

ITU-R에서의 6G 표준화 동향

ITU-R Activities for Standardization of 6G Technologies

예충일 (C.I. Yeh, ciyeh@etri.re.kr)

6G무선방식연구실 책임연구원

장갑석 (K.S. Chang, kschang@etri.re.kr)

6G무선방식연구실 책임연구원/기술총괄

고영조 (Y.J. Ko, koyj@etri.re.kr)

6G무선방식연구실 책임연구원/실장

김일규 (I.G. Kim, igkim@etri.re.kr)

이동통신연구본부 책임연구원/본부장

ABSTRACT

With the timeline released by ITU-R (Radiocommunication Sector of the International Telecommunication Union), research and development activities for the International Mobile Telecommunications for 2030 and beyond (IMT-2030) are now in full swing. We provide an overview of the general process of making global core specifications for next-generation mobile systems and summarize the ITU-R Recommendation of the IMT-2030 Framework. The ITU-R Recommendation focuses on IMT-2030 usage scenarios and related capabilities. The expectations of 3GPP (Third Generation Partnership Project) activities for the proposal of candidate IMT-2030 global core specifications to the ITU-R are also discussed. The launch of IMT-2030 for commercial purposes is expected to begin in 2030.

KEYWORDS 6G, framework, IMT-2030, usage scenario, vision

1. 서론

ITU-R은 표 1과 같이 6개의 SG로 구성되고 있고, SG5에서 지상 서비스를 관장한다. 또 SG5는 4개의 WP를 운영하고 있는데, IMT 시스템은 WP 5D의 소관이다. WP 5D는 IMT 시스템 관련 국제 표준기술규격(GCS) 개발 및 채택을 위해 필요한 프로세서를 개발한다. WP 5D는 제안된 여러 후보 기술들을 미리 정해진 절차에 따라 평가하여 제3세

대(3G), 제4세대(4G) 및 제5세대(5G) IMT 시스템의 GCS로 승인한 바 있다. ITU-R에서는 시장에서 널리 통용되는 3G, 4G, 5G라는 용어 대신 IMT-2000, IMT-Advanced, IMT-2020의 용어를 사용한다.

규격은 GCS와 전환규격(Transposed Specification)으로 분류된다. GCS는 ITU-R에서 채택된 필수적이고 핵심적인 시스템 기능 및 인터페이스 등을 규정한 국제표준기술규격을 말한다. 반면, 전환규격(지역표준기술규격)은 특정 지역 또는 국가가 지정한 기

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2024.J.390309>

* 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[No. 2018-0-00218, 초고주파 이동통신 무선백홀 전문연구실].

표 1 ITU-R 소속 SG 및 관련 서비스

SG구분	관련 서비스
SG1	스펙트럼 관리(Spectrum Management)
SG3	전파 전파(Radiowave Propagation)
SG4	위성 서비스(Satellite Services)
SG5	지상 서비스(Terrestrial Services) • WP 5A: IMT 제외, 30MHz 이상의 육상 이동 서비스 • WP 5B: 해상 이동 서비스 • WP 5C: 고정 무선 시스템 • WP 5D: IMT 시스템
SG6	방송 서비스(Broadcasting Service)
SG7	과학 서비스(Science Services)

관이 제정하며 GCS의 구현을 위해 지역 기반으로 전환 채택된 표준기술규격이다. 한국의 경우 TTA, 미국의 경우는 ATIS 등에서 전환규격이 채택되고 있다. 전환규격은 GCS 기반으로 제정되며 특정 지역이나 사업자의 필요에 따라 GCS를 프로파일링(Profiling)하거나 새로운 특징을 추가할 수도 있다. 그러나 GCS에 있는 규격을 변경하는 것은 허용되지 않는다.

ITU-R에서 승인한 첫 번째 IMT-2020 GCS는 ITU-R M.2150-0이고, ITU-R M.2150-1은 M.2150-0을 개정한 IMT-2020 GCS다[1,2]. M.2150-1는 3종의 기술(3GPP 5G-SRIT, 3GPP 5G-RIT, 5Gi, DECT 5G-SRIT)을 IMT-2020 GCS로 승인하고 있다. 3GPP SRIT는 3GPP Release 15 LTE 및 NR로 구성되고, DECT SRIT는 ETSI Release 1 DECT-2020 NR 및 3GPP Release 15 NR로 구성된다. WP 5D에서 IMT-2020 관련 남아 있는 작업은 3GPP 또는 ETSI의 규격 개선에 따른 M.2150-1의 개정 작업이라 할 수 있다.

현재 이동통신업계의 관심사는 6G(ITU-R에서는 IMT-2030으로 명명)로 급속하게 전환되고 있다. 본 고에서는 6G와 관련된 WP 5D에서의 표준화 현황, ITU-R 권고(M.2160: “Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond”)의

내용, 그리고 6G 후보 기술을 준비하는 3GPP 상황 등을 살펴본다.

