

# 이동통신단말기 안테나 배치에 따른 두부의 전자파 흡수율

## SAR in a Human Head Depending on the Arrangement of Antenna of Mobile Phone

이애경\* · 김진석\* · 이광천\*\* · 조광윤\*

Ae-Kyoung Lee\* · Jin-Suk Kim\* · Kwang-Chun Lee\*\* · Kwang-Yun Cho\*

### 요 약

현재 helix와 monopole로 구성되는 안테나를 갖는 수납형 전화기(retractable phone)가 셀룰라 이동통신에서 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 안테나의 monopole의 길이가 약  $\lambda/4$ 이므로, 강한 복사 전기장이 전화기를 사용하는 인체 두부의 외이 주변에 주로 분포한다. 이러한 전기장 분포는 두부 내에 매우 높은 국부 SAR (specific absorption rate)을 야기한다. 본 논문은 이동통신단말기의 안테나 배치가 반대인 전화기 형상에 대한 두부 내 전자파 흡수율을 기존의 단말기 형상의 것과 비교, 고찰한다. 이것은 단말기 몸체의 상부가 아닌 바닥에 안테나를 배치하는 것이다. 인체와 단말기 모델을 포함하는 계산 공간의 시간-평균 전자기장 분포를 얻기 위해 시간영역 유한차분(FDTD) 기법을 사용하였다. 그리고 SAR 분포와 국부 SAR 값이 시간-평균 전기장 분포로부터 계산되었다. 실제 상황을 고려하기 위해 해부학적 인체 두부 모델과 근사된 사용자 손이 고려되었다. 분석된 데이터는 안테나의 이 같은 배치가 인체 두부 내에 국부 SAR을 상당히 감소시킴을 보인다.

### Abstract

Presently, the retractable phone with a whip antenna composed of a helix and a monopole is most widely used for cellular mobile communications. However, since the length of the monopole is usually about  $\lambda/4$ , the strong radiated electric fields are produced in the region where the auricle of a head is contacted directly. This field distribution results in high specific absorption rates(SAR's) in the head. In this paper, SAR distributions and local SAR values for the inversely shaped phone(ISP) whose antenna arrangement is opposite to the original retractable phone(ORP) are compared with those for the ORP. This phone is accomplished by mounting the  $\lambda/4$ -whip antenna on the bottom, not on the top of the handset. The time-averaged field distribution in a computational space including a human model and a phone model is computed using the finite-difference time-domain(FDTD) method. SAR distributions and local SAR values for these phones are calculated with the field distributions. An anatomical head model and an approximate hand model were used to consider a real situation. From the analyzed data, it is shown that this arrangement of the antenna considerably reduces the spatial peak SAR in a human head.

\* 한국전자통신연구원 무선·방송기술연구소 전파기술연구부(Radio Technology Department, Radio & Broadcasting Technology Laboratory, ETRI)

\*\* 한국전자통신연구원 무선·방송기술연구소 비동기시스템연구부(Systems Engineering - A Department, Radio & Broadcasting Technology Laboratory, ETRI)

· 논문 번호 : 990720-059

· 수정완료일자 : 1999년 9월 17일

I. 서 론

최근 무선 복사 이용 기기에 의한 건강위해에 관한 관심과 우려가 높아지고 관련 측정 분야의 기술이 발전하면서, 미국 FCC에서는 이동통신단말기와 같이 인체에 밀착하여 사용하는 기기에 대해서 인체의 전자파 흡수율 (SAR, specific absorption rate)을 법적으로 규제하고 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 추세에 따라 통신 성능을 저하시키지 않으면서 단말기에 근접한 인체 내로의 전자파 흡수를 낮추기 위한 흡수/차폐 재료, 안테나 구조 등, 그 대책 기술 분야의 제품 개발 또한 활발하다.

