

논문 2008-5-7

이동 무선 통신을 위한 인쇄형 평면 안테나의 설계

Design of Printed Planar Antenna Suitable for
Mobile Wireless Communications

엄기홍*

Kee-Hong Um

요약 본 논문에서는 이동 무선 통신에 적합한 인쇄형 평면(printed planar) 안테나를 제안한다. 인쇄형 평면 안테나는 간단성, 낮은 가격, 가벼움 등으로 제작이 간단하기 때문에 통신 시스템에 널리 사용된다. 기존의 패치 안테나는 이동 수신자에게 적용하기 위해서는 너무 큰 표면의 사용이 요구된다. 인쇄형 평면 안테나를 사용하여 사이즈를 줄일 지라도 상당한 크기의 대역폭이 요구된다. 이러한 단점들을 해결하기 위해서는 기판의 두께는 커야하며, 기판의 유전 상수는 작아야 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 연구에서는 간단한 형태의 인쇄형 평면 안테나를 제안하고 안테나 크기와 동작 주파수에 의존하는 최적의 입력 임피던스를 보여준다. 제안된 인쇄형 평면 안테나의 성능평가는 프로토타입 안테나 모델을 사용하여 분석한다.

Abstract In this paper, we propose a printed planar antenna suitable for mobile wireless communications. Since the printed antenna is easy to fabricate due to simplicity, low cost, and light weight, it is widely used in communications systems. The conventional patch antenna takes too much surface area to be applied to a mobile receiver. Although the size is reduced using the printed antenna, still reasonably wide bandwidth should be considered. To overcome the disadvantage of narrow bandwidth, the substrate should be physically thick and the dielectric constant should be small. In this work, we suggest a simple form of printed planar antenna and show the optimal input impedance depending on the antenna size and operating frequency. The performance evaluation is achieved analytically for a prototype antenna model.

Key Words : 이동통신, 인쇄형 평면(Printed Planar) 안테나, 그린의 함수(Green's function), 임피던스

1. 서 론

지난 수년 동안 무선이동 통신 기술[1-5]은 그 용도와 기술이 급성장해 오고 있다. 기술의 급성장에 따라, 이동 통신 분야 에서 요구되는 기술은 성능이 우수하고, 데이터 비율, 영상, 해상도 등등의 우수함이 필요하도록 요구하고 있다. 이런 기술에서 안테나는 무선 통신에서 중요한 기술요인이 되고 있다. 특히 이동무선 통신에서 더욱 효율적인 기능을 요구하고 있다. 이 경우, 이동하기 위한 안테나는, 비용이 저렴할 뿐만 아니라, 크기가 작고, 무

게가 가볍다면 더욱 이상적인 것이 될 것이다. 최근 들어, 방사 특성을 개선하기 위한 인쇄형 안테나의 연구가 활발히 진행되고 있다. 인쇄형 안테나는 간단하고, 비용이 저렴하며, 무게가 가볍다는 장점이 있다. 마이크로 스트립의 경우, 기판의 두께를 증가시키고, 기판의 유전율을 증가시키면, 안테나의 대역폭이 증가한다[6]. 두께가 증가하면, 비용이 증가하며, 효율성이 저하된다. 따라서 마이크로스트립은 이동 통신에 사용될 경우, 부피가 커진다는 단점이 있다. 본 논문에서는 무선이동통신[1-5]에 적합한 간단한 형태의 인쇄형 평면 안테나를 제시하고, 크기와 동작 주파수에 따르는 최적의 입력 임피던스를 계산한다. 이러한 인쇄형 평면 안테나는 통신 및 마이크

*정회원: 한세대학교 IT 학부

접수일자: 2008.9.17, 수정완료일자: 2008.10.7

로과 분야에서 매력적이다. 휴대전화 또는 군사적으로 응용될 수도 있다. 몇 가지 장점으로, 크기가 작고, 가벼우며, 비용이 저렴하고, 다양한 모양, 구동의 용이성 등을 들 수 있으며, 제작이 용이하다.

