

정규논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제19권 제6호, 2014년 11월 (JBE Vol. 19, No. 6, November 2014)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2014.19.6.934>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

소형 미앤더 2-층 모노폴 안테나의 특성분석

장용웅^{a)‡}, 이상우^{b)}, 신호섭^{c)}

The Characteristics Analysis of Low Profile Meander 2-Layer Monopole Antenna

Yong-Woong Jang^{a)‡}, Sang-Woo Lee^{b)}, Ho-Sub Shin^{c)}

요 약

본 논문에서는 FDTD법을 이용하여 크기가 작은 RFID 판독용 2-층 미앤더 내장형 안테나를 나타낸다. FDTD 법으로 얻은 시간영역의 결과를 Fourier 변환하여 최적화된 입력 임피던스, 전반사손실, 정재파비를 주파수 영역에서 계산하였다. 안테나의 최대 대역폭은 $S_{11} \leq -10\text{dB}$ 에서 0.895~0.93 GHz의 주파수 특성을 보였다. 제안된 소형 내장형 안테나의 측정된 이득은 2.3dBi이며, 상대적으로 높은 이득과 광 대역 특성을 제공할 수 있다. 안테나의 반사손실과 이득에 대한 실험데이터도 나타내었으며, FDTD 결과와 비교적 잘 일치하는 특성을 보였다. 이 안테나는 이동통신 분야, 에너지 분야, RFID(Radio Frequency Identification), 가정 네트워크, 방송용, 그리고 다른 이동용 소형 시스템에 적용할 수 있다.

Abstract

In this paper, we present a low profile 2-layered meander built-in monopole antenna for portable RFID reader using FDTD(Finite Difference Time Domain) method. The input impedance, return loss, and VSWR in the frequency domain are calculated by Fourier transforming the time domain results. The double meander 2-layer structure is used to enhance the impedance matching and increase the antenna gain. The measured bandwidth of the antenna is 0.895 GHz ~ 0.930 GHz for a S_{11} of less than -10dB. The measured peak gain of proposed low profile RFID built-in antenna is 2.3 dBi. And the proposed built-in antenna for portable RFID reader can offers relatively wide-bandwidth and high-gain characteristics, in respectively. Experimental data for the return loss and the gain of the antenna are also presented, and they are relatively in good agreement with the FDTD results. This antenna can be also applied to mobile communication field, energy fields, RFID, and home-network operations, broadcasting, and other low profile mobile systems.

Keywords : Monopole antenna, FDTD, RFID

a) 강동대학교 신재생에너지과 (Dept. of New&Renewable Energy, Gangdong University)

b) (주) 에이스테크놀로지 안테나개발실 (Antenna Development, ACE Tech. Ltd.)

c) 군산대학교 전파공학과 (Dept. of Electric Wave Eng., Kunsan National University)

‡ Corresponding Author : 장용웅 (Yong-Woong Jang)

E-mail: ywjang@gandong.ac.kr

Tel: +82-43-879-3362

· Manuscript received September 26, 2014 Revised November 14, 2014 Accepted November 14, 2014

I. 서론

모노폴 안테나는 이동통신용 안테나로 사용되고 있다. 모노폴 안테나는 매우 단순하고 유효한 방사소자 이다^[1]. 간단한 휩 안테나와 모노폴 안테나는 이동 핸드셋, 리프트 응용에 사용하기에 매력적인 특성으로, 등가적인 디아폴 설계^[2]에 대해 2:1로 크기를 줄일 수 있다. 그러나 이 안테나는 제한적인 대역폭 특성과 왜곡된 복사패턴 특성의 문제점을 가지고 있다. 이 좁은 주파수 대역폭은 보다 폭 넓게 응용하는데 주요한 장애물이 되고 있다.

