

# 다이폴형 방사 패턴을 갖는 4소자 L-슬롯 배열 모노폴 안테나

## Four-Elements L-Shaped Slot Array Monopole Antenna with Dipole-like Radiation Pattern

남 성 수 · 이 흥 민

Sung-Soo Nam · Hong-Min Lee

### 요 약

본 논문에서는 다이폴형 방사 패턴을 나타내며, 저자세를 갖는 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는  $0.43 \lambda_g$  길이의 L형 슬롯 소자를 기본으로 하여 4개의 슬롯 소자 배열로 평면형 모노폴 안테나의 기저단이 정합 구성되었다. 제안된 안테나는 수평면 내에서 무지향성 방사 패턴을 나타내며, 브로드 사이드 방향에서는 영점을 갖는다. 설계에서 커패시턴스 소자로 동작되는 소형 모노폴 안테나를 4개의 L형 슬롯에 의하여 일부분이 제거 되어진 접지 면과 결합시켰다. 그 결과 이들 구조들은 방사를 위한 LC 공진기로 동작하게 된다. 제안된 안테나의 실제 측정 결과, 임피던스 대역폭(VSWR $\leq 2$ )은 60 MHz(2.35~2.41 GHz)로 나타났으며, 동작 중심 주파수 2.38 GHz에서 최대 이득과 방사 효율은 각각 0.02 dBi, 56.7 %로 나타났다. 제안된 안테나는 무선 랜 액세스 포인트 시스템에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

### Abstract

In this paper, an antenna which has dipole-like radiation pattern and low profile is proposed. The antenna is composed of four elements slot array based on L-shaped  $0.43 \lambda_g$  slot element. It presents a omni-directional radiation pattern in the azimuth plane and has a null toward broad-side direction. In the design, a small mono-pole antenna which acts as a large capacitance element, combined with the partially removed ground plane by four L-shaped slots. As a result, these structure act as a LC resonator for radiation. The measured result shows, the impedance bandwidth(VSWR $\leq 2$ ) of the proposed antenna is 60 MHz(2.35~2.41 GHz). The measured maximum radiation gain and efficiency of proposed antenna is 0.02 dBi, 56.7 % at center frequency 2.38 GHz, respectively. The proposed antenna can be applied to wireless lan access point system.

Key words : Slot Antenna, Inductive Loading, Low Profile Planar Antenna

### I. 서 론

최근 급격한 무선 통신 기기의 발전과 함께 무선 랜을 이용한 통신이 많아지고 그에 요구되는 무선 통신 환경이 요구되고 있다. 무선 랜을 이용한 통신 환경은 노트북 또는 무선 통신용 단말기와 같은 다수의 기기와 액세스 포인트 간에 원활한 통신이 요

구된다. 이러한 환경에서 액세스 포인트에 쓰이는 안테나는 무선 통신 단말기의 위치에 따른 영향이 적은 전방향성 안테나가 적합하다. 전방향성 방사 패턴을 갖는 대표적인 안테나는 모노폴 안테나가 있다. 하지만 소형화된 모노폴은 등가적으로 커패시턴스 리액턴스의 성분을 갖게 되므로, 안테나의 임피던스 정합을 위하여 인덕턴스 성분을 필요로

「본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 지원으로 수행되었음(No. R01-2007-000-10315-0).」

경기대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kyonggi University)

· 논문 번호 : 20081112-143

· 수정완료일자 : 2008년 12월 31일

하며, 이러한 인덕턴스 성분으로는 슬롯 구조가 적합하다. 기존에 연구된 슬롯 구조로는 마이크로스트립 선로로 공진형 슬롯에 급전하여 슬롯 안테나로 사용된 구조가 대부분이다. 이러한 경우에 L형 또는 T형 등의 다양한 형태의 소형화된 슬롯 구조가 소개되었으며, 적절하게 설계 변수들을 최적화하여 광대역 특성을 나타내었다<sup>[1]~[3]</sup>.

