

# 이중 대역 스파이럴 평면형 모노폴 안테나 설계 및 SAR 분석

## The Design and SAR Analysis of the Spiral Planar Monopole Antenna for Dual-Band

김 남 · 박 상 명 · 김 종 면\*

Nam Kim · Sang-Myeong Park · Joung-Myoun Kim\*

### 요 약

본 논문에서는 Cellular/WCDMA 대역 단말기에 설치 가능한 스파이럴 평면형 모노폴 안테나를 설계하였다. 다양한 설계 파라미터들을 이용하여 주파수 특성을 최적화하였으며, 해당 주파수 대역을 만족시키기 위하여 두 개의 스파이럴 라인을 사용하였다. 제작된 안테나는  $VSWR \leq 2$  기준으로  $0.805 \sim 0.892$  GHz(10 %)와  $1.867 \sim 2.302$  GHz(21 %)로 제안한 주파수 대역을 모두 만족하는 안테나를 구현하였다. 안테나의 전자파 흡수율을 알아보기 위하여 실제로 폴더형 구조를 가지는 휴대폰에 제안된 안테나를 탑재시켜 1 g 및 10 g 평균 SAR을 계산한 값과 측정한 값을 비교해 본 결과, 두 값이 비슷하다는 결과를 얻을 수 있었으며, 이 값들은 SAR 기준보다 낮은 값을 확인할 수 있었다.

### Abstract

In this paper, the spiral planar monopole antenna mounted on a Cellular/WCDMA handset is designed. Frequency characteristics is optimized with various design parameters. The two spiral lines are adopted in order to implement Cellular frequency bandwidth and WCDMA frequency bandwidth. The bandwidth of the realized antenna is  $0.805 \sim 0.892$  GHz(10 %) and  $1.867 \sim 2.302$  GHz(21 %) for  $VSWR \leq 2$  which contain the proposed frequency bandwidth. In human head, the simulated value on 1 g and 10 g averaged SAR caused by electromagnetic wave radiated in the designed antenna is compared with the measured value. As a result, the measured values of 1 g and 10 g averaged SAR were similar to the simulated values, which were lower than the SAR guidelines.

**Key words :** Spiral Planar Monopole Antenna, SAR

### I. 서 론

현대 사회는 정보 통신 기술과 무선 기술의 발달에 힘입어 새로운 무선 통신 기기 및 휴대 전자 기기의 발전이 지속적으로 이루어지고 있다. 특히 이동 통신 기술의 급격한 발전은 관련 기기들의 기능은 물론 외형적인 부분에까지 발전을 가속화하였다. 우리나라의 경우, Wibro, WCDMA, DMB 등의 신규 서

비스들이 지속적으로 도입되고 있으므로 이와 같은 신규 서비스를 기존의 이동 통신 서비스와 함께 안정적으로 제공할 수 있는 다양한 단말기의 개발이 필요하다. 이러한 추세들이 각종 대역을 커버할 수 있는 얇고 가벼운 소형 안테나의 설계를 요구함에 따라 현재 대부분의 안테나는 외부에 돌출되어 있던 외장형 안테나에서 내장형 안테나로 변화하게 되었다.

스파이럴 안테나(spiral antenna)는 넓은 주파수 범

\*이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

충북대학교 정보통신공학과(Division of Information and Communication Eng., Chungbuk National University)

\*한국전자통신연구원 안테나기술연구팀(Antenna Technology Research Team, ETRI)

· 논문 번호 : 20071002-110

· 수정완료일자 : 2007년 11월 14일

위에서 방사 패턴, 임피던스, 편파 특성 등이 변하지 않는 주파수 독립 특성을 나타내며, 소형의 구조로서 광대역 정합 특성과 다양한 방사 패턴을 얻을 수 있다는 장점이 있어 다기능 안테나에 적합한 복사 소자라 할 수 있다<sup>[1][2]</sup>. 그러나 일반적인 스파이럴 안테나는 안테나 중앙으로부터 급전을 해야 하는 방식으로 인하여 수직으로의 부피가 증가하고 급전 구조가 복잡해지는 문제를 가지고 있어 최근에는 이를 개선하기 위한 평면 급전 형태의 스파이럴 안테나가 많이 제안되고 있다<sup>[3]~[7]</sup>.

이에 본 논문에서는 스파이럴 라인을 사용하여 박막 형태의 구조를 만족하고, cellular(0.824~0.894 GHz), WCDMA(1.920~2.170 GHz) 대역을 만족하는 이중 공진 스파이럴 평면형 모노폴 안테나를 설계하였다. 안테나의 주파수 특성에 영향을 주는 파라미터들에 대한 최적화 과정을 통하여 제안된 안테나의 최적화된 결과를 도출하였으며, 실제 제작을 통하여 제안된 안테나의 반사 손실 및 방사 패턴을 측정하였다. 또한, 휴대 전화 안테나임을 고려하여 전자파 흡수율(Specific Absorption Rate: SAR)에 대해 계산해 보고, 실제 단말기에 부착하여 측정한 SAR 결과와 비교해 보았다.

## II. 안테나 설계 및 측정

### 2-1 안테나 구조

기존의 단말기의 안테나는 모노폴이나 헬리컬 형태로서 전 방향성의 방사 패턴을 가지며, 대역폭이 넓다는 장점 때문에 휴대전화 안테나로 널리 이용되었다. 그러나 안테나가 단말기 외부로 돌출되어 있어 사용자가 휴대하기에 불편하고, 내장형보다 견고하지 못하며, 지향성을 갖는 평면형 안테나에 비해 인체로의 방사가 크다는 단점이 부각됨에 따라 현재 대부분의 단말기 안테나는 내장형 안테나로 변화하게 되었다. 이러한 내장형 안테나의 큰 문제점 중 하나는 단말기의 좁은 공간 내에 안테나를 탑재시키는 것인데, 이 때문에 안테나 크기는 제약을 받으며, 따라서 안테나의 효율 감소라는 문제가 발생하게 된다.

내장형 안테나의 일부로 평면형 안테나 중 모노폴 형태를 갖는 안테나의 특징은 전체적인 길이가

공진 주파수 파장의 1/4이고 임피던스 대역폭이 협대역이라는 점이다. 이러한 모노폴 안테나의 단점을 극복하기 위한 방법 중 하나가 미엔더 라인(meander line)을 이용하는 것이다. 미엔더 라인은 안테나의 전기적인 길이를 늘리는 방법으로 같은 길이의 안테나에 비해서 공진 주파수를 효율적으로 낮출 수 있다. 그러나 미엔더 라인의 경우, 상호 인더턴스가 반대로 일어나기 때문에 서로 상쇄되어 라인의 길이에 비례하여 비교적 높은  $L$ 값을 얻기가 힘들다는 단점이 존재한다<sup>[8]</sup>.

이에 본 논문에서는 상호 인더턴스가 같은 방향으로 자기장이 더해져서 작은 크기로 큰  $L$ 값이 가능한 스파이럴 구조를 사용하였으며, 그림 1은 제안된 안테나의 구조를 나타낸다.

