

# PCS 전화기의 안테나에 의해 인체 두부에 유기되는 SAR 분석

## Analysis of SAR on Human Head Caused by Antenna of PCS Handheld Telephone

박주덕 · 김 남

Ju-Derk Park · Nam Kim

### 요 약

본 논문에서 PCS 이동통신 전화기에 의해 인체 두부에 유기되는 SAR의 1g 평균과 10g 평균의 검출과 비교 분석을 하였다. 이동통신 전화기의 안테나로 기존의 모노폴 안테나와 평면형 구조인 PIFA(Planar Inverted F Antenna)를 채택하였다. 두 안테나는 1.8GHz 부근의 주파수 대역에서 공진이 이루어지게 설계하였고, 인체두부를 1.5mm의 공간 이산간격으로 표본화한 후 30° 전방으로 기울어진 모델로 구성하였다. 1g 및 10g 평균의 침투 SAR을 검출한 결과 기존의 모노폴이 탑재된 출력 320mW인 PCS 이동통신 전화기에 의해 각각 약 1.4 W/kg, 0.7 W/kg이 검출되었고 PIFA가 탑재된 PCS 이동통신 전화기에서는 1.1434 W/kg, 0.4866 W/kg 으로 나타났다.

평면형 구조의 안테나는 등방성 방사패턴을 나타내는 모노폴 안테나에 비해 인체 외부방향으로 지향성 방사 패턴을 나타내어 인체 두부에 유기되는 SAR이 낮은 값으로 나타났으며 안테나의 방사 효율은 모노폴 안테나의 53%에 비해 62.6%로 높아졌다.

### Abstract

In this paper, the detection of 1g and 10g averaged SAR on human head caused by PCS handheld phones is analyzed and discussed. Conventional monopole antenna and planar structured PIFA are used in the computational model to apply to the antennas mounted on handheld phone. These antennas are designed to operate in the near of frequency 1.8 GHz, human head model is sampled to have cell size 1.5 mm and sloped to front direction by 30°. It is found that, when monopole antenna is applied, 1g averaged SAR is 1.4 W/kg, 10g averaged SAR is 0.7 W/kg, when PIFA is applied, for each case, SARs are 1.143 W/kg, 0.4866 W/kg.

While the radiation pattern of the monopole antenna is symmetrical, that of planar structured antenna is asymmetrical and SAR caused by PIFA is less than SAR by the monopole antenna. The radiation efficiency of PIFA is 62.6%, which is higher than that of monopole, 53%.

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

· 논문 번호 : 981119-118

· 수정완료일자 : 1999년 8월 12일

## I. 서 론

최근 개인휴대통신기술의 발달과 이동통신 전화기의 급속한 보급으로 인체가 전자파에 노출될 확률이 높아지고 있다. 이에 따라 국내외적으로 전자파의 인체노출에 대한 규정을 확립하려는 움직임과 그 근거 마련을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 전자파에 의해 인체에 발생하는 여러 작용 중에 열적 작용을 대변하는 SAR(Specific Absorption Rate)은 FCC(Federal Communications Commission)나 ICNIRP(International Commission on Nonionizing Radiation Protection)와 같은 여러 기구들에서 전자파에 의한 인체 노출의 제한을 가하는 근거로 채택하고 있다<sup>[1],[2]</sup>. SAR을 검출하는 방법으로 MRI(Magnetic Resonant Image)를 이용하거나 해부학적 또는 인체 팬텀(phantom)을 이용하는 방법 등이 연구 중이고 컴퓨터를 이용하여 계산하는 알고리즘도 개발되고 있다<sup>[3]</sup>. 컴퓨터를 이용하는 방법 중에 FDTD(Finite Difference Time Domain) 기법은 시간영역에서 계산이 가능하고 복잡한 구조로 구성된 비균질의 산란체에 대해 적용이 가능한 장점을 지니고 있으므로 직접적인 측정을 대체하여 이용되고 있다.

인체에 유기되는 SAR은 1g 또는 10g의 단위 질량에 발생하는 전력량의 시간에 대한 평균값으로 산출된다. 본 논문에서는 산출되는 질량의 단위에 따라 값의 분포는 다소 다르게 나타나므로 1g 및 10g에 대한 SAR의 분포에 대해 검출이 이루어졌다.

본 논문은 FDTD 기법을 이용하여 현재 이용되고 있는 휴대용 이동통신 단말기 중에 PCS 주파수대에서 동작하는 이동통신 전화기에 의해 인체 두부에 유기되는 SAR의 검출과 분석의 내용을 다루었다. 우선 FDTD 적용을 위한 인체 두부 데이터와 안테나의 구현 방법 및 계산방법에 대해 기술하였고 기존의 모노폴 안테나가 부착된 구조의

이동통신 전화기와 평면형 안테나인 PIFA(Planar Inverted F Antenna)가 부착된 이동통신 전화기에 의해 인체 두부에 유기되는 SAR의 분포 및 첨두값(peak value)에 대한 차이와 두 안테나의 방사 패턴 및 주파수 특성을 비교·분석하였다.

## II. 인체 두부 모델과 SAR

### 2-1 두부의 모델링

인체에 흡수되는 전력을 계산하기 위한 인체의 모델링은 SAR 검출을 위한 FDTD 계산에서 매우 중요한 요소이다. 본 논문에서는 비균질인 각 부위마다 다른 밀도와 다른 전도율 등의 전기적 특성을 갖는 인체의 이산화 된 모델로서 NLM(National Library Medicine)의 후원하에 Visible Human Project에서 제시한 모델을 사용하였다. 어깨가 포함된 두부에 대한 이 모델은 성인 남성을 기준으로 하였고 MRI와 CT 그리고 해부학적 방법을 통해 얻어진 영상을 grey scale로 처리하여 다단계로 분류한 것이다. 각 셀은 공간이산간격 1.5mm의 균일한 크기로 이산화 되었고 표 1과 같이 7가지의 인체조직으로 분류되었다<sup>[4]</sup>.

표 1. 인체두부 모델의 각 조직에 대한 밀도와 전기적 특성

Table 1. Electrical characteristics and density of human head organization.