일반적으로 전기적 소형 안테나는 높은 리액턴스 성분을 갖고 있다. 전기적 소형 안테나의 이득과 효율을 높이기 위해 리액턴스 성분을 정합시킬 구조를 필요로 하게 되는데, SNG(Single Negative) 또는 DNG(Double Negative) 특성을 갖는 메타 구조를 적용함으로써 이를 해결할 수 있다. SNG는 다시 ENG(Epsilon Negative), MNG(Mu Negative)로 구분될 수 있는데, CRLH TL(Composite Right and Left-Handed Transmission Line) 구조에서 직렬 캐패시턴스( $C_L$ ) 성분이 존재하지 않고 직렬 인덕턴스( $L_R$ ) 성분이 리액턴스로써 존재하는 구조를 ENG(Epsilon Negative)라 한다. 본 논문에 제안된 소형 모노폴은 캐패시턴스 성분을 가지므로 인덕턴스 성분의 ENG 메타 구조를 적용함으로써 정합을 이루었다. 하지만 ENG 메타 구조를 실제 매질로 구현하는 것은 쉽지 않으므로 등가 구조적으로 설계하는 방법이 사용된다<sup>[4]~[6]</sup>.

따라서 본 논문에서는 용량성 리액턴스( $C_R$ )를 나타내는 소형 모노폴 안테나를 효과적으로 정합시키기 위하여, 마이크로스트립 선로를 사용하여 이 모노폴을 접지 면에, 유도성 리액턴스 성분을 갖는 L형 슬롯( $L_L$ )과 결합시킴으로써 ENG 메타 구조를 형성시켜 효과적인 전력 방사 구조를 갖는 소형 모노폴 안테나를 구현하였다.

## II. 안테나의 설계

그림 1은 본 논문에 사용된 SMA(Sub-Miniature version A) 커넥터의 구조이다. SMA 커넥터의 내부 중심 도체를 소형 모노폴 안테나로 사용하였으며, 이 모노폴을 캡을 갖는 정사각형 구조의 평판을 부착시켜 전자기적으로 결합시키면, top-loading 형태의 모노폴 안테나로 동작시킬 수 있다. 그러나 전기적인 실효길이가 짧은 소형 모노폴이므로 이에 대한 등가 임피던스는 용량성 리액턴스를 나타내게 되

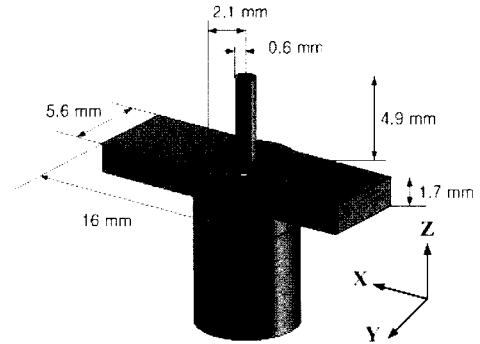


그림 1. SMA 커넥터의 구조  
Fig. 1. Geometry of the SMA connector.

어 안테나의 임피던스 정합이 어렵다. 따라서 안테나의 임피던스 정합을 위하여 유도성 리액턴스의 부가가 필요하게 된다.

그림 2는 제안된 안테나의 구조이다. 안테나 설계에 사용된 기판은 Rogers사의 RO3210( $\epsilon_r=10.2$ ,  $h=1.27$  mm)이며, 설계되어진 안테나의 크기는  $40 \times 40 \times 1.27$  mm이다. 기판의 중앙부에 위치한 역 균 자 형태의 구조는 그라운드에 형성된 각 개방 L형 슬롯과 결합시키기 위한 마이크로스트립 선로이다. 4개의 마이크로스트립 급전 선로의 폭은 1.2 mm로 50  $\Omega$ 의 선로 임피던스 값을 갖는다.

설계에 있어서 수평면 내에서 전방향성 방사 특성을 나타내게 하기 위하여 상호 대칭적인 4개의 L형 슬롯을 배치하였으며, 안테나 크기를 소형화시키기 위하여 각각의 개방 L형 슬롯의 크기는 설계 중심 주파수에서 약 0.43  $\lambda_g$  길이로 설계하여 유도성 리액턴스 값을 갖도록 하였다.

