

# 수직 접지면을 가지는 4중 대역용 이중 스파이럴 라인 로디드 모노폴 안테나

## A Dual-Spiral Line Loaded Monopole Antenna having a Vertical Groundplane for Quadband Applications

김병철 · Truong Khang Nguyen · 추호성\* · 박익모

Byoungchul Kim · Truong Khang Nguyen · Hosung Choo\* · Ikmo Park

### 요 약

본 논문에서는 수직 접지면을 가지는 4중 대역용 이중 스파이럴 라인 로디드 모노폴 안테나를 제안한다. 안테나의 크기는  $38 \times 12 \times 7 \text{ mm}^3$ 이고, 접지면의 크기는  $40 \times 92 \text{ mm}^2$ 이다. 측정된 안테나의 대역폭은  $VSWR \leq 2$ 를 기준으로 첫 번째 대역과 두 번째 대역에서 각각 11.7 %와 24.8 %이며, Cellular(0.824~0.894 GHz), PCS(1.750~1.870 GHz), UMTS(1.920~2.170 GHz) 그리고 IMT-2000(1.885~2.200 GHz) 대역을 동시에 수용한다. 측정된 안테나의 최대 이득은 Cellular, PCS, UMTS, IMT-2000 대역의 중심 주파수에서 -0.99 dBi, 4.07 dBi, 2.72 dBi와 4.33 dBi이다.

### Abstract

In this paper, we propose a dual-spiral line loaded monopole antenna having a vertical ground plane for quadband applications. The antenna occupies a volume of  $38 \times 12 \times 7 \text{ mm}^3$  with a  $40 \times 92 \text{ mm}^2$  ground plane. The measured impedance bandwidths of the antenna based on  $VSWR \leq 2$  are approximately of 11.7 % and 24.8 % in the first and second frequency band, respectively. The operating frequency can simultaneously cover Cellular(0.824~0.894 GHz), PCS(1.750~1.870 MHz), UMTS(1.920~2.170 MHz), and IMT-2000(1.885~2.200 GHz) bands. The maximum gains of the antenna are -0.99 dBi, 4.07 dBi, 2.72 dBi, and 4.33 dBi at the center frequencies of the Cellular, PCS, UMTS, and IMT-2000 bands, respectively. Good radiation patterns are experimentally obtained.

Key words : Small Antennas, Multiband Antennas, Monopole Antenna, Electromagnetic Coupling, Dual Frequency Operation

### I. 서 론

시장 경제 체제의 급속한 세계화로 인하여 모바일 사용자들은 다양한 통신 기능을 가진 소형 이동통신 기기를 선호하고 있다. 다양한 기능의 추가는 많은 양의 정보의 송수신을 위한 광대역 특성이 필수적이다. 또한, 소형 단말기에 대한 소비자들의 욕

구 증대는 무선 통신에 있어서 소형 안테나 개발을 촉진시켜왔다. 그러나 다중 대역 안테나는 일반적으로 두 개 이상의 복사 소자가 필요하고, 결국 안테나의 크기를 증가시킨다. 따라서 다중 대역에서의 동작을 위하여 효율의 손실이 없이 광대역 특성을 유지하면서 복사 구조의 최소화를 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 최근 평면상에 인쇄된 안테나는 경

이주대학교 전자공학부(School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

\*홍익대학교 전자전기공학부(School of Electronics and Electrical Engineering, Hongik University)

· 논문 번호 : 20080523-13S

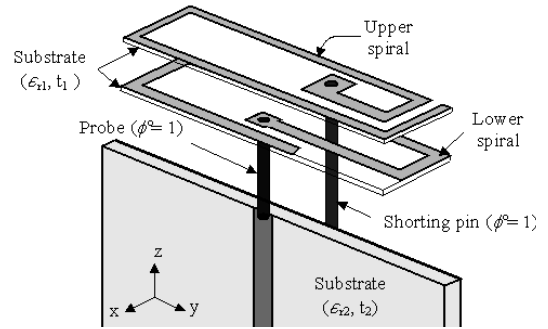
· 수정완료일자 : 2008년 7월 24일

량화와 비용 절감 등으로 많은 각광을 받고 있다<sup>[1]~[5]</sup>. 그러나 이러한 안테나들은 좁은 대역폭으로 인하여 특정 무선 통신 시스템 영역에서 다양한 멀티미디어 대역들을 동시에 수용하기에는 적합하지 않다. 뿐만 아니라 평면상에 인쇄된 안테나는 이득과 임피던스 특성의 균형을 맞추어야 하므로 높은 이득을 위한 안테나에는 제약을 받는다.

