

제4차 산업혁명 활성화를 위한 5G 추가 주파수 공급의 전략적인 의견

Strategic Reviews on Promoting the Fourth Industrial Revolution by Supplying 5G Additional Frequency

박승근 (S. Park, seungkp@etri.re.kr)

전파자원연구실 책임연구원/실장

ABSTRACT

The paper presents five strategic opinions for promoting the fourth industry revolution through the supply of 5G additional frequency. The assessments are on the basis of 5G frequency utilization technologies and services, with reference to 3GPP 5G New Radio standards, after investigating the domestic 1G, 2G, 3G, 4G, and 5G mobile communication services as well as the use of mobile radio frequency and spectrum. The presented opinions contain the frequency supply of contiguous-wide bandwidth channels, harmonized frequency supply between licensed and unlicensed spectrum, the existing 4G frequency recycle for increasing 5G coverage and capacity, balance frequency supply in the multi-band for 5G services, and the development of 5G vertical frequency for industry. The aim is that the presented five strategic opinions can offer guidance for the upcoming plan of domestic 5G additional frequency supply.

KEYWORDS 5G 이동통신, 5G 서비스, 5G 스펙트럼, 5G 비면허 스펙트럼, 5G 주파수 공급

1. 서론

2019년 4월 3일, 대한민국은 세계 어느 나라보다 먼저 5G 스마트폰을 출시하며, 세계 최초로 스마트폰 기반 5G 상용화를 달성하였다. 이러한 세계 최초의 타이틀을 차지할 수 있는 여러 조건들 중 하나는 선제적인 5G 주파수 공급이다. 즉 2018년

6월, 과학기술정보통신부는 5G 기반 제4차 산업혁명의 도입을 위하여 주파수 경매와 할당을 거쳐서, 국내 이동통신 사업자들에게 5G 주파수로 3.5GHz 대역에서 280MHz 폭, 28GHz 대역에서 2,400MHz 폭을 공급하였다[1].

국내 첫 5G 주파수는 3GPP(3rd Generation Partnership Project) Release 15의 중속모드(Non-stand-

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2019.J.340601>

* 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획위원회의 지원을 받아 수행된 연구임[2017-0-00109, 전파자원 선순환을 위한 주파수 분석기술 개발].



alone) 5G 기술표준을 참조하여 공급되었는데, 주파수 이용 측면에서 종속모드 5G 스마트폰은 4G 주파수를 이용하여 핸드오버 등 제어 정보를 전송한다는 것을 의미한다. 즉, 종속모드 5G 스마트폰 서비스에는 반드시 4G 주파수가 필요하다. 이와 대조적으로, 단독모드(Standalone)는 4G 주파수를 이용하지 않는다. 현재 국내 초기 5G 스마트폰은 초기 5G 칩의 기능 한계로 인하여, 7.125GHz 주파수 이하에서 종속모드만 지원하는 것으로 알려져 있다.

기술발전 측면에서 5G는 무선접속 기술뿐만 아니라 망 기술도 진보하여, 4G와 다르게 다양한 맞춤형 서비스를 제공할 수 있는 네트워크 슬라이싱(Network Slicing)이 가능하다. 만약에 이동통신 사업자가 기업 고객을 대상으로 네트워크 슬라이싱 기반 맞춤형 서비스를 본격적으로 제공한다면, 5G 망은 종속모드에서 단독모드로 전환되어야 한다. 국내에서는 세계 최초 상용화를 위하여 첫 5G 시대를 3.5GHz대 종속모드 5G 스마트폰으로 열었고, 이러한 종속모드 5G망의 확대 속에서 2021년부터는 진정한 5G 서비스의 실현을 위한 단독모드 5G로의 도입이 예상된다.

또한, 4G에서 5G로의 가입자 이동이 전망되는데, 통신업계 등에 따르면 2019년 8월 기준으로 국내 5G 가입자는 200만 명에 도달하였고, 5G의 200만 명 돌파는 2011년 9월 30일 출시하여 2012년 2월 6일 200만 명을 넘어선 4G LTE의 소요기간보다 1주일 정도 빠르다고 한다[2]. 특히, 금년 9월에는 5G 폴더블 폰이 출시되어 신규 폴더블형 스마트폰에 의한 트래픽 증가도 예상할 수 있다. 이러한 주변 상황을 고려하면, 단독모드 5G망 서비스, 5G 가입자 증가, 신규 5G 스마트폰 출시 등으로 5G 트래픽은 계속 증가할 것으로 전망된다. 그러므로 기존 5G 주파수, 특히 3.5GHz 대역에서 공급

한 280MHz 폭은 약 3년 후 포화될 가능성이 높으므로, 현 시기는 제4차 산업혁명 성장을 위한 새로운 5G 추가 주파수 공급 계획을 준비하여야 할 시점이다.

본 고에서는 상기와 같은 상황을 고려하여, 먼저 국내 이동통신 진화와 할당 주파수 현황을 살펴보고, 3GPP 표준규격 기반의 5G 주파수 이용 기술을 분석한 후, 과거 사례와 향후 3GPP 기술표준의 진화 추이를 바탕으로, 5G 추가 주파수 공급 마련에 필요한 전략적인 의견을 제시한다.

II. 국내 이동통신 서비스 진화

국내 이동통신 서비스는 1984년 800MHz 주파수에서 1G(Generation) 아날로그 셀룰러 이동통신 시스템을 통하여 카폰 등이 제공된 이후, 1996년 세계 최초로 피쳐폰 스타일의 2G 디지털 CDMA(Code Division Multiple Access) 셀룰러 이동통신 상용서비스가 성공하였다. 2000년 2.1MHz 주파수에서 3G IMT(International Mobile Telecommunications)-2000 사업자를 선정하였으며, 2011년 4G LTE(Long-Term Evolution) 상용망 서비스를 개시하였다. 또한, 2018년에는 5G NR(New Radio) 서비스를 위한 주파수 경매가 있었다.

초기 1G 이동통신 서비스는 음성만 가능하였지만, 2G에서는 1G와 다르게 디지털 기술을 이용하여 음성과 함께 SMS(Short Message Service)라는 새로운 서비스가 소개되었다. 3G에서는 초기에 비디오 폰이라고 하여 영상통화를 킬러 애플리케이션으로 제시하였지만 데이터 전송속도의 미흡과 비싼 통신요금으로 인하여 크게 성공하지 못하였다. 이후에 14.4Mbps HSDPA(High Speed Downlink Packet Access) 기반 3G 폰이 등장하면서 웹 접속이 3G의 대표적인 서비스로 자리매김하였다. 또한,

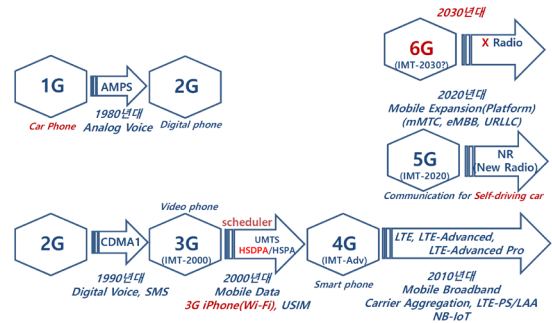
USIM(Universal Subscriber Identity Module)을 이용한 새로운 이동통신 단말기의 이용방법이 출현하여 대중에게 보다 편리한 이동통신 가입 서비스가 제공되었다. 특히 3G 아이폰에 Wi-Fi(Wireless Fidelity) 칩이 탑재되면서 이동통신 단말기에 Wi-Fi 장착은 기본사항이 되었고, 바로 이 시점부터 이동통신 사업자들은 Wi-Fi를 모바일 트래픽의 오프로딩으로 활용하기 시작하였다.

3G 기술개발 이후, 3GPP에서는 모바일 브로드밴드 서비스를 제공할 목적으로 3G의 Wideband CDMA 방식과 다른 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기반의 4G 기술 표준을 채택하여 4G 이동통신 기술을 단계별로 LTE, LTE-A, LTE-A Pro 등으로 진화시켰다. 4G의 OFDMA 달리 2018년 5G NR의 대표적인 기술 중 하나로 서브 캐리어 간격을 가변시킬 수 있는 Flexible OFDMA를 표준화하였다. 또한, 최근 국내 외적으로 6G 기술에 대한 논의가 시작되었다.

