

# 이중 대역 동작을 위한 변형 스파이럴 모노폴 인쇄형 안테나 설계

## Design of Modified Spiral Monopole Printed Antenna for Dual Band Operation

정 새 한 솔 · 정 진 우 · 임 영 석

Saehansol Cheong · Jinwoo Jung · Yeongseog Lim

### 요 약

본 논문에서는 GPS(1.57~1.577 GHz)와 WiBro(2.3~2.4 GHz), WLAN(2.4~2.48 GHz)에서 이중 대역 동작하는 변형 스파이럴 모노폴 인쇄형 안테나를 설계·제작하였다. 이중 대역 동작하는 안테나 설계 시 필요한 주파수 비를 자유롭게 조절하기 위해, 기본 공진 주파수와 3배수 하모닉 공진 주파수의 전류 분포가 다름을 이용하여 스파이럴 내부 선로의 간격을 다르게 하고 브랜치 라인을 삽입하였다. 측정 대역폭은 기본 공진 주파수에서 140 MHz(1.47~1.61 GHz), 3배수 하모닉 공진 주파수에서 420 MHz(2.29~2.71 GHz)로 나타났다. 최대 방사 이득은 GPS(1.575 GHz) 대역에서 2.825 dBi, WiBro(2.35 GHz) 대역에서 3.65 dBi, 그리고 WLAN(2.45 GHz) 대역에서 4.564 dBi로 측정되었다.

### Abstract

In this paper, modified spiral monopole printed antenna for dual band operation in GPS(1.57~1.577 GHz) and WiBro(2.3~2.4 GHz), WLAN(2.4~2.48 GHz) is proposed. To control the frequency ratio of the antenna for dual band operation freely, distance between inner lines of the spiral is diversified by using the different current distribution between basic resonance frequency of spiral monopole antenna and harmonic resonance frequency( $3\lambda_{H/4}$ ). And also the branch line is inserted. Bandwidth(-10 dB) of the antenna is measured 140 MHz(1.47~1.61 GHz) in basic resonance frequency and 420 MHz(2.29~2.71 GHz) in harmonic resonance frequency( $3\lambda_{H/4}$ ). The peak antenna gains are measured 2.825 dBi in GPS(1.57 GHz), and 3.65 dBi in WiBro(2.35 GHz), and 4.564 dBi in WLAN(2.44 GHz).

Key words : Monopole Antenna, Dual Band, Spiral, Branch, GPS, WiBro, WLAN

### I. 서 론

최근 무선 통신 기술이 급속도로 발달하면서 다양한 기능이 통합된 개인 휴대 단말기의 사용이 보편화 되고 있다. 음성, 문자 서비스뿐만 아니라 GPS, Wifi, WiBro, Bluetooth, 그리고 위성 DMB 등 여러

가지 서비스가 하나의 단말기에서 지원되고 있으며, 휴대 단말기의 크기도 소형화 되고 있다.

이와 함께 휴대 단말기의 중요 소자인 안테나 또한 다중 대역 동작과 소형화 연구가 활발히 이뤄지고 있다<sup>[1]~[5]</sup>. 안테나의 대표적인 소형화 기술로는 헬리컬 안테나, 미앤더 안테나, 스파이럴 안테나, 그

「이 논문은 2009년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.」

전남대학교 전자컴퓨터공학과(Department of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University)

· 논문 번호 : 20100330-034

· 교신저자 : 임영석(e-mail : limys@chonnam.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 7월 19일

리고 Inverted F 안테나 등이 있다<sup>[6]~[9]</sup>. 다중 대역 동작을 위한 기술로는 가지 구조, 커플드 라인 그리고 기생 소자를 추가하는 방법 등이 있다<sup>[10]~[12]</sup>. 대표적인 소형 이중 대역 동작 기술 중 변형된 헬리컬 구조를 이용한 안테나는 적층형 구조로 제작이 어렵다<sup>[13]</sup>. 또한, 단면 인쇄형 미앤더 구조를 이용한 이중 대역 안테나는 네거티브 커플링 효과를 이용한다.

