

# 내장형 모노폴 안테나 설계 및 SAR 분석

## Internal Monopole Antenna Design for Multiband Operation and SAR Analysis

신찬수 · 신호섭\* · 김 남\*\* · 최재익\*\*\* · 박주덕\*\*\*

Chan-Soo Shin · Ho-Sub Shin\* · Nam Kim\*\* · Jae-Ic Choi\*\*\* · Ju-Derk Park\*\*\*

### 요 약

본 논문에서는 여러 구조 및 파라미터 변경을 통하여 SAR을 저감시킬 수 있는 PCS, IMT-2000 대역과 무선랜 대역을 포함하는 평면 모노폴 안테나를 설계하였다. 설계를 위하여 안테나 특성 및 SAR에 영향을 미칠 수 있는 여러 가지 변수들을 고려하여 최적화 하였다. 이를 통해 원하는 대역폭과 만족할만한 SAR 값을 갖는 평면 모노폴 안테나를 설계하였다. 설계된 안테나를 제작된 휴대폰에 탑재하여 시뮬레이션 하였다. 그 결과 SAR 값은 1 g 및 10 g 평균 침투치가 0.656, 0.387 W/kg이었다. 이 결과를 바탕으로 실제 측정장에서 동일한 조건으로 SAR을 측정하였다. 그 결과 내장형 평면 모노폴 안테나를 탑재한 휴대폰의 경우 0.686 W/kg(1 g 기준), 0.356 W/kg(10 g 기준)의 결과를 얻었고, 외장형 모노폴 안테나의 경우는 1.33, 0.812 W/kg이 나와 내장형 평면 모노폴 안테나의 SAR 값이 약 50 % 낮은 결과를 얻었다.

### Abstract

In this paper, meander-line planar monopole antenna mounted on PCS/IMT-2000/WLAN handset for SAR reduction is designed. Frequency characteristics and SAR value optimized with various design parameters are analyzed and designed. Designed internal monopole antenna mounted on the handset is simulated. The 1 g and 10 g peak average SARs of internal monopole antenna are 0.656 and 0.387 W/kg respectively. And internal monopole antenna and external monopole antenna attached on the handset are tested. As a result, internal monopole antenna's 1 g and 10 g peak average SARs are 0.686 and 0.356 W/kg. And external monopole antenna's results are 1.33 and 0.812 W/kg, respectively. So internal monopole antenna has a about 50 % SAR reduction in comparison with external monopole antenna.

Key words : Meander Planar Monopole Antenna, SAR

### I. 서 론

이동통신 기술의 급속한 발전과 더불어 무선 통신 기기들은 갈수록 소형화, 다기능화 되어 가고 있다. 이러한 추세는 안테나 설계시 어떻게 하면 보다

소형이면서 얇게 만들어야 하고 동시에 어떤 위치에 부착해야 하는지 등의 여러 가지 개선점을 요구하게 만들었다. 또한 인체에 밀착되어 사용되는 이동통신 기기의 경우 전자파의 인체에 대한 영향까지 고려해야 한다. 아직까지 우리나라의 경우 내장형보다는

충북대학교 정보통신공학과(Dept. of Computer and Communication Eng., Chungbuk National University)

\*충북대학교 기초과학연구소(Basic Science Research Institute, Chungbuk National University)

\*\*충북대학교 전기전자컴퓨터공학부, 컴퓨터 정보통신 연구소(School of Electrical & Computer Eng., Research Institute for Computer and Information Communication, Chungbuk National University)

\*\*\*한국전자통신연구원 전자파환경연구팀(EME Team, Radio Technology Research Group, ETRI)

· 논문 번호 : 20041005-134

· 수정완료일자 : 2004년 12월 6일

외장형 안테나가 많이 사용되고 있는데, 앞으로의 추세는 사용자가 휴대하기 편하고 외장형 안테나 단말기보다 견고한 형태의 내장형 안테나 단말기의 방향으로 변화해 나갈 것으로 예측된다.

그러나 내장형 안테나는 단말기 내부에 장착되는 안테나이기 때문에 여러 가지 제반 문제점을 지니고 있다. 소형이고 단말기 내부에 탑재되어 있어 안테나의 이득이 감소하게 되며, 내부의 소자들과 거리가 가깝고 주변의 금속성 재질들로 인해 안테나의 특성에 영향을 주게 된다. 더구나 다양한 기능을 가진 휴대폰의 경우 카메라, LCD, 배터리 등에 의하여 안테나 특성이 바뀔 수 있으므로 개발자들은 이런 점들까지 고려하여 설계해야 하기 때문에 그만큼 더 제작이 어려워졌다고 할 수 있다. 반면 외장형 안테나보다 SAR의 영향을 감소시킬 수 있는 이점을 가지고 있어서 내장형 안테나 설계시 이런 점들을 고려한다면 좋은 특성을 갖는 안테나를 설계할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 소형화 및 박막 형태의 구조를 만족하고, PCS, IMT-2000, 2.4 GHz 무선랜 대역을 만족하는 안테나 설계를 위해 안테나 높이를 감소시킨 이중 공진 평면 모노폴 안테나를 설계하였다. 또한 안테나가 단말기에 탑재되는 위치를 고려하여 기준을 만족하는 SAR 값을 얻을 수 있었다. 현재 국제적으로 전자파 흡수율 기준에 대한 논의가 활발히 진행되고 있는 점을 고려하여 SAR의 1g 및 10g 평균 침투치를 계산하였고, 실제 시험장에서 상용 단말기에 제안한 안테나를 탑재한 후 측정을 통하여 시뮬레이션 값과 비교·분석을 하였다.

