

이중반사경용 광대역 주름형 혼 안테나 설계

임주영*¹, 갈산윤돈 아리운볼드*², 허지원*³, 방요한*⁴, 장경월*⁵, 안병철**⁶, 델겔
오트건bat*⁶

Design of a Broadband Corrugated Horn Antenna for Dual-reflector Applications

Joo-Young Lim*¹, Galsan-Yondon Ariunbold*², Jiwon Heo*³, Yohan Bang*⁴, Qiongyue Zhang*⁵,
Berng-Chearl Ahn**⁶, and Delger Otgonbat*⁶

이 논문은 충북대학교 4단계 BK21사업(2021) 지원을 받아 작성되었음

요 약

본 논문에서는 광대역으로 동작하는 주름형 혼 안테나의 설계 방법과 이의 응용 예를 제시하였다. 설계된 주름형 혼 안테나는 원형 도파관의 직경 증가를 위한 입력 테이퍼부, 대칭적인 전기장 분포와 낮은 교차편파 레벨을 제공하기 위한 모드 변환부, 주름형 도파관을 부드럽게 혼 영역으로 변환하는 혼 변환부, 요구되는 이득을 구현하기 위한 혼 영역으로 구성된다. 이론적 방법으로 주름형 혼 안테나를 초기 설계한 후 상용 소프트웨어를 이용하여 최적설계를 얻었다. 서술된 설계방법을 이용하여 X/Ku-대역에서 동작하는 주름형 혼 안테나를 설계하였다. 설계된 혼은 주파수 7-15GHz 범위에서 -16.6dB 이하의 반사계수, -63dB 이하의 교차편파레벨 및 27.2°-41.4°의 10dB 빔폭을 갖는다. 설계된 주름형 혼 안테나를 피드로 하여 직경 6m인 카세그레인 이중 반사경 안테나를 설계하였다. 설계된 반사경 안테나는 56.1dBi의 이득과 71.3%의 개구효율을 보였다.

Abstract

This paper presents a design method and a design example of a broadband corrugated horn antenna. The designed corrugated horn consists of an input taper section for connecting two circular waveguides having different radii, a mode converter for providing symmetric electric fields and low cross-polarization level, a horn transition section for smoothly transforming the corrugated waveguide to the horn region, and a horn region for realizing the required gain. After an initial design of the corrugated horn antenna by theory, an optimum design is obtained using commercial software. An X/Ku-band corrugated horn has been designed with the described design method. The designed horn has a reflection coefficient of less than -16.6dB, a cross-polarization level of less than -63dB, and a 10-dB beamwidths of 27.2°-41.4° at 7-15GHz. A Cassegrain dual-reflector antenna is designed using the designed corrugated horn as its feed. The designed reflector antenna shows a gain of 56.1dBi and an efficiency of 71.3%.

Keywords

corrugated horn, mode converter, symmetric gain patterns, low cross-polarization levels, cassegrain reflector

* 충북대학교 대학원 전파통신공학전공(*⁶ 교신저자)

- ORCID¹: <http://orcid.org/0000-0002-2728-9276>
- ORCID²: <http://orcid.org/0000-0001-6888-420X>
- ORCID³: <http://orcid.org/0000-0002-1100-8644>
- ORCID⁴: <http://orcid.org/0000-0001-6062-1931>
- ORCID⁵: <http://orcid.org/0000-0003-0385-4039>
- ORCID⁶: <http://orcid.org/0000-0001-7364-9984>

** 충북대학교 정보통신공학부 교수

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8031-1022>

· Received: Aug. 09, 2023, Revised: Sep. 27, 2023, Accepted: Sep. 30, 2023

· Corresponding Author: Delger Otgonbat

Dept. of Radio and Communications Eng., Chungbuk National University
Chungdae-ro, Cheongju City, Chungbuk, Korea

Tel.: +82-43-261-3194, Email: otgoohawk@gmail.com

1. 서 론

주름형 혼 안테나는 넓은 주파수 범위에서 대칭적인 이득 패턴과 낮은 교차편파 특성으로 레이더 및 위성 통신용 반사경 안테나 급전 피드에 이용된다[1][2]. 군용 레이더 시스템 및 위성 지구국 시스템에서 주파수 재사용에 대한 필요성이 증가하면서 이중 혹은 다중 대역 반사판 안테나 시스템이 요구가 증가되고 있다[3]-[6].

주름형 혼 안테나의 고전적인 설계 방법에는 모드 정합법 혹은 BOR 구조를 반영한 모멘트법 등이 있다[7][8]. 최근 전자장 설계 프로그램의 보급과 더불어 주름형 혼 안테나의 설계가 보다 용이해졌다. 주름형 혼 안테나의 설계는 기본적인 이론을 바탕으로 접근하는 것이 바람직하다. 1970년대 후반 Dragone는 설계 이론의 수립과 실험적 방법을 병행하여 17-29GHz에서 동작하는 주름형 혼 안테나를 제시하였다[9]. Zhang은 Dragone에 의해 서술된 HE-모드의 diagram의 오류를 정정하고 광대역 주름형 혼 안테나의 설계 방법을 정립하였다[10]. 이후 광대역 혼 안테나의 형상 프로파일에 대한 연구 [11][12] 뿐만 아니라 다양한 설계 방법들이 제공되고 있다[13][14].

