

소형화된 급전부를 갖는 위성통신용 고이득 안테나 설계

Design of High-gain Antenna for Satellite Communication with Miniaturized Feed Structure

박 중 기* · 박 도 현* · 이 호 섭* · 허 종 완** · 권 건 섭*

(Joongki Park · Do-hyun Park · Ho-sub Lee · Jong-wan Heo · Gun-Sup Kwon)

Abstract - In this paper, a high-gain antenna for satellite communication is proposed. The proposed antenna consists of septum polarizer, circular waveguide, Hat-feed structure that has a high-gain and efficiency. Especially, it is smaller and lighter than the conventional satellite communication antennas by applying a hat-feed structure. The measured results show that received gain of proposed antenna is better than 29.9 dBi and transmitted gain of proposed antenna is better than 30.5 dBi. The co-polarized and cross-polarized radiation patterns comply with ITU-RR Ap.8 and ITU-R S.731-1 that are recommended by International Telecommunication Union. The designed high-gain antenna for satellite communication is expected to be used for OTM and airborne satellite systems.

Key Words : High-gain antenna, Hat-feed, Parabola antenna, Satellite communication

1. 서 론

위성통신 서비스는 서비스 지역의 광역성과 지리적 제한사항의 극복이 가능하여 국내외에서 많이 사용되고 있다. 이러한 위성통신을 위해서는 높은 이득과 높은 효율을 갖는 안테나가 필요하다. 동시에 인접위성에는 영향성이 없어야하기 때문에 낮은 부엽준위레벨과 낮은 교차편파레벨이 필요하다.

일반적인 파라볼라 안테나는 반사면 초점에 급전구조가 위치하는 단순한 형상으로 인해 제작이 쉬운 장점을 가지나 급전부 지지 구조물에 의한 블로킹 현상으로 인해 안테나 이득 및 부엽준위 특성이 저하되는 단점을 가진다. 따라서 위성통신용 안테나로는 오프셋안테나가 사용된다[1]-[4]. 오프셋 안테나의 경우 급전부에 의한 블로킹 현상은 없지만 급전부가 초점에 위치하지 않아 파라볼라면에 비대칭으로 급전 신호가 공급되어 교차편파레벨이 증가한다. 이를 극복하기 위한 방법으로 파라볼라 주초점에 급전부가 위치하는 구조인 Hat-feed 안테나가 있다[5].

Hat-feed 구조는 Kildal의 의해 제안[6]되었으며 지지구조물 없이 부반사판 지지가 가능하여 구조물로부터 발생하는 안테나 이득 저하 및 낮은 부엽준위 레벨을 얻을 수 있다. 또한 부반사판 중앙을 기준으로 원형 코러게이션을 삽입하여 E/H-plane 패턴이 거의 대칭으로 교차편파레벨 개선이 가능하다. 하지만 좁은

대역폭을 가지고 있어 대역폭을 넓히는 연구가 활발히 진행되고 있다[7]-[8].

본 논문에서는 X대역에서 동작하는 위성통신용 고이득 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 크게 급전부와 주반사판으로 나뉜다. 또한 Hat-feed 구조를 적용하여 기존 위성통신용 반사판 안테나의 급전부보다 단순화 및 경량화하였으며, 안테나 부엽준위 및 교차편파레벨은 ITU(International Telecommunication Union)에서 규정하는 인접궤도 정지위성 간 상호 간섭에 대한 규정[9]-[10]을 준수하도록 설계하였다. 2장에서는 위성통신용 고이득 안테나를 위해 급전부와 주반사판 설계과정을 나타내었다. 3장에서는 제안된 위성통신용 고이득 안테나에 대한 모의실험에서의 방사패턴과 측정된 방사패턴을 비교하였다.

2. 본 론

본 논문에서 제안된 소형화된 급전부를 갖는 위성통신용 고이득 안테나는 그림 1과 같다.



그림 1 제안된 위성통신용 고이득 안테나

Fig. 1 3D model of proposed high-gain antenna for satellite

† Corresponding Author : The 2nd Research and Development Institute, Agency for Defence Development, Korea.
E-mail: kevin.kwon@add.re.kr

* Dept. of satellite equipment, LIG Nex1, Korea.

