

SAR 저감을 위한 PCS 단말기의 PIFA 설계

Design of PIFA on PCS Handset for SAR Reduction

김현경* · 박주덕* · 김 남* · 윤재훈**

Hyoun-kyoung Kim* · Ju-derk Park* · Nam Kim* · Jae-hun Yun**

요 약

본 논문에서는 SAR을 저감시킬 수 있는 PCS용 PIFA를 설계하였다. 안테나가 부착되는 위치에 따라 top mounted PIFA와 side mounted PIFA의 두 가지 PIFA를 제안하고, 안테나의 설계 파라미터에 따른 공진 특성을 분석하였다. 제안한 PIFA와 동일한 공진 주파수를 갖는 모노폴을 설계하여 대역폭과 SAR 값을 비교·분석하였다. 중심 주파수 1.83 GHz에서 Side mounted PIFA와 모노폴 안테나의 대역폭은 각각 8.2%와 21.7%로 나타났다. Side mounted PIFA의 SAR 값은 1g 및 10g 평균 침투치가 0.686, 0.353으로 모노폴 안테나에 대한 SAR 값인 1.759, 0.978에 비해 약 1/3로 나타났다.

Abstract

In this paper, PIFA on PCS handset for SAR reduction is designed. According to the position of PIFA attached on the handset, side mounted PIFA and top mounted PIFA are suggested. Resonance characteristics with variety of design parameters are analyzed. And monopole antenna with $\lambda/4$ length is designed and compared with PIFAs in bandwidth and SAR. At 1.83 GHz center frequency, the bandwidth of side mounted PIFA and monopole antenna are 8.2% and 21.7%, respectively. The 1g and 10g peak average SARs of side mounted PIFA are 0.686 and 0.353 respectively, which are about 1/3 of SARs of monopole antenna, 1.759 and 0.978, respectively.

I. 서 론

최근 세계 각국에서 전자파 인체 보호 기준을 제정하는 등 전자파가 인체에 미치는 영향에 대한 관심이 고조되고 있으며, 일반 대중의 전자파에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 휴대용 전화기의 경우 인체 두부에 가장 근접하여 이용되기 때문에 휴대용 전화기에서 발생하는 전자파의 영향을 줄이기 위한 인체 방향으로의 방사가 적은 안테나 개발의 필요성이 강조되고 있다^{[1],[2]}.

본 논문에서는 SAR(Specific Absorption Rate:

비흡수율)을 저감시키기 위한 안테나로 side mounted PIFA(Planar Inverted F Antenna)를 제안하였으며, 현재 국내 통신의 가장 큰 비중을 차지하는 PCS 폰의 주파수 대역에 초점을 맞추었다. 휴대용 전화기에 안테나가 부착되는 위치에 따른 공진 특성을 비교하기 위하여 top mounted PIFA를 모델링하여 공진 주파수와 대역폭을 알아보았다. 또한 제안된 PIFA를 전화기 몸체에 부착하여 안테나 파라미터에 따른 공진 특성과 방사패턴을 분석하였다. 전화기 구조는 도체상자로 모델링 하였으며, 유전체로 코팅했을 때와 코팅하지 않았을 때의 공진 특성을

* 충북대학교 전기전자공학부(Division of Electrical and Electronic Eng., Choongbuk National Univ.)

** 한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

· 논문 번호 : 991208-06S

· 수정완료일자 : 2000년 1월 14일

비교하였다. 현재 널리 이용되고 있는 모노폴 안테나를 설계하여 공진 특성 및 방사 패턴을 비교·분석하였으며 각각의 안테나가 부착된 전화기에 의해 인체 두부에 유기되는 SAR의 1g 및 10g 평균 침투치를 계산하였다.

II. FDTD 이론

1966년 K. Yee에 의해 처음으로 제시된 FDTD 해석법은 맥스웰의 시간 영역 curl 방정식에 대한 직접적인 해법이다^[3]. 이 방법에서는 벡터 포텐셜을 적용하여 파동방정식에 대한 일반해를 구하는 것이 아니라 해석 대상체에 대한 유한 계산 영역에서 주기적으로 이산화된 시간 간격만큼의 시간마다 전계와 자계의 세기를 갱신하는 방법을 취하고 있다. 균질 매질에 대한 맥스웰의 시간영역 미분 방정식을 다음 식에 나타내었다.

$$\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\nabla \times \vec{E} \quad (1)$$

$$\epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \nabla \times \vec{H} - \sigma \vec{E} \quad (2)$$

