

Offset slotted 직사각형 마이크로스트립 패치안테나의 설계

A Design of Offset slotted Rectangular Microstrip Patch Antenna

박병우, 신혜정, 조경구
충북대학교 전자공학과

Byoung-Woo Park(bwpark@chungbuk.ac.kr), Hye-Jung Shin(ann2954@hanmail.net),
Kyung-Gu Gho(bearcandy@naver.com)

요약

이 논문은 GPS 안테나로 사용될 수 있는 Offset Slotted 직사각형 마이크로스트립 패치 안테나를 디자인하기 위한 기법을 제안하였다. 안테나 특성을 해석하기 위해 Multi-port connection 기법과 Desegmentation 기법을 사용하였고, 고유전율의($\epsilon_r=10.2$) 기판과 직사각형 슬롯을 이용하여 안테나의 사이즈를 줄일 수 있었다. 제작된 안테나의 치수는 $20 \times 30 \times 1.27$ [mm]로 작은 사이즈이므로 GPS 안테나 또는 핸드폰에 사용될 수 있을 것이다.

■ 중심어 : | 디세그멘테이션 | 안테나 | 마이크로스트립 |

Abstract

This paper proposed a method to design the offset slotted rectangular microstrip patch antenna which can be used for GPS antenna. The multi-port connection method and the desegmentation technique had been used to analyze the characteristics of this antenna. To reduce a size of this antenna, a dielectric substrate with a high permittivity($\epsilon_r=10.2$) was used and a offset rectangular slot was inserted in the microstrip patch antenna. The dimension of a manufactured antenna is $20 \times 30 \times 1.27$ [mm]. Accordingly this small antenna can be used directly GPS antenna or cellular phone.

■ keyword : | Desegmentation | Antenna | Microstrip |

I. 서론

최근 들어 GPS(Global Positioning System), GLONASS(Global Navigation satellite System), DMB(Digital Multimedia Broadcasting)등 이동통신 및 위성을 이용한 서비스에 대한 관심이 증대되고 있고 이러한 무선시스템의 소형화로 인한 안테나의 소형화가 요구되고 있다.

본 논문에서는 휴대 단말기에 적합한 GPS 안테나를

제작하였으며, 안테나의 소형화를 위하여 고유전율의 기판과 직사각형 슬롯을 사용하였고 이 안테나의 특성을 해석하기 위하여 multi-port connection 기법과 Desegmentation 기법을 이용하였다.

II. 슬롯을 갖는 직사각형 안테나의 해석

슬롯을 갖는 마이크로스트립 안테나를 Desegmentation

기법을 사용하여 해석하기 위해서는 우선, 자계 벽 모델을 전개하고, Desegmentation 기법과 멀티포트 접속법을 이용하여 주어진 구조의 전체 임피던스 행렬을 계산한다. 이 계산된 Z-행렬로부터 입력 임피던스를 얻을 수 있으며, 이것은 방사 손실(P_r), 표면파손실(P_{sw}), 도체손실(P_{cu}) 등을 고려하지 않았으므로 무손실 Cavity에 대한 입력 리액턴스 성분이 된다. 주파수 변화에 대한 입력 리액턴스의 값이 매우 큰 양과 음의 값으로 급격하게 변할 때, 그 주파수가 공진주파수로 결정된다. 그리고 안테나의 입력 임피던스를 계산하기 위해서 실효 손실탄젠트 δ_{eff} 를 계산하여 다시 계산한다.

[그림 1]은 프린팅계를 고려한 자계벽 캐버티 모델이다. 여기서 외부확장 Δw 을 기판의 높이/2로 고려한다.