집약적인 모노폴 안테나에서 이중-대역 동작을 위해, 굵은 포크-형 모노폴^[3], 또는 랩어라운드 구조에서의 평판형^[4] 같은 구조가 이동통신용 응용에 연구되었다. 여기서 주목되는 것은 단일-대역, 또는 이중-대역 동작을 위해서 기존에 압축 안테나들은 프로브-급전이나 마이크로스트립-급전을 사용하였다^[3]. 논문 [5]에서는 단일 유전에 기판위에 구불구불한 유도라인으로 프린팅하므로 모노폴 안테나의 크기를 줄이는데 사용되었으나, 주파수 대역이 좁고, 안테나 이득도 1.2 dBi로 낮은 특성을 보였다^[5]. 비균일하고 음영점의 복사패턴은 비균일과 음영점 특성을 보였다. 작은 크기의 안테나에서 낮은 이득과 낮은 대역폭 특성은 내장형 RFID 이동장치 응용이나 다른 시스템에서 사용하는데 중요한 장애물이 되고 있다.

본 논문에서에서는 안테나 크기는 작지만, 대역폭을 개선하고, 안테나 이득이 상대적으로 높은 RFID 관독용 2-층 미앤더 내장형 안테나를 제안하여 FDTD법으로 안테나의 특성들을 계산 및 분석하였다. FDTD 법으로 얻은 시간영역의 결과를 Fourier 변환하여 최적화된 입력 임피던스, 전 반사손실, 정재파비를 주파수 영역에서 계산하였다. 그리고 최적화된 설계값을 가지고 안테나를 제작한 후, 측정하였으며, 실험치와 이론치를 비교 및 분석하였다.

II. FDTD 해석 이론

FDTD 방법^[7]을 사용한 Maxwell의 편미분 방정식의 근사식에서 발생하는 오차는 시간과 공간에 모두 2차이며

$\Delta x = \Delta y = \Delta z = \Delta l$ 이고, Δt 가 Δl 에 비례한다면, 전체 오차는 $O(\Delta l^2)$ 이 된다. 시간과 공간 도함수에 대하여 중심차분으로 근사화하고, 단위 격자 상의 y 방향에 대한 전기장 E 와 자기장 H 를 유한차분 방정식 형태로 나타낸다. 또한 y -, z - 성분에 대한 유한차분 방정식은 동일한 방법으로 쉽게 구할 수 있다. 이와 같은 방법에 의한 임의 격자점에서 새로운 전기장 벡터 성분은, 단지 동일한 격자점에서 반 시간스텝전의 다른 전·자기 성분 값으로 구할 수 있다.

시·공간분할 알고리즘이 갖는 안정조건은 시간 간격(Δt)과 공간 분할 ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$)에 대한 관계식에 의해서 결정된다^{[8],[9]}. 시간 영역 유한차분법에 의한 마이크로스트립 안테나의 해석에 있어서 넓은 주파수 대역의 응답 특성을 얻기 위해서는 광대역 주파수 스펙트럼을 포함하는 Gaussian 펄스를 선택한다. 해석 대상에서 y 방향으로 진행하는 이상적인 Gaussian 펄스를 인가하였다^[9].

위의 관계식과 같이 공간에 대한 설정은 해의 안정성을 보장받기 위해서는 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

$$(\Delta x, \Delta y, \Delta z) \leq \frac{\lambda}{10} \quad (1)$$

여기서, λ 는 적용 대상 주파수중 가장 높은 주파수의 파장이다. 즉, 가장 짧은 파장의 1/10 보다 작도록 선정한다. 공간분할 간격 Δx 는 해석 대상영역내의 가장 미세한 구조까지 나타낼 수 있도록 작아야 하고, 시간분할 간격 Δt 는 안정조건이 충족될 정도로 미세하여야 한다. 마이크로스트립 안테나와 같은 구조는 전기, 자기 성분을 무한 경계영역까지 계산해야 하는 개방구조이다. 이와 같은 개방구조에 대한 FDTD 해석은 컴퓨터 처리속도와 기억용량의 한정 때문에 해석 대상영역을 제한하고, 제한영역에 구조와 동일하도록 흡수경계조건을 부여한 계산영역의 경계면에서 전자파의 반사가 일어나지 않도록 한다. 마이크로스트립 안테나 구조의 해석에서 Mur의 흡수경계조건을 적용한다.

