

근접전계 측정을 위한 광대역 프로브의 특성에 대한 고찰

문정익

한국전자통신연구원

The considerations of the characteristics of Broadband Probe for Near Field Measurements

Jung-Ick Moon

Electronics and Telecommunications Research Institute,

E-mail : jungick@etri.re.kr

요 약

본 논문에서는 안테나 근역장 측정의 광대역성을 위해 이중리지 도파관 프로브를 설계하고 제작한 결과를 보여주고 있다. 광대역 임피던스 정합을 위해 구형 도파관내에 테이퍼 리지와 도파관 천이기를 사용하였다. 본 프로브는 정재파비 3.0이하에서 약 123%(4.17:1)정도의 광대역 특성을 가지고 있으며 방사이득은 5.7~14.3dBi 였다. 본 프로브의 성능은 측정을 통하여 검증하였으며 그 결과가 양호함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we designed and fabricated a broadband probe with a double-ridged waveguide for broadband near-field measurements. An exponentially tapered ridge in the rectangular waveguide and a novel waveguide transition were used for broadband impedance matching. The probe has broadband characteristics and its measured impedance bandwidth is approximately 123% (4.17:1) in the range 12.0-50 GHz for standing wave ratios (SWR) < 3.0. The peak radiation gain range and nominal radar cross-section (RCS) are 5.7-14.3 dBi. The performance of this probe was verified using the measured results and is in good agreement with the simulated results.

키워드

Near Field Measurements, Brodbband, Probe

I. 서 론

최근 광대역 및 다중대역용으로 많은 안테나들이 개발되고 있다. 이러한 안테나들의 방사성능을 확인하고자 원역장 측정, 근역장 측정, 그리고 최근에는 프레넬영역에서 측정이 이루어지고 있는데, 근역장 측정의 경우는 원역장 측정과 비교하여 시간과 공간상으로 매우 유용하다 [1]. 그러나, 사용되는 구형 도파관 프로브는 TE₁₀모드의 특성에 따라서 사용대역폭이 제한을 받게 되어 다중대역 혹은 광대역 안테나를 대상으로 방사 성능을 측정하는 경우에는 반복 측정이 불가피한 실정이다. 본 논문에서는 50GHz 이하에서 다중대역 혹은 광대역 안테나를 근역장에서 효율적으로 측정하기 위하여 이중 리지를 사용한 광대역 근접

전계 프로브를 개발한 결과를 보여주고 있다.

II. 광대역 프로브 설계

일반적으로 안테나의 근역장 측정을 위해선 그림 1과 같이 구형 도파관 프로브를 사용하게 된다. 도파관 개구면이 직사각형이고 형성되는 전계가 TE₁₀ 모드이므로 프로브의 방사패턴은 축선(boresight)의 ±30도 내에서 수직을 사용하여 비교적 간단하고 정확하게 예측된다. 일반적인 구형 도파관 프로브의 내부 폭(a, inner width)과 높이(b, inner height)는 TE₁₀ 모드가 형성되는 굽전면에서 개구면까지 일정하며, 개구면 근처에서 방사 특성을 개선하기 위해 도파관 외부에 약간의 taper를 주게 된다.

그러나, 현재까지 구형 도파관 프로브는 표준 구형 도파관을 사용하므로 하나의 표준 주파수 대역 내(대역폭, 대략 1:1.5)에서 동작한다. 따라서 광대역 안테나 혹은 다중 대역 안테나를 측정하기 위해선, 다수의 프로브를 사용하여 반복적인 근역장 측정을 행할 수밖에 없다.

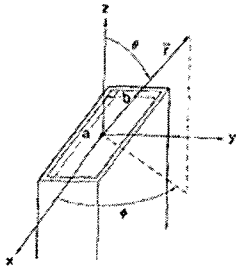


그림 1. 구형 도파관의 개구면

본 논문에서 제시하고자 하는 이중리지(double ridges)를 사용한 광대역 근접전계 프로브는 그림 2와 같이 상하 리지간의 간격과 폭 등의 설계 파라미터들을 조정하여 광대역(대역폭, 4:1이상) 특성을 가지게 된다. 따라서, 본 설계 프로브를 사용할 경우 앞서 언급한 광대역 안테나 혹은 다중대역 안테나의 근역장 방사특성을 매우 효율적으로 측정할 수 있다.

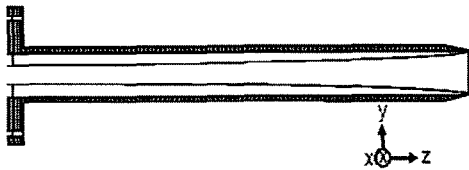


그림 2. 이중리지 광대역 근접전계 프로브의 단면

본 논문에서 제시하고자 하는 광대역 근접전계 프로브는 그림 3과 같이 4개 부분으로 구성된다.

