

저궤도 위성통신 단말용 위상배열 안테나 시스템 기술 동향

Technology Trends of Phased Array Antenna System for LEO Satellite Communication Terminals

박봉혁 (B.H. Park, bhpark@etri.re.kr)

위성탐재체연구실 책임연구원

이병선 (B.-S. Lee, lbs@etri.re.kr)

위성탐재체연구실 책임연구원/실장

ABSTRACT

Low-Earth orbit (LEO) satellite communication is emerging as a core technology for building hyper-space and hyper-connected networks in the next-generation communication era. LEO satellite communication is a key technology for next-generation communication services aimed at overcoming coverage limitations and realizing three-dimensional networks that integrate ground and satellite systems. Services using satellites—which were traditionally limited to fields such as weather and exploration applications—are expanding into various areas such as the Internet and Internet of Things, accelerating innovation in business models led by the private sector. With the development of conditions for growth in the satellite communication industry, global companies have initiated competition to lead the satellite-based space Internet market, backed by substantial investment capital. As the global competition for technological supremacy intensifies, LEO satellite communication systems—which encompass space and next-generation communications—require state-driven R&D to consolidate national capabilities. To narrow the technology gap in LEO satellite communication phased-array antenna systems with leading overseas countries and secure global technological and market competitiveness, Korea must establish a comprehensive strategy that combines national resources with private sector expertise.

KEYWORDS 5G, 6G, LEO satellite, Phased array antenna, 단말국, 빔포밍칩

1. 서론

위성통신은 지상뿐만 아니라 해상, 공중 등 비지

상 네트워크를 통합하여 초공간 서비스를 제공하는 핵심인프라이며, 위성고도에 따라 통신 특성이 다르며 우주인터넷 서비스와 차세대 이동통신 6G의 3

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2025.J.400104>

* 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[No. RS-2024-00348050, 3GPP 표준기반 저궤도 위성통신 단말 핵심기술 개발].



본 저작물은 공공누리 제4유형

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

©2025 한국전자통신연구원

차원 통신을 위한 기술로 저궤도 위성에 대한 관심이 증가하고 있다[1]. 저궤도 위성통신은 차세대 글로벌 통신의 변화를 주도하는 핵심기술로 부상하고 있으며, 차세대 통신 시장 선점을 위한 글로벌 민간 기업의 저궤도 위성통신 시장 진입 본격화, B2B 및 B2C 형태의 서비스 모델 다양화 등 글로벌 경쟁이 확대되고 있다[2].

3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서는 위성을 활용한 비지상 네트워크의 표준화를 표 1과 같이 진행 중이다[3]. 3GPP는 5G 이동통신 표준인 Rel-15, Rel-16에서 비지상 네트워크를 Study Item으로 확정하였고, Rel-17부터 Work Item으로 확정하였다. 3GPP는 비지상 네트워크의 목표를 5G 서비스를 이용할 수 없는 지역과 대도시에 비해 서비스 정도가 낮은 지역에 5G 서비스를 제공하는 것으로 결정하였다. Rel-15에서는 비지상 네트워크의 채널 모델과 시나리오에 대한 연구를 수행하였고, Rel-

16에서는 비지상 네트워크에 5G 네트워크를 적용하기 위한 방안을 제안하였다[4,5]. Rel-17의 목표는 저궤도 위성과 정지궤도 위성 기반의 네트워크 성능 목표를 개선하는 것이며, 공중-지상 네트워크도 포함하고 있다. 중점 추진 분야는 위성의 Transparent 구조를 목표로 하고 있으며, 주요 연구 아이템으로는 Multiple TACs(Tracking Area Code) & Cell Barring, TN-NTN Handover, RRM/Time/Location 기반 Conditional HO 등이 있다. Rel-18는 비지상 네트워크의 성능 향상을 주로 연구하고 있다. 주요 특징은 밀리미터파를 위성에 적용하고, 상향링크 커버리지 향상, Mobility 향상, 전력 효율 증가 등이 있다. Rel-19는 하향링크 커버리지 향상, LTE와 NR NTN Mobility를 주요 특징으로 한다. 추가적으로 2026년 이후에는 Rel-20~Rel-22 이슈에서는 비지상-지상 네트워크가 통합되는 6G 입체통신의 시대가 도래할 것으로 전망하고 있다[3].

