

# 6G 미래 기술 동향

오성준 TTA PG1101 부의장, 고려대학교 정보보호대학원 교수

## 1. 머리말<sup>1)</sup>

ITU-R (International Telecommunication Union Radiocommunications) Working Party 5D는 2022년 6월 회의에서 6G 이동통신 초기 표준화 과정의 일환으로 지상 이동통신의 미래기술 동향에 대한 보고서를 완성한 바 있다. 이 미래기술동향 보고서에 기반한 6G 이동통신의 비전 보고서(IMT-2030 framework)가 2023년 6월 개발 완료되어 11월 최종 승인 및 발표가 되었다. 앞으로 이어질 6G 이동통신 기술 요구사항 및 평가 방법, 최종 표준화 등의 내용으로 일련의 한 세대 이동통신의 표준화 과정이 진행된다. 학계와 산업계에서는 이미 미래이동통신 기술에 대한 논의가 활발하게 이루어지고 있으며, 공식 이동통신 표준화 기구 ITU-R에서는 이러한 미래기술에 대한 동향 보고서 개발을 통하여 6G 이동통신의 방향성을 제시하고 있다. 본고에서는 이 미래기술동향 보고서 내용을 바탕으로 앞으로 펼쳐질 6G 이동통신 기술들을 전망해 보도록 한다.

## 2. IMT-2030 (6G) 기술 배경

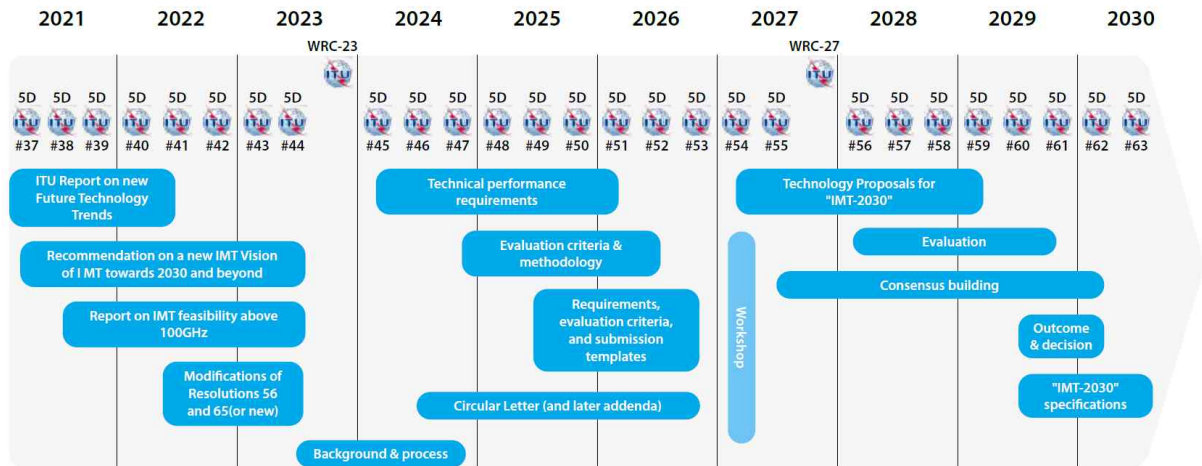
1990년대 말부터 단일표준을 통한 글로벌 로밍을 목적으로 ITU-R에서 공식 이동통신(IMT, International Mobile Telecommunication) 표준화가 시작되었다. 3G 이동통신 IMT-2000, 4G 이동통신 IMT-Advanced와 5G 이동통신 IMT-2020의 첫 표준화 작업이 각각 2000년, 2012년, 2021년에 완성된 바 있다. IMT 표준화 초기 목표였던 글로벌 로밍 문제는 하나의 단말이 다중 표준을 지원하게 되면서 표준화 없이도 해결되었다. IMT 표준은 따라서 복수의 사실표준을 포함하게 되었고, 현재는 ITU-R이 새로운 IMT 기술을 승인해 주는 역할을 하게 되었다. IMT-2000로 7개의 사실표준에 근거한 기술이 승인되었고, IMT-Advanced로는 LTEAdvanced와 IEEE 802.16m 기술이 승인된 바 있다. 또 3GPP의 5G NR 기술이 지난 2021년에 IMT-2020으로 최종 승인된 바 있다. 6G 이동통신 기술은 IMT-2030이라는 이름으로 2030년 정도 승인될 것으로 계획되고 있다.

