

# Ground Coupling 구조를 이용한 초소형 Metamaterial Bluetooth 칩 안테나

## A Compact Metamaterial Chip Antenna with Ground Coupling Structure for Bluetooth Application

박영환 · 이강희 · 지정근 · 류지웅 · 김기호 · 성원모

Young-Hwan Park · Kang-Hee Lee · Jeong-Keun Ji · Ji-Woong Ryu · Gi-Ho Kim · Won-Mo Seong

### 요 약

본 논문은 이동 통신용 단말기에 적용할 수 있는 초소형 metamaterial BT(Bluetooth) 칩 안테나에 대해 기술하였다. 제안된 안테나 크기는 3.0 mm(W)×2.0 mm(L)×1.2 mm(H)이며, SMD(Surface Mount Device) 가능한 칩 형태로 제작되었다. 0차 공진 특성은 surface current scanning system을 이용하여 surface current의 magnitude와 phase 분포를 통해 분석하였다. 제작된 안테나는 전방향성의 방사 패턴을 가지며, 3D 평균 이득 측정 결과 -1.7 dBi 이상의 특성을 가짐을 확인할 수 있었다.

### Abstract

This paper describes a miniaturized metamaterial BT chip antenna for mobile devices. The size of the proposed antenna is 3.0 mm(W)×2.0 mm(L)×1.2 mm(H). And it is fabricated by chip type. The zeroth-order resonant properties are analyzed by magnitude and phase distributions of the surface current using surface current scanning system. The antenna offers omni-directional radiation patterns and measured 3D average gain is over -1.7 dBi.

Key words : Metamaterial, Zeroth-Order Resonator(ZOR), Chip Antenna

### I. 서 론

최근 무선통신 기술의 급격한 발달로 단말기의 다중 서비스에 대한 사용자의 요구가 크게 증가하고 있다. 또한, 보다 작은 단말기에 대한 요구 또한 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 이러한 추세에 따라 크기가 작아지면서도 다중 서비스를 지원하는 단말기 개발이 활발히 진행되고 있다. 이를 위해 하나의 단말기에 다수의 안테나가 실장되는 경우가 대부분이며, 단말기 크기의 한계로 초소형 안테나 개발이 활발히 진행되고 있다.

최근 metamaterial이라는 새로운 전자기 특성을 갖

는 물질을 인공적으로 만들어 내는 기법에 대한 관심이 높아지고 있다. 유전율(permittivity)과 투자율(permeability)이 동시에 음의 값을 갖는 물질인 left-handed material의 새로운 전자기파 특성을 이용하여 물리적 크기에 제약을 받지 않는 소형 안테나 개발에 대한 연구들이 활발히 이루어지고 있다. 그 중에서도 metamaterial 기법을 이용한 0차 공진(zeroth-order resonator)이라는 특수한 공진 특성을 이용한 연구가 주목을 받고 있다. 신호를 전송하는 선로 또는 회로에 직렬 커패시턴스(capacitance)와 병렬 인덕턴스(inductance)를 추가 구현하여 이를 적절하게 조정함으로써 공진 주파수가 전송 선로의 물리적 크기

(주)이엠파블유안테나 중앙연구소(R&D Center, E.M.W Antenna Co. Ltd.)

· 논문 번호 : 20090730-03S

· 수정완료일자 : 2009년 9월 8일

와 무관하게 결정될 수 있도록 구현할 수 있다는 것이다. 이러한 0차 공진 특성을 이용하여 안테나 등의 소자를 구현하게 되면 안테나의 공진 주파수는 안테나 크기와 무관하게 커패시턴스와 인덕턴스 값에 따라 정해지므로 안테나 소형화에 유리하다<sup>[1]~[5]</sup>.

본 논문에서는 이러한 metamaterial 기법을 적용하여 초소형 BT 칩 안테나를 구현하였고, ground coupling 구조를 칩 안테나에 적용하여 이득을 개선한 ground coupling 구조를 이용한 초소형 metamaterial BT 칩 안테나를 제안한다.