네거티브 커플링 효과는 선로 간의 전류 흐름이 반대일 때 생기고, 이는 안테나의 전기적 길이를 감소시켜 실제 안테나의 길이가 길어지는 단점이 있다<sup>[11]</sup>.

본 논문에서는 안테나의 소형화와 이중 공진 특성을 위해 모노폴 타입의 변형된 스파이럴 안테나를 제안하였다. 안테나 제작의 용이성을 위해 단면 인쇄형 구조를 이용하였다. 포지티브 커플링을 이용한 변형된 스파이럴 구조를 제안하고, 브랜치 구조를 삽입하였다. 접지면의 크기는 개인 휴대 단말기 중 바 타입의 크기인 45 mm×70 mm로 고정하였다. 안테나는 접지면과 같은 면에 위치하였다. 그리고 임피던스 정합을 위해 중심으로부터 20.3 mm 떨어진 곳에 안테나를 위치하였다<sup>[14]</sup>.

### II. 변형된 스파이럴 모노폴 안테나

그림 1은 제안된 안테나의 구조이다. 단일 방사체

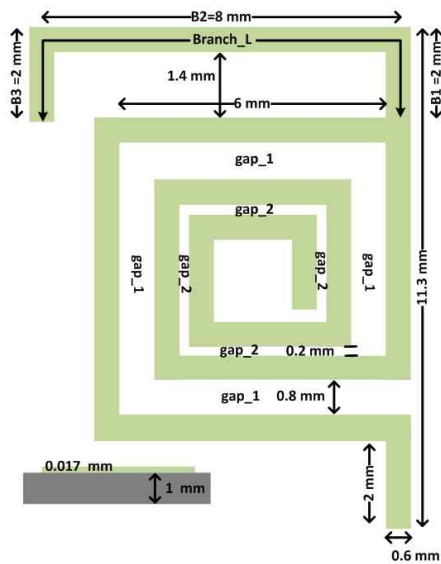
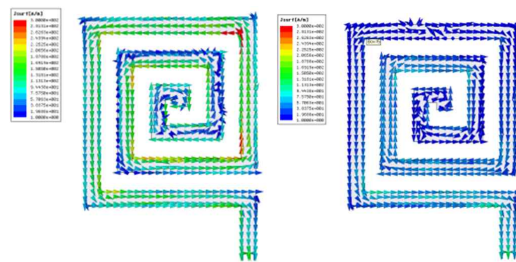


그림 1. 제안된 안테나 구조  
Fig. 1. Geometry of propose antenna.

를 갖는 안테나로 유전율 4.2, 두께가 1 mm인 FR-4 유전체에 인쇄되어 있다. 모노폴 타입 스파이럴 안테나의 공진 주파수 비를 조절하기 위해 기본 공진 주파수( $\lambda_B/4$ ;  $\lambda_B$ 는 기본 공진 주파수 파장)와 하모닉 공진 주파수( $3\lambda_H/4$ ;  $\lambda_H$ 는 하모닉 공진 주파수 파장)의 전류 분포를 분석하였다. 모노폴 안테나 끝단 전류의 크기는 기본 공진이 일어날 때보다 하모닉 공진이 일어날 때 더 크다. 또한, 포지티브 커플링은 안테나의 물리적 길이의 비해 전기적 길이를 길게 하고, 전류의 크기가 클수록 그 영향이 커진다. 하모닉 공진 대역의 전기적 길이를 길어지게 하기 위해 gap\_2를 줄여 포지티브 커플링의 영향을 증가시켰다. 또한, 브랜치 라인(Branch\_L)을 삽입하여 하모닉 주파수를 원하는 동작 대역으로 유도하였다. 브랜치 라인은 급전부로부터 하모닉 주파수의  $\lambda_H/2$  되는 곳에 위치하였다<sup>[12]</sup>. 브랜치 라인과 스파이럴 상단의 전류 방향이 반대로 형성되어 네거티브 커플링이 일어난다. 네거티브 커플링의 영향을 줄이기 위해 선로 간격을 1.4 mm로 하였다. 소형 안테나는 전기적 크기가 작아 낮은 방사 저항을 가지므로 임피던스 정합이 어렵다. 정합을 위해 안테나의 위치를 중심으로부터 20.3 mm 떨어진 곳에 위치하였다<sup>[14]</sup>.