II. IMT GCS 승인 절차

새로운 세대의 IMT 시스템 GCS 제정을 위하여 WP 5D는 비전 및 요구 사항을 제시하고, 이에 따라 제출된 후보 기술을 평가하는 방법과 절차를 마련한다. 이어서 WP 5D는 제출된 기술들을 평가하고 요구 사항이 충족된 기술을 새로운 IMT 시스템의 GCS로 승인하고 문서번호(NNNN)를 부여한다(Recommendation ITU-R M.NNNN-0). 또한 첫 번째의 규격 승인 후, 기술의 개선 사항을 반영하기 위해 개정번호를 표시한다(Revision 1의 경우 예: Recommendation ITU-R M.NNNN-1).

보수적 성향의 ITU-R은 6G GCS 제정을 위해 5G에서 채택된 절차를 가능한 한 준용할 것으로 예측된다. 5G GCS 제정을 위해 WP 5D에서 생산한 주요 문서로 다음과 같은 것들이 있다.

- Recommendation ITU-R M.2083: ‘5G 비전’이란 대중적 이름으로 더욱 알려진 문서로 5G 개발의 목적, 미래의 사용자/애플리케이션 및 기술 동향, 사용 시나리오(Usage Scenario), 목적 달성을 위해 요구되는 핵심성능지표(KPI) 등에 관한 내용을 기술한 권고문서[3]
- Report ITU-R M.2410: 5G 시스템에 요구되는 최소성능, 각 성능지표의 정의 및 세부적 값, 요구 사항 도입 배경 등의 내용을 기술한 보고서[4]
- Report ITU-R M.2411: GCS 승인을 위해 기술 제안자가 작성하여 제출해야 하는 다음과 같은 문답형 템플릿을 포함한 보고서[5]
 - 기술요약(Characteristics Template): 제안 기술을 분야별로 요약하여 설명하는 테이블
 - 링크버짓(Link Budget Template): 시험환경과 이

- 와 관련된 사용 시나리오별로 작성하는 링크 버짓 테이블
- 요구 사항 만족 여부(Compliance Template): M.2083에서 제시된 사용 시나리오에 따른 다양한 서비스 제공 능력 보유 여부, WRC에서 지정한 IMT 주파수 사용 여부, M.2410에서 정의된 각 성능지표 만족 여부 등을 일목요연하게 표시하는 테이블
- Report ITU-R M.2412: M.2410에서 정의된 성능지표 평가 방법, 시험환경 정의, 채널모델[6]

그림 1은 5G GCS 제정 시 사용된 절차이다. 6G GCSD도 이와 유사한 절차를 통해 제정될 것으로 예

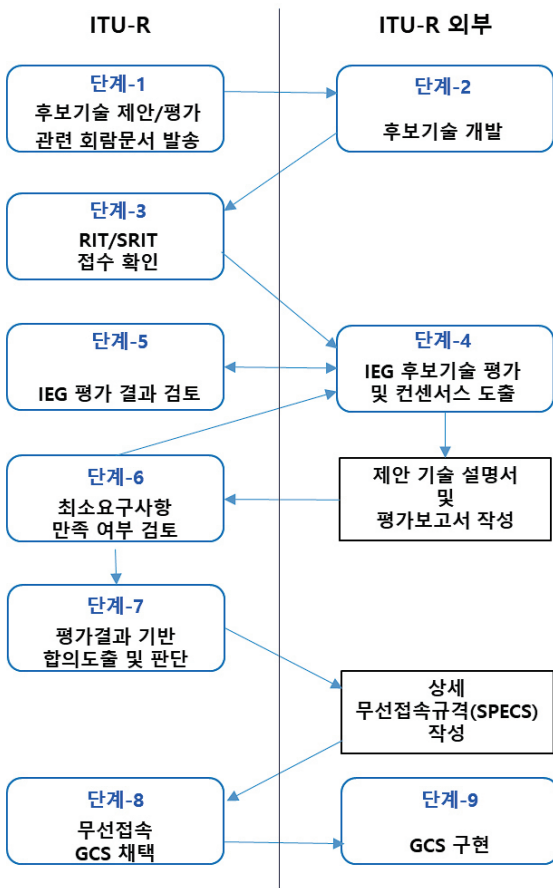


그림 1 5G GCS 후보 기술 평가 절차

상된다. ITU-R과 외부 기관과의 밀접한 협조는 GCS 제정에 가장 필수적 요소이다. 대표적 외부 기관으로 후보 기술 규격을 개발하는 사실상의 표준화단체(3GPP, ETSI, TTA 등) 또는 산업체, 그리고 후보 기술을 평가하는 IEG 등을 들 수 있다.

또한 GCS 후보 기술의 개별적 평가 후에도(그림 1의 단계-6 종료), 더욱 완전하고 고성능의 GCS 완성을 위해, 가능할 경우 제출된 기술들을 묶거나 (Grouping) 합치는(Synthesis) 등의 합의도출(Consensus Building) 절차도 가능하다(그림 1의 단계-7).

