

위성통신과 6G의 통합: 새로운 패러다임과 도전과제

최경일 KT SAT 기술총괄

1. 머리말

통신 기술의 진화는 인류의 연결성을 지속적으로 확장해 왔다. 5G가 상용화 되며 초고속, 초저 지연, 초연결 시대가 열렸지만, 여전히 도서산간 지역과 해상, 항공 등 통신 음영지역이 존재한다. 통신망이 잘 발달된 미국의 경우, 여전히 전체 국토의 25%가 통신이 되지 않는 음영지역이며, 브라질은 국토면적 75%에서 통신이 되지 않는다고 한다[그림 1]. 6G 시대를 맞이해 통신 산업은 TN(지상망, Terrestrial Network)과 NTN(비지상망, Non-Terrestrial Network)의 통합이라는 새로운 전환점에 서 있다.

GSMA(세계이동통신사업자협회, Global System for Mobile Communications Association) 2023년 보고서[1]에 따르면, 2030년까지 위성통신과 6G 통합 시장은 연평균 23.4% 성장해 2,800억 달러 규모에 이를 것으로 전망된다. 이러한 성장 전망의 배경에는 LEO(저궤도, Low Earth Orbit) 위성군의 급속한 발전, 지상이동통신 사업자들의 위성통신 도입 필요성 증가, 그리고 정부 차원의 디지털 격차(Digital Divide) 해소 정책이 자리잡고 있다.

이번 원고에선 6G 시대 TN과 NTN의 통합이 필요한 기술·경제적 배경을 살펴보고, 이를 위한 핵심 기술과 도전과제, 그리고 위성통신 사업자들의 패러다임 전환 필요성을 논의하고자 한다.



[그림 1] John Deere - Extract from Presentation in Satellite 2024

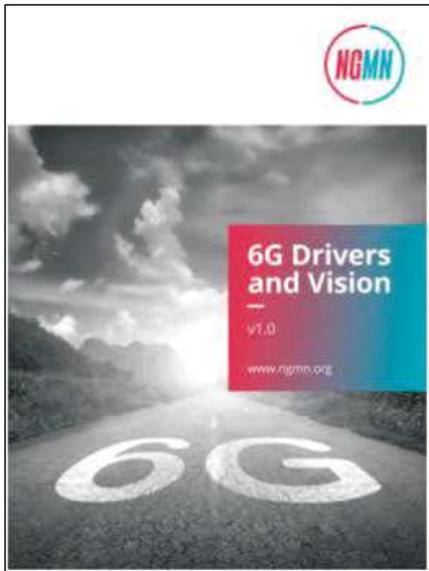
2. 6G 기술 현황 및 구축비용의 경제성

2.1 6G 성능 요구사항과 기술적 도전

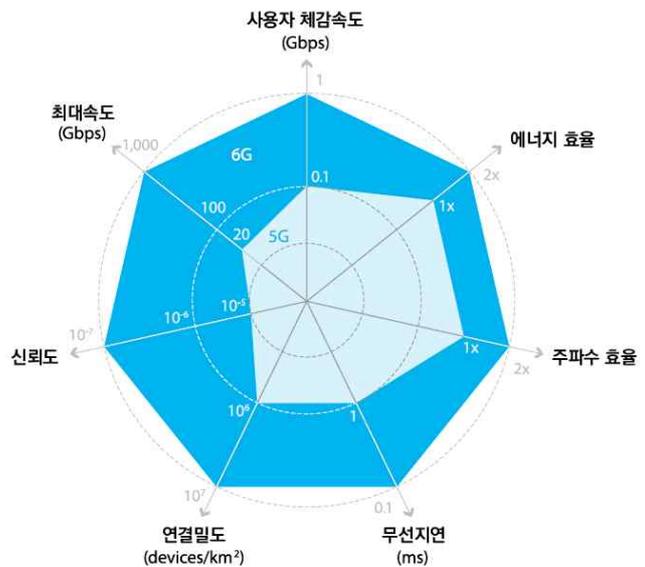
NGMN(차세대 모바일 네트워크 연합, Next Generation Mobile Network)이 제시한 '6G Drivers and Vision' 보고서[2]는 6G 네트워크의 핵심 성능 지표를 다음과 같이 정의한다:

- 최대 1 Tbps 데이터 전송속도(5G 대비 100배 향상)
- 99.99999% 신뢰성(5G 대비 100배 향상)
- 100 μ s 이하 지연시간(5G 대비 10배 향상)
- 1km² 당 100만 개 이상의 기기 연결
- 전 지구적 범위의 끊김 없는 연결성 보장

이러한 요구사항은 단순한 수치의 향상이 아닌, 완전히 새로운 차원의 네트워크 구조를 필요로 한다. 삼성리서치(Samsung Research)[3]는 특히 System of Systems 개념을 통해 TN, 위성망, UAV(무인항공기, Unmanned Aerial Vehicle) 네트워크 등 다양한 통신 시스템의 유기적 통합이 필수적임을 강조했다.



[그림 2] NGMM 6G Drivers and Vision [1]



[그림 3] Samsung 6G White Paper Requirements [2]