### III. 이중 대역 동작

안테나의 전류 분포 분석을 위해 설계 목표 대역 중 기본 공진 주파수 1.57 GHz에서 동작하는 스파이



(a) 기본 공진 주파수 (a) Basic resonance frequency  
(b) 하모닉 공진 주파수 (b) Harmonic resonance frequency

그림 2. 기본 공진 주파수와 3배수 하모닉 공진 주파수의 전류 분포

Fig. 2. Current distribution at basic resonance frequency ( $\lambda_B/4$ ) and harmonic resonance frequency( $3\lambda_H/4$ ).

럴 모노폴 안테나를 설계하였다.

그림 2는 안테나의 기본 공진 주파수와 3배수 하모닉 공진 주파수의 전류 분포를 HFSS 시뮬레이션 툴을 이용하여 살펴본 것이다. 기본 공진 주파수와 3배수 하모닉 공진 주파수의 전류 분포가 다른 것을 볼 수 있다. 선로 간의 흐르는 전류의 방향이 같으면 포지티브 커플링이 일어난다. 포지티브 커플링은 전기적 길이를 늘어나게 하므로 실제 선로의 길이를 짧게 해 더욱 소형화가 가능하게 한다. 또한, 포지티브 커플링은 전류 크기에 비례한다<sup>[11]</sup>. 이를 이용하여 3배수 하모닉 주파수에서의 전류의 크기가 기본 공진 주파수에서의 전류의 크기보다 상대적으로 큰 스파이럴 중앙부 선로간 간격(gap<sub>2</sub>)을 작게 하였다.

그림 3과 표 1은 스파이럴 외부 선로 간 간격(gap<sub>1</sub>)을 0.8 mm로 고정하고 gap<sub>2</sub>를 0.2 mm에서 0.8 mm까지 0.2 mm 간격으로 설정하여 기본 공진 주파수와 3배수 하모닉 공진 주파수의 리액턴스와 각 공진 주파수간 비를 분석한 것이다. 기본 공진 주파

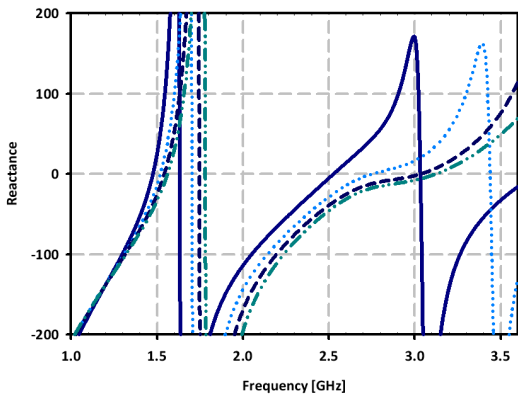


그림 3. gap<sub>2</sub> 간격에 따른 리액턴스  
Fig. 3. Simulated reactance with various gap<sub>2</sub>.

표 1. gap<sub>2</sub> 간격에 따른 공진 주파수와 주파수비  
Table 1. Simulated resonance frequencies and frequency ratio with various gap<sub>2</sub>.

gap <sub>2</sub> [mm]	기본 공진 주파수	3배수 하모닉 공진 주파수	주파수 비
0.2	1.49	2.53	1.71
0.4	1.52	2.75	1.81
0.6	1.54	3.03	1.97
0.8	1.57	3.12	1.99

수의 경우, 스파이럴 중앙부 선로의 전류 크기가 작아 gap<sub>2</sub>에 따른 공진 주파수 이동이 120 MHz로 작은 반면, 3배수 하모닉 공진 주파수의 경우, 스파이럴 중앙부 선로의 전류 크기가 커 gap<sub>2</sub>에 따른 커플링이 상대적으로 크므로 공진 주파수의 이동이 590 MHz로 크다. 주파수 비는 gap<sub>2</sub>가 0.2 mm에서 0.8 mm로 변할 때 1.71에서 1.99로 변하게 된다. 따라서 이와 같은 방법으로 변형된 스파이럴 모노폴 안테나의 선로 간격을 달리하여 이중 대역 동작을 주파수비 조절을 통해 이룰 수 있다.