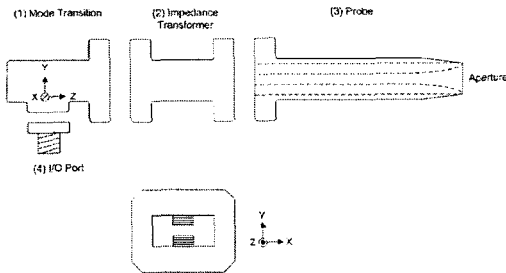


그림 3. 이중리지 광대역 근접전계 프로브의 구성

구성요소를 차례로 설명하면, (1)Mode Transition은 동축 커넥터에서 급전되는 TEM 모

드를 TE 모드로 변환하는(혹은 역으로 변환) 역할을 하며 동축커넥터와 사각 리지간의 전기적인 결합을 위하여 기계적으로 복잡한 구조를 가진다. (2)Impedance Transformer는 구조 (1)의 임피던스를 구조 (3)의 임피던스로 변환(혹은 역으로)하여 광대역 임피던스 정합 형성하는 역할을 하고 입출력 포트 크기는 구조 (1)과 (3)의 것과 같으나 광대역 임피던스 정합을 위해 포트 사이의 도파관과 리지의 크기는 설계과정에서 최적화가 요구된다. (3)Probe는 개구면을 통과한 TE 모드를 외부 공간으로 방사(혹은 역으로), 도파관과 외부공간 사이의 광대역 임피던스 정합하며 광대역 임피던스 정합을 위해 상하 리지가 tapered 되었다. 또한, 방사특성 개선을 위하여 외부 도파관의 상·하면이 tapered 되었다. 마지막으로 (4)I/O Port는 동축케이블과 구조 (1)간에 에너지를 전달하고 프로브의 동작 주파수가 50GHz까지 임을 감안할 때 VTM-type 커넥터가 사용되었다.

근접전계 프로브의 주요부분 치수는 다음과 같다. 전체크기(외부)는 25 mm × 16.9 mm × 97 mm, 개구면: 15 mm × 8.25 mm, 도파관 단면(내부): 5.92 mm × 2.75 mm × 8 mm × 2.95 mm, Ridge: 1.78 mm × 1.23 mm, 2.5 mm × 1.33 mm 가 된다.

III. 광대역 프로브의 특성

다음 그림 4, 그림 5, 그림 6은 제작한 광대역 프로브의 전기적인 특성을 보여준다. 우선 정재파비(SWR)는 대부분의 구간에서 2.0이하이며, 최대 방사사이드(동작주파수 대역내)에서 6~14dBi, 편파/교차편파 레벨은 -25dB이다.

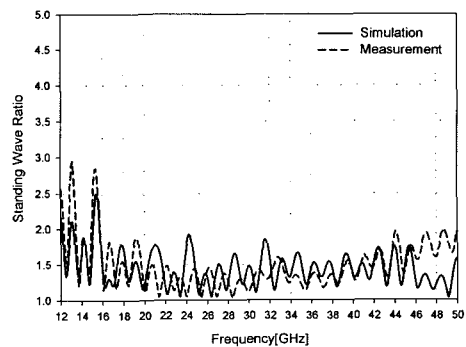


그림 4. 광대역 근접전계 프로브의 정재파비

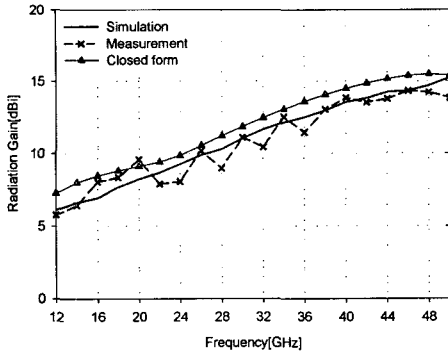


그림 5. 광대역 근접전계 프로브의 방사이득

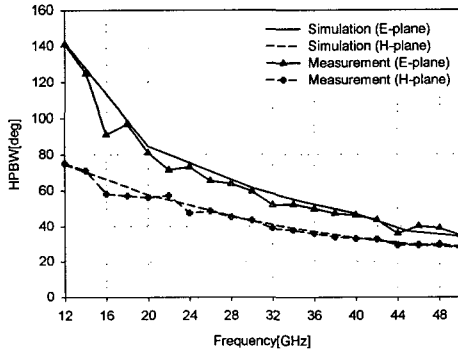


그림 6. 광대역 근접전계 프로브의 HPBW

IV. 프로브 보정을 위한 방사패턴

구형 도파관의 금속 두께가 높기 b 에 비해 매우 작고, y -directed TE₁₀ mode가 발생하는 주파수 범위내에서 동작한다고 가정한다. 이러한 경우 구형 도파관의 원역장은 다음과 같이 표현할 수 있다[2][3].

$$\vec{E}(\vec{r} \rightarrow \infty) = \frac{e^{ikr}}{kr} [E_E(\theta) \sin \phi \hat{e}_\theta + E_H(\theta) \cos \phi \hat{e}_\phi] \quad (1)$$

$$\vec{H}(\vec{r} \rightarrow \infty) = \frac{e^{ikr}}{kr} \frac{1}{Z_0} [E_E(\theta) \sin \phi \hat{e}_\phi - E_H(\theta) \cos \phi \hat{e}_\theta] \quad (2)$$

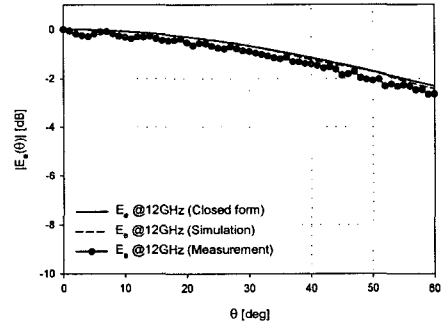
Z_0 는 자유공간의 특성임피던스이고, 전계를 나타내는 식(1)의 우측변 첫번째항은 주편파(Co-pol), 두번째 항은 교차편차(Cross-pol)를 나타낸다. 상기의 방정식은 개구면을 중심으로 $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 인 범위에서 유효하다.

