

技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 42(1), 90-97(2014)

DOI:<http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2014.42.1.90>

무궁화 5호 위성통신용 Ka대역 안테나 설계

김춘원*, 정치현*, 김건우*, 이성재**

The Antenna Design for Korea SAT-5 Satellite Communication
in Ka-band

Chun-Won Kim*, Chi-Hyun Cheong*, Kun-Woo Kim* and Seong-Jae Lee**

SAMSUNG THALES Co.*, Agency for Defense Development**

ABSTRACT

In this paper, we have designed the antenna for Korea SAT-5 Satellite Communication which can use Ka band in the earth station. The antenna structure consist of the the dual-offset gregorian reflector that has high gain and efficiency, the corrugated horn that has symmetric radiation patterns and low side lobe levels, the iris polarizer that make circular polarization and the OrthoMode Transducer that separate transmitting and receiving signals. The designed antenna gain is more than 45.7dBi in Tx-band which use LHCP and 42.0dBi in Rx-band which use RHCP. The co-polarized and cross-polarized radiation pattern comply with ITU-R S.580-6 and S.731-1 that are recommended by International Telecommunication Union in the geostationary satellite. The Axial ratio is less than 1.0dB in Tx-band and 1.5dB in Rx-band that meet MIL-STD-188-164A.

초 록

본 논문에서는 Ka대역에서 무궁화 5호와 통신이 가능한 지상 단말 안테나를 설계하였다. 선정된 안테나는 반사판 형상으로 주요 구성품은 높은 이득과 효율을 갖는 이중 오프셋 그레고리안 타입의 반사판과 낮은 부엽을 갖는 코러게이트 혼, 원형편파 생성을 위한 주름형 편파기와 송수신 신호 분리를 위한 직교 모드 변환기로 구성된다. 설계 안테나는 위성과의 통신을 위하여 Ka대역에서 송신 LHCP 이득 45.7dBi 이상, 수신 RHCP 이득 42.0dBi 이상으로 구현하였고, 주편파와 교차편파의 부엽준위는 국제통신연합에서 고정 위성 업무에 대해 권고하는 ITU-R S. 580-6와 731-1을 만족하도록 설계하였다. 마지막으로 축비 성능은 MIL-STD-188-164A에서 권고하는 송신 1.0dB, 수신 1.5dB 이하로 설계하였다.

Key Words : Satellite Communication(위성통신), Reflector Antenna(반사판 안테나), ITU-R(국제통신연합 규정)

1. 서 론

인터넷 서비스 및 위성 방송의 대중화 시대를 맞아 국내 위성 서비스 수요도 가파른 증가 추이

를 보이고 있다. 지상 통신망에 비해 위성통신은 넓은 지역을 대상으로 통신 회선을 설정할 수 있으며, 지상망 접근이 어려운 지역에서도 쉽게 통신 서비스를 제공할 수 있는 등 많은 장점이 있

† Received: August 27, 2013 Accepted: December 10, 2013

* Corresponding author, E-mail : chunwon.kim@samsung.com<http://journal.ksas.or.kr/>

pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871

어 민·군에서 다양하게 사용되고 있다[1]. 그러나 위성 통신은 우주국 정지위성과 지구국 단말 간 거리가 36,000km 이상인 만큼 거리와 기후에 따른 송수신 신호의 감쇄가 매우 크며 우주국의 수많은 위성 중 상호 간 신호간섭 없이 목표 위성으로만 신호를 주고받아야 하기 때문에 안테나 설계가 매우 중요하다. 국제통신연합규정 ITU-R(International Telecommunication Union-Regulation), 미국 국방부 제정 군용 규격 (MILitary-STanDard), 미국 방송통신정책 주관기인 연방통신위원회(Federal Communication Commission) 등에서는 인접케도를 사용하는 정지위성 간 상호 간섭 평가를 위한 규정을 만들어 이를 준수하도록 권고하고 있다. 특히, 국제통신연합에서는 1992년 부터 그 연구를 수행하여 안테나 용도, 주파수, 편파, 크기 등에 대해 다양하게 제정하여 민군에서 널리 사용되고 있다. 따라서 본 논문에서는 안테나를 설계함에 있어 ITU-R 규격을 준수 할 것이다. ITU에서 정의 되어 있지 않은 축비 성능은 MIL-STD 규정을 준수할 것이다. 또한 위성통신 안테나의 중요성능을 알아보고 무궁화 5호 위성과의 통신을 위한 세부 블럭도 및 이를 구현하기 위한 구성품 설계 방법을 익혀 Ka대역 무궁화 5호 위성 통신 안테나를 설계하고자 한다.