그림 1에서 제시된 바와 같이, 세대별 이동통신 기술과 대표 서비스는 약 10년의 주기 특성이 있으며, 음성에서 동영상까지 응용 서비스의 범위는 계속 확대되고 있다[3].

세상의 통신 네트워크가 인터넷으로 전환되면서 무선 인터넷 접속 서비스 입장에서 4G LTE는 핵심 역할을 수행하고 있다. 종전 CDMA 계열의 2·3G와 달리 4G LTE의 OFDMA는 CDMA 방식이 요구하는 복잡한 레이크 수신기 구조가 필요 없고 다중 반송파 전송에 의한 페이딩 채널 극복, FFT(Fast Fourier Transformation)의 구현 용이성, 데이터 전송의 버스티 특성을 고려한 시간 및 주파수의 다중접속기술로서 무선 인터넷 접속에 적합한 기술이다.

3GPP의 OFDMA 기반 4G 상용화에서는 3G와 달리, 주파수집성(CA: Carrier Aggregation)과 4x4 MIMO(Multi-Input Multi-Output)가 개발되어,



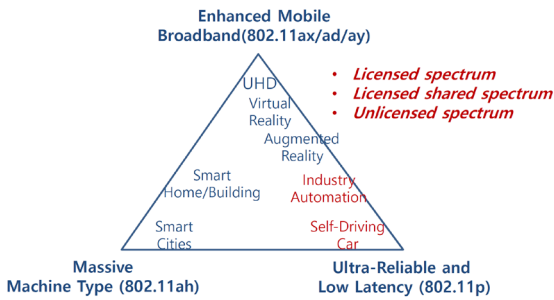
출처 S. Park, "Strategic opinions on the 5G spectrum utilization for the promotion of 4th industry revolution," in Proc. KICS, Jeju Island, Korea, June 2018.

그림 1 이동 셀룰러 통신의 특징

국내 이동통신 사업자들은 복수 개의 800MHz, 900MHz, 1.8GHz, 2.1GHz, 2.6GHz 대역 등에서 파편화된 주파수 대역들을 동시에 묶은 주파수집성과 공간 다중화 기술인 MIMO를 이용하여, 도심지역에서 최신 스마트폰 기준으로 평균 150Mbps급 데이터 전송이 가능한 최고 글로벌 수준의 모바일 브로드밴드 시대를 열었다[4].

ITU에서는 5G를 IMT-2020이라고 부르며 종전 4G의 모바일 브로드밴드를 포함하여 eMBB (Enhanced Mobile Broadband), uRLLC(Ultra-Reliable Low Latency), mMTC(Massive Machine Type Communications) 등 3개의 대표 서비스를 제시하였다. 특히, 3GPP에서는 초기 5G NR 기술표준으로 Release 15를 먼저 완성하였고, 현재는 제4차 산업혁명의 실질적인 성장 실현을 위하여, 스마트공장, 자율주행차 등 5G Vertical 시장을 위한 Release 16의 표준작업을 진행하고 있는 중이다.

그림 2는 3GPP 5G NR 표준 서비스와 IEEE 802.11 표준 서비스와의 관계를 보여 주고 있는데, eMBB는 802.11ax/ad/ay, uRLLC는 802.11p, mMTC는 802.11ah와 관련이 높다. 특히, 스마트폰에 비면허 주파수를 이용하는 Wi-Fi 칩이 탑재



출처 S. Park, "Strategic opinions on the 5G spectrum utilization for the promotion of 4th industry revolution," in Proc. KICS, Jeju Island, Korea, June 2018.

그림 2 5G 서비스와 IEEE 802.11 표준과의 관계

되면서 eMBB 서비스는 면허와 비면허 주파수를 Switch-off 형태로 이용하였다. 하지만, LWA(LTE-Wi-Fi Aggregation) 또는 LTE-LAA(Licensed Assisted Access) 기술이 등장하면서, 주파수집성의 대표적인 응용으로 면허와 비면허 주파수를 동시에 이용하는 eMBB 서비스가 가능하게 되었다. 현재 3GPP에서는 LTE-LAA 이후 버전으로 NR-U(Unlicensed) 표준 규격을 작업하고 있다. 5G uRLLC의 대표적인 서비스 중 하나인 커넥티드 카의 무선통신에 대해서 3GPP에서는 LTE-V2X(Vehicle-to-Everything)에서 NR-V2X로 전이되고 있는 과정이 있으며, 802.11에서는 11p의 진보 기술로 11be가 논의되고 있다. 또한, mMTC의 대표 초연결 IoT에 대해서 3GPP에서는 LTE-M(Machine) 또는 NB(Narrowband)-IoT 기술표준을 완성하였다. 특히 최근 Release 16에서는 wearable 등에 적용이 가능한 NR-light 기술들이 논의되고 있으며 802.11에서는 주파수 1GHz 이하에서 장거리 광역 IoT 서비스를 위하여 802.11a OFDM을 다운클러킹한 802.11ah 기술표준을 만들었다. 즉, 3GPP는 면허 주파수 이용기술에서 면허와 비면허 주파수 이용으로 기술표준을 확장하고 있는 반면에, 802.11은 주로 비면허 주파수 이용기술들을 계속 표준화하

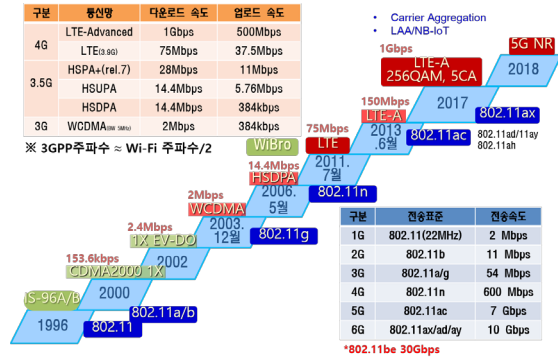


그림 3 이동 셀룰러 통신과 IEEE 802.11 진화

고 있다.

3GPP가 Release 13을 발표하기 전에는, 주로 면허 주파수 이용의 표준을 다루어 왔지만 LTE-LAA를 포함하는 Release 13(2016년)부터 3GPP가 802.11에서 다루는 5GHz 대역 글로벌 비면허 주파수를 이용하면서 양대 표준그룹 간에는 글로벌 비면허 주파수를 중심으로 상호 경쟁 또는 상호 보완하는 형태로 발전하고 있다.

그림 3은 시간의 흐름에 따른 3GPP 이동통신과 IEEE 802.11 무선랜의 전송기술 추이를 보여 주고 있다. 최근 무선랜 업계에서는 802.11n을 Wi-Fi 4라고 이름을 붙이고, 11ac은 Wi-Fi 5, 11ax는 Wi-Fi 6라고 하면서, 무선랜 기술이 항상 이동통신 기술보다 앞서 나아가고 있다는 것을 뚜렷하게 제시하려고 노력하고 있다. 여기서, 경험적으로 관찰된 사항으로는 무선랜과 이동통신 간의 이용 주파수에 대한 1/2 관계가 있다. 초기 이동통신 주파수가 800·900MHz 대역, 약 1GHz에서 시작을 하였다면 무선랜은 2.4GHz ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역부터 출발하였고, 이후에 무선랜의 이용 주파수는 5~6GHz로 확대되었으며, 이동통신은 무선랜의 이용 주파수에 1/2 수준이 되는 1.8~2.6GHz를 사용하였다. 또한, 무선랜이

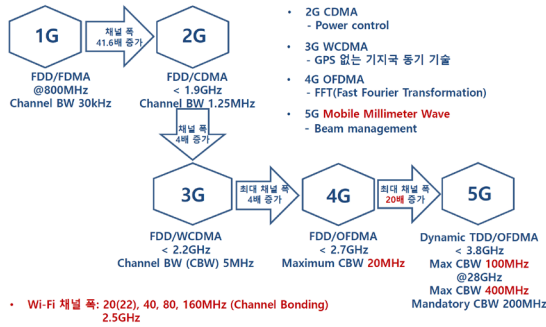


그림 4 광대역 채널대역폭의 확장

802.11ad에 의해서 60GHz 대역을 사용한 이후, 5G NR 주파수는 28GHz 대역으로 확장되었다. 즉, Wi-Fi 전송기술은 이동통신 기술을 선도하였을 뿐만 아니라 이용 주파수를 1/2 관계를 가지면서 개척하여 왔다.

