

게이트웨이 설치에 따른 Starlink 국내 서비스 성능 분석

김해정, *한상민, *고형석, **조가연, *신원재

건국대학교 전기전자공학부, *고려대학교 전기전자공학부, **아주대학교 전자공학과

haejung138@konkuk.ac.kr, *smhan22@korea.ac.kr, *hsko99@korea.ac.kr,

**rkdus01305346@gmail.com, **wjshin@korea.ac.kr

Impact of Domestic Gateway Deployment on Starlink Service Performance in Korea

Haejung Kim, *Sangmin Han, *Hyungseok Ko, **Gayeon Cho, *Wonjae Shin

Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Konkuk Univ., *School of Electrical Engineering, Korea Univ., **Dept. of Electrical and Computer Engineering, Ajou Univ.

요약

저궤도 위성통신 서비스는 통신 커버리지를 넓힐 수 있다는 장점이 있으며, SpaceX를 비롯한 많은 기업들이 저궤도 위성통신 서비스 상용화를 눈앞에 두고 있다. 저궤도 위성통신 서비스를 위해서는 백홀(Backhaul) 망과 연결된 게이트웨이(Gateway)가 지역별로 지상에 설치되어야 하지만, 현재 국내에는 Starlink 게이트웨이가 없다. 본 논문에서는 국내 게이트웨이 설치 유무에 따른 Starlink 국내 서비스 성능을 분석한다. 국내에 게이트웨이가 없는 경우와 국내에 게이트웨이를 인천 혹은 제주도에 1개, 두 지역에 동시에 설치하는 경우로 나누고, 최소 고도각을 다르게 설정하여 Starlink 서비스가 국내에 제공하는 총 용량(Total Capacity)을 분석한다. 결과 분석을 통해 최소 고도각이 클수록 국내에 게이트웨이가 설치되는 것이 필요함을 확인한다.

I. 연구 배경 및 목적

지구 어디에서든지 통신 서비스 제공이 가능한 저궤도(Low Earth Orbit, LEO) 위성통신 시스템은 2020년 전후를 기점으로 국내외에서 활발히 연구되고 있다. 그중 SpaceX의 Starlink 서비스는 2025년 하반기 대한민국에서 저궤도 위성통신 서비스를 시작할 것으로 예상된다 [1]. Starlink 서비스는 백홀(Backhaul) 망과 연결된 게이트웨이(Gateway)를 지역별로 설치하고, 게이트웨이와 Starlink 위성은 피더 링크(Feeder Link)로 연결되어 지상의 사용자에게 위성통신 서비스를 지원한다. 현재 국내에는 Starlink 서비스를 위한 게이트웨이가 존재하지 않으며, 현 상황에서 국내에 Starlink 서비스가 도입될 경우 일본 등 인접 국가의 게이트웨이를 활용하거나 위성 간 통신 링크(Inter-Satellite Link, ISL)를 활용하여 거리가 먼 국가의 게이트웨이를 통해 통신 서비스가 제공될 것으로 예상된다. 하지만, 위성통신 시스템이 6G에서 필수 시스템으로 평가되는 동시에 지상 통신 시스템과 통합되어 운용될 것을 고려하면, 저궤도 위성통신 서비스를 위한 국내 게이트웨이 설치에 따른 성능 분석이 필요하다. 본 논문에서는 Starlink 위성 정보를 기반으로 지역별 위성통신 서비스를 분석하는 시뮬레이터를 활용하여, Starlink 군집 위성으로부터 국내 지역에 제공되는 총 용량(Total Capacity)을 국내 게이트웨이 설치 유무, 최소 고도각(Minimum Elevation Angle)에 따라 분석한다. 분석 결과를 통해 Starlink 서비스를 위한 게이트웨이를 국내에 설치해야 하는지에 대한 타당성을 평가한다.

II. 시뮬레이션 모델 및 설정

국내 지역에 대한 Starlink 서비스 분석을 위해, 웹 기반 성능 분석 시뮬레이터인 Starlink Coverage Tracker를 활용한다 [2]. Starlink Coverage Tracker는 실제 Starlink 위성의 운용 정보와 지역별 지상 정보를 바탕으로 위성과 게이트웨이, 위성과 셀 간의 연결 및 통신 성능을

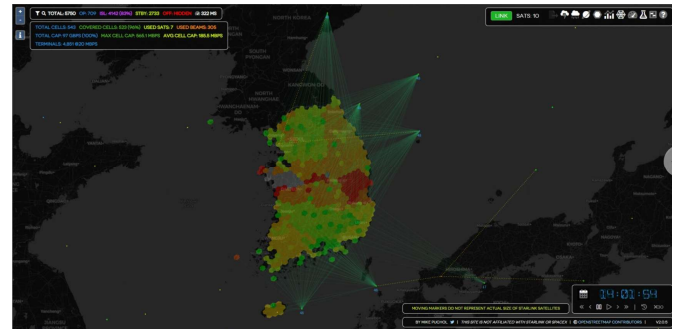


그림 1. Starlink Coverage Tracker 기반 Starlink 국내 서비스 예시 [1].

