

이중 대역 소형 동축 도파관 급전 혼 설계

윤소현, 엄만석, 염인복 정회원

Design of a Compact Coaxial Waveguide Feed Horn for Dual Band

Sohyeun Yun, Manseok Uhm, Inbok Yom *Regular Members*

요 약

본 논문은 초점 반사판 안테나를 위한 이중 대역 급전 혼에 대한 연구 결과를 제시하였다. 반사판 안테나의 초점에 위치하는 급전 혼에 의한 전파 장애를 최소화하기 위해 동축 도파관 구조를 적용하였다. 동축 도파관의 내부 영역은 높은 주파수 대역을 위한 원형 도파관 TE11 모드가 여기 되도록 하였다. 외부 영역은 낮은 주파수 대역을 위해 사용되고, 동축 TE11 모드는 진행하고 기본 TEM 모드는 억제되도록 설계하였다. 각각의 여기 모드 생성을 위해서는 구조적 제약이 따르고, 이는 반사 손실 및 패턴 성능을 저하시킨다. 본 논문은 용량성 및 유도성 아이리스를 사용하여 반사 손실을 개선하였다. 또한 이중 모드에 의한 개선된 패턴 성능을 보였다. 본 논문에서 제시한 혼 설계는 제작 및 시험을 통해 성능을 검증하였다.

Key Words : coaxial waveguide horn, coaxial TE11, dual band, dual mode horn, focused reflector antenna

ABSTRACT

This paper presents the study results on a dual band feed horn for the focused reflector. A coaxial waveguide structure is attractive to avoid blockage from the feeder. The inner conductor as a hollow waveguide is designed to excite TE11 of a circular waveguide for high frequency. For low frequency, the design of the outer coaxial waveguide that propagates coaxial TE11 and prevents fundamental TEM is presented. The horn size for generation of these modes results in the degradation of performance. The return loss is improved by a capacitive iris and an inductive iris. The enhanced pattern symmetry by dual mode is presented. The horn design in this paper are verified through the test.

I. 서 론

초점 반사판 안테나는 초점에 위치하는 급전 혼의 소형화가 필요하다. 특히 이중 대역에서 동작하기 위해 다수의 급전 혼이 사용된다면, 전파의 장애가 커져서 안테나 효율이 열화된다. 이중 대역을 위한 소형의 급전 구조로 동축 도파관 형태는 매우 적절하다 [1]. 동축 도파관의 외부 동축 영역은 낮은 주파수 (C 대역)용으로 사용할 수 있고, 내부 원형 도파관 영역은 높은 주파수 (Ku 대역)용으로 사용할 수 있기 때문이다. 본 논문에서는 TE11 모드로 여기 되는 동축 도파관 급전 혼에 대한 구조 및 설계에 대해 기술하였다. 동축 도파관 도파관의 기본 모드는 TEM 모드이다. 기본 TEM 모드는 축 방향으로 영점을 포함하는 도넛 형태의 패턴을 나타내

기 때문에 지향 안테나로 사용할 수 없다. 반면, TE11 동축 도파관 모드는 축 방향으로 지향성을 보일 뿐 아니라, TEM 모드에 비해 광대역 특성을 보이며 패턴의 대칭성이 우수하다. 동축 TE11 모드는 패턴 측면에서 우수한 특성을 가지나, 도파관의 크기 제약에 의해 반사 손실 특성이 열화 되는 단점이 있다. 낮은 주파수 대역의 반사 손실을 개선하기 위해 본 논문에서는 내부 도체의 크기를 최소화하고 매칭 아이리스를 활용한 구조를 제안하였다. 최소화된 내부 도체에 의해 높은 주파수 대역의 전기적인 특성이 열화되지 않도록 하기 위해 변형된 스크림프 혼 (scrimp horn) 설계를 제안하였다. 최적 설계를 통한 이중 대역 동축 도파관 혼은 제작 및 측정을 통해 성능 검증을 수행하였다.

