

# Massive MIMO와 빔포밍 기술

2021. 7.

(2021년 12월까지 사용 권장)

안 종 석  
james@jslab.kr  
JS Lab

- I. 매시브 MIMO 기능
- II. 신호 처리
- III. Carrier Aggregation 적용 기술
- IV. 빔포밍

5G 융합서비스 테스트베드  
james@jslab.kr



- I. 매시브 MIMO 기능
- II. 신호 처리
- III. Carrier Aggregation 적용 기술
- IV. 빔포밍

JS Lab

5G 융합서비스 테스트베드  
james@jslab.kr


## I. 매시브 MIMO 기능

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

### 4G antenna



### 5G antenna



(출처: <https://radio-waves.orange.com/en/radio-networks-and-antennas/5g/>)

□ MIMO (Multiple Input Multiple Output) 스마트 안테나를 사용하여 빔포밍(Beamforming)을 구현

JS Lab

## I. 매시브 MIMO 기능

- ❖ Massive MIMO
- ❖ 5G beamforming

- Multiple transmission points with many dynamically steerable antennas
- Information sent directly to the device instead of broadcasting across the cell
- Significantly increases data throughput and capacity

Multi-user MIMO benefits

- Faster data throughput
- Good cell edge performance
- High capacity

Highly focused beams

출처: <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/markets/communications/5g-solutions/5g-beamforming/>

JS Lab

## I. 매시브 MIMO 기능

- ❖ 5G NR 기술

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

확장가능한 OFDM 기반 무선 인터페이스

확장가능한 OFDM Numerology

다양한 스펙트럼, 백포 및 서비스를 효율적으로 지원

유연한 슬롯 기반 프레임 워크

유연한 일체형 (Self-contained) 슬롯 구조

저지연, 고신뢰성 및 상위 호환성을 위한 핵심 기술

첨단 채널 코딩

ME-LDPC & CA-Polar

대규모 데이터 블록 및 고신뢰성 제어 채널 효율적 지원

Log Periodic Dipole Array (LPDA)  
멀티에지 LDPC(ME-LDPC)

대용량 다중입출력

채널 호해성 기반 MU-MIMO

커버리지 및 용량 증가를 위해 다수의 안테나 효율적 활용

모바일 밀리미터파

범포밍 및 빔 추적

용량 및 처리량의 극적인 확대를 위해 밀리미터파 사용

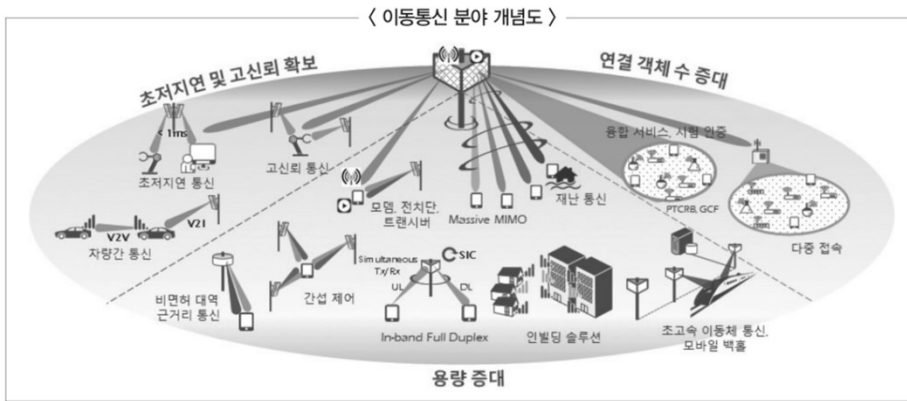
출처: <https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=11764280&memberNo=20717909>

JS Lab

# I. 매시브 MIMO 기능

## ❖ 이동통신 분야 개념도

- 용량 증대를 위한 Massive MIMO

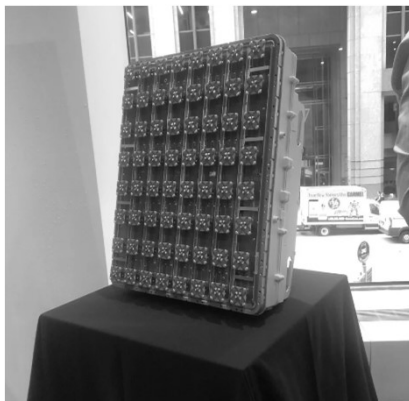


출처: ICT R&D 기술로드맵 2025, IITP 정보통신기획평가원

JS Lab

# I. 매시브 MIMO 기능

## ❖ Massive MIMO (예)



Massive MIMO has traditionally been used in TDD bands. (Bevin Fletcher/FierceWireless)

출처: <https://www.fiercewireless.com/tech/t-mobile-exec-says-massive-mimo-can-be-used-tdd-and-fdd-bands>

JS Lab

## I. 매시브 MIMO 기능

### ❖ Massive MIMO (예)



Aurora CMM.100.A 5-6GHz C-Band  
Massive MIMO Phased Array

출처: <https://www.taoglas.com/product/aurora-cmm-100-a-5-6ghz-c-band-massive-mimo-phased-array/>

JS Lab

9

## I. 매시브 MIMO 기능

### ❖ Massive MIMO (예)



64 TX + 64 RX 5G MU-MIMO antenna suitable for Massive MIMO  
(Credit: Ericsson)

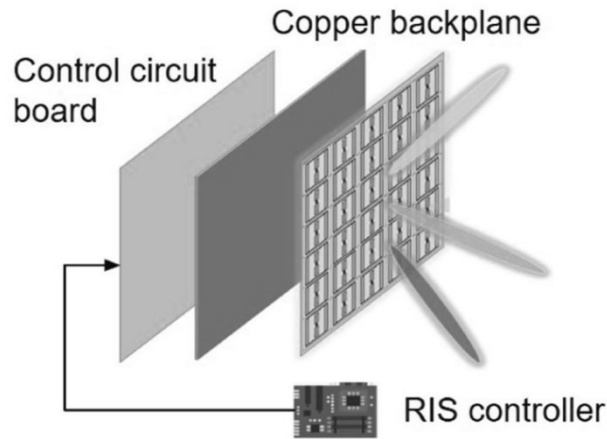
출처: <https://medium.com/5g-nr/massive-mimo-75f775ead2e9>

JS Lab

10

## I. 매시브 MIMO 기능

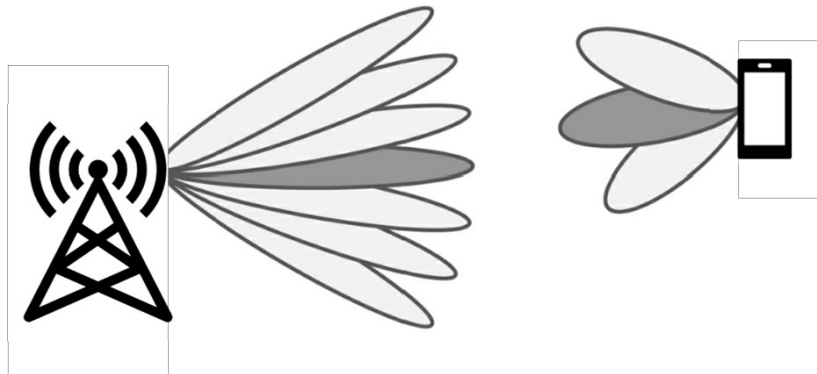
- ❖ O-RAN의 RIS(RAN Intelligent Controller) 제어



5G 융합서비스 테스트베드  
james@jslab.kr

## I. 매시브 MIMO 기능

- ❖ Downlink
- ❖ Uplink



5G 융합서비스 테스트베드  
james@jslab.kr

## I. 매시브 MIMO 기능

❖ Demonstrated mm-wave modules with flip-chip-based AiP: organic laminates from IBM and Qualcomm, glass-based substrates, and LTCC.

LTCC는 low-temperature의 LT와 Co-fired ceramic의 CC가 합쳐진 단어

( 출처: A Review of 5G Front-End Systems Package Integration  
Atom O. Watanabe, Student Member, IEEE, Muhammad Ali, Student Member, IEEE,  
Sk Yeahia Been Sayeed, Rao R. Tummala, Life Fellow, IEEE, P. Markondeya Raj, Senior Member, IEEE. )

5G 융합서비스 테스트베드

james@jslab.kr

JS Lab

## I. 매시브 MIMO 기능

❖ 단말기의 5G 안테나 (예)

5G 융합서비스 테스트베드

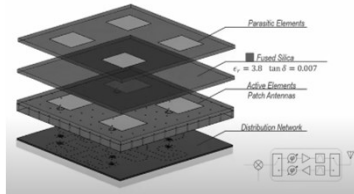
james@jslab.kr

JS Lab

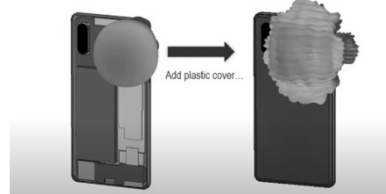
# I. 매시브 MIMO 기능

## ❖ 5G 안테나 해석

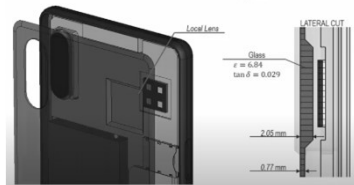
Chip Antenna Concept



Antenna Integration in Phone with Dielectric Cover



Plastic & Glass: Dielectric Design Problem



mm-Wave in Phone – Several Arrays



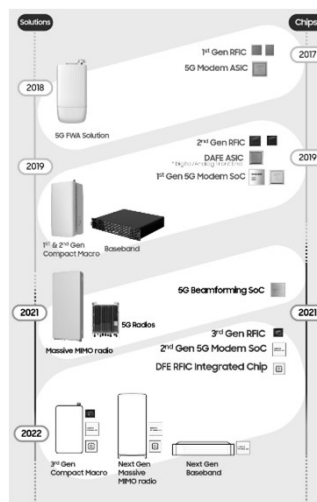
( 출처: <https://www.youtube.com/watch?v=F2K9aj-LFwU> )