이처럼 약 10년 주기로 이루어지는 한 세대 IMT 표준화 과정은 미래기술의 동향을 파악하여 비전을 설정하는 전반, 성능 목표와 평가 방법을 정하는 중반, 후보 기술 제안을 받고 평가를 시행하여 최종 승인이 이루어지는 후반으로 이루어진다. 2022년 6월 회의에서는 6G IMT 시스템의 표준화 과정에 대한 스케줄이 확정된 바 있다. [그림 1]에서는 이러한 표준화 일정을 보여주고 있다. 4년에 한 번 개최되는 World Radio Conference (WRC)를 기준으로 하여 WRC-23 이전은 6G 표준화 전반, WRC-23과 WRC-27 사이는 중반, 그리고 WRC-27 이후 2030년 6G 표준화 승인까지를

<sup>1)</sup> 본 내용은 2022년 9월 통신학회학회지 "글로벌 6G 동향 및 비전"에서 "6G 미래기술동향"으로 발표된 바 있습니다.

후반으로 볼 수 있다. 확정된 6G 표준화 계획에 따라 2022년 6월 41차 회의에서 미래기술동향 보고서[1]가 완성되었고, 이를 바탕으로 6G 비전 권고[2] (IMT-2030 Framework)가 WRC-23 회의 이전에 완성되어 6G 표준화와 관련한 전반기 일정이 마무리되었다. 본고에서는 2022년 6월에 개발이 완성된 6G 미래 기술동향 보고서의 내용을 살펴봄으로써 6G 기술에 대한 예측 및 6G IMT 서비스에 대한 예상을 해 보도록 한다.

### WP 5D timeline for IMT towards 2030 and beyond



Note 1: Meeting 50#59 will additionally organize a workshop involving the Proponents and registered IEGs to support the evaluation process

Note 2: While not expected to change, details may be adjusted if warranted. Content of deliverables to be defined by responsible WP 5D groups

[그림 1] 2022년 6월 ITU-R WP 5D 회의에서 확정된 6G 표준화 일정

### 3. IMT-2030(6G)을 가능하게 하는 기술들

미래사회의 이동통신 서비스 및 응용을 실현하기 위한 혁신적인 기술로 다음의 8가지 기술들이 소개되었다.

- 내재적인 인공지능의 통신기술
- 센싱과 통신의 결합을 위한 기술
- 컴퓨팅과 통신의 결합을 위한 기술
- 기기 간 통신 기술
- 주파수의 효율적 이용을 위한 기술
- 저전력 통신 기술
- 실시간 서비스를 위한 통신 기술
- 신뢰성(trustworthiness)를 높이는 통신기술

최근 빅데이터에 기반한 기계학습(Machine Learning) 기법의 인공지능(AI, Artificial Intelligence) 기술은 거의 모든 산업에 적용되고 있으며, 6G 이동통신 여러 분야의 기술에도 영향을 미쳐 이제는 이동통신 시스템 설계에서부터 인공지능 기술이 내재될 것으로 예상된다. AI 기술이 이동

