論文98-35D-7-1

인체의 머리와 손이 개인휴대 단말기의 복사특성에 미치는 영향 해석

(Analysis of the effects of human head and hand on the radiation characteristics of hand-held transceiver)

尹 鍾 喆 *, 崔 在 薰 *

(Jong-Cheol Yun and Jae Hoon Choi)

요 약

본 논문에서는 FDTD 방법을 사용하여 바타입 단말기의 복사특성을 해석하고 해석 결과를 측정값과 비교하여 해석 방법의 유효성을 검증하였다. 또한 인체의 머리와 손이 폴드타입 단말기의 복사특성에 미치는 영향을 해석하였다. 인체의 머리와 손이 입력 임피던스와 원거리 복사패턴에 미치는 영향을 알아보기 위해 $\lambda/4$ 모노폴 안테나가 부착된 폴드타입 단말기가 손에 감싸여서 머리 근처에서 동작하고 있는 상태를 모델링하고 해석하였다.

Abstract

In this paper, the radiation characteristics of a bar-type transceiver are analyzed by using FDTD method and the effectiveness of the analysis method is verified by comparing the calculated data with experimental data. The effects of human head and hand on the radiation characteristics of fold-type transceiver are analyzed. In order to observe the effects of human head and hand on the input impedance and far-field radiation pattern, a fold-type transceiver with $\lambda/4$ monopole antenna wrapped by human hand operating in the proximity of head is modeled and analyzed.

I. 서 론

최근 셀룰러와 PCS(Personal Communication System) 등의 이동통신 서비스 보급으로 개인휴대 단말기의 사용이 증가되고 있다. 이에 따라 좋은 통화 품질을 보장하기 위해 스마트 안테나와 같은 효율적인 안테나 시스템 개발에 관심이 집중되고 있으며 동시에 안테나의 종류에 따른 개인휴대 단말기의 복사특성을 해석하고 최적 설계 및 구현 방법 등에 관한 연구도 활발하게 진행되고 있다.

지금까지 진행되온 연구 동향을 보면 인체와의 상호작용은 고려하지 않은 안테나 자체의 성능에 대한 해석이 대부분이었다. 그러나 개인휴대 단말기는 인체의 머리와 손에서 가까운 거리에서 동작되기 때문에 이를 설계할 때에는 인체의 머리와 손이 안테나의 입력 임피던스, 복사패턴, 복사 효율, 안테나 이득 등에 미치는 영향을 고려해야 할 것이다. 특히 사용 주파수가 점점 높아짐에 따라 인체의 머리, 손 등은 안테나 복사특성에 더 많은 영향을 주게 되었다.

이미 국외에서는 다양한 종류의 안테나[1]-[4] 및 개인휴대 단말기에 대한 해석[5]-[7]뿐 아니라, 인체의 머리와 손의 영향을 고려한 단말기 안테나의 특성 해석[8]-[10] 에 관한 연구가 이루어지고 있다. 또한 최근에는 단말기로부터 발생되는 전자파가 인체에 미치는 영향에 대한 해석[11][12] 도 많이 이루어지고

* 正會員, 漢陽大學校 電波工學科

(Department of Radio Science and Engineering, Hanyang Univisity)

※ 본 논문은 '1998년도 정보통신부 정보통신 우수대학원 지원 프로그램'에 의해 일부 수행되었습니다.

接受日字:1997年11月5日, 수정완료일:1998年6月15日

있는 실정이다.

그러나 이들 해석은 주로 바타입(bar-type)이나 플립타입[13]의 단말기에 대한 특성 해석이고 폴드 타입(fold-type)의 단말기에 대한 특성 해석은 거의 이루어지지 않았다. 따라서, 본 논문에서는 넓은 주파수 대역의 특성을 요구하고 복잡한 형태을 갖는 구조체의 안테나 응용분야에서 매우 효율적으로 적용되고 있는 수치해석 방법인 FDTD(Finite Difference Time Domain) 방법을 사용하여 바타입 단말기의 복사패턴의 측정값과 수치해석 결과를 비교함으로써 해석 방법의 유효성을 검증하였다. 또 $\lambda/4$ 모노폴 안테나를 부착한 폴드타입 단말기의 입력 임피던스, 복사패턴과 같은 복사특성을 해석하고 인체의 머리와 손이 폴드타입 단말기의 복사특성에 미치는 영향을 해석하였다.