인체 조직 \ 특 성	밀도[kg/m <sup>3</sup> ]	$\sigma$ (도전율)	$\epsilon_r$ (유전율)
지방조직, 뼈	1,200	0.07	5.1
근육	1,050	1.0	52.6
신경조직, 뇌조직	1,050	0.75	44.0
눈	1,000	1.90	70.0
혈액	1,000	1.18	62.0
연골	1,000	0.07	5.1
피부	1,000	1.0	52.6

안정된 주파수 응답을 얻기 위해서는 인체조직 중에 상대 유전율이 가장 높은 부위인 눈에서 전파의 진행속도를 고려할 필요가 있다. FDTD 안정조건을 고려하여 셀의 크기를 최단파장의 1/10 이내로 설정하여야 한다. 3GHz 이내의 주파수 영역에서 안정된 응답을 얻기 위해 설정해야 할 공간 이산간격은 다음 식 (1)에 따른다.

$$\frac{\lambda_{min}}{20} \times \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{max}}} \leq \Delta \leq \frac{\lambda_{min}}{10} \times \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{max}}} \quad (1)$$

식 (1)의  $\lambda_{min}$ 은 유전체가 포함되지 않은 구조에서 최소 파장을 의미하며  $\Delta$ 는 포함된 유전체의 최대 상대유전율이  $\epsilon_{max}$ 인 경우 공간이산간격을 의미한다. PCS용으로 사용되는 주파수를 고려하여 2GHz의 최대 사용 주파수를 갖는 구조에 대해 시뮬레이션을 행할 경우, 상대 유전율  $\epsilon_{max}$ 가 70인 매질에 대하여 안정된 응답을 얻기 위해 공간 이산간격은 약 1.8mm 이내로 설정해야 한다<sup>[5]</sup>.

본 논문에서 설정한 1.5mm 이산화 간격으로 다시 표본화된 인체조직이 차지하는 셀의 개수는 약 50만개이고 전체공간은 안테나 구조를 포함하여 300×280×280 cell 개수로 된다. 전체 해석영역

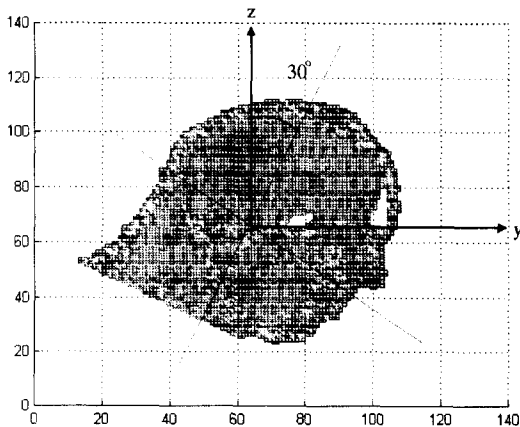


그림 1. 30° 전방으로 기울어진 인체 두부 모델  
Fig. 1. Human head model front sloped by 30°.

의 크기에 대한 FDTD 해석은 매우 많은 시간이 소요되므로 이 문제를 해결하기 위해 우선 안테나의 해석에 대해 주파수 영역의 계산이 이루어졌고 여기서 주어진 공진주파수를 갖는 정현파를 인체조직이 포함된 해석공간에 적용시키는 2단계의 과정을 거쳐 시뮬레이션이 이루어졌다<sup>[6],[7]</sup>.

그림 1과 같이 인체에 대한 구조는 실제의 사용 환경에 근접한 조건을 만족시키기 위해 전방으로 30° 기울어진 모델로 회전하였고 해석 대상체로부터 흡수 경계면까지의 거리는 원역장의 방사패턴을 구하기 위해 각 축으로 15셀 정도의 이격거리를 두었다.

### 2-2 SAR(Specific Absorption Rate)의 정의 및 검출방법

전자파에 의해 인체에 흡수되는 전력의 시간평균에 대한 물리량인 SAR은 다음 식 (2)와 같이 정의된다.

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} |E|^2 [mW/g] \quad (2)$$

여기서  $\sigma$ 는 인체조직의 전도율[S/m]이고  $\rho$ 는 조직의 밀도[kg/m<sup>3</sup>],  $E$ 는 각 좌표에서 전계밀도에 대한 피크값[V/m]이다. 본 논문에서는 다음 3장에서 소개될 각 안테나에 대한 공진 주파수로 고정된 정현파를 가하여 시간에 대한 흡수 전력의 평균값으로 SAR을 산출하였으며 입사전력은 320 mW의 출력으로 정규화 시키기 위해 급전점의 전압을 조절하였다. 식 (3)과 식 (4)는 안테나의 효율에 대하여 설명하고 있다<sup>[5],[8]</sup>.

$$P_{inc} = P_{rad} + P_{abs} \quad (3)$$

$$\eta_a = \frac{P_{rad}}{P_{rad} + P_{abs}} = \frac{P_{rad}}{P_{inc}} \quad (4)$$

안테나의 효율은 산란체가 없는 해석영역의 흡

수 경계면에서 검출된 전력  $P_{inc}$ 에 대해 산란체가 존재하는 공간의 흡수 경계면에서 검출된 전력  $P_{rad}$ 의 비로 정의된다. 여기서  $P_{abs}$ 는 산란체에 의해 흡수된 전력임을 알 수 있다. 안테나가 포함된 해석영역의 구성은 그림 2와 같다. 이동통신 전화기와 인체 두부가 서로 인접해 있는 구조를 고려하였으며 급전점에서 1.81 GHz의 정현파를 인가하였다. 이 때 near field에서 각 성분의 전계 강도는 시간이 경과함에 따라 일정 진폭과 주파수를 유지하게 된다. 그림 3에 급전점으로부터 한 cell 떨어진 위치에서 관측된 각 성분으로의 전계 강도를 나타내었다.

를 나타내었다.

인체 두부에 유기되는 SAR의 검출을 위하여 충분한 시간 동안 정현파를 인가할 필요가 있다. 본 시뮬레이션에서는 4000  $\Delta t$ 의 시간 동안 식 (5)의 sine파를 인가하였다.

$$v(\Delta t) = V_m \sin(\omega \Delta t + \phi) \quad (5)$$

식 (5)에서  $\Delta t$ 는 이산화 시간간격,  $V_m$ 은 정현파의 최대값,  $\phi$ 는 위상,  $\omega$ 는 1.81 GHz 주파수에 대한 각주파수를 의미한다.