현재 국내 셀룰라 또는 PCS 단말기는 대부분 고정형 helix와 수납형 monopole로 구성된 이중 안테나를 채택하고 있다. monopole의 길이는 약  $\lambda/4$ 이며, 안테나를 접었을 때 두 안테나의 전기적 결합을 방지하기 위해 모노폴 끝으로부터 약 2cm 정도의 길이가 유전매질의 막대로 이루어져 있다. 따라서 단말기는  $\lambda/4$  모노폴 안테나와 혹은 접은 경우에는 helix와 단말기 몸체가 다이폴 안테나와 유사하게

동작하게 된다. 그러나 현재의 안테나 배치를 사용하게 되면 가장 많은 전력을 복사하는 부분인 안테나 입력부 주변이 인체에 가장 밀착하게 되어 높은 전자파 흡수율을 야기하게 된다. 이 같은 현상을 방지하기 위해 기존에 안테나를 몸체 위에 부착하던 것을 몸체 아래에 부착한다는 아이디어가 1997년 국내에서 실용신안으로 공개된 바 있다<sup>[2]</sup>. 본 논문에서는 이 안테나 배치를 갖는 단말기에 대한 인체 두부의 전자파 흡수율을 정량적으로 분석하여 그 효과를 기존의 안테나 배치에 대한 것과 비교하고자 한다.

그림 1은 기존의 안테나 배치를 갖는 단말기(이하 ORP(original retractable phone)이라 칭하겠슴.) 형상과 몸체 바닥에 안테나를 부착한 단말기(ISP (inversely shaped phone)이라 칭하겠슴.) 형상 및 각 근역장에서의 전기장 분포를 보인다. 본 논문에서 해석된 단말기 몸체와 안테나는 실제의 한 단말기 모델로부터 근사적으로 그 크기와 구조를 모델링한 것이다.

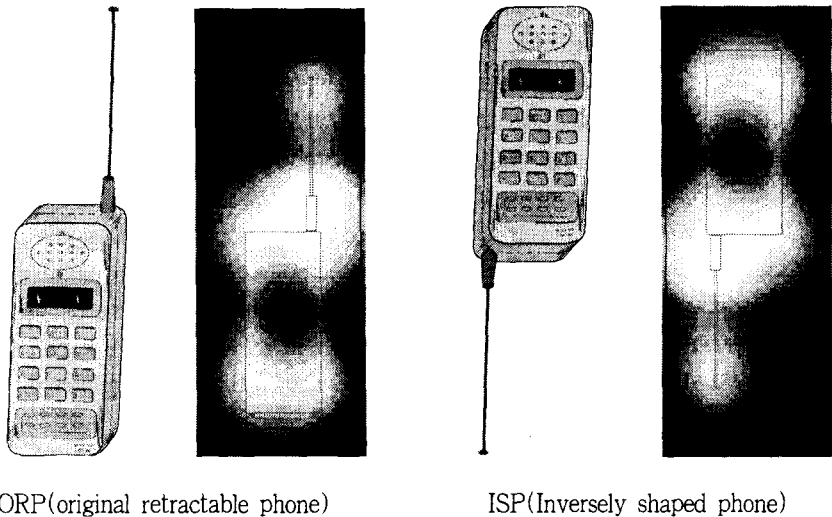


그림 1. 단말기 형상과 계산된 전기장 분포

Fig. 1. The shapes and the computed E-field distributions.

## II. 수치적 모델과 시험위치

이동통신단말기에 접하고 있는 인체 두부 내 전자기장 분포를 계산하는 데 시간영역 유한차분(FDTD) 기법을 이용하였다. 이동통신방식에 따라 단말기의 출력전력 및 복사전력이 다르므로 모든 결과값을 ERP(Effective Radiated Power) 100 mW로 정규화하였으며, 동작 주파수는 835 MHz로 가정하였다. FDTD 계산 공간 내에 단말기를 위치시키고 835 MHz의 정현파를 입력단에서 모노폴 안테나와 평행한 방향의 전기장으로써 여기시키고 계산 공간 외곽면 상에서 Poynting 벡터의 수직성분을 합산하여 복사전력을 계산하였다<sup>[3]</sup>. 그 다음 복사전력을 100 mW에 맞도록 단말기 입력단에 인가되는 전기장 세기를 조절하였다. 계산 공간의 FDTD cell은 각 변이 균일한 3mm 길이를 갖는 정방형이며, 이 크기는 인체 모델 내에서 가장 파장이 짧은 안구 조직 내에서도  $\lambda/10$ 를 만족하는 것이다. 행하여진 모든 FDTD 계산에서 계산 공간을 둘러싸는 6개의 외곽면은 Mur의 2차 경계조건을 사용하였으며, 사용된 시간스텝의 크기는 4 ps로서 3차원 FDTD 계산 공간에서 Courant limit 미만의 값이므로 안정된 결과를 보장하는 정도이다. 시간영역 계산은 4,000스