5G 융합서비스 테스트베드 james@jslab.kr

# I. 매시브 MIMO 기능

## ❖ 5G 칩셋 (예:Samsung)

The Journey of Samsung Chipsets for 5G Network Solutions

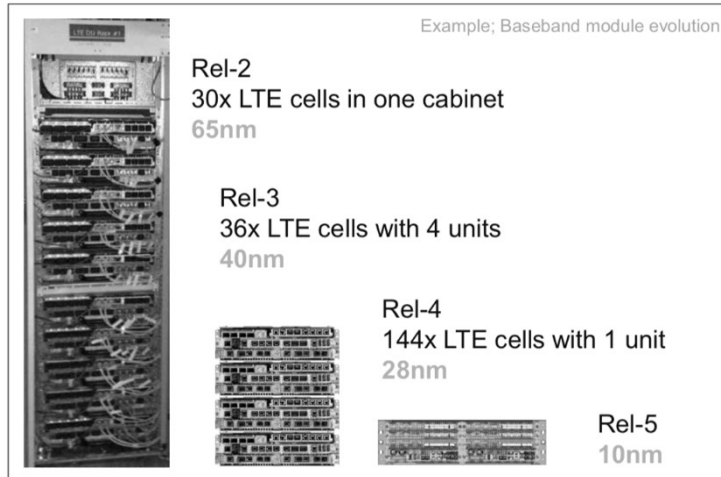


5G 융합서비스 테스트베드 james@jslab.kr



# I. 매시브 MIMO 기능

❖ 5G 칩셋의 발전과 통신사의 적용 로드맵 고려 (예: 노키아)

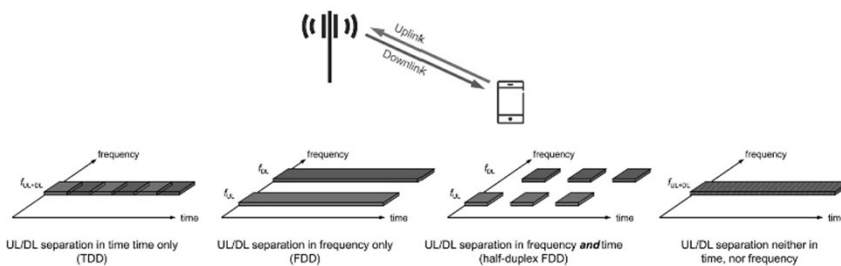


출처: <http://m.dongascience.donga.com/news.php?id=22509>

JS Lab

# I. 매시브 MIMO 기능

❖ Downlink and Uplink



JS Lab

## I. 매시브 MIMO 기능

❖ LTE and NR

The diagram illustrates the difference in carrier frequency allocation between LTE and NR. In LTE, the carrier center frequency is positioned such that the DC subcarrier is unused. In NR, the carrier center frequency is positioned such that the DC subcarrier is used. Device center frequencies for Device 1, Device 2, and Device 3 are shown relative to the carrier center frequency.

**JS Lab**

## I. 매시브 MIMO 기능

❖ Frame / Subframe / Slot / Symbol

The diagram shows the hierarchy of time units in 5G NR. One frame has a duration of  $T_{\text{frame}} = 10 \text{ ms}$ . One subframe has a duration of  $T_{\text{subframe}} = 1 \text{ ms}$ . One slot consists of 14 symbols. The relationship between slot duration and subcarrier spacing ( $\Delta f$ ) is shown for different values of  $\Delta f$ :

- $\Delta f = 15 \text{ kHz}$ : One slot = 14 symbols = 1 ms (same as one LTE subframe)
- $\Delta f = 30 \text{ kHz}$ : One slot = 14 symbols = 0.5 ms
- $\Delta f = 60 \text{ kHz}$ : One slot = 14 symbols = 0.25 ms
- $\Delta f = 120 \text{ kHz}$ : One slot = 14 symbols = 0.125 ms
- $\Delta f = 240 \text{ kHz}$ : One slot = 14 symbols = 0.0625 ms

**JS Lab**

## I. 매시브 MIMO 기능

❖ 스케줄링 고려: Subframe / Slot / Symbol

The diagram illustrates the 5G NR resource grid structure. It shows a 3D perspective of the resource grid with axes for carrier bandwidth, time (subframe), and frequency. Key components labeled include:
 

- Carrier bandwidth
- One subframe
- Resource grid,  $2\Delta f$
- Resource grid,  $\Delta f$
- One resource block – 12 subcarriers, subcarrier spacing  $2\Delta f$
- One resource block – 12 subcarriers, subcarrier spacing  $\Delta f$
- One resource element
- One OFDM symbol
- One resource block = 12 subcarriers

JS Lab

## I. 매시브 MIMO 기능

❖ 5G NR 기술

• OFDM 멀티톤 뉴머롤로지(Numerology)

The diagram illustrates the concept of  $2^n$  scaling of sub-carrier spacing and scalable carrier bandwidth. It shows four use cases with their respective subcarrier spacings and carrier bandwidths:
 

- Outdoor macro coverage** (e.g., FDD 700 MHz): Subcarrier spacing e.g. 15 kHz, Carrier bandwidth e.g. 1, 5, 10 and 20 MHz.
- Outdoor macro and small cell** (e.g., TDD 3-5 GHz): Subcarrier spacing e.g. 30 kHz, Carrier bandwidth e.g. 100 MHz.
- Indoor wideband** (e.g., unlicensed 6 GHz): Subcarrier spacing e.g. 60 kHz, Carrier bandwidth e.g. 100MHz.
- mmWave** (e.g., TDD 28 GHz): Subcarrier spacing e.g. 120 kHz, Carrier bandwidth e.g. 400MHz.

 A diagonal arrow labeled "2<sup>n</sup> scaling of Sub-Carrier Spacing (SCS)" indicates the progression from the first use case to the last.

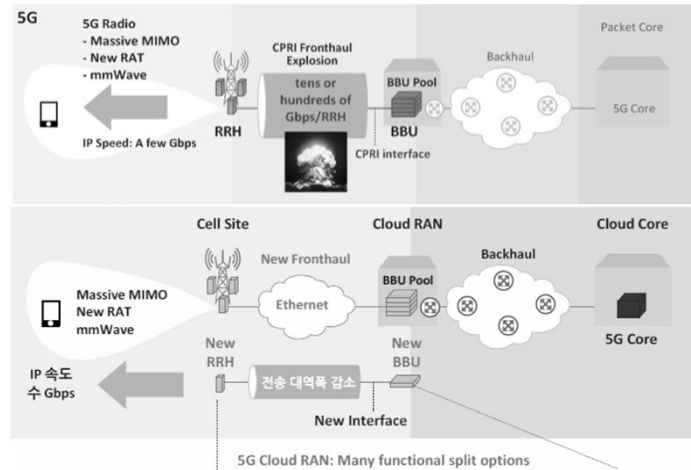
JS Lab

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

# I. 매시브 MIMO 기능

## ❖ RAN 구조의 변화 (New C-RAN/Fronthaul)

- RRH에 PHY를 내려 BBU와 RRH간의 트래픽 용량을 대폭 줄이는 시도

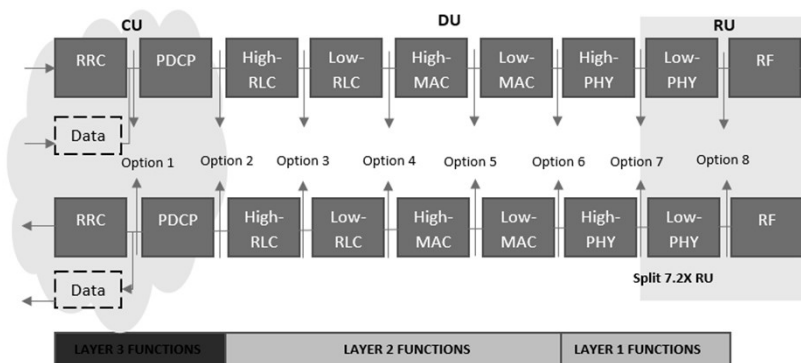


출처: <https://www.netmanias.com/ko/post/blog/8104/5g-c-ran-fronthaul-sdn-nfv/5g-network-architecture-new-c-ran-architecture-and-distributed-5g-core>

JS Lab

# I. 매시브 MIMO 기능

- ❖ Functional Split Options for 5G
- ❖ Eight Functional Splits define how the 5G NR Stack is allocated to the logical nodes.

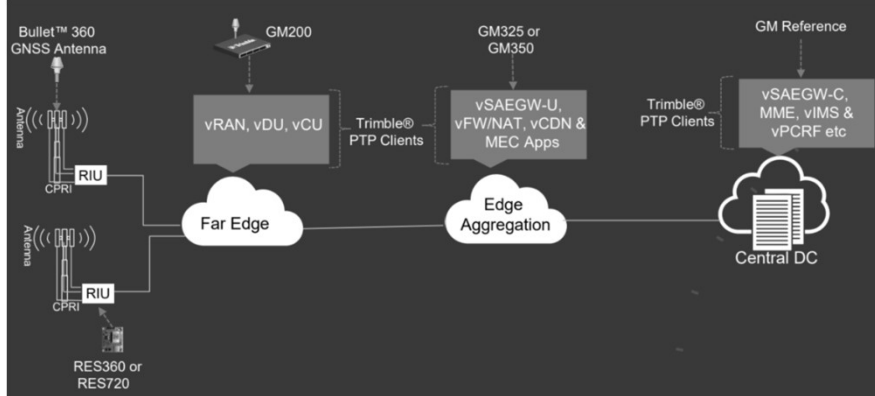


출처: <https://www.5gtechnologyworld.com/functional-splits-the-foundation-of-an-open-5g-ran/>

JS Lab

# I. 매시브 MIMO 기능

## ❖ 5G Telecom Cloud Deployment

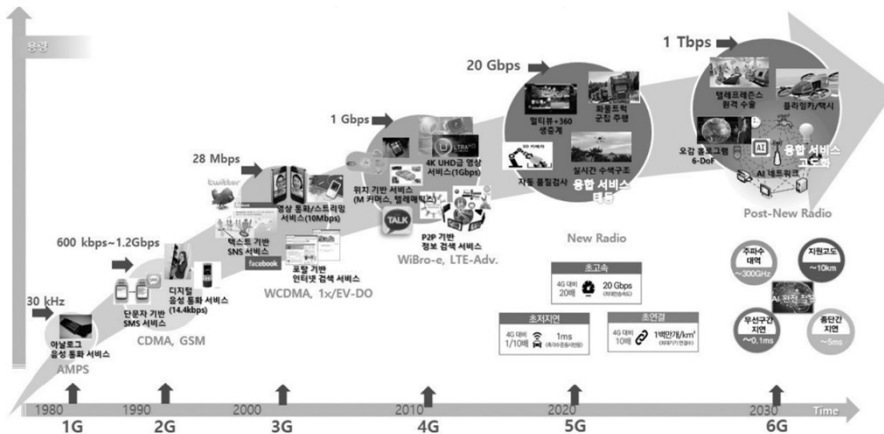


Ref: ITU-T rec G.8271.1/Y.1366.1 figure VII.2

5G 융합서비스 테스트베드 james@jslab.kr

# I. 매시브 MIMO 기능

## ❖ 이동통신 기술 발전 전망도



(출처: ICT R&D 기술로드맵 2025, IITP 정보통신기획평가원)