본 논문에서는 주파수 7-15GHz 범위에서 동작하는 X/Ku 대역 주름형 혼 안테나를 설계하였다. 전체 혼의 구조를 4개의 영역으로 나누어 설계방법을 적용하였다. [13]의 설계지침을 적용한 이론적 초기 설계를 얻은 후 상용 소프트웨어인 CST사의 Microwave Studio™ v.2021를 이용하여 광대역 혼 안테나를 설계하였다. 설계된 주름형 혼 안테나를

이중 반사판 안테나의 피드에 적용하여 특성을 확인하였다.

II. 주름형 혼 안테나 설계 이론

그림 1은 광대역에서 저반사 특성과 낮은 교차편파 레벨 및 대칭적인 빔 패턴을 갖는 광대역 주름형 혼 안테나의 기본 구조이다. 제안된 안테나는 입력 원형 도파관의 크기를 조정하는 입력 테이퍼부, 원형 도파관으로부터 입사되는 TE₁₁ 모드를 하이브리드 HE₁₁ 모드로 변환하는 모드 변환부, 모드 변환부와 혼 영역의 프로파일을 부드럽게 연결하는 트랜지션부와 최종 혼 영역으로 구분된다. 최종 혼 영역은 혼의 퍼짐 각(Flare angle) θ_a 혼 개구의 반경 A 및 길이 L_4 에 의해 결정된다. 본 장에서는 주름형 혼 안테나의 설계 개념을 각 영역별로 설명한다.

2.1 입력 테이퍼부 설계

주름형 혼 안테나의 핵심 구성 요소 중의 하나는 원형 도파관으로부터 입사된 TE₁₁ 모드를 대칭적인 전자계 분포를 갖는 HE₁₁ 모드로 변환하는 모드 변환부이다. 주름형 혼 안테나의 입력 도파관 반경(a_0)은 하한 주파수의 0.8-0.9배에서 TE₁₁ 모드가 차단되도록 정한다. 반면에 모드 변환부가 시작되는 입력 단의 반경 a_1 은 모드 변환부 설계 이론에 의해 결정되며 입력 도파관의 반경 a_1 에 비해 큰 값을 갖는다. 서로 다른 반경을 갖는 입력 도파관 사이의 저반사 특성을 위해서는 충분한 길이의 도파관 선로가 요구된다.

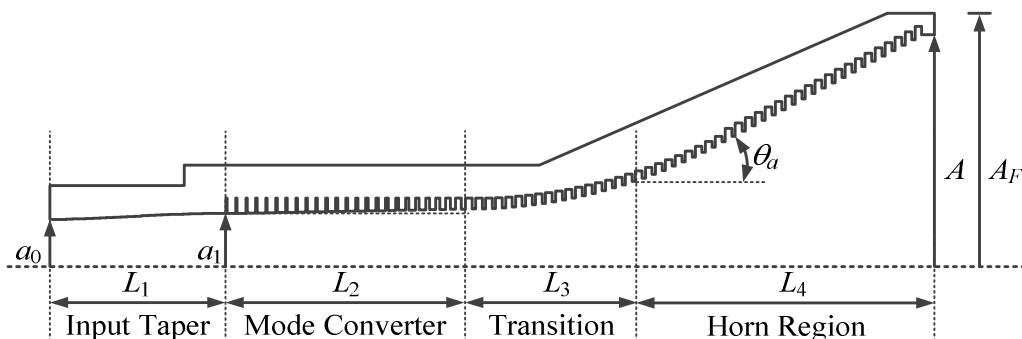


그림 1. 광대역 주름형 혼 안테나 구조
Fig. 1. Structure of a broadband corrugated horn antenna

그림 2는 원형 도파관의 반경이 각각 a_0 와 a_1 이고 전체 길이가 L_1 인 입력 테이퍼의 모습이다. 짧은 입력 테이퍼부에 의한 반사를 충분히 줄일 수 있도록 식 (1)의 사인 함수형 프로파일을 적용하였다.

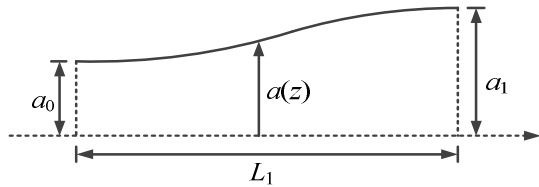


그림 2. 입력 도파관 형상
Fig. 2. Geometry of the input waveguide

$$a(z) = a_0 + (a_1 - a_0)\sin^2[\pi z / (2L_1)] \quad (1)$$

2.2 모드 변환부 설계

주름형 혼 안테나가 광대역에서 대칭적인 이득 패턴을 갖고 낮은 교차편파레벨을 얻기 위해서는 모드 변환부의 설계가 중요하다. 그림 3은 광대역에서 하이브리드 HE₁₁ 모드를 형성하기 위한 모드 변환부의 구조이다. 모드 변환부가 시작되는 원형 도파관의 반경은 a_1 이고 주름형 도파관의 외부 직경이 b 이다. 모드 변환부의 첫 번째 슬롯 길이 d_1 에서 N -번째 슬롯까지 일정한 피치 p 의 간격으로 배열된다.