텝까지 수행하였다. ORP와 ISP는 그림 1에서 보는 바와 같이 안테나의 배치 이외에는 구조에 있어 동일하므로 단말기의 수치해석을 위한 모델 또한 안테나 위치를 제외하고는 [4]를 따른다. 이들 단말기의 몸체는 현재 상용화되어 있는 단말기들 중 하나를 선택하여 그 크기대로 모델링하였다. 인체 모델은 Remcom사에서 판매하는 FDTD 기법에 적용을 위한 인체 두부 메쉬를 사용하였으며, 무선 단말기 사용 시 전형적인 60° 기울기<sup>[5]</sup>를 구현하기 위해 단말기 모델을 고정시키고 인체 모델을 60° 회전시켜 사용하였다. 회전된 두부와 단말기의 배치는 그림 2와 같다. 안테나 배치가 바뀔 때 단말기를 쥐고 있는 손에 대한 영향이 민감할 것으로 생각하여 그림 3과 같이 근사화된 손을 모델링하였다. 이 모델은 해부학적 이미지를 이용한 것이 아니고 수작업에 의한 것으로 엄지 손가락을 제외한 나머지 네 개 손가락이 공간적으로 구분되지 않고 하나로 취급되었다. 이때 단말기에 대한 손의 상대적 위치에 따라 변수 h를 정하였다. h는 그림 3에서 보듯이 세끼 손가락 쪽에서 손의 안쪽으로 가장 두드러진 지점(손 안쪽 점)과 단말기 몸체의 바닥면과의 높이 차이이다. 사용자에 따라 단말기 몸체의 아래 부분을 잡거나 위 부분을 잡기 때문에 변수 h의 변화에 따른 전자파 흡수율을 계산하였다.

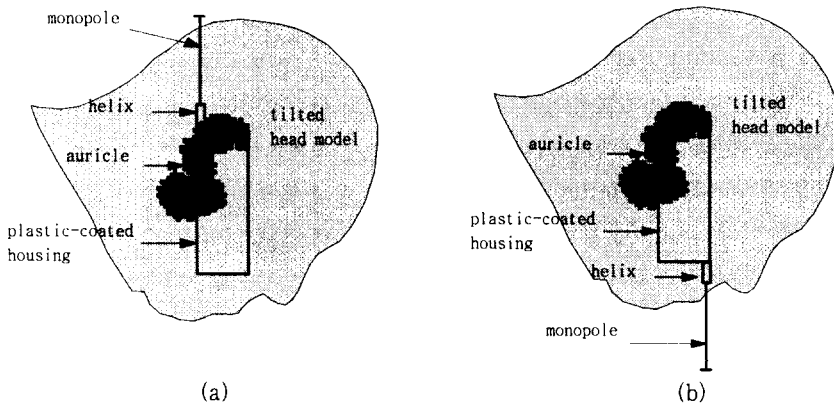


그림 2. (a) ORP에 접촉한 두부 모델, (b) ISP에 접촉한 두부 모델

Fig. 2. (a) The head model in contact with ORP, (b) The head model in contact with ISP.

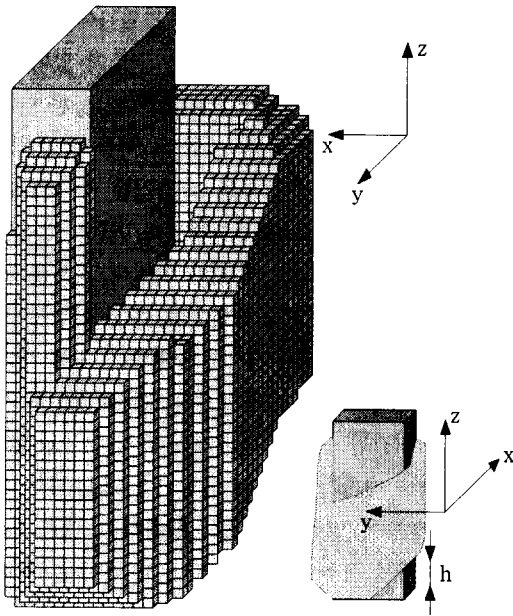


그림 3. FDTD 격자 내의 단말기를 잡고 있는 손 모델  
Fig. 3. Hand model holding a phone in FDTD grid.

