

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.2.195>

IIBC 2015-2-27

위성통신용 삼중대역 동시사용 안테나 설계

Design of a Simultaneously Operable Tri-band Antenna for SATCOM

우병석*

Byung-seok Woo*

요약 위성통신 서비스가 점점 증가함에 따라 단일대역 안테나의 성능을 넘어서는 이중대역 또는 삼중대역 안테나의 필요성도 증가하고 있다. 본 논문에서는 위성통신용 삼중대역 동시사용 안테나를 제안한다. 교체형 혼을 통해 삼중대역을 구현하는 일반적인 다중대역 안테나와는 달리 주름형 혼과 유전체 혼으로 구성된 삼중대역 급전부 조립체 및 그레고리안 타입의 반사판을 사용하여 삼중대역(X, Ku, Ka대역) 신호의 동시 송수신을 가능하게 한다. 제안된 안테나의 특성은 모의실험과 실제측정으로 비교 분석하였다. 그 결과, 제안된 삼중대역 안테나의 방사패턴은 모의실험 계산결과와 비슷한 성능을 보였고, 규격 또한 만족하였다.

Abstract As satellite communications services are showing gradual growth, so are the needs for dual or tri-band antennas greater than performance of conventional single-band antennas. In this paper, a simultaneously operable tri-band antenna for SATCOM(Satellite Communications) is proposed. It is different from conventional methods of implementing tri-band through replaceable horns, while it is designed with a tri-band feed assembly composed of corrugated and dielectric horns and reflectors of gregorian type to transmit and receive tri-band of X, Ku and Ka band simultaneously. And simulated and measured values were compared and analyzed for characteristics of the proposed antenna. In the results, radiation patterns of the proposed tri-band antenna were close to the simulated ones and also met specifications.

Key Words : Tri-band, Antenna, SATCOM, Simultaneous

1. 서론

세계 여러 나라들은 신속하고 정확한 정보교환을 위해 인공위성을 사용하고 있으며 보다 앞서가기 위해 치열한 기술경쟁을 벌이고 있다. 인공위성의 중요성은 최초의 인공위성 스푸트니크가 발사된 이후 계속 증가하고 있으며 현재까지 수많은 인공위성들이 서비스를 제공하고 있다.

위성통신용 안테나의 경우 하나의 안테나로 한 개의

대역을 사용하지만, 여러 서비스를 동시에 사용하기 위해 하나의 안테나로 단일대역 뿐만 아니라 이중대역, 삼중대역을 지원하는 다중대역 안테나의 수요도 점차 늘어나고 있다.

일반적인 다중대역 안테나의 경우 대역별로 각각의 급전부를 따로 설계하여 필요 시 급전부만 교체하여 사용하였으나 교체 시간이 길고 다중대역 동시사용이 불가능하다는 단점이 있다^[1].

다중대역 동시사용 안테나의 가장 큰 어려움 중 하나

*정회원, 국방과학연구소

접수일자 : 2015년 3월 4일, 수정완료 : 2015년 4월 3일

게재확정일자 : 2015년 4월 10일

Received: 4 March, 2015 / Revised: 3 April, 2015 /

Accepted: 10 April, 2015

*Corresponding Author: bswoo@add.re.kr

Agency for Defense Development, Korea

는 각 대역별로 필요한 빔 패턴 성능 구현이 쉽지 않다는 점이다. 다중대역을 지원하기 위해서는 광대역 급전 혼 설계 기술이 필요한데, 각 대역별로 파장이 다르기 때문에 동일한 복사패턴 성능을 가지도록 설계하는 것이 어렵고, 복사된 신호는 인접 위성과의 간섭을 피하기 위하여 다중대역 복사패턴 모두 MIL-STD-188-164A에 따른 부엽준위 규격을 만족해야 하는 어려움이 있다^[2].

본 논문에서는 주름형 혼과 유전체 혼으로 구성된 급전부 조립체를 통하여 부엽준위 규격을 만족하는 삼중대역 빔 패턴을 구현하였으며, 턴스타일 정선(turnstile junction)과 다이플렉서(diplexer) 설계를 통해 각 대역의 분리도를 개선한 삼중대역 동시사용 그레고리안 안테나를 설계하여 기술하였다.