## II. 안테나 구조 및 동작 특성

### 2-1 모노폴 안테나

기존의 개인 단말기의 안테나는  $\lambda/4$  모노폴이나 헬리컬 형태로써 등방성의 방사패턴을 가지며, 대역폭이 넓다는 장점때문에 현재 휴대폰의 안테나로 널리 이용되고 있다. 그러나 단말기 외부로 돌출되어 사용자가 휴대하기에 불편하고, 내장형보다 견고하지 못하다는 점과 방사 패턴에서 지향성을 나타내는 평면형 안테나에 비해 인체로 방사가 크다는 단점을

가지고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 내장형 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 평면형 안테나 중에 PIFA(Planar Inverted-F Antenna)에 관한 연구가 가장 활발하며, 이미 상용화 되고 있다. 그러나 내장형 안테나 설계시 가장 큰 문제점 중에 하나가 단말기의 좁은 공간에 안테나를 탑재시키는 문제인데, 이 때문에 안테나의 크기가 제약될 수 밖에 없고, 따라서 안테나의 효율 감소라는 문제가 발생하게 된다.

다른 평면형 안테나 중에 모노폴 형태를 갖는 안테나의 특징은 전체적인 길이가 공진 주파수 파장의  $1/4$ 이고 임피던스 대역폭이 협대역이라는 점이다. 최근의 논문을 보면 모노폴 안테나의 단점을 극복하기 위해 여러 가지의 제안 모델이 있는데 우선 안테나의 크기를 줄이기 위하여 미앤더 라인(meander line)을 이용한 것이 있다. 미앤더 라인은 안테나의 전기적인 길이를 늘이는 방법으로 같은 길이의 안테나에 비해서 공진 주파수를 효율적으로 낮출 수 있다. 그러나 이런 방법의 단점은 모노폴 안테나와 같이 임피던스 대역폭이 좁다는 점이다. 다른 방법으로는 기존의 모노폴 안테나의 단점 중의 하나인 협대역 특성을 극복하려는 것인데, 모노폴 안테나의 주위에 기생성분을 위치시켜 듀얼밴드 혹은 다중대역의 특성을 얻을 수 있는 반면에 안테나의 크기를 증가시키는 단점이 있다<sup>[11]~[14]</sup>. 본 논문에서는 소형 내장형 안테나를 만들기 위하여 미앤더 라인을 이용하여 기본 크기를 줄였다.

### 2-2 안테나 구조

그림 1은 설계한 안테나의 구조이다. 전체적인 크기는  $60 \times 23.5 \text{ mm}^2$ 로 설계하였다. 기판의 두께는 1.6 mm이고 상대 유전율이 4.62인 FR4 기판을 사용하였으며, 한 쪽면에  $48 \times 23.5 \text{ mm}^2$ 의 접지면 패치, 다른 면에 접지면에서 2 mm위에  $10 \times 23.5 \text{ mm}^2$ 의 안테나 패치가 인쇄된 형태이다. 모노폴 안테나  $\lambda/4$ 의 길이를 만족하는 구조이기 때문에 60 mm는 1.25 GHz에 해당되는 길이이지만 여기서는 미앤더 라인을 사용하여 공진 주파수를 PCS 대역이 시작되는 1.75 GHz로 높였다. 여기서 50  $\Omega$  마이크로스트립 라인은 모노폴의 급전을 위해 안테나와 같은 면에 인쇄되었

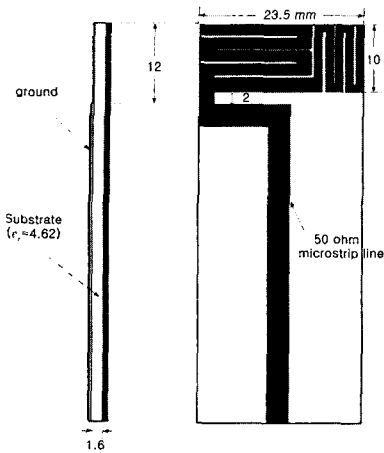


그림 1. PCS/IMT-2000/WLAN 대역에서 동작하는 박막 형태의 평면형 모노폴 안테나의 구조  
 Fig. 1. Geometry and dimensions of the proposed low-profile planar monopole antenna for PCS/IMT-2000/WLANs operation.

