한국정보전자통신기술학회논문지(jkiiect)'18-02, Vol.11 No.1
논문 18-11-01-12 http://dx.doi.org/10.17661/jkiiect.2018.11.1.12

디지털위성중계기용 SHF 대역 안테나 설계 및 구현에 대한 연구

김기중*, 한준용**

A Study on the Design and Implementation of SHF band Antenna for Digital Satellite Communication

Ki-Jung Kim* Jun-Yong Han**

요 약 본 연구는 디지털위성중계기용 SHF 대역 안테나의 설계 및 구현에 대해 기술하였다. SHF 대역 안테나는 반사판, Septom Polarizer, Feed Horn 및 지지대 등으로 구성된다. 제작 전 우주환경에 대한 사전 시뮬레이션 분석을 통하여 장비 오동작 가능성을 최소하였으며, 발사환경 시 발생하는 진동에 대한 시뮬레이션을 통해 신뢰성 있는 안테나를 설계하였으며, 제작 후 주요 성능지표에 대해 만족여부 확인 및 사전 성능 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 안테나를 제작 후 안테나 주빔의 최대이득은 36.5dBi 로 요구조건인 35dBi 이상을 만족하며, 반사손실에 대해서도 최대 -24dB 이하로 요구조건 -20dB를 만족한다. 또한 안테나의 송수신 격리도에 대해서도 -22.6dB 이하로 요구조건 -20dB 이하를 만족한다. 본 논문에 기술한 위성중계기용 안테나는 고신뢰성이 요구되는 정지궤도 및 저궤도 위성분야에 향후 활용이 가능하다.

Abstract This study describes the design and implementation of Antenna for Digital Satellite Communication. The Antenna unit for SHF band consists of Reflector, Septom Polarizer, Feed Horn and Support Frame etc. Thought analysis of space environment before production, the possibility of the malfunction of equipment minimized and we designed a reliable Antenna through simulation for vibration and thermal analysis generated during the launch, and compared pre-simulation of main performance results to test results about main performances of Antenna after production. After fabricating the antenna, the maximum gain of the antenna main beam is 36.5dBi, which satisfies the requirement of 35dBi or more, and it also satisfies the requirement of -20dB for return loss of less than -24dB. Also, the isolation of the transmission and reception of the antenna is -22.6dB or less, which satisfies the requirement of -20dB or less. The antenna for digital satellite communication described in this paper can be used in the satellite field of geostationary earth orbit and low earth orbit requiring high reliability in the future.

Key Words : Digital Satellite Communication, Antenna, Space Environment, Return loss, Gain, Isolation

1. 서론

기존 아날로그 위성 중계기에서 점차 위성중계기에 대해서도 디지털화가 가속화되고 있다. 아날로그 위성중계기는 강우에 대한 신호의 감쇄 등의 단점을 가지고 있다. 아날로그 위성중계기에 비해 디지털위성중계기는 자동 및 수동 이득 조정 기능 보유, 부채널 스위칭기능, 방송기능 등을 가지고 있어서 위성 통신 효율을 극대화할 수 있는 장점을 가지고 있다. 디지털위성중계기의 개념도는 그림 1과 같다. 안테나로부터 미약한 신호의 SHF 대역의 신호를 수신하여 입력필터(IFA : Input Filter Assembly)로 필터링되고, 미약한 신호를 저잡음증폭장치(LNA : Low Noise Amplifier)로 증폭을 시켜준다. 그리고 입력다중화기(IMUX : Input Multiplexer)가 각

*Corresponding Author : HW Team(Radar) Hanwha System (kj08.kim@hanwha.com)
**HW Team(Radar) Hanwha System (excelsiorhan@hanwha.com)
Received November 14, 2017 Revised November 20, 2017 Accepted January 03, 2018

주파수 대역을 필터링하고 하향주파수변환기(Down Converter)를 통해 L대역으로 하향 변환한다. 그 신호는 디지털채널증폭부(Digital Channel Amplifier)를 사용하여 디지털신호처리를 하고, 다시 L대역을 상향주파수변환기(Up Converter)를 거쳐 SHF대역으로 변환한다. 상향 변환된 신호를 다시 TWTA(Traveling Wave Tube Amplifier)를 통해 고출력증폭을 하며, 채널별로 필터링을 하기 위하여 출력다중화기(OMUX : Output Multiplexer)를 거쳐서 안테나(ANT : Antenna)로 송출하게 된다[1,2].

