

# GPS/PCS 단말기용 3-Finger형 내장형 안테나 설계

## Design of 3-Fingers Type Internal Antenna for GPS/PCS Handsets

방상원 · 정병운 · 이학용 · 박면주 · 이병제

Sang-Won Bang · Byung-Woon Jung · Hak-Yong Lee · Myun-Joo Park · Byungje Lee

### 요 약

본 논문에서는 GPS/PCS 단말기에 적합한 새로운 형태의 듀얼밴드 내장형 안테나를 제안하였다. 안테나는 3개의 각기 다른 길이의 모노폴을 함께 급전시킨 형태를 가지며, 본 논문에서는 이러한 형태를 3-Finger형이라 하였다. 안테나의 두께를 얇게 설계하여 단말기 내부의 공간을 최대한으로 활용하였다. 제작되어진 3-Finger 형태의 안테나를 상용화되어진 단말기의 내부에 장착하여 제작 및 측정하였다. GPS 대역에서  $-1.97$  dBi $\sim$  $0.66$  dBi, PCS 대역에서는  $-0.92$  dBi $\sim$  $1.02$  dBi의 이득을 얻었으며, 방사패턴은 전 대역에서 전 방향성에 가까움을 확인하였다.

### Abstract

This paper proposes a new type of a dual-band internal antenna for GPS/PCS handsets. The antenna has three monopoles in different lengths, and this structure is referred as a 3-fingers type antenna in this paper. The antenna with low-profile structure is designed to use internal space of handset maximally. The fabrication and the measurement are accomplished by attaching the 3-finger type antenna to the inside of a commercial handset. We obtain gain of  $-1.97$  dBi $\sim$  $0.66$  dBi in the GPS band, and  $-0.92$  dBi $\sim$  $1.02$  dBi in the PCS band and almost omni-directional patterns at all bands.

Key words : Dual Band, Internal Antenna, GPS/PCS Handset, 3-Fingers Type

### I. 서 론

통신 기술의 급속한 발전과 함께 전 세계적으로 Cellular, DCS, PCS, GSM 등의 다양한 이동통신 서비스가 시행되고 있으며, FCC(Federal Communication Commission)의 발표에 따르면 미국에서 판매되는 모든 수출용 휴대통신 단말기에 GPS(Global Positioning System) 서비스를 필수 조건으로 넣고 있어, 여러 주파수 대역을 동시에 만족시킬 수 있는 안테나 개발의 중요성이 점점 커지고 있다. 또한, 인체로 전달되는 전자파에 대한 규제가 전 세계적으로 강화됨에 따라 전자파 흡수율을 줄일 수 있는 안테나의 개발이 필요하게 되었다. 따라서, 최근 이동통신 단

말기용 안테나의 최대 이슈는 다중대역 내장형 안테나의 개발일 것이며, 이를 통해 80 % 이상 외국에서 특허를 가지고 있는 헬리컬 안테나에 대한 의존도를 줄일 수 있을 것이다.

Printed monopole antenna는 제작이 용이하고 비용이 저렴하다는 장점을 가져 무선 시스템의 적용을 위한 연구가 꾸준히 계속되어져 왔다<sup>[1][2]</sup>. 또한 서로 다른 크기의 모노폴을 하나의 급전을 통해 다중 공진을 얻어내는 형태의 안테나가 여러 사람들에 의해 이미 연구된바 있다<sup>[3][4]</sup>. 이러한 연구 결과들을 바탕으로 제안된 안테나는 3개의 서로 길이가 다른 모노폴 안테나를 함께 급전시킨 형태를 가지며 각기 다른 전기적 길이로 발생하는 공진 주파수 차이가 이

광운대학교 전파공학부(Department of Radio Science & Engineering, Kwangwoon University)

· 논문 번호 : 20040709-086

· 수정완료일자 : 2005년 1월 5일

용해 다중 혹은 광대역 특성을 가지도록 할 수 있다. 본 논문에서 설계한 3-finger형 안테나는 각기 길이가 다른 3개의 모노폴의 공진을 이용한 광대역 특성을 확보하여 PCS 대역과 최근 휴대폰에 필수화되는 GPS 대역을 만족하도록 하였다. Ensemble 5.0 simulator를 이용한 모의실험을 통해 프로토타입 안테나를 제작, 측정하여 실제 휴대폰 단말기로의 적용 가능성을 판단하였으며 측정되어진 결과를 바탕으로 사용화 된 단말기에 적용하여 보았다.