II. 제안된 Printed Planar 안테나 모델

2.1 안테나의 형태와 설계

입력 단 전원의 주파수가 주어진 경우, 그리고 주변 매질 (예를 들어 자유공간)이 주어 진 경우, 안테나의 설계 파라미터는 폭 W [cm] 와 길이 L [cm] 이다. 안테나의 두께는 무시한다. 2 차원 평면에 분포하고 있는 전류의 형태는 특정한 것으로 가정한다. 안테나 입력단의 전력, 전계, 전류 밀도와 경계조건을 이용하여 입력 임피던스를 계산한다. 전류소에 의한 전계를 수학적으로 계산하기 위해 2 차원 스펙트럼 영역에서의 그린 함수를 이용하였다. 이를 위해 경계조건[7,8]을 이용한 Maxwell 방정식을 풀었다. 본 논문에서, 벡터 전계 포텐셜과 벡터 자기 포텐셜 [7,8] 을 이용하여 2 차원에서의 일반화된 스펙트럼 영역 그린함수를 유도 하였다. 입력 단 구동 장치로서, 동축 프로브, 직접형 마이크로스트립 급전선, 솔더 투루형(soldered through) 프로브 등이 있다. 구동 전압원이 안테나의 두 도체 판에 직접 연결되어 있다고 한다. 전송 안테나의 형태를 그림 1. 에 나타내었다. 단자, 전압원의 두 단자 A, B 가 2 차원 안테나 도체판에 연결되어 있어서 동작하고 있다.

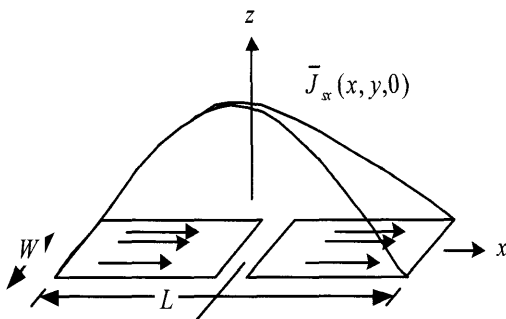


그림 1. 인쇄형 안테나의 형태
Fig 1. Geometry of Printed Antenna

입력 단에서 전압과 전류의 비를 안테나의 입력 임피

던스라고 정의한다. 그림 1 에서 안테나의 입력 임피던스를 편리하게 구하기 위해 그림 2 와 같이 xy -평면에 2 차원 안테나를 배치한다. 입력 단에 임펄스응답으로부터 임의의 입력에 의한 시스템 응답을 구할 수 있는 것과 마찬가지로, 그린 함수를 이용하여 안테나의 특성을 구할 수 있다. 그림 2 와 같이 안테나가 미분 전류소로 구성되어 있다고 가정한다. 두 금속판은 같은 크기의 같은 형태를 가지며, 둘을 합쳐서 표시한 하나의 금속판이 폭 W [cm] 와 길이 L [cm] 이라고 한다.

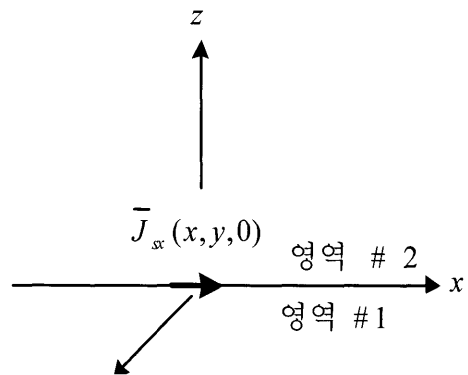


그림 2. 안테나의 표면에 분포하고 있는 전류의 형태
Fig 2. Differential current source

도체판에 분포하고 있는 전류분포는 그림 1과 같은 형태를 갖는다고 있다.

