

저궤도 군집 통신위성 탑재체 기술 동향

Technology Trends in Communication Payload for the Broadband LEO Satellite Constellation

엄만석 (M.S. Uhm, msuhm@etri.re.kr)

위성탑재체연구실 책임연구원

장동필 (D.P. Chang, dpjang@etri.re.kr)

위성탑재체연구실 책임연구원/기술총괄

이병선 (B.-S. Lee, LBS@etri.re.kr)

위성탑재체연구실 책임연구원/실장

ABSTRACT

This article presents an overview of the key technologies in the communications payload of broadband LEO satellite communications systems. In recent years, new developments have been realized for LEO satellite communications. SpaceX's Starlink, a technology leader in this field, offers premium services with satellites carrying in-house developed communications payloads. OneWeb, Amazon, Telesat, and Boeing are also developing LEO satellite communications payloads. The communications payload consists of user link antennas, inter-satellite link communications equipment, feeder link antennas, and a digital processor. Highly sophisticated technologies of compact active phased array antennas for generating multiple hopping beams and light laser communication equipment for ultra-high-speed inter-satellite communication will be applied to next-generation payloads.

KEYWORDS 군집통신위성, 다중빔 위상배열안테나, 레이저 통신장치, 위성 탑재체, 저궤도 위성

1. 서론

통신 산업은 고객에게 더 빠른 데이터 속도와 더 우수한 서비스 제공을 위해 발전되어왔다. 이와 함께 위성통신 시장은 지금까지 지배했던 정지궤도 위성통신 대신 더 높은 통신속도와 낮은 지연이 가능한 저궤도 군집위성통신시스템으로 이동하고 있다[1].

저궤도 군집 통신위성을 이용한 초고속 인터넷에 대한 관심이 증가되는 가운데 스페이스X(SpaceX), 원웹(OneWeb), 텔레셋(Telesat) 및 아마존(Amazon)은 향후 몇 년 동안 최대 46,100개의 위성을 발사할 계획이라고 발표하였다[2]. 이는 지난 60년 동안 우주로 보낸 물체의 5배 이상으로 매우 많은 수의 위성이 궤도에서 동작한다는 의미이다. 초고속 인터넷을 제공하기 위한 수많은 위성으로 이루어진 저

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2022.J.370305>

* This work was supported by Institute for Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korean Government (MSIP) [No. 2018-0-00190, Development of Core Technology for Satellite Payload].

궤도 군집위성은 민간 주도로 이루어지는 뉴스페이스(New Space)의 일환으로 우주 경쟁이 뜨겁게 이루어지고 있다[3]. 상업용 통신을 위한 스페이스X 사업과는 달리 중국 정부는 13,000기의 군집위성을 운영할 수 있는 회사를 설립하였다. 국영 기업을 감독하는 정부 기관인 국유자산감독관리위원회가 2021년 4월 29일 중국 위성 네트워크 그룹 창립과 GW(Guo Wang)란 명칭의 군집위성 시스템 구축을 발표하였다[4].

우리나라도 뉴스페이스 시대에 맞추어 국내 기업이 위성개발 분야에 적극적으로 참여하고 있다[5]. 위성 및 국방 분야 기술을 보유한 한화시스템은 원웹과 투자 계약을 2021년 8월 체결하였다. 한화시스템은 위성안테나 등의 축적된 개발 역량을 활용하여 저궤도 군집위성 통신시스템 시장에 적극 참여하고, 아시아 권역 위성 인터넷망 공급 가능성을 기대하고 있기 때문이다[6]. 우리나라 정부도 6G 시대를 준비하기 위해 위성통신발전전략을 발표하였다. 위성통신 기술과 서비스 실증을 추진하여 관련 산업의 성장을 적극 지원하기 위한 것으로 저궤도 위성 발사 계획을 제시하였다[7].

글로벌 디지털 격차를 해소하기 위한 글로벌스타, 이리듐 등과 같은 이전 사업과는 달리 저궤도 군집위성 시스템은 새로운 비즈니스 모델 창출과 상당한 비용 절감에 의해 성공 여부가 결정된다. 특히 성공하기 위해서는 설비 투자비와 관련 있는 위성당 제작 비용이 낮아야 한다. 또한, 위성의 수명주기에 맞추어 계속 발사되기 위해서는 대량 생산이 가능해야 한다. 위성통신 기능을 수행하는 탑재체를 개발할 때 제작비용과 대량생산 가능성을 함께 고려해야 한다[8].

본고는 저궤도 군집 통신위성 탑재체 핵심기술을 다루기 위해 위성통신시스템 정의, 국외 기술 동향과 탑재체의 주요 기술을 기술한다. 이를 위해 I 장

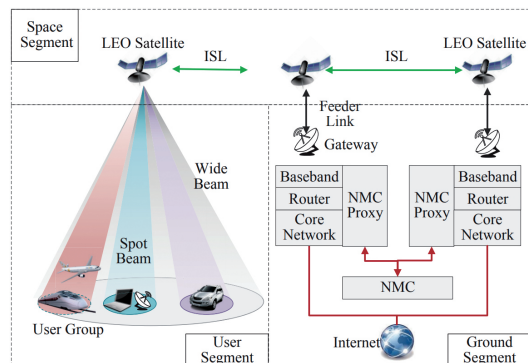
서론에 이어, II장에서는 군집 통신위성 시스템의 정의와 국외 위성 시스템의 현황을 보인다. III장에서는 위성 탑재체 구성과 위성 탑재체의 핵심 기술인 안테나, 위성 간 통신장치 그리고 디지털 신호처리장치의 기술을 나타낸다. IV장에서는 결론을 맺는다.

