

Ka-대역 원형 편파기와 직선구조 모드 변환기를 포함한 광대역 혼 안테나

Wideband horn antenna including circular-polarizer and straight-type mode-converter for Ka-band

정 영 배*
Young-Bae Jung

Abstract

In this paper, the circular polarized horn antenna composed of circular polarizer and impedance transformer is designed, and fabricated. For the circular polarizer, two types of the polarizer are designed and the electrical performance of them is compared: rectangular waveguide polarizer with 45°-inclined dielectric slab and oval shaped one. Straight type mode converter has a stepped impedance structure and plays a role of converting waveguide TE mode into coaxial TEM mode, and the proposed antenna is designed to directly connect with active components using the feed-through in the input port of the mode converter. Fabricated antenna has the wideband performance, VSWR<1.5 and Axial ratio < 1.0dB, ranging from 30.085 to 30.885 GHz, and the antenna gain is 6.7~7.0 dBi.

요 약

본 논문에서는 Ka-대역에서 원형편파기, 임피던스 변환기, 직선 구조 모드변환기가 결합된 원형편파 도관안테나를 설계 및 제작하였다. 원형 편파기는 유전체를 45° 형태로 삽입하는 형태와 타원형상의 단면을 갖는 도파관구조의 두가지 모델을 설계하여 전기적인 주요특성을 비교하였다. 또한, 직선구조 모드변환기는 계단구조의 임피던스 변환구조(steped impedance transition)를 가지며 도파관을 진행하는 TE 모드의 전력신호를 동축선의 TEM 모드로 변환시키며, 직선모드 변환기의 입력부에 위치한 Feed-through를 통하여, 안테나를 능동모듈에 직접 연결할 수 있도록 설계하였다. 제작된 안테나는 측정결과 30.085~30.885GHz의 주파수대역에서 VSWR < 1.5, Axial ratio < 1.0dB 이하의 광대역특성을 가지며, 동일한 주파수 대역 내에서 6.7 ~ 7.0 dBi의 안테나 이득을 갖는다.

Key Word: Antenna, rectangular horn, circular polarizer, mode converter, wideband

1. 서론

* 한밭대학교 전기,전자,제어공학부
(Division of Electrics, Electronics and Control Engineering, Hanbat National University)

※ 본 논문은 2011년도 한밭대학교 교내학술연구비의 지원을 받았음.

接受日:2011年 11月 29日, 修正完了日: 2011年 12月 12日
掲載確定日: 2011年 12月 15日

이동형 위성 지구국안테나로 Ka-대역과 같은 높은 주파수대역에서 마이크로스트립 형태의 방사소자는 높은 손실로 인하여 그 사용이 제한되어 왔다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 널리 사용되고 있는 도파관안테나에 있어서도, 원형편파를 사용하는 위성통신에 있어서 원형편파기의 복잡한 구조와 능동부와의

직접연결이 어려움에 따라 안테나 전체 구조의 소형화 및 경량화에 제한을 받아왔다. 본 논문에서는 구형 도파관안테나, 원형 편파기, 임피던스 변환기, 직선구조 모드변환기로 구성된 급전 방사구조를 설계, 및 제작하였다. 본 안테나는 앞서 서술한 도파관안테나의 문제점을 개선하기 위하여, 원형편파기 소형화 및 모드변환기를 이용하여 다양한 능동부품에 직접 연결할 수 있는 체결구조를 제안한다.

II. 원형편파용 급전 혼 설계

1. 혼 안테나 설계

(그림1)은 원형편파기, 임피던스 변환기, 직선구조 모드변환기로 구성된 원형편파 도파관 안테나구조를 도식하고 있다. 본 안테나는 기능에 따라 세 부분으로 나뉘지며, 원형편파기에서 생성된 두 개의 전개분포 특성을 저하시키지 않도록 전계가 분포되는 두 축에 대하여 대칭 형태를 가져야 한다. 그러나, 원형 도파관 안테나의 경우, 편파기 등의 구형도파관을 원형도파관으로 연결하는 천이구조(rectangular-to-circular transition)가 추가로 요구되어 안테나의 전체구조가 증가한다는 단점을 갖는다. 따라서, 본 안테나의 설계에 있어서는 안테나 크기의 최소화를 위하여 정사각형 형태의 구형 도파관 혼을 사용하였으며, 내부 혼 크기는 8.4×8.4mm이고, 외부 혼 크기는 9.0×9.0mm이다. 혼 안테나를 포함한 모든 급전 방사구조는 상용 소프트웨어인 CST사의 Microwave studio[®] 을 사용하였다.