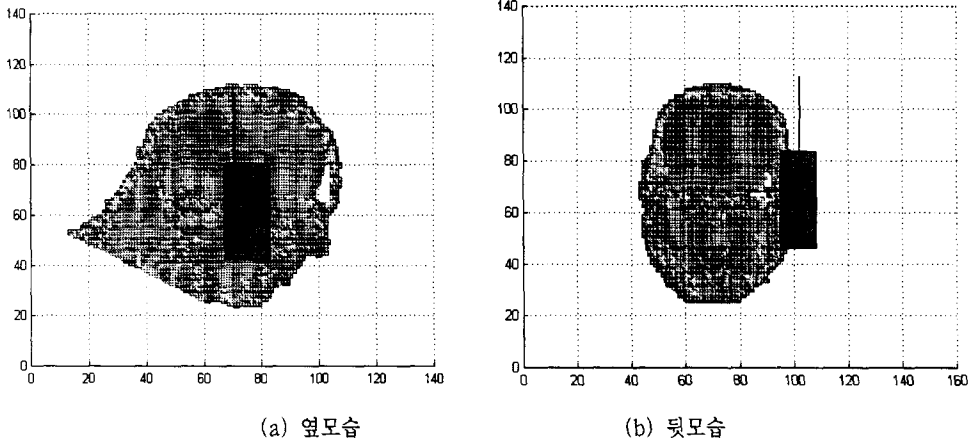


그림 2. 인체 두부와 이동통신 전화기가 포함된 해석공간

Fig. 2. Computational domain include human head and handheld telephone.

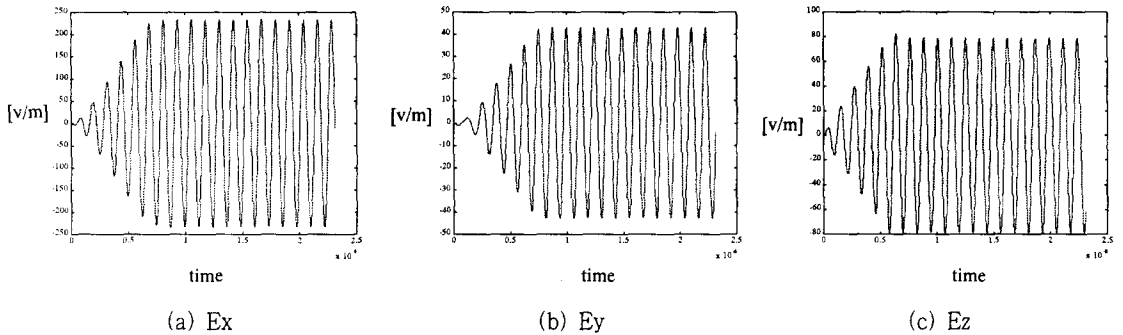


그림 3. Near field의 전계 강도

Fig. 3. Electric field intensity of near field.

인체의 두부에 유기되는 SAR은 1g과 10g의 단위질량에 대한 평균값으로 계산된다. 한 셀의 질량에 대한 정수배가 1g과 10g으로 정확히 일치하지 않으므로 계산되는 좌표로부터 가까운 거리의 셀을 더해가면서 1g 또는 10g의 질량에 가장 가까운 부피에 대한 합을 계산하였다. 다시 말해 인체 두부의 밀도가 1,000 kg/m<sup>3</sup>, 이산화 공간간격이 3mm인 경우를 예로 들면 3×3×3 mm<sup>3</sup> 부피에 대한 질량은 2.7×10<sup>-2</sup>g이 되며 1g의 질량은 37.037개의 셀 개수에 해당한다. 그러나 질량의 검출은 한 셀 무게에 대한 정수배만을 취할 수 있으므로 편의상 37개의 셀에 대한 합으로 1g을 근사화 하였고 계산되는 좌표로부터 가까운 거리에 있는 셀 부터 더하여 계산하였다<sup>[9]</sup>.

### III. PCS 안테나 구현과 SAR의 검출

#### 3-1 안테나의 구조와 동작 특성

그림 4에 모노폴 안테나가 탑재된 이동통신 전화기의 구조를 나타내었다. 안테나의 기저에 구현된 집중회로 소자(lumped element)를 이용하여 급전이 이루어지고 안테나의 굽기는 공간이산 간격에

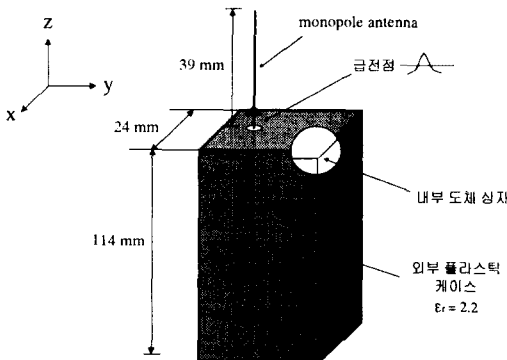


그림 4. 모노폴 안테나가 탑재된 이동통신 전화기의 구조

Fig. 4. Structure of monopole antenna mounted on handheld telephone.

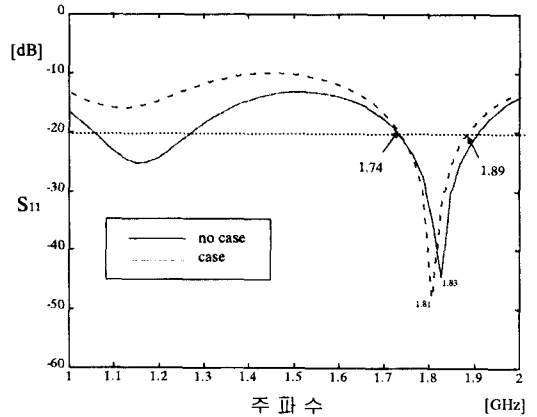


그림 5. 모노폴 안테나가 탑재된 이동통신 전화기의 S<sub>11</sub> 파라미터

Fig. 5. S<sub>11</sub> parameter of monopole antenna.

