

이 보고서는 코스닥 기업에 대한 투자정보 확충을 위해 발간한 보고서입니다.

혁신성장품목분석보고서

 YouTube 요약 영상 보러가기

# Massive MIMO

인프라 투자 비용 등의 문제로  
상용화 일정 딜레이

요약

배경기술분석  
심층기술분석  
산업동향분석  
주요기업분석



작성기관

(주)NICE디앤비

작성자

김영재 전문위원

- 본 보고서는 「코스닥 시장 활성화를 통한 자본시장 혁신방안」의 일환으로 코스닥 기업에 대한 투자정보 확충을 위해, 한국거래소와 한국예탁결제원의 후원을 받아 한국IR협의회가 기술 신용평가기관에 발주하여 작성한 것입니다.
- 본 보고서는 투자 의사결정을 위한 참고용으로만 제공되는 것이므로, 투자자 자신의 판단과 책임하에 종목선택이나 투자시기에 대한 최종 결정을 하시기 바랍니다. 따라서 본 보고서를 활용한 어떠한 의사결정에 대해서도 본회와 작성기관은 일체의 책임을 지지 않습니다.
- 본 보고서의 요약영상은 유튜브로도 시청 가능하며, 영상편집 일정에 따라 현재 시점에서 미게재 상태일 수 있습니다.
- 카카오톡에서 “한국IR협의회” 채널을 추가하시면 매주 보고서 발간 소식을 안내 받으실 수 있습니다.
- 본 보고서에 대한 자세한 문의는 작성기관(TEL.02-2122-1300)로 연락하여 주시기 바랍니다.

# Massive MIMO 기술

## 5G 이동통신 시스템의 성능 향상이 필요하나 투자 비용은 부담

### ■ 3.5GHz 주파수 대역 사용 한계로 기대에 미치지 못한 5G 이동통신 서비스

2019년 4월을 기하여 세계최초로 국내에 5G 이동통신 서비스가 개시되었으나, 현재 서비스 중인 3.5GHz의 주파수 대역은 망이 불안정하고 커버리지가 작아 5G 이동통신 서비스 사용자가 4G 이동통신 서비스 사용 대비 큰 폭의 성능 향상을 체감할 수 없다. 이는, 5G 이동통신 네트워크가 코어 네트워크의 일부를 4G 이동통신 시스템과 공유하고 있으며, 4G 이동통신 서비스와 크게 다르지 않은 주파수 대역을 이용하고 있기 때문이다.

### ■ 밀리미터파 주파수 대역 및 Massive MIMO 기술을 이용하여 5G 이동통신 서비스를 업그레이드

5G 이동통신 서비스의 성능을 획기적으로 개선하기 위해 종래의 주파수 대역보다 훨씬 더 높은 주파수 대역(28GHz 등)을 이용하는 밀리미터 기술이 개발되고 있다. 높은 주파수 대역을 이용할 경우 상대적으로 넓은 주파수 대역폭을 이용할 수 있어 데이터 전송 속도를 높일 수 있다. 밀리미터파 주파수 대역의 경우 경로 감쇄가 크고, 직진성이 강해 이동통신에는 적합하지 않은 것으로 생각되어 왔으나, 다수의 안테나를 이용하여 특정 방향으로 에너지를 집중하여 데이터를 전송하는 Massive MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기술과 함께 사용하면, 큰 폭의 성능 향상을 볼 수 있다.

### ■ 투자 비용의 부담으로 인해 상용화 일정은 딜레이

밀리미터파 기술 및 Massive MIMO 기술에 대응하기 위해서는 단말기 및 기지국(스몰셀 포함)의 RF 부품을 추가/변경하고, 신호처리 기술, 채널추정 기술 등에 대응하기 위해 일부 장비의 업그레이드도 필요하다. 따라서, 상당한 규모의 설비 투자가 필요하나, 이동통신 서비스 업체들의 경우 이러한 설비 투자에 소요되는 비용에 대해 다소 부담을 느끼고 있어, 상용화 일정은 다소 딜레이될 것으로 예상된다.

# I. 배경기술분석

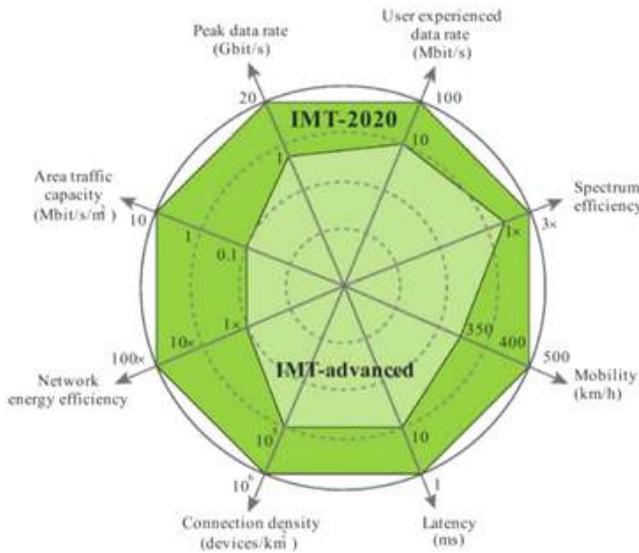
## 이동통신 시스템의 성능 향상을 위해 다수의 안테나를 사용하여 데이터를 송수신 하는 기술

Massive MIMO 기술은 데이터 전송의 효율성을 향상시키기 위해 다수의 안테나를 이용하여 데이터를 송수신하는 기술로, 이동통신 사업자와 관련 장비 업체는 Massive MIMO 기술의 상용화를 위해 연구개발을 진행하고 있다.

### ■ 기대수준에 미치지 못하는 5G 이동통신 기술

이동통신 산업은 고정된 지점에 설치되어 통신서비스를 제공하는 유선전화, 유선인터넷 등과는 달리, 이동통신 시스템을 이용하여 사용자가 자동차 등의 탈것을 이용하거나, 도보로 이동하면서 통신할 수 있는 서비스를 제공하는 산업이다.

[그림1] 5G 성능 요구사항

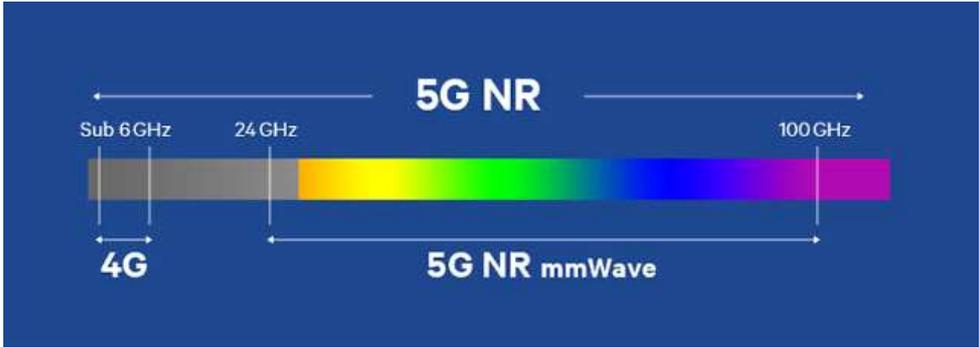


\*출처: ITU

2011년경 상용화된 4G 이동통신 시스템의 경우, 데이터 전송률, 주파수 효율 등의 측면에서 사용자 및 이동통신 사업자의 요구에 미치지 못해 2019년부터는 5G 이동통신 시스템이 상용화되었다.

ITU(국제전기통신연합)는 최대 전송률(Peak data rate), 최대 주파수 효율(Peak spectral efficiency), 체감전송률(User experienced data rate) 등 12가지 항목에서 5G 이동통신 시스템이 구비해야할 성능을 규정하였다. 이에 따르면, 5G 이동통신 시스템은 20Gbps의 최대 전송 속도를 보장해야 하고, 평균 지연은 1ms미만이어야 하며, 단위 km<sup>2</sup> 당 10<sup>6</sup>개의 무선 연결을 지원해야 한다. 그러나, 5G 가입자들은 현재 상용화된 5G 이동통신 시스템의 성능을 체감하지 못하고 있다.