## II. Simulation 및 Prototype Antenna

마이크로스트립의 구조에서 전 방향성의 방사 패턴을 가지며 후면부에 접지면이 없는 형태의 printed dipole 혹은 모노폴 안테나는 최근 이동통신 시스템에서 많은 주목을 받아 왔다<sup>[5]</sup>. 기본적으로 전기적으로 큰 접지면 위에 놓여져 있는 원통형의 모노폴 안테나가 fundamental mode에서 동작하기 위해서는 다음과 같은 길이가 필요하다<sup>[6]</sup>.

$$L = 0.244\lambda_g \quad (1)$$

여기서,

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_e}}, \quad \epsilon_e = \text{effective dielectric constant}$$

$$A = \frac{L/r}{1 + L/r}, \quad l = \text{Length}, \quad r = \text{radius of stub}$$

일반적으로 원통형이 아닌 평판형의 안테나의 경우 식 (1)을 이용하기 위해서는 Hallen<sup>[7]</sup>의 제안에 따라 stub의 equivalent radius( $r$ )를 구하는 것이 우선시된다. 무한한 크기를 갖는 접지면 위에 놓여진 너비  $W$ 의 평판형 안테나에 대해서 equivalent radius( $r$ )은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$r = \frac{W}{2\pi} \quad (2)$$

식 (1)로부터 구해진 공진 주파수는 다음과 같다.

$$f_r = \frac{61.92}{L \times \sqrt{\epsilon_e}} \quad [\text{GHz}] \quad (3)$$

그림 1은 식 (3)으로부터 계산된 결과에 기초하여 시뮬레이션을 통해 최적화 된 3-finger형 prototype 안테나의 구조를 나타내고 있으며, 표 1은 안테나 설

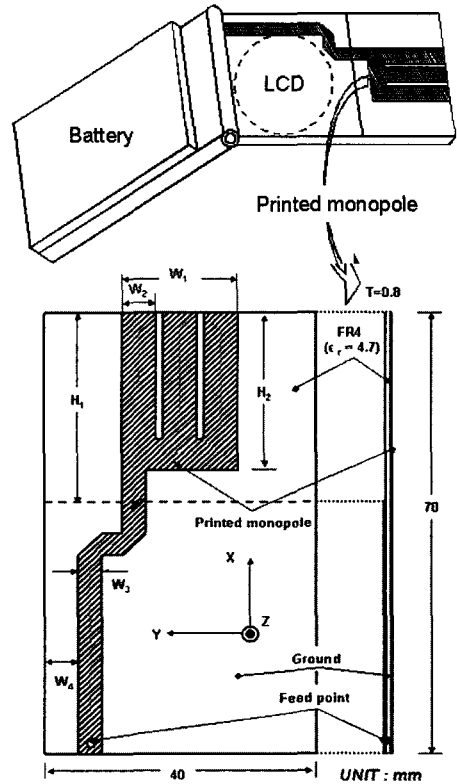


그림 1. 3-finger형 초기 형태 안테나의 구조  
Fig. 1. Geometry of the 3-finger prototype antenna.

표 1. 안테나에 대한 설계 파라미터 수치  
Table 1. Design parameters of the antenna.

Parameter	Value (mm)	Parameter	Value (mm)
$W_1$	17	$W_4$	5
$W_2$	5	$H_1$	30
$W_3$	3.5	$H_2$	25

계시에 사용한 각각의 파라미터 수치를 기술해 놓았다. 제안된 안테나는 current path의 길이가 다른 branch 형태의 방사체들의 인접 공진을 통하여 광대역 특성을 얻었다.

그림 2는 제작되어진 3-finger형 prototype 안테나의 실물 사진이다. Test board #1에 안테나가 위치하여 있으며, test board #2는 폴더 타입에서의 제안된 안테나의 특성을 검증하기 위한 측정용 test board이다.