Ⅱ. 이론적 해석

FDTD 방법은 Yee[14]의 셀 구조에 기초한 시간영역 맥스웰 유한차분식을 이용하는 수치해석법이다. 시간영역의 맥스웰 벡터 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon}\nabla\times\vec{H} - \frac{\sigma}{\varepsilon}\vec{E} \tag{1}$$

$$\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu}\nabla\times\vec{E} - \frac{\sigma^*}{\mu}\vec{H} \tag{2}$$

여기서, $\vec{E}$, $\vec{H}$는 전계와 자계이고 $\varepsilon, \mu, \sigma, \sigma^*$는 각각 유전율, 투자율, 전계 및 자계의 도전율을 나타낸다. 식(1)과 (2)를 직각 좌표계의 스칼라 방정식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
\frac{\partial H_x}{\partial t} &= \frac{1}{\mu}\left(\frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} - \sigma^* H_x\right)\\
\frac{\partial H_y}{\partial t} &= \frac{1}{\mu}\left(\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} - \sigma^* H_y\right)\\
\frac{\partial H_z}{\partial t} &= \frac{1}{\mu}\left(\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} - \sigma^* H_z\right)\\
\frac{\partial E_x}{\partial t} &= \frac{1}{\varepsilon}\left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} - \sigma E_x\right)\\
\frac{\partial E_y}{\partial t} &= \frac{1}{\varepsilon}\left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} - \sigma E_y\right)\\
\frac{\partial E_z}{\partial t} &= \frac{1}{\varepsilon}\left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} - \sigma E_z\right)
\end{aligned} \tag{3}$$

계산 영역의 각 지점을 식(4)와 같이 표기하면,

$$(i,j,k) = (i\triangle x, j\triangle y, k\triangle z) \tag{4}$$

이산 시간 $n\triangle t$일때 공간에 대한 임의의 함수 u는 다음과 같이 표기할 수 있다.

$$u^n_{i,j,k} = u(i\triangle x, j\triangle y, k\triangle z, n\triangle t) \tag{5}$$

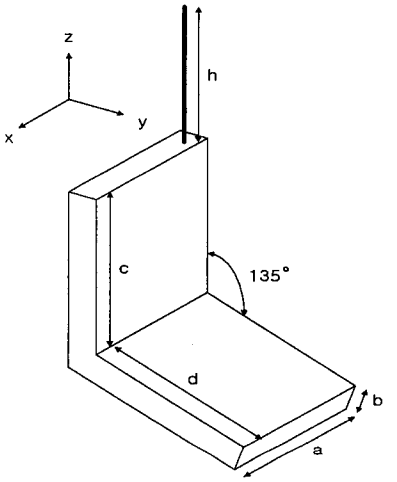
여기서 $\triangle x$, $\triangle y$, $\triangle z$는 각각 Yee의 셀에서 x, y, z 방향의 셀 간격, $\triangle t$는 시간 간격이고 n은 $n\triangle t$의 시간 스탭을 나타낸다.

손실이 없는 매질인 경우, 식(4)와 식(5)를 바탕으로 식(3)을 유한차분식으로 전개하면 다음과 같다.

