

6G 모바일 스펙트럼 확장 동향

Trends on the Expansion of the 6G Mobile Spectrum

박승근 (S. Park, seungkp@etri.re.kr)

전파연구본부/본부장

ABSTRACT

This study identified the current period as the preparatory stage for the development of sixth generation (6G) mobile communication technology. It investigated trends in the expansion of mobile communication and the Wi-Fi spectrum to support the securing and allocation of frequencies for 6G mobile communication in Korea. Based on findings from the trend analysis, this study presented several strategies—that is, allocating a contiguous wide bandwidth greater than the maximum channel bandwidth, securing 6G frequencies through 4G spectrum recycling, aggregating low-band frequency division duplex (FDD) and mid-band time division duplex (TDD) carriers, facilitating early 6G network deployment via TDD dynamic spectrum sharing, using satellite Internet of Things (IoT) frequencies within existing long-term evolution frequency bands, and developing the low-band frequencies for the capacity of artificial intelligence uplink traffic. Moreover, the study highlighted the importance of the 7,125-8,400 MHz band, identified by the International Telecommunications Union as a pioneering frequency for 6G and emphasized the need to secure this band in the downtown area.

KEYWORDS IMT 주파수, Wi-Fi 주파수, 6세대 이동통신 주파수, 모바일 스펙트럼, 주파수 공동사용

1. 서론

현대 인공지능 사회는 통신 네트워크 연결에 기반을 두고 있다. 통신 네트워크를 통한 인공지능 데이터의 연결은 유선 자원과 무선 자원을 이용하는 데, 이동통신 네트워크는 무선 자원인 전파를 통해서 연결된다. 이동통신 방식이 1세대 아날로그 통신에서 2세대 디지털 통신으로 진화하면서, 데이터

전송 속도와 용량은 폭발적으로 증가하였다. 이를 바탕으로 모바일 인터넷 서비스가 등장한 이후, 이동통신 네트워크 기반의 데이터 연결과 컴퓨팅은 다양한 분야에서 인공지능으로의 전환을 촉진하고 있다.

모바일 인터넷은 3세대 이동통신의 아이폰부터 시작하여, 4세대 이동통신에서는 전 국민의 일상과 사회생활에서 반드시 있어야 하는 서비스가 되었

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2025.J.400103>

* 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[No. 2021-0-00092. 주파수 확보 및 공급 기반 기술 개발].



다. 이러한 필수 서비스의 특성은 5세대 이동통신에 서도 그대로 이어지고 있지만, 현재까지 4세대 이동 통신의 모바일 인터넷 서비스를 넘어선 새로운 길 러 서비스는 출현하지 않은 상태이다.

토머스 쿤의 패러다임 관점에서 이동통신 진화 를 살펴보면, 2세대 디지털 통신 방식과 4세대 모바 일 인터넷 서비스를 혁신 변화의 축으로 제시할 수 있는데, 앞으로 다가올 6세대 이동통신이 통신 산업 과 서비스 시장에서 어떤 변화의 바람을 가져올지 는 궁금한 상황이다. 이러한 짝수 세대별 이동통신 의 큰 진화 과정에서 미래 6세대 준비를 위한 모바 일 스펙트럼 확장의 동향 분석은 국내 이동통신 산 업과 통신 서비스 시장의 확대 성장을 위한 기초적 이고 중요한 사전 준비 작업이다.

본고에서는 6세대 모바일 스펙트럼 확장 동향을 WRC(World Radiocommunication Conference)의 주파수 회의 결과를 시작으로 하여 국외 주요 국가·표준 단체의 동향을 주요쟁점 중심으로 살펴보고, 국내 에서 이미 발표된 주파수 계획과 분석자료를 연계 하여[1-3] 우리가 알아야 할 시사점을 제시하며, 결 론에서는 6세대 주파수 확보와 공급에서 추진해야 할 검토 사항을 소개한다.

특히, 이동통신 주파수 생애 주기 및 기지국 장비 교체 주기 관점에서 2030년 6세대 이동통신 시대는 기술 주기 10년과 장비 주기 20년이 모두 겹치는 중 요한 시기로서, 이에 대한 준비는 주파수 확보부터 시작되며, 적절한 시점의 6세대 이동통신 주파수 공 급은 RF 부품, 단말 및 기지국 장비, 신규 서비스 등 의 개발에 필요한 필수조건이다. 그러므로 주파수 확보 및 공급과 연계되지 않은 6세대 기술 개발은 적정 시점에서의 6세대 통신 네트워크 산업 활성화 와 상용서비스 도입이라는 본래의 추진 목표 달성 에 어려움이 발생할 수 있다.

II. 국외 동향

1. WRC-23

WRC에서는 세계를 유럽·아프리카 등의 1 지 역, 남북 아메리카 등의 2 지역, 아시아·태평양 등 의 3 지역으로 구분하고, IMT(International Mobile Telecommunications) 주파수대역을 전파규칙(Radio Regulation)의 주파수 분배표 각주로 식별하고 있다. 여기서, IMT 통신방식은 3세대 IMT-2000, 4세 대 IMT-Advanced, 5세대 IMT-2020, 6세대 IMT-2030 등으로 구분되고 있다.