5G 융합서비스 테스트베드 james@jslab.kr

## I. 매시브 MIMO 기능

❖ 이동통신 인프라와 서비스는 통신 세대가 진화함에 따라 초대역화, 초정밀화, 초지능화, 초공간화가 이루어질 것으로 예상



(출처: ICT R&D 기술로드맵 2025, IITP 정보통신기획평가원)

JS Lab

## I. 매시브 MIMO 기능

❖ ICT R&D 기술로드맵 2025: 대상 기술 선정

구분	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
대상 목표	서비스	개방형 검증자판 시스템				5G 통합 서비스 시험 검증 시스템	
	제품	63GHz 트랜시버 CMOS 칩셋	MEC 연계 5G IOT 시스템	5G NR 스몰셀 기지국 상용SW	28GHz RF 능동 부품	52.6GHz 이상 RF 능동 부품	Sub-THz 배열 안테나 시스템
	부품 소재 장비*	Ka 대역 5G 단말용 안테나 증폭기	28GHz/39GHz 5G 시스템용 RFIC	Sub-6GHz 듀얼 밴드용 전자파	5G RF 단상파 필터 및 모듈	52.6GHz 이상 지원 소자 공정	THz 대역 기지국용 트랜시버
테라/사브테라 대역 통신기술	기초 원천	사브 테라헤르츠 무선전송/집속 기술 사브 테라헤르츠 전자파 안테나 트랜시버 기술					
초고주파 지원 능동소자 및 부품 기술	기초 원천	52.6GHz 이상 소자 기술					
	응용 개발	52.6GHz 이상 공정 기술 52.6GHz 이상 RF 모듈링 기술 52.6GHz 이상 전력증폭기 기술 52.6GHz 이상 저잡음 증폭기 기술 52.6GHz 이상 스위치 기술					
	초고주파 고효율 배열 안테나 부품 기술	기초 원천	광학 안테나, 광각 빔포밍 안테나 모듈 기술 Scalable Full-Duplex 배열 안테나 모듈 기술				
응용 개발	빔 메니지먼트/모니터링 멀티포트 안테나 기술						

(출처: ICT R&D 기술로드맵 2025, IITP 정보통신기획평가원)

JS Lab

# I. 매시브 MIMO 기능

## ❖ ICT R&D 기술로드맵 2025: 대상 기술 선정

구분	2020	2021	2022	2023	2024	2025
초고주파 3차원 레이다 기술	연구 개발		초고주파 3차원 레이다 레이다 기술			
	기술 확보		레이더에 의한 탐지 능력 향상 기술			
지능형 멀티 기안 레이다 기술	연구 개발	유니캐스트 기반의 지능형 레이다 기술 및 레이다 기술	지능형 레이다 기술 및 레이다 기술	지능형 레이다 기술 및 레이다 기술		
	기술 확보		지능형 레이다 기술 및 레이다 기술	지능형 레이다 기술 및 레이다 기술		
5G 사설망 기술	연구 개발	범용성을 위한 5G 네트워크 기술 및 5G 네트워크 기술	범용성을 위한 5G 네트워크 기술 및 5G 네트워크 기술	범용성을 위한 5G 네트워크 기술 및 5G 네트워크 기술		
	기술 확보		범용성을 위한 5G 네트워크 기술 및 5G 네트워크 기술	범용성을 위한 5G 네트워크 기술 및 5G 네트워크 기술		
가상화 기지국 기술	연구 개발		가상화 기지국 기술 및 가상화 기지국 기술	가상화 기지국 기술 및 가상화 기지국 기술		
	기술 확보		가상화 기지국 기술 및 가상화 기지국 기술	가상화 기지국 기술 및 가상화 기지국 기술		
초고주파 대역 활용 용량 증대 기술	연구 개발		초고주파 대역 활용 용량 증대 기술	초고주파 대역 활용 용량 증대 기술		
	기술 확보		초고주파 대역 활용 용량 증대 기술	초고주파 대역 활용 용량 증대 기술		
적응형 지능형 무선전송 기술	기술 확보		적응형 지능형 무선전송 기술	적응형 지능형 무선전송 기술		
	기술 확보		적응형 지능형 무선전송 기술	적응형 지능형 무선전송 기술		
5G V2X 단말 부팅 기술	연구 개발		5G V2X 단말 부팅 기술	5G V2X 단말 부팅 기술		
	기술 확보		5G V2X 단말 부팅 기술	5G V2X 단말 부팅 기술		
소프트웨어 기반 망형 구조망 기술	기술 확보		소프트웨어 기반 망형 구조망 기술	소프트웨어 기반 망형 구조망 기술		
	기술 확보		소프트웨어 기반 망형 구조망 기술	소프트웨어 기반 망형 구조망 기술		
실용적 기반 실시간 추종형 즉위 기술	연구 개발		실용적 기반 실시간 추종형 즉위 기술	실용적 기반 실시간 추종형 즉위 기술		
	기술 확보		실용적 기반 실시간 추종형 즉위 기술	실용적 기반 실시간 추종형 즉위 기술		
융합 서비스 신뢰성 확보 및 적용 지원 시험 기술	연구 개발		융합 서비스 신뢰성 확보 및 적용 지원 시험 기술	융합 서비스 신뢰성 확보 및 적용 지원 시험 기술		
	기술 확보		융합 서비스 신뢰성 확보 및 적용 지원 시험 기술	융합 서비스 신뢰성 확보 및 적용 지원 시험 기술		

(출처: ICT R&D 기술로드맵 2025, IITP 정보통신기획평가원)

JS Lab

# I. 매시브 MIMO 기능

## ❖ ICT R&D 기술로드맵 2025: 대상 기술 선정

구분	개념	구분	개념
테라/피타헤라 대역 통신 기술	• 테라헤르츠/피타헤르츠 대역 고주파 대역 활용을 가능하게 하는 신소재/구조체 및 모뎀 기술	5G 상용화 V2X 단말 부팅 기술	• V2X 기능으로 차량, 교통망 등에서 차량, 자율주행, 스마트 인프라 등 다양한 분야에 적용되는 기술
초고주파 지원 능동소자 및 부품 기술	• 신규 5G 주파수 대역(100~1THz)에서 RF 신소재/부품을 할 수 있는 소재-구조-부품 기술	수용 무선 통신 기술	• 수송망 연동과 데이터 전송, 차량-자전거 기반의 통신을 위한 무선 통신 기술
가상화 기지국 기술	• 4G/LTE 기반의 다수의 독립적인 가상 셀 단말을 구성하여 다양한 서비스를 맞춤형으로 제공하고 제어 용으로 사용할 수 있는 무선전송 기술	고급-신형-차량	• 차세대 차량용 통신망의 차세대-차량 통신망(5G-V2X)의 3차원 요구 사항에 맞게 고도화 기술
초고주파 고출력 변압 인덕나 부품 기술	• 밀리미터 대역 기반 고출력 변압 인덕나 부품 기술	융합 지능형 서비스 디바이스	• 5G 융합 서비스를 지원하는 다양한 디바이스/서비스 5G 융합용 융합서비스에 상응하는 다양한 통신 기술
5G 사설망 기술	• 5G 기반의 독립/통합 5G 네트워크 기술의 성능·안정성을 향상시키고 다양한 서비스 제공에 지원하는 기술	소프트웨어 기반 망형 구조망 기술	• 소프트웨어 기반 망형 구조망 기술은 융합 지능형 서비스의 다양한 서비스 구현을 위한 기술
초고주파 대역 활용 용량 증대 기술	• 밀리미터 대역 기반 5G 소자 및 송수신 기술의 연구와 최적화를 위한 기술	스물셋 시험 기술	• 5G 현업 상용화 단계에 필요한 5G 통신망에 대한 5G 상용화 시험 기술
지능형 멀티 기안 레이다 기술	• 5G 기반의 다중 기안 레이다 기반 5G 네트워크 기술의 성능·안정성을 향상시키고 다양한 서비스 제공에 지원하는 기술	특수목적 차량용 기술	• 특수목적 차량용 기술 (자율주행 등) 등 특수목적 차량 연동 기술 등 5G 통신망의 적용 가능한 특수목적 차량용 기술
소프트웨어 기반 망형 구조망 기술	• 범용 5G 상용화 5G 네트워크를 통해 기지국 단말 및 네트워크를 지원하는 기술	고속 이동속도 지원 mmWave 전송 기술	• 5G mmWave를 이용하여 고속 이동 속도 5G 통신망의 성능을 향상하는 기술
실용적 기반 실시간 추종형 즉위 기술	• 실시간 응용을 포함한 실용적 기반 즉위 기술을 이용한 실시간 추종형 즉위	5G 단말 성능 개선 기술	• 5G 단말 성능을 향상하여 차량 및 5G 통신망에 대한 성능을 향상하는 기술
지능형 멀티 기안 레이다 기술	• 레이다 및 고주파 주파수 특성화 기술 개발을 위한 기술		
지능형 멀티 기안 레이다 기술	• 레이다 및 고주파 주파수 특성화 기술 개발을 위한 기술		
지능형 멀티 기안 레이다 기술	• 레이다 및 고주파 주파수 특성화 기술 개발을 위한 기술		
지능형 멀티 기안 레이다 기술	• 레이다 및 고주파 주파수 특성화 기술 개발을 위한 기술		
융합 서비스 신뢰성 확보 및 적용 지원 시험 기술	• 5G 상용화에 따른 융합서비스의 융합서비스가 증가함에 따라, 신기술 확보 및 상용화를 지원할 수 있는 기술		

(출처: ICT R&D 기술로드맵 2025, IITP 정보통신기획평가원)

JS Lab

1. 정부 R&D 지원 필요성(민간 영역 제외)이 있는 기술
2. 위험도, 혁신성 및 가치성 여부를 고려하여 고위험·도전적 영역 기술
3. 국민 생활문제와 국민 삶의 질 향상에 필요한 사회문제 해결형 R&D 기술
4. 핵심원천기술 지원에 관한 중요도에 필요한 소재·부품·장비 핵심 기술
5. 국산화 속도 기타 필요성을 고려할 때 반드시 정부에서 개발이 필요한 기술

