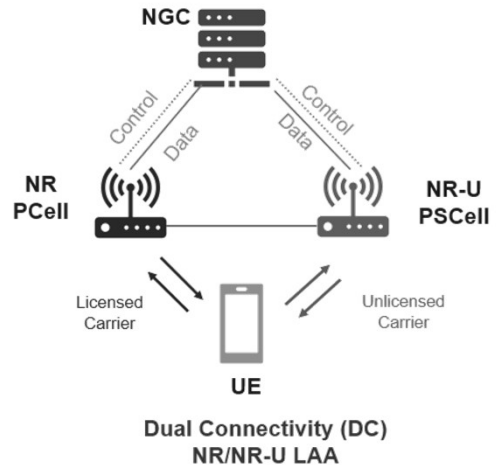
170

## VI. NR 적용 시나리오

171

### ❖ NR/NR-U DC.

- DC 모드는 5G NR 폰에서 제공하는 라이선스 서비스와 5G NR-U 폰에서 제공하는 비면허 서비스로 구성



Source: <https://www.techplayon.com/5g-new-radio-unlicensed-nr-u/>

JS Lab

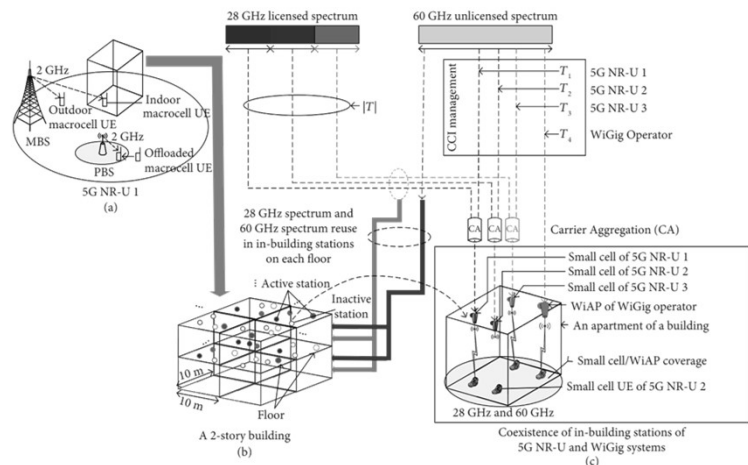
171

## VI. NR 적용 시나리오

172

### ❖ 시스템 아키텍처 (공존 계획 및 간섭 관리)

- 5G NR-U의 시스템 아키텍처
- 모든 사업자의 소규모 셀로 구성된 2층 건물.
- 5G NR-U 사업자 3곳의 스몰셀 3개와 WiGig 사업자 1곳의 WiAP가 공존



Source: <https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2021/8661797/>

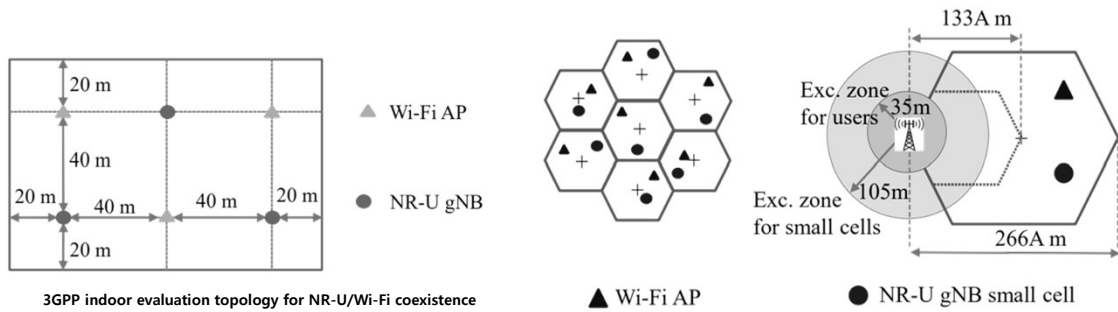
JS Lab

172

## VI. NR 적용 시나리오

173

❖ NR-U/Wi-Fi 공존을 평가하는 데 사용되는 3GPP 실외 토폴로지(A = 1.5)



Source: [https://arxiv.org/pdf/2012.10937.pdf?fbclid=IwAR238l3GNVgyowKn30r6lUH7JzFbp8jCOWqdvR\\_hURWnQFQGrLI2QhgMnBY](https://arxiv.org/pdf/2012.10937.pdf?fbclid=IwAR238l3GNVgyowKn30r6lUH7JzFbp8jCOWqdvR_hURWnQFQGrLI2QhgMnBY), G New Radio Unlicensed: Challenges and Evaluation