2장에서는 삼중대역 동시사용 안테나 구조를 제안하고 그 성능을 CST Microwave STUDIO를 이용하여 분석하였다. 3장에서는 2장의 설계결과를 바탕으로 제작된 안테나의 측정결과를 분석하였다.

II. 안테나의 설계 및 성능

삼중대역 동시사용 안테나는 크게 급전부 조립체와 반사경 조립체로 구성된다. 급전부 조립체의 경우 다시 급전 혼 및 턴스타일 정선, 다이플렉서, 디바이더(divider), 편파기(polarizer), OMT(ortho-mode transducer)로 구성되고, 반사경 조립체는 주반사경과 부반사경으로 구성된다.

송신 시 입력된 X, Ku, Ka대역 RF신호는 급전부조립체와 반사경 조립체를 통하여 복사되며, 반사경 조립체를 통해 수신된 신호는 급전부 조립체를 통해 다시 각각의 X, Ku, Ka대역 신호로 분리된다.

그림 1은 급전부 조립체 신호 흐름도를 나타낸다.

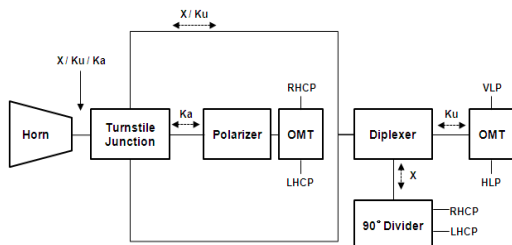


그림 1. 급전부 조립체 신호 흐름도
Fig. 1. Feed assembly signal flow

반사경 조립체를 통해 송수신되는 X/Ku/Ka대역 신호 중 X/Ku대역 신호는 주름형 혼(corrugated horn)을 통해 이동하며 동축도파관(coaxial waveguide)을 통해 턴스타일 정선으로 연결된다. 턴스타일 정선을 이동하는 X/Ku대역 신호는 다이플렉서를 통해 X대역과 Ku대역 신호로 분리 및 통합되며, X대역 신호의 경우 원형편파 생성을 위해 90° 디바이더와 결합하여 사용하고, Ku대역 신호의 경우 OMT를 사용하여 선형편파를 생성한다. 유전체 혼을 통하여 이동하는 Ka대역 신호는 동축도파관 내부의 원형도파관을 통해 편파기와 연결되어 원형편파를 생성한다.

1. 급전부 조립체

급전부 조립체는 X/Ku대역 주름형 혼과 Ka대역 유전체 혼으로 구성된 급전 혼, 턴스타일 정선, 다이플렉서, X대역 편파기, Ku대역 OMT, Ka대역 편파기, Ka대역 OMT로 구성되어 있다. 그림 2는 급전부 조립체의 형상을 보여준다.

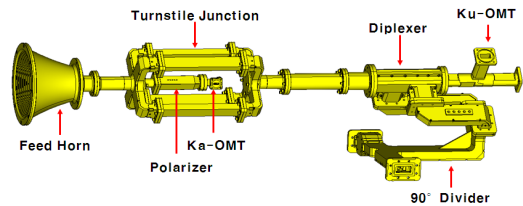


그림 2. 급전부 조립체 형상
Fig. 2. Shape of feed assembly

가. 급전 혼

급전 혼 설계는 먼저 X/Ku대역 주름형 혼의 특성을 확보하는데 중점을 둔다. 주름형 혼은 일반 혼에 E-plane과 H-plane의 동일한 패턴 특성 유지 및 교차편파 최소화를 위해 주름을 삽입한 형태로서, 내부 프로파일, 주름의 개수와 깊이, 슬롯 형상, 길이 등의 파라미터를 변경하여 최적의 패턴을 확보한 후 유전체 혼을 주름형 혼 내부에 삽입하여 최종적으로 급전 혼의 패턴 및 정합 특성을 확보한다^[3-6]. 유전체 혼은 X/Ku대역 혼 성능에 주는 영향을 최소화하기 위해 유전율 2.54의 Rexolite 유전체를 사용하여 사이드로브 및 각 대역별 위상중심 편차 최소화에 중점을 두고 설계하였다. 그림 3은 삼중대역 급전 혼의 형상이고, 그림 4(Rx: 수신, Tx: 송신)는 급전 혼의 각 대역별 패턴 성능을 보여준다.