전체적인 크기는  $35 \times 80 \times 1 \text{ mm}^3$ 로 설계하였다. 기판은 유전율 4.62인 FR-4 기판을 사용하였으며, 뒷면에  $35 \times 60 \text{ mm}^2$ 의 접지면 패치, 앞면에  $35 \times 20 \text{ mm}^2$ 의 안테나 패치가 인쇄된 형태이다. 안테나 입력 임피던스 매칭에 영향을 미치는 파라미터로 기판의 두께와 유전율, 박막 두께를 우선적으로 고려한 후 피딩 라인의 폭을 계산하여 기판의 중앙에 폭 1.74 mm의  $50 \Omega$  마이크로스트립 라인을 구성하였다.

$\lambda/4$  모노폴 안테나의 길이를 만족하는 구조에서 cellular의 주파수 대역을 만족하기 위한 안테나의 전기적 길이는 약 87 mm로 제안된 안테나에서는 스파이럴 라인을 사용하여 공진 주파수 대역을 맞출 수 있었다. 또한, 안테나 구조에 있어 왼쪽 스파이럴 라인과 오른쪽 스파이럴 라인의 위치와 라인 간 간

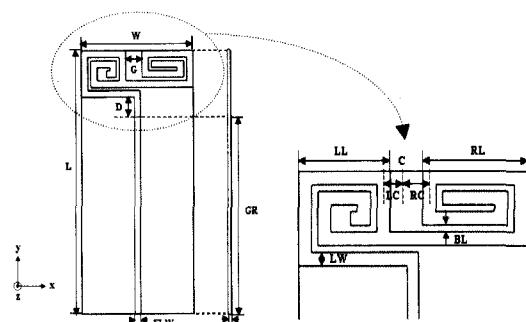


그림 1. 제안된 평면형 모노폴 안테나의 구조

Fig. 1. Structure of the proposed planar monopole antenna.

격에 따라 안테나 공진 특성에 영향을 줄 것이라 예상하고, 이들을 가변 설계 파라미터로 정하여 그 변화를 살펴보았다.

## 2-2 안테나 설계

제안한 안테나의 설계 및 해석을 위하여 상용 EM 시뮬레이터인 CST사의 MWS를 사용하였다. 먼저 그라운드의 크기를 조정하여 구현하고자 하는 주파수 대역의  $-10\text{ dB}$  대역폭을 조정하였다. 그림 2는 그라운드 길이( $GR$ )에 따른 최적화 결과를 보여준다. 그림 2에는 나타내지 않았으나,  $GR$ 의 크기가 66 mm 이상인 경우에는 3 GHz의 주파수 범위 동안  $-10\text{ dB}$  이하로 공진되는 주파수 대역이 도출되지 않았다.  $GR$ 의 크기가 65 mm일 때부터  $-10\text{ dB}$  이하로 공진되는 부분이 나타났으며, 이 때 cellular 대역의 경우에는  $GR$ 의 크기에 따라 공진 주파수가 변하지 않음을 확인할 수 있었다. 그러나 2~3 GHz에서는  $GR$ 의 크기에 따른 변화가 뚜렷하게 나타났는데,  $GR$  이 작아질수록 공진 주파수가 낮아지고, 2.5 GHz 부근에서 공진되는 부분이 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 그림 3은  $C$ 의 변화에 따른 최적화 결과를 보여준다.  $C$ 는 왼쪽 스파이럴 라인의 길이( $LL$ )와 오른쪽 스파이럴 라인의 길이( $RL$ )를 동시에 변화시켜 보기 위해 설정한 파라미터로  $C$ 의 크기가 커지면 왼쪽 스파이럴 라인과 오른쪽 스파이럴 라인 간 간격( $G$ )은 일정하게 유지한 채  $LL$ 의 길이는 증가하고 동시에  $RL$ 의 길이는 감소하게 된다. 그 결과 cellular 대역에서는  $C$ 의 크기가 클수록 낮은 주파수 대역에서 공진이 이루어짐을 확인할 수 있었고, WCDMA 대역의 경우에는  $C$ 가 11.5 mm일 때 2.35 GHz에서만 공진이 일어났으나,  $C$ 가 커질수록 공진 점이 두 곳으로 나뉘며, 공진 주파수 간의 간격도 점점 넓어지는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같이 파라미터  $GR$ 과  $C$ 의 최적화 과정을 통하여 제안된 안테나의  $-10\text{ dB}$  이하 대역폭이 cellular 대역과 WCDMA 대역에 해당하도록 조정할 수 있었다.

그림 4는 그림 1에 표시된  $LC$ 의 길이를 변화시킴에 따른 반사 손실의 변화를 나타낸다.  $LC$ 는  $C$ 와 왼쪽 스파이럴 라인 간 간격으로  $LC$ 가 작아지면  $RL$ 의 길이는 변화하지 않고  $LL$ 의 길이만 증가하여 결국

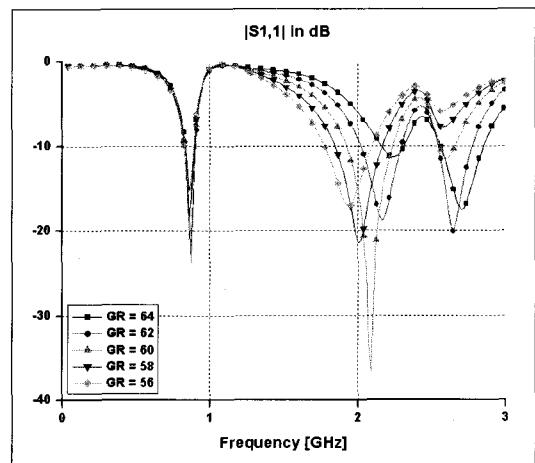


그림 2. 그라운드 길이 변화에 따른 반사 손실 변화  
Fig. 2. Return loss by varying the length of the ground.

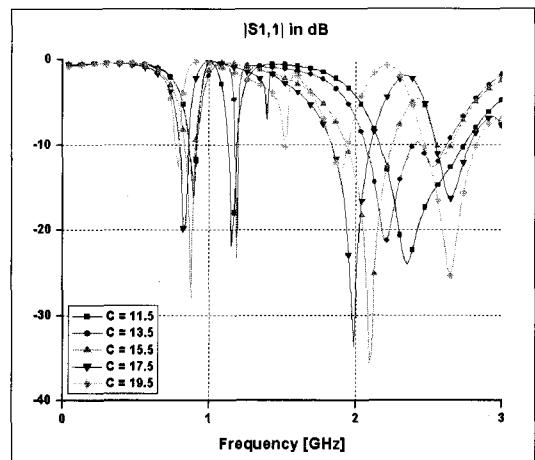


그림 3. 왼쪽과 오른쪽 스파이럴 라인 길이 변화에 따른 반사 손실 변화  
Fig. 3. Return loss by varying the length of the left and right spiral line.

왼쪽 스파이럴 라인과 오른쪽 스파이럴 라인 간 간격  $G$ 가 변화하게 된다. 최적화 결과,  $LC$ 가 작을수록  $LL$ 의 길이가 증가됨으로써 안테나의 전기적 길이도 증가하게 되어 cellular 대역과 WCDMA 대역에서 모두  $LC$ 가 작을수록 낮은 주파수 대역에서 공진이 이루어짐을 확인할 수 있다. 또한, 그림으로는 나타내지 않았으나  $C$ 와 오른쪽 스파이럴 라인 간 간격인  $RC$ 의 경우에도  $RC$ 가 작아지면  $LL$ 의 길이는 변화하

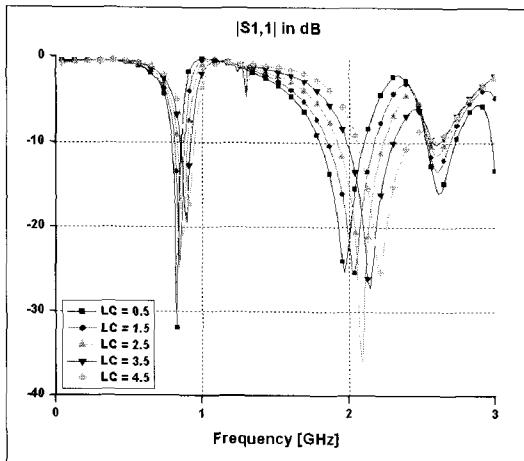


그림 4. 원쪽 스파이럴 라인의 길이 변화에 따른 반사 손실 변화

Fig. 4. Return loss by varying the length of the left spiral line.