### III. 결과 분석

본 절의 결과를 얻기 위해 사용한 국부 SAR 계산 알고리즘은 [4] 및 [6]과 동일하며 평균을 위해 채취된 조직에는 외이 조직을 포함하고 있다. 따라서 외이를 포함하지 않고 두부와와의 이격거리를 두고 측정하는 SAR 값에 비해 상대적으로 높은 값을 산출한다.

그림 4는 두부의 측면에서 본 SAR 분포로서 ISP의 경우 손의 높이 ( $h$ )에 관계 없이 훨씬 낮은 분포를 보이고 있다. 동일한 단말기에 대해  $h$ 에 따른 변화는 분포도 상으로 큰 차이는 없으나  $h=0$ 인 경우보다 5.4 cm인 경우에 약간 SAR 분포가 높은 듯 해 보인다. 그림 5는 손의 SAR 분포로서  $h$ 가 커질수록 안테나 입력부와 연관지어 예상할 수 있듯이 ORP의 경우에는 점차 흡수량이 커지고 ISP의 경우에는 입력부에서 멀어지면서 작아진다. 그런데 ORP에서  $h$ 가 5.4 cm가 되어 엄지 손가락이 helix 부분에 닿는 경우에는 손가락 끝에서의 SAR이 매우 높아짐을

볼 수 있다.

그림 6은 인체 두부와 손에서의 국부 SAR을 보이고 있다. 두부에 대한 국부 SAR을 평가하기 위한 평균하는 조직의 질량은 각 국가 또는 기관의 기준에 따라 1g을 취하기도 하고 10g을 취하기도 한다 [7]~[10]. 그러나 사지(四肢, Limb)의 경우에는 대부분의 기준이 어떠한 조직이든 10g(형상은 정육면체 혹은 연속적 조직)을 취하여 SAR 값을 평균하여 그 값이 4 W/kg을 넘지 않아야 하는 것으로 되어 있다. 본 논문에서는 연속적 조직 형상을 취하여 국부 SAR을 계산하였으며, 그 결과, ISP는 ORP에 비해 현저하게 낮은 국부 흡수율을 보이며, 두 가지의 안테나 배치 모두에 대해 손이 단말기 상부를 잡을수록 두부의 SAR 값은 높게 나타나고 있으며, ISP의 경우 그 증가 기울기가 ORP에 비해 상당히 완만한 것을 볼 수 있다. 하부를 잡고 있을 때에는 두부의 국부 SAR 값이 손을 고려하지 않고 계산한 SAR 값에 비해 낮은 값을 산출하지만 상부를 잡을 경우에는 그 값을 증가하고 있다. 그런데 FCC나 CENELEC의 단말기 시험 방법(안)에는 사용자의 손을 고려하지 않을 경우 더 높은 SAR 값이 산출되므로 평가 시 손을 고려하지 않아도 무방한 것으로 기술하고 있다. 그러나 결과에서 확인할 수 있듯이 손의 위치에 따라 산출 SAR 값이 달라질 뿐 아니라 최악의 경우도 발생할 수 있으므로, 안테나 형상 및 배치 측면에서 손을 고려하지 않은 경우보다 더 높은 SAR 값을 산출할 가능성이 있는 단말기에 대해서는 별도의 평가방법이 제시되는 것이 바람직할 것으로 여겨진다. 손의 국부 SAR 값을 비교하면 단말기 몸체 하부를 잡을 경우 ORP에 비해 전자파 흡수율이 더 높게 나타나지만 손의 높낮이에 대해 큰 변화를 일으키지 않는다. 그러나 그림 5에서 짐작하였듯이 단말기 상부를 잡을 경우 ORP는 손에 매우 높은 국부 흡수율을 야기함을 볼 수 있다.