농업사회에서 산업사회를 거쳐 정보지능화 사회로의 급속한 전이로 인하여, 각 사회 구성원은 많은 정보량을 발생시켜서 이동통신 트래픽도 폭발적으로 증가하여왔다. 특히, 이동통신 트래픽이 급증하면서 이동통신용량 확보를 위한 채널 폭도 1G의 30kHz부터 5G의 400MHz까지 무려 13,333배로 엄청나게 증가하였는데, 그림 4는 세대별 이동통신의 채널 폭에 대한 증가 추이를 보여 주고 있다. 그림 4에서, 1G에서 2G로 진화하면서 채널 폭은 41배로 증가하는데, 이러한 증가는 아날로그에서 디지털로의 전환을 통한 음성 트래픽 수용 용량 확보차원에서 필연적으로 발생한 것이다. 또한, 4G에서 5G로의 채널 폭 40배 증가는 모바일 밀리미터 기술을 통한 5G의 20Gbps 전송속도 달성을 위한 것이다. 반면에 Wi-Fi 채널은 20·40·80·160MHz 폭으로 채널을 결합하는 주파수 광대역화 기술을 사용한다.

1996년, 세계 최초의 2G 동기식 CDMA 상용화

표 1 5G 기술 특징

구분	특징
스펙트럼	저대역·중대역·고대역
OFDM 파형	15kHz x 2 ^μ 서브 캐리어 간격; μ는 정수
가변채널 대역폭	7.125GHz 이하: 최대 100MHz 안에서 가변 24.25GHz 이상: 최대 400MHz 안에서 가변
유연한 일체형 슬롯구조	상하향 슬롯변경을 자유롭게 선택하고 eMBB·URLLC·mMTC 심볼을 동시 전송
첨단 채널코딩	데이터채널: LDPC 제어채널: Polar Code
Massive MIMO	커버리지 및 용량 증가를 위한 다수 안테나의 효율적 활용
하이브리드 빔포밍	밀리미터파 사용을 위한 빔포밍 및 빔 추적 최적화
네트워크 슬라이싱	유연하고 가변적인 망 구성

성공은 단말기의 전력 제어 기술 덕분이고, 3G 동기 WCDMA 기술은 GPS(Global Positioning System)를 이용하지 않는 기지국 간의 동기 기술이며, 4G는 FFT(Fast Fourier Transformation)를 기반으로 하는 이동통신 용도의 OFDMA 상용 기술이라고 생각할 수 있다. 이러한 맥락에서, 5G의 핵심기술은 서브 캐리어 간격을 조절하는 Flexible OFDMA와 밀리미터파에서 이동통신을 할 수 있는 다중 빔 기술이라고 할 수 있는데, 표 1에서는 5G NR에서 개발된 대표적인 전송기술을 보여 주고 있다.

5G NR는 주파수 측면에서 4G LTE에 비해 광대역 채널을 가지고 있으며, 시간 측면에서는 Dynamic TDD(Time Division Duplex)로 FDD(Frequency Division Duplex) 또는 TDD 방식을 수용하고, 서브 캐리어 간격에 의한 다양한 슬롯 기반의 스케줄링이 가능하다. 특히, 미니-슬롯을 이용한 초저지연 서비스가 가능하다. 공간적인 측면에서 스몰 셀을 통한 용량 확대가 가능하고 Massive MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기반으로 공간

다중화·다이버시티·빔포밍 등을 통하여 주파수 효율이 향상되고, 다중 빔 추적과 관리기술을 바탕으로 셀 간의 자유로운 이동이 가능하여 모바일 밀리미터파 서비스가 실현될 가능성이 높다.

III. 국내 이동통신 할당 주파수 현황

전국적으로 주파수 이용권을 부여받은 이동통신 사업자들은 확보한 주파수 폭의 범위 안에서 이동통신 방식별로 셀을 구성하여 전국 무선망 용량을 확보한다. 그림 5와 같이 전국 무선망 용량(bps)은 확보대역폭(Hz)×셀당 주파수 효율(bps/Hz)×셀 수의 곱으로 계산된다.

이동통신 사업자들은 네트워크 용량을 증대시키기 위하여 더 많은 대역폭을 확보하려고 주파수 경매에서 최저경쟁가격보다 더 높은 낙찰가를 통하여 주파수이용권의 비용을 지불한다. 주파수 대역폭이 확보된 상태에서 네트워크 용량을 증대시키는 방법은 셀당 주파수 효율이 높은 최신 이동통신 기술방식이 적용한 무선국 수를 늘려서 셀 수를 증가시키는 것으로 이러한 네트워크 구축비용은 대부분의 경우에 주파수이용권 비용보다 높다. 그러므로 이동통신 사업자들은 비용 측면에서 최대 네트워크 용량을 확보하기 위하여 주파수 경매에서

더 많은 주파수 대역폭을 확보하려고 한다.

이동통신 네트워크 용량은 최대 트래픽 수용 용량을 의미하므로 트래픽 증가 추이에 따른 추가 주파수 공급을 위한 분석은 중요하다. 현재 과학기술정보통신부는 국내 무선데이터 트래픽 통계를 월별로 이동통신 기술방식과 사업자용 Wi-Fi 등으로 구분하여 발표하고 있다. 2019년 6월 기준 트래픽 통계를 보면, 전체 이동통신 트래픽 479,414TB/(월)에서 4·5G 트래픽은 478,910TB/(월)으로 그 비중이 99% 이상 되므로 본 절에서는 그간의 4·5G 주파수 공급에 대하여 살펴본다.

2011년, 국내 4G LTE 첫 주파수는 1GHz 이하에서 경매가 아닌 대가·재할당 과정을 통하여 공정경쟁 원칙에 따라 이동통신 사업자들에서 배분되었다. 이후 1차 경매를 통한 LTE 주파수 공급에서는 국내 이동통신 사업자들은 글로벌 조화 주파수 확보가 큰 관심사항이었다. 2013년, 2차 경매에서는 국내 이동통신 사업자들은 연속한 형태의 광대역 채널 폭 20MHz 확보를 위하여 많은 노력을 하였는데, 이러한 배경에는 3GPP Release 10 표준에 의한 주파수집성 기술의 상용화에 있다. 2016년, 3차 경매가 이루어지기 전까지 LTE 단말기는 3CA를 통하여 최고전송속도 450Mbps 수준이 되었다. 3차 경매 결과로는 700MHz 대역 유찰과 이동

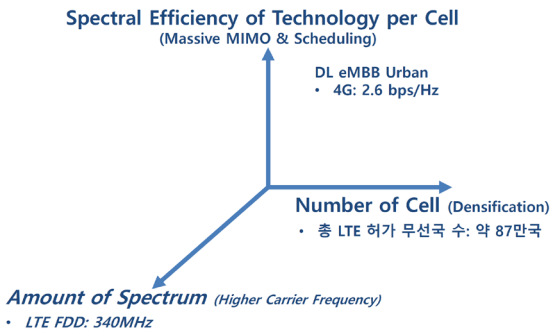


그림 5 무선망 용량의 차원

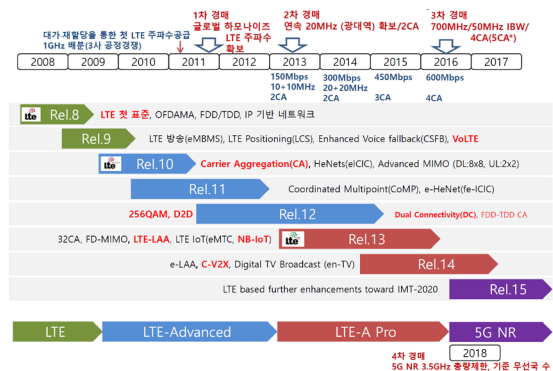


그림 6 3GPP 표준규격과 연관된 주파수 경매

표 2 주파수집성 기술 기반의 주파수 경매

연도	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
3GPP 기술	LTE (Rel.8/9)		LTE-Advanced (Rel.10/11/12)				LTE-A Pro (Rel.13/14)		5G NR (Rel.15)		
면허 주파수 공급			대가	1차 경매		2차 경매			3차 경매		4차 경매
주파수 이용 특징				글로벌 조화		2CA 광대역			4CA (LTE-LAA)	5CA	DC
Wi-Fi 기술	Wi-Fi 4 (11n)		Wi-Fi 5 (11ac)							Wi-Fi 6 (11ax)	
비면허 주파수 공급	2.4GHz대 83.5MHz대 580MHz폭										
주파수 이용 특징	OFDM, MIMO		OFDM, MIMO, Channel Bonding(20·40·80·160MHz폭)								