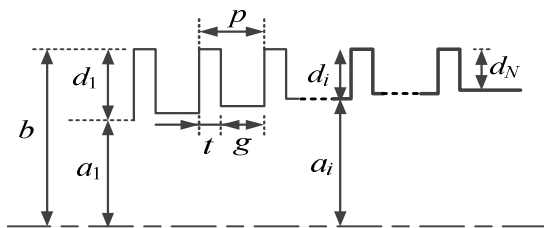


그림 3. 모드 변환부 구조
Fig. 3. Structure of the mode converter

주름형 혼 안테나의 모드 변환부에서 HE₁₁ 모드를 형성하기 위한 기본 조건은 도파관 내벽에서 슬롯을 바라 본 표면 임피던스가 무한대로 동작되고 도파관 내부 반경(a_1)을 파장에 비해 크게 하는 것이다. 주름형 도파관 내부의 전기장 분포는 외부와 내부 반경의 비(b/a)에 의해 결정된다. 주름형 도파관 내에서 HE₁₁ 모드가 형성되기 위해서는 도파관 내벽에서 슬롯을 바라본 임피던스가 무한대에서 0으로 감소하는 양의 값을 가져야 한다[11]. [13]에

의하면 넓은 주파수 범위에서 올바른 동작을 위해서는 흔히 외부 및 내부 반경의 비(b/a)를 1.831로 정하고 외부 반경 b 는 표면 임피던스의 점진적인 변화와 고차 모드를 충분히 차단하기 위하여 일정하게 유지하는 것이 필요하다. 슬롯의 깊이($d_1 - d_N$)은 $0.25\lambda_{0H}$ 에서 시작하여 $0.50\lambda_{0C}$ 로 순차적으로 감소시킴으로써 광대역 특성을 갖도록 하는 것이 요구된다. 여기서 λ_{0C} 와 λ_{0H} 는 동작 범위의 중간 및 최대 주파수에서의 자유공간 파장이다.

모드 변환부를 형성하는 슬롯과 금속 홈의 폭의 비(g/t)는 흔히 0.5 - 10배 범위에서 결정된다. 2:1 이상의 대역폭을 얻기 위하여 슬롯과 금속 홈의 폭의 비(g/t)를 7:1에서 시작하여 0.5:1까지 점차적으로 줄어든다 하도록 하는 것이 바람직하다. 하나의 슬롯이 시작되는 지점에서 이웃하는 금속 홈까지의 피치 $p (= t + g)$ 는 주름형 혼 안테나 내에서 동작 주파수 내에서 1 파장당 1 - 10개의 범위에서 선정한다.

2.3 혼 변환부 및 혼 영역 설계

일반적으로 혼의 개구직경은 원하는 10dB 빔폭과 혼의 퍼짐각에 의해 결정된다. A. D. Olver는 주름형 혼의 개구 반경(A)과 혼의 퍼짐각 θ_c 의 변화에 따른 10dB 빔폭을 제시하였다[15].

혼의 개구 직경과 퍼짐각이 결정되면 혼 영역의 시작 부분과 모드 변환부의 중단 부분을 연결한다. 모드 변환부의 퍼짐각과 혼 영역이 서로 상이할 경우 별도의 혼 변환부가 요구된다. 퍼짐각이 서로 다른 경우 두 부분을 바로 연결할 경우 안테나의 반사특성이 저하될 수 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 2개 영역의 퍼짐각이 부드럽게 변화하도록 혼의 프로파일을 조정하는 별도의 변환부를 설계하였다. 본 논문에서는 두 영역 사이의 변환부에 지수함수 형태의 형상 프로파일을 적용하였다.

2.4 X/Ku 대역 주름 혼 설계

본 논문에서는 X/Ku 대역(7-15GHz)에서 동작하는 광대역 주름형 혼 안테나를 설계하였다. 주름형 혼 안테나의 입력단의 도파관 직경은 가장 낮은 동작 주파수의 0.9배 이하에서 차단되도록 선정하였다.

모드 변환부가 시작되는 주름형 도파관의 반경 a_1 은 HE_{11} 모드가 적절히 여기되도록 선정하였다.

다음으로 모드 변환부는 그림 4와 같은 도파관 형태의 모델을 이용하여 설계하였다. 모드 변환부가 시작되는 주름형 도파관의 반경 a_1 과 b_1 의 차이(d_1)은 앞서 언급한 바와 같이 최대 주파수의 0.5파장으로 선정하였다. 다음으로 반경 a_1 과 b_1 의 비(b_1/a_1)는 1.831을 만족하도록 초기 선택한 후 그림 4의 모델에 대한 최적설계를 통하여 최종 선정하였다.

a_1 값의 조정에 따른 모드 변환부의 반사계수와 HE_{11} 모드의 형성 여부를 확인함으로써 초기 a_1 값을 19.0mm로 정하였다. 주름형 도파관 내부의 피치는 하한 주파수에서 0.2파장을 갖도록 하였다. [13]의 설계 가이드라인에 따라 슬롯과 금속홈 폭의 비는 7:1에서 0.5:1로 선형적으로 변화시켰다.