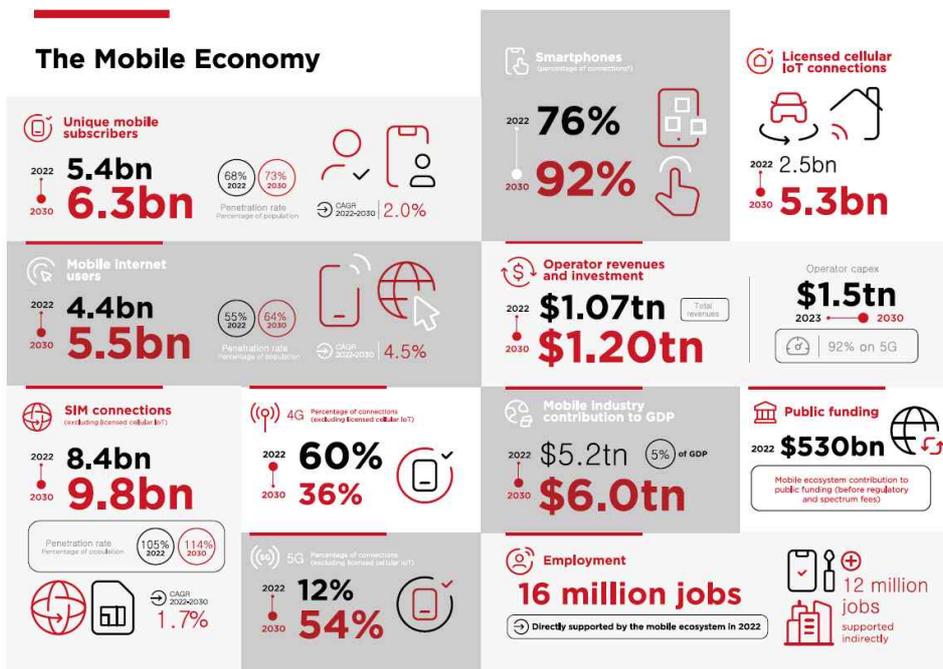


[그림 4] TN과 위성통신망의 발전 방향

2.2 구축 비용과 경제성 분석

6G 네트워크 구축을 위한 투자 비용은 현재 운영중인 5G 네트워크 대비 획기적인 증가가 예상된다. ITU-R의 'Future Technology Trends' 보고서(2023)[4]는 6G 구축 비용 증가의 주요 요인을 세 가지로 분석했다. 첫째는 초고주파 대역 활용을 위한 네트워크 고밀도화다. 특히, 100GHz 이상 주파수 대역에선 전파 감쇄로 인해 현재보다 훨씬 조밀한 기지국 배치가 필요하다. 둘째는 Massive MIMO(다중 안테나, Multi Input Multi Output)와 같은 고도화된 안테나 시스템의 도입이다. 셋째는 테라급 데이터 처리를 위한 백홀(Backhaul) 네트워크의 용량 증설이다.

[그림 5]에서 보이는 GSMA 'Mobile Economy Report (2024)'[1]는 이러한 투자 부담이 통신 사업자들의 수익성에 미치는 영향을 분석했다. 보고서에 따르면, 글로벌 통신 사업자들의 5G 투자 회수가 아직 초기 단계에 있는 상황에서, 6G를 위한 추가 투자는 상당한 재무적 부담이 될 것으로 예상된다.



[그림 5] GSMA Mobile Economy 2023 – Extract of Infographics

특히, 선진국 시장에서 ARPU(가입자당 평균매출, Average Revenue Per User)가 정체돼 있는 점이 우려사항으로 지적됐다.

이러한 경제적 도전은 새로운 네트워크 구축 방안의 필요성을 제기한다. 특히 지상 인프라 구축이 비효율적인 지역에선 위성통신과의 통합이 비용 효과적인 대안이 될 수 있다. 이는 Universal Connectivity 달성이라는 6G의 핵심 목표를 좀 더 효율적으로 실현할 수 있는 방안으로 주목받고 있다.

가장 큰 비용 증가 요인은 기지국 밀도의 대폭적인 증가다. 6G에서 요구되는 1Tbps급 데이터 전송속도를 지원하기 위해선 테라헤르츠 대역 활용이 불가피한데, 이 주파수 대역은 전파 감쇄가 심해 현재 매크로셀 구조로는 서비스 제공이 어렵다. 그 결과, 도심지역의 경우 기지국 간 거리를 100m 이하로 좁혀야하며, 이는 현재 5G 네트워크 대비 10배 이상의 기지국이 필요함을 의미한다. 여기에 건물 내부 통신 품질을 보장하기 위한 초소형셀 구축, 테라헤르츠 전파의 직진성향을 극복하기 위한 구간별 리피터 설치 등까지 고려하면, 기지국 구축 비용만으로도 요구되는 투자가 현저하게 증가할 것이다.

두 번째로 큰 비용 증가 요인은 네트워크 장비 고도화다. 테라헤르츠 대역 지원을 위한 RF 시스템, 초고밀도 Massive MIMO 안테나, AI 기반 네트워크 최적화 시스템 등 기존 장비들의 전면적인 교체가 필요하다. 특히 테라헤르츠 대역용 RF 부품은 현재 상용화된 사례가 없어, 초기에는 매우 높은 단가가 예상된다.

세 번째 주요 비용 요인은 백홀/프론트홀(fronthaul) 네트워크 용량 증설이다. 1Tbps급 무선 접속 네트워크를 지원하기 위해선 그에 상응하는 백홀 용량이 필요하다. 대부분 구간에서 광섬유 네트워크 구축이 필수적이며, 광케이블 포설이 어려운 구간에는 고용량 밀리미터파 백홀 시스템이 도입돼야 한다. 또한, 네트워크 가상화와 동적 자원 할당을 위한 인프라 구축 비용까지 고려하면, 백홀/프론트홀 부문에서만 70% 추가 투자가 예상된다.

이러한 막대한 투자 비용은 통신 사업자들의 수익성에 심각한 위협이 될 것이다. 현재도 5G 투자 비용 회수에 어려움을 겪고 있는 상황에서, 2.5배에 달하는 추가 투자는 사업의 지속가능성마저 위협할 수 있다. 특히 ARPU가 정체돼 있는 현실을 고려할 때, 순수하게 TN 기반으로 6G를 구축하는 것은 경제적으로 타당성이 떨어진다.

결론적으로, 이러한 경제적 도전은 위성통신과의 통합을 통해 시스템 구축 비용을 절감하고, 새로운 수익 모델을 창출해야 하는 근본적 이유가 된다.