시간영역 유한차분법에 의해 계산된 시간영역에서의 계산값은 Fourier 변환에 의한 주파수 영역의 응답을 구할 수

있다. 마이크로스트립 안테나의 산란 계수는 마이크로스트립 급전선로가 개방종단으로 되어 있으므로 1 port 회로가 되며, 이때 반사 계수 S_{11} 은^[9]

$$S_{11}(W) = \frac{\mathcal{F}[V^i(t)]}{\mathcal{F}[V^r(t)]} \quad (2)$$

이다. 여기서 $V_j(t)$ 는 기준점에서 반사전압을 나타내며, $V_i(t)$ 는 기준점에서 입사전압을 나타낸다. \mathcal{F} 는 Fourier 변환을 나타낸다. 안테나의 입력 임피던스는 기준점에서의 산란 계수 계산 결과를 마이크로스트립 안테나 급전 종단에 변환시킴으로 구할 수 있다.

$$Z_i = Z_0 \frac{1 + S_{11}e^{-j2kl}}{1 - S_{11}e^{-j2kl}} \quad (3)$$

여기서, Z_0 는 급전 선로의 특성 임피던스(50 Ω), k 는 파수(wave number : $2\pi/\lambda_g$), l 은 급전선로 종단으로부터 기준점까지의 길이를 나타낸다.

계산된 반사계수로부터 전압 정재파비(VSWR : Voltage Standing Wave Ratio)는 다음과 같이 구해진다.

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + |S_{11}(\omega)|}{1 - |S_{11}(\omega)|} \quad (4)$$

원거리에서 전·자계 계산을 위한 좌표계는 그림 1과 같고, 전·자계 성분 중 단지 θ, ϕ 성분이 지배적이므로 r 성분은 무시할 수 있다. 따라서, 원거리에서 총 전자계 E, H 는 다음과 같이 나타낼 수 있다^[10].

$$E_\theta \simeq -\frac{jke^{-jkr}}{4\pi r} (L_\psi + nN_\theta) \quad (5)$$

$$H_\psi \simeq -\frac{jke^{-jkr}}{4\pi r} (N_\theta + \frac{L_\psi}{n}) \quad (6)$$

여기서, N_θ, N_ψ 는 전계 복사벡터 및 L_θ, L_ψ 는 자계 복사벡터 L_θ, L_ψ 이며, n 는 효율을 의미한다.

