

휴대폰 전파에 의한 인체두부의 SAR 분포특성에 관한 연구

김정환^o, 민용기, 김정근
광주대학교 전자공학과
광주광역시 남구 진월동 592-1번지, 503-703
e-mail : lovezero@elec.kwangju.ac.kr

A Study on Characteristics of SAR Distribution in the Human Head for Portable Phone

Kyung-Hwan Kim^o, Yong-Ki Min, Jeong-Geun Kim
Department of Electronic Engineering, Kwangju University
e-mail : lovezero@elec.kwangju.ac.kr

Abstract

This paper investigates the interaction of electromagnetic fields(EMF's) in the human head with respect to the radiated waves from 1.8[GHz] PCS terminal that the titled angles of a monopole antenna between the head and the horizontal axis of the terminal are 45, 60, 75 and 90 degrees respectively. And then, it is found the fact that the induced SAR distribution in the model of the head gradually decreases by increasing the titled angle.

I. 서 론

최근 이동통신 분야의 기술이 발전함에 따라 전화 서비스인 휴대폰의 사용은 급속히 증가하고 있다. 이로 인해 휴대폰 전파에 대한 인체두부의 위해(危害) 여부가 거론되어지고 있다. 이는 휴대폰의 출력이 600[mW]로 미약한 편이지만, 인체 두부에 밀착된 상태로 사용되어지기 때문이다. 최근 들어 1.8 [GHz] 주파수 대역인 PCS(Personal Communications Service)가 증가하는 추세이다. 그리고 단말기의 크기 또한 소형화되어지고 있다. 이에 대응하여 본 연구에서는 주파수 범위를 PCS 밴드로 한정하였고, 단말기 모델한 소형 상용모델의 크기로 하였으며, 사용

자가 이를 두부 오른쪽에 근접해서 손으로 쥐고있는 자세로 모델링하였다. 그리고 단말기의 위치는 변화시키지 않는 상태에서 안테나만을 전압원을 기준으로 오른쪽으로, 인체 두부로부터 멀어지게 각을 변화시켰다. 이때 안테나의 각도의 변화 정도에 따른 비흡수율(SAR)값을 고찰하였다.

II. 이 론

1. 시뮬레이션 방법

인체두부에 흡수되는 전계분포를 계산하기 위해 시간영역-유한차분 (finite-difference time-domain : FDTD) 수치해석방법[1]을 선택하였다. FDTD 방법은 계산하고자하는 전체 영역의 모델을 정육면체 Yee 셀로 근사화 한 후 맥스웰 방정식을 시간과 공간에 대한 근사식으로 해석하는 수치해석 기법이다. 이를 이용해 본 논문은 인체두부의 전계분포를 계산하여 단위 질량 조직이 단위 시간에 흡수하는 에너지의 양인 비흡수율(Specific Absorption Rate : SAR)의 분포를 구하였고, 전압원으로는 다음 식 (1)의 연속적인 정현파를 인가했다.

$$E_z(i, j, k) = -V_0 \sin(2\pi f \cdot \Delta t \cdot n) / \Delta z \quad (1)$$

여기서 V_0 는 전압원에 인가되는 신호의 크기이고, Δt 는 시간 스텝, n 은 반복 횟수를 각각 나타낸다. 이 정현적 신호의 세기는 1.8[GHz]에서 안테나 출력이 600[mW]가 되게 결정하였고 $R_s = 50\Omega$ 의 resistive voltage source[2]를 사용했다. 계산 영역을 한정시키기 위해 외부방사 경계조건으로 Mur's second order 흡수경계조건[3]을 적용했다. FDTD 계산을 위한 파라미터들을 다음과 같다. 정육면체 Yee 셀을 크기는 2.5[mm], 시간 스텝은 Taflove가 권장하는 수식으로부터 $\Delta t = \delta / (2c) = 4.2ps$ (c : 빛의 속도)이다. 안테나의 전원 인가부와 인체 두부사이에는 1 스텝의 간격을 두었고, 전체해석공간은 $100\Delta x \times 100\Delta y \times 100\Delta z$ 로 하였다.