[그림 2] 밀리미터파 주파수 대역



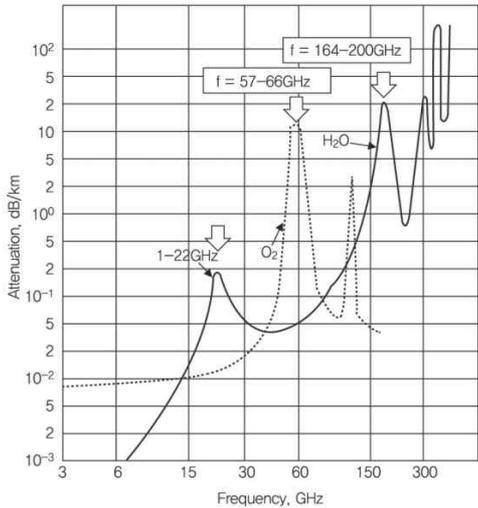
\*출처: 퀄컴

■ 밀리미터파 기술의 도입과 그 한계

이동통신 사업자들은 5G 이동통신 시스템의 성능을 향상시키기 위해 밀리미터파 기술을 도입하고 있다. 기존의 4G 이동통신 시스템의 경우 3GHz 이하의 낮은 주파수 대역을 이용한다. 현재의 5G 이동통신 시스템은 4G 이동통신 시스템과 유사한 3.5GHz 주파수 대역을 이용하여 데이터를 전송한다. 현재의 5G 이동통신 시스템은 주파수 특성이 종래의 4G 이동통신과 유사해 시스템 구축이 쉽지만 대략 100MHz 정도의 대역폭 만을 이용할 수 있는 한계점도 있다.

밀리미터파 기술은 밀리미터(mm) 단위의 파장을 갖는 고주파 대역(30~300GHz)의 주파수 대역을 이용하여 데이터를 전송하는 통신방식으로 약 800MHz 이상의 대역폭을 이용할 수 있다. 밀리미터파 기술을 이용하면 넓은 대역폭을 이용할 수 있어 전송속도가 향상되나, 밀리미터파 대역의 주파수는 회절성이 낮고, 경로 손실이 높아 하나의 기지국이 커버할 수 있는 영역이 좁아 무선통신을 위해 사용되지는 못하였다.

[그림 3] 밀리미터 주파수 대역의 감쇄율



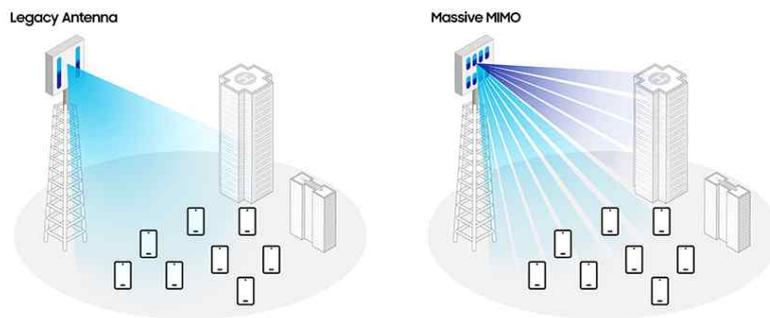
\*출처: 한국전자통신연구원(2013)

## ■ Massive MIMO 기술의 적용

경로 손실이 높다는 밀리미터파의 단점을 보완하기 위해 밀리미터파 주파수 대역에서 Massive MIMO 기술을 적용하는 방안이 연구되고 있다.

MIMO 기술은 Multiple Input Multiple Output의 약자로, 기지국과 단말기가 서로 여러개의 안테나를 이용하여 데이터를 송수신하는 기술을 말한다.

[그림 4] Massive MIMO 기술의 개념



\*출처: 삼성전자(2020)

MIMO 기술은 종래의 배열 신호 처리 기술(Array signal processing 기술)과 공간 다중화 기술(spatial multiplexing 기술)을 결합한 것으로, 이미 4G 이동통신 시스템 등에 일부 적용된 기술이다. 다만, 종래의 MIMO 기술은 4개 정도의 안테나를 이용하여 데이터를 전송하는 것으로, 종래의 안테나, RF 변환 장치 등을 크게 개선하지 않고도 적용 가능하였다.

그러나, Massive MIMO 기술은 기지국에는 수백개의 안테나를, 단말기에는 수십~백개의 안테나를 밀집하여 배치하는 것을 가정하고 있어 Massive MIMO 기술의 특성을 고려한 새로운 안테나, RF 부품 등의 개발이 필요하다.

Massive MIMO 기술을 이용하면, 여러 개의 안테나를 이용하여 신호를 특정 방향으로 집중하여 전송하거나 원하는 방향으로부터 수신되는 신호를 제외한, 간섭 신호를 차단할 수 있어 도달거리가 짧은 밀리미터파 기술의 단점을 보완할 수 있다.

## II. 심층기술분석

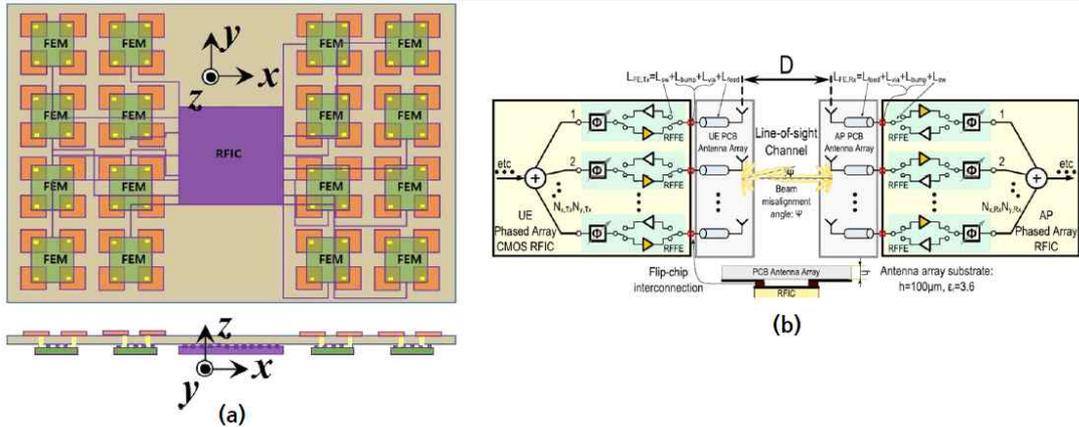
### Massive MIMO 기술의 특성을 고려한 새로운 소자 및 시스템의 개발

다수의 안테나를 밀집된 공간에 배열하여 사용해야 하는 Massive MIMO 기술의 특성상, 새로운 형태의 안테나, 주파수 변환, 가중치 결정 알고리즘 등에 있어 새로운 기술이 적극적으로 개발되고 있다.

#### ■ 기지국, 중계기 안테나 기술

Massive MIMO 기지국 및 중계기 안테나는 빔포밍이 가능한 위상 배열 안테나 시스템으로 구성된다. 일반적인 위상 배열 안테나 시스템은 [그림 5]와 같이 RFIC 회로, 전치단 회로(위상천이기, 전력증폭기), 급전부 회로, 배열 안테나 방사소자로 구성되며 타일 형태로 집적된다.

[그림 5] Massive MIMO 용 안테나의 빔포밍 아키텍처



\*출처: 이재영, 홍원빈, 5G 통신 RF 소자 기술(2020)

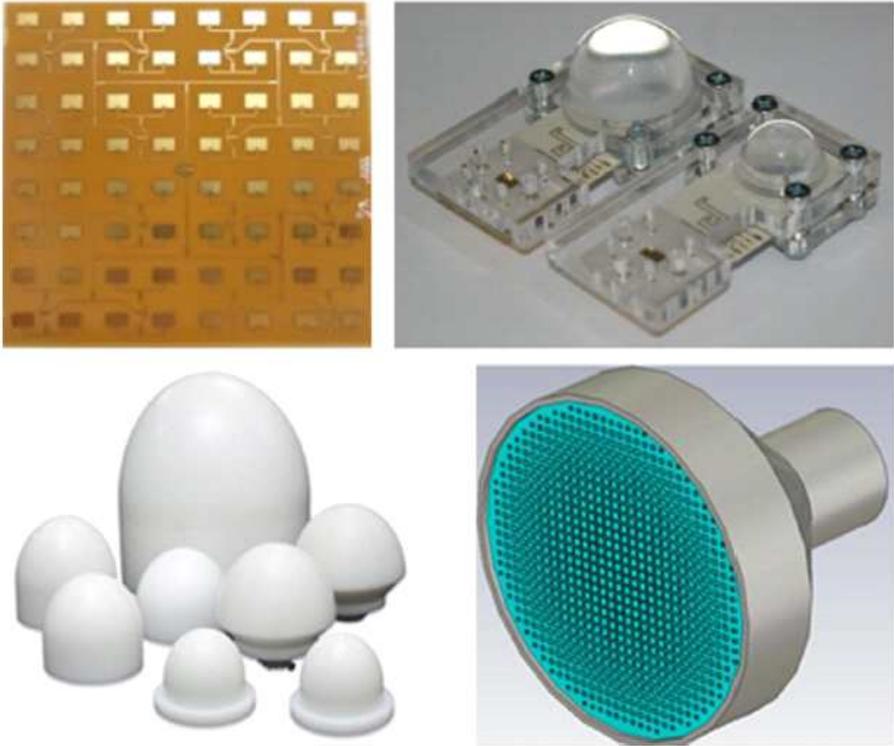
수동 소자 중에서 급전부 회로, 배열 안테나 방사소자는 위상 배열 안테나의 이득, 빔조향 각도, 빔폭 등 주요 안테나 성능을 크게 좌우할 수 있다. 특히 저손실 급전부 회로, 고이득 배열 안테나 방사소자 설계, 집적 및 측정은 위상 배열 안테나의 이득과 배열 개수에 따른 확장성과 연관된 가장 중요한 핵심 기술이다.