지 않고  $RL$ 의 길이만 증가하게 되는데, 이때의 경우에도  $LC$ 일 때와 마찬가지로  $RC$ 가 작을수록 낮은 주파수 대역에서 공진이 이루어짐을 확인할 수 있었다. 그러므로 이처럼  $LC$ 와  $RC$ 의 최적화를 통하여 공진 주파수의 미세한 조정이 가능하였으며, 그에 따라 cellular 대역과 WCDMA에 부합하는 정확한 주파수 대역으로 조정할 수 있었다.

그림 5는 스파이럴 라인 폭( $LW$ )에 의한 동작 특성을 보여준다. 스파이럴 구조의 특성상 라인 간 커

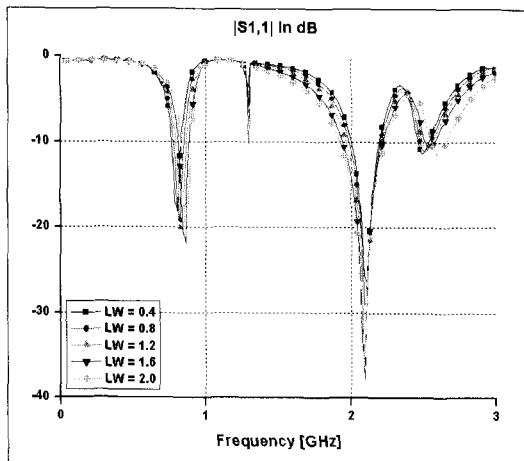


그림 5. 라인 폭 변화에 따른 반사 손실 변화

Fig. 5. Return loss by varying the width of the spiral line.

플링 등의 영향으로  $LW$ 의 변화에 의하여 반사 손실에도 큰 변화가 있을 것이라 예상하였으나, 그와는 달리 최적화 결과 공진 주파수 대역에 큰 변화는 확인할 수 없었다. 그러나 주파수 대역에 따라 약간의 차이를 보였는데, cellular 대역에서는 라인의 폭이 좁을수록 낮은 주파수 대역이 도출되었으며, WCDMA 대역에서는 라인의 폭이 넓어질수록  $-10$  dB 대역폭이 증가됨을 확인할 수 있었다.

이렇게 최적화 된 값을 바탕으로 하여 안테나에 적용된 파라미터는 표 1과 같다. 계산 결과, 공진 주파수 대역은  $0.823\sim0.910$  GHz 대역과  $1.919\sim2.232$  GHz 대역으로 cellular과 WCDMA 대역을 포함하는 결과를 확인할 수 있었다.

### 2-3 안테나 제작 및 측정

그림 6은 제작한 안테나의 실제 모습이며, 그림 7은 최적화된 안테나의 계산치와 측정치를 비교한 그래프이다. 계산 결과 공진 주파수 대역은  $0.823\sim0.910$  GHz(10 %),  $1.919\sim2.232$  GHz(15 %) 대역이었

표 1. 제안된 안테나의 최적화 된 파라미터

Table 1. Optimized parameters for the proposed antenna.

파라미터	파라미터 정의	값 [mm]
$W$	기판의 가로 길이	35
$L$	기판의 세로 길이	80
$H$	기판의 두께	1
$GR$	그라운드의 세로 길이	60
$FLW$	급전선 폭	1.74
$D$	그라운드에서 라인 간 길이	6
$LW$	스파이럴 라인의 폭	2
$BL$	스파이럴 라인 간 폭	1
$C$	원쪽 스파이럴 라인과 오른쪽 스파이럴 라인 길이 설정 파라미터	15.5
$LC$	$C$ 와 원쪽 스파이럴 라인 간 길이	2.5
$LL$	원쪽 스파이럴 라인의 길이	14
$RC$	$C$ 와 오른쪽 스파이럴 라인 간 길이	4.5
$RL$	오른쪽 스파이럴 라인의 길이	16
$G$	원쪽 스파이럴 라인과 오른쪽 스파이럴 라인 간 간격	5

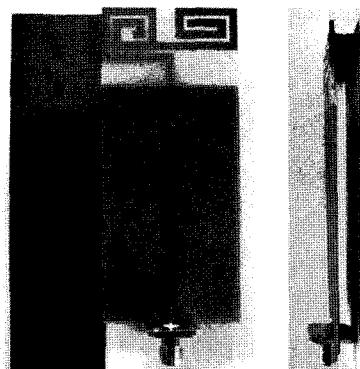


그림 6. 제작된 안테나의 사진  
Fig. 6. Photograph of the fabricated antenna.

으며, 측정 결과 공진 주파수 대역은 0.805~0.892 GHz(10 %), 1.867~2.302 GHz(21 %)으로 두 결과 모두 cellular(0.824~0.894 GHz), WCDMA(1.920~

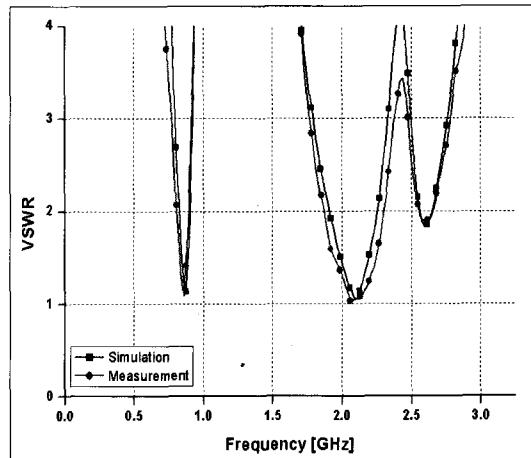
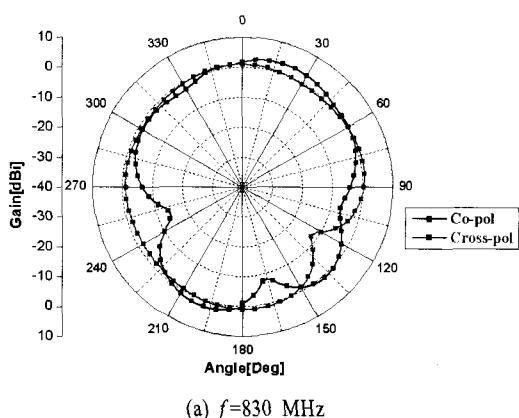
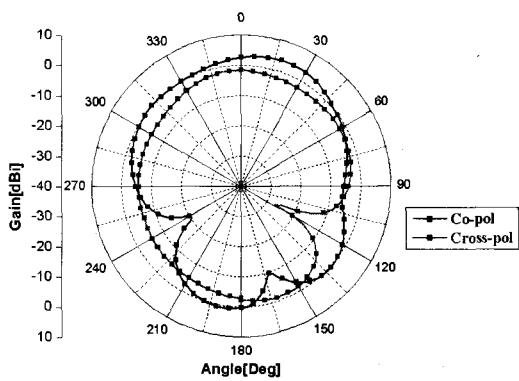