II. 본 론

2.1 안테나 설계

위성통신용 안테나의 가장 중요한 성능은 사용 주파수 대역에서 원하는 이득, 편파, 빔폭, 부엽준위, 교차편파준위, 축비 등을 갖는 것이다. 본 논문에서 선정한 주요 성능은 무궁화 5호 위성과의 통신 대역인 송신 30.0GHz~31GHz, 수신 20.2GHz~21.2GHz로 하였다. 안테나 설계 목표 이득은 시스템의 EIRP와 G/T를 만족시키기 위하여 송신 44dBi, 수신 41.5dBi 이상으로 하였다. 사용 편파는 위성 안테나의 편파 특성을 맞추기 위하여 송신 LHCP, 수신 RHCP로 하였고, 주편파와 교차편파의 부엽준위는 국제통신연합에서 인접위성과의 상호 간섭 평가를 위해 정지위성의 지구국 고정형 안테나의 주편파/교차편파 방사패턴에 대해 권고하는 ITU-R S.580-6와 S.731-1을 각각 준수하도록 설계하였다[2][3]. 이때, 안테나의 주빔은 인접위성과의 간섭 평가의 기준 각도가 시작되는 $100\lambda/D^\circ$ (D : 안테나 직경) 이내에 들어오도록 설계 하였고, 주편파와 교차편파의

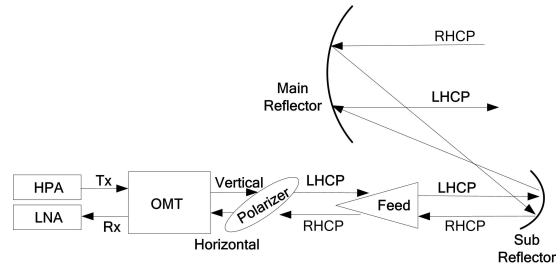


Fig. 1. The Antenna Architecture

방사패턴은 안테나 전기적 크기가 50λ 이상에 적용되는 식 (1)과 (2)의 envelope 보다 낮은 값을 갖도록 설계 하였다[2][3]. 식에 따라 envelope이 적용되는 각도는 주파수 별로 상이하다.

$$G = \begin{cases} 29 - 25\log\theta \text{ dBi} & \text{for } \left(\frac{100\lambda}{D}\right)^\circ < \theta \leq 20^\circ \\ -3.5 \text{ dBi} & \text{for } (20^\circ < \theta \leq 26.3^\circ) \\ 32 - 25\log\theta \text{ dBi} & \text{for } (26.3^\circ < \theta < 48^\circ) \\ -10 \text{ dBi} & \text{for } (48^\circ \leq \theta < 180^\circ) \end{cases} \quad (1)$$

$$G = \begin{cases} 23 - 20\log\theta \text{ dBi} & \text{for } \left(\frac{100\lambda}{D}\right)^\circ < \theta \leq 7^\circ \\ 20.2 - 16.7\log\theta \text{ dBi} & \text{for } (7^\circ < \theta \leq 26.3^\circ) \\ 32 - 25\log\theta \text{ dBi} & \text{for } (26.3^\circ < \theta < 48^\circ) \\ -10 \text{ dBi} & \text{for } (48^\circ \leq \theta < 180^\circ) \end{cases} \quad (2)$$

마지막으로 축비 성능은 원편파를 사용하는 Ka대역에서 편파 손실을 최소화하고 다른 편파를 사용하는 인접위성3에 영향을 주지 않기 위해 MIL-STD-188-164A에서 권고하는 송신 1.0dB, 수신 1.5dB 이하로 설계하였다[4].

본 논문에서 설계한 Ka 대역 안테나장치는 Fig. 1과 같이 위성으로부터 Ka대역 신호를 수신하여 저잡음 증폭기(LNA)로 보내고, 고출력 증폭기(HPA)로부터 Ka대역 송신 신호를 받아 위성을 향하여 방사 시키는 장치로 Fig. 1과 같이 직교모드변환기(OthoMode Transducer), 편파기(Polarizer), 급전혼(Feed Horn), 주/부반사판(Main/Sub Reflector)으로 구성된다. 고출력 증폭기(HPA)로부터 출력된 송신 신호는 WR-28 도파관 형태의 직교모드변환기 송신 포트에 입력되고 이 신호는 다시 직선 편파의 형태로 편파기(Polarizer)에 입력된다. 입력된 수직 편파 신호는 편파기를 거쳐 원형 편파(LHCP)신호로 변환되어 급전 혼 안테나로 전달된다. 급전 혼 안테나에 입력된 전기적 신호는 부·주 반사판에서 반사되어 안테나 개구면에서 평면파의 형태로 최종 방사가 이루어진다. 반대로 원형 편파(RHCP)의 수

신 신호는 주 반사판·부 반사판을 통해 급전혼으로 수신되어 편파기로 전달된다. 편파기로 입력된 원형 편파 신호는 수평 편파 신호로 변환되어 직교모드변환기 WR-42 수신 포트를 통해 저잡음 증폭기(LNA)로 전달된다.