II. 저궤도 군집위성 현황

1. 저궤도 군집위성통신시스템 정의

저궤도 군집위성통신시스템은 “저궤도에 수백 기 이상의 대량 생산된 통신 위성을 배치하여 초고속 인터넷 서비스를 제공하는 통신시스템”이다. 네트워크 구조는 지상 기반 네트워크와 위성 기반 네트워크로 구분될 수 있으며, 위성 기반 네트워크에는 위성 간 데이터 링크 기능을 포함하고 있기 때문에 위성 탑재체의 규모가 커지고 복잡해지지만, 지상 기반에 비해 소수의 게이트웨이(Gateway)로 운영이 가능하다.

일반적으로 위성 기반 네트워크를 중심으로 하는 군집위성 통신시스템은 그림 1과 같이 우주 부문(Space Segment), 지상 부문(Ground Segment) 그리고 사



출처 Reprinted with permission from [9].

그림 1 군집위성 시스템 구조

용자 부문(User Segment)으로 구분된다. 우주 부문에서 통신 신호를 재생할 수 있는 위성탑재 신호처리 기(OBP: On-Board Processor)가 있는 위성 탑재체는 인접 위성과 서로 연결되고, 탑재체 내부에서 무선 인터페이스 프로토콜을 제공할 수 있다. 이 경우 위성은 우주 기지국 역할을 하고 사용자에게 무선 액세스 제공이 가능하게 된다. 지상 부문에는 게이트웨이와 네트워크관리센터(NMC)가 포함된다. 게이트웨이는 안테나, 기저대역 처리장치, 라우터 및 핵심 네트워크 장치로 구성되고, 보이는 여러 개의 위성들과 동시에 연결할 수 있다. 네트워크관리센터는 전체 위성 통신시스템의 운영, 관리 및 제어의 중심으로, 모든 게이트웨이를 제어한다[9].

2. 저궤도 군집 통신위성 현황

가. 스타링크(Starlink)

스페이스X의 스타링크 위성통신시스템은 2022년 2월 5일까지 발사된 2,064기 위성 중 1,866기로 전 세계 이용자에게 광대역 인터넷 서비스를 제공하고 있다. 2022년 2월에는 고품질 서비스를 위한 스타링크 프리미엄도 출시하였다. 통신시스템의 사용자 링크는 Ku 대역, 피더 링크는 Ka 대역을 이용한다. 그리고 위성 간 통신은 레이저 통신이 사용되고 있다.

현재까지 스타링크 위성은 2기의 초기 위성을 제외하고 v0.9, v1.0 그리고 v1.5가 개발되어 발사되었다. 위성통신 검증을 위한 시험위성 v0.9는 Ka 대역과 위성 간 통신 링크 장치가 없는 프로토타입으로 개발되었다. 무게가 227kg인 시험위성은 초고속 데이터를 처리할 수 있는 Ku 대역 위상배열 안테나 등 통신 탑재체의 기술과 별 추적기 등 위성의 주요 기술을 검증하기 위해 개발되었다. 발사체에 위성을 최대한으로 많이 적재하기 위해 편평한 평면 형태로 탑재체를 설계하여 위성의 부피를 최소화하였

고, 태양전지 패널을 많이 사용하여 고전력을 제공하면서도 경량화가 가능한 기술이 적용되었다.

서비스 제공을 위한 v1.0 위성은 2019년 11월부터 발사가 이루어졌다[10]. 무게가 260kg으로 증가되었으며, Ka 대역 통신장치도 추가되었다. 고용량 신호를 처리하면서 빠르게 빔의 방향을 바꿀 수 있는 4개의 강력한 Ku 대역 위상배열 안테나가 배치되었다. 컴팩트한 패널 구조의 안테나는 다중빔 처리가 가능하다. 피더 링크는 Ka 대역 안테나를 사용하여 지상 게이트웨이와 통신할 수 있도록 하였다.

위성 간 레이저 통신이 가능한 v1.5 위성 51기가 2021년 9월 14일 발사되었다. 참고문헌 [11]에서 제시한 그림으로 위성 간 링크를 위한 레이저 통신장치로 3개가 사용되었다는 것을 유추할 수 있다. 기존 v1.0 위성은 하나의 Falcon-9 발사체에 60기가 적재되었지만, v1.5 위성은 51기만 장착되었다. 발사체 허용 중량을 고려하면 260kg 위성이 300kg급 위성으로 바뀐 것으로 보인다.

위성 간 통신 링크가 개선되는 스타링크 v2.0도 발사될 예정이며, 기존 위성과는 달리 더 크고 훨씬 빨라질 Gen2 위성으로 전환할 계획도 가지고 있다. 스페이스X의 문서에는 차세대 스타링크 위성이 기존 v1.0 위성보다 통신 용량이 최대 3배가 될 것이라고 암시했으며, 이를 위해 위성이 약 1톤이 될 것으로 예측하고 있다[12].

