

6G 비지상망 통신 기술 개발 동향

이준환 한국전자통신연구원 공간무선전송연구실 실장
 이문식 한국전자통신연구원 위성통신연구본부 본부장

1. 머리말

6G에서 비지상망 통신(NTN)이 중요 기술로 부각되고 있다. 6G 비지상망 통신은 글로벌 커버리지 제공, 지상망 복원력 보완, 유비쿼터스 서비스 제공을 가능케 한다. 이는 다양한 측면에서 기존 지상망이 안고 있는 한계를 보완하며, 새로운 서비스와 애플리케이션을 추진할 수 있게 한다. 비지상망 통신서비스는 도서·산간 지역과 같이 지상 통신이 도달하기 어려운 지역뿐만 아니라, 선박 및 해양 산업에서 필수적인 커버리지 제공을 위한 해양통신 등 3차원 공간 전 영역을 그 대상으로 한다. 여기엔 극지방 통신, 항공기 통신, 우주 통신이 모두 포함된다. 이번 원고에선 비지상망 통신 기술개발과 관련, 국내에서 수행되고 있는 주요 R&D 현황 및 관련 기술 전망에 대해서 살펴보고자 한다[1].



[그림 1] 6G 시대 지상/비지상 통신망 구성

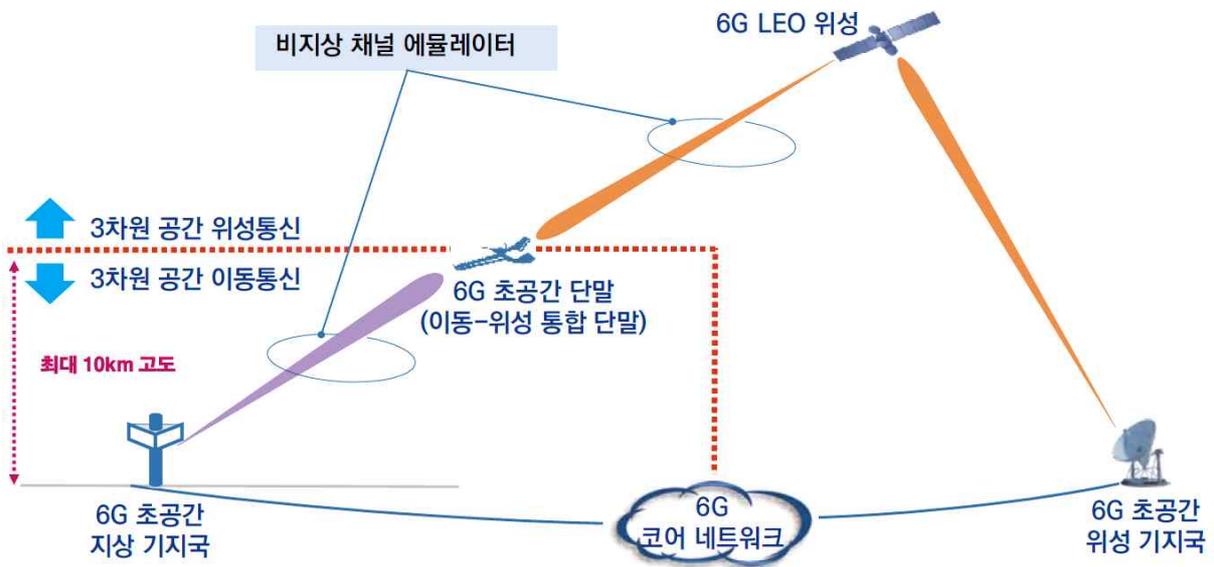
2. 6G 3차원 공간 네트워크 기술 개발 현황

이번 챕터에선 '6G핵심기술개발사업(6G 1단계 예타사업, 2021~2025)'중 6G 초공간 관련 기술 개발 현황에 대해 살펴본다.

6G 초공간 관련 기술이란, UAM(도심항공교통, Urban Air Mobility) UAV(무인항공기, Urban Air Vehicle), 드론, 항공기처럼 고도 10km까지 운행되는 다양한 공간 이동체에게 Gbps급 모바일 광

대역 서비스를 제공하는 기술이다. 이는 지상 이동통신 중심인 현재 5G 기술의 한계를 극복하고 향후 급성장할 것으로 예상되며, 아래 무선 링크들을 포함하고 있다.