본 논문에서는 상기 주요 요구조건을 만족하기 위하여 운반용 위성단말 안테나 부의 부반사판, 주반사판, 급전혼, 편파기, 직교모드 변환기 등을 CST사의 MICROWAVE STUDIO™를 사용하여 개별 설계 후 조립하여 FEKO의 MLFMM 기법으로 전체 성능을 해석하였다. 그 결과, 설계된 안테나는 위성통신 안테나의 주요 성능인 동작주파수, 이득과 편파, 축비, 부엽비, 교차편파 특성이 요구규격을 만족하는 결과를 얻었다.

2.1.1 이중 오프셋 그레고리안 안테나

본 논문에서 제안된 안테나 형상은 Fig. 2와 같은 이중 오프셋 그레고리안이다. 선정된 안테나는 급전혼으로부터 방사된 구면파를 부반사판·주 반사판을 거쳐 평면파로 변환하여 이득을 증폭시키는 구조를 갖는다. 특히 일반적인 반사판 구조와는 달리 안테나 구성품 및 구조물에 의한 차폐 손실을 방지하기 위해 부반사판과 급전혼을 회전시켜 이득을 최대로 높이고 이중 반사판에 의해 기구물의 길이와 부피를 줄인 구조를 가진다.

주반사판의 유효 개구면 면적(A)는 개구면 효율(ϵ_{ap}) 50%를 기준으로 송신이득 44.0dBi, 수신이득 41.5dBi를 만족하도록 식 (3)를 사용하여 반경 D은 0.75m로 선정하였다[5].

$$G = \epsilon_{ap} \frac{4\pi}{\lambda^2} A = \epsilon_{ap} \frac{4\pi}{\lambda^2} (\pi D^2) \quad (3)$$

주반사판의 크기가 정해지고나면 이중 오프셋 그레고리안 안테나의 기구적 형상을 설계를 해야

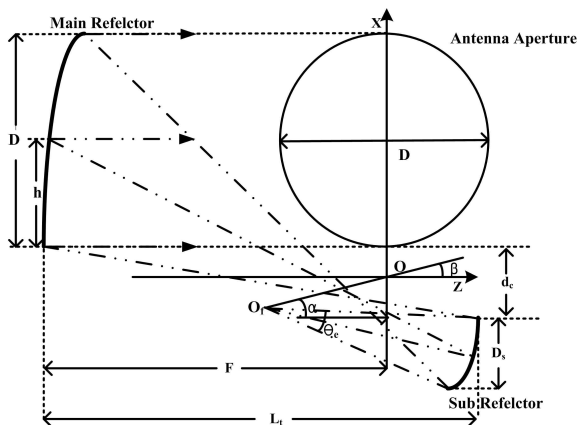


Fig. 2. The Dual offset Gregorian Geometry

한다. 본 논문에서는 운반용 단말의 본체 케이스 (700mm×450mm×400mm)에 안테나가 장착가능하도록 길이 619.13mm, 부반사판의 크기 185mm, 급전혼 조사각은 37°, 축회전각 β 는 53.207°, 급전혼 회전각을 α 는 77.206°로 시행착오법에 의한 최적설계를 하였다.

2.1.2 코러게이트 급전혼

본 논문에서 선정한 반사판 안테나의 이득과 ITU-R의 방사패턴 요구 조건을 만족시키기 위하여 광대역에서 원형대칭의 낮은 부엽 특성을 갖는 Fig. 3과 같은 코러게이트 타입 급전혼을 설계하였다. 설계된 급전혼 구조는 입력도파관에 여기되는 TE₁₁모드가 급전혼 내부 taper각에 의하여 TM₁₁모드를 생성하고 내부 코러게이트의 너비와 깊이, 간격에 의하여 TE₁₀모드 등 다양한 모드를 추가 생성하여 개구면에서 HE₁₁모드를 구현시키게 된다. HE₁₁모드는 개구면에서 전방향으로 신호를 고르게 분포하는 특성을 갖는다. 이는 대기 중으로 전파를 방사하여 원형 대칭의 방사패턴과 낮은 부엽, 높은 교차편파 분리도 특성을 구현하게 한다.

설계된 급전혼의 입력 도파관의 크기 a는 송, 수신주파수 전 대역에서 전파가 cut-off frequency에 의해 차단되지 않는 크기 범위에서, 편파기와의 결합을 고려하여 6mm로 정하였다.