III. 시뮬레이션 및 최적화 설계

1. 안테나 구조 및 FDTD 적용

제안된 안테나(그림 1)는 FDTD 방법을 사용하여 분석

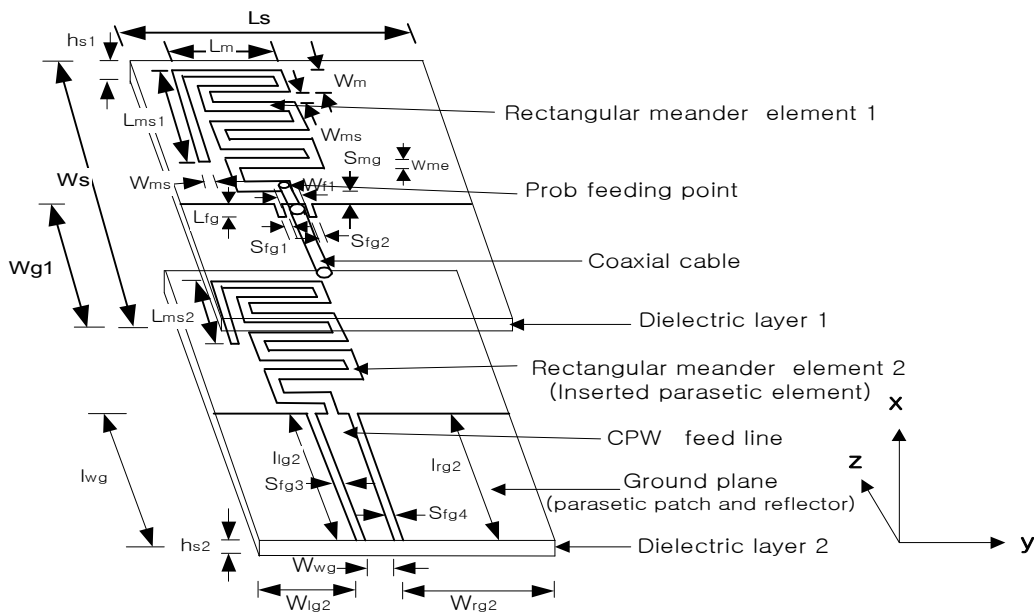


그림 1. 안테나의 구조와 설계 변수
Fig. 1. Structure and design parameters of antenna

되었으며, 제안된 프로브-급전 2-층 미앤더 안테나는 2-층 유전체 기판위에서 만들어 졌으며, 안테나의 크기를 줄이면서 동시에 안테나 이득을 개선하게 하였다. 이 안테나는 비교적 간단한 과정으로 만들 수 있다. 이 안테나는 상단측 미앤더 요소와 후면측 미앤더 요소, 접지면, 그리고 N-형 컨넥터가 부착된 50Ω 동축 케이블로 구성하였다. 상단 유전체 층은 프로브 급전인 전면(상단) 직사각형 미앤더 요소와 CPW 급전인 후면 직사각형 미앤더 요소 사이에 놓이며, 이 구조는 결합요소(Coupling factor)를 개선시킨다. 여기서 2개층의 유전체기판은 유전체 두께 1.6mm, 유전율

4.3인 FR-4 기판으로 각각 만들었으며, 50Ω 동축 케이블은 상단 PCB 위에 직사각형 미앤더 요소의 모서리에 있는 마이크로스트립 급전선에 부착된다. 미앤더 요소에 CPW-급전은 2번째 유전체기판 위에 위치한다. 그리고 CPW-급전 이앤더 요소는 대역폭과 안테나 이득을 개선하는 공진 기생적인 요소로 작용한다. 여기서 W_s , l_s 는 기판의 폭과 길이이며, W_m , l_m 은 직사각형 미앤더의 폭과 길이이다. W_{ms1} , l_{ms1} 은 미앤더 스텔브 1의 길이와 폭이며, W_{ms2} , l_{ms2} 은 미앤더 스텔브 2의 길이와 폭이다. W_{me} , l_{me} 는 중앙의 미앤더 요소의 폭과 길이이다. W_{ms} 는 한

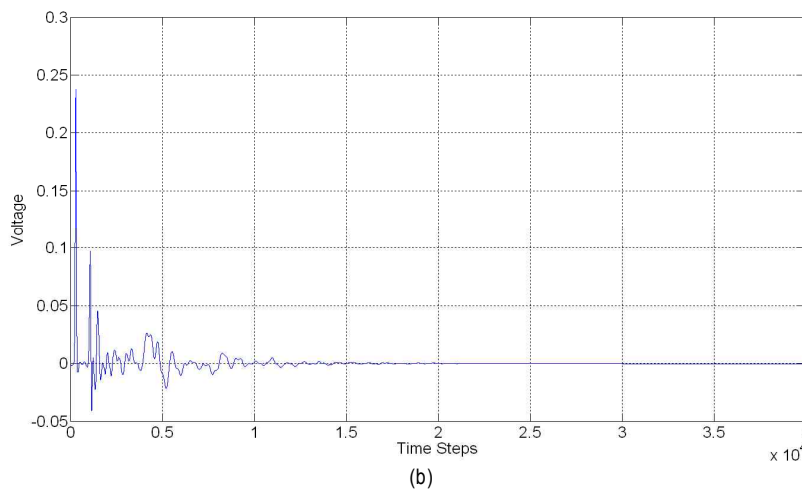
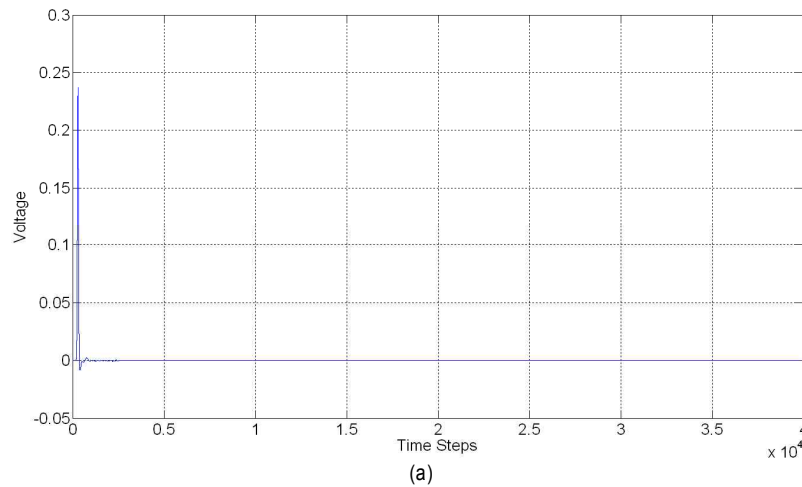