** The 2nd Research and Development Institute, Agency for Defence Development, Korea.

Received : October 19, 2018; Accepted : October 25, 2018

또한 높은 이득, 고효율, 경량화, 낮은 부엽준위 및 교차편파레벨을 위해 Hat-feed 타입을 적용하였다. 안테나 급전부는 부반사판, 급전혼 그리고 셉텀편파기로 구성된다. 송·수신신호는 셉텀편파기를 통해 원형편파로 변환되며, 급전혼에서 생성되는 신호는 부반사판을 거쳐 주반사판 개구면에서 평면파의 형태로 방사가 이루어진다.

또한 시스템에 요구되는 요구규격인 송신등방성방사전력과 수신성능지수를 통해 송·수신 안테나의 이득이 결정되었으며, 부엽준위 및 교차편파레벨은 ITU에서 권장하는 인접위성과의 상호간섭 규격을 준수할 수 있도록 설계하였다. 본 논문에서 제안하는 안테나 요구규격은 표 1과 같다.

표 1 위성통신용 고이득 안테나 요구규격

Table 1 The proposed antenna specification

	요구규격
동작주파수	X대역
안테나크기	0.5 m 이하
이득	수신 : 28.5 dBi 이상, 송신 : 29.3 dBi 이상
빔폭	수신 : 5.8° 이하, 송신 : 5.3° 이하
정재파비 (VSWR)	1.5:1 이하
포트분리도	-15 dB 이하
부엽준위	ITU-RR Ap.8 AnnexⅢ 만족
교차편파레벨	ITU-R S.731-1 Annex I 만족 (±60° 이내)

2.1 급전부 설계

제안된 안테나의 급전부는 부반사판, 부반사판지대, 원형도파관, 셉텀편파기로 구성된다. 본 논문에서 제안한 요구규격을 만족시키고 낮은 부엽준위 특성과 낮은 교차편파레벨, 부반사판부의 소형화와 경량화를 위해 부반사판 구조는 Hat-feed로 설계를 진행하였으며 단면은 그림 2와 같다.

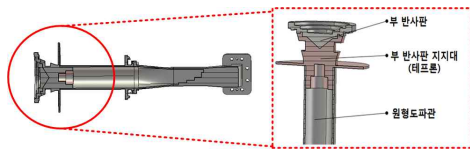
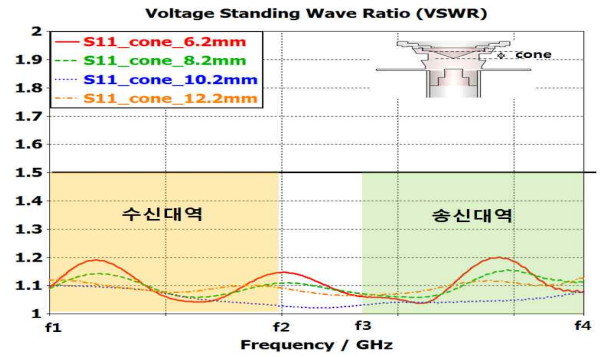


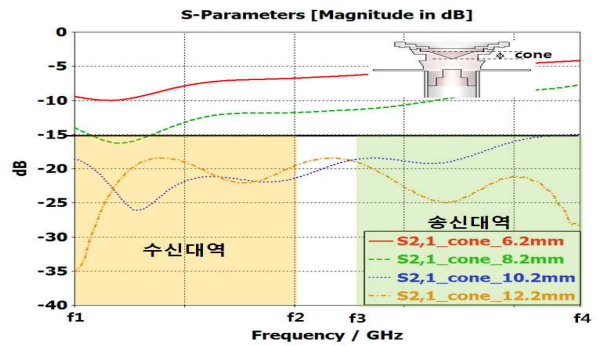
그림 2 제안된 안테나의 급전부 구조

Fig. 2 3D model of proposed feeder structure

그림 3은 Metal cone 높이에 따른 S-parameter 특성을 나타낸 것으로 VSWR 규격을 만족하는데 큰 어려움이 없었으나, 송·수신포트분리도의 경우 Metal cone의 높이가 각각 10.2mm와 12.2mm일 때 요구규격을 만족하는 것으로 나타났다.