개구면의 직경 b는 2.1장의 급전혼 조사각 37°를 만족하고 spill-over 전파가 ITU-R 요구조건을 만족하도록 48° 이상에서 -10dBi 이하의 값을 갖도록 60mm로 설계하였다. 이때 급전혼의 길이와 내부 Corrugation과 slot의 형상을 바꿔가며 최적화하여 테이퍼 각 θ_0 15°, Corrugation 폭 w와 깊이 d는 1mm와 5mm로 Slot 폭 g는 1.8mm로

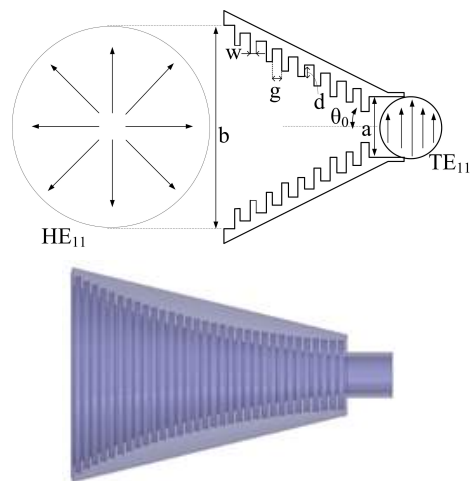


Fig. 3. The Corrugated Horn Geometry

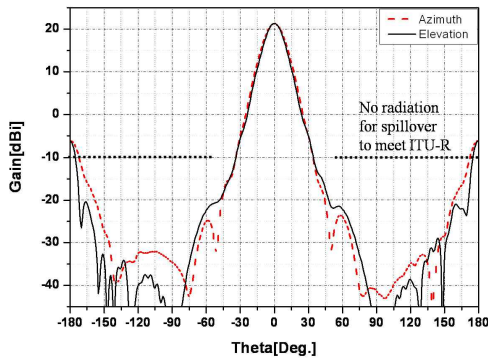


Fig. 4. The Tx Simulation result of the Horn

설계하였다[6]. 그 결과 설계된 급전혼은 Fig. 4와 같이 원형 대칭의 저부엽을 가지며 48° 이상의 각에서는 -10dBi 이상의 전파가 거의 방사되지 않는 특성을 갖는다.

2.1.3 주름형 편파기

안테나의 송신 LHCP, 수신 RHCP 편파 성능과 MIL-STD-188-164A의 송수신 축비 성능을 만족시키기 위하여 Fig. 5와 같은 주름형 편파기를 설계하였다. 주름형 편파기는 도파관 광벽에 여러 개의 주름을 삽입하여 송수신 각 대역에 맞는 성능 조정이 가능한 광대역에서 축비 성능이 우수한 특성을 가지며 입력포트에 선형편파 인가시 출력포트에 원형편파가 생성되게 하는 구성품이다. 원형편파의 생성원리는 사각도파관 수직방향 광벽에 주름진 홈을 만들어 수직방향을 지나가는 편파의 위상이 지연되도록 하는 것이다. 즉, 입력포트에 45°도 기울어진 편파를 입력 시

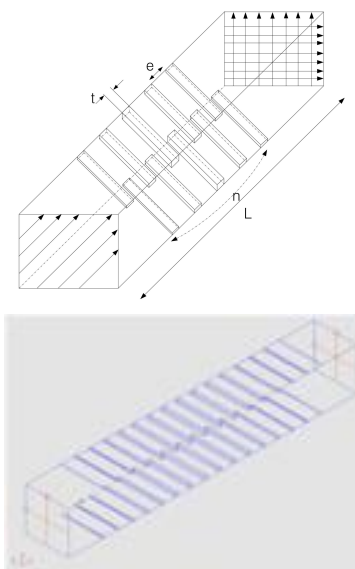
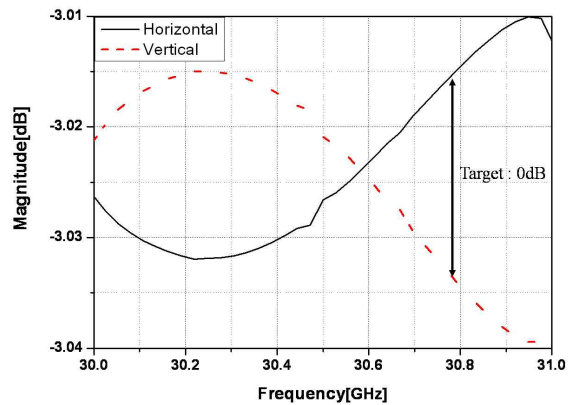


Fig. 5. The Polarizer Geometry

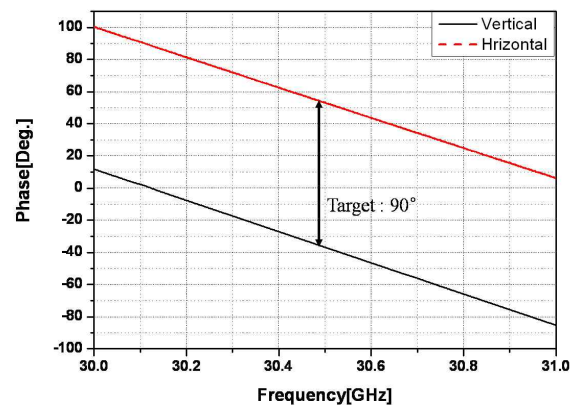
도파관 내부에서 입력신호를 수직편파와 수평편파로 정확히 반으로 나누어 출력포트로 전달되도록 하고 출력포트에서 편파간 크기 차는 0dB, 위상차는 90°에 가깝게 하여 원형편파를 발생시키는 장치이다. 설계된 편파기는 입력 포트에 45° 기울어진 편파 신호가 입력되면 출력포트에서는 좌현편파가 생성되고, 입력포트에 -45° 기울어진 편파가 입력되면 출력포트에서 우현편파가 생성되도록 설계되었다.