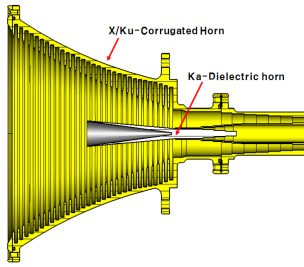
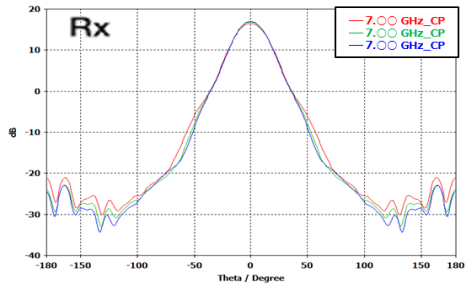
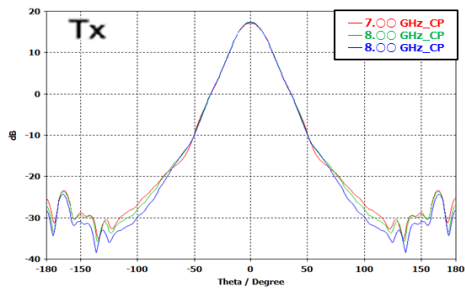


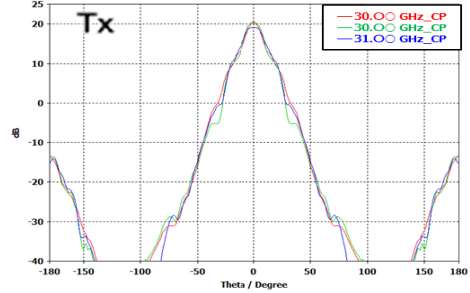
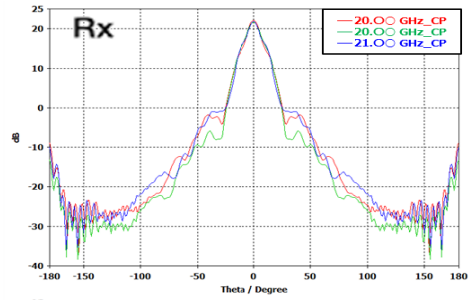
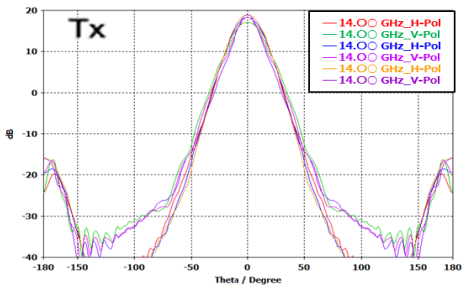
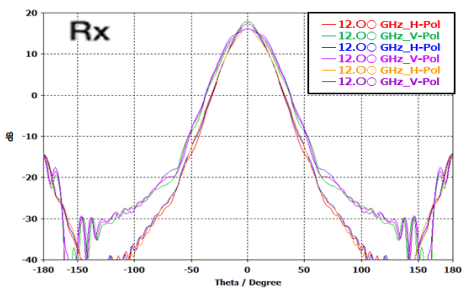
그림 3. 설계된 급전혼의 단면
 Fig. 3. Cross section of designed feed horn



(a) X band



(b) Ku band



(c) Ka band

그림 4. 급전혼 패턴 성능 계산결과
 Fig. 4. Calculated feed horn patterns

나. 턴스타일 정선

턴스타일 정선은 위성통신 시 상향 또는 하향링크 간 신호전달에 있어서 서로 직교하는 다른 두 개의 신호를 분리, 또는 합성하는 역할을 수행한다^[7].

본 안테나에서는 X/Ku 대역과 Ka대역을 서로 분리시키기 위해서 동축 도파관 형상의 턴스타일 정선으로 설계하였다. 광대역 특성을 갖는 X/Ku 대역의 신호 전송을 용이하게 하기 위해서 외측 도파관은 더블 리지드 (double ridged) 도파관을 사용하였으며, 내측의 원형 도파관은 Ka대역의 신호를 전송한다. X/Ku 대역의 신호는 턴스타일 정선의 각 측면도파관에 의해서 서로 직교하는 두 개의 신호가 -3dB의 균등한 신호로 분기되고, 분기된 신호는 턴스타일 정선의 후면부에서 다시 합성되어 다이플렉서에 전달된다. 그림 5는 턴스타일 정선의 형상을 보여주고, 그림 6은 시뮬레이션을 통한 턴스타일 정선의 정재파비 특성을 보여준다.

