

# Mobi-Kids Study: 휴대전화의 전자파 노출량 평가

## I. 노출 유형 분석

### Mobi-Kids Study: Exposure Assessment of Electromagnetic Radiation from Mobile Phones I. Analysis on Exposure Types

이애경 · 위현호\* · 윤용현\* · 김대건\*\* · 소재상\*\* · 이병제\* · 최형도

Ae-Kyoung Lee · Hyunho Wi\* · Yonghyun Yoon\* · Dae-Keon Kim\*\* ·  
Jae-Sang So\*\* · Byungje Lee\* · Hyung-Do Choi

#### 요 약

Mobi-Kids 연구의 노출량 평가 분야에는 4개국이 참여하고 있다. 각 국은 해당 지역 또는 자국의 통신 환경 및 통신 방식 등을 고려하여 평가를 수행하고, 그 결과는 휴대전화로부터 복사되는 무선주파수 및 극저주파수의 어린이 및 청소년 노출에 대한 중추신경계 발달 영향을 평가하기 위해 환자-대조군 대상자의 누적 노출량 평가에 활용된다. 본 논문에서는 Mobi-Kids 연구의 노출량 평가 프로토콜에 따라 과거 약 10년간 우리나라에서 사용 해온 휴대전화의 노출 유형을 분석한다. 국내 출시 휴대전화 모델 조사, 그 결과를 바탕으로 한 노출 유형 분류, 수치해석적 대표 휴대전화 설계 방법, 그리고 휴대전화의 ELF 복사 측정 등을 주요 내용으로 한다.

#### Abstract

Four countries are participating in exposure assessment for Mobi-Kids Study. Each country evaluates RF and ELF exposure from mobile phones considering telecommunication system and environment in the corresponding area. The results will be used to determine accumulation exposure level of each subject in case and control groups to assess the potential carcinogenic effects of childhood and adolescent exposure to radio frequency(RF) and extremely low frequency(ELF) from mobile phones on the central nervous system. This paper analyzes exposure types of mobile phones which have been used in Korea for about 10 years, based on Mobi-Kids protocol. It includes investigation of mobile phone models released in the domestic market, design of numerical phone models to represent each exposure type, and measurement of ELF radiation from mobile phones.

Key words : Mobi-Kids, Mobile Phone, Human Exposure, SAR, Brain Tumour, RF, ELF

#### I. 서 론

1980년대 초반에 휴대전화가 처음 도입된 이래 현재 수많은 국가에서 급격한 사용 증가를 보이고

「본 연구는 미래창조과학부가 지원한 2013년 정보통신·방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음.」

한국전자통신연구원 전자파환경연구실(EM Environment Research Team, ETRI)

\*광운대학교 전파공학과(Dept. of Wireless Communications Engineering, Kwangwoon University)

\*\* (주)에이치시티 인증사업본부(Certification Division, HCT Co., Ltd.)

· Manuscript received August 27, 2013 ; Revised October 4, 2013 ; Accepted October 10, 2013. (ID No. 20130827-078)

· Corresponding Author : Ae-Kyoung Lee (e-mail: aklee@etri.re.kr)

있다. 이 기술은 우리에게 편리함과 동시에 건강과 안전성에 대한 우려를 가져왔다. 2000년 휴대전화에서 복사되는 전자파(당시 RF 전자파)가 발암 위험을 증가시키는지 조사하기 위해 13개국(15개 기관)에서 INTERPHONE Study를 수행하게 되었다. INTERPHONE Study는 30세에서 59세 사이 연령에서 휴대전화 RF 전자파 노출과 뇌종양 발생 위험성과의 관련성을 조사하기 위한 환자-대조군 연구로서, 2000년부터 2004년 사이에 뇌종양 환자를 모집하였으며, 그 결과 10년 이상 휴대전화를 사용한 경우 사용한 뇌쪽에 신경교종 및 청신경초종의 의미 있는 증가를 보이는 것으로 보고되었다<sup>[1][2]</sup>. 한편, INTERPHONE Study 시작 시점만 해도 어린이의 휴대전화 사용이 비교적 흔치 않았기 때문에 아동기 또는 청소년기의 노출 위험에 대한 정보가 거의 없었다. 그러나 최근 어린이와 청소년의 휴대전화 사용이 크게 증가하고 있으며, 더구나 성장이 끝나지 않은 때에 전자파 노출로 인한 잠재적 위험성에 대한 우려 또한 점차 높아지고 있다. 따라서 많은 국가들 및 세계보건기구(WHO, World Health Organization)와 같은 국제 기구에서는 어린이 및 청소년의 전자파 노출에 대한 영향 연구를 권고하고 있다. 약 10년 전에는 어린이들의 휴대전화 사용이 지금처럼 일반적이지 않았으므로, RF 전자파 노출과 발암 위험성의 관련성을 탐지할 수 있을만한 충분한 표본수를 얻기 위해서는 여러 국가가 참여하는 것이 매우 중요하다. 이러한 배경에서 Mobi-Kids Study가 2009년 시작, 현재 총 16개국이 참여하고 있으며, 우리나라는 단국대학교 의대와 한국전자통신연구원(ETRI)이 각각 환자-대조군 자료 수집과 노출량 평가를 위해 2011년 하반기에 합류하였다.

