

GPR용 광대역 마이크로스트립 보우타이 패치 안테나 설계

김민준 · 광영복^o

*동의대학교 정보통신공학과

Design of the Broadband Microstrip Bow-tie Patch Antenna for a GPR

Min-joon Kim · Young-bok Kwak^o

*Information & Communication Engineering Department of the Donggeui University

ABSTRACT

GPR은 건물의 크랙, 지중 매설물과 같은 정보를 수집하기 위해 좁은 펄스를 사용하므로 넓은 대역의 주파수 특성을 가진다. 본 논문에서는 광대역 특성을 가지는 안테나를 마이크로스트립을 이용하여 보우타이 형태로 설계하였다. 설계 기판으로는 $\epsilon_r=4.0$, $t=1.6$ mm의 FR-4 유전체 기판을 사용하였다. 제작된 안테나는 $S_{11}<-10$ dB에서 10.62%의 대역폭을 가지고, 5.778 GHz에서 -33.3 dB의 S_{11} 과 1.04의 VSWR 값을 나타내었다.

광대역 안테나, Bow-tie, 패치 안테나

1. 서 론

GPR(Ground Penetrating Radar)은 지표면 또는 빌딩, 교각과 같은 건물의 표면을 통해 전파를 방사하여, 산란체 또는 유전율이 다른 매질을 통과할 경우에 되돌아오는 반사파를 분석하여 지중 매설물 또는 건물내의 크랙과 같은 정보를 분석하는데 사용되는 레이더이다. 이와 같이 전파가 전달되는 경로가 임의의 매질이므로 손실, 비균일, 비등방성, 분산 특성 등을 갖는 매질에 대한 문제를 가진다. 또한 안테나를 표면 가까이 위치시켜야 하므로, 표면과의 상호작용이 매우 크게 나타난다. 따라서 안테나와 매질, 표면과의 상호작용은 안테나 설계시 중요한 요소가 된다.[1],[2]

마이크로스트립 패치 안테나의 주요 제약 사항은 SWR을 2:1 이하로 할 경우 1~5%의 좁은 대역폭을 가진다는 것이다.

본 논문에서는 GPR용 안테나를 소형, 경량이며 제작이 쉽고, 급전 선로 및 다른 초고주파 소자들과 집적이 가능한 마이크로스트립 패치 안테나로 설계하였다. 안테나 설계를 위해 140mm×100mm 크기의 유전율 4.0, 기판 두께 1.6mm인 FR-4 유전체 기판을 사용하였다. 공진 주파수는 ISM 대역(5.725 GHz~5.85 GHz)을 포함하기 위해 5.8 GHz로 설계하였다. 설계 tool로는 Ansoft사의 상용 시뮬레이션 tool인 EnsembleTM 6.0을 사용하였고, 안테나와 급전선의 임피던스 정합을 위해 HP사의 ADS를 이용하여 최적화하였다.

II. Bow-tie 안테나 설계

Bow-tie 안테나의 동작은 각각의 삼각형 안테나의 배열 효과(Array effect)에 의한 것과 같다. 따라서, 단일 삼각형을 먼저 설계하여야 한다. 단일 삼각형은 설계하고자 하는 공진 주파수의 반 주파수보다 조금 높은 주파수에서 설계한다. 이것은 전체 안테나 면적을 늘림으로써 공진 주파수를 낮게 하는 상호 연결 폭 c 의 삽입에 대한 보상이 된다.[3]

그림 1에 설계하고자하는 보우타이 안테나의 형태와 각 파라미터를 보이고 있다.

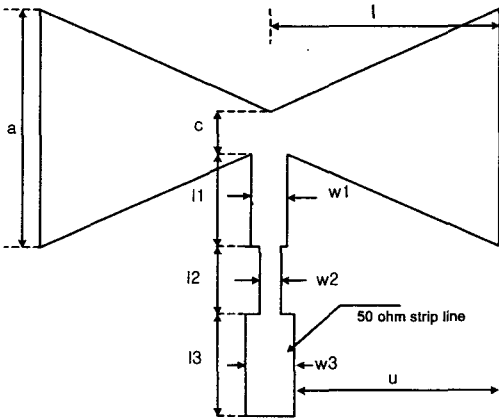


그림 1. $\epsilon_r=4.0$, $h=1.6[mm]$ 의 FR-4 유전체에 50Ω 마이크로스트립 선로로 급전된 보우타이 안테나

안테나 설계는 다음 세 단계에 따른다.[3],[4]

1. 단일 삼각형 패치 설계

단일 정삼각형 패치의 공진 모델에서, 임피던스와 독립적인 완전 자계 경계 조건을 만족하는 TM_z 모드의 공진 주파수는 다음 식과 같다.

$$f_{mn} = \frac{2c}{3a\sqrt{(\epsilon_r)}} (m^2 + mn + n^2)^{1/2} \quad (1)$$

여기서 m , n 은 공진 모드의 차수이고, c 는 자유 공간에서 빛의 속도이다. 불완전 자계벽 효과에 의해 패치 옆면 길이 a 를 a_e 로 대체하면,

$$a_e = a + t(\epsilon_r)^{1/2} \quad (2)$$

가 된다. 여기서 t 는 유전체의 두께이고, bow-arm의 길이 l 은 $a \cdot \sin(60^\circ)$ 이 된다.