현재 대부분의 전자파 인체노출 안전 기준(안)에는 조직에 관계없이 두부의 최대 국부 SAR로써 인체 위해 방지기준을 적용하고 있으나 일반적으로 우

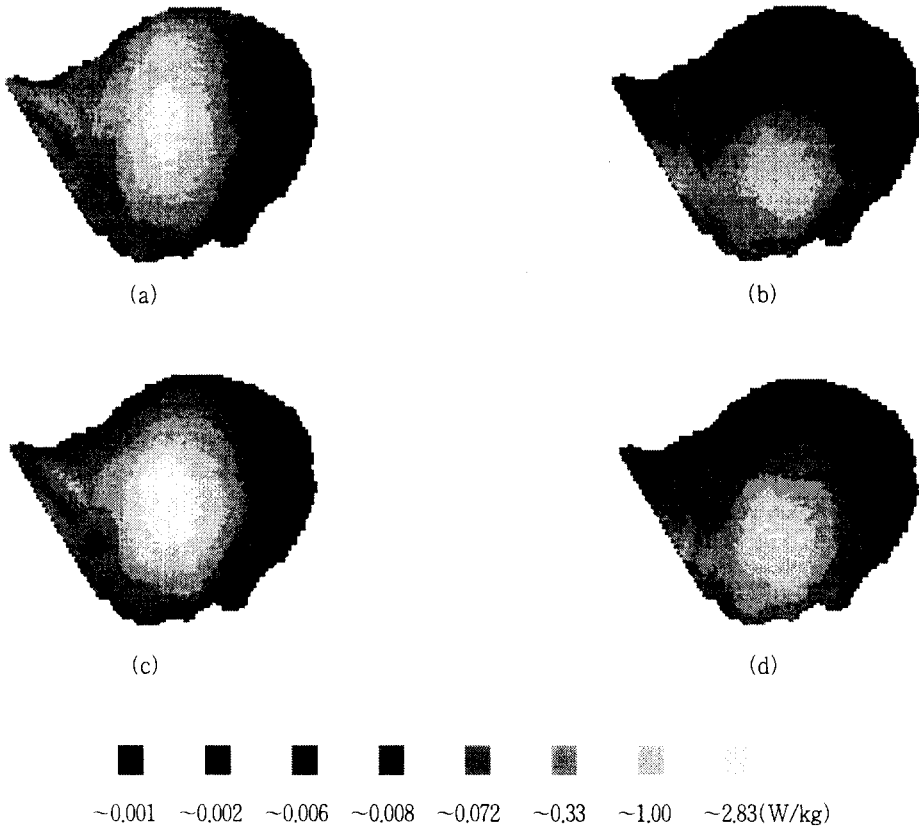


그림 4. 손의 높이(h)와 단말기 안테나 배치에 따른 인체 두부의 SAR 분포

- (a) h=0cm일 때 ORP에 대한 SAR 분포, (b) h=0cm일 때 ISP에 대한 SAR 분포
- (c) h=5.4일 때 ORP에 대한 SAR 분포, (d) h=5.4일 때 ISP에 대한 SAR 분포

Fig. 4. SAR distributions in the head depending on the hand position (h) and antenna arrangement.

- (a) SAR distribution for ORP(h=0), (b) SAR distribution for ISP (h=0)
- (c) SAR distribution for ORP(h=5.4 cm), (d) SAR distribution for ISP(h=5.4 cm)

리는 단말기를 사용할 때 두부의 뇌조직에 얼마나 전자파 에너지가 흡수될까에 관심을 더 가질 수 있다. 그림 7은 두 가지 안테나 배치에 대해 뇌조직의 SAR 값을 비교하고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 그림 6의 결과에 비해 SAR 값의 차가 더욱 크게 나타나고 있다. 그림 6은 두부 모델 전체에 대해 최대 SAR이 나타나는 지점을 중심으로 국부 SAR을 구한 것이고 그림 7은 뇌조직 내에서 최대 SAR 지점을 찾아 그 지점을 중심으로 국부 SAR을 얻은 것이다. 그림 7에서 안테나 배치를 거꾸로 하는 ISP의