표 1 3GPP 표준화 동향

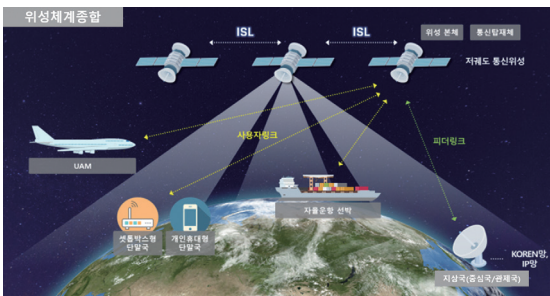
| Release | Rel15 | Rel16 | Rel17 | Rel18 | Rel19 |
|-----------------------|---|---|---|--|--|
| Technical Report | TR38.811 | TR38.821 | NR NTN phase1 (transparent payload, FR1) | NR NTN phase 2 (earth moving cell, FR2) | NR NTN phase 3 (regenerative payload) |
| Study Item/ Work Item | <ol style="list-style-type: none"> 1. NTN use cases 2. NTN architecture 3. NTN scenarios 4. NTN channel model 5. Potential impacts | <ol style="list-style-type: none"> 1. NTN reference scenarios 2. NG-RAN impacts & solutions 3. L1 impacts & solutions 4. Protocol impacts & solutions | <ol style="list-style-type: none"> 1. Ephemeris, TA, scheduling/timing offset 2. Multiple TACs & cell barring 3. TN-NTN HO(handover) 4. RRM/time/location-based CHO 5. Multiple SMTs & measurement gaps 6. Coarse UE location reporting 7. OAM, switch over NG-RAN signaling, etc. | <ol style="list-style-type: none"> 1. UL coverage Enhancement 2. RACH-less HO 3. Satellite switch with re-synchronization 4. Verification of UE location 5. Mobility enhancement & power saving | <ol style="list-style-type: none"> 1. DL coverage Enhancement 2. OCC for PUSCH, NPRACH & NPUSCH 3. Half duplex FDD UE support 4. On-board gNB support 5. Store & forward support 6. MBS intended service area signaling 7. LTE-to-NR NTN mobility |

출처 Reproduced from X. Lin et al., "5G from Space: An overview of 3GPP non-terrestrial networks," IEEE Commun. Standards Mag., vol. 5, no. 4, 2021, pp. 143-153.

II. 저궤도 위성통신 단말용 위상배열 안테나 시스템 기술

1. 저궤도 위성통신 네트워크 구조

저궤도 위성통신 기술은 개인, 공공, 산업 분야에 다양하게 활용되어 국민 삶의 질 개선, 공공 안전 기능 향상, 산업 경쟁력 향상을 도모할 수 있는 핵심 R&D 사업으로서 현재의 정지궤도 위성통신 서비스보다 큰 사회적 효과가 기대된다[6]. 저궤도 위성통신 네트워크는 그림 1과 같이 크게 통신 분야와 우주 분야로 구성된다. 통신 분야는 저궤도 통신위성에 탑재돼 통신위성 간, 위성과 지상시스템 간 통신 임무를 담당하는 통신탑재체, 저궤도 통신위성과 피더링크 신호 송수신, 위성의 통신 임무 수행 제어 및 근집 위성통신 기능, 성능 검증 등의 역할을 하는 지상국(중심국, 관제국), 통신위성과 사용자 간 통신링크를 제공하는 단말국으로 구성된다. 우주 분야는 발사 및 우주 환경에서 통신탑재체를 보호하고 위성의 임무수행을 위한 자세제어, 전력 공급 등 통신탑재체의 운영환경을 제공하는 역할을 담당하는 본체, 위성통신 시스템 개발을 위한 임무 정의부터 시스템 운영에 이르는 개발 전 과정의 시스템 설계, 해석과 통합 업무를 담당하는 위성 체계종합으로 구성된다[7].



출처 Reproduced from 정보통신기획평가원, “2022년 한국전자파학회 하계종합학술대회 기조강연: 전파위성분야 신규기획 현황 및 향후 기획 방향,” 2022. 8. 17.

그림 1 저궤도 위성통신 네트워크 구성

2. 저궤도 위성통신 단말용 위상배열 안테나 시스템 구조

저궤도 위성통신 단말국은 그림 2와 같이 셋톱박스형 단말국과 개인휴대형 단말국으로 분류되는데, 여기서는 주로 셋톱박스형 단말국에 대해서 기술한다. 저궤도 위성통신 단말국은 표준기반으로 베이스밴드 신호처리를 위한 모뎀, 소프트웨어와 비표준 기반 핵심기술인 위상배열 안테나, 단말 RF 송수신 부품으로 구성된다.

비표준 기반 핵심기술인 위상배열 안테나, 단말 RF 송수신 부품으로 구성되는 위상배열 안테나 시스템은 평판형 방사소자를 격자로 배열하여 상하, 좌우 빔 조향이 가능하도록 설계한다. 저궤도 위성통신 단말국은 송신, 수신 주파수가 상이하면서 송수신이 동시에 전송 가능한 FDD(Frequency Division Duplex) 시스템이다. 송신 위상배열 안테나 시스템은 Ku-대역, Ka-대역이 주로 활용되며 송신 위상배열 안테나, 다채널 송신용 빔포머 IC, IF 송신기, LO 모듈로 구성된다(그림 3 참고). 수신 위상배열 안테나 시스템은 그림 4와 같이 X-대역, K-대역이 활용되며 수신 위상배열 안테나, 다채널 수신용 빔포머 IC, IF 수신기, LO 모듈로 구성된다. 다채널 수신용 빔포머 IC는 위성 간의 Handover를 위해서 아날로그 멀티빔 기능을 지원하는 부품이 출시되고 있다.

