

論文2000-37TC-11-5

이동통신단말기에 노출된 인체 두부에 따른 전자파 비흡수율 비교

(Comparison of SARs of Human Heads Exposed to Mobile Phone)

李愛卿*, 崔馨道*, 崔在益*

(Ae-kyoung Lee, Hyung-do Choi, and Jae-ick Choi)

요약

두부 형상이 국내 표준에 근접하는 한 자원자 두부의 MR 및 CT 영상에 바탕하여 새로운 해부학적 두부 모델을 구현하였다. 서로 다른 형상을 갖는 두부의 전자파 비흡수율(SAR)을 비교하기 위해 두 가지의 해부학적 두부 모델의 SAR을 계산하였다. 하나는 구현된 모델이고 다른 하나는 미국 National Library Medicine에서 제작된 흑인 모델이다. 계산 공간 내의 두부와 이동통신단말기는 CENELEC과 FCC 지침의 접촉위치가 되도록 배치하였다. 얻어진 결과로부터 두부의 크기가 작을수록 두부 전체 평균 SAR은 높아짐을 볼 수 있었으나 1 g 또는 10 g 평균의 국부 SAR은 두부의 크기보다는 외이의 형상에 더 의존하는 것으로 보인다.

Abstract

A new anatomical head model was implemented based on the MR and CT images of the head of a volunteer whose head shape is close to the domestic standard. In order to compare SARs (specific absorption rates) of heads with different shapes, we calculated SARs in the two anatomical head models. The one is the new model and the other is that of the black race and was made at National Library Medicine in USA. The head model and a phone model were arranged in the computational space to be the touch or cheek position of CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardisation) and FCC guidelines. From the obtained results, we can see that the smaller head produces the higher whole head-averaged SAR. However, it seems that the localized SAR averaged over 1 g or 10 g is more dependent on the shape of the auricle rather than that of the head size.

I. 서론

최근 국내외에서 이동전화에 의한 전자파 노출의 건강 위험과 관련하여 활발한 연구 발표^[1,2,3,4] 및 관련 보

* 正會員, 韓國電子通信研究院 無線放送技術研究所 電波技術研究部

(Dept. of Radio science and Engineering Kwangwoon Univ.)

接受日字:2000年8月29日, 수정완료일:2000年10月16日

도가 끊이지 않고 있어 국민들의 관심도가 높다. 1998년 국제비전리복사방호위원회(ICNIRP)는 전자기장 노출에 대한 새로운 권고 기준을 발표한 바 있으며^[5], 미국^[6,7], 호주 등은 이동통신단말기로부터 복사되는 전자기장에 대해 이미 법적 규제를 시행하고 있고, 유럽^[8], 일본^[9] 등의 국가에서도 조만간 규제에 들어갈 것으로 예측된다. 우리나라에서는 금년 한국전자통신연구원서 이동통신단말기의 전자파비흡수율(specific absorption rate, SAR) 측정기준을 연구하고 이를 바탕으로 정보통신부에서 측정기준을 고시할 예정이다.

전자기장 노출에 대한 인체 위해 연구는 크게 두 가지 분야로 나눌 수 있는데 하나는 역학연구, 자원자 연구, 시험관실험(*in-vitro*), 생체실험(*in-vivo*)과 같은 생물학적인 연구이고 다른 하나는 이러한 실험 환경을 평가하거나 실제 노출량을 측정하는 공학적 연구이다.

본 연구는 이동통신단말기의 인체 두부에 대한 노출 기준 평가 기술에 관련되는 것으로 평가방법은 실험 및 해석적 방법에 의할 수 있다. 현재 이 평가에 대한 측정 및 해석 절차의 표준화 작업이 IEEE 표준조정위원회(SCC) 34 소위원회(SC)2에서 진행 중이며, 실험에 의한 권고 표준(안)은 올해 하반기에 도출될 것으로 예상된다. 그럼에도 불구하고 아직 충분히 고려되지 않은 사항들이 남아 있으며, 그 중 하나가 본 논문에서 다루고자 하는 단말기 사용자의 두부 형상에 따른 SAR 비교이다. 현재 IEEE 및 CENELEC에서는 상호 동일한 형상을 갖는 모의 인체(phantom)를 수용하려 하고 있으며, 그 형상은 U.S. Army의 구성원에 대한 인체측정 연구 결과에 근거하여 정규분포에 대해 상위 90 %에 해당하는 치수를 사용하므로 크기와 형상이 우리나라 인체 두부와 상당히 다르다. 향후 국제 기준이 이 모델로 확정된다 하더라도 국내 연구자의 입장에서는 이러한 외형적 차이에서 오는 노출 취약성 여부에 대해 사전에 분석하여 대처할 필요가 있다.

본 논문에서는 국내인 자원자를 대상으로 구현한 인체 두부 모델과 기존에 보유하고 있던 미국 흑인 두부 모델에 대해 이동통신단말기의 복사 전자기장의 흡수량을 비교하고자 한다. 먼저 두 가지 두부 모델의 사양을 비교하고 현재 흔히 사용되는 시험위치를 기술한 뒤 동일한 이동통신단말기 모델에 노출된 두 모델에 대해 시간영역유한차분(FDTD) 기법에 의해 전자기장 해석을 수행하고 모델 전체에 흡수된 평균 SAR, 국부 SAR, 그리고 복사 전력 패턴 등을 비교하기로 한다.

