

대역폭 개선을 위한 Taper 형태의 급전선로를 갖는 Bow-tie 슬롯 안테나의 설계

황 석 진⁰, 윤 현 보
동국대학교 전자공학과*

A Design of Enhanced Bandwidth Bow-tie Slot Antenna with Tapered Feeder Line

Suk Jin Hwang, Huun-Bo Yoon
Dongguk university

요 약

본 논문에서는 공진 주파수가 2 GHz 이며 크기가 작고, 광대역 특성을 갖는 Taper 형태의 급전선로를 갖는 마이크로스트립 Bow-tie 슬롯 안테나를 제안하였다. 이 구조에서는 대역폭을 향상시키기 위하여 마이크로스트립 슬롯 안테나 방사 슬롯을 변형된 bow-tie 모양으로 설계하여 기존의 Bow-tie 슬롯 안테나와 다른 구조를 제안하였고 Electromagnetic coupling 를 좋게 하기 위하여 급전선로에 Taper를 첨가하여 급전기와 안테나의 정합을 이루어 광대역 특성을 갖도록 하였다.

I 서 론

정보화시대의 발전에 따라 이동통신이 보편화되고 전파의 이용이 비약적으로 증가하고 있으며 또한 고속정보통신의 필요성으로 인하여 사용주파수 및 대역폭의 확장을 필요로 하고있다.

특히, 현재 무선 장비의 개인화가 급속화 되면서 대량 생산이 용이하고 경량인 마이크로스트립 안테나에 대한 관심이 커지고 있다. 마이크로스트립 안테나는 단면적이 작고, 소형, 경량에 아주 간단한 구조이기 때문에 제작시 단가가 경제적이며, 대량생산이 용이한 장점을 가지고 있다. 반면에 주파수 대역이 좁고, 이득이 낮아 실제 적용에는 많은 제한을 받는다.^[1]

마이크로스트립 안테나는 1972년대 초 Howell^[2] 과

Munson^[3]에 의해 개발된 이후 이러한 단점을 극복하기 위해 많은 연구가 계속되어 왔으며 최근에는 안테나의 구조 자체를 변화시켜 대역폭을 넓히는 방법들이 제안되고 있다.^[4]

본 논문에서는 안테나의 대역폭을 넓히기 위하여 변형된 Bow-tie 슬롯 안테나 형태와 Taper 형태를 갖는 마이크로스트립 급전선로^[5]를 양면에 설계하여 전자기 결합 (electromagnetically coupling)을 이루어 안테나 대역폭을 확장시키는 연구를 하였다.^[6-7]

II 마이크로스트립 Bow-tie 슬롯 안테나의 광대역화 설계

Bow-tie 슬롯 안테나는 광대역 특성을 갖는 매우 유용한 안테나로 지금까지 널리 이용되고 있다.

Bow-tie 슬롯 안테나는 입력임피던스가 주파수에

따라 크게 변화하지 않으므로 광대역 특성을 갖는다. 마이크로스트립 슬롯 안테나는 패치 안테나와 비교했을 때 해석과 설계가 다소 어려운 면이 있지만, 제작시 발생하는 오차에 덜 민감하고 대역폭이 넓은 장점을 가지고 있다.

2.1 Bow-tie 슬롯 안테나 설계

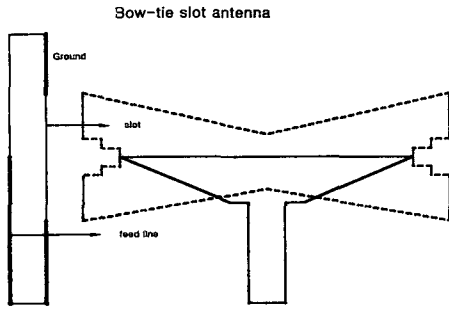


그림 1. Bow-tie 슬롯 안테나의 구조도

Bow-tie 슬롯 안테나의 설계식^[8]은 다음과 같다.

$$f_r = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_e}L\left(\frac{1.152}{R_t}\right)} \quad (2a)$$

여기서

$$R_t = \frac{L}{2} \frac{[(W+2\Delta l) + (W_c+2\Delta l)]}{(W+2\Delta l)(S+2\Delta l)} \quad (2b)$$

$$\Delta l = \frac{h0.412(\epsilon_e + 0.3)\left(\frac{W_i}{h} + 0.262\right)}{\left[(\epsilon_e - 0.258)\left(\frac{W_i}{h} + 0.813\right)\right]} \quad (2c)$$

$$\epsilon_e = \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2}\right) + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2}\right) \left(1 + \frac{12h}{W_i}\right)^{-1/2} \quad (2d)$$

$$W_i = \frac{W + W_c}{2} \quad (2e)$$

식(2a)-식(2e)로부터 공진주파수 $f_r = 2 \text{ GHz}$ 을 구하였다. 안테나의 전체 크기는 $26\text{mm} \times 35\text{mm} \times 8\text{mm}$ 이다.

