

원형-구형 도파관 변환부의 특성 측정 방법 연구

。 최 병 철, 신 동 숙, 방 재 훈, 안 병 철
충북대학교 전자공학과, 응용전자파 연구실
전화 : 043-261-3194 / 핸드폰 : 016-9577-5774

A study on a Measurement Method of the Circular-to-Rectangular Waveguide Transition characteristics.

Byoung-Chul Choi, Dong-Suk Shin, Jae-Hoon Bang, Biermg-Chearl Ahn
Department of Radio Engineering Graduate School, Chungbuk National University
E-mail : cloister1@hotmail.com

Abstract

In this paper, we present a simple method for characterizing a rectangular waveguide to circular waveguide transition. Three standard loads consisting of a short circuit, an offset short circuit 1, and an offset short circuit 2 are sequentially connected to the circular waveguide port and the reflection coefficient at port 1 is measured for each case. From known reflectoin coefficients of standard loads and measured reflection coefficients, the scattering matrix of the transition is obtained. The proposed method is verified by the numerical experiment using a commercial software HFSS and by measurments of a actual rectangular-to-circular waveguide transition.

I. 서 론

편파기, 직교모드 변환기, 전력 분배기 등과 같은 수동 부품들은 도파관 형태로 구성 된다. 이러한 부품들의 연결부는 일반적으로 정사각형이나 원형의 비표준 도파관으로 이루어지고 있어서 각 부품의 특성 측정시 표준 도파관 변환부가 반드시 필요하다. 변환부

가 결합된 도파관 부품 측정시 도파관 부품 자체의 특성을 얻기 위한 방법으로 de-embedding 방법이 사용된다[2]-[4].

이러한 방법의 적용시 변환부만의 정확한 특성 확보는 매우 중요하다. 본 논문에서는 원형-구형도파관 변환부에 오프셋 단락 2개와 단락 1개를 결합하여 세 가지 경우의 데이터를 측정하여 측정된 데이터로부터 도파관 변환부의 특성을 얻는 방법을 제안한다. 시뮬레이션 결과와 비교함으로써 계산 결과의 타당성을 검증하였다.

II. 본 론

그림 1은 도파관 부품을 측정시에 변환부가 사용되는 모습을 보인 것이다. 도파관 부품의 특성을 알기 위해서 변환부 1과 변환부 2의 특성을 알아야 한다. 변환부의 특성과 변환부가 연결된 전체 구조물의 특성으로부터 DUT(device under test)의 특성을 산출하는 것을 de-embedding이라 한다.

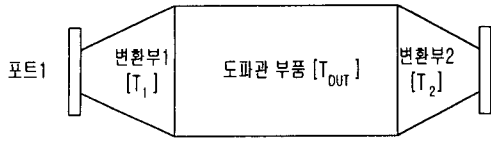


그림 1. 도파관 부품 측정시 변환부가 사용되는 모습.

그림 1에서 각 구성품의 전송행렬(ABCD matrix)[1]을 사용하여 전체 구조물의 전송행렬을 구하면

$$[T] = [T_1] [T_{DUT}] [T_2] \quad (1)$$

와 같다. 이로부터 DUT의 전송행렬은

$$[T_{DUT}] = [T_1]^{-1} [T] [T_2]^{-1} \quad (2)$$

로부터 구할 수 있다. 따라서 변환부와 전체구조의 전송행렬을 알아야만 DUT의 특성을 구할 수 있다. 전송행렬 [T]과 산란행렬 [S]은 이들 간의 관계식을 이용하여 상호변환할 수 있다[1].

본 논문에서는 그림 2와 같은 구형-원형도파관 변환부의 특성 측정기법을 제시한다. 변환부는 가역소자이므로 이의 산란행렬은

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{12} & S_{22} \end{bmatrix} \quad (3)$$

로서 3개의 미지수를 가진다. 따라서 변환부의 산란행렬을 측정하고자 하면 3개의 상호독립적인 측정이 필요하게 된다.

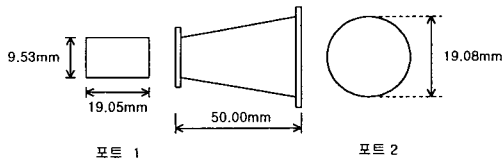


그림 2. 구형-원형 변환부 치수.

3개의 상호독립적인 측정으로서 간편한 방법은 그림 3과 같이 변환부의 포트 2(원형 도파관)에 3개의

독립적인 부하를 연결한 후 포트 1에서 이에 대응하는 3회의 반사계수를 측정하는 것이다. 도파관에서 구현하기 쉬운 부하는 단락회로(short)와 일정한 길이의 도파관 종단에 단락회로가 연결된 offset short이다. Offset의 길이를 조절하여 여러 개의 독립된 부하를 구현할 수 있다.

그림 3의 구조의 산란계수를 신호흐름도로 표현하면 그림 4와 같다. 여기서 $S_{11,T}$, $S_{22,T}$, $S_{21,T}$ 은 변환부의 산란계수이며 $\Gamma_{L,i}$ 는 포트 2에 연결되는 표준부하(short 또는 offset short)의 반사계수이다.