표 1은 2023년도 WRC에서 추가한 신규 IMT 주파수대역을 보여주고 있는데, 2 지역에 새롭게 추가된 3,300~3,400MHz 및 3,600~3,700MHz 대역을 주목할 필요가 있다. 왜냐하면, 2 지역 의 기존 3,400~3,600MHz IMT 대역에 인접한 3,300~3,400MHz과 3,600~3,700MHz 대역을 ITU(International Telecommunications Union)가 2 지 역 전체의 IMT 대역으로 식별한 결정은 3.5GHz 주파수대역에서 5세대 중대역의 최대 채널 대역폭 100MHz 이상으로 연속 광대역 400MHz 폭을 확보 했다는 것을 의미하기 때문이다. 동일 주파수대역 에서 최대 채널 대역폭 이상의 연속 광대역 주파수

표 1 WRC-23의 추가 IMT 주파수

주파수대역(MHz)	지역	결정 사항
3,300~3,400	1	16개국(주로 아프리카)
	2	전체
	3	1개국(싱가포르)
3,600~3,700	2	전체
3,700~3,800	2	15개국
6,425~7,125	1	전체
	2	2개국(멕시코, 브라질)
6,425~7,025	3	3개국(캄보디아 등)
7,025~7,125	3	전체
10~10.5GHz	2	12개국(브라질 등)

확보는 동일 수준의 전파 특성을 가지는 채널 환경에서 해당 기지국 장비 성능에 따라 1개 기지국 장비로 인접채널 2개를 동시에 사용할 수 있는 좋은 주파수 이용 여건을 제공한다. 즉, 최대 채널 대역폭 이상의 수준으로 연속 광대역 주파수를 공급받은 이동통신사는 기지국 장비의 성능에 따라 추가 하드웨어 설치 없이 인접채널 주파수 집성 표준기술을 이용함으로써 네트워크의 전송속도 향상과 용량 증대 효과를 볼 수 있다.

한편, 전체 1 지역에서는 6GHz 주파수에서 IMT 용도로 700MHz 폭이 확보되었다. 즉, 6,425~7,125MHz 대역을 유럽 등 전체 1 지역의 IMT 식별로 결정하여, ITU 측면에서 전체 1 지역에서는 연속 광대역 주파수 700MHz 폭이 IMT로 사용할 수 있는 환경이 마련되었으며, 동시에 전파 규칙 주파수 분배표 각주를 통하여 1, 2, 3 지역에서 동 대역이 Radio Local Area Network 중 하나인 Wi-Fi(Wireless Fidelity) 대역임을 표기하였다.

그리고 WRC-23에서는 2027년 열리는 WRC 회의에서 의제 1.7과 관련하여 6세대 IMT 주파수를 논의할 목적으로 다음과 같이 6세대 후보 주파수대역을 발표하였으며, 지역에 따라 부분 대역의 확보를 논의할 수 있도록 하였다[4].

- 4,400~4,800MHz(1, 3 지역 포함; 2 지역 제외)
- 7,125~8,400MHz(1 지역: 7,250~7,750MHz 제외)
- 14.8~15.35GHz

앞서 논의된 WRC-27 회의 의제 1.7 IMT 주파수 추가 지정을 위한 공유 및 양립성 연구 검토 이외에도 위성 방송통신 주파수 의제는 11개가 있는데, 이 중에서 의제 1.13 우주국-IMT 단말 간 직접 통신을 위한 이동위성업무 주파수 분배 검토는 위성통신에서의 Direct-to- Device(D2D) 서비스와 관련되어 있다. 또한, 6세대 이동통신의 서브-테라 후보 주파

수대역은 WRC-27 의제에서 검토 과정을 거친 후 WRC-31 회의에서 결정할 것으로 알려졌다.

2. 미국

미국 1위 이동통신사 버라이즌은 3GPP(Third Generation Partnership Project)의 NR(New Radio) 표준기술을 이용하여 28GHz 대역 고정무선접속 장치를 Wi-Fi 장치와 결합하여 5세대 상용서비스를 시작하였다. 이후 버라이즌은 경쟁 통신사 T-모바일의 600MHz 및 2,600MHz 대역을 활용한 5세대 이동통신 품질이 우수함을 확인하고, 뒤늦게 3,700~3,980MHz 중에서 일부 주파수를 FCC(Federal Communications Commission) 경매로 확보하여 5세대 이동통신 서비스에 사용하였다.

위의 내용을 바탕으로 살펴보면, 3GPP의 5세대 이동통신 표준기술은 이전 세대와 달리 고주파수인 28GHz 대역 및 고정무선접속 기술을 포함하고 있는데, 이러한 방향의 3GPP 표준 진화는 버라이즌의 세계 장비 시장 영향력에 기인한 것으로 추정된다. 그리고 이러한 주파수 환경은 FCC의 3.7GHz 중대역 주파수 경매부터 크게 변화하여 5세대 주파수 확보는 28GHz 이상의 고대역 주파수에서 7GHz 이하의 저·중대역 주파수로 천이되었다.

또한, FCC는 5세대 이상의 추가 주파수 확보 측면에서 12.7~13.25GHz 대역의 유연한 이용 검토 방안을 제시하였는데, 이해관계자 간의 합의 진행이 순조롭지 않아서 현재까지 검토 중이다. 즉, 동대역의 5세대 통신방식 사용과 관련하여 인접 주파수의 전파간섭 이슈를 제기한 상태이고, 미국 안에서 12GHz 대역에 관심을 보이는 업체 특성을 보면, 스마트 폰 등의 모바일 용도보다는 가이저 고정장치와 Wi-Fi 연계를 통한 고정무선접속 기반의 인터넷 서비스 용도이다.

2023년, NTIA(National Telecommunications and Information Administration)는 국가 스펙트럼 전략을 발표하였는데[5], 대표적인 6세대 후보 개척주파수로 3,100~3,450MHz 및 7,125~8,400MHz 대역을 제시한 후 2026년 하반기까지 연구보고서를 개발할 예정이다. 이러한 NTIA 주도의 미국 국가 스펙트럼 전략 내용 중에서 주목할 것은 3,100~3,450MHz 대역이다. 미국의 3GHz 대역에 대한 공급 순서를 보면, 3,550~3,700MHz 대역을 CBRS(Citizens Broadband Radio Service) 공동사용 주파수로 개척한 후, 3,700~3,980MHz 대역을 주파수 경매를 통하여 배타적 이용으로 공급하였으며, 3,450~3,550MHz 대역은 지역별 주파수 공동사용의 경매 조건을 통하여 추가 공급되었다. 이러한 미국의 중대역 3GHz 주파수 이용 환경에서 NTIA가 3,100~3,450MHz 대역을 6세대 개척 후보 주파수로 제시한 것은 인접 대역 확장을 통한 연속 광대역 주파수 확보 차원에서 의미가 크다.