## II. Metamaterial BT 칩 안테나 설계

그림 1은 CRLH-TL(Composite Right/Left-Handed Transmission Line) 구조의 등가 회로를 나타낸다. RH(Right-Handed) 전송 선로의 특성과 LH(Left-Handed) 전송 선로의 특성을 모두 이용한 것이 CRLH 전송 선로이다. RH 특성을 갖는 일반적인 전송 선로에 LH 특성을 적용하기 위해 RH 인덕턴스  $L_R$ 과 LH 캐패시턴스  $C_L$ 이 직렬로 연결되어 있고, RH 캐패시턴스  $C_R$ 와 LH 인덕턴스  $L_L$ 이 병렬로 연결되어 있다. 실제로 주파수의 증가에 따라 기생 직렬 인덕턴스와 기생 병렬 캐패시턴스가 생기기 때문에 순수한 LH 전송 선로는 존재할 수 없다. 기생 직렬 인덕턴스는 금속을 따라 전류가 흐르는 것이기 때문에 주파수가 증가함에 따라 자연스럽게 생기며, 기생 병렬 캐패시턴스는 주파수가 증가함에 따라 전압차가 커지기 때문에 생긴다. 그러므로 이상적인 LH 전송 선로를 구현하는 것은 불가능하고 CRLH 전송 선로로 구현된다.

그림 2는 본 논문에서 제안한 metamaterial BT 칩

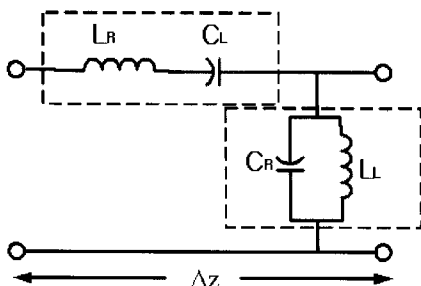


그림 1. CRLH-TL의 구조  
Fig. 1. A structure of CRLH-TL.

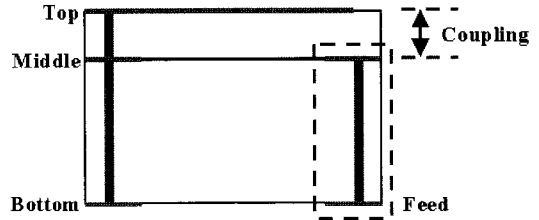


그림 2. Metamaterial BT 칩 안테나의 정면도  
Fig. 2. A front view of metamaterial BT chip antenna.

안테나의 정면도를 나타낸다. Top, middle, bottom의 3층으로 설계하였으며, top 면과 middle 면 사이에 간격을 두어 직렬 캐패시턴스, 칩 안테나 종단에 인덕터로 병렬 인덕턴스 성분을 구현하여 metamaterial 안테나를 구현하였다. 이때 초소형의 칩 안테나에서 낮은 유전율을 가지는 유전체를 사용하여 BT 대역에 공진을 형성하기 위해서는 높은 직렬 캐패시턴스가 필요하다. 본 논문에서는 높은 직렬 캐패시턴스를 얻기 위해 MIM(Metal-Insulator-Metal) 캐패시터 구조를 적용하였다<sup>[6]</sup>. 하지만 MIM 캐패시터 구조는 0차 공진점에서 Smith chart의 circle이 커지고 대역폭이 좁아지는 단점을 갖고 있다. 따라서 이러한 MIM 캐패시터 구조의 단점을 해결하기 위해 안테나 내부에 ground coupling을 위한 패턴을 삽입하여 임피던스 매칭을 가능하게 하였고, 이를 통해 기존의 metamaterial 칩 안테나에 비해 이득 개선이 가능하다<sup>[7]</sup>.

그림 3은 metamaterial BT 칩 안테나의 구조를 나타낸다. Top면의 큰 사각 패치가 주 방사체이며 middle면의 패턴과 직렬 캐패시턴스를 형성한다. 또한

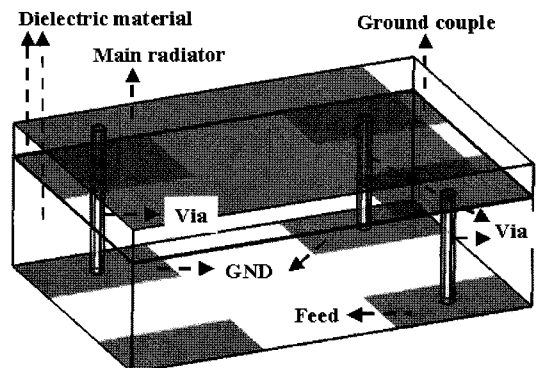


그림 3. Metamaterial BT 칩 안테나의 구조  
Fig. 3. A structure of metamaterial BT chip antenna.