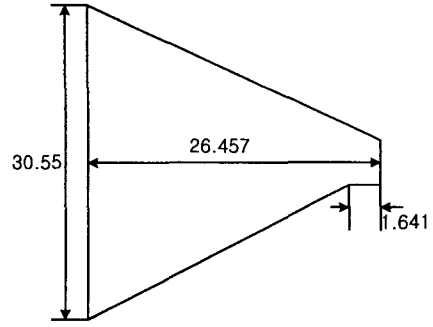


그림 2. 계산된 단일 삼각형 패치

5.8 GHz의 공진 주파수를 얻기 위해 3.2 GHz의 f_{mn} 을 가지는 단일 삼각형 패치 안테나의 경우 a 는 30.55 mm, bow-arm의 길이 l 은 26.457 mm로 계산된다.

그림 2는 계산된 단일 삼각형 패치를 나타낸다. 1.641 mm는 Ensemble™ 6.0에서 계산된 50Ω 급전선 폭인 3.282 mm의 반을 나타낸다.

2. 상호 연결폭 c 의 결정

두 개의 단일 삼각형 패치 안테나를 붙여서 보우타이 안테나를 만들기 위해서는 중심이 결합된다. 따라서 단일 삼각형의 상호 연결폭 c 를 조절하면서 안테나 입력 임피던스가 최대 평탄 특성을 가지는 값을 시뮬레이션을 통해 찾아낸다. 그림 3~5는 각 c 값에 대해 입력단에서 본 보우타이 안테나의 s 파라미터 값과 입력 임피던스의 실수와 허수부를 보여준다.

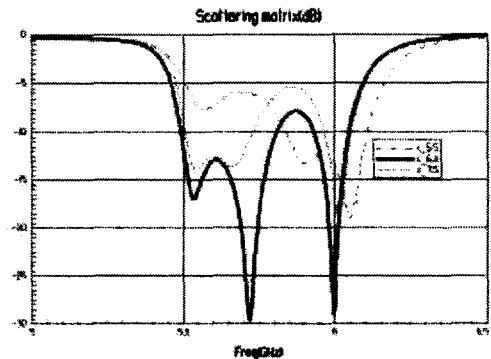


그림 3. 상호 연결 폭 c 의 변화에 따른 S_{11} 의 변화

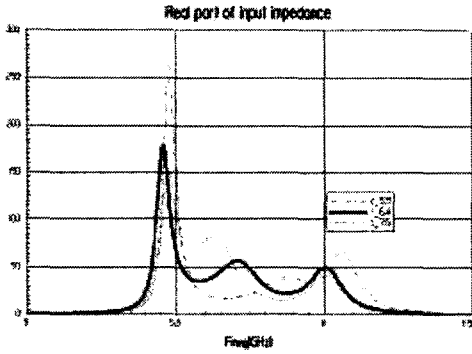


그림 4. 상호 연결 폭 c의 변화에 따른 입력 임피던스 실수부의 변화

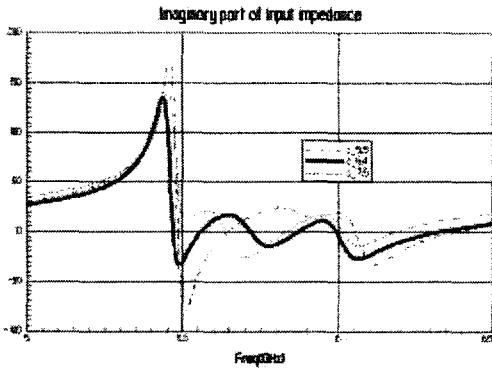


그림 5. 상호 연결 폭 c의 변화에 따른 입력 임피던스 허수부의 변화

시뮬레이션 결과 상호 연결 폭 c가 증가하면 설계된 주파수 대역의 공진점에서 입력 임피던스가 낮아지고, 그로 인해 임피던스의 차가 줄어든다. 본 논문에서는 상호 연결 폭 c가 6.4mm일 경우를 택하여 정합 회로를 설계하였다.