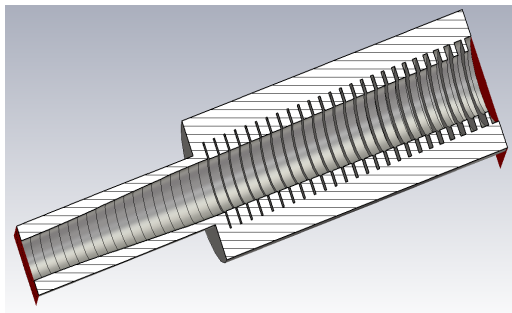


그림 4. 모드 변환부 설계 모델
Fig. 4. Design model of the mode converter

그림 5는 최종 설계된 모드 변환부에서의 전기장 분포이다. 주파수 7 - 15GHz에서 HE_{11} 모드가 적절하게 형성되는 것을 알 수 있다. 혼 영역은 40° 부

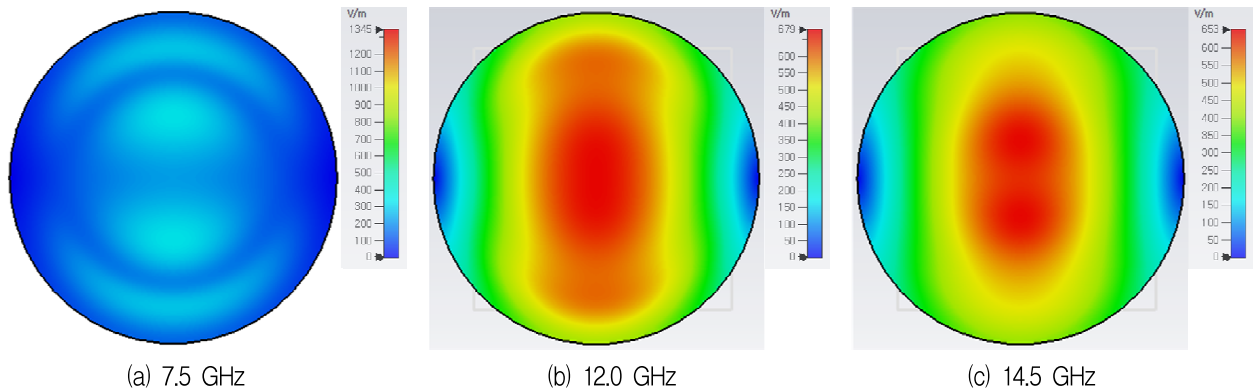


그림 5. 모드 변환부 종단에서의 전기장 분포
Fig. 5. Electric field distributions on the end of the mode converter

근의 -10dB 빔폭을 얻기 위하여 직경 $8.4\lambda_{0z}$ 과 50° 의 퍼짐각을 적용하였다.

그림 6는 최종 설계된 혼 안테나의 형상을 보인 것이다. 최종 설계된 혼의 주요 치수(단위: mm)는 다음과 같다.

$$a_i = 14.5, a = 19.00, b_1 = 30.54, L_1 = 155.7, L_2 = 217.5, L_3 = 217.5, L_4 = 174.0, A = 180.0, \theta_a = 50^\circ, A_F = 200.0$$

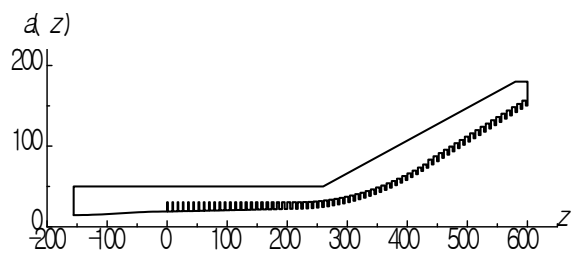


그림 6. 설계된 주름형 혼 안테나 단면 치수
Fig. 6. Cross-sectional dimensions of the designed corrugated horn antenna

그림 7은 설계된 혼 안테나의 모델링 형상이다.

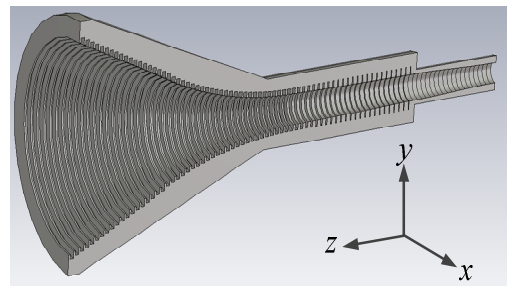


그림 7. 주름형 혼 안테나 설계 모델
Fig. 7. Design model of the corrugated horn antenna

그림 8은 혼 안테나의 반사계수 계산치이며 주파수 7 - 15GHz 범위에서 -16.6dB 이하의 특성을 갖는다.