그림 3은 접지 면에 설계된 개방형 L-슬롯 구조이다. 최근까지 슬롯 안테나의 슬롯에 구조적인 변화를 주어 임피던스 대역폭을 높이기 위한 다양한 기법들이 연구되었다<sup>[7]</sup>. 일반적으로 사용되는 개방형 슬롯 안테나의 공진 길이는 동작 중심 주파수에서  $\lambda/4$ 의 길이가 되며, 이 경우에 안테나의 공진주파수에서 슬롯의 임피던스는 실수 값을 갖는다. 본 연구에서는 공진형 개방 슬롯을 사용하는 대신 유도성 리액턴스 값을 갖도록 하기 위하여 설계 중심 주파수 2.445 GHz에서 약 0.43  $\lambda_g$ 의 길이를 갖도록 설계하였으며, 직선형 슬롯 대신에 L형 슬롯의 구조를 사용하여 크기를 최소화 시키었고, 안테나의 임피던스

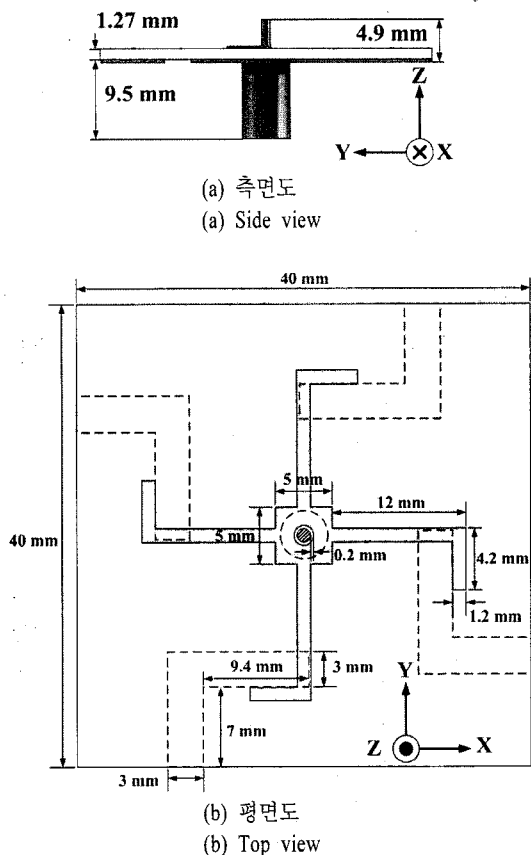


그림 2. 제작된 안테나의 구조  
Fig. 2. The structure of proposed antenna.

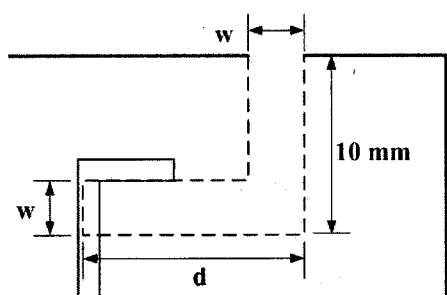


그림 3. 개방 L형 슬롯과 마이크로스트립 선로의 결합 구조  
Fig. 3. The open L-slot and micro-strip feeder line coupling structure.

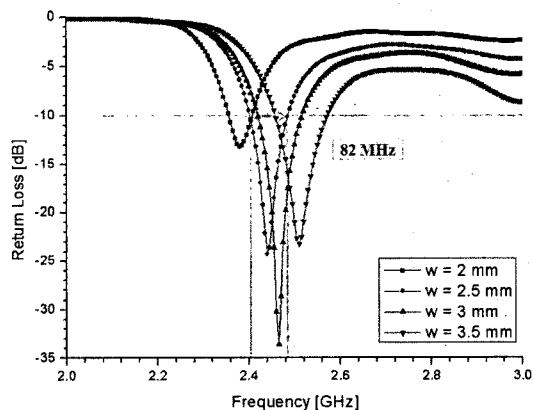
대역폭을 극대화시키기 위한 최적화 구조로 설계하였다. 그러나 좁은 접지 면을 활용하여 4개의 슬롯을 부설하기 때문에 서로 다른 슬롯 사이에 커플링 등에 의한 안테나 특성에 변화가 크므로, 마이크로

스트립 결합 선로와 슬롯 사이의 상호 결합 방법의 최적화가 요구된다.