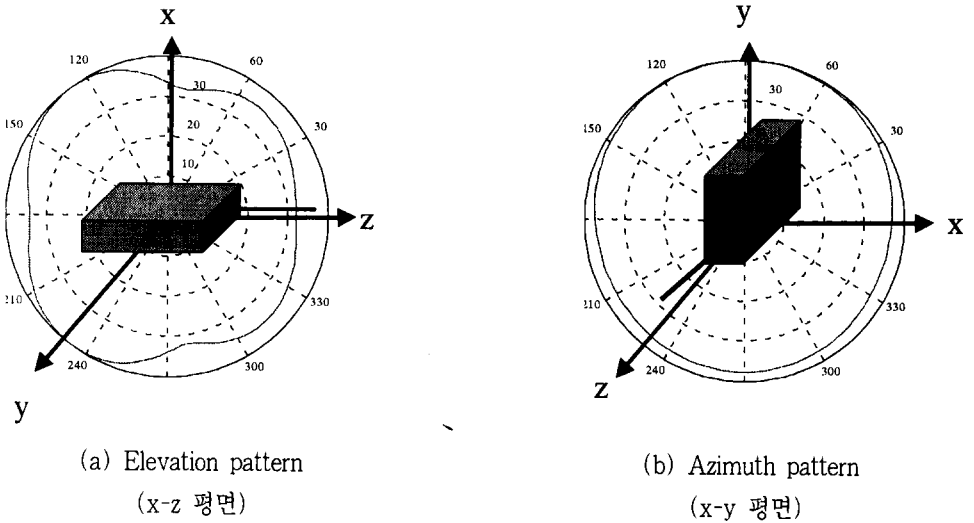
비해 매우 작으므로 고려하지 않았다. 안테나의 접지 역할을 하는 몸체에는 상대 유전율 ε<sub>r</sub> = 2.2인 플라스틱 케이스를 코팅하였고 내부의 밀폐된 상자는 도체로 이루어졌다.

그림 5에 모노폴 안테나가 탑재된 이동통신 전화기에 대하여 식 (6)으로 정의된 S<sub>11</sub> 파라미터를 나타내었다.

$$S_{11} = \left( \frac{Z-50}{Z+50} \right) \tag{6}$$

여기서 Z는 입력 임피던스이고 정합임피던스 50 Ω에 대하여 나타낸 것이다. 케이스가 코팅되지 않은 구조는 1.83 GHz에서 공진이 이루어지며 케이스가 코팅된 구조에 대해 다소 낮은 1.81 GHz의 공진 주파수를 나타낸다<sup>[7]</sup>. S<sub>11</sub> 파라미터가 -20 dB 이하의 값으로 나타나는 1.74 GHz~1.89 GHz의 주파수 대역을 사용가능 주파수로 정하면 (1.89-1.74)/1.81 = 8.2 % 정도의 대역폭을 갖는다<sup>[7]</sup>.

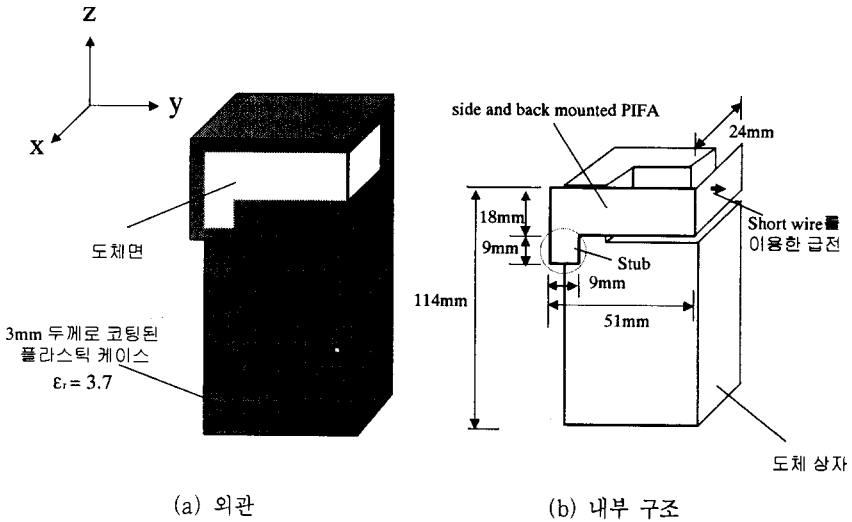
그림 6은 1.81 GHz에서 모노폴 안테나가 탑재된 이동통신 전화기의 전력에 대한 방사패턴을 나타낸 것이다. 전 방향에 대하여 수신전력이 최고지점에 비해 -10 dB이하로 나타나는 방향이 없는 등방적인



(a) Elevation pattern  
(x-z 평면)

(b) Azimuth pattern  
(x-y 평면)

그림 6. 모노폴 안테나가 탑재된 이동통신 전화기의 방사패턴  
Fig. 6. Radiation pattern of monopole antenna.



(a) 외관

(b) 내부 구조

그림 7. PIFA가 탑재된 이동통신 전화기의 구조  
Fig. 7. Structure of PIFA mounted on handheld telephone.

성격을 나타내고 있다.

그림 7은 평면형 안테나인 PIFA의 구조를 나타낸다. 짧은 도선(short wire)를 이용하여 급전이 이루어지고 급전방식은 모노폴 안테나의 경우와 같이 집중회로소자를 이용하였다. PIFA가 탑재된 이

동통신 전화기의 대역폭은 그림 8에서 알 수 있듯이 약 6.1% 정도로 모노폴 안테나가 탑재된 구조에 비해 다소 좁게 나타났다. 본 논문에서 의도하려는 바가 PCS 대역폭 내 일정 주파수의 정현파로 동작하는 모노폴 안테나와 PIFA에 의해 인체

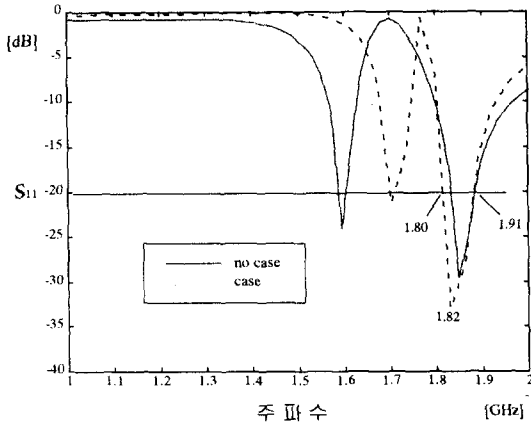


그림 8. PIFA가 탑재된 이동통신전화기의  $S_{11}$  파라미터

Fig. 8.  $S_{11}$  parameter of PIFA mounted on handheld telephone.