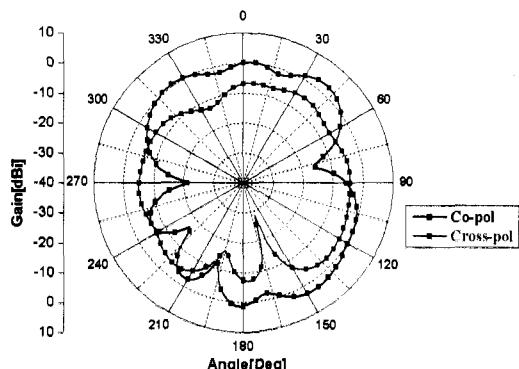
그림 7. 최적화 된 안테나의 VSWR 계산치와 측정치의 비교  
Fig. 7. Comparison of the simulated and measured VSWR on the optimized antenna.



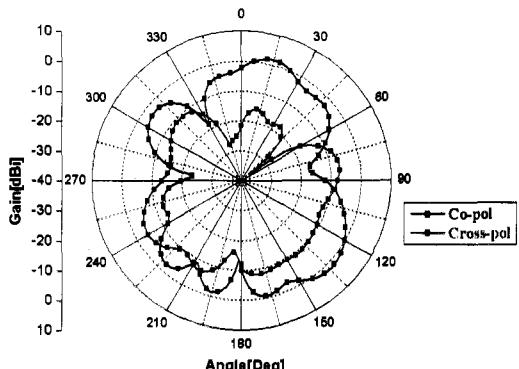
(a)  $f=830$  MHz



(b)  $f=860$  MHz



(c)  $f=1.9$  GHz



(d)  $f=2.1$  GHz

그림 8. y-z plane의 측정 방사 패턴  
Fig. 8. Measured radiation patterns of the y-z plane.

2.170 GHz) 대역을 모두 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 측정된 결과는 계산된 결과를 대체로 잘 만족하고 있다는 것도 확인할 수 있었다.

그림 8과 9는 cellular 대역의 830 MHz와 860 MHz, WCDMA 대역에서의 1.9 GHz와 2.1 GHz의 측정 방사 패턴을 나타낸 그림이다. 측정 시스템은 Orbit/FR사의 AL-4952-1-11-11 V(스캔 범위: 3×3 m, 주파수 범위: 800 MHz~40 GHz)를 사용하였으며, 측정 대상 안테나는 Seavey Engineering Associates사의 표준 혼 안테나 SGA-07(0.6~1.3 GHz)과 SGA-20(1.6~2.8 GHz)을 사용하였다. 일반적인 모노풀 안테나의 경우 H-plane 특성이 등방성이어야 하나, 본 논문에서 설계 제작한 안테나는 모노풀 안테나의 등방성 패턴과 유사한 패턴을 얻을 수 있었다. 또한, 이동 통신 각각의 송신 주파수와 수신 주파수 대역에 있어 대체로 일정한 패턴을 확인할 수 있었다. 측

표 2. 제안된 안테나의  $VSWR \leq 2$  주파수 대역과 이득

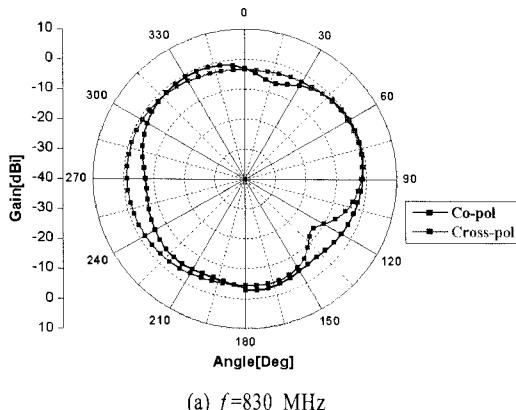
Table 2. The frequency bandwidth for  $VSWR \leq 2$  and Gain of the proposed antenna.

	Cellular	WCDMA
주파수	Upload	0.824~0.849 GHz
	Download	0.869~0.894 GHz
계산치	0.823~0.910 GHz	1.919~2.232 GHz
측정치	0.805~0.892 GHz	1.867~2.302 GHz
이득	3.6 dBi	3.9 dBi

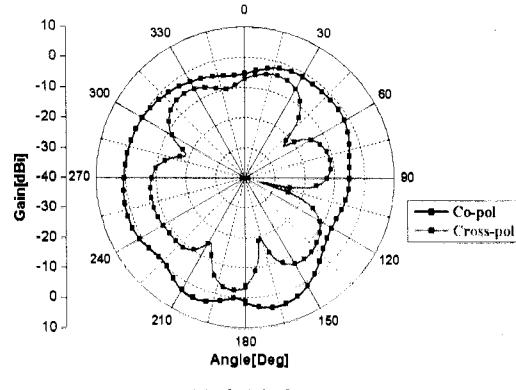
정 결과의 최대 이득은 cellular 대역에서 3.6 dBi, WCDMA 대역에서 3.9 dBi로 확인되었다.

### III. SAR 계산 및 측정

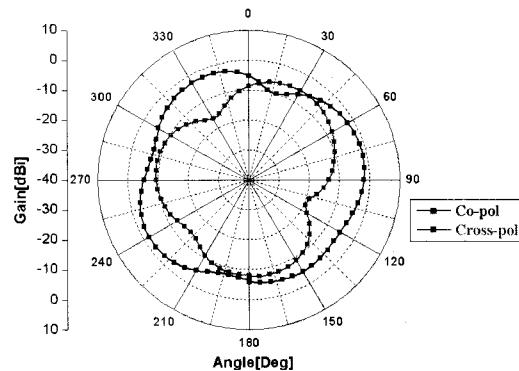
휴대 전화의 경우, 우리의 인체 중에서도 특히 두



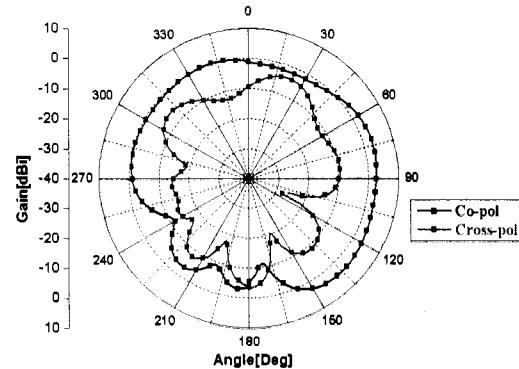
(a)  $f=830$  MHz



(c)  $f=1.9$  GHz



(b)  $f=860$  MHz



(d)  $f=2.1$  GHz

그림 9. x-z plane의 측정 방사 패턴

Fig. 9. Measured radiation patterns of the x-z plane.