인쇄형 평면 안테나의 모양은 그림 1과 같다. 안테나는 xy -평면에서 두 개의 직사각형 도체판이다. 이 형태는 다른 안테나에 비해서 가장 간단한 형태의 안테나이다. 각 도체판은 길이가 $\frac{L}{2}$ [cm], 폭이 W [cm] 이다. 두 도체판 사이의 전기적인 간격은 좁기 때문에 무시한다. 따라서 x -방향의 안테나 길이는 L [cm], y -방향의 폭 W [cm] 이고, 동작 주파수는 f [GHz] 이다. 안테나를 해석하기 위하여, Green 함수의 개념을 이용한다. 미소 전류원이 그림 2 와 같이 원점에 놓여 있다. 아래 식 (1) 은 전류원의 Fourier 변환이다.

$$\vec{J}_{xx}(x, y) = \hat{x} e^{jk_x x} e^{jk_y y} \quad (1)$$

벡터 전기 포텐셜과 자기 포텐셜의 벡터 성분을 이용하여 Maxwell 방정식을 풀면, 2 차원 주파수 영역

Green 함수를 유도할 수 있다. 경계면 $z=0$ 에서 경계 조건을 적용하면, $\mathbf{E}_i(x,y,z)$ 와 $\mathbf{H}_i(x,y,z)$ 를 파동 상수 K_x, K_y , 및 K_z 로써 나타 낼 수가 있다. 여기서 $i=1, 2$ 인데, 1 은 영역 1, 2 는 영역 2 를 나타낸다. 이 결과를 안테나 (길이 L , 폭 W) 에 적용하면, 입력 임피던스를 계산할 수가 있다. 전류는 그림 1 과 같이, x -방향으로 분포한다고 하고 수식으로 나타내면 식 (2) 와 같다.

$$\bar{J}_{xx} = I_m \frac{1}{W} \frac{\text{Sin } k_0 \left(\frac{L}{2} - |x| \right)}{\text{Sin } k_0 \frac{L}{2}} \hat{x}, \quad |y| < \frac{W}{2} \quad (2)$$

여기서 $k_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} = \frac{2\pi}{\lambda_0} = 2\pi \frac{f}{c}$ 는

안테나가 놓여있는 자유공간의 전파상수이다. 이런 조건하에서, 입력임피던스 Z_{in} 을 2.2 절에서 구해 보기로 한다.

2.2 입력 임피던스의 계산

이 절에서는 안테나 파라미터(W 와 L)을 이용하여 안테나의 입력 임피던스를 구한다. 안테나의 입력단에서 입력 임피던스, 입력전압, 입력전류를 각각 Z_{in} , V_{in} , 및 I_{in} 이라 하면, 입력 단 에서 성립하는 전력은 식 (3)을 만족한다.

$$P_{in} = V_{in} I_{in}^* = Z_{in} |I_{in}|^2 = \iint_S -\bar{E} \cdot \mathbf{J}_{in}^* ds \quad (3)$$

이 식에서 사용된 입력 임피던스 Z_{in} 은 식 (4), (5) 를 역시 만족하고 있다.

$$-Z_{in} |I_{in}|^2 = \iint_{-\infty}^{\infty} \bar{E}_{xx}(x,y,0) * \bar{J}_{xx}(x,y,0) dx dy \quad (4)$$

$$= \iint_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{4\pi^2} \tilde{E}_{xx}(K_x, K_y, 0) * \tilde{J}_{xx}(-K_x, -K_y, 0) dK_x dK_y \quad (5)$$

여기서 $\tilde{E}_{xx}(K_x, K_y, 0)$ 와 $\tilde{J}_{xx}(-K_x, -K_y, 0)$ 는 각각 $\bar{E}_{xx}(x, y, 0)$ 와 $\bar{J}_{xx}(x, y, 0)$ 의 Fourier 변환이며, 식 (6), (7) 의 관계를 갖는다.

$$\tilde{E}_{xx}(K_x, K_y, 0) = \frac{-(K_0^2 - K_x^2)}{2K_z \omega \epsilon_0} \tilde{J}_{xx}(K_x, K_y, 0) \quad (6)$$

$$\tilde{J}_{xx}(K_x, K_y, 0) = \frac{I_m}{\sin \frac{K_0 L}{2}} \text{Sinc} \left(\frac{K_y W}{2} \right) \frac{2K_0}{K_0^2 - K_x^2} * \left(\cos \frac{K_x L}{2} - \cos \frac{K_0 L}{2} \right) \quad (7)$$

여기서 $\text{Sinc}(\cdot)$ 는 sinc 함수로서 $\frac{\text{Sin}(\cdot)}{(\cdot)}$ 로 정의한다. 식(5),(6), 및 (7) 에 의하여 입력 임피던스는 다음과 같이 정의한다.