2.3 지역별 구축 비용 격차

6G 네트워크 구축 비용은 지역적 특성에 따라 현저한 차이를 보일 것으로 예상된다. 특히, 농어촌 지역과 도서산간 지역에서의 네트워크 구축은 기술적, 경제적으로 큰 도전과제가 될 것이다. 세계은행(World Bank)의 'Digital Development Report(2023)' [5]에선 농어촌 지역 통신 인프라 구축에서 발생하는 주요 비용 요인들을 분석했다. 첫째는 인구밀도의 문제다. 동일한 커버리지 확보를 위해 더 많은 기지국이 필요하지만, 이용자 수가 적어 투자 회수가 어렵다. 둘째는 기지국 구축을 위한 부대 비용이다. 진입로 개설, 전력 인프라 구축, 백홀 네트워크 연결 등 도심 지역에선 발생하지 않는 추가 비용이 필요하다. 셋째는 유지보수 비용이다. 접근성이 떨어지는 지

역의 특성상 장비 점검과 수리에 더 많은 시간과 비용이 소요된다.

도서산간 지역의 경우, GSMA의 'Mobile Internet Connectivity(2024)' [6]는 백홀 네트워크 구축이 가장 큰 비용 요인임을 지적했다. 해저 케이블 포설이나 장거리 무선 백홀 구축에 막대한 비용이 소요되며, 지형적 제약으로 인해 일부 지역에선 기술적 구현자체가 불가능할 수 있다. 또한, 자연재해에 취약한 특성상 네트워크 복원력 확보를 위한 추가 투자가 필요하다.

이러한 비용 격차는 디지털 격차 심화로 이어질 수 있다. OECD(경제협력개발기구, Organisation for Economic Co-operation and Development)의 'Digital Economy Outlook(2023)'에 따르면, 현재도 도시와 농촌 간 broadband 보급률 격차가 OECD 국가 평균 15% 이상을 기록하고 있다. 6G의 고도화된 성능 요구사항은 이러한 격차를 더욱 확대시킬 우려가 있다.

여기서 위성통신과의 통합은 중요한 의미를 갖는다. 맥킨지(McKinsey)의 'Space Economy Report(2023)'는 위성통신이 지상 인프라 구축이 어려운 지역에서 비용 효과적인 대안이 될 수 있음을 분석했다. 특히 LEO 위성군을 활용할 경우, 지형적 제약에 관계없이 일관된 서비스 품질을 제공할 수 있다는 장점이 있다.

이는 단순한 비용 효율성의 문제를 넘어 보편적 서비스 제공이라는 사회적 책임과도 연결된다. UN(국제연합, United Nations)의 'Digital Inclusion Framework(2023)'는 통신 서비스에 대한 보편적 접근성이 지속가능발전목표(SDGs) 달성을 위한 핵심 요소임을 강조했다. 6G 시대에 위성-지상 통합 네트워크는 이러한 목표 달성을 위한 현실적인 해결방안이 될 수 있다.

3. 위성-6G 통합 네트워크 구조

3.1 TN 과 NTN 의 통합표준 필요성

현재 위성통신과 지상이동통신은 주파수 대역과 표준화 측면에서 완전히 분리돼 발전해 왔다. 지상이 동통신이 주로 10GHz 이하 주파수를 사용하는 반면, 위성통신은 주파수 대역별로 서로 다른 표준과 시스템을 발전시켜 왔다. 이러한 분절화된 발전 양상은 6G 시대 통합 네트워크 구현에 있어 큰 도전 과제가 될 것으로 예상된다.

L-밴드와 S-밴드를 사용하는 위성전화 시스템들은 각자 독자적인 표준을 발전시켜 왔다. 이리듐(Iridium), 글로벌스타(Globalstar), 투라야(Thuraya) 등 위성통신 사업자들은 자체적인 통신 프로토콜과 단말기를 개발해 D2D(단말직접통신, Direct-to-Device) 서비스를 제공해 왔으나, 이들 간 상호운용성은 전혀 보장되지 않는다. 더욱이 높은 통신 비용으로 인해 일반 사용자들의 접근성이 매우 제한적이다.

한편, C-밴드, Ku-밴드, Ka-밴드를 사용하는 위성통신 시스템들은 DV B-S 표준을 따르거나(유텔샷(Eutelsat), SES(Société Européenne des Satellites) 등), 독자적인 모뎀 규격을 사용하고 있다(비아셋(Viasat) 등). 이들은 대형 접시 안테나와 전용 단말기를 필요로 해, 이동통신 단말기와의 호환성이 전혀 없는 실정이다.

그러나 6G 시대 NTN 위성통신이 TN의 보완재 역할을 수행하기 위해선 이러한 파편화된 표준 체계를 극복해야 한다. 특히 Universal Connectivity 구현을 위해선 모든 위성통신 시스템이 동일한 표준을 따라야 하며, 이는 3GPP가 주도하는 표준화 작업을 통해 실현될 것으로 예상된다.

현재 여러 민간 프로젝트로 진행 중인 LEO NTN Constellation 중 일부분은 현재까지 발표된

3GPP 이동통신 표준을 정확하게 따르지는 않으면서도, 지상의 기존 휴대폰과 통신할 수 있는 기술을 구현했다. 이들은 향후 Constellation 이 완성되면 그 때 발표되는 6G 표준을 따라갈 것으로 예상된다(<표 1> 참조).