III. 6G 프레임워크 권고

WP 5D는 5G의 ‘Recommendation ITU-R M.2083’에 해당되는 6G 관련 권고안을 2023년 6월(WP 5D #44)에 개발하였다. 이 문서의 이름은 ‘Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond’이며 2023년 12월에 M.2160으로 공표되었다[7]. 본 장은 M.2160에 담긴 내용을 요약 설명한다.

1. IMT-2030 동향

‘6G Framework 권고(M.2160)’는 6G 관련 동향을 다음 4가지 측면에서 기술한다: 개발의 동기 및 사회적 고려 사항; 사용자 및 애플리케이션 동향; 기술 동향; 스펙트럼 관련 사항.

가. 개발의 동기 및 사회적 고려 사항

6G 개발의 동기는 많은 사람이 혜택을 누리는 정보화 사회 구축 및 UN SDG 성공을 지원하는 데 있으며, 이를 위한 주요 촉진 요소(Enabler)로 다음의 것들이 있다.

- 포용성(Inclusivity) - 디지털 격차 완화, 모든 이에

게 저렴한 액세스 수단을 통해 연결성 제공

- 연결의 보편성(Ubiquitous Connectivity) - 미연결 지역 해소, 저렴한 연결성 제공으로 인구밀도가 낮은 지역 및 벽지에도 기본적 광대역 서비스 제공
- 지속가능성(Sustainability) - 기후변화 대처, 에너지 효율 및 전력 소모 감소 관련 기술, 온실가스 배출 감소 기술 등 포함
- 혁신성(Innovation) - 연결성, 생산성 및 효율적 자원관리 기술 활용을 통한 혁신 촉진
- 강화된 시큐리티, 프라이버시, 리질리언스(Enhanced Security, Privacy and Resilience) - 안전한 시스템 설계, 자연재해 및 인재로부터 신속 복구
- 표준화 및 상호운용성(Standardization and Interoperability) - 모든 구성원이 쉽게 사용할 수 있는 표준 및 상호 운용이 가능한 인터페이스
- 상호연동(Interworking) - IMT 및 비지상망(NTN) 포함 non-IMT 시스템과의 밀접한 연동을 통한 서비스 연속성 제공

나. 사용자 및 애플리케이션 동향

주요 6G 애플리케이션 및 서비스는 사용자에게 가상적으로 생성된 또는 원거리에서 발생한 환경/사건들에 대한 몰입형 경험 제공을 기반으로 한다. 또한 각종 첨단 센서 및 AI의 활용을 통해, 구현된 가상세계와 실제세계와의 상호작용은 인간 활동 범위의 차원을 확장할 것이다. 이와 관련된 주요 동향으로 다음의 것들이 있다.

- 지능의 보편화(Ubiquitous Intelligence) - 6G 구축 구축에 AI를 적용하여, 스마트 시티, 사물과 인간의 직관적 상호작용, 네트워크 관리 자동화 등을 촉진
- 컴퓨팅의 보편화(Ubiquitous Computing) - 효율적 자원 활용 및 최적 작업(Workload) 분배

- 몰입형 멀티미디어 및 다중감각 상호작용(Immersive Multimedia and Multi-sensory Interactions) - 다중감각 활용을 통한 가상 및 실제세계의 밀접함으로 사용자에게 몰입형 경험 제공
- 디지털트윈 및 가상세계(Digital Twin and Virtual World) - 버티칼 분야 혁신을 촉진하는 주요 요소
- 스마트 산업용 애플리케이션(Smart Industrial Applications) - 효율적 자원 활용, 제조 및 수송 체계 최적화 등을 위한 실시간 지식 교환
- 디지털 헬스 및 복지(Digital Health and Well-being) - 원격리 감시, 진단, 치료를 통한 의료 분야 혁신
- 센싱 및 통신 융합(Integration of Sensing and Communication) - 초정밀 포지셔닝, 3D 매핑, 디지털 트윈, 산업자동화 등에 활용
- 연결의 보편화(Ubiquitous Connectivity)
- 지속가능성(Sustainability)

다. 기술 동향

WP 5D는 2022년, 6G를 위한 ‘미래기술동향 보고서(Report ITU-R M.2516)’를 발간하였다[8]. M.2516는 FTT라는 이름으로 잘 알려진 문서이다. ‘6G Framework 권고(M.2160)’는 M.2516에 기술된 내용을 채택하여 다음 3개 분야로 나누어 요약하고 있다: 신진 기술 동향 및 촉진 요소; 무선접속 개선 기술; 무선망 개선 촉진 기술.

1) 신진 기술 동향 및 촉진 요소

미래 서비스 및 애플리케이션을 촉진하는 신진 기술로 다음과 같은 것들이 있다.