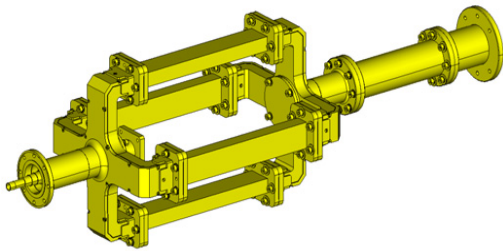


그림 5. 설계된 턴스타일 정선의 형상
Fig. 5. Shape of designed turnstile junction

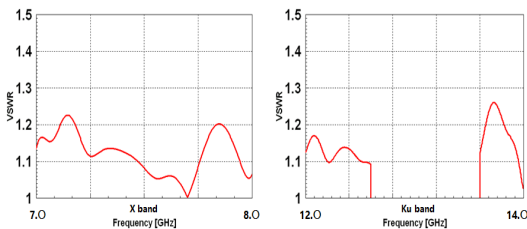


그림 6. 턴스타일 정선 정재파비 계산결과
Fig. 6. Calculated VSWR of turnstile junction

다. 다이플렉서

다이플렉서는 인가되는 서로 다른 주파수 대역의 신호를 분기시키는 역할을 수행한다^[8]. 본 논문에서는 참고 문헌 [9]에서 제안한 자계면 T-접합 구조를 갖는 X/Ku 밴드 도파관 다이플렉서와 동일한 구조의 다이플렉서를 설계하였다.

그림 7은 다이플렉서의 형상을 나타낸다. 공용포트로 사용되는 ①은 X/Ku 대역의 신호를 통과시키는 크기를 갖도록 크기를 구성하고, X 대역의 원형편파 신호를 선형편파로 변환시키기 위해서 측면 방향으로 도파관 ②와 ③을 구성한다. 도파관 ②와 ③은 각각 X대역 신호의 수직편파와 수평편파가 출력되고, Ku대역의 신호가 인가되지 않도록 내부를 주름의 형태로 구성하여 필터 역할을 수행하도록 설계한다. 측면으로 분기된 X대역의 신호는 디바이더로 전달되고 ④로 분기된 Ku대역의 신호는 OMT로 전달된다.

다이플렉서 설계는 원하는 대역의 정확한 필터링과 삽입 손실 최소화를 위해 필터 설계와 임피던스 정합에 중점을 두고 수행하였으며, 삽입손실과 반사손실 시뮬레이션 결과를 그림 8에 나타내었다.

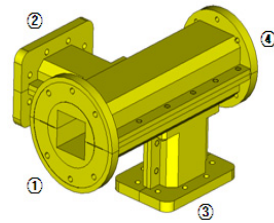


그림 7. 설계된 다이플렉서의 형상
Fig. 7. Shape of designed diplexer

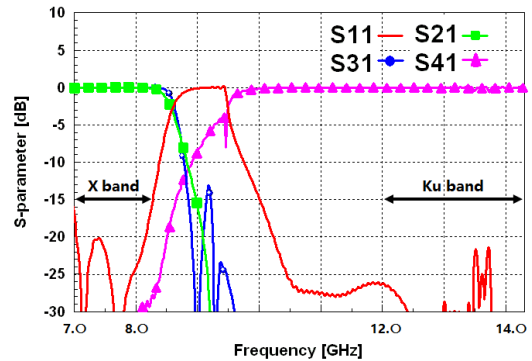


그림 8. 다이플렉서의 삽입손실 및 반사손실 계산 결과
Fig. 8. Calculated insertion loss and return loss of diplexer

X대역은 반사손실인 S11의 경우 -15 dB 이하이고, 삽입손실인 S21, S31은 모두 -0.3 dB 이하를 보였다. Ku대역은 삽입 손실인 S41의 경우 -0.4 dB 이하를 보이고, X대역 도파관인 ②와 ③을 통과하지 못하는 것을 알 수 있다.

라. 디바이더

원형편파로 동작하는 X대역 신호의 좌현편파와 우현편파 생성을 위한 90° 위상차 발생을 위해 90° 디바이더를 X대역 편파기로 사용한다. 그림 9는 디바이더의 형상을 보여준다.