Mobi-Kids 연구는 ~2014년 노출량 평가, ~2015년 환자-대조군 대상자 정보 수집, 2016년 결과 분석 예정이다. Mobi-Kids 연구의 노출량 평가에는 4개국의 4개 기관이 참여하고 있다. 영국 PHE(Public Health England)는 휴대전화기로부터 복사되는 극저주파 자기장에 대한 노출량 평가, 프랑스 FT(France Telecom), 일본의 TMU(Tokyo Metropolitan University) 및 ETRI는 주로 휴대전화의 RF 대역 전자파 복사에 대한 노출량 평가를 수행하고 있다. 각국은 해당 지역 또는 자국의 통신 환경 및 통신 방식 등을 고려하여

자체 평가를 수행하고, 그 결과를 제공해야 한다. 본 논문에서는 Mobi-Kids의 연구 프로토콜에 따라 우리나라에서 과거 약 10년간 출시된 휴대전화 모델을 조사하고, 통신방식 및 단말기의 하드웨어적 측면에서 노출 유형을 분석한다.

먼저 통신 방식에 따라 단말기로부터 무선주파수(RF: Radio Frequency) 이외에 극저주파수(ELF: Extremely Low Frequency) 복사가 나타나는 경우가 있다. 따라서 노출량 평가 수행에 있어 극저주파수 성분을 고려해야 하는지를 판단하기 위해 국내에서 사용되는 통신방식과 유럽에서 주로 사용되는 통신방식의 극저주파수 복사 비교 측정을 수행하였다. 그리고 무선주파수 대역 노출량 평가를 위해 국내 출시 휴대전화의 SAR(Specific Absorption Rate) 패턴 측정을 통해 노출 유형별 대표 휴대전화 모델 개발 방법을 분석한다.

## II. 극저주파수(ELF)의 고려

### 2-1 개요

Mobi-Kids Study는 INTERPHONE Study의 수행 과정에서 얻은 경험을 바탕으로 환자군과 대조군의 데이터 수집 방법을 개선하고, 공학적으로도 휴대전화에서 복사되는 무선주파수뿐만 아니라 극저주파수 전자파에 대한 노출량도 고려한다.

유럽 국가들은 GSM(Global System for Mobile Communications) 단말기를 주로 사용하며, GSM 시스템의 TDMA(Time Division Multiple Access)는 그 특성 상 매 4.615 ms마다 0.58 ms 펄스가 발생되며, 이로 인해 배터리에서 흘러나오는 전류는 극저주파수 자기장을 복사시킨다. 이에 반해 국내 휴대 단말기는 CDMA(Code Division Multiple Access) 및 FDD(Frequency-Division Duplexing) 방식의 WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access) 기반이므로 극저주파수 복사는 없을 것으로 판단하나, 역학 연구를 위한 노출량 평가는 각 국가의 통신방식, 사용 주파수 등을 면밀히 고려하여 진행되어야 하므로, 가능한 범위에서 서로 다른 통신방식을 갖는 단말기에 대해 극저주파수 자기장을 측정하였으며, 본 논문에서는 평가 방법 및 결과를 간단히 소개하도록 한다.

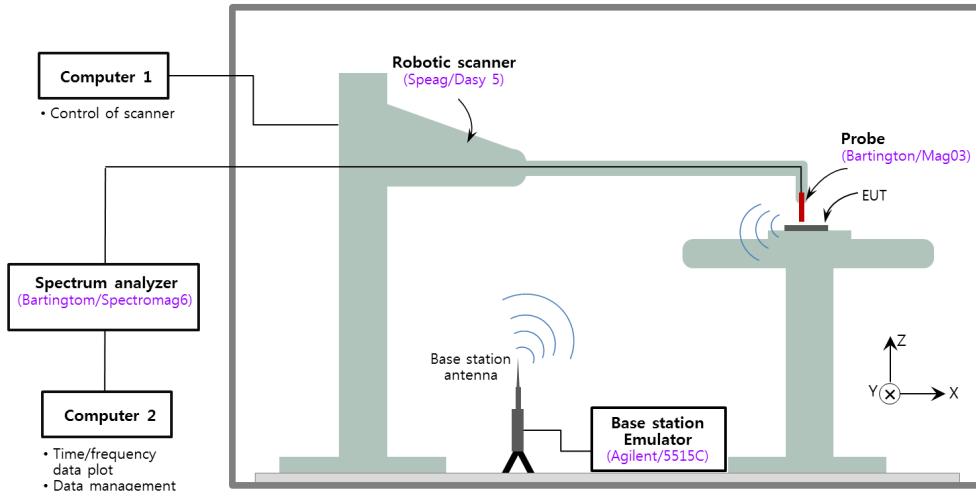


그림 1. 극저주파 자속밀도 측정을 위한 장비와 환경  
 Fig. 1. Equipments and environment for measuring ELF magnetic flux density.

## 2-2 측정 조건

GSM 망에서는 서로 다른 휴대전화들에 대해 시간을 분할하며, 각각 전송시간의 1/8을 할당받는다. 상기 언급한 GSM 펄스 신호를 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform) 시키면 217 Hz(=1/4.615 ms)를 기본파로 하는 신호를 얻으며, 수 kHz 이후 주파수에서는 기본파 레벨의 약 10% 이하 수준을 보인다. 한편, 인체보호 기준의 자속밀도 기준 레벨은 217 Hz에서 23  $\mu$ T이고, 800 Hz까지 주파수에 반비례하다가 그 이후 주파수에서 일정하다. 실제 GSM 단말기 특정 모델에 따른 펄스의 상세한 특성은 참고문헌 [3]을 참고하기 바란다.

휴대전화기에 대해 인체 얼굴이 닿는 면에서 2차원 격자 상의 균일하지 않은 복사 특성을 측정하기 위해 분해능이 우수하고 감도가 좋은 미소 프로브가 요구된다. 이를 위해 몇 가지의 프로브를 조사한 후, 최종적으로 영국 Bartington사의 fluxgate magnetometer인 Mag03-MS 1000<sup>[4]</sup>를 선택하였다.

