

X/Ku-대역 광대역 주름형 혼 안테나 설계

곽병석, 최종성, 방재훈, 안병철

충북대학교 전자공학과

Tel. 0431-261-3194 / Fax. 0431-271-4647

Design of A Broadband Corrugated Horn Operating in X/Ku Band

Byoeng-sug Kwak · Jong-sung Choi · Jai-Hoon Bang · Bierng-Chearl Ahn

Dept. of Radio Engineering Chungbuk National University

bjh2230@trut.chungbuk.ac.kr · bician@chungbuk.ac.kr

ABSTRACT

Design methods are presented for a broadband corrugated horn antenna operating X/Ku band (7.25-14.5 GHz). The corrugated horn consists of a circular waveguide taper, a mode converter, a waveguide-to-horn transition, and a horn section. Methods of design are presented for each section. The designed antenna shows excellent characteristics over the entire operating frequency range.

본 논문에서는 7.25 - 14.5 GHz의 주파수 범위에서 동작하는 광대역 주름형 혼 안테나의 설계 방법을 제시하였다. 혼의 전체 영역을 입력부, 모드 변환부, 도파관-혼 변환부, 혼 부분 등 총 4개로 분리하여 설계하였다. 혼 안테나의 10 dB 빔폭을 18° 이하로 하기 위해 혼의 개구면 크기를 $5\lambda_L$ (λ_L 은 최소 주파수에서의 자유공간 파장)로 하였다. 각 영역별로 설계 기법을 수립한 후 시행 착오 법으로 최종 설계 안을 도출하였다.

I. 서론

주름형 혼 안테나는 보통 원형 도파관으로 급전되며, 부엽이 거의 없고 대칭적인 복사 패턴을 형성하므로 밀리미터파 대역에서 흔히 이용된다[1]-[3]. 혼 자체의 마루와 골을 적절히 할 경우 2:1 이상의 광대역 특성을 확보할 수 있다. 또한 혼의 경사각을 조정함으로써 원하는 빔폭을 확보할 수 있다[3].

주름형 혼 안테나의 구조는 여러 문헌에 잘 나타나 있다. Thomas[4]는 안테나의 모드 변환부에 링 형태의 슬롯을 삽입하여 2.1 : 1 이상의 대역폭을 가지는 구조를 제안하였다. Zhang[3]은 안테나의 주름과 마루 부분을 일정하게 변화시킴으로써 광대역 특성을 얻었다. 또한 Clarricoats[1]는 혼의 내부 형상에 테이퍼를 줌으로써 짧은 길이의 혼 안테나를 설계하였다. 두개의 주파수 대역에서 모두 사용이 될 수 있도록 이중 깊이(dual depth)를 이용하거나 슬롯상의 이중턱을 이용하기도 한다.

II. 본론

본 논문에서는 7.25 - 14.5 GHz 주파수 대역에서 20 dB, 반사손실과 상대편파 특성이 -30dB 이하인 혼 안테나를 설계하고자 한다. 제안된 구조는 그림 1과 같다.

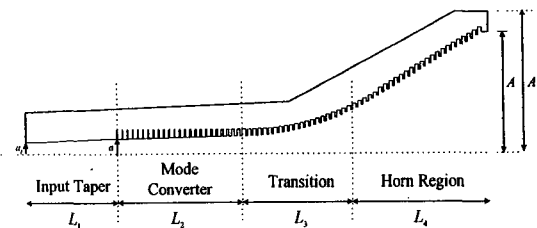


그림 1. 광대역 주름형 혼 안테나 구조.

그림 2는 입력부의 원형 도파관 테이퍼(input taper) 부분을 나타낸 것이다. Taper의 원형 도파관 크기 (a)는

하한 주파수의 0.8-0.9 배에서 TE₁₁모드가 차단 될 수 있도록 결정한다. 테이퍼 부분에서 원형 도파관의 직경은 다음 식과 같이 증가한다.