II. 인체모델

1. 체위 비교

현재 국외에서 판매되는 인체 구조 데이터가 있기는 하나 체위에 있어 국내인과는 많은 차이가 있으며, 이 모델을 그대로 노출량 계산에 사용하면, 두부의 전체적인 형상, 체지방 두께 등의 차이로 노출량 평가 결과에 차이를 유발할 수 있을 것으로 판단하여 한국전자통신

연구원에서는 우리나라 남자 성인 (청년층 I(18~24세))의 표준체위에 가까운 자원자를 대상으로 MR 및 CT 이미지에 근거하여 노출량 계산을 위한 두부 모델을 제작하였다.

이 모델은 아주대 의과대학 방사선과의 협조 하에 동 대학 해부학 교실과 명지대 정보통신공학부 공동으로 제작하였으며, 대상이 되는 우리나라 청년층 I(18~24세)에 해당하는 자원자의 체위 비교는 표 1과 같다. 표준체위 자료는 산업자원부 산하 기술표준원 (Agency for Technology and Standards) 섬유화학표준과의 국민표준체위조사¹⁾의 자료를 기준으로 하였다. 각 항목의 위치를 그림 1에 나타내었다. 표 1에서 보는 바와 같이 12번 항목 (눈동자 사이너비)을 제외하고는 모든 항목이 표준 체위와 5 % 편차 내에 있어 자원자를 국내 표준인체로 간주할 만하다. 표의 가장 우측 열에 기술된 데이터는 현재 IEEE와 CENELEC에서 표준 팬텀으로 수용하기 위해 고려하는 치수로 U.S. Army 의 체위 정규분포에서 상위 90 %에 해당한다. 국가마다 체위 항목 설정에 약간의 차이가 있어 완전히 우리 항목과 일치하는 것에 해당하는 것만 표에 기술하였다. 국내 체위와 비교하여 대부분의 치수가 큰 편이다.

표 1. 국내 표준(남자 18-24세), 자원자 그리고 U.S. Army의 상위 90 % 두부의 체위

Table 1. Physiques of domestic standard head, volunteer's head, and large 90 percentile head of U.S. Army.

번호	측정내용	평균(표준체위)	자원자	U.S. Army 상위 90 %
	키	171.4	176	
	몸무게	65.6(kg)	67(kg)	
1	머리길이	23.2	22.9	-
2	머리너비	15.8	16.0	-
3	머리두께	18.1	18.7	20.6
4	귀구슬사이너비	14.4	15.7	14.8
5	눈-턱끝길이	11.7	11.5	13.0
6	얼굴길이	19.4	19.4	-
7	귀구슬사이턱밑길이	28.4	28.4	-

1 <http://www.ats.go.kr/> 국민표준체위조사 (1997년) [섬유화학표준과]

8	귀구슬사이 턱끝길이	30.7	30.4	34.3
9	귀구슬사이 머리마루점길이	39.2	39.5	37.0
10	눈살점-머리마루 점-뒤통수점길이	30.7	31.8	-
11	머리둘레	56.3	56.9	58.7
12	눈동자사이너비	6.2	5.7	-
13	입너비	4.7	4.7	-
14	귀길이상		2.2	-
15	귀길이하		5.9	7.0
16	귀폭상		3.5	4.1

↑ 이동통신단말기에 대한 두부의 노출량 계산 시 귀의 형상이 영향을 줄 수 있는 주요 인자이므로 표준 체 위 항목에는 없지만 측정 항목을 추가하였음.

2. MR 및 CT 이미지 상의 조직분류

상기 체위를 갖는 자원자를 대상으로 수직 축으로 1 mm 간격의 MR 이미지 271장을 기본으로 조직 분류를 하되, 일부 MR 이미지에 의해 조직 구분이 어려운 경우에는 CT 촬영을 추가하였다. 얻어진 이미지 상에서의 조직 분류는 해부학 전문가에 의해 매우 세분화된 수준까지 가능하였으나 전자기학적 수치해석을 위해서는 조직 종류 구분이 각 조직의 전기적 특성에 관한 데이터 확보가 가능한 정도까지 허용되므로 일단은 미국 FCC에서 조직에 대한 상대유전율 및 도전율이 제공되는 조직 구분을 따르기로 하였다². FCC에서는 전

신에 대해 43 가지의 조직을 구분하고 있으며 그 중 인체 두부에 한하여 구분되는 조직의 종류는 표 2와 같다. 좌측의 번호는 전신을 기준으로 하여 구분되는 조직 명의 알파벳 순서이다. 단면 상의 공간 정밀도는 수직 축과 동일하게 1×1 mm² 단위로 저장하였다.

표 2. 인체 두부의 조직 종류

Table 2. The types of tissues in human head.