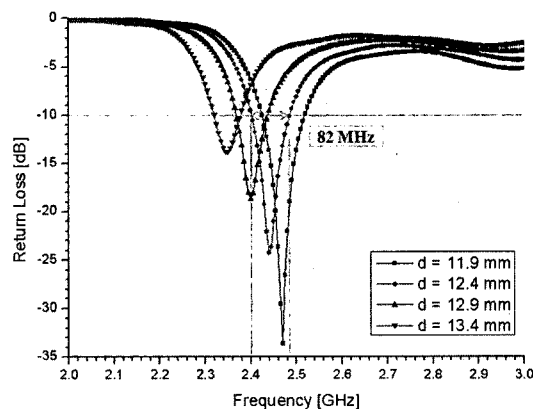
### III. 안테나의 모의실험 결과

제안된 소형 모노폴 안테나의 방사에 중요하게 영향을 미치는 요소는 L형 슬롯 부분이 된다. L형 슬롯은 마이크로스트립 결합 선로에 의해서 인덕티브 로딩 효과를 갖도록 하므로, 이들 구조의 크기는 안테나의 공진 주파수와 임피던스 정합에 큰 영향을 미친다. 이러한 영향을 파악하기 위한 설계 변수의 최적화에는 3D 해석에 용이한 상용 소프트웨어인 CST사의 MWS tool을 이용하였다<sup>[8]</sup>.

그림 4에 제안된 소형 모노폴 안테나의 반사 손실



(a) 폭  $w$ 에 따른 반사 손실의 변화  
(a) Variation of return loss for a width of  $w$



(b) 길이  $d$ 에 따른 반사 손실의 변화  
(b) Variation of return loss for a length of  $d$

그림 4. 변수 값에 따른 반사 손실의 변화  
Fig. 4. Variation of return loss for a parameter value.

모의실험 결과를 나타내었다. L형 슬롯의 폭  $w$ 와 길이  $d$ 의 변화에 따른 안테나의 반사 손실의 변화를 그림 4(a)와 그림 4(b)에 각각 나타내었다. 그림 4(a)에서 L형 슬롯의 폭  $w$ 가 넓어짐에 따라 안테나의 공진주파수가 상향되며, 대역폭이 다소 증가하게 된다. 이는 슬롯의 폭이 슬롯의 임피던스를 변화시키므로 안테나의 정합에 영향을 주기 때문이다.

그림 4(b)에서 L형 슬롯의 길이  $d$ 가 길어짐에 따라 공진 주파수가 하향됨을 알 수 있다. 이는 슬롯의 길이가 길어지면 안테나의 등가 공진주파수가 낮아지기 때문이다. 본 연구에서는 L형 슬롯의 폭  $w$ 는 3 mm, 길이  $d$ 는 12.4 mm로 최적화하여 전체 개방 L형 슬롯의 길이는 16.4 mm로 하였으며, 안테나의 최적화 구조에 대한 모의실험 결과 안테나 임피던스 대역폭(VSWR $\leq 2$ )은 82 MHz(2.402~2.484 GHz)를 나타내었다.

그림 5에 주파수 변화에 따른 제안된 안테나의 입력 임피던스 궤적을 나타내었다.

그림 6은 전계 법선성분을 나타낸 그림이다.

그림 7은 표면 전류 분포를 나타낸 그림이다. 대부분의 전류는 개방 L형 슬롯 주변을 따라 흐르는 것을 알 수 있다.