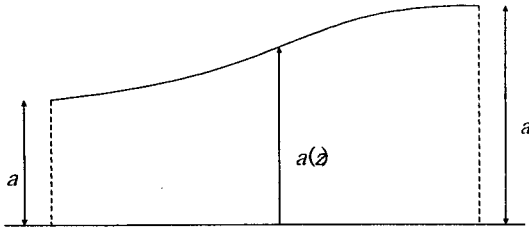


그림 2. 입력부의 원형 도파관 테이퍼.

$$a(z) = a_i + (a - a_i) \sin^2\left(\frac{\pi z}{2 L_1}\right) \quad (1)$$

식 (1)에서 a 는 모드 변환부(mode converter)를 고려하여 결정한다. 그림 3은 모드 변환부를 보인 것이다. 모드 변환부는 입력된 원형 도파관의 TE₁₁ 모드를 주름형 혼 안테나의 HE₁₁ 모드로 변환하는 영역이다. 모드 변환부에서 원형 도파관과 주름형 혼 안테나의 임피던스 정합과 완벽한 HE₁₁ 모드의 여기(따라서 낮은 교차편파 발생)가 결정되므로 이 부분의 설계는 매우 중요하다. 모드 변환부에서 첫 번째 홈의 깊이 d_1 은

$$d_1 = \frac{1}{2} \lambda_{0,h} \quad (2)$$

로부터 결정하며 b 와 a 의 관계는 [3]에 의하면 다음 조건을 만족할 때 가장 광대역 특성을 보인다.

$$b = 1.841 a \quad (3)$$

식 (2)와 (3)으로부터

$$a = d_1 / 0.841 = 0.595 \lambda_{0,h} \quad (4)$$

변환부 홈의 깊이는 처음에는 $1/2 \lambda_{0,h}$ 에서 출발하여 선형적으로 마지막 홈 깊이가 $1/4 \lambda_{0,c}$ 가 되도록 줄여 준다. 즉,

$$d_1 = \frac{1}{2} \lambda_{0,h} \quad d_N = \frac{1}{4} \lambda_{0,c} \quad (5)$$

여기서 $\lambda_{0,h}, \lambda_{0,c}$ 는 대역내에서 높은 주파수와 중간 주파수에서의 자유 공간 파장이다.

변환부 홈의 폭은 처음에는 원형 도파관으로부터 입사된 입사파의 산란을 최소화하기 위해 좁게 하고

($g/t=7$) 마지막 홈의 폭은 나머지 다른 부위의 홈과 동일하게 마루(tooth) 폭의 약 2배가 되도록 한다. 문헌에 의하면 홈 폭이 마루 폭의 약 2배일 때 가장 광대역 특성을 가진다. 모드 변환부 내의 홈의 개수는 임피던스 정합의 광대역을 고려하여 시행착오법으로 25개로 결정하였다.

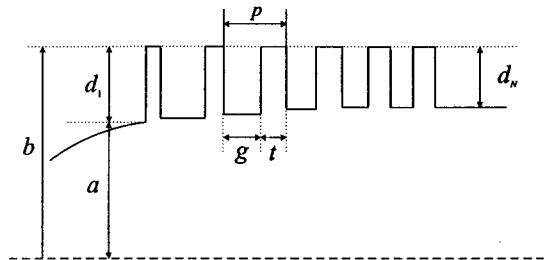


그림 3. 모드 변환부의 상세도.

혼 영역 설계시 18°의 10 dB 빔폭을 얻기 위하여 혼의 반각을 결정하게 된다[4]. 참고문헌 [4]의 결과를 토대로 10 dB 빔폭을 얻기 위해 개구면 크기를 $5\lambda_{0,L}$ 로 하고 반각은 25°로 하였다. 반각이 25°인 혼 영역을 모드 변환부에 연결할 경우 갑작스러운 각도의 변화로 교차편파 특성이 나빠진다. 따라서 모드 변환부와 혼 사이에 transition을 사용해야 한다.

모드 변환부에서 a 의 테이퍼로 인한 각도가 약 6°이므로 혼의 각도인 25°까지 선형적으로 각도가 변하도록 transition에서 a 를 증가시켰다(그림 1 참조). Transition의 길이 L 은 주로 교차편파의 크기에 영향을 주며 교차편파 성분이 충분히 작도록 적절한 값 이상으로 하여야 한다. Transition의 홈은 모드 변환부의 마지막 홈과 동일하게 25 개를 적용하였다.

혼 부분의 마루와 홈은 폭의 비가 2:1이 되게 하였으며 깊이는 $1/4 \lambda_{0,c}$ 로 일정하게 하였다. 혼 부분에는 총 20의 홈을 사용하였다.