- 성능 향상을 위한 AI 기반 무선접속 기술
- RAN 자동화 및 지능화를 위한 AI 기반 RAN 기술
- AI 지원을 위한 RAN 구조(Network for AI)
- 혁신적 서비스/애플리케이션 제공을 위한 센싱/통신 융합

- 컴퓨팅, 데이터 서비스
- 초고속 데이터 전송 가능 D2D
- 초정밀 포지셔닝, 초저지연
- 고급 캐리어 집성 및 스펙트럼 공유 기술
- 효율적 에너지 사용 및 초저전력 기술
- 시큐리티, 프라이버시, 리질리언스 관련 기술

- DOICT 융합 RAN 아키텍처
- 사용자 중심 RAN 아키텍처
- TN/NTN 상호연동
- DTN 활용 RAN 관리
- 초고밀집 네트워크(UDN)

2) 무선접속 개선 기술

FTT가 중점적으로 서술하고 있는 분야는 무선접속 관련 분야로, 관련 기술을 분야별로 열거하면 다음과 같다.

- 고급 변조/코딩/다중접속 기술
 - 고급 변조: QAM, PAPR 감쇠 기술
 - 고급 코딩: LDPC, polar, HARQ
 - 신파형: 직교 파형, 비직교 파형, 이중직교 (Bi-orthogonal) 파형, OTFS
 - 다중접속: OMA, NOMA, grant-free, MUSA, PDMA, SCMA, CS-based random access with grant-free
- 고급 안테나 기술: E-MIMO, 분산형 E-MIMO, AI 활용 E-MIMO
- 전이중화 기술: IBFD
- 다중차원 전송기술: RIS, 홀로그래프 라디오, OAM
- THz 전송 기술: 펜슬빔 THz
- 초정밀 포지셔닝 기술: SLAM, CPP, AI/ML 포지셔닝

3) 무선망 개선 촉진 기술

RAN 개선 촉진 기술로 다음과 같은 것들이 있다.

- RAN 슬라이싱
- QoS 프로비저닝(QoS 보장 메커니즘, 예측 가능 RAN 기술 등)
- Plug-and-play RAN 아키텍처

라. 스펙트럼 관련 사항

6G에서 도입될 새로운 용례(Use Case) 및 애플리케이션 제공, 그리고 급증하는 통화량에 대응하려면 단일 주파수 대역보다 복수의 주파수 대역을 사용하는 것이 유리하다. 또한 ‘스펙트럼 공존 및 공유’을 위한 기술 개선도 필요하다.

같은 서비스를 위한 동일 주파수 대역 할당은 국가 및 지역 간에 발생하는 간섭의 영향을 완화하고 디바이스 및 네트워크의 공통성을 증가시킬 수 있다. 이와 같은 스펙트럼의 조화로운 사용을 통해 얻을 수 있는 효과는 다음과 같다.

- 규모의 경제(Economies of Scale)
- 글로벌 로밍
- 장비 설계 복잡도 완화
- 스펙트럼 사용 효율 증대
- 국가 간, 지역 간 간섭 완화

초고속 데이터 전송 및 초저지연은 6G에서 선보일 새로운 용례 및 애플리케이션에 필연적으로 요구되는 성능이며, 이는 92GHz 이상의 초고주파 대역의 6G 활용 가능성을 시사한다. ITU-R은 92GHz 이상 대역의 IMT 활용 가능성에 대한 보고서를 개발 중이며 2024년 완료 예정이다[9]. 이 보고서는 다양한 환경에서 측정된 100GHz 이상 주파수의 전파 특성에 대한 내용을 포함하고 있다. 92GHz 이상의 고주파 영역이 고손실 전파 특성의 장애를 극복하고 IMT에서 활용되기 위해서 안테나 및 반도체 기술, RIS를 포함하는 새로운 재료 기술, MIMO 및 빔

포밍 기술 분야에서 획기적인 기술의 진보가 필요하다.

6G에서 복수의 다양한 주파수 대역은 다음과 같이 활용될 수 있다.

- Low bands: 국가 규모의 커버리지 확보
- Mid bands: 커버리지 및 용량 요구 사항을 균형감 있는 방향으로 충족
- 92GHz 이상: 실내/실외 핫스팟, 센싱/통신 융합, 사이드링크, 유연한 무선 백홀 및 프론트홀

2. IMT-2030 사용 시나리오

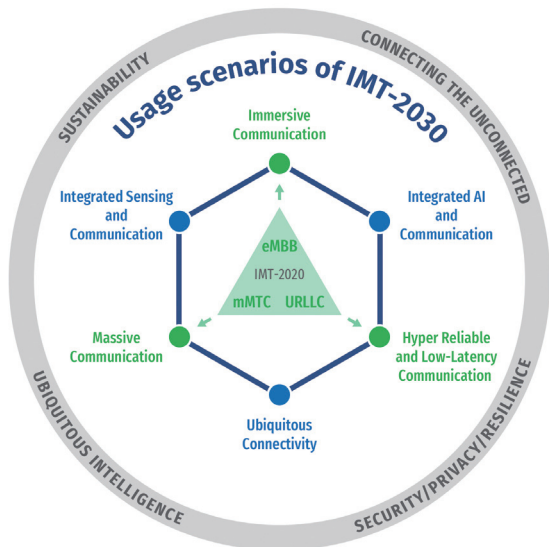
IMT Advanced(4G)에 이르기까지 이동통신의 주요 성능지표는 전송속도(Data Rate)와 이동체의 속도(Mobility)였으나, IMT-2020(5G)에 이르자 인식에 변화가 일어나기 시작했다. 그림 2의 중심에 위치한 세 꼭지각이 eMBB, URLLC, mMTC으로 표시된 삼각형은 5G를 나타내는 가장 대표적인 그림이다. ITU-R이 이 삼각형을 통해 전달하고자 하는 핵심