(a) Metal cone 높이에 따른 VSWR
(a) Simulated VSWR for Metal cone height



(b) Metal cone 높이에 따른 송·수신포트분리도
(b) Simulated S₂₁ characteristics for Metal cone height

그림 3 Metal cone 높이에 따른 S-parameter 특성

Fig. 3 Simulated S-parameter characteristics for Metal cone height

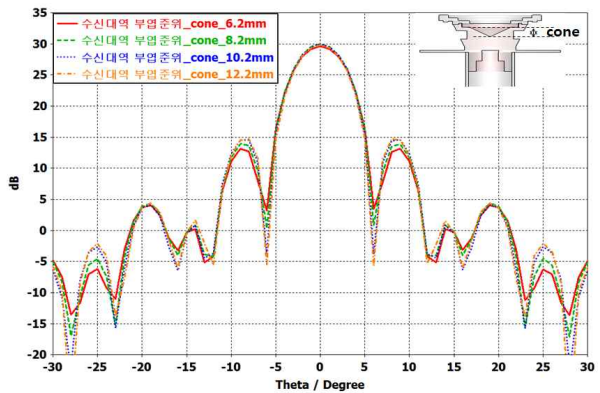


그림 4 Metal cone 높이에 따른 수신대역 부엽준위 특성

Fig. 4 Simulated sidelobe levels in receive band for Metal cone height

그림 4와 5는 Metal cone 높이에 따른 송·수신대역의 부엽준위 모의실험 결과이다. 특히 첫 번째 부엽준위레벨은 다른 부

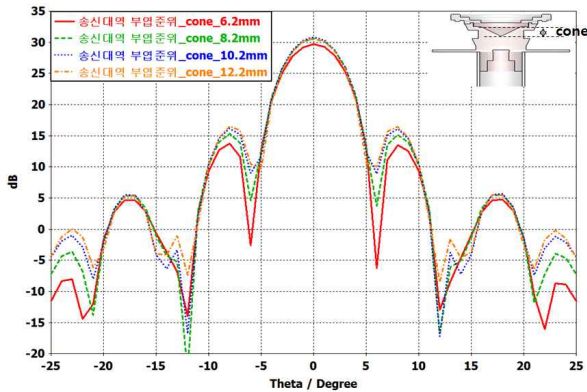


그림 5 Metal cone 높이에 따른 송신대역 부엽준위 특성
 Fig. 5 Simulated sidelobe levels in transmit band for Metal cone height

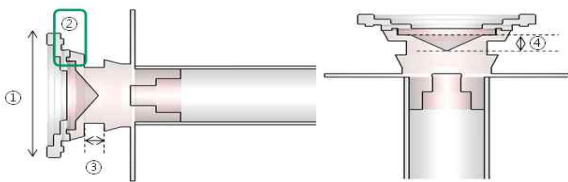


그림 6 제안된 Hat-feed구조 형상
 Fig. 6 3D model of proposed Hat-feed structure

표 2 부반사판 주요 파라미터

Table 2 Parameters of subreflector

파라미터	수치	영향
① 부반사경 크기 증가	80 mm	부엽준위레벨 개선
② 코러게이션 삽입 개수	3개	부엽준위, 교차편파레벨 개선
③ 유전체 slit	9 mm	교차편파레벨 개선
④ Metal cone 높이	10.2 mm	부엽준위, 교차편파레벨 개선

엽준위들에 비해 비교적 높은 값을 가지므로 안테나 설계 시 최대한 억제하는 것이 바람직하다. 먼저 수신대역에서 첫 번째 부엽준위의 레벨 차가 최대 1.1 dB이며, 송신대역에서는 최대 2.6 dB 차이를 보였다. 이는 본 논문에서 제안한 부엽준위 요구규격을 만족하지 못하는 결과를 가져올 수 있다.

