

저궤도 위성통신 시스템 설계 핵심요소 분석과 Starlink 및 OneWeb 위성군 비교 연구

이건기, 양원식, 신정윤, 정종문*

연세대학교 전기전자공학과, 연세대학교 전기전자공학과, 연세대학교 전기전자공학과,

*연세대학교 전기전자공학과

leegungee@yonsei.ac.kr, yangws95@yonsei.ac.kr, sjy970528@yonsei.ac.kr, *jmc@yonsei.ac.kr

Analysis of Key Elements in Low Earth Orbit Satellite Communication System Design and Comparative Study of Starlink and OneWeb Satellite Constellations

Gunkee Lee, Wonsik Yang, Jeongyoon Shin, Jong-Moon Chung*

Yonsei Univ Electrical and Electronic Engineering, Yonsei Univ Electrical and Electronic Engineering, Yonsei Univ Electrical and Electronic Engineering,

*Yonsei Univ Electrical and Electronic Engineering

요 약

본 연구는 기존 위성통신의 한계를 넘어 낮은 지연시간과 넓은 커버리지를 제공하는 저궤도 위성통신 시스템에 주목한다. 연구의 핵심은 안정적인 광대역 통신 서비스를 제공하기 위한 필수적인 위성군(Constellation) 설계 요소들을 분석하는 데 있다. 특히 저궤도 위성통신 분야에서 선도적인 역할을 하고 있는 Starlink와 OneWeb의 위성군 설계 전략을 비교 분석하여, 이들 시스템의 현재 상황과 저궤도 위성통신 시스템의 미래 전망에 대한 종합적인 이해를 제공한다.

I. 서 론

기존의 위성통신 시스템은 지구 적도 상공 약 36,000 km에 위치한 정지궤도(Geostationary Earth Orbit, GEO) 위성에 의존해 왔다. 이 위성들은 지구의 자전과 거의 동일한 속도로 움직여 지상에서는 정지해 있는 것처럼 보인다. 이 시스템은 특정 지역에 안정적인 서비스를 제공할 수 있지만, 고고도 위성의 신호 지연, 채널 감쇠, 제한된 서비스 영역 등의 단점 때문에 이동통신에는 적합하지 않다. 또한, 높은 제작 및 발사비용으로 주로 방송이나 군 통신 등 특정 분야에 한정되어 사용되었다.

최근에는 Starlink와 OneWeb과 같은 민간 기업이 주도하는 저궤도(Low Earth Orbit, LEO) 위성통신 기술이 위성통신 분야에 혁신을 가져왔다. 통신 수요 증가와 민간 투자의 확대로 위성의 대량생산과 발사 비용이 절감되었다. 이러한 변화는 위성기술의 발전을 가속화시키며, 인터넷 접근성이 제한되는 극지방을 포함한 전 세계 다양한 지역에 고품질의 통신 서비스를 제공할 수 있는 기회를 제공하고 있다.

LEO 위성통신 약 500 ~ 2,000 km 고도에 다수의 위성을 배치하여 지구 전체를 커버하는 네트워크를 형성한다. 이들은 낮은 지연시간과 넓은 서비스 범위를 제공하며 통신 효율성을 크게 향상시켰다. 하지만, LEO 위성의 빠른 궤도 이동으로 인해 발생하는 빈번한 핸드오버 발생은 통신 안정성을 저하시킨다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하고 안정적인 광대역 위성통신 서비스를 제공하기 위한 위성군 설계의 핵심 요소들을 분석하며, 현재 위성통신 분야를 선도하고 있는 Starlink와 OneWeb의 위성군을 비교 분석한다.

II. 본 론

1. 위성군 설계의 핵심요소

위성군 설계는 위성통신 시스템의 성능에 결정적인 영향을 미친다. 주요 설계 요소로는 궤도의 경사각, 고도, 궤도 수 및 궤도당 배치되는 위성 수, 주파수 대역, 그리고 빔 방사 패턴이 포함된다.

① 궤도의 경사각과 고도

궤도 경사각을 조정은 위성이 커버할 위도 범위를 결정하며, 고도 조정은 커버 영역의 크기와 신호 지연에 영향을 준다. 고도가 높으면 넓은 지역을 커버할 수 있지만, 신호 지연시간이 길어질 수 있다.