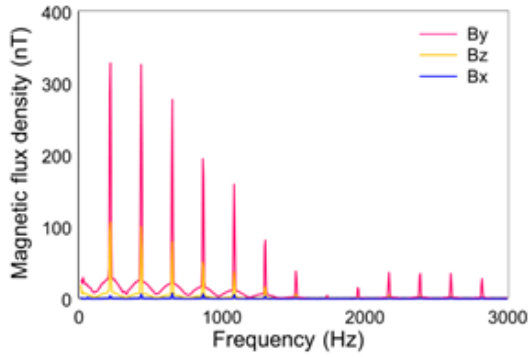
선택한 프로브는 DC~3 kHz 주파수 대역에서 50  $\mu$ T까지의 침투치 측정이 가능하며, 이 프로브 시스템은 주파수 영역 및 시간 영역 분석이 가능한 Bartington/Spectromag6 6채널 스펙트럼 분석기(DC to 3.5 kHz, 샘플링 간격 100  $\mu$ s~10 s, 샘플수는 최대 100,000)를 함께 사용할 수 있다<sup>[4]</sup>. 프로브는 단말기 위 격자 상의 정확한 위치 제어를 위해 낮은 유전율

을 갖는 로봇 스캐너에 장착한 뒤 프로그램으로 위치를 제어하였다. 프로브는 길이 18 mm의 3개의 직교하는 센서들로 구성되어 있으나, 프로브 중심이 일치하지 않는다. y 축 센서가 프로브 가장 끝에 위치하므로 예측되는 자기장의 방향이 y 축과 평행일 때 가장 큰 전압이 유기된다.

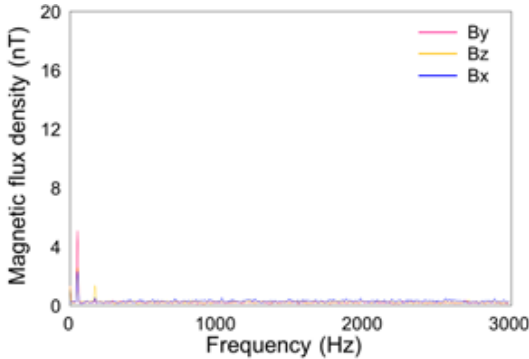
그림 1과 같이 기지국 신호 모의 장비를 이용하여 시험 중에는 휴대전화의 출력이 24 dBm(250 mW)를 일정하게 유지되도록 하고, 배터리의 일정한 동작의 유지가 보장되는 시간 내에 한 단말기에 대한 스캔이 완료하였다. 이를 위해 측정 간격은 10 mm로 일정하게 하고, 휴대전화로부터 자기장이 발생하는 영역을 적절히 커버하기 위해 2차원 스캔 영역은 120 mm×200 mm로 하였다. 따라서 측정 면에서 전체 측정점 수는 273개(13×21)가 된다. 프로브가 포화 레벨(1 mT 이상의 정자기장)을 피하기 위해 단말기 정면으로부터 25 mm 떨어진 높이에서 측정을 수행하였다.

## 2-3 주파수 및 공간 영역의 복사 자속밀도

전체 12개 휴대전화 모델을 시험하였으며, 그 중 일부 결과로 그림 2(a)와 (b)는 각각 GSM과 WCDMA 단말기 한 모델의 주파수 영역 자속밀도 측정값이다. 그림에서 보는 바와 같이, 통신 방식의 차이로 인해 GSM 단말기에서만 명확한 저주파수 복사



(a) GSM 휴대전화  
(a) GSM phone



(b) WCDMA 단말기  
(b) WCDMA phone

그림 2. 주파수 영역의 자속밀도  
Fig. 2. Magnetic flux density in frequency domain.

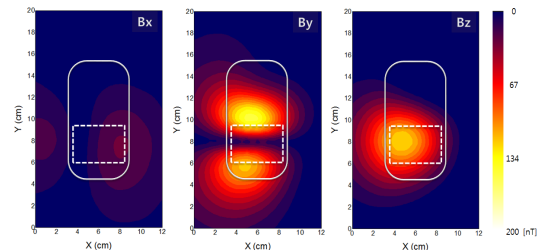
가 나타났으며, WCDMA 및 CDMA의 실험실 동작 상황에서는 연속된 무선주파수 신호만 복사되므로 저주파 복사는 거의 없었다. GSM 단말기 복사에서 앞서 언급한 바와 같이 프로브는 센서 구조 상 y 축 센서가 노출원에서 가장 가깝기 때문에 y축 자속밀도 성분이 가장 높게 관찰되었다.

얼굴이 닿는 단말기 앞면에서 25 mm 이격된 거리에서 그림 1과 같이 2차원 스캔하면서 매 측정 지점의 시간 영역 신호를 Bartington/Spectramag6를 이용하여 주파수 영역의 신호로 변환 및 저장하였다. 그림 2는 2차원 스캔 결과에서 자속밀도 y 성분이 가장 높게 나타난 지점에서의 주파수 영역 신호를 나타낸다. 측정에 사용된 GSM 단말기 6개 시료(EUT-01~EUT06)에 대해 자속밀도 y 성분 공간 침투치(rms)는 217 Hz에서 73~329 nT(GSM1800) 범위에 있었다. 예를 들면 그림 2(a)의 단말기는 자속밀도 y