부에 가장 근접하여 빈번하게 사용됨에 따라 다른 무선기기에 비해 전자파 유해성과 관련하여 더욱 큰 논란의 대상이 되어 왔다. 이에 현재까지도 휴대전화의 전자파가 인체에 미치는 영향 관련 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있으며, 이와 더불어 각 나라마다 전자파에 대한 인체 보호 기준을 적용하고 있다. 국내에서는 한국전자파학회가 제안한 전자파 인체 보호 기준안의 SAR 규제 기준을 10 g 평균에 대한 첨두 SAR 값인 2 W/kg에서 강화하여 2001년 1 월부터 FCC의 기준에 따라 1 g 평균 첨두 SAR 값에 대해 1.6 W/kg으로 규제하였고, 국민 건강 보호를 위한 예방적 차원에서 2002년 4월부터는 휴대폰 형식 등록시 전자파 흡수율 적합성 심사 조항을 추가하여 기준치(1.6 W/kg)를 초과하는 경우에는 시장 판매를 금지하게 하였다<sup>[9]</sup>. 그러므로 휴대폰의 제조업체와 설비업체에서는 SAR 값에 영향을 주는 요인을 분석하고, 낮은 SAR 값을 나타내는 최적의 휴대폰을 설계하는 것이 보다 중요한 과제라 할 수 있다. 본 논문의 안테나 또한 휴대전화 안테나임을 감안하여 제안된 안테나에 의해 인체 두부에 흡수되는 SAR의 계산 및 측정을 실시하였다. 먼저 SAR 해석 툴을 이용하여 측정에 사용하게 될 휴대전화 단말기를 모델링하고 내부에 설계한 안테나를 장착시킨 후 휴대전화와 인체 오른쪽 두부가 접촉 상태일 때의 SAR 값을 계산하였고, 이후 제작한 안테나를 실제 휴대전화에 탑재하여 측정하고 계산된 값과 비교하였다.

### 3-1 SAR의 계산

SAR은 전자파와 인체 사이의 상호 작용을 정량화하는 가장 효과적인 파라미터로 인식되어 왔고, 그 분포를 계산하기 위한 식은 다음과 같다<sup>[10]</sup>.

$$\text{SAR} = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad [\text{W/kg}] \quad (1)$$

여기서  $\sigma$ 는 조직의 전기전도도(S/m),  $\rho$ 는 조직의 밀도( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $E$ 는 실효 전자기장 강도(V/m)를 말한다. 인체 두부에 흡수되는 전계 분포를 계산하기 위해 시간 영역-유한 차분(Finite Difference Time Domain : FDTD) 수치 해석 방식을 사용하였다<sup>[11],[12]</sup>. 인체두부의 전계 분포를 계산하여 단위 질량 조직이 단위 시간에 흡수하는 에너지의 양인 SAR 값을 계

표 3. 모의 인체 머리 조직의 전기정수  
Table 3. Characteristics of the SAM phantom.

조직타입	835 MHz		밀도 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
	상대 유전율 [ $\epsilon_r$ ]	도전율 [S/m]	
SAM Liquid	41.5	0.9	1,000
SAM Shell	3.7	0	

산하였고, 급전점에 연속파를 인가하였다. SAR 값을 계산하기 위해 이용된 모의 인체 머리조직 전기정수는 국내 전자파 인체 보호 기준을 참조하였고, 인체 두부 표피가 포함된 균질 모델을 사용하였다. 이는 표 3에 나타내었다<sup>[13]</sup>.

실제 측정에서 설계한 안테나를 플라스틱으로 이루어진 폴더형 단말기에 부착할 것임을 고려하여 SAR 계산시 사용하는 상용 해석 툴을 이용하여 휴대전화 단말기를 모델링하였다. 단말기 제조 회사의 경우에는 SAR 값을 계산하기 위해 LCD 모니터, 키버튼, 스피커, 배터리, PCB 기판, 단말기 케이스, 카메라 등 해당 휴대전화와 똑같은 조건으로 모델링하여 계산하지만, 본 연구에서는 측정시 배터리를 분리시킨 단말기 내부에 안테나만 위치시키게 되므로 실제 SAR 계산시에도 휴대전화 단말기 케이스, 키버튼, LCD 모니터만을 고려하여 SAR 계산을 실시하였다. 모델링 된 휴대전화 단말기는 전자파 흡수율 측정 기준의 일반적인 폴더형 휴대단말기를 기준으로<sup>[13]</sup> 그림 10과 같으며, 단말기 모델링 시 고려된 부분들의 재료 파라미터는 표 4<sup>[14]</sup>와 같다.

### 3-2 SAR 데이터 비교 분석

SAR은 단말기의 위치, 손의 위치, 팬텀과의 거리, 단말기의 방사 출력 등 여러 가지 요인에 의해 상이한 값을 갖게 된다. 그 중에서도 단말기의 방사 출력은 SAR에 직접적인 영향을 주는 요인이라 할 수 있다. SAR의 기본 식에서도 알 수 있는 바와 같이 단말기의 conducted power가 증가하면 SAR 값도 그에 비례하여 증가하게 된다. 그러므로 단말기의 방사 출력은 SAR 값에 큰 영향을 주기 때문에 SAR 측정에 사용되는 휴대전화 단말기는 연속적으로 최대 출력을 방사하는 상황(Tx mode)에서 팬텀과 밀착하여 측정하며, 휴대전화의 배터리는 완전히 충전된 상황에

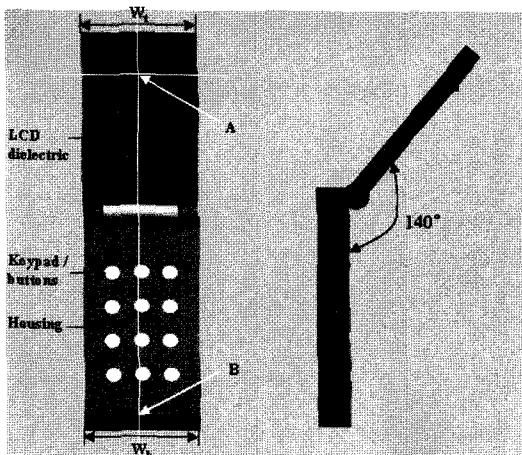


그림 10. 휴대 전화 단말기 모델  
Fig. 10. Design of the handset.

표 4. 모델링 된 단말기의 주된 재료 파라미터  
Table 4. The corresponding material parameters of the designed handset.

	상대 유전율 [ $\epsilon_r$ ]	전도도 [S/m]
단말기 케이스	3.5	$2e^{-2}$
키버튼	3.5	$2e^{-2}$
LCD 모니터	3	$1e^{-2}$

서 측정하게 된다.

본 논문에서는 이와 같은 점들을 고려하여 상용 SAR 해석 툴인 SEMCAD를 이용하여 SAR 계산을 실시하였다. 전자파 흡수율 측정 기준에 따라 휴대 단말기의 시험 위치는 접촉(cheek) 위치와 경사(tilt) 위치에서 SAM 모의 인체의 왼쪽과 오른쪽 양쪽 모두에서 시험하여야 하지만, 본 논문에서는 오른쪽 SAM 모의 인체를 이용한 접촉 위치에서의 SAR 계산만을 실시하였다. 접촉 위치 계산을 위하여 그림 10에 표시된 바와 같이 단말기의 수화부 위치의 점 A를 SAM 모의 인체의 귀 기준점(Ear Reference Point : ERP)에 접촉시켰으며, A-B를 잇는 단말기의 중앙 선을 SAM 모의 인체의 오른쪽 귀 기준점(RE), 입 기준점(M), 왼쪽 귀 기준점(LE)을 잇는 기준선에 맞추어 단말기의 아래쪽 임의의 점이 모의 인체 상의 한 점(뺨)에 접촉시켰다. 그림 11은 SAM 모의 인체와 모델링된 단말기의 위치를 보여준다.