안테나 성능에 큰 영향을 끼치는 부반사판의 파라미터의 모습은 그림 6과 같다. 부반사판 크기가 커짐에 따라 부엽준위가 개선되는 특성을 보였으며, 부반사판에 삽입된 원형 코러게이션에 따라 안테나의 부엽준위 및 교차편파레벨이 개선되는 것을 확인하였다. 또한 부반사판 중앙부에 위치한 Metal cone의 높이에 따라 부엽준위 및 교차편파레벨 특성이 개선된다. 모의실험을 통하

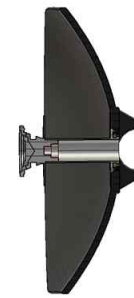


그림 7 제안된 위성통신용 고이득 안테나
 Fig. 7 3D model of proposed high-gain antenna for satellite

여 각 수치들을 최적화하였으며 세부 파라미터는 표 2와 같다.

2.2 반사판 설계

본 논문에서 제안된 안테나 형상은 그림 7과 같으며, 경량화 및 구조물에 의한 성능저하와 급전부를 소형화하기 위해 Hat-feed 구조를 적용하여 안테나를 설계하였다. 주반사판의 크기는 개구면 효율(η) 50%를 기준으로 수신이득 28.5 dBi 이상, 송신이득 29.3 dBi 이상을 만족하도록 설계하였다. 주반사판의 크기는 식 (1)을 통하여 0.5 m가 선정되었다[11].

$$G = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (1)$$

또한 높은 이득과 낮은 부엽준위, 낮은 교차편파레벨 특성을 얻기 위해 초점거리 F 대 주반사판 직경 D의 비율인 F/D는 0.272로 설계하였다. 소형화된 주반사판을 위해 모의실험을 통하

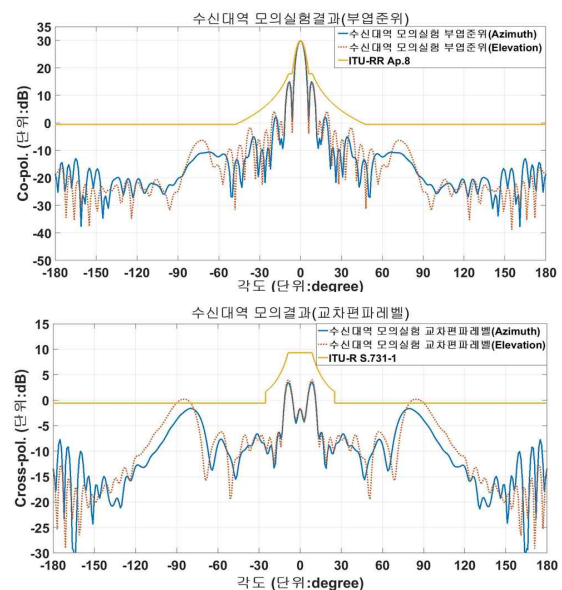


그림 8 수신대역 안테나패턴 모의실험 결과
 Fig. 8 Simulated antenna radiation pattern of receive band

여 세로축의 위, 아래가 각각 0.025 m가 절삭된 0.5 m × 0.45 m (가로×세로)로 설계하였다.

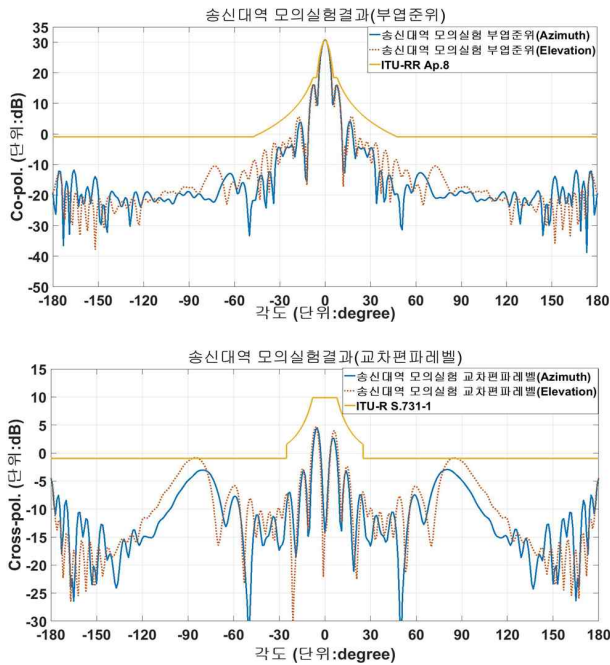


그림 9 송신대역 안테나패턴 모의실험 결과
Fig. 9 Simulated antenna radiation pattern of transmit band