5G 융합서비스 테스트베드  
james@jslab.kr

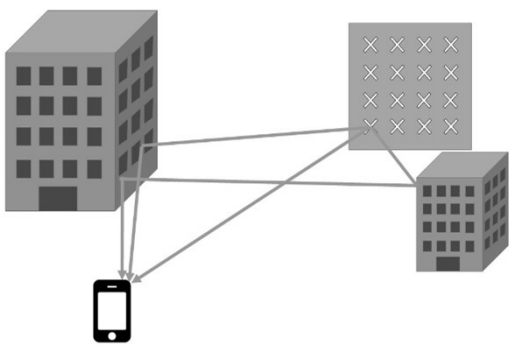


- I. 매시브 MIMO 기능
- II. 신호 처리
- III. Carrier Aggregation 적용 기술
- IV. 빔포밍

JS Lab

## II. 신호 처리

- ❖ 5G 통신을 위한 신호 처리
- ❖ 매시브 MIMO와 빔포밍 - 안테나 어레이와 사용자 간 다중 경로 환경



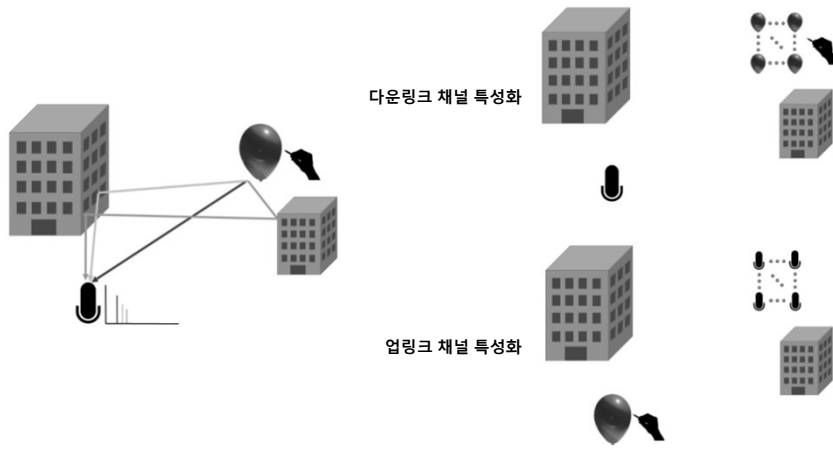
출처: [http://www.eewebinar.co.kr/adi/tech\\_view.asp?g=3&idx=351](http://www.eewebinar.co.kr/adi/tech_view.asp?g=3&idx=351)

JS Lab



## II. 신호 처리

❖ 채널의 공간 특성화를 보여주는 오디오 비유

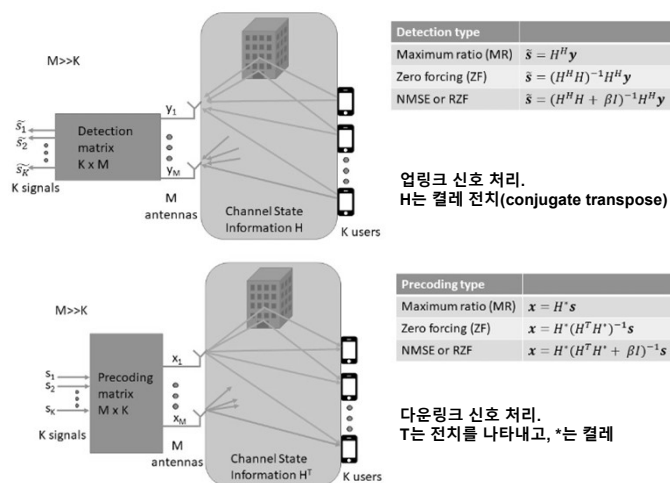


출처: [http://www.eewebinar.co.kr/adi/tech\\_view.asp?g=3&idx=351](http://www.eewebinar.co.kr/adi/tech_view.asp?g=3&idx=351)

JS Lab

## II. 신호 처리

❖ 매시브 MIMO를 구현하는 신호 처리

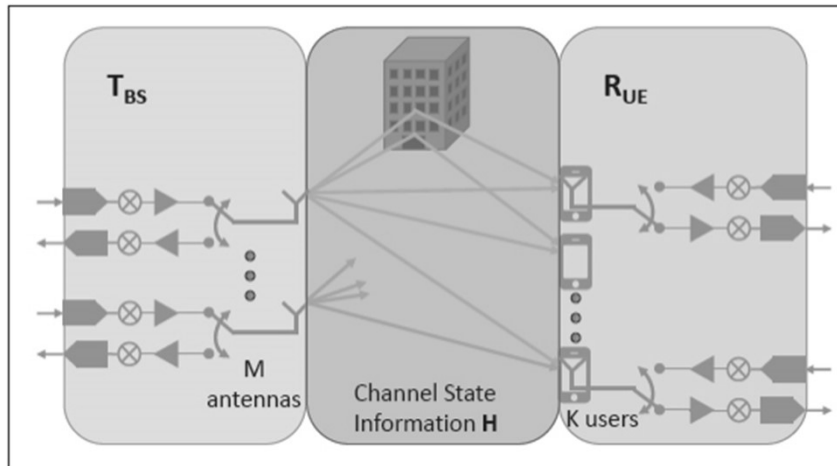


출처: [http://www.eewebinar.co.kr/adi/tech\\_view.asp?g=3&idx=351](http://www.eewebinar.co.kr/adi/tech_view.asp?g=3&idx=351)

JS Lab

## II. 신호 처리

### ❖ 매시브 MIMO를 구현하는 신호 처리



다운링크 채널

출처: [http://www.ewebinar.co.kr/adi/tech\\_view.asp?g=3&idx=351](http://www.ewebinar.co.kr/adi/tech_view.asp?g=3&idx=351)

## II. 신호 처리

### ❖ 다중 안테나 기술

- 송,수신 다이버시티 기술

다이버시티: 다양성, 페이딩에 빠지지 않는 경로를 선택하여 신뢰성을 높이려는 기술

MIMO: 전송속도를 높이려는 목적, 용량을 증대시키려는 기술

- 직접파 상황의 환경: 신호분리가 곤란

- 충분한 반사파 상황의 환경: 알고리즘에 의해 신호분리가 가능

(출처: <https://cafe.daum.net/YCP-ITPE/9xqa/20>, <https://ensxoddl.tistory.com/2>)

## II. 신호 처리

### ❖ MIMO가 동작하기 위한 두가지 전파조건

- 충분한 반사파 + 높은 SNR(좋은 전파환경)

직교성이 우수한 OFDM에서 CDMA보다 더 높은 SNR을 얻을 수 있는  
기지국 근처에서 MIMO가 동작되게 됨.

- MIMO 동작원리

- 수신 측에서 두 개의 송신신호를 분리해 낼 수 있도록 두 개의 송신경로에 각기 다른 파이롯 신호를 송신
- 수신부 : 도착한 두 개의 파이롯 신호의 크기와 이상을 추적하여 분리
- 송신부 : 반사파 상황에서도 두 개의 송신 파이롯 신호가 뒤섞이지 않도록 두 개의 송신 파이롯 신호간에 시간 축 및 주파수 축에서 직교성을 부여하여 송신

- MIMO는 OFDM과 궁합이 잘 맞는데 그 중 하나가 OFDM이 CDMA에 비해 두 개의 송신 파이롯 신호간에 직교성 부여가 유리하기 때문임.

- MIMO 용량증대는 송수신 안테나 작은 개수를 기준으로 제한됨.

MIMO용량증대 = Min(송신 안테나개수, 수신 안테나개수)

(출처: <https://cafe.daum.net/YCP-ITPE/9xqa/20>)

37

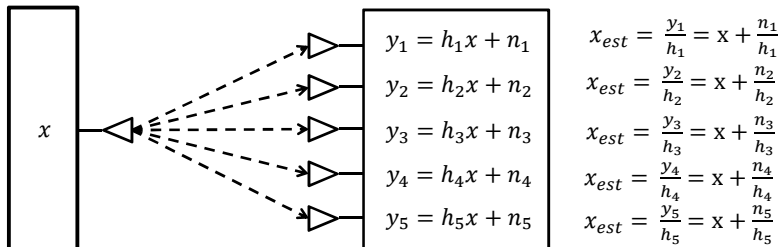
JS Lab

## II. 신호 처리

### ❖ MIMO의 수학적 배경

- $y = H * x + n$ ,  
y=수신 안테나 정보, x=송신 안테나 정보, n=전송잡음, H=반사파 경로
- 행렬식에 의해 x값을 유추해 낼 수 있음.
- 역행렬을 1초에 수백번 계산하여 유추해야 하므로 고속의 처리가 가능해야 함.

SIMO – Selection Combining (SC)



(출처: <https://slideplayer.com/slide/16486452/>)

38

JS Lab

5G 융합서비스 테스트베드

james@slab.kr

## II. 신호 처리

❖ MIMO의 반사파 조건 및 동작과정

- 모든 단말은 자신의 전파상태를 반드시 기지국에 보고, CQI+RI
- 기지국에서는 안심하고 MIMO를 동작시킴, MIMO/STC선택-AMS
- CQI = 무선품질 상태값, RI = 반사파 상태값
- RI=1은 역행렬을 구할 수 없는 조건, 즉 직진파 상태 [ 2 6 1 3 ]
- RI=2는 역행렬을 쉽게 구할 수 있는 조건, 즉 반사파가 충분한 상태 [ 2 - 3 -6 3 ]
- 4\*4 MIMO의 RI는 RI=4이면 반사파가 충분, 3이면 애매모호, 1이면 직진파만 존재함.

(출처: <https://cafe.daum.net/YCP-ITPE/9xqa/20>)

39

JS Lab

5G 융합서비스 테스트베드

james@slab.kr


## II. 신호 처리

❖ O-RAN얼라이언스(O-RAN Alliance)

- O-RAN 얼라이언스는 통신업자들의 주도하에 무선접속망 산업의 230여 운영사, 판매사, 연구 및 학술기관이 참여하는 전 세계적인 연합
- RAN은 모든 모바일 네트워크의 필수적인 부분이기 때문에 O-RAN 얼라이언스는 업계가 더 지능적이고 개방적이며 가상화되고 완전히 상호 운용되는 모바일 네트워크를 구축하도록 재설계하는 임무
- 새로운 O-RAN 표준은 RAN 공급자 생태계가 더 빠르게 혁신해 사용자 경험을 향상시킴으로써 더 경쟁적이고 활성화할 수 있게 함
- O-RAN 표준 준용 모바일 네트워크는 모바일 사업자들이 RAN을 더욱 효율적으로 구축할 뿐만 아니라 효율적으로 운영할 수 있게 함
- O-RAN 얼라이언스는 이러한 목적을 달성하기 위해 새로운 RAN 사양과 RAN을 위한 개방형 소프트웨어를 발표하고 회원사들이 이를 적용할 수 있게 하기 위한 통합과 시험을 지원함
- 자세한 정보는 웹사이트([www.o-ran.org](http://www.o-ran.org)) 참조.