* 이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No.B0101-15-0141, 차기위성 Flexible 통신방송탑재체 핵심기술개발)

* 본 논문은 2015년도 제1회 한국위성정보통신학회 국내학술대회 (좌장추천) 우수논문으로 선정된 내용을 토대로 수정 보완된 논문입니다.

* 한국전자통신연구원 위성항공ICT 연구부 위성무선RF기술연구실 (yunsh@etri.re.kr),

접수일자 : 2015년 8월 31일, 수정완료일자 : 2015년 9월 14일, 최종 게재 확정일자 : 2015년 9월 22일

II. 이중 대역 혼 안테나 설계

2.1 높은 주파수 대역 혼 설계

동축 도파관의 내부 도체 영역을 공기로 채우면 도파관 형태가 되고, 이를 높은 주파수 대역에서 사용하고자 한다. 내부 도체의 크기는 낮은 주파수 대역의 전기적 특성에 영향을 미치기 때문에 주파수 대역 간 상호 보완 설계가 이루어져야 한다. 내부 도체의 크기는 그림 1과 같이 낮은 주파수 대역의 진행 모드 [2] 및 반사 손실을 결정한다 [3]. 이때, a 는 동축 도파관의 내부 도체 크기이고 b 는 외부 도체의 크기이다. 낮은 주파수 대역의 반사 손실 특성을 개선하기 위해서는 내부 도체의 크기는 작게, 외부 도체는 크게 설계해야 한다.

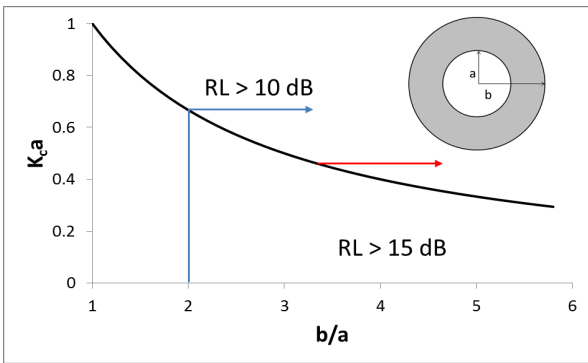


그림 1. 동축 도파관의 크기 비에 따른 차단 파수 및 반사 손실 특성

내부 도파관의 크기는 높은 주파수 대역 특성에 영향을 주지 않는 범위에서 최대한 작아야 한다. 하지만, 높은 주파수 대역에서 원하는 특성을 얻기 위해서는 원형 도파관의 주 모드인 TE₁₁가 진행할 수 있도록 일정 이상의 크기를 가져야 한다. 원형 도파관 TE₁₁가 진행할 수 있는 가장 단순한 형태는 오픈 엔드 원형 도파관이다. Ku 대역을 위한 원형 도파관의 크기는 직경 16 mm 이상이면 된다. 하지만 오픈 엔드 원형 도파관은 개구면 직경이 작기 때문에 이득이 낮고, 패턴의 대칭성을 개선할 필요가 있다. 이를 위해 초크에 의한 합성 HE₁₁ 모드를 구현하거나 [4] 개구면의 직경을 확장하여 TE₁₁ 모드와 TM₁₁ 모드에 의한 합성 모드를 활용할 수 있다. 포터 혼 (Potter horn)은 5-8 % 대역폭을 가지면, 터린 혼 (Turrin horn)은 12 %의 대역폭을 갖는다 [5]. 개구면 확장을 위한 혼의 기울기는 23-30°가 적당하다. 터린 혼과 축 코러게이트를 결합한 스크립트 혼 [6]은 20 %의 대역폭을 가지며 안테나 패턴 대칭성이 가장 우수하다. 내부 도파관에 삽입되는 코러게이트의 수를 증가시켜 패턴 대칭성을 개선할 수 있다. 패턴 대칭성이 개선된 혼 형태는 개구면 확장에 의해 낮은 주파수 대역의 반사 손실 저하시킨다. 내부 도체의 개구면 확장을 피하기 위해 본 논문에서는 스크립트

혼의 코니컬 영역을 제외하고 축 코러게이트를 1개만 사용하여 설계하였다. 기존 스크립트 혼과 제안된 혼 형태를 그림 2에 나타내었다. 코니컬 영역을 계단 구조로 구현하고 최소의 코러게이트 사용으로 패턴 대칭성 및 반사 손실 특성이 유지되도록 하였다. 설계된 혼은 표준 도파관과 물리적인 연결이 가능하도록 변환기를 포함하고 있다.