나. 원웹(OneWeb)

영국의 원웹은 2022년 2월 10일까지 428기 위성이 발사되었고, 1차 서비스를 위한 목표 위성 수인 648기를 채우기 위해 위성이 계속 제작되고 있다. 2022년 말까지 위성 배치를 완료하여 글로벌 인터넷 서비스를 제공할 예정이다.

원웹 위성은 고도 1,200km에서 동작하는 약 125kg의 소형 위성이다. 각 위성은 Ku 대역 탑재체

를 사용하여 가정 및 모바일 플랫폼에 초고속 인터넷 액세스를 제공하기 위해 초당 최소 8기가비트의 처리량을 제공할 수 있다[13]. 고객 단말과 통신하는 사용자 링크 안테나는 단순 혼 배열형태이고, 16개의 개별 안테나로 16개 빔을 제공한다. 피더 링크는 빔조향 반사판 형태의 Ka 대역 안테나를 통해 지상 게이트웨이와 통신할 수 있도록 하였다.

원웹의 산업 파트너사인 영국의 SatixFy사는 2022년 발사 예정인 시연위성을 개발하고 있다. 완전 디지털 빔 호핑(Hopping) 기능을 지닌 시연위성은 사용량이 많은 지역에 고용량 서비스를 제공할 수 있는 유연한 기능을 가지고 있다[14]. 시연위성의 파일럿 빔 호핑 탑재체가 성공할 경우 차세대 원웹 위성엔 채택될 것이다. 현재 개발되는 1세대 원웹 위성은 위성 간 데이터 링크 통신 기능을 포함하고 있지 않으나 차세대 위성엔 위성 간 링크, 소프트웨어 정의 네트워크 그리고 라우팅을 위해 OBP 기능도 추가할 계획을 발표하였다[15].

다. 텔레셋(Telesat LightSpeed)

캐나다의 텔레셋은 2024년까지 총 298기 위성을 발사하여 서비스를 제공할 계획이며, 이를 위해 유럽 TAS(Thales Alenia Space)에서 위성을 개발하고 있다. 700kg급인 위성은 약 1,000km 고도에서 동작한다. 전 세계의 기관 고객에게 광섬유와 같은 고속 인터넷 B2B 서비스를 제공하는 데 중점을 두고 있다[16,17].

Ka 대역 사용자 링크 안테나는 다중빔 위상배열 안테나를 사용하여 수많은 단말과 통신할 수 있으며, 호핑 빔 안테나로 지구 전 지역을 커버하고 수요가 많은 곳(Hot Spot)에 추가 통신 용량을 동적으로 제공할 수 있도록 하였다. 이때 호핑 빔은 위성당 135,000개까지 생성 가능하며, 동시에 최대 32빔을 사용할 수 있다. 지구를 향하는 위성 패널에 4개의

평면형 안테나가 장착되며, 송신용과 수신용으로 각각 2개씩 사용한다. 지상 게이트웨이와 통신을 위해서는 위성의 양끝단에 각각 2개의 빔조향 반사판 안테나가 사용된다. 위성 간 통신을 위해 4개의 레이저 통신장치가 장착되었고, 동일 궤도면과 교차 궤도면까지 통신이 가능하다.

라. 카이퍼(Kuiper)

아마존은 스페이스X의 스타링크와 정면으로 맞서기 위해 저궤도에 3,236개의 위성 네트워크를 구축하여 글로벌 고속 인터넷을 제공하려는 카이퍼 계획을 발표했다. 초기 서비스는 궤도에 578개의 위성이 배치되면 시작될 예정이다. 이를 위해 2022년 말까지 2기의 프로토타입 위성 발사 계획을 FCC에 승인 요청했다. 프로토타입 위성인 KuiperSat-1과 KuiperSat-2는 위상 배열 및 반사판 안테나, 전력 및 추진 시스템, 맞춤 설계된 모뎀 등 주요 장치가 포함된다[18].

카이퍼 위성은 사용자 링크용으로 Ka 대역 다중빔 위상배열 안테나를 이용한다. 위상배열 안테나는 서비스 지역 내에 있는 고객의 요구사항에 맞추어 주파수와 용량을 유연하게 할당할 수 있는 기능을 가지고 있다. 지상 게이트웨이와의 통신은 Ka 대역 빔조향 반사판 안테나가 이용된다. 네트워크를 관리할 수 있는 기능을 지닌 디지털 중계기는 사용자 링크와 피더 링크를 중계하기 위해 모뎀, 패킷 라우팅 및 스위칭을 포함한다. 모든 상향링크 및 하향링크 트래픽은 위성에서 완전히 재생성되고 라우팅/스위칭/재패킹 활동이 빔 간에 수행된다.

마. 보잉(Boeing)

미국의 보잉은 147기의 비정지궤도 광대역 위성을 개발하고 운영하기 위한 계획을 FCC에 제출하고 승인받았다. 보잉은 132개의 저궤도 위성

을 약 1,000km 궤도에 발사하고 나머지 위성은 27,355~44,221km 사이에 배치할 계획이다[19]. 위성통신 수요 증가에 따라 광대역 서비스를 제공하기 위해 다른 사업자가 이용하고 있는 Ku 대역과 Ka 대역과는 달리 더 높은 주파수인 Q/V 대역을 이용할 예정이다. 위성에 대한 세부적인 성능 등은 공개되어 있지 않다.