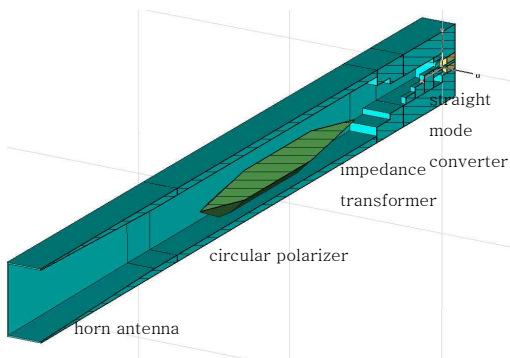
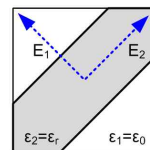


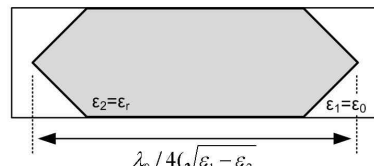
그림 1. 제안된 원형편파 혼 안테나 구조
Fig. 1. Proposed horn antenna structure

2. 원형 편파기 설계

혼 안테나의 입력부에서 원형편파를 생성하기 위한 두 가지 형태의 원형 편파기를 설계하였다. 하나는 정사각형 모양의 혼 개구면 내부에 45° 대각선 방향으로 기울어진 방향으로 유전체를 삽입하는 구조이다. 또 다른 구조는 타원(Oval) 형태의 단면과 일정한 길이를 가지는 도파관 구조로 구현할 수 있다. 두 번째 구조의 타원이라는 의미는 두 개의 원이 일정한 거리를 두고 직선으로 연결된 형태로서 일반적인 사각형상의 도파관에 비하여 제작이 용이하다는 장점을 갖는다. 이 두 가지 구조는 모두 Ka- 대역과 같은 높은 주파수 대역에서 널리 사용되는 Iris구조에 비하여 고주파 대역 부품개발에 있어서 주된 성능열화의 원인이 되고 있는 제작 오차에 따른 특성변화가 심하지 않다. (그림 2)의 (a)는 유전체 타입 원형 편파기의 구조와 유전율, 세부 수치 등이 제시되어 있다. 본 그림에서 외부의 사각형은 구형도파관의 단면을 나타내며, 사선형태의 구조물은 원편파 유발을 위한 유전체 평판(Dielectric slab)을 도시하고 있다. 이때, 도파관을 진행하는 신호전력은 유전체평판을 지나면서 두 개의 수직한 전개성분(E_1 , E_2)으로 나뉘어지며, 유전체의 유전율과 동작주파의 파장에 유전체평판의 길이가 결정된다.



(a) 단면도(Cross section view)

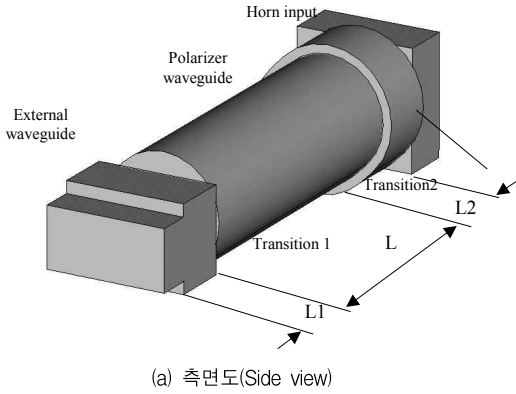


(b) 측면도(Side view)

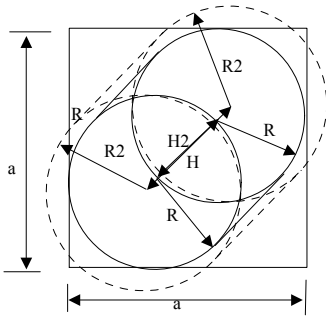
그림 2. 유전체 타입 원형 편파기 구조
Fig. 2. The structure of dielectric type circular polarizer