두부에 유기되는 SAR의 검출을 위한 것임을 감안하면 이들 두 구조가 1.8GHz 부근에서 동작할 수 있다는 사실이 중요하다.

그림 9의 방사패턴을 살펴보면 그림 6의 모노폴 안테나 방사패턴과 비교해 방위각 패턴에는 큰 변화를 보이지 않았고 양각 패턴(elevation pattern)

에서 비등방성의 변화된 모양으로 나타났다. 평면형 안테나가 부착된 방향과 180° 방향으로 큰 전력이 방사되고 다른 방향에 대해서도 모노폴 안테나의 양각 패턴에 비해 변화가 완만한 것을 알 수 있다.

### 3-2 인체 두부에 유기되는 SAR의 분포

#### 3-2-1 모노폴 안테나에 의해 인체에 유기되는 SAR

우선 계산된 결과를 모노폴 안테나가 탑재된 이동통신 전화기의 경우에 대해 살펴보았다. 적용된 안테나는 3-1절에서 설명한 구조의 모노폴 안테나이다. 그림 10은 인체 두부의 귀 부위에 유기된 SAR의 분포를 1g 평균으로 나타낸 것이다. 모노폴 안테나가 탑재된 이동통신 전화기에 의해 검출된 1g 평균 침투 SAR은 1.3979 W/kg로 나타났다. 이 값은 두부 전체에 분포하는 SAR 중 가장 큰 값으로 최고점이 귀 부근에 존재함을 알 수 있다. FCC의 권고안 1g 평균 침투 SAR의 한계값 1.6 W/kg에 비해 약간 낮은 값으로 나타났다. 같은

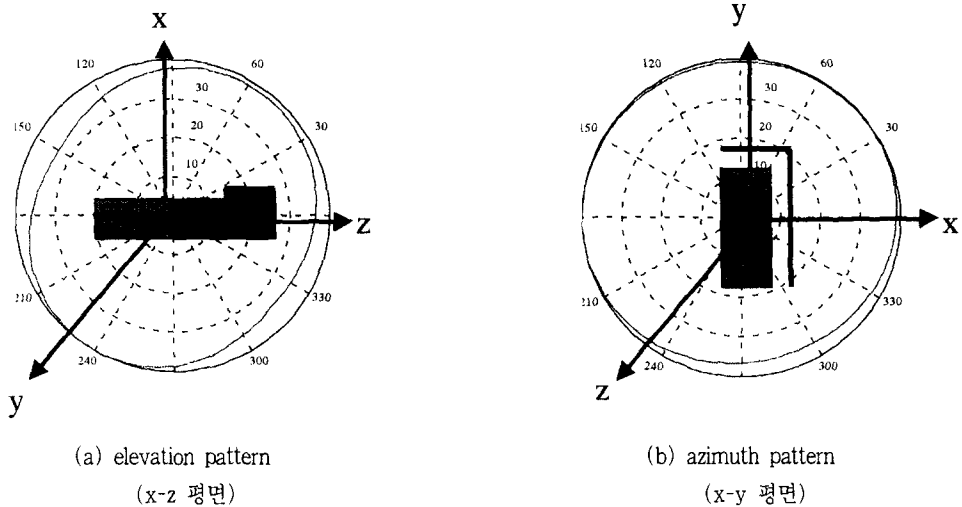


그림 9. PIFA가 탑재된 이동통신 전화기의 방사패턴

Fig. 9. Radiation pattern of PIFA mounted on handheld telephone.

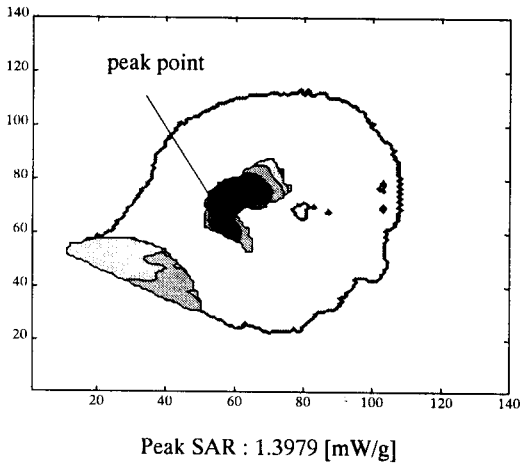


그림 10. 모노폴 안테나가 탑재된 이동통신 전화기에 의해 인체 두부의 표피에 유기된 1g 평균 SAR의 분포

Fig. 10. 1g averaged SAR of human head surface caused by monopole antenna mounted on handheld telephone.

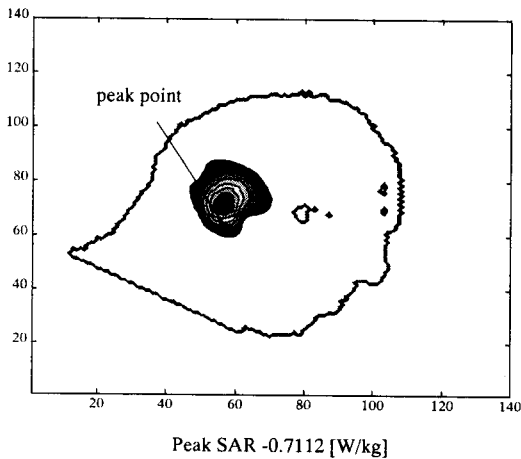


그림 11. 모노폴 안테나가 탑재된 이동통신 전화기에 의해 인체 두부의 표피에 유기된 10g 평균 SAR의 분포

Fig. 11. 10g averaged SAR of human head surface caused by monopole antenna mounted on handheld telephone.

경우 10g 평균에 대한 첨두 SAR은 그림 11과 같

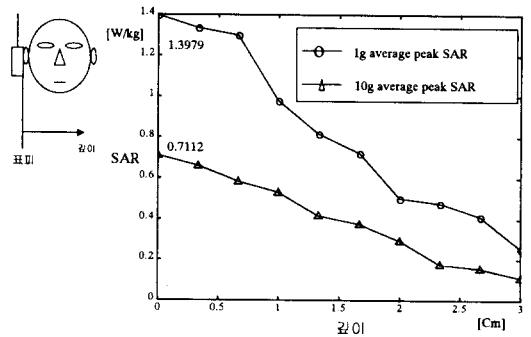


그림 12. 모노폴 안테나에 의한 인체 두부의 깊이에 따른 peak SAR의 변화

Fig. 12. Change of Peak SAR vs. depth of human head caused by monopole antenna.