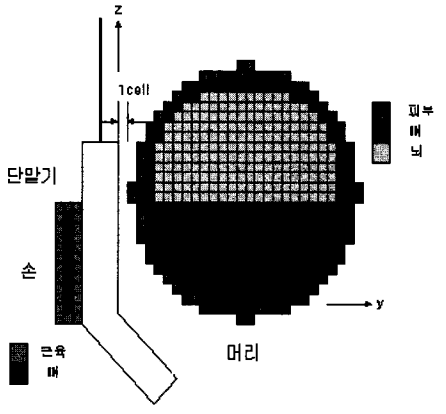
$$\begin{aligned}
H_x^{n+1/2}(i,j+\tfrac{1}{2},k+\tfrac{1}{2}) &= H_x^{n-1/2}(i,j+\tfrac{1}{2},k+\tfrac{1}{2})\\
&+\frac{\triangle t}{\mu\triangle z}[E_y^n(i,j+\tfrac{1}{2},k+1) - E_y^n(i,j+\tfrac{1}{2},k)]\\
&-\frac{\triangle t}{\mu\triangle y}[E_z^n(i,j+1,k+\tfrac{1}{2}) - E_z^n(i,j,k+\tfrac{1}{2})]\\
H_y^{n+1/2}(i+\tfrac{1}{2},j,k+\tfrac{1}{2}) &= H_y^{n-1/2}(i+\tfrac{1}{2},j,k+\tfrac{1}{2})\\
&+\frac{\triangle t}{\mu\triangle x}[E_z^n(i+1,j,k+\tfrac{1}{2}) - E_z^n(i,j,k+\tfrac{1}{2})]\\
&-\frac{\triangle t}{\mu\triangle z}[E_x^n(i+\tfrac{1}{2},j,k+1) - E_x^n(i+\tfrac{1}{2},j,k)]\\
H_z^{n+1/2}(i+\tfrac{1}{2},j+\tfrac{1}{2},k) &= H_z^{n-1/2}(i+\tfrac{1}{2},j+\tfrac{1}{2},k)\\
&+\frac{\triangle t}{\mu\triangle y}[E_x^n(i+\tfrac{1}{2},j+1,k) - E_x^n(i+\tfrac{1}{2},j,k)]\\
&-\frac{\triangle t}{\mu\triangle x}[E_y^n(i+1,j+\tfrac{1}{2},k) - E_y^n(i,j+\tfrac{1}{2},k)]
\end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
E_x^{n+1}(i+\tfrac{1}{2},j,k) &= E_x^n(i+\tfrac{1}{2},j,k) + \frac{\triangle t}{\varepsilon\triangle y}\\
&[H_z^{n+1/2}(i+\tfrac{1}{2},j+\tfrac{1}{2},k)\\
&- H_z^{n+1/2}(i+\tfrac{1}{2},j-\tfrac{1}{2},k)]\\
&- \frac{\triangle t}{\varepsilon\triangle z}[H_y^{n+1/2}(i+\tfrac{1}{2},j,k+\tfrac{1}{2})\\
&- H_y^{n+1/2}(i+\tfrac{1}{2},j,k-\tfrac{1}{2})]\\
E_y^{n+1}(i,j+\tfrac{1}{2},k) &= E_y^n(i,j+\tfrac{1}{2},k) + \frac{\triangle t}{\varepsilon\triangle z}\\
&[H_x^{n+1/2}(i,j+\tfrac{1}{2},k+\tfrac{1}{2})\\
&- H_x^{n+1/2}(i,j+\tfrac{1}{2},k-\tfrac{1}{2})]\\
&- \frac{\triangle t}{\varepsilon\triangle x}[H_z^{n+1/2}(i+\tfrac{1}{2},j+\tfrac{1}{2},k)\\
&- H_z^{n+1/2}(i-\tfrac{1}{2},j+\tfrac{1}{2},k)]
\end{aligned}$$

$$E_z^{n+1}(i,j,k+\frac{1}{2}) = E_z^n(i,j,k+\frac{1}{2}) + \frac{\triangle t}{\varepsilon \triangle x}$$
$$[H_y^{n+1/2}(i+\frac{1}{2},j,k+\frac{1}{2})$$
$$- H_y^{n+1/2}(i-\frac{1}{2},j,k+\frac{1}{2})]$$
$$- \frac{\triangle t}{\varepsilon \triangle y}[H_x^{n+1/2}(i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2})$$
$$- H_x^{n+1/2}(i,j-\frac{1}{2},k+\frac{1}{2})]$$



(a)



(b)

그림 1. (a) 폴드타입 단말기 모델 (b) yz 평면의 폴드타입 단말기와 인체의 머리와 손 모델

Fig. 1. (a) Model of fold-type transceiver (b) Model of fold-type transceiver and human head and hand.

안테나의 복사패턴 해석에 FDTD 방법을 적용하기 위해서는 무한공간에서 해석을 필요로 하기 때문에 계산영역을 유한한 범위로 한정시키기 위하여 유한 경계면에서 휠드가 반사되거나 산란되지 않고 무한 공간으로 전파되는 경계조건을 필요로 한다. 본 논문에서는 흡수 경계조건으로 경계면에서 반사파를 최소로 하는 PML(Perfectly Matched Layer)[15][16]방법을 적용하였다.