만약 2026년 발표될 NTIA 연구보고서에서 기존 이동통신 주파수와 인접한 3,100~3,450MHz 대역을 6세대 이동통신 용도로 제시한다면, 미국은 3,100~3,980MHz 광대역을 확보하여, 세계 최고 수준으로 중대역 3GHz 주파수에서 연속 광대역 주파수 폭 880MHz를 이동통신으로 활용하는 국가가 될 것이다. 다만, 저자의 공공주파수 경험으로 볼 때, 미국에서 3,100~3,300MHz 대역을 전국 고출력으로 사용하기에는 어려울 것으로 보인다.

표 2 미국 SCS 주파수

대역 이름	주파수대역(MHz)
600MHz	614~652, 663~698
700MHz	698~769, 775~799, 805~806
800MHz	824~849, 869~894
광대역 PCS	1,850~1,915, 1,930~1,995
AWS-H 블럭	1,915~1,920, 1,995~2,000

최근 WRC-27 의제 1.13 위성통신 D2D, 즉 위성통신 탑재체와 스마트 폰 간의 직접 통신은 많은 주목을 받고 있다. 이와 관련하여 FCC는 SCS(Supplemental Coverage from Space) 정책을 수립하여 후보 주파수를 표 2와 같이 발표하였다[6].

2020년, FCC는 Wi-Fi 업계의 주파수 수요를 바탕으로 5,925~7,125MHz 대역을 Wi-Fi 등의 비면허 주파수로 분배하고, 고출력 Wi-Fi로부터 기존 무선국을 보호하기 위하여 AFC(Automated Frequency Coordination) 시스템의 제도를 발표하였다[7]. 이후 미국의 민간 5G Americas, Next G Alliance 등에서는 5,925~7,125MHz Wi-Fi 대역에 바로 인접한 7,125~8,400MHz 대역을 6세대 이동통신 개척주파수로 제안하였는데[8,9], 동 대역에는 UWB(Ultra-Wide Band)와 위성통신 등 기존 무선국과의 전파간섭 이슈가 있다.

3. 중국

중국은 아시아 국가로 ITU가 정한 3 지역에 속해 있지만, ITU의 IMT 식별 대역과 상관없이 WRC-23 회의 전, 자국 안에서 6,425~7,125MHz 대역을 5세대 이상의 이동통신 주파수로 사전에 분배하였다. WRC-23 회의 동안에 중국은 동 대역이 ITU의 IMT 식별로 선정받기 위하여 많은 주파수 표준화 노력을 하였는데, 이러한 노력의 결과로서 WRC-23 회의에서는 3 지역의 3개 국가(캄보디아, 라오스, 몰디브)가 6,425~7,025MHz 대역을 전파규칙의 주파수 분배표 각주를 통하여 IMT 식별 대역으로 반영하였으며, 인접 7,025~7,125MHz 대역은 이미 3 지역에서 IMT로 식별된 상태였다. 또한, 중국은 5G 버티컬 서비스를 위한 주파수로 5,925~6,125MHz 대역(폭 200MHz)과 24.75~25.15GHz 대역(폭 400MHz)을 분배하였다.

중국의 5세대 중대역 TDD(Time Division Duplex) 주파수 이용 상황을 보면, 차이나 모바일은 2,600MHz와 4,800MHz 대역에서 총 160MHz 폭을 보유하고 있지만, 차이나 텔레콤과 차이나 유니콤은 3,500MHz 대역에서 각각 100MHz 폭만 보유하고 있으며, 차이나 브로드넷은 3,300MHz 대역에서 타 통신사와의 공동사용 조건으로 100MHz 폭과 4,900MHz 대역에서 90MHz 폭을 가지고 있다. 이러한 주파수 환경에서 주의 깊게 살펴봐야 할 것은 중국이 5세대 글로벌 TDD 조화 주파수 3,600~4,000MHz 대역을 자국의 주파수 이용 상황을 고려하여 5G TDD 중대역으로 분배하지 않는 사실이다. 이러한 주파수 상황에서 중국은 자국의 이동통신사 4개를 고려하고 5세대 이상의 TDD 이동통신 주파수를 연속 광대역 폭으로 사전에 확보한 후 이를 통한 글로벌 장비 시장의 선점을 위하여 미리 6,425~7,125MHz 대역을 선정한 것으로 판단된다.

위와 별도로 2024년, 홍콩은 6,570~6,770MHz (폭 200MHz) 및 6,925~7,125MHz 대역(폭 200MHz)을 5세대 이상의 이동통신 주파수로 발표하였는데, 이러한 주파수 이용 동향은 중국의 6GHz 대역 주파수 정책과 유사하다[10].

4. 유럽

ITU가 WRC-23 회의에서 6,425~7,125MHz 대역을 전체 1 지역의 IMT로 식별했음에도 불구하고, CEPT(European Conference of Postal and Telecommunications Administrations)는 동 대역에서의 IMT와 Wi-Fi 공존을 계속 검토 중이다. 즉, 유럽 전체 차원에서 6,425~7,125MHz 주파수대역의 IMT 이용에 대한 합의를 위해서는 46개 CEPT 회원국과 27개 EU 회원국 간에 주파수 이용 조건 등 복잡한 논의 과정을 거쳐야 한다. 이러한 주파수 활용 여건 속에서도



그림 1 영국 Ofcom의 상위 6GHz 대역 주파수 공동사용 시나리오

6세대 IMT 생태계 입장에서는 동 대역이 면허주파수의 고출력으로 실내외에서 배타적으로 사용되기를 바라고 있다[11].

2024년, 영국 Ofcom은 6,425~7,125MHz 대역을 IMT 또는 Wi-Fi 용도로 사용할 목적으로 그림 1의 하이브리드 주파수 공유(Hybrid Spectrum Sharing) 시나리오를 제안하였으며[12], 2025년 3월까지 새로운 주파수 공유 기술의 시험 결과를 발표하기로 하였다.

