

# 유전체판을 이용한 원형 도파관 편파기의 설계

김영민, 안병철

충북대학교 전자공학과

Tel. 043-261-3194 / Fax. 043-271-4647

## Design of A Dielectric-Slab Polarizer in The Circular Waveguide

Young-mean Kim, Bieng-Chearl Ahn

Dept. of Radio Engineering, Chungbuk National University

104arang@hanmail.net, bician@chungbuk.ac.kr

### ABSTRACT

In this paper, we present a method for a systematic design of a dielectric slab polarizer in the circular waveguide. This structure is realized using a tapered dielectric slab inside a circular waveguide.

Commercial software is used to obtain the equivalent dielectric constant of the circular waveguide partially filled with a dielectric slab. The length of the tapered region is determined so that the reflection from the dielectric slab is sufficiently low. A polarizer operating at 10 GHz band is designed, fabricated and tested.

### I. 서론

도파관 상의 편파기는 반사경 안테나용의 원편파 피드 구현에 흔히 사용된다. 편파기에는 septum polarizer, corrugated waveguide polarizer, dielectric slab waveguide polarizer 등 여러가지 형태가 있다.

본 논문에서는 유전체판을 이용한 원형 도파관 상의 편파기를 상용 소프트웨어를 이용하여 설계하였다. 이 편파기의 동작 주파수는 10 GHz이며, 해석 주파수 범위는 9-11 GHz이다. 산란 계수의 위상으로 유전체의 높이에 따른 도파관 내부에서 전계가 90°를 이루는 두 방향의 위상지연값을 계산하였다.

이로부터 등가 유전율 공식을 유도하였다. 반사계수를 구하기 위해 유전체의 양쪽에 홈을 파내고 그 깊이를 조절하면서 시뮬레이션 결과를 도출하였다.

이를 바탕으로 주파수에 따른  $S_{11}$ 의 값과 전체의 길이를 고려하여  $S_{21}$ 의  $x$  방향과  $y$  방향의 위상차의 절대값이 90°가 되도록 편파기를 설계하였다. 최적 설계 파라미터로 실제 제작을 하여 측정된 결과들

설계 이론치와 비교하였다.

### II. 본론

원편파를 발생시키기 위한 조건은 전계가 서로 수직인  $x, y$  방향성분을 가지며  $z$  방향으로 진행하는 파에서 전계의  $x$  방향과  $y$  방향의 진폭이 같고, 각 방향 성분의 위상차의 절대값이 90°가 되게 하는 것이다. 이를 위해 도파관 상에서 유전체를 급전 전계의 방향과 45° 경사지게 삽입하고, 유전체의 길이를 조절하여 유전체면과 평행한 성분과 수직인 성분의 위상차가 90°가 되게 한다.

본 논문에서는 유전율이 2.0인 테프론 재질의 유전체를 사용하였고, 반사 계수를 줄이기 위하여 유전체 양쪽 끝을 파낸 구조를 고려하였다. 그림 1은 이의 구조도이다.

구조해석 및 설계는 HFSS 시뮬레이션 프로그램을 이용하였다.

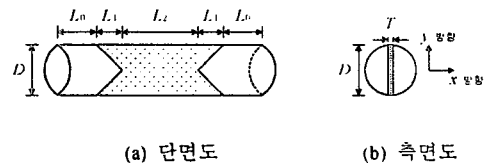


그림 1. 유전체가 삽입된 원형 도파관의 구조

9-11 GHz 대역에서 동작하는 편파기 구현을 위해 원형 도파관의 직경  $D$ 와 유전체의 두께  $T$ 는 각각 20mm와 2mm로 하였다. 도파관의 반사계수를 줄이기 위해 내부에 삽입된 유전체의 양쪽 끝을 삼

각형 형태로 홈을 내었다. 이러한 조건에서 시뮬레이션을 통하여 최적화된  $L_1, L_2$ 를 구하였다.