제작하고자 하는 공진 주파수(1.57 GHz)와 3배수 하모닉 주파수(2.4 GHz)의 비는 1.52이다. 그러나 제작상의 이유로 gap<sub>2</sub>를 0.2 mm 이하로 줄이는 것은 어렵다. 이를 해결하기 브랜치 라인을 삽입하였다. 브랜치 라인은 3배수 하모닉 공진 주파수의 전류 분포를 분석해 전류의 위상이 달라지는 곳에 위치하였다. 전류의 위상이 달라지는 곳에 브랜치 라인이 위치할 경우 브랜치 라인으로 흘러 들어가는 전류의 방향이 같아 주파수 이동에 가장 효과적이다<sup>[12]</sup>. 또한, 브랜치 라인과 스파이럴 안테나의 상단 간의 네거티브 커플링 효과를 줄이기 위해 1.4 mm의 간격을 주었다.

표 2는 Branch<sub>L</sub>(B1+B2+B3)=0 mm, gap<sub>2</sub>=0.2 mm 일 때 기본 동작 주파수 1.57 GHz에서 동작하는 안테나를 설계한 후 브랜치 라인의 길이에 따른 기본 공진 주파수와 3배수 하모닉 공진 주파수이다. 브랜치 라인이 길어질수록 3배수 하모닉 공진 주파수가 낮아진다. 하지만 기본 공진 주파수에서는 전류의 위상이 변하지 않아 브랜치 라인의 영향을 받지 않고,

표 2. 브랜치 라인의 길이에 따른 공진 주파수와 주파수 비

Table 2. Simulated resonance frequencies and frequency ratio with various Branch<sub>L</sub>.

Branch <sub>L</sub> [mm]	B1, B2, B3 [mm]	기본 공진 주파수	3배수 하모닉 공진 주파수	주파수 비
0	0, 0, 0	1.57	2.62	1.67
4	2, 2, 0	1.56	2.57	1.65
8	2, 6, 0	1.57	2.55	1.62
12	2, 8, 2	1.55	2.39	1.54

그래서 공진 주파수의 변화가 거의 없음을 볼 수 있다.

#### IV. 임피던스 정합 분석

그림 4는 개인 휴대 단말기 바 타입의 기본 크기인 45 mm×70 mm의 접지면의 구조이다. 소형 모노폴 안테나는 크기가 작아 낮은 저항으로 인한 임피던스 정합이 어렵다.

모노폴 안테나가 수직 접지면에 장착되었을 때, 안테나의 임피던스 특성은 수직 접지면의 면적과 안테나의 급전 위치에 따라 변하게 된다. 안테나의 급전 위치가 바뀌게 되면 수직 접지면의 전류 분포가 달라진다. 그 결과, 안테나의 특성 임피던스 중 저항 성분에 영향을 준다. 이를 이용하여 방사 저항이 작은 소형 모노폴 안테나의 임피던스 특성을 개선할 수 있다<sup>[4]</sup>.

그림 5는 안테나의 위치에 따른 반사 손실의 변화이다.  $k_p$ 는 수직 접지면의 중앙으로부터 안테나의 급전 위치까지의 거리이다.  $k_p$ 가 증가할수록 안테나의 임피던스 특성이 좋아지는 것을 볼 수 있다.

#### V. 제작 및 측정

제안된 이중 대역 변형 스파이럴 모노폴 안테나는 비유전율 4.2이고 두께 1 mm인 FR-4 유전체를 이용하여 제작하였다. 안테나의 구조 변수는 그림 1과 같고,  $Blanch\_L=12$  mm,  $gap\_1=0.8$  mm,  $gap\_2=0.2$  mm, 그리고  $k_p=20.3$  mm이다.