통신에 적용되는 분야는 크게 무선접속 기술과 무선접속 네트워크 기술로 나눌 수 있다. 무선 접속과 관련하여서는 무선채널 예측에 인공지능에 기반한 예측 기법이 적용될 수 있으며, 수신기 설계에도 적용 가능할 것으로 예상된다. 무선접속 네트워크에 대한 AI 기술의 활용 방안으로는 우선 효율적 무선접속 네트워크 자원 이용을 위한 최적화 문제 해결을 고려할 수 있다. AI 기술이 내재된 분산 네트워크 환경 및 사용자의 요구를 AI 기술을 통하여 파악하는 방법도 고려되고 있다. 또한 AI를 이용하여 네트워크 구조를 최적화할 수 있다. 이러한 내용들은 AI 내재화를 통하여 기존의 이동통신 시스템을 개선하는 측면이 있으며, 또 다른 측면으로는 학습데이터의 전송 및 학습에 이동통신 시스템이 적용되어 AI의 성능을 개선하기 위해 이동통신 시스템이 적용되는 경우도 고려될 수 있다.

5G 이동통신에서부터 논의되기 시작한 사물통신은 6G에서는 좀 더 다양한 형태의 사물통신으로 발전하게 되리란 전망이다. 그중 하나가 이동통신과 센싱/센서 네트워크의 결합이 될 수 있다. 사물통신 중 센싱에 의한 통신은 물리적인 측정 값을 무선통신을 통하여 전송하는 것이고, 이러한 과정에서 이동통신에 도움을 주고받을 수 있게 된다. 초기적인 형태의 센서통신과의 결합은 주파수자원 및 송수신 기기 등 통신에 필요한 자원을 공유하는 형태가 될 것이고, 조금 더 발전된 형태는 이동통신에서 필요한 무선 채널 예측과 같은 기능을 센서통신을 통하여 구현하는 것이다. 반면에 센서네트워크의 경우 측정하는 데이터의 양이 많아질수록 빠른 전송속도를 제공할 수 있는 이동통신 시스템을 이용하게 되는 서비스도 고려해 볼 수 있다.

컴퓨팅과 통신 기술의 결합은 6G통신에서 더욱 활발히 일어날 것으로 예상된다. 컴퓨팅과 통신의 결합은 저지연/실시간 서비스를 위해 네트워크 에지로 컴퓨터 서버를 이동시키는 통신 Mobile Edge Computing (MEC) 형태로 5G에서부터 본격적으로 시작된 바 있다. 6G 이동통신 서비스에서는 좀 더 많은 양의 데이터가 저지연/실시간 형태로 제공됨과 동시에 컴퓨팅 자원들의 분산이나 단말과 네트워크의 컴퓨팅 자원 분산 또한 예상된다. 이러한 다양한 형태의 컴퓨팅과 이동통신 결합이 6G에서 일어날 것으로 예상된다.

4G 이동통신에서부터 도입되기 시작한 기지국에 의존하지 않는 기기 간의 통신은 스마트기기의 기능이 더욱 다양해지고 통신속도도 증가하는 6G에서도 주요한 기술이 될 전망이다. Tbit/s급의 속도 혹은 milli-second 이하의 지연을 저전력 단말기에서 제공하는 Sidelink Enhanced Industry Internet of Things (SL-IIoT)는 6G의 중요한 기술로 발전할 것으로 예상되며, 관련하여 네트워크 기술도 SL-IIoT에 적합하게 동적으로 구성될 수 있어야 한다. 이외에도 스마트해진 이동통신 단말이 주변기기들과 기기 간 통신을 통하여 다양한 서비스를 제공하게 될 것이다.

이동통신 기술은 기본적으로 제한된 주파수 자원을 효율적으로 사용하는 기술이다. 새로운 이동통신 세대가 등장함에 따라 좀 더 높은 속도의 서비스가 제공되어야 하고, 따라서, 6G에서 효율적인 주파수 자원 활용은 더욱 중요해질 수밖에 없다. 좀 더 넓은 대역폭을 이동통신 서비스에서 사용하기 위하여 6G에서는 THz 대역의 사용도 고려하고 있으며, 이를 위하여 THz 대역의 채널 연구 및 해당 대역의 송수신기 개발과 관련한 새로운 기술이 많이 연구 개발되고 있다. 이와는 별도로, 기존의 주파수 대역을 좀 더 효율적으로 사용하기 위하여 주파수 공유 기술이 논의되고 있다. 기존 이동통신 시스템에서는 이동통신 사업자가 특정 주파수 대역의 독점적 이용을 허가받아 해당 사업자의 가입자들 간에서 제한적 주파수 공유가 이루어지는 반면, 6G 이동통신