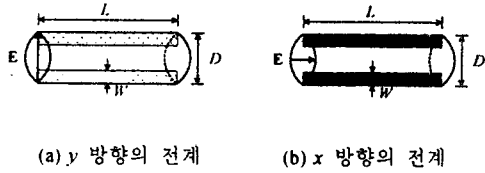


그림 2. 유전체 높이에 따른 도파관 모형도

이를 위해 우선 그림 2에서와 같이 유전체 판이 부분적으로 채워진 도파관에서 유전체판과 전계가 평행한 모드와 수직인 모드의 지연 위상을 계산하였다. 이로부터 다음 식을 이용하여 각 모드의 등가 유전율을 계산하였다.

$$\lambda_g = \frac{-2\pi L}{\phi} \quad (1)$$

$$\lambda_g = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon - (\lambda_0 / 1.706D)^2} \quad (2)$$

$$\epsilon = \lambda_0^2 \left( \frac{1}{\lambda_g^2} + \frac{1}{(1.706D)^2} \right) \quad (3)$$

여기서  $\phi$ 는 지연 위상,  $\lambda_g$ 는 관내 파장,  $\lambda_0$ 는 자유공간에서의 파장,  $\epsilon$ 은 각 모드의 등가 유전율이다. 그림 3과 그림 4는 유전체의 두께  $T$ 가 2 mm일 때, 유전체의 높이  $W$ 에 따른 각 모드의 유전율을 나타내고 있다.

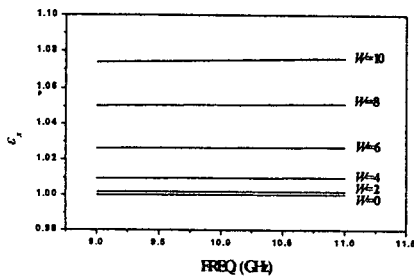


그림 3. 전계가 x 방향인 모드의 등가 유전율 ( $\epsilon_x$ ) ( $T = 2$  mm)

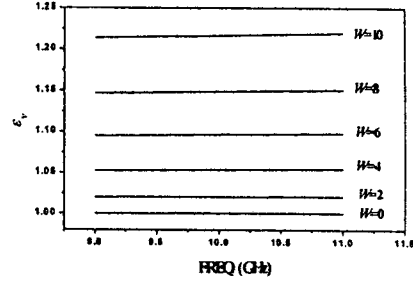


그림 4. 전계가 y 방향인 모드의 등가 유전율 ( $\epsilon_y$ ) ( $T = 2$  mm)

유전체의 높이가 증가함에 따라  $x, y$  방향 전계의 유전율은 커졌으며, 주파수에 따라서는 거의 변화가 없었다. 그림 5와 그림 6은 10 GHz에서 유전체의 높이  $W$ 와 유전체의 두께  $T$ 에 따른 각 모드의 유전율이다.

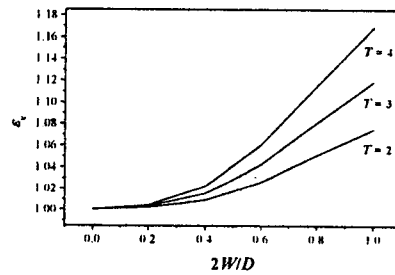


그림 5. 전계가 x 방향인 모드의 등가 유전율 ( $\epsilon_x$ ) ( $f = 10$  GHz)

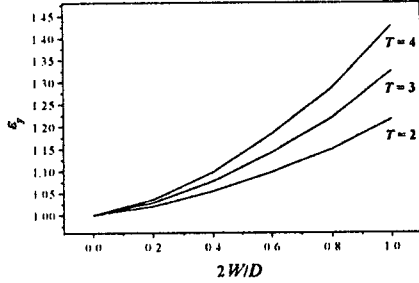
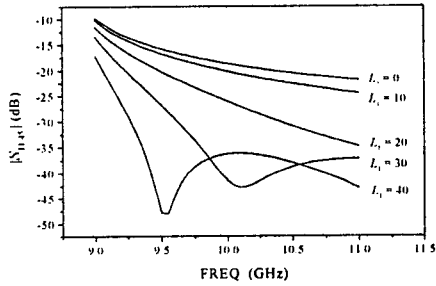