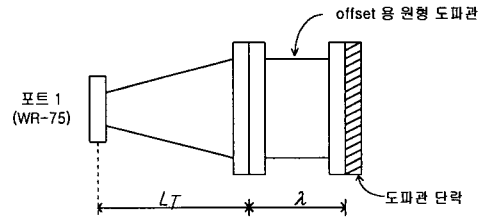


그림 3. 변환부 측정을 위해 종단에 offset short가 연결된 모습.

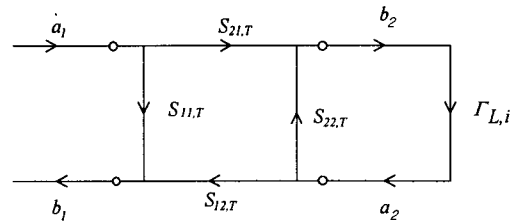


그림 4. 변환부 측정을 위한 신호 흐름도.

그림 4에 Mason 정리를 적용하여 포트 1에서의 반사계수를 구하면

$$\Gamma_i = \frac{b_1}{a_1} = S_{11,T} + \frac{S_{21,T}^2 \rho_i}{1 - S_{22,T} \rho_i} \quad (4)$$

표준부하 3개의 반사계수는

$$\rho_{L,0} = -1 \quad (5a)$$

$$\rho_{L,1} = -\exp[-j2\beta l_1] \quad (5b)$$

$$\rho_{L,2} = -\exp[-j2\beta l_2] \quad (5c)$$

여기서

$$\beta = \sqrt{k^2 - k_c^2} = \sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\right)^2 - \left(\frac{1.841}{a}\right)^2} \quad (6)$$

a : 원형 도파관의 반지름

이다.

식 (4)에 $i = 0, 1, 2$ 를 대입하고 이 들 3개의 식으로부터 변환부의 산란계수 $S_{11,T}, S_{22,T}, S_{21,T}$ 를 구하면 다음과 같다.

$$S_{22,T} = -\frac{\rho_0(\Gamma_1 - \Gamma_2) + \rho_1(\Gamma_2 - \Gamma_0) + \rho_2(\Gamma_0 - \Gamma_1)}{\rho_1\rho_2(\Gamma_1 - \Gamma_2) + \rho_2\rho_0(\Gamma_2 - \Gamma_0) + \rho_0\rho_1(\Gamma_0 - \Gamma_1)} \quad (7a)$$

$$S_{11,T} = \frac{1}{\rho_1 - \rho_0} \times [(\rho_1\Gamma_0 - \rho_0\Gamma_1) + \rho_0\rho_1(\Gamma_1 - \Gamma_0)S_{22,T}] \quad (7b)$$

$$S_{21,T} = \sqrt{(\Gamma_0 - S_{11,T})(1/\rho_0 - S_{22,T})} \quad (7c)$$

식 (7)을 이용하여 알려진 값 $\Gamma_{L,0}, \Gamma_{L,1}, \Gamma_{L,2}$ 와 측정된 값 $\Gamma_{m,0}, \Gamma_{m,1}, \Gamma_{m,2}$ 로부터 변환부의 산란계수를 구할 수 있다. 오프셋 길이 l_1 과 l_2 는 측정하는 주파수 범위 내에서 $\Gamma_{L,1} \neq \Gamma_{L,2}$ 를 만족하는 5 mm와 10 mm로 설정하였다.

위에서 제시한 방법의 타당성을 확인하기 위해 그림 5와 같은 변환부에 대해 상용 소프트웨어인 HFSS를 이용하여 모의시험을 수행하였다. 포트 2의 원형 도파관에 표준부하를 연결한 상태에서 포트 1의 반사 계수를 측정하는 대신에 HFSS를 이용하여 이론적으로 계산하였다. 이로부터 식 (7)을 이용하여 변환부의 산란계수를 산출할 수 있다(그림 6의 "Calculation"). 또한 변환부 자체만의 산란계수를 HFSS를 이용하여 계산할 수 있다. 그림 6은 이 두 결과를 비교한 것이다. 그림 6의 모의실험 결과로부터 위에서 제시한 변환부 측정 방법이 타당함을 알 수 있다.

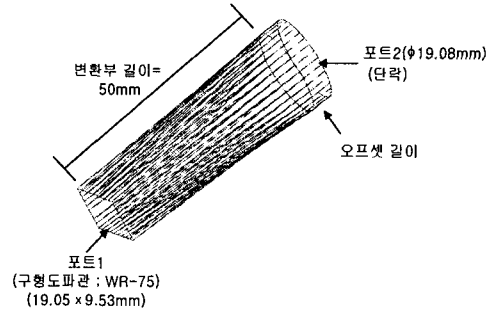


그림 5. 모의실험에 사용된 도파관 변환부.