경우, 1g SAR과 10g SAR이 약 1/4.7과 1/3.7로 감소하였으나 뇌조직에서는 1/12.3과 1/12.6로 이 보다 훨씬 큰 폭으로 감소됨을 볼 수 있다. 그 이유는 그림 8에서와 같이 뇌조직은 두부의 상부에 위치하고 있으며, 따라서 외이 부근에 입력부가 가까운 기존의 안테나 배치는 뇌까지의 거리도 가깝기 때문에 뇌조직에 높은 SAR을 유지할 것임을 짐작할 수 있다. 두 안테나 배치를 갖는 단말기 형상에 대해 두부 전체에 대한 최고 SAR 값이 나타나는 지점과 뇌조직에서 최고 SAR 값이 나타나는 지점의 거리를 계

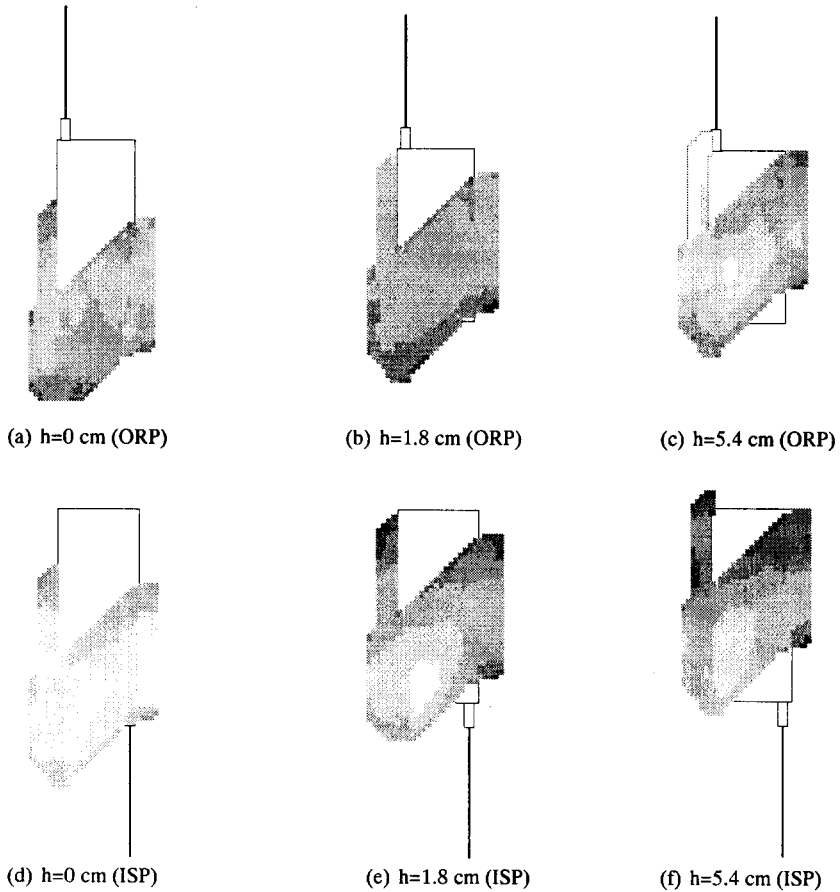


그림 5. 손의 위치(h)와 단말기 안테나 배치에 따른 손의 SAR 분포

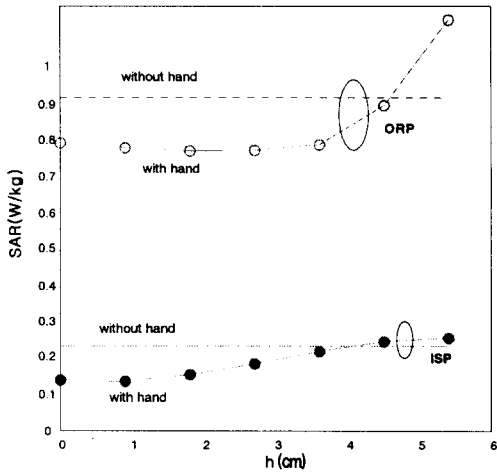
Fig. 5. SAR distributions in the hand depending on the hand position (h) and antenna arrangement.