(출처: [www.o-ran.org](https://www.o-ran.org))

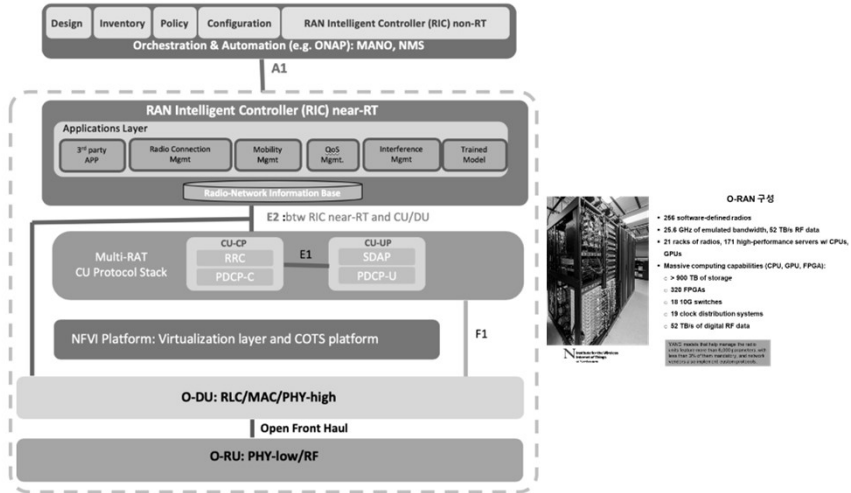
40


  
ACCELERATING INNOVATION  
FOR THE WORLD'S LEADING COMPANIES

JS Lab

## II. 신호 처리

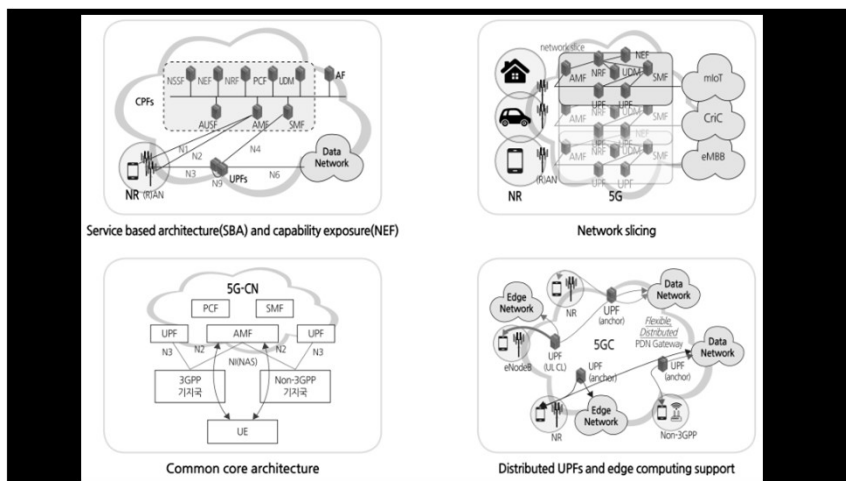
### ❖ O-RAN Architecture



5G 융합서비스 테스트베드 james@jslab.kr

## II. 신호 처리

### ❖ 3GPP 5GS 주요 구조적 특징 (Transition to Virtualized RAN)

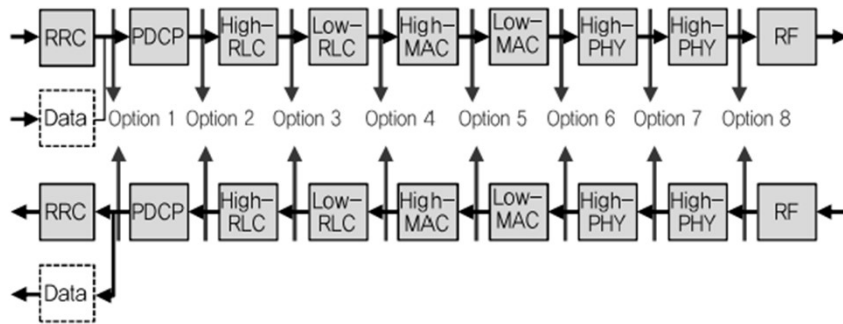


5G 융합서비스 테스트베드 james@jslab.kr

## II. 신호 처리

### ❖ 5G RAN에서의 CU와 DU간 기능 분리 모델

- 각종 Use cases 특성에 따라 트랜스포트 장비의 전송 지연 및 용량을 유연하게 재설정할 수 있고 관련 HW 구현 비용이 절감됨
- 성능제어 및 부하 관리 등 실시간 성능 최적화 와 NFV/SDN 구현 등이 용이함.



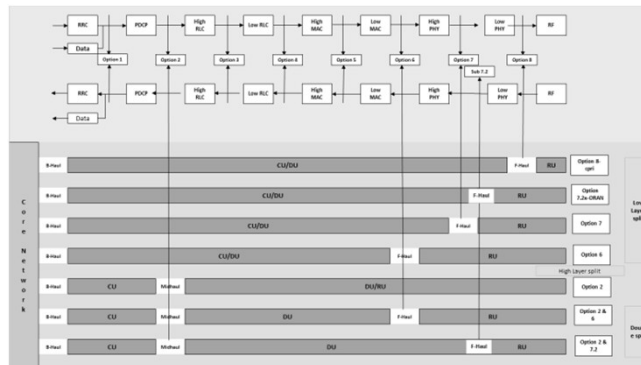
5G 융합서비스 테스트베드

james@jstlab.kr

## II. 신호 처리

### ❖ O-RAN(Open-Radio Access Network)은 차세대 개방형 5G Fronthaul Interface 규격

- ❖ O-RAN Fronthaul Interface는 O-RAN Distributed Unit(O-DU)와 O-RAN Radio Unit(O-RU) 사이중 PHY-High와 PHY-Low 구간 Option 7.2x가 표준으로 채택



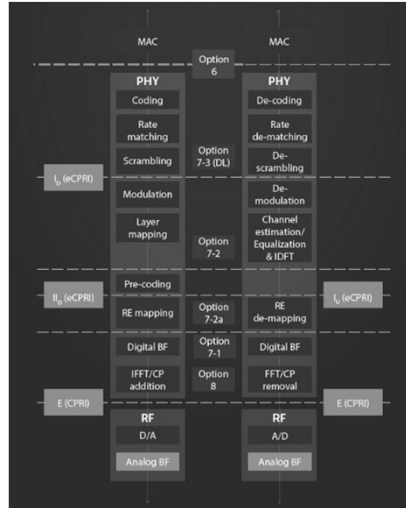
출처: <https://techworld.com/2020/10/14/types-of-functional-splits-in-5g-nr/>

5G 융합서비스 테스트베드

james@jstlab.kr

## II. 신호 처리

### ❖ Evolution of Fronthaul

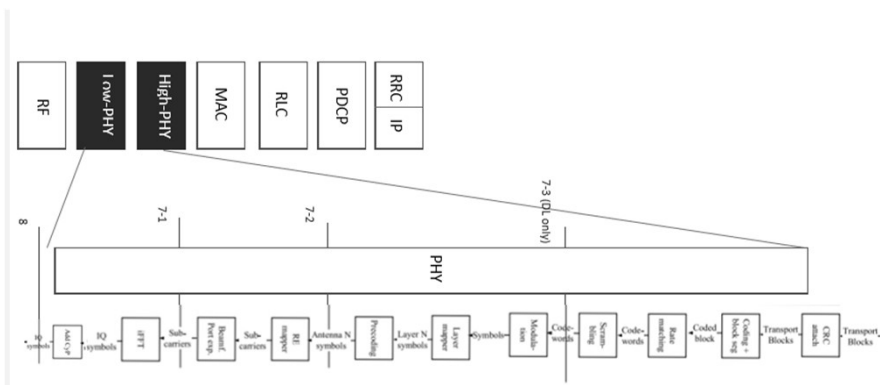


출처: <https://www.viavisolutions.com/en-us/fronthaul>

JS Lab

## II. 신호 처리

### ❖ The 7.X splits differ in how they allocate the PHY functionality between RU and DU.



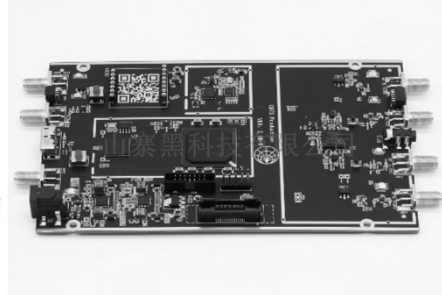
출처: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8479363>

JS Lab

## II. 신호 처리

### ❖ RAN 가상화 사용 가능한 Dual Channel Transceiver(예)

- Dual Channel Transceiver 70MHz – 6GHz SDR Software Defined Radio USB3.0 Compatible with Ettus USRP B210



- First fully integrated, two-channel USRP device with continuous RF coverage from 70 MHz – 6 GHz ,
- Full duplex, MIMO (2 Tx & 2 Rx) operation with up to 56 MHz of real-time bandwidth (61.44MS/s quadrature)
- Fast and convenient SuperSpeed USB 3.0 connectivity
- GNURadio and OpenBTS support through the open-source USRP Hardware Driver™ (UHD)
- Open and reconfigurable Spartan 6 XC6SLX150 FPGA (for advanced users)
- Early access prototyping platform for the Analog Devices AD9361 RFIC, a fully integrated direct conversion transceiver with mixed signal baseband

출처: <https://www.aliexpress.com/item/4000365720818.html>

JS Lab

## II. 신호 처리

### ❖ Quectel RM510Q-GL 5G NR sub-6GHz mmWave module M.2 MIMO RM510QLAA-M20-SGASA Compatible LTE-A EM06 Cat 12 EM12 Cat 20 EM20