설계된 편파기의 직경은 송수신 신호가 모두 지나갈 수 있도록 10mm×10mm, 길이 L은 75.87mm, 아이리스의 두께 t는 1.5mm 간격 e는 12.5mm 이며 내부 아이리스 개수 n은 15개로 하여 광대역에서 동작하도록 exponential taper 분포로 삽입하였다[7].

설계된 편파기는 시뮬레이션 결과 Fig. 6과 같이 수직, 수평 편파가 -3dB에 가까운 절반씩 정확하게 나뉘지며 수직/수평 편파간 이득과 위상차가 0dB, 90°에 가까운 특성을 가져 MIL-STD-188-164A의 축비 규정인 송신 1.0dB, 수신 1.5dB 이하를 준수한다.



(a) Magnitude



(b) Phase

Fig. 6. The Tx Simulation result of the Polarizer

2.1.4 직교모드 변환기

본 논문에서 설계한 Ka대역 지상단말 안테나는 하나의 안테나로 전파 신호를 송수신하는 구조를 갖는다. 따라서 Ka대역 위성 송수신 신호를 분리하기 위해 Fig. 7와 같은 직교모드변환기를 사용하였다. 직교모드변환기는 수직, 수평편파가 공존하는 원형도파관에 dominant 모드만 송수신

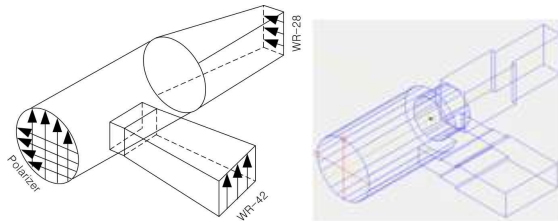


Fig. 7. The OrthoMode Transducer Geometry

하는 특성을 갖는 사각도파관을 수직방향과 수평 방향에 삽입하여 수직편파와 수평편파를 분리하는 구조이다.

설계된 직교모드 변환기의 원형도파관 공용포트는 Ka대역의 송, 수신대역 모두를 통과할 수 있도록 5.3mm로 설계했으며 수직 방향에 WR-28 사각도파관, 수평방향에 WR-42 사각도파관을 삽입하여 수평편파와 수직편파를 분리 후 각각 송신포트와 수신포트로 사용하였다. 이 때, 송수신 포트는 계단형 임피던스 정합구조와 결합슬롯을 이용하여 송, 수신 포트의 삽입손실 0.5dB 이하, 정재파비 2.0:1 이하, 송수신 신호 분리도 -25dB 이하가 되도록 설계하였다[8]. 그 결과 설계된 직교모드 변환기는 Fig. 7과 같이 삽입손실은 0.005dB 이하, 반사손실은 -30dB(정재파비 1.06:1) 이하, 포트간 격리도는 -55dB 이하의 양호한 특성을 갖는다.

2.1.5 안테나 구성품 체결 해석결과

설계된 이중 옹셋 그레고리안, 코러게이트 급전훈, 주름형 편파기, 직교모드변환기는 트랜지션 등의 도파관 부품을 이용하여 개별 구성품을 조립 후 Fig. 9와 같이 모델링하였다. 모델링한 안테나는 급전훈-부반사판-주반사판-대기로 이어지는 전파 진행 경로에 장애물이 없는지 그림과 같이 확인하였다. 안테나의 형상 확인 완료 후 FEKO의 MLFMM기법으로 체결성능을 시뮬레이션 하여 안테나 이득, 주편파/교차편파 방사패턴, 축비, 정재파비, 송수신 포트 간 분리도 등 중요 성능이 목표 규격을 만족하도록 설계하였다. 그 결과 설계된 안테나는 Fig. 10과 같은 패턴을 가지며 송신 46.1dBi, 수신 43.4dBi 이상의 이득과 송신 0.25dB, 수신 0.55dB 이하의 축비와 1.3:1 이하의 양호한 정재파 특성을 가진다. 마지막으로 주편파 패턴은 ITU-R S.5860-6을 교차편파 패턴은 ITU-R S.731-1을 각각 100%를 만족하여 ITU 규격을 준수한다.