위와 같은 방법으로 전체 혼 안테나를 설계한 후 그 특성을 모드정합법에 기초한 프로그램을 이용하여 계산하였다. 표 1은 설계된 주름형 혼 안테나의 내부 치수를 보인 것이다.

표 1. 설계된 주름형 혼 안테나의 내부 치수(단위:mm)

| a_i | A | L_1 | L_2 | L_3 | L_4 | A | AF |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 14.5 | 19.0 | 155.7 | 217.5 | 217.5 | 174.0 | 160.48 | 200.0 |

그림 4 - 그림 10은 혼 안테나의 계산된 특성을 보인 것이다. 그림 4로부터 설계된 혼 안테나는 7.25 - 14.75 GHz에서 -20 dB 이하의 반사계수를 가짐을 알 수 있다.

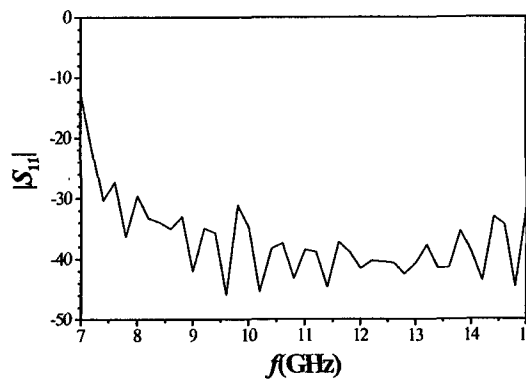


그림 4. 설계된 혼 안테나의 반사계수 특성.

그림 5는 혼 안테나의 이득을 계산한 것이다. 동작 주파수 대역내에서 설계된 혼 안테나는 18.5 dB 이상의 이득을 가짐을 알 수 있다.

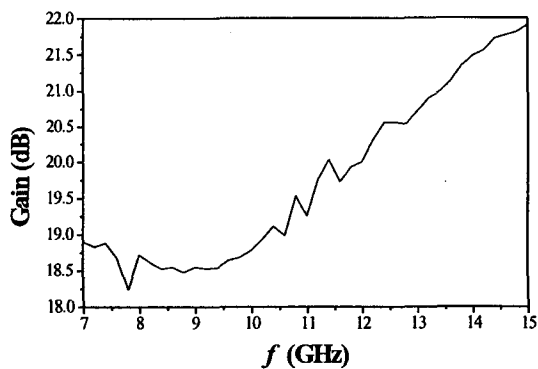


그림 5. 설계된 혼 안테나의 이득 특성.

그림 6은 혼 안테나의 $\phi = 45^\circ$ 에서 발생하는 최대 교차편파 성분을 계산한 것이다. 동작 주파수 대역 내

에서 설계된 혼 안테나는 25 dB 이하의 교차편파 성분을 가짐을 알 수 있다.

그림 7은 혼 안테나의 10 dB 빔폭을 계산한 것이다. 이로부터 설계된 혼 안테나는 동작 주파수 대역 내에서 15 - 20°의 10 dB 빔폭을 가짐을 알 수 있다. 그림 8은 혼 안테나의 복사패턴의 계산값을 보인 것이다. 이로부터 설계된 혼 안테나는 전개면 패턴과 자계면 패턴이 대칭이며 부엽과 후엽이 낮은 전형적인 주름형 혼 안테나의 복사패턴 특성을 가짐을 알 수 있다. 또한 교차편파 복사성분도 매우 낮은 값을 유지함을 알 수 있다.

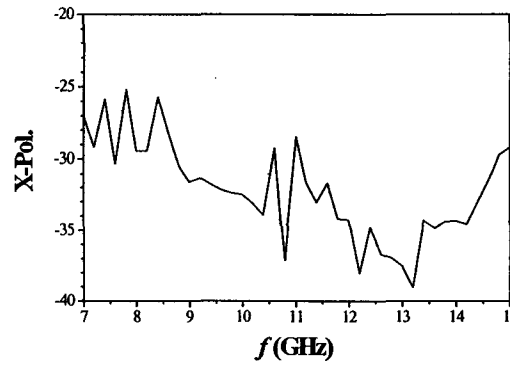


그림 6. 설계된 혼 안테나의 교차편파 특성.