위의 두 식은 유한 차분 기법에 의해 수치적으로 다음과 같이 근사화 될 수 있다^{[4],[5]}.

$$\begin{aligned} & \frac{\mu \left[H_x^{n+\frac{1}{2}} \left(i, j + \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2} \right) - H_x^{n-\frac{1}{2}} \left(i, j + \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2} \right) \right]}{\delta t} \\ &= \frac{E_z^n \left(i, j + 1, k + \frac{1}{2} \right) - E_z^n \left(i, j, k + \frac{1}{2} \right)}{\delta y} \\ & \quad - \frac{E_y^n \left(i, j + \frac{1}{2}, k + 1 \right) - E_y^n \left(i, j + \frac{1}{2}, k \right)}{\delta z} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\epsilon \left[E_x^n \left(i + \frac{1}{2}, j, k \right) - E_x^{n-1} \left(i + \frac{1}{2}, j, k \right) \right]}{\delta t} \\ &+ J_x^{n-\frac{1}{2}} \left(k + \frac{1}{2}, j, k \right) \\ &= \frac{H_z^{n-\frac{1}{2}} \left(i + \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2}, k \right) - H_z^{n-\frac{1}{2}} \left(i + \frac{1}{2}, j - \frac{1}{2}, k \right)}{\delta y} \\ & \quad - \frac{H_y^{n-\frac{1}{2}} \left(i + \frac{1}{2}, j, k + \frac{1}{2} \right) - H_y^{n-\frac{1}{2}} \left(i + \frac{1}{2}, j, k - \frac{1}{2} \right)}{\delta z} \end{aligned} \quad (4)$$

본 논문에서는 FDTD를 이용하여 시뮬레이션하였다. FDTD 해석법에서는 한 셀의 크기를 결정하고 이에 따른 입사파를 구현하는 것이 중요하다. 한 셀의 크기는 최대 사용 주파수에 대해 정확한 값을 산출하기에 충분할 정도로 작아야 하고, 전파 인가

원을 구현하기에 충분할 정도로 커야 된다는 조건을 동시에 만족해야 한다. 이에 따라 일반적으로 한 셀의 변의 길이는 다음 조건을 만족해야 한다^[3].

$$\frac{1}{20} \lambda_{\min} < \text{변의 길이} < \frac{1}{10} \lambda_{\min} \quad (5)$$

식 (5)로부터 셀 크기를 3 mm × 3 mm × 3 mm로 설정하였으며, 펄스 폭이 가우시안 펄스로 전압을 인가하였다.

III. 안테나 구조 및 동작 특성

PIFA는 Planar Inverted F Antenna의 약자로 ground plane에 top plate가 붙어 있는 모양이 옆면에서 보았을 때 알파벳 'F'자를 거꾸로 한 모양이라는데서 붙여진 이름이다. 초창기 모델과는 달리 현재는 대역폭 등의 성능 개선을 목적으로 다양한 변형이 시도되고 있다.

PIFA의 기본적인 구조를 그림 1에 나타내었다.

PIFA의 기본 설계 파라미터는 매우 다양하지만, 전화기의 크기에 많은 영향을 주는 파라미터는 설계에 있어 변화가 거의 없는 고정 설계 파라미터와 공진 주파수나 대역폭의 조정에 따라 자유롭게 변할 수 있는 가변 설계 파라미터로 분류된다. 아래에 PIFA의 기본 설계 파라미터를 나타내었다.

- 고정 설계 파라미터
 - Top plate의 길이
 - Top plate의 폭(넓이)
 - Ground plane으로부터 안테나의 높이
- 가변 설계 파라미터
 - 급전선의 위치
 - 단락 핀 또는 단락 스트립의 폭
 - Stub의 크기

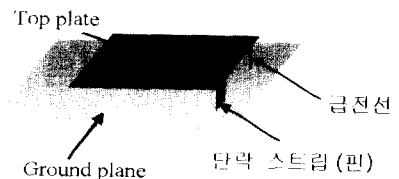


그림 1. PIFA의 기본 구조

Fig. 1. Basic structure of PIFA.

본 논문에서는 PCS 전화기의 주파수 대역인 1.8 GHz~1.9 GHz에서 공진이 일어나도록 하기 위해 안테나의 전반적인 크기를 결정하는 top plate의 높이와 크기를 각각 12 mm, 21 mm×33 mm로 고정하였다.