그림 3에는 제안된 3-finger형 안테나의 모의실험과 제작된 프로토타입 안테나를 Agilent 사의 E5071B

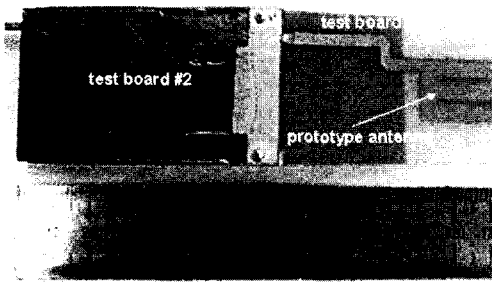
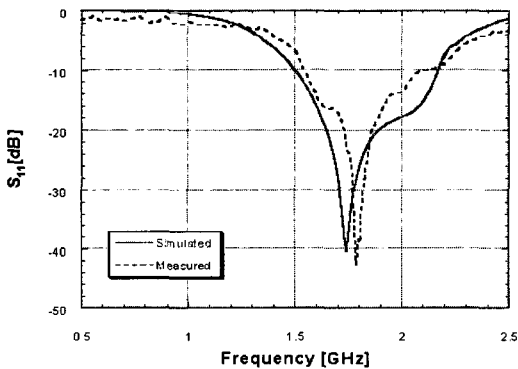
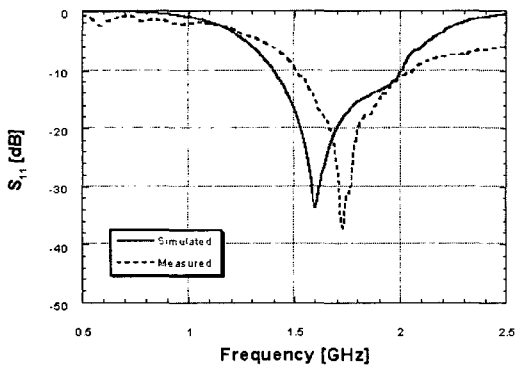


그림 2. 프로토타입 안테나의 실물도  
Fig. 2. Photograph of the prototype antenna.

Vector Network Analyzer를 이용해 측정된 반사손실을 함께 나타내었다. 두 경우 모두 GPS와 PCS 대역을 만족하였으며 정재파비(VSWR) < 2:1을 기준으로 단말기를 펼쳤을 경우 모의실험에서 중심주파수 1,740



(a) 단말기를 펼쳤을 때  
(a) Open handset

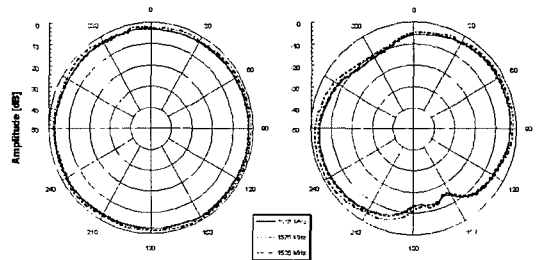


(b) 단말기를 접었을 때  
(b) Closed handset

그림 3. 프로토타입 안테나의 반사손실  
Fig. 3. Return loss of the prototype antenna.

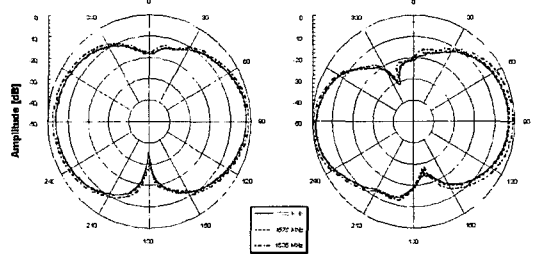
MHz, 38.5 % (1,500 MHz ~ 2,170 MHz)의 임피던스 대역폭을 얻을 수 있었으며 프로토타입 안테나의 경우 중심주파수 1,800 MHz에서 31.1 % (1,540 MHz ~ 2,100 MHz)의 임피던스 대역폭을 얻었고, 단말기를 접었을 경우 모의실험에서 중심주파수 1,600 MHz, 37.5 % (1,410 MHz ~ 2,010 MHz)의 임피던스 대역폭을 얻을 수 있었으며 프로토타입 안테나의 경우 중심주파수 1,730 MHz에서 32.4 % (1,500 MHz ~ 2,060 MHz)의 임피던스 대역폭을 얻어 모의실험과 측정된 결과로서 유사함을 확인하였다.