이 분포하고 0.7112 W/kg으로 1g 평균에 비해 50%가 조금 넘는 수준으로 나타났다. 10g 평균 SAR은 표본화된 질량이 10배에 달하므로 이에 대한 평균이 감소하는 것은 당연한 것으로 생각된다 [9],[10]

그림 12에 표피로부터 인체 두부의 깊이에 대한 1g 평균 및 10g 평균의 첨두 SAR에 대한 변화를 나타내었다. 표피에서 가장 큰 값의 SAR이 나타나고 인체 두부의 내부로 들어갈수록 유기되는 SAR의 값은 감소한다. 1g 평균에 대한 SAR은 1cm 내부 지점 근처에서 급격하게 감소하는 것을 알 수 있고 10g 평균 SAR은 이에 반해 완만한 감소를 보인다. 내부로 2cm 안쪽으로 분포하는 SAR의 값은 0.5 W/kg 이하의 값으로 나타났고 고려할 만한 크기의 SAR은 안테나 방향으로 인체 조직 부근의 깊이 1cm 이내에서 분포하고 있음을 알 수 있다. 그림 13은 양각 패턴과 방위각 패턴에 대해 나타낸 것이다. 그림 6에 인체 두부가 포함되지 않은 해석에서 나타난 패턴에 비해 인체 방향으로 이득에 대한 많은 감소를 보인다. 양각 패턴을 살펴보면 far field에서 이득이 최고 수신전력 방향에 대해 -10 dB 이하가 되는 양각은 360° 중에 210° 정도로 매우 넓게 나타나고 방위각은 90° 정도를



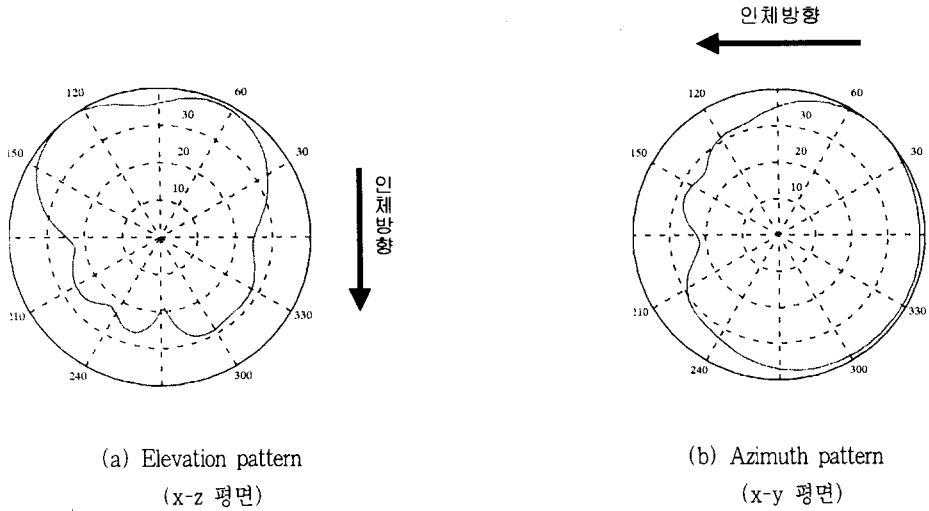


그림 13. 모노폴 안테나와 인체 두부가 포함된 해석영역의 방사패턴

Fig. 13. Radiation patterns of computational domain includes monopole antenna and human head.

차지한다. 전력에 대한 패턴에서 전력 이득이 감소하는 방향은 모두 인체가 존재하는 방향으로 분포하고 있다.

### 3-2-2 PIFA에 의해 인체 두부에 유기되는 SAR

다음은 PIFA가 탑재된 이동통신 전화기에 의해 인체 두부에 유기되는 SAR에 대하여 기술하였다. 인체 두부와 이동통신 전화기를 해석공간에 포함하여 계산하는 단계에서 주파수 영역의 계산은 이루어지지 않았다. 위에서 설명한 PIFA의 주파수 해석영역 계산 결과에서 계산된 공진 주파수를 안테나에 인가하는 정현파의 주파수로 정하여 1.8 GHz 반송파 대역에서 동작하는 경우에 대해 고려하였다. 이 때 전화기 구조만을 포함한 해석과 비교할 때 유전체를 이루는 인체 두부가 추가된 해석구조에서 공진 주파수 특성의 변화를 감수하여야 하는 단점이 있다. 더욱이 전화기와 인체 사이에 간격이 없는 구조에서 이동통신 전화기 부분의 유전체 외곽 플라스틱과 또 다른 유전체인 인체 두부의 표피가 서로 인접하는 경우 공진 주파수의

이동은 더욱 심하게 나타났다. 그러나 흡수 경계면 부근에서 검출되는 전력의 총합이 320 mW가 되게 인가하기 위해 정현파의 전압을 조절함으로써 모노폴의 방사전력 320 mW와 같은 조건의 방사 전력을 갖는 조건을 만족시킴으로써 두 경우에 대해 전력단위의 비교를 행할 수 있다. 그림 14에 두부의 표피에서 유기된 SAR의 1g 평균값에 대한 분포를 나타내고 있다. 모노폴 안테나를 적용한 경우와 비교할 때 최고점의 공간적 위치에는 변화가 없었고 침투 SAR 값은 1.1434 W/kg으로 약 0.36 W/kg 만큼 낮게 나타났다. 반면에 2-2절에서 설명한 안테나의 효율은 62.6%로 모노폴 안테나의 53%에 비해 높았다. 10g 평균에 대한 침투 SAR의 값도 0.4866 W/kg으로 모노폴 안테나를 적용한 경우보다 약 0.22 W/kg만큼 낮은 값으로 나타났다. 안테나의 효율과 인체 두부에 유기되는 SAR의 분포는 서로 반비례하는 것을 알 수 있다. 이러한 사실을 명확히 알아보기 위해 PIFA가 탑재된 이동통신 전화기의 경우에서도 인체 두부의 깊이에 대한 SAR의 분포를 살펴 본 결과는 그림 16과 같다. 전체적으로 0.2~0.4 W/kg 가량의 감소를 보이고