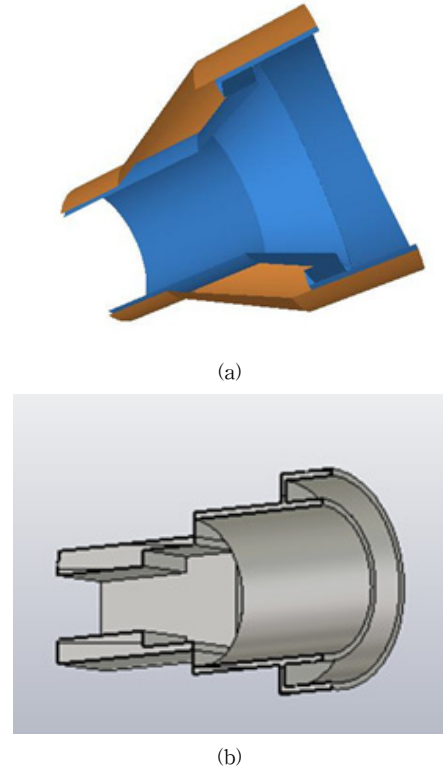


그림 2. 높은 주파수 대역을 위한 혼 형태 (a) 일반적인 스크립트 혼 (b) 제안된 스크립트 혼

2.2 낮은 주파수 대역 혼 설계

낮은 주파수 대역은 동축 도파관 영역에 TE₁₁ 모드를 여기 시켜 축 지향성 패턴을 얻고자 한다. 동축 도파관 TE₁₁ 모드를 진행시키기 위한 차단 파수는 식 (1)과 같이 계산된다.

$$K_c = \frac{2}{(a+b)} \tag{1}$$

내부 영역에 도체가 존재하는 한, 그림 1에서와 같이 낮은 주파수 대역의 반사 손실은 개선을 필요로 한다. 동축 도파관의 내/외부 도체 크기 비가 1.4 이하이면 반사 손실은 5 dB 이하가 된다 [3]. 본 논문에서는 반사 손실 개선을 위해 매칭 아이리스를 적용하였다. 축 대칭의 아이리스는 교차 편파 특성을 열화시키지 않기 때문에 반사 손실 개선 및 교차 편파 특성 유지가 가능하다. 그림 3은 매칭 아이리스가 삽입된 외부 동축 도파관 형태 및 개선된 반사 손실 특성을 보였다. 내부 도체에 의한 낮은 주파수 특성을 파악하기 위해, 높은 주

과수 대역을 위해 제안된 변형 스크립트 혼을 내부에 사용하였다. 매칭 아이리스는 용량성 아이리스 1 및 유도성 아이리스 2를 한 쌍으로 사용하였다. 원하는 주파수에 공진하는 특성은 용량성 아이리스 1에 의해 주로 결정된다. 대역폭 및 성능 개선을 위해 유도성 아이리스 2를 추가하였다. 한 쌍의 매칭 아이리스를 통해 10 dB 이상의 반사 손실을 도출하였다.