다. 여기서 미앤더 라인이 안테나의 전기적인 길이를 늘이는 역할을 하고, FR4 기판의 유전율과 두께가 대역폭과 공진 주파수 변화와 관계가 있기 때문에 이들을 가변 설계 파라미터로 정하여 그 변화를 살펴보았다. 또한 미앤더 라인의 길이가 공진 주파수 및 대역폭에 영향을 주는 요인이기 때문에 이것에 의한 변화를 살펴보았다. 이때 주의해야 할 점은 FR4 기판의 유전율이나 두께를 변화시킬 경우, 마이크로스트립 라인의 50 Ω 매칭을 위해서 폭도 같이 변화시켜야 한다는 점이다<sup>5)</sup>.

### 2-3 동작특성

그림 2, 3은 FR4 기판의 두께와 유전율 변화에 따른 특성 변화를 나타내는 그래프이다. 일반적으로 Q(quality factor) 값을 고려했을 때 기판의 두께가 증가할수록 대역폭이 증가하는데 그림 2의 결과는 FR4 기판의 두께가 1.6 mm일 경우, 1 mm보다 대역폭이 더 증가하였음을 보여준다. 일반적으로 낮은 유전율 값을 갖는 기판의 경우보다 넓은 대역폭을 얻을 수 있지만 크기가 커지는 단점이 있다. 테프론 기판의 경우, FR4 기판보다 유전율이 낮지만 내장형 안테나의 조건인 소형화에 적합하지 않으므로 원하는 주파수 대역을 만족시키기 위해 FR4( $\epsilon_r=4.62$ , 두께=1.6 mm) 기판을 사용하여 제작하였다.

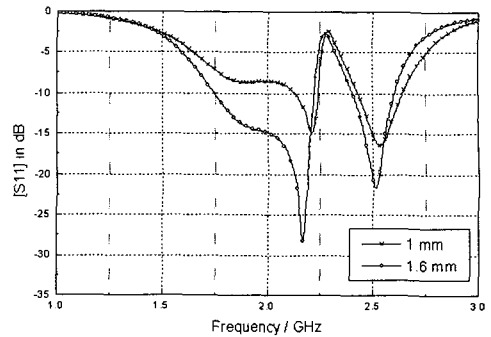


그림 2. FR4 기판의 두께의 변화에 따른 반사 손실 변화  
 Fig. 2. Return loss as a function of the thickness of FR4 substrate.

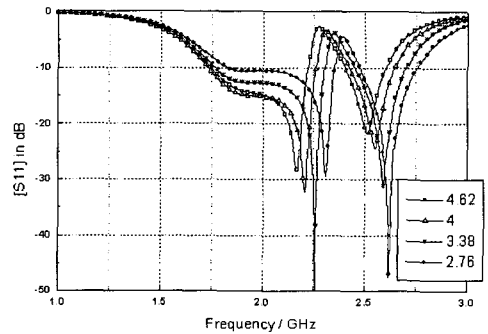


그림 3. FR4 기판의 유전율 변화에 따른 반사 손실 변화  
 Fig. 3. Return loss as a function of the permittivity of FR4 substrate.

그림 4는 안테나 길이에 의한 변화이다. 그래프의 변화를 보면 안테나 길이가 증가할수록 공진 주파수는 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 모노폴 안테나의 경우, 앞에서 밝힌 것처럼 안테나 길이가 긴 세로 부분의 길이가 파장의 1/4이다. 따라서 1 GHz의 경우 30 cm의 1/4인 7.5 cm에서 공진 주파수가 나오기 때문에 셀룰라 대역에서 공진을 얻으려면 약 85 mm로 설계하여야 한다. 마찬가지로 2 GHz 이상에서 공진 모드를 얻기 위해서는 짧은 부분의 길이를 약 30 mm 정도로 디자인해야 한다. 제안한 안테나의 경우 미앤더 라인에 의한 전기적 길이를 가변 파라미터로 설정한 후 시뮬레이션 한 결과 60×23.5 mm<sup>2</sup>의 크기로 줄여서 원하는 공진 모드를 얻을 수 있었다.

그림 5는 미앤더의 회전수에 의한 반사 손실의 변화를 나타낸 그림이다. 그림 5와 같이 스트립의 미

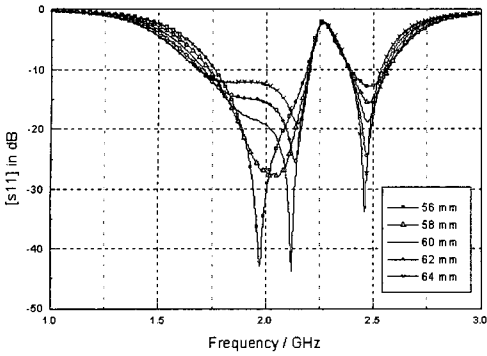


그림 4. 안테나 길이의 변화에 따른 반사손실 변화  
Fig. 4. Return loss as a function of antenna length.