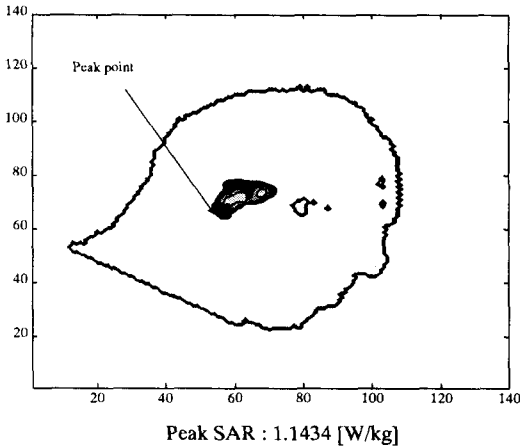


그림 14. PIFA가 탑재된 이동통신 전화기에 의해 인체 두부의 표피에 유기된 1g 평균 SAR의 분포

Fig. 14. 1g averaged SAR of human head surface caused by PIFA mounted on handheld telephone.

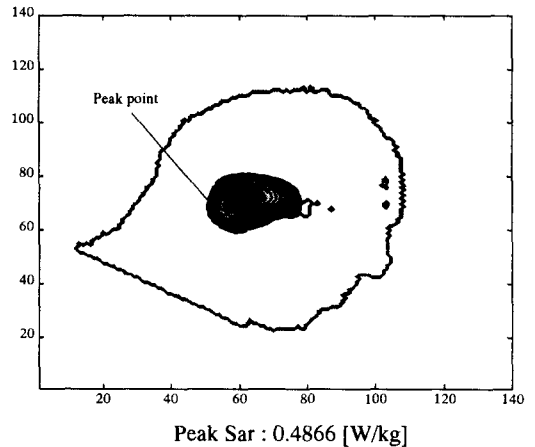


그림 15. PIFA가 탑재된 이동통신 전화기에 의해 인체 두부의 표피에 유기된 10g 평균 SAR의 분포

Fig. 15. 10g averaged SAR of human head surface caused by PIFA mounted on handheld telephone.

있다. 그러나 표피로부터 내부로 들어가면서 측정된 SAR 침투값의 감소율은 큰 차이를 나타내지 않았다. 두부의 내부에 유기되는 SAR의 값은 최고점이 존재하는 귀의 피부조직에서 계산된 SAR의 값에 따라 차이를 나타낸다고 할 수 있다<sup>[11],[12]</sup>.

그림 17에 나타낸 양각 패턴과 방위각 패턴을 살펴보면 모노폴 안테나를 적용한 경우와 마찬가지로 인체조직이 존재하는 방향으로 감소를 보이고 있지만 이득이 -10 dB 이하가 되는 방향의 양각은 90° 내외로 모노폴 안테나의 경우 210°에 비해 좁은 폭으로 나타나고 방위각에서는 큰 폭의 변화를 나타내지는 않았으며 이득이 -10 dB 이하로 분포하는 방향이 약간 하단에서 나타나고 있다. 이러한 사실로 안테나의 효율이 모노폴 안테나에 비해 상대적으로 높은 PIFA를 이동통신 전화기에 부착하여 사용할 경우 인체 두부에서 흡수되는 전력의 양이 감소하며 far field에서 계산된 인체 두부 방향의 이득 분포가 커지는 것을 알 수 있다.

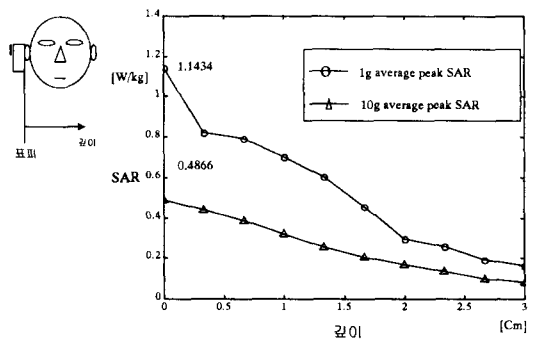


그림 16. PIFA에 의한 인체 두부의 깊이에 따른 peak SAR의 변화

Fig. 16. Change of Peak SAR vs. depth of human head caused by PIFA.

#### IV. 결 론

PCS주파수 대역에서 사용이 가능한 모노폴 안테나와 PIFA를 탑재한 이동통신 전화기에 의해 인체 두부에 유기되는 SAR을 비교·분석하였다.

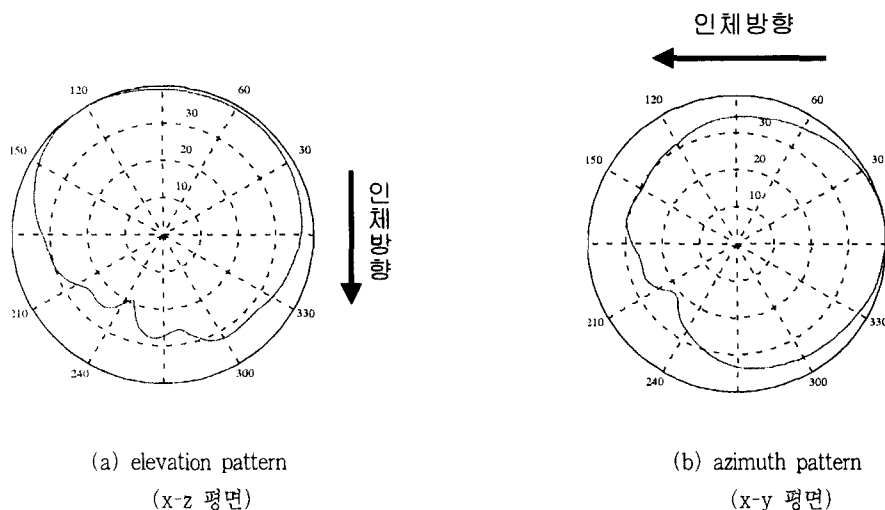


그림 17. PIFA와 인체두부가 포함된 해석영역의 방사패턴

Fig. 17. Radiation patterns of computational domain includes PIFA and human head

SAR의 검출을 위한 사전 작업으로 이루어진 두 안테나의 동작 특성에 대한 FDTD 해석결과를 살펴보면 모노폴 안테나는 PIFA에 비해 넓은 대역폭과 방위각 패턴에서 등방적인 특성을 보였으며 안테나의 몸체를 둘러싸는 유전체의 유전율은 공진 특성에 큰 변화를 주지 않았다. 이 때 모노폴 안테나를 공간적으로 offset한 것은 방위각 패턴과 공진 주파수에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 양각 패턴에서는 하단으로 전력에 대한 이득이 높게 나타났다.  $S_{11}$  파라미터를 살펴보면 PIFA에 비해 모노폴 안테나를 사용할 경우 공진주파수 1.8 GHz 부근에서 약 15 dB 정도 낮게 나타났으며 더 큰 이득을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 평면형 안테나인 PIFA는 몸체에 코팅된 유전체의 유전율에 따라 공진 주파수가 민감하게 변화하는 특성을 보였으며 유전율 3.7로 모노폴 안테나를 탑재한 경우보다 높은 유전율의 매질을 사용하여 1.8 GHz의 공진 특성을 얻을 수 있었다.