송신 위상배열 안테나 시스템에서는 배열 안테나를 구성하는 방사소자의 이득, 배열 안테나 전체의 이득과 송신용 빔포머 IC의 출력전력이 단말국

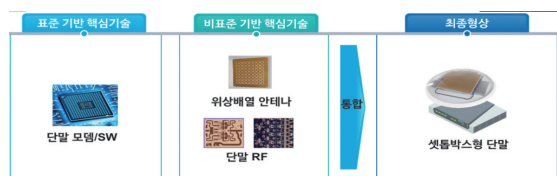


그림 2 저궤도 위성통신 단말국 구성도

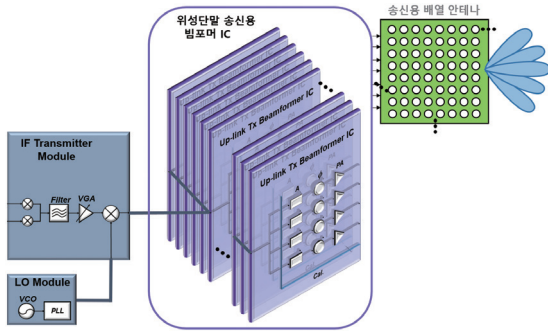


그림 3 송신 위상배열 안테나 시스템 구성도

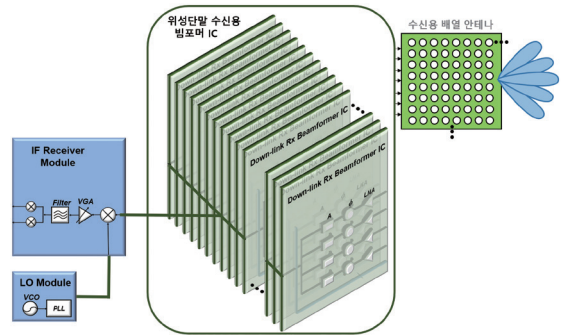


그림 4 수신 위상배열 안테나 시스템 구성도

송신부의 주요한 규격인 EIRP(Effective Isotropically Radiated Power)를 도출하여 단말국에서 보내는 신호가 위성탑재체에 도달하는 도달거리를 결정한다. 또한, 수백 개의 안테나 방사소자와 연결되는 전력 증폭기가 합해져서 매우 큰 출력전력이 나오므로 고출력을 발생시키기 위한 열발생 문제가 배열 안테나 시스템의 주요한 문제이므로 전력소모를 줄이기 위한 고효율 송신 시스템 설계가 매우 중요하다. 수신 위상배열 안테나 시스템은 수신 배열 안테나 전체의 이득과 수신용 빔포머 IC의 잡음지수가 단말국 수신부의 주요 규격인 G/T(Gain Over Temperature)를 도출하여 위성탑재체에서 단말국으로 전송되는 신호의 품질을 결정한다.

표 2 상향링크 링크버짓

| 항목 | 값 | 단위 | 비고 |
|-------------|------|-----|---|
| 주파수 | 30 | GHz | Up-link |
| 대역폭 | 100 | MHz | Up-link 채널 대역폭 |
| 송신출력 (Pavg) | 14 | dBm | PA OP1dB = 17dBm, PAPR = 3dB 가정 |
| 출력결합 | 29.5 | dB | 900채널(30X30) |
| 송신 안테나 이득 | 32.8 | dBi | 방사소자 이득: 4dBi, 4 + 10log(900) + 10log(0.85) = 32.8dBi |
| 송신 EIRP | 74.8 | dBm | 74.8dBm - 30dB = 44.8dBW |

상향링크의 링크버짓을 표 2에 제시하였다. 송신 주파수를 Ka-대역, 단말국을 송신부로 위성탑재체를 수신부로 하는 경로를 설정하고, 저궤도 위성的高도인 888km를 가정하여 도출한 결과이다.

하향링크의 링크버짓을 표 3에 제시하였다. 수신 주파수를 K-대역, 위성탑재체를 송신부로 단말국을 수신부로 하는 경로를 설정하고, 저궤도 위성的高도인 888km를 가정하여 도출한 결과이다.