번호	조직(Tissue)
1	혈액 (Blood)
2	피질성 골 (Bone_Cortical)
3	연골 (Cartilage)
4	소뇌 (Cerebellum)
5	뇌척수액 (Cerebro_Spinal_Fluid)
6	안(眼) 조직 (Eye_Tissue)
7	지방 (Fat)
8	회백질 (Grey_Matter)
9	수정체 인 (Lens_Nucleus)
10	근육(중)(Muscle(Parallel_Fiber))
11	근육(횡)(Muscle(Transverse_Fiber))
12	신경 (Nerve (Spinal_chord))
13	피부 (Skin (Dry))
14	피부 (Skin (Wet))
15	갑상선_흉선 (Thyroid_Thymus)
16	혀 (Tongue)
17	기관 (Trachea)
18	백색질 (White_Matter)

3. 구현된 인체 모델과 기존 모델의 비교

상기의 조건으로 구현된 두부의 형상 (이하 모델 A)

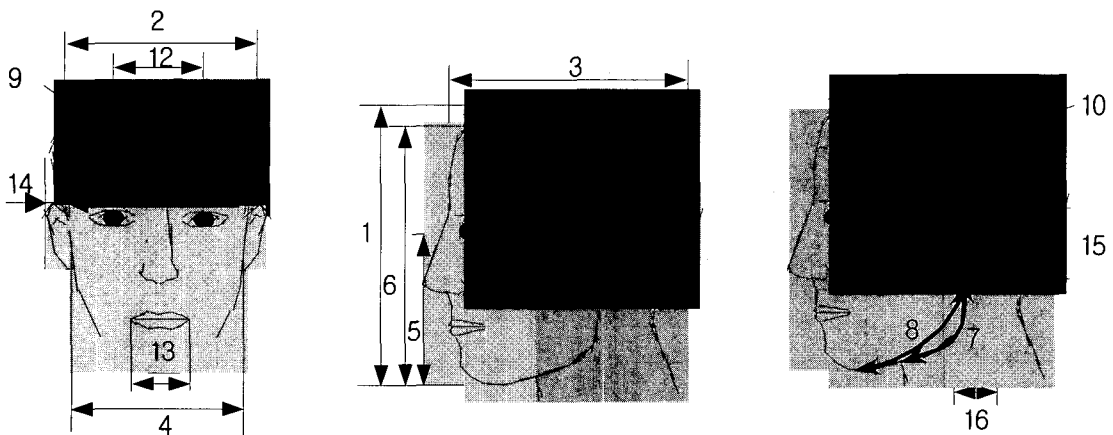


그림 1. 두부의 체위측정 항목
Fig. 1. Measuring items of physique for the head.

2 <http://www.fcc.gov/oet/info/documents/bulletins/#65>

은 그림 2와 같다. 이 형상은 $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ voxel 단위로 표현한 것이다. 계산에서 두 모델의 동일한 인체 부위를 사용하기 위해 어깨 일부는 제거하였다.

기존 모델 중 정밀한 것이 $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ voxel 크기를 갖는 흑인 두부 모델이며, 조직 구분은 표 2와 약간 차이가 있어 FDTD 계산 시에 전기적 상수 대입을 위해 혈관(blood vessel), 안구방수(eye(aqueous humor)), 그리고 체액(body fluid)를 치아(tooth)를 표 2에 정의된 조직 중 혈액(blood), 유리체액(vitreous humor), 그리고 혈액(blood)으로 각각 대체시켰다. 본 논문의 목적에 부합하는 결과를 얻기 위해서는 두 모델의 두부 형상 및 지방층의 두께와 같은 체질적 차이 이외에는 가능한 다른 조건을 동일하게 두는 것이 바람직하다. 그런데 기존의 보유 모델의 경우 상당히 비대한 체형으로 목 부위가 두툼고 짧아 목 부위에서 절단하더라도 양 쪽 어깨가 상당히 포함되어 두부 내 평균 SAR 계산 시 어깨 부피로 인해 보다 낮게 평가될 우려가 있어 그림 3과 같이 적절히 목 주변 어깨 부위를 도려내었다. 이 두부 형상 (이하 모델 B)에 대해 그림 4의 단면도로부터 추산이 가능한 체위항목을 그림 4 아래 표에 기술하였다.

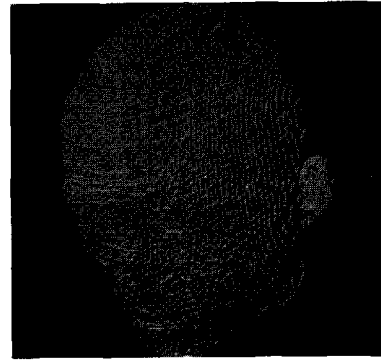


그림 2. 모델 A
Fig. 2. Model A.