<표 1> D2C Satellite Constellations

	Lynk Global	AST SpaceMobile	STARLINK (美)	MSSA (global)
Service Start	2023	2026~	2021(북미~)	2026~
No. Sat. (launched)	5,110 sats (7)	336 (1+5) Blue Walker 3	42,000(4,425) 800 D2C Sat foreseen in 2024	200 (2) LEO+15 MEO2 Spark 1, 2
Constellation	70 planes x 70 sat/pl. 20 planes x 10 sat/pl.	110 sat by 2026 +58 sat by 2027 MIMO	4,425 -> 42,000('27) in LEO	200 in LEO+15 in MEO
Orbits	500km	700km	550km/350km (D2C)	-
Sat. Manuf.	Lynk Global	AST SpaceMobile	SpaceX	-
User Frequency	600-960 MHz	698-960 MHz LTE bands	Ku-Band 1.6-2.7 GHz LTE (T-mobile 협업)	MSS (co-primary) 1985-2015 MHz U/L 2170-2200 MHz D/L
Cell Size	90km	48km	???	???
Business	Mobile Phone Subscription	Mobile Phone Subscription	Mobile Phone Subscription	MSS-Terrestrial Hybrid Subscription
Standard	Proprietary	Proprietary	Proprietary	3GPP NTN

그러나, 6G 표준화 작업에선 더욱 커다란 우산으로 모든 시스템들의 통합을 염두에 두고 있다. 특히, L-밴드에서 Ka-밴드에 이르는 모든 위성통신 주파수 대역과, GEO(정지궤도, Geosynchronous Earth Orbit)에서 LEO까지 이르는 모든 궤도 위성들이 3GPP 표준을 따르도록 하는 것이 핵심 목표다. 이는 다음과 같은 이점을 제공할 것으로 기대된다.

- 단말기 범용성 확보: 하나의 단말기로 모든 위성통신 서비스 이용 가능
- 통신 비용 절감: 표준화된 장비 생산으로 인한 규모의 경제 실현
- 끊임 없는 서비스: 위성-위성 간, 위성-TN 간 자유로운 핸드오버
- 서비스 혁신 촉진: 개방형 표준을 통한 새로운 서비스 개발 용이

이러한 배경에서, 개방형 통합 아키텍처의 필요성이 대두되고 있다.

3.2 개방형 통합 아키텍처의 필요성

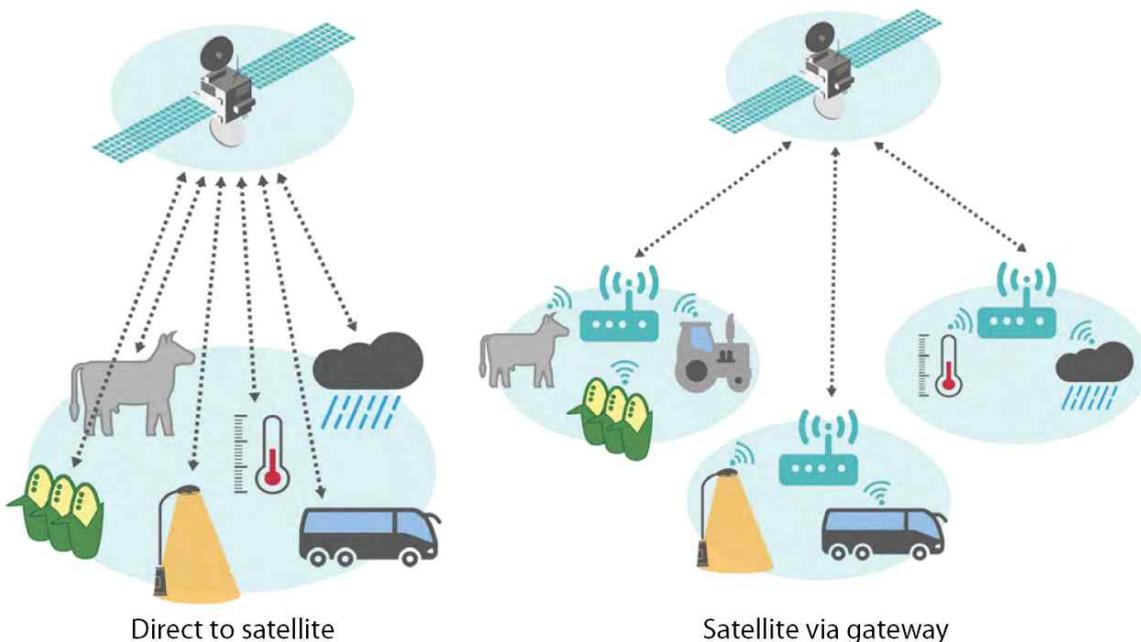
3GPP TR 38.821[7]에서 제시된 위성-지상 통합 네트워크 아키텍처는 기존 이동통신 시스템의 패

러다임을 근본적으로 변화시킨다. 전통적으로 위성통신과 지상이동통신은 완전히 독립적인 제어 평면(Control Plane) 및 데이터 평면(Data Plane)을 가지고 있었으나, 6G에선 이들을 단일 아키텍처로 통합해 끊김 없는 서비스를 제공해야 한다.

통합 제어 평면 구현은 이 아키텍처의 가장 핵심적 요소다. 사용자 인증의 경우, 현재는 위성통신과 TN에서 각각 독립적인 인증 절차를 거쳐야 하지만, 통합 아키텍처에선 단일 인증 시스템을 통해 모든 네트워크에 접근할 수 있어야 한다. 이를 위해, 3GPP는 5G코어 네트워크의 인증 서버 기능(AUSF)을 확장해 위성망까지 포괄하는 통합 인증 체계를 제안하고 있다. 이동성 관리 역시 통합적으로 이뤄져야 하는데, 특히 LEO 위성의 고속 이동성을 고려한 새로운 이동성 관리 프로토콜이 필요하다. QoS 보장 메커니즘은 서비스 특성에 따라 TN과 위성망을 동적으로 선택하고, 필요한 경우 두 네트워크를 동시에 사용할 수 있어야 한다.

데이터 평면의 유연성은 서비스 연속성 보장을 위해 필수적이다. 통합 아키텍처는 실시간으로 네트워크 상태를 모니터링하고, 각 서비스 요구사항에 따라 최적의 전송 경로를 선택할 수 있어야 한다. 예를 들어, 고화질 비디오 스트리밍의 경우 대용량 데이터는 위성망을 통해, 제어 신호는 TN을 통해 전송하는 등의 트래픽 분산이 가능해야 한다. 특히 중요한 것은 한 네트워크에서 다른 네트워크로 전환될 때 서비스 연속성이 보장돼야 한다는 점이다.