III. 위성 탑재체 구성 및 주요 기술

1. 위성 탑재체 구성

통신위성 탑재체는 초고속 통신 서비스 제공 임무를 수행하게 하는 통신장치로, 지상 및 타 위성의 통신 신호를 송수신하며 중계할 수 있는 기능을 지닌다. 저궤도 군집 통신위성에 적용되는 위성 탑재체는 사용자 링크 안테나, 위성 간 링크 안테나, 피더 링크 안테나, 그리고 링크 신호를 분리/연결할 수 있는 중계기로 그림 2와 같이 구성된다.

사용자 링크 안테나는 위성 탑재체와 지상 단말 간의 통신을 연결하는 기능을 지니며, 송신과 수신 빔의 유연성을 갖는 다중빔 위상배열 안테나가 주로 사용된다. 다중빔 위상배열 안테나는 개별 빔의 형태와 방향을 변경할 수 있는 기능뿐만 아니라 우주 및 발사 환경에도 견딜 수 있는 고신뢰성의 빔형

성 장치를 포함한다.

피더 링크 안테나는 위성 탑재체와 지상 게이트웨이가 서로 통신을 할 수 있어야 하기 때문에, 위성이 궤도 내 이동 중에도 안테나가 게이트웨이를 지향할 수 있어야 한다. 빔수가 적은 피더 링크용 안테나는 다중빔 위상배열 안테나 대신 개발이 용이한 빔 조향 송수신 겸용 반사판 안테나가 주로 이용된다. 피더 링크는 앞으로 광대역 신호 중계를 위해 현재 사용하는 Ka 대역보다 높은 Q/V 대역 연구가 활발히 이루어질 것으로 판단된다.

인접 위성 간 데이터 통신을 위해 무선 RF 또는 레이저를 이용하는 장치가 사용되며, 위성 간의 각도 범위에 따라 빔 조향 기능 및 범위가 결정된다. 위성에 장착되는 통신장치의 수는 군집위성 방식에 의해 결정된다. 글로벌 통신위성인 이리듐-넥스트(Iridium-NEXT)는 동일 궤도면 내 통신을 위해 2개 통신장치, 인접 궤도면 내 통신을 위해 2개 통신장치 총 4개를 장착하였다. 이와 유사하게 텔레셋도 총 4개의 위성 간 통신장치를 사용하는 것으로 공개되었다.

디지털 중계기의 신호처리장치는 각 링크의 신호 중계와 네트워크 관리 등의 업무를 수행한다. 신호처리장치의 모뎀은 사용자 링크의 적응형 코딩 및 변조를 지원한다. 또한 각 링크의 빔 간 라우팅/스위칭 동작도 가능하다. 네트워크 관리 모듈은 지상의 네트워크 관리 장치와 연동되어 사용자 및 게이트웨이에 대해 최적의 빔을 할당하고, 사용자 수요 및 서비스 유형에 맞게 자원을 할당하는 기능을 가진다. 정지궤도 위성망을 보호하기 위해 특정 각도에서는 위성 운영을 제한하는 기능도 필요하다.

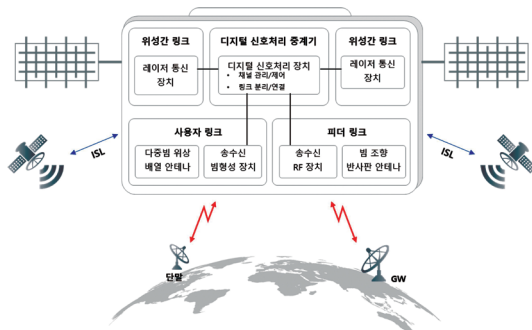


그림 2 위성 탑재체 구성도

2. 사용자 링크 및 피더 링크 안테나

위성탑재용 안테나 빔은 지구 고정빔과 지구 이

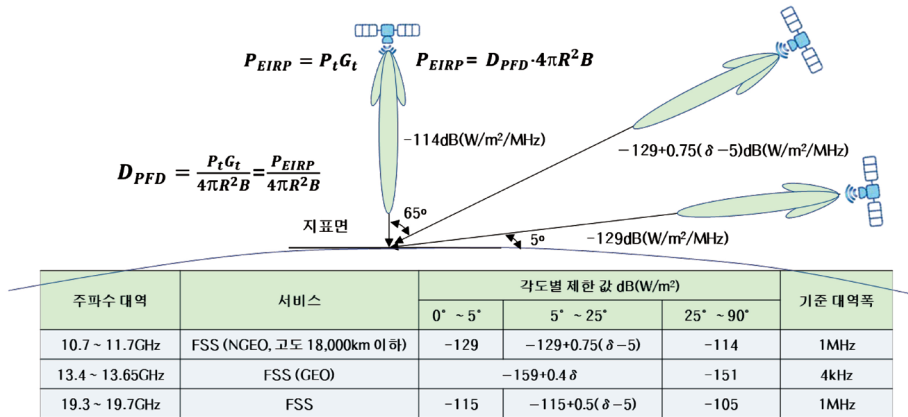


그림 3 Ku 대역과 Ka 대역의 PFD 제한 값

동심으로 구분할 수 있다[20]. 정지궤도 위성에서 탑재 안테나의 고정빔은 지구 고정빔이 되고, 이동빔은 지구 이동빔이 된다. 반면 저궤도 위성 탑재안테나의 고정빔은 지구 이동빔이 되고, 조향빔은 지구 고정빔이 될 수 있다. 사용자 링크 안테나와 피더 링크 안테나는 군집위성 시스템 설계에 따라 빔의 형태가 결정된다.