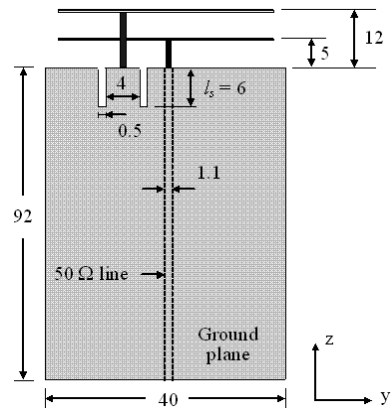
본 논문에서는 안테나가 소형이면서도 다중 대역에서 동작하기 위한 기법을 적용시킨 4중 대역 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 스파이럴 형태를 이용하여 안테나의 전기적 길이를 증가시킴으로써 안테나 전체 크기를 감소시켰다<sup>[6]</sup>. 또한, 매우 근접하게 위치하는 두 개의 복사체를 전자기적으로 상호 결합하여 소형 안테나의 대역폭을 크게 개선하였고<sup>[7]</sup>, 접지면에 open-ended 슬릿을 삽입하여 안테나의 높은 쪽 공진 대역에서의 복사 특성을 향상시켰다<sup>[8]</sup>.<sup>[9]</sup> 그리고 휴대를 용이하게 하기 위하여 수직 접지면을 사용하였고, 두 스파이럴 스트립 라인을 적층 구조로 배치하였다. 제안된 안테나는 이중 대역에서 동작하며 각각의 대역에서 두 개의 공진을 발생시키고, 모노폴 안테나와 유사한 복사 특성을 가진다. 전산 모의 실험 결과, 동작 대역은  $VSWR \leq 2$  기준으로 0.775~0.913 GHz와 1.744~2.247 GHz로 각각 138 MHz와 503 MHz이며, 측정된 동작 대역은 0.798~0.897 GHz와 1.748~2.245 GHz로 각각 99 MHz와 497 MHz의 대역폭을 가진다.

## II. 안테나 구조

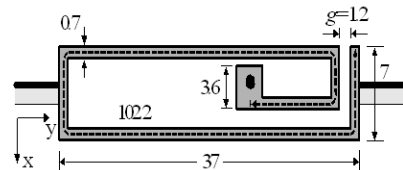
그림 1에 제안한 안테나 구조를 나타내었다. 안테나는 유사한 형태를 가진 두 개의 스파이럴 스트립 라인으로 구성되며, 비유전율이 3.38이고 두께가 0.203 mm인 RO4003 기판에 제작하였다. 두 스파이럴 스트립 라인은 안테나의 크기와 외관을 고려하여 적층 구조로 배치하였다. 상부 사각 스파이럴 스트립 라인은 기생 소자로서 접지면에 단락 핀으로 연결되어 있다. 하부 사각 스파이럴 라인은 안테나의 주요 복사 소자로서 접지면에 프로브 핀을 통하여 50 Ω 마이크로스트립 라인으로 연결되어 있다. 지름이 1.0 mm인 단락 핀과 프로브 핀 사이 간격은  $d$ 이다. 두 open-ended 두 개의 슬릿은 접지면의 위쪽



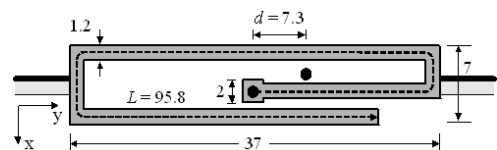
(a) 입체도  
(a) 3-dimensional view



(b) 측면도  
(b) Side view



(c) 상부 스파이럴 정면도  
(c) Top view of the upper spiral



(d) 하부 스파이럴 정면도  
(d) Top view of the lower spiral

그림 1. 안테나 구조

Fig. 1. Antenna structure.