Massive MIMO 기지국 및 중계기 안테나는 20dBi 이상의 고이득을 가지는 안테나 형상을 가질 것으로 예상되며, 설치공간, 셀커버리지, 설치 예산 등에 따라 구체적인 형상이 선택될 수 있다. 고이득 안테나의 경우 통상 10도 내외의 반전력(3dB) 빔폭을 가지는 것이 특징이며, 특히 수평축과 수직축의 빔폭에 대한 정밀한 설계, 관리 및 성능 검증이 필수적이다.

[그림 6]에서의 예시와 같이 기지국 및 중계기용 안테나 형상은 패치 안테나를 배열한 PCB 기판 평면 배열 안테나, 렌즈 안테나, 유전율 기반 레이돔 안테나, 반사체 안테나 등이 활용된다. 현재 삼성전자, Huawei, Ericsson, Nokia, Qualcomm 등 국내외 유수의 기업들이 Massive MIMO 기지국 및 중계기용 안테나를 개발하기 위해 연구개발에 집중하고 있다.



[그림 6] Massive MIMO 기지국 및 중계기 안테나의 예

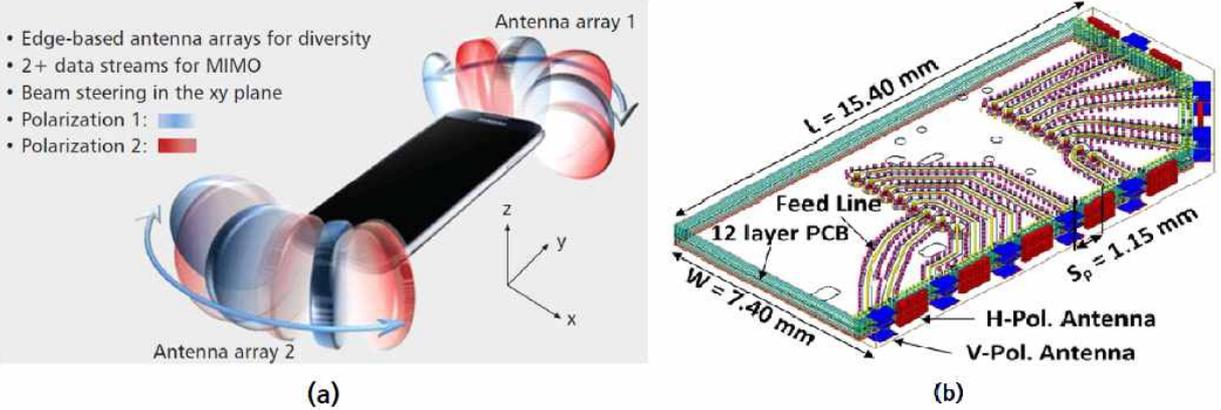


\*출처: 이재영, 홍원빈, 5G 통신 RF 소자 기술(2020)

■ 단말기용 안테나 기술

Massive MIMO 단말기용 안테나는 삼성전자가 세계 최초로 제안하여 [그림 7]의 (a)와 같은 표준 안테나 형상을 제시하였다. 삼성전자는 좌표가 수시로 변하는 단말기의 특성상 편파 부정합에 의한 수신 감도 저하를 방지하기 위해 고이득의 펜(pen) 빔을 2차원 공간에서 실시간으로 조향하고, 이중편파 특성의 다중 안테나를 활용하여 데이터 채널을 2배 늘리는 안테나 형상을 제안하였다. 제안된 안테나는 [그림 7]의 (b)와 같이 단말기의 단축 외곽 상단에 이중편파 안테나가 각각 2개씩 위치하며 상호 간섭이 억제되도록 직교하는 2개의 편파 특성을 포함한 중방향의 빔조향 방사기 이뤄지도록 하였다.

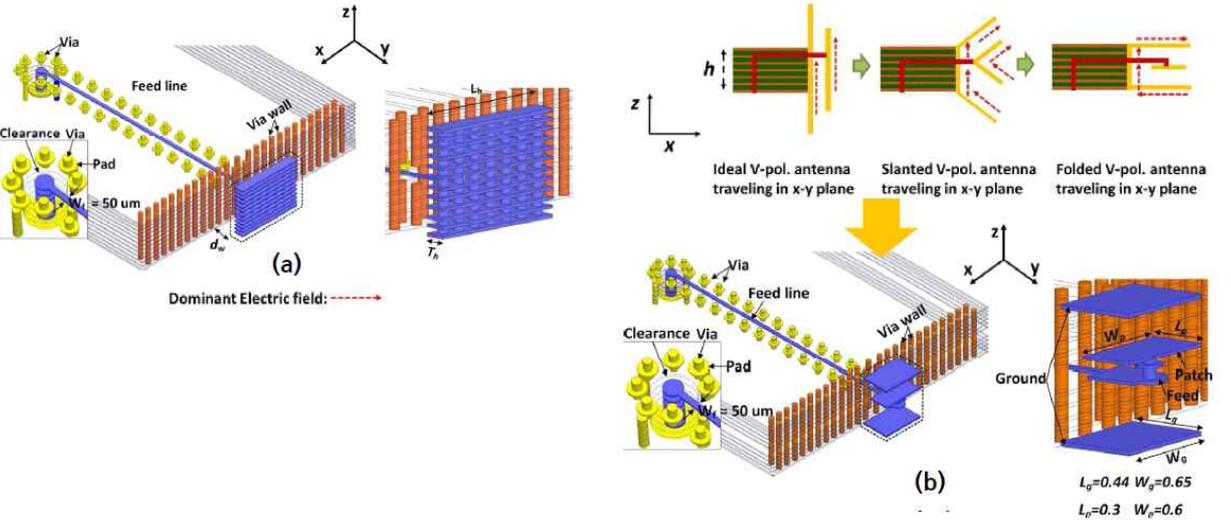
[그림 7] 단말기 Massive MIMO 안테나



\*출처: 이재영, 홍원빈, 5G 통신 RF 소자 기술(2020)

삼성전자가 공개한 안테나의 방사소자는 [그림 8]의 (a)와 같이 수평 편파 특성의 메시 그리드 패치(Mesh Grid Patch) 구조를 활용하였으며, 다층 PCB 형태의 패키지 기반 1x16 배열 안테나로 구성되었다. 제작된 안테나는 하이브리드 방식의 빔포밍 위상 배열 구조를 채택하였으며, 빔조향 각도는 약 ±70도이며, 스마트폰 상/하부에 위치하면서 종방향에서 360도 빔을 대부분 커버할 수 있다.

[그림 8] 단말기용 Massive MIMO 안테나의 방사 소자



\*출처: 이재영, 5G 통신 RF 소자 기술(2020)