그림 8은 주파수 2.44 GHz에서 제안된 안테나의 방사 패턴을 모의실험한 결과이다. 그림 8(a) x-y 평면에서 전방향성 특성이 나타나는 것을 확인하였고, x-z 및 y-z 평면에서는 그림 8(b)와 (c)에 나타난

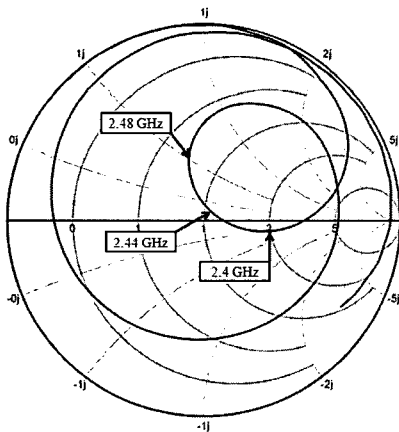


그림 5. 입력 임피던스 궤적  
Fig. 5. Input impedance loci.

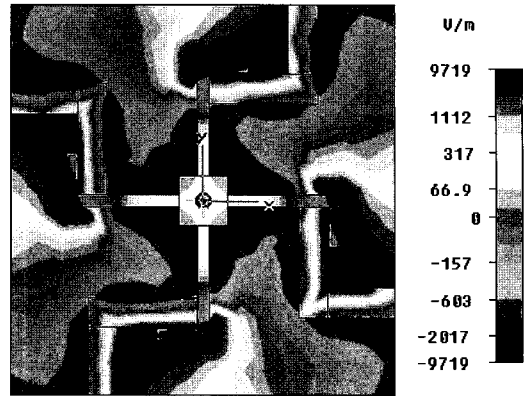


그림 6. 전계 법선 성분 분포  
Fig. 6. Normal E-field distribution.

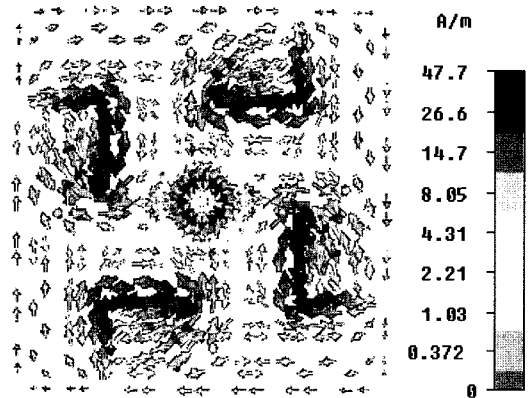


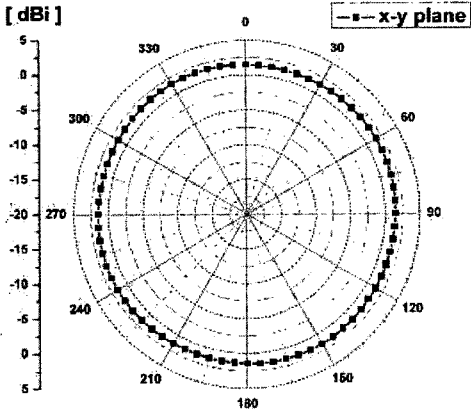
그림 7. 표면 전류 분포  
Fig. 7. Surface current distribution.

바와 같이 8자형 방사 특성을 나타내고 있어서, 제안된 안테나는 다이폴형 방사 패턴을 갖고 있음을 알 수 있다.

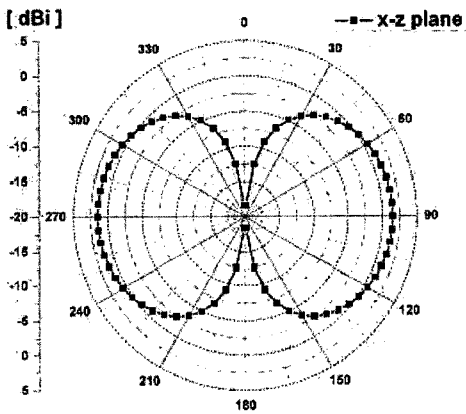
#### IV. 안테나의 제작 및 특성 측정

그림 9는 제작된 안테나의 사진이다. SMA 커넥터 중심 도체는 소형 모노폴로 사용하였으며, 4 소자의 L형 슬롯은 접지 면에 대하여 상호 대칭적으로 배열시키고, 4개의 암 구조의 마이크로스트립 선로를 사용하여 모노폴과 결합시켰으며, 안테나 제작에는 Rogers사의 RO3210( $\epsilon_r=10.2$ ,  $h=1.27$  mm)기판을 사용하였다.