- 1) 지상에 위치한 기지국(6G 초공간 지상 기지국)으로부터 공간상의 이동체 단말(6G 초공간 단말) 간 링크
- 2) 6G통신 탑재체 통신 신호처리기(OBP)를 탑재하고 있는 6G 저궤도 위성(6G LEO 위성)과 공간상의 이동체 단말(6G 초공간 단말) 간 통신 링크에서의 3D공간 네트워킹 기술, 3D공간 무선전송 기술



[그림 2] 6G 비지상망에서 이동통신/위성통신 링크 구성

2.1 3차원 공간 이동통신 기술 개발

6G에선 지상 이동통신 중심인 5G 기술의 한계를 극복하고, 향후 10km 상공까지의 3차원 공간 이동체를 대상으로 한 다양한 서비스가 급속히 확산될 것이다. 무인 비행체를 대상으로 한 기가급 인터넷 서비스 시장은 파급력이 매우 높다. 5G기술은 지상 수평 구조 및 2차원 네트워크 토폴로지 위주여서 3D공간 이동체를 대상으로 기가급 인터넷 서비스를 제공하지 못한다. 이러한 5G 기술의 한계를 넘어, UAM를 포함한 다양한 공간 이동체를 대상으로 기가급 인터넷 서비스를 제공하기 위해선 반드시 공간 이동체를 포함하는 기술 개발이 필요하다.

그 대표적인 기술로는 3차원 공간 멀티 레벨 토폴로지 구조, 3차원 멀티 홉 릴레이, 3차원 공간 이동성 관리 등이 있다. 구체적인 대표 기술 분야는 <표 1>과 같이 분류할 수 있다.

한편, 해당 기술은 항공기와 같이 천음속급으로 움직이는 이동체를 대상으로 한 기술 개발을 포함하고 있다. 여기엔, 천음속급 프레임 구조와 동기, 도플러 간섭과 다이버시티 결합 멀티캐리어 전송, 이동 속도에 따른 파라미터 최적화 기반 이동 적응, 채널 추정 필요 없는 저복잡/고성능 Non-coherent 통신, 천음속급 이동 연결성 보장을 통한 고속 이동체의 이동성 및 이동 연결성 한계 극복 기술 등이 있다.

<표 1> 3차원 공간 이동통신 대표 기술 분야

기술분야/기술명	내용
3차원 공간 도달 전송거리 확장기술	• 기지국-단말 간 패널정렬(빔정렬 포함) 기술 개발. 단말 고도 분포를 고려한 네트워크 파라미터 최적화 기술 개발
3차원 공간 전송속도 향상을 위한 빔형성 기술	• 등각 어레이 형상을 고려한 비선형 빔형성/프리코딩 기술 개발
3차원 공간 전송속도 향상 기술	• 공중 이동체 단말의 회전에 강인한 빔 형성 기술 개발. 공중 이동체 빔 이득 극대화를 위한 패널 로테이션(panel rotation) 절차 정의
3차원 공간 멀티 레벨 토폴로지 관리 기술	• 수신 신호 세기 및 연결 흡수를 모두 고려한 셀 선택 기법 연구 • 3차원 공간 이동 네트워크에서 총 전송전력 감소를 위한 최적 다중경로 설정 기술 개발
공중셀 간섭 극복 기술	• 3차원 공간의 공중셀 구성 기술 개발 • 공중셀 간 간섭 완화를 위한 전송 파워와 안테나 틸팅 각도 제어 알고리즘 개발
빔 관리를 위한 멀티 모달 (multi-modal) AI 기술	• 단일 모달 기반 기존 AI 기법의 한계를 극복하기 위한 멀티 모달 AI 기반 빔 관리 기법
Mobile IAB 기반 3차원 공간 이동성 관리 기술	• Mobile IAB 환경에서의 네트워크 토폴로지 재설정 및 서비스 연속성 제공, IAB노드에 접속된 복수 단 말에 대한 그룹 이동성 제공 및 시그널링 최적화, 공간 단말(UE)의 지상/비지상 기지국 이중 접속(Dual Steering) 기술

한편, 해당 기술은 항공기와 같이 천음속급으로 움직이는 이동체를 대상으로 한 기술 개발을 포함하고 있다. 여기엔, 천음속급 프레임 구조와 동기, 도플러 간섭과 다이버시티 결합 멀티캐리어 전송, 이동 속도에 따른 파라미터 최적화 기반 이동 적응, 채널 추정이 필요 없는 저복잡/고성능 Non-coherent 통신, 천음속급 이동 연결성 보장을 통한 고속 이동체의 이동성 및 이동 연결성 한계 극복 기술 등이 있다.