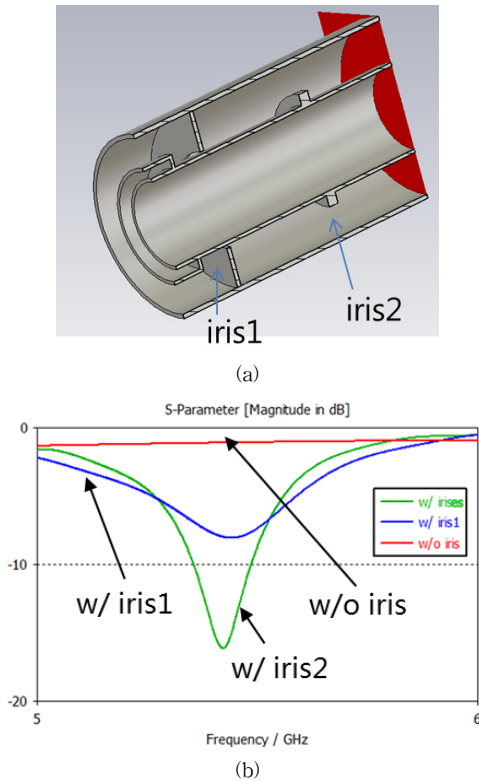


그림 3. 낮은 주파수 대역의 반사 손실 개선 (a) 매칭 아이리스가 삽입된 동축 도파관 형태 (b) 아이리스에 의해 개선된 반사 손실 특성

낮은 주파수 대역의 급전 혼 이득을 향상시키기 위해서는 개구면의 확장이 요구된다. 외부 도체의 개구면 확장은 반사 손실 측면에서는 유리하지만, 그림 4에 보인 것과 같이 패턴의 비대칭성을 열화 시킨다. 패턴 비대칭성은 동일 관측 위치 (theta)에서 전계면 패턴과 자계면 패턴의 이득 차이로 정의하였다. 초점 반사판의 모서리 각이 커질수록 비대칭성이 증

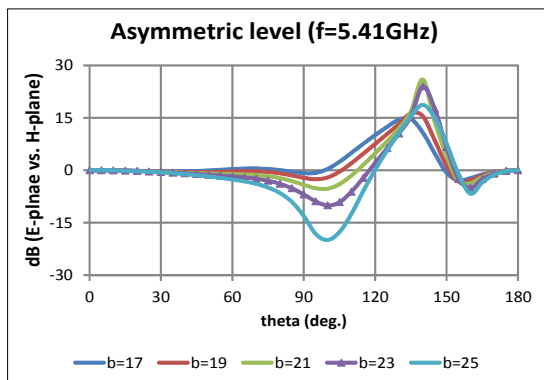


그림 4. 개구면 확장에 의한 패턴 비대칭성

대된다. 이를 개선하기 위하여 이중 모드를 활용한 터린 혼을 설계하였다.

높은 주파수 영역을 위한 내부 도체를 포함한 최종 형상은 그림 5와 같다. 낮은 대역 혼은 SMA 커넥터로 연결되며 TE11 도파관 모드가 동축 TEM 모드로 변환 될 수 있도록 변환기 설계를 포함하고 있다. 또한 동축 도파관 TEM에 의한 패턴 열화를 방지하기 위하여 각 포트의 신호는 역위상으로 결합되어야 한다.

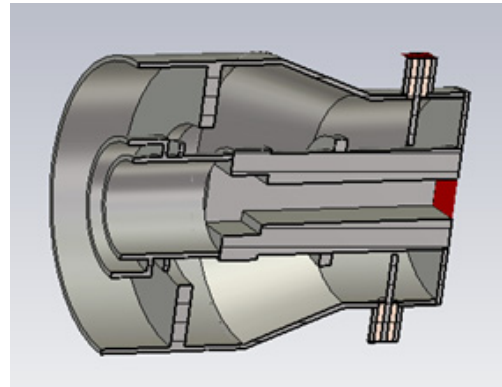
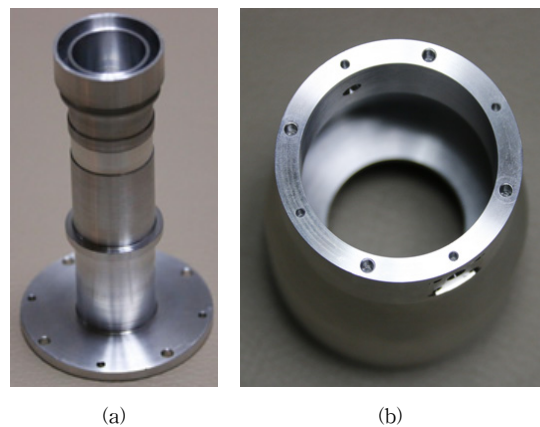