PIFA와 같은 평면형 안테나는 도체 판에 부착했을 때와 휴대용 전화기의 도체상자에 부착했을 때의 동작특성이 다를 수 있기 때문에, 4.5 cm×9 cm×2.1 cm 크기로 설계한 도체상자에 유전체를 코팅한 후 안테나를 부착하여 안테나 파라미터에 따른 공진 주파수 특성과 방사 패턴을 분석하였다. PIFA는 전화기에 부착되는 위치에 따라 side mounted PIFA와 top mounted PIFA로 나뉘는데, SAR 저감을 위한 PCS용 안테나로 side mounted PIFA를 제안하였다. 안테나의 부착 위치에 따른 공진 주파수를 비교하기 위해 동일한 공진 주파수를 갖는 top mounted PIFA를 설계하였다. 또한 1.83 GHz를 중심 주파수로 설정하여 동작 주파수의 $\lambda/4$ 길이의 모노폴 안테나를 설계하였으며, 동일한 도체상자에 부착된 모노폴 안테나를 PIFA 안테나와 비교·분석하였다 [6,17]. 본 논문에서 설계한 세 가지 안테나-side mounted PIFA, top mounted PIFA, 그리고 모노폴 안테나가 부착된 전화기 구조를 각각 그림 2, 3, 4에 나타내었다.

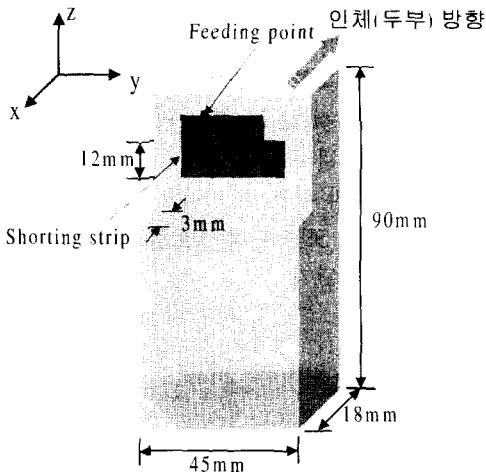


그림 2. Side mounted PIFA가 부착된 전화기 구조
Fig. 2. Structure of handset with side mounted PIFA.

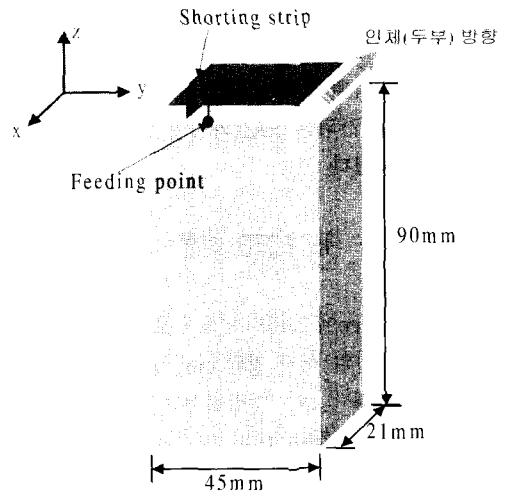


그림 3. Top mounted PIFA가 부착된 전화기 구조
Fig. 3. Structure of handset with top mounted PIFA.

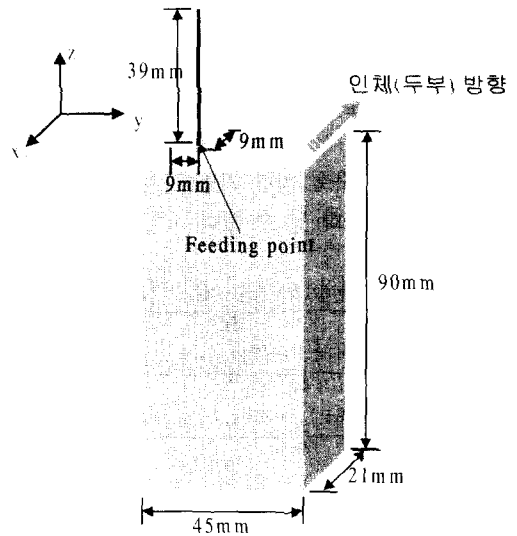


그림 4. Monopole antenna가 부착된 전화기 구조
Fig. 4. Structure of handset with monopole antenna.

3-1 Side mounted PIFA

Side mounted PIFA에서는 안테나의 top plate가 인체 두부의 반대 방향으로 향하도록 설계하였으며, 단락 스트립과 top plate의 reduced size에 따른 공진 주파수를 살펴보았다. 또한 도체상자를 유전체로 코팅한 후 공진 주파수의 변화를 살펴보았다.