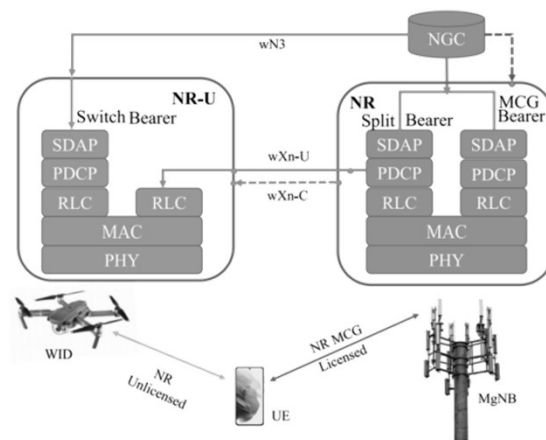
JS Lab

173

## VI. NR 적용 시나리오

174

❖ WI UAV용 비독립형 NR-U 아키텍처



Source: IEEE Access, 6G NR-U Based Wireless Infrastructure UAV: Standardization, Opportunities, Challenges and Future Scopes

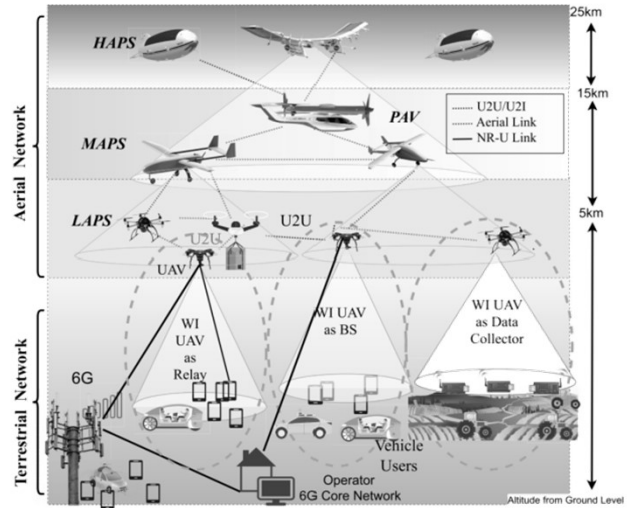
JS Lab

174

## VI. NR 적용 시나리오

175

### ❖ 6G NR-U 기반 WI UAV 배포 시나리오



Source: IEEE Access, 6G NR-U Based Wireless Infrastructure UAV: Standardization, Opportunities, Challenges and Future Scopes



JS Lab

175

- I. 개요
- II. Wi-Fi 7 기술과 서비스
- III. Wi-Fi 7 응용 서비스 개발
- IV. NR 표준의 발전
- V. NR 표준 기술
- VI. NR 적용 시나리오
- VII. 활용 기술

176

◆◆◆◆ james@jslab.kr

JS Lab

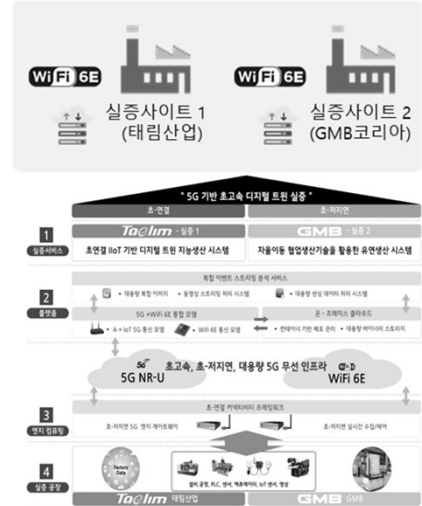
176



## VII. 활용 기술

177

- ❖ 경남 5G 차세대 스마트공장 규제자유특구 지정(실증특례)
- ❖ 5G+Wi-Fi 6E 차세대 스마트공장 네트워크 모델 구축 (예)
  - 특례 허용: 5G NR-U 및 Wi-Fi 6E 관련 무선기기의 실내 전파출력 기준 상향(250mW → 1W) 특례 허용
  - 현재는 출력 제한(250mW)으로 과도한 초기 구축 비용이 소요되나 기준 완화 시(1W) 데이터 도달거리 증가로 같은 면적에 필요한 송·수신기 설치 개수 감소(1/2 수준)
  - 특례 허용: 5G NR-U 및 Wi-Fi 6E 관련 무선설비의 실내 안테나 절대이득을 포함한 전력밀도 기준 상향(2dBm/MHz → 8dBm/MHz)



Source: <http://rfz.go.kr/?menuno=206&bbsno=55&boardno=21&siteno=1&act=view&&ztag=rO0ABXQAMTjYXsIHRS5cGU9ImJvYXJkIiBubz0iMjEiIHNaW49InJmcl9mYXElPjwY2FsbD4%3D>