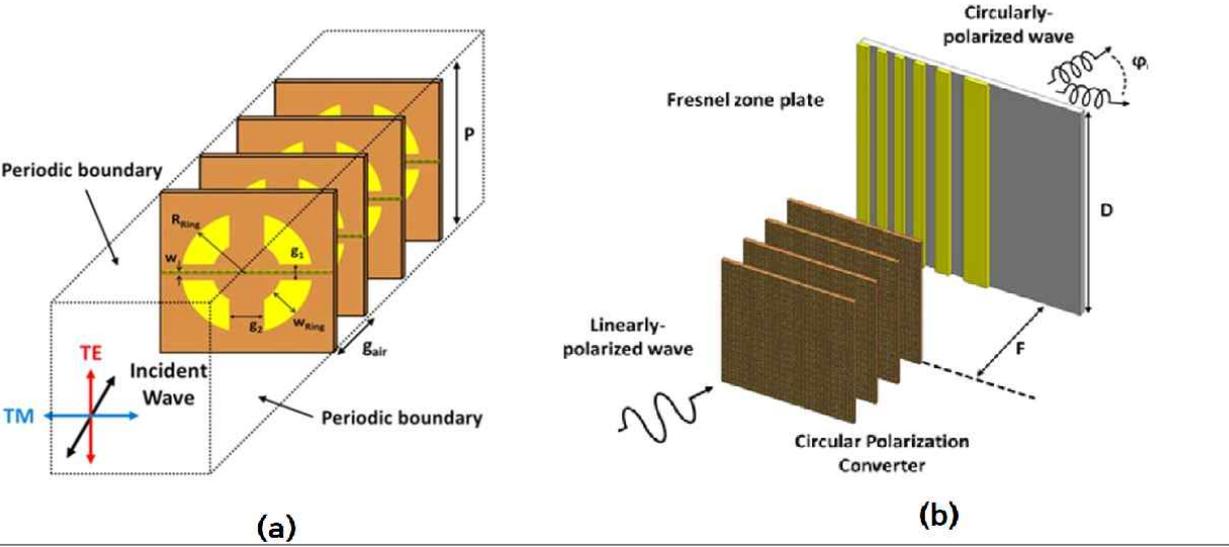
개시된 안테나는 단말의 위치변화로 편파 부정합에 의해 수신 감도가 저하되는 치명적인 단점이 있어 이를 극복하기 위해 [그림 8]의 (b)와 같이 이중 편파 특성을 지원하는 다채널의 대용량 위상 배열 안테나가 제안되었다. 전류 분포를 변화 유도한 수직 편파 특성의 메시 그리드 패치 구조를 추가 설계하였으며, 수직-수평 편파 안테나 방사소자가 서로 교차하는 형태로 단말의 위치 변화에 둔감한 대용량 위상 배열 안테나를 구현하였다.

RF 수동 소자 기술

Massive MIMO 기술이 적용될 것으로 예상되는 밀리미터파 대역은 경로손실이 크게 증가하여 전파 음영지역을 제거하는 별도의 RF 수동 소자가 필요하다. 경로 손실 보상 및 전파 음영지역 제거를 위해 렌즈, 반사체, 변조기(편파, 주파수, 진폭, 위상) 등의 중계형 RF 수동 소자가 효율적으로 배치 및 활용되어야 한다.

최근에는 밀리미터파 대역의 수동 소자 중에서 편파 변조기가 주목을 받고 있다. 특히 근거리장에서 일차원 Fresnel Zone Plate를 활용하여 선형 편파를 가진 전파를 광대역(24~40GHz) 내에서 원형 편파로 변환시킴과 동시에 22도 빔조향 기능까지 갖춘 편파 변조기가 개발되었다. 개발된 편파 변조기는 [그림 9]와 같이 입사되는 편파에 보강 또는 상쇄 간섭을 일으켜 전자기적으로 개방 및 단락되는 특성을 가진다. 이러한 전자기적 특성을 활용해 두 직교 편파 성분(수직, 수평 편파)에서 모두 1dB 이내의 삽입손실을 가진다. 또한, 두 직교 편파 간에 3dB 이내 진폭차이와 90도 위상차이를 가져 선형 편파에서 원형 편파로 변환됨을 알 수 있다.

[그림 9] 편파 변조기의 구조



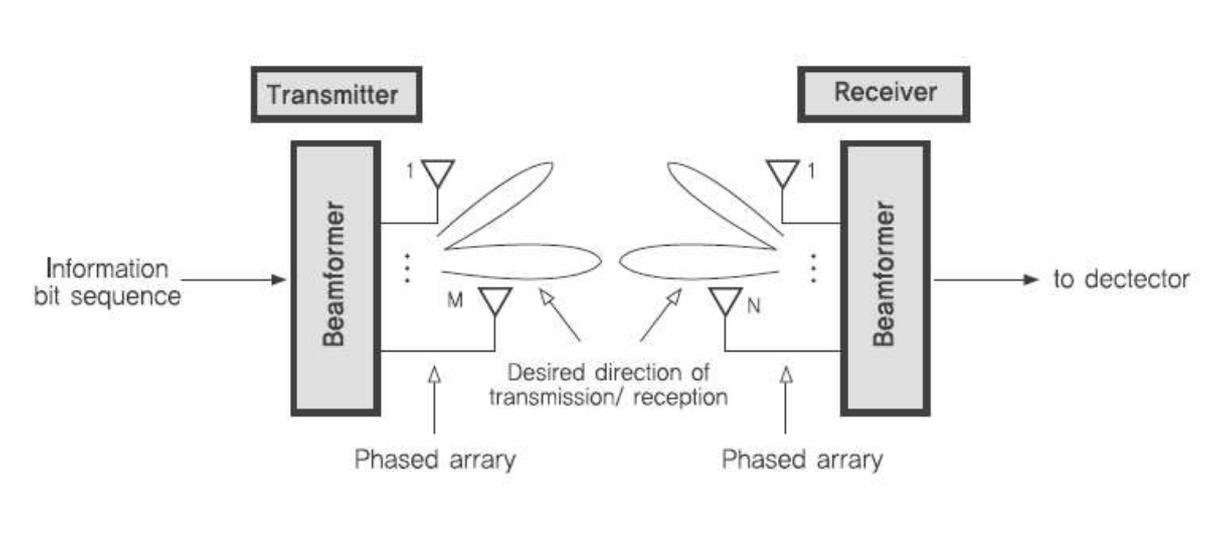
\*출처: 이재영, 5G 통신 RF 소자 기술(2020)

■ 신호처리기술 - 빔형성 기술

Massive MIMO 기술이 적용되면 복수의 안테나를 이용하여 수신한 복수의 신호들이 생성된다. 이 신호들을 적절히 처리하여 전송 장치가 전송한 오리지널 신호를 복원할 수 있는 신호처리 기술도 Massive MIMO 기술의 한 종류로 분류된다.

빔형성 기술은 여러 안테나를 이용하여 특정 방향으로 큰 이득을 주어 전송 장치가 전송한 오리지널 신호를 수신하고, 다른 방향으로는 작은 이득을 주어 간섭 장치가 전송한 간섭 신호의 영향을 배제하는 신호처리 기술이다.

[그림 10] 빔형성의 기본 개념도



\*출처: 김정창, 무선 통신을 위한 다중 안테나 기술(2009)

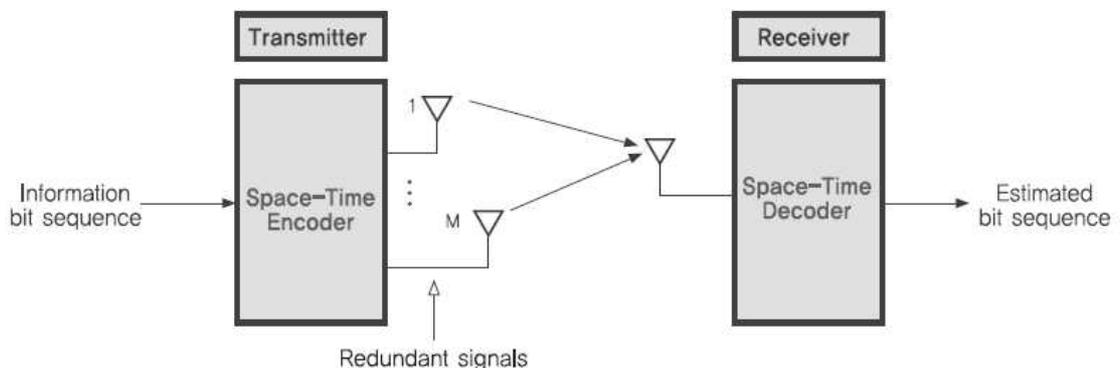
빔형성은 공간 영역에서의 선형 필터링으로 해석될 수 있다. 안테나 어레이의 기하학적 구조에 의해 고주파 신호는 서로 다른 시간에 각각의 안테나 원소에 도달하게 되고 이는 서로 다른 수신 신호 사이에 위상 편이를 유발하게 된다. 만약 신호의 방향을 알 수 있다면 고주파 신호의 위상 차이는 수신 신호들을 더하기 이전에 위상 이동기나 지연 소자를 사용하여 보상될 수 있을 것이다. 그 결과, 위상 조정된 어레이의 전체 안테나 패턴은 신호의 방향으로 최대가 될 것이다.

전송된 신호의 전파 경로 방향을 수신기에서 알고 있다면 빔형성 기술을 이용하여 수신기 빔 패턴을 전파 경로 방향을 향하도록 조정함으로써 SNR(Signal to Noise Ratio) 이득을 얻을 수 있다. 이러한 SNR 이득을 안테나 이득 혹은 어레이 이득이라고 한다. 만약, 송신기에서 전파 경로 방향을 알고 있다면 해당 방향으로 송신 전력을 집중함으로써 원치 않는 방향으로의 전력 소모를 줄일 수 있다. 송수신기 빔형성 기술은 CCI(Co-Channel Interference)를 억제하기 위하여 다중 사용자 환경에도 적용될 수 있다. 송신기에서 각 사용자는 다른 동일채널 사용자들의 방향으로는 널이 있고 원하는 전송 방향으로는 높은 지향성이 있도록 빔 패턴을 조정함으로써 다른 동일채널 사용자들에 대해 SINR(Signal to Interference and Noise Ratio) 뿐만 아니라 원하는 사용자에 대한 SNR도 향상된다.