3-1-1 단락 스트립

단락 스트립은 안테나의 전체적인 크기를 일정하게 유지하면서 공진 주파수를 조절하는데 이용된다^[6]. top plate의 폭이 W , 길이가 L 이고 단락 스트립의 폭이 S , 그리고 안테나의 높이가 H 인 PIFA에 대해, $0 < S/W < 1$ 일 때의 공진 파장은 식 (6)과 같이 주어진다^[7].

$$W + L + H - S = \frac{\lambda}{4} \quad (6)$$

식 (6)에서도 알 수 있듯이 안테나의 전체적인 크기가 고정되어 있을 때, 단락 스트립의 폭을 조절함으로써 원하는 공진 주파수로의 조절이 가능하게 된다. top plate의 크기가 21 mm×33 mm 일 때 단락 스트립의 폭을 조절해 가면서 공진 주파수가 변화하는 모습을 그림 5에 나타내었다. 단락 스트립의 폭이 증가함에 따라 공진 주파수가 높아짐을 알 수 있으며, 단락 스트립의 폭이 12 mm일 때 반사 손실이 가장 적은 것으로 나타났다.

3-1-2 Top plate의 reduced size

단락 스트립의 크기를 12 mm로 고정시키고 top plate의 크기를 변화시키면서 공진 주파수의 변화를 살펴보았다. 3-1-1에서 설명한 바와 같이, 평면형 안테나는 top plate의 폭과 길이의 합이 공진 주파수와

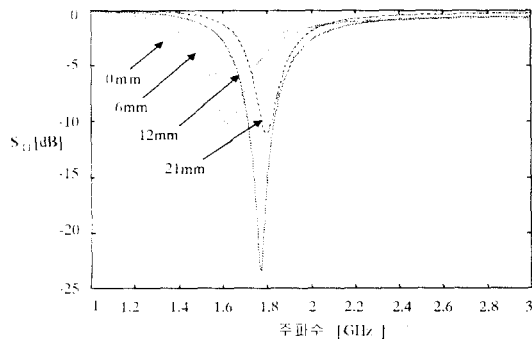


그림 5. Side mounted PIFA의 단락 스트립의 폭에 따른 공진 주파수의 변화

Fig. 5. Variation of resonance frequency vs. width of shorting strip of side mounted PIFA.

비례하기 때문에, 공진 주파수를 높이기 위해 top plate의 한쪽 끝에서부터 안테나의 면적을 약간씩 줄이는 방법을 이용하여 크기를 조절하였다. 그림 6에서 알 수 있듯이, top plate의 줄어든 면적이 9 mm×6 mm 일 때 반사 손실이 가장 적었다.

3-1-3 유전체 코팅 후 공진 주파수 변화

평면형 안테나는 도체 상자의 모양뿐 아니라 도체상자가 코팅된 유전체에 의해서도 공진 주파수가 변한다. 3-1-1과 3-1-2에서는 도체상자에 유전체를 코팅하지 않은 경우의 결과이다. 본 논문에서는 실제 구조와의 유사성을 고려하여 도체상자를 비유전율 $\epsilon_r = 2.2$ 인 물질로 3 mm 코팅하여 시뮬레이션 하였다. 유전체 코팅 후 공진 주파수의 변화를 그림 7에 나타내었다. 유전체 코팅 후 공진 주파수는 낮아지게 되는데, 낮아진 공진 주파수를 높이기 위해 top plate의 크기를 21 mm×27 mm로 재조정하였다. 재조정된 top plate에 대해 3-1-2의 과정을 되풀이하였으며, 결과적으로 top plate의 reduced size가 9 mm×6 mm일 때 PCS 주파수 대역인 1.83 GHz에서 공진이 일어남을 알 수 있었다.

3-2 Top mounted PIFA

Top mounted PIFA는 PIFA가 전화기의 윗면에 부착된 구조이다. Top mounted PIFA는 인체 두부

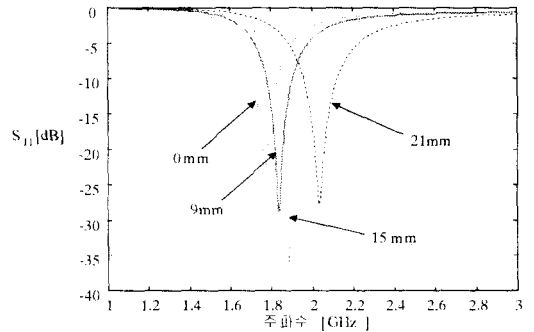


그림 6. Side mounted PIFA의 reduced size에 따른 공진 주파수의 변화

Fig. 6. Variation of resonance frequency vs. reduced size of side mounted PIFA.