바타입 단말기 모델은 완전도체 상자 위에 모노폴 안테나가 부착된 모습이며, 그림 1(a)의 폴드타입 단말기 모델은 135° 를 이루고 있는 두개의 완전도체 상자로 모델링 되었으며, 윗쪽 도체 상자의 오른쪽 끝 모서리로부터 한 셀만큼 떨어진 위치에 모노폴 안테나가 부착되어 있다. 각 모델 단말기의 크기, FDTD 모델을 위한 퍼래미터 그리고 시뮬레이션 시간은 표 1과 표 2에 나타나 있다.

표 1. 단말기 모델의 크기

Table 1. Dimensions of transceiver models.

구 분(단위:mm)	a	b	c	d	h
바타입 단말기	45	1.5	100	-	40.5
플립타입 단말기	60	25	102	90	$\lambda/4$

* 914MHz에서 $\lambda/4$는 약 82mm, 1890MH에서 $\lambda/4$는 약 40mm 정도임.

바타입 단말기는 완전도체 상자 표면의 전계성분을 0이 되게 하고 모노폴 안테나는 축방향 성분인 E_z를 축을 따라 0이 되게 함으로써 모델링 할 수 있다. 폴드타입 단말기의 아래쪽 반은 yz 평면에서 셀과 45° 의 각도를 이루는 완전도체로 모델링 되어있다. 따라서, 단말기 경사면과 수평한 전계가 Yee의 셀에는 존재하지 않아 정확하게 완전도체 모델링을 할 수 없고 경사면을 계단형태로 모델링을 해야한다. 이 문제점을 보완하기 위하여 패러데이 법칙을 YEE 셀과 경사면을 이루는 완전도체 모델에 적용하여 도체 내부의 전계는 0으로 두고 경계면에서의 자계 성분에 대한 유한차분식을 유도하는 서브셀 모델[17][18]을 사용한다.

그림 1(b)는 머리와 손이 복사 패턴에 미치는 영향을 분석하기 위한 FDTD 모델을 도시한 것이다. 머리는 반지름이 90 mm인 구형의 구조로 표 3의 유전율과 도전율의 전기적 특성을 가진 피부-뼈-뇌의 층으로 구성되어 있고, 손은 두께가 20 mm이고 폭이 85 mm이며 근육이 뼈를 둘러싸고 있는 구조로 단말기를 감싸고 있는 형태로 모델링한다. 이때 손과 머리 부분은 그림에서 본 바와 같이 육면체의 셀로 근사시켰고 머리와 안테나 사이의 간격은 한 셀이다(그림

1(b)에 있는 머리와 손의 모델링에 서 의 숫자는 실제 사용된 cell의 숫자임).

표 2. FDTD모델을 위한 파래미터
Table 2. Parameters used for the FDTD model.

구 분		단위셀의 크기 $\triangle x=\triangle y=\triangle z$(m)	$\triangle t$(ps)	계산 영역의 셀 숫자	시뮬레이션 시간
바타입 단말기		7	11.7	34×28×48	18분 30초
폴드타입 단말기	914(MHz)	7	11.7	54×60×66	83분 31초
	1890(MHz)	7	11.7	54×60×66	84분 7초

표 3. 머리와 손 조직의 전기적 특성
Table 3. Tissue properties used for the head and hand model.

인체 조직	914 MHz		1890 MHz	
	ε_r	σ(S/m)	ε_r	σ(S/m)
근육	58.5	1.21	49.41	1.64
피부	34.5	0.6	37.21	1.25
뼈	17.0	0.25	16.40	0.45
뇌	55.0	1.23	43.22	1.29

단말안테나의 주파수에 따른 복사 특성을 알아보기 위해 완전도체 상자와 모노폴 안테나의 접합부분에 다음과 같은 가우시안 펄스 전압소스가 인가된다.

$$V_s(t) = V_0 e^{-(t-\tau)^2/2\sigma^2} \tag{7}$$

V_0는 가우시안 펄스의 크기, τ는 가우시안 펄스의 시간 지연, σ는 가우시안 펄스 폭이다.