그림 5. 이중 대역 동축 도파관 급전 혼 최종 형상 단면

III. 제작 및 측정 결과

높은 주파수 대역용 내부 급전 혼과 낮은 주파수 대역용 외부 급전 혼은 그림 6(a)와 그림 6(b)에 나타난 것처럼 개별적으로 제작하였다. 내부 급전 혼을 외부 급전 혼에 삽입 후 볼트를 사용하여 조립하였다. 볼트 조립에 의해 내부 및 외부 혼의 상대적인 위치 정렬이 가능하도록 개별 부품은 한 몸체로 제작되었다. 제작된 혼의 개구면 직경은 60 mm 이고, 전체 길이는 70 mm이다.

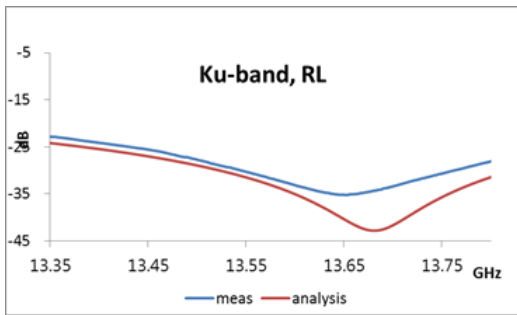




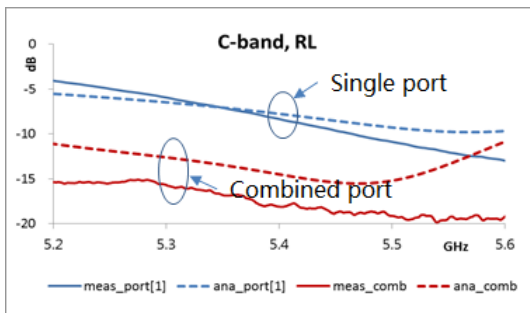
(c)

그림 6. 최종 설계 혼 형상 단면 (a) 높은 주파수 대역용 내부 도파관 (b) 낮은 주파수 대역용 외부 도파관 (c) 조립된 동축 도파관

제작된 혼의 Ku 대역 반사 손실은 그림 7(a)와 같이 해석과 유사한 결과를 보인다. C 대역 반사 손실은 그림 7(b)에 보인 것과 같이 개별 포트의 특성은 유사하나, 역위상으로 합성된 결과는 대역 내에서 약 3 dB 차이를 보인다. SMA 포트의 위치 및 SMA 내심의 길이에 의한 제작 오차에 의해 양쪽 포트의 반사 손실 위상이 달라진 것으로 판단된다. 본 측정 결과를 토대로, 추후 비대칭 급전 설계를 통해 개선된 반사 손실 특성을 얻을 수 있을 것으로 예상된다.



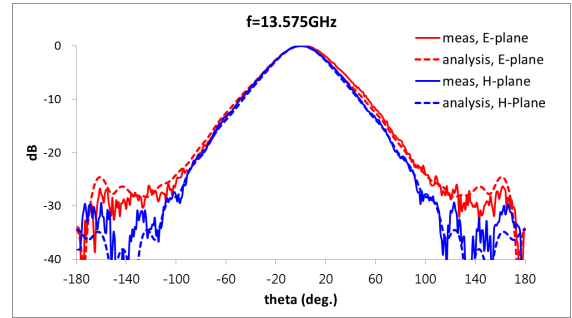
(a)



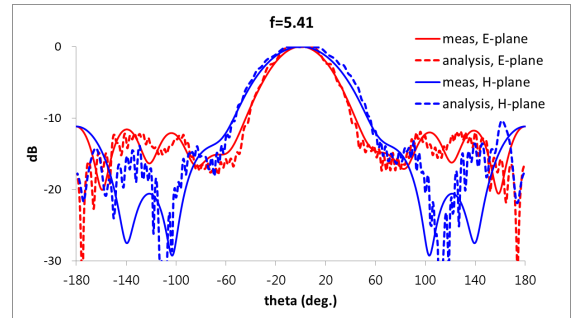
(b)

그림 7. 반사 손실 측정결과 (a) 높은 주파수 대역 (b) 낮은 주파수 대역

급전 혼의 패턴은 원역장에서 측정되었고 그 결과는 그림 8과 같다. 해석과 측정 모두, 전계면 패턴과 자계면 패턴이 유사한 우수한 패턴 대칭성을 보이고 있다.