(i) $K_0^2 > (K_x^2 + K_y^2)$ 인 경우, 식 (8) 을 얻는다.

$$Z_{in} = \frac{K_0^2}{\pi^2} \frac{1}{2\omega \epsilon_0} \frac{1}{\sin^2 \frac{K_0 L}{2}} \iint_{-\infty}^{\infty} * \frac{1}{\sqrt{K_0^2 - K_x^2 - K_y^2}} \text{Sinc}^2 \left(\frac{K_y W}{2} \right) * \frac{K_0^2}{K_0^2 - K_x^2} \left(\cos \frac{K_x L}{2} - \cos \frac{K_0 L}{2} \right)^2 dK_x dK_y \quad (8)$$

(ii) $K_0^2 < (K_x^2 + K_y^2)$ 인 경우, 식 (9)를 얻는다.

$$Z_{in} = \frac{K_0^2}{\pi^2} \frac{1}{2\omega \epsilon_0} \frac{1}{\sin^2 \frac{K_0 L}{2}} \iint_{-\infty}^{\infty} * \frac{1}{\sqrt{K_x^2 + K_y^2 - K_0^2}} \text{Sinc}^2 \left(\frac{K_y W}{2} \right) * \frac{K_0^2}{K_0^2 - K_x^2} \left(\cos \frac{K_x L}{2} - \cos \frac{K_0 L}{2} \right)^2 dK_x dK_y \quad (9)$$

식 (8), (9)로 표현되는 안테나의 입력 임피던스는, 적분값을 구하고 주파수, 안테나의 길이, 안테나의 폭의 함수로서 그래프를 그릴 수가 있다.

III. 성능평가

본 연구에서 제안한 인쇄형 평면 안테나의 성능평가를 위한 시나리오는 다음과 같다. 예를 들어 $W = 0.1 \text{ cm}$, $L = 10 \text{ cm}$ 인 크기를 갖는 안테나의 동작특성을 확인해 보기로 한다. 주파수 f [GHz] 와 길이 L [cm] 의 변동에 대하여, 입력 임피던스의 변동 이를 확인해 보았다. 식(8),(9)에서 표현된 함수의 값을 구하기 위해 10 차의 Legendre 다항식을 이용하는 Gauss 적분법의 수치해석을 이용하였다. 이를 바탕으로 스펙트럼 Green 함수를 이용하여 입력 임피던스를 계산하였다.

3.1 주파수의 변화에 따르는 입력 임피던스, 입력저항 및 입력 리액턴스의 계산

그림 3, 그림 4 및 그림 5 는 주파수 변화에 따른 입력 임피던스, 입력저항 및 입력 리액턴스 변화를 각각 보여 주고 있다. 그림 3-그림5에서 보는 것처럼 주파수의 변화에 따르는 입력 임피던스, 입력저항 및 리액턴스의 계산 값들은 주파수 $f = 6.004 \text{ GHz}$ 일 때, 최대값 $4.63272 \times 10^{11} [\Omega]$ 을 나타내었다. 안테나는 최적의 동작을 하고 있음을 말해 준다.

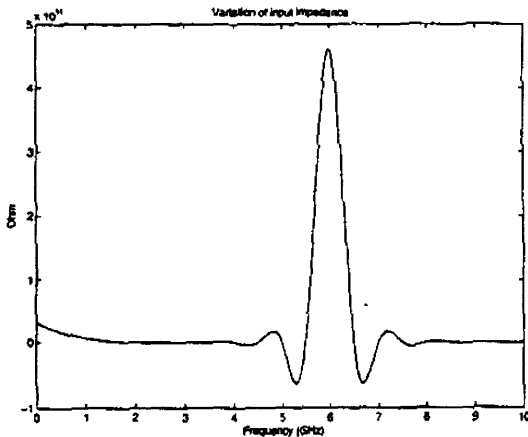


그림 3. 주파수 함수로서의 입력 임피던스의 변화
Fig. 3 Variation of Input Impedance as a function of frequency