그림 2. 시간 스텝에서 (a) 입력 펄스와 (b) 반사펄스
 Fig. 2. (a) input pulse and (b) reflected pulse on the time steps

미앤더와 다른 미앤더 요소사이에 간격이다. Smg는 미앤더 요소의 모서리와 접지 가장자리 사이에 간격이다. lwg, Wwg는 도파관 급전선의 길이와 폭이다. llg2, Wlg2는 왼쪽 접지면 2의 길이와 폭이다. lrg2, Wrg2는 오른쪽 접지면의 길이와 폭이다. hs1, hs2는 상단과 하단 기판의 높이이다. 상단 유전체 층과 하단 유전체 층사이에 미앤더 요소와 CPW는 기생소자와 반사판으로 작용하여 대역폭을 넓히며, 안테나 이득을 높이는 역할을 한다. 시간 스텝은 0.44[ps], 가우시안 half-width는 20[ps]이다. 그림 1의 안테나를 FDTD 방법으로 3차원 공간에서 해석하였으며, 해석에 사용한 기판은 FR-4 기판(1.6mm)을 대상으로 시뮬레이션하였다. 여기서 사용한 공간분할 간격은 $\Delta x=0.2$ mm, $\Delta y=0.25$ mm, $\Delta z=0.25$ mm이고, 해석공간은 x, y, z 방향으로 각각 $56 \times 203 \times 305$ 개의 격자로 구성하였다. FDTD 방법을 적용한 안테나 크기는 다음과 같다. $W_s=203 \Delta y$, $l_s=305 \Delta z$, $W_m=72 \Delta y$, $l_m=24 \Delta z$, $W_{ms1}=74 \Delta z$, $l_{ms1}=8 \Delta z$, $S_{mg}=8 \Delta z$, $h_{s1}=h_{s2}=8 \Delta x$, $W_f=8 \Delta y$, $L_f=8 \Delta z$, $l_{wg}=180 \Delta z$, $W_{wg}=26 \Delta y$, $l_{lg2}=l_{rg2}=180 \Delta z$, $W_{lg2}=57 \Delta y$,

$$W_{rg2}=116 \Delta y, S_{fg1}=S_{fg2}=S_{fg3}=S_{fg4}=2 \Delta y.$$

그림 2는 안테나 상에서 펄스가 시간에 따라 진행되는 펄스이며, (a)입력펄스와 (b) 반사펄스를 각각 나타내었다. 그림 3은 안테나의 안정된 상태에 도달되는 시간축 상에서 전계의 Ez-성분을 3차원적으로 나타낸 것이다.

최적화된 안테나 설계 파라메타 값은 $l_s=50$ mm, $W_s=32$ mm, $\epsilon_r=2.2$, $h=1.578$ mm, $W_f=4.796$ mm, $l_d=23$ mm, $l_u=10$ mm, $offset1=10$ mm, $offset2=5.0$ mm, $offset3=7.0$ mm이었으며, 3중 공진이 발생하였으며, 정재파비 2.0 이하에서 사용 가능한 주파수 영역은 1.850GHz~6.150 GHz이며, 사용 가능한 대역폭 4.3GHz로 초광대역 특성을 보였다.