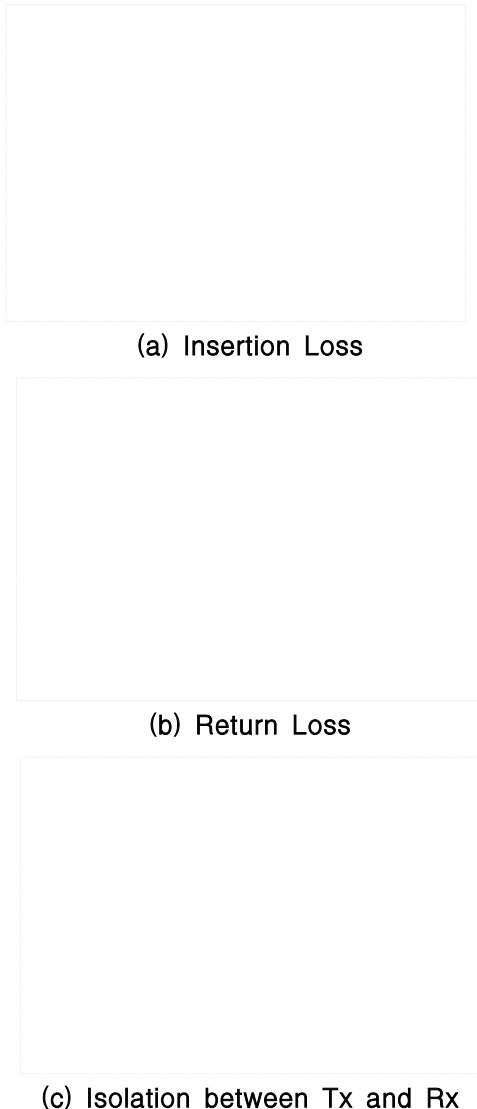


Fig. 8. The Simulation result of the OMT

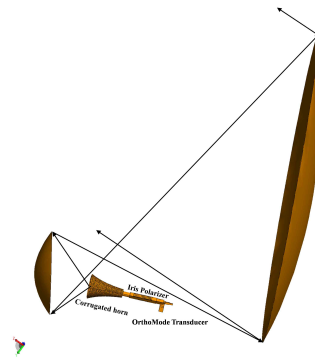


Fig. 9. The Modeling Antenna Geometry



Fig. 10. The Tx Simulation result of the Antenna

2.2 안테나 제작 및 측정

설계가 완료된 안테나의 성능 검증을 위하여 Fig. 11과 같이 제작하여, Compact Range 챔버에서 측정하였다. 제작된 안테나는 주반사판의



Fig. 11. The Fabricated Antenna Geometry

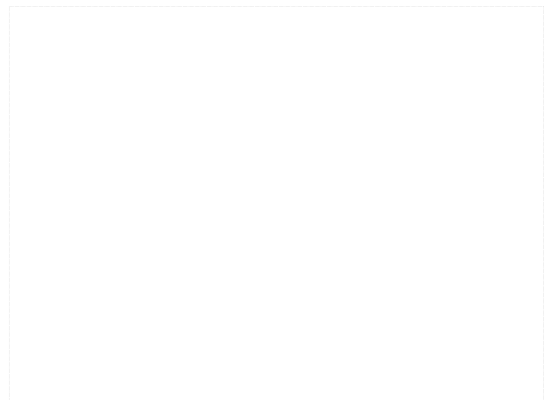
Table 1. Antenna specification & measured result

항목	요구 사양	설계 결과
주파수	송신: 30.0~31.0GHz 수신: 20.2~21.2GHz	좌동
편파	송신: LHCP 수신: RHCP	좌동
이득	송신: 44dBi 이상 수신: 41.5dBi 이상	송신: 45.7dBi 수신: 42.0dBi
축비	1.5dB 이하	dB
정재파비	1.5:1 이하	송신: 1.40:1이하 수신: 1.27:1이하
방사패턴	ITU-R S.580-6 규격 만족	송신: 99.27%만족 수신: 99.12%만족
교차편파	ITU-R S.731-1 규격 만족	송신: 100%만족 수신: 100%만족
송수신거리도	20dB이상	송신: 29.4dB 수신: 28.5dB

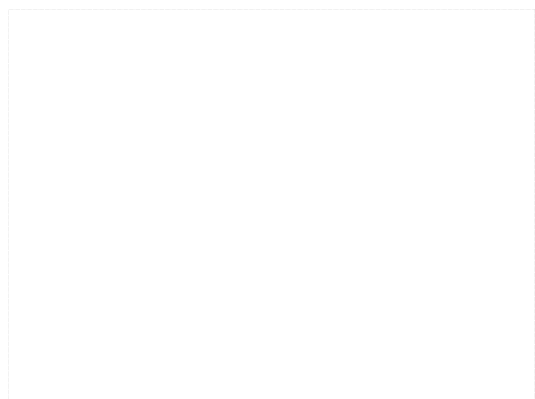
회전 중심축에 구동장치를 두고 부반사판과 급전혼을 고정할 수 있는 지지대가 연결된 구조로 제작되었다. 이 때 구동장치의 위치는 급전혼의 축과 나란하게 되도록 하여 안테나 후엽 전파가 상쇄되도록 하였다. 마지막으로 안테나의 제작 공차에 의한 손실을 보상하기 위하여 부반사판과 급전혼이 이동 가능한 구조로 적용되었으며, 설계 성능은 Table 1과 같다.