그림 4와 5는 GPS 대역을 1,565 MHz, 1,575 MHz, 1,585 MHz로 나누어 측정된 방사패턴이다. xy-plane ( $\theta=90^\circ$ )과 yz-plane ( $\phi=90^\circ$ )을 단말기를 접었을 때와 펼쳤을 때로 나누어 나타내었다. 제안된 프로토타입 안테나는 yz-plane에서 전 방향성의 방사패턴을 가지며 단말기를 접었을 경우의 방사패턴 변화를 확인하였다. 표 2는 GPS 대역에서 측정된 안테나의 성능을 분석한 것이다. 단말기를 접었을 경우  $-0.53 \sim 2.41$



(a) 단말기를 펼쳤을 때 (b) 단말기를 접었을 때  
(a) Open handset (b) Closed handset

그림 4. GPS 대역에서의 yz-평면 패턴  
Fig. 4. yz-plane pattern at GPS band.



(a) 단말기를 펼쳤을 때 (b) 단말기를 접었을 때  
(a) Open handset (b) Closed handset

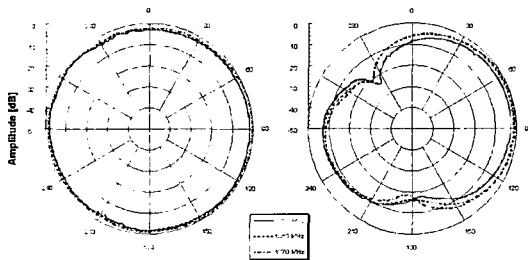
그림 5. GPS 대역에서의 xy-평면 패턴  
Fig. 5. xy-plane pattern at GPS band.

표 2. GPS 대역에서 측정된 안테나의 성능  
Table 2. Performance of the antenna at GPS band.

			H-plane	E-plane
Closed handset	1,565 MHz	$G_{max}$	-0.49	1.15
		$G_{ave}$	-3.58	-4.17
		HPBW	106.16	54.98
	1,575 MHz	$G_{max}$	-0.53	1.25
		$G_{ave}$	-3.48	-3.9
		HPBW	97.98	54.22
1,585 MHz	$G_{max}$	0.58	2.41	
	$G_{ave}$	-2.2	-2.47	
	HPBW	123.71	58.94	
Open handset	1,565 MHz	$G_{max}$	0.76	2.77
		$G_{ave}$	-0.24	-1.88
		HPBW	inf.	33.71
	1,575 MHz	$G_{max}$	0.63	2.85
		$G_{ave}$	-0.36	-1.86
		HPBW	inf.	33.01
1,585 MHz	$G_{max}$	1.76	3.95	
	$G_{ave}$	0.65	-0.71	
	HPBW	inf.	32.64	

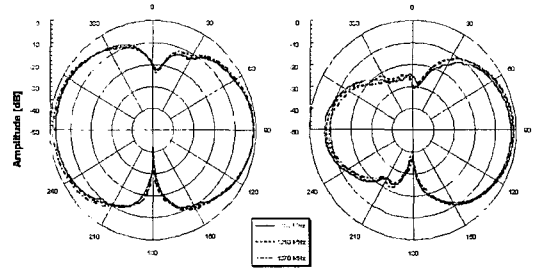
$G_{max}$ : 최대이득[dBi],  $G_{ave}$ : 평균이득[dBi], HPBW: 반치각[degree]

dB의 최대 이득, -4.17~2.2 dBi의 평균 이득을 얻었으며, 단말기를 펼쳤을 경우 0.63~3.95 dBi의 최대 이득과 -1.88~0.65 dBi의 평균 이득을 얻었다. 단말기를 접었을 경우의 1 dBi 이상의 성능 저하와 방사 패턴의 변화로 평균 이득이 최대이득에 비해



(a) 단말기를 펼쳤을 때 (b) 단말기를 접었을 때  
(a) Open handset (b) Closed handset

그림 6. PCS 대역에서의 yz-평면 패턴  
Fig. 6. yz-plane pattern at PCS band.



(a) 단말기를 펼쳤을 때 (b) 단말기를 접었을 때  
(a) Open handset (b) Closed handset

그림 7. PCS 대역에서의 xy-평면 패턴  
Fig. 7. xy-plane pattern at PCS band.