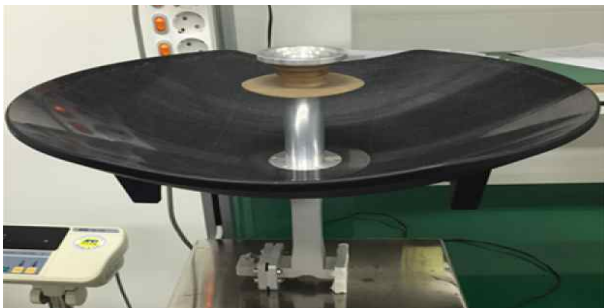


그림 10 제작된 안테나 형상
Fig. 10 The fabricated antenna configuration

3. 모의실험 & 측정결과

제안된 위성통신용 고이득 안테나의 시뮬레이션은 CST Microwave를 이용하였다[12]. 그림 8과 9는 제안된 위성통신용 고이득 안테나의 송·수신대역에서의 모의실험 방사패턴결과이다. X대역 수신이득은 최소 29.9 dBi 이상이며, 부엽준위는 및 교차편파레벨 규격을 모두 만족한다. 또한 X대역 송신이득은 30.8 dBi 이상이며 수신대역과 마찬가지로 부엽준위 및 교차편파레벨 규격을 모두 만족한다. 송신빔폭은 4.8° 이하, 수신빔폭은

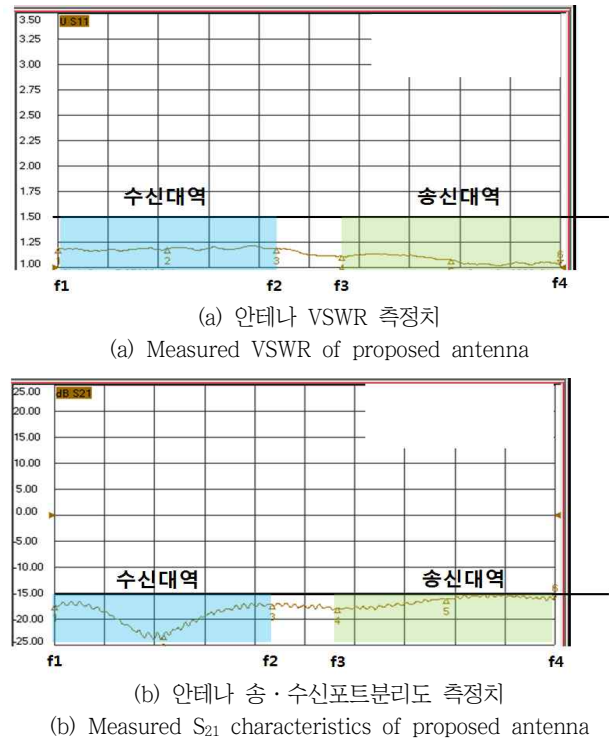


그림 11 제작된 안테나의 S-parameter 특성
Fig. 11 Measured S-parameter characteristics of proposed antenna

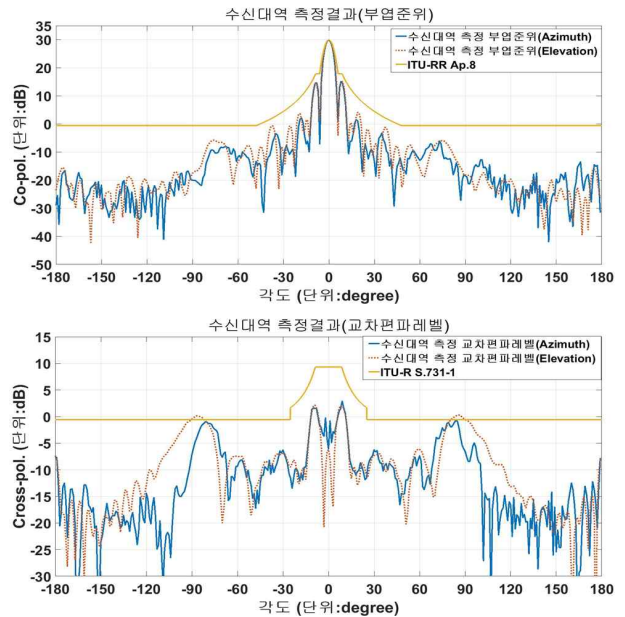


그림 12 수신대역 안테나패턴 측정 결과
Fig. 12 Measured antenna radiation pattern of receive band
5.1° 이하로 확인되었다. 송·수신이득, 빔폭, 부엽준위 및 교차편파레벨 규격을 만족한다.