IV. 실험 결과 및 분석

제작에 사용한 기판은 FR-4 기판을 사용하였으며, 그림 4에 나타내었다. 이 안테나의 측정은 HP8510B 네트워크 분석기를 사용하여 실험하였다. 그림 5는 실험을 통해 안

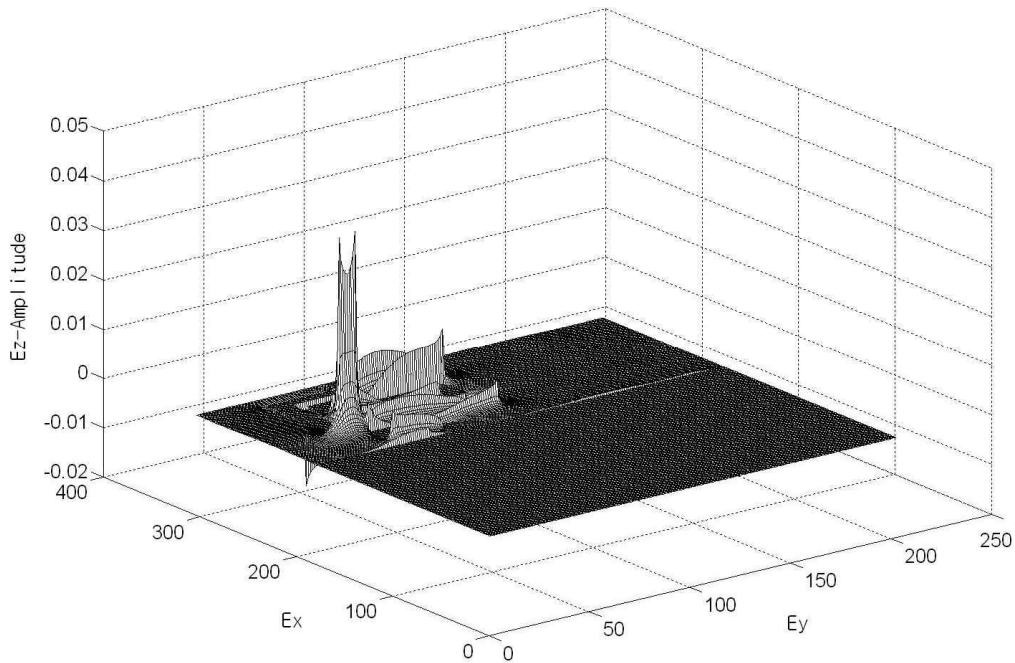


그림 3. 3차원적인 Ex-요소(time steps=2600 Δt)
 Fig. 3. The 3-dimensional Ex-component(time steps=2600 Δt)



그림 4. 제작된 안테나 사진
 Fig. 4. Photo of fabricated antenna

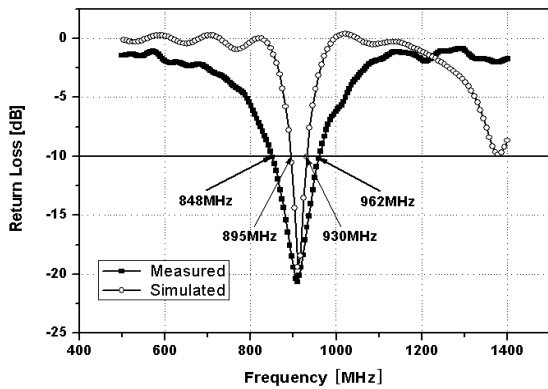


그림 5. 반사손실
 Fig. 5. Return loss

테나의 반사손실 값을 계산치와 측정치를 나타낸 것으로서, 측정치는 반사손실치 -10dB 이하에서 사용 가능한 대역폭은 0.895 GHz ~ 0.930 GHz이며, 측정치는 계산치의 동진 특성은 비교적 잘 일치하였으나, 측정치 대역폭이 계산치 대역폭보다 조금 더 넓은 특성을 보인 것은 안테나와 급전선에 임피던스 정합이 비교적 잘 되었으며, 2개의 FR-4 유전체에서 커플링 효과에 의해서 더 넓은 대역폭 특

성을 얻게 된 것으로 사료된다. 이 안테나는 RFID, 이동통신, 그리고 GSM 주파수 영역에서 소형 안테나로 사용가능하리라 판단된다.