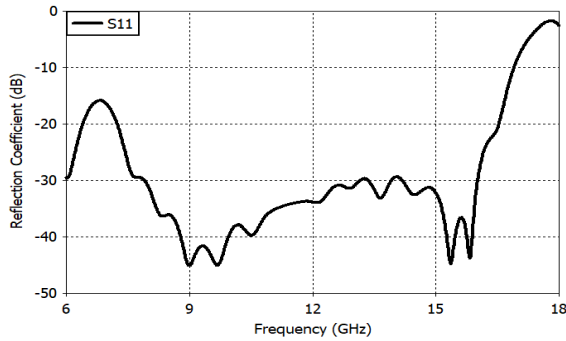
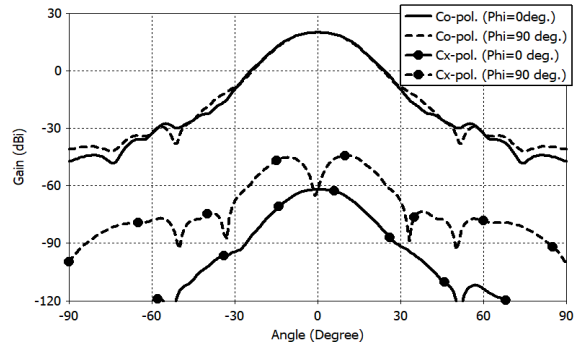
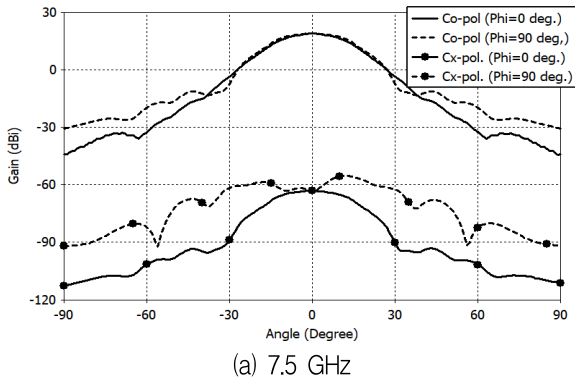
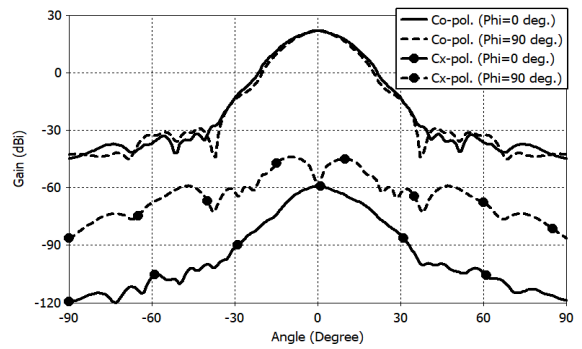


그림 8. 계산된 혼 안테나 반사 계수
Fig. 8. Reflection coefficients of the calculated horn antenna

그림 9은 최종 설계된 주름형 혼 안테나의 이득 패턴이다. 계산된 이득 패턴은 xz -평면($\phi = 0^\circ$) 및 yz -평면($\phi = 90^\circ$)의 $\pm 30^\circ$ 범위에서 비교적 대칭적인 패턴을 얻었다. 각 주파수에서의 교차편파 레벨은 -63 dB 이하이다.



(b) 12.0 GHz



(c) 14.5 GHz

그림 9. 계산된 혼 안테나의 이득패턴
Fig. 9. Gain patterns of the calculated horn antenna

그림 10은 주름형 혼 안테나의 개구면에서 계산된 전기장 분포이다. 모드 변환부에서 형성된 HE_{11} 모드가 안테나의 개구까지 적절하게 유지되는 것을 알 수 있다. 또한 상하 및 좌우 전기장 분포가 유사하게 형성됨으로써 대칭적인 이득 패턴의 형성이 용이함을 알 수 있다.

그림 11은 설계된 혼 안테나의 주파수별 이득과 교차편파 레벨의 계산 결과이다.