디바이더의 ①로 인가된 신호는 ③과 ④에서 90°의 위상차를 발생시키게 되는데 이 두 포트의 신호를 다이플렉서에서 합성시키면 우현편파가 생성되고 ②로 인가된 신호는 좌현편파를 생성시킨다. 디바이더 내부 중간 슬롯과 매칭단을 통해 정재파비와 분리도 특성을 개선하였다. 그림 10은 디바이더의 위상 특성을 보여준다.

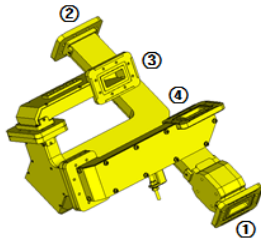


그림 9. 설계된 90° 디바이더의 형상
 Fig. 9. Shape of designed 90° divider

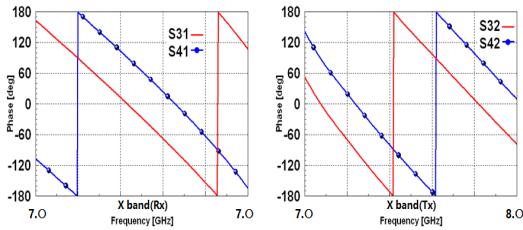


그림 10. 디바이더의 위상 특성 계산결과
 Fig. 10. Calculated phase of divider

위상 특성 확인결과 위상차이가 89°로 90°에 매우 근접하는 결과를 보였다.

마. 편파기

편파기는 선형편파와 원형편파 사이의 변환 역할을 담당하는데, 도파관 내부에 유전체나 자성체 등을 삽입시켜 편파를 변형시키거나 도파관 내부에 주름을 삽입하여 편파를 변형시킨다^[10~12]. 유전체나 자성체 등을 삽입시키는 형태의 편파기는 매질에 따른 손실에너지가 크기 때문에 광대역 편파특성을 지니지 못하는 단점이 있어 Ka대역에서는 사용하지 않는다.

Ka대역 편파기는 Ka대역 유전체 혼과 연결되며 원형 편파를 구현하기 위하여 수직 신호와 수평신호가 주름을 통과하면서 발생하는 위상차를 이용하는 주름형 편파기로 구성된다. 주름형 편파기의 경우 광대역 특성과 함께 낮은 정재파비 특성, 높은 편파 분리도 특성을 가지고 있다.

그림 11은 Ka대역 편파기의 형상을 보여주고, 그림 12는 편파기의 정재파비 성능을 보여준다.

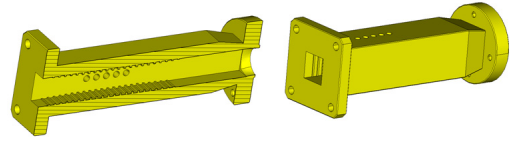


그림 11. 설계된 주름형 편파기의 형상
 Fig. 11. Shape of designed iris polarizer

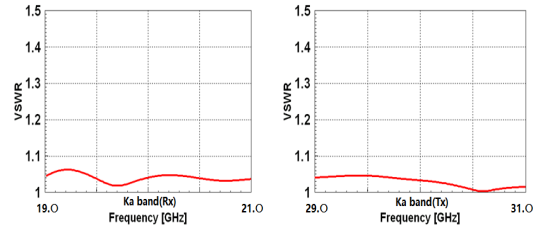


그림 12. 주름형 편파기의 정재파비 특성
 Fig. 12. Calculated VSWR of iris polarizer

2. 반사경 조립체

반사경 조립체의 주반사경은 포물면, 부반사경은 타원면인 오프셋 복반사경 그레고리안 타입(dual offset gregorian type)으로 구성되며 주반사경이 오프셋 되어 있는 형상으로 블로킹이 없어 높은 복사효율 특성 및 좋은 정재파비 특성을 가진다^[13~15].

타원면의 두 초점 중 한 초점에 급전혼을 위치시키고 다른 초점에 포물면인 주반사경의 초점을 위치시키면 급전혼에서 복사되는 각각의 X, Ku, Ka대역 구면파 신호는 부반사경에 반사되어 주반사경의 초점에서 나오는 구면파처럼 변환되고 이 구면파는 다시 주반사경에 반사되어 평면파로 변환되어 복사된다.