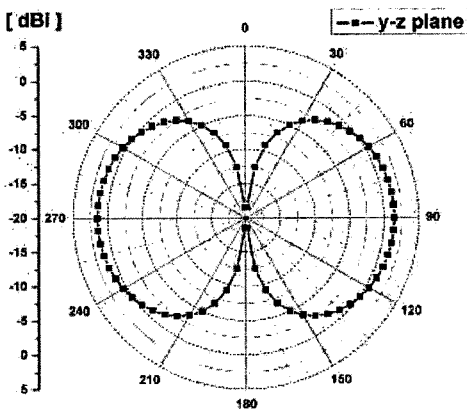
그림 10에 제작된 안테나의 측정된 반사 손실을



(a) X-Y 평면  
(a) X-Y plane



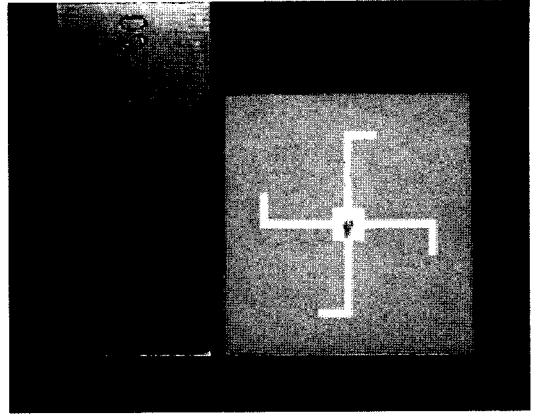
(b) X-Z 평면  
(b) X-Z plane



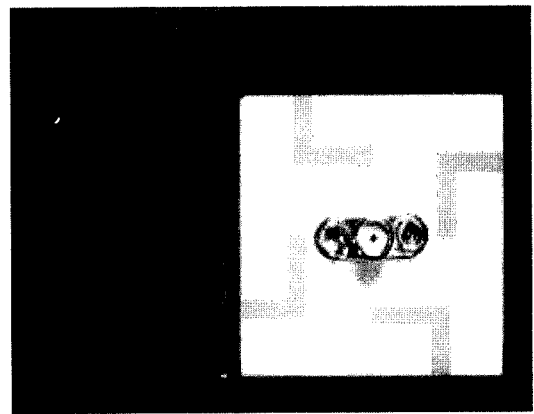
(c) Y-Z 평면  
(c) Y-Z plane

그림 8. 제안된 안테나의 방사 패턴 모의실험 결과 (2.44 GHz)

Fig. 8. Simulated radiation patterns result of the proposed antenna(2.44 GHz).



(a) 앞면  
(a) Top view



(b) 뒷면  
(b) Bottom view

그림 9. 제작된 안테나

Fig. 9. Photos of the fabricated antenna.

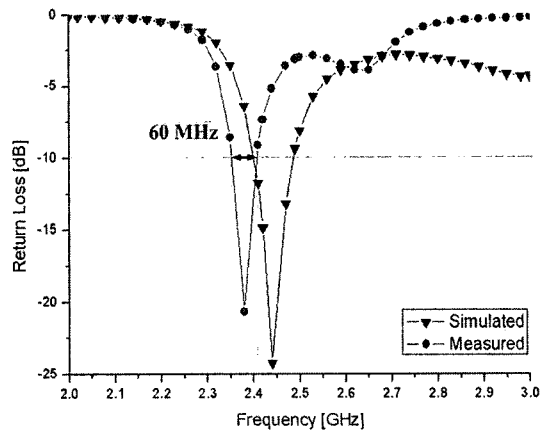


그림 10. 제작된 안테나의 방사 손실

Fig. 10. Measured return loss of the fabricated antenna.