표 3 하향링크 링크버짓

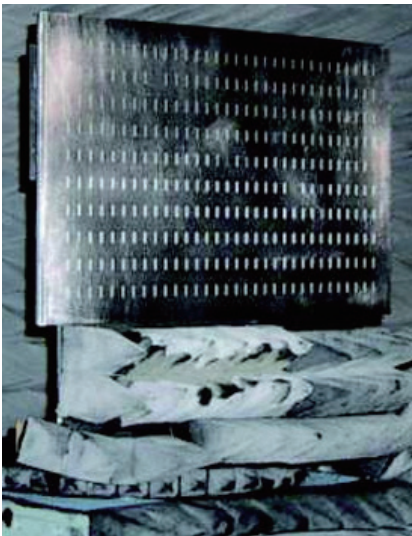
| 항목 | 값 | 단위 | 비고 |
|-----------------------|-------|------|---|
| 주파수 | 20 | GHz | Down-link |
| 대역폭 | 100 | MHz | Down-link 채널 대역폭 |
| 수신 안테나 이득 | 39.6 | dBi | 방사소자 이득: 6dBi, 6 + 10log(2704) + 10log(0.85) = 39.6dBi, (Grx) |
| Antenna Temp.[8] | 150 | °K | |
| Ambient Temp. | 290 | °K | |
| Effective System NF | 3.3 | dB | NF |
| Effective Noise Temp. | 224.5 | °K | |
| Effective Noise Temp. | 23.5 | dBK | Tsys |
| 수신 G/T | 12.8 | dB/K | G/T=Grx-NF-Tsys |

Ⅲ. 저궤도 위성통신 단말용 위상배열 안테나 시스템 동향

1. 저궤도 위성통신 단말용 배열 안테나 동향

가. 위상배열 안테나 기술 동향

미국의 UCSD(University of California at San Diego)에서는 송신용 Ku-대역 위상배열 안테나를 보고하였다. 송신기를 구성하기 위하여 1,024개의 방사소자를 이용하여 256개의 부배열 안테나를 구성하였다. 즉 4개의 방사소자를 1개의 부배열 안테나로 구성하여 위상배열 안테나를 설계, 제작하였다. 14.4GHz를 중심주파수로 하여 0.5λ 간격으로 동일한 길이의 삼각형 형태로 방사소자를 배치하였으며, 전체 안테나 크기는 가로 33.2cm, 세로 28.9cm이다. 14GHz에서 3dB 빔폭은 3.6° , elevation scan은 150° , azimuth scan은 150° , 출력 P1dB 지점에서의 EIRP는 44dBW의 특성을 나타낸다[9].



출처 Reproduced from R. V. Gatti et al., "Flat array antenna for Ku-band mobile satellite terminals," in Proc. 5th Eur. Conf. Antenna Propagation(EuCAP), (Rome, Italy), 2011. doi: 10.1155/2009/836074

그림 5 32×10 슬롯 도파관 배열 안테나

이탈리아의 University of Perugia에서는 Ku-대역 슬롯 도파관 위상배열 안테나를 보고하였다. 그림 5와 같이 32×10 배열의 도파관 안테나를 제작, 시험하였다. 수신 안테나의 경우 16개 빔 조절이 가능하고, elevation scan은 $15\sim 55^\circ$ 범위이고, 송신 안테나의 경우 7개 빔 조절이 가능하고, elevation scan은 $15\sim 55^\circ$ 범위이다[10].

Ka-대역에서도 다양한 위상배열 안테나 기술이 보고되었다. 중국의 SCUT(South China University of Technology)에서는 K/Ka-대역 원형 편파 위상배열 안테나를 보고하였다. SCUT에서는 27.5GHz에서 0.5λ 간격으로 4×4 배열 안테나를 제작, 시험하였으며, 비대칭 방사 패치와 비대칭 교차 슬롯이라는 두 가지 기술을 결합하여 원형편파 축비 대역폭 23%를 달성하였다. 제작된 4×4 위상배열 안테나는 22.5GHz, 27.5GHz, 32.5GHz에서 각각 $\pm 56^\circ$, $\pm 45^\circ$, $\pm 41^\circ$ 의 넓은 스캔 범위를 제공하며, 스캔 손실이 3dB 미만으로 유지된다. 위상배열 안테나가 K-대역(22.5~27.5GHz) 및 Ka-대역(27.5~32.5GHz)을 포함한 원형 편파 위성 통신 단말기 응용에 적합하다[11].

캐나다의 University of Waterloo에서는 Ka-대역 위성 단말용 원형 편파 송신 위상배열 안테나를 보고하였다. Waterloo 대학에서는 4×16 배열의 64개 안테나 방사소자와 8개의 8채널 MMIC 회로를 제작하여 Near Field 측정 시스템을 구성한 후 안테나 성능을 시험하였다. 배열 안테나는 세 개의 금속 층으로 설계되었으며, 광범위한 조향 각도를 가진 모듈형 및 확장 가능한 Ka-대역 위상배열 안테나의 개념 증명을 위해 저비용 인쇄회로기판(PCB) 기술로 제작되었다. 측정된 방사 패턴은 축비 수준 < 3dB와 0° 에서 $\pm 40^\circ$ 스캔 각도 범위 내에서 포인팅 오차 $\leq 1.5^\circ$ 를 갖는 우측 원형 편파 패턴을 보여준다. 원형편파 능동 위상배열 안테나의 진폭 입력은 주축

방향에서 부엽 레벨을 11dB에서 25dB까지 제어하고 감소시키기 위해 지수적으로 테이퍼링되었다. 다중빔 배열 구현을 위해 -30° 및 $+20^\circ$ 스캔 각도에서 두 개의 RHCP 빔이 동시에 생성되었다[12].