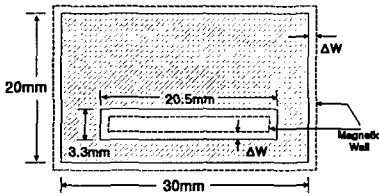


그림 1. 자계벽 모델

Desegmentation 법을 적용하기 위해서, 그림 2처럼 슬롯을 갖는 평면회로(α -세그먼트)에 직사각형 슬롯(β -세그먼트)를 추가하여 완전한 직사각형 평면회로(γ -세그먼트)를 만든다. 여기서 β -세그먼트와 γ -세그먼트는 모두 직사각형이므로 직사각형 패치에 대한 Green 함수를 이용하여 Z-행렬을 계산할 수 있고[6], 이것으로부터 Desegmentation 법을 이용하여 α -세그먼트를 구할 수 있다[6]. 이때 상호 접속을 유한수의 포트에 나눈 멀티포트 평면회로로 고려하고, 합리적으로 오차범위를 유지하기 위해 상호접속 포트간의 간격을 $\lambda_g/20$ 로 한다.

[그림 2]에서 α -세그먼트의 Z-행렬은 멀티포트 커넥션 기법과 Desegmentation 기법을 이용하여 아래와 같이 구한다.

$$Z_{\alpha} = \begin{bmatrix} Z_{pp\alpha} - Z_{p\alpha}Z_{qp}' & -Z_{p\alpha}Z_{qd}' \\ -Z_{dq}Z_{qp}' & -Z_{dd} - Z_{dq}Z_{qd}' \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,

$$Z_{qp}' = [Z_{qq\alpha} - Z_{qq\beta}]^{-1}Z_{qp}$$

$$Z_{qd}' = [Z_{qq\alpha} - Z_{qq\beta}]^{-1}Z_{qd}$$

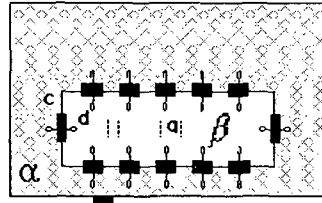


그림 2. 직사각형 패치의 디세그멘테이션

입력임피던스는 P포트가 1개일 때의 임피던스로 1행 1열이 되고 아래와 같이 구한다.

$$Z_{pp\alpha} = Z_{pp\alpha} - Z_{p\alpha}[Z_{qq\alpha} - Z_{qq\beta}]^{-1}Z_{qp} \quad (2)$$

식(2)로 구한 입력 임피던스는 방사 손실(P_r), 표면파손실(P_{sw}), 도체손실(P_{cu}) 등을 고려하지 않은 무손실 Cavity의 순수 입력 리액턴스 성분이다. 그러므로 주파수에 따른 변화를 관찰하면 [그림 3]과 같이 1.575[GHz]에서 공진하고 있음을 알 수 있다.

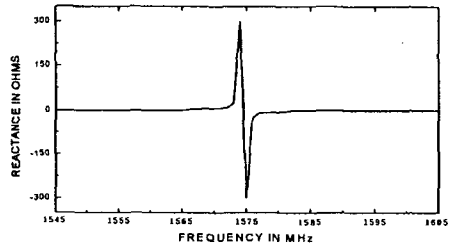


그림 3. 주파수에 따른 입력리액턴스의 변화

입력 임피던스를 계산하기 위해 방사패턴과 실효 손실 탄젠트가 계산되어야 한다. 이를 위해 패치에서의 전개 분포를 결정한다. 패치의 에지에서 급전하는 경우, 급전점 (x_p, y_p) 와 포트 폭 $W_p \ll \lambda$ 에서의 전류밀도가 J_p 라면 패치에서의 전개는 Green 함수를 이용하여 아래와

같이 쓸 수 있다.

$$E_z = \frac{1}{h} \int_w G(x_q, y_q | x_p, y_p) J_p(x_p, y_p) dx_p dy_p \quad (3)$$

여기서 W_p 는 포트 폭이고, 패치 내부의 자계는 Maxwell 방정식을 이용하여 계산할 수 있다. 이를 이용하여 각 세그먼트에 축적된 전자계 에너지를 구하면 아래와 같이 구할 수 있다.

$$W_e^s = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{re} h}{4} \int_0^b \int_0^a |E_z|^2 dx dy \quad (4)$$

$$W_m^s = \frac{\mu_0 h}{4} \int_0^b \int_0^a [|H_x|^2 + |H_y|^2] dx dy \quad (5)$$

식(4),(5)를 모두 합하여 전체 안테나 구조에 대한 축적된 총 에너지를 구한다.