2.2 Taper 형태의 급전선로 설계

안테나 급전선로는 폭이 50Ω 인 스트립선로를 이

용하여 설계하였다.

스트립선로의 설계식^[9]은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{w}{h} = \left(\frac{\exp H}{8} - \frac{1}{4 \exp H}\right)^{-1}$$

여기서

$$h' = \frac{Z_0 \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}}{119.9} + \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1}\right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{\pi}{4}\right)$$

ϵ_r 은 3.2 이고 w 는 스트립선로의 폭, h 는 0.8mm 이다. 위 식을 이용하여 설계된 급전선로의 폭은 1.9252mm 이고 Taper 의 넓이 결정은 FDTD 해석에 의하여 최적화하였다.

III FDTD 방법을 이용한 안테나 해석

FDTD 방법은 전자계의 전파 특성을 지배하는 Maxwell 의 curl 방정식을 유한 체적을 갖는 3차원 해석대상 영역에서, 유한 차분법을 이용하여 시간과 공간에 대해 동시에 분할함으로써, 근사 해를 구하는 전자계 해석방법이다. Maxwell 의 curl 방정식^[10]은

$$-\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = \nabla \times \vec{E} \quad (3a)$$

$$\epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \nabla \times \vec{H} \quad (3b)$$

와 같이 2개의 편 미분방정식으로 표현되며, 이 2 개의 편 미분방정식이 지배방정식이 된다.

3.1. 구조 해석을 위한 FDTD 단위격자

FDTD 해석 방법에서 기본적인 단위 격자는 사각형 구조를 갖는다. 이 같은 이유 때문에 본 논문에서는 Bow-tie 슬롯 구조를 FDTD 해석방법으로 해석하기 위해서 단위격자를 그림 2와 같은 슬롯 삼각 구조 해석을 위하여 계단근사법 (step approximation) 을 사용하여 전체 구조를 해석하였다.

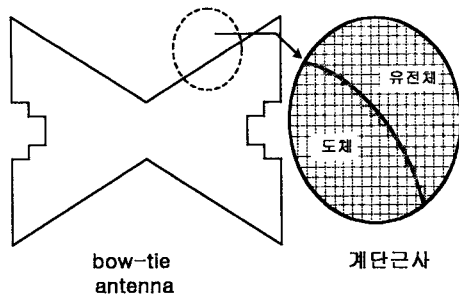
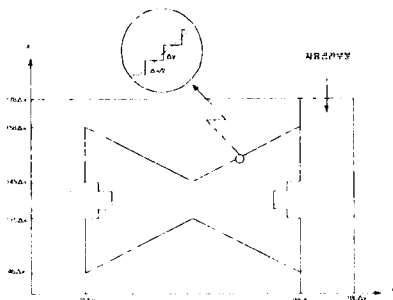


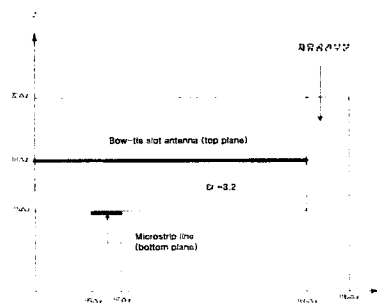
그림 2. Bow-tie 슬롯 구조의 해석을 위한 FDTD 단위격자

3.2 Bow-tie 슬롯 구조에 대한 FDTD 해석

제안한 구조를 그림 3에서 보인 것과 같이 격자를 나누어 FDTD 방법을 이용하여 계산한 결과, 입사파의 시간에 따른 전자계의 변화를 얻을 수 있었다.