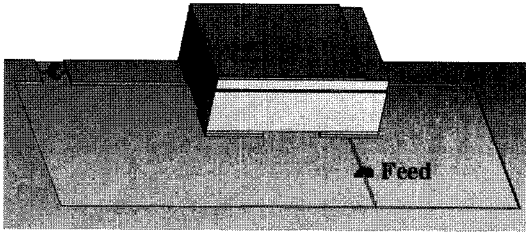


그림 4. 시뮬레이션 레이아웃  
Fig. 4. A layout of simulation.

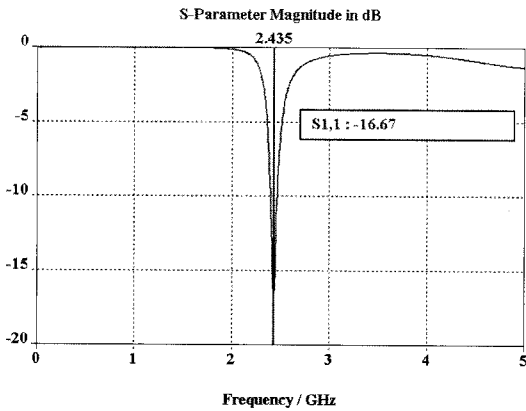


그림 5. 시뮬레이션 결과(S<sub>11</sub>)  
Fig. 5. Simulation result(S<sub>11</sub>).

임피던스 매칭을 위해 ground coupling 패턴을 칩 안테나 내부에 형성하였다.

그림 4는 CST사의 MWS(Microwave Studio) 2006B를 이용해 시뮬레이션한 metamaterial BT 칩 안테나를 나타낸다. 유전체의 유전율은 3.4이며 2개의 유전체를 적층하여 설계하였다. 크기는 3.0 mm(W)×2.0 mm(L)×1.2 mm(H)이며, non-GND 크기는 8.0 mm(W)×4.0 mm(L)이다.

그림 5는 metamaterial BT 칩 안테나의 S<sub>11</sub> 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 시뮬레이션 결과 2.435 GHz에서 S<sub>11</sub> -16.67 dB의 특성을 확인할 수 있었다.

### III. Metamaterial BT 칩 안테나 제작 및 측정

시뮬레이션 결과에 따라 초소형 metamaterial BT 칩 안테나를 제작하였다. 그림 6은 제작된 metamaterial BT 칩 안테나를 나타낸다. 유전율 3.4의 유전체를 적층해서 제작하였으며, 시뮬레이션과 동일하게 안테나 크기는 3.0 mm(W)×2.0 mm(L)×1.2 mm(H)

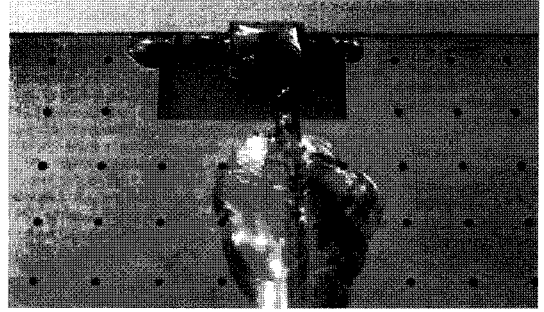


그림 6. 제작된 metamaterial BT 칩 안테나  
Fig. 6. Fabricated metamaterial BT chip antenna.

이며, non-GND 크기는 8.0 mm(W)×4.0 mm(L)이다. 이는 일반적인 상용 BT 칩 안테나의 크기인 8.0 mm(W)×2.0 mm(L)×1.2 mm(H)에 비해 62.5 % 소형화 시킨 것이다.

그림 7은 제작된 metamaterial BT 칩 안테나의 VSWR 측정 결과를 나타낸다. VSWR 측정 결과 제작된 metamaterial BT 칩 안테나는 2.4 GHz, 2.445 GHz, 2.485 GHz에서 각각 1.75, 1.16, 1.79의 VSWR을 가짐을 확인할 수 있었다. 따라서 제작된 안테나는 BT 전 대역에서 VSWR 2.0 이하의 광대역 특성을 가짐을 확인할 수 있었다. 이는 기존의 Chip 안테나에 비해 낮은 유전율을 가지는 유전체를 사용하여 Q 값이 작아지기 때문이다.