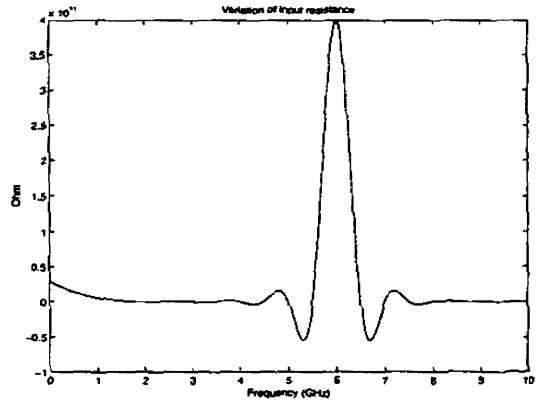


그림 4. 주파수 함수로서의 입력 저항의 변화
Fig. 4 Variation of Input Resistance as a function of frequency

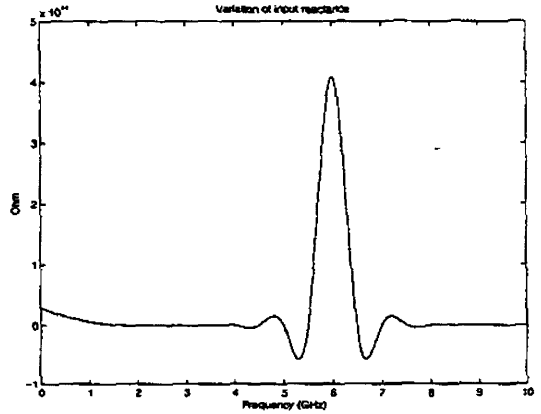


그림 5. 주파수 함수로서의 입력 리액턴스의 변화
Fig. 5 Variation of Input Reactance as a function of frequency

3.2 길이의 변화에 따르는 입력임피던스의 계산

그림 6에서 보는 것처럼 주파수를 $f = 3 \text{ GHz}$ 로 일정하게 고정시켜 놓고, 길이가 $L = 9.99 \text{ cm}$ 일 때, 입력 임피던스는 최대값 $2.20722 \times 10^9 [\Omega]$ 을 나타내었다. 안테나는 최적의 동작을 하고 있음을 말해 준다. 길이가 $L = 4.68001 \text{ cm}$ 일 때 까지, 입력 임피던스는 단조 감소하는 특성을 보여 주었다. 길이가 점차 증가함에 따라 입력임피던스는 증가하다가 다시 감소하는 주기 함수와 흡사한 특성을 나타낸다[9,10]. 그러나 $L \gg W$ 인 경우, 인쇄형 안테나는 선형안테나의 특성을 나타내게 된다.

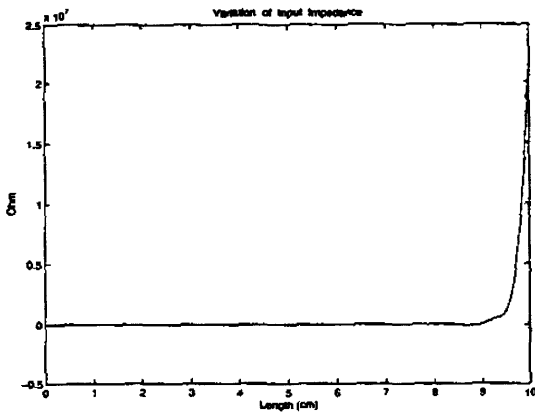


그림 6. 길이의 함수로서의 입력 임피던스의 변화
 Fig. 6 Variation of Input Impedance as a function of length

IV. 결론

본 논문에서 이동 무선 통신에 적합하다고 판단되는 간단한 형태의 인쇄형 평면 안테나를 제안하였다. 특정한 크기의 프로토타입 모델 안테나를 예로 들어서 성능 평가를 실시하였다.