프랑스, 독일은 기존 공공서비스 보호 관점에서 WRC-27 의제 1.7로 논의할 6세대 후보 주파수 대역의 IMT 식별에 대하여 부정적이며, 특히 NATO(North Atlantic Treaty Organization)의 공공주파수에 대해서는 논의가 어렵다고 알려져 있다.

유럽은 위성방송·위성통신이 발전한 지역이고 최근에는 위성통신 IoT(Internet of Things) 검토 대역으로 862~870MHz 등 LoRa(Long Range) 비면허 주파수까지 확대되고 있는 상황으로[13], 이러한 위성통신 D2D의 비면허 주파수 동향은 위성 기반의 광역 IoT 서비스 측면에서 살펴볼 필요가 있다.

5. 3GPP

현재 3GPP(Third Generation Partnership Project)는 지상망에서 비 지상망까지 공간을 확장하면서 이동통신 네트워크의 표준기술 규격을 만들고 있다. 과

표 3 위성통신 서비스 링크의 주파수

밴드 번호	업링크 대역(MHz)	다운링크 대역(MHz)
n256	1,980~2,010	2,170~2,200
n255	1,626.5~1,660.5	1,525~1,559
n254	1,610~1,626.5	2,483.5~2,500
n512	27,500~30,000	17,300~20,200
n511	28,350~30,000	17,300~20,200
n510	27,500~28,350	17,300~20,200

거 4세대와 달리, 3GPP에서는 5세대의 Release 표준규격의 진화에 따라 위성통신 서비스 링크의 주파수 밴드 표준화 작업을 하고 있다. 표 3은 3GPP TS 38.101-5 규격에서 제시하고 있는 Release 18의 NTN(Non-Terrestrial Network) 위성통신 표준 주파수 밴드를 보여주고 있다[14].

3GPP Release 18 규격에서는 표 3과 같이 L/S 대역의 IoT-NTN과 Ka 대역의 NR(New Radio)-NTN의 위성통신 주파수 밴드의 표준화를 마련하였으며, 현재는 Release 19 규격의 표준화 일정에 따라 위성 통신사의 기고서를 중심으로 Ku 대역의 NR-NTN 주파수 밴드 표준화가 진행 중이다.

III. 국내 동향

2024년, 국가 디지털 전략과 연계된 대한민국 스펙트럼 플랜이 발표되었으며, 이 중에서 이동통신 주파수 정책의 방향이 다음과 같이 제시되었다.

- 기이용 주파수 재할당
- 5세대 이동통신 주파수 추가 공급
- 주파수 자원의 광대역화 추진
- 비 이동통신사를 위한 주파수 개방
- 6세대 이동통신 주파수 확보

현시기는 ITU가 IMT-2030 비전을 정식으로 발표한 것을 기점으로, 2027년까지 WRC-27 회의에

표 4 국내 이동통신 주파수대역폭

할당주파수	총이용 주파수대역폭
800~900MHz	60MHz
1.8GHz	90MHz
2.1GHz	120MHz
2.6GHz	100MHz
3.5GHz	300MHz
합계	670MHz

서 논의할 후보 대역별로 타 서비스 용도와의 주파수 공동사용 방안을 연구하는 6세대 개척주파수 확보 기간이라고 볼 수 있다. 이러한 국외 주파수 확보 및 이용 환경 변화에 대응하기 위하여 국내에서도 6세대 이동통신 주파수 확보 연구는 시작되었다.

대한민국 스펙트럼 플랜에서는 6세대 후보 주파수대역으로 신규대역 발굴과 기존 대역 활용을 제시하고 있다. 현재 국내에서는 신규발굴 측면에서 미국 이동통신사 주도의 6세대 개척주파수 7,125~8,400MHz 대역을 크게 주목하고 있으며 [15], 기존 대역 활용 입장에서는 4세대 LTE(Long-Term Evolution) 주파수가 2030년도 다가올 6세대 이동통신 서비스를 위한 커버리지 및 용량을 제공하는 후보 주파수대역으로 검토될 예정이다.

국내 이동통신 서비스는 주파수 7GHz 이하에서 총 670MHz 폭을 사용하고 있는데, 표 4는 할당 주파수별로 각각의 총이용 주파수대역폭을 보여주고 있다. 현재까지 알려진 국내 이동통신 주파수 공급 일정에 따르면, 2026년까지 2.6GHz 이하에서 3·4세대 이동통신의 총이용 주파수대역폭 370MHz에 대한 주파수 재할당의 작업이 진행될 예정이고, 2028년에는 5세대 3.5GHz 주파수에서 300MHz 대역폭의 주파수 재할당 작업이 있을 계획이다.

위와 같은 국내 이동통신 주파수 재할당 검토 과정에서 이해당사자 간의 많은 논의가 필요한 사항은 재할당을 통한 주파수 이용 기간과 기술 방식이

다. 왜냐하면, 6세대 주파수 확보 준비기간 안에 하나의 혁신적인 주파수 재할당 방안으로서, 종전의 5년 이용 기간과 달리 10년의 주파수 이용 기간과 4세대 이상의 기술 중립성이 재할당 조건으로 마련되는 재할당 방안은 국내 이동통신사의 수용 여부에 따라 국내 주파수 7GHz 이하에서의 6세대 이동통신 주파수 공급 효과를 가져오기 때문이다. 이와 같은 기존 주파수의 이용종료 기간을 통한 6세대 주파수 공급 방안은 전 LTE 대역에 적용하기보다는 이동통신사의 자율과 시장 환경에 기반하여 전 LTE 대역 중에서 6세대 선도주파수를 선정할 후 이를 추진하는 방안을 검토할 수 있다. 여기서, 저자가 강조하고 싶은 것은 3·4세대 주파수 재할당과 6세대 이동통신 주파수 공급은 기술 세대별 주파수 생애 주기 특성으로 연결되어 있다는 점이다.