메시지는 5G가 전통적 통신서비스 제공은 물론 다양한 산업이 꽃피는 기반 플랫폼이라는 것이다,

사용 시나리오란 소속된 용례들과 이를 지원하기 위한 성능지표로 정의될 수 있다. 예를 들어, 5G에서는 mMTC란 사용 시나리오하에서 smart city 계열의 다양한 용례가 제공될 수 있으며 이와 관련된 핵심 성능지표로 ‘연결밀도’를 들 수 있다.

5G가 4G의 기반에서 출발했던 것처럼, 6G는 5G의 바탕 위에서 시작될 것으로 예측된다. ‘6G Framework 권고(M.2160)’는 6G를 5G의 사용 시나리오를 확장한 3개 사용 시나리오, 새로 정의된 3개 사용 시나리오 및 4개의 포괄적 측면으로 요약하고 있다(그림 2). 포괄적 측면이란 모든 사용 시나리오에 공통으로 적용되는 설계 원리를 말한다.

- 5G 확장 사용 시나리오
 - eMBB ⇒ 몰입형 통신(Immersive Communication)
 - URLLC ⇒ 초신뢰 및 초저지연 통신(HRLLC)
 - mMTC ⇒ 대규모 통신(Massive Communication)
- 새로 도입된 사용 시나리오
 - 연결의 보편성(Ubiquitous Connectivity)
 - 인공지능/통신 융합(Integrated Artificial Intelligence and Communication)
 - 센싱/통신 융합(Integrated Sensing and Communication)
- 포괄적 측면
 - 지속가능성(Sustainability)
 - 지능의 보편화(Ubiquitous Intelligence)
 - 미연결 지역에 연결성 제공(Connecting the Unconnected)
 - 신뢰가치(Security/Privacy/Resilience)



출처 Reprinted with permission from [7], © ITU.

그림 2 6G 사용 시나리오 및 포괄적 측면

특기할 사항은 5G의 경우 사용 시나리오와 성능지표가 대체로 1:1로 대응되었으나 6G에서는 개별 사용 시나리오에 해당하는 성능지표가 다수 개로

표 2 6G 사용 시나리오 특징

구분	목적, 용례 및 성능지표	
몰입형 통신	목적	햅스팟, 도심 및 시골 지역 등에서 대화형/몰입형 경험 제공
	용례	몰입형 XR, 홀로그래픽 통신, 원거리 다중감각 telepresence
	지표	스펙트럼 효율, 데이터 속도, 이동속도, 신뢰도 및 지연시간, 연결밀도
초신뢰 및 초저지연 통신	목적	더욱 엄격한 신뢰도 및 레이턴시가 요구되는 특수한 용례 지원
	용례	산업 분야의 완전 자동화, 대화형 로봇, 비상시의 서비스, Tele-medicine, 전력전송 및 분배 감시
	지표	신뢰도 및 지연시간, 초정밀 포지셔닝, 연결밀도
대규모 통신	목적	대규모의 디바이스 또는 센서 연결에 의한 광범위 용례 및 애플리케이션 지원
	용례	스마트 시티, 교통, 물류, 건강, 에너지, 환경감시, 농업
	지표	연결밀도, 저전력소모, 이동속도, 커버리지, 보안 및 신뢰
연결의 보편성	목적	타 시스템과의 상호연동 등을 통하여 디지털 격차 해소 등에 기여
	용례	미연결 또는 연결 부족 지역 해소, IoT 서비스, 광대역 이동통신 서비스
	지표	연결성(Connectivity)
인공 지능 통신 융합	목적	분산 컴퓨팅 및 AI-powered 애플리케이션 지원
	용례	자율주행, 의료 지원 애플리케이션, 컴퓨팅 작업 분산(Offloading), 디지털트윈 활용 생성 및 예측
	지표	단위면적당 용량, 사용자 체감 데이터 속도, 초신뢰도 및 초저지연, 데이터 수집, 모델 훈련/공유/분배, 컴퓨팅 자원관리
센싱 통신 융합	목적	센싱 기능이 요구되는 서비스 지원
	용례	항법, 활동인식, 움직임 추적, 환경감시, 주변 상황 센싱 데이터 및 정보 처리
	지표	고정밀 포지셔닝, 거리/속도/각도 추정, 사물 존재 인식, 이미징/매핑

정의된다. 이는 6G의 대표 서비스인 XR 등이 극단적인 전송속도, 레이턴시, 센싱 등의 성능지표를 동시에 요구하고 있기 때문이다. ‘6G Framework 권고(M.2160)’에 기술된 사용 시나리오의 목적, 용례 및 성능지표를 요약하면 표 2와 같다.