통신 사업자들의 주파수 LTE 주파수 보유량의 차이가 발생하였다. 특히, 3차 경매 시점에는 LTE 기지국 장비의 IBW(Instantaneous bandwidth)가 최대 50MHz폭까지 지원하여 좀 더 유연한 주파수 이용이 가능하였다. 2018년, 5G NR 상용서비스를 위한 주파수 공급을 위하여 4차 경매를 실시하였는데 각 이동통신 사업자의 주파수 총량 제한, 기준 무선국 수, 3.5GHz 대역 사업자 주파수 위치 등이 주목받았다. 그림 6에서는 3GPP의 주요 기술표준을 제시하고 있는데, 가장 주목할 것은 주파수집성과 이중연결(DC: Dual Connectivity) 기술이다.

국내 4G LTE 주파수는 표 2와 같이 주파수집성 기술의 상용 칩 수준에 따라 첫 대가할당 이후 3차례의 경매를 통하여 총 340MHz 폭이 공급되었다. 초기 5G NR은 이중연결 기반의 종속모드를 이용하는데 이중연결 기반 종속모드 5G라고 함은, 4G LTE 기지국과 망을 마스터로 이용하면서 2차 기지국으로 5G 기지국을 사용하여 통신하는 것을 말한다. 본래, 이중연결은 3GPP LTE 표준규격 Release 12의 트래픽 용량 확대를 목적으로 개발되었지만 상용화가 되지 못하다가 초기 5G NR의 종속모드

를 구현하는 제품에 적용되었다. 또한, 표 2를 보면 앞서 언급한 것과 같이 3GPP는 면허 기반의 주파수 이용 기술을 위주로 기술표준을 개발하고 있으며, IEEE 802.11은 면허가 아닌 비면허 주파수 이용기술만을 개발하고 있다. 특히, 최근 Wi-Fi 6가 개발되어 5G 갤럭시 10에 탑재되어 있다.

표 3은 2019년 현재 국내 이동통신 할당 주파수

표 3 한국의 이동통신 주파수 할당

구분	SKT (MHz)	KT (MHz)	LGU+ (MHz)	합계 (MHz)	
2G	800MHz	10	-	-	30
	1.8GHz	-	-	20	30
3G	2.1GHz	20	20	-	40
4G	800MHz	20	10	20	340
	900MHz	-	20	-	
	1.8GHz	35	55	-	
	2.1GHz	20	20	40	
	2.6GHz	60	-	40	
	소계(4G)	135	105	100	
5G	3.5GHz	100	100	80	280
소계(6GHz 이하)		265	225	200	690
5G	28GHz	800	800	800	2,400
합계		1,065	1,025	1,000	3,090

의 현황을 나타낸다. 국내에는 아날로그 1G 이동통신 주파수는 없고, 2·3·4·5G 이동통신 서비스는 7.125GHz 이하에서 각각 30·40·340·280MHz 폭을 사용하고 있다. 앞서 언급했듯이, 5G 트래픽 증가함에 따라 현 5G 3.5GHz 대역의 280MHz 폭은 포화될 것으로 예상되므로 향후 적절한 시점에 5G 추가 주파수를 공급해야 한다.

IV. 5G 주파수 이용 기술

4G 주파수 이용의 대표적인 기술은 복수의 대역에 파편화된 대역폭을 광대역으로 만들어 전송하는 주파수집성 기술이라고 할 수 있다. 5G 주파수 이용의 대표기술은 공간 측면에서 다중 경로를 이용한 정보전송 다중화, 다중 안테나를 통한 수신 다이버시티, 다중 빔의 형성·조정·관리 등이 가능한 다중 안테나 기반의 전송기술이며, 보통 송수신 안테나가 각각 8개 이상을 Massive MIMO라고 한다.

4G 주파수집성과 5G Massive MIMO는 앞서 언급한 무선망 용량의 산출에서 주파수 효율 향상기술과 관련된 것으로서 다음과 같은 채널용량과 밀접한 관계가 있다. 즉, 채널용량에 대역폭을 나누면 주파수 효율이 된다.

$$\text{채널용량(bps)} \propto M \cdot B(\text{Hz}) \cdot \log_2(1+\text{SNR})$$

위 식에서 M은 레이어 수, B는 대역폭, SNR은 신호-대-잡음비이다. 4G 주파수집성은 광대역폭을 확보할수록 비례적으로 채널 용량을 증대시키는 효과가 있다. 5G Massive MIMO는 주어진 전파환경의 Rich Scattering과 전파경로 감쇠를 극복하는 다중안테나 기반의 용량증가 기술이다. 5G에서도 당연히 4G에서 용량 및 전송속도 증가에 이

용한 주파수집성 기술을 사용하는 동시에 Massive MIMO를 이용한다. 또한, 5G에서는 채널용량을 증가시키는 방향으로 기술이 진화한 것뿐만 아니라 시간 영역에서 TSN(Time Sensitive Network)에 맞게 전송시간간격(Transmission Time Interval)을 조절할 수 있는 서브 캐리어 간격, 미니 슬롯 등을 스케줄링과 연계하여 종전의 4G에서는 제공할 수 없었던 저지연 서비스의 제공이 가능하도록 발전하였다.

3GPP Release 10에서 제시된 4G LTE의 주파수집성 기술은 면허대역의 파편화된 주파수들만을 묶었다. 반면에 3GPP Release 13에서는 면허 주파수와 5GHz Wi-Fi 비면허 주파수를 묶어서 모바일 트래픽을 오프-로딩시킬 수 있는 LTE-LAA 기술이 등장하였다. 이와 관련하여 3GPP Release 16에서는 NR-U를 LTE-LAA의 진화기술의 하나로서 표준화 작업을 하고 있다. 즉 5G NR-U는 종속모드만 있는 4G LTE-LAA와 달리 단독모드가 있으며, 5GHz Wi-Fi와의 공유를 위한 LBE(Load-Based Equipment) 기반 LBT(Listen Before Talk) 기능과 함께 FBE(Frame-Based Equipment) 기반의 시간 동기화 기술도 있으므로, 사설망 또는 스마트 공장에서 비면허 주파수를 이용한 NR-U 기반 저지연 서비스가 가능할 것으로 예상된다.

한편, 3GPP Release 12에서는 이중연결 표준을 마련하였으나, 실제 LTE망에는 적용이 되지 않았지만 초기 5G망의 형태인 종속모드 5G NR 상용망에서는 핵심적인 역할을 하였다. 주파수집성과 이중연결은 둘 다 주파수이용 기술이지만 트래픽을 분할하는 위치가 서로 다르다. 이중연결은 그림 7과 같이 MAC(Medium Access Control)의 상위 계층에 있는 PDCP(Packet Data Convergence Protocol)와 RLC(Radio Link Control) 기반으로 트래픽을 분할하지만, 주파수집성은 MAC에서 서로 다른 주파수

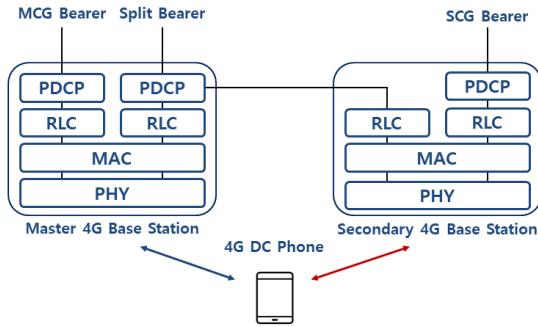


그림 7 이중연결 구조

로 트래픽을 분배한다. 이중연결은 마스터 셀과 세컨더리 셀 등 2개의 기지국을 이용하여 트래픽을 분할 전송하며, 마스터 셀과 세컨더리 셀 간의 기지국 동기 지연 차이를 허용하고 있다[5].