6세대 준비기간인 현시점에서 국내 디지털 이동통신 기술 세대별로 이동통신사당 주파수 이용량을 살펴보면, 표 5와 같이 이용주파수 대역은 점진적으로 상향되고 이전 세대의 주파수를 주파수 집중 또는 이중 연결 기술을 통하여 사용할 수 있게 되어, 경매를 통한 추가 주파수 공급 없이도 이동통신사별로 특정한 기술 세대의 주파수 이용량은 증가하였다. 표 5에서는 5세대 주파수 이용량에 4세대 주파수 이용량을 포함하고 있는데, 왜냐하면 국내 5세대 망은 단독 망과 비 단독 망 중 하나를 선택적으로 이용할 수 있는 이중 망이고, 비 단독 망의 마스터 노드에서는 4세대 LTE 주파수를 사용해야 하며,

5세대 중계기의 미설치 건물 실내에서는 4세대 LTE 주파수가 계속 5세대 가입자의 트래픽을 수용하고 있기 때문이다. 즉, 5세대 주파수 이용량을 논의할 때, 4세대 주파수 이용량을 반드시 고려해야 한다.

현재까지의 국내 이동통신 주파수 확보량 측면에서 보면, 이전 세대 대역의 주파수 활용과 5세대 킬러 서비스 부재로 인하여 현재 보유하고 있는 주파수 확보량이 주파수 이용량보다 많으므로, 다양한 산업·공공분야에서 기존 이동통신사가 아닌 다른 기관 또는 업체로부터 IMT 기술을 활용하는 이동통신 주파수 수요를 받을 필요성이 있었다. 그러므로 이러한 필요성에 근거하여 2024년도 대한민국 스펙트럼 플랜에서는 산업·공공 등 사회 전 분야로부터 저지연·고신뢰성을 보장하는 이동통신 주파수의 수요를 받을 목적으로 700/800MHz, 1.8GHz, 2.1GHz, 4.0GHz 주파수 중 일부 대역을 디지털 혁신 서비스의 후보 주파수로 제시하였다.

또한, 국내 주파수 자원의 효율적인 이용을 위한 광대역화 추진 대상으로 800MHz 및 1.8GHz 대역에서 2세대 종료 주파수와의 인접 대역 묶음과 2.6GHz FDD(Frequency Division Duplex) 대역의 TDD(Time Division Duplex) 전환을 적극적으로 검토해야 하는데, 이러한 연속 광대역화 추진은 3GHz 이하에서 FDD 100(=50+50)MHz 폭 또는 TDD 100MHz 폭 수준으로 이동통신사용 주파수를 확보하고 이에 맞추어 공급할 수 있는 활용 여건을 마련해 줄 것이다.

이상과 같은 저대역 및 중대역에서의 광대역화 이외에도 5세대 가입자 및 트래픽 증가 추이에 맞추어 추가 공급 주파수를 검토해야 하는데, 전국적으로 구축된 5세대 비 단독 망을 단독 망으로 일시에 원활히 전환하기 위해서는 저비용-광역서비스-고용량 확보에 유리한 주파수대역에 대한 이동통신사의 주파수 수요를 받아서, 이를 준비해야 할 필요가

표 5 국내 기술 세대별 국내 이동통신사당 최대 주파수 이용량

방식	이용주파수 대역	이동통신사당 최대 주파수 이용량
2세대	800MHz, 1.8GHz	10~20MHz
3세대	2.1GHz	40MHz
4세대	이전 세대 대역, 2.6GHz	100~145MHz
5세대	이전 세대 대역, 3.5GHz	200~245MHz

이다. 만약에 저대역에서 5세대 추가 주파수를 공급하면, 저대역 FDD와 중대역 TDD의 주파수 집성 기술로 인하여 중대역 TDD의 상향링크 커버리지를 확대하는 효과가 있다. 또한, 저대역 FDD의 추가 주파수 공급은 상향링크 입장에서 향후 점차 늘어날 것으로 예상되는 인공지능 서비스의 상향링크 트래픽을 수용할 수 있을 것이다. 그리고 이러한 저대역 FDD 추가 주파수 공급과 달리, 중대역에서 5세대 추가 주파수를 TDD 방식으로 공급하게 되면, 2개 TDD 채널의 주파수 집성 기술을 통하여 커버리지보다는 용량을 확대하는 효과가 있을 것이다.

IV. 시사점

국내에서 1·2세대 이동통신 서비스는 종료되었고, 3세대 약 194만 가입자는 2.1GHz 대역에서 총 20MHz 폭을 사용하고 있으며, 4·5세대 약 8천4백만 가입자는 그림 2와 같이 다중대역-다중연결-다중방식으로 총 650MHz 폭의 면허주파수를 이용하여 음성 및 데이터 서비스를 받고 있다.

위와 같은 국내 모바일 주파수 이용 환경에서 2018년 5세대 이동통신 서비스를 위한 3.5GHz 중대역 주파수 공급 이후, 2020년 LTE 주파수 재할당