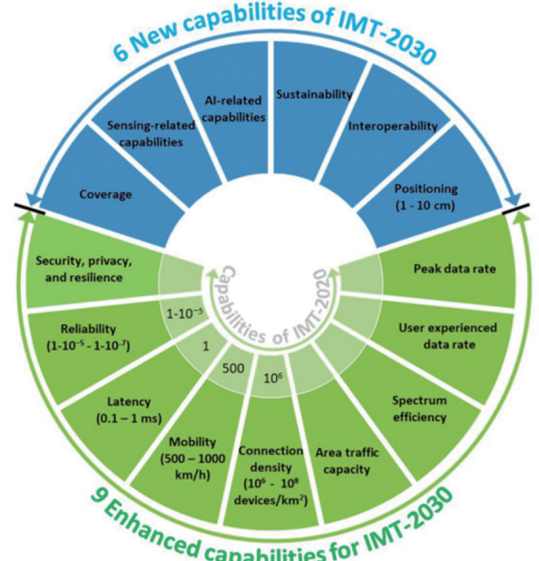
3. 6G 성능지표

‘ITU-R 5G Vision 권고(M.2083)’에서는 8종의 주

요 성능지표와 이들의 목표값들이 제시되었고, 그 밖의 지표로 다음 5가지 항목이 목표값 없이 제시되었다.

- 스펙트럼 및 대역 사용의 유연성
- 가용성 측면의 신뢰도
- 회복성(Resilience)
- 시큐리티 및 프라이버시
- 저장된 에너지 용량 대비 가동 시간

반면, ‘6G Framework 권고(M.2160)’는 15종의 성능지표를 제시하고 있는데, 이들 중에서 9종은 5G의 성능지표를 개선한 것이고 나머지 6종은 새로 도입된 성능지표이다. 그런데 그림 3에 기술된 바와 같이 5종을 제외하면 목표값이 정의되지 않았고, 평가 항목이 정해지지 않은 성능지표도 있다(센싱, AI, 지속가능성, 상호운용성, 시큐리티/프라이버시/회복성). 미정인 목표값과 평가 항목은 향후 ITU-R 보고서 ‘기술성능 요구 사항(Technical Performance Requirements)’에서 정의될 예정이다.



출처 Reprinted with permission from [7], © ITU.

그림 3 6G와 5G의 성능지표 비교

‘6G Framework 권고(M.2160)’에서 제시하는 성능 지표의 정의는 다음과 같다.

- Peak Data Rate(최대 데이터 속도): 이상적 조건하에서 시스템이 하나의 디바이스에게 몰아줄 수 있는 최대 데이터 속도
- User Experienced Data Rate(사용자 체감 데이터 속도): 커버리지 내에서 이동 중인 디바이스들이 보편적으로 제공받을 수 있는 데이터 속도
- Spectrum Efficiency(스펙트럼 효율): 단위 스펙트럼, 단위 셀당 평균 데이터 스트루트
- Area Traffic Capacity(단위 면적당 용량): 단위 면적당 총 트래픽 스트루트
- Connection Density(연결밀도): 단위 면적당 연결된 또는 액세스 가능 디바이스 총수
- Mobility(이동속도): 약속된 QoS로 무선 노드 간에 틈새 없는(Seamless) 전송이 보장되는 상태에서 가능한 최대 이동속도
- Latency(지연시간): 특정 크기의 패킷이 Source에서 출발하여 Destination에 도착하기까지 걸리는 시간 중에서 무선접속 구간에서 소모되는 시간
- Reliability(신뢰도): 무선 구간에서 정의된 크기의 데이터를 정의된 시간 내에 성공적으로 전송할 수 있는 능력(확률로 표시)
- Coverage(커버리지): 희망 서비스 영역 내에 있는 사용자들에게 통신서비스를 제공할 수 있는 능력, 단일 셀 환경에서 링크버짓 분석을 통해 얻을 수 있는 셀 경계까지의 거리
- Positioning(포지셔닝): 연결된 디바이스의 공간적 위치 근삿값 계산 능력, 포지셔닝 정밀도는 실제 위치와 근삿값과의 차이로 정의
- Sensing-related Capabilities(센싱 관련 성능지표): 거리/속도/각도 추정, 물체인식, Localization, 이미징, 매핑 등을 지원하기 위해 무선접속에 마련되어 있는 기능, 정밀도, 해상도, 검출률,