산한 결과 ORP의 경우 2.5 cm인데 반해 ISP인 경우 5.2 cm로서 2배 이상의 거리차를 보였다. 생체의 물리적인 형상과 생체 조직의 전기적 특성 등으로 결과적인 SAR이 거리에 대해 명확하게 일정한 함수로 나타나는 것은 아니지만 기본적으로 SAR은 전력의 개념이므로 거리가 멀어질수록 영향은 그 만큼 적게 받을 것이다. 물론 뇌조직에는 전신 혈액량의 약 20%가 흐르기 때문에 계산상 나타나는 SAR 값에 상당하는 온도 변화보다는 실제 그 폭이 낮을 것이나 ISP는 결론적으로 두부 외피뿐만 아니라 뇌조직에의 영향도 훨씬 줄일 수 있음을 알 수 있다.

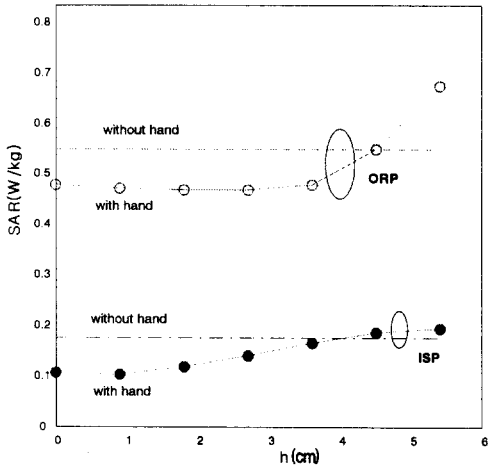
#### IV. 결 론

본 논문에서는 이동통신단말기에 의한 두부 내의 전자파 흡수율을 감소시키기 위한 ISP를 기존의 ORP와 그 효과를 정량적으로 분석하기 위해 수치기법을 이용하여 두부와 손에 흡수되는 SAR을 다양한 경우에 대하여 계산하였다. 그 결과 ISP는 ORP에 비해 현재 SAR 평가기준에 의한 두부 최고 국부 SAR이 훨씬 낮을 뿐 아니라 흡수 부위가 귀로부터 뺄 쪽으로 이동하면서 뇌조직에의 흡수율은 이보다 더 큰 폭으로 떨어짐을 볼 수 있었다. 또한 ISP

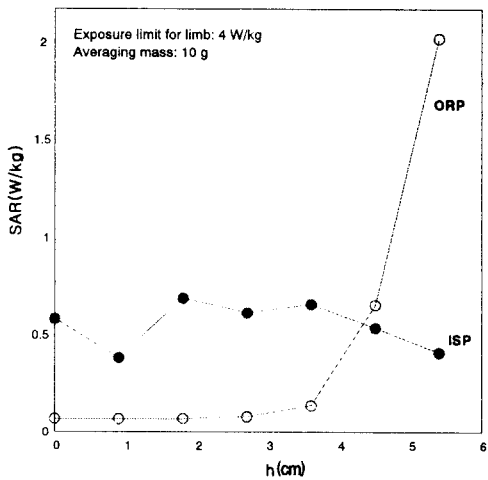
이동통신 단말기 안테나 배치에 따른 두부의 전자파 흡수율



(a)



(b)



(c)

그림 6. 국부 SAR. (a) 두부의 1-g SAR, (b) 두부의 10-g SAR, (c) 손의 10-g SAR

Fig. 6. Local SARs. (a) 1-g SAR in the head, (b) 10-g SAR in the head, (c) 10-g SAR in the hand.

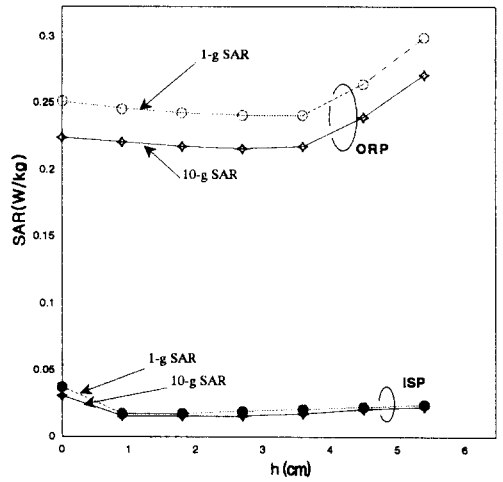


그림 7. 뇌 (brain)의 국부 SAR

Fig. 7. Local SAR in brain.