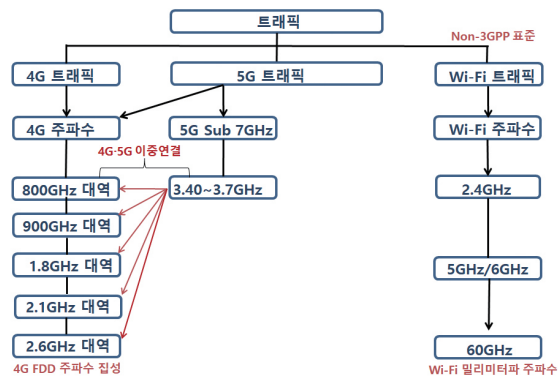


그림 2 국내 모바일 주파수의 다중대역-다중연결-다중방식 이용

을 거쳐서, 2023년 3.4~3.42GHz 대역 5세대 추가 주파수 공급, 2024년 비 단독 망 방식 중심의 국내 5세대 전국망 구축 완료, 5세대 농어촌 공동망 구축 등을 추진했던 과정 및 결과를 분석해 보면, 미래 6세대 네트워크 구축에 참고할 만한 경험적인 사례들을 얻을 수 있다. 즉, 국내 3.5GHz 중대역 중심의 주파수 공급과 건물 밖 중심의 5세대 망 구축은 5세대 실내 커버리지 이슈를 발생시켰다. 5세대 주파수 이용 기술 중에서 이중 연결은 4세대 저대역 주파수를 활용하여 5세대 단독 망의 도입을 지연시켰으며, 이러한 원인 중 하나는 5세대 망 구축 초기에 단독 망을 지원하는 단말기 수의 부족이었다. 또한, 국내 이동통신사는 의사결정 과정에서 망 구축 비용의 경제성에 우선순위를 두어 사전 설치된 동일 기지국 장비의 최대 순시 대역폭 수준으로 이동통신 주파수 공급을 받기를 원했으며, 전국망 구축 시에 가입자 밀도가 낮은 농어촌 지역은 이동통신사별로 담당 구역을 나눈 후에 자사 망을 타사의 가입자에게 개방하는 공동망 방식을 채택하여 전국망 구축 비용을 절감하였다.

현재 우리는 5세대 이동통신을 하고 있지만, 여전히 이동통신 중계기가 없는 대형 건물 또는 아파트 안의 실내에서는 기존 4세대 LTE 저대역 주파수와 Wi-Fi 주파수를 이용하고 있다. 본고에서는 이동통신 주파수와 Wi-Fi 주파수를 모바일 스펙트럼이라는 틀 안에서 설명하고 있는데, 이동통신 가입자의 실내 트래픽 수용이라는 측면에서 볼 때, WRC-23 회의 등에서 제시하고 있는 4GHz 대역 이상의 6세대 개척주파수는 건물 투과 손실이 크다는 약점을 가지고 있다. 그러므로 국내 4세대 LTE FDD 주파수를 채널 대역폭 50MHz 수준으로 광대역화하여 6세대 주파수로 공급하면, 고출력 기지국을 통하여 실외에서 실내의 커버리지 및 용량을 저비용으로 확보하는 효과를 얻을 수 있다. 또한, 2030년,

6세대 이동통신 서비스가 출현할 시기에 Wi-Fi는 320MHz 광대역 채널 폭과 주파수 집성과 유사한 다중링크 기술을 기반으로 모바일 데이터 서비스 시장에서 현재의 Wi-Fi 포지션을 계속 유지할 것으로 예상된다[16].

위와 같은 상황에서 국내의 이동통신사들이 광대역 고풍력 기지국 장비로 많은 가입자 수를 확보하여 규모의 경제성으로 매출을 확보하는 전략을 유지하는 한, 6세대 코어 주파수는 저비용·광역 커버리지·고용량 특성을 만족하는 대역이 될 것으로 전망된다. 기존 4세대와 달리, 5세대의 3.5GHz 주파수대역은 Massive MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기술을 이용하여 적절한 수준으로 커버리지 및 용량을 만족시켰기 때문에 골디락스 주파수가 되었다. 이러한 5세대의 경험을 바탕으로 업체들은 6세대에서도 6GHz 또는 7GHz 주파수에서 E-MIMO(Extremely Massive MIMO)의 성공적인 상용화 개발을 기대하면서, 동 대역을 6세대의 골디락스 주파수로 생각하고 있다. 이러한 예상 속에서 5세대 Massive MIMO 기술과 달리, 6세대에서는 용량 증가 및 고효율 에너지 측면에서 근역장 MIMO의 빔 포커싱과 모델 기반 근역장 MIMO의 프리코딩 등 드북 등에 대한 새로운 도전적인 기술 한계를 극복해야 한다[17,18]. 만약에 저비용·고용량 측면에서 6~8GHz 대역에서 근역장 MIMO에 의한 주파수 효율 향상 수준이 이동통신사의 기대에 못 미친다면, 6세대 E-MIMO 상용화 성공은 장담할 수 없을 것이다.

WRC-23 회의 결과로 6,425~7,125MHz 대역이 유럽 등 1 지역의 IMT 주파수가 됨에 따라 국내에서도 동 대역을 6세대 주파수로 활용하자는 의견이 있었다. 그러나 국내에서는 WRC-23 회의 이전, 미국과 동일하게 5,925~7,125MHz 대역을 Wi-Fi 비면허 주파수로 사전 분배하였으며, FCC의 AFC 규

정을 참조하여 국내 전파환경을 고려한 Korea AFC 방법과 검증용 시제품이 개발된 상태이다[19].

현시점에서 유럽 조화 주파수 측면에서 살펴보면, 상위 6GHz 대역은 기존 무선국 보호를 전제로 한 주파수 공동사용으로 활용되거나, 기존 무선국의 주파수 재배치를 통한 배타적인 주파수로 사용될 수 있지만, CEPT의 주파수 합의 없이 바로 6세대 이동통신 주파수로 이용되지는 않을 것이다. 다만, 우리가 주목할 것은 영국 Ofcom이 2025년에 발표할 6,425~7,125MHz 대역의 IMT 또는 Wi-Fi 주파수 이용 여부에 대한 정책적인 결정이다. 현 상황에서 확실한 것이 있다면, 중국은 상위 6GHz 대역을 계속해서 6세대 주파수로 활용한다는 사실이다.

이러한 유럽·중국 상황 속에서 미국은 6세대 후보 주파수로 7,125~8,400MHz 대역을 연구하고 있는데, 동 대역에서는 기존 고정통신과 위성통신 서비스 보호라는 이해관계가 존재한다. 그간의 주파수 공유 사례에 의하면, 고정통신과 위성통신서비스는 좁은 안테나 빔 폭 특성을 이용하여 주파수 공동사용을 해 왔지만, 지상 이동통신 주파수와 위성통신 서비스 링크의 하향 주파수는 넓은 안테나 빔 폭 특성에 의한 높은 전파간섭 가능성으로 인하여 상호 간의 주파수 공동사용을 추진하지 않았다.