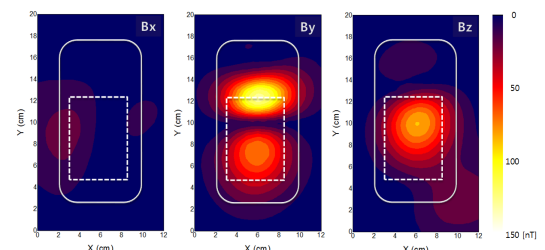
성분 크기가 217 Hz에서 329 nT임을 보인다. 프로브 내 y축 센서가 10 mm 높이에 있으므로 얼굴이 닿는 휴대전화 앞면으로부터 총 35 mm 이격된 거리에서의 값이 된다. 측정된 GSM 단말기의 자속밀도 레벨은 217 Hz에서 인체보호기준 값인 23  $\mu$ T에 비해 수십 내지 수백분의 1에 해당되었다. 기본과 이외에 10개 내지 20개의 고조파 성분을 고려하여 노출지수 합계를 구한다고 해도 인체보호 기준의 자속밀도 기준을 초과하지 않을 것이다. 그러나 단말기에 가까이 갈수록 노출 레벨이 급격히 높아지는 상황을 고려한다면 보다 미세한 프로브로 더 가까운 거리에서 정밀 측정이 필요하다.

그림 3은 측정된 GSM 휴대전화기 중 두 개 모델에 대해 GSM1800 신호(채널 698)를 송신할 때 217 Hz에서의 2차원 스캔으로 측정된 자속밀도 분포를 보이고 있다. 각 분포도 위에 단말기 몸체(흰 실선) 및 배터리 윤곽(흰 점선)을 함께 보이고 있다.

자속밀도 x 성분의 경우 센서의 거리가 다른 방향 센서에 비해 단말기로부터 멀기 때문에 강도가 미약하지만, 측정된 GSM 단말기 6개 모델 모두 배터리의 좌우 양 쪽, y 성분은 위, 아래로 서로 반대 방향의



(a) EUT01



(b) EUT05

그림 3. GSM1800에 대한 217 Hz에서의 자속밀도 분포(좌측부터 Bx, By, 그리고 Bz)  
Fig. 3. Magnetic flux density distribution at 217 Hz for GSM1800(from left, Bx, By, and Bz).

분포를 보이며, z 성분은 배터리 경계선 내부에서 중심원을 나타냈다. 따라서 자속밀도 패턴은 보통 원형 루프 모델에서와 유사하다고 볼 수 있으며, 루프의 중심을 Bz 성분으로부터 판단할 때 두 개 모델은 배터리 위쪽 경계선에 걸쳐 있었으나, 대부분의 경우 배터리의 경계선 안 쪽에 있었다. 제품 별로 최대 복사 레벨의 차이가 크게 나타나지만, 단말기 크기, 배터리 크기, 배터리 형태 등과의 상관성을 찾아보기는 어려웠다.

우리나라는 역학 연구 대상자 모집 및 인터뷰 기간을 2012~2015년으로 계획하고 있다. 3G WCDMA 다음 통신방식으로 약 2011년부터 LTE(Long Term Evolution)가 주로 데이터 통신용으로 서비스를 시작하였으나, 일부 통신사업자는 최근 음성통신 또한 LTE 방식으로 지원하고 있다. 우리나라 LTE는 FDD 방식을 사용하며, 이것은 10 ms의 기본 프레임은 10개 서브프레임으로 구성되고, 1개 서브프레임은 두 개의 슬롯으로 구성되는 구조를 갖는다. LTE는 데이터의 전송량에 따라 반송파의 수 혹은 슬롯의 개수를 가변하여 사용할 수 있다. 따라서 10 ms를 주기로 펄스를 발생시키게 되어 100 Hz를 기본파로 하는 고조파 신호를 예측할 수 있다<sup>5)</sup>. Mobi-Kids 연구 대상자의 LTE 단말기 음성 통화의 예는 거의 없을 것이라고 보지만, 향후 코호트 연구를 진행하고자 할 때에는 LTE 단말기의 음성 통화 시 저주파 자기장 노출에 의한 머리 내 유도 전류 밀도를 고려해야 할 것이다.

결론적으로 Mobi-Kids 연구를 위해 조사된 과거 10여년간 국내 출시 2G 및 3G 휴대전화 모델에 대해서 극저주파수 복사는 고려하지 않기로 하였다. 다음 장에서는 휴대전화로부터 무선주파수 복사에 대한 영향을 역학 조사에 반영하기 위한 연구방법을 분석한다.

### III. 무선주파수(RF) 대역 노출량 평가

#### 3-1 개요

이동통신을 위해 국가, 지역 혹은 시대 별로 FDMA(Frequency Division Multiple Access), TDMA, CDMA 등 다양한 통신 접속 방식을 사용하여 왔으며, 최근에는 이동통신망뿐만 아니라 WiFi를 접속하기

도 한다. 따라서 접속망 등에 따라 복사 주파수나 신호의 특성이 달라진다. Mobi-Kids 연구 프로토콜은 10~24세를 대상으로 과거에 사용한 휴대전화기로부터의 노출량을 조사하여야 하며, 무선주파수 노출량은 휴대전화를 머리에 대고 사용할 때 뇌에서의 전자파 흡수 에너지 분포이다. 즉, Hands free kit이나 loud speaker 등을 사용하지 않는 상태의 음성 통화 시 노출을 말한다. 따라서 휴대전화기로부터 무선주파수 노출은 주로 통신을 위한 의도성 전자파에 의해 발생한다고 볼 수 있다.