끝부분에 위치하며, 단락 핀을 기준으로 서로 대칭이 되게 배치하였다. 안테나의 크기는  $38 \times 12 \times 7 \text{ mm}^3$ 이

고,  $40 \times 92 \text{ mm}^2$ 의 접지면에 설계하였으며, 접지면의 기판은 비유전율이 3.38이고 두께가 0.508 mm이다. 각 대역에서의 임피던스 정합을 위하여 상부 스파이럴과 하부 스파이럴의 폭, 길이, 높이, 그리고 슬릿의 폭과 길이를 조절하여 최적 조건의 안테나 설계 파라미터를 얻어내었다.

### III. 안테나 특성

안테나의 크기를 줄이는 가장 좋은 방법은 도체의 전류 경로를 최대화 하는 것이다. 그러므로 사각 스파이럴 구조는 이러한 특성을 구현할 수 있는 가장 좋은 방법이다. 그 중에서도 이중 스파이럴 스트립 라인 로디드 모노폴 안테나는 이중 공진으로 인하여 광대역 특성을 가진다<sup>6)</sup>. 제안한 안테나는 휴대 폰에 적용하기 위하여 소형이면서 여러 대역을 수용할 수 있게 설계하였다. 안테나 설계를 위한 시뮬레이션은 CST사의 전자기파 상용 시뮬레이터인 MWS (Microwave Studio)를 사용하였다. 그림 2는 하부 사각 스파이럴 스트립 라인의 길이  $L$ 의 변화에 따른 반사 손실 특성이다. 길이를 93.8 mm에서 95.8 mm, 97.8 mm로 증가시키면 첫 번째 대역의 높은 쪽 공진 주파수가 0.9 GHz에서 0.87 GHz, 0.84 GHz로, 두 번째 대역의 높은 쪽 공진 주파수가 2.1 GHz에서 2.07 GHz, 2.04 GHz로 각각 감소한다. 그러나 첫 번째 대역의 낮은 쪽 공진 주파수와 두 번째 대역의 낮은 쪽 공진 주파수는 0.79 GHz와 1.78 GHz 근처에서 거의

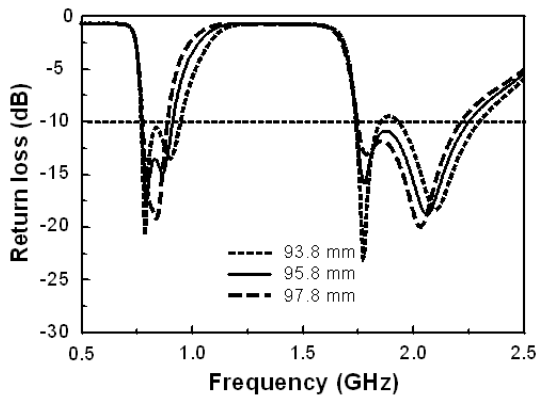


그림 2. 하부 스파이럴 라인의 길이 변화에 따른 반사 손실

Fig. 2. Variation of return loss with respect to the length of lower spiral line.

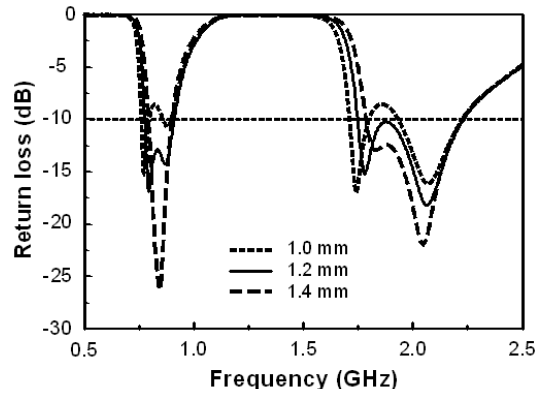


그림 3. 상부 사각 스파이럴 라인의 간격 변화에 따른 반사 손실

Fig. 3. Variation of return loss with respect to the gap of upper spiral line.

변화가 없다. 그러므로 하부 사각 스파이럴 스트립 라인의 길이는 첫 번째와 두 번째 대역에서 높은 쪽 공진 주파수를 결정함을 알 수 있다.