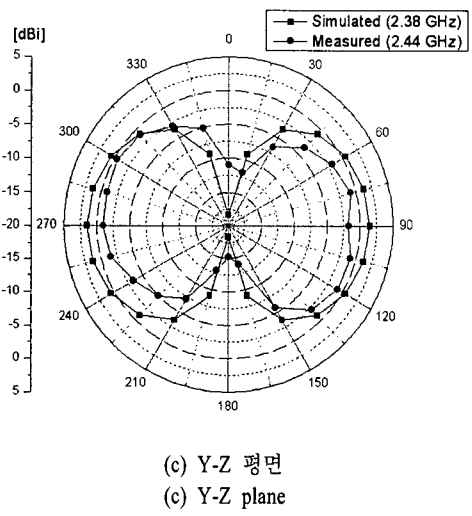
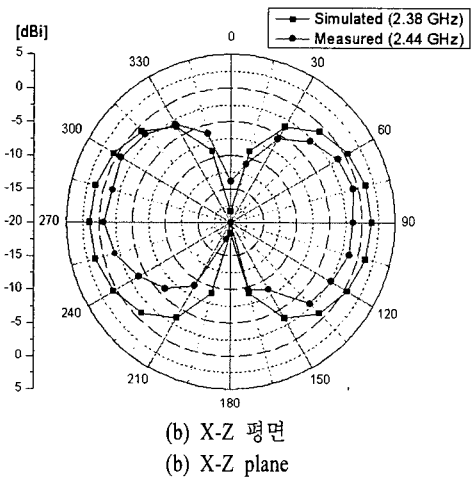
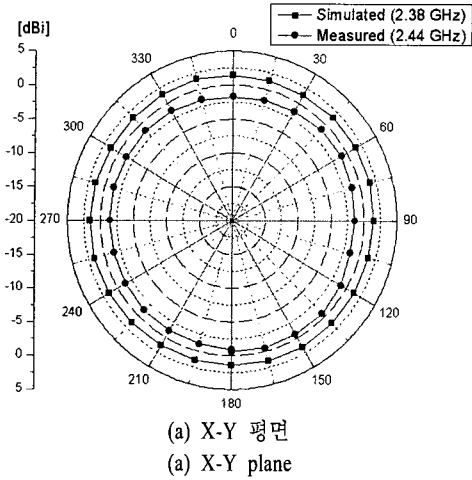


그림 11. 제작된 안테나의 방사 패턴(2.38 GHz)  
Fig. 11. Radiation pattern of the fabricated antenna(2.38 GHz).

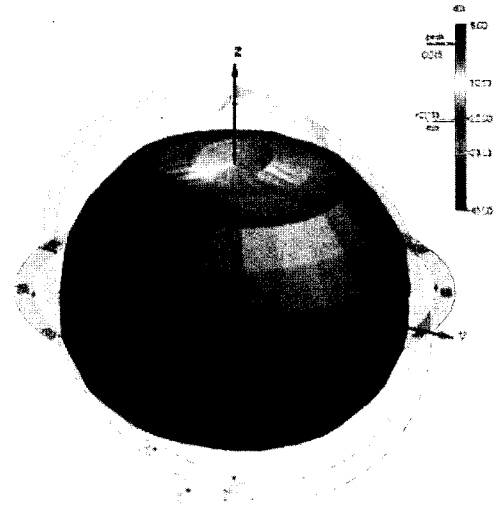


그림 12. 제작된 안테나의 3D 방사 패턴  
Fig. 12. 3D radiation pattern of the fabricated antenna.

나타내었다. 측정 결과, 중심 주파수 2.38 GHz에서 임피던스 대역폭(VSWR≤2)은 2.35~2.41 GHz로 60 MHz의 대역폭을 나타내었다. 시뮬레이션 결과의 임피던스 대역폭(VSWR≤2)은 82 MHz(2.402~2.484 GHz)로 실제 측정 결과와는 다소 차이가 있었다. 이는 L형 슬롯의 길이가 제작 공정상의 오차로 인하여 변화되었을 것으로 판단된다.