이와 달리, 주파수집성은 그림 8과 같이 1개 기지국의 MAC에서 복수 RF 대역으로 트래픽을 분산하여 동시에 전송하며, 동일 셀 안에 있는 2CA·3CA·4CA·5CA 단말기들은 각자의 성능 기능에 따라 맞는 주파수집성 기술을 이용한다[6]. 특히, 주파수집성은 3GPP Release 10에서 채택되어 국내 LTE 광대역 주파수 경매에 큰 영향을 주었으며 현재 국내에서는 5CA LTE 기지국과 단말기까지 상용화되어 있다.

현재, 국내에서는 EN-DC(E-UTRAN New Radio - Dual Connectivity) 기반의 종속모드 5G망이 구축 중에 있으며, 2019년도 말 기준으로 5G 가입자 수는 약 500만 명 예상과 함께 커버리지 92%가 달성될 것이라고 전망하고 있다. 2021년부터는 네트워크 슬라이싱 등을 고려하여 단독모드 5G망을 본격적으로 구축할 것으로 예측되고 있다. 즉 국내 5G망은 이동통신 사업자별로 차이가 있겠지만, 종속모드 5G망을 바탕으로 단독모드 5G망이 혼합되어 구축될 것으로 보인다. 국내 이동통신 사업자들은 각사의 망 구축 전략에 따라, 그림 9와 같이 3a 또는 3x 기반의 종속모드 5G망을 구축

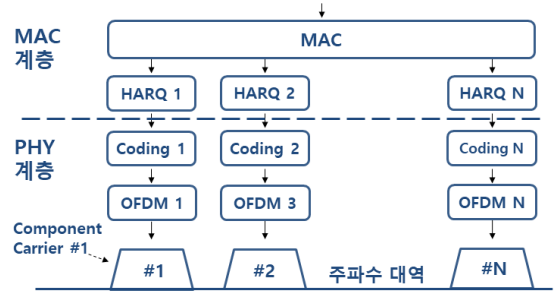


그림 8 주파수집성 구조

하고 있다[7].

그림 9에서는 종속모드 옵션 3a와 3x를 보여주고 있다[9]. 옵션 3a는 단독모드 5G로의 전이가 3x에 비해서 간단하지만 종속모드 5G의 품질 측면에서 옵션 3x보다는 불리할 것으로 판단된다. 왜냐하면, 3x는 4G 주파수를 이용하여 5G 트래픽을 전송할 수 있기 때문이다. 이와 달리,

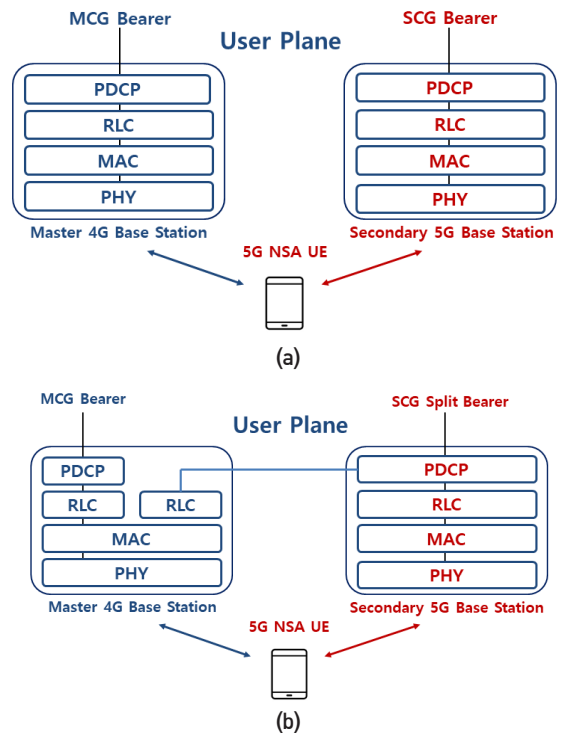


그림 9 종속모드 5G EN-DC의 종류: (a) 옵션 3a, (b) 옵션 3x

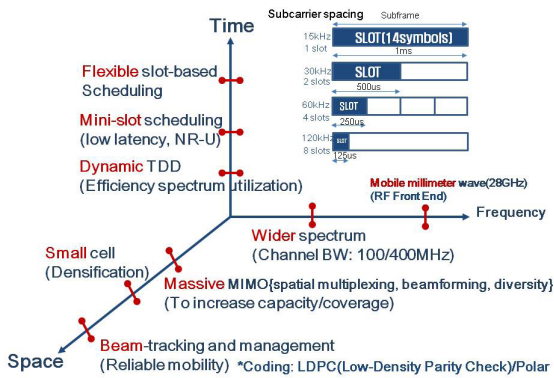


그림 10 시간·공간·주파수 차원의 5G 기술

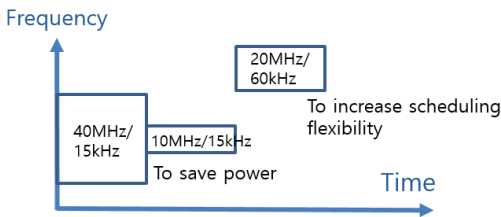


그림 11 대역폭 부분 이용사례

옵션 3x는 옵션 3a와 다르게 SCG(Secundary Cell Group) split을 하므로 종속모드 5G에서 단독모드 5G로의 전환을 할 경우에는 옵션 3a보다 더 복잡할 것으로 판단된다.

3GPP에서는 시간·공간·주파수 측면에서 4G LTE OFDMA을 바탕으로, 그림 10과 같이 5G NR 전송기술을 Flexible OFDMA로 발전시켰으며, 이를 바탕으로 기술표준을 마련하고 있다.

시간 측면에서는 LTE 서브 캐리어 간격 15kHz를 2의 배수로 변화시켜 심볼 길이를 유연하게 가변하도록 하였다. 이를 바탕으로 5G NR 스케줄링 단위는 종전 LTE의 1ms에서 저지연 서비스 또는 반송파 주파수 특성 등에 맞도록 변화시킬 수 있다. 좀 더 구체적으로 보면 제어 등 mission critical 서비스를 제공하기 위하여 미니-슬롯(mini-slot) 기술표준을 도입하였다. 또한, Dynamic TDD를 도입하여 FDD와 TDD 모두를 지원할 수 있다. 공간

Band #	UL	UL+DL	Duplex
	High NR Frequency		
3	1,710~1,785MHz	1,805~1,880MHz	FDD
n78	3.3~3.8GHz	3.3~3.8GHz	TDD
n80	1,710~1,785MHz	-	SUL

- EN-DC band: DC_3_SUL_n78-n80
- LTE band: 3
- NR band: n78+n80(SUL)

그림 12 보조 상향 링크의 역할

적인 측면에서는 Massive MIMO 기술 도입으로 공간 다중화를 통한 용량 및 전송속도 확보, 빔포밍과 수신 다이버시티를 통한 신호-대-잡음비 향상 등을 통한 고속전송이 있으며 밀리미터파 이용으로 스몰 셀 구축에 의한 망 용량 증가가 용이해졌다. 이와 관련하여 최근 3GPP에서는 밀리미터파 이용에 따른 위상제어 등 빔 추적과 관리 기술이 표준화되어 발전하고 있다. 주파수 측면에서는 100/400MHz 광대역 채널 폭의 기술이 표준화가 되었고, 그림 11과 같이 광대역 채널 환경 속에서 단말기의 Bandwidth Part 기술표준이 도입되어 에너지 효율화와 5G NR 단말기의 성능조건에 따라 최대 채널 폭 안에서 적절한 채널 폭을 선택하여 사용하도록 하였다. 모바일 밀리미터파 구현 관점에서는 RF Front End 기술 확보가 중요하다. 코딩 관점에서는 4G LTE의 제어 채널용 convolutional 코딩과 통화 채널용 Turbo 코딩은 5G NR에서는 각각 Polar와 LDPC(Low Density Parity Check) 코딩으로 기술표준이 되었다.