그림 3은 상부 사각 스파이럴 스트립 라인의 간격  $g$ 의 변화에 따른 반사 손실 특성이다. 간격을 1.0 mm에서 1.2 mm, 1.4 mm로 증가시키면, 단락 핀을 포함한 상부 사각 스파이럴 스트립 라인의 전체 길이가 감소된다. 그림에서 보는 바와 같이 첫 번째 대역의 낮은 쪽 공진 주파수는 0.77 GHz에서 0.79 GHz, 0.8 GHz로 증가하고, 두 번째 대역의 낮은 쪽 공진 주파수는 1.74 GHz에서 1.78 GHz, 1.83 GHz로 각각 증가한다. 반면에 첫 번째 대역과 두 번째 대역의 높은 쪽 공진 주파수는 각각 0.87 GHz와 2.07 GHz에서 거의 변화가 없다. 그러므로 상부 사각 스파이럴 스트립 라인의 길이는 첫 번째와 두 번째 대역에서 낮은 쪽 공진 주파수를 결정함을 알 수 있다.

그림 4는 단락 핀의 지름 변화에 따른 반사 손실 변화이다. 단락 핀의 지름이 0.5 mm에서 1.0 mm, 1.5 mm로 증가시키면 첫 번째 대역에서의 낮은 쪽 공진 주파수가 0.76 GHz에서 0.79 GHz, 0.83 GHz로 증가하고, 두 번째 대역에서의 낮은 쪽 공진 주파수는 1.74 GHz에서 1.78 GHz, 1.83 GHz로 각각 증가한다. 반면 첫 번째 대역에서의 높은 쪽 공진 주파수와 두 번째 대역에서의 높은 쪽 공진 주파수는 거의 변화가 없었다. 단락 핀의 지름이 늘어남에 따라 단락 핀의 인덕턴스가 줄어들므로, 공진 주파수는 증가하였

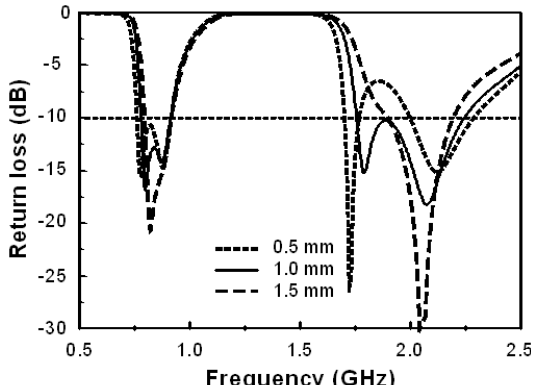


그림 4. 단락 핀 지름 변화에 따른 반사 손실  
Fig. 4. Variation of return loss with respect to the diameter of shorting pin.

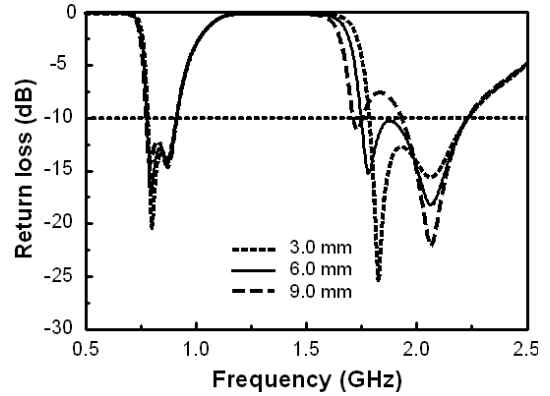


그림 5. 슬릿 길이 변화에 따른 반사 손실  
Fig. 5. Variation of return loss with respect to the length of slit.

다. 위 결과로부터, 상부의 사각 스파이럴은 각 대역에서 낮은 쪽 공진 주파수를 결정한다는 것을 알 수 있다.