네트워크 슬라이싱은 통합 아키텍처의 또 다른 핵심 요소다. 각각 서비스 특성에 따라 TN과 위성망의 자원을 최적으로 조합한 가상 네트워크를 구성할 수 있어야 한다. 예를 들어, 자율주행차량을 위한 슬라이스는 초저지연을 위해 주로 TN을 사용하되, 터널이나 음영지역에선 자동으로 위성망으로 전환돼야 한다. 사물인터넷(IoT) 기기를 위한 슬라이스는 전력 효율성을 고려해 위성망 위주로 구성할 수 있다([그림 6] 참조). 이를 위해선 각 슬라이스별로 자원을 완벽하게 격리하고, 서비스 요구사항 변화에 따라 동적으로 자원을 재할당할 수 있는 기능이 필요하다.



[그림 6] D2C vs. IoT-Backhaul-via-Satellite

이러한 통합 아키텍처 구현을 위해선 표준화된 인터페이스와 프로토콜 정의가 선행되어야 한다. 현재 3GPP에선 NTN 통합을 위한 새로운 인터페이스들을 정의하고 있으며, 특히 위성망의 특성을 고려한 프로토콜 최적화에 중점을 두고 있다. 이는 단순한 기술적 과제를 넘어, 전체 통신 산업 생태계의 변화를 이끌 것으로 예상된다.

3.3 단말기 생태계 변화

단말기 시장에선 위성통신 기능 통합이 이미 시작되고 있다. 애플(Apple)은 2022년 출시한 아이폰14(iPhone 14) 시리즈부터 글로벌스타의 위성망을 활용한 긴급 SOS 서비스를 제공하고 있다. 비록 현재는 제한된 기능만을 제공하지만, 이는 위성통신이 일반 스마트폰에 통합되는 시작점으로서 중요한 의미를 갖는다.

스마트폰 제조사들의 이러한 움직임은 향후 6G 시대 단말기 생태계가 어떻게 변화할지를 보여주는 전조라 할 수 있다. 특히 다음과 같은 기술적 진화가 예상된다.

1. 통합 RF 시스템

- TN(10GHz 이하)과 위성망(L-밴드에서 Ka-밴드까지)을 모두 지원하는 다중대역 안테나 시스템
- 위성 추적과 빔포밍을 위한 적응형 안테나 기술
- 다중 주파수 대역 동시 사용을 위한 전력 효율 최적화 기술

2. 프로토콜 스택 통합

- 3GPP 표준 기반 통합 프로토콜 지원
- 위성망-TN 간 심리스 핸드오버
- 네트워크 상태에 따른 지능형 경로 선택

이러한 기술 발전은 단말기 제조사들에게 새로운 도전이 될 것이나, 동시에 차세대 프리미엄 단말기 시장을 선점할 수 있는 기회이기도 하다.

4. 핵심 기술 과제와 해결방안

4.1 주파수 공유와 간섭 관리

위성통신과 지상이동통신 주파수 공유를 두고, 2024년 들어 두 가지 상반된 접근방식이 경쟁하는 양상이 나타나고 있다. 한편에선 지상이동통신 사업자들의 주파수를 위성통신에 활용하려는 시도가, 다른 한편에선 기존 위성 주파수를 활용해 스마트폰과 직접 통신하려는 시도가 진행되고 있다.

2024년 2월 21일, FCC(미국 연방통신위원회, Federal Communications Commission)는 위성사업자들이 지상이동통신 사업자들의 주파수를 활용할 수 있는 규제 프레임워크 최종안 (<https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-24-28A1.pdf>)을 발표했다. 이는 T-모바일(T-Mobile)과 제휴한 스페이스X(SpaceX)의 스타링크(Starlink), AT&T와 협력중인 AST 스페이스모바일(SpaceMobile) 등이 추진하는 사업 모델을 지원하는 것이다. 그러나 이러한 접근방식은 TN과의 간섭 문제라는

중대한 기술적 도전에 직면해 있다.

이에 대한 대안으로, 2024년 2월 9일 비아셋, 테레스타 솔루션스(Terrestar Solutions), 리가도 네트워크(Ligado Networks), 옴니스페이스(Omnispace), 야셋(Yahsat) 등 주요 위성사업자들은 MSSA (Mobile Satellite Services Association)를 결성했다. MSSA는 L-밴드와 S-밴드에서 100MHz 이상의 위성 주파수를 보유하고 있으며, 이를 활용한 표준화된 D2D 서비스를 추진하고 있다.

특히 스카일로(Skylo)가 개발한 지상 인프라 기술을 통해 2024년 말까지 GEO위성을 이용한 스마트폰 메시징 서비스 출시를 계획하고 있고, 이와 병행해 2027년까지 150기 이상의 LEO위성을 발사해 글로벌 커버리지 D2D 서비스를 출시할 계획이다(<표 1>참조).

두 접근방식은 각각 장단점을 가지고 있다. 스페이스X, AST 스페이스모바일 등이 추진하는 TN 주파수 활용 방식은 기존 스마트폰을 그대로 사용할 수 있다는 장점이 있으나, 간섭 관리와 각 국가별 규제승인이라는 난관을 극복해야 한다. 무게 1,500kg, 넓이 64㎡ 대형 안테나를 부착한 AST 스페이스모바일의 블루워커(BlueWalker) 3 위성은 이러한 문제를 기술적으로 해결하려는 시도다.

반면 MSSA가 추진하는 위성 주파수 활용 방식은 이미 확보된 주파수 권한을 바탕으로 좀 더 안정적인 서비스 제공이 가능하다. 그러나 이를 위해선 스마트폰 제조사들이 관련 기능을 지원하는 새로운 단말기를 출시해야 한다는 제약이 있다.

이러한 상황은 6G 시대 위성-지상 통합 네트워크 구현에 있어 다음과 같은 시사점을 제공한다.