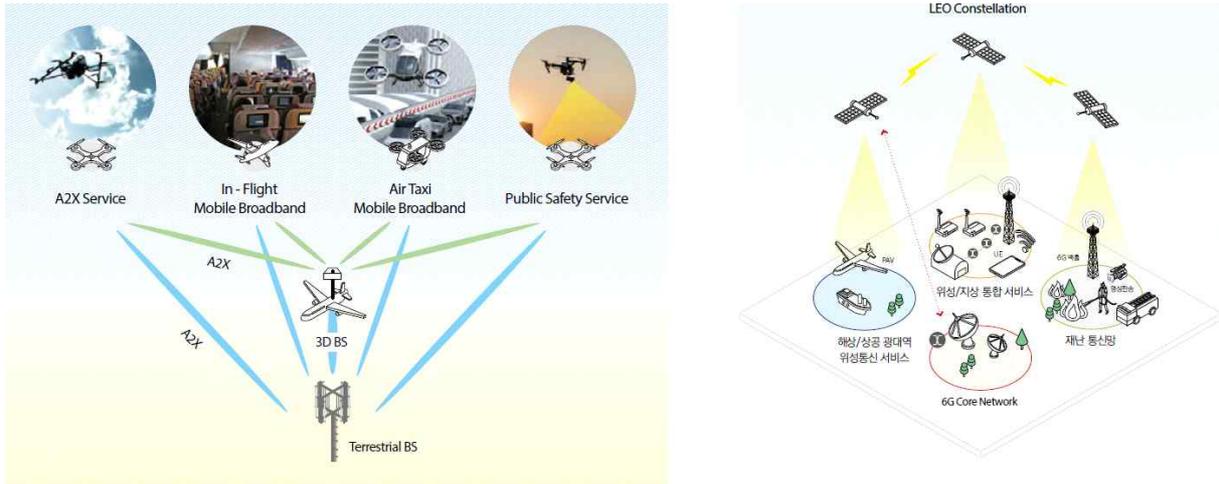
2.2 3차원 공간 위성통신 기술 개발

최근 혁신적 위성 발사체 기술 개발로 위성 발사 및 제작 비용이 급격히 감소했다. 이를 바탕으로 원웹(OneWeb), 스페이스X(SpaceX), 카이퍼 프로젝트(Project Kuiper), 텔레셋(Telesat)과 같이 저궤도 군집 위성을 통해 글로벌 통신 서비스를 제공하려는 사업자가 대거 출현했다. 6G에선 수천 개 저궤도 위성환경을 기반으로, 휴대형 단말을 보유한 사용자, 플라잉카, 항공기, 여객선 등에 언제 어디서나 Gbps급 모바일 브로드밴드 서비스를 제공할 수 있을 전망이다. 이를 실현하기 위한 3차원 공간 위성통신 핵심기술 개발 필요성이 점차 대두되고 있다.

특히 300~1,000km에 위치한 3차원 공간 저궤도 통신위성은 36,000km에 위치한 정지궤도 위성 대비 전송 지연 특성이 우수하다. 덕분에, 기존 정지궤도 위성망보다 전송 지연을 1/10 이하로 줄이고, 전송속도는 10배 이상 향상시킬 수 있다. 이를 위해선, 약 30,000km/h 속도로 빠르게 움직이는 저궤도 위성의 채널 특성, 지연 시간, 도플러 효과, 이동 셀 등을 고려한 위성-지상 통합 액세스 기술을 개발해야 한다.