그림 5는 슬릿의 길이  $l_s$ 의 변화에 따른 반사 손실 변화이다. 길이를 3 mm에서 6 mm, 9 mm로 증가시키면 두 번째 대역의 낮은 쪽 공진 주파수가 1.82 GHz에서 1.78 GHz, 1.73 GHz로 크게 감소하고 첫 번째 대역에서의 낮은 쪽 공진 주파수는 조금 감소하였다. 반면, 첫 번째 대역과 두 번째 대역의 높은 쪽 공진 주파수는 거의 변화가 없었다. 이러한 결과로부터 상부 사각 스파이럴과 접지면의 슬릿은 첫 번째 대역과 두 번째 대역의 낮은 쪽 공진 주파수를 결정함을 알 수 있다. 특히 슬릿은 두 번째 공진 주파수 대역의 낮은 쪽 공진 주파수에 큰 영향을 준다.

표 1에는 하부 사각 스파이럴 스트립 라인의 길이  $L$ , 상부 사각 스파이럴 스트립 라인의 간격  $g$ , 단락 핀의 지름, 슬릿의 길이 변화에 따른 반사 손실을 요약하였다.

그림 6에는 위의 설계 값을 토대로 실제 안테나를 제작한 사진이며, 측정 결과 시뮬레이션 결과와 유사한 특성을 얻었다.

그림 7에는 시뮬레이션을 통하여 계산한 안테나

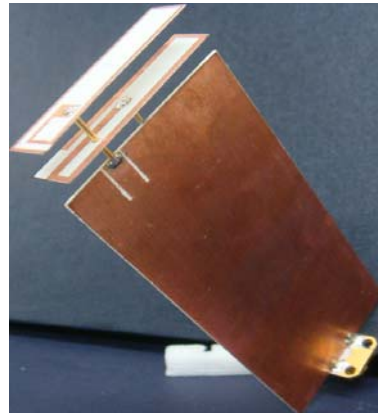


그림 6. 제작된 4중 대역 안테나  
Fig. 6. Fabricated quadband antenna.

표 1. 설계 변수에 따른 반사 손실 변화

Table 1. Variation of return loss with respect to each parameter.

Parameter(Variation)	1 <sup>st</sup> freq. band		2 <sup>nd</sup> freq. band	
	Lower resonance	Higher resonance	Lower resonance	Higher resonance
Lower spiral length(Increase)	Remain	Decrease	Remain	Decrease
Upper spiral gap(Increase)	Increase	Remain	Increase	Remain
Shorting pin diameter(Increase)	Increase	Remain	Increase	Remain
Slits length(Increase)	Decrease	Remain	Decrease	Remain

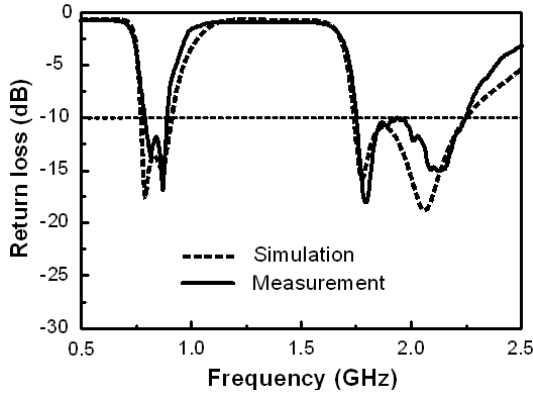


그림 7. 최적화된 안테나의 반사 손실  
Fig. 7. Return loss of the optimized antenna.

와 제작하여 측정된 안테나의 반사 손실 특성을 나타내었다. 계산된 안테나의 반사 손실은 낮은 쪽 중심 주파수 0.844 GHz에서 0.775~0.913 GHz의 대역폭을, 높은 쪽 중심 주파수 1.995 GHz에서 1.744~2.247 GHz의 대역폭을 가지며, 측정된 반사 손실은 낮은 쪽 중심 주파수 0.847 GHz에서 0.798~0.897 GHz와 높은 쪽 중심 주파수인 1.996 GHz에서 1.748~2.245 GHz의 대역폭을 가진다. 측정 결과, 낮은 쪽 주파수에서의 대역폭이 시뮬레이션 결과보다 작은 이유는 상부 및 하부 사각 스파이럴의 정렬 문제로 보인다.

표 2에는 전산모의 실험 결과와 측정된 안테나의 반사 손실 특성을 요약하였다.