우리나라는 미래창조과학부에서 2002년부터 휴대전화의 전자파 흡수율(SAR)을 법으로 규제하여왔다. 따라서 그 이전의 휴대전화 모델에 대한 기술적 자료는 실질적으로 찾기 어렵기 때문에 2002년부터 현재까지 모델들에 대해 인터넷 및 해당 제조업체와의 협조 하에 SAR 시험성적서 등의 데이터를 토대로 노출 유형을 조사하였다. 2002년 이전에는 어린이가 휴대전화를 소유하는 예가 실제 드물었으며, 현재까지 모집된 환자 및 대조군의 대상자가 사용하였던 휴대전화 모델 조사에서도 그 이전의 모델은 존재하지 않는다.

약 2000년대 중반까지 CDMA 서비스(셀룰라, PCS)가, 그 이후에는 점차 WCDMA 서비스로 전환되어 왔다. 휴대전화기 외형을 살펴보면 몸체 바깥에 장착되어 있던 휘 또는 헬리컬 안테나 형태 역시 2000년대 중반 이후 거의 자취를 감추었다. 바(bar), 플립(flip) 또는 슬라이드(slide)와 같이 휴대전화기의 몸체 구조 또한 시대 별로 차이를 보였다. 이동통신 서비스와 구조의 이러한 시대적 변화는 전자파 흡수 분포에 영향을 미치는 인자이므로 평가에 적절히 반영되어야 할 인자이다.

먼저 과거부터 현재까지의 휴대전화 노출에 대한 무선주파수 대역 노출량 평가를 위해 먼저 우리나라에서 출시된 모델들을 대상으로 송신 주파수 대역, 몸체 구조, 안테나의 외장 또는 내장 등에 따라 분류하고, 동일 범주 안에 있는 단말기들을 대표하는 수치해석용 휴대전화 모델을 설계하여야 한다. 노출량 평가에 있어 대표 휴대전화 모델은 해당 범주 내의 상용 단말기들의 SAR(Specific Absorption Rate) 패턴과 유사해야 함을 의미한다.

그 다음 단계로 대표 휴대전화 모델로부터 전자

파 복사에 대해 연령별 머리 모델 내 SAR이 계산되어야 한다. Mobi-Kids에서 연령별 머리 모델은 스위스 IT'IS foundation에서 개발한 4 개 인체 모델<sup>[6]</sup>, 34세 Duke(남), 14세 Louis(남), 11세 Billie(여) 그리고 8세 Eartha(여)의 머리 부위를 적용하기로 결정하였다. 우리는 휴대전화 통화 시에 한 자세에서만 통화하지 않는 경우가 많다. 따라서 한 개 휴대전화 모델에 대해 한 머리 모델 내의 SAR 분포를 계산할 때, 서로 다른 5 가지 사용 위치를 고려하여 평균하도록 하였다. 이 결과들은 다음 단계에서 누적 노출량을 구하는 기본 데이터로 사용된다.

마지막 단계에서 역학 조사에 참여한 대상자가 구입하여 사용하였던 단말기들에 대해 가장 유사한 휴대전화 대표모델을 결정하고, 사용 당시의 가장 가까운 연령의 머리 모델에 대한 SAR 계산 분포를 선택하여 뇌에서 누적된 노출 분포를 평가하게 된다.

본 논문에서는 국내 출시 휴대전화 모델을 조사하고, 주파수와 외형(여는 방식 및 안테나 위치)에 따라 분류한 뒤, 각 유형 별 휴대전화 대표 모델을 구현하는 과정을 분석한다.

### 3-2 국내 출시 단말기 모델과 분류

그림 4는 우리나라 주요 제조업체에서 2002년부터 출시된 휴대전화 모델을 서비스 주파수, 안테나 형태 및 몸체 구조에 따라 구분하여 각각 차지하는

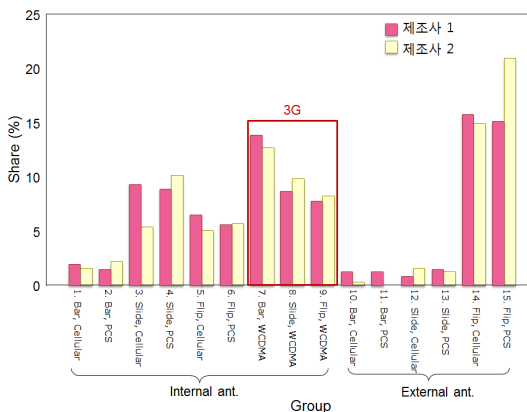


그림 4. 주파수, 안테나 및 휴대전화 형태에 따른 휴대전화 범주화

Fig. 4. Categorization of mobile phones on frequency, antenna, and phone shape.

비율을 나타낸 것이다. 제조사에 따라 비율 경향에 큰 차이를 보이지 않으며, 각 그룹 간에는 비율에 상당한 차를 보인다. 2G 단말기의 바(bar) 형태는 안테나가 외장이든 내장이든 관계없이 셀룰라(Group 1 및 10) 및 PCS(Group 2 및 11) 모두 2 % 미만을 차지하는 데 반해 WCDMA(Group 7)는 10~15 %를 차지한다.

외장형 안테나를 갖는 단말기의 경우에는 플립 형태가 대부분임을 볼 수 있다. 그러나 아무리 비율이 미미한 그룹이라 할지도 역학조사 대상자가 사용한 단말기 모델이 포함된다면 SAR 분포가 반드시 필요하므로 이 그룹을 대표하는 휴대전화 모델을 구현하도록 한다.