3. 안테나와 급전 선로간의 정합

설계된 안테나의 평균 입력 임피던스는 39.42 Ω이 되었다. 안테나 입력 임피던스를 최적화 시키기 위해, 계산된 결과를 Ensemble™ 6.0을 사용하여 Touchstone 파일(*.s1p) 형태로 변환하고, 이를 HP사의 ADS를 사용하여 시뮬레이션을 하였다. 처음과 두 번째 스트립 선로의 폭과 길이는 $S_{11} < -15$ dB를 목표로 최적화하였고, 세 번째 스트립 선로의 폭은 50Ω 선로 폭인 3.282mm로 고정을 하였다. 그림 6은 ADS를 사용하여 최적화하는 과정을 나타내고, 표 1은 최적화 된 각 안테나 파라미터 값을 보여준다.

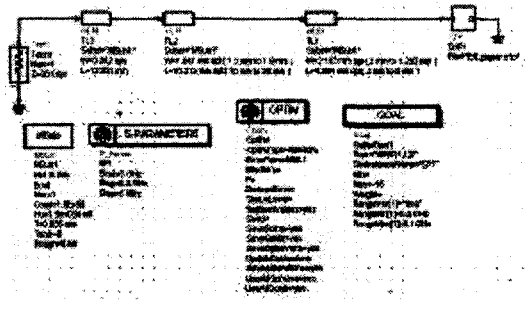


그림 6. ADS를 사용하여 스트립 선로를 최적화하는 과정

표 1. 설계된 보우타이 안테나의 파라미터 값

Parameter	Length(mm)	Parameter	Length(mm)
a	30.55	w2	1.965
c	6.4	w3	3.282
l	26.457	l1	5.166
u	24.816	l2	10.814
w1	3.016	l3	12.931

III. 시뮬레이션 및 측정 결과

1. 시뮬레이션 결과

그림 7과 8에 Ensemble™ 6.0을 사용하여 시뮬레이션된 S_{11} 과 VSWR 값을 보여준다. 5.78 GHz의 공진 주파수에서 -27.45 dB의 S_{11} 과 1.089의 VSWR 값을 가진다.

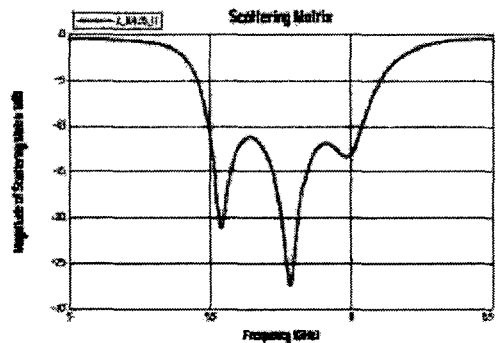


그림 7. 최적화된 보우타이 안테나의 S_{11}

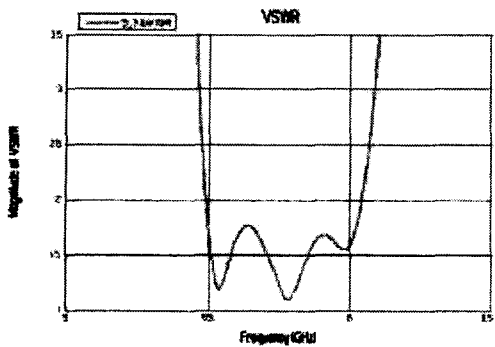


그림 8. 최적화된 보우타이 안테나의 VSWR

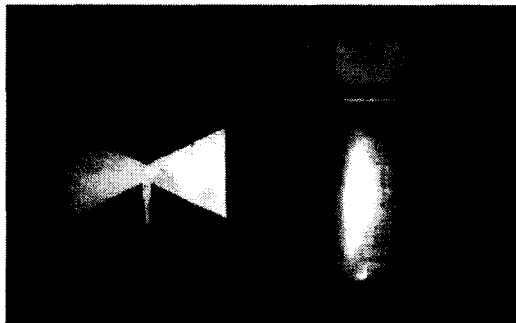


그림 11. 실제 제작된 보우타이 안테나 형태

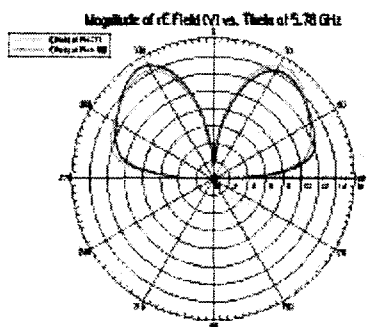


그림 9. E_{θ} 평면 $\phi=0^{\circ}/180^{\circ}$ 에서 보우타이 안테나의 방사 패턴

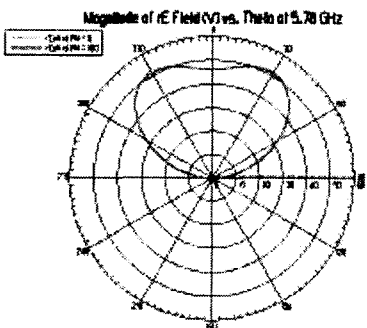


그림 10. E_{ϕ} 평면 $\phi=0^{\circ}/180^{\circ}$ 에서 보우타이 안테나의 방사 패턴

그림 9와 10은 설계된 보우타이 안테나의 E_{θ} , E_{ϕ} 평면의 방사패턴을 보여준다. $\pm 30^{\circ}$ 에서 E_{ϕ} 성분의 최대 전력비가 나타났다.