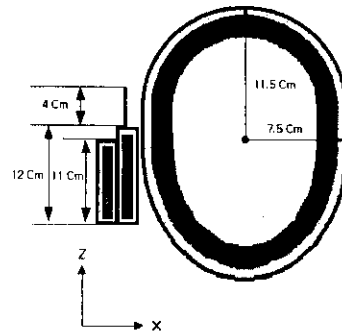
SAR은 전자파와 인체사이의 상호작용을 정량화하는 가장 효과적인 변수로 인식되어 왔다. SAR 분포를 계산하기 위한 식은 다음과 같다.

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

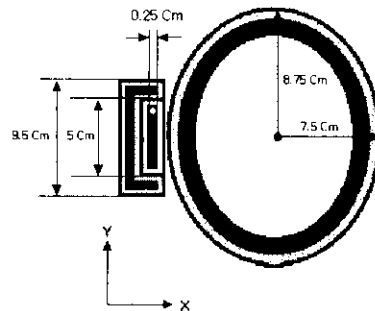
여기서 σ 는 S/m 단위의 조직도전율, ρ 는 kg/m^3 단위의 조직밀도, E_i 는 내부 field의 첨두치이다. 본 논문에서는 ANSI 지침에 따라 1g 국부 SAR을 계산하고 그 분포를 관찰하였다.

2. 시뮬레이션 모델

전체 FDTD 시뮬레이션 모델은 그림 1에 나타난다. 두부 모델은 인체 두부를 간략화 한 sphere 모양으로 피부, 뼈, 뇌의 3층 구조이며, PCS 주파수 대역인 1.8[GHz]에서 인체 각 부위의 전기적 특성인 유전율과 도전율을 고려한 2.5[mm] 크기의 셀로 구성된 근사적인 모델을 사용하였다. 각 층에 대한 매질성분은 표 1에 정리하였다.[4] 단말기 내부와 모노폴 안테나는 완전도체로 가정하고, 외부 케이스의 비유전율은 4로 하였다. 모노폴 안테나의 길이는 1.8[GHz]의 $\lambda/4$ 인 약 4[cm]로, 반경은 2.5[mm]로 하였고, 두부와 일정한 스텝의 간격을 두었다. 자유공간의 전도도는 $\sigma=0$ 으로 설정하였으며, 각 공간 축에 대한 FDTD 단위격자는 $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 2.5[mm]$ 크기로 분할하였다. 단말기는 인체 두부의 오른쪽에 위치시켰고 단말기는 손으로 쥘 형태의 피부와 뼈의 2층 구조로 간단히 모델링 하였다.



(a) 시뮬레이션 모델의 수직 단면도



(b) 시뮬레이션 모델의 수평 단면도

그림 1. FDTD 시뮬레이션 모델

표 1. 1.8[GHz]에서 인체 두부의 매질 성분

Tissue	Skin/Fat	Bone	Brain
ϵ_r	37.21	16.40	43.22
σ [S/m]	1.25	0.45	1.29

3. 제안된 구조

아래 그림 2에서와 같이 단말기 몸체는 고정시킨 상태에서 안테나만을 두부를 기준으로 수평면에서 오른쪽으로 90°, 75°, 60°, 45°만큼 변화시켰다. 이때에 인체두부 내에서 각각의 SAR의 분포를 계산하고 비교하였다

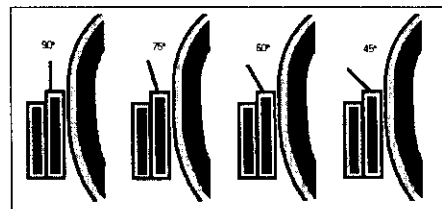
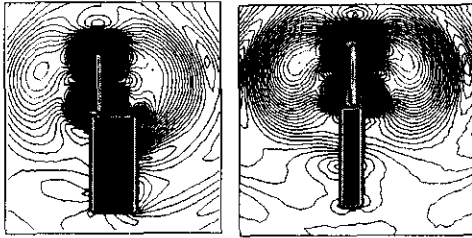