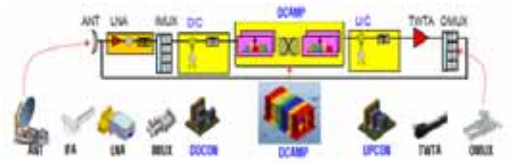


그림 1. 디지털위성중계기 개요
Fig. 1. Overview of the Digital Satellite Communication

본 논문에는 지상국으로 수신한 SHF대역의 신호를 수신과 다시 지상국으로 송신한 SHF대역의 신호를 송신하는 역할을 하는 안테나의 설계, 구현 및 우주환경 분석결과에 대해 기술한다.

2. 본론

2.1 디지털위성중계기용 안테나의 개요

위성중계기용 안테나는 지상국으로 수신한 SHF대역의 신호를 수신과 다시 지상국으로 송신한 SHF대역의 신호를 송신하는 역할을 한다. 본 위성중계기용 안테나의 송신 및 수신 이득 특성은 35dBi 이상, 부엽특성은 -15dB 이하이고, 빔폭은 1.3°이하를 만족하도록 설계 및 구현하였다. 또한 우주환경 분석(진동 및 열진공)을 통하여 우주환경에 운용에 문제없음을 사전 검증하였다.

위성중계기용 안테나는 그림 2와 같이 반사판, Septom Polarizer, Feed Horn 및 지지대 등으로 구성된다. 반사판은 직경 1.1m이며, 반사효율이 극대화되도록 설계하였으며, CFRP재질로 변성이 최소화되도록 설계하였다. Septom Polarizer는 RHCP, LHCP의 편파를 분리하는 역할을 한다. 안테나 지지대는 반사판과 Feed horn을 지지 및 정렬하는 역할을 하고, 재질은 Honeycomb 재질로 적용하였다[3,4].

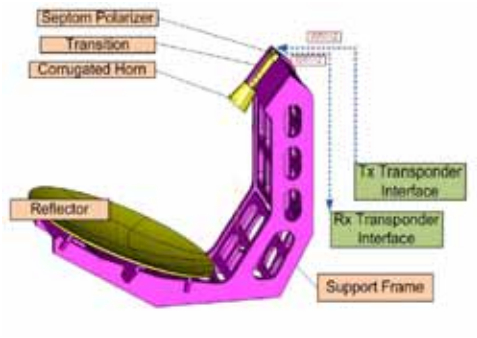


그림 2. 안테나의 형상
Fig. 2. Figure of Antenna

2.2 디지털위성중계기용 안테나의 설계 및 측정결과

디지털위성중계기용 안테나의 전 부품에 대해서 정지궤도급에서 사용가능한 부품으로 적용하였다. 그림 3은 안테나의 Feed Horn의 내부 구성을 나타낸다.

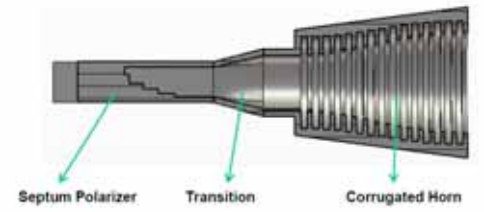


그림 3. 안테나의 Feed Horn 형상 및 내부구성
Fig. 3. Figure and Internal configuration of Antenna

Feed Horn의 반사손실 및 편파분리 특성을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 4와 같이 운용대역에서 S11 특성은 -25dB 이하, S21 특성은 약 -24dB 이하로 포트 간 분리가 충분히 됨을 나타낸다.

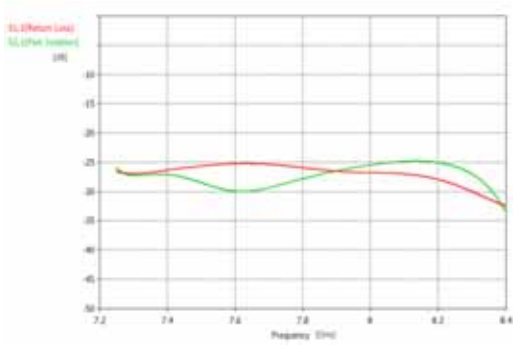


그림 4. Feed horn의 S-Parameters 특성(S11, S21)
Fig. 4. S-Parameters(S11, S21) of feed horn

그림 5는 안테나 이득 시뮬레이션을 위한 구조를 보여준다.