제안된 안테나의 x-z 면 복사패턴은 쌍 원추형 복사패턴이며 그림 6에 나타내었으며, 안테나의 x-y 면 복사패턴은 찌금러짐이나 왜곡이 거의 없는 전방향성 특성을 보이며, 그림 7에 나타내었다.

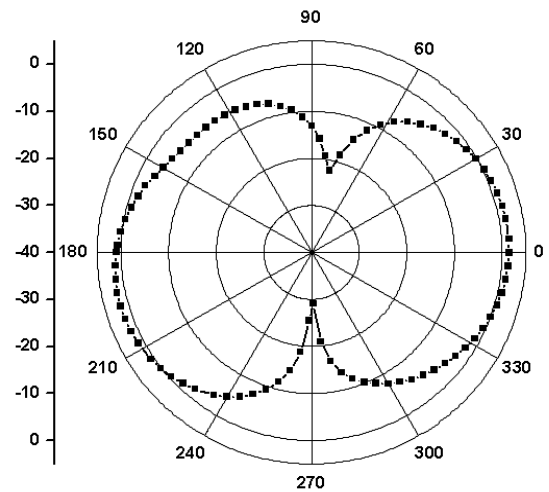


그림 6. 측정된 E-평면 복사패턴
 Fig. 6. Measured radiation pattern in E-plane

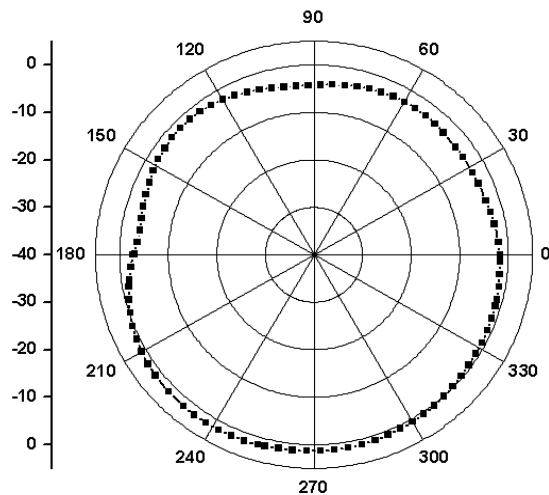


그림 7. 측정된 H-평면 복사패턴
 Fig. 7. Measured radiation pattern in H-plane

RFID, 이동통신, 그리고 GSM 주파수 영역에 대한 측정 이득은 그림 8에 나타내었으며, 이득은 대역 대부분에서 비교적 고 이득 특성이다. 제안된 소형 안테나의 점두치 이득의 실험치는 2.3dBi이며, 소형이며, 내장형 안테나로서는 아주 높은 이득 특성을 보인 것이다.

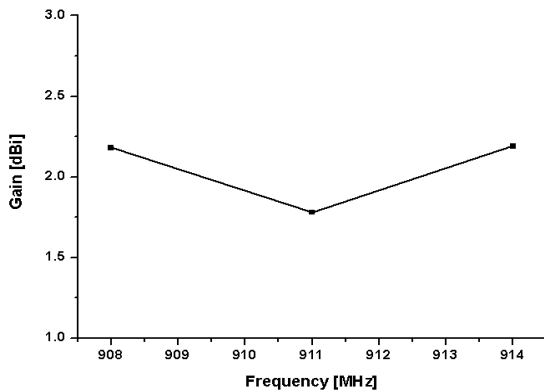


그림 8. 측정된 안테나 이득
Fig. 8 Measured antenna gain

V. 결 론

본 논문에서에서는 FDTD법을 이용하여 크기가 작은 RFID 관독용 2-층 미앤다 내장형 안테나를 해석 및 분석하였다. FDTD 법으로 얻은 시간영역의 결과를 Fourier 변환하여 최적화된 입력 임피던스, 전반사손실, 정재파비를 주파수 영역에서 계산하였으며, 안테나의 최대 대역폭은 $S_{11} \leq -10\text{dB}$ 에서 0.895~0.93 GHz의 주파수 특성을 보였다. 제안된 소형 내장형 안테나의 측정된 이득은 2.3dBi이며,