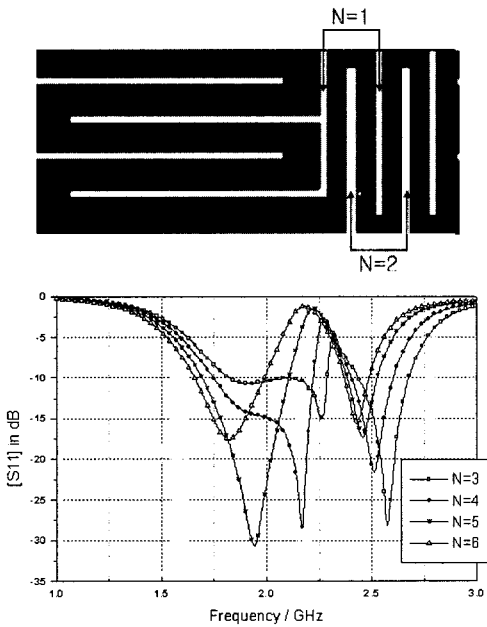


그림 5. N에 의한 반사 손실 변화  
Fig. 5. Return loss as a function of N.

엔더링 회수를  $N$ 으로 정의하고  $N$ 을 3~6까지 증가시켜 반사손실 값을 측정하였다. 그 결과를 보면,  $N$ 이 증가하면서 미앤더 라인의 전체 길이가 길어지게 되므로 안테나의 공진 길이가 증가하여 공진 주파수가 점점 낮아지게 됨을 알 수 있다.  $N$ 이 4일 경우 원하는 주파수 범위를 만족하였다. 이처럼 미앤더 라인을 이용하면 안테나의 기본 길이를 줄일 수 있게 되어 결과적으로 안테나의 크기를 줄일 수 있다.

그림 6은 제작한 안테나의 실제 모습이고, 그림 7은 최적화된 안테나의 시뮬레이션 결과와 측정 결과

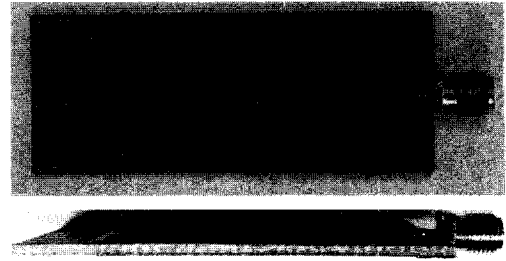


그림 6. 제작된 안테나의 사진  
Fig. 6. Photograph of the fabricated antenna.

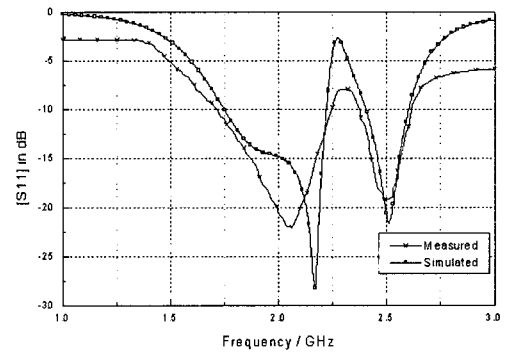
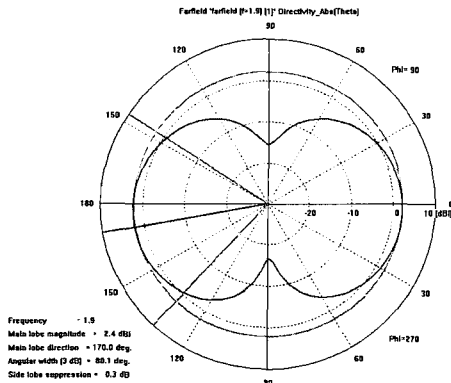


그림 7. 최적화된 안테나의 반사손실 계산치와 측정치의 비교  
Fig. 7. Comparison of the simulated and measured return loss on the optimized antenna.

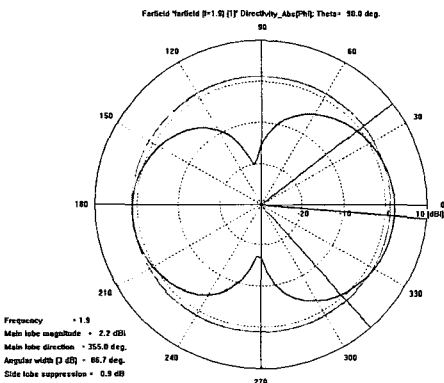
를 비교한 그래프이다. 시뮬레이션 결과는 주파수 특성으로 계산된 대역폭이 중심 주파수인 2 GHz에서 24%(480 MHz)이었으며, 중심 주파수 2.5 GHz에서는 10%(250 MHz)로써 PCS, IMT-2000 대역과 2.45 GHz 무선 주파수 대역을 모두 만족하는 결과를 얻었다. 측정된 결과에서 공진 주파수는 시뮬레이션 결과와 약간 차이는 있지만 대체로 유사함을 알 수 있다. 그림 8에서는 1.9 GHz에서의 방사패턴을 나타낸 그림이다. 일반적인 단말기 안테나와 같이 전방향 특성을 보이고 있으며, 최대치 이득은 2.5 dBi로 단말기 안테나로 쓰이기 위한 조건을 만족한다. 다른 대역에서의 방사 패턴은 1.9 GHz 대역과 유사하여 생략하였다.