그림 8은 metamaterial BT 칩 안테나의 S<sub>11</sub> 시뮬레이션 결과와 제작된 안테나의 측정 결과를 나타낸

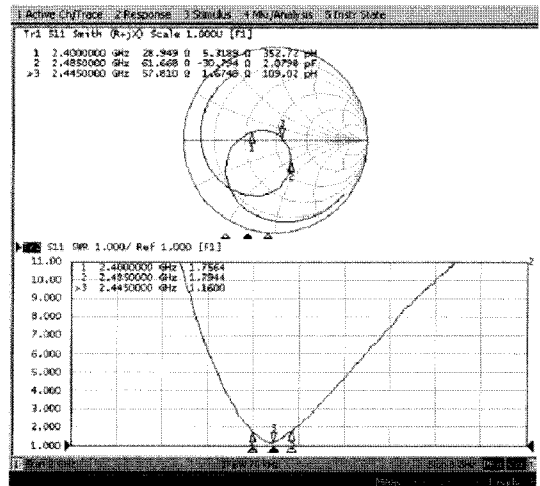


그림 7. VSWR 측정 결과  
Fig. 7. VSWR measurement result.

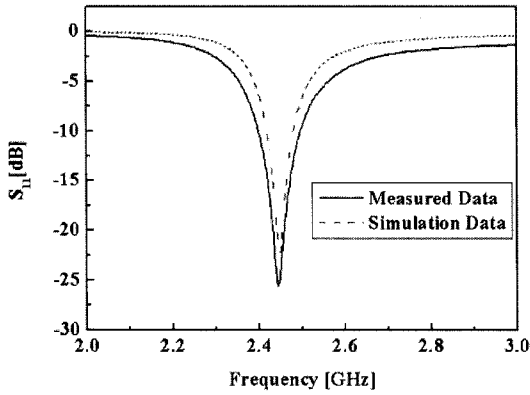


그림 8.  $S_{11}$  측정 결과  
Fig. 8.  $S_{11}$  measurement result.

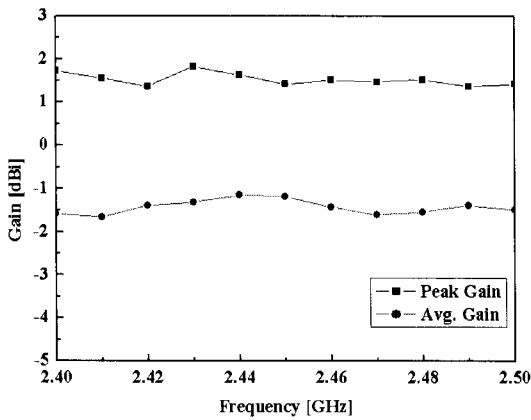


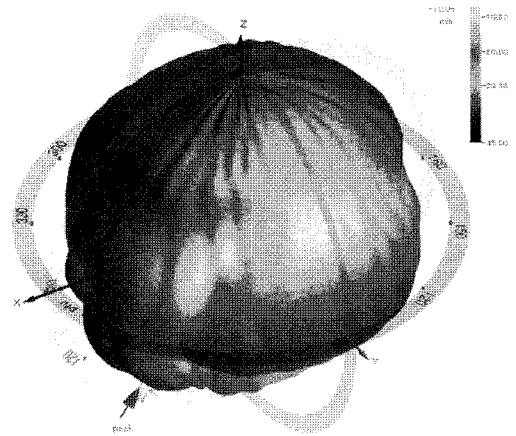
그림 9. 3D 이득 측정 결과  
Fig. 9. 3D gain measurement result.

다. 측정 결과 제작된 안테나는 시뮬레이션 결과와 유사한 특성을 가짐을 확인할 수 있었다.

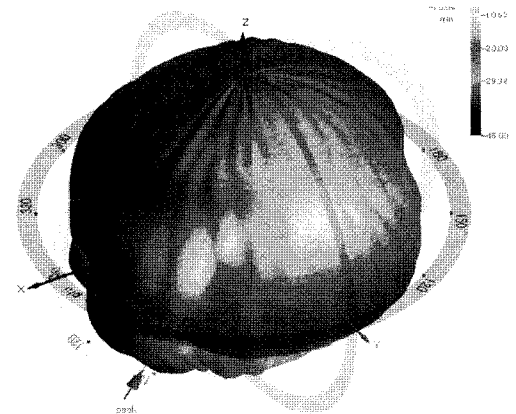
그림 9는 제작된 안테나의 3D 최대, 평균 이득 측정 결과를 나타낸다. 3D 이득 측정 결과 전 대역에서 최대 이득 1.3 dBi 이상, 평균 이득 -1.7 dBi 이상의 높은 이득을 가짐을 확인할 수 있었다.