이러한 기술들은 지금까지 주로 자체 규격 또는 DVB 표준 기반으로 통신서비스를 제공하는 것

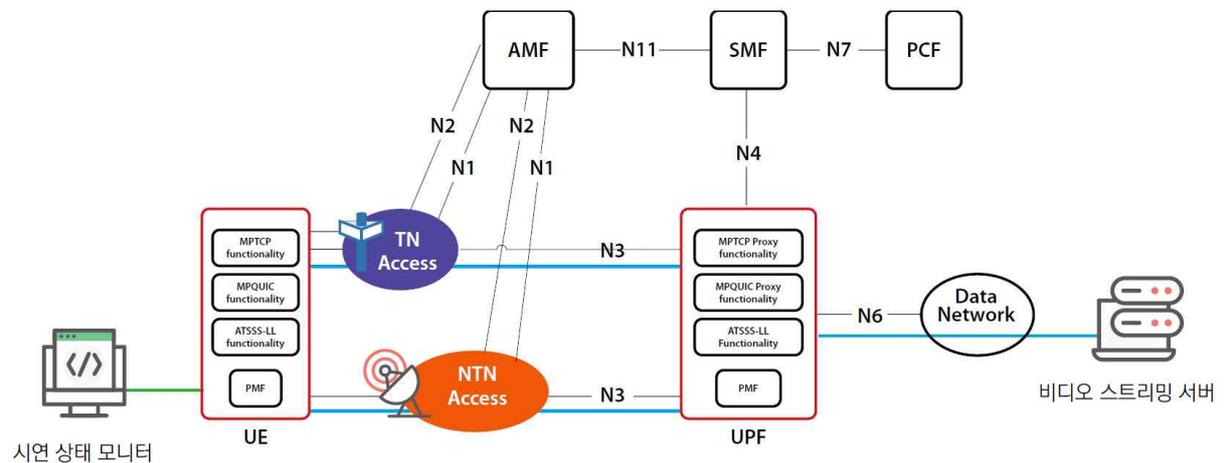
을 목표로 하고 있었다. 그러나, 최근 3GPP Release 17, Release 18에서의 비지상망 통신 규격 기술을 시작으로, Release 19에서도 규격 작업이 한창 진행 중이다. 특히, 통신 신호처리기(OBP)가 탑재된 통신 위성을 고려한 표준화 작업이 이뤄지고 있으며, 위성·지상통합(Integration) 표준을 통해 다양한 3차원 공간 위성통신 서비스를 목표로 하고 있다.



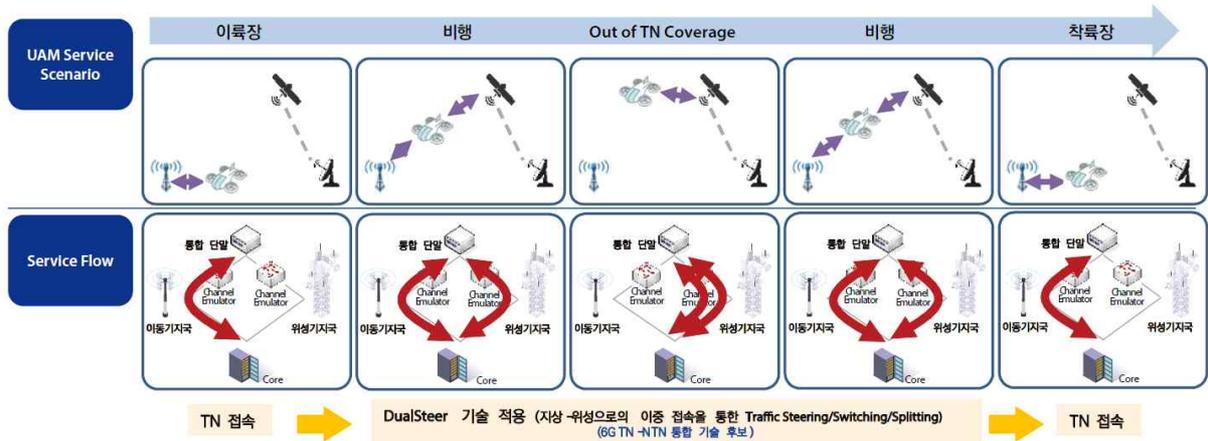
[그림 3] 3차원 공간 이동통신 서비스(좌)와 위성통신 서비스(우) 개념도

2.3 3차원 공간 네트워크 연동 시나리오

지금까지 설명한 3차원 공간 이동통신과 3차원 공간 위성통신 링크를 통합한 연동 시나리오로는, 최근 3GPP SA2 Release 19의 SI(Study Item)인 MASSS(Multi Access Dual Steer and ATSSS)에서 논의되고 있는 기술이 있다. 더불어, DualSteer 연동 시나리오까지 고려할 수 있다[2]. 기존 3GPP와 Non-3GPP가 통합된 네트워크 구조에서 Non-3GPP를 비지상망으로 고려해 확장한 네트워크 구성은 [그림 4]와 같다. [그림 5]는 UAM 환경에서 DualSteer 기술을 적용한 3차원 공간 이동통신과 3차원 공간 위성통신 통합 시나리오를 보여준다.



[그림 4] 이동-위성망을 포함하는 네트워크 아키텍처



[그림 5] 이동-위성 통합링크를 고려한 DualSteer 시나리오

한편, UAM 운항 시나리오 중 무선 링크의 단절을 차단하고 광대역 서비스 제공을 위한 시나리오가 있다. 여기서 버티포트(Vertipoint) A위치로부터 버티포트 B위치로 이동 시, 링크 환경을 고려한 트래픽 Steering, Switching, Splitting과 같은 트래픽 제어 알고리즘을 포함하게 된다.