나. 위상배열 안테나 산업 동향

해외 주요국은 위성 단말용 Ku-대역과 Ka-대역의 위상배열 안테나 제작을 진행하고 있다.

스페이스X사는 Ku-대역의 $59.4 \times 38.3\text{cm}$ 크기의 접시형 단말기를 제작하였고, 시스템 내부에 위상배열 안테나를 설계하였다. 스페이스X사의 단말기에는 WiFi 라우터, 전원, 케이블, 삼각대 등이 포함되어 있으며, 제품으로 판매 중에 있다[13]. SatixFy사는 256개의 배열 소자를 갖는 Ku-대역(Rx: 11~12GHz, Tx: 13.75~14.5GHz) 저궤도 위성통신용 위상배열 안테나를 개발 완료하였다. 32개의 방사 소자에 True Time Delay 기술을 적용하여 디지털 빔포밍칩을 개발하였으며, 2Tbps급의 데이터를 처리하고, 이를 이용하여 전자적 빔조향이 가능하도록 구현하였다. 개발된 디지털 빔포밍칩은 4개의 안테나 요소를 위한 상/하향 변환기와 저잡음 증폭기/고출력 증폭기를 포함한 Ku-대역 RF 집적회로 제품으로, 모든 편파를 지원한다. 이 안테나는 다중 편파에서 여러 빔을 동시에 지향, 추적 및 관리할 수 있다. 디지털 빔포밍 기술을 사용하여 많은 수의 안테나 요소를 통해 넓은 대역폭을 처리할 수 있으며 빔 스캔트 현상이 발생하지 않는다. 특별한 디지털 기능 구현으로 특정 간섭원을 향해 널(null)을 지향할 수 있다[14].

Kymeta사는 메타물질 기반으로 전자적으로 조향되는 평면 위상배열 안테나를 Ku-대역(Rx: 10.7~12.75GHz, Tx: 13.75~14.5GHz) 위성통신 용도로 개발하였다[15]. Ball Aerospace사에서는 항공기 단말용으로 Ku-대역/Ka-대역의 전자적 빔조향 위

상배열 안테나를 개발하였다[16]. 국내 기업인 인텔리안테크사에서는 능동 전자 빔조향이 가능하며, 지상 고정형, 해상용, 지상 이동형에 적용 가능한 평판형 위상배열 안테나를 개발하였다. 특히, 지상 이동형에 적용하는 저궤도 위성통신 단말기는 G/T가 9dB/K, EIRP가 36.6dBW의 성능으로 환경시험 온도 $-40 \sim 55^\circ\text{C}$ 까지 시험을 완료하였다. 실외 지상 이동형 단말기의 크기는 가로 56cm, 세로 45cm, 두께 12cm로 제작되었다[17].

2. 저궤도 위성통신 단말용 빔포밍칩 동향

가. 저궤도 위성통신 단말용 빔포밍칩 기술 동향

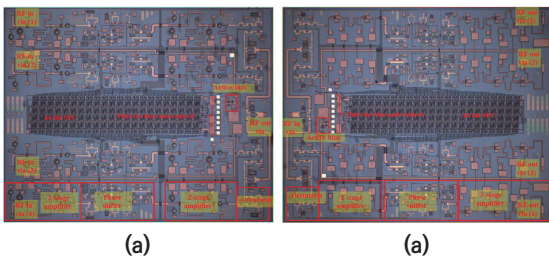
중국의 University of Southeast에서는 위성통신 단말 수신용 K-대역 8채널 빔포밍칩을 설계, 제작하였다. GaAs 공정의 저잡음증폭기와 CMOS 공정의 8채널 빔포밍칩을 하나의 패키지 내에 통합하여 구성하였다. 패키지는 웨이퍼 레벨 칩스케일로 구현하여 소형화 하였다. GaAs 공정의 저잡음증폭기를 추가로 설계하여 수신부의 잡음지수 성능을 향상시켰다. 이득 및 위상 조정 블록의 전력 소모를 줄이기 위해 수동적인 위상 천이기와 감쇄기를 채택하였다. 17.7~20.2 GHz 위성통신 대역에서, 제안된 하이브리드 패키징 위상 배열 수신 집적회로는 채널당 30.2mW의 전력만 소비하며, -40°C 에서 85°C 범위에서 1.2dB이하 이득 변화 및 0.9dB이하 잡음지수 변화를 달성한다[18].