소형 내장형 안테나로서 상대적으로 높은 이득과 광 대역 특성을 보였다. 본 안테나의 반사손실과 이득에 대한 실험치도 나타내었으며, FDTD 결과와 비교적 잘 일치하는 특성을 보였다. 이 안테나는 이동통신분야, 에너지 분야, 가정 네트워크, 방송용, 그리고 다른 이동용 소형 통신시스템에 적용 가능하리라 판단된다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] M.W. Melvin, P.C. Ctephen, C.L. Cho, J.W. Warren, Monopole elements on circular ground plane, Boston, MA: Artech House, 1987.
- [2] J. Mcclean, h. Foltz, and G. Crook, Broadband, robust, low-profile monopole incorporating to loading, dielectric loading, and a distributed capacitive feed mechanism, IEEE Antenna and Propagation Soc., 1562-1565, 1999.
- [3] H.-C. Go, Y.-W. Jang, Multi-band modified fork-shaped microstrip monopole antenna with ground plane including dual-triangle portion, Electronics Letters Vol.40, 575-577, 2004.
- [4] F.S.Chang, S.H.Yeh, and K.L. Wong, Planar monopole in wrapped structure for low profile GSM/DCS mobile phone antenna, Electronics Letters Vol.38, 499-500, 2002.
- [5] H.D. Chen, Compact CPW-fed dual-frequency monopole antenna, Electronics Letters 38, 1622-1624, 2002.
- [6] K.S. Yee, Numerical solution of initial boundary-value problems involving Maxwell's equations in isotropic media, IEEE Trans. Antennas and Propagat. Vol.14, 302-307, 1966.
- [7] G. Mur, Absorbing boundary conditions for the finite-difference approximation of the time-domain electromagnetic-field equation, IEEE Trans., Electromag. Compat. Vol.23, 377-382, 1981.
- [8] D. M. Sheen, S. M. Ali, M. D. Abouzahra and J. A. Kong, Application of three-dimensional finite-difference time domain method to the analysis of planar microstrip circuits, IEEE Trans. Microwave Theory and Tech. Vol.38, 849-857, 1990.
- [9] A. Taflove and M. E. Brodwin, Numerical solution of steady-state electromagnetic scattering problems using the time-dependent Maxwell's equations, IEEE Trans. Microwave Theory Tech. Vol.23, 623-630, 1975.

저 자 소 개



장 용 웅

- 1989년 2월 : 명지대학교 전자공학과 (학사)
- 1991년 8월 : 명지대학교 전자공학과 (석사)
- 1999년 2월 : 아주대학교 전자공학과 (박사)
- 2003년 1월 : ETRI Journal 최우수논문상 수상
- 1994년 3월 ~ 현재 : 강릉대학교 신재생에너지과 교수
- 주관심분야 : 안테나, 무선통신, 광전자, 태양전지 등



이 상 우

- 2003년 2월 : 목포해양대학교 전파공학과 (공학사)
- 2007년 2월 : 목포해양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
- 2003년 1월 ~ 2010년 1월 : (주)한국안테나 중앙연구소 선임연구원
- 2010년 1월 ~ 현재 : (주)에이스테크놀로지 안테나개발실 책임연구원
- 주관심분야 : 안테나 및 초고주파 회로설계, 전자파 수치해석



신 호 섭

- 1995년 : 충북대학교 정보통신공학과 학사
- 1998년 : 충북대학교 정보통신공학과 석사
- 2003년 : 충북대학교 정보통신공학과 박사
- 2002년 ~ 2004년 : 국제전자정밀 중앙연구소 연구원
- 2004년 ~ 2005년 : 충북대학교 기초과학연구소 전임연구원
- 2005년 ~ 2005년 : 충북테크노파크 전략산업기획단 선임연구원
- 2005년 ~ 현재 : 군산대학교 전파공학과 부교수
- 주관심분야 : 전자파 수치해석, 안테나, 무선통신, 전자파 생체영향