### III. SAR 데이터 비교 분석

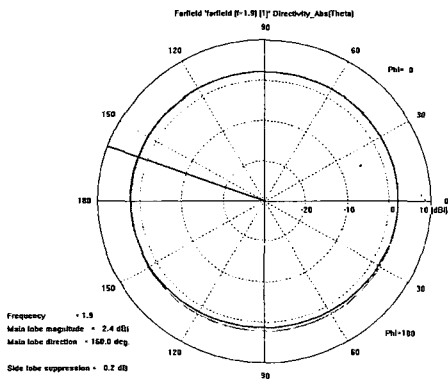
전자파가 인체에 미치는 영향에 대한 사전 예방적인 입장에서 국제 기구 및 각 국가별로 현재 활발



(a) 1.9 GHz E-plane(yz plane)



(b) 1.9 GHz E-plane(xz plane)



(c) 1.9 GHz H-plane

그림 8. 제작된 안테나의 방사패턴  
Fig. 8. Radiation patterns of the fabricated antenna.

히 연구가 진행되고 있다. 특히 인체에서 매우 가까운 거리에서 사용되는 이동 통신기기에 대하여 SAR로 규제를 하고 있다. 국내에서는 현재 1.6 W/kg 기준치를 넘지 못하도록 규제하고 있다. 본 논문에서는 설계한 안테나를 시뮬레이션 툴(SEMCAD)을 사

용하여 설계한 폴더형 단말기에 장착한 후의 SAR값과, 시뮬레이션 결과를 바탕으로 실제 단말기에 탑재하여 측정된 SAR 값과 비교·분석하였다.

### 3-1 SAR의 계산

전자파에 의해 인체에 흡수되는 전력의 시간평균에 대한 물리량인 SAR에 대한 식은 다음과 같다.

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

여기서  $\sigma$ 는 조직의 전기전도도 [S/m],  $\rho$ 는 조직의 밀도[kg/m<sup>3</sup>],  $E$ 는 전계강도[V/m]이다. 인체 두부에 흡수되는 전계분포를 계산하기 위해 시간영역-유한차분(Finite Difference Time Domain: FDTD) 수치해석 방법을 사용하였다<sup>[6]-[9]</sup>. FDTD 수치해석 방법을 사용한 상용툴인 SEMCAD를 이용하여 완전 정합층을 갖는 흡수 경계조건에서 휴대폰을 모델링 하였고, 설계한 안테나를 탑재하여 급전점에 연속파(Continuous Wave: CW)를 인가하였다. 모의 인체 두부 모델의 매질은 FCC에서 제공하는 인체 조직의 매질 특성을 균일화한 모델을 이용하였는데, 매질 특성은 표 1과 같다<sup>[10]</sup>.

### 3-2 SAR 데이터 비교 분석

SAR는 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. 단말기의 conducted power가 증가하면 SAR의 기본 식에서도 예측할 수 있는 것처럼 SAR 값도 그에 비례하여 증가한다. 단말기의 방사출력이 SAR 값에 큰 영향을 주기 때문에 SAR 측정에 사용되는 휴대

표 1. 모의 인체 머리조직의 전기정수  
Table 1. Electrical characteristics of human head phantom organization.

조직타입	902 MHz		1,747 MHz		Density [kg/m <sup>3</sup> ]
	$\epsilon_r$	S/m	$\epsilon_r$	S/m	
SAM liquid	41.5	0.97	40.0	1.40	1,000
SAM shell	3.5	0	3.5	0	1,000

전화 단말기는 연속적으로 최대 출력을 방사하는 상황(Tx mode)에서 팬텀 및 밀착하여 측정하며, 휴대전화의 배터리는 full charge 상황에서 측정하게 된다. 이외에도 단말기와 팬텀간의 거리, 안테나의 탑재 위치에 따라서도 SAR 값에 영향을 주게 된다. 본 논문에서는 이와 같은 점을 고려하여 시뮬레이션 하였고, 그 값의 변화에 대해 분석하였다.

단말기를 디자인할 때 실제 휴대폰과 유사하도록 몇 가지를 고려하였다. 단말기 제조 회사의 경우에는 기본적으로 들어가는 LCD 모니터, 키버튼, 스피커, 배터리, PCB 기판, 단말기 케이스, 카메라 등을 모두 고려하여 설계하고 측정하지만, 본 논문에서는 구현하기 어려운 부분을 제외하고 디자인하였다. 1.9 GHz 대역의 유전체에 대한 유전율 및 도전율을

고려하여 팬텀 및 휴대폰의 유전율에 대한 관련 데이터를 집어넣었다. 동작 주파수 대역이 PCS, IMT-2000, WLAN 대역이지만 실제 측정하려는 시험원의 측정 조건이 1.9 GHz 대역까지로 환경 구축이 되어 있어서 비교를 위해 시뮬레이션 입력 주파수를 1.9 GHz로 설정하였다. SAR 시뮬레이션 시험 조건에 대한 내용을 표 2에 정리하였다. 표 2의 내용은 시험장에서 측정 내용과 비교를 위해서 시험장의 조건과 동일하게 하였다.