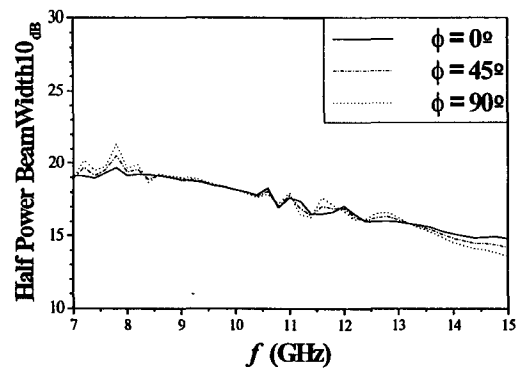
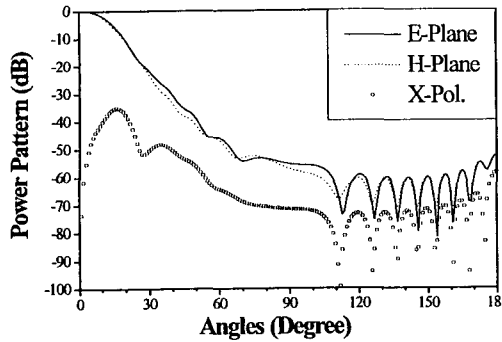
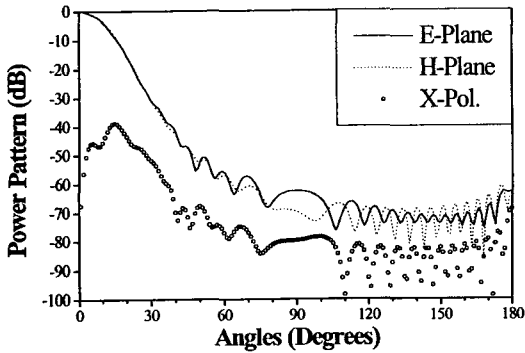


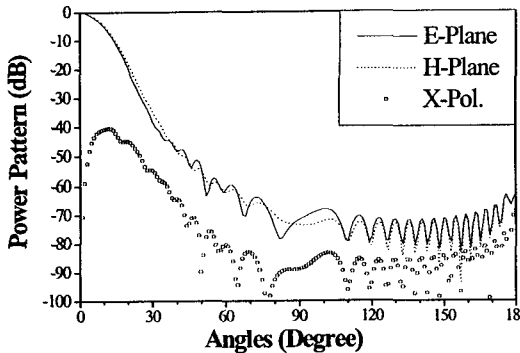
그림 7. 설계된 혼 안테나의 10dB 빔폭 특성.



(a) $f = 7.5$ GHz



(b) $f = 12.5$ GHz



(b) $f = 14.25$ GHz

그림 8. 설계된 혼 안테나의 복사패턴.

III. 결 론

본 논문에서는 7.25 - 14.5 GHz에서 동작하는 광대역 주름 형 혼 안테나의 설계기법을 제시하였다. 원형 도 파관에서 입력된 TE_{11} 모드를 모드 변환부에서 마루와 홈의 비율을 적절히 조정하여 HE_{11} 모드로 변환하도록 하였고 변환부에 연결되는 혼 영역의 편파 특성이 좋아 지도록 transition을 연결하여 설계하였다. 설계된 혼 안테나는 동작 주파수 대역에서 입력 반사계수, 부엽 및 후엽, 교차편파, 빔폭, 이득 등의 모든 항목에서 양호한 특성을 가짐을 확인하였다. 향후에는 설계된 안테나를 제작 측정하여 설계의 타당성을 검증할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] P. J. B. Clarricoats and A. D. Olver, *Corrugated Horns for Microwave Antennas*, Peter Peregrinus Ltd, 1984
- [2] Xiaolei Zhang, "Design of conical corrugated feed horns for wide-band high-frequency applications", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-41, no. 8, pp. 1263-1274, Aug. 1993.
- [3] G. L. James, "Analysis and design of TE_{11} to HE_{11} corrugated cylindrical waveguide mode converters", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-29, pp. 1059-1066, 1981.
- [4] B. M. Thomas, G. L. James, and K. J. Greene, "Design of wide-band corrugated conical horn for Cassegrain antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-34, no. 6, pp. 750-757, June 1986.