상기의 범주화에 내장형 안테나의 위치 및 외장형 안테나의 유형(휨 또는 헬리컬)이 구분되지 않았다. 바(bar) 형태의 내장형 안테나는 확인된 모든 단말기 모델의 안테나가 몸체 하단에 위치하였기 때문에, 바(bar) 형태의 내장형 안테나를 갖는 단말기 모델에서는 하단 안테나만 고려하도록 하며, 슬라이드와 플립형 단말기에 대해서 내장 안테나의 위치를 상단 및 하단으로 구분하기로 한다. 내장형 안테나는 IFA(Inverted F Antenna), PIFA(Planar Inverted F Antenna), 모노폴, 루프 등 다양한 형태를 가지나 국내 출시 단말기들을 조사한 결과, PIFA 형태의 내장형 안테나가 가장 흔하며, 내장형 안테나에 있어 SAR 패턴에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 안테나의 형태보다는 위치이다. 따라서 본 연구에서는 내장형 안테나 단말기 모델에서는 PIFA로 설계하고, 단말기 몸체 내 위치만을 구분하도록 한다.

국내 출시 단말기의 외장형 안테나의 경우에는 그림 3에 나타낸 3가지 유형으로 구분된다; 헬리컬 안테나가 고정된 수납형(휨 안테나를 넣었다 뺄 수 있는) 안테나, 헬리컬 안테나 그리고 헬리컬 안테나가 고정되지 않은 수납형 안테나이다.

그림 5(a)의 수납형 안테나는 단말기 몸체에 헬리컬 안테나가 고정되어 있고, 휨 안테나를 뽑으면 휨 안테나가 헬리컬 안테나와 전기적으로 연결되어 둘 다 동작하는 형태가 된다. 따라서 통화 대기 상태에서는 일반적으로 헬리컬 안테나만 동작한다. 그림 5(b)는 헬리컬 안테나로, 경우에 따라 휨 로드 헬리컬이나 헬리컬 로드 휨의 형태가 사용되기도 한다.

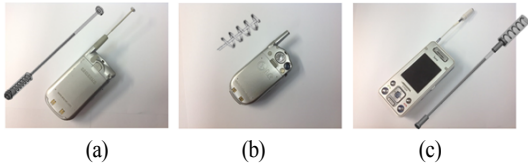


그림 5. 단말기의 외장형 안테나 유형, (a) 헬리컬 안테나 고정 수납형 안테나, (b) 헬리컬 안테나 (c) 헬리컬 안테나 고정되지 않은 수납형 안테나

Fig. 5. External antenna types of a mobile phone (a) Retractable antenna with a fixed helix, (b) Helical antenna, (c) Retractable antenna with an un-fixed helix.

그림 5(c)는 안테나를 뽑지 않았을 때 헬리컬 안테나만 동작하며, 뽑았을 때에는 전기적으로 헬리컬 안테나와 분리되도록 하여 휩 안테나만 동작하도록 되어 있는 구조이다. 그림 5(a)와 (c)는 안테나를 뽑지 않았을 때 SAR 패턴이 (b)와 유사하며, 뽑았을 경우에는 휩 안테나만 있는 구조와 유사하게 된다. 따라서 외장형 안테나를 갖는 단말기 모델에 있어서는 헬리컬 안테나와 휩 안테나 두 가지 종류를 구분하여 대표 모델을 설계하도록 한다.

이제까지 논의된 내용을 바탕으로 모델링할 수치 해석용 대표 단말기 모델의 종류는 표 1과 같다. 조사된 바(bar) 형태 단말기가 내장형 안테나를 갖는 경우 모두 안테나 위치가 몸체 아래에 있었다. 따라서 표에서 보는 바와 같이 내장형 안테나를 갖는 바(bar) 형태 단말기 모델은 한 가지이다. 우리나라 2G 및 3G 이동통신 주파수는 시기와 사업자에 따른 변화가 있으나, 824~849 MHz(셀룰라), 1,750~1,780 MHz(PCS) 및 1,920~1,980 MHz(WCDMA)이다. 세 가지 주파수를 별도로 다루는 경우 평가량이 지나치게 많다. 그러나 PCS와 WCDMA는 SAR 분포 간에 큰 차이가 없으므로 1,850 MHz 한 개 주파수에서 평가하는 것으로 결정하였다. 따라서 각 모델 Model\_1~Model\_8의 내장형 안테나는 835 MHz와 1,850 MHz의 dual band로 설계하고, Model\_9~Model\_15의 외장형 안테나는 앞서 언급한 바와 같이 헬리컬 안테나와 휩 안테나 두 가지 종류를 구분하되, 외장형 안테나는 2G 서비스에 대해서만 사용되었으므로 1,850 MHz 대신 1,750 MHz를 적용하기로 하였다.

표 1. 무선주파수 노출평가용 휴대전화 모델  
Table 1. Mobile phone models for RF exposure assessment.

모델	그룹 <sup>1)</sup>	몸체 <sup>2)</sup>	안테나 <sup>3)</sup>	주파수
M_1	1,2,7	B	I, Bottom	835, 1,850
M_2	3,4,8	S, C	I, Bottom	835, 1,850
M_3	3,4,8	S, O	I, Bottom	835, 1,850
M_4	3,4,8	S, C	I, Top	835, 1,850
M_5	3,4,8	S, O	I, Top	835, 1,850
M_6	5,6,9	F	I, Bottom	835, 1,850
M_7	5,6,9	F	I, Top	835, 1,850
M_8	10,11	B	E, Whip	835, 1,765
M_9	10,11	B	E, Helix	835, 1,765
M_10	12,13	S, C	E, Whip	835, 1,765
M_11	12,13	S, C	E, Helix	835, 1,765
M_12	12,13	S, O	E, Whip	835, 1,765
M_13	12,13	S, O	E, Helix	835, 1,765
M_14	14,15	F	E, Whip	835, 1,765
M_15	14,15	F	E, Helix	835, 1,765

<sup>1)</sup> 그림 4의 15개 그룹 참조.

<sup>2)</sup> B=Bar, S=Slide, C=Closed, O=Open, F=Flip.