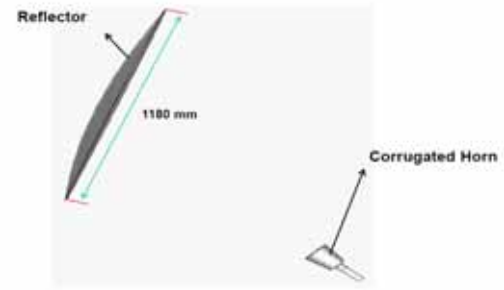


그림 5. 안테나 이득 시뮬레이션 구조
Fig. 5. Configuration of gain simulation of Antenna

그림 6은 송신대역에서의 EOC 이득을 보여준다. 빔폭 1.3°에서 이득 36.0dBi로 요구사항을 만족하며, 부엽특성은 -19.7dB로 요구사항 -15dB를 만족한다.

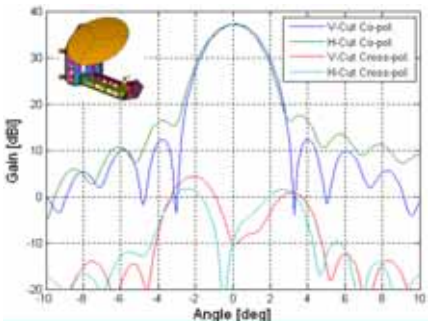


그림 6. 안테나의 송신이득 특성
Fig. 6. Tx gain of Antenna

그림 7은 수신대역에서의 EOC 이득을 보여준다. 빔폭 1.3°에서 이득 36.6dBi로 요구사항을 만족하며, 부엽특성은 -20.2dB로 요구사항 -15dB를 만족한다.

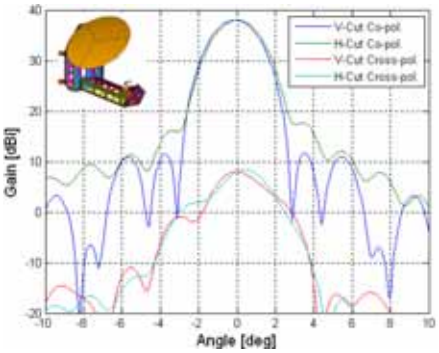


그림 7. 안테나의 수신이득 특성
Fig. 7. Rx gain of Antenna

2.3 디지털위성중계기용 안테나의 우주환경 시뮬레이션 분석

우주환경은 태양에 의한 방사능이 존재하는 환경과 태양표면의 흑점 등의 분출로 인한 전자회로에 임펄스 잡음 등의 발생 및 공기가 존재하지 않아 공기에 의한 열대류가 존재하지 않는 혹독한 환경이다[5,6].

발사환경 및 우주환경에 대한 생존성을 사전 검증하기 위하여 본 논문에서는 진동 및 열진공에 대한 시뮬레이션을 진행하였다. 안테나는 전자부품이 실장되지 않는 구성품이기 때문에 방사능분석은 해당사항이 없다. 발사환경의 안테나에 대한 진동분석은 그림 8과 같다.

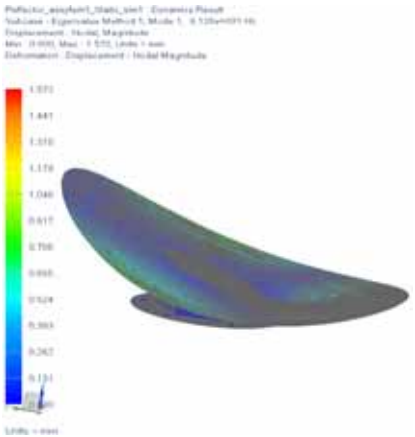


그림 8. 안테나의 진동분석
Fig. 8. Vibration Analysis of Antenna

진동공진주파수가 91.26Hz으로 분석되며, 시스템 요구사항인 60Hz이상으로 진동조건을 만족한다. 위성이 우주궤도에서 운용 중에 위성내부는 열제어가 가능하지만 안테나의 경우 외부로 노출되어 장착되기 때문에 온도에 대한 기계적 변형이 생겨 지구국과의 안테나 빔정렬이 틀어질 수 있다[7,8]. 따라서 운용환경을 고려한 위성 안테나의 사전 열분석이 필요하다. 위성의 열분석은 그림 9와 같이 위성외부에 노출되어 있어서 Solar flux, Albero, 지구방사에 의한 영향을 고려하여야 한다[9].