오경보율(False Alarm Rate) 등으로 평가

- AI-related Capabilities(AI 관련 성능지표): AI로 유발되는 애플리케이션 지원을 위해 6G 시스템에서 제공하는 기능으로 데이터 분산 처리, 분산 학습, AI 컴퓨팅, AI 모델 수행, AI 모델 인퍼런스 등이 있음
- Security, Privacy, Resilience
 - Security: 데이터 Confidentiality, Integrity, Availability 유지 등을 포함한 정보 보안
 - Privacy: 개인정보 보호
 - Resilience: 시스템 탄력성, 복구성 등
- Sustainability(지속가능성): CO₂ 배출 및 환경에 미치는 악영향의 최소화를 위한 네트워크 및 디바이스 전주기(Lifecycle) 관리 능력으로 에너지/자원 사용 최소화, 장비수명/수리/재활용 최적화 등을 포함
 - 에너지 효율성 메트릭: Bits per Joule
- Interoperability(상호운용성): 시스템 구성 객체(Entity) 간의 기능성 활성화를 위한 포용성 및 투명성 기반의 무선접속

4. 기존 IMT 및 타 시스템과의 관계

6G의 성능은 5G의 그것을 훨씬 능가한다. 이러한 6G의 성능 요구 사항을 만족시키기 위해 다음 2가지 접근 방법을 고려할 수 있다.

- 기존 IMT의 성능 개선
- 새로운 무선접속을 포함한 NR 개발

5G의 경우, 3GPP는 GCS 승인을 획득하기 위해, RIT와 SRIT의 2가지 형태로 후보 기술을 제출하였다. RIT는 NR 단독 기술규격이고, SRIT는 IMT-Advanced(4G)의 성능을 개선한 규격과 NR 규격을 통합(Integration)한 규격이다. NR은 기존 IMT

와의 하위호환(Backward Compatibility) 조건을 고집하지 않으므로 새로운 기술을 쉽게 수용할 수 있는 장점이 있다.

또한 6G는 지상망(TN)으로 분류되는 IMT와 비지상망 그리고 IMT 이외의 지상망과의 상호연동(Interworking)을 통한 연결의 보편화를 추구하고 있다. 비지상망은 위성, HIBS, UAS 등을 포함하고 있으며 IMT 이외 지상망으로 RLAN, 방송 등이 있다.

IV. ITU-R과 3GPP와의 관계

6G 이동통신 시스템 개발은 ‘6G Framework 권고(M.2160)’가 제시하는 타임라인에 따라 진행된다. 따라서 6G GCS를 위한 후보 기술 제안은 2027년부터 시작될 예정이다(그림 4). 제안된 후보 기술은 ITU-R 보고서, ‘평가 기준 및 평가 방법(Evaluation Criteria & Methodology)’에 따라 평가된다. 만약, 제안된 후보 기술이 ITU-R 보고서, ‘기술 성능 요구 사항’에 기술된 모든 조건을 만족시키면 구성원의 합의로 6G GCS로 승인된다.

3GPP는 이동통신 시스템 규격을 개발하는 사실상 표준화단체로, 6G GCS 승인을 목표로 후보 기술을 개발한 다음 이를 ITU-R에 제출할 능력을 갖

출 가장 강력한 단체다.

2023년 12월, 3GPP에서는 Release 18 작업이 진행 중이고, 2024년 초에 Release 19 작업이 시작될 예정인데 이들은 모두 5G-Advanced 관련 내용을 다룬다.

그러나 2030년 6G 상용화를 목표로, 3GPP 구성 파트너인 ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC는 2023년 12월 3일, 차세대 이동통신 시스템, 6G 기술 규격 개발을 약속하였다.

3GPP는 Release 20에서 6G Study Item을 수행하여 기술보고서(TR)를 발간하고, 이를 기반으로 Release 21 Work Item을 통해 6G를 위한 기술규격(TS)을 완성하여, 이를 6G GCS 후보 기술로 ITU-R에 제출할 것으로 예측된다.

V. 결론

ITU-R이 ‘미래기술동향 보고서(M.2516)’와 ‘6G Framework 권고(M.2160)’를 공표함에 따라 6G를 위한 연구개발이 본격화되고 있다. 향후 ITU-R은 ‘기술 성능 요구 사항’ 보고서를 통해 평가가 수행되는 시험환경(Test Environment)과 이와 관련하여 아직 결정되지 않은 평가 항목 및 성능지표 목표값 등을 정

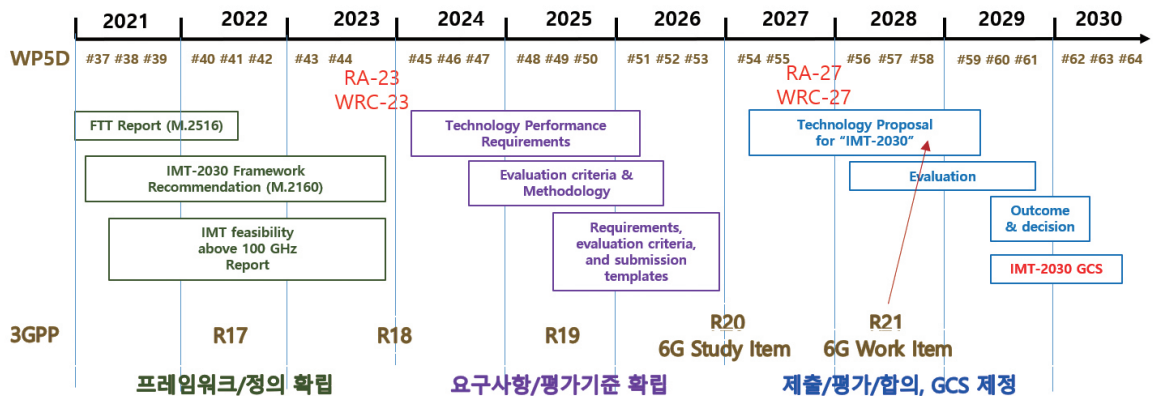


그림 4 6G 개발 예상 절차

의할 예정이다. 또한, ‘평가 기준 및 평가 방법’ 보고서를 통해 후보 기술의 성능 평가 절차 및 방법을 정의할 예정이다.