그림 11에 제작된 안테나의 2D 방사 패턴 측정 결과이다. 측정 결과, 모의실험 결과와 거의 동일한 다이폴형 방사 패턴을 나타내었다.

제작 과정에서 발생한 오차로 인하여 안테나의 공진 주파수 및 대역폭에 대한 다소 변화가 나타났으나, 제작된 안테나는 H 평면 내에서는 전방향성 방사 패턴을 나타내었고, E 평면 내에서는 다이폴형 방사 패턴을 나타내었다.

그림 12는 제안된 안테나의 3D 방사 패턴 측정 결과이다. 중심 주파수 2.38 GHz에서 최대 이득과 방사 효율은 각각 0.02 dBi, 56.7 %로 나타났다.

## V. 결 론

본 논문에서  $0.43 \lambda_g$ 의 길이를 갖는 4개의 개방 L형 슬롯을 상호 대칭적으로 배열하여, 다이폴형 방사 패턴을 나타내는 평면 구조의 안테나를 제안하였다. 제작된 안테나의 크기는  $40 \times 40$  mm이며, 동작 중

심 주파수 2.38 GHz에서 최대 이득과 방사 효율은 각각 0.02 dBi, 56.7 %로 나타났다. 전기적 소형 모노폴 안테나는 용량성 리액턴스를 가지므로, 안테나를 임피던스 정합을 시키기 위하여 4개의 개방 L형 슬롯을 사용하여 인덕티브 로딩을 기법을 적용하였다.

실제 측정 결과, 제작된 안테나의 임피던스 대역폭(VSWR $\leq$ 2)은 60 MHz(2.35~2.41 GHz)로 나타났다. 안테나 구조가 평면형 임에도 불구하고 제작된 안테나는 다이폴형 안테나와 같은 방사 패턴을 나타내었다. 제안된 안테나는 무선 랜 액세스 포인트 시스템에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

[1] S. I. Latif, L. Shafai, and S. K. Sharma, "Bandwidth enhancement and size reduction of microstrip slot antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 53, pp. 994-1003, Mar. 2005.

[2] Satish Kumar Sharma, Lotfollah Shafai, and N. Jacob, "Investigation of wide-band microstrip slot antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 52, pp. 865-872, Mar. 2004.

[3] Jung-Han Kim, Ho-Yong Kim, and Hong-Min Lee, "Design of efficient electrically small dual band monopole antenna using negative permittivity metamaterial structures", *Proceeding of 2008 IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp*, San Diego CA, USA, Jul. 2008.

[4] Nader Engheta, Richard W. Ziolkowski, *Metamaterials Physics and Engineering Explorations*, Wiley, 2006.

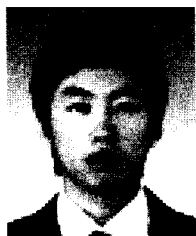
[5] R. W. Ziolkowski, A. Erentok, "Metamaterial based efficient electrically small antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 54, pp. 2113-2130, Jul. 2006.

[6] Ayeon Erentok, Richard W. Ziolkowski, "HFSS modeling of a dipole antenna enclosed in an Epsilon-Negative(ENG) metamaterial shell", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 38, pp. 22-25, Jul. 2005.

[7] An Ping Zhao, "Quarter-wavelength wideband slot antenna for 3~5 GHz mobile applications", *IEEE Antennas Wireless Propagat. Lett.*, vol. 4, pp. 421-424, Apr. 2005.

[8] CST Studio Suite 2006 MWS(Micro Wave Studio) manual, CST Corporation.

### 남 성 수



2008년 2월: 경기대학교 전자공학부 (공학사)  
 2008년 3월~현재: 경기대학교 전자공학부 석사과정  
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, RF 수동소자

### 이 홍 민



1972년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1974년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1990년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1991년 3월~현재: 경기대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 전파 전파, RF 수동소자