(그림 3)과 (표 1)은 타원구조의 편파기 구조와 세부

수치를 각각 표시하고 있다. 두 구조 모두 x,y 축 상에서 직교하는 모드의 전파 상수 b_x, b_y 의 위상차가 90° 가 되도록 유전체의 길이와 타원 도파관의 길이를 결정한다. 본 구조에서의 Transition1(L_1)은 직사각형 구형도파관을 타원구조로 천이하기 위한 정합구조물이며, Transition2(L_2)는 타원구조의 도파관을 정사각형상의 도파관으로 천이하는 역할을 수행한다. 여기서, 타원구조의 개구면은 측면서의 중앙에 위치한 편파기 구조의 단면은 (그림 3)의 (b)에 제시되어 있다. 여기서, 타원구조의 개구면은 사각 도파관에 사선 상에 평행하게 위치한 두 개의 원에 의하여 형성되며, 원의 직경(R)과 원의 중심 간의 이격거리(H)에 의해서 결정된다.



(a) 측면도(Side view)



(b) 단면도(Cross section view)

그림 3. 타원 타입 원형 편파기 구조
Fig. 3. The structure of 타원 type circular polarizer

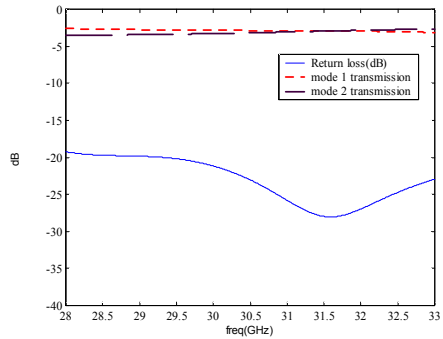
(그림 4)는 유전체 구조와 타원 구조의 원형 편파

표 1. 타원구조 원편파기 치수

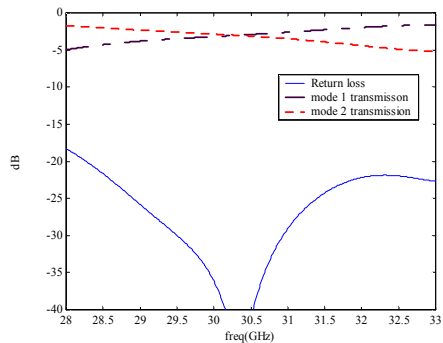
Table 1. Oval type polarizer dimension

Elements	Cross section	Dimensions (mm)
External waveguide	rectangular	a = 7.112, b= 3.556
Transition 1	rectangular	a = 7.112, b1= 5.15, L1 = 3.38
Polarizer waveguide	oval	R = 3.4, H = 1.0, L = 17.0
Transition 2	oval	R2 = 3.9, H2 = 1.035, L2 = 3.50
Horn input	square	a = b = 7.112

기의 시뮬레이션 결과이다. 반사계수와 두 개 모드의 세기(Amplitude)를 함께 나타내었다. 유전체 구조의 편파기가 타원구조의 편파기에 비하여 두 모드의 세기변화가 작아서, 축비(Axial ratio)에 있어서 광대역 특성을 갖는다.



(a) 유전체 구조 원형편파기



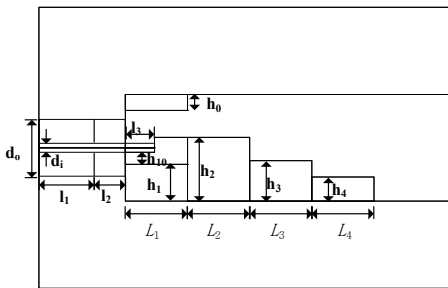
(b) 타원 구조 원형편파기

그림 4. 원형 편파기 시뮬레이션 결과
Fig. 4. The simulation result of circular polarizer

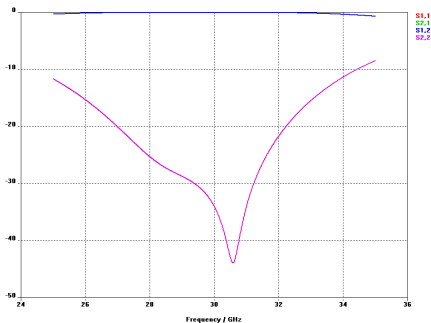
3. 직선 구조 모드 변환기

안테나와 연결되는 능동채널블록과의 방사구조와의 효율적인 결합을 위하여, 직선구조의 모드변환기가 설계 및 제작 되었다. 모드변환기는 직사각형 도파관을 진행하는 TE 모드를 동축선 상의 TEM 모드로 변환하는 역할을 한다. 모드변환기의 구조와 수치, 시뮬레이션 결과는 (그림 5)에 제시되어 있다. 본 변환기는 3단의 계단구조를 통하여 임피던스를 변환하며, 일반적으로 단수가 증가함에 따라 반사계수 대역폭은 증가한다.