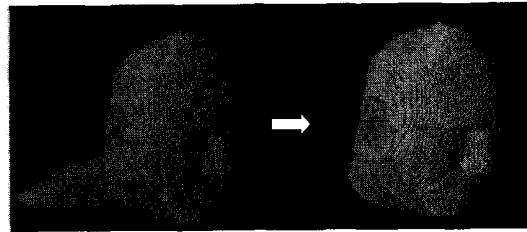
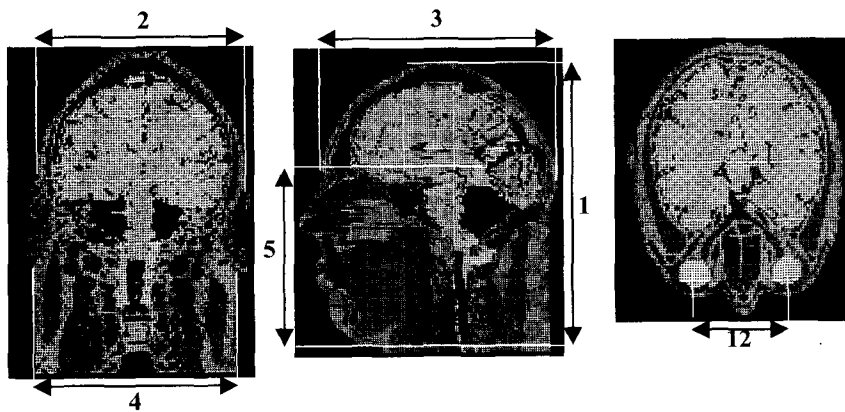


그림 3. 모델 B (좌측: 수정 전, 우측: 어깨부위 절단 및 목 부위 수정 후)
Fig. 3. Model B (left: before modification, right: after amputation of the shoulders and modification of the neck).



1	머리길이	25	12	눈동자사이너비	7.2
2	머리너비	16	14	귀길이	1.2
3	머리두께	21.4	15	귀길이	5.8
4	귀구슬사이너비	15.6	16	귀폭	4.2
5	눈-턱끝길이	14.4			

그림 4. 모델 B의 체위 (단위: cm)
Fig. 4. Physique of Model B (Unit: cm).

Ⅲ. 이동통신단말기 모델링 및 시험위치

1. 이동통신단말기 모델링과 계산 조건

이동통신단말기의 수치적 모델링을 위해 물리적 크기는 현재 유통되는 단말기 중 하나를 선택하여 완전도체 박스와 그것을 감싸는, 두께가 2 mm이며 상대 유전율 4의 절연체로 구성된 단말기 몸체와 완전도체의 모노폴 안테나로 모델링하였다. 그 세부 크기는 그림 5와 같다.

단말기와 인체를 포함하는 계산 공간은 직각 좌표계 내에 $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ 크기의 FDTD cell로서 구현하고 계산공간의 경계면은 인체 모델과 단말기 모델의 외부 표면에서 약 15개의 FDTD cell 을 두고, 흡수경계조건은 Mur 2차 경계조건을 사용하였다. 단말기는 835 MHz에서 동작하는 것으로 가정하였으며, 전기적 구동은 그림 5 (c)에서 보는 바와 같이 모노폴 끝에서 사인파의 전기장을 모노폴에 수직인 x 및 y 방향으로 대칭이 되도록 인가하였다. 복사 전력은 계산 공간 외곽면의 포인팅(Poynting) 벡터의 수직 성분을 더함으로써 얻었고, 복사 패턴은 근거리장을 원거리장으로의 변환 (near-to-far-field transformation) 기법으로부터 구하였다^{[1],[10],[12]}.

Courant 안정조건을 만족하는 3.5 ps의 시간스텝으로 전체적인 FDTD 계산은 6,000 시간 스텝동안 진행하였

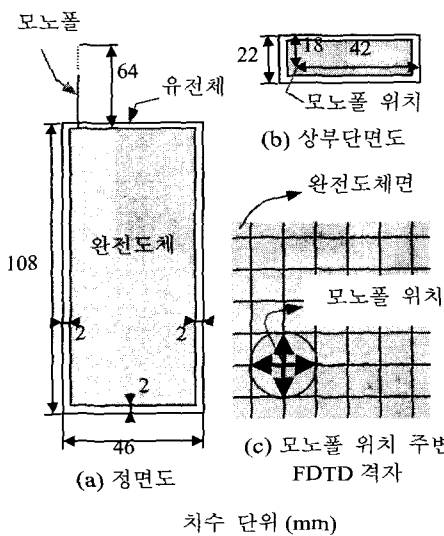


그림 5. 이동통신단말기 모델
 Fig. 5. Mobile phone model.

으며, 그 중 안정된 2,000 스텝 이후부터 시간 평균계산을 하도록 하였다. 인체 모델 전 공간에 대해 약 10 주기 이상 흡수된 전기장을 더하여 총 시간 스텝으로 나누어 평균 전기장 흡수량을 계산하고 이 값을 SAR로 환산하였다.

2. 이동통신단말기 시험위치

이동통신단말기에 의한 인체 두부 내의 SAR을 시험하기 위한 단말기 배치의 기본은 통화할 때 흔히 사용되는 위치로, 가능한 최악의 조건, 즉 두부 내에 많이 흡수되어야 하는 조건이다. 이러한 원칙 하에 미국 FCC, IEEE 및 유럽의 CENELEC에서 공통적으로 수용하는 시험위치가 접촉위치(touch position 또는 cheek position)이다.

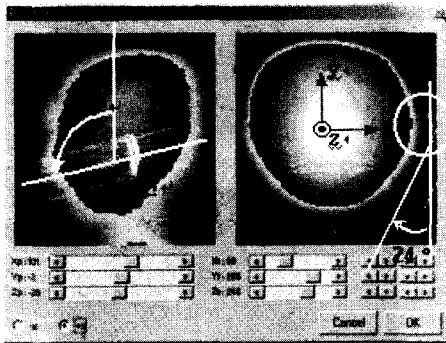
이 시험위치의 구현은 다음과 같은 절차에 의한다.