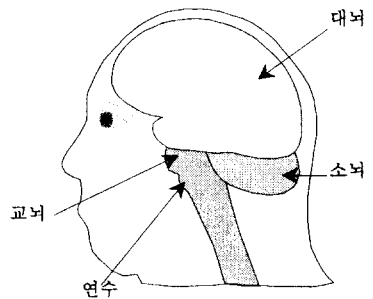


그림 8. 뇌(brain)의 주요 부분

Fig. 8. Principle part of brain.

는 구조상 helix에 직접적으로 손이 접촉할 가능성이 적어 손에서의 SAR 값은 단말기를 잡는 위치에 따른 변화도 적었다. 본 논문에서는 국부 SAR 값을 계산하기 위해 최대 SAR 계산 점에서 조직 부피를 연속적으로 취하였기 때문에 손가락과 같이 두께가

얇은 부위에서도 자유로이 1g 또는 10g의 조직을 채취할 수 있었다. 따라서 이 기법이 인체의 다른 부위를 평가할 때 정육면체의 조직을 취하는 것보다 더욱 편리한 방법임을 알 수 있다.

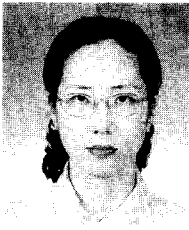
참 고 문 헌

[1] FCC, OET Bulletin 65, Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, Edition 97-01, released August 25, 1997.  
 [2] 김금모, "휴대폰 안테나의 배치구조", 출원번호 95-51402, 공개번호 97-47846.  
 [3] Karl S. Kunz and Raymond J. Luebbers, *The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics*, CRC Press, 1993.  
 [4] 이애경, 최형도, 김진석, "셀룰라 휴대폰에 의한 인체 두부의 SAR 해석", 한국전자파학회 논문지, 제9권 제6호, pp. 776-787, 1998.  
 [5] K. Fujimoto and J. R. James, *Mobile Antennas Systems Handbook*, Artech House, 1994.  
 [6] A. K. 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," *1998 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings*, vol. 2, pp. 873-876.

[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] 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.  
 [9] CENELEC CLC/SC111B, European Pre-standard prENV 50166-2, Human Exposure to Electromagnetic Fields High Frequency (10 kHz to 300 GHz), Jan. 1995.  
 [10] Telecommunication Technology Council, "Radio-Radiation Protection Guidelines for Human Exposure to Electromagnetic Fields", 24 Apr., 1997, TTC, Ministry of Posts and Telecommunications, Japan.

이 애 경



1990년 2월: 중앙대학교 전자공학과(공학사)  
 1992년 2월: 중앙대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1992년 2월~현재: 한국전자통신연구원 전파기술 연구부 선임연구원

[주 관심분야] EMC 현상의 이론적 해석, 전자파 인체 영향 등

김 진 석



1981년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)  
 1983년 2월: 경북대학교 대학원 물리학과(이학석사)  
 1999년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 박사과정 수료  
 1983년 3월~1998년 6월: 한국전

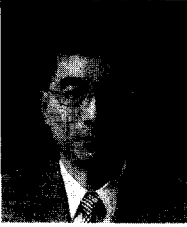
자통신연구원 전파기술연구부 선임연구원  
 1998년 7월~현재: 한국전자통신연구원 전파기술연구부 초빙연구원

1999년 3월~현재: 김천대학교 초빙교수

[주 관심분야] 전자파 생체영향, EMI/EMC, 안테나 해석 등



## 이 광 천



치해석

1986년 2월: 중앙대학교 전자공학과(공학사)

1988년 2월: 중앙대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1988년~현재: 한국전자통신연구원  
비동기시스템연구부 선임연구원  
[주 관심분야] 이동통신, 전자장 수

## 조 광 윤

1993년 2월: 광운대학교 전자통신(공학석사)

1980년~현재: 한국전자통신연구원 전파기술연구부 책임연구원