(그림 5)의 구조 (a)에 있어서, 길이 L_1 으로 표시된 부분은 hybrid 영역으로 특성 임피던스를 70Ω 정도로 구현하여 임피던스의 완만한 변화를 가능하게 한다. 설계 결과 26~33GHz 의 주파수 대역에서 -15dB 이하의 반사계수 특성을 가진다. 일반적으로 3



(a) 직선 구조 모드 변환기의 구조



(b) 직선 구조 모드 변환기 시뮬레이션 결과

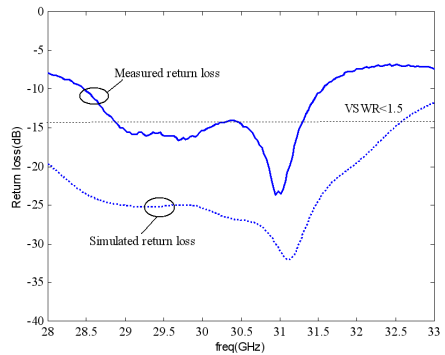
그림 5. 직선 구조 모드 변환기의 구조와 시뮬레이션 결과
Fig. 5. The structure and simulation result of a straight type mode converter

단 직선 구조 모드 변환기는 보다 광대역특성을 가지지만, 동축선의 내부 유전체의 유전율($\epsilon_r=4.9$)이 높아서 전체 대역폭을 제한한다. 이는 Ka-대역에서 동축

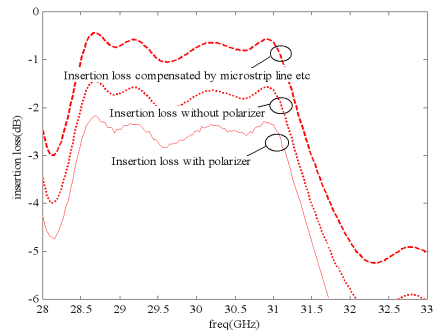
선의 내경과 외경의 수치를 작게 하기 위하여 불가피하다.

4. 방사 구조의 측정 및 제작

상술한 바와 같이, 두 개의 원형편파기 구조 중에 광대역 특성을 보이며 제작 측면에서도 용이한 유전체 삽입구조를 이용하여, Ka-대역 원형편파용 도파관 안테나를 설계 및 제작하였다. 안테나의 제작은 혼 안테나와 원형편파기의 몸체를 하나로 가공하고, 원형편파를 유발하는 유전체구조를 삽입하는 방식으로 이루어진다. 또한, 원형편파기의 개구면의 세로 길이와 직선구조 모드변환기의 높이가 다르므로 중간에 임피던스 변환기를 요구한다. 직선구조 모드변환기의 제작은 입력부에 커넥터를 직접 체결하지 않고, 실제 능동채널블록과의 체결성을 시험하기 위하여 마이크



(a) 반사계수



(b) 삽입손실

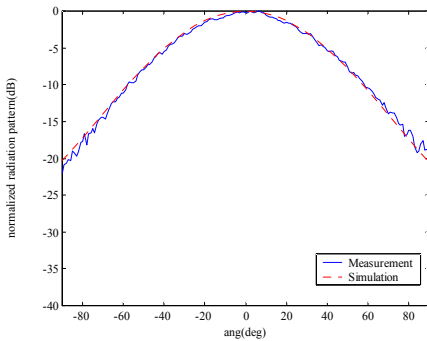
그림 6. 전체 방사부 급전구조의 측정결과
Fig. 6 Measured result of a total feed radiation structure

로스트립라인과 feed-through로 연결한 후 마이크로 스트립의 종단에서 K-커넥터로 체결하는 구조로 설

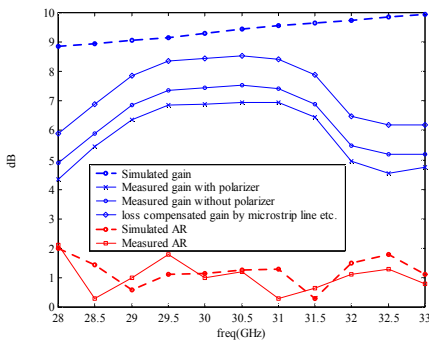
계되었다. 유전체 삽입구조의 원형편파기는 0.7dB의 삽입손실을 가짐을 안테나 이득 측정을 통하여 실험적으로 확인하였다. 전체 급전 방사구조의 측정결과, 반사계수는 시뮬레이션 결과에 비하여 다소 열화되었다. 시뮬레이션 상에서 29.0GHz에서 32.0 GHz의 동작 주파수대역에서 $VSWR < 1.2$ 의 반사계수 특성을 보이는데 비하여, 측정결과에 있어서는 전체 대역에서 $VSWR < 1.5$ 이하의 성능을 보이고 있다.