모노폴 안테나 기저부에 흐르는 전류는 기저부의 전계 $E_z(i,j,k)$를 둘러싼 자계를 이산 선적분하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} I_s(t) = &[H_x^{n+1/2}(i,j-1,k) - H_x^{n+1/2}(i,j,k)]\triangle x \\ &+ [H_y^{n+1/2}(i,j,k) - H_y^{n+1/2}(i-1,j,k)]\triangle y \end{aligned} \tag{8}$$

과도현상이 사라진 후에 $V_s(t)$와 $I_s(t)$를 이산 퓨리에 변환하면 주파수 응답 $V_s(\omega)$와 $I_s(\omega)$를 구할 수 있다. 그리고, 입력 임피던스와 입력 전력은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Z(\omega) = \frac{V_s(\omega)}{I_s(\omega)} \tag{9}$$

$$P_{in}(\omega) = Re[V_s(\omega) I_s^*(\omega)] \tag{10}$$

입력 임피던스는 모노폴 안테나의 반지름의 크기에 민감하므로 셀 크기에 비해 훨씬 작은 전선 형태의 구조물에 대해 서브셀 모델[17] [18]을 사용하여 전압소스가 인가되는 부분을 제외한 전선 둘레의 자계성분을 계산한다.

원거리 복사패턴를 구하기 위해서는 산란체 즉, 단말기를 둘러싼 가상면의 접선 방향의 전계와 자계를 이산 퓨리에 변환을 하여 표면 등가 원리로부터 등가 전류 $\vec{J_S}$와 등가자류 $\vec{M_S}$를 구한 후 자유공간의 Green함수를 사용하여 근거리 휠드를 원거리 휠드로 변환하게 된다.

θ, ϕ 방향에서의 손실이 없는 등방성 안테나에 대한 상대 이득 $G(\theta,\phi)$를 정의하면

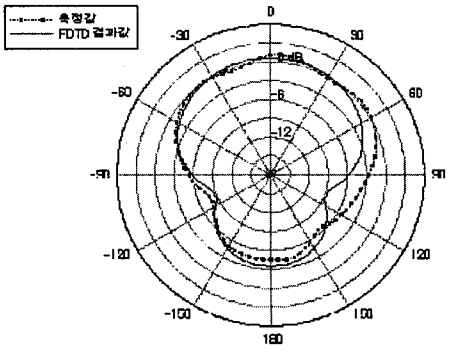
$$G(\theta,\phi) = 4\pi \frac{U(\theta,\phi)}{P_{in}} \tag{11}$$

여기서, $U(\theta,\phi)$는 θ와 ϕ방향의 원거리 휠드의 복사세기이며 다음과 같다.

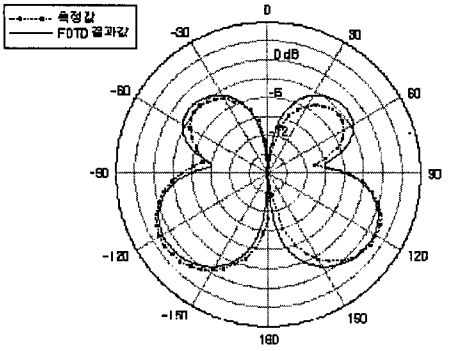
$$U(\theta,\phi) = \frac{r^2}{2\eta_0} |\vec{E}(r,\theta,\phi)|^2 \tag{12}$$

Ⅲ. 수치해석 결과

그림 2에서는 1805 MHz에서 동작하는 바타입 단말기 상에 부착된 $\lambda/4$ 모노폴 안테나의 복사패턴 해석 결과를 L회사에서 실제 제작하여 측정한 결과와 비교함으로써 본 논문에서 사용한 FDTD 앨고리즘의 유효성을 검증하였다. 셀 크기 및 계산 영역 그리고 시간 스탭은 표 2에 기술되어 있으며 16개의 PML 층을 설정하여 계산 영역 가장 자리에서의 반사를 최소화시켰다.



(a)



(b)

그림 2. 1805 MHz에서 바타입 단말기의 복사패턴 (a) xy 평면 (b) yz 평면

Fig. 2. Radiation patterns of bar-type transceiver at 1805 MHz. (a) xy plane (b) yz plane

그림 2에 도시된 바타입 단말기를 살펴보면, 단말기 윗면에 부착되어 있는 안테나는 윗면 중앙을 기준으로 y축에 대해서는 기준점에 위치해 있지만 x축에 대해서는 -방향으로 치우쳐져 부착되어 있다. 이 이유로 xy평면에서는 0° 를 기준으로 좌우 대칭을 이루고 있지만 90° 를 기준하여 보았을 때는 좌우 대칭을 이루지 않고 있음을 볼 수 있다. 또한 yz 평면에서는 안테나 복사 패턴이 단말기 윗면을 기준으로 약간 아래쪽으로 치우쳐져 있는데 이는 단말기 몸체에 유기되는 전류에 의한 영향이다. 이러한 특성은 사용자가 실제 통신을 할 때 단말기가 귀와 입을 연결한 축을 기준으로 기울어지기 때문에 사용시의 최대 복사 방향은 거의 수평 방향과 일치되게 한다. 두 평면에서의 FDTD를 이용하여 계산된 복사패턴은 측정치와 거의 일치함을 확인할 수 있다.