에서는 좀 더 많은 기술, 예를 들어 주파수정보 데이터베이스 활용, 주파수 센싱, software defined radio, reconfigurable radio network 등의 기술을 통하여 주파수 공유의 개념을 넓히려고 한다. 6G 이동통신에서는 단말기 또한 다양한 형태가 될 것이고, 특히 사물통신에 사용되는 센싱 노드 형태의 단말기들이 많아질 것이다. 이러한 기기들은 기본적으로 배터리 충전이나 교체가 수월하지 않아, 이러한 단말기들을 위한 초저전력 통신 방식 및 운용 방식이 필수적이다. 이중 백스캐터링 기술은 특정 에너지 소스가 존재하는 것이 아니라, 수신 안테나를 통하여 주변 환경에 있는 무선 주파수 신호를 수신하고 이를 에너지로 변환하는 기술이다. 이외에도 다른 방식의 저전력 통신 방식으로는 sleep-mode의 기기가 필요에 의해 활성모드로 전환되는 방식인데, 활성모드를 확인하는 회로의 동작을 초저전력으로 할 수 있게 하는 기술이 연구되고 있다. 더불어 실시간 통신을 위해 정밀한 동기를 맞추는 기술도 6G 이동통신을 위해 연구가 진행되고 있으며, 프라이버시 보호 및 신뢰성을 위한 보안 기술도 6G 이동통신을 위해 개발되고 있다. 특히 양자암호를 이용한 보안 기술 혹은 물리계층 보안 기술이 6G 이동통신에서 적용될 수 있을지 기대되는 바이다.

#### 4. IMT-2030(6G) 무선 접속 기술

4G 이동통신에서부터 사용되기 시작한 직교주파수 분할방식(OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 5G를 지나 6G에서도 기본적인 변복조 및 다중화 방식으로 사용될 것으로 예상된다. 상세 구현에 있어서의 단점을 극복하는 여러 성능향상 기법이 적용된, 개선된 OFDM 방식이 6G 이동통신에서 사용될 것으로 예상된다. 많은 수의 다양한 단말의 특성을 고려하여, 직교성을 유지하지 않는 NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) 방식, 무선자원 할당에 대한 기지국 혹은 네트워크로부터의 확인 없이 사용하는 grant-free 방식도 6G에서 일부 사용될 수 있을 전망이다. 다만, 이러한 NOMA 기술이나 grant-free 기법의 실효성 및 필요성에 대해서는 아직 많은 논의가 필요하다.

4G/5G 이동통신에서 주파수 효율을 높이기 위해 많이 사용되었던 다중 안테나를 이용하는 통신 기법은 6G에 와서도 더욱 발전할 것으로 예상된다. 특히 THz 등 높은 주파수 사용에 따라 전파의 파장이 짧아지고 많은 안테나를 작은 물리적 공간 안에서 구현하는 것이 상대적으로 용이해짐에 따라 좀 더 다양한 다중 안테나 기술이 사용될 것으로 예상된다. 6G에 새롭게 등장하는 좀 더 발전된 다중 안테나 기술로는 기지국별로 분산 최적화된 안테나 운용 및 빔 패턴 형성과 AI 기술을 사용하여 복잡한 다중 안테나의 최적화 문제를 해결하는 기술 등을 들 수 있다.