그림 6. 전계가 y 방향인 모드의 등가 유전율 ( $\epsilon_y$ ) ( $f=10$  GHz)

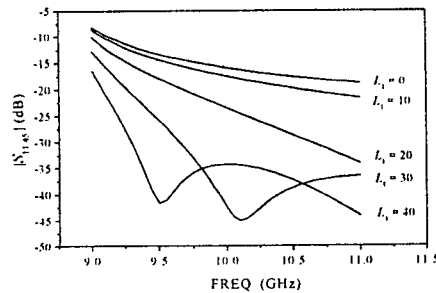
$T=2$  mm 인 경우  $\epsilon_x$ 와  $\epsilon_y$ 의 커브피팅 공식은 다음과 같다.

$$\epsilon_x = 1.000001365 + 0.00570914(2W/D) - 0.02510486(2W/D)^2 + 0.231303241(2W/D)^3 - 0.13703125(2W/D)^4 \quad (4)$$

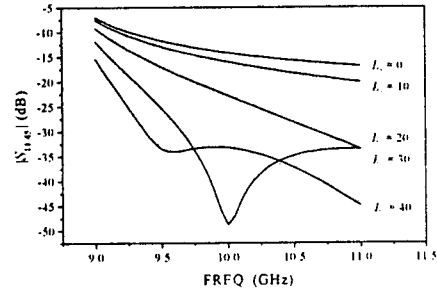
$$\epsilon_y = 1.000013429 + 0.056635893(2W/D) + 0.265696875(2W/D)^2 - 0.22778125(2W/D)^3 + 0.122265625(2W/D)^4 \quad (5)$$



(a)



(b)



(c)

그림 7. 테이퍼 길이  $L_1$ 에 따른 유전체판의 반사계수 (a)  $T=2$  mm, (b)  $T=3$  mm, (c)  $T=4$  mm

유전체판에 의한 반사계수를 줄이기 위한 그림 1에서의 테이퍼 길이  $L_1$ 을 결정하기 위해 유전체의 양끝으로부터 삼각형 형태로 홈을 내어 그 깊이를 증가시키면서 반사계수를 계산하였다.

그림 7은 유전체판과 급전 전계가  $45^\circ$  각을 이룰 경우  $L_1$ 에 따른 반사계수의 크기를 계산한 것이다. 이로부터 10 GHz 에서 반사계수가  $-20$  dB 작기 하기 위해서는  $L_1$ 이 20 mm 이상 되어야 함을 알 수 있다.

식 (4)와 식 (5)를 이용하여  $L_1$ 이 20 mm인 경우 유전체판에 전계가 평행인 모드와 직각인 모드의 위상차가  $90^\circ$  되도록  $L_2$ 를 결정하면 47 mm의 값을 얻는다.

그림 8은 이와 같이 설계된 편파기의 치수를 보인 것이다.

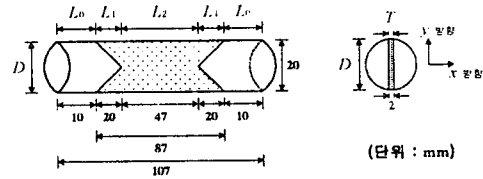


그림 8. 설계된 편파기의 치수

그림 9와 그림 10은 각각 제작된 편파기와 편파기의 측정 모습을 보인 것이다.

측정에는 회로망 분석기, WR-75 구형 도파관-동축선 어댑터, WR-75 도파관-원형 도파관 (직경 20 mm), open ended 원형 도파관, 유전체판, WR-90 OEG probe 등이 사용되었다. 편파용 유전체판이 삽입된 원형 도파관의 open end 에서 약 5 cm 떨어진 거리

에 WR-90 OEG probe의 전계면이 유전체판과 평행한 경우와 수직인 경우의 전달계수를 측정하여 그 비를 구하였다.