방사 패턴과 방사 전력은 전자계 호이겐의 원리를 사용하여 구할 수 있다. 패치 내부의 전계를 예지에서의 등가자기전류밀도 M 으로 표현하고 접지 판은 영상이론을 적용하여 등가자기전류밀도를 2배로 고려한다.

$$\mathbf{M} = -2 \hat{\mathbf{n}} \times \mathbf{E} \quad (6)$$

여기서, $\hat{\mathbf{n}}$ 은 패치 둘레에 수직인 단위 벡터이고, \mathbf{E} 는 접지 평면에 수직인 전계성분이다. 예지로부터 프린트 계의 확장 길이를 h 라고 할 때, 원방계에서의 벡터 전기 포텐셜은 다음과 같다.

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}) = \frac{e_0 h}{4\pi r} e^{-jk_r r} \int_{\ell} \mathbf{M}(\mathbf{r}') e^{-jk_r(x' \sin\theta \cos\phi + y' \sin\theta \sin\phi)} d\ell \quad (7)$$

여기서, ℓ 는 세그먼트의 둘레 경로이다. 전계는 z -방향 성분이고, 패치 둘레에 수직인 방향은 x -와 y -방향울 갖고 있으므로 벡터 전기 포텐셜은 x -와 y -방향 성분을 갖게 된다. 전체 F_x 와 F_y 성분은 다음과 같이 벡터적으로 합성된다.

$$F_x = F_{x_a}^e + F_{x_b}^e + F_{x_c}^e + F_{x_d}^e + F_{x_e}^e + F_{x_f}^e \quad (8-1)$$

$$F_y = F_{y_a}^e + F_{y_b}^e + F_{y_c}^e + F_{y_d}^e + F_{y_e}^e + F_{y_f}^e \quad (8-2)$$

따라서 원방계 전계성분은 다음과 같이 표현된다.

$$E_\theta = -jk_0 [-\sin\phi F_x + \cos\phi F_y] \quad (9-1)$$

$$E_\phi = jk_0 \cos\theta [\cos\phi F_x + \sin\phi F_y] \quad (9-2)$$

E -평면 ($\phi=0^\circ$)와 H -평면 ($\phi=90^\circ$)일 때의 방사 패턴은

$$R_E(\theta) = |E_\theta|^2 + |E_\phi|^2 = k_0^2 (|F_y|^2 + |F_x|^2 \cos^2\theta) \quad (10-1)$$

$$R_H(\theta) = k_0^2 (|F_x|^2 + |F_y|^2 \cos^2\theta) \quad (10-2)$$

이고, 이것으로 총 방사전력을 구하면 다음과 같다.

$$P_r = \text{Re} \left\{ \int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} (E_\theta H_\phi^* - E_\phi H_\theta^*) r^2 \sin\theta d\phi d\theta \right\} \quad (11)$$

지금까지는 무손실 Cavity로 취급하였으나, 안테나를 해석하기 위해 실효 손실 탄젠트(δ_{eff})개념을 적용해야 한다. δ_{eff} 값은 패치 내부의 축적 에너지와 예지에서의 총 방사전력을 구하여 Q 값을 구하고 그것으로부터 δ_{eff} 값을 구할 수 있다.

$$\delta_{eff} = \frac{1}{Q} \quad (12-1)$$

$$\frac{1}{Q_t} = \frac{1}{Q_{rad}} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_{sw}} = \delta_{eff} \quad (12-2)$$

$$Q \approx \omega_0 \frac{2W_m}{P_{loss}} \approx \frac{4\pi f_0 W_m}{P_{loss}} \quad (12-3)$$

$$k_{eff}^2 = k_0^2 \epsilon_r (1 - j\delta_{eff}) \quad (12-4)$$

이렇게 구한 δ_{eff} 을 식(12-4)에 대입하고, 수정된 k_{eff} 값을 개별 세그먼트에 대한 멀티포트 Z-행렬 표현식인 식(13)에 대입하여 수정된 입력 임피던스를 구한다.

$$Z_{in} = \frac{j\omega_0 h}{nab} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\sigma_m \sigma_n \phi_{mn}(x_p, y_p) \phi_{mn}(x_q, y_q)}{k_x^2 + k_y^2 - k_{eff}^2} \quad (13)$$

III. 안테나 시뮬레이션, 제작 및 측정

본 논문에서는 off-line single feeding 법을 사용한 Offset Rectangular Microstrip Patch 안테나를 해석하기

위해 Desegmentation법을 이용하였고, Ensemble 8.0을 사용하여 최적화하였다.