전통적으로 무선통신에서 송수신 채널은 다른 주파수를 사용하던가(FDD, Frequency-Division Duplexing) 혹은 다른 시간을 사용하여 (TDD, Time-Division Duplexing), 송신과 수신이 동일한 주파수/시간이 되는 것을 피해 왔다. 이는 무선 채널로 인한 감쇄가 너무 크기 때문에, 원하는 수신 신호에 송신 신호가 간섭 회피 없이 더해진 경우 수신기에서 원하지 않게 추가된 송신 신호를 삭제하기가 사실상 불가능했기 때문이다. 그러나, 최근 초고주파 회로 기술의 발전으로 인해 불가능할 것으로 여겨졌던 송신 신호의 정교한 삭제가 가능해져 동일 주파수/동일시간에 송수신(In-band full duplex)을 할 수 있게 되었다. 실제 구현까지는 아직 해결할 이슈들이 많이 남아 있지만, 실현 가능해지면, 주파수 효율을 두 배까지 높일 수 있게 된다.

이동통신 시스템에서 많은 사용자가 높은 전송 속도로 통신할 수 있으려면 독립적인 채널이 많이 필요하다. 한정된 주파수 자원에서 독립적인 채널을 얻는 방법으로 물리적 공간 자원을 효율적으로 이용하는 방법이 있고, 이러한 물리적 공간을 효율적으로 이용하는 방법 중에 RIS(Reconfigurable Intelligent Surface) 기술이 6G 이동통신의 핵심 기술로 논의되고 있다. 다중 경로 무선 채널은 통신을 하기 위해 주어지는 고정된 환경으로 인식되어 왔으나, RIS 기술에서는 송수신 안테나를 지능적으로 제어하여 환경적인 요소로 결정되는 다중 경로 무선 채널을 오히려 효과적으로 이용하여 항상 좋은 무선채널 환경을 유지하도록 한다.

새로운 세대의 이동통신은 대부분 새로운 주파수 대역을 발굴하여 이용하고자 한다. 수 GHz 대역은 대부분 그 용도가 결정되어 있어서, 새로운 이동통신 서비스를 하기 위해 연속적으로 넓은 주파수 대역을 확보하는 일이 쉽지 않다. 이러한 문제를 극복하기 위하여, 6G 이동통신에서는 sub-THz (0.1 THz) 대역의 주파수 사용에 대한 논의가 진행되고 있다. 연속적인 넓은 주파수 대역을 이동통신에 사용할 수 있다는 장점이 있기는 하지만, 기술적으로 해결해야 할 문제가 많이 있다. 우선 높은 주파수로 전파전달 특성이 열악해지는 경향이 있고, 이는 송신기와 수신기가 서로 보이지 않는 NLOS (Non-Line of Sight) 경로에서 특히 더 심각하다. THz 채널 특성에 대한 연구는 이미 학계/산업계에서 다양하게 진행되고 있다. 채널 특성과는 별도로 Tbps급 속도로 THz 대역을 이용하여 이동통신 서비스를 제공하는 기기를 구현하는 데에 많은 어려움이 있을 수 있다. THz 대역의 Radio-frequency 회로, ADC/DAC 회로 및 baseband 신호처리 회로 등 속도/주파수가 높아짐에 따라 여러 구현 이슈들이 존재하게 된다.

위치정보는 지금까지 주로 인공위성을 통하여 얻었지만, 실내 수신 문제점 및 정확성 등의 이슈로 인하여 6G 이동통신에서는 이동통신 시스템을 통하여 좀 더 정확한 위치정보를 파악하는 연구가 진행되고 있다. THz 대역의 작은 파장의 전파 이용, 좀 더 많은 다중 안테나 사용, AI 기술이용 등이 6G 이동통신에서 좀 더 정확한 위치정보 서비스를 가능하게 할 것으로 예상되며, 현재 센티미터 수준의 정확성을 목표로 하고 있다.