중국의 University of Zhejiang에서는 Ka-대역 8채널, 아날로그 4개 빔을 지원하는 위성통신 단말용 수신 빔포밍칩을 제작하였다. 저가의 CMOS 공정을 활용하였고, 최소 잡음지수 3.7dB 특성의 칩을 구현하였다. 다중 빔 형성으로 인해 발생하는 큰 면적 설계 문제를 해결하기 위해, 이 수신기는 디지털

보조 가변 이득 위상 변환 기술과 능동 결합 방식을 활용하여 소형 구현을 가능하게 하고 배열 설계를 용이하게 한다. 수신기는 6비트 해상도로 360°의 위상 변환 범위와 0.5dB 단위의 25dB 감쇠 범위를 달성한다. 29.5GHz에서 측정된 RMS 위상 및 진폭 오차는 각각 1.1°와 0.11dB의 특성을 나타낸다[19].

미국의 University of Washington State에서는 Ku-대역 8채널 송신/수신 빔포밍칩을 개발하여 보고하였다. 0.18 μ m SiGe BiCMOS 공정을 활용하여 서로 다른 다이 내에 송신과 수신 기능을 하는 빔포밍칩을 구현하였다. 칩 내부에 이득과 위상을 조절하는 제어회로, 4채널을 하나로 결합하는 결합기를 구현하였다. 수신칩의 크기는 2.4 \times 4.8mm이고, 송신칩의 크기는 2.4 \times 4.8mm로 각각 제작되었다[20].

캐나다의 University of Waterloo에서는 Ka-대역 8채널 송신 빔포밍칩을 130nm SiGe BiCMOS 공정을 이용하여 개발하였다. 전체 칩의 배치는 왼쪽에 RF 입력을 오른쪽에 RF 8채널 출력을 배치하였으며, 아래쪽에는 Digital Interface를 CMOS로 구현하였다. 7bit의 제어기능을 보유하면서 360° 조절이 가능한 위상천이기를 구현하였고, 23dB 이득, 10.8dBm의 출력 P1dB 특성을 나타낸다. 400MHz 채널 대역, 64QAM 변조 신호를 이용하여 측정하면 -28dB의 EVM 특성을 보인다[21].



(a)

(b)

출처 Reprinted from J.-C. Jeong et al., "Four-channel GaAs multifunction chips with bottom RF interface for Ka-band SATCOM antenna," ETRI J., vol. 46, no. 2, 2024, pp. 323-332.

그림 6 4채널 GaAs 빔포밍칩: (a) 수신칩, (b) 송신칩

대한민국의 ETRI에서는 0.18 μ m GaAs pHEMT 공정을 이용하여 K-대역의 4채널 수신 빔포밍칩과 Ka-대역의 4채널 송신 빔포밍칩을 각각 개발하였다. 저궤도 위성통신 단말기는 송신, 수신 주파수가 상이한 FDD 시스템을 활용하므로 그림 6과 같이 좌측에 송신칩, 우측에 수신칩을 별도로 제작하였다. 수신부의 잡음지수가 2dB로 매우 낮은 잡음지수를 갖는 칩을 설계하였다[22].

나. 저궤도 위성통신 단말용 빔포밍칩 산업 동향

세계 여러 기업에서는 뉴스페이스 시대에 저궤도 위성통신 단말기의 기술 및 시장 선점을 위해 단말기의 핵심부품인 빔포밍칩 개발에 박차를 가하고 있다. Anokiwave사의 Ka-대역 송/수신 빔포밍칩 1차 버전은 잡음지수 3.4dB, 출력전력 12dBm, 5bit 위상 및 이득 가변으로 송/수신 각각 4채널로 개발되었다. 또한, 성능을 높인 2차 버전칩은 송/수신 각각 8채널로 구성되었으며, 출력전력 8dBm, 6bit 위상가변, 5bit 이득가변이 되도록 구현하였다[23].

Analog Device사는 K-대역 8채널, 2빔, 6bit 위상 가변 수신 빔포밍 칩과 Ka-대역 8채널, 1빔, 6bit 위상 가변 송신 빔포밍 칩을 개발하였다. 수신 빔포밍칩은 잡음지수 2dB 특성을 나타내고 메모리에는 256개의 빔조향 값들을 저장하여 빔조향 속도를 빠르게 할 수 있도록 구성하였다. 칩 내부에 8 Programmable Amplifier Bias Settings, Temperature Sensor, 4-wire SPI 등의 제어회로도 내장하였다. 송신 빔포밍칩은 이중 편파 지원이 가능하도록 8채널로 구성하였고, 칩 크기를 줄이고자 136-ball 5 \times 5mm WLCSP(Wafer Level Chip Scale Package)로 제작하였다[24].

Renesas사는 K-대역 16채널, 2빔 수신 빔포밍칩을 개발하였다. 6bit 위상가변이 가능하고, 0.45dB

간격으로 26dB 이득제어를 하고, 채널당 28dB 이득을 갖도록 구현하였다. Ka-대역 송신 빔포밍칩은 8채널, 6bit 위상 가변, 채널당 출력전력 11dBm, 0.2dB 간격으로 25dB 이득제어가 가능하도록 제작되었다[25].