- 귀의 중심점(이도(耳道)가 시작되는 점)에 단말기의 ear-piece 중심을 위치시킨다. 이때 단말기 안테나 축에 평행한 단말기의 중심선이 인체의 시상면 (sagittal plane)에 평행하도록 해야 한다.
- 상기의 위치에서 단말기를 인체의 기준면 (양쪽 귀의 중심점과 닫힌 입의 중심이 이루는 가상 평면)에 위치하도록 배치한다.
- 기준면 상의 단말기 몸체의 어느 한 점 (예를 들어 mouth-piece 또는 keypad)이 인체 두부의 뺨에 접촉할 때까지 단말기를 움직인다.

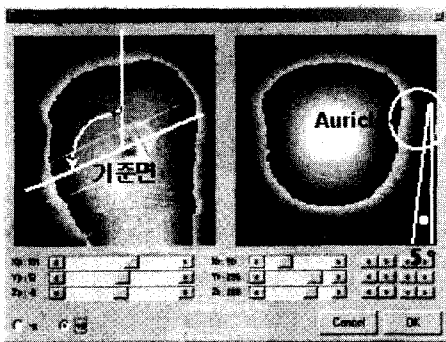
시험위치의 구현을 위해 본 연구에서는 2-D 및 3-D 그래픽 도구를 제작하였다. 그림 6에서 보는 바와 같이 2-D 그래픽 메뉴에서는 인체와 단말기의 상대적 배치를 위해 인체에 대해 단말기를 x, y, z 세 축에 대해 회전, 평행이동 가능하다. 이렇게 회전된 후의 전체적인 형상은 3-D 화면에서 확인 가능하며 3-D 메뉴에서도 배치 구현이 가능하다. FDTD mesh를 생성할 때에는 사용자가 선택한 이동 및 회전조건을 가지고 거꾸로 단말기에 대해 인체 모델이 회전한 것으로 변환하여 mesh file을 만든다. 이것은 단말기 모델에 포함된 도체 형상이 직각 좌표 축에 일치하도록 하여 사선을 계산으로 근사함으로써 나타날 수 있는 산란 요인을 억제하기 위한 것이다.

그림 6에서와 같이 동일한 단말기로 접촉위치를 구현하더라도 인체 모델에 따라 단말기의 위치가 다소 차이가 남을 확인할 수 있다. 즉, 모델 B의 경우 귀의 높이가 입의 높이에 비해 높기 때문에 기준면의 경사

가 급하며, 모델 A의 경우 뺨에 단말기가 접촉하기 위해서는 z축으로 더 큰 회전각도가 요구됨을 알 수 있다. 이것은 두부의 형상에 기인할 수도 있으나 본 모델의 경우에는 모델 A의 외이가 더 많이 돌출되어 있기 때문으로 보인다.

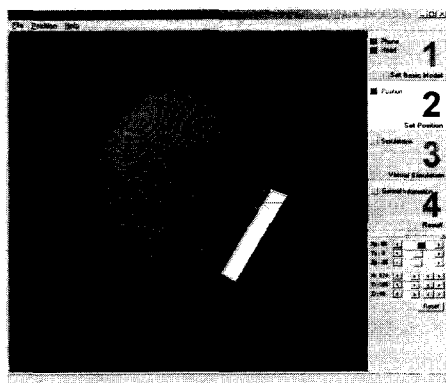


모델 A

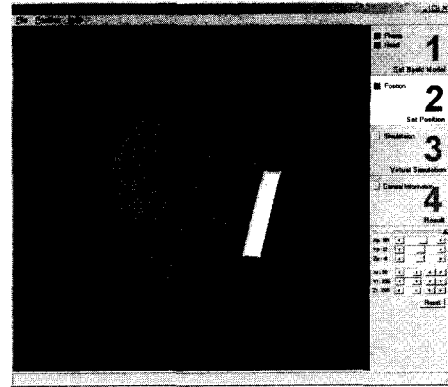


모델 B

(a) 2-D 상의 시험위치
(a) Test Position in the Two dimensional planes.



모델 A



모델 B

(b) 3-D 상의 시험위치.
(b) Test position in the three dimensional space.
그림 6. 시험위치 구현
Fig. 6. Implementaion of the test position.

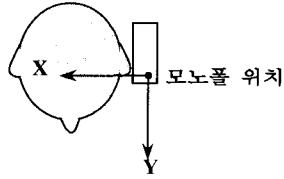
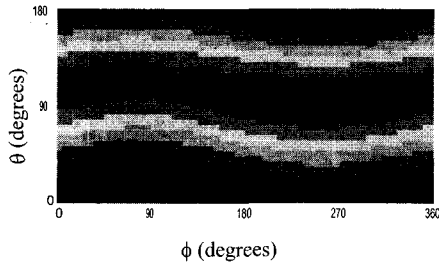
IV. 결과 고찰

시험위치는 그림 6에서 확인할 수 있듯이 두부에 대해 단말기의 왼쪽 사용의 경우만 고려하였으며, 이 경우 안테나가 두부의 앞쪽에 위치하므로 오른쪽 사용보다 최악의 조건을 모의한다⁶⁾. 그리고 복사전력 또한 최악의 조건으로 모의하기 위해 아날로그 방식의 시평균전력 600 mW를 기준으로 결과를 산출하였다.