그림 13은 오프셋 복반사경 그레고리안 안테나의 기하학적 구조를 보여준다. D 는 주반사경 개구면의 직경이고 H 는 개구면의 오프셋 높이, F_m 은 주반사경 초점 길이, F_s 는 부반사경 초점길이, θ_s 는 부반사경 입사각도, θ_m 은 주반사경 입사각도, α 는 z_s 축과 급전혼 중심축 사이의 각도, β 는 z_s 과 z 축 사이의 각도를 나타낸다.

부반사경의 타원면 방정식과 주반사경의 포물면 방정식을 계산하면 부반사경 한 점은 식 (1), 주반사경의 한 점은 식 (2)를 만족한다.

$$r_s = \frac{F_s}{e} \frac{(e^2 - 1)}{e \cos \theta_t - 1} \quad (1)$$

$$z = -F_m + \frac{x^2 + y^2}{4F_m} \quad (2)$$

여기서 e 는 부반사경의 이심률이고 θ_t 는 부반사경의 축 z_s 로부터 부반사경의 한 점까지 이루는 각도이다.

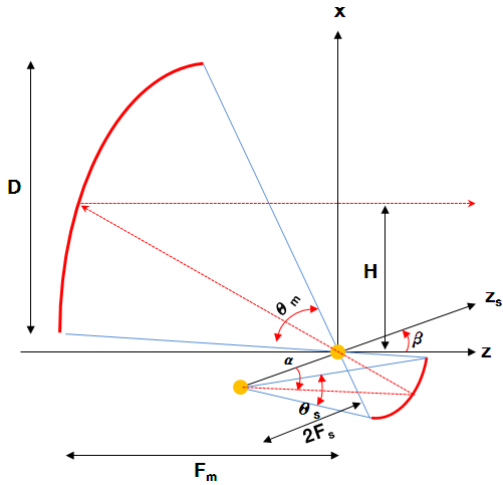


그림 13. 오프셋 그레고리안 안테나의 구조
Fig. 13. Geometry of dual offset gregorian antenna

이를 바탕으로 설계된 안테나의 제원은 표 1과 같고, 이 제원을 TICRA GRASP 로 모델링하여 해석한 안테나의 방사패턴과 MIL-STD-188-164A의 방사패턴 규격 기준을 그림 14와 같이 나타냈다.

표 1. 설계된 안테나의 제원
Table 1. Structure of designed antenna

항목	제원
개구면 직경(D)	2.15 m
오프셋 높이(H)	1.35 m
주반사경 초점거리(F_m)	1.35 m
부반사경 초점거리(F_s)	0.1 m
주반사경 개구각(θ_m)	72.2°
부반사경 개구각(θ_s)	72°
이심률(e)	0.24
z_s 축과 급전혼 사이의 각도(α)	53.07°
z 축과 z_s 축 사이의 각도(β)	78.4°

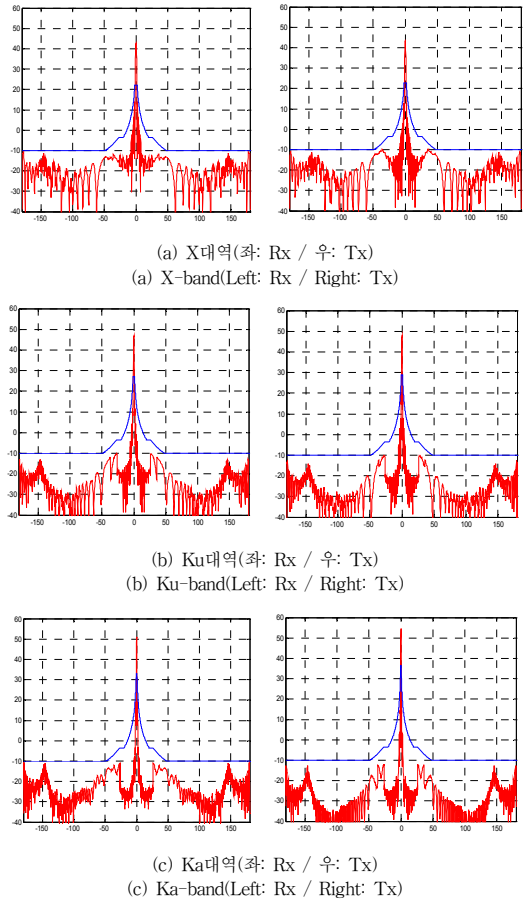


그림 14. 계산된 안테나 방사패턴
Fig. 14. Calculated antenna radiation pattern

III. 제작 및 측정

설계 및 제작된 안테나의 성능을 고찰하기 위하여 그림 15와 같이 측정 환경을 구성하여 원거리 영역 (far-field range)에서의 안테나 방사패턴을 측정하였고, 그림 16은 제작된 안테나 형상을 나타낸다.