또한, 3GPP에서는 다운 링크 주파수의 효율적인 이용과 TDD 방식에서 업 링크 커버리지를 확보할 목적으로 동일 주파수를 4G LTE와 5G NR이 주파수 공동사용을 할 수 있는 새로운 상호공존의 기술표준을 마련하였다. 할당주파수별로 다운 또는 업 링크의 커버리지를 비교하면, 3.5GHz 주파

수에 Massive MIMO 기술을 적용하여도, 업 링크의 커버리지가 상대적으로 좁다는 것을 알 수 있다[8]. 그러므로 그림 12와 같이 4G LTE 업 링크의 저주파수를 5G NR 업 링크의 주파수로 이용하는 SUL(Supplementary Uplink) 기술이 등장하였다.

EN-DC 밴드 기호, DC_3_SUL_n78-n80은 그림 13과 같이, 4G LTE 밴드 3과 5G NR 밴드 n78을 이중연결한 것이고, 5G의 SUL 주파수로 n80 주파수를 이용한다는 것을 의미한다.

5G에서 살펴봐야 할 또 하나의 링크에는 사이드링크(Sidelink)가 있다. 3GPP Release 10에서는 첫 사이드링크 기반의 D2D(Device-to-Device) 기술표준을 마련하였다. 이러한 기술은 LTE 무전기 개발에 적용되었으며 3GPP Release 14에서는 LTE 기반 C-V2X 기술표준을 만들었다. C-V2X에서는 업 링크와 다운 링크의 면허 주파수를 이용하여 차와 네트워크 간의 통신을 하고 차량들 간, 차와 인프라, 차와 보행자 간 등의 직접 통신은 5.9GHz 비면허 주파수를 이용한 사이드링크로 한다. 현재 3GPP에서는 LTE-V2X 표준을 마무리하고 Release 16에서는 5G NR-V2X 기술표준을 마련 중에 있다.

V. 5G 추가 주파수 공급의 전략적인 의견

국내에서는 2011년부터 경매를 통하여 국내 이동통신 주파수를 공급하고 있으며 각 경매 시에 고려했던 사항들은 해당 경매시점에서의 3GPP 기술표준과 밀접한 상관관계가 있다. 이러한 관계성에 대한 탐구는 2018년 6월 국내 5G 주파수 경매 이후 추가적인 5G 주파수 공급을 고려할 경우에도 반드시 고려해야 한다. 현재 3GPP에서는 최초 5G NR 표준인 Release 15 이후 Release 16 표준화에서는 다양한 산업별 요구사항을 반영하여 NR 기반

C-V2X, 원격 조정, 스마트 공장, 스마트 시티, 스마트 미터 등 5G Vertical 서비스별 다양한 케이스를 지원하기 위한 요구사항 및 기술표준을 논의하고 있다. 그러므로 국내 5G 추가 주파수는 3GPP Release 16 기술표준 진화와 방향에 맞추어 공급될 필요가 있다.

국내 초기 5G 주파수는 2018년 경매를 통하여 3.5GHz 대역에서 280MHz 폭, 28GHz 대역에서 2,400MHz 폭으로 총 2,680MHz 폭이 공급되었다. 이러한 공급량은 최대 채널 폭 기준으로 판단해보면 국내 이동통신 사업자 3사는 각각 3개 채널(3.5GHz 대역 1개, 28GHz 대역 2개)을 가지고 있다. 이러한 상황에서 국내에서는 5G 모바일 밀리미터파 단말기는 출시되지 않고 있으며, 3.5GHz 대역을 사용하는 종속모드 5G 단말기 위주로 5G 초기 서비스가 되고 있다. 2019년 8월 기준으로 국내 5G 가입자는 200만 명을 초과하였고, 신규 5G 폴더블 폰이 성공하면 신규 폴더블 단말기에 의한 게임, 동영상 서비스 등으로 트래픽이 증가할 것으로 예상된다. 그러므로 현 3.5GHz 대역의 1개 RF 채널만 이용하는 이동통신 통신사의 5G 트래픽 수용 용량에는 한계가 있다.

즉, 과거 3G WCDMA에서는 2.1GHz 대역에 각 이동통신 사업자들에게 4개 RF 채널을 제공하여 총 80MHz 폭이 공급되었다. 4G LTE에서는 800MHz를 시작으로 900MHz를 거쳐서, 1.8GHz, 2.1GHz, 2.5GHz 등으로 세 번의 주파수 경매를 통하여 순차적으로 상향 할당주파수가 공급되어, 총 340MHz 폭이 제공되었으므로, 현재와 같이 모바일 밀리미터파의 5G 트래픽 수용이 크지 않다면, 7.125GHz 이하에서 현재의 5G 주파수 공급량 280MHz 폭은 늘려야 한다.

1990년대 2G CDMA 시대에서는 음성 커버리지 확보를 위한 기지국(또는 셀) 구축과 그 비용이 매

우 중요하였다. 이에 따라 전파 경로 손실이 적은 800MHz 대역은 황금 주파수로 인식되어, 1.8GHz 주파수를 이용하는 PCS 사업자들은 1개 사업자가 독점으로 사용하고 있는 800MHz에 대하여 공정한 주파수 분배를 요구하였고, 주파수이용권의 비용 산출에서도 전파특성계수를 통하여 감액받았다.

2000년대 3G WCDMA 시대에서는 영상통화를 대표 서비스로 제시하며 비디오 폰을 출시하였지만, 초기 지원되는 전송속도가 2Mbps로 제약이 크고 패킷 기반의 모바일 인터넷 접속에 맞는 14.4Mbps HSDPA가 나오기 전까지 활성화되지 못하였으며, 국내 모든 3G 서비스는 2.1GHz 대역의 총 80MHz 폭으로 감당이 되었다.

2010년대 4G LTE는 3G 후반 기술인 HSDPA를 넘어선 초기 75Mbps 전송속도, 기지국의 RU(Radio Unit)·DU(Digital Unit) 분리에 의한 망 구축비용 절감, 인터넷의 동영상 스트리밍 서비스 인기 등으로 크게 성공하였고, 이에 필요한 데이터 트래픽 용량을 주파수집성 기술을 통하여 확보하였다. 특히, VoLTE는 음성 커버리지 확보를 위하여 저주파수를 이용하였고, 데이터 트래픽 용량 확보용 주파수는 800MHz(또는 900MHz), 1.8GHz, 2.1GHz, 2.5GHz 등 다중대역에서 파편화 형태로 공급이 이루어졌다.

2020년 5G NR 시대에서는 4G LTE의 파편화된 주파수 공급과 달리 7.125GHz 주파수 이하에서 연속 광대역 채널을 확보하여 공급하는 것이 매우 중요하다. 연속 광대역 채널 확보는 기지국 장비의 비용 감소와 데이터 트래픽 용량 확보에 보다 더 유리하기 때문이다. 이러한 연속 광대역 채널 확보는 FDD와 TDD 특성, 음성 커버리지 확보, 데이터 트래픽 용량 증대 등을 종합적으로 고려해야 한다. 이러한 종합적인 접근방식의 사례로서, 표 3과 같이 Massive MIMO 기반의 용량 증가

표 4 반송파 주파수별 송수신 방식

반송파 주파수	송수신 방식
1GHz 이하	FDD
1~3GHz	FDD 또는 TDD
3GHz 이상	TDD

를 반영하여 주파수별 FDD와 TDD 적용을 제안한다. 특히, 1~3GHz 주파수 범위에서는 1GHz에 근접할수록 FDD를, 3GHz에 근접할수록 TDD 방식을 제안한다.

3GPP Release 16에서는 NR-U 표준화를 종속모드 및 단독모드로 진행하고 있으며, 비면허 주파수를 사용하는 사설망(Private Network) 5G에서 제어 등 초저지연 서비스에 맞는 단독모드 NR-U의 시간동기 주파수 공유 방식도 3GPP 기술표준으로 마련될 예정으로 있다. 또한, 3GPP에서는 4G LTE-LAA LTE 기반 C-V2X를 시작으로 면허 주파수와 비면허 주파수를 모두 다루고 있으며, 5G NR 시대에는 이를 더욱 강화하고 있다. 이러한 면허와 비면허 주파수의 조화를 볼 때, 최근 미국 FCC는 7.125GHz 이하에서는 5.925~7.125GHz 대역을 신규 비면허 주파수로 발굴할 계획이다. 7.125GHz 초과 밀리미터파에서는 57~71GHz의 14GHz 폭을 비면허 주파수로 공급하면서 5G 시대의 비면허 주파수 공급에 적극적으로 나서고 있는데, 국내에서도 5G 추가 주파수 공급을 면허주파수뿐만 아니라 비면허 주파수를 포함하고 이를 조화롭게 공급해야 할 것으로 판단된다.