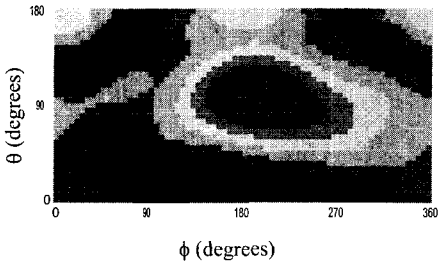
1. 복사전력 패턴, SAR 표면분포 및 두부 전체 평균 SAR

모델 A와 B에 대한 복사전력 패턴은 그림 7과 같다. 단말기 몸체 상부의 모노폴 위치를 좌표계의 원점으로 삼았으며, 패턴의 수치는 동일 조건에서 동작하는 반파장 다이폴의 복사 전력의 최대값에 대한 비율이다. 그림 7 (a)의 단말기 자체의 복사 패턴에서도 반파장 다이폴에 비해 이득이 약간 떨어진다. 그림 7 (b)와 (c)는 단말기에 두부 모델 A 및 B가 그림 6과 같은 시험위치에 있을 때 복사 패턴을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 양 쪽 경우 모두 두부가 위치하지 않은 =180 방향으로서는 복사량이 크며, 그 중 모델 A의 경우에 더 잘 복사됨을 볼 수 있다.

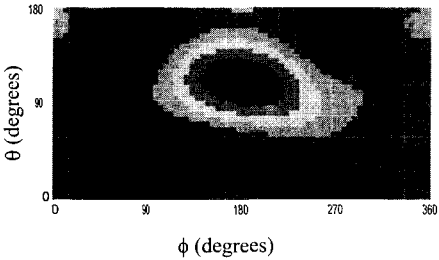
단말기 쪽에서 인체를 바라본 두부 표면에서 나타나는 SAR 분포는 그림 8과 같다. 모델 A의 귀 깊이가 2.2 cm인데 비해 모델 B는 귀 깊이가 1.2 cm로 1 cm 가량 차이가 난다. 따라서 모델 B는 귀 깊이가 얇아 단



(a) 단말기
(a) Phone



(b) 모델 A와 단말기
(b) Model A and phone



(c) 모델 B와 단말기
(c) Model B and phone



그림 7. 복사 패턴

Fig. 7. Radiation pattern

말기에 보다 밀착될 수 있다. 이러한 이유에서 모델 A 보다 모델 B가 표면 분포 상에서 SAR 값이 약간 높은 것으로 판단된다.

모델 A와 B의 FDTD cell 개수는 각각 570,931 개(부피 약 0.046 m³)와 700,589 개(부피 약 0.056 m³)이다. 부피에 있어 모델 B가 약 20 % 정도 더 크며, 이

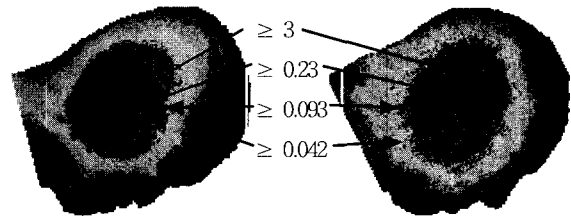
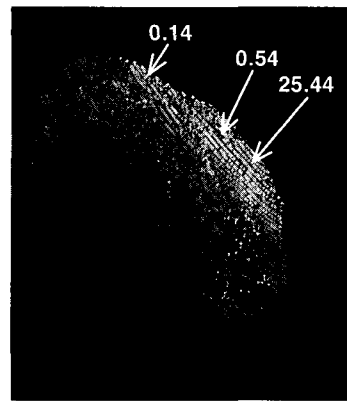
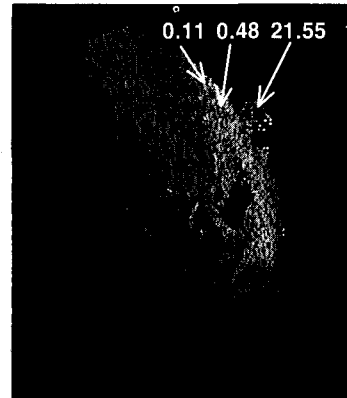


그림 8. 두부 표면에서의 SAR 분포

Fig. 8. SAR distribution on the surface of the head.

는 단말기에 노출된 두부 내 전체 SAR 평균치를 낮추는 데 중요한 인자가 될 것으로 예상할 수 있으며, 계산된 SAR 평균값은 예상한 바와 같이 모델 A와 B에 대해 각각 0.074 W/kg 및 0.066 W/kg으로 모델 B가 더 낮게 산출되었다. 그리고 복사전력 또한 모델 A에 대해서는 245 mW, 모델 B에 대해서는 167 mW로 상대적으로 두부의 크기가 큰 모델 B는 단말기로부터 많은 전력을 흡수하는 것을 알 수 있다.