표 1. Starlink Coverage Tracker 파라미터 설정.

Parameter	Value
Beam Spread	2
Full Spot Beam Capacity	700 Mbps
Available 250 MHz Channel	8
TDM Allocation per Cell	50%
Beam per Cell	4
Full Capacity on ISL Satellites	Off

보여준다. 그림 1과 같이, Starlink Coverage Tracker는 Uber H3(Resolution 5) 그리드 시스템을 이용하여 지구 표면 전체를 육각형 셀(Cell)들의 집합으로 구분한다 [2]. 각 셀은 한 변의 길이가 약 10 km, 넓이가 약 252 km²인 육각형 모양이며, 남한 지역은 총 543개의 셀로 구분된다. Starlink 위성에서 비추는 스폿 빔(Spot Beam)과 셀 간 연결은 초록색 선으로 표기되며, Starlink 군집 위성들로부터 제공받는 셀별 용량은 그 수준에 따라 다른 색으로 표현된다.

시뮬레이션에 사용된 주요 파라미터는 표 1과 같다. Beam Spread는 하

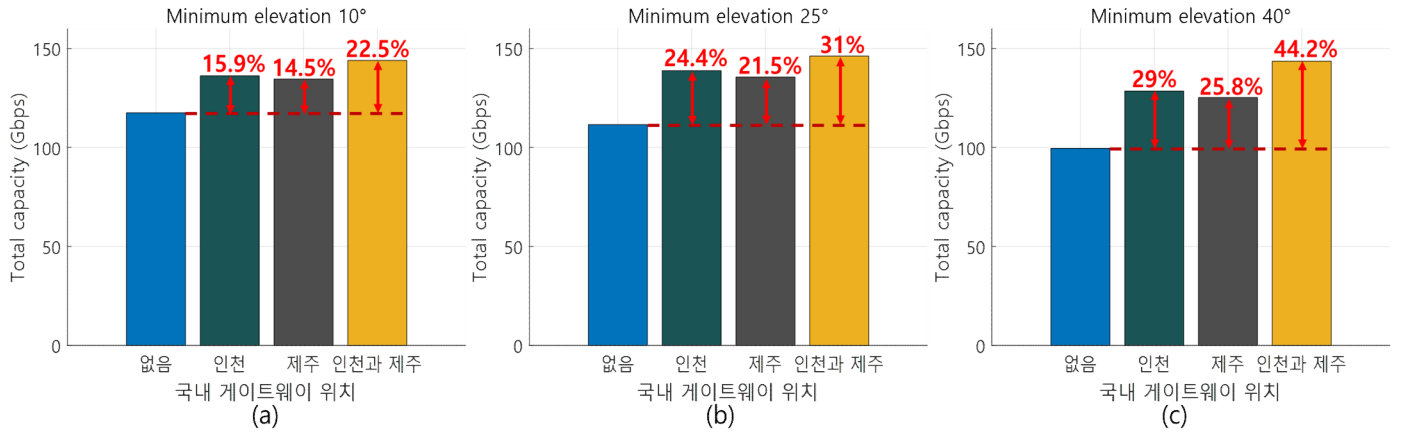


그림 2. 국내 게이트웨이 설치에 따른 총 용량 결과. (a) 최소 고도각이 10°인 경우, (b) 최소 고도각이 25°인 경우, (c) 최소 고도각이 40°인 경우.

나의 스팟 빔이 지상을 비추는 각도에 따라 형성되는 풋프린트 (Footprint)가 포함할 수 있는 최대 셀의 개수를 의미한다. Full Spot Beam Capacity는 한 스팟 빔이 셀에 제공할 수 있는 최대 용량이고, Available 250 MHz channel은 250 MHz 대역폭을 사용할 수 있는 채널의 개수이다. Time Division Multiplexing(TDM) Allocation per Cell은 한 타임 슬롯 동안 스팟 빔이 한 셀에 머무르는 비율이고, Beams per Cell은 한 셀당 최대 연결될 수 있는 스팟 빔의 개수이다. Full Capacity on ISL Satellites는 ISL로 연결된 위성이 게이트웨이에 연결된 위성과 동일한 용량을 셀에 제공할 수 있는지에 대한 설정하며, Off는 ISL로 연결된 위성이 최대 용량 중 10%의 용량만을 가지도록 설정한다.