그림 8은 Cellular, PCS, UMTS와 IMT-2000 대역의 중심 주파수에서 시뮬레이션 및 측정된 복사 패턴을 보여준다. 시뮬레이션 결과 안테나는 모노폴 형태의 복사 패턴을 가진다.

표 3은 전산모의 실험 결과 및 측정된 안테나의 최대 이득을 요약하였다.

표 2. 최적화된 안테나의 반사 손실  
Table 2. Return loss of the optimized antenna.

	1 <sup>st</sup> freq. band (GHz)	2 <sup>nd</sup> freq. band (GHz)
Simulation	0.775 ~ 0.913 16.3 %	1.744 ~ 2.247 25.2 %
Measurement	0.797 ~ 0.897 11.7 %	1.748 ~ 2.245 24.8 %

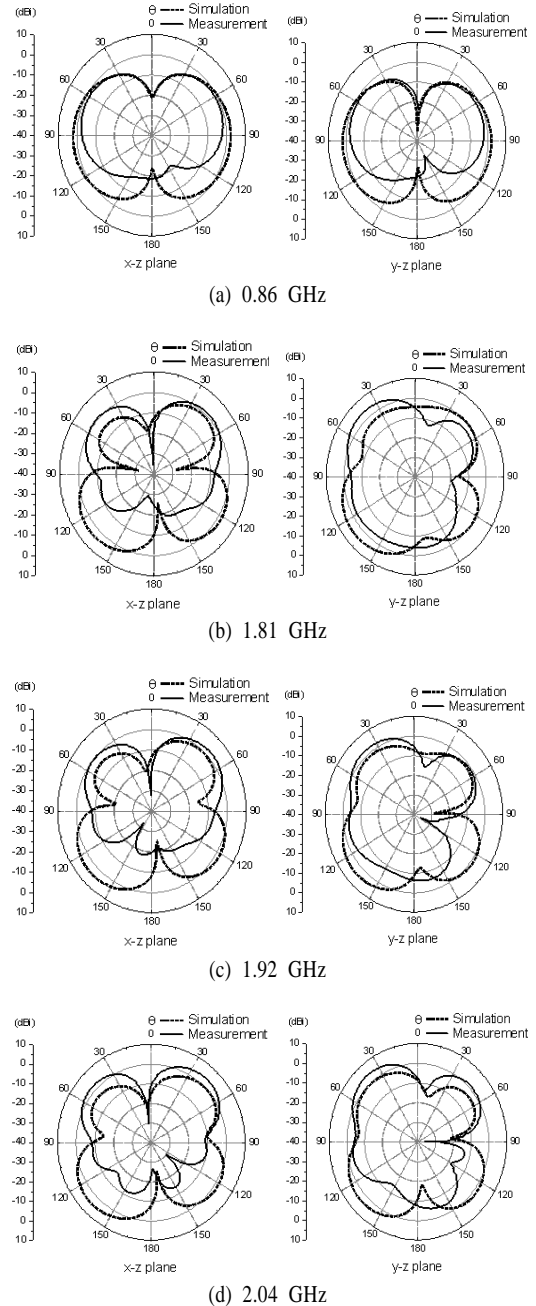


그림 8. 제안한 안테나의 x-z, y-z 평면에서의 복사 패턴  
Fig. 8. Measured radiation patterns of the proposed antenna in the x-z and y-z plane.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 다중 대역에서 응용할 수 있는 이

표 3. 안테나 최대 이득

Table 3. The maximum antenna gains.