E-plane상의 원역장 패턴, $E_E(\theta)$ 는 Stratton-Chu formulas를 이용한 개구면 적분식의

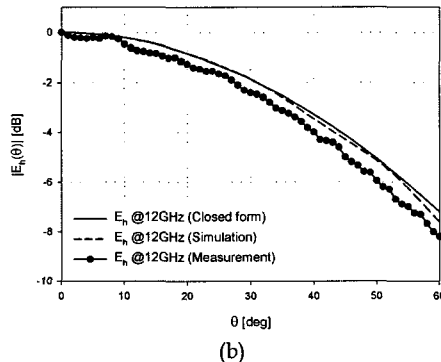
결과를 사용하여 표현 할 수 있는데, 이 수식에서 fringe current(isotropically radiating line source)의 영향은 무시하고 있다.

H-plane상의 원역장 패턴, $E_H(\theta)$ 는 E-plane상의 패턴보다 빔폭이 좁다. 따라서, 앞의 Stratton-Chu formulas에서 무시한 fringe current의 영향을 많이 받게 되므로 반사계수(Γ)에 관계없이 계산상의 빔폭은 실제 측정치보다 넓은 특성을 가지게 된다. H-plane상에서 전계 패턴을 표현은 E-field 적분법과 Fringe current법은 개구면의 반사계수를 고려하여 계산은 다소 복잡하지만, 전 범위에 대해 정확한 방법이다.

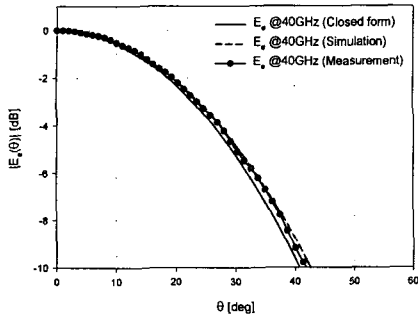
다음 그림 7은 closed form으로 계산된 방사패턴과 실제 측정값과 비교한 결과이다. 그림에서와 같이 40GHz에서는 개구면을 구성하는 금속의 두께가 파장대비 증가한 관계로 앞서 closed form의 가정과 맞지 않아 패턴의 결과간에 차이가 발생함을 알 수 있다.



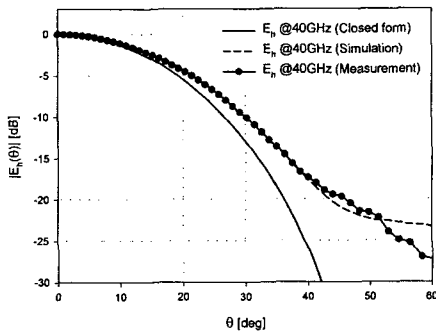
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 7. 광대역 근접전계 프로브의 방사패턴 (a) E-plane@12GHz, (b)H-plane@12GHz, (c)E-plane@40GHz, (d)H-plane@40GHz

V. 결 론

본 논문에서는 안테나 근역장 측정의 광대역성을 위해 이중리지 도파관 프로브를 설계하고 제작한 결과를 보여주었다. 광대역 임피던스 정합을 위해 구형 도파관내에 테이퍼 리지를 도파관 천이를 사용하였다. 본 프로브는 정재파비 3.0이하에서 약 123%(4.17:1)정도의 광대역 특성을 가지고 있으며 방사이득은 5.7~14.3dBi 였다. 본 프로브의 성능은 측정을 통하여 검증하였으며 그 결과가 양호함을 알 수 있었다. 또한, 프로브 보정을 위하여 방사패턴을 closed form으로 계산하고 측정을 통하여 오차를 확인하였다. 개구면의 금속 두께로 인한 오차발생은 추후 광대역 프로브의 구조를 개선시켜 줄일 예정이다.

참고문헌

- [1] S.S. Oh et al, "Antenna Measurement in Fresnel-Region using Direct Far-Field Measurement System," ETRI Journal, vol. 29, no. 2, Apr. 2007.
- [2] Arthur D. Yaghjian, "Approximate Formulas

for the Far Field and Gain of Open-Ended Rectangular Waveguide," IEEE Trans. On. AP. Vol.AP-32, No.4, April, 1984

- [3] Demetrius T. Paris, et al, "Basic Theory of Probe-Compensated Near-Field Measurements," IEEE Trans. On. AP. Vol.AP-26, No. 3, May 1978