그림 6은 제작된 안테나의 실제 모습이며, 그림 7

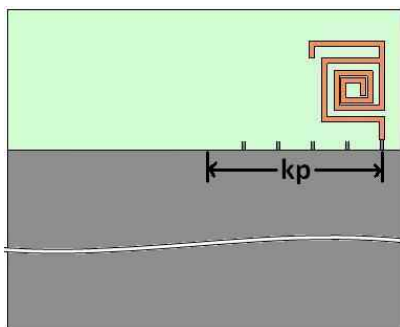


그림 4. 안테나 구조와 급전 위치  
Fig. 4. Geometry of propose antenna and various feeding points.

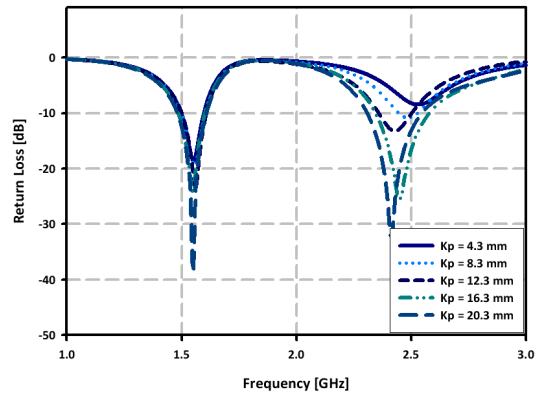


그림 5. 급전 위치에 따른 반사 손실 변화  
Fig. 5. Return loss with various  $k_p$ .

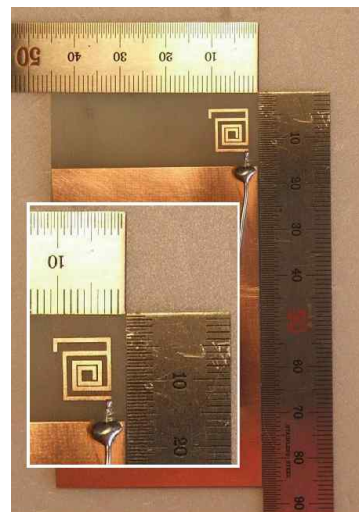


그림 6. 제작된 안테나  
Fig. 6. Photograph of fabricated antenna.

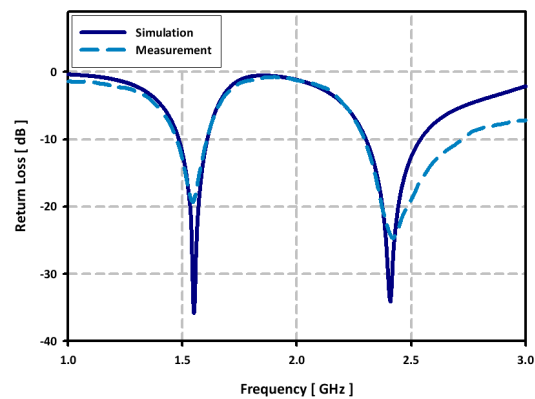


그림 7. 모의 실험과 측정된 반사 손실  
Fig. 7. Simulated and measured return loss.

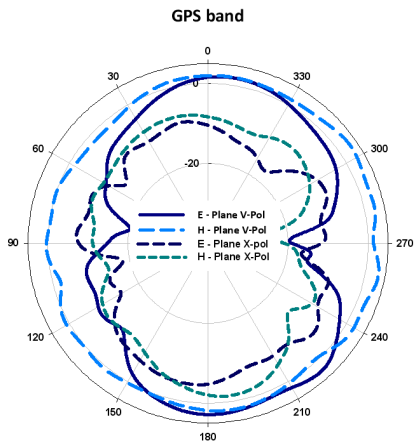


그림 8. 1.575 GHz(GPS) 대역의 방사 패턴  
Fig. 8. Radiation pattern of 1.575 GHz(GPS).

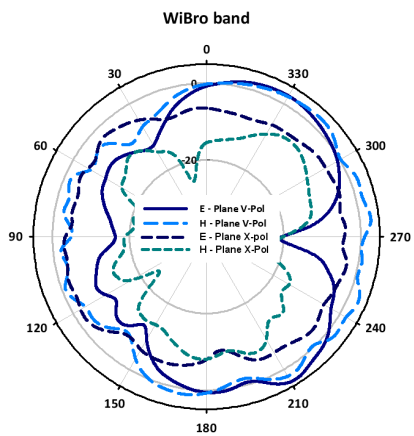


그림 9. 2.35 GHz(WiBro) 대역의 방사 패턴  
Fig. 9. Radiation pattern of 2.35 GHz(WiBro).