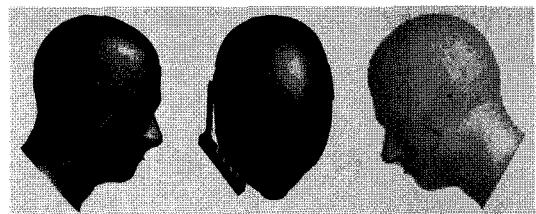


그림 11. SAM 모의 인체와 모델링된 단말기의 위치  
Fig. 11. Mounted position of the SAM phantom model and designed handset.

Cellular 대역에 대한 SAR 값을 구하기 위하여 835 MHz의 주파수로 입력 전력이 각각 0.5 W인 경우와 1 W인 경우에 대해 계산하였으며, 그에 대한 1 g과 10 g 평균 SAR 값에 대한 결과를 도출하였다. 그림 12와 13은 안테나를 폴더형 단말기의 하단부에 탑재하여 계산한 결과를 보여준다. 안테나를 폴더형 단말기의 하단부에 위치시키고 접촉 위치에서의 SAR 계산을 실시할 경우, 단말기의 하단부와 모의 인체 상의 한 점(뺨)에 접촉하게 되므로 SAR의 최대값은 뺨쪽 부분의 피부 표면에서 검출되었다. 입력 전력이 0.5 W일 때의 1 g 평균 SAR 값은 0.654 W/kg, 10 g 평균 SAR 값은 0.435 W/kg이었으며, 1 W일 때의 1 g 평균 SAR 값은 1.309 W/kg, 10 g 평균 SAR 값은 0.871 W/kg으로 SAR 값이 입력 전력 값에 비례함을 직접 확인할 수 있었다. 또한, 그림에서도 알 수 있는 바와 같이 1 W일 때가 0.5 W일 때보다 휴대 전화 안테나가 위치한 두부 반대편에까지 영향을 미치는 범위가 더 넓다는 것도 확인할 수 있었다. 이 밖에도 안테나와 SAM 모의 인체간의 이격 거리가 SAR 값에 크게 영향을 미친다는 것을 알 수 있었는데, 본 연구에서는 실제 측정시 사용하게 된 휴대전화 단말기를 고려하여 단말기 하단부와 모의 인체가 접촉한 뺨 부분을 기준으로 단말기 내에 위치한 안테나와 모의 인체 간 이격 거리는 7.48 mm이었다. 이와 같은 결과에 따라 안테나가 단말기 하단부에 위치할 경우 경사(tilt) 위치에서의 SAR 값은 접촉 위치일 때보다 더 낮은 SAR 값이 나올 것이라 예측된다.

그림 14는 제작한 안테나를 실제 휴대전화 단말기 내부에 탑재하여 측정하는 모습을 보여주고 있으며, 표 5는 SAR 측정 환경과 규격을 나타낸다. 본 논문의 SAR 측정은 EMF Safety사의 ESSAY-3 장비를

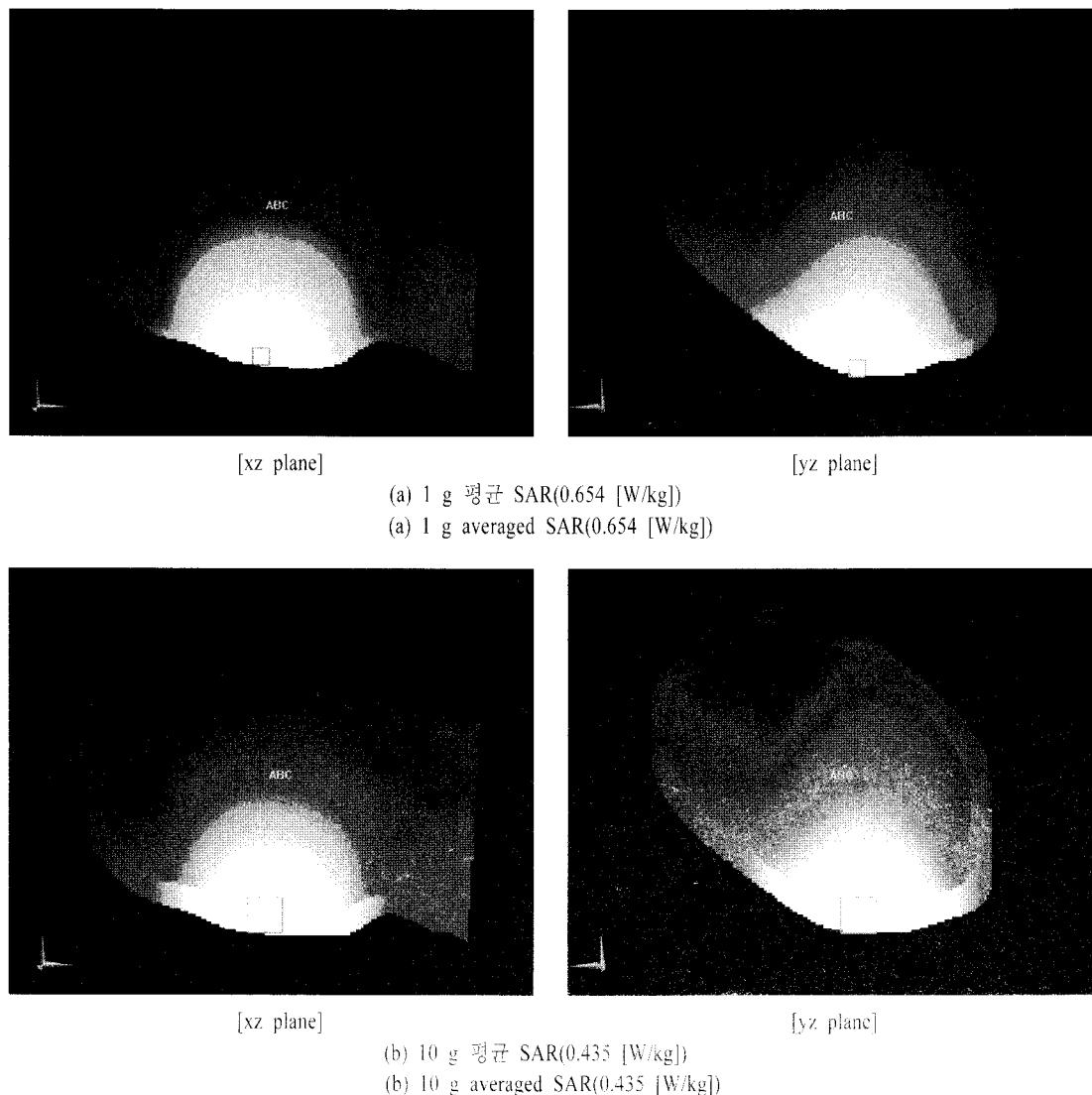


그림 12. 0.5 W 입력 전력일 때의 1 g 및 10 g 평균 SAR

Fig. 12. 1 g and 10 g averaged SARs having the input power of 0.5 W.

표 5. SAR 측정 규격

Table 5. Specification of the SAR measurement.