시뮬레이션은 최소 고도각 및 국내 게이트웨이 설치 유무에 따라 30초 간격으로 1시간 동안 수행한다. 최소 고도각은 3GPP 표준에서 정의한 10°와 Starlink가 현재 사용하는 25°, 그리고 Starlink 위성 수가 매우 증가함에 따라 앞으로 사용 가능한 40°로 분류하고 [3], 게이트웨이 설치 유무는 국내에 설치하지 않는 경우와 인천, 제주도, 인천 및 제주도 동시 설치의 4가지로 분류하여 총 12개의 시나리오를 구성한다. 각 경우에서 한국의 전체 셀이 받을 수 있는 총 용량을 분석한다. 게이트웨이 설치 위치는 인접 국가인 일본에 설치된 게이트웨이로부터의 거리와, 게이트웨이의 피더 링크 연결 반경(800 km)를 고려하여 인천과 제주도로 설정한다 [2].

III. 결과 분석

그림 2는 최소 고도각 조건에 따라 국내 게이트웨이 설치가 통신 성능에 어떤 영향을 미치는지 보여주며, 그림 2-(a), 2-(b), 2-(c)는 각각 최소 고도각이 10°, 25°, 40°인 경우의 결과이다. 최소 고도각이 10°인 경우 국내에 게이트웨이가 없을 경우와 인천, 제주도, 인천과 제주도 동시에 설치될 때 총 용량은 각각 117.51 Gbps, 136.2 Gbps, 134.54 Gbps, 143.92 Gbps이며, 최소 고도각이 25°인 경우 111.56 Gbps, 138.81 Gbps, 135.55 Gbps, 146.13 Gbps, 최소 고도각이 40°인 경우 99.53 Gbps, 128.48 Gbps, 125.21 Gbps, 143.56 Gbps를 달성한다. 전체적으로 최소 고도각이 높아질수록 총 용량은 감소하며, 이는 최소 고도각이 낮아질수록 국내 사용자와 연결될 수 있는 Starlink 위성 수가 증가하기 때문이다. 이로 인해 국내의 사용자는 일본 등 인접 국가의 게이트웨이와 피더 링크로 연결된 Starlink 위성 혹은 타 지역의 게이트웨이로부터 피더 링크로 연결된 위성과 ISL로 연결된 Starlink 위성에게도 데이터를 전달받을 수 있으므로, 총 용량은 최소 고도각이 높을수록 감소하게 된다.

국내에 게이트웨이가 없을 경우를 기준으로, 인천, 제주도, 인천과 제주도 동시 설치 시의 총 용량 증가율은 최소 고도각이 10°일 때 각각 15.8%,

14.3%, 22.5%, 25°일 때 24.4%, 21.5%, 30.9%, 40°일 때 29.1%, 21.6%, 44.2%이다. 즉, 최소 고도각이 높을수록 국내에 게이트웨이 추가 설치에 따른 성능 개선 폭이 커지는 것을 알 수 있다. 최소 고도각이 높아질수록 한국과 더 가까운 위성들만 국내에 서비스를 제공할 수 있으며, 국내에 게이트웨이가 설치되면 그 위성들이 피더 링크를 통해 지상에 전달할 수 있는 용량이 증가하므로 총 용량은 증가하게 된다. 이를 통해 최소 고도각이 높을수록 국내에 게이트웨이를 설치하는 것이 필요함을 알 수 있다. 또한, 최소 고도각이 낮은 경우 게이트웨이의 설치 위치에 따른 총 용량은 차이가 별로 없지만, 최소 고도각이 40°로 높은 경우 인천이 제주도보다 높은 용량을 달성한다. 이는 인접 국가인 일본 게이트웨이의 존재로 인해, 일본과 가까운 제주도의 지리 특성상 피더 링크와 연결될 수 있는 Starlink 위성 수가 인천의 경우가 제주도의 경우보다 증가하기 때문이며, 이로 인해 제주도와 인천에 게이트웨이를 동시에 설치할 경우 최소 고도각이 낮은 경우보다 더 높은 용량 증가율을 보이게 된다.

IV. 결론

본 논문은 Starlink Coverage Tracker 시뮬레이터를 활용하여, 최소 고도각에 따라 국내 게이트웨이 설치가 국내 Starlink 서비스 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 최소 고도각이 높을수록 한반도에 가까운 위성만이 국내에 서비스를 제공할 수 있으며, 이에 따라 국내 게이트웨이 설치의 성능 개선 폭이 증가함을 확인하였다. 저궤도 위성의 수가 늘어나 위성통신이 상용화되면 최소 고도각이 높아지는 상황이 불가피하며, 이런 상황에 대비하여 우리나라에 게이트웨이 설치가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 정보통신기획평가원 (RS-2021-0-00260, RS-2024-00436887, RS.2022-0-00704)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] SpaceX, "STARLINK Availability," [Online]. Available: <https://www.starlink.com/map>
- [2] M. Puchol, "STARLINK Coverage Tracker," [Online]. Available: <https://starlink.sx/>
- [3] SPACE EXPLORATION HOLDINGS, LLC, "SPACEX NON-GEOSTATIONARY SATELLITE SYSTEM " [Online]. Available: <https://fcc.report/IBFS/SAT-MOD-20181108-00083/1569860.pdf>