PCS 대역에 대한 SAR 값을 구하기 위해 1.9 GHz 주파수의 CW를 인가하였고, 입력전력은 1 W로 하여 SAR 값을 구하였다. 그림 9는 안테나를 폴더형 단말기의 아랫부분에 탑재하여 시뮬레이션한 결과이다. 아랫부분의 경우, SAR 최대 값은 뺨쪽 부분의

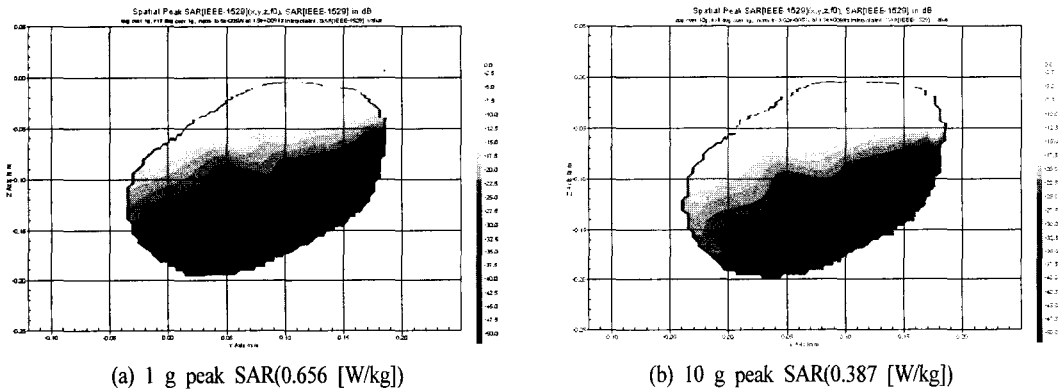


그림 9. 폴더형 전화기 아랫부분에 부착된 내장형 모노폴에 의한 1 g 및 10 g 평균 최대 SAR [XY plane]  
 Fig. 9. 1 g and 10 g peak averaged SARs caused by internal monopole mounted on folder-type handset down-case [XY plane].

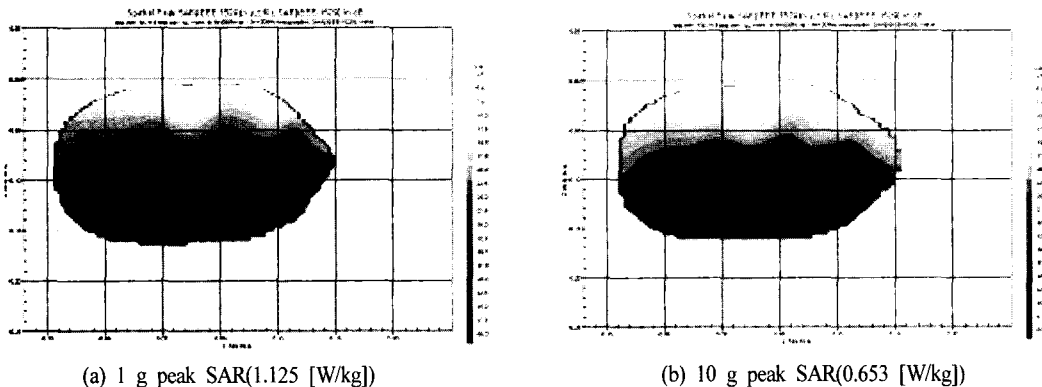


그림 10. 폴더형 단말기 윗부분에 부착된 내장형 모노폴에 의한 1 g 및 10 g 평균 최대 SAR [XY plane]  
 Fig. 10. 1 g and 10 g peak averaged SARs caused by internal monopole mounted on folder-type handset up-case [XY plane].

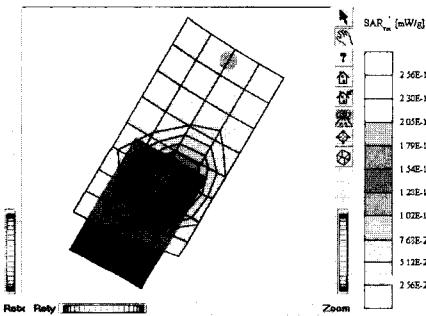
피부 표면에서 1 g, 10 g 평균 최대 SAR 값이 각각 0.656, 0.387 W/kg으로 검출되었다. 안테나가 단말기 아랫부분의 상단에 위치하기 때문에 가장 가까운 뺨 쪽에서 최대 SAR 값이 검출된 것을 예상할 수 있다.

안테나를 폴더 윗부분에 탑재한 경우 최대 SAR 값은 귀 부분의 피부 표면에서 1 g, 10 g 평균 최대 SAR 값이 각각 1.125, 0.653 W/kg으로 검출되었다. 안테나가 폴더의 아랫부분에 위치할 경우보다 더 큰 최대 SAR 값이 검출되었는데, 이는 폴더형 단말기의 윗부분에서 안테나와 피부 표면간의 수직 거리가 아랫부분보다 더 가깝기 때문이다.