<sup>3)</sup> I=Internal, E=External.

### 3-3 휴대전화 모델링

표 1의 분류에 따라 국내 출시 단말기 모델 약 800종의 주요 사양을 조사하였다. 표 1의 각 모델에 해당하는 상용 단말기들의 평균 크기에 준하는 단말기들을 우선적으로 구입하여 그림 6에서와 같이 평면형 팬텀에서 SAR 패턴을 측정하도록 한다. 표준 시험에 사용되는 평면형 팬텀<sup>7)</sup>의 외피 두께는 일반적으로 2 mm이며, 팬텀 내 측정 높이는 프로브 센서의 위치에 의존한다. 단말기 모델의 표면(귀에 닿는 앞면)을 모두 커버하는 직사각형 형태의 측정 영역에서의 SAR 분포를 획득한다. 이때 단말기의 수화부는 패턴의 기준점이 되므로 주의하여 위치를 기록하여야 한다.

측정된 SAR 패턴은 표 1의 각 단말기 모델을 설계하는 지표로서 사용된다. 예를 들면 Model\_1은 cellular 대역 및 PCS 또는 WCDMA 대역에서 동작하는 바(bar) 형태의 대표 단말기 모델이다. 그림 7은 이에 해당하는 실제 상용 단말기 모델들 중 PCS 또는 WCDMA 대역에서 동작하는 5개 모델의 SAR 측

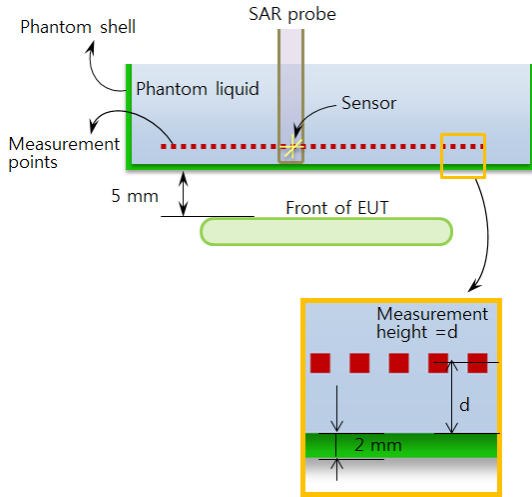


그림 6. 평면형 팬텀에서 SAR 패턴 측정  
Fig. 6. SAR pattern measurement in a flat phantom.

정 패턴이다. 측정 시스템은 우리나라 EMF Safety사 Essay Quick SAR로서 패턴 상의 흰 점들은 팬텀 내부에 프로브가 고정된 프로브의 위치를 가리킨다. 측정 시 수화부 위치를 팬텀 상의 동일한 곳에 위치하도록 하였으며, 모두 하단에 첨두치가 나타나는 비슷한 분포를 보이고 있다. 즉, 내장형 안테나는 모두 하단에 있음을 확인할 수 있으며, 첨두치와 수화부 간 거리는 약 80~95 mm에서 발생함을 볼 수 있다. 표 1에서 동일 모델에 해당하는 즉, 동일 노출 유형을 갖는다고 가정되는 단말기들의 SAR 패턴으로부터 노출 평가에 사용할 대표 휴대전화 모델을 설계하게 된다. 따라서 Model\_1은 1,850 MHz에서 SAR을 계산하였을 때 첨두 SAR 지점과 수화부 간 거리가 측정된 SAR 패턴에서의 평균 거리와 유사하게 발생해야 하며, 그림 7의 패턴들과 비교하여 SAR 첨두값의 -1, -2, -3 dB 영역이 유사하도록 안테나 위치 및 형태를 설계하고, 첨두 SAR 레벨은 조사된 단말기들의 평균값이 되도록 조정해야 한다. 수화부와 첨두 SAR 간의 수직 축 거리의 목표치는 산술적 평균치를 사용할 것이다. 첨두 SAR 값의 좌우 위치는 feed 위치나 ground 형태에 영향을 받으므로 보통 정중앙이 아닌 단말기 중심축에 대해 좌 또는 우 측에 발생한다. 따라서 좌우 위치는 측정된 패턴에서 다수의 패턴이 갖는 발생 영역을 따르도록 한다. SAM 팬텀에서의 측정 및 해석을 통해 개발된 대표모델과

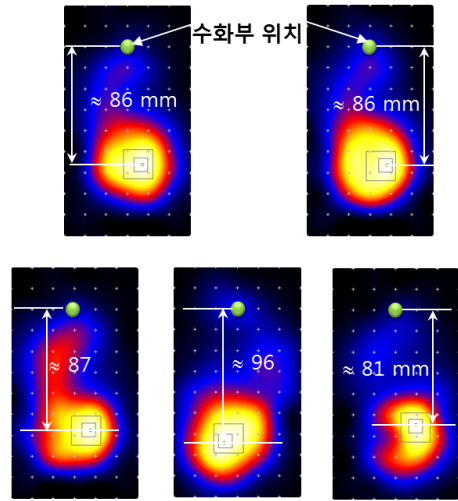


그림 7. PCS 또는 WCDMA 대역에서 동작하는 휴대전화 5 모델의 SAR 패턴(첨두치로 정규화된 분포)  
Fig. 7. SAR pattern of 5 mobile phones operating at PCS and WCDMA frequencies.

특정 모델의 SAR 패턴 간의 상관성을 향상시키도록 한다. 다른 Model\_2~Model\_15도 유사한 방법으로 모델을 설계하도록 한다.