그림 11과 그림 12는 두 모드의 위상차와 크기비를 보인 것이다. 해석 결과에 의하면 설계된 편파기는 9-11 GHz 대역에서 양호한 특성을 보인다. 그림 11과 그림 12에 의하면 제작된 편파기의 특성은 이론적인 특성과 다소 차이를 보인다. 이론치 계산시 편파기의 양쪽 포트가 정합되었다고 가정하였으나 측정시에는 WR-75 도파관-동축선 어댑터와 원형 도파관 open end에서의 반사가 있으므로 오차를 유발하였으리라 판단된다.

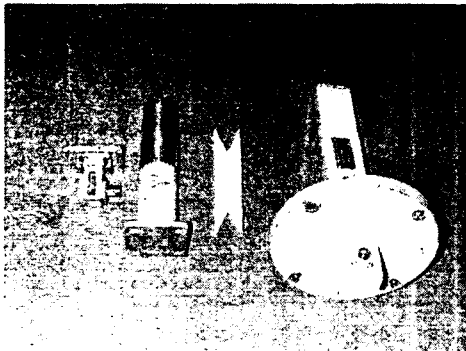


그림 9. 제작된 편파기 (왼쪽으로부터 어댑터, 원형 도파관 및 도파관 변환부, 유전체판, OEG probe)

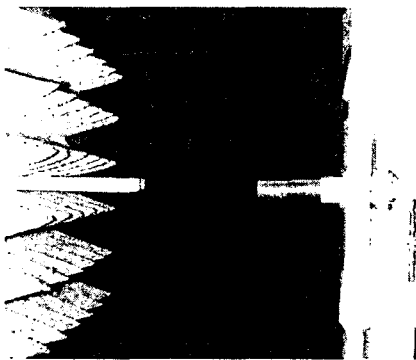


그림 10. 편파기의 측정 모습

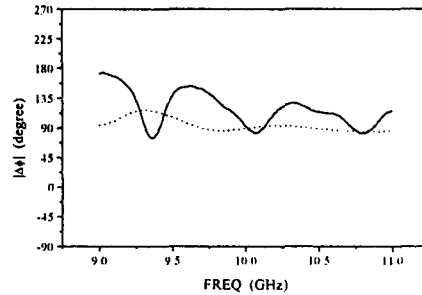


그림 11. 전계가 x 방향인 모드와 y 방향인 모드의 위상차 (실선 : 측정치, 점선 : 이론치)

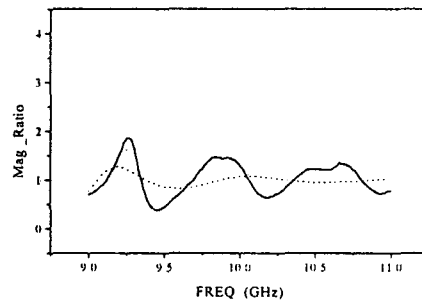


그림 12. 전계가 x 방향인 모드와 y 방향인 모드의 크기비 (실선 : 측정치, 점선 : 이론치)

### III. 결론

본 논문에서는 유전체판을 이용한 원형 도파관 편파기의 체계적인 설계 방법을 제시하였다. 상용 소프트웨어를 이용하여 원형 도파관에 유전체판이 부분적으로 채워진 경우의 등가 유전율을 계산하였다. 유전체판의 테이퍼 길이에 따른 반사계수를 계산하고 이로부터 최적 테이퍼 길이를 결정하였다.

이를 토대로 10 GHz 대역 편파기를 설계, 제작, 측정하였다. 측정 결과로부터 설계된 편파기의 양호한 특성을 확인할 수 있었다.

### 참고 문헌

[1] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, Second Edition, John Wiley & Sons, 1998.  
 [2] Takashi Kitsuregawa, *Satellite Communication Antennas*, Artech House, 1990.  
 [3] J. Uher, J. Bornemann and Uwe Rosenberg, *Waveguide Components for Antenna Feed Systems : Theory and CAD*, Artech House, 1993.