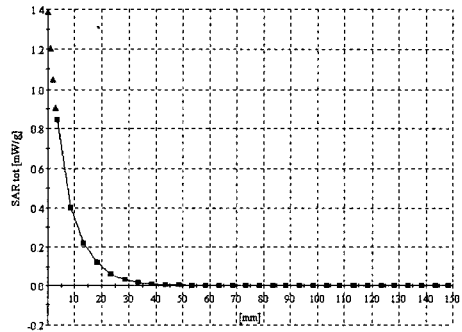
제작한 안테나를 단말기 내부에 탑재하여 측정한

결과를 그림 11에 나타내었다. 시험장의 측정 조건은 표 2와 동일하다. 측정결과 1 g 평균 기준으로 했을 때 최대 SAR 값은 0.686 W/kg이었고, 10 g의 경우 0.356 W/kg이었다. 이는 SAR 제한치인 1 g 평균과 10 g 평균 최대 SAR 제한치인 1.6 W/kg과 2 W/kg을 모두 만족하는 결과이다. 그림의 SAR 분포도에서 보는 것처럼 단말기에서 안테나가 위치한 부근에서 가장 큰 SAR 값이 나왔다. 그림 11(b)의 그래프에서는 침투 깊이에 따른 SAR 값의 분포를 보여준다. 따라서 단말기 설계시 안테나가 위치한 부분에서 후방사되는 전자파를 보다 효율적으로 흡수할 수 있는 기술을 개발한다면 설계 및 제작의 시간을 많이 단

SAM 3 Phantom, Left Hand [CRF] Sector, Position (50°160°) Frequency: 1920 MHz  
 Probe: ET30V6 - SN1928 ConF#S 34.5.34.5.341, Crestfactor 1.0 Brain 1920 MHz: s = 1.39  
 rho/m/g = 1.40 g/cm³  
 Cube Size: 7. SAR (1g) 0.686 mW/g, SAR (10g) 0.356 mW/g  
 Course Dz = 15.0 Gy = 15.0, Dz = 10.0  
 Powerden: -0.93 dB  
 Comment:



(a) SAR 분포도  
 (a) SAR distribution profile

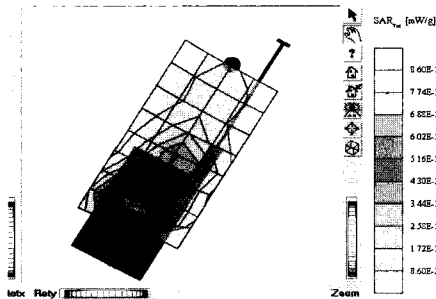


(b) 두부 침투 깊이에 따른 SAR의 변화  
 (b) SAR value variation by depth of human head

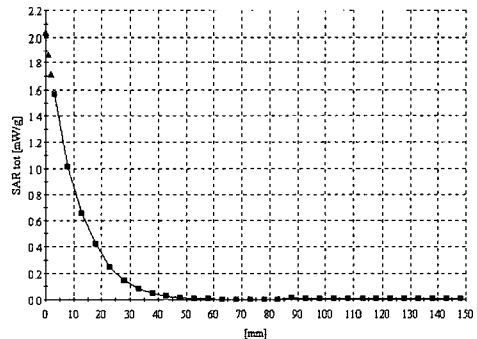
그림 11. 측정 결과(내장형 안테나 탑재)

Fig. 11. Test result(Mounted internal monopole antenna on mobile phone).

Monopole Antenna  
 SAM 3 Phantom, Left Hand [CRF] Sector, Position (50°160°) Frequency: 1920 MHz  
 Probe: ET30V6 - SN1798 ConF#S 20.5.20.5.201, Crestfactor 1.0 Brain 1920 MHz: s = 1.39  
 rho/m/g = 1.40 g/cm³  
 Cube Size: 7. SAR (1g) 1.125 mW/g, SAR (10g) 0.612 mW/g  
 Course Dz = 15.0 Gy = 5.0, Dz = 10.0  
 Powerden: -0.93 dB  
 Comment:



(a) SAR 분포도  
 (a) SAR distribution profile



(b) 두부 침투 깊이에 따른 SAR의 변화  
 (b) SAR value variation by depth of human head

그림 12. 측정 결과(외장형 안테나 탑재)

Fig. 12. Test result(Mounted external monopole antenna on mobile phone).

표 2. SAR 시뮬레이션 시험 조건  
Table 2. SAR simulation test condition.

	휴대폰 탑재 위치 및 안테나 형태	
	위(내장형)	아래(내장형)
입력전력	1 W	1 W
두부 팬텀(표피)과의 수직거리	5 mm	10 mm
입력 주파수	1.9 GHz(CW)	1.9 GHz(CW)

측시킬 수 있을 것이다.