그림 2. 제안된 모델의 국부 모형

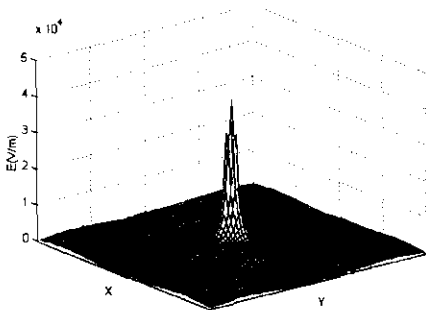
III. 결과 및 고찰

1. 단말기의 전계 분포

그림 3의 (a)와 (b)는 인체 모델을 제거한 단말기의 정면과 측면에서의 전계분포이다. 전계분포 위치는 전압원으로부터 두 스텝 떨어진 지점에서 각각 x축과 y축을 기준으로 절단하였다. 그림 3의 (c)는 안테나 종단에서의 전계분포를 나타냈다. 전압원에서 정현적으로 전계가 방사됨을 볼 수 있고, 이 안테나의 전압원에서 안테나 종단까지 도선상에서의 전계분포 또한 총 시간 스텝에 따라 정현적으로 변화한다.



(a) y-z 단면의 전계 분포 (b) x-z 단면의 전계 분포



(c) 안테나 종단에서의 전계 분포

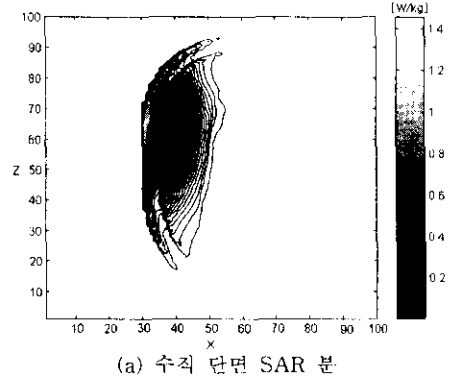
그림 3. 단말기의 전계분포도

2. 인체두부의 SAR 분포

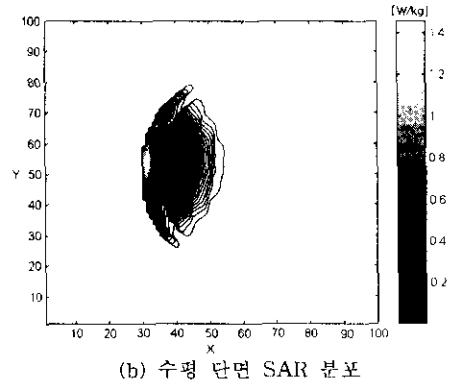
그림 4 (a)와 (b)는 그림 2의 90° 인 경우에서의 bar-type 단말기가 인체두부와 1 스텝의 간격만큼 떨어져 수직으로 근접해 있을 경우, 두부의 수직단면과 수평단면의 SAR 분포도이다. SAR 분포는 두부의 표피부분에 가장 크며, peak SAR 은 1.459 [W/kg]으로 기존의 연구결과[5]처럼 1-g

최대 SAR 값이 ANSI/IEEE 표준인 1.6[W/kg][6] 보다 작게 나타남을 확인하였다.

시뮬레이션의 안정된 응답을 얻기 위해 가장 늦게 입사파가 도달하는 인체 부위에서의 응답을 관측하여 비슷한 크기를 갖는 파가 약 3주기를 통과하면 계산을 끝나다록 하였다.



(a) 수직 단면 SAR 분



(b) 수평 단면 SAR 분포

그림 4. 인체 두부의 SAR 분포도

3. 안테나의 각도 변화에 따른 SAR 분포 비교

그림 2와 같은 네 가지 경우로 각도를 변화시킬 경우 시뮬레이션 결과인 그림 5의 SAR 분포 곡선처럼 인체두부 내의 SAR 분포가 변화됨을 알 수 있다. 기준구조인 수평면에 90°인 경우 인체두부의 1g 최대 SAR 값이 1.45[mW/g]로 가장 크게 나타났으며, 다음으로 75°, 60°, 45°순으로 SAR 값이 작아짐을 알 수 있다. 분포곡선에서 볼 수 있듯이 전압원에 근접한 인체두부의 피부 바로 안에서 SAR 분포가 가장 크게 나타났다. 그리고 인체두부 안쪽으로 들어갈수록 SAR 값이 작아졌다.