더 큰 폭으로 떨어짐을 확인하였다. 그림 6과 7에는 PCS 대역을 1,750 MHz, 1,810 MHz, 1,870 MHz로 나누어 측정된 방사패턴을 GPS의 경우와 같은 방식으로 나타내었고, 표 3에는 측정된 안테나의 PCS 대역 성능분석 결과를 나타내었다. 단말기를 접었을 경우

표 3. PCS 대역에서 측정된 안테나의 성능  
Table 3. Performance of the antenna at PCS band.

			H-plane	E-plane
Closed handset	1,750 MHz	$G_{max}$	1.71	2.73
		$G_{ave}$	-2.72	-3.43
		HPBW	101.15	69.17
	1,810 MHz	$G_{max}$	3.12	3.62
		$G_{ave}$	-1.31	-2.82
		HPBW	112.13	68.27
1,870 MHz	$G_{max}$	3.79	4	
	$G_{ave}$	-0.99	-2.73	
	HPBW	106.41	66.23	
Open handset	1,750 MHz	$G_{max}$	0.99	2.5
		$G_{ave}$	0.19	-1.96
		HPBW	inf.	60.22
	1,810 MHz	$G_{max}$	1.33	2.36
		$G_{ave}$	0.32	-1.98
		HPBW	inf.	60.17
1,870 MHz	$G_{max}$	2.06	2.54	
	$G_{ave}$	1.06	-1.34	
	HPBW	inf.	64.69	

$G_{max}$ : 최대이득[dBi],  $G_{ave}$ : 평균이득[dBi], HPBW: 반치각[degree]

1.71~4 dBi의 최대 이득, -3.43~-0.99 dBi의 평균 이득을 얻었으며, 단말기를 펼쳤을 경우 0.99~2.54 dBi의 최대 이득과 -1.98~1.06 dBi의 평균 이득을 얻었다. 폴더가 접힘에 따라 생기는 yz-plane의 왜곡은 안테나의 밑에 ground(test board #2)가 위치하여, ground가 일종의 reflector 역할을 하기 때문에 상대적으로 폴더를 열었을 경우보다 지향성 특성이 다소 증가하였다. 또한 ground effect와 안테나와 ground 사이의 Quality factor의 증가로 인하여 접었을 때와 펼쳤을 때의 안테나의 상대 대역폭, 이득 및 공진 주파수가 서로 차이를 보였다<sup>[7]</sup>.

### III. 단말기에 적용된 안테나

그림 8에는 제작된 안테나를 상용화된 휴대용 단말기에 적용되어진 사진을 나타내었다. 안테나는 단말기의 외부 LCD와 스피커를 피해서 사용자가 통화 시 손이 닿지 않는 폴더의 위 부분에 내장하였으며 단말기를 완전히 조립했을 때 50 Ω의 semi-rigid cable이 안테나와 접합되어 동작할 수 있도록 제작하여 측정하였다. 실제 단말기 내부에 안테나를 장착하는 경우, 단말기 케이스, LCD를 비롯한 많은 metallic object의 영향으로 인해 제작과정에서 안테나의 구조를 그림 8과 같이 변형시켰다. 단말기의 케이스( $\epsilon_r=3$ )와 LCD와 안테나의 사이의 거리는 4.5 mm로 설정하였으며 EMI 도료는 모두 제거한 상태로 생각하여 설계하였다. 그림 9에는 안테나의 반사손실을 폴더를 펼쳤을 경우와 접었을 경우를 나누어 측정한 결과를 나타내었다. 그림에 나타난 3개의 공진은 급전점을 중심으로 한 서로 다른 공진 길이를 갖는 3개의 지점에 의해 나타나는 것으로 이는 2개의 슬릿에 의해 결정된다. 폴더를 펼쳤을 경우와 접었을 경우의 차이는 접지면의 확장(혹은 축소)에 의해 나타나는 것으로서 일반적으로 접지면의 크기가  $0.5 \lambda$ (여기서는 약 68~95 mm)보다 작은 경우 공진 주파수가 크게 변화하지 않음이 실험적으로 증명되어 있다<sup>[8]</sup>. 그림 9에서도 마찬가지로 폴더를 접었을 경우에 비해 접지면의 크기가 확장된 폴더를 펼쳤을 경우의 공진 주파수가 크게 변화하지 않음을 알 수 있다. GPS의 경우 2.5:1 이하의 VSWR, PCS의 경우 2:1 이하의 VSWR에서 요구대역을 만족하는