1. 주파수 활용 전략의 다각화 필요성
 - TN 주파수와 위성 주파수의 상호보완적 활용
 - 서비스 특성에 따른 최적 주파수 대역 선택
 - 국제적 주파수 조화를 통한 글로벌 로밍 지원
2. 간섭 관리를 위한 기술적 해결방안
 - 대형 안테나 기반 정밀 빔포밍 기술
 - AI 기반 실시간 간섭 예측 및 회피
 - 위성망-TN 간 동적 조정 프로토콜
3. 표준화 및 생태계 구축 방향
 - 단말기 호환성 확보를 위한 표준화
 - 긴급통신 등 공공안전 서비스 지원
 - 전파천문 등 기존 서비스 보호 방안

이러한 과제들의 해결은 6G 표준화 과정에서 위성통신과 TN의 효과적 통합을 위한 핵심 선결조건이 될 것이다.

4.2 미래 주파수 운용 방안

6G 시대 위성-지상 통합 네트워크를 위한 주파수 운용은 현재의 정적인 할당 방식에서 벗어나

좀 더 유연하고 효율적인 체계로 진화해야 한다. 특히 위성통신이 지상이동통신의 보완재 역할을 넘어 통합된 네트워크의 핵심 구성요소로 자리잡기 위해서는, 새로운 주파수 운용 패러다임이 필요하다.

먼저, 전용 주파수 대역의 신규 할당이 검토돼야 한다. 현재 지상이동통신은 주로 10GHz 이하 대역을, 위성통신은 L-밴드에서 Ka-밴드에 이르는 다양한 대역을 사용하고 있다. 6G에선 이러한 이분법적 구분을 넘어, 위성-지상 통합 서비스를 위한 새로운 주파수 대역이 필요하다. 한국에선 기존 5G 에서 28GHz 테라헤르츠 대역을 5G 네트워크에 할당했었다. 다만, 결과적으로 주파수 특성 이유로 인해, 제대로 된 활용 케이스를 만들지 못하고 통신 3사가 할당됐던 주파수를 정부에 반납할 수밖에 없었던 결과를 낳았다. 이러한 상황을 반면교사로 삼아 신규 6G 주파수 대역 할당에 대한 고민이 필요하다. 기본적으로는 6G TN 주파수 대역과 6G NTN 주파수 대역을 분리해 할당함으로써 상호 간 간섭 이슈를 해결하고, 휴대전화를 포함하는 지상 단말기 제조사들이 전 세계적으로 판매가 가능한 표준화된 단말을 제작할 수 있도록 해야 한다.

둘째, 동적 주파수 공유 체계 도입이 필수적이다. AI와 머신러닝 기술을 활용해 실시간으로 주파수 사용 현황을 모니터링하고, 서비스 요구사항과 전파 환경에 따라 최적의 주파수를 할당하는 시스템이 필요하다. 예를 들어, 도심 지역에선 TN 위주로 주파수를 할당하되 트래픽 과부하 시 위성망이 보완하고, 교외지역에선 위성망에 우선권을 부여하는 식의 유연한 운용이 가능해야 한다.

셋째, 국제적 차원의 주파수 조화가 중요하다. 현재 위성통신 사업자들은 국가별로 상이한 주파수 규제에 직면해 있어, 글로벌 서비스 제공에 어려움을 겪고 있다. 6G 시대에는 ITU(국제전기통신연합, International Telecommunication Union)를 중심으로 글로벌 차원의 주파수 조화가 이뤄져야 하며, 이는 특히 LEO 위성군의 효율적 운용을 위해 필수적이다.

넷째, 주파수 간섭 관리를 위한 기술적 프레임워크가 마련돼야 한다. 여기에는 다음과 같은 요소들이 포함돼야 한다.

1. 예측적 간섭 관리 시스템
 - 위성 궤도 운동과 TN 트래픽 패턴 분석
 - 기상 조건과 전파 환경 변화 예측
 - 실시간 간섭 위험 평가 및 경보
2. 자동화된 주파수 조정 메커니즘
 - 위성망-TN 간 실시간 정보 교환
 - 서비스 우선순위에 따른 동적 주파수 재할당
 - QoS 보장을 위한 자원 최적화
3. 긴급상황 대응 체계
 - 자연재해 등 비상시 즉각적인 주파수 재배치
 - 긴급통신 서비스를 위한 우선 할당
 - 백업 주파수 자원 확보

이러한 미래 주파수 운용 체계는 단순한 기술적 혁신을 넘어 규제 체계의 혁신도 필요로 한다. 현재의 고정적이고 배타적인 주파수 면허 제도는 유연한 주파수 공유를 저해하는 요인이 될 수 있다. 따라서 새로운 형태의 면허 제도, 예를 들어 지역과 시간에 따라 차등화된 사용권한을 부여하는 방식이나, 실시간 경매를 통한 동적 할당 방식 등이 검토돼야 한다.

더불어, 주파수 운용의 효율성을 높이기 위한 경제적 인센티브 체계도 마련돼야 한다. 주파수 공유에 참여하는 사업자들에게 적절한 보상을 제공하고, 효율적인 주파수 활용을 촉진하는 시장 메커니즘의 도입이 필요하다. 이는 특히, 농어촌이나 도서산간 지역과 같이 수익성이 낮은 지역에서의 서비스 제공을 촉진하는 데 중요한 역할을 할 수 있다.

5. 위성통신 사업자의 패러다임 전환

5.1 기존 사업모델의 한계

전통적인 위성통신 사업자들은 독자적 생태계 내에서 고비용 서비스를 제공하는 사업모델을 고수해 왔다. 이들은 자체적인 주파수 대역, 전용 단말기, 독점적인 지상국 시스템을 기반으로 서비스를 제공하며, 주로 정부, 군대, 해운, 항공과 같은 특수 목적의 고객층을 대상으로 해 왔다. 그러나 이러한 폐쇄적인 사업 모델은 6G 시대에 더 이상 지속가능하지 않다.