$\epsilon_r=10.2$, 두께 50mils인 Rogers 기판에 대하여 안테나를 시뮬레이션 한 결과는 [그림 4][그림 5][그림 6][그림 7]과 같다.

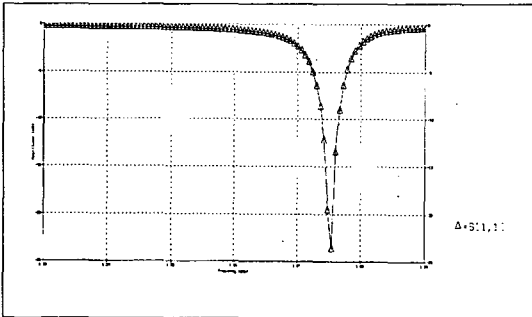
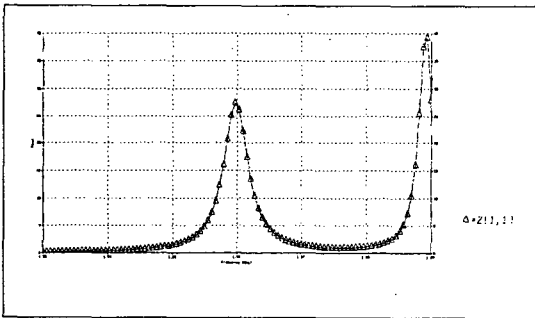
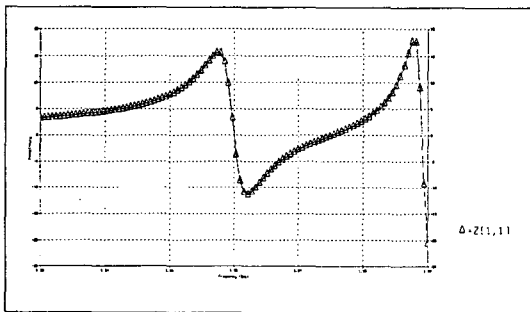


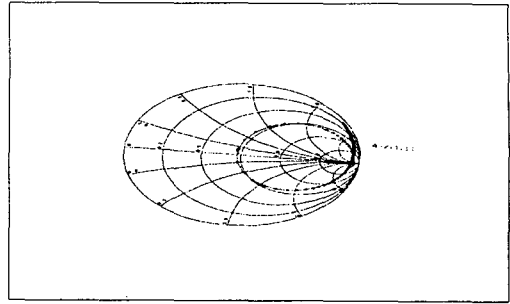
그림 4. 안테나의 삽입 손실[S_{11}]