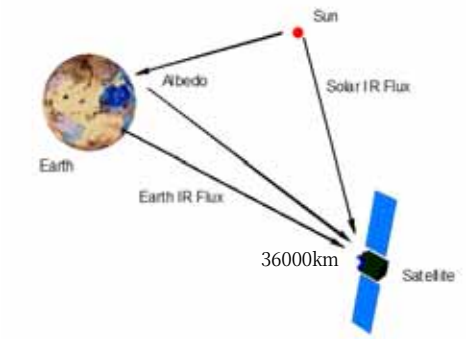
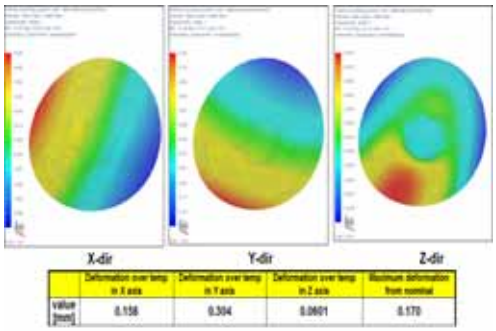


그림 9. 위성의 열분석 환경
Fig. 9. Environment of Thermal Analysis of GEO Satellite

상기 위성 열분석 요인에 대해서 분석을 하면 반사판은 겨울에 약 +98.5℃로 최고 온도로 분석되며, 봄인 3월에 약 -104℃로 최저 온도에 노출된다.

그때 열분석에 대한 안테나 기계적 변형은 그림 10과 같이 분석된다.



	Deformation over temp in X axis	Deformation over temp in Y axis	Deformation over temp in Z axis	Maximum deformation from nominal
value [mm]	0.158	0.304	0.0601	0.170

그림 10. 노출온도에 대한 반사판의 최대 변형치
Fig. 10. Maximum change dimensions of reflector for exposure temperature

안테나 반사판의 최대 변형치는 0.304mm 로 큰 영향이 없을 것으로 예상된다.

2.4 디지털위성중계기용 안테나의 시험 결과

디지털위성중계기용 안테나의 시험 구성 사진은 다음과 같다. 무반사실에서 진행하며, 외부에는 네트워크 분석기 등의 계측장비와 연결되어 있다.

그림 11. 안테나의 시험 구성 사진
Fig. 11. Picture of test configuration of Antenna

디지털위성중계기용 안테나의 송신단 주파수대역에서의 반사손실(S11) 시험결과는 그림 12와 같이 운용대역에서 최대 -24dB 정도로 측정되며 기준규격인 -20dB 이하를 만족한다.

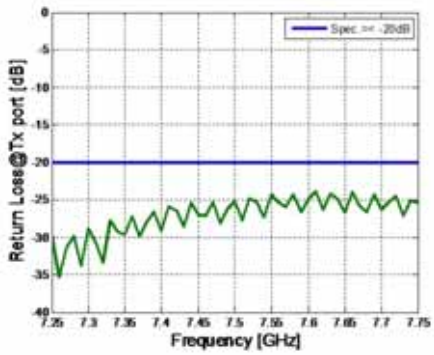


그림 12. 안테나의 입력반사손실(S11) 측정결과
Fig. 12. Test result of S11 of Antenna

또한 안테나의 송수신 격리도의 시험결과는 그림 13과 같이 운용대역에서 -20dB 이하를 만족한다. 송수신 격리도의 측정결과는 송신 주파수대역에서 -22.6dB이

하를 보이며 수신 주파수대역에서는 -26.9dB 이하의 측정결과를 보인다.

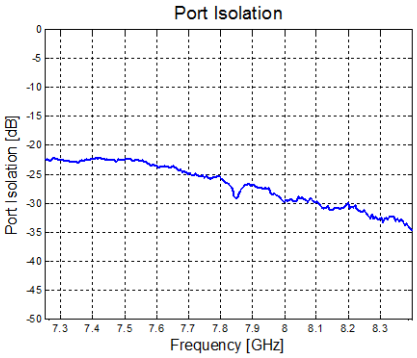


그림 13. 안테나의 송수신격리도 측정결과
Fig. 13. Test result of Tx, Rx isolation of Antenna

최종적으로 안테나의 이득특성은 그림 14의 시험구성도와 같이 네트워크분석기 및 자동화 Scanner를 사용하여 측정한다. 측정결과와 같이 안테나 주빔의 최대 이득은 36.5dBi로 요구조건인 35dBi 이상을 만족한다.