그림 10은 제작된 안테나의 3D 방사 패턴 측정 결과를 나타낸다. 3D 방사 패턴 측정 결과, 제작된 안테나는 2.4, 2.445, 2.485 GHz에서 각각 이동 통신용 단말기에 사용하기에 적합한 omni-directional한 특성을 가짐을 확인할 수 있었다.

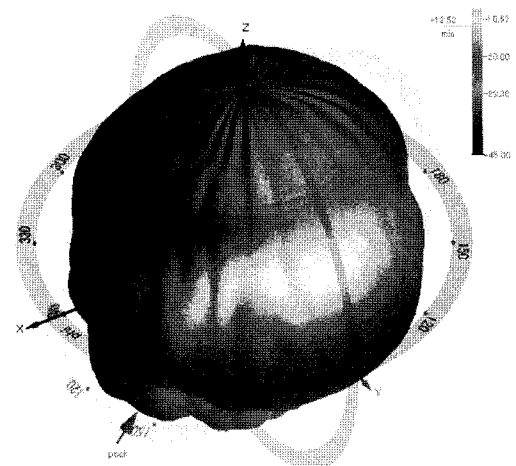
그림 11은 실제 제작된 안테나의 surface current scanning system을 이용한 surface current의 magnitude, phase 분포 측정 결과를 나타낸다. 초록색 실선은 metamaterial BT 칩 안테나의 위치, 흰색 점선은 test



(a) 2.4 GHz 3D 방사 패턴  
(a) 3D radiation pattern at 2.4 GHz

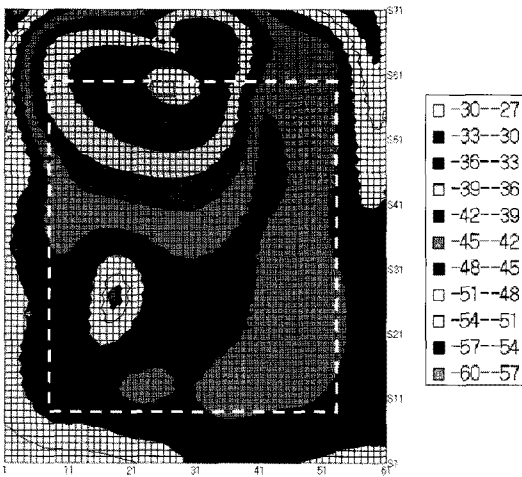


(b) 2.445 GHz 3D 방사 패턴  
(b) 3D radiation pattern at 2.445 GHz

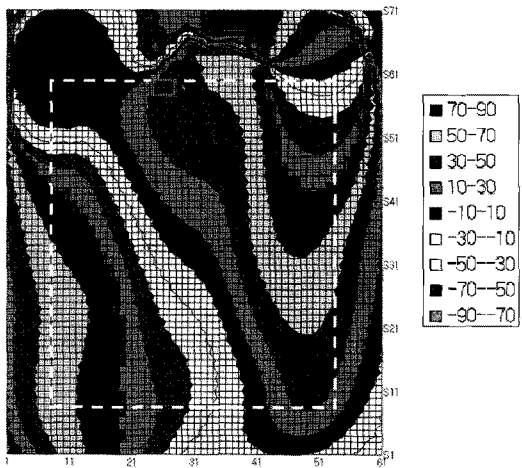


(c) 2.485 GHz 3D 방사 패턴  
(c) 3D radiation pattern at 2.485 GHz

그림 10. 제작된 안테나의 3D 방사 패턴  
Fig. 10. 3D radiation pattern of fabricated antenna.



(a) Magnitude 분포 측정 결과  
(a) Measured magnitude distribution



(b) Phase 분포 측정 결과  
(b) Measured phase distribution

그림 11. Surface current의 magnitude, phase 분포 측정 결과

Fig. 11. Measured magnitude, phase distribution of the surface current.

board의 위치를 나타낸다. Magnitude, phase 측정 결과 안테나 주위의 surface current가 일정하게 분포한 것을 확인할 수 있었다<sup>[8]</sup>.

#### IV. 결 론

최근의 보다 작은 안테나에 대한 요구를 만족하기 위해 본 논문에서는 ground coupling 구조를 이용한 초소형 metamaterial BT 칩 안테나를 제안하였다.

직렬 커패시턴스와 병렬 인덕턴스를 구현하여 이 값을 적절하게 조정함으로써 공진 주파수가 전송 선로의 물리적 크기와 무관하게 결정될 수 있는 metamaterial 기법을 적용하였다. 이러한 metamaterial의 특성을 이용하여 유전율 3.4의 유전체를 사용하면서도 크기는 3.0 mm(W)×2.0 mm(L)×1.2 mm(H)로 획기적으로 줄인 초소형 metamaterial BT 칩 안테나를 개발하였다.