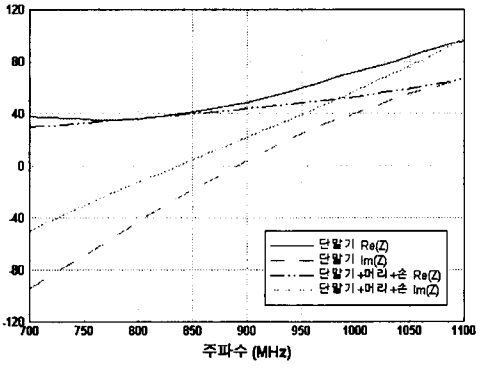
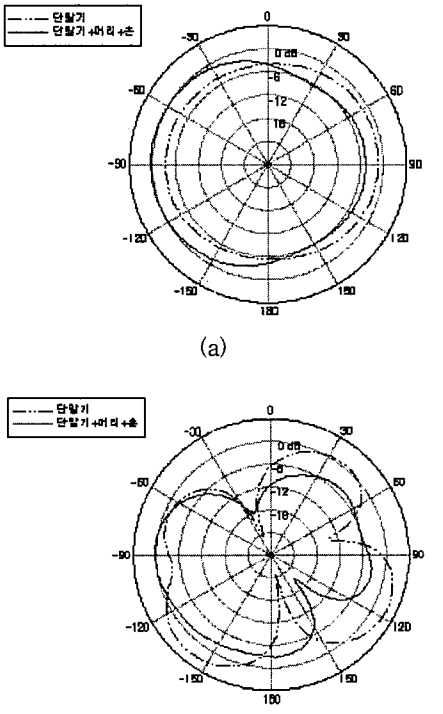


그림 3. 셀룰러 주파수 대역에서의 폴드타입 단말기의 입력 임피던스의 계산값

Fig. 3. Computed input impedance of fold-type transceiver at cellular frequency bands.

그림 3~6은 셀룰러 주파수대와 PCS 주파수대에서 머리와 손의 영향을 고려하지 않은 경우와 고려한 경우의 폴드타입 단말기의 입력 임피던스와 복사패턴을 FDTD로 계산하여 비교한 것이다.



(a)

(b)

그림 4. 914 MHz에서 FDTD를 이용해 계산한 폴드타입 단말기의 복사패턴 (a) xy 평면 (b) yz 평면

Fig. 4. Computed radiation patterns of fold-type transceiver at 914 MHz using FDTD. (a) xy plane (b) yz plane

그림 3과 그림 4는 머리와 손의 영향을 고려하지 않은 경우와 고려한 경우 셀룰러 주파수대의 폴드 타입 단말기의 입력 임피던스와 복사 패턴을 비교한 것이다. 그림 3에서 보면 인체의 손과 머리가 고려되지 않은 경우의 안테나의 공진주파수는 891 MHz인데 반해 인체가 고려된 경우에는 836 MHz로 공진 주파수가 약 6%정도 낮아짐을 알 수 있다. 그림 4는 914 MHz에서 동작하는 폴드 타입 단말기의 복사 패턴 해석 결과를 나타내고 있는데, xy평면에서는 인체를 고려하지 않은 경우에 비해 인체의 머리의 영향으로 인해 머리 방향인 +90° 에서의 복사전력은 약 3dB정도 낮아진 반면, 그 반대 방향(-90°)으로는 약 4dB정도 높아진 것을 볼 수 있다. 또한 yz 평면에서도 최대 복

사 방향과 null의 위치에 변화가 생김을 알 수 있으며, 특히 135° 위치에서의 이득이 크게 낮아졌다.