그림 12는 동일한 단말기에 외장형 안테나를 부착시켰을 경우의 SAR 분포도와 그래프이다. 본 논문에서 사용한 외장형 안테나를 탑재한 단말기는 상용제품으로서 1.9 GHz 대역에서 최대치 이득이 약 2 dBi이다. 1 g 평균으로 했을 때 1.33 W/kg이 나왔는데 이는 제작한 내장형 안테나를 탑재하여 측정할 경우보다 약 두 배 정도의 수치로서, 외장형 안테나보다 내장형 안테나를 탑재한 단말기가 SAR 값이 적게 나옴을 알 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 SAR을 저감시키고, PCS와 IMT-2000 대역 및 2.45 GHz의 무선랜 대역을 포함하는 주파수에서 동작이 가능한 미앤더 라인 평면형 모노폴 안테나를 설계 및 제작하였다. 미앤더 라인을 사용하여 안테나 크기를 줄일 수 있었고, 실제 제작을 통하여 그 성능을 검증하였다.

FDTD 해석기법을 사용한 시뮬레이션 툴을 이용하여 방사패턴과 SAR 값을 구하였고, SAR 시험 업체에서 측정을 통해 검증하였다.

시뮬레이션시, 중심 주파수를 1.9 GHz로 설정하였고, SAR 분포는 FDTD 해석기법을 사용하여 계산하였다. 시뮬레이션 결과 1 g 평균으로 했을 때의 최대 SAR 값은 0.656 W/kg, 10 g은 0.387 W/kg이었다. 실제 측정장에서의 측정 결과는 각각 0.686, 0.356 W/kg으로 시뮬레이션 결과와 유사하였다. 특히 외장형 안테나의 경우는 각각 1.33, 0.812 W/kg으로 제작된 내장형 안테나보다 두 배 이상의 SAR 값이 검출되었다.

본 연구 결과에 사용된 휴대폰의 매질 특성 및 측

정 환경은 실제와 차이가 있을 수 있다. 따라서 보다 정확한 시뮬레이션 및 측정을 위해서 실제적인 데이터 보완이 필요하고, 안테나를 단말기에 탑재하였을 경우의 특성에 대한 측정을 통하여 미진한 부분을 보완해 나갈 것이다. 또한 단말기 설계자가 안테나 설계를 보다 용이하게 할 수 있도록 위치, 재질, 단말기 내부 조건, 변조 방식, 동작 주파수 등의 파라미터들을 고려한 분석을 통해 실용적인 연구가 되도록 계속 보완해 나갈 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] K. L. Wong, G. Y. Lee, and T. W. Chiou, "A low-profile planar monopole antenna for multiband operation of mobile handsets", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 51, no. 1, Jan. 2003.
- [2] R. Grag, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, Boston · London, 2001.
- [3] 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.
- [4] C. Delaveaud, P. Leveque, and B. Jecko, "Small-sized low-profile antenna to replace monopole antennas", *Electronics Letters*, vol. 34, no. 8, Apr. 1998.
- [5] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [6] K. S. Kunz, R. J. Ruebbers, *The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics*, CRC Press, 1993.
- [7] 이애경 외, "이동통신단말기에 노출된 인체 두부에 따른 전자파 비흡수율 비교", 대한전자공학회 논문지, TC, 37(11), pp. 33-41, 2000년 11월.
- [8] 최윤희, 신호섭, 김남, 박주덕, "이중대역(PCS/IMT-2000) 마이크로스트립 패치 안테나 설계 및 구조에 따른 SAR 분석", 한국전자과학회 논문지, 15(1), pp. 12-20, 2004년 1월.
- [9] J. D. Park, N. Kim, "SAR analysis on human head caused by PCS handheld telephone", *BEMS 21th*



Annual Meeting, pp. 166-167, Jun. 1999.

[10] IEEE standard for recommended practice for determining the peak spatial-average specific ab-

sorption rate(SAR) in the human body due to wireless communications devices, 1528-200, Apr. 2002.

### 신 찬 수



2003년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)  
2003년 3월~현재: 충북대학교 정보통신공학과 석사과정  
[주 관심분야] EMF, EMI/EMC, SAR 계산 및 측정, 안테나 설계

### 최 재 익



1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)  
1983년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)  
1995년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)  
1983년 2월~현재: 한국전자통신연구원 전자파환경연구팀 팀장  
[주 관심분야] 위성통신/이동통신 안테나 및 RF 기술 등

### 신 호 섭



1995년 8월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)  
1998년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)  
2003년 8월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학박사)  
2002년 1월~2004년 1월: 국제전자

정밀 중앙연구소 연구원  
2004년 2월~현재: 충북대학교 기초과학연구소 전임연구원  
[주 관심분야] 전자파 수치해석, 안테나 설계 및 해석, 전파전파, EMI/EMC

### 박 주 덕



design

1997년: 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)  
1999년: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)  
2000년~현재: ETRI 전자파환경 연구팀 연구원  
[주 관심분야] EMF, SAR, Antenna

### 김 남



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1983년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)  
1992년 8월~1993년 8월: 미 Stan-

ford 대학교 방문교수  
2000년 3월~2001년 2월: 미 California Technology Institute (Caltech) 방문교수  
1989년~현재: 충북대학교 전기전자공학부 교수, 컴퓨터 정보통신연구소  
[주 관심분야] 이동통신 및 전파전파, 마이크로파 전송선로 해석, EMI/EMC 및 전자파 인체보호 규격