표 6 주파수 7GHz 이하의 예상 주파수 확보량

주파수대역(MHz)	예상 주파수 확보량(MHz)
814~829/859~874	50
1,710~1,715/1,805~1,810	10
1,765~1,785/1,860~1,880	40
2,300~2,390	90
2,550~2,620	70
2,670~2,690	20
3,300~3,400	40*
3,700~4,000	300
합계	620

*기존 무선국 보호 수준에 따라 변동

즉, 주파수 공동사용 관점에서 살펴보면, 6세대 실외 및 실내 네트워크를 위한 사실상의 검토 대역은 7,125~8,400MHz 대역 중 일부 7,750~8,400MHz 대역이며, 7,125~8,400MHz 전체 대역을 공간적으로 실내로 제한한다면, 6세대 지상 통신과 위성통신은 주파수 공동사용을 할 수 있는 여건이 마련될 것이다.

현시점을 기준으로 국내 3·4·5세대 이동통신의 총주파수 이용량은 670MHz 폭인데, 금년에 발표한 대한민국 스펙트럼 플랜을 기준으로 주파수 7GHz 이하에서 이미 주파수를 확보했거나 향후 확보할 가능성이 높은 대역폭을 추정하면, 표 6과 같이 620MHz 폭이 산출되었다. 이를 바탕으로 국내 이동통신 3사의 기준으로 보면, 현재의 이동통신 주파수 확보량은 1,290(=670+620)MHz 폭으로 계산되어, 이동통신사당 평균 430MHz 폭을 보유할 수 있는 주파수 확보 여건은 마련된 것으로 보여진다.

국내 전파자원 입장에서 IMT는 단말·장비 등 통신 산업 활성화 특성이 있고, Wi-Fi 주파수는 인터넷 등 통신 서비스 활성화 특징을 가지고 있다. 이러한 환경에서 주파수 확보량은 항상 실제 주파수 공급량보다 많아서 전파자원의 적시성을 보장해 주어야 하고, 주파수 공급량은 항상 실제 주파수 이용량보다 많아서 가입자의 데이터 전송속도 품질을 보장해 줄 수 있는 전파자원의 가용성을 가져야 한다.

향후 WRC-27를 통하여 7,750~8,400MHz 대역(폭 650MHz)이 IMT로 식별되고 국내에서 동 대역을 6세대 개척주파수로 확보할 수 있다면, 10GHz 이하에서의 확보량은 1,940(=1,290+650)MHz 폭이 된다. 이와 같은 국내 주파수 확보 상황을 총량 관점

에서 살펴보면, 국내 이동통신 3사는 평균 647MHz 폭을 공급받을 수 있는 확보량 수준이 되며, 표 7과 같이 국내 IMT 면허와 Wi-Fi 비면허 주파수의 예상 총량은 유사한 수준이 될 것이다. 그러므로 7,750~8,400MHz 대역에서 도심지역을 기준으로 기존 무선국의 주파수를 재배치하거나 공동사용을 통하여 신규 주파수를 확보하는 방안은 2030년에 도래할 6세대 시대에서의 통신 산업과 서비스 활성화를 위한 균형적인 주파수 활용 여건 마련에 큰 역할을 할 것이다.

주파수 이용 기술 측면에서 보면, 4세대는 주파수 집성 기술이 등장하여 광대역 폭 이용을 통한 용량 증대를 가져왔으며, 5세대에서는 이중 연결 기술을 통하여 4세대 커버리지 위에서 5세대의 최대 채널 대역폭 100MHz 폭을 사용하여 데이터 트래픽 수용 용량을 증대하였다. 다가올 6세대는 저대역 FDD-중대역 TDD 주파수 집성을 통하여 다중대역·다중연결 네트워크가 구축될 것이고, 현 5세대에서는 소개되지 않은 TDD 대역 DSS(Dynamic Spectrum Sharing) 주파수 공동사용과 주파수 3GHz 이하의 위성통신 D2D 기술이 주목받을 것이다. 그리고 이러한 TDD 주파수 이용 기술 진화 속에서 현재 국내에서 미사용 중인 2.3GHz 대역의 90MHz 폭을 주파수 경매를 통하여 1개 이동통신사에게만 배타적으로 공급한다면, Dynamic TDD 및 DSS의 활용성에서 2.3GHz 대역은 6세대의 중요한 전파자원이 될 수도 있을 것이다.

또한, 국외 위성통신의 D2D 서비스 도입을 살펴보면, 금년 11월 FCC는 스타링크가 T-모바일이 보유하고 있는 1.9GHz 대역의 주파수 폭 10MHz를 임대하여 SCS를 제공하는 업무를 승인하였다[20]. 이러한 동향은 국내 이동통신사에게도 국가안보 통신서비스 측면에서 영향을 줄 것으로 예측이 되며, 향후 국내 위성통신 기반의 D2D IoT 또는 SCS 서

표 7 국내 면허·비면허 주파수의 예상 총량 비교

IMT 면허주파수 폭	Wi-Fi 비면허주파수 폭
1,940MHz	1,868.5MHz

비스의 도입 측면에서 기존 3세대 및 4세대 주파수 대역 중 일부 대역에 대하여 D2D 주파수 수요가 있을 것이라고 예상된다. 특히, 글로벌 D2D IoT 표준화를 통한 규모의 경제성 측면에서 3GPP 기반의 위성통신 NB(Narrow Band)-IoT 기술과 서비스는 주목할 필요가 있다.

V. 결론

본고에서는 이동통신 및 Wi-Fi 주파수를 포함하여 6세대 모바일 스펙트럼 확장의 동향을 설명하였다. 구체적으로 살펴보면, WRC-23, 미국, 유럽, 중국, 3GPP 등을 중심으로 6세대 이동통신 후보 주파수 동향을 조사하였으며, 금년도에 발표된 대한민국 스펙트럼 플랜을 중심으로 국내 이동통신 주파수 정책에 대하여 설명한 후, 국내외 모바일 주파수 동향으로부터 도출된 시사점을 제시하였다.