RF 대역을 사용하는 사용자 링크 및 피더 링크는 ITU의 전파규칙에서 규정하는 PFD(Power Flux Density) 제한 값에 따라 운용되어야 한다. 이에 따라 송신 안테나의 EIRP와 대역폭 등이 결정된다[21]. 그림 3은 Ku 대역과 Ka 대역의 PFD 제한 값을 보였다.

가. 사용자 링크 안테나

사용자 링크 안테나는 높은 EIRP와 G/T 같은 성능뿐만 아니라 빔의 형태와 빔수가 중요하다. 수많은 사용자와 연결되기 위해서 위성당 빔수가 매우 많아야 한다. 저궤도 위성탑재용 안테나가 지구 고정빔을 만들기 위해서는 빔의 방향을 움직일 수 있는 위상배열 또는 모터 구동형 안테나가 사용되어야 한다.

대략 1×1×1.3m³의 크기인 원웹의 Ku 대역 사용

자 링크 안테나는 수동 직접 방사 배열로 여러 개의 고정빔을 생성할 수 있는데, 2개의 안테나로 16개의 빔을 만든다. 배열 안테나의 빔형성 회로는 배열 소자에 이중 편파 사용이 가능하도록 구현되었다. 개발자인 캐나다 MDA는 매우 엄격한 무게 및 비용 요구사항을 만족하기 위해 설계 시 부피와 질량도 최소화하면서 최적의 RF 성능과 제조 가능성을 갖도록 하였다. 방사 배열소자에 직접 결합되는 부품이 거의 없는 블레이드 안테나를 선택하였다. 사용되는 나사의 수를 제한함으로써 무게(850g 미만)를 낮추고 조립 시간도 단축할 수 있었다. 안테나 이득과 연관 있는 방사 효율은 97% 이상이다[22].

차세대 원웹 위성 탑재체는 고정빔 안테나가 아닌 위상배열 안테나가 채택될 것으로 예상된다. 차세대 원웹용 시연위성을 개발하고 있는 Satixfy사의 위상배열 안테나는 디지털 빔형성 방식을 채택하고 있으며, 자체적으로 관련 칩을 개발하였다. 안테나는 여러 빔을 동시에 여러 방향으로 지향할 수 있으며, 광대역 특성을 위해 TTD(True Time Delay) 기능을 넣었다[23].

스페이스X가 자체적으로 개발하고 있는 스타링크 위성탑재용 위상배열 안테나에 대한 자세한 성

능과 방식에 대해서는 공개가 되어 있지 않다. 단지 스타링크 v1.0과 v1.5의 형상에서 4개의 위상배열 안테나 패널이 사용된다는 것과 편평한 위성에 적재하기 쉬운 컴팩트한 구조가 사용된 것을 알 수 있다. 안테나는 고용량 신호처리가 가능하면서 빠른 시간 내에 개별적으로 빔의 방향을 바꿀 수 있을 것으로 예측된다.

텔레셋 위성의 사용자 링크 안테나는 MDA가 개발한 직접 방사형 다중빔 위상배열 안테나가 사용된다. 안테나는 수많은 호핑 빔을 생성할 수 있어 수요가 많은 곳에 추가 통신 용량을 동적으로 제공할 수 있다[24]. 지구를 향하는 패널에 장착되는 안테나는 송신용과 수신용 각각 2개가 사용된다. 하나의 안테나는 수십 개의 빔이 개별적으로 움직일 수 있는 기능을 가지고 있다. 개발되는 안테나의 형상은 컴팩트한 구조로 되어 있다[25]. 위상배열 안테나를 개발하는 MDA는 안테나의 핵심 장치인 빔형성 회로를 구현하기 위해 ADI(Analog Device Inc.)의 칩을 사용하기로 하였다[26]. ADI는 위성 및 방위 산업용으로 Ka 대역에서 동작하는 빔형성 칩을 개발하였다. 송신용 ADAR3000칩의 동작 주파수는 17~22GHz이고, 채널당 12mW 이하의 낮은 소비전력을 가지며, 4개의 빔을 동시에 사용할 수 있도록 16채널로 이루어졌다. 빔 방향 위치 변경을 위한 내부 메모리가 포함되어 있다.

카이퍼와 보잉의 위성탑재용 사용자 링크 안테나에 대해서는 여러 빔을 독자적으로 움직일 수 있는 다중빔 위상배열 안테나를 채택한다는 것만 공개되었고, 구현하는 방법 등에 대한 구체적인 내용은 공개가 되지 않았다.