② 궤도의 수 및 궤도당 위성 수

궤도 수를 늘리면 시스템의 연속성과 안정성이 향상되어 지구 전체를 더 넓게 커버할 수 있다. 하지만, 궤도당 많은 위성을 배치하면 네트워크 용량은 증가하나, 위성 간 상호 간섭과 핸드오버 빈도가 증가할 위험이 있다.

③ 주파수 대역

사용되는 주파수 대역은 신호 전파거리와 데이터 전송량에 중요한 역할을 한다. 높은 주파수 대역은 더 많은 데이터 전송 용량을 제공하지만, 신호 감쇠 문제를 일으킬 수 있다. 위성통신에는 주로 1 GHz 이상의 C, X, Ku, Ka 주파수 대역이 사용된다.

④ 빔 방사 패턴

빔 방사 패턴은 위성이 커버할 수 있는 영역의 크기와 형태를 결정한다. 지향성 빔은 특정 지역에 신호를 집중시켜 효율성을 높이며 간섭을 줄인다. 빔 포밍(Beam Forming) 기술은 커버리지 영역을 실시간으로 조절하고, 트래픽 수요에 따라 자원을 효율적으로 배분할 수 있다.

이러한 요소들을 적절히 조합하여 위성통신 시스템의 성능과 효율성을 최적화하는 것이 중요하다. LEO 위성통신에 주로 사용되는 위성군에는 Walker Delta와 Walker Star가 있다. Walker Delta는 여러 궤도에 위성을 배치하여 지구 전 지역에 균일한 커버리지를 제공하고, Walker Star는 모든 위성이 동일한 경사각을 가지고 극지방을 통과하며 지구 전체를 커버한다. 각 위성군은 구현하고자 하는 목표와 요구사항에 따라 조정된다.

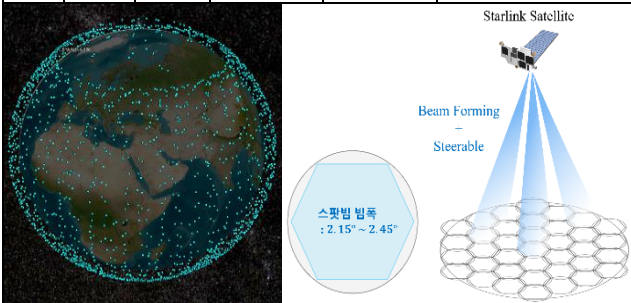
2. Starlink와 OneWeb의 위성군 설계

최신 FCC(Federal Communication Community) 자료 및 공식 사이트 제원을 바탕으로 Starlink와 OneWeb의 위성군을 분석했다. 두 기업은 각각의 목표와 사업 계획에 따라 세대별로 위성을 배치하고 있다. 1세대는 특정 궤도와 경사각에 중점을 두어 초기 위성 인터넷 서비스를 구축하는 데 집중했으며, 2세대는 서비스 품질 향상과 커버리지 확장을 목표로 발전된 기술을 적용하고 있다.

Starlink의 최종 목표는 Walker Delta와 유사한 위성군이다. 2세대 위성은 1세대 보다 3배 이상의 데이터 용량을 전송할 수 있으며, ISL(Inter-Satellite Link)을 사용해 주파수를 효과적으로 재사용하고 시스템의 유연성과 견고성을 향상시킬 것으로 예상된다. Starlink 위성은 Ku 및 Ka 주파수 대역을 사용하며, 빔 포밍과 기능과 8개 이상의 조향 가능한 스팟빔을 제공한다. 이 스팟빔들은 육각형 형태의 셀로 배치되어 각 셀 당 약 2,800km² 지역을 커버할 것으로 추정된다. Starlink 위성군의 세부 운영 계획은 아래 표 1과 같다.