두 구조에 대해 같은 전력의 전압원을 급전점에 인가하여도 해석영역의 외곽에 위치한 흡수 경계

면 근처에 도달하는 전력의 양은 서로 다르므로 급전하는 파형 전압의 세기를 조절하여 같은 전력 320 mW로 정규화한 후 해석영역에 인체 두부를 포함시켰다<sup>[13]</sup>. 의도된 공진 주파수 1.81 GHz 주파수를 갖는 정현파를 인가하여 파형이 일정진폭과 일정 주파수를 갖는 시간에서 전력에 대한 시간 평균값으로 1g 평균과 10g 평균 SAR을 검출하였다. 검출된 1g 평균 침투 SAR은 모노폴 안테나가 적용된 구조에서 1.3979 W/kg, PIFA가 적용된 구조에서 1.1434 W/kg으로 나타났으며 10g 평균 침투 SAR은 각각의 구조에 대해 0.7112 W/kg과 0.4866 W/kg으로 1g 평균 침투 SAR에 비해 50% 내외의 값으로 나타났다. 최고점의 공간적 위치는 모두 안테나와 가까운 방향으로 귀 부위의 표피에서 발견되었다. 인체 두부의 내부로 들어가면서 검출된 SAR의 분포를 살펴보면 1g 평균의 경우 내부 지점 0.5 cm 부근에서 급격한 감소를 보였으며 2 cm 내부에서는 그 값이 0.5 W/kg 이하까지 감소하였다. 이에 반해 10g 평균 SAR의 값에 따른 분포는 1g 평균 SAR에 비해 낮은 값의 분포를 보였으나 완만하게 감소하는 것으로 나타났다.

인체가 포함된 해석영역에서 모노폴 안테나와 PIFA가 탑재된 이동통신 전화기를 비교 분석한 결과, PIFA가 탑재된 이동통신 전화기의 효율이 더 높게 나타났고 같은 전력으로 동작할 경우 인체 두부에 유기되는 SAR은 더 낮은 값으로 나타났다.

평면형 구조의 안테나는 모노폴 안테나에 비해 구조의 복잡성과 높은 제작비용이 드는 단점, 대역폭의 개선, 디자인의 문제, 해석 대상체에 손의 구조를 포함하는 문제 등, 아직 많은 문제들이 산재해 있으므로 이에 대한 지속적인 연구가 필요할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] CENELEC, Feb., 1997, Considerations for Human Exposure to EMFs from Mobile Telecommunication Equipment(MTE) in the Frequency Range 30 MHz~6 GHz, European Committe for Electrotechnical Standardization SECRETARIAT SC 211/B WAMTE
- [2] IEEE C95.1-a991, IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Ratio Frequency Electromagnetic Field, 3 kHz to 300 GHz, (Revision of ANSI C95.1-1992)
- [3] N. Kuster, R. Kastle, and T. Schmid, "Domestic Evaluation of Handheld Mobile Communications Equipment with Known Precision," *IEICE Trans. on Communications*, vol. E80-B, no. 5, May, 1997.
- [4] Human Head and Shoulders Mesh with 3 mm cells, REMCOM inc.
- [5] K. S. Kunz and R. J. Luebbers, *The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics*, CRC Press, US, 1993.
- [6] O. P. Gandhi, "Electro Magnetic Absorption in the Human Head and Neck for Mobile Telephones at 835 and 1900 MHz", *IEEE Trans. on Microwave Theory Tech.*, vol. 44, no. 10, Oct., 1996.
- [7] M. A. Jensen and Yahya Rahmat-Samii, "EM interaction of handset antennas and a human in personal communications," *Proceeding of the IEEE*, vol. 83, no. 1, Jan., 1995.
- [8] M. A. Jensen and Y. Rahmat-Samii, "Performance analysis of antennas for hand-held transceiver using FDTD," *IEEE Trans. on Ant. and Propa.* vol. 42, no. 8, Aug., 1994.
- [9] 이애경, "평면파에 노출된 인체 두부의 전력 흡수 해석", *한국전자과학회논문지*, vol. 8, no. 6, 12, 1997.
- [10] B. S. Yildirim and E. Badawy, "Finite-Difference Time Domain Analysis of a Dual Resonance and Shielded Cellular Antenna," *IEEE Trans. on Microwave Theory Tech.*, vol. 48, no. 12, June, 1997.
- [11] O. P. Gandhi and J. Y. Chen, "Electromagnetic absorption in the human head form experimental 6-GHz handheld transceivers," *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, vol. 37, no. 4, pp. 547-558, Nov., 1995.
- [12] M. Okoniewski and M. 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.
- [13] 한국정보통신기술협회, 800 MHz대 디지털 이동전화 무선인터페이스 표준, 정보통신단체 표준, 7, 1997.

박 주 덕



1997년 2월: 충북대학교 정보통신 공학과(공학사)  
1999년 2월: 충북대학교 정보통신 공학과(공학석사)  
[주 관심분야] 전자장해석, 전자파 인체영향 분석, FDTD 프로그래밍

김 남



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과(공학사)  
1983년 2월: 연세대학교 전자공학과(공학석사)  
1988년 2월: 연세대학교 전자공학과(공학박사)  
1992년 8월~1993년 8월: 미 Stanford 대학교 방문교수  
1989년~현재: 충북대학교 전기전자공학부 교수  
[주 관심분야] 전자파 인체보호규격, 전자파해석, 전파전파, EMI/EMC