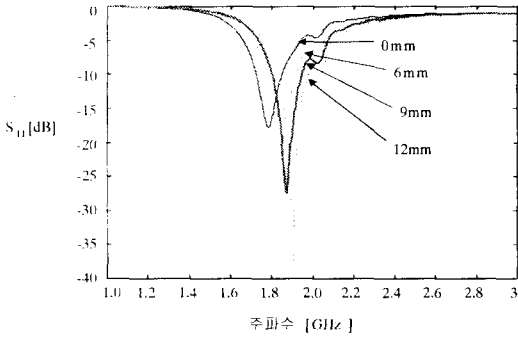


그림 7. 유전체 코팅에 의한 side mounted PIFA의 reduced size에 따른 공진 주파수 변화
 Fig. 7. Variation of resonance frequency vs. reduced size of side mounted PIFA according to coating with dielectric material.

의 반대쪽 끝에서 급전하였으며, side mounted PIFA와 마찬가지로 안테나의 설계 파라미터에 따른 공진 주파수의 변화를 살펴보았다. 그리고 최종적으로 유전체로 코팅한 경우의 공진 특성을 살펴보고 SAR을 계산하였다.

Top mounted PIFA는 시뮬레이션 결과 단락 스트립의 폭이 12 mm일 때 반사손실이 가장 적은 것으로 나타났다. 이 결과에 따라 단락 스트립의 폭을 12 mm로 고정하고 급전점의 위치에 따른 공진 주파수의 변화를 살펴보았다. 급전점의 x 좌표를 top plate의 두부 반대쪽 끝으로 고정시키고, y 축을 따라 변화시킨 결과 급전점이 top corner에서 9 mm 떨어진 위치에 있을 때 1.8 GHz 근처에서 공진이 일어났다. Top mounted PIFA 역시 최종적으로 유전체를 코팅한 경우에 대해 살펴보았다. 위의 결과에 따라 단락 스트립의 폭을 12 mm, 급전점의 위치를 top corner에서 9 mm 떨어진 지점으로 고정시키고 비 유전율 $\epsilon_r = 2.2$ 의 유전체로 3 mm 코팅한 도체 상자에 대해서 top plate의 reduced size에 따른 공진 주파수의 변화를 살펴보았다. top mounted PIFA는 유전체 코팅 후 side mounted PIFA에 비해 공진 주파수의 변화폭이 적었기 때문에, top plate의 크기를 처음 제안한 21 mm×33 mm로 고정시키고 top plate의 reduced size로 공진 주파수를 조절하였다. 그림 8에서 알 수 있듯이 reduced size가 15 mm×6 mm일 때 side mounted PIFA와 동일한 1.83 GHz에서

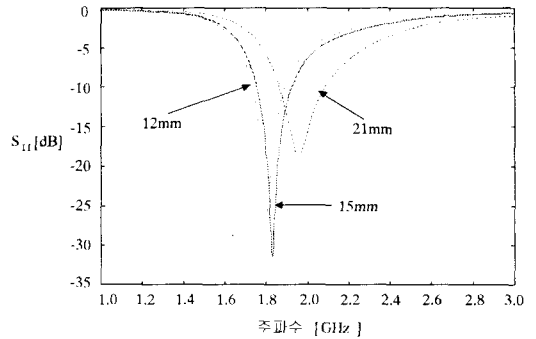


그림 8. 유전체 코팅에 의한 top mounted PIFA의 reduced size에 따른 공진 주파수 변화
 Fig. 8. Variation of resonance frequency vs. reduced size of top mounted PIFA according to coating with dielectric material.

공진이 일어났다.

3-3 모노폴 안테나

모노폴 안테나는 등방성의 방사패턴을 가지며, 대역폭이 넓은 장점 때문에 현재 휴대용 전화기의 안테나로 널리 이용되고 있다. 그러나 방사 패턴에서 지향성을 나타내는 평면형 안테나에 비해 인체로의 방사가 크다는 단점을 지니고 있다. 본 연구에서는 1.83 GHz의 중심 주파수를 갖는 $\lambda/4$ 크기의 모노폴을 도체상자에 부착하여 시뮬레이션 하였다.

모노폴 안테나 역시 도체상자로 모델링한 전화기 구조에 유전체를 코팅한 경우와 하지 않은 경우에 대해 공진 주파수와 대역폭을 비교하였다. 모노폴 안테나의 경우, 위에서 설명한 두 가지 PIFA와는 달리, 전화기 구조에 유전체를 코팅했을 때 공진 주파수의 변화는 없었다. 다만, 대역폭이 15.8%에서 21.7%로 개선되었다.