SatixFy사는 다중빔이 가능하고, 전자적으로 빔조향이 가능한 디지털 빔포머 ASIC을 개발하였다. True Time Delay(TTD) 방식을 적용하였고, 8GHz까지의 대역폭을 지원하며, 32개의 RF 포트가 있고, Ka-대역까지 지원한다[26].

IV. 결론

차세대 통신 시대 초공간·초연결 네트워크 구축을 위한 핵심기술로 저궤도 위성통신의 중요성이 대두되고 있다. 저궤도 위성통신은 지상-위성이 통합되는 3차원 네트워크 실현과 커버리지 한계를 극복하기 위한 차세대 통신 서비스의 핵심 기술이다. 위성을 활용한 서비스가 기상·탐사 등에서 인터넷, IoT 등 다양한 영역으로 확장되고 민간 주도 비즈니스 모델 혁신이 가속화되고 있다. 위성통신 산업의 성장 여건 조성에 따라 글로벌 기업은 막대한 자본을 바탕으로 본격적인 우주 인터넷 위성통신 시장에 대한 선점 경쟁을 시작하였다. 스페이스X는 2027년까지 저궤도 통신위성 총 12,000기 궤도 배치를 목표로 글로벌 초고속 인터넷망 구축사업을 진행 중이고, 원웹도 인터넷 서비스 제공을 위해 통신위성을 꾸준히 발사하고 있다. 아마존, 텔레샷과 보잉도 민간 주도의 글로벌 위성통신 개발 계획을 발표하고 있다. 반면, 중국은 국가 기반의 국방과학기술산업실 내의 중국국가항천국에서 국가 우주계획과 우주활동 등 우주 관련 총괄적 일을 수행하고 있다. 우리나라도 과학기술정보통신부에서 저궤도 위성통신 산업경쟁력 확보를 위한 기술개발

사업 예비타당성조사 통과를 통해 6G 표준기반 저궤도 위성통신 핵심기술을 확보하고 2030년 저궤도 통신 전용위성 발사를 추진하려는 계획을 수립하였다[27].

전 세계적으로 기술패권 경쟁이 심화되고 있는 가운데, 우주와 차세대 통신 분야에 해당하는 저궤도 위성통신 시스템은 국가적 역량을 결집하는 차원에서 국가 주도의 연구개발 추진이 필요하다. 저궤도 위성통신 단말용 위상배열 안테나 시스템 분야에서 해외 선도국과의 기술격차를 좁히고 글로벌 기술·시장경쟁력을 확보하기 위해서는 우리나라에서도 민간기업과 함께 국가적 역량을 총결집할 수 있는 치밀한 전략 수립이 필요하다.

용어해설

Phased Array Antenna 여러 개의 작은 안테나 소자를 배열하여 하나의 큰 안테나처럼 동작하도록 만든 장치로 각각의 안테나 소자에서 나오는 신호의 위상을 조절하여 원하는 방향으로 신호를 집중시키거나 여러 방향으로 빠르게 전환할 수 있도록 하는 기술

약어 정리

| | |
|------|--|
| 3GPP | 3 rd Generation Partnership Project |
| ASIC | Application Specific Integrated Circuit |
| B2B | Business To Business |
| B2C | Business To Consumer |
| CHO | Conditional Hand-Over |
| CMOS | Complementary MOSFET |
| DL | Down Link |
| EIRP | Effective Isotropically Radiated Power |
| EVM | Error Vector Magnitude |
| FDD | Frequency Division Duplex |
| G/T | Gain Over Temperature |
| HEMT | High Electron Mobility Transistor |
| IC | Integrated Circuit |
| IF | Intermediate Frequency |
| IoT | Internet of Things |
| LEO | Low Earth Orbit |

| | |
|--------|---|
| LO | Local Oscillator |
| LTE | Long Term Evolution |
| MBS | Multicast and Broadcast Service |
| MMIC | Monolithic Microwave Integrated Circuit |
| NPRACH | Narrowband Physical Random Access Channel |
| NR | New Radio |
| NTN | Non Terrestrial Network |
| NUSCH | Narrowband Physical Uplink Shared Channel |
| OCC | Optical Camera Communication |
| PUSCH | Physical Uplink Shared Channel |
| RACH | Random Access CHannel |
| RAN | Radio Access Network |
| RHCP | Right Hand Circular Polarization |
| RMS | Root Mean Square |
| RRM | Radio Resource Management |
| TA | Tracking Area |
| TTD | True Time Delay |
| UE | User Equipment |
| UL | Up Link |