## 5. IMT-2030(6G) 무선 접속 네트워크 기술들

다양한 특징을 가진 여러 통신 서비스를 물리적으로는 단일한 네트워크를 이용하면서 논리적으로 나누어 제공하는 기술을 네트워크 슬라이싱 기술이라고 하고, 각각의 논리적인 네트워크를 네트워크 슬라이스라고 한다. 네트워크 슬라이싱 기술의 궁극적인 목적은 네트워크 물리적 자원을 서비스별로 효율적으로 공유하는 것이다. 특히 다양한 주파수 대역을 동시에 사용하면서, 엄격한 QoS 요구사항이 있는 서비스를 효율적으로 제공하기 위해서는 네트워크 슬라이싱 기술이 필수적이다. 또한, 6G 무선 접속 네트워크는 서비스/사용자 중심의 구조가 예상되며, 다양한 사용자 요구사항에 대해 탄력적인 자원할당 방식이 필요하다.

다양한 서비스와 높은 QoS 요구사항을 충족시키기 위해 6G 무선접속 네트워크는 더욱 복잡한 형태로 발전하게 될 것이고, 이러한 복잡한 구조에도 불구하고 효율적으로 서비스를 제공하기 위해서는 더욱 간단한 구조와 프로토콜이 도입되어야 할 것이다. 단말 간 협력이 가능한 네트워크 구조도 새로운 시도가 될 수 있고, 기지국과 같은 네트워크 노드에 기반한 네트워크 구조가 아닌 단말에 따르는 네트워크 구조 또한 고려될 수 있다.

6G 이동 통신의 중요한 응용으로 고려되는 디지털트윈 네트워크(DTN, Digital Twin Network)를 구현하기 위해서 물리적 세상과 가상 세계의 실시간 상호 매핑이 필요하고, 이를 위해서 네트워크 자원이 효율적으로 할당되는 것 이상으로 어느 정도의 자율적인 기능도 필요하다. 이를 위해서 AI 기반 네트워크 자동화 기능도 필요하게 될 것이다.

6G 이동통신은 지상뿐만 아니라 공중/해상 등 글로벌 seamless 커버리지를 목표로 하고 있다. 이를 위해서는 비지상 네트워크 (위성/High Altitude IMT BS, HIBS/드론을 이용한 Unmanned Aircraft System)와의 협력이 필수적이다. 다만 HIBS와 UAS 등의 비지상 네트워크를 이용하여 네트워크 커버리지가 커질 수는 있지만, 효율성 및 실용성에 대해서는 아직 해결해야 할 문제가 남아 있다.

6G 이동통신의 중요한 요구사항이 될 것으로 예상되는 사용자 체감 속도, 연결 밀도 및 단위 면적당 주파수 효율 등을 만족시키는 방법으로는 네트워크의 밀도를 높여서 공간 재사용을 높이는 방법이 고려되고 있다. 네트워크 밀도를 효율적으로 높이기 위해서 단말의 기지국 접속과 기지국의 네트워크 접속을 통합하여 고려할 필요가 있으며, 이를 위해서 앞에서 논의된 RIS/THz 기술 등이 단말/기지국/네트워크에서 통합적으로 고려될 수 있다.

## 6. 맺음말

본고에서는 2022년 6월 ITU-R Working Party 5D에서 마무리되어 2022년 11월 발표된 미래이동통신 기술동향 보고서를 바탕으로 6G 이동통신 기술들을 검토하였다. 이 미래기술동향 보고서를 참고하여 2023년 6월 ITU-R에서는 6G 비전보고서가 마무리됨과 동시에 전반기 6G표준화 일정이 마무리되었다. 2030년 표준화가 마무리될 6G 이동통신은 앞에서 논의된 기술을 이용하여 이전 세대의 이동통신에 비해 향상된 다양한 서비스를 제공할 것으로 예상된다.

### [참고문헌]

- [1] Future technology trends of terrestrial International Mobile Telecommunications systems towards 2030 and beyond, Report ITU-R M.2516-0 (11/2022), <https://www.itu.int/pub/R-REP-M.2516>.
- [2] Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond, Recommendation ITU-R M.2160-0 (11/2023), <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2030/Pages/default.aspx>

※ 출처: TTA 저널 제210호