이리돔, 글로벌스타, 투라야 등 위성전화 사업자들이 겪은 어려움은 이러한 한계를 잘 보여준다. 이들은 수십억 달러를 투자해 독자적인 위성통신 시스템을 구축했으나, 높은 서비스 비용과 제한된 시장으로 인해 대중화에 실패했다. 특히 지상이동통신의 급속한 발전으로 인해 위성통신의 고유 시장마저 축소되는 상황에 직면했다.

5.2 새로운 사업 기회와 R&D 방향

AST 스페이스모바일, 스타링크, MSSA 등 새로운 위성통신 사업자들의 등장은 산업 패러다임 전환을 잘 보여준다. 이들은 더 이상 독자적인 생태계 구축을 추구하지 않고, 지상이동통신 사업자와의 협력을 통해 보완적인 서비스를 제공하는 전략을 채택하고 있다.

이러한 변화는 R&D 투자 방향의 전환을 요구한다. 기존 전용 단말기 개발이나 독자적 통신 프로토콜 연구에서, TN과의 통합을 위한 기술개발로 초점이 이동해야 한다. 특히 다음과 같은 분야에 대한 투자가 중요하다.

첫째, 대형 전개형 안테나 기술이다. AST 스페이스모바일의 블루워커 3가 보여준 것처럼, 일반 스마트폰과의 직접 통신을 위해서는 혁신적인 안테나 기술이 필수적이다. 이는 단순한 크기의 문제가 아니라, 우주 환경에서의 안정적인 전개와 운용, 정밀한 빔포밍, 효율적인 전력 관리 등 복합적인 기술적 도전을 수반한다. 이를 가장 경쟁력이 있는 비용에 양산체계를 갖춰가는 것이 향후 6G NTN 시스템에서 중요한 역할을 할 것이다.

둘째, 통합 네트워크 관리 시스템 개발이다. 위성망과 TN이 하나의 네트워크처럼 작동하기 위해 선 고도화된 제어 시스템이 필요하다. AI와 머신러닝을 활용한 트래픽 관리, 실시간 간섭 제어, QoS 보장 등의 기술이 요구된다.

5.3 지상 이동통신 생태계와의 조화

위성통신 사업자들은 지상이동통신 생태계의 일원으로서 새로운 역할을 정립해야 한다. 이는 다음과 같은 전략적 접근을 필요로 한다.

첫째, 적극적인 표준화 활동 참여다. 3GPP를 중심으로 한 6G 표준화 과정에서 위성통신의 요구 사항을 반영하고, 동시에 TN과의 호환성을 확보하기 위한 노력이 필요하다. 특히 NTN 통합을 위한 새로운 인터페이스와 프로토콜 정의에 있어 위성통신 사업자들의 경험과 전문성이 중요한 자산이 될 수 있다.

둘째, 혁신적 협력 모델 개발이다. T-모바일과 스페이스X, AT&T와 AST 스페이스모바일의 협력은 새로운 비즈니스 모델의 가능성을 보여준다. 위성통신 사업자들은 지상망 사업자들의 주파수를 활용하면서, 동시에 그들의 서비스 범위를 확장하는 상생관계를 구축할 수 있다.

셋째, 서비스 차별화 전략 수립이다. 위성통신은 TN이 제공할 수 없는 고유한 가치를 창출해야 한다. 재난 통신, 항공/해상 통신, IoT 등 특화된 영역에서의 경쟁력을 강화하면서, 동시에 일반 소비자 시장에서도 의미 있는 역할을 찾아야 한다.

이러한 패러다임 전환은 단기간에 이뤄질 수 없으며, 산업계 전반의 협력과 지원이 필요할 것이다. 정부와 규제기관의 정책적 지원, 표준화 기구의 조정 역할, 그리고 무엇보다 위성통신 사업자들 스스로의 혁신 의지가 성공적인 전환의 핵심 요소가 될 것이다.

우리나라 정부는 2024년 6G 위성통신 예타 사업으로 NTN 기반 위성통신 시스템 개발 사업 [8]을 승인했다. 이 R&D는 국내 산업체들이 6G 시대에도 국제적으로 표준화된 이동통신 시장을 선도할 수 있는 매우 중요한 변곡점이 될 것으로 예상된다. 특히, 지상 단말기 시장에서 이미 전 세계적인 인정을 받고 있는 삼성전자를 포함한, 추가적인 TN+NTN 단말기(휴대전화, IoT 사물인터넷 장비 등) 제조사들이 국제 시장에서 높은 시장점유율을 차지할 수 있는 기회를 만들기를 기대한다.

6. 맺음말

6G 시대 위성통신은 기본적으로 지상이동통신의 보완재로 통합돼 통신 생태계의 핵심 구성요소로 진화해 갈 것이다. 이번 원고를 통해 살펴본 바와 같이, 이러한 전환은 기술·경제·제도적 측면에서 복합적인 도전과제들을 수반하지만, 동시에 통신 산업 전반에 새로운 기회를 제공할 것이다.

먼저, 기술적 측면에서 위성-지상 통합 네트워크 실현은 현재의 분절된 시스템을 근본적으로 재구성할 것을 요구한다. AST 스페이스모바일의 대형 전개형안테나 기술이나 스타링크의 차세대 위성 개발은 이러한 전환의 시작점에 불과하다. 특히, 주파수 공유와 간섭 관리 문제는 더욱 혁신적인 해결책을 필요로 한다. AI 기반 동적 주파수 관리, 정밀 빔포밍 기술, 실시간 네트워크 최적화 등이 핵심 기술이 될 것이며, 이는 6G 표준화 과정에서 중요하게 다뤄져야 할 것이다.