참고문헌

- [1] 과학기술정보통신부 등 관계부처 합동, “초소형위성 및 6G 위성통신기술 개발방안,” 2021. 6. 18.
- [2] 과학기술정보통신부, “위성통신 활성화 전략,” 2023. 9. 18.
- [3] X. Lin et al., “5G from Space: An overview of 3GPP non-terrestrial networks,” *IEEE Commun. Standards Mag.*, vol. 5, no. 4, 2021, pp. 143–153.
- [4] 3GPP, “Study on New Radio(NR) to support Non-Terrestrial Networks(Release 15),” TR38.811 V15.2.0, Sept. 2019.
- [5] 3GPP, “Solutions for NR to support Non-Terrestrial Networks(NTN)(Release 16),” TR38.821 V1.0.0, Dec. 2019.
- [6] 한국과학기술기획평가원, “저궤도 위성통신 산업동향과 경쟁우위 확보전략,” 2024.
- [7] 정보통신기획평가원, “2022년 한국전자파학회 하계종합 학술대회 기초강연: 전파위성분야 신규기획 현황 및 향후 기획 방향,” 2022. 8. 17.
- [8] 3GPP, “Technical Specification Group Radio Access Network: Study on New Radio(NR) to support non-terrestrial networks(Release 15),” TR38.811 V15.4.0, Sept. 2020.
- [9] G. Gultepe et al., “A 1024-Element Ku-Band SATCOM Phased-Array Transmitter With 45-dBW Single-Polarization EIRP,” *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 69, no. 9, 2021, pp. 4157–4168.
- [10] R.V. Gatti et al., “Flat array antenna for Ku-band mobile satellite terminals,” in *Proc. 5th Eur. Conf. Antenna Propagation(EuCAP)*, (Rome, Italy), 2011. doi: 10.1155/2009/836074
- [11] J. Wei et al., “Wideband circularly polarized phased array antenna for K/Ka-band satellite communication using ME-dipole elements,” *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 23, no. 8, 2024, pp. 2496–2500.
- [12] H. Al-Saedi et al., “An integrated circularly polarized transmitter active phased-array antenna for emerging Ka-band satellite mobile terminals,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 67, no. 8, 2019, pp. 5344–5352.
- [13] Starlink, “Specifications,” <https://www.starlink.com/specifications?spec=4>
- [14] SatixFy, “SatixFy Launches World’s First Silicon Based Electronically Steered Multi-Beam Array Antenna,” 2019. <https://www.satixfy.com/news/satixfy-launches-worlds-first-silicon-based-electronically-steered-multi-beam-array-antenna/>
- [15] Kymeta, “Terminal,” <https://www.kymetacorp.com/solutions/inside-the-terminal/>
- [16] Ball Aerospace, “Ball Aerospace Highlights Phased Array Antennas, Optical Communications and Small Mission Solutions for Commercial and Government Applications at SATELLITE 2019,” 2019. <https://www.ball.com/newswire/article/123961/ball-aerospace-highlights-phased-array-antennas-optical-communications-and-small-mission>
- [17] Intellian, “OW10HV,” <https://www.intelliantech.com/en/products/eutelsat-oneweb-series/ow10hv/>
- [18] D. Zhao et al., “A K-band hybrid-packaged temperature-compensated phased-array receiver and integrated antenna array,” *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 71, no. 1, 2023, pp. 409–423.
- [19] Y. Yuan et al., “A compact Ka-band eight-element four-beam receiver for low-earth-orbit satellite communications in 65-nm CMOS,” *IEEE Microw. Wirel. Technol. Lett.*, vol. 33, no. 6, 2023, pp. 883–886.
- [20] D. Heo and K.F. Wamick, “Integrated eight element Ku band transmit/receive beamformer chipset for low-cost commercial phased array antennas,” *IEEE Int. Symp. Phased Array Syst. Technol.*, (Waltham, MA, USA), 2010. doi: 10.1109/ARRAY.2010.5613295
- [21] S.R. Boroujeni et al., “A high-efficiency 27–30-GHz

- 130-nm Bi-CMOS transmitter front end for SATCOM phased arrays," IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol. 69, no. 11, 2021, pp. 4977-4985.
- [22] J.-C. Jeong et al., "Four-channel GaAs multifunction chips with bottom RF interface for Ka-band SATCOM antenna," ETRI J., vol. 46, no. 2, 2024, pp. 323-332.
- [23] Anokiwave, "Enabling STCOM and Beyond," <https://www.anokiwave.com/satcom/index.html>
- [24] Analog Devices, "Beamformers," <https://www.analog.com/en/product-category/beamformers.html#category-detail>
- [25] Renesas, "Phased Array Beamformers, RF Beam Steering ICs," <https://www.renesas.com/en/products/rf-products/phased-array-beamformers?srsId=AfmBOorYlf1Fw5W3OxwHcVJ3PJzVx7LACO44NqgGdHYX0FALMEZEiqY->
- [26] SatixFy, "Prime 2.0 DBF ASIC," <https://www.satixfy.com/product/prime-2-dbf-asic/>
- [27] 과학기술정보통신부, "대한민국, 저궤도 위성통신 시대를 향한 첫걸음 내딛다," 보도참고자료, 2024. 5. 23.