수신기에서도 다른 동일 채널 사용자들의 방향이 무효화되고 원하는 수신 방향이 향상되도록 빔 패턴을 조정함으로써 각 사용자는 자신의 수신 SINR을 향상시킬 수 있다. CCI 제거를 위해 스마트 안테나를 사용함으로써 동일 주파수 대역에 있는 다수의 동일채널 사용자들을 조정할 수 있는데 이러한 개념을 공간 분할 다중화 (space-division multiple-access) 라고 한다.

## ■ 신호처리기술 - 공간다이버시티 기술

[그림 11] 시공간 부호화의 개념도



\*출처: 김정창, 무선 통신을 위한 다중 안테나 기술(2009)

공간 다이버시티 기술은 다이버시티 및 부호화 이득을 통하여 오류 성능 향상을 목적으로 하는 신호처리 기술의 일종이다. 다이버시티 수신 (diversity reception)은 단일 송신 안테나와 다중 수신 안테나를 사용하고 수신 신호들을 결합하여 다이버시티를 얻는다.

주파수 평탄 페이딩의 경우 완벽한 채널 정보를 알 때 결합기 출력의 SNR을 최대화하는 관점에서 최적 결합 방식은 최대비 결합(maximum ratio combining)이다. 준최적 결합 방법들로 수신 신호들을 더하는 동일 이득 결합 (equal gain combining)과 최대 순시 SNR을 갖는 수신 신호만을 선택하는 선택 다이버시티(selection diversity)가 있다. 이들 모두 수신 안테나 개수에 대해서 최대 다이버시티를 달성한다.

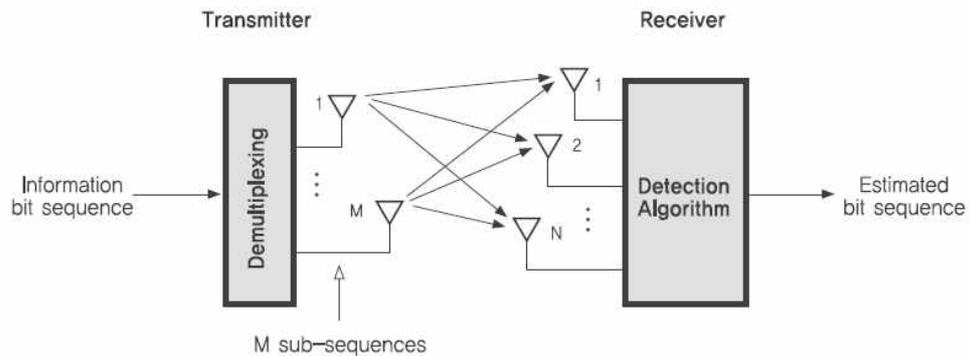
송신 다이버시티는 중복된 신호들을 다수의 송신 안테나들을 통하여 전송함으로써 다이버시티 및 부호 이득을 얻는다. 시공간 부호 기법의 기본적인 구조는 [그림 11]과 같다. 시공간 부호화기에서 중복된 신호의 전송을 위한 전처리가 수행되고 수신기에서는 시공간 검출기에 의해서 검출된다.

다중 안테나 기술은 다수의 분산 송신 노드 혹은 수신 노드들이 협력하여 송수신을 수행하는 협력 무선 네트워크를 구성하는 데도 사용될 수 있다. 협력 무선 네트워크는 센서 네트워크, 공공 안전, 군사용 응용분야에서 활용될 수 있으며 셀룰러 네트워크와 같은 계층적 형태의 네트워크에도 활용될 수 있다. 네트워크 노드들이 안테나들을 공유하여 가상의 안테나 어레이를 구성할 수 있다. 따라서, 단일 안테나를 가진 노드들이 서로 협력하여 가상 MIMO (virtual MIMO)를 구성함으로써 기존 MIMO 시스템이 제공할 수 있는 이득을 얻을 수 있다. 또한, 이러한 노드들이 서로 협력하여 분산 시공간 부호화 (distributed space-time coding)하는 협력 다이버시티 기법을 사용할 수 있다.

■ 신호처리기술 - 공간다중화 기술

공간 다중화 기술은 전송할 데이터들을 M개의 서브열들로 나누고 이들을 동일한 주파수 대역에서 서로 다른 M개의 송신 안테나들로 동시에 전송하는 기술이다. 수신기에서는 전송된 신호를 간섭제거 알고리즘을 사용하여 분리한다.

[그림 12] 공간 다중화의 개념도



\*출처: 단일 송수신기를 갖는 MIMO 기술 동향, 정보통신기획평가원(2020)

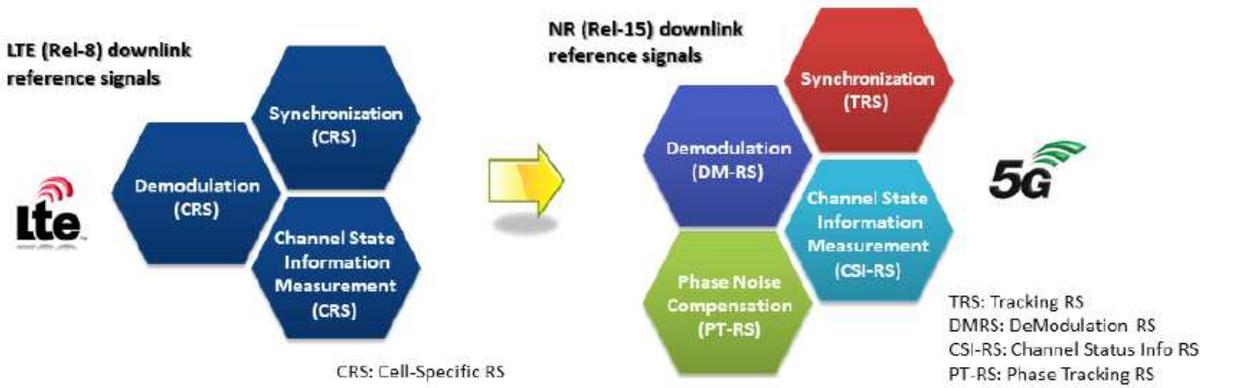
주파수 평탄 (frequency flat) 페이딩 환경의 경우 제로포싱(ZF, zeroforcing)이나 MMSE(minimum mean squared error)를 기반으로 하는 선형 검출 알고리즘들이 낮은 복잡도를 갖지만 성능이 미흡하다. 반면, 최대 우도(ML, maximum-likelihood) 기반의 수신기는 성능은 우수하나 송신 안테나 개수와 변조 차수가 증가함에 따라 검출 복잡도가 지수적으로 증가하는 문제점이 있다.

■ 채널 추정 기술

빔포밍 등 각종 신호처리기술을 적용하기 위해서는 송신기로부터 수신기까지의 채널 상태를 파악해야 한다. Massive MIMO 기술의 경우 복수의 송신 안테나 및 복수의 수신 안테나를 이용하므로, 각 안테나 사이의 채널을 모두 정확히 파악해야 각종 신호처리기법을 적용할 수 있다.

종래의 4G LTE 시스템에서는 각 셀마다 달리 결정되는 CRS(Cell-Specific Reference Signal)을 이용하여 셀 내의 단말기들이 기지국으로부터 단말기까지의 채널을 추정할 수 있다. 그러나, CRS는 망 구성의 유연성을 제한하며, 에너지 비효율적이고, 6GHz 이상의 고주파 영역에 적용하기 어렵다. 이를 보완하기 위해 [그림 13]과 같이 TRS(Tracking Reference Signal), DM-RS(DeModulated Reference Signal), CSI-RS(Channel State Information Reference Signal), PT-RS(Phase Tracking Reference Signal) 등의 새로운 기준 신호(Reference Signal)을 도입하여 서로 다른 주파수 대역과 다양한 시나리오에 대응할 수 있도록 하였다.