Product	RM500Q-GL	RM502Q-GL	RM510Q-GL
Form Factor	M.2	M.2	M.2
Dimensions (mm)	62.0 x 30.0 x 2.3	62.0 x 30.0 x 2.3	62.0 x 30.0 x 2.3
5G	Sub-6 GHz	Sub-6 GHz	Sub-6 GHz/mmWave
Frequency Bands (GHz)	5G NR: n1/n2/n3/n5/n7/n8/n12/n20/n25/n28/n38/n40/n41/n48/n66/n71/n77/n78/n79 LTE-FDD: B1/B2/B3/B4/B5/B6/B7/B8/B12/B13/B14/B17/B18/B19/B20/B25/B26/B28/B29/B30/B32/B36/B37/B7 LTE-TDD: B34/B39/B40/B41/B42/B43/B48 LAA: B46 WCDMA: B1/B2/B3/B4/B5/B6/B8/B19	5G NR: n1/n2/n3/n5/n7/n8/n12/n20/n25/n28/n38/n40/n41/n48/n66/n71/n77/n78 LTE-FDD: B1/B2/B3/B4/B5/B6/B7/B8/B12/B13/B14/B17/B18/B19/B20/B25/B26/B28/B29/B30/B32/B36/B37/B7 LTE-TDD: B34/B39/B40/B41/B42/B43/B48 LAA: B46 WCDMA: B1/B2/B3/B4/B5/B6/B8/B19	5G NR: n1/n2/n3/n5/n7/n8/n12/n20/n25/n28/n38/n40/n41/n48/n66/n71/n77/n78/n79/n257/n258/n260/n261 LTE-FDD: B1/B2/B3/B4/B5/B6/B7/B8/B12/B13/B14/B17/B18/B19/B20/B25/B26/B28/B29/B30/B32/B36/B37/B7 LTE-TDD: B34/B39/B40/B41/B42/B43/B48 LAA: B46 WCDMA: B1/B2/B3/B4/B5/B6/B8/B19
Weight (approx.) g	8.4	8.4	8.4
Temperature Range	-20°C ~ +40°C (Operation Temperature) -40°C ~ +85°C (Extended Temperature)	-20°C ~ +40°C (Operation Temperature) -40°C ~ +85°C (Extended Temperature)	-20°C ~ +40°C (Operation Temperature) -40°C ~ +85°C (Extended Temperature)
Control via AT Commands	3GPP TS27.007 and Quectel Enhanced AT Commands	3GPP TS27.007 and Quectel Enhanced AT Commands	3GPP TS27.007 and Quectel Enhanced AT Commands
Data Transmission			
5G	5G SA Sub-6: Max. 2.1Gbps (DL)/ Max. 900Mbps (UL) 5G NSA Sub-6: Max. 2.5Gbps (DL)/ Max. 650Mbps (UL)	5G SA Sub-6: Max. 4.2Gbps (DL)/ Max. 900Mbps (UL) 5G NSA Sub-6: Max. 5.0Gbps (DL)/ Max. 650Mbps (UL)	5G SA Sub-6: Max. 2.1Gbps (DL)/ Max. 450Mbps (UL) 5G NSA Sub-6: Max. 3.3Gbps (DL)/ Max. 650Mbps (UL) 5G NSA mmWave: Max. 4.5Gbps (DL)/ Max. 2.5Gbps (UL)
LTE	LTE-FDD: Max. 1Gbps (DL)/ Max. 200Mbps (UL)	LTE-FDD: Max. 3Gbps (DL)/ Max. 200Mbps (UL)	LTE-FDD: Max. 20Gbps (DL)/ Max. 200Mbps (UL)
UMTS	WCDMA: Max. 42Mbps (DL)/ Max. 5.76Mbps (UL)	WCDMA: Max. 42Mbps (DL)/ Max. 5.76Mbps (UL)	WCDMA: Max. 42Mbps (DL)/ Max. 5.76Mbps (UL)
SMS	•	•	•
Protocols	TCP/UDP/FTP/HTTP/HTTPS/IPING/SMS	TCP/UDP/FTP/HTTP/HTTPS/IPING/SMS	TCP/UDP/FTP/HTTP/HTTPS/IPING/SMS

출처: [https://www.aliexpress.com/item/1005002394649375.html?spm=a2q0o.productlist.0.0.79555960SRNseG&algo\\_pvid=93fb0446-20ec-475f-a826-b1e527405773&algo\\_exp\\_id=93fb0446-20ec-475f-a826-b1e527405773-1](https://www.aliexpress.com/item/1005002394649375.html?spm=a2q0o.productlist.0.0.79555960SRNseG&algo_pvid=93fb0446-20ec-475f-a826-b1e527405773&algo_exp_id=93fb0446-20ec-475f-a826-b1e527405773-1)

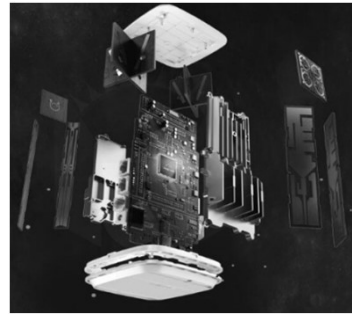
JS Lab



## II. 신호 처리

### ❖ 인터넷 판매 5G CPE

- Huawei 5G CPE Pro(H112-372) 5G NSA+SA CPE Wireless router with 5g wifi modem router H112 router lan port H112-370 5g router
- US \$325.60 - 830.28



Transmission Standard:  
H112-372: 802.11ac/a/n 2 x 2 & 802.11b/g/n 2 x 2, MIMO  
H112-370: 802.11ax/ac/a/n 4 x 4 & 802.11b/g/n 2 x 2, MIMO  
Wireless Transmission Rate:  
H112-372: DBDC, 1167 Mbps  
H112-370: DBDC, 5100 Mbps

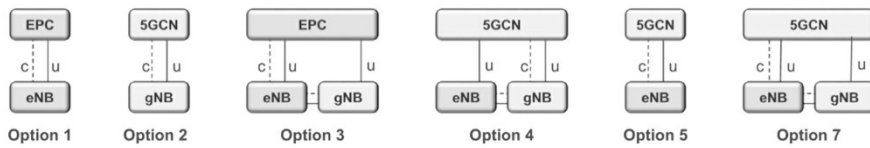
( 출처: <https://www.aliexpress.com/> )



- I. 매시브 MIMO 기능
- II. 신호 처리
- III. Carrier Aggregation 적용 기술
- IV. 빔포밍

### III. Carrier Aggregation 적용 기술

❖ Different combinations of core networks and radio-access tech.

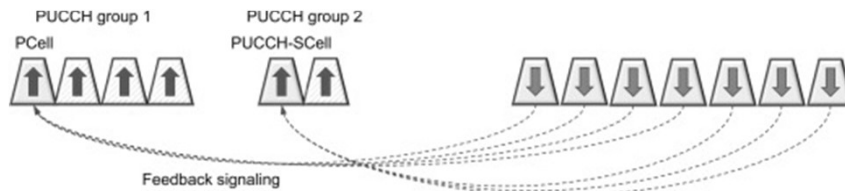


(출처: The Next Generation Wireless Access Technology Second, Edition Erik Dahlman Stefan Parkvall Johan Sköld)

JS Lab

### III. Carrier Aggregation 적용 기술

❖ Multiple PUCCH groups

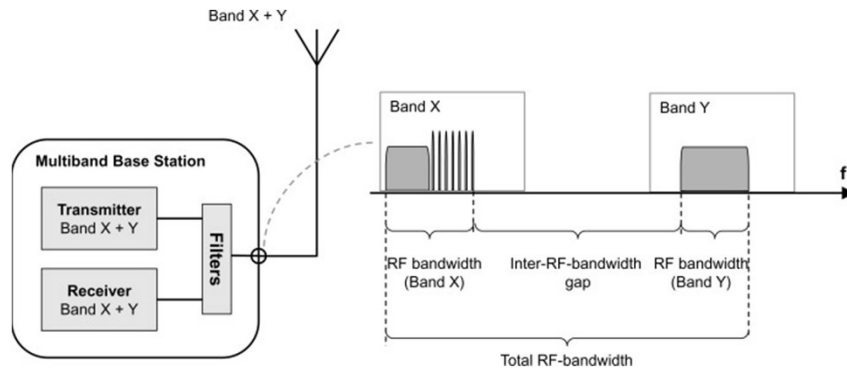


출처: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/carrier-aggregation>

JS Lab

### III. Carrier Aggregation 적용 기술

- ❖ Example of multiband base station with multiband transmitter and receiver for two bands with one common antenna connector.

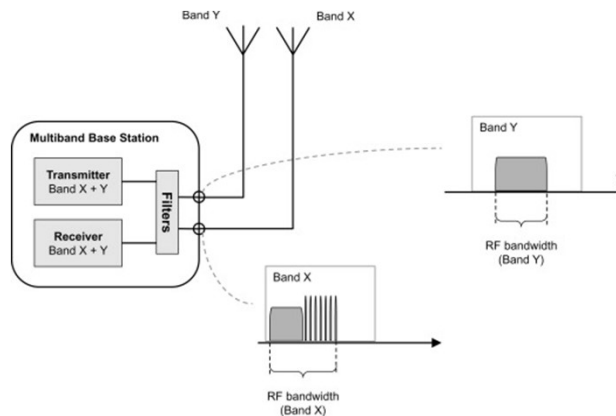


출처: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/carrier-aggregation>

JS Lab

### III. Carrier Aggregation 적용 기술

- ❖ Multiband base station with multiband transmitter and receiver for two bands with separate antenna connectors for each band.

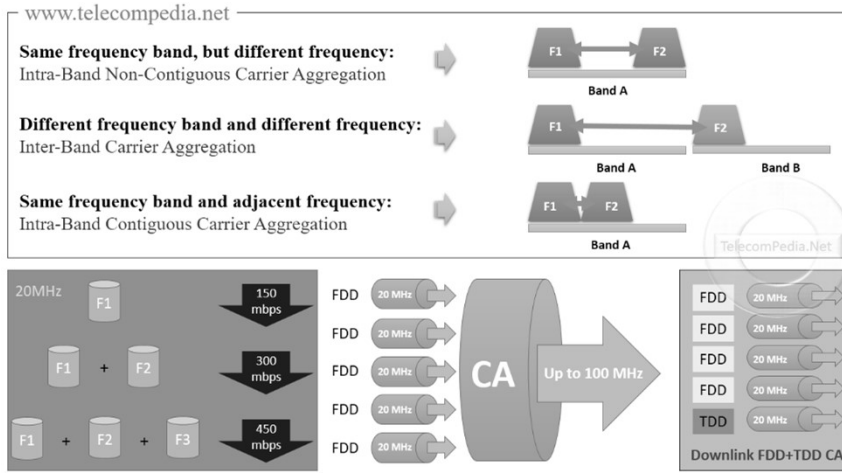


출처: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/carrier-aggregation>

JS Lab

### III. Carrier Aggregation 적용 기술

#### ❖ Carrier Aggregation



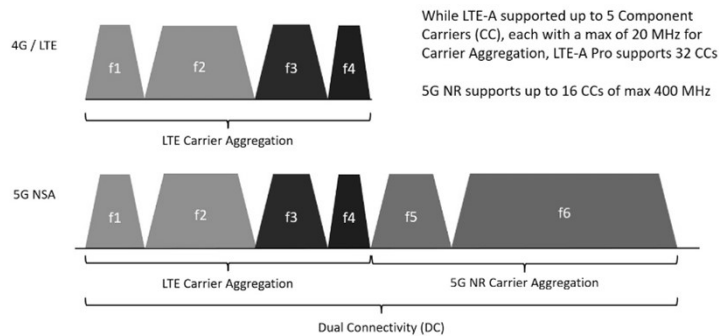
출처: <https://telecompedia.net/carrier-aggregation/>

JS Lab

### III. Carrier Aggregation 적용 기술

#### ❖ 5G 스펙트럼 도전 과제

5G Spectrum – Carrier Aggregation (CA) & Dual Connectivity (DC)