모델의 형태와 입력 전압의 형태를 독립 변수로 선택하고 이에 따르는 입력임피던스의 변동 추세를 확인하였다. 모델의 형태 또는 전압의 형태를 변형하면 평면에 분포하는 전류의 분포량이 변동하게 되어 공간으로 복사되는 전력의 양이 변하게 되므로 이에 따라 안테나의 입력임피던스 역시 이에 따라 변동한다. 우선 안테나 입력단에 인가되는 입력 전압은 교류전압인 바, 교류의 주파수를 변동할 때 특정 주파수에서 입력임피던스가 최대 크기를 나타냄을 확인하였다. 또 한편으로, 일정한 입력 신호의 주파수에 대하여 안테나의 길이를 변동 시킬 경우, 특정한 길이가 될 때, 특정 길이에서 입력임피던스가 최대 크기를 나타냄을 확인하였다. 특정 폭에 대해서 해석함은 특정 길이에 대해서 해석하는 것과 의미가 중복되므로 해석을 생략하였다. 길이를 증가 시킬 때 안테나의 특성은 크기의 종횡비(aspect ratio)에 의존하며, 길이가 길어지면 직선형 안테나의 특성을 나타내게 된다.

성능평가 결과 제안된 모델은 안테나의 전기적인 크기와 입력 신호에 따라 편리하게 사용자가 조절할 수 있는 큰 입력 임피던스를 가진 우수한 성능을 보여 주었으며, 동작특성이 이론에 합치함을 증명하였다. 따라서, 제

안된 모델은 차세대 이동통신에 많은 응용이 가능 하리라고 판단된다.

참고문헌

- [1] Shingi Ohmori, Yasushi Yamao and Nobuo Nakajima, "The Future Generation of Mobile Communications Based on Broadband Access Technologies," IEEE Communications Magazine, December 2000.
- [2] J.E. Padget, C. G. Gunther, and T. Hattori, "Overview of wireless personal communications," IEEE Communications Magazine, vol.33, pp.28-41, January 1995.
- [3] R.Pandya, "Emerging mobile and personal communication systems," IEEE Communications Magazine, vol.33, pp.44-52, June 1995.
- [4] T. S. Rappaport, "Wireless personal communications: Trends and Challenges," IEEE Antenna Propagation Magazine, vol.33, pp.19-29, October 1991.
- [5] J.S. Dasilva, B.Barni, and B.A. Fernandez, "European mobile communications on the move," IEEE Communications Magazine, vol. 34, pp.60-69, February 1996.
- [6] Keehong Um, Beongku An, "Design of Rectangular Printed Planar Antenna via Input Impedance for supporting Mobile Wireless Communications," IEEE, Conference VTC 2002, pp.948-951.
- [7] Kathehi and N.G. Alexopoulos, "On the Effect of Substrate Thickness and Permittivity on Printed Circuit Dipole Properties," IEEE Trans. Antennas Propagation, Vol. AP-31, pp.34-39, Jan 1983.
- [8] N. K. Das and D. M. Pozar, "A Generalized Spectral-Domain Green's Function for Multilayer Dielectric Substrate with Applications to Multilayer Transmission Lines," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol 35, pp. 326-335, Mar. 1987.

[9] Clayton R. Paul, Keith W. Whites, Syed A. Nasar, "Introduction to Electromagnetic Fields, 3/e," New York: McGraw-Hill, 1988

[10] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory, Analysis and Design," 2/e Wiley 1997, Ch.4 and Ch.8.

※ **Acknowledgement** : This work was supported by the Korea Science and Engineering Foundation Grant (KOSEF-R01-2007-000-20400-0)

저자 소개

엄 기 홍(정회원)



- 1981년 한양대학교 전자공학과(BS)
- 1991년 (미)Polytechnic University, Dept. of Electrical & Computer Engineering (MS)
- 2003년 (미)New Jersey Institute of Technology (NJIT), Dept. of Electrical & Computer Engineering (Ph.D)

- 1998년-2003년 TA, RA Lecturer
- 2003-2004년 NJIT 겸임교수(Adjunct)
- 2004-2007년 강남대, 상명대, 한양대 강사
- 2007년 - 현재 한세대학교 IT 학부 교수

<주관심분야 : 안테나, 마이크로파>