우선 CST사의 MWS 2006B를 이용하여 설계 및 시뮬레이션을 하였고, 설계 결과 2.435 GHz에서  $S_{11}$  -16.67 dB의 특성을 얻을 수 있었다.

설계 결과에 따라 유전율 3.4의 유전체를 적층하여 초소형 metamaterial BT 칩 안테나를 제작하였다. 제작된 안테나 측정 결과 BT 전 대역에서 VSWR 2.0 이하의 광대역 특성을 가짐을 확인할 수 있었다. 3D 이득 측정 결과, 전 대역에서 최대 이득 1.3 dBi 이상, 평균 이득 -1.7 dBi 이상의 높은 이득을 가짐을 확인할 수 있었다. 방사 패턴 측정 결과 이동 통신용 단말기에서 사용하기에 적합한 omni-directional한 특성을 확인할 수 있었다.

따라서 본 논문에서 제안한 ground coupling 구조를 이용한 초소형 metamaterial BT 칩 안테나는 이동 통신용 단말기에 적용 가능하며 단말기 소형화의 방법으로 사용 가능할 것으로 기대된다. 또한, 인접 주파수인 WLAN(Wireless Local Area Network), WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access) 등의 서비스에도 이용 가능할 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

[1] G. V. Eleftheriades, M. A. Antoniades, and F. Qureshi, "Antenna applications of negative-refractive-index transmission-line structures", *IET Microwaves. Antennas & Propagation.*, vol. 1, pp. 12-22, Feb. 2007.

[2] A. Lai, K. M. K. H. Leong, and T. Itoh, "Infinite wavelength resonant antennas with monopolar radiation pattern based on periodic structures", *IET Microwaves. Antennas & Propagation.*, vol. 55, no. 3, pp. 868-876, Mar. 2007.

[3] N. Engheta, R. W. Ziolkowski, *Metamaterials: Phy-*

sics and Engineering Explorations, John Wiley & Sons, 2006.

- [4] C. Caloz, T. Itoh, *Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications*, John Wiley & Sons, 2006.
- [5] 성원모, "Metamaterial 소형 안테나 개발 및 동향", 한국전자과학기술논문지, 20(2), 2009년 2월.
- [6] Sung-soo Nam, Hong-min Lee, "Composite right/left-handed transmission line leaky-wave antenna using LTCC technology", *Proc. IEEE iWAT*, pp.

1-4, Mar. 2009.

- [7] 박영환, 이강희, 지정근, 김기호, 성원모, "Ground couple를 이용한 초소형 metamaterial BT chip 안테나", 전자과학기술 하계학술대회논문집, 13(1), p. 81, 2009년 7월.
- [8] Jeong-keun Ji, Gi-ho Kim, and Won-mo Seong, "A compact multiband antenna based on DNG ZOR for wireless mobile system", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 8, pp. 920-923, 2009.

### 박 영 환



2003년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)  
 2005년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학석사)  
 2004년 12월~현재: (주)EMW Antenna 선임연구원  
 [주 관심분야] 소형 안테나

### 류 지 응



2001년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)  
 2003년 8월: 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학석사)  
 2003년 9월~2006년 11월: (주)팬택 중앙연구소 전임연구원  
 2008년 6월~현재: (주)EMW Antenna 선임연구원

[주 관심분야] 소형 안테나

### 이 강 희



1997년 2월: 서울산업대학교 기계공학과 (공학사)  
 1996년 10월~2001년 2월: (주)한국오므론전장  
 2001년 2월~현재: (주)EMW Antenna 차장  
 [주 관심분야] 소형 안테나

### 김 기 호



2000년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)  
 2002년 2월: 단국대학교 정보통신공학과 (공학석사)  
 2000년 1월~2004년 10월: (주)하이게인 안테나  
 2004년 11월~현재: (주)EMW Antenna 책임연구원

[주 관심분야] 소형 안테나

### 지 정 근



1997년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)  
 1999년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학석사)  
 1999년 3월~2007년 10월: (주)팬택 & 큐리텔 중앙연구소 선임연구원

2007년 11월~현재: (주)EMW Antenna 책임연구원  
 [주 관심분야] 소형 안테나, Metamaterial

### 성 원 모



1995년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)  
 1997년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2007년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1998년 6월~현재: (주)EMW Antenna 연구소장

[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석