그림 9에 세 가지 안테나에 대한 S_{11} 파라미터를 나타내었다. 그림에 보여진 결과는 최종적으로 선택된 세 가지 안테나 구조에 대한 결과이며, 도체상자는 유전체로 코팅된 경우이다. 10 dB 대역폭은 side-mounted PIFA, top mounted PIFA 그리고 모노폴 안테나에 대해 각각 8.2%, 9.3%, 21.7%로 나타났다.

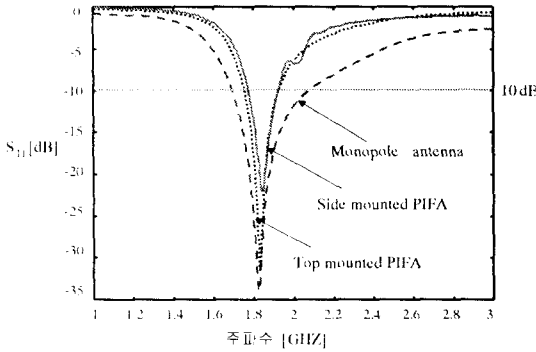


그림 9. Side mounted PIFA, Top mounted PIFA 그리고 모노폴 안테나의 공진 주파수
 Fig. 9. Resonance frequencies of side mounted PIFA, top mounted PIFA and monopole antenna.

IV. 방사 패턴 및 SAR의 계산

4-1 방사 패턴

지금까지 제안한 세 가지 안테나인 side mounted PIFA, top mounted PIFA 그리고 모노폴 안테나에 대한 방사 패턴을 그림 10, 11, 12에 나타내었다. 방사 패턴은 안테나를 기준으로 인체 방향과 인체 반대 방향으로의 대칭 정도를 비교하기 위한 것으로 각각의 방사 패턴에 대해 최대값을 1로 정규화 시켰다. 모노폴 안테나의 경우 XZ 평면과 XY 평면 모두에서 인체 방향과 인체 반대 방향으로 동일한 방사가 일어남을 알 수 있다. top-mounted PIFA의 경우 XZ 평면에서 모노폴과 매우 유사한 방사 패턴을 보였지만 XY 평면에 있어서는 인체방향으로의 방사가 가장 적게 일어났다. Side mounted PIFA는 XZ 평면과 XY 평면 모두에서 인체 방향과 인체 반

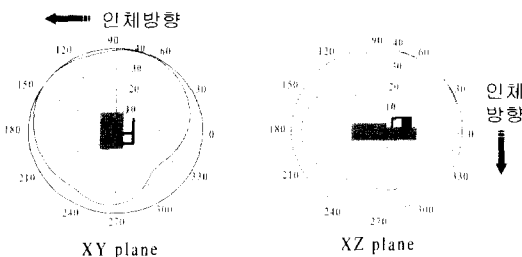


그림 10. Side mounted PIFA의 방사 패턴
 Fig. 10. Radiation pattern of side mounted PIFA.

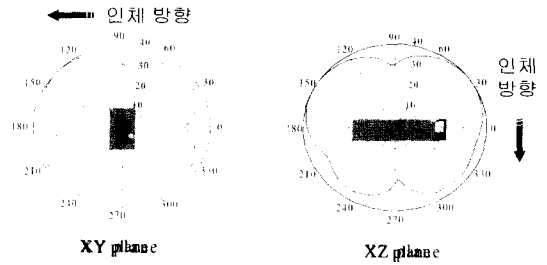


그림 11. Top mounted PIFA의 방사 패턴
 Fig. 11. Radiation pattern of top mounted PIFA.

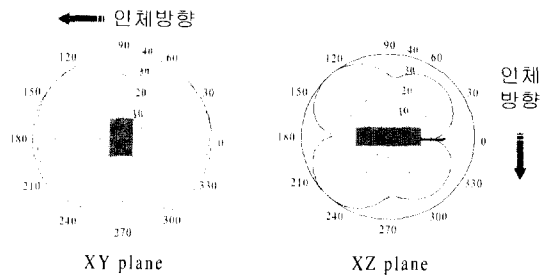


그림 12. Monopole antenna의 방사 패턴
 Fig. 12. Radiation pattern of monopole antenna.

대 방향으로의 방사가 적은 것으로 나타났다.

4-2 인체 두부의 모델링

SAR 분석을 위해 이용된 인체 두부 데이터는 성인 남성을 기준으로 한 것이며, MRI 와 CT 촬영을 통해 얻어진 영상 데이터를 gray scale로 처리한 것이다. 각 셀은 3 mm의 균일한 크기로 이산화되었고 표 1과 같이 7가지의 인체조직으로 분류되었다^[9].