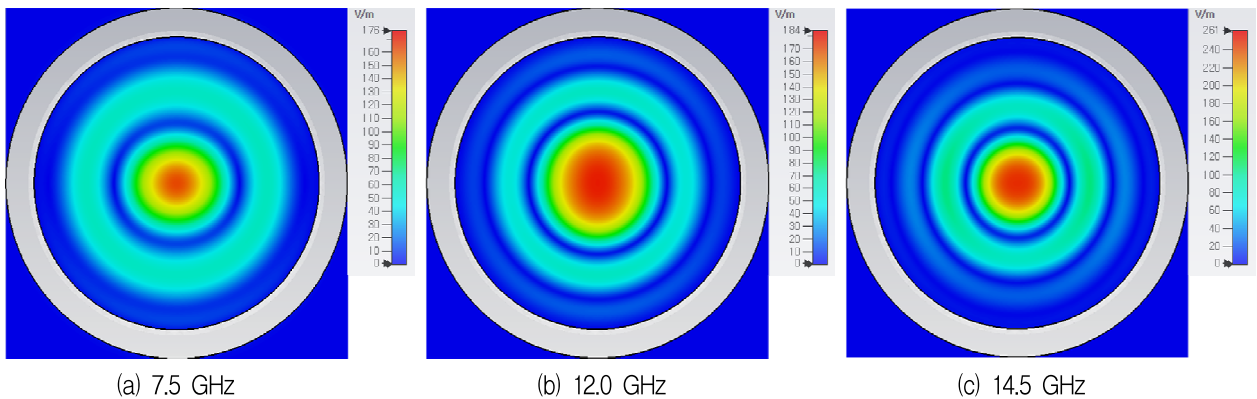


그림 10. 혼 개구에서 계산된 전기장 분포
Fig. 10. Calculated electric fields at horn aperture

안테나 이득은 7- 15GHz에서 18.5-22.1dBi에서 형성되었으며 교차편파레벨을 -57.2dB 이하였다. 설계된 혼 안테나의 3dB 및 10dB 빔폭은 그림 12와 같다. 전체 주파수 범위에서 3dB 빔폭은 14.2°-26.1°의 범위를 갖고 10dB 빔폭은 27.2°-41.4°에서 형성됨을 알 수 있다.

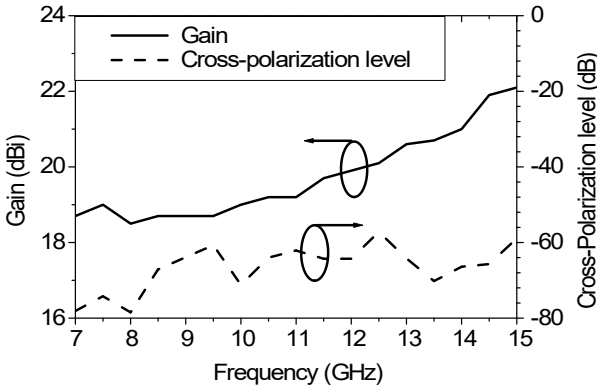


그림 11. 설계된 혼 안테나의 이득 및 교차편파 레벨
Fig. 11. Gain and cross-polarization level of the designed horn antenna

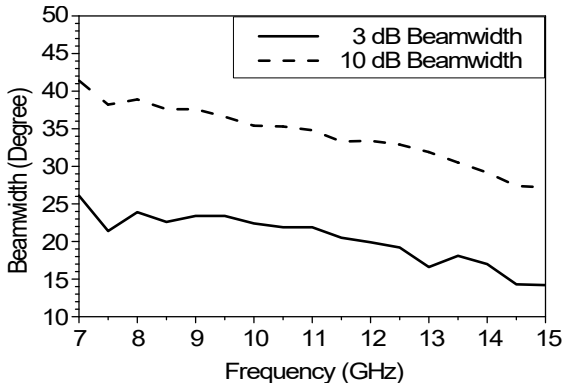


그림 12. 설계된 혼 안테나의 빔폭 특성
Fig. 12. Beamwidth performance of the designed horn antenna

III. 반사경 안테나 설계

앞서 설계된 주름형 혼 안테나를 기반으로 그림 13과 같은 카세그레인 형식의 6m급 이중 반사경 안테나를 설계하였다. 반사경 안테나의 초기 설계에는 주파수 12GHz에서 얻은 3차원 이득패턴을 이용하였다. 그림 14은 설계된 혼 안테나의 3차원 이득패턴으로부터 급전피드에서 부반사경을 조사하는 각도의 변화에 따라 계산된 넘침효율 (Spillover efficiency)과 개구효율(Aperture efficiency)

이다. 전체 안테나의 효율은 두 개의 효율을 곱한 것으로 급전 피드의 조사 각도가 16.3°인 경우 76%의 최대 효율을 갖는다.

그림 14의 결과를 바탕으로 급전 피드에서 부반사경을 조사하는 각도가 16.3°인 경우의 이중 반사경 안테나를 설계하였다. 설계된 이중 반사경 안테나의 F/D 는 0.375를 적용하고 부반사경 직경은 주 반사판 직경의 15%로 하였다. 이중 반사경 안테나의 주요 치수(단위: m)는 다음과 같다.

$$D_m = 6.0, F_m = 2.25, D_s = 0.9, L_m = 0.523, L_s = 1.421, \theta_c = 16.3^\circ$$

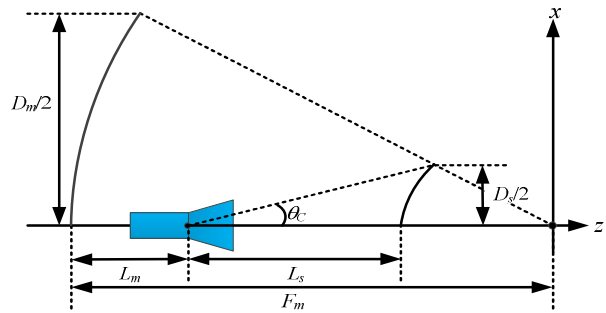


그림 13. 카세그레인 이중 반사경 형상
Fig. 13. Geometry of a Cassegrain dual-reflector

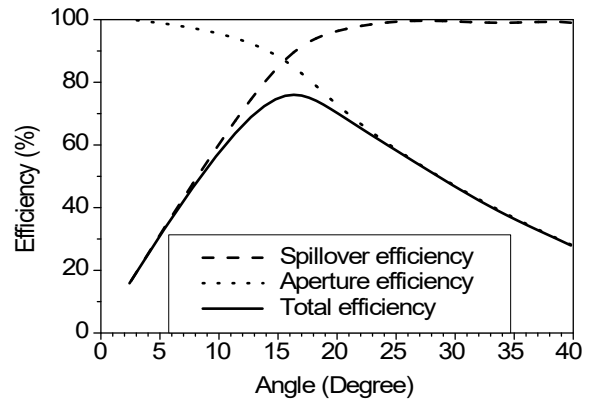


그림 14. 설계된 주름형 혼의 퍼짐 각에 따른 카세그레인 안테나 효율

Fig. 14. Efficiency of the Cassegrain antenna versus the flare angle of the designed corrugated horn