출처: <https://blog.3g4g.co.uk/search/label/Carrier%20Aggregation>

JS Lab

### III. Carrier Aggregation 적용 기술

❖ CA in 5G scenario

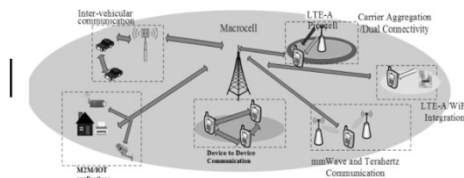
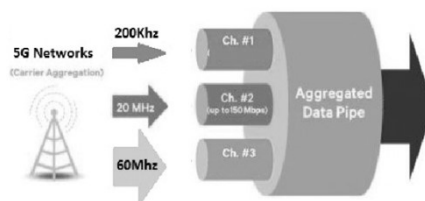


Fig 5: CA in 5G scenario



출처: <https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/d868c8bee1fa4fc1322c3fb4bc140d8a00e0ef9c2-Figure1-1.png>

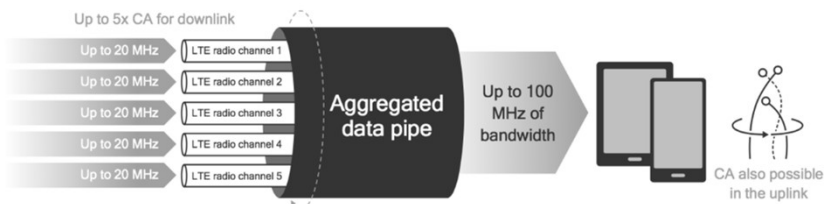
JS Lab

5G 융합서비스 테스트베드 james@jslab.kr

### III. Carrier Aggregation 적용 기술

❖ Flatter Pipe를 위한 Carrier Aggregation

Carrier Aggregation (CA) for a fatter pipe  
Combine multiple LTE carrier data streams



- Higher peak data rate and lower latency
- Better experience for all users
- More capacity and better network efficiency<sup>1</sup>
- Maximize use of spectrum assets

<sup>1</sup> The typical bursty nature of usage, such as web browsing, means that aggregated carriers can support more users at the same response (user experience) compared to two individual carriers, given that the carriers are partially loaded which is typical in real networks. The gain depends on the load and can exceed 100% for fewer users (less loaded carrier) but less for many users. For completely loaded carrier, there is limited capacity gain between individual carriers and aggregated carriers.

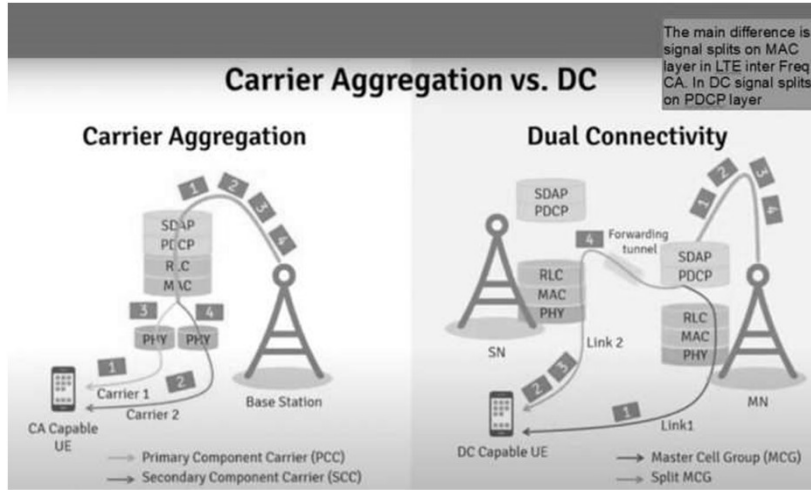
출처: [https://www.theregister.com/2017/10/17/qualcomm\\_takes\\_5g\\_to\\_spooky\\_millimetre\\_land/](https://www.theregister.com/2017/10/17/qualcomm_takes_5g_to_spooky_millimetre_land/)

JS Lab

5G 융합서비스 테스트베드 james@jslab.kr

### III. Carrier Aggregation 적용 기술

❖ Carrier Aggregation(CA) 과 Dual Connectivity(DC) 차이점



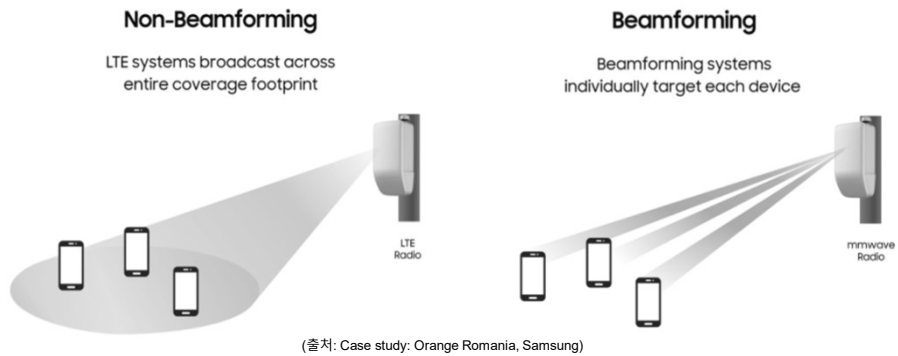
출처: <https://www.5gworldpro.com/uncategorized/key-differences-between-carrier-aggregation-and-dual-connectivity.html>



- I. 매시브 MIMO 기능
- II. 신호 처리
- III. Carrier Aggregation 적용 기술
- IV. 빔포밍

## IV. 빔포밍

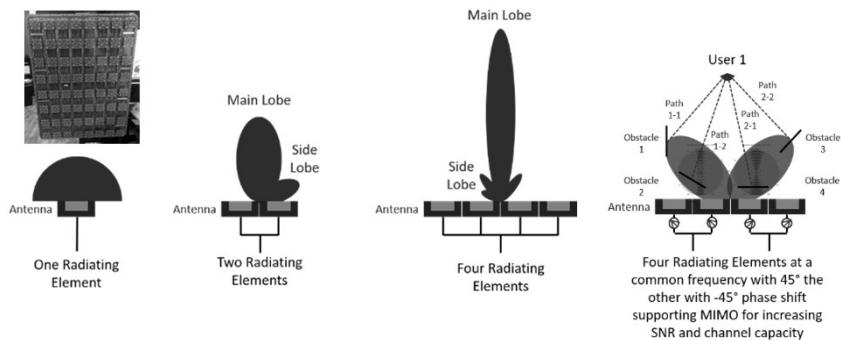
- ❖ 기존 안테나와 Beamforming 비교
- ❖ 빔포밍은 동일 주파수를 재사용하며 지향성으로 고속도 지원



□ 빔포밍(Beamforming): 빔 스티어링은 모든 방사 요소에서 입력 신호의 위상을 변경함으로써 달성하며, 위상변조를 통해 신호가 특정 수신기를 대상으로 할 수 있음

## IV. 빔포밍

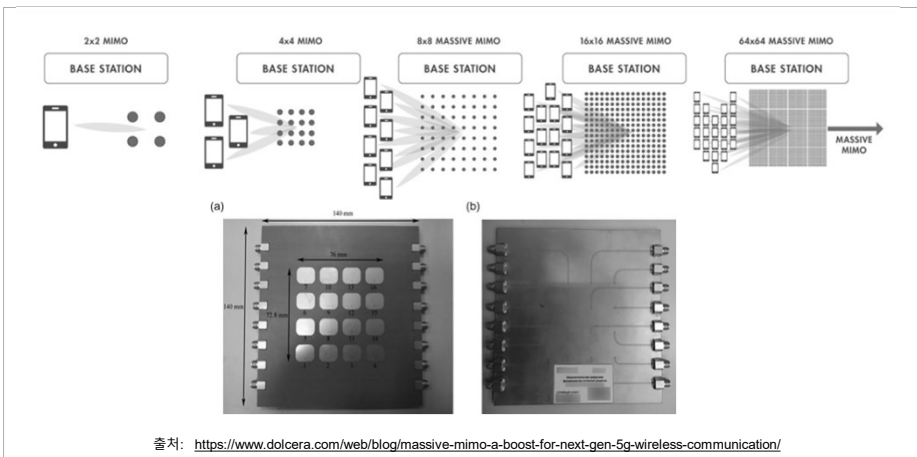
- ❖ 빔포밍 (What is 5G beamforming?)
  - 무선의 위상제어(Beam steering): 위상변화를 수신자 목표로 지향성 무선 신호를 송신
  - Massive MIMO: 일반 주파수를 동시에 여러 방향으로 전송
  - 동일 주파수 중복 사용



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

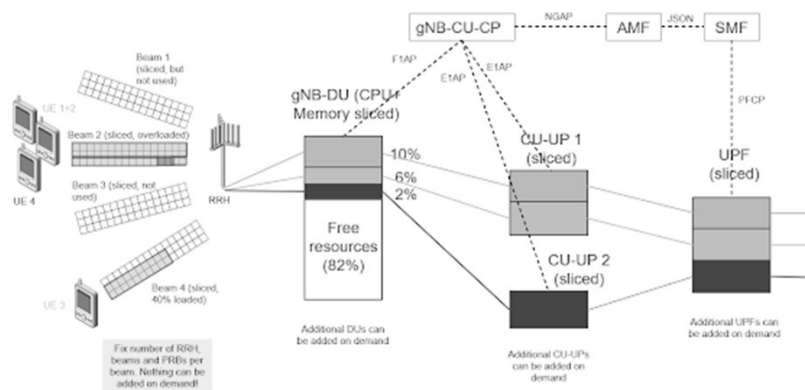
## IV. 빔포밍

- ❖ Massive MIMO: 일반 주파수를 동시에 여러 방향으로 전송
- ❖ 동일 주파수 중복 사용



## IV. 빔포밍

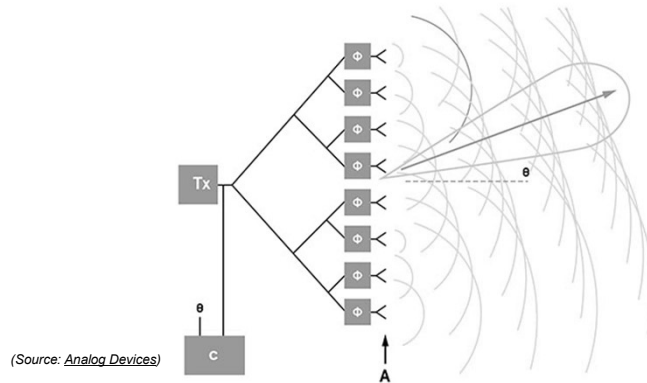
- ❖ Network Slicing in NG RAN





## IV. 빔포밍

- ❖ 5G beamforming
- ❖ Phased array antenna systems enable beamforming and steering