Figure 12는 제작된 안테나의 송신대역(@30.0GHz) 방사패턴 측정 결과이다. 측정된 안테나의 송신 최대 이득 값은 45.7dBi이고 주편파 방사패턴은 ITU-R S.580-6 envelope의 99.27%, 교차편파 방사패턴은 ITU-R S.731-1 envelope의 100%를 만족하여 인접위성에 영향을 주지 않는다.

Figure 13은 수신대역(@20.2GHz) 측정결과로 최대 이득은 42.0dBi의 값을 가지며, 주편파 방사패턴은 ITU-R S. 580-6 envelope의 99.12%, 교차편파 방사패턴은 ITU-R S.731-1 envelope의 100%를 만족하여 각각의 ITU규격을 준수하여 인접위성으로부터 영향을 받지 않는다.



(a) Elevation



(b) Azimuth

Fig. 12. The Measured radiation patten in Tx(@30.5GHz)

Figure 14는 안테나의 축비 측정 결과이다. 측정결과 안테나 이득 최대 방향에서 송신 0.54dB, 수신 1.42dB의 축비를 가져 MIL-STD-188-164A의 송신 1.0dB이하, 수신 1.5dB이하의 규격을 준수하며, 편파기를 통해 생성된 수신 RHCP와 송신 LHCP 원형편파 신호가 찌그러짐 없이 잘 전파하여 위성과의 신호 송수신간 편파 손실을 최소화하고 반대편파를 사용하는 인접위성에 영향을 배제 할 수 있다.

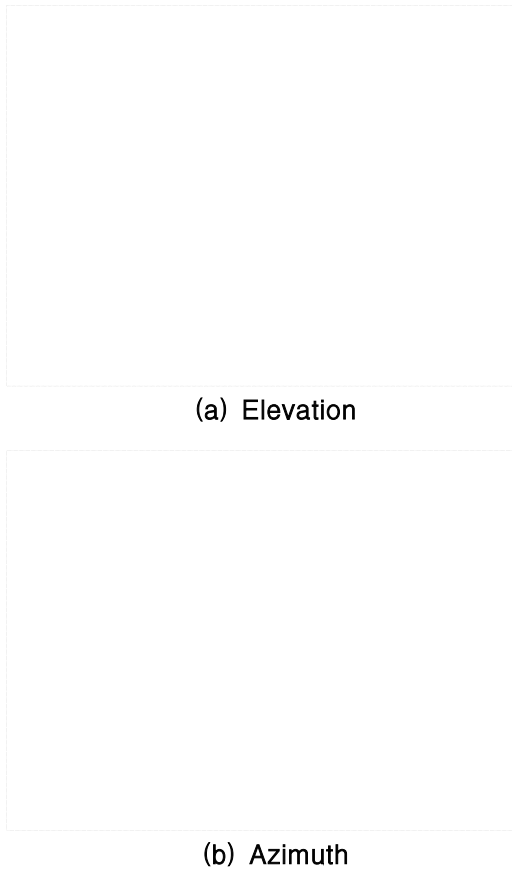


Fig. 13. The Measured radiation pattern in R(@20.7GHz)

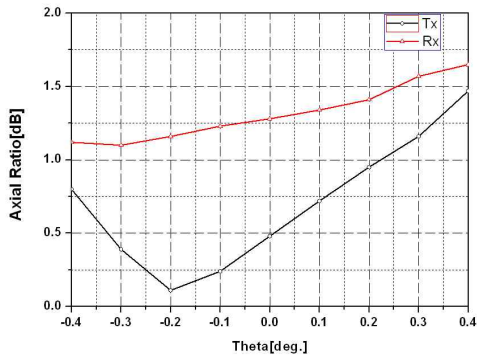
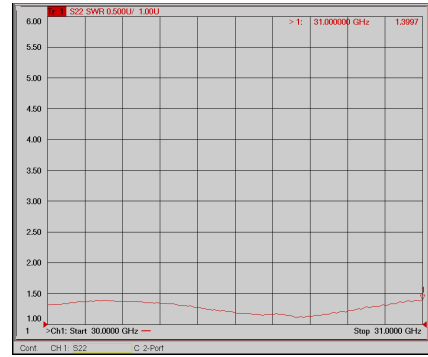
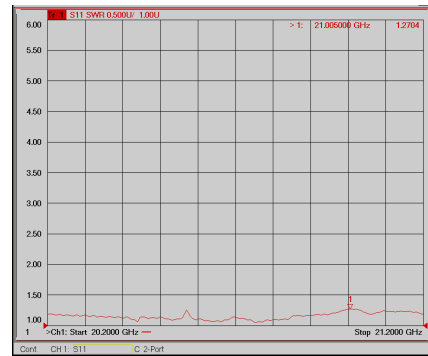