(a) $Re(Z(1,1))$

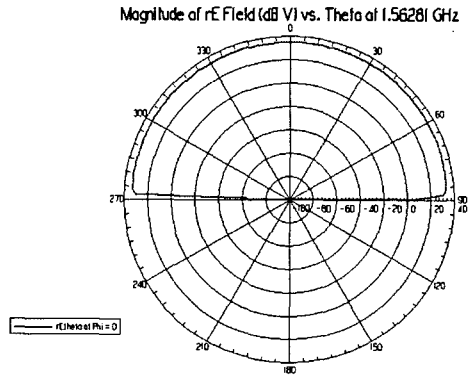


(b) $Im(Z(1,1))$

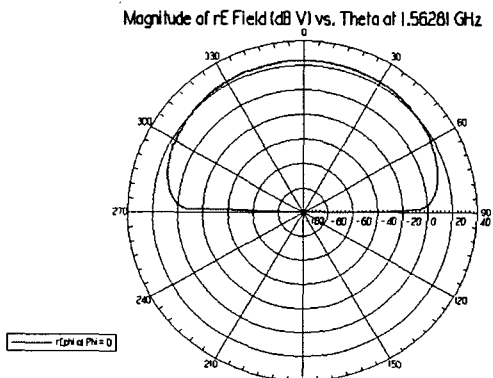


(c) Smith Chart- $Z(1,1)$ -

그림 5. 안테나의 임피던스 특성



(a) E -Theta



(b) E- phi

그림 6. 안테나의 방사패턴

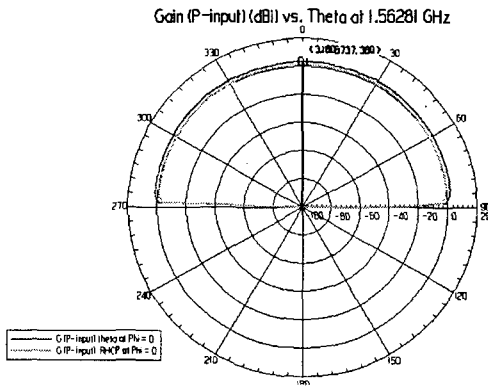


그림 7. 안테나의 이득

시뮬레이션 결과에서 [그림 4]로부터 삽입 손실은 -24[dB]이며, [그림 6]로부터 안테나의 방사패턴의 반 전력 빔 폭이 80°로 되어 다이폴 안테나의 반 전력 빔 폭 76°와 거의 유사하므로, 무 지향 특성을 갖는다고 볼 수 있으며, [그림 7]과 같이 RHCP로 이득은 3.18[dB]임을 나타내었다.

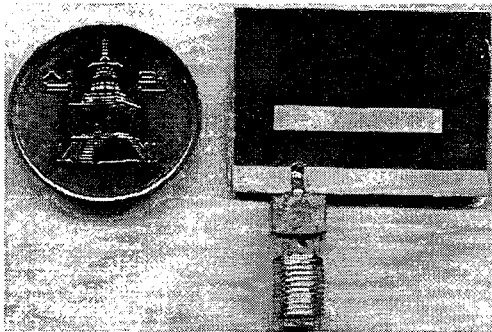


그림 8. 제작된 안테나사진

[그림 8]은 20×30[mm]의 직사각형 패치에 3.3×20.5 [mm]의 슬롯을 내고 off-line feeding 한 Offset Slotted Rectangular Microstrip Patch 안테나의 제작된 외형이며, 이 안테나에 대한 전기적 특성 측정결과는 [그림 9]와 [그림 10]과 같다.

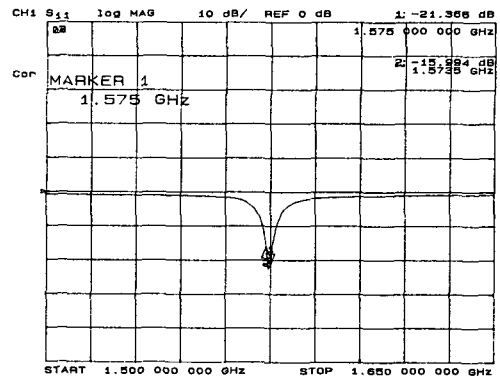


그림 9. 제작된 안테나의 삽입 손실

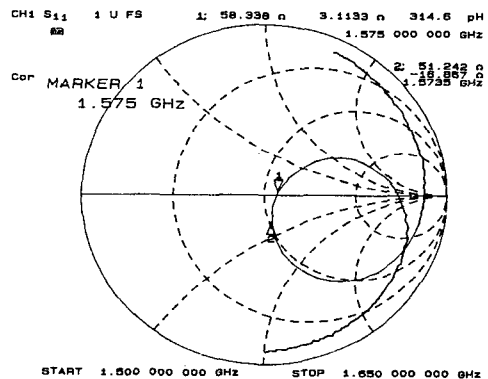


그림 10. 제작된 안테나의 입력 임피던스

측정 결과에서, 삽입 손실은 -22[dB]로 나타내고 있어 시뮬레이션 결과와는 약 2[dB]의 오차를 보였고, 안테나의 입력 임피던스는 1.575[GHz]에서 58.338 + j3.1133 [Ω]으로 주파수에서 13[MHz]정도의 오차와 임피던스에서 8.338+j3.1133[Ω]의 오차를 보였다.