표 1. Starlink 위성군

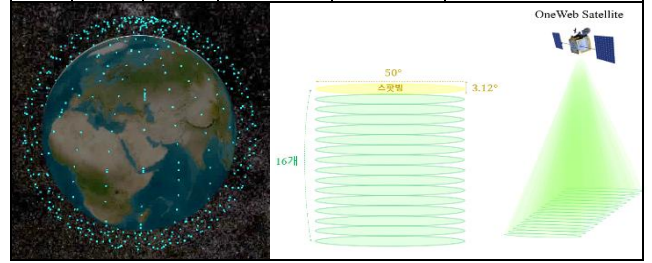
구분	세대	고도 (km)	경사각 (°)	궤도 수	궤도당 위성수	총 위성
궤도 구성	1	540	53.2	72	22	1,584
		550	53.0	72	22	1,584
		570	70.0	36	20	720
		560	96.6	6	58	348
		560	97.3	4	43	172
	총 5개 고도, 190개 궤도에 4,408개 위성 배치					
	2	340	53.0	48	110	5,280
		345	46.0	48	110	5,280
		350	38.0	48	110	5,280
		360	96.9	30	120	3,600
525		53.0	28	120	3,360	
530		43.0	28	120	3,360	
535		33.0	28	120	3,360	
604		148.0	12	12	144	
614	115.7	18	18	324		
총 9개 고도, 288개 궤도에 29,988개 위성 배치						
구분	세대	대역	통신대상	링크	세부 대역폭	
주파수	1, 2	Ku	사용자	다운링크	10.7 ~ 12.7 GHz	
				업링크	14.0 ~ 14.5 GHz	
	Ka	게이트웨이	다운링크	17.8 ~ 19.3 GHz		
			업링크	27.5 ~ 30.0 GHz		



반면, OneWeb의 최종 목표는 Walker Star와 유사한 위성군이다. 모든 궤도는 극지방을 통과하며, 위성들은 모두 고도 1,200km에 배치된다. OneWeb 위성은 ISL를 사용하지 않으며, Starlink와 동일한 주파수 대역을 사용한다. 2세대에서는 Ku 및 Ka 주파수 대역이 추가로 사용할 계획이다. OneWeb 위성은 빔 포밍 및 조향 기능이 없으며, 16개의 타원형 스팟빔으로 구성되어 있다. 각 스팟빔은 약 75,000km² 지역을 커버한다. OneWeb 위성군의 세부 운영계획은 아래 표 2와 같다.

표 2. OneWeb 위성군

구분	세대	고도 (km)	경사각 (°)	궤도 수	궤도당 위성수	총 위성
궤도 구성	1	1,200	87.9	12	49	588
			55.0	8	16	128
	20개 궤도에 총 716개 위성 배치					
	2	1,200	87.9	36	49	1,764
			55.0	32	72	2,304
40.0			32	72	2,304	
48개 궤도에 총 6,372개 위성 배치						
구분	세대	대역	통신대상	링크	세부 대역폭	
주파수	1, 2	Ku	사용자	다운링크	10.7 ~ 12.7 GHz	
				업링크	14.0 ~ 14.5 GHz	
		Ka	게이트웨이	다운링크	17.8 ~ 19.3 GHz	
				업링크	27.5 ~ 30.0 GHz	
	2	Ku	사용자	업링크	12.75 ~ 13.25 GHz	
				Ka	게이트웨이	다운링크
			다운링크			19.7 ~ 20.2 GHz



III. 결론

LEO 위성통신은 GEO 위성통신 대비 낮은 지연시간과 넓은 서비스 범위를 제공하며, 이는 민간 및 상업 분야에서 증가하는 통신 요구를 충족시키는 데 중요한 역할을 한다. 하지만, 빠른 궤도 이동으로 인한 핸드오버 문제는 지속적인 기술 혁신과 설계 최적화가 필요하다.

Starlink와 OneWeb은 각자의 핵심기술과 전략을 반영하여 위성군 개발에 집중하고 있다. 이러한 노력은 위성통신 분야의 경쟁과 혁신을 촉진하고 있으며, 이는 향후 위성통신 서비스의 질적 향상을 이끌 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Space Exploration Holdings, LLC. (2022) "Request for Orbital Deployment and Operating Authority for the SpaceX Gen2 NGSO Satellite System" SAT-LOA-20200526-00055 and SAT-AMD-20210818-00105
- [2] Yongtao Su et al., "Broadband LEO Satellite Communications : Architectures and Key Technologies" *IEEE Wireless Communications*, vol 26, Issue 2, April. 2019
- [3] Shiyi Xia et al., "Beam Coverage Comparisons of LEO Satellite System Based on User Diversification" *IEEE Access*, vol 7, 2019
- [4] Eutelsat OneWeb, "OneWeb Streamlines Constellation", <https://oneweb.net/resources/oneweb-streamlines-constellation>, Jan. 2021