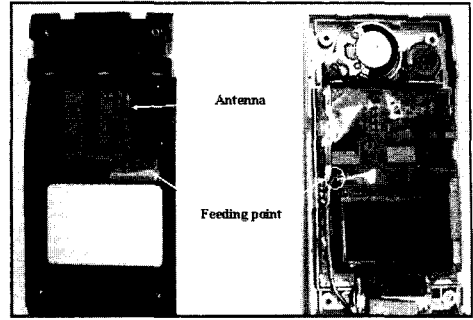


그림 8. 3-finger형 안테나의 실물도  
Fig. 8. Photograph of the 3-finger antenna.

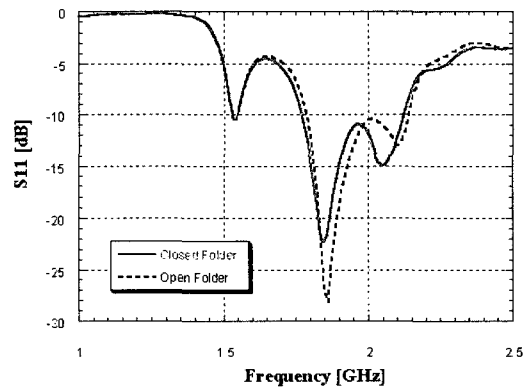
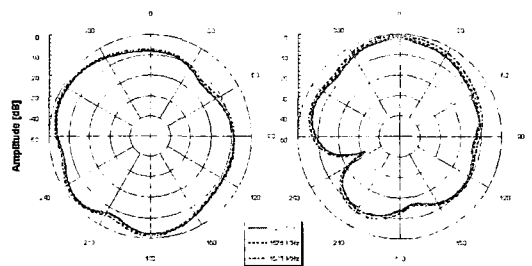


그림 9. 3-finger 안테나의 반사손실  
Fig. 9. Return loss of the 3-finger antenna.

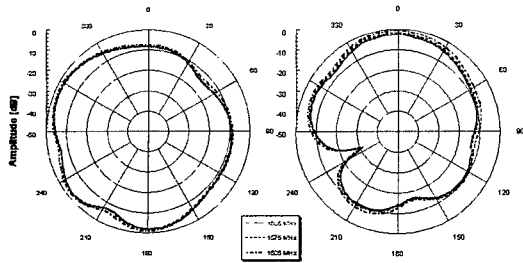
것을 확인하였다.

그림 10과 11, 12와 13에서는 상용 단말기에 적용된 3-finger형 안테나의 방사패턴을 프로토타입의 경우와 마찬가지로 GPS 대역과 PCS 대역을 yz-plane과 xy-plane으로 나누어 나타내었다. 표 4와 5는 측정된



(a) 단말기를 펼쳤을 때 (b) 단말기를 접었을 때  
(a) Open handset (b) Closed handset

그림 10. GPS 대역에서의 yz-평면 패턴  
Fig. 10. yz-plane pattern at GPS band.



(a) 단말기를 펼쳤을 때 (b) 단말기를 접었을 때  
(a) Open handset (b) Closed handset

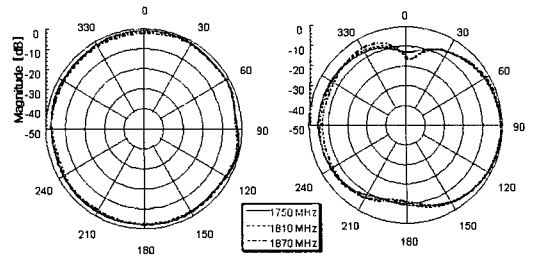
그림 11. GPS 대역에서의 xy-평면 패턴  
Fig. 11. xy-plane pattern at GPS band.

안테나의 성능을 분석한 것이다. 표 4의 GPS 대역에서는 단말기를 접었을 경우  $-2.16 \sim 0.54$  dBi의 최대 이득,  $-4.59 \sim -3.64$  dBi의 평균 이득을 얻었으며, 단말기를 펼쳤을 경우  $-1.84 \sim 1.42$  dBi의 최대 이득과  $-3.87 \sim -2.80$  dBi의 평균 이득을 얻었다. 표 5의

표 4. GPS 대역에서 측정된 안테나의 성능  
Table 4. Performance of the antenna at GPS band.