독일, 일본 등에서는 5G Vertical 서비스를 고려하여 실내 또는 한정된 공간에서 5G Vertical 서비스용으로 이용할 수 있는 사설망 5G 또는 지역망(Local Network) 5G 주파수를 발표하였다. 이러한 5G Vertical 서비스용 주파수 대역으로 독일에는 3.7~3.8GHz가 있으며, 일본에서는 4.6~4.8GHz

와 28.2~29.1GHz이고, 이 중에서 28.2~28.3GHz를 선도 지역망 5G 주파수로 선정하여, 실증사업을 할 계획으로 알려져 있다. 독일 및 일본에서 자가망 또는 지역망 5G 주파수의 이용자 대상에는 우선적으로 이동통신 사업자를 배제한 공통점이 있지만, 독일은 자가망 형태의 기업 중심이라면, 일본은 이동통신 사업자 외에 유선통신 사업자, CATV 사업자 등이 지역망 5G 주파수를 이용하여 소비자 또는 기업을 대상으로 서비스할 수 있다는 점이 다르다. 이러한 국외 5G Vertical 전용 주파수 사례를 보면, 국내에서도 실내 또는 한정된 지역 안에서의 주파수 이용조건을 전제로, 새로운 형태의 자가망 또는 지역망 용도로 사용할 수 있는 5G Vertical 전용 주파수 개발이 필요하다.

현재 국내 5G 면허 주파수는 3GHz 이상에서 TDD 방식으로 할당되었고, 이러한 주파수 이용 상황은 글로벌 주파수 조화 생태계와 5G 용량확보 측면을 우선적으로 고려한 것으로서, 5G 커버리지 확보 측면에서는 미흡한 부분이 있다. 그러므로 3GHz 미만의 4G LTE 주파수 재할당을 통하여 5G NR 주파수로의 전이를 어떻게 단계별로 할 것인가는 매우 중요하며, 그림 13에서는 할당 주파수별로 커버리지 확보 또는 용량 확대의 역할을 보여 주고 있다. 할당주파수 1GHz 이하는 커버리지 확보가 주 용도이고, 1~2.5GHz는 망 이용의 상황에 따라 커버리지 확보 또는 용량 증가로 사용 가능하며, 2.5~5GHz는 용량확대를 주 용도로 하는 대역이다. 음성 서비스 또는 업 링크의 제어 전송 등을 반영할 수 있는 커버리지 확보 측면에서 FDD는 TDD보다 더 적합하고, TDD는 Massive MIMO 기반의 용량 증가 측면에서 FDD보다 더 유리하다.

4G LTE 주파수에서 5G NR 주파수로의 이용 변화는 가입자의 이동, 신규 서비스 출시, 트래픽 증

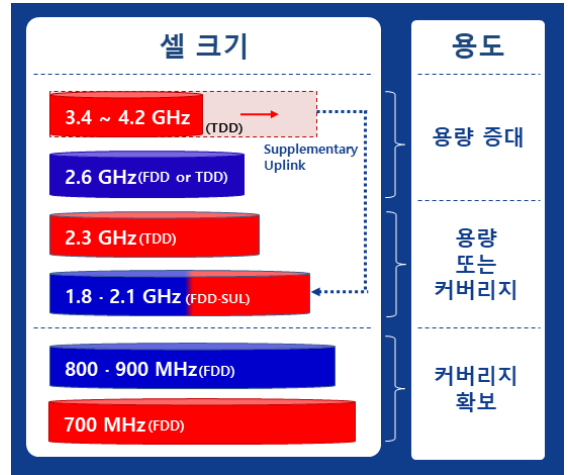


그림 13 할당주파수별 커버리지와 용량

가 추이, 스펙트럼 점유율, 장비의 진화 속도, 기지국 운영비 및 구매가격 하락, 요금제 변화 등 다양한 항목들을 고려하여, 상황에 맞게 5G로의 주파수 전환 속도와 양을 조절해 나아가야 한다. 특히, 4G LTE 트래픽 추이, 5G 요금제, 4G망 운영비용은 5G NR 주파수로의 전이 속도를 결정하는 주요 항목일 것이다. 국내 5G 서비스가 종속모드 5G로 시작하였으므로, 5G 주파수 공급의 전제 조건은 4G LTE 주파수 이용이다. 국내 5G 주파수 공급 현황은 2018년 6월, 1단계로 3.5GHz 중대역과 28GHz 밀리미터 대역에서 각각 280MHz 폭과 2.4GHz 폭을 제공하였고, 현재는 2단계 시점으로 추가 5G 주파수 공급을 논의하고 있는 상황이다. 추가 5G 주파수의 주요 논의사항은 5G 커버리지 확보와 5G 용량 증대 중 어느 쪽에 비중을 두고, 주파수 확보과정을 거쳐서 적절한 할당주파수를 선택한 후, 해당 주파수의 공급시기와 공급량을 결정하는 것이다.

5G 커버리지 확보 측면에서는, 현 4G 주파수 1.8GHz, 2.1GHz에서, 5G 주파수로의 전이가 필요한 상황이며, 이러한 전이 과정에서는 4G LTE와

표 5 세계의 5G 주파수 이용

국가	저대역	중대역	고대역
	1GHz 이하 (MHz)	1~7.125GHz	24GHz 이상
미국	617~652	2,496~2,69	24.25~24.45
	663~698	3.55~3.7	24.75~25.25
	806~824	3.7~4.2	25.25~27.5
	851~869	5.925~7.125	27.5~28.35
	896~901		37.0~37.6
	935~940		37.6~38.6
			38.6~40
			42~42.5
			47.2~48.2
			64~71
유럽	694~790	3.4~3.8	24.5~27.5
		5.925~6.425	
영국	694~790	3.4~3.8	24.25~27.5
일본		3.6~4.1	26.6~29.5
		4.5~5	
중국		2.515~2.675	24.25~27.5
		3.3~3.6	
		4.8~5	37.5~42.5

5G NR의 상호공존을 고려할 수 있다. 또한, 미할용 주파수 700MHz 대역의 5G 도입을 생각할 수도 있다.

5G 용량 증대 측면에서 핫스팟 스몰 셀 용량과 광역 셀 용량으로 구분할 수 있는데, 핫스팟 용량의 할당주파수는 7.125GHz 이상의 밀리미터파이고 광역 셀 용량의 할당주파수 범위는 2.6~4.2GHz 대역이다. 특히, 현 2.6GHz 대역의 FDD를 TDD로 전환하여 5G 시대에 맞는 연속 광대역 채널을 확보하는 방안은 적극적으로 검토할 필요가 있다. 또한, 글로벌 주파수 조화 생태계와 광역 셀 용량 증대 측면에서 추가적으로 3.7~4.0GHz 대역을 5G NR의 추가 후보주파수로 발굴하여 확보하여야 한다. 동 대역은 표 5에서와

같이 미국, 일본, 영국 등이 5G 후보 주파수로 선정하여 5G 서비스를 제공할 계획이다. 따라서 한국 입장에서 규모 경제성을 확보하기 위하여 현재 진행되고 있는 글로벌 5G 주파수 조화 생태계 조성에 참여하는 것이 유리하다고 판단된다.

표 5는 세계 각국의 5G 후보주파수 또는 할당 주파수를 보여주고 있다. 5G 시대에서는 eMBB, uRLLC, mMTC 등 다양한 서비스를 제공하기 위하여, 저대역·중대역·고대역 등을 균형적인 서비스 관점에서 할당주파수로 동시에 고려할 필요성이 있다[10-15].