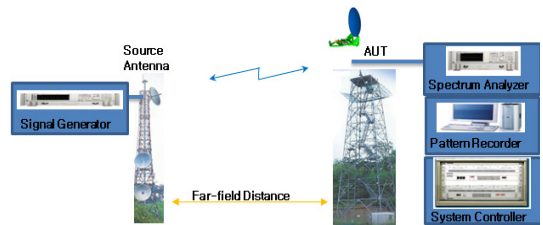


그림 15. 원거리 영역 측정 환경
Fig. 15. Environment for far-field range measurement

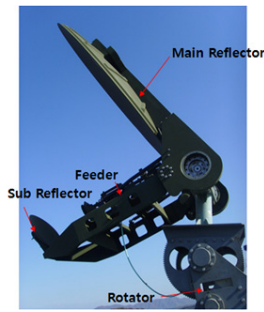


그림 16. 제작된 안테나 형상
 Fig. 16. Shape of manufactured antenna

위성 통신용 안테나의 경우, 인접 위성 간섭을 최소화해야 하므로 MIL-STD-188-164A 에 따라 방사패턴 부엽준위의 최소 90%가 규격 기준을 만족하여야 한다^[2]. 측정된 안테나의 방사패턴과 이득을 그림 17과 표 2에 나타냈고, 측정된 결과는 부엽준위 규격을 잘 만족하고 있음을 확인하였다.

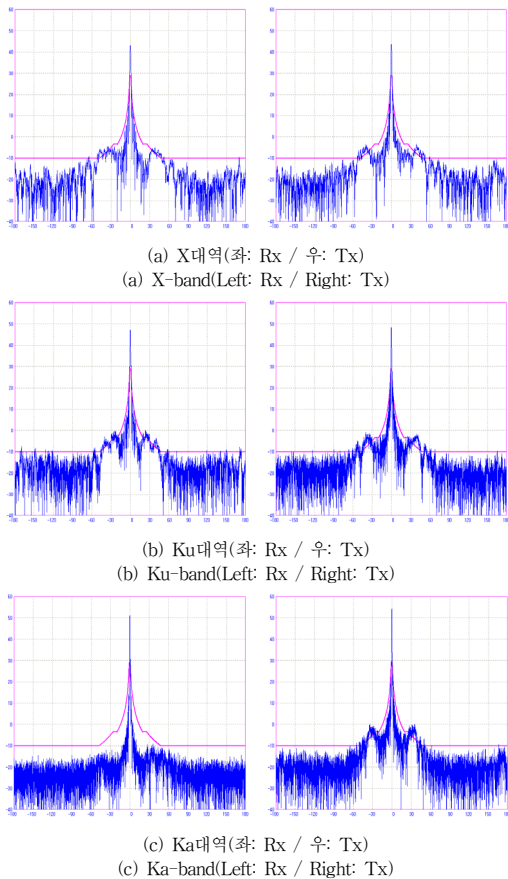


그림 17. 측정된 안테나 방사패턴
 Fig. 17. Measured antenna radiation pattern

표 2. 측정된 안테나의 이득
 Table 2. Measured antenna gain

대역		이득	효율
X대역	Rx	43.0 dBi	69.9%
	Tx	43.7 dBi	69.6%
Ku대역	Rx	47.1 dBi	64.7%
	Tx	48.3 dBi	65.6%
Ka대역	Rx	51.0 dBi	58%
	Tx	54.3 dBi	57%

IV. 결론

본 논문에서는 위성통신용 삼중대역 동시사용 안테나의 구조와 설계결과를 보였다. 삼중대역 동시 사용을 위해 기존의 교체형 방식대신 주름형 혼과 유전체 혼으로 구성된 급전혼, 턴스타일 정선, 다이플렉서, 디바이더, OMT, 주름형 편파기 등을 사용하여 X/Ku/Ka대역 동시사용이 가능한 일체형 급전부 조립체를 구성하였고, 그레고리안 타입의 반사경 안테나를 사용하여 고효율, 저부엽준위 특성을 만족시켰다.