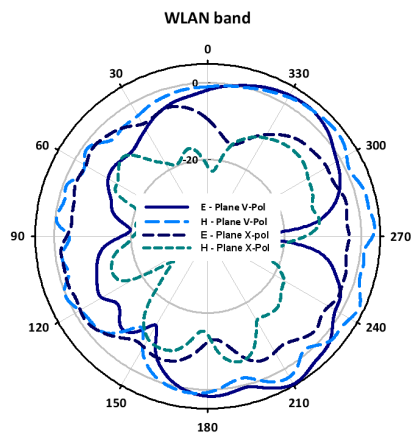


그림 10. 2.45 GHz(WLAN) 대역의 방사 패턴  
Fig. 10. Radiation pattern of 2.45 GHz(WLAN).

은 안테나의 시뮬레이션과 측정된 반사 손실이다. 측정은 Agilent Technology사의 E5071C를 사용하였다. 시뮬레이션 대역폭은  $-10$  dB 기준으로 기본 공진 주파수 대역에서  $110$  MHz( $1.49 \sim 1.6$  GHz), 3배수 하모닉 공진 주파수에서  $240$  MHz( $2.3 \sim 2.54$  GHz)이다. 측정 대역폭은  $-10$  dB 기준으로 기본 공진 주파수 대역에서  $140$  MHz( $1.47 \sim 1.61$  GHz), 3배수 하모닉 공진 주파수에서  $420$  MHz( $2.29 \sim 2.71$  GHz)이다. 이는 GPS( $1.57 \sim 1.577$  GHz)와 WiBro( $2.3 \sim 2.4$  GHz), WLAN( $2.4 \sim 2.485$  GHz) 대역을 모두 만족하는 결과이다.