[그림 13] 4세대 LTE 기준 신호와 5세대 NR 기준 신호



\*출처: 최수용, 김윤선, 5G-New Radio MIMO 표준기술(2019)

밀리미터파 대역의 5G 시스템에서 DM-RS는 Type I과 Type II로 구분될 수 있다. DM-RS는 상향 링크/하향 링크의 채널을 추정하기 위해 설계 되었으며, 동조 복조(coherent demodulation)가 가능하다. TRS는 시간/주파수 추적(tracking)과 지연/도플러 확산(delay/doppler spread)의 추정을 위해 설계되었으며, PT-RS는 상향/하향 링크에서 위상 잡음의 보상을 위해 설계되었다. 즉, TRS는 DM-RS와 연동하여 복조 시에 위상 잡음을 제거하는 역할을 제공한다. PT-RS는 대역폭이나 사용되는 변조 기법과 부호화 방법에 따라 밀도를 정의하여 사용된다. SRS는 상향 링크 채널 품질과 타이밍 동기 측정을 위해 설계되었다. 따라서, 채널 상호성(reciprocity)이 적용되는 TDD 환경에서 하향 링크 채널 정보를 위해 사용될 수 있다.

CSI-RS는 하향링크 채널 상태를 추정하기 위해 설계되었으며, 이를 이용하여 단말기는 CSI(Channel State Indicator)를 기지국에 리포트할 수 있다. CSI-RS는 주기, 비주기, 반영속적인 CSI-RS의 3가지 형태를 가진다.

[그림 14] 주기, 비주기, 반영속적(periodic, aperiodic and semi-persistent) CSI-RS의 특징

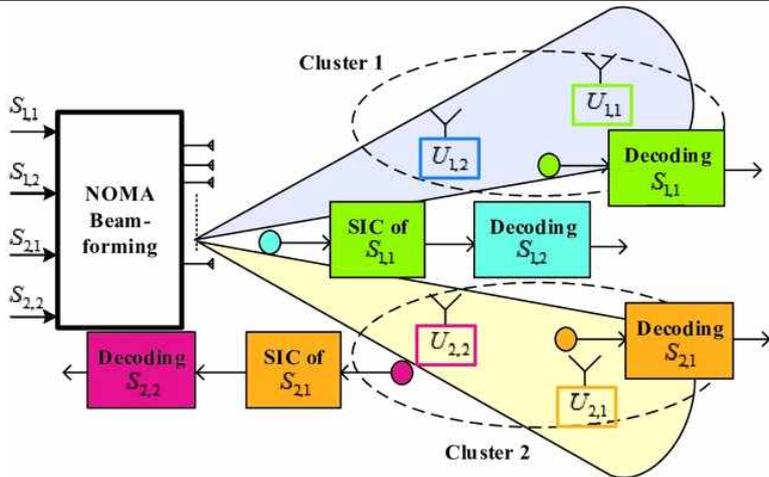
	Periodic CSI-RS	Aperiodic CSI-RS	Semi-Persistent CSI-RS
Orthogonal Ports	Up to 32	Up to 32	Up to 32
Time domain behavior	Periodic transmission once configured	Single transmission when triggered	Periodic transmission once activated until deactivated
Activation/Deactivation	RRC signaling	L1 signaling	MAC CE
Characteristics	No L1 overhead	Low latency	Hybrid of periodic and aperiodicCSI-RS

\*출처: 최수용, 김윤선, 5G-New Radio MIMO 표준기술(2019)

■ 간섭 제거 기술

Massive MIMO에서 각 기지국의 안테나는 동일한 시간/주파수/코드 자원에서 사용자의 공간 다중화에 사용된다. 각 사용자에게는 원하는 신호에 대한 이득과 사용자 간의 간섭 간에 균형을 맞추기 위한 전용 빔이 할당된다. 비직교 다중 접속(NOMA, Non-Orthogonal Multiple Access)기술은 수신단에서 순차적 간섭 제거를 이용하여 동일한 시간과 주파수 대역을 동시에 사용하는 기술로, 사용자가 간섭을 최소화할 수 있는 Massive MIMO 기술과 결합하는 경우 통신 시스템의 성능을 크게 향상시킬 수 있는 기술이다.

[그림 15] MIMO-NOMA 기술



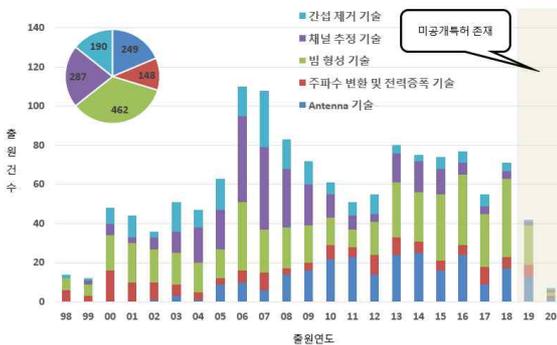
\*출처: 신수용, 5G and Beyond를 위한 비직교 다중 접속 기술

[그림 15]에 도시된 MIMO-NOMA 시스템은 2개의 클러스터에, 각 2명의 사용자로 구성되며, 각각의 사용자는 1개의 안테나를 사용한다. 클러스터내 간섭을 억제하기 위해 순차적간섭제거(SIC, Successive Interference Cancellation)는 각 클러스터 내에 수행되며, 클러스터간 간섭을 억제하기 위해 빔포밍을 이용한다. MIMO-NOMA 시스템은 주파수 성능 향상을 달성할 수는 있으나, 빔포밍, 전력할당, 사용자 클러스터링, SIC 순서 문제 등에 있어 연구들이 계속되고 있다.

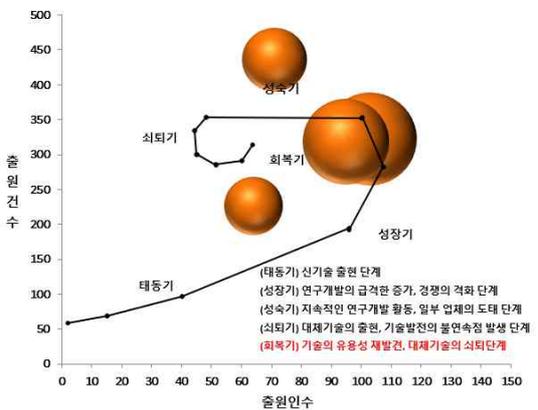
■ Massive MIMO 기술관련 특허동향

[그림 16]은 Massive MIMO 관련 특허 출원동향을 연도별, 기술별로 나타낸 것이다. 전체 조사 특허 건수는 총 1336건으로, 기술분야별 비중은 안테나 기술 19%, 주파수 변환 및 전력증폭기술 11%, 빔형성기술 35%, 채널추정기술 21%, 간섭제거기술 14%로 확인되었다. 2019년과 2020년의 출원은 아직 미공개 특허들이 존재하여, 향후 추가적인 관찰이 필요한 것으로 판단된다. [그림 17]은 Massive MIMO 관련 특허를 분석하여 기술시장 성장단계를 조사한 것이다. 그래프의 가로축은 출원인수, 세로축은 출원건수를 나타낸다. 1구간('05~08)은 신기술 출현단계인 태동기로 보이며, 이후 구간('09~20)에서는 출원인수와 출원건수가 꾸준히 증가하고있어 성장기에 있는 것으로 판단된다.

[그림 16] 연도별 특허출원 동향 (단위: 건, %)



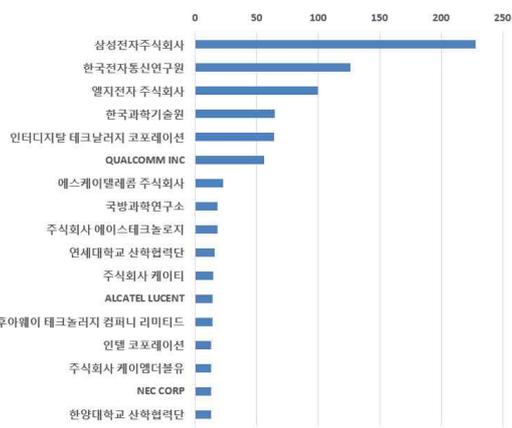
[그림 17] 기술시장 성장단계 (단위: 건, 인)



\*출처: 원텔립스 DB, NICE디앤비 재구성

[그림 18]은 밀리미터파 관련된 출원특허를 검색하여 확인된 주요출원인을 나타내었다. 주요출원인은 삼성전자(주), 한국전자통신연구원, 엘지전자(주) 등의 순이었으며, 코스닥 기업으로 (주)에이스테크놀로지, (주)케이엠더블유 등이 주요출원인으로 조사 되었다. [그림 19]는 주요출원인별 주요기술 동향을 나타내었다. 삼성전자(주), 한국전자통신연구원, 엘지전자(주) 등은 빔형성기술, 채널추정기술 등에 다수의 특허를 확보하고 있으나, (주)에이스테크놀로지 등의 안테나 전문 기업은 안테나 기술에 집중한 경향을 보인다.