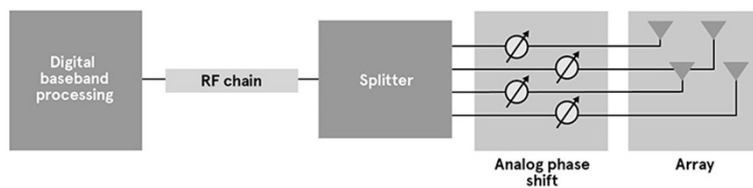
출처: <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/markets/communications/5g-solutions/5g-beamforming/>

65

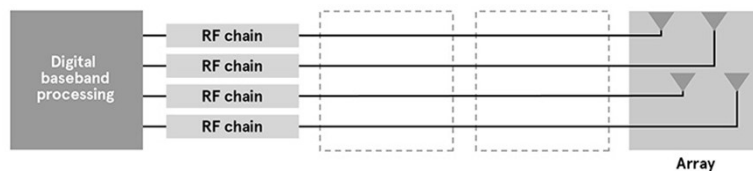
JS Lab

## IV. 빔포밍

- ❖ 5G beamforming
- ❖ Analogue, digital and hybrid beamforming



Analogue beamforming (Source: Commscope)



Digital beamforming (Source: Commscope)

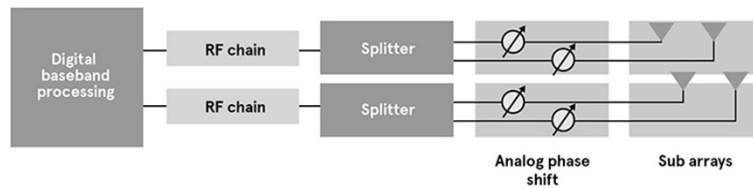
출처: <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/markets/communications/5g-solutions/5g-beamforming/>

66

JS Lab

## IV. 빔포밍

- ❖ 5G beamforming
- ❖ Analogue, digital and hybrid beamforming



Hybrid beamforming (Source: Commscope)

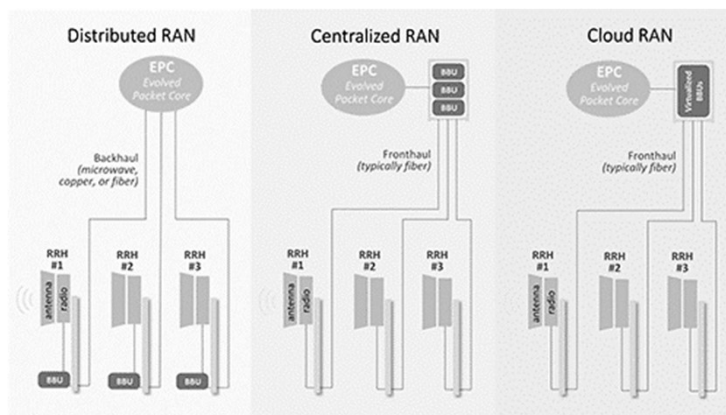


출처: <https://www.taiwantrade.com/product/bbox-lite-5g-nr-mmwave-ready-to-use-beamforming-development-tool-4-channel-rf-control-2291203.html>

JS Lab

## IV. 빔포밍

- ❖ 5G beamforming
- ❖ 5G networks are moving to a Centralized RAN structure (Source: ISE Mag)

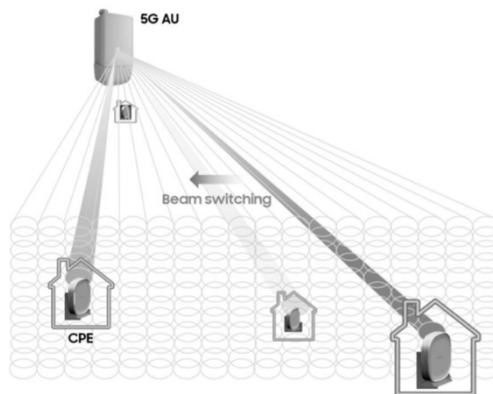


출처: <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/markets/communications/5g-solutions/5g-beamforming/>

JS Lab

## IV. 빔포밍

- ❖ **빔스위칭 (Beam switching):** 무선 시스템은 범위 제한을 극복하기 위해 이들 대상 중 몇 개를 동시에 대상으로 할 수 있으며, 전체적으로 무선 에너지에 초점을 맞추며, 전체 그리드를 커버하기 위해 스케줄링 알고리즘에 따라 빔이 각 장치 사이를 빠르게 전환



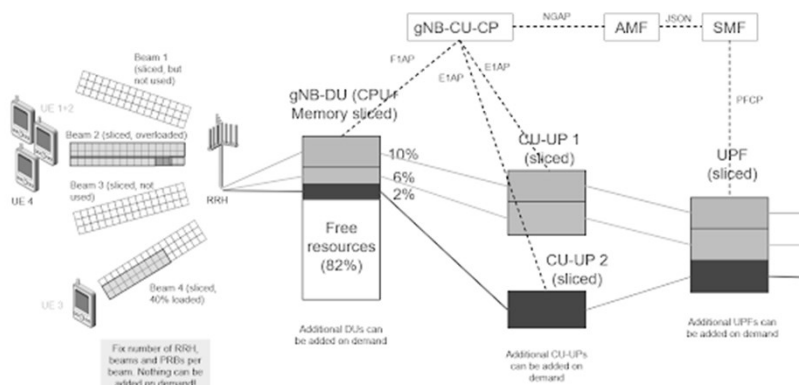
(출처: Case study: Orange Romania, Samsung)

5G 융합서비스 테스트베드

james@jslab.kr

## IV. 빔포밍

- ❖ **Network Slicing in NG RAN**



COPYRIGHT © 2021 NETSCOUT SYSTEMS, INC.

출처: <https://blog.3g4g.co.uk/search/label/RIC>

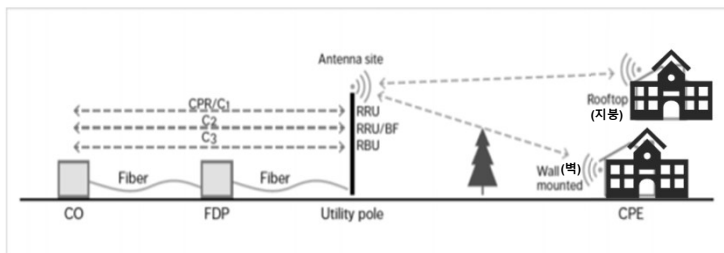
5G 융합서비스 테스트베드

james@jslab.kr

## IV. 빔포밍

### ❖ FWA, Beamforming 이용 시 구성(예)

- 옥외용 CPE 사용시 5G 기지국 설치 필요 없는 구성
- 사내망의 유선 구성 및 일반 WiFi 기술 이용
- 5G 엣지 클라우드 컴퓨팅 응용 서비스



<https://www.gsma.com/futurenetworks/5g/5g-fixed-wireless-access-economic-potential-and-best-practices/>

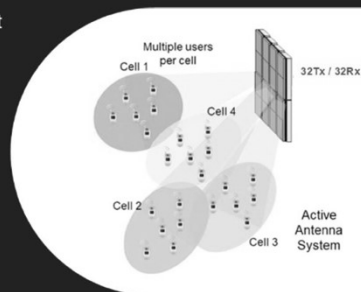
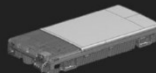
5G 융합서비스 테스트베드 james@jslab.kr

## IV. 빔포밍

### ❖ RIS(RAN Intelligent Controller) 제어

#### Massive MIMO O-RAN radio unit

- A complete RU design supporting O-RAN 7.2 split
  - From antenna array to lower L1
  - Superior cost and power attributes
- 32T32R / 8 layers / 100MHz channelization
- 32Tx32Rx
- Software
  - Lower L1 and Beamforming
  - O-RAN management plane
  - Antenna calibration
  - Digital Pre-distortion
  - Crest Factor Reduction



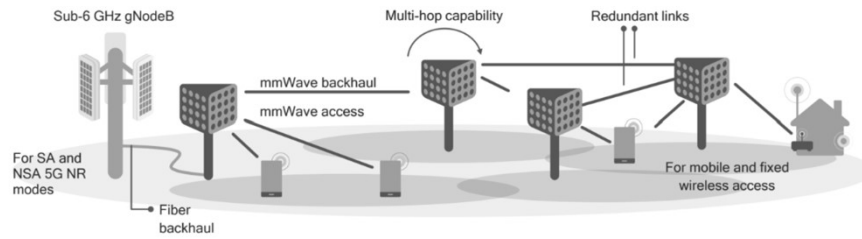
>5Gbps of steered downlink user data dynamically allocated where and when needed

출처: <https://www.servethehome.com/wp-content/uploads/2020/12/Marvell-Massive-MIMO-O-RAN-Radio-Unit-Q4-2020.jpg>

5G 융합서비스 테스트베드 james@jslab.kr

## IV. 빔포밍

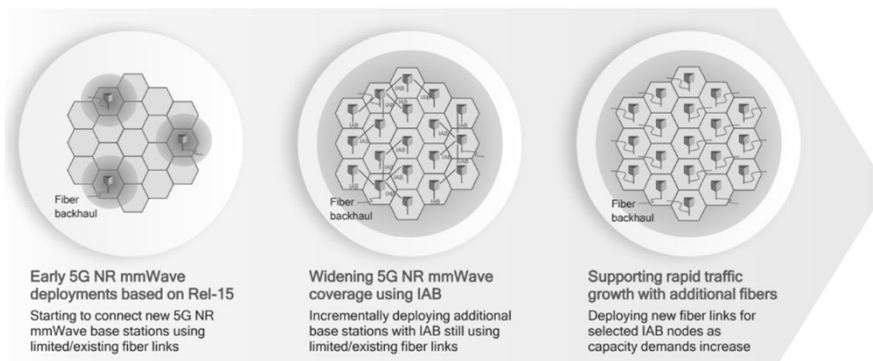
- ❖ 5G NR mmWave IAB1 for cost-efficient dense deployments
- ❖ Improves coverage and capacity, while limiting backhaul cost



1 Integrated Access and Backhaul

## IV. 빔포밍

- ❖ Supporting a flexible network deployment strategy
- ❖ IAB can enable rapid and cost-efficient 5G NR mmWave network buildout



Early 5G NR mmWave deployments based on Rel-15  
Starting to connect new 5G NR mmWave base stations using limited/existing fiber links

Widening 5G NR mmWave coverage using IAB  
Incrementally deploying additional base stations with IAB still using limited/existing fiber links

Supporting rapid traffic growth with additional fibers  
Deploying new fiber links for selected IAB nodes as capacity demands increase

Qualcomm IAB(Integrated Access and Backhaul)