(a) FDTD 계산영역 평면도 (x-y 면)



(b) FDTD 계산영역 측면도 (y-z 면)

그림 3. FDTD 계산영역도

FDTD 방법으로 정확히 해석하기 위해서 기판 두께 (h) 를 3 개 격자 ($3\Delta z$) 로 분할하고, 급전선로 및 복사 패치의 길이와 폭을 x, y 방향으로 각각

정수 배로 분할하였다. 본 논문에서 사용한 공간 분할 간격은, $\Delta x=0.244$ mm, $\Delta y=0.244$ mm, $\Delta z=0.266$ 이고, 총 격자 크기는 x, y, z 방향으로 각각 $178 \times 186 \times 32$ 로 하였다.

시간간격 Δt 는 안정조건을 만족하기 위해 0.0826ps 로 하였으며, Fourier 변환시 주파수 영역에서의 응답특성 해상도는 약 60.25 MHz 로 하여 반복계산을 수행하였다. 또한 최적의 안테나의 크기를 결정하기 위하여 슬롯 안테나의 모양과 Taper 형태의 급전선로 모양을 변화시키면서 해석하여 보았다.

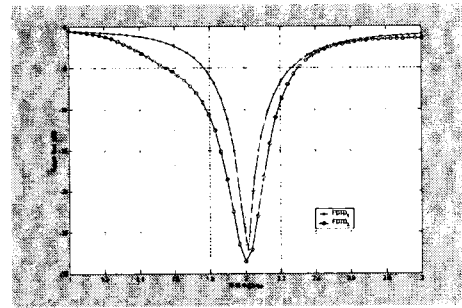


그림 4. 기존 Bow-tie 안테나와 변형된 Bow-tie 안테나 특성

그림 4에서는 기본 Bow-tie 슬롯 구조보다 변형된 Bow-tie 슬롯 구조에서 대역폭 증가를 볼 수 있다.

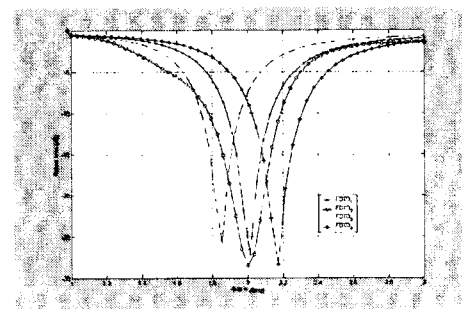


그림 5. 각도 변화에 따른 Bow-tie 안테나 특성

그림 5는 슬롯의 각도가 증가할수록 공진 주파수가 커짐을 볼 수 있었다.

IV 제작 및 측정

중심주파수 2 GHz로 설계된 안테나는 양면 구

조로서 윗면에는 변형된 bow-tie 슬롯을 제작하고 밑면에는 Taper 형태의 급전선로를 만들었다.

AutoCAD 2000 를 사용하여 1 : 1 로 설계하였으며 음화필름을 이용한 에칭 방법으로 기판을 제작하였다. 제작된 안테나 및 급전선로를 그림 6에 나타내었다.



(a) 방사체 (b) 급전선로

그림 6. 변형된 Bow-tie 슬롯 안테나의 음화필름

4. 1. 측정

그림 7은 변형된 bow-tie 슬롯 안테나와 비교하기 위하여 공진 주파수 2 GHz에서 제작된 bow-tie 슬롯 안테나의 반사손실이며, 측정결과 공진 주파수는 2.0227 GHz에서 대역폭은 183MHz이며 반사손실은 -44 dB를 보였다.

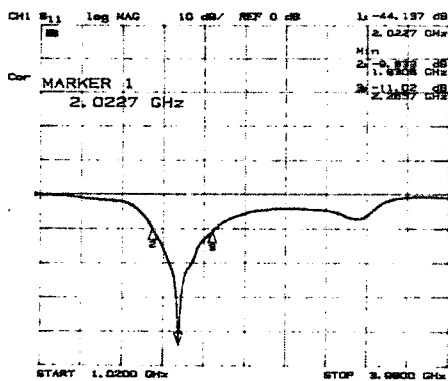


그림 7. Bow-tie 슬롯 안테나의 반사손실

그림 8는 제안된 bow-tie 슬롯 안테나의 반사손실 측정 결과이며, 공진 주파수 2.028 GHz에서 대역폭은 442 MHz이며 반사손실은 -39 dB를 얻었다.