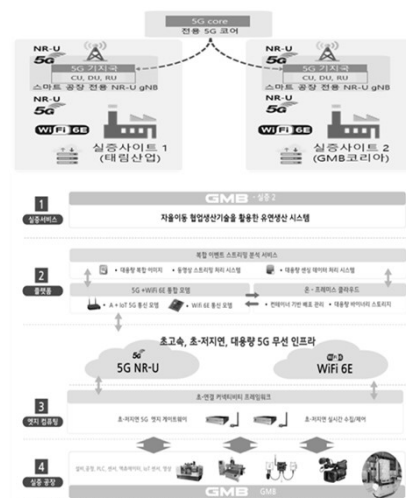
JS Lab

177

## VII. 활용 기술

178

- ❖ 경남 5G 차세대 스마트공장 규제자유특구 지정(실증특례)
- ❖ 초연결 IIoT 기반 디지털 트윈 지능생산시스템 (예)
  - 자율이동 협업생산기술을 활용한 유연생산시스템 개발 실증 특례
  - 5G NR-U(New Radio-Unclicensed) 기술 : 통신사가 사용하고 있는 5G 면허 대역(5G NR)과 달리, 비면허 주파수 대역(6GHz)에 적용하여, 통신비용 절감
  - Wi-Fi 6E 기술 : 기존 Wi-Fi 6의 주파수 대역을 6GHz까지 확대하여, Wi-Fi 6 대비 빠른 속도를 가지며, 전파간섭이 적음



Source: <http://rfz.go.kr/?menuno=206&bbsno=55&boardno=21&siteno=1&act=view&&ztag=rO0ABXQAMTjYXsIHRS5cGU9ImJvYXJkIiBubz0iMjEiIHNaW49InJmcl9mYXElPjwY2FsbD4%3D>

JS Lab

178

## VII. 활용 기술

179

### ❖ 이즈파크

### ❖ 경남규제특구사업 글로벌 표준 기반 5G스마트공장 구축

### ❖ 초연결 IIoT기반 디지털트윈 지능생산시스템 개발 및 실증

- 이즈파크는 태림산업을 대상으로 한 실증 컨소시엄(이즈파크, 드림시즈, 한국오픈솔루션)의 주관사업자
- 1년차에는 WIFI 6E 네트워크를 활용하여 차세대 스마트공장 서비스 실증을 수행
- 태림산업의 자동차조향장치 주력생산부품인 IMS(Intermediate Shaft) 3개 라인 전체에 대해 독일 인터스트리4.0국제표준제조데이터규격인 자산관리셸(AAS, Asset Administration Shell) 규격을 전면 적용
- AAS규격을 적용한 기존 국내 사례에서는 데모 공장이나 테스트베드 라인에 시범적으로만 적용하는 경우가 대부분이지만, 본 과제에서는 상용제품을 생산하는 양산라인에 전면 적용

Source: 아이티데일리(<http://www.itdaily.kr>)

JS Lab

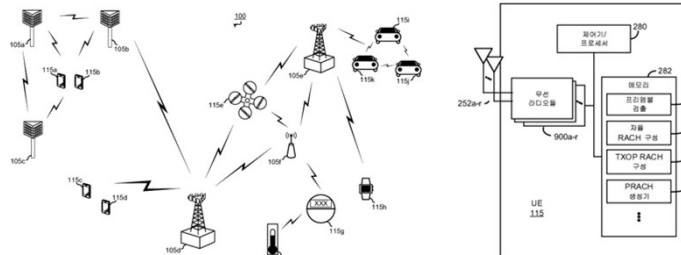
179

## VII. 활용 기술

180

### ❖ 특허(예): Nr-u 상의 prach 구성

- 뉴 라디오 비허가 (NR-U) 상의 물리 랜덤 액세스 채널 (PRACH) 이 개시된다. UE 는 송신 기회 (TXOP) 로 또는 TXOP 외부에서 PRACH 송신을 수행할 수도 있다. UE 는 TXOP 를 식별하는 프리엠블 또는 공통 제어 신호와 같은 제어 신호를 모니터링한다. UE 는 복수의 랜덤 액세스 오케이전들을 포함하는 랜덤 액세스 슬롯을 식별하는, 현재 TXOP 외부의 통신들을 위한 자율 랜덤 액세스 구성을 획득할 수도 있다. UE 가 제어 신호를 검출하지 못하면, UE 는 기지국과 관련하여 그의 위치의 빔 방향에 대응하는 랜덤 액세스 오케이 전에서 자율 랜덤 액세스 신호를 송신한다. 그렇지 않으면, 제어 신호의 검출 및 트리거 신호의 수신 시, UE 는 TXOP 내에서 랜덤 액세스 요청을 송신할 수도 있다.