(a)



(b)

그림 8. 안테나 방사 패턴 측정결과 (a) 높은 주파수 대역 (b) 낮은 주파수 대역

IV. 결론

본 논문에서는 소형의 이중 대역 급전 혼을 설계하기 위해 동축 도파관 구조를 활용하였다. 이중 주파수 대역에서 반사 손실 및 패턴 대칭성을 만족시키기 위해 변형된 이중 모드 혼 구조를 내부 도파관으로 제안하였다. 외부 도파관에는 한 쌍으로 구성된 매칭 아이리스 및 이중 모드를 활용하여 성능 개선을 수행하였다. 본 논문에 제시된 소형의 이중 대역 급전 혼은 제작 및 시험을 통해 성능이 검증되었다. 따라서 본 논문에 의한 소형의 이중 대역 급전 혼은 초점 반사판 안테나의 급전 혼으로 사용될 수 있고, 급전 혼에 의한 전파 장애를 줄일 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] John Kot, Christophe Grenet, Ian Davis, Greg Pope, "Dual-band Feed Systems for SATCOM Antenna Applications", Proceedings of the Asia-Pacific Microwave Conference, 2011, pp. 662-665.
- [2] David M. Pozer, Microwave Engineering, Wiley, 2011.
- [3] Trevor S. Bird, Graeme L. James, and Stephen J. Skinner, "Input Mismatch of TE₁₁ Mode Coaxial Waveguide Feeds", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. AP-34, No. 8, Aug., 1986.
- [4] C. Granet, I.M. Ian Davis, J.S. Kot, G. Pope, K. Verran, T. Mellor, "A Simultaneous X/Ka Feed System for Reflectors

with a F/D Ratio of 0.8", Proceeding of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 2011.

- [5] Thomas Miligan, Modern Antenna Design, 3rd Edition, 2014.
 [6] S.A. Muhammad, A. Rolland, S.H. Dahlan, R. Sauleau, H. Legay, "Compact Between Scrimp Horns and Stacked Fabry-Perot Cavity Antenna with Small Aperture", 6th European Conference on Antenna and Propagation (EUCAP), pp. 817-820, 2011.

저자

윤 소 현(Sohyeun Yun)

정회원



- 1998년 : 충북대학교 전자공학과 학사 졸업
- 2000년 : 충북대학교 전자공학과 석사 졸업
- 2000년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 위성무선RF기술연구실 선임연구원

<관심분야> : 위성통신, 위성탑재용 안테나, 위성추적 안테나, 급전 소자 및 수동 소자 개발

엄 만 석(Manseok Uhm)

정회원



- 1987년 : 중앙대학교 전자공학과 학사 졸업
- 1989년 : 중앙대학교 전자공학과 석사 졸업
- 2007년 : 중앙대학교 전자공학과 박사 졸업

· 1992년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 위성무선RF기술연구실 책임연구원

<관심분야> : 위성시스템, 위성 탑재체, 능동소자, MMIC, 수동소자, 안테나 개발

염 인 북(Inbok Yom)

정회원



- 1990년 : 한양대학교 전자공학과 학사 졸업
- 2004년 : 충남대학교 전자공학과 석사 졸업
- 2007년 : 충남대학교 전자공학과 박사 졸업

· 1990년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 위성무선RF기술연구실 실장

<관심분야> : 위성시스템, 위성 탑재체, 능동소자, MMIC, 수동소자, 안테나 개발