IV. 결론

본 논문에서는 비유전율이 10.2, 두께가 50[mils] 인 Rogers 기판을 사용하여, 20×30[mm]의 직사각형 패치에 3.3×20.5[mm]의 슬롯을 내고 off-line feeding 한 Offset Slotted Rectangular Microstrip Patch 안테나를 해석하고 실험하였다.

이 안테나를 해석하기 위하여 Desegmentation 기법과 multi-port 회로로 모델링하는 방법을 이용하였다.

안테나의 방사패턴은 반 전력 빔 폭이 80°이므로 무지향성 특성을 나타내었고, 제작 실험결과 삽입손실은 -22[dB], 안테나의 입력임피던스는 1.575[Ω]에서 58.338+ j3.1133[Ω]으로 주파수에서 13[MHz]정도의 오차와 8.338 +j3.1133[Ω]의 임피던스 오차가 있음을 알 수 있었고, 우수 원형편파(RHCP)로 이득은 3.18[dB]를 나타내었다.

본 논문에서 제작된 안테나의 크기는 매우 작아서 GPS 안테나 또는 핸드폰에서 이용될 수 있을 것으로 생각되며, 이득을 약간 더 높인다면 충분히 실용화가 가능할 것으로 생각된다.

참고 문헌

[1] R. Waterhous, "Small microstrip patch antenna," *Electron. Lett.* Vol.3, pp.604-605, 1995.
 [2] T. Okoshi and T. Takeuchi, "Analysis of planar circuits by segmentation method," *Electronics and Communication in Japan*, Vol.58-B, pp. 71-79, 1975.
 [3] A. Benalla and K. C. Gupta, "Faster computation of Z-matrices for rectangular segments in planar microstrip circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory Tec.*, Vol.MTT-34, No.6, pp.733-736, June, 1986.
 [4] J. James, P. S. Hall, and C. Wood, *Microstrip Antenna Theory and Design*, London, U. K. : Peter Peregrinus, 1981.
 [5] K. C. Gupta et al., *Computer-Aided Design of Microwave Circuits*, Dedham, MA : Artech House, 1981.
 [6] P. C. Sharma and K. C. Gupta, " Desegmentation method for analysis of two-dimensional planar microwave circuit," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol.MTT-29, pp.1094-1098, Oct, 1981.

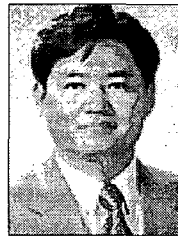
[7] J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of microstrip antennas*, Peter Peregrinus Ltd., 1989.

[8] C. A. Balanis, *Antenna Theory*, John Wily & Sons, New york, 1997.

저자 소개

박 병 우(Byoung-Woo Park)

정회원



- 1977년 2월 : 한양 대학교 전자공학과(공학사)
- 1983년 2월 : 한양 대학교 전자공학과(공학석사)
- 1991년 2월 : 한양 대학교 전자공학과(공학박사)

- 1984년 5월~1989년 2월 : 동양 전문대학교 교수
- 1989년 3월~현재 : 충북대학교 전자공학과 부교수 <관심분야> 안테나 설계 및 해석, 초고주파회로 설계

신 혜 정(Hye-Jung Shin)

정회원



- 1996년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2001년 2월 : 충북대학교 전자공학과(공학석사)
- 2001년 3월 : 충북대학교 전자공학과(박사과정)

- 2001년 3월~현재 : 두원공과대학 시간강사 <관심분야> 안테나 설계 및 초고주파회로 해석.

조 경 구(Kyung-Gu Cho)

준회원



- 2006년 2월 : 충북대학교 산업대학원(공학석사) <관심분야> 안테나 설계 및 해석