4-3 SAR의 계산

전자파에 의해 인체에 흡수되는 전력의 시간평균에 대한 물리량인 SAR은 식 (7)로 정의된다^{[10],[11]}.

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} |E|^2 \quad [W/kg] \quad (7)$$

이 식에서 ρ 와 σ 는 각각 조직의 밀도와 도전율을 나타내고, E 는 전계밀도의 침투치이다. 본 논문에서는 1.83 GHz 주파수의 정현파를 인가하여 시간에 대한 흡수전력의 1g 및 10g 평균값으로 SAR을

표 1. 인체 두부의 조직에 따른 특성

Table 1. Characteristics of human head organization.

| | 밀도(ρ) | 도전율(σ) | 비유전율(ϵ_r) |
|-------|--------------|-----------------|----------------------|
| 지방, 뼈 | 1200 | 0.07 | 5.1 |
| 근육 | 1050 | 1.0 | 52.6 |
| 신경, 뇌 | 1050 | 0.75 | 44.0 |
| 눈 | 1000 | 1.90 | 70.0 |
| 혈액 | 1000 | 1.18 | 62.0 |
| 연골 | 1000 | 0.07 | 5.1 |
| 피부 | 1000 | 1.0 | 52.6 |

산출하였으며, 입사전력은 240 mW의 출력으로 정규화시키기 위해 급전점의 전압을 조절하였다. 세 가지 안테나에 대해 검출된 1g 및 10g SAR을 그림 13, 14, 15에 나타내었다. 인체 두부에서 SAR이 최고가 되는 지점을 살펴보기 위해 코의 높이가 최대가 되는 단면을 외곽선으로 처리하였다. 높은 SAR 분포는 주로 귀부분에서 나타났으며, 귀 표피에서 12 mm ~ 18 mm 정도 들어간 지점에서 최고치를 나타내었다.

PIFA의 1g 및 10g SAR은 각각 0.686, 0.353으로 모노폴의 1.759, 0.978에 비해 약 1/3인 것으로 나타났다. 그러나 Top mounted PIFA는 모노폴보다 높은 값인 1.668와 1.069로 나타났다.

V. 결 론

본 논문에서는 SAR을 저감시키기 위한 두 가지

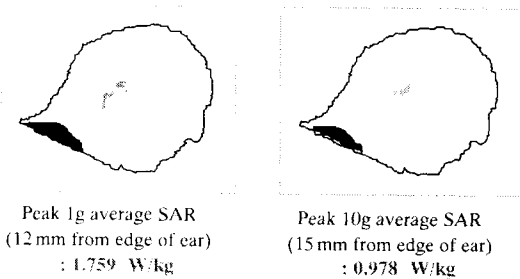


그림 13. Side mounted PIFA에 의한 SAR 분포
Fig. 13. Distribution of SAR caused by side mounted PIFA.

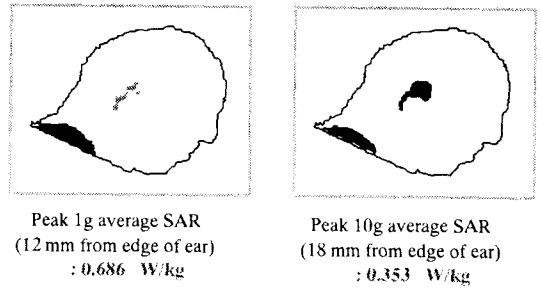


그림 14. Top mounted PIFA에 의한 SAR 분포
Fig. 14. Distribution of SAR caused by top mounted PIFA.

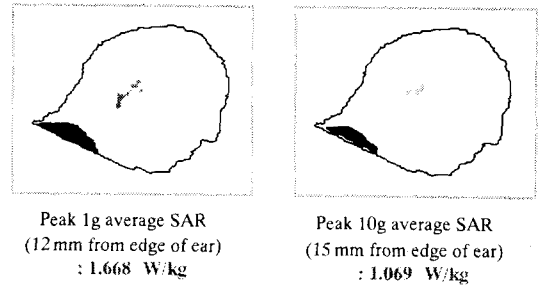


그림 15. Monopole Antenna에 의한 SAR 분포
Fig. 15. Distribution of SAR caused by monopole antenna.