나. 피더 링크 안테나

사용자 링크 안테나와는 달리 피더 링크 안테나는 1~4개의 게이트웨이와 연결하기 위해서는 많은

빔이 요구되지 않는다. 그렇기 때문에 이미 개발되어 발사된 원웹과 스타링크 안테나는 위상배열 대신 모두 모터 기반의 반사판 안테나가 사용된 것으로 추정된다. 앞으로 개발될 아마존의 카이퍼도 반사판 안테나가 사용될 예정이다.

원웹 Ka 대역 피더 링크 안테나는 MDA에서 개발된 안테나로 매우 넓은 조종 범위 내에서 안테나는 스캔 손실을 최소화하도록 하였다. 특히 고정 피드체인을 사용하므로 회전 조인트가 필요하지 않는 구조로 특허권을 보유하고 있다. 조립 공정과 시험의 일부가 자동화되어 생산 일정과 비용을 더욱 절감하여 이 설계를 대량 생산에 적합하게 만들었다[22].

3. 위성 간 링크 통신장치

레이저 통신은 주파수 조정 없이 즉시 사용 가능하고, 경량화가 가능하며, 대용량 데이터 통신을 할 수 있고, 좁은 빔으로 인한 보안성 강화되는 장점을 지니고 있다. 반면에 매우 좁은 빔으로 빔을 매우 정교하게 지향해야 하기 때문에 개발이 어렵다는 단점도 있다. 현재 저궤도 군집위성의 데이터 용량이 매우 많이 요구되기 때문에 위성 간 통신을 위해서 RF 무선 방식보다는 레이저 통신이 주를 이룬다.

현재 발사된 저궤도 군집위성 중에 스타링크 위성에만 위성 간 통신용 레이저 통신장치가 장착되어 있다. 스페이스X는 2021년 1월 10기의 위성에 레이저 통신장치가 포함되어 발사되었고, 극궤도에 배치되었다고 공개하였다. 스페이스X의 CEO인 일론 머스크의 트윗에 따르면 2022년 이후에 모든 스타링크 위성에 레이저 통신장치를 추가할 것이라고 하였다[27].

텔레셋 위성에 사용되는 위성 간 통신을 위해서 독일의 Mynaric 레이저 통신장치가 이용된다[28].

표 1 레이저 통신장치 성능 비교

항목		CONDOR[30]	ConLCT[31]
렌즈 직경		80mm	-
운용 파장		1,550nm	1,064nm
광 출력		1W	1.8W
데이터속도	거리	4,500km	6,000km
	속도	10Gbps	10Gbps
제원	부피	63×43×25cm	50×18×26cm
	무게	<20kg	15kg
	전력	<60W	86W
동작 범위	방위각	±175°	±180°
	앙각	+5/-25°	+25/0°
제조사		Mynaric	TESAT

출처 Reproduced from [30,31].

텔레셋은 미국 국방부 블랙잭 사업과 연관되어 레이저 통신장치를 사용할 수 있다. Mynaric은 페이스북의 성층권 항공기와 지상을 연결하는 시험을 2018년 성공적으로 실시할 정도로 기술력이 높은 업체로 우주 및 지상용 장치가 개발되어 있다. Mynaric에서 개발된 최신 CONDOR Mk3 레이저 통신 장치는 차세대 군집위성을 위한 고성능, 고대역폭, 안전하고 안정적인 위성통신의 증가하는 요구를 해결하기 위해 개발되었다. 훨씬 더 작은 설치 공간, 더 가벼운 질량 및 더 낮은 전력 소비를 제공하여 군집위성에 적합하다고 보고되었다[29].

주로 정지궤도 위성과 저궤도 위성 간의 중계용만 개발하는 TESAT이 저궤도 위성 간 통신용 장치인 ConLCT도 개발하였다. 이전에 개발된 1,064nm 파장대 대신 주로 사용되는 C 대역 1,550nm 파장 대역으로 변환이 가능하다. 표 1에 Condor과 ConLCT 장비의 특징을 나타냈다[30,31].

중국은 자체 개발한 레이저 통신장치를 글로벌 이동위성인 Xingyun-2 위성에 장착하여 검증하였

다. 2023년경 80기의 군집위성으로 IoT 서비스 제공을 목표로 위성 및 핵심 부품을 개발하고 있다. 2020년 5월에 발사된 위성에 장착된 레이저 통신 장치의 무게는 6.5kg, 소비 전력은 80W로 공개되었다[32]. 자세한 성능 등은 공개되고 있지 않다.

보잉에서 개발하려고 하는 위성은 다른 위성에서 사용하는 레이저 통신과는 달리 Ka 대역과 V 대역을 사용하여 위성 간 통신을 계획하고 FCC에 승인 요청했으나 다른 군집위성에 유해한 간섭을 줄 수 있어 거부당했다[33].

4. 위성탑재 디지털 중계 장치

가장 먼저 초고속 인터넷 통신을 위한 저궤도 군집통신 위성 사업을 시작한 원웹 위성 중계기는 사용자 링크의 신호와 게이트웨이 신호 간의 단순 중계 역할을 하는 것으로 여겨진다. 중계기에 사용되는 부품은 Teledyne Defense로부터 공급을 받았다는 사실 이외에 중계기 구조에 대해서는 공개가 되지 않았다[34]. Teledyne사로부터 공급받은 RF 부품을 원웹에서 위성 중계기에 조립하여 구현한 것으로 보인다.