경제적 측면에서는 위성통신 사업자들의 과감한 패러다임 전환이 필요하다. 현재 T-모바일과 스페이스X, AT&T와 AST 스페이스모바일, 그리고 비아셋이 주도하는 MSSA의 D2D 경쟁은 산업의 변화 방향을 보여준다. 독자적 생태계에서 벗어나 지상이동통신 사업자들과의 협력을 통해 새로운 가치를 창출하는 것이 생존의 핵심 전략이 될 것이다. 특히, Universal Connectivity 구현을 위

한 투자 효율성 측면에서, 위성통신의 역할은 더욱 중요해질 것이다. 이와 병행해, 단말기당 통신속도를 충분히 올리기 어려운 D2D와 비교할 때 더 넓은 대역폭을 할당해 높은 통신속도를 제공할 수 있는 10 GHz 이상의 주파수 대역(Kuband, Ka-band, Q/V band 등), 아직까지는 시험 단계에 있지만 향후 상용화 가능성이 높은 레이저통신 등의 활용을 통한 위성 백홀(satellite backhaul) 시장의 확대도 6G 유틸리티 커뮤니케이션(ubiquitous communication)이라는 요구사항을 구현하기 위한 중요 요소로 작용할 것이라 예상된다.

제도적 측면에서는 좀 더 유연하고 효율적인 규제체계가 마련돼야 한다. 2024년 초 FCC의 D2D 활용 프레임워크는 이러한 변화의 시작이다. 그러나 이는 시작에 불과하며, 글로벌 차원의 주파수 조화, 우주자원의 효율적 활용, 공정한 경쟁 환경 조성 등을 위한 좀 더 포괄적인 제도적 혁신이 필요하다.

이러한 변화를 성공적으로 이끌어내기 위해선 다음과 같은 정책적 제언이 고려돼야 한다.

첫째, 국제적 차원의 협력 체계 강화다. 위성통신이 가진 본질적으로 초국경적인 특성을 고려할 때, 개별국가 차원 접근은 한계가 있다. ITU, 3GPP 등 국제기구들을 중심으로 한 국제 공조가 강화돼야 하며, 특히 주파수 관리와 궤도 자원 활용에 있어 좀 더 효율적인 국제 규범이 마련돼야 한다.

둘째, 혁신 촉진을 위한 지원 체계 구축이다. 지상안테나 기술, AI 기반 네트워크 관리 시스템 등 핵심 기술 개발에는 막대한 투자가 필요하다. 정부는 R&D 지원, 실증 사업 추진, 세제 혜택 등을 통해 산업계 혁신을 지원해야 한다. 필요하다면, 미국이나 유럽의 경우를 벤치마크 해 정부·군이 주요 수요처 역할을 자처함으로써 국내 산업체들의 투자와 해외 기업들의 국내 생산기지 구축을 유도하고, 이를 통해 수출할 수 있는 산업 생태계를 구축할 수 있어야 한다.

셋째, 공정한 경쟁 환경 조성이다. TN 주파수 활용방식과 위성 주파수 활용 방식 간 경쟁은 결국 국 기술과 서비스의 혁신으로 이어져야 한다. 이를 위해서는 특정 기술이나 사업 모델에 치우치지 않는 중립적인 규제 체계가 필요하다.

마지막으로, 공공성 확보를 위한 제도적 장치 마련이다. 위성통신이 Universal Connectivity 구현의 핵심 수단이 된다는 점에서, 공공 서비스로서의 성격도 강화돼야 한다. 특히 긴급통신, 재난 대응, 디지털 격차 해소 등 공공적 가치 실현을 위한 구체적인 의무와 지원 방안이 마련돼야 할 것이다. 현재 국내에서 구축되고 있는 국가 재난망 또는 지역적·지자체·공공기관들의 비상통신망에 위성통신 활용이 필수 요구사항으로 접목돼야 할 필요도 있다.

6G 시대 위성-지상 통합 네트워크는 단순한 기술적 진화를 넘어 통신의 새로운 패러다임을 제시할 것이다. 이는 도전이자 기회이며, 성공적인 전환을 위해선 산업계, 정부, 학계의 긴밀한 협력이 그 어느 때보다 중요할 것이다.

[참고문헌]

- [1] GSMA, "The Mobile Economy 2023," 02 2023. [Online]. Available: <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/mobile-economy/wp-content/uploads/2023/03/270223-The-Mobile-Economy-2023.pdf>. [Accessed 3 12 2024].
- [2] NGMN Alliance, "6G Drivers and Vision," 19 4 2021. [Online]. Available: https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN-6G-Drivers-and-Vision-V1.0_final.pdf. [Accessed 3 12 2024].
- [3] Samsung Research, "Next Generation Communications," 14 7 2020. [Online]. Available: <https://research.samsung.com/next-generation-communications>. [Accessed 3 12 2024].
- [4] ITU-R, "Future Technology Trends of Terrestrial IMT systems towards 2030 and beyond," 11 2022. [Online]. Available: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2516-2022-PDF-E.pdf. [Accessed 3 12 2024].
- [5] World Bank, "Digital Progress and Trends Report 2023," 19 3 2024. [Online]. Available: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099031924192524293/p180107173682d0431bf651fded74199f10>. [Accessed 3 12 2024].
- [6] GSMA, "The State of Mobile Internet Connectivity 2024," 10 2024. [Online]. Available: https://www.gsma.com/r/wp-content/uploads/2024/10/The-State-of-Mobile-Internet-Connectivity-Report-2024.pdf?utm_source=website&utm_medium=button&utm_campaign=somic24. [Accessed 3 12 2024].
- [7] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Study on NB-IoT/ eMTC support for NTN," 2019. [Online]. Available: https://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/WG1_RL1/TSGR1_105-e/Inbox/drafts/8.15.1/DRAFT%20TR%2036.763/RAN1-RAN2-DRAFT%20-R1-2106106-TR%2036.763%20IoT%20NTN-V100-v12.docx. [Accessed 3 12 2024].
- [8] KISTEP 한국과학기술기획평가원, "2023년도 예비타당성조사 보고서 저궤도 위성통신 산업경쟁력 확보를 위한 기술개발 사업," 26 07 2024. [Online]. Available: https://www.kistep.re.kr/reportDetail.es?mid=a10305070000&rpt_tp=831-003&rpt_no=RES0220240121. [Accessed 05 12 2024].

※ 출처: TTA 저널 제216호