3. 6G 저궤도 위성통신 기술 개발 현황

이번 챕터에선 지난 5월 통과해 차년도부터 시작하게 될 예타사업인 '저궤도 위성통신 산업경쟁력 확보를 위한 기술개발 사업('25~'30)'에 대해 소개하고자 한다[3].

디지털 모범 국가 실현을 위해 6세대(6G)-위성 등 차세대 네트워크 도약을 위한 'K-Network 2030' 전략이 발표됐다. 이와 더불어, 미래 통신서비스 확장에 대비해 저궤도 위성통신 경쟁력 확보를 위한, 시범망 구축 및 핵심기술 자립화가 추진되고 있는 상황이다. 그런 와중, 2024년 5월 저궤도 위성통신 기술개발 예타 사업이 통과됐다. 이는 위성관련 Up/Downstream 산업 생태계를 육성하고, 위성통신을 포함한 위성 강국으로 도약하기 위한 국가전략 프로젝트다.

구체적인 과제에선 Regenerative 위성을 고려하며, (1)통신탑재체, (2)지상국, (3)단말국, (4)본체, (5)위성 체계종합이라는 구성요소를 포함한다. 한편, 위성통신 관점에서 Ka밴드 기반 피더링크, 사용자링크, 위성간 ISL(Inter Satellite Link) 기술 개발이 필요하다.

해당 과제는 3GPP 비지상망 규격을 기반으로, 고성능-에너지 효율성을 동시에 만족시킬 수 있는 통신 방식을 연구하게 된다. 6G 비지상망 기반 기지국/단말 모뎀 기술, 6G 비지상망 기반 기지국/단말 프로토콜 SW기술이 대표적이다. 구체적 세부 기술은 <표 2>로 정리할 수 있다.

이 외에도 저궤도 위성통신 채널모델링 기술, 주파수 오프셋 보정기술, 데이터 전송을 고려한 웨이브폼(Waveform) 기술, 저전력 지원 기술과 같은 구현 및 규격 기술들이 포함된다.

<표 2> 3차원 공간 이동통신 대표 기술 분야

기술분야/기술명	내용
사용자 링크용 다중빔 위상배열 안테나 기술	동시 사용 빔수 8개 이상인 Ka 대역 송수신 다중빔 위상배열 안테나 기술 개발
사용자 링크용 송수신 빔형성 기술	다중빔 위상배열 안테나의 멀티빔 운영 및 관리 기술
피더링크용 빔 조향 반사판 안테나 기술	탐재체 구성을 고려한 Ka 대역 송수신 RF 장치 및 인터페이스 기술 개발
피더링크용 송수신 RF 장치 기술	탐재체 구성을 고려한 Ka 대역 송수신 RF 장치 및 인터페이스 기술 개발
디지털 신호처리 장치 HW 기술	링크 신호 분리·통합과 통신탐재체를 제어하는 디지털 신호처리 장치 하드웨어 기술 개발
디지털 신호처리 장치 SW 기술	통신탐재체 신호 중계와 네트워크 관리 등을 수행할 수 있는 디지털 신호처리 장치 설치용 소프트웨어 기술 개발

4. 맺음말

비지상망 통신은 저궤도 위성(LEO), 고고도 플랫폼(HAPS), UAM 등을 포함하며, 6G 네트워크의 중요한 구성 요소로 부상하고 있다. 6G 시대에선 저지연, 고속 데이터 전송을 요구하는 서비스가 증가할 것으로 예상되며, 비지상망 통신 수요도 늘어날 전망이다. 이를 바탕으로, 저궤도 위성을 활용한 기술 개발 및 서비스 발굴이 지속적으로 확대될 것이다.

비지상 통신망을 이용한 통신서비스 확장을 통해 제조·서비스 분야에서의 신규 생태계 창출이 기대된다. 다만, 민간·공공 서비스를 지원하기 위한 규제 및 표준화, 비용 효율성 개선이 주요 과제로 남아 있다.

※ 본 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021-0-00794,[3차원 공간 이동통신 기술 개발])

[참고문헌]

- [1] 6G Insight 비전과 기술, <https://ksp.etri.re.kr/ksp/plan-report/read?id=809>
- [2] Multi-Access(ATSSS_Ph4), 3GPP Report of meeting S2-164, 19.13.2장, 19-23 Aug. 2024
- [3] 저궤도 위성통신 산업경쟁력 확보를 위한 기술개발 사업, https://www.kistep.re.kr/reportDetail.es?mid=a10305070000&rpt_tp=831-003&rpt_no=RES0220240121

※ 출처: TTA 저널 제215호