2. 측정 결과

그림 11은 실제 제작된 안테나의 형태를 보여준다.

제작된 보우타이 안테나는 $S_{11} < -10$ dB에서 5.282 GHz ~ 5.896 GHz까지 약 10.62%의 대역폭을 가졌으며, 5.325 GHz ~ 5.845 GHz대역에서는 $S_{11} < -15$ dB 값을 가졌다. 시뮬레이션 시의 공진 주파수인 5.78 GHz 부근인 5.778 GHz에서 -33.3 dB의 S_{11} 값과 1.04의 VSWR 값을 가졌으나, 5.578 GHz에서도 -40.2 dB의 S_{11} 값과 1.02의 VSWR 값을 나타내었다. 그림 12와 13에 측정된 안테나의 S_{11} 과 VSWR 값을 보여준다.

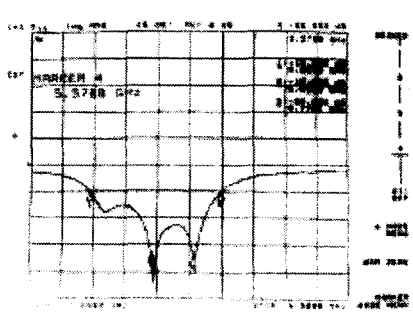


그림 12. 측정된 S_{11} 의 값

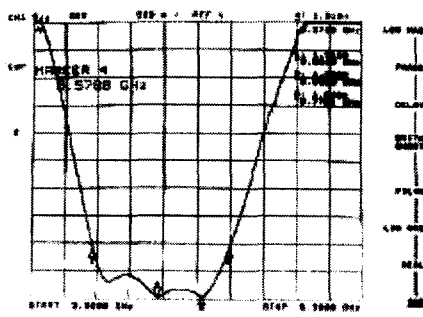


그림 13. 측정된 VSWR의 값

전체적인 주파수 대역폭이 시뮬레이션에서보다 대략 150 MHz 정도 아래로 내려온 것으로 보인다. 두 결과의 차이는 시뮬레이션 틀에 의한 계산값과 제작과정에서의 튜닝에 의한 결과이다. 그러나 두 번 떨어지는 공진점과 전체적인 대역폭 결과는 시뮬레이션과 측정치 둘 다 유사하게 나타난다.

IV. 결 론

낮은 공진 주파수(1 GHz 부근)를 가지는 단일 패치 형태의 광대역 보우타이 안테나는 파장에 비해 상호연결 폭 c 의 변화에 따른 보우타이 형태 변화가 미미하여 광대역 특성을 가지기가 어려웠다.

본 논문에서는 광대역 보우타이 안테나를 5.8 GHz의 공진 주파수로 설계하였다. 단일 삼각형 패치를 연결하는 상호 연결 폭 c 를 조정하여 원하는 대역에서 광대역 특성을 얻을 수 있었다. 제작된 안테나는 $S_{11} < -10$ dB에서 10.62%의 대역폭을 가진다. 그리고 ISM 대역(5.725GHz~5.85GHz)에서 $S_{11} < -15$ dB의 특성을 보이고, 5.78GHz에서 -33.3 dB의 S_{11} 과 1.04의 VSWR 값을 보이고 있어, 무선랜, HomeRF 등과 같은 소규모, 근거리 데이터 통신용 시스템에도 사용 가능할 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] D. J. Daniels, D. J. Gunton, H. F. Scott, "Introduction to Subsurface Radar", Proc. IEE, vol. 135, no. 4, pp. 278-320, Aug. 1988.
- [2] D. J. Daniels, "Subsurface-Penetrating Radar", IEE, London, UK, 1996
- [3] Loi K. W., S Uysal and M. S. Leong, "Novel Design of a wideband microstrip bowtie patch antenna", IEE Proceedings, H, Microwaves, Antennas and Propagation. April 1998.
- [4] C. H. Ng, S Uysal and M. S. Leong, "Microstrip bowtie patch antenna for wireless indoor communications", IEEE RAWCON'98 Proceedings pp. 205-207, Aug. 1998.