[그림 18] 주요출원인 및 출원건수 (단위: 건)



[그림 19] 주요출원인별 주요기술 동향 (단위: 건)



\*출처: 원텔립스 DB, NICE디앤비 재구성

### Ⅲ. 산업동향분석

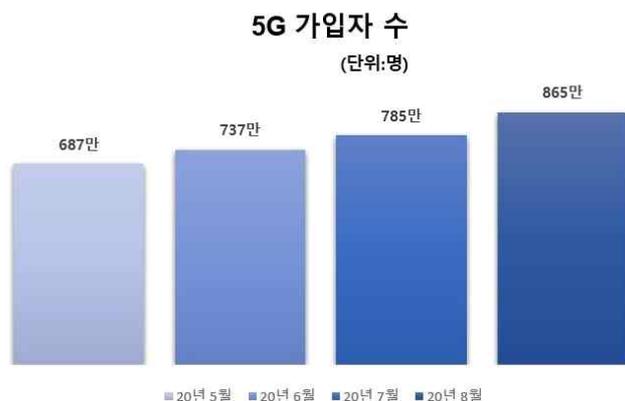
#### 과도한 비용 부담으로 인해 상용화 일정 딜레이

한국은 세계최초로 5G 이동통신 시스템을 상용화하여 서비스 하고 있다. 그러나, 대부분의 사용자들은 5G 이동통신 시스템의 데이터 전송속도를 체감하지 못하고 있다. 정부에서는 밀리미터파 대역의 상용화와 Massive MIMO 기술의 적용 등을 고려하고 있으나, 이동통신 사업자들은 비용 부담을 고려하여 다소 소극적이다.

#### ■ 5G 가입자수는 증가하고 있으나, 대부분은 품질 향상을 실감하지 못함

한국은 '19.4월 3.5GHz 저주파 대역에서 세계 최초로 5G 상용화하였으나, 현재 서비스 중인 3.5GHz 대역은 망이 불안정하고 커버리지가 작다. 또한, 4G와 5G가 주파수를 공유하는 상태(Non-Standalone, 비단독모드)로, 5G 이용중 주파수 자원이 부족해지면 4G로 전환된다. 따라서, 5G 시스템에서 기대했던 성능을 발휘하지 못하고 있다.

[그림 18] 5G 가입자 수



\*출처: 한국금융신문(2020)

현재 5G 평균속도는 0.2Gbps 안팎으로 4G의 4.2배 정도이 5G의 이론적 최고 속도인 20Gbps와는 여전히 큰 차이를 보이고 있다. 또한, 2020년 8월을 기준으로 이동통신 사업자의 5G 가입자 수는 865만에 육박하나, 5G 사용자 만족도는 상당히 낮은 편(5G 만족도는 30% 안팎으로 4G 만족도 53% 대비 상당히 저조)이고 '19.11월부터 가입자 증가세가 둔화되고 있다.

#### ■ 비용문제로 상용화가 늦춰지는 Massive MIMO

5G 이동통신 시스템의 데이터 전송 속도를 향상시키기 위해서, 전파의 직진성이 높은 밀리미터파 대역을 상용화하고, 경로 감쇄가 심한 밀리미터파 대역의 단점을 보완하기 위해 Massive MIMO 기술을 적용하는 방안이 제안되고 있다.

지난 2018년 진행된 5G 주파수 경매에서 이동통신 서비스 3사는 2021년까지 각 사별로



[그림 20] SK텔레콤과 에이스테크놀로지가 공동 개발한 MIMO 안테나 시스템



\*출처: <https://netmanias.com/>(2016)

28Ghz 주파수 대역의 기지국을 1만 500개씩 총 4만 5000개를 구축하기로 약속했다. 그러나, 2021년 1월 31일을 기준으로 사용가능한 28Ghz 주파수 대역의 기지국은 45개에 불과하다.

정부는 이동통신 서비스 3사와 협의하여 Massive MIMO 기지국에 대한 투자를 늘리려 하고 있으나, 이동통신 서비스 3사는 투자 대비 성능을 내기 어렵다는 이유로 투자 규모를 늘리지 않고 있다. 이동통신 서비스 3사는 만약 Massive MIMO 기술이 적용된다고 하더라도 한정된 공간에서 B2B 용도로만 사용되거나, B2C의 경우에는 현 3.5Ghz 대역을 보조하는 역할에 그칠것으로 전망하고 있다.

정부는 이동통신 서비스 3사의 미온적인 움직임에 28Ghz 주파수 대역에 인접한 28.9~29.5Ghz 대역 주파수를 일반 기업들도 구축해 활용할 수 있도록 하였으나, 상용화 가능성은 높지 않은 것으로 판단된다.

정부는 2022년 이동통신 서비스 3사에 대한 주파수 할당 조건인 기지국 구축 이행 상황을 점검하고, 미흡하다고 판단되면 28Ghz 주파수 할당 취소까지도 검토할 방침이다.

## IV. 주요기업분석

### Massive MIMO 기술에 대한 기술 개발 가속화

Massive MIMO기술의 상용화가 가시화됨에 따라 RF 부품 업체뿐만 아니라, 중계기, 스몰셀, 단말기 제조사 등 관련 업계의 연구개발 경쟁이 치열해 지고 있으며, 기술 개발에 대한 투자도 가속화 되고 있다.

#### ■ Massive MIMO 기술 관련 글로벌 기업 동향

미국 최대 이동통신업체 버라이즌(Verizon)은 2018년 10월부터 5G 기반의 고정형 무선접속(FWA, Fixed Wireless Access) 서비스인 '5G Home' 을 제공하고 있어 비교적 초기부터 5G 서비스를 제공하고 있다.

버라이즌은 삼성전자로부터 2.5Ghz 주파수 대역의 Massive MIMO 장비를 도입하여 고용량 영상 스트리밍, 초고속 다운로드 및 모바일 게임, 증강현실, 산업용 통신의 확장에 이용할 수 있도록 필드테스트를 진행하고 있다.

미국의 다른 이동통신업체 스프린트도 삼성전자로부터 5G 이동통신 장비를 구매하였다. 스프린트는 이미 4G 이동통신에서도 삼성전자의 장비를 구매하였으며, 삼성전자의 Massive MIMO 기술은 스프린트의 4G, 5G 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

에릭슨은 2017년에 세계최초로 Massive MIMO 기술을 지원하는 기지국을 개발하였다. 에릭슨은 NTT도코모와의 협업을 통해 Massive MIMO를 통한 데이터 통신에 성공하였으며, 다른 이동통신사와도 필드테스트를 진행하고 있다.

퀄컴은 미국의 이동통신용 반도체 제조 기업으로, 최대 6인의 사용자를 지원하는 멀티유저(MU)-MIMO 기술을 지원하는 802.11ac 규격의 무선랜 칩 QCA998x 및 QCA999x를 선보였다. 퀄컴이 발표한 칩은 무선랜과 관련된 것이나, 빔포밍 등 신호처리 기술은 밀리미터파 대역과 유사하다. 따라서, 퀄컴이 밀리미터 주파수 대역에서의 Massive MIMO 기술을 상용화하기에 충분할 정도의 기술적 역량을 확보하고 있음을 확인할 수 있다.

화웨이는 2019년 LG U+의 5G 상용망에서 MU-MIMO 기술의 성능을 검증하였다. 화웨이의 MIMO 기술은 8대 단말기가 기지국에 동시에 접속할 수 있으며, 단말기의 체감 속도는 3~4배 높은 것으로 느낄 수 있다. 다만, 화웨이는 최근 미국과의 통상 분쟁에 따라 기술개발에 어려움을 겪고 있어 향후에도 경쟁력을 확보할 수 있을지는 다소 의문이다.

## ■ Massive MIMO 기술 선도기업: 삼성전자, SKT

### 1. 삼성전자, 통신 장비, 단말, 핵심 칩 등 엔드-투-엔드 솔루션 확보

삼성전자는 이동통신 단말기, 이동통신 시스템을 제조하는 통신장비 제조업체이며, 이동통신 단말기의 경우 출시 대수를 기준으로 1위(2019년)를 기록하고 있다. 삼성전자는 이동통신 시스템의 경우도 세계적인 경쟁력을 확보하고 있으며, SK텔레콤과 협력하여 세계최초로 5G 이동통신 시스템을 상용화한 바 있다.

삼성전자는 미국의 스프린트사에 Massive MIMO 장비를 공급하기로 계약하였으며, 뉴질랜드 최대 이동통신 사업자 스파크(Spark)사에도 Massive MIMO 기지국 장비를 공급하기로 계약하였다. 삼성전자는 실험실에서는 이미 28GHz 대역에서 8.5Gbps의 다운로드 속도를 구현하였을 뿐만 아니라, Massive MIMO 기술이 적용된 단말기를 개발하여 Massive MIMO 기술과 관련하여 통신 장비, 단말, 핵심 칩 등 엔드-투-엔드 솔루션(End-to-End Solution)을 확보하였다.