그림 8~10은 제작된 안테나의 1.575 GHz(GPS), 2.35 GHz(WiBro) 그리고 2.45 GHz(WLAN)에서 측정된 방사 패턴이다. 각 방사 패턴의 H-plane은 전방향 특성을 보여 준다. 측정된 최대 방사 이득은 GPS (1.575 GHz) 대역에서  $2.825$  dBi, WiBro(2.35 GHz) 대역에서  $3.65$  dBi, 그리고 WLAN (2.45 GHz) 대역에서  $4.564$  dBi이다. 안테나의 측정된 효율은 GPS(1.575 GHz)에서  $87.17\%$ , WiBro(2.35 GHz)에서  $83.33\%$  그리고 WLAN(2.45 GHz)에서  $94.45\%$ 이다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 변형된 스파이럴 구조를 이용해 GPS, WiBro, WLAN의 이중 대역에서 동작하는 인쇄형 모노폴 안테나를 제안하였다. 이중 대역 동작을 위한 기본 공진 주파수와 하모닉 공진 주파수의 비를 조절하기 위해, 선로 간격이 일정하지 않은 스파이럴 구조와 하모닉 주파수에서 위상이 변하는 지점에 브랜치 라인을 삽입하였다. 제안된 안테나는  $11.2$  mm $\times$  $8.6$  mm $\times$  $1$  mm의 부피를 갖는다. GPS에서  $140$  MHz, WiBro와 WLAN에서  $420$  MHz의 대역폭을 갖는다. 그리고 GPS 대역에서 최대 이득은  $2.825$  dBi, 방사효율은  $87.17\%$ , WiBro 대역에서 최대 이득은  $3.65$  dBi, 방사효율은  $83.33\%$ , WLAN 대역에서 최대 이득은  $4.564$  dBi, 방사효율은  $94.45\%$ 를 갖는다. 그리고 본 논문에서 제안한 구조를 이용하면 임의의 이중 대역 동작 안테나를 쉽게 설계할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] H. D. Chen, "Compact CPW-fed dual-frequency monopole antenna", *Electronics Letters*, vol. 38, no. 25, pp. 1622-1624, 2002.
- [2] C. W. Chiu, F. L. Lin, "Compact dual-band PIFA with multi-resonators", *Electronics Letters*, vol. 38, no. 12, pp. 538-540, 2002.
- [3] Y. Lin, C. Lin, and P. Hall, "A miniature dielectric loaded monopole antenna for 2.4/5 GHz WLAN applications", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 16, no. 11, pp. 591-593, Nov. 2006.
- [4] C. Y. Pan, T. S. Horng, W. S. Chen, and C. H. Huang, "Dual wideband printed monopole antenna for WLAN/WiMax applications", *IEEE Antennas Wireless Propagation Letters*, vol. 6, pp. 149-151, 2007.
- [5] G. Augustin, P. C. Bybi, V. P. Sarin, P. Mohanan, C. K. Anandan, and K. Vasudevan, "A compact dual-band planar antenna for DCS-1900/PCS/PHS, WCDMA/IMT-2000, and WLAN applications", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 7, pp. 108-111, 2008.
- [6] H. Nakano, N. Ikeda, Yu-Yuan Wu, R. Suzuki, H. Mimaki, and J. Yamauchi, "Realization of dual-frequency and wide-band VSWR performances using normal-model helical and inverted-F antennas", *IEEE Antennas and Propagation*, vol. 46, no. 6, pp. 788-793, 1998.
- [7] P. Bernardi, M. Cavagnaro, S. Pisa, and E. Piuzei, "Power absorption and temperature elevations induced in the human head by a dual-band monopole-helix antenna phone", *IEEE Microwave Theory and Techniques*, vol. 49, no. 12, pp. 2539-2546, 2001.
- [8] B. Sun, Q. Liu, and H. Xie, "Compact monopole antenna for GSM/DCS operation of mobile phone handsets", *Electronics Letters*, vol. 39, no. 22, pp. 1562-1563, Oct. 2003.
- [9] Truong Khang Nguyen, Byoungchul Kim, Hosung Choo, and Ikmo Park, "Multiband dual spiral strip-line-loaded monopole antenna", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 8, pp. 57-59, 2009.
- [10] 정진우, 김경근, 이현진, 임영석, "기생 패치를 이용한 이중 대역 적층형 헬릭스 모노폴 안테나 설계", *전자공학회논문지*, 44 TC(1), pp. 155-161, 2007.
- [11] Jinwoo Jung, Hyeonjin Lee, and Yeongseog Lim, "Modified helix chip antenna for WiBro and WLAN applications", *Electronics Letters*, vol. 44, no. 11, pp. 663-664, 2008.
- [12] Jinwoo Jung, Hyeonjin Lee, and Yeongseog Lim, "Compact monopole antenna for dual ISM-band (2.4 and 5.8 GHz) operation", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 51, no. 9, pp. 2227-2229, 2009.
- [13] 정진우, 서인중, 이현진, 임영석, "이중 커플드 라인을 이용한 이중 대역 적층형 미앤더 라인 안테나", *한국전자과학회논문지*, 17(10), pp. 993-999, 2006년 10월.
- [14] Jinwoo Jung, Hyeonjin Lee, and Yeongseog Lim, "Improving impedance characteristics for small monopole antennas", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 51, no. 3, pp. 836-842, 2009.

정 새 한 솔



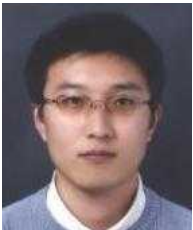
2009년: 전남대학교 전자컴퓨터공학과 (공학사)  
2009년~현재: 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정  
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 초고주파 회로 설계

임 영 석



1980년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
1982년: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)  
1989년: 전북대학교 전자공학과 (공학박사)  
1984년~현재: 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수  
[주 관심분야] 전자파 해석, RF 소자 설계, 초고주파 회로 설계

정 진 우



2005년: 전남대학교 정보통신공학부 전자공학전공 (공학사)  
2007년: 전남대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)  
2007년~현재: 전남대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정  
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 초고주파 회로 설계