Source: <https://patents.google.com/patent/KR102212101B1/ko>

JS Lab

180

## VII. 활용 기술

181

### ❖ 특허(예): Radio link monitoring (RLM) procedures in new radio unlicensed bands (NR-U)

- 본 개시의 양상은 무선 통신을 위한 장치 및 방법을 제공한다. 하나의 장치는 하나 이상의 최초 사용 가능한 무선 링크 모니터링 참조 신호(RLM-RS) 샘플의 신호 품질에 따라 복수의 수신된 RLM-RS 샘플로부터 하나 이상의 최초 사용 가능한 무선 링크 모니터링 참조 신호(RLM-RS) 샘플을 선택하는 처리 회로를 포함한다. 하나 이상의 최초 사용 가능한 RLM-RS 샘플은 첫 번째 평가 기간 내에 수신됩니다. 처리 회로는 하나 이상의 최초 사용 가능한 RLM-RS 샘플의 총 개수가 목표 개수보다 적은지 여부를 결정합니다. 하나 이상의 최초 사용 가능한 하나 이상의 RLM-RS 샘플의 총 수가 목표 수보다 작은 것으로 결정되면, 처리 회로는 제1 평가 기간보다 큰 제2 평가 기간을 결정하고, 제2 평가 기간 내에 비면허 대역에서 RLM 절차를 수행합니다.

Source: <https://patents.justia.com/patent/11405813>

JS Lab

181

## VII. 활용 기술

182

### ❖ 특허(예): System information update for nr-u

- 일부 실시예에 따르면, 비면허 스펙트럼에서 시스템 정보(SI)를 업데이트하기 위해 네트워크 노드에 의해 수행되는 방법은, SI 수정 시간에 SI 업데이트를 수행하기로 결정하고, SI 수정 시간 이전에 남은 복수의 SI 업데이트 기간의 각 SI 업데이트 기간에 대해 무선 장치로 SI 업데이트 알림을 전송하는 것을 포함한다. SI 업데이트 통지는 UE가 업데이트된 SI를 획득해야 하는 시점에 대한 SI 수정 시간의 표시를 포함한다. 일부 실시예에서, 이 방법은 SI 수정 시간이 지났고 복수의 SI 업데이트 기간 중 적어도 하나의 SI 업데이트 기간 동안 SI 업데이트 알림이 성공적으로 전송되지 않았다는 것을 판단하고 무선 디바이스가 즉시 업데이트된 SI를 획득해야 한다는 표시를 포함하는 SI 업데이트 알림을 무선 디바이스로 전송하는 것을 더 포함합니다.

300

312 – receive a SI update notification from a network node, the SI update notification includes an indication of a SI modification time for when the wireless device should acquire updated SI

314 – acquire the updated SI at the indicated SI modification time

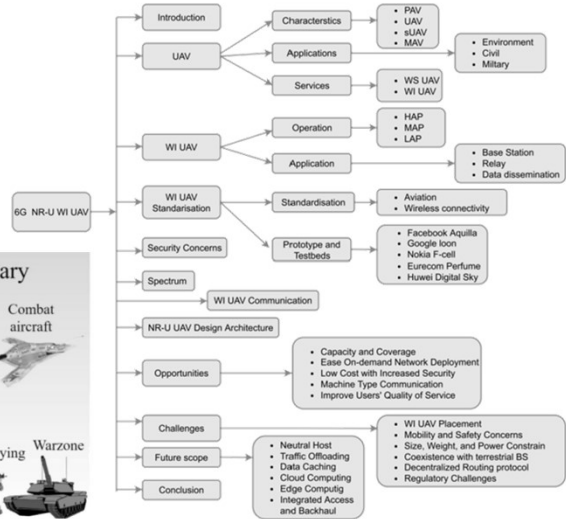
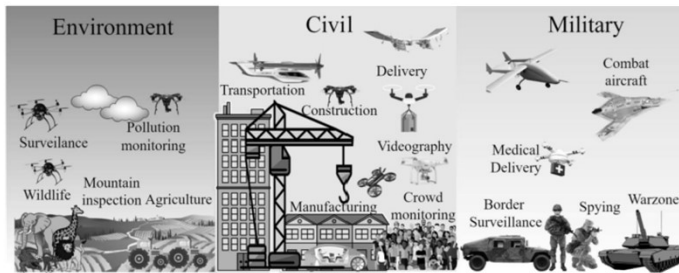
Source: <https://patents.google.com/patent/KR102212101B1/ko>

JS Lab

182

# VII. 활용 기술

## ❖ 6G NR-U WI UAV



Source: IEEE Access, 6G NR-U Based Wireless Infrastructure UAV: Standardization, Opportunities, Challenges and Future Scopes