항목	규격
측정 장비	ESSAY-3
모의 인체 액체 타입	Head
유전율	41.5
도전율 [S/m]	0.9
모의인체 모델	Right SAM
온도 [°C]	23

사용하였으며, 측정 결과는 그림 15에 나타내었다. SAR 계산 시와 마찬가지로 입력 전력은 0.5 W인 경우와 1 W인 경우로 나누어 측정을 실시하였다. 측정 결과, 입력 전력이 0.5 W일 때의 1 g 평균 SAR 값은 0.462 W/kg, 10 g 평균 SAR 값은 0.245 W/kg이었으며, 1 W일 때의 1 g 평균 SAR 값은 1.239 W/kg, 10 g 평균 SAR 값은 0.731 W/kg이었다. 이는 우리나라의 SAR 제한치인 1.6 W/kg과 10 g 평균으로 했을 때의 기준치인 2 W/kg을 모두 만족하는 결과임을 확인

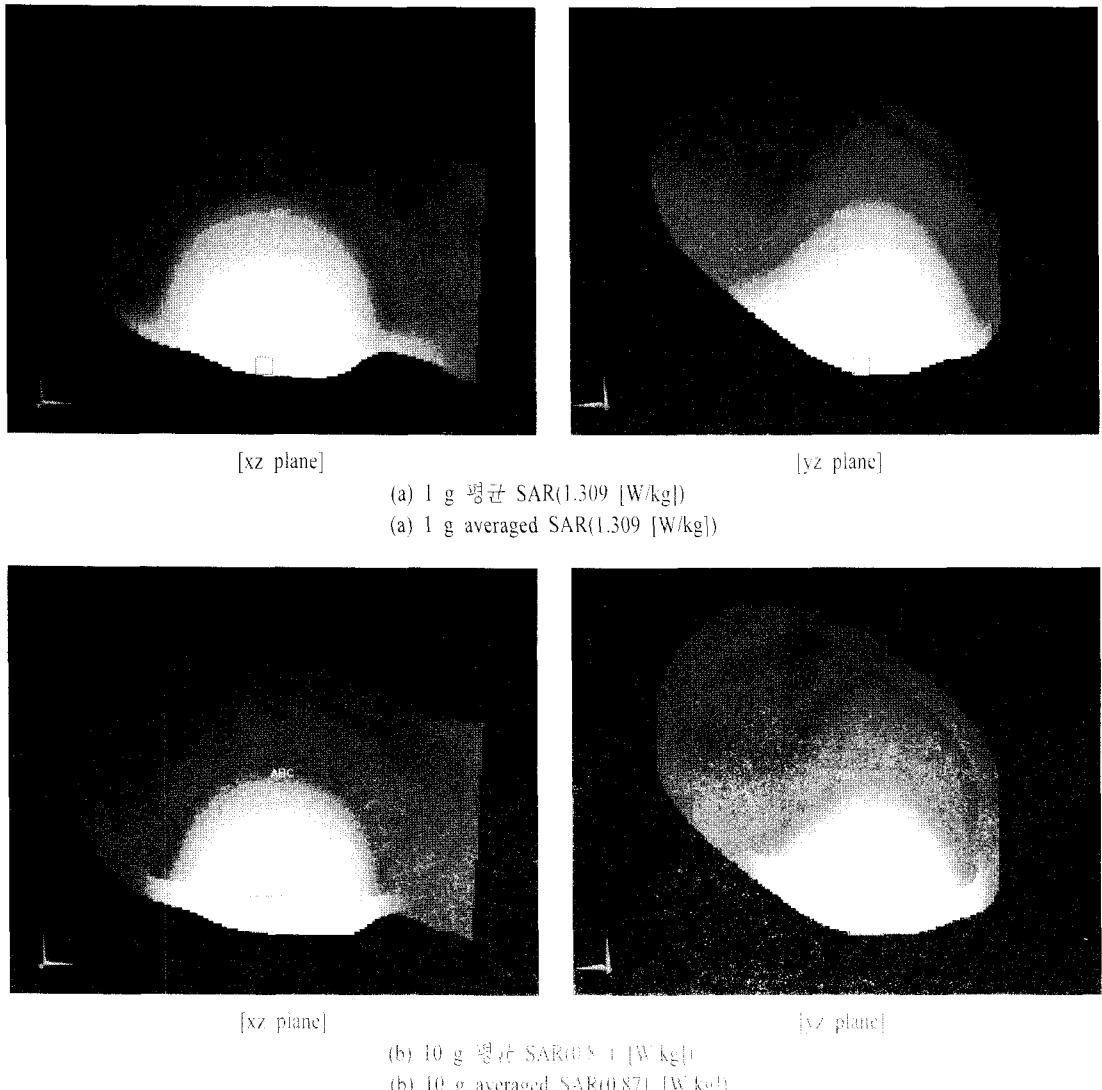


그림 13. 1 W 입력 전력일 때의 1 g 및 10 g 평균 SAR

Fig. 13. 1 g and 10 g averaged SARs having the input power of 1 W.

표 6. SAR 계산치와 측정치 비교

Table 6. Comparison of the simulated and measured SAR results.

주파수 [MHz]	입력 전력 [W]	계산치 [W/kg]		측정치 [W/kg]	
		1 g 평균 SAR	10 g 평균 SAR	1 g 평균 SAR	10 g 평균 SAR
835	0.5	0.654	0.435	0.462	0.245
	1	1.309	0.871	1.239	0.731

할 수 있었으며, 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 안테나가 위치한 부근에서 가장 큰 SAR 값이 도출되었다.

IV. 결 론  
본 논문에서는 cellular와 WCDMA 대역을 포함하

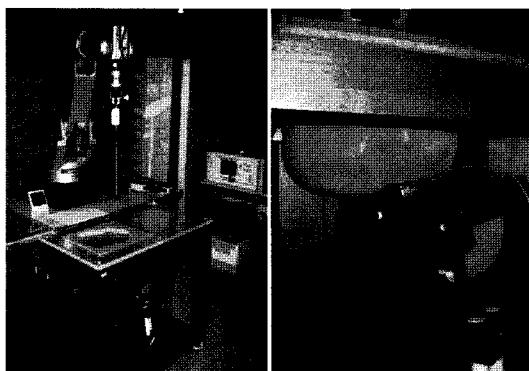
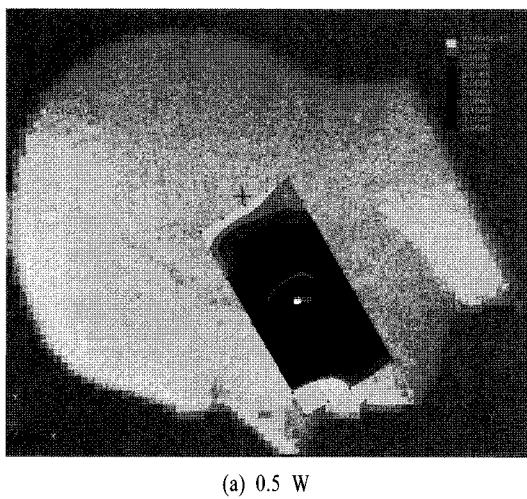
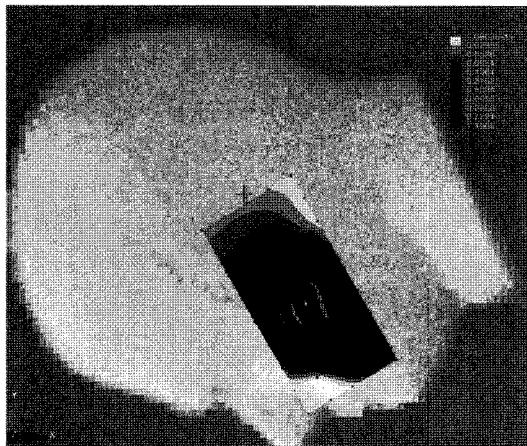


그림 14. SAR 측정 사진

Fig. 14. Photograph of the SAR measurement.