그리고 ‘요구 사항, 평가 기준 및 제출 양식(Requirements, Evaluation Criteria, and Submission Templates)’ 보고서도 발간될 예정인데, 후보 기술 제안자는 본 보고서에 포함된 양식을 통해 제안 기술의 요약, 링크버킷 및 자체 평가 결과를 제출할 수 있다.

현재 널리 사용되고 있는 거대언어모델의 대중적 입출력 포맷은 텍스트이다. 만일 이들의 입출력 포맷이 6DoF 영상 등을 포함한 다차원 감각의 multi-modal 형태로 제공된다면, 6G 사용자는 몰입감을 포함하여 이전 세대의 시스템에 의해 제공되었던 것과는 판이한 서비스를 체험할 것이다. 또한 6G에서는 인공지능, 센싱, 통신의 고도 융합을 통해 다양한 형태의 사용자 단말이 제공될 것이고, 이를 위해 다수의 성능지표를 동시에 만족해야 할 필요성이 제기된다.

약어 정리

3GPP	3rd Generation Partnership Project
6DoF	6 Degrees of Freedom
AI	Artificial Intelligence
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ATIS	Alliance for Telecommunications Standards Institute
CCSA	China Communications Standards Association
CPP	Carrier Phase Positioning
CS	Compressed Sensing
D2D	Device to Device
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DOICT	Data, Operation, Information, and Communication Technologies

DTN	Digital Twin Network
eMBB	enhanced Mobile BroadBand
E-MIMO	Extreme-Multiple Input Multiple Output
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FTT	Future Technology Trend
GCS	Global Core Specification
HAPS	High Altitude Platform System
HARQ	Hybrid Automatic ReQuest
HIBS	HAPS as IMT Base Station
HRLLC	Hyper-reliable and Low-Latency Communication
IEG	Independent Evaluation Group
IBFD	In-Band Full Duplex
IMT	International Mobile Telecommunication
ITU-R	International Telecommunication Union Radiocommunication Sector
KPI	Key Performance Indicator
LDPC	Low Density Parity Check
LTE	Long Term Evolution
mMTC	massive Machine-Type Communications
MUSA	Multi-user Shared Access
NOMA	Non-orthogonal Multiple Access
NR	New Radio
NTN	Non-Terrestrial Network
OAM	Orbital Angular Momentum
OMA	Orthogonal Multiple Access
OTFS	Orthogonal Time Frequency Space
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
PDMA	Pattern Division Multiple Access
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RIS	Reconfigurable Intelligent Surface
RIT	Radio Interface Technology
RLAN	Radio Local Area Network
SCMA	Sparse Code Multiple Access

SDG	Sustainable Development Goals
SG	Study Group
SLAM	Simultaneous Localization And Mapping
SRIT	Set of Radio Interface Technologies
TN	Terrestrial Network
TR	Technical Report
TS	Technical Specification
TSDSI	Telecommunications Standards Development Society, India
TTA	Telecommunications Technology Association
TTC	Telecommunication Technology Committee
UAS	Unmanned Aerial Systems
UDN	Ultra Dense Network
UN	United Nations
URLLC	Ultra-Reliable and Low Latency Communications
WP	Working Party
WRC	World Radio Congress
XR	eXtended Reality

참고문헌

- [1] Recommendation ITU-R M.2150-0(02/2021), "Detailed specifications of the terrestrial radio interfaces of International Mobile Telecommunications-2020 (IMT-2020)," 2021.
- [2] Recommendation ITU-R M.2150-1(02/2022), "Detailed specifications of the terrestrial radio interfaces of International Mobile Telecommunications-2020 (IMT-2020)," 2022.
- [3] Recommendation ITU-R M.2083(09/2015), "IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," 2015.
- [4] Report ITU-R M.2410(11/2017), "Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interfaces," 2017.
- [5] Report ITU-R M.2411, "Requirements, evaluation criteria and submission templates for the development of IMT-2020," 2020.
- [6] Report ITU-R M.2412, "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020," 2020.
- [7] Recommendation ITU-R M.2160-0(11/2023), "Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond," 2023.
- [8] Report ITU-R M.2516(11/2022), "Future technology trends of terrestrial IMT systems towards 2030 and beyond," 2022.
- [9] Document 5D/TEMP/910, "Technical feasibility of IMT in bands above 100GHz," 2021.