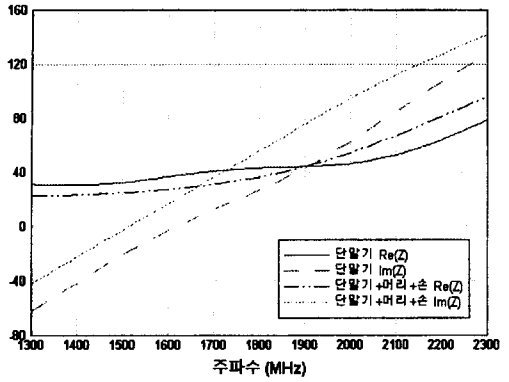
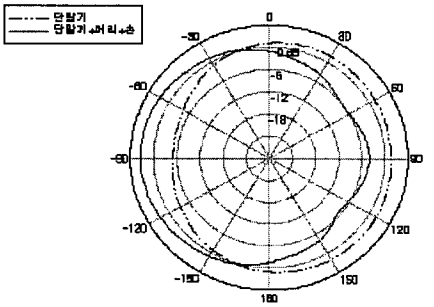
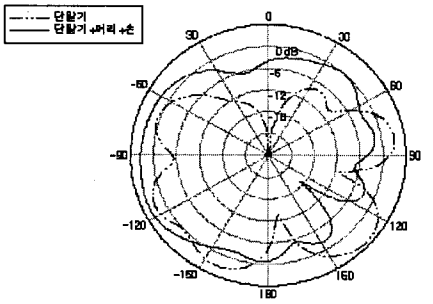


그림 5. PCS주파수 대역에서의 폴드타입 단말기의 입력 임피던스의 계산값

Fig. 5. Computed input impedance of a fold-type transceiver at PCS frequency bands.



(a)



(b)

그림 6. 1890 MHz에서 FDTD로 계산한 폴드타입 단말기의 복사패턴 (a) xy 평면 (b) yz 평면

Fig. 6. Computed radiation patterns of fold-type transceiver at 1890 MHzby FDTD. (a) xy plane (b) yz plane

그림 5는 머리와 손의 영향을 고려한 경우와 그렇지 않은 경우 PCS주파수 대역의 폴드 타입 단말기의 입력 임피던스와 복사 패턴을 비교한 것이다. 그림 5에서 보면 인체의 손과 머리가 고려되지 않은 경우의 안테나에서의 공진 주파수는 1617 MHz인데 반해 인체가 고려된 경우에는 1513 MHz로 공진주파수가 약 6.4%정도 낮아짐을 확인할 수 있다. 그림 6은 1890MHz에서 동작하는 폴드타입 단말기의 복사패턴 해석 결과를 나타내고 있는데 xy 평면에서는 인체의 머리 영향으로 인해 인체의 머리 방향인 90° 에서의 복사전력은 약 6dB정도 이득이 감소한 반면, 그 반대 방향으로는 약 9dB정도 높아진 것을 볼 수 있다. 또한 yz 평면에서도 최대 복사 방향과 null의 위치에도 변화가 생김을 알 수 있으며, 130° 위치에서 이득이 크게 낮아졌다.

Ⅳ. 결 론

인체의 머리와 손이 폴드타입 개인휴대 단말기의 복사특성에 미치는 영향을 FDTD 방법을 사용하여 해석하였다. 본 논문에서 사용한 FDTD 해석법의 유효성을 확인하기 위해 먼저 바타입 단말기의 특성을 FDTD로 해석하고 그 결과를 측정 결과와 비교하였다. 인체의 머리와 손에 의한 폴드 타입 단말 안테나의 복사 특성의 영향을 알아보기 위해 셀룰러 주파수 대역과 PCS주파수 대역에서의 단말 안테나 특성을 FDTD로 해석하였다. 해석 결과로부터 두 주파수 대역 모두 해석 공진 주파수는 인체를 고려하지 않은 경우에 비해 약 6% 정도 낮아졌으며, xy 평면에서 머리 방향의 복사전력이 약 3~6 dB 정도 낮아졌고, yz 평면에서 복사패턴의 변화는 심하게 나타났다. 또 주파수가 높을수록 머리와 손이 단말기의 복사특성에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.