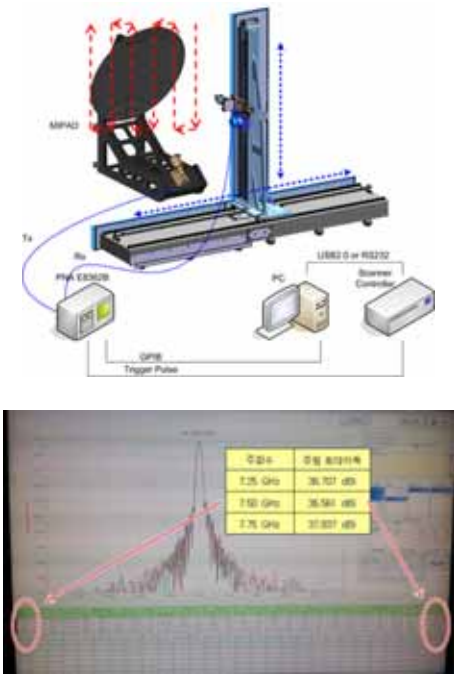


그림 14. 안테나의 주빔 이득 시험구성도 및 측정결과
Fig. 14. Test result and test configuration of main beam gain of Antenna

3. 결론

본 논문은 위성중계기용 안테나의 설계 및 구현에 대해 기술하였다.

제작 전 안테나의 반사손실, 송수신격리도, 이득특성 등에 대해서 사전 분석을 하였으며, 제작 후 주요 성능지표에 대해서 시험을 통하여 요구사항 만족여부 및 시뮬레이션 분석결과와 비교하였다. 2.3절에서는 안테나의 운용시 최대, 최소 온도를 분석하여 안테나 반사판 변형 정도에 대해 분석하여 정지궤도 운용시 변형량을 분석하였다. 2.4절에서 기술한 안테나의 시험결과와 같이 안테나 주빔의 최대이득은 36.5 dBi로 요구조건인 35dBi 이상을 만족하며, 반사손실에 대해서도 최대 -24dB 이하로 요구조건 -20dB를 만족한다. 또한 안테나의 송수신 격리도에 대해서도 -22.6 dB 이하로 요구조건 -20dB 이하를 만족한다. 본 연구 과정 및 결과를 바탕으로 고신뢰성이 요구되는 정지궤도 및 저궤도 위성용 안테나 개발에 활용할 예정이다.

REFERENCES

[1] K. Kim and H. Seo, “The system performance analysis and implementation of Digital Communication Satellite,” J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 4, no. 9, 2014, pp. 439-445.

[2] K. Kim and H. Ko, “The Optimization using PCB EM interpretation of GEO satellite's L Band Converter,” J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 8, no. 8, 2013, pp. 1219-1226.

[3] K. Kim, “The Study on the Design and Implementation of SHF band Upconverter of Digital Satellite Communication,” J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 12, no. 2, 2017, pp. 261-266.

[4] S. Kim and Y. Rhee, "Implementation of Ku-band Low Noise Block for Global Multi-Band Digital Satellite Broadcasting," J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 11, no. 1, 2016, pp. 23-28.

[5] M. Go, H. Shin, and H. Park, “A RF Module for

digital terrestrial and multi-standard reception," J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 1, no. 1, 2006, pp. 16-27.
[6] K. Kim and B. Kim, "The Study on the design and implementation of a X-band 25W Power Amplifier Module using GaAs MMIC," J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 9, no. 11, 2014, pp. 1311-1316.
[7] T. Kim, J. Park, and Y. Rhee, "Implementation of Ka-band Low Noise Block Converter For Satellite," J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 3, no. 2, 2008, pp. 93-100.
[8] K. Kim, "The Study on the Design and Implementation of SHF band Low Noise Amplifier of Digital Satellite Communication," J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 11, no. 12, 2016, pp. 1159-1164.
[9] K. Kim, "The Study on the Design and Implementation of SHF band Downconverter of Digital Satellite Communication," J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 12, no. 3, 2017, pp. 427-432.

저자약력

김 기 중(Ki-Jung Kim)

- 2002년 2월 : 인하대학교 전기공학과(공학사)
- 2005년 8월 2008년 7월 : LG이노텍 전자부품연구소 선임연구원
- 2008년 2월 : 인하대학교 대학원 전자통신공학 졸업(공학석사)
- 2008년 8월 현재 : 한화시스템 HW팀(레이다) 전문연구원 재직중

<관심분야>
다기능위상배열레이더, 위성중계기, 데이터링크

한 준 용(Jun-Yong Han)

- 2012년 2월 : 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학과(공학사)
- 2016년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학석사)
- 2016년 7월 현재 : 한화시스템 HW팀(레이다) 연구원 재직중

<관심분야>
다기능위상배열레이더, 안테나, 전파