2. 국부 SAR

외이는 공기층을 많이 포함하기 때문에 외이 부분에서 IEEE^[7] 및 CENELEC^[8] 기준의 정방향 조직이 되는

1-g 및 10-g의 평균의 최대 SAR을 얻는 것은 매우 어려우며, 그림 8에서 보듯이 이동통신단말기에 의한 최대 국부 SAR을 얻기 위해서는 외이 부분이 포함될 수밖에 없다. 따라서 본 논문에서는 ICNIRP 기준⁵⁾의 연속적인 조직에 대해 평균한 국부 SAR을 [11,12]에 기술된 방법에 따라 산출하였다.

표 3. 국부 SAR의 비교 (W/kg/600 mW)
Table 3. Comparison of localized SARs.

	모델 A	모델 B
두부의 0.008-g [†] 최대 SAR	21.547	25.444
두부의 1-g 최대 SAR	2.406	5.704
두부의 10-g 최대 SAR	1.327	1.929

[†] 0.008g은 1개의 FDTD cell 크기 ($2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$)의 대략적 질량을 의미한다. 대략적 질량이라 한 이유는 조직에 따라 질량 밀도가 다르기 때문이며, 0.008g은 조직의 질량밀도를 1000 kg/m^3 이라 가정할 대의 질량이다.

표에서 0.008-g 최대 SAR은 계산된 SAR 공간 분포 상에서 최대의 SAR 값을 의미한다. 이 값은 시험 위치에 따른 인체 모델의 배치나 단말기 주변의 외이의 형태, 뺨의 굴곡 정도 등과 같은 인체 외형에 의존도가 매우 크고, 상당히 가변적인 값이기 때문에 어떤 판단을 내리기는 매우 어렵다. 각 모델에서 0.008-g 최대 SAR 위치는 그림 9에서와 같다. 좌측의 모델 A의 경우에는 돌출된 외이의 최외각 면에 위치하고 우측 모델 B의 경우에도 역시 외이 상에서 발생하였으나 이 모델은 머리 너비나 귀구슬사이너비가 크기 때문에 두부의 전체적인 굴곡에 대해 외이의 돌출부가 거의 없는 상태이다. 따라서 모델 B의 안테나 전력인자 지점과 최대 SAR 발생지점 간의 거리가 모델 A에 비해 더 크에도 불구하고 공간적으로 인체가 단말기에 더 밀착하게 되는 효과를 가져 표에서 보는 바와 같이 두부의 1-g 또는 10-g 최대 SAR이 모델 B의 경우에 더 높게 산출되는 것으로 판단된다.

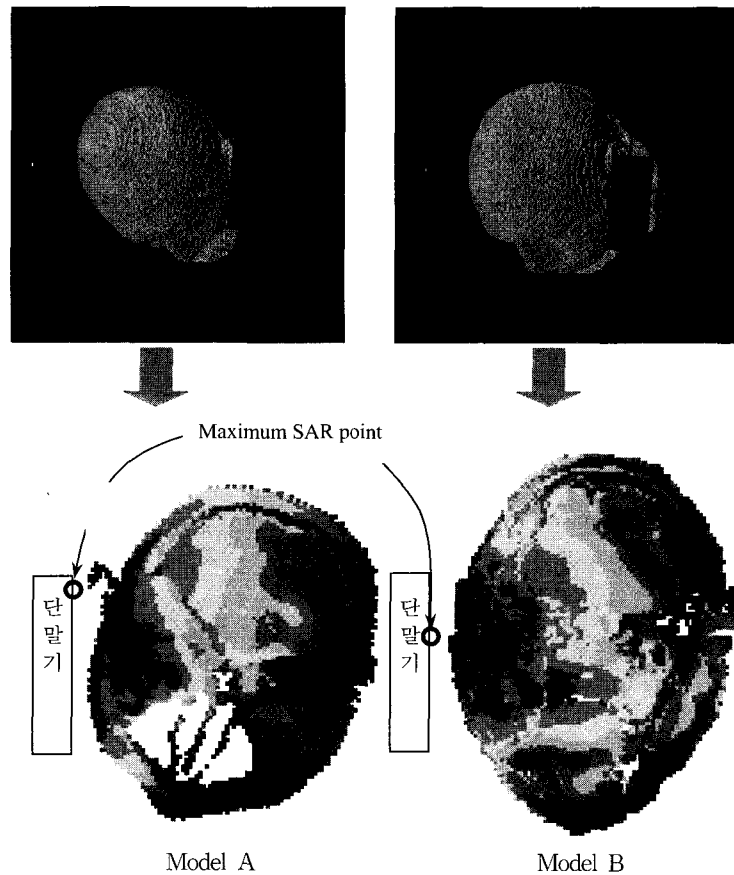


그림 9. 최대 SAR 지점을 포함하는 x-z 단면 분포
Fig. 9. x-z cross sectional SAR-distribution including maximum SAR point.

V. 결 론

생체에 있어 전자기장의 특정 노출원에 대한 정확한 노출량 평가는 생물학적 영향 분석을 위한 연구의 가장 기본적인 단계이며, 생체에 대한 위해 여부의 객관적인 판단을 위해서 공학자는 사전에 정량적인 노출 결과를 제공하여야 한다.