Fig. 14. The Measured Axial Ratio

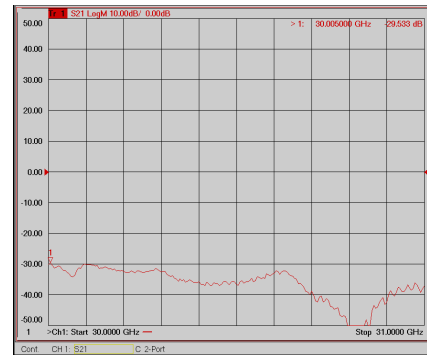


(a) Tx-band

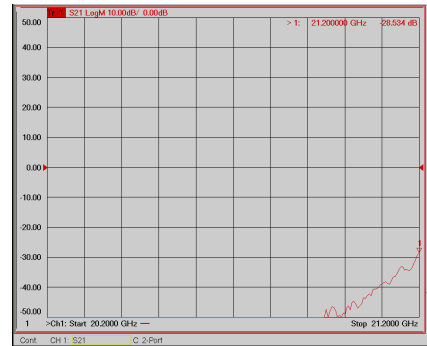


(b) Rx-band

Fig. 15. The Measured VSWR



(a) Tx-band



(b) Rx-band

Fig. 16. The Measured Isolation between Tx and Rx por

Figure 15, 16은 안테나 송수신 포트에서 측정 한 정재파비와 포트간 격리도 특성을 나타낸다. 측정결과 안테나 정재파 특성은 송신 1.40:1 이하, 수신 1.27:1 이하의 낮은 손실을 가지며 포트 간 격리도는 수신 28.5dB 이상, 송신 29.4dB 이상 의 높은 격리도를 가져 고출력증폭기에서 들어오는 인입손실을 최소화하며 송수신 신호를 높은 격리도로 분리할 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 무궁화 5호 Ka대역 위성과 통신이 가능한 지상 단말용 안테나를 설계하였다. 제작된 안테나는 코리케이트 급전혼을 사용한 이중 옹셋 그레고리안 타입으로 원편파 신호생성을 위한 주름형편파기, 송수신 신호를 분리하기 위한 직교모드 변환기와 결합하였다. 제작된 안테나는 송신대역에서 45.7dBi 이상, 수신대역에서 42.0dBi 이상의 높은 이득과 58% 이상의 높은 효율을 갖는다. 측정된 방사패턴은 송수신대역에서 모두 ITU-R S.580-6과 ITU-R S.731-1의 envelope 규정을 만족하는 낮은 부엽과 교차편파 준위를 가져 인접위성에 영향을 주지도 받지 않는다. 측정된 축비 특성은 송신 0.54dB, 수신 1.42dB 이하로 MIL-STD-188-164A의 축비 규정을 만족하며, 정재파 특성은 송수신 전 대역에서 1.40:1 이하로 낮은 손실을 가지며 28.5dB 이상의 높은 포트 간 격리도를 가져 고출력증폭기에서 들어오는 인입손실을 최소화하고 송수신 신호를 원활히 분리시켜 하나의 안테나로 전파를 송수신 하는 시스템에 적용 가능한 구조를 가진다.

무궁화 5호 위성통신용 Ka대역 안테나 설계를 통해 위성통신용 안테나 설계 시 인접위성과의 간섭 배제를 위해 고려해야 할 국제규격 및 중요 성능에 대해 알아보고 이를 만족시키는 안테나 설계를 위한 안테나 블록도와 세부 구성품의 동작원리 및 설계 방법에 대해 알아보았다. 이러한 설계 방법은 반사판 설계와 그 세부 구성품 설계에 다양하게 이용될 수 있고 이러한 동작원리를 이용한다면 X, Ku, Ka 주파수 대역 별 다양한

안테나에 적용되어 정지위성 지구국 고정단말 시스템 설계 시 유용하게 이용 될 수 있을 것이다.

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", *J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 32, No. 4, pp. 88-94, , May 2004
- 2) ITU-R Recommendation S.580-6, "Radiation diagrams for use as design objectives for antennas of earth stations operating with geostationary satellites", 2003.
- 3) 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 ", 2005.
- 4) MIL-STD-188-164A, "INTEROPERABILITY OF SHF SATELLITE COMMUNICATIONS TERMINALS", June, 2004.
- 5) C. A. Balans, Antenna Theory Analysis and Design, 2nd Edition, *John Wiley & Sons*, 1997.
- 6) Tom Milligan, "Designing Classical Offset Cassegrain or Gregorian Dual-Reflector Antenna from Combinations of Prescribed Geometric Parameters", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 44, no.3, June, 2002.
- 7) Tom Milligan, "Design of Corrugated Horn: A Primer ", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 47, no.2, April, 2005
- 8) Soon-mi Hwang, Bierng-Chearl Ahn, "New Design Method for a Dual band Waveguide Iris Polarizer", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2007.
- 9) Yun-mi Min, "Orthomode Transducer for Satellite Communication", *Department of radio Engineering graduate School, Chungbuk National University*, 2003.