			H-plane	E-plane
Closed handset	1,565 MHz	$G_{max}$	-2.16	-0.22
		$G_{ave}$	-4.02	-4.31
		HPBW	94.98	21.85
	1,575 MHz	$G_{max}$	-1.97	0.23
		$G_{ave}$	-4.59	-3.98
		HPBW	96.16	21.68
	1,585 MHz	$G_{max}$	-1.32	0.54
		$G_{ave}$	-3.76	-3.64
		HPBW	96.16	21.53
Open handset	1,565 MHz	$G_{max}$	-1.84	0.54
		$G_{ave}$	-3.85	-3.87
		HPBW	25.04	58.94
	1,575 MHz	$G_{max}$	-1.68	0.66
		$G_{ave}$	-3.39	-3.55
		HPBW	25.01	51.96
	1,585 MHz	$G_{max}$	-1.41	1.42
		$G_{ave}$	-2.80	-3.13
		HPBW	24.97	51.22

$G_{max}$ : 최대이득[dBi],  $G_{ave}$ : 평균이득[dBi], HPBW: 반치각[degree]



(a) 단말기를 펼쳤을 때 (b) 단말기를 접었을 때  
(a) Open handset (b) Closed handset

그림 12. PCS 대역에서의 yz-평면 패턴  
Fig. 12. yz-plane pattern at PCS band.

PCS 대역에서는 단말기를 접었을 경우  $-0.92 \sim 0.33$  dBi의 최대 이득,  $-4.3 \sim -3.69$  dBi의 평균 이득을 얻었으며, 단말기를 펼쳤을 경우  $-0.47 \sim 1.02$  dBi의 최대 이득과  $-4.27 \sim -1.28$  dBi의 평균 이득을 얻었다. 프로토타입의 측정결과와 마찬가지로 단말기를

표 5. PCS 대역에서 측정된 안테나의 성능  
Table 5. Performance of the antenna at GPS band.

			H-plane	E-plane
Closed handset	1,750 MHz	$G_{max}$	-0.92	0.33
		$G_{ave}$	-3.91	-4.3
		HPBW	72.57	61.88
	1,810 MHz	$G_{max}$	-0.89	-0.91
		$G_{ave}$	-3.86	-3.69
		HPBW	74.17	58.67
	1,870 MHz	$G_{max}$	-0.68	-0.59
		$G_{ave}$	-3.85	-4.05
		HPBW	70.86	59.14
Open handset	1,750 MHz	$G_{max}$	1.02	0.23
		$G_{ave}$	-1.28	-3.74
		HPBW	inf.	32.24
	1,810 MHz	$G_{max}$	0.57	-0.01
		$G_{ave}$	-1.68	-4.27
		HPBW	inf.	35.67
	1,870 MHz	$G_{max}$	-0.47	-0.13
		$G_{ave}$	-2.51	-4.05
		HPBW	inf.	37.11

$G_{max}$ : 최대이득[dBi],  $G_{ave}$ : 평균이득[dBi], HPBW: 반치각[degree]

## 참고 문헌

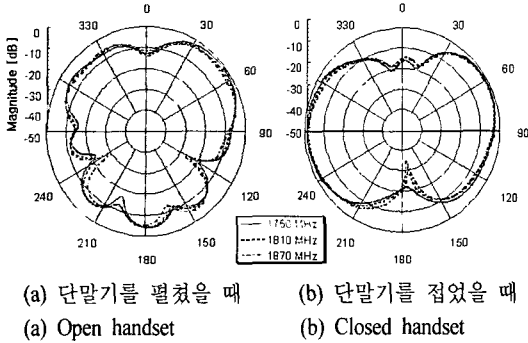


그림 13. PCS 대역에서의 xy-평면 패턴  
Fig. 13. xy-plane pattern at PCS band.

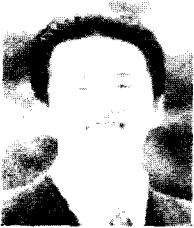
접었을 경우의 1 dBi 이상의 성능 저하와 방사패턴의 변화로 인해 평균 이득이 최대 이득에 비해 더 큰 폭으로 떨어짐을 확인할 수 있었다.