본 연구에서는 국내 표준에 가까운 인체 모델과 그와 형상이 다른 인체 두부 모델의 노출량 비교를 위해 전자기장 발생원으로서 현재 상용화되어 있는 이동통신단말기 모델 중 하나를 선택하여 모델링한 뒤 FDTD 해석 방법을 적용하였다. 두 가지의 인체 두부 모델은 각각 한국인 자원자와 미국 흑인 자원자를 대상으로 제작된 모델이며, 모두 남자 성인이다. 그 체형 면에서 각 모델을 동서양인을 대표한다고 말하기는 어렵지만 동일 노출원에 대해 서로 상이한 두 체형을 대상으로 SAR을 비교하는 것은 의미있는 작업이라 할 수 있다.

현재 연구에서 내릴 수 있는 결론은 두부의 크기가 크면 단말기 안테나는 두부에 의해 가려지므로 공간 상으로 복사량이 줄어들고, 따라서 복사되는 전력 중 두부로의 흡수량은 커지지만 두부의 평균 SAR은 전체 두부 부피로 나누어지므로 낮아진다고 할 수 있다. 바꾸어 말하면, 두부의 크기가 작을수록 평균 SAR은 더 커질 가능성이 있으므로 연령이 낮은 어린이의 경우 두부의 평균 SAR은 상당히 높아질 우려가 있다.

본 논문에서 모의된 두 모델의 국부 SAR 결과 차이는 두부의 전체적인 형상 차이에서 비롯되는 것이라기 보다는 외이의 형상에 기인하는 것으로 판단된다. 모델 A의 귀 깊이는 상당히 크며, 공기 층을 많이 포함하는 외이 상에 최대 SAR 지점이 위치하는 경우 그 지점을 중심으로 한 1 g 또는 10 g 평균한 국부 SAR은 평평한 외이 또는 뺨에서 보다 낮게 산출된다. 따라서 향후에는 해부학적으로 어떤 기준이 되는 두부 모델로부터 외이를 제거한 뒤 외이의 형상 변화에 따른 SAR 영향을 고찰할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Michal Okoniewski, and Maria A. Stuchly, "A Study of the handset antenna and human body interaction," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-44, No. 10, pp. 1855-1864, Oct. 1996.
- [2] So-ichi Watanabe, Masao Taki, Toshio Nojima and Osamu Fujiwara, "Characteristics of the SAR distributions in a head exposed to electromagnetic fields radiated by a hand-held portable radio," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-44, No. 10, pp. 1874-1883, Oct. 1996.
- [3] Om P. Gandhi, Gianluca Lazzi, and Cynthia M. Furse, "Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 MHz," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-44, No. 10, pp. 1884-1897, Oct. 1996.
- [4] Volker Hombach, Klaus Meier, Michael Burkhardt, Eberhard Kuhn and Niels Kuster, "The dependence of EM energy absorption upon human head modeling at 900 MHz," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-44, No. 10, pp. 1865-1873, Oct. 1996.
- [5] ICNIRP, *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Apr. 1998.
- [6] FCC, OET Bulletin 65, Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, Edition 97-01, released August 25, 1997.
- [7] ANSI/IEEE C95.1-1992, *IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz*. New York: IEEE.
- [8] CENELEC CLC/SC111B, European Prestandard prENV 50166-2, *Human Exposure to Electromagnetic Fields High Frequency (10 kHz to 300 GHz)*, Jan. 1995.
- [9] Telecommunication Technology Council, "Radio-Radiation Protection Guidelines for Human Exposure to Electromagnetic Fields", 24 Apr. 1997, TTC, Ministry of Posts and

- Telecommunications, Japan.
- [10] Karl S. Kunz and Raymond J. Luebbers, The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics, CRC Press, 1993.
- [11] Ae-kyoung Lee, Jin-suk kim, Hyung-do Choi, and Kwang-yun Cho, "Electromagnetic energy absorption in a human head for a cellular phone at 835 MHz," Proceedings of 1998 APMC(Asia-Pacific Microwave Conference), vol.2, pp 873-876.
- [12] Ae-kyoung Lee, Jong-suk Chae, and Hyuck-Jae Lee, "휴대폰에 의한 국부 SAR 평가방법 고찰," 한국통신학회 논문지 vol. 23 No. 10, pp 2655-2664. 1998. 10.

저 자 소 개



李 愛 卿(正會員)

1990년 2월 : 중앙대학교 전자공학과(공학사). 1992년 2월: 중앙대학교 대학원 전자공학과 (공학석사). 1992년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 전파기술연구부 선임연구원, 주관심 분야 : EMC 현

상의 이론적 해석, 전자파 인체 영향 등



崔 在 益(正會員)

1981년 2월 : 고려대학교 전자공학과 (공학사). 1983년 8월: 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학석사). 1995년 2월: 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학박사). 1983년~현재

: 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 전파기술연구부장. 주 관심분야 : 위성통신 및 이동통신 관련 전파기술 등



崔 馨 道(正會員)

1986년 2월 : 고려대학교 재료공학과 (공학사). 1989년 8월 : 고려대학교 대학원 재료공학과 (공학석사). 1996년 8월 : 고려대학교 대학원 재료공학과 (공학박사). 1997년 1월~현재 : 한국전자통신연구원 무선방송

기술연구소 전파기술연구부 선임연구원. 주관심분야 : EMI/EMC, 전자파 인체영향 등