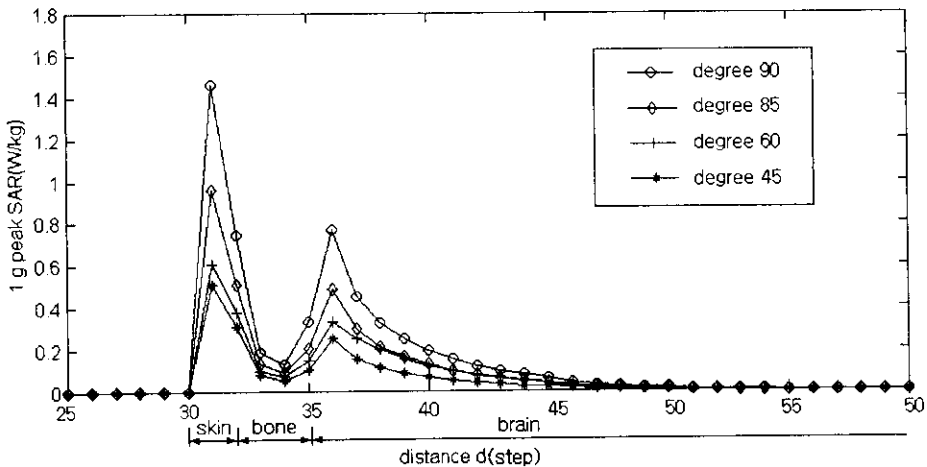


그림 5. 안테나의 각도 변화에 따른 SAR 분포곡선

IV. 결론

본 논문은 동작주파수가 1.8[GHz]대인 PCS 단말기에 근접한 인체두부의 SAR 분포를 FDTD 해석법을 이용하여 계산하였다. 계산 결과는 RF 출력이 600[mW]일 때 안테나의 각도가 수평면으로부터 90°, 75°, 60°, 45°로 인체 두부와 멀어지는 경우 1g 최대 SAR 값은 각각 1.45[mW/g], 0.95[mW/g], 0.60[mW/g], 0.51[mW/g]이었다. 이는 모두 ANSI/IEEE 규정인 1.6[mW/g]보다 낮은 수치이다. 그리고 네 가지 모든 경우에 전압원과 접해있는 두부표피 바로 아래 부분의 SAR 값이 가장 컸으며, SAR 분포가 단말기로부터 두부안쪽으로 갈수록 급격히 감소함을 알 수 있었다. 본 연구 결과로 비추어 볼 때, 단말기에서 안테나의 각도를 시각적으로 안정적인 범위인 수직으로부터 15° ~ 45°에서 변화시킨다면 간단한 구조변경으로 전자파에 대한 인체 두부의 영향을 최소화시킬 수 있을 것이다.

V. 참고 문헌

[1] K. S. Yee, 'Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations on Isotropic Media,' *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 14, pp. 302-307, May 1966

[2] R. J. Luebbers and H. S. Langdon, "A

Simple Feed Model that Reduces Time Steps Needed for FDTD Antenna and Microstrip Calculations," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 44, no. 7, pp.1000-1005, July 1996.

[3] Gerrit Mur, "Adsorbing Boundary Conditions for the Finite-Difference Approximation of the Time-domain Electromagnetic Compatibility, vol.23, no. 4, pp. 377-382, Nov. 1982

[4] M. A. Jensen and Y. Rahmat-Samii, Performance analysis of antennas for handheld transceiver using FDTD," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 42, no. 8, pp. 1106-1113 Aug. 1994

[5] M. Okoniewski and M. A Stuchly, "A Study of the Handset Antenna and Human Body Interaction," (*IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. 44, no. 10, pp1855-1864, Oct. 1996.

[6] J. Toftgard, S. N. Hornsleth and J. B. Andersen, "Effects on Portable Antennas of the Presence of a Person," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 41 no. 6, pp. 739-746, Jun. 1993