앞서 언급한 바와 같이, 현시기는 6세대 이동통신 준비기간으로 주파수를 확보하고 공급하는 전략을 마련해야 하는데, 이러한 추진과정에서 다음과 같은 추진 사항에 대하여 많은 분석과 연구가 필요하다.

- 동일대역에서 최대 채널 대역폭보다 넓은 광대역 확보
- 4세대 주파수 재활용을 통한 6세대 주파수 공급
- 저대역 FDD와 중대역 TDD의 주파수 집성 적용
- TDD 대역의 DSS 기술을 통한 초기 6세대 도입
- 기존 3·4세대 대역의 위성통신 IoT 주파수 활용
- 인공지능 상향링크 트래픽 용량을 위한 저대역 개발

또한, ITU가 제시한 6세대 7,125~8,400MHz 후보 대역은 전부 또는 일부 대역에서 기존 무선국과의 주파수 공동사용이 필요하며, 도심지역에서 고밀도 트래픽을 수용하는 용도로 활용될 것이다. 특

히, 국내 6세대 개척주파수로서 7,750~8,400MHz 대역을 도심지역에서 주파수 공동사용 기반으로 확보하는 방안은 주요 검토 사항이다. 향후 도심의 6세대 트래픽 수용 용량은 주파수 공동사용으로 확보한 대역폭과 근역장 MIMO에 의한 주파수 효율의 향상 수준 등에 따라 좌우될 것이다.

약어 정리

3GPP	3 rd Generation Partnership Project
AFC	Automated Frequency Coordination
CBRS	Citizens Broadband Radio Service
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
D2D	Direct to Device
DSS	Dynamic Spectrum Sharing
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division Duplex
IMT	International Mobile Telecommunications
IoT	Internet of Things
ITU	International Telecommunications Union
LTE	Long-Term Evolution
MIMO	Multiple Input Multiple Output
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NTIA	National Telecommunications and Information Administration
NTN	Non-Terrestrial Network
SCS	Supplemental Coverage from Space
TDD	Time Division Duplex
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WRC	World Radiocommunication Conference

참고문헌

- [1] 과학기술정보통신부, "5G+ 스펙트럼 플랜," 2019.
- [2] 박승근, "제4차 산업혁명 활성화를 위한 5G 추가 주파수 공급의 전략적인 의견," 전자통신동향분석, 제34권 제6호, 2019, pp.

- 1-16.
- [3] 과학기술정보통신부, "대한민국 스펙트럼 플랜," 2024.
- [4] ITU, "Outcomes of the World Radiocommunication Conference 2023," ITU News Magazine, no.1, 2024.
- [5] National Telecommunications and Information Administration "National Spectrum," <https://www.ntia.gov/programs-and-initiatives/national-spectrum-strategy>
- [6] Federal Communications Commission, "FCC Advances Supplemental Coverage from Space Framework," 2024. <https://www.fcc.gov/document/fcc-advances-supplemental-coverage-space-framework-0>
- [7] Federal Communications Commission, "FCC Requests 6 GHz Automated Frequency Coordination Proposals," 2021. <https://www.federalregister.gov/documents/2021/10/21/2021-22765/fcc-requests-6-ghz-automated-frequency-coordination-proposals>
- [8] NEXTG alliance, "Spectrum Considerations," 2023. https://nextgalliance.org/white_papers/6g-spectrum-considerations/
- [9] 5G Americas, "The 6G Upgrade in the 7-8 GHz Spectrum Range," 2024. <https://www.5gamericas.org/the-6g-upgrade-in-the-7-8-ghz-spectrum-range/>
- [10] OFCA, "6/7GHz Band Action," 2024. https://www.ofca.gov.hk/en/industry_focus/radio_spectrum/auctions/6_7_ghz_band_auction/
- [11] GSMA, The 6GHz IMT Ecosystem, 2024. <https://www.gsma.com/connectivity-for-good/spectrum/wp-content/uploads/2024/07/>
- [12] Ofcom, "Consultation: Hybrid sharing: enabling both licensed mobile and Wi-Fi users to access the upper 6GHz band," 2023. <https://www.ofcom.org.uk/spectrum/innovative-use-of-spectrum/hybrid-sharing-to-access-the-upper-6-ghz-band/>
- [13] ECC, "M2M/IoT Operation via Satellite," ECC Report 305, 2020.
- [14] ETSI, "User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 5: Satellite access Radio Frequency (RF) and performance requirements," Technical Specification ETSI TS 138 101-5 V18.5.0, 2024. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138100_138199/13810105/18.05.00_60/ts_13810105v180500p.pdf
- [15] 박승근, "지금은 6G 주파수를 논의할 시점," 전자신문, 2024. <https://www.etnews.com/20240219000140>
- [16] R. Bennet, Lessons from the history of Wi-Fi, HighTech Forum, 2024. <https://www.ctia.org/news/lessons-from-the-history-of-wi-fi>
- [17] M. Cui et al., "Near-field MIMO Communications for 6G: Fundamentals, Challenges, Potentials, and Future Directions," IEEE Comm. Mag., vol. 61, no. 1, 2023, pp. 40-46.
- [18] J. Zhang et al., "New Mid-Band for 6G: Several Considerations from the Channel Propagation Characteristics Perspective," IEEE Comm. Mag., Early Access.
- [19] S. Park et al., "Deploying Automated Frequency Coordination System for WiFi 6E in South Korea: Challenges and Opportunities," IEEE Comm. Mag., vol. 62, no. 1, 2024, pp. 112-118.
- [20] Federal Communications Commission, "Application for Authority for Modification of the SpaceX NGSO Satellite System to Add a Direct to Cellular System," 2024. <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DA-24-1193A1.pdf>