## IV. 결 론

본 논문에서는 GPS/PCS 단말기용 내장형 안테나를 3-finger의 형태로 설계, 제작, 측정해 보았다. 제안된 3-finger 형태의 모노폴 안테나는 기존의 외장형 안테나를 사용한 단말기 내부의 제한된 공간 안에 적용이 가능함을 확인하였다. 또한 간단한 모노폴의 길이 조절만으로 여러 가지 형태의 다중 공진 및 광대역을 구현할 수 있다는 이점을 가지므로 단말기뿐만 아니라 다양한 적용이 가능할 것으로 예상되어진다. 그러나 제안된 안테나의 상용화를 위해서는 급전부의 구조적 어려움과 단말기를 펼치고 접으면서 발생하는 케이블의 문제점 해결이 동반되어야 할 것이다. 또한 본 안테나는 프로토타입 안테나와 비교해서 접지면과의 짧은 이격거리로 인해 발생하는 이득 감소와 단말기를 접었을 때 발생하는 성능 저하 또한 해결되어야 할 문제점이다.

- [1] Kin-Lu Wong, Yi-Fang Lin, "Stripline-fed printed triangular monopole", *Electronics Letters*, vol. 33, pp. 1428-1429, Aug. 1997.
- [2] Z. N. Chen, "Broadband planar monopole antenna", *Microwaves, Antennas and Propagation, IEE Proceedings*, vol. 147, pp. 526-528, Dec. 2000.
- [3] M. Ali, M. Okoniewski, M. A. Stuchly, and S. S. Stuchly, "A dual-frequency strip-sleeve monopole antenna for a laptop computer", *Antennas and Propagation Society International Symposium, 1998. IEEE*, vol. 2, pp. 1962-1965, 1998.
- [4] Duixian Liu, "Branch number and height effects on the multi-branch tri-band monopole antenna resonance", *Antennas and Propagation Society, 2001 IEEE International Sym.*, vol. 2, pp. 108-111, 2001.
- [5] Y. D. LIN, S. N, TSAI, "Coplanar waveguide-fed uniplanar bow-tie antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 45, pp. 305-306, 1997.
- [6] M. J. Ammann, "Square planar monopole antenna", *Antennas and Propagation, 1999 IEE National Conference on.*, pp. 37-40, Apr. 1999.
- [7] E. Hallen, "Theoretical investigations into the transmitting and receiving qualities of antennae", *Nove Acta Regiae Soc. Sci. Upsaliensis*, ser. IV, pp. 1-44, 1938.
- [8] M. -C. Huynh, W. Stutzman, "Ground plane effects on planar inverted-F antenna(PIFA) performance", *IEE Proc.-Microw. Antennas and Propag.*, vol. 150, no. 4, Aug. 2003.

방 상 원



2002년 2월: 광운대학교 전자공학부 (공학사)  
2004년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)  
2004년 3월~현재: Galtronics Korea(주)연구원  
[주 관심분야] RF 안테나 시스템

박 면 주



1991년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
1993년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)  
1998년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)  
1998년 12월~2002년 8월: 삼성전자(주) 책임연구원

2002년 9월~현재: 광운대학교 전파공학과 조교수  
[주 관심분야] 초고주파 수동회로 및 안테나, 전자파, 초고주파 수치해석, High speed digital system noise, Signal integrity and interconnections, EMI/EMC

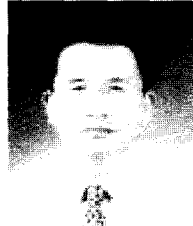
정 병 운



2001년 2월: 광운대학교 전자공학부 (공학사)  
2003년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)  
2003년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정  
[주 관심분야] 이동 통신 안테나

시스템 및 RF 수동 소자 설계

이 병 제



1988년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
1993년 12월: 미국 Southern Illinois University 전자공학과 (공학석사)  
1993년 12월: 미국 Southern Illinois University 전자공학과 (공학박사)  
1998년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 부교수

[주 관심분야] 초고주파 안테나 해석 및 설계, 전기자기파 해석, 레이더 및 위성통신, 초고주파 응용, RF 능동 및 수동소자

이 학 용



1999년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)  
2001년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)  
2001년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정  
[주 관심분야] RF 안테나 시스템