그림 7. 제작된 원형편파 도파관안테나의 실물사진
Fig. 7. Photo of fabricated circular polarized waveguide antenna



(a) 방사패턴 (@30.5GHz)



(b) 이득/축비(Gain/Axial ratio)

그림 8. 제안된 원형편파 도파관안테나의 측정결과
Fig. 8. Measured result of proposed circular polarized waveguide antenna

이는 모드 변환기와 마이크로스트립 라인의 체결부에서 발생한 제작 상의 오차와 마이크로스트립의 식각 오차에 기인한다고 판단되며, 전체 급전 방사구조의 삽입손실 특성에도 영향을 미친다. 또한, 안테나이득 특성과 잔여 구성부의 네트워크 분석기를 통한 삽입손실 측정값을 통하여 확인된 도파관안테나의 삽입손실은 2.5dB이다. 본 결과에서 원형편파기의 유전체 손실 0.7dB을 제외하면 약 1.8dB이며, K-커넥터와 모드변환기의 feed-through 등의 잔여 구성부에서 약 1.5dB의 손실이 발생되었음을 확인하였다.

제작된 안테나의 사진은 (그림 7)과 같으며, 방사패턴 측정결과와 이득 및 축비 측정결과는 (그림 8)에 도시되어 있다. 측정결과는 시뮬레이션 결과와 거의 일치할 정도로 양호하다. 이득특성은 앞에서 언급한 바와 같이, 약 6.7~7.0dB 정도의 값을 가진다. 축비는 원하는 대역폭 내에서 1.0dB 이하로 매우 우수한 값을 가지며, 28.0 ~33.0GHz의 16%의 대역폭에서 2.0dB 축비특성을 갖는다.

III 결론

본 논문에서는 Ka-대역에서 동작하는 원형편파용 도파관안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 안테나 설계에 있어서, 전체 안테나의 크기 최소화를 위하여 소형으로 구현 가능한 두 개의 원형편파기 구조를 설계하고 전기적 특성을 비교하였으며, 우수한 특성을 나타낸 유전체 삽입구조를 이용하여 안테나를 제작하였다. 본 안테나는 능동부의 중단파 feed-through를 통하여 직접연결이 가능하도록 설계함으로써 능동위상배열안테나를 소형화할 수 있다는 구조적 장점을 갖는다. 제작된 방사구조는 향후 Ka-대역에서 8개 정도의 배열로 확장하여 반사판 안테나의 능동형 급전배열안테나로 적용될 예정이며, 위성통신을 포함한 고주파대역 통신서비스에서 폭 넓게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] A.S. Reutov and A.V. Shishlov, "Focuser-based hybrid antennas for one-dimensional beam steering," *IEEE Conference on Phased Array System and Technology*, pp.411-414, May 2000
[2] Ming Chen and G. Tsandoulas, "A wide-band

square-waveguide array polarizer," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 21, pp. 389 - 391, May 1973

[3] U. Tucholke, F. Arndt, T. Wriedt, "Field Theory Design of Square Waveguide Iris Polarizers," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 34, pp. 156 - 160, Jan 1986

[4] J.C. Dix., "Design of waveguide/coaxial transition for the band 2.5-4.1Gc/s," *IEE Proceeding*, vol.110, no.2, pp.253-255, Feb, 1963

저 자 소 개

정 영 배 (정회원)



1999년 : 광운대학교 전파공학 (공학사)

2011년 : KAIST 정보통신공학 (공학석사)

2009년 : KAIST 정보통신공학 (공학박사)

2001년 2월~2011.02 : 한국전자통신연구원 전파기술연구부

2011년 2월~현재 : 국립 한밭대학교 전기.전자.제어공학부

<주관심분야>이동 및 위성통신용 안테나, 레이다, RF 및 초고주파 부품