#### IV. 결 론

현재 Mobi-Kids 연구의 노출량 평가를 위해 우리나라에서 SAR 적합성 시험을 실시하기 시작한 약 2002년부터 최근까지 출시된 단말기 약 70 모델을 구입하여 평면형 팬텀에서 SAR 패턴을 측정하고 있다. 이 결과를 분석하여 유형별 노출 평가를 위한 대표 휴대전화 모델을 설계하고, 해부학적 모델에서 SAR을 계산할 예정이다. 우리나라에서 사용되어온 CDMA 또는 WCDMA 방식의 단말기들에서는 극저주파수 복사가 매우 낮은 것으로 확인되었다. CDMA 시스템이 경우에 따라 다중 경로 전파로부터 발생하는 페이딩(fading)이 단말기 전력 레벨에 변동을 초래하여 극저주파수 복사로 이어지더라도 일시적이고 미미한 수준일 것으로 본다.

본 논문에서 서술한 평가 방법에서 큰 골격만 Mobi-Kids 연구 참여 국가들 간에 합의된 프로토콜에 따른다. 따라서 수행 과정 중에 휴대전화 모델의 유형의 종류와 대표 모델 설계 범위 등은 각국의 통

신 방식 및 출시 모델의 경향에 따라 차이가 있을 수 있으므로 세부 사항은 지속적으로 구체화될 것이다. 이후에는 구현된 대표 휴대전화 모델들에 대한 연령별 SAR 평가 및 역학 조사 대상자의 누적 노출량 평가 방법을 분석할 것이다.

### References

[1] Elisabeth Cardis et al., "Brain tumor risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study", *International Journal of Epidemiology*, pp. 1-20, 2010.

[2] Interphone study reports on mobile phone use and brain cancer risk, Press Release N° 220, IARC, WHO, May 2010.

[3] N. Perentos et al., "Characterization of pulsed ELF magnetic fields generated by GSM mobile phone handsets", *IFMBE Proceedings*, vol. 14/4, pp. 2706-2709.

[4] www.bartington.com, Bartington Instruments, "Ope-

ration manual for Mag-03 three-axis magnetic field sensors".

[5] 최수나 외, "음향 기기 및 TV 방송 수신기의 내성 시험용 기준 신호 분석", *한국전자과학회논문지*, 23(7), pp. 805-814, 2012년 7월.

[6] A. Christ et al., "The virtual family-development of surface-based anatomical models of two adults and two children for dosimetric simulations", *Phys. Med. Biol.*, vol. 55, pp. N23-N38, 2010, <http://www.itis.ethz.ch>

[7] Human Exposure to Radio Frequency Fields From Hand-Held and Body-Mounted Wireless Communication Devices-Human Models, Instrumentation, and Procedures, Part2: Procedure to determine the specific absorption rate(SAR) for wireless communication devices used in close proximity to the human body(frequency range of 30 MHz to 6 GHz), International Electrotechnical Committee, Geneva, Switzerland, IEC 62209-2, Mar. 2010.

### 이 애 경



1990년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학사)  
 1992년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1992년 1월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원  
 2003년 8월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)

2007년 7월~2008년 6월: 미국 NIST Radio-Frequency Fields Group 방문연구원  
 [주 관심분야] 전자파 인체 노출 평가

### 윤 용 현



2005년 2월: 충주대학교 컴퓨터공학과 (공학사)  
 2009년 1월~2011년 2월: (주)미네르바 연구원  
 2011년 2월~현재: 광운대학교 전자공학과 석박사통합과정  
 [주 관심분야] 이동통신 안테나 시스템

### 위 현 호



2009년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)  
 2009년 2월~현재: 광운대학교 전자공학과 석박사통합과정  
 [주 관심분야] MIMO 안테나

### 김 대 건



2009년 2월: 한국산업기술대학교 전자공학과 (공학사)  
 2009년 3월~현재: (주)HCT 인증사업부 OTA & SAR Test Engineer  
 [주 관심분야] MIMO Antenna 성능 평가

### 소 재 상



2003년 2월: 여주대학 전자과  
 1999년 3월~2000년 5월: 현대전자  
 교정실 전기 및 전자파분야 교정  
 담당  
 2000년 6월~2008년 8월: (주)HCT  
 교정사업부 Call Simulator Auto  
 Cal Program 개발, SAR Probe 교

정 국내화 프로젝트 수행  
 2008년 8월~현재: (주)HCT 인증사업부 SAR 팀장  
 [주 관심분야] PXI 플랫폼 기반 측정 자동화 및 경량화

### 최 형 도



1986년 2월: 고려대학교 재료공학  
 과 (공학사)  
 1989년 8월: 고려대학교 재료공학  
 과 (공학석사)  
 1996년 8월: 고려대학교 재료공학  
 과 (공학박사)  
 2004년 6월~2005년 12월: 한국전과

진흥협회 부설 EMC 기술지원센터장  
 1997년 1월~현재: 한국전자통신연구원 전자파환경연구  
 실 실장  
 [주 관심분야] 전자파 인체 노출량 평가, 전자파 저감 소  
 재 및 부품 등

### 이 병 제



1988년 2월: 경북대학교 전자공학  
 과 (공학사)  
 1993년 12월: 미국 Southern Illinois  
 University 전자공학과 (공학석사)  
 1997년 5월: 미국 Southern Illinois  
 University 전자공학과 (공학박사)  
 1997년 6월~1998년 2월: 삼성전자

정보통신연구소 선임연구원  
 1998년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 교수  
 [주 관심분야] 안테나 시스템 해석 및 설계, 전자기파 인  
 체영향 분석, 휴대단말용 내장형 안테나, MIMO 안테나,  
 투명 안테나, RFID/NFC 안테나, 무선충전용 안테나, 고  
 출력 안테나, 위성 및 레이더 안테나