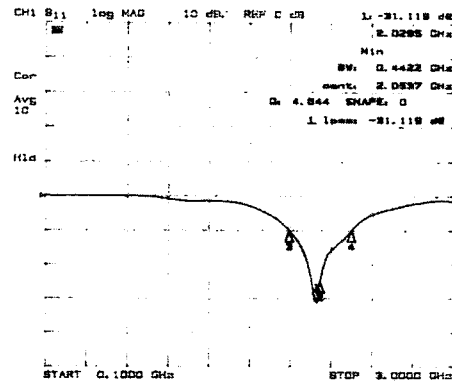


그림 8. 변형된 Bow-tie 슬롯 안테나의 반사손실

4.2 결과 고찰

마이크로스트립 슬롯 안테나의 대역폭을 넓히기 위해 방사 슬롯을 변형된 bow-tie 모양으로 하고, 입력 임피던스의 정합을 용이하게 하기 위해서 Taper 형태의 급전선로를 설계하였다

중심주파수 2 GHz 로 제작한 안테나의 측정결과는 반사손실이 공진 주파수 2.028 GHz로 나타났으며, 반사손실이 -10dB 이하인 곳은 1.74 GHz 부터 2.18 GHz 까지로 442 MHz 의 대역폭을 가짐으로서 약 22 % 의 대역폭을 가진다.

측정 결과와 FDTD 해석 결과와 거의 일치함을 확인하였고 약간의 오차는 마이크로스트립 안테나를 제작할 때 양면 제작에 어려움이 있었고 그림2 에서와 같이 근사적으로 FDTD 격자를 분할하여 생긴 것이라고 판단된다.

표.1 계산값과 측정값에 대한 비교

	FDTD 계산값	측정값
중심주파수	2 GHz	2 GHz
대역폭	450 MHz	422MHz
반사손실	-28 dB	-37 dB

표.2 기존 Bow-tie 안테나와 변형된 Bow-tie 안테나의 비교

	기존의 Bow-tie 안테나	변형된 Bow-tie안테나
공진주파수	2 GHz	2 GHz
대역폭	189 MHz	422 MHz
반사손실	-29.1 dB	-37 dB

V 5 장 결론

구조 해석은 FDTD 방법을 사용하였으며 측정치와 잘 일치함을 확인할 수 있었다. 반사손실이 -10 dB 이하인 곳은 1.74 GHz부터 2.18 GHz까지로 442 MHz의 대역폭을 가짐으로서 약 22 %의 대역폭을 가졌다. 일반적으로 기존 마이크로스트립 안테나의 대역폭이 동일 주파수 2.0227 GHz에서 187 MHz의 대역폭을 가지고 약 10 % 인데 반해 제안된 구조의 슬롯 안테나의 대역폭이 12 % 향상됨을 가졌다. 현재 국내 이동통신에서는 이동전화와 PCS 주파수 대역을 동시에 사용할 수 있는 dual frequency 안테나를 개발하여 사용하고 있다. 제안된 논문의 슬롯의 길이 및 넓이 변화를 최적화하여 PCS와 IMT 2000 주파수 대역에서 사용할 수 있는 안테나 연구가 계속 되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] S. H. David, "A survey of broadband microstrip patch antennas," *Microwave J.*, pp. 60-84, sept., 1996.

[2] Howell, J. Q., "Microstrip Antennas," *IEEE AP-S Int. Symp. Digest*, 1972, pp. 177-180

[3] Munson, R. E., "Conformal Microstrip Antennas and Microstrip Phased Arrays," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol. AP-22, 1974. pp. 74-78.

[4] Hai Fong Lee and Wei Chen, *Advanced in Microstrip and Printed Antennas*, John Wiley & Sons, Inc., 1997.

[5] Ranesh Garg "Microstrip Antenna design Handbook"

[6] Q. Zhang, Y. Fukuoka, and T. Itoh, "Analysis of a Suspended Patch Antennas Excited by an Electromagnetically Coupled Inverted Microstrip Feed," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, Vol. AP-33, pp. 859-899, Aug. 1985.

[7] Bilge Belentepe, "Modeling and Design of Electromagnetically Coupled Microstrip Patch Antennas and Antenna Arrays," *IEEE Antennas and Propagation Propagation Magazine*, Vol. 37, No. 1, pp. 31-38, Feb. 1995.

[8] George, J. et al., "New compact microstrip antenna", *Electronics Letters*, 1996, pp. 508-509.

[9] Terry Edwards, "Foundations for Microstrip Circuit Design"

[10] K. D. Stephan, N. Camilleri, and T. Itoh, " A quasi-optical polarization-duplexed balanced micer for millimeter wave application," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-17, pp. 164-170, Feb. 1983