철저하게 베일에 싸인 스타링크는 이미 서비스를 제공하고 있지만, 위성 탑재체 중계기의 구조 및 기능 등에 대해서 일체 공개가 되지 않았다. 통신 방식인 DVB 표준에 대해서도 언급되어 있지 않은 것으로 볼 때 디지털 신호처리장치는 자체적으로 개발한 변복조 방식을 사용하는 것으로 예상할 수 있다. 위성 간 링크 기능이 사용되기 때문에 위성에서 변복조하는 기능은 포함된 것으로 판단된다.

텔레셋은 자체 개발한 모뎀용 ASIC(Application-Specific Integrated Circuit)을 보유하고 있는 Satix-Fy와 게이트웨이 및 단말용 모뎀 설계 관련 계약을 체결하였다[35]. 자체 모뎀칩 SX3099는 안테나 빔

호핑 모드를 포함하여 전체 DVB 표준을 완벽하게 지원한다. SX3099는 “Bent-Pipe”라고도 하는 단순 신호 중계와 신호를 복원하는 OBP 기능을 갖는다. 순방향과 역방향에 적합한 DVB 표준을 지원하며 적응형 코딩 및 변조(ACM)를 최대한 활용하고 매우 다양한 변조 및 코딩 옵션을 지원하여 위성 링크의 효율적인 활용을 최적화한다[36]. 게이트웨이와 단말 시험을 위해 사용되는 칩의 표준에 따르면 텔레셋의 위성탑재용 중계기는 DVB 표준 신호를 처리할 수 있는 기능을 갖는 것으로 예측할 수 있다.

카이퍼 디지털 신호처리기는 모뎀, 패킷, 라우팅 및 스위칭 엔진을 포함한다. 위성탑재 신호처리의 네트워킹과 라우팅의 구성은 지상국에 의해 결정되며, 고객의 요구에 맞게 최대 통신 용량을 제공할 수 있도록 재프로그래밍이 가능하다. 모뎀은 최신 세대의 저밀도 패리티 검사 코드(LDPC) 순방향 오류 수정을 포함하여 통신 탑재체에 대한 광범위한 변조 및 코딩 옵션을 지원한다[37].

SatixFy는 저궤도 및 정지궤도에 사용 가능한 재구성 위성 탑재용 SDR 모뎀 칩을 개발하였다. 내방 사선이 가능한 SX4000 칩은 HTS 위성에서 핵심이 되는 DVB-S2X/RCS2 표준 및 빔 호핑에 호환되며 신호처리용 변복조기가 탑재되었다. SX4000은 시스템 요구에 따라 확장 가능한 구조이며, RF 채널당 단일 반송파를 이용한 고속 처리가 가능하여 위성 증폭기를 포화영역까지 사용할 수 있어 Mbps당 비용을 절감할 수 있다[38].

IV. 결론

위성 기술선진국들은 현대 사회에 필요한 초고속 인터넷 글로벌 위성통신시스템 개발을 적극적으로 추진하고 있다. 민간 주도로 이루어지는 스타링크가 본격적인 서비스를 실시하면서 경쟁사인 원웹도

서비스 제공을 위해 통신위성을 꾸준히 발사하고 있다. 또한 아마존, 텔레셋과 보잉도 민간 주도의 글로벌 위성통신 개발 계획을 발표하고 위성 개발을 추진하고 있다. 반면 중국은 국가 기반 통신망 확보를 위한 국영기업 설립 및 민간 기반의 통신망도 함께 개발하고 있다. 우리나라도 국제적으로 통신기술을 선도하기 위해 ‘공간의 한계를 넘는 6세대(6G) 위성통신기술 실증계획’을 수립하였다.

글로벌 저궤도 군집위성 통신시스템의 성공을 위해서는 높은 성능을 유지하면서도 컴팩트한 위성 탑재체가 요구된다. 차세대 위성 탑재체의 중요 기술인 다중 호핑빔용 직접 방사 위상배열 안테나, 지상 게이트웨이와 접속하는 컴팩트 빔조향 반사판 안테나, 위성 간 링크용 레이저 통신장치 그리고 디지털 신호처리 중계 장치는 파급효과가 높은 기술이기 때문에 적극적으로 확보되어야 할 핵심기술이다. 우리나라가 핵심 기술 확보를 위해서는 열악한 국내시장 환경을 고려하여 정부 주도의 연구가 이루어지고 국내 기업의 개발 참여를 유도하여 기술 성장을 이끌어내야 할 것이다.