제작 및 측정된 결과는 위성통신용 방사패턴의 규격을 잘 만족하고 있으며 안테나 이득 또한 X대역에서 약 70%, Ku대역 약 65%, Ka대역 약 57%로 뛰어난 성능을 보유하고 있음을 확인하였다.

본 논문에서 설계한 안테나는 실제로 위성통신용 삼중대역 동시 사용 안테나로 사용 할 수 있을 것이라 판단한다.

References

- [1] G. Griffin, J. Kralovec, "Design of a Simultaneous Center-Fed X/Ka-Band SATCOM Reflector Antenna with Replacable C-Band Option", *MILCOM IEEE*, pp. 1-7, 2007.
- [2] MIL-STD-188-164A, "Interoperability of SHF Satellite Communications Terminals", *Department of Defense Interface Standard*, Aug. 2009.
- [3] James, L. Graeme, "Design of wide-band compact corrugated horns", *IEEE Trans. Antennas and Prop.*, vol. 32, no. 10, pp. 1134-1138, Oct. 1984.

- [4] C. Granet, James, L. Graeme, "Design of corrugated horns: a primer", *Antennas and Prop.*, vol. 47, no. 2, pp. 76-84, 2005.
- [5] R. J. Bauerle, G. Gothard, A. Vergamini, "A center fed multi-band antenna for simultaneous satellite communication at C and Ku bands", *MILCOM*, pp. 1564-1571, 2010.
- [6] J. Kot, C. Granet, I. Davis, G. Pope, K. Verran, T. Mellor, "Dual-band feed systems for SATCOM antenna applications", *APMC*, pp. 662-665, 2011.
- [7] A. Navarrini, R. L. Plambeck, "A turnstile junction waveguide orthomode transducer", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 54, no. 1, pp. 272-277, Jan. 2006.
- [8] M. Beadle, R. Chugh, D. Geen, S. Patel, "A C/X/Ku-band dual polarized Cassegrain antenna system", *Antennas and Prop. Intl. Symposium*, vol. 1, pp. 692-695, July 1999.
- [9] Jeong-Hee Eum, Hak-Keun Choi, Choong-Ho Song, "Design of X/Ku band Waveguide Dplxers with H-plane T-junction", *JIIBC*, vol. 13, no. 2, pp. 33-39, 2013.
- [10] Shih-Wei Wang, Chih-Hung Chien, Chun-Long Wang, "A circular polarizer designed with a dielectric septum loading", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 52, no. 7, pp. 1719-1723, July 2004.
- [11] K.K. Chan, H. Ekstrom, "Dual band/wide band waveguide polarizer", *APMC*, pp. 66-69, 2000.
- [12] U. Tucholke, F. Arndt, T. Wriedt, "Field Theory Design of Square Waveguide Iris Polarizers," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 34, no. 1, pp. 156-160, Jan. 1986.
- [13] R. Mittra, F. Hyjajie, and V. Galindo-Isael, "Synthesis of offset dual reflector antennas transforming given feed illumination pattern into a specified perture distribution", *IEEE Trans. Antennas and Prop.*, AP-30, pp. 251-259, Mar. 1982.
- [14] V. Galindo-Israel, W. Imbriale, and R. Mittra, "On the theory of the synthesis of single and dual offset-shaped reflector antenna", *IEEE Trans. Antennas and Prop.*, AP-35, pp. 887-896, Aug. 1987.
- [15] V. Galindo-Israel, W. Imbriale, R. Mittra, and K. Shogen, "On the theory of the synthesis of offset dual-shaped reflectors-case examples", *IEEE Trans. Antennas and Prop.*, AP-39, pp. 620-626, May 1991.

저자 소개

우 병 석(정회원)



- 2009년 8월 : 울산대학교 전기전자제어공학과 공학사
- 2012년 2월 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학과 공학석사
- 2012년 10월 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원

<주관심분야 : 위성통신시스템, 전파신호처리>