그림 10은 제작된 위성통신용 고이득 안테나의 모습이다. 안테나의 경량화를 위해 주반사판은 복합재로 제작되었다.

그림 11은 제작된 안테나의 S-parameter 측정 결과이다. VSWR는 최대 1.25:1로 나타나 규격을 만족하였으며, 송·수신 포트분리도의 경우 최대 -16 dB로 요구규격을 만족하는 것으로 나타났다.

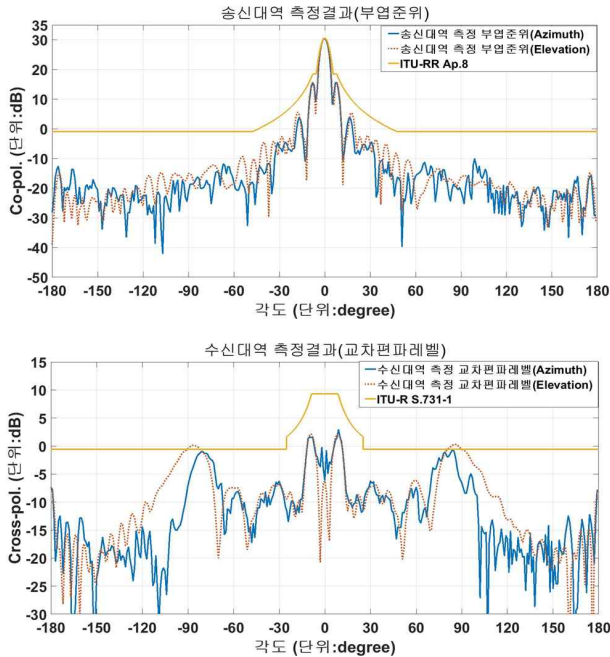


그림 13 송신대역 안테나패턴 측정 결과
 Fig. 13 Measured antenna radiation pattern of transmit band

그림 12, 13은 제안된 위성통신용 고이득 안테나의 송·수신대역에서의 방사패턴 측정 결과이다. 모의실험결과와 비슷한 경향을 나타내며 X대역 수신이득은 최소 29.9 dBi 이상이다. 또한 부엽준위는 및 교차편파레벨 규격을 모두 만족한다. 송신대역에서의 송신이득은 30.5 dBi 이상이며 수신대역과 마찬가지로 부엽준위 및 교차편파레벨 규격을 모두 만족한다. 교차편파레벨이 ±90° 부근에서 상승하는 것은 안테나의 크기가 비대칭 형태 때문이라고 판단된다. 송신빔폭은 4.8° 이하, 수신빔폭은 5.2° 이하인 것을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 위성통신용 고이득 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 Hat-feed 구조를 적용하여 기존 주조점 위성통신 안테나에서 발생하는 급전부에 의한 블로킹효과를 최소화하고 오프셋안테나에서 발생하는 높은 교차편파레벨 특성을 개선한 급전부가 소형화된 위성통신 안테나를 설계하였다. 또한 낮은 부엽레벨과 낮은 교차편파레벨을 특성을 가지며 높은 이득을 갖는 안테나를 구현하였다. 제안된 안테나는 X대역에서 동작하며 수

신이득은 29.9 dBi 이상, 송신이득은 30.5 dBi 이상의 이득을 구현하였다. 이는 안테나 효율로 약 70%이다. 나머지 요구규격인 VSWR, 송수신포트분리도, 빔폭도 목표 요구규격을 만족하였다. 또한 측정된 안테나 방사패턴을 인접위성과의 영향성을 확인할 수 있는 ITU에서 권장하는 규격에 적용하여 확인한 결과 부엽준위와 교차편파레벨 모두 요구규격을 만족하였으며, 교차편파레벨의 경우 일부 구간에서 규격을 상회하는 패턴을 얻었다. 이는 안테나가 비대칭이기 때문에 발생하는 문제라고 판단된다. 추후 안테나 설계 시 교차편파레벨에 유의하면서 안테나 설계를 진행해야 될 것이다. 따라서 X대역에서 동작하는 제안된 소형화된 급전부를 갖는 위성통신용 고이득 안테나는 항공기나 OTM(On-The-Move)와 같이 작고 가벼운 위성통신시스템에 적용될 것으로 기대된다.