PIFA 구조를 제안하였다. PCS 대역의 1.83 GHz를 중심 주파수로 설정하였고, PIFA의 공진 특성 및 SAR 비교 분석을 위하여 동일한 공진 주파수를 갖는 모노폴을 설정하여 시뮬레이션 하였다. 각각의 안테나를 부착할 전화기 구조는 속이 빈 도체상자로 모델링하였으며, 도체상자는 유전체로 코팅한 경우와 코팅하지 않은 경우 각각에 대해 시뮬레이션 하였다. 최종적으로 선택된 안테나 구조에 대해, Side mounted PIFA를 부착할 경우 대역폭은 1/2로 줄어들었지만, 인체 두부의 SAR이 1/3로 크게 줄어든다는 것을 알 수 있었다. PIFA의 부착 위치에 따른 특성 및 SAR을 알아보기 위해 제시된 top mounted PIFA는 Side mounted PIFA에 비해 대역폭이 1% 정도 증가하였지만, SAR에 있어 모노폴보다 높은 값을 보여, 안테나의 부착위치가 SAR에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있었다. 그러나 본 논문에서 설정한 top mounted PIFA는 안테나의 위치를 약간만 위로 올리더라도 인체와의 거리가 상당히 멀어지기

때문에 안테나의 높이 조정으로 SAR 값의 큰 감소를 가져올 수 있을 것으로 예상된다.

본 논문에서 산출한 SAR은 손의 영향을 고려하지 않았으며, 전화기가 귀에 부착되는 위치를 임의로 정하여 측정된 값이기 때문에, 보다 정확한 결과를 위해 전화기를 감싸고 있는 손의 모델링과 전화기의 정확한 위치, 그리고 인체 두부의 수직방향과 전화기가 이루는 각에 대한 표준이 마련되어야 한다.

참고 문헌

[1] G. F. Pedersen and J. B. Andersen, "Integrated antennas for hand-held telephones with low absorption", *Proceeding of the 1994 IEEE 4th Vehicular Technology Conference*, vol. 3, June, 1994.

[2] M. A. Jensen and Y. R. Samii, "EM interaction of handset antennas and a human in personal communications", *Proceeding of the IEEE*, vol. 83, no. 1, pp. 7-17, Jan., 1995.

[3] K. S. Kunz and R. J. Ruebbers, *The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics*, CRC Press, 1993.

[4] M. Angeli and E. Cardelli, "Numerical modeling of electromagnetic fields generated by

electrostatic discharges", *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 33, no. 2, pp. 2199-2202, March, 1997.

[5] A. Taflove, *Computational Electrodynamics*, Artech House, Boston · London, 1995.

[6] K. L. Virge and Y. R. Samii, "Low-profile enhanced-bandwidth PIFA antennas for wireless communications packaging", *IEEE Transactions on Microwave Theory & Techniques*, vol. 45, no. 10, pp. 1879-1888, Oct., 1997.

[7] C. Delaveaud, P. Leveque and B. Jecko, "Small-sized low-profile antenna to replace monopole antennas", *Electronics Letters*, vol. 34, no. 8, April, 1998.

[8] 조영기, "이동통신용 안테나의 동작원리 및 설계방법", *전자공학회지 제24권 제1호*, pp. 86-105, Jan., 1997.

[9] Human head and shoulders mesh with 3mm cells, REMCOM Inc.

[10] J. D. Park and N. Kim, "SAR analysis on human head caused by PCS handheld telephone", *BEMS 21th Annual Meeting*, pp. 166-167, June, 1999.

[11] IEEE SCC. 34, "Product performance standards relative to the safe use of electromagnetic energy", June, 1999.

김 현 경



1995년 3월 ~ 1999년 2월: 충북대학교 컴퓨터공학과(공학사)
 1999년 3월 ~ 현재: 충북대학교 정보통신공학과 대학원 석사과정
 [주 관심분야] 전자장 해석, 안테나 설계, SAR 계산 및 측정

박 주 덕



1990년 3월 ~ 1997년 2월: 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
 1997년 3월 ~ 1999년 2월: 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
 [주 관심분야] EMI/EMC, 전자장 해석, 안테나 설계, FDTD 프로그래밍

김 남



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

ford대학 방문교수

1989년 2월~현재: 충북대학교 정보통신공학과 교수

[주 관심분야] DS/CDMA, 전파전파, EMI/EMC, 전자파 해석

윤 재 훈



1980년: 중앙대학교(공학사)
1984년: 중앙대학교(공학석사)
1999년: 중앙대학교(공학박사)
1990년~현재: 한국전자통신연구원
선임연구원

[주 관심분야] 표준 전자파 발생
기술, 전자파 적합성 기술, PCB

복사 해석기 개발, 그리고 안테나 교정 기술 개발