본 논문의 결과는 여러 가지 크기와 형태의 개인휴대 단말기의 성능 분석에 많은 도움을 줄 것이며 인체의 머리와 손의 영향을 고려하여 단말기 안테나의 특성을 보다 정밀하게 보정함으로써 통화품질을 향상시키는 효과를 기대할 수 있다. 그리고, 본 논문의 결과를 응용하여 안테나 복사패턴에 미치는 인체의 영향을 최소화시킬 수 있는 연구와 개인휴대 단말기 안테나로부터 발생되는 전자파가 인체의 건강에 미치는 영향에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] J. G. Maloney, G. S. Smith and W. R.

Scott, "Accurate Computation of the Radiation from Simple Antennas Using the Finite-Difference Time-Domain Method," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 38, pp. 1059-1068, July 1990.

[2] D. S. Katz, M. J. Piket-May, A. Taflove and K. R. Umashankar, "FDTD Analysis of Electromagnetic Wave Radiation from Systems Containing Horn Antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 39, pp. 1203-1212, Aug. 1991.

[3] P. A. Tirkas and C. A. Balanis, "Finite-Difference Time-Domain Method for Antenna Radiation," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 40, pp. 334-340, Mar. 1992.

[4] R. J. Luebbers and J. Beggs, "FDTD Calculation of Wide-Band Antenna Gain and Efficiency," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 40, pp. 1403-1407, Nov. 1992.

[5] A. W. C. Chu, S. A. Long and D. R. Wilton, "The Radiation Pattern of a Monopole Antenna Attached to a Conducting Box," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 38, pp. 1907-1912, Dec. 1990.

[6] R. Luebbers, L. Chen, T. Uno and S. Adachi, "FDTD Calculation of Radiation Patterns, Impedance, and Gain for Monopole Antenna on a Conducting Box," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 40, pp. 1577-1583, Dec. 1992.

[7] M. A. Jensen and Y. Rahmat-Samii, "Performance Analysis of Antennas for Hand-Held Transceivers Using FDTD," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 42, pp. 1106-1112, Aug. 1994.

[8] 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, pp. 739-746, June 1993.

[9] M. A. Jensen and Y. Rahmat-Samii, "EM Interaction of Handset Antennas and a Human in Personal Communications," *Proc. IEEE*, vol. 83, Jan. 1995.

[10] M. Okoniewski and M. A. Stuchly, "A Study of the Handset Antenna and Human Body Interaction," *IEEE Microwave Theory Tech.*, vol. 44, Oct. 1996.

[11] P. Bernardi, M. Cavagnaro and S. Pisa, "Evaluation of the SAR Distribution in the Human Head for Cellular Phones Used in a Partially Closed Environment," *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, vol. 38, Aug. 1996.

[12] G. Lazzi and O. P. Gandhi, "Realistically Tilted and Truncated Anatomically Based Models of the Human Head for Dosimetry of Mobile Telephones," *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, vol. 39, Feb. 1997.

[13] B. M. Green and M. A. Jensen, "Diversity Performance of Personal Communications Handset Antenna Near Operator Tissue," *Proceedings of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 1182-1185, July 1997.

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

[15] J. P. Berenger, "A Perfectly Matched Layer for the Absorption of Electromagnetic Waves," *J. Computational Physics*, vol. 114, pp. 185-200, Oct. 1994

[16] D. S. Katz, E. T. Thiele and A. Taflove, "Validation and Extension to Three Dimensions of the Berenger PML Absorbing Boundary Condition for FD-TD Meshes," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 4, pp. 268-270, Aug. 1994.

[17] A. Taflove, K. R. Umashankar and B. Beker, "Calculation and Experimental Validation of Induced Currents on Coupled Wires in an Arbitrary Shaped Cavity," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 35, pp. 1248-1257, Nov. 1987.

[18] A. Taflove, K. R. Umashankar, B. Beker, F. Harfoush and K. S. Yee, "Detailed FD-TD Analysis of Electromagnetic

Fields Penetrating Narrow Slots and Lapped Joints in Thick Conducting Screens," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 36, pp. 247-257, Feb. 1988.

저 자 소 개

尹 鍾 喆(正會員) 1996년 한양대학교 전파공학과(공학사). 1996년 ~ 1998년 2월 한양대학교 전자통신공학과(공학석사). 1998년 3월 ~ 현재 SK Telecom. 주관심분야는 안테나 설계 및 분석, 전파전파 모델링

崔 在 薰(正會員) 第 35卷 D編 第 4號 參照
현재 한양대학교 전자전기공학부 조교수