Frequency (GHz)	Plane	Simulation (dBi)	Measurement (dBi)
0.86	x-z	2.25	-0.99
	y-z	2.13	-1.07
1.81	x-z	4.17	1.52
	y-z	4.79	4.07
1.92	x-z	4.62	2.48
	y-z	4.36	2.72
2.04	x-z	4.76	3.87
	y-z	3.96	4.33

중 스파이럴 스트립 라인 로디드 모노폴 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 37×12×7 mm<sup>3</sup>의 크기를 가지며, 계산된 안테나의 반사 손실은 낮은 쪽 중심 주파수 0.844 GHz에서 0.775~0.913 GHz의 대역폭을, 높은 쪽 중심 주파수 1.995 GHz에서 1.747~2.247 GHz의 대역폭을 가지며, 측정된 반사 손실은 낮은 쪽 중심 주파수 0.847 GHz에서 0.798~0.897 GHz와 높은 쪽 중심 주파수인 1.996 GHz에서 1.748~2.245 GHz의 대역폭으로 전산 모의 실험 결과와 유사하며, 최대 이득은 -0.99 dBi, 4.07 dBi, 2.72 dBi와 4.33 dBi로써 Cellular(0.824~0.894 GHz), PCS(1.750~1.870 GHz), UMTS(1.920~2.170 GHz) 그리고 IMT-2000(1.885~2.200 GHz) 대역을 동시에 수용한다. 그러므로 제안한 안테나는 작은 크기와 광대역 특성, 모노폴 안테나 형태의 복사 패턴을 가지므로, 휴대폰 등 소형 이동 통신 기기에 응용이 가능하다.

### 참 고 문 헌

[1] C. Lee, S. Park, "A novel compact cable-fed antenna for a GSM/PCS handset", *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 46, pp. 469-471, Sep. 2005.

[2] M. Martínez-Vázquez, O. Litschke, M. Geissler, D. Heberling, A. Martínez-González, and D. Sánchez-Hernández, "Integrated planar multiband antennas for personal communication handsets", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 54, no. 2, pp. 384-391, Feb. 2006.

[3] I. Kim, C. W. Jung, S. -M. Han, and Y. E. Kim, "Wing-shaped antenna with two-port configuration for multi-band mobile communication systems", *Electron. Lett.*, vol. 43, no. 24, Nov. 2007.

[4] I. F. Chen, C. M. Chiang, "Multi-folded tapered monopole antenna for wideband mobile handset applications", *Electron. Lett.*, vol. 40, no. 10, pp. 577-578, 2004.

[5] K. L. Wong, *Planar Antennas for Wireless Communications*, Wiley-Interscience, 2003.

[6] T. K. Nguyen, K. Lee, H. Choo, and I. Park, "A compact spiral stripline-loaded monopole antenna with a vertical ground plane", *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 50, no. 1, pp. 250-252, Jan. 2008.

[7] J. H. Jung, Y. H. Lee, and I. Park, "Electromagnetically coupled small broadband rectangular disk-loaded monopole antenna", *IEEE Wireless Propagat. Lett.*, vol. 2, pp. 349-351, 2003.

[8] M. F. Abedin, M. Ali, "Modifying the ground plane and its effect on planar inverted-F antennas(PIFAs) for mobile phone handsets", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 2, no. 1, pp. 226-229, Jul. 2003.

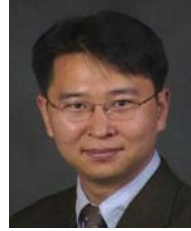
[9] R. Hossa, A. Byndas, and M. E. Bialkowski, "Improvement of compact terminal antenna performance by incorporating open-ends slots in ground plane", *IEEE Microwave Wireless Components Lett.*, vol. 14, no. 6, pp. 283-285, Jun. 2004.

김 병 철



2004년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)  
2007년 9월~현재: 아주대학교 전자공학과 석사과정  
[주 관심분야] 안테나 설계

추 호 성



1998년 2월 한양대학교 전파공학과 (공학사)  
2000년 8월 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)  
2003년 5월 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)  
2003년 6월~2003년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (Post Doctor)  
2003년 8월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 조교수  
[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나

Nguyen Truong Khang



2006년 2월: National University of Hochiminh City 계산물리학과 (공학사)  
2006년 3월~현재: 아주대학교 전자공학과 석·박사 통합 과정  
[주 관심분야] 안테나 설계

박 익 모



1984년: 뉴욕주립대학교 전기전자공학과 (공학사)  
1989년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학석사)  
1994년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학박사)  
1994년~1996년: LG전자기술원  
1996년~현재: 아주대학교 전자공학부 교수  
[주 관심분야] 초고주파 및 테라헤르츠파 수동소자 (안테나 포함) 설계 및 해석