References

- [1] Jae-Hung Han, So-Hyeun Yun, Jong-Heung Park, Seong-Pal Lee, "Ka-band antenna design using the reflector shaping for the communications & broadcasting satellite," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, 32(4). pp. 88-94, Apr. 2004.
- [2] Chun-Won Kim, Chi-Hyun Cheng, Kun-Woo Kim, Seong-Jae Lee, "The antenna design for korea SAT-5 satellite communication in Ka-band," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, 42(1). pp. 90-97, Jan. 2014.
- [3] Dong-Jin Lee, Hak-Keun Choi, So-Hyeun Yun, Jae-Hung Han, Jong-Heung Park, Seong-Pal Lee, "Design of shaped offset gregorian antennas," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, 12(5). pp.765-776, Jan. 2001.
- [4] Hyeonsu Kim, Sungtek Kahng, M. Kamran Khattak, Jinsu Jeon, Jeong-hoon Park, "Design of Metamaterial-Inspired FSS Sub-Reflector for a Dual-Band Offset Cassegrain Reflector Antenna", *Journal of Satellite, Information and Communications*, 10(2), pp. 34-39, Jun. 2015.
- [5] C. C. Cutler., "Parabolic-antenna design for microwaves", *Proc, IRE*, vol. 35, no. 11, pp. 1284-1294, Nov. 1947.
- [6] P.-S. Kildal. "The hat feed: A dual-mode rear- radiating waveguide antenna having low crosspolarization", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 35, no. 9, pp.1010-1016, Sep. 1987.
- [7] A. Motevasselian and T. Ostling, "A self-supported hat-fed reflector antenna for 60 GHz frequency band", in *9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, pp. 1-4, 2015.
- [8] E. Geterud. J. Yang, and T. Ostling, "Wide band hat-fed reflector antenna for satellite communications",

presented at the 5th European Conference on Antennas and Propagation(EuCAP2011), Rome. pp. 11-15, Apr. 2011.

- [9] ITU Radio Regulation Appendix 8 AnnexIII. "Radiation patterns for earth station antenna to be used when they are not published", 2012.
- [10] ITU-R Recommendation S. 731-1, "Reference earth-station cross-polarized radiation pattern for use in frequency coordination and interference assessment in the frequency range from 2 to about 30 GHz", 2005.
- [11] Gerard Maral, Michel Bousquet, Satellite Communications systems: Systems, *Techniques and Technology*, 5th Edition, Wiley, 2010.
- [12] CST Microwave Studio 2016 by Computer Simulation Technology, [online] Available: online.



허 종 완 (Jong-wan Heo)

1994년 2월: 충남대학교 전자공학과(공학사)
1996년 2월: 충남대학교 전자공학과(공학석사). 1996년~현재: 국방과학연구소 연구원



권 건 섭 (Gun-Sup Kwon)

1997년 2월: 한양대학교 전파공학과(공학사)
1999년 2월: 한양대학교 전파공학과(공학석사). 2017년 2월: 충북대학교 전자공학과(공학박사). 1996년~현재: 국방과학연구소 연구원

저 자 소 개



박 중 기 (Joongki Park)

2013년 2월: 인천대학교 정보통신공학과(공학사). 2015년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과(공학석사).
2015년~현재: LIG넥스원 선임연구원



박 도 현 (Do-hyun Park)

2006년 2월: 경희대학교 전자통신공학과(공학사). 2006년 7월: LG디스플레이 사원
2006년~현재: LIG넥스원 수석연구원



이 호 섭 (Ho-sub Lee)

1998년 2월: 인하대학교 전자공학과(공학사)
2014년 8월: 아주대학교 IT융합대학원(공학석사). 1998년~현재: LIG넥스원 수석연구원