약어 정리

ACM	Adaptive Coding and Modulation
DVB	Digital Video Broadcasting
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
FCC	Federal Communications Commission
G/T	Gain to Noise Temperature Ratio
IoT	Internet of Things
ITU	International Telecommunication Union
LDPC	Low Density Parity Check
LEO	Low Earth Orbit
NMC	Network Management Center
OBP	On-Board Processor
PFD	Power Flux Density

QoS	Quality of Service
SDR	Software Defined Radio
TAS	Thales Alenia Space
TTD	True Time Delay

참고문헌

- [1] Boston Consulting Group, "LEO satellites: A technology to revolutionize global connectivity?," 2021. 6. 1.
- [2] CNBC, "Why in the next decade companies will launch thousands more satellites than in all of history," 2019. 12. 15.
- [3] The Guardian, "UK takes on Elon Musk in the broadband space race," 2021. 10. 9.
- [4] SpaceNews, "China establishes company to build satellite broadband megaconstellation," 2021. 5. 26.
- [5] 이데일리, "한화 '위성 주유소' 띄우고, LIG '한국형 GPS' 개발...우주 가는 韓기업," 2021. 4. 7.
- [6] 조선일보, "한화시스템, 英 우주인터넷기업에 3450억원 투자," 2021. 8. 12.
- [7] 과학기술정보통신부 보도자료, "정부, 공간의 한계를 넘는 6세대(6G) 위성통신기술 실증 계획 발표," 2021. 6. 19.
- [8] RCR Wireless News, "The business case for LEO satellite constellations: Walking a tightrope to success," 2021. 3. 19.
- [9] Y. Su et al., "Broadband LEO satellite communications: Architectures and key technologies," IEEE Wirel. Commun., vol. 26, no. 2, 2019, pp. 55-61.
- [10] <https://www.teslarati.com/spacex-starlink-satellite-upgrade-more-bandwidth-more-beams/>
- [11] <https://www.teslarati.com/spacex-back-to-back-starlink-astronaut-launches-crew-3/starlink-v1-5-renders-oct-2021-spacex-lasers-1-c/>
- [12] NextBIG Future, "Version 2 starlink with lasers and gen 2 SpaceX starlink bigger and faster," 2021. 9. 27.
- [13] https://space.skyrocket.de/doc_sdat/oneweb.htm
- [14] SatixFy's News, "SatixFy to develop a fully digital beam-hopping payload on OneWeb's demo sat and a multibeam user terminal as part of ESA's sunrise programme," 2021. 5. 24.
- [15] Capacity, "OneWeb 'plans optical links' for next generation of satellites," 2021. 3. 1.
- [16] Space It Bridge, "Telesat announces LEO satellite manufacturer, 'Lightspeed' name," 2021. 2. 9.
- [17] <https://www.spaceitbridge.com/telesat-announces-leo-satellite-manufacturer-lightspeed-name.htm>
- [18] AmazonNews, "Project Kuiper announces plans and launch provider for prototype satellites," 2021. 11. 2.
- [19] SpaceNews, "FCC approves Boeing's 147-satellite V-band constellation," 2021. 11. 3.
- [20] 3GPP TR 38.821, v16.2.0, "Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN) (Release 16)," Dec. 2019.
- [21] ITU-R Radio Regulation Article 21, "Terrestrial and space services sharing frequency bands above 1 GHz," 2020.
- [22] K. Glatre et al., "Paving the way for higher-volume cost-effective space antennas: Designing for manufacturing, assembly, integration, and test," IEEE Antennas Propag. Mag., vol. 61, no. 5, 2019, pp. 47-53.
- [23] SatixFy's News, "OneWeb and SatixFy to launch a digital technology pathway payload in 2021," 2020. 1. 13.
- [24] Design Engineering News, "MDA selected to supply satellite antennas for Telesat Lightspeed," 2021. 2. 22.
- [25] Cyprus Shipping News, "ARTES support leads to MDA Advanced Radiating Antenna (DRA) contract for Telesat Lightspeed," 2021. 7. 20.
- [26] ADI News, "Analog devices and MDA collaborate to provide electronic beam forming technology for the Telesat Lightspeed constellation, enhancing global connectivity," 2021. 4. 7.
- [27] SpaceNews, "SpaceX adds laser crosslinks to polar Starlink satellites," 2021. 1. 26.
- [28] Satnews, "Mynaric selected by Telesat for their CONDOR optical terminals for DARPA's Blackjack Track B Program," 2020. 10. 21.
- [29] <https://mynaric.com/products/space/condor-mk3/>
- [30] S. Munchenberg et al., "Development status and breadboard results of a laser communication terminal for large LEO constellations," in Proc. Int. Conf. Space Optics, (Chania, Greece), Oct. 2018.
- [31] TESAT' ConLCT Data Sheet, "ConLCT laser communication terminal for constellations," <https://www.satcatalog.com/component/conlct/>
- [32] SCIO News, "China's IoT satellites verify laser links technology," 2020. 8. 14.
- [33] SpaceNews, "FCC approves Boeing's 147-satellite V-band constellation," 2021. 11. 3.
- [34] Airbus News, "First three subcontractors selected by OneWeb satellites," 2016. 6. 1.
- [35] SatixFy's News, "Telesat and SatixFy to demonstrate satellite modems incorporating SatixFy's Sx3099 1 GHz chip for the Telesat Lightspeed LEO constellation," 2021. 3. 11.
- [36] <https://www.satixfy.com/sx3099/>
- [37] Kuiper Systems LLC. 2019, "TECHNICAL APPENDIX:

Application of Kuiper systems LLC for authority to launch and operate a non-geostationary satellite orbit system in Ka-band frequencies," 2019.

[38] SatixFy's News, "SatixFy to supply on-board processing ASICs to Airbus for advanced processed payloads," 2019. 5. 7.