그림 15는 주파수 12GHz에서 최종 계산된 이중 반사경 안테나의 이득 패턴이다. 계산된 안테나 이득 패턴은 xz -평면($\phi = 0^\circ$)과 yz -평면($\phi = 90^\circ$)에서 -19.8dB 이하의 부엽 레벨과 대칭적인 이득패턴을 얻었다. 각 평면에서 계산된 교차편파 레벨은 -55.4dB 이하이다.

계산된 안테나의 최대이득은 56.1dBi로 71.3%의 효율을 보였다. 앞서 예측된 안테나 효율과 잘 일치함을 알 수 있다.

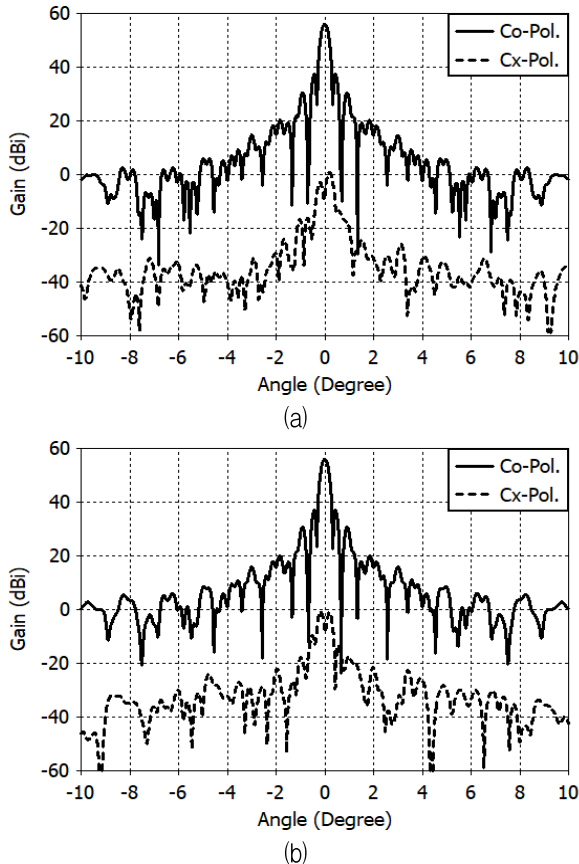


그림 15. 반사경 안테나의 이득 패턴 ($f = 12.0\text{GHz}$)
(a) xz-평면 (b) yz-평면

Fig. 15. Gain patterns of the reflector antenna ($f = 12.0\text{GHz}$) (a) xz-plane (b) yz-plane

IV. 결 론

본 논문에서는 X/Ku 대역에서 동작하는 광대역 주름형 혼 안테나의 설계 방법과 설계 예를 제시하였다. 주름형 혼 안테나의 입력 테이퍼부, 모드 변환부, 트랜지션부 및 혼 영역으로 구분하여 설계방법을 설명하였다. 모드 변환부의 설계에서는 광대역에서 동작하는 혼 안테나에서 균일한 HE_{11} 모드 형성을 위한 방법과 상용 소프트웨어에 의한 설계 결과를 제시하였다.

본 논문에서 제안된 주름형 혼 안테나의 설계 방법을 이용하여 주파수 7-15GHz에서 동작하는 광대역 혼을 설계하였다. 설계된 혼 안테나는 전자계 평

면에서 대칭적인 빔패턴과 18.5-22.1dBi 범위의 이득을 갖는다. 또한 설계된 혼 안테나는 전체 주파수 범위에서 27.2°-41.4°의 10dB 빔폭과 -57.2dB 이하의 교차편파 레벨을 보였다. 설계된 주름형 혼 안테나가 6m급 카세그레인 반사경 안테나의 급전피드로 적용되는 경우의 특성을 분석하였다. 설계된 카세그레인 안테나는 주파수 12.0GHz에서 56.1dBi의 이득과 71.3%의 개구효율을 보였다. 본 논문에서 설명된 주름형 혼 안테나의 설계방법은 대형 반사경 안테나 설계에 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