5G 추가 주파수 공급 시, 이동통신 사업자들에게 저대역·중대역·고대역의 주파수를 새로운 5G 서비스 발굴에 지장이 없도록 균형 있게 받아 갈 수 있는 균등한 참여 기회를 제공하여야 한다. 이동통신 사업자가 저대역·중대역·고대역의 주파수를 균형 있게 확보를 하지 못하면, 음성, 파일 다운로드, 동영상 스트리밍, 원격제어 통신 등에 필요한 커버리지 확보와 용량 증대의 균형을 잃어버릴 수 있다. 또한, 표 5의 밑줄 친 대역은 5G 후보 비면허 또는 공유 주파수인데, 종전의 면허 주파수만을 경매를 통하여 할당하는 경우와 달리, 향후에 있을 5G 추가 주파수 공급에서는 면허와 비면허 주파수의 각 역할을 조화롭게 고려하여 할당 또는 분배할 필요성이 있다.

이상과 같이, 5G 추가 주파수 공급을 위한 의견을 정리하면 다음과 같다.

- 5G용 연속 광대역 채널 공급
- 면허 주파수와 비면허 주파수 간의 조화로운 공급
- 5G 커버리지 및 용량 증대를 위한 4G 주파수 재활용
- 다중대역 환경에서의 균형적인 주파수 공급
- 5G Vertical 주파수 개발

VI. 결론

본 고에서는 국내 이동통신 진화와 할당 주파수 현황을 살펴보았다. 3GPP 표준규격 기반의 5G 주파수 이용 기술을 분석하여 과거 사례와 향후 3GPP 기술표준의 진화 추이를 바탕으로 5G 추가 주파수 공급에 대한 전략적인 의견들을 제시하였다.

본 고에서 제시하고 있는 5G 추가 주파수 공급에 대한 전략적인 의견은 5개로 제시되어 있다. 첫 전략으로 제시한 세계 최고 수준의 5G 용 연속 광대역 채널 공급은 2.5~2.69GHz 및 3.7~4.2GHz 대역의 주파수 재개발을 의미한다. 둘째, 면허 주파수와 비면허 주파수 간의 조화로운 공급 의견은 7.125GHz 이하 5G 면허 주파수는 5.925~7.125GHz 비면허 주파수와 24.25GHz 이상 5G 면허 주파수는 57~71GHz 비면허 주파수와 연계되어 트래픽 오프로딩 등 서로 조화롭게 각 역할을 수행해야 한다는 것이다. 셋째, 5G 커버리지 확보 및 용량 증대를 위한 4G 주파수 활용의 전략은 기존 4G 주파수의 재할당 과정을 거쳐서, 5G 커버리지 및 용량 증대를 추진하는 것이다. 넷째, 다중대역 환경에서의 균형적인 할당주파수 공급 의견은 이동통신 사업자별로 저대역·중대역·고대역을 균형적으로 이용할 수 있도록 제공함으로써 이동통신 사업자가 eMBB, uRLLC, mMTC 등 5G 서비스를 트래픽 수요와 망 구축 상황에 맞게 조화롭게 제공할 수 있도록 주파수 공급을 해야 한다는 것이다. 다섯째, 5G Vertical 주파수는 기존 고객인 일반 소비자 용도가 아닌 새로운 고객으로 기업을 발굴하기 위한 기업 시장용 주파수를 말하며, 이러한 주파수는 산업체의 주파수 수요 시기에 맞추어 개발하여야 한다.

이상과 같이, 제시된 다섯 가지의 전략적인 의견

들은 앞으로 추진되는 국내 5G 추가 주파수 공급 계획 수립 과정에서, 좋은 길라잡이 역할을 할 수 있기를 기대한다.

감사의 글

본 논문 중 몇 개의 표와 그림들을 직접 작업해 주신 장재혁, 엄중선, 박연규, 김선환 님과 논문 초고에 대하여 코멘트를 해 주신 권혜연 님께 감사의 마음을 전합니다.

약어 정리

3GPP	3 rd Generation Partnership Project
CA	Carrier Aggregation
CDMA	Code Division Multiple Access
DC	Dual Connectivity
DU	Digital Unit
D2D	Device-to-Device
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
EN	E-UTRAN New Radio
FBE	Frame-Based Equipment
FDD	Frequency Division Duplex
FFT	Fast Fourier Transformation
GPS	Global Positioning System
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
IBW	Instantaneous bandwidth
IMT	International Mobile Telecommunications
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LAA	Licensed Assisted Access
LBE	Load-Based Equipment
LBT	Listen Before Talk
LDPC	Low Density Parity Check
LTE	Long-Term Evolution
LWA	LTE-Wi-Fi Aggregation
MAC	Medium Access Control
MCG	Master Cell Group

MIMO	Multi-Input Multi-Output
mMTC	Massive Machine Type Communications
NB	Narrowband
NR	New Radio
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
RLC	Radio Link Control
RU	Radio Unit
SCG	Secondary Cell Group
SMS	Short Message Service
SUL	Supplementary Uplink
TDD	Time Division Duplex
TSN	Time Sensitive Interval
uRLLC	Ultra-Reliable Low Communications
USIM	Universal Subscriber Identity Module
V2X	Vehicle-to-Everything
Wi-Fi	Wireless Fidelity

참고문헌

- [1] Ministry of Science and ICT, "Final results of 5G frequency auction," Retrieved Aug., 25, 2019, from <http://www.misit.go.kr>
- [2] Ministry of Science and ICT, "Mobile communication subscribers statistics," Retrieved Aug., 25, 2019, from <http://www.misit.go.kr>
- [3] S. Park, "Strategic opinions on the 5G spectrum utilization for the promotion of 4th industry revolution," in Proc. KICS, p. 218, Jeju Island, Korea, June 2018.
- [4] Ministry of Science and ICT, "Assessment of quality of communication services in 2018," Retrieved Aug., 25, 2019, from <http://www.misit.go.kr>
- [5] Techplayon, "Dual connectivity (DC) definition, protocol architecture, DC and CA comparison (2019)," Retrieved Aug., 30, 2019, from <http://www.techplayon.com/dual-connectivity-dc-definition-protocol-and-network-architecture-dc-and-ca-comparison/>
- [6] J. Parikh and A. Basu, "Scheduling schemes for carrier aggregation in LTE-Advanced systems," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 3, no. 3, pp. 219-223, Aug. 2014.
- [7] M. G. Kibria, K. Nguyen, G. P. Villard, K. Ishizu, and F. Kojima, "Next generation new radio small cell enhancement: architectural options, functionality, and performance aspects," *IEEE Wireless Communications*, vol. 25, no. 4, pp. 120-128, Aug. 2018.
- [8] Nokia, "5G deployment below 6GHz," white paper, Retrieved Sep., 1, 2019, from <https://onestore.nokia.com/asset/201315>
- [9] Nokia, "Carrier Aggregation and Dual Connectivity," white paper, Retrieved Sep., 1, 2019, from https://www.its.blrdoc.gov/media/66437/ratasuk_jsart2017.pdf
- [10] FCC, "FCC's 5G FAST Plan," Retrieved Sep., 1, 2019, from <https://www.fcc.gov/document/fccs-5g-fast-plan>
- [11] Qualcomm, "Making 5G NR a Commercial Reality," Retrieved Sep., 1, 2019, from <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/making-5g-nr-a-commercial-reality.pdf>
- [12] Ofcom, "Update on 5G spectrum in the UK," Retrieved May 1, 2019, from https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0021/97023/5G-update-08022017.pdf
- [13] ECC, "to develop harmonised technical conditions for the 694-790 MHz frequency band in the EU for the provision of wireless broadband and other uses in support of EU spectrum policy objectives," CEPT Report 60, 2016, from <https://www.ecodocdb.dk/download/f1cdb782-3196/CEPTREP060.PDF>
- [14] ECC, "to develop harmonised technical conditions for spectrum use in support of the introduction of next-generation (5G) terrestrial wireless systems in the Union, Review of the harmonised technical conditions applicable to the 3.4-3.8GHz('3.6GHz') frequency band," CEPT Report 67, 2018, from <https://www.ecodocdb.dk/download/561367fd-1ac6/CEPT%20Report%2067.pdf>
- [15] ECC, "to develop harmonised technical conditions for spectrum use in support of the introduction of next-generation (5G) terrestrial wireless systems in the Union, Harmonised technical conditions for the 24.25-27GHz ('26GHz') frequency band," CEPT Report 67, 2018, from <https://www.ecodocdb.dk/download/561367fd-1ac6/CEPT%20Report%2067.pdf>