### 2. SK텔레콤, Massive MIMO 서비스의 선두주자

SK텔레콤은 한국의 이동통신 사업자이며, 2019년에는 세계 최초로 5G 이동통신 서비스를 상용화한 바 있다. SK텔레콤은 LTE 시스템에서 종래 대비 기지국과 단말의 안테나 수를 2배 늘려 최대 600Mbps의 데이터 속도를 내는 4x4 MIMO 기술을 노키아와 함께 개발하였으며, 4x4 MIMO 기술을 이용하여 5G 이동통신 시스템의 데이터 전송 속도를 향상시킬 수 있는 '5GX 인빌딩 솔루션'을 개발하기도 하였다.

SK텔레콤의 경우 당장 수십, 수백개의 안테나를 구비한 Massive MIMO 시스템을 도입하기 보다는 저렴한 비용으로 종래 인프라의 성능을 향상시킬 수 있는 4x4 MIMO 시스템을 우선 도입하여 MIMO 시스템의 운용에 대한 노하우를 먼저 확보하고, 추후 밀리미터파 기술과 Massive MIMO 기술을 도입할 것으로 전망된다.

## ■ 코스닥 기업분석: 케이엠더블유, 에이스테크, 오이솔루션

**[케이엠더블유]** 케이엠더블유의 주요 제품군은 RF 시스템류, RF 안테나류(Site Solution에 속함), RF 필터류로 구성되어 있다. RF 시스템류는 무선통신 기지국의 무선 신호 처리 부분으로 디지털 신호를 주파수 대역에 따라 RF 신호로 변환하여 송수신하는 장비류이다. 접속망과 핸드셋(Handset)을 무선으로 연결 및 제어하는 RRH(Remote Radio Head), RRH와 안테나가 결합된 RRA(Remote Radio Antenna) 등 이동통신 기지국용 송수신 장비가 여기에 속하며, 안테나와 인접하게 설치되어 수신성능 향상이 가능하다. RF 안테나류는 멀티 포트 안테나, MMR(Massive MIMO Radio) 안테나 등 송수신 전송 속도가 향상된 다중 안테나 제품이다. 동사의 대표적인 RF 안테나류 장비로 AAS(Active Antenna System)이 있으며, 이는 안테나 소자마다 송수신 모듈을 장착한 기지국 송수신 장비이다.

케이엠더블유는 노키아와 함께 5G용 Massive MIMO용 안테나 및 RF 장비를 개발하였으며, 이를 Optus, 삼성전자 등에 공급한 바 있다.

[표 1] 케이엠더블유 주가추이 및 기본 재무현황(K-IFRS 연결기준)

Performance	Fiscal Year	2017년	2018년	2019년
<p>(단위: %)</p> <p>— 케이엠더블유 — KOSDAQ</p> <p>(포트폴리오 분석기준)                      (1) 분석기간: 3년, (2) 구성방법: 동일비중,                      (3) 리밸런싱: 없음, (4) 거래비용: 없음</p>	매출액(억 원)	2,037.2	2,962.7	6,828.8
	증감률 YoY(%)	-3.2%	45.4%	130.5%
	영업이익(억 원)	-30.5	-262.3	1,366.8
	영업이익률(%)	-1.5%	-8.9%	20.0%
	순이익(억 원)	-86.9	-312.9	1,026.6
	EPS(원)	-259	-927	2,652
	EPS 증감률(%)	적전	적지	흑전
	P/E (x)	—	—	19.3
	EV/EBITDA(x)	68.4	-26.9	14.3
	ROE(%)	-17.9	-45.5	67.8
P/B(x)	8.1	4.8	9.4	

\*출처: 네이버금융, NICE디앤비 재가공

[에이스테크] 에이스테크는 이동통신 기지국용 RF부품 및 안테나 등을 제조/판매하는 기업이다. 동사는 이동통신 기지국용 안테나에서는 국내 1위, 글로벌 5위의 시장 점유율을 차지하고 있다. 동사는 5G 글로벌 기술과 시장 주도권을 위해 5G Massive MIMO 필터, 5G Massive MIMO용 64T64R Antenna 필터 유닛, 5G Massive MIMO용 32T32R Antenna 필터 유닛 등 기반 기술 개발을 완료하였으며 2018년 10월부터 국내 통신사 및 글로벌 장비업체로 납품을 시작하였다.

향후 일본, 호주, 유럽 등 해외 주요 국가들의 순차적인 5G 통신망 구축이 이뤄질 것으로 예상되고 있다. 가트너(Gartner)에 따르면 전 세계 5G 무선 네트워크 인프라 매출액은 2019년 22억 달러에서 내년 42억 달러로 89% 증가하면서 5G 통신망 시장은 높은 성장을 지속할 것으로 예상된다. 현재 동사를 포함한 국내 일부 통신장비 업체와 중국의 일부 기업만이 Massive MIMO 기술을 보유하고 있는 상황으로 향후 시장 확대에 따른 삼성전자, 에릭슨 등 글로벌 통신사 및 통신장비 업체로부터의 매출 확대가 기대된다.

[표 2] 에이스테크 주가추이 및 기본 재무현황(K-IFRS 연결기준)

Performance	Fiscal Year	2017년	2018년	2019년
<p>(단위: %)</p> <p>— 에이스테크 — KOSDAQ</p> <p>(포트폴리오 분석기준)                      (1) 분석기간: 3년, (2) 구성방법: 동일비중,                      (3) 리밸런싱: 없음, (4) 거래비용: 없음</p>	매출액(억 원)	3,516.2	3,773.2	3,786.0
	증감률 YoY(%)	9.2%	7.3%	0.3%
	영업이익(억 원)	-144.7	131.8	27.2
	영업이익률(%)	-4.1%	3.5%	0.7%
	순이익(억 원)	-555.7	12.4	-96.9
	EPS(원)	-1,926	96	-247
	EPS 증감률(%)	적지	흑전	적전
	P/E (x)	—	53.3	—
	EV/EBITDA(x)	41.4	11.2	21.7
	ROE(%)	-61.2	4.4	-11.1
P/B(x)	2.3	2.2	3.5	

\*출처: 네이버금융, NICE디앤비 재가공

**[오이솔루션]** 오이솔루션은 광통신 장치에서 전기 신호를 광신호로 변환하고, 광신호를 다시 전기 신호로 변환하는 광통신용 송수신 모듈인 광트랜시버를 제조, 판매하는 업체이다. 동사의 무선 이동통신용 25Gbps, 10Gbps급의 광 트랜시버는 5G 무선 이동통신 서비스 수요와 연동되어 있다. 동사는 무선 이동통신, Datacom, Telecom, 태내 가입자망 시장에서 활용할 수 있는 다양한 광 트랜시버 표준 제품군을 보유하고 있다. 광 트랜시버의 사양은 고객사 시스템에 의해 결정되며, 광통신 시스템의 사양은 통신서비스 업체의 통신망 환경에 따라 달라지므로 동사는 광 트랜시버 표준 제품 외에 커스터마이징 제품도 공급하고 있다.

동사는 C-RAN(클라우드 무선 접속망) 프론트홀 네트워크를 중심으로 무선망 적용을 위한 광트랜시버 솔루션을 제공하고 있다. Massive MIMO 기술이 상용화되는 경우 C-RAN의 데이터 트래픽은 크게 증가할 것으로 예상되며, 동사의 광트랜시버에 대한 수요도 증가할 것으로 예상된다.

**[표 3] 오이솔루션 주가추이 및 기본 재무현황(K-IFRS 연결기준)**

Performance	Fiscal Year	2017년	2018년	2019년
<p>(단위: %)</p>	매출액(억 원)	765.9	815.0	2,102.8
	증감률 YoY(%)	-3.9%	6.4%	158.0%
	영업이익(억 원)	-19.2	2.3	582.6
	영업이익률(%)	-2.5%	0.3%	27.7%
	순이익(억 원)	-17.9	25.8	460.7
	EPS(원)	-196	261	4,642
	EPS 증감률(%)	적전	흑전	1,679%
	P/E (x)	—	51.0	10.7
	EV/EBITDA(x)	32.6	26.7	7.5
	ROE(%)	-2.9	3.8	44.4
	P/B(x)	1.3	1.9	3.8

(포트폴리오 분석기준)  
 (1) 분석기간: 3년, (2) 구성방법: 동일비중,  
 (3) 리밸런싱: 없음, (4) 거래비용: 없음

\*출처: 네이버금융, NICE디앤비 재가공