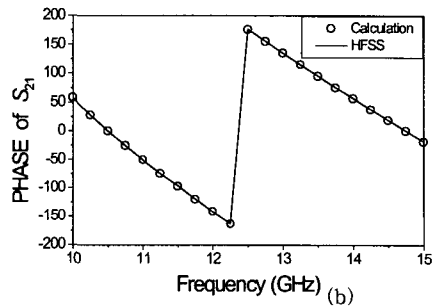
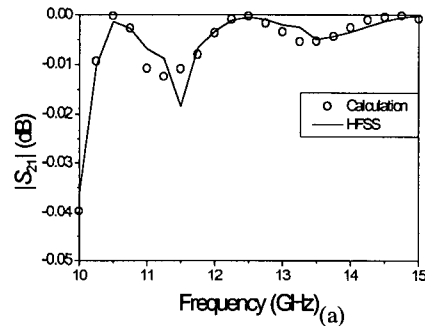


그림 6. 도파관 변환부 모의실험 결과. (a) 변환부의 $|S_{11}|$, (b) 변환부의 $\angle S_{21}$.

실험을 통해 위에서 제시한 방법의 타당성을 확하기 위해 그림 7과 같은 구형-원형도파관 변환부 사용하였다. 이의 치수는 그림 2에 제시되었다.

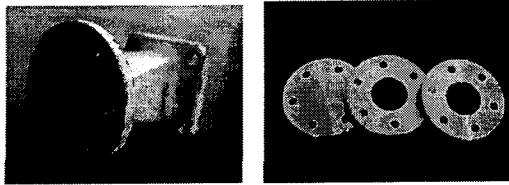
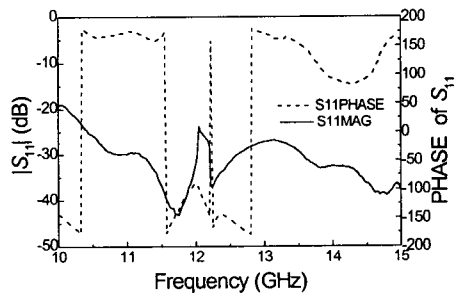
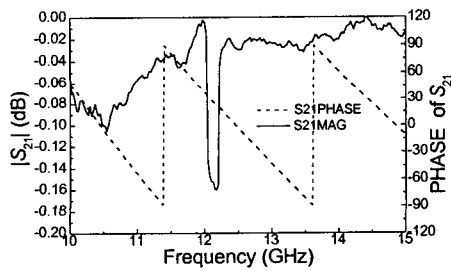


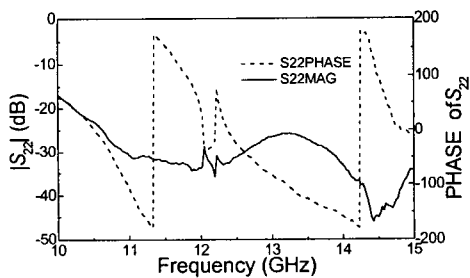
그림 7. 실험에 사용된 구형-원형도파관 변환부(좌)와 표준부하(우).



(a)



(b)



(c)

그림 8. 측정된 구형-원형도파관 변환부의 산란계수.

(a) S_{11} , (b) S_{21} , (c) S_{22}

그림 8은 측정으로부터 식 (7)을 이용하여 계산한 변환부의 산란계수를 보인 것이다. 불규칙한 부분은 도파관의 고차모드에 의한 영향으로 보여진다. 측정의 정확성을 확인하는 방법으로는 변환부의 정확한 형상을 HFSS에 입력하여 이론적인 특성을 구하여 비교하는 법과 변환부의 포트 2에 접합부하를 연결한 상태에서 포트 1에서 반사계수를 측정하여 비교하는 법 등이 있다. 후자의 경우 측정된 반사계수는 그림 4의 신호 흐름도로부터 변환부의 반사계수와 같음을 알 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 원형-구형도파관 변환부의 특성을 측정하는 방법을 제시하였다. 원형 도파관 포트에 각각 short, offset short 1, offset short 2를 연결하고 구형도파관 포트에서 반사계수를 측정한 후 이로부터 변환부의 산란계수를 역산출하였다. 이 방법의 타당성을 HFSS를 사용한 모의실험을 통해 확인하였다. 또한 10 - 15 GHz 대역에서 동작하는 변환부와 표준부하를 제작하여 변환부의 특성을 앞에서 수립한 방법을 사용하여 구하였다.

참고 문헌

- [1] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 2nd Ed., New York: Wiley, 1998.
- [2] M. I. Herman, C. K. Pao, G. L. Lan, and J. C. Chen, "Millimeter-wave deembedding using the extended TRL (ETRL) approach," *IEEE MTT-S, Microwave Symp. Dig.*, vol. 3, 1990, pp.1033 -1036.
- [3] M. B. Steer, S. B. Goldberg, G. Rinne, P. D. Franzon, I. Turlik, J. S. Kasten, "Introducing the through-line de-embedding procedure," *IEEE MTT-S, Microwave Symp. Dig.*, vol.3, 1992, pp. 1455 -1458.
- [4] H. Cho and D. E. Burk, "A three-step method for the de-embedding of high-frequency S-parameter measurements," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 38, no. 6, June 1991, pp. 1371-1375.