(a) 0.5 W



(b) 1 W

그림 15. SAR 측정 결과

Fig. 15. SAR measurement result.

는 주파수에서 동작이 가능한 스파이럴 평면형 모노 폴 안테나를 설계 및 제작하였다. 제안된 안테나는 계산 결과, 0.823~0.910 GHz, 1.919~2.232 GHz의 대역을 만족하였으며, 측정 결과 0.805~0.892 GHz, 1.867~2.302 GHz의 대역을 만족하며, 이때의 안테나 이득은 cellular 대역에서 3.6 dBi, WCDMA 대역에서 3.9 dBi임을 알 수 있었다.

또한, FDTD 해석 기법을 사용한 SAR 해석 툴인 SEMCAD를 이용하여 SAR 값을 구하였고, 실제 측정을 통해 검증하였다. Cellular 대역에 대한 SAR 값을 구하기 위하여 835 MHz의 주파수로 입력 전력이 각각 0.5 W인 경우와 1 W인 경우에 대한 SAR 계산을 실시하였으며, 실제로 풀더형 구조를 가지는 휴대폰에 제안된 안테나를 탑재하여 0.5 W와 1 W일 때 각각의 1 g 및 10 g 평균 SAR 값을 측정하여 결과를 비교해 보았다.

본 논문에서 SAR 계산 시에 사용하기 위해 모델링한 휴대전화 단말기는 실제 측정에 사용한 단말기와는 매질 및 환경 등에 있어 분명한 차이가 존재할 것이다. 이러한 점들이 계산된 값과 측정된 값에 있어 오차를 야기할 수도 있다는 점을 고려한다면 앞으로 SAR 계산에 있어서는 더욱 실질적인 데이터를 통한 보완이 필요할 것으로 보인다. 또한, WCDMA 대역에 대한 SAR과 전자파 흡수율 측정 기준에 명시되어 있는 모의 인체에 대한 무선 기기의 위치 규정에 따라 경사 위치일 때의 SAR 계산 및 측정에 대한 보완도 필요할 것이다.

## 참 고 문 현

- [1] T. E. Morgan, "Spiral antennas for ESM", *IEE Proc. Part H*, vol. 132, no. 4, pp. 245-251, Jul. 1985.
- [2] J. A. Kaiser, "The archimedean two-wire spiral antenna", *IRE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 8, pp. 312-323, May 1960.
- [3] M. W. Nurnberger, J. L. Volakis, "A new planar feed for slot spiral antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 44, no. 1, pp. 130-131, Jan. 1996.
- [4] R. R. Ramirez, N. G. Alexopoulos, "Single feed proximity coupled circularly polarized microstrip monofilar archimedean spiral antenna array", *IEEE*

- Trans. Antennas Propagat.*, vol. 47, no. 2, pp. 406-407, Feb. 1999.
- [5] E. Gschwendtner, D. Loffler, and W. Wiesbeck, "Spiral antenna with external feeding for planar application", *IEEE 5th Africon Conf.*, vol. 2, pp. 1011-1014, Sep. 1999.
- [6] 오대영, 김명기, 박의모, "코니컬 빔을 가지는 접지면에 원형 슬롯이 있는 양팔 마이크로스트립 스파이럴 안테나", *한국전자파학회논문지*, 13(9), pp. 851-857, 2002년 10월.
- [7] D. Y. Oh, M. Kim, and I. Park, "Two-arm microstrip spiral antenna with a circular aperture on the ground plane", *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol. 35, pp. 453-455, Dec. 2002.
- [8] T. Endo, Y. Sunahara, S. Satoh, and T. Katagi, "Resonant frequency and radiation efficiency of meander line antennas", *Electronics and Communications in Japan Part 2*, vol. 83, no. 1, pp. 52-58, Jan. 2000.
- [9] 정보통신부고시 제2000-91호, "전자파인체보호기준", 2000년.
- [10] "IEEE recommended practice for determining the peak spatial-average specific absorption rate(SAR) in the human head from wireless communications devices: measurement techniques", *IEEE Std 1528-2003*, pp. 1-149, Dec. 2003.
- [11] 이애경, 최형도, 최재익, "이동 통신단말기에 노출된 인체 두부에 따른 전자파 비흡수율 비교", *대한전자공학회논문지*, 37(11), TC편, pp. 33-41, 2000년 11월.
- [12] 최윤희, 신호섭, 김남, 박주덕, "이중 대역(PCS/IMT-2000) 마이크로스트립 패치 안테나 설계 및 구조에 따른 SAR 분석", *한국전자파학회논문지*, 15(1), pp. 12-20, 2004년 1월.
- [13] 전파연구소고시 제2005-114호, "전자파 흡수율 측정 기준", 2005년.
- [14] N. Chavannes, R. Tay, N. Nikoloski, and N. Kuster, "Suitability of FDTD-Based TCAD tools for RF design of mobile phones", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 45, no. 6, pp. 52-66, Dec. 2003.
- [15] Y. Ge, K. P. Esselle, and T. S. Bird, "A spiral-shaped printed monopole antenna for mobile communications", *Antennas and Propagation Society International Symp.*, pp. 3681-3684, Jul. 2006.
- [16] 신찬수, 신호섭, 김남, 최재익, 박주덕, "내장형 모노폴 안테나 설계 및 SAR 분석", *한국전자파학회논문지*, 15(12), pp. 1190-1198, 2004년 12월.
- [17] 최동근, 신호섭, 김남, 김용기, "다중 대역을 가지는 SAR 저감용 광대역 PIFA 설계", *한국전자파학회논문지*, 16(1), pp. 66-77, 2005년 1월.
- [18] 이현규, 이택경, 장원호, 강연덕, "기생소자에 의한 소형 평면 멤돌이형 모노폴 안테나", *한국전자파학회논문지*, 16(6), pp. 563-570, 2005년 6월.

### 김 남



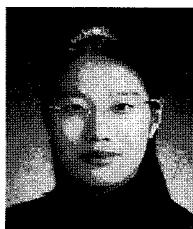
1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1983년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
1988년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)  
1992년 8월~1993년 8월: 미국 Stanford 대학교 방문교수  
2000년 3월~2001년 2월: 미국 California Technology Institute 방문교수  
1989년~현재: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수  
1999년~현재: 컴퓨터 정보통신연구소 연구원  
[주 관심분야] 이동 통신 및 전파전화, 마이크로파 전송선  
로 해석, EMI/EMC 및 전자파 인체보호 규격

### 김 종 면



2004년 2월: 한밭대학교 전자공학과 (공학사)  
2007년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)  
2001년 2월~현재: 한국전자통신연구원 안테나기술연구팀  
[주 관심분야] 초고주파 및 안테나

### 박 상 명



2005년 2월: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 (공학사)  
2005년 9월~현재: 충북대학교 정보통신공학과 석사과정  
[주 관심분야] SAR 계산 및 측정,  
안테나 설계