References

- [1] D. J. Sung, et al., "Wideband Corrugated Feedhorns, for Radar, Communications, Radiometry and Quasi-Optics", IEEE Open Journal of Antennas and Propagation, Vol. 3, pp. 970-983, Aug. 2022. <https://doi.org/10.1109/OJAP.2022.3192115>.
- [2] P. J. B. Clarricoats and G. T. Poulton, "High-efficiency microwave reflector antennas-A review", Proc. of the IEEE, Vol. 65. No. 10, pp. 1470-1504, Oct. 1997. <https://doi.org/10.1109/PROC.1977.10750>.
- [3] H. Alexander, P. Markus, and A. Simon, "Design of wide-band corrugated feed for reflector antenna in radar applications", 2016 German Microwave Conference (GeMiC), Bochum, Germany, pp. 1-4, Mar. 2016. <https://doi.org/10.1109/GEMIC.2016.7461557>.
- [4] S. S. Roy, C. Saha, T. Nagasekhar, S. B. Mane, C.S. Padmavathy, G. Umadevi, and M. N. Kumar, "Design of a compact multielement monopulse feed for ground-station Satellite tracking applications", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 18, No. 9, pp. 1721-1725, Sep. 2019. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2019.2927236>.
- [5] J. Pressensé, P. E. Frandsen, M. Lumholt, F. Delepaux, A. Frandsen, and L. S. Drioli, "Optimizing a corrugated horn for telecomm-

unication and tracking missions using a new flexible horn design software", Proc. of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation, Barcelona, Spain, pp. 1-5, Apr. 2010.

[6] C.-S. Park, J.-Y. Min, M.-S. Jung, and B.-C. Ahn, "Design of a lightweight W-band Cassegrain reflector antenna", Journal of KIIT, Vol. 14, No. 3, pp. 49-57, Mar. 2016. <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2016.14.3.49>.

[7] G. L. James, "Analysis and design of TE₁₁-to-HE₁₁ corrugated cylindrical waveguide mode converter", IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-29, pp. 1059-1066, 1981.

[8] J. Flodin, P. Kildal, and A. Kishk, "Moment method design of a large S/X-band corrugated horn", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 1996 Digest, Baltimore, MD, USA, pp. 2030-2033, Jul. 1996. <https://doi.org/10.1109/APS.1996.550006>.

[9] C. Dragone, "Characteristics of a broadband microwave corrugated feed: A comparison between theory and experiment", Bell System Technical Journal, Vol. 56, No. 6. pp. 869-888, Jul. 1977. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1977.tb00545.x>.

[10] X. Zhang, "Design of conical corrugated feed horn for wide-band high-frequency applications", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 41, No. 8, pp. 1263-1274, Aug. 1993. <https://doi.org/10.1109/22.241664>.

[11] C. Granet, G. L. James, R. Bolton, and G. Moorey, "A smooth-walled spline-profile horn as an alternative to the corrugated horn for wide band millimeter-wave applications", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 52, No. 3, pp. 848-854, Mar. 2004. <https://doi.org/10.1109/TAP.2004.825156>.

[12] J. Teniente, R. Gonzalo, and C. Del-Río, "Ultra-wide band corrugated Gaussian profiled horn antenna design", IEEE Microwave and Wireless

Components Letters, Vol. 12, No. 1, pp. 20-21, Feb. 2002. <http://dx.doi.org/10.1109/7260.975722>.

[13] C. G. Granet and G. L. James, "Design of corrugated horns: A primer", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 47, No. 2, pp. 76-84, Apr. 2005. <https://doi.org/10.1109/MAP.2005.1487785>.

[14] M. Abbas-Azimi, F. Maziuni, and F. Behnia, "Design of broadband constant-beamwidth conical corrugated-horn antennas", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 51, No. 5, pp. 109-114, Oct. 2009. <https://doi.org/10.1109/MAP.2009.5432055>.

[15] A. D. Olver, P. J. B. Clarricoats, A. A. Kishk, and L. Shafai, "Microwave Horns and Feeds", London: IEE, Vol. 39, 1994.

저자소개

임 주 영 (Joo-Young Lim)



2015년 2월 : 충북대학교
전파통신공학(공학석사)
2018년 9월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학전공 박사과정
관심분야 : 안테나, 안테나
측정기술, 도파관, 레이돔

갈산윤돈 아리운볼드 (Galsan-Yondon Ariunbold)



2017년 1월 : Mongolian
University of Science and
Technology, 전기기술공학(석사)
2019년 3월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학전공 박사과정
관심분야 : 안테나, RF, 초고주파

허 지원 (Jiwon Heo)



2018년 3월 ~ 2020년 2월 :
충북대학교
전파통신공학전공(석사)
2020년 3월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학전공 박사과정
관심 분야 : 안테나, RF, 전자과
응용

방 요 한 (Yohan Bang)



1981년 3월 ~ 1987년 2월 :
성균관대학교 경영학과(학사)
2020년 9월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학전공 석사과정
관심 분야 : 안테나, 전자과 응용

장 경 월 (Qiongyue Zhang)



2017년 9월 ~ 2019년 8월 :
충북대학교
전파통신공학전공(석사)
2019년 9월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학 박사과정
관심 분야 : 안테나, RF, 초고주파

안 병 철 (Bierng-Chearl Ahn)



1992년 12월 : University of
Mississippi 전기전자공학과(박사)
1992년 ~ 1994년 : 국방과학연구소
선임연구원
1995년 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학과 교수
관심분야 : 안테나, 전자과 응용

델겔 오트건밭 (Delger Otgonbat)



2014년 1월 : Mongolian
University of Science and
Technology, 전기공학(석사)
2019년 3월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학 박사과정
관심분야 : 안테나, RF, 초고주파