

# Mobi-Kids Study: 휴대전화의 전자파 노출량 평가 II. 머리 SAR 및 누적노출 평가 방법

## Mobi-Kids Study: Exposure Assessment of Electromagnetic Radiation from Mobile Phones II. Evaluation Method of Head SAR and Cumulative Dose

이애경 · 홍선의 · 최경화\* · 하미나\* · 최형도

Ae-Kyoung Lee · Seon-Eui Hong · Kyung-Hwa Choi · Mina Ha · Hyung-Do Choi

### 요 약

본 논문은 Mobi-Kids 연구의 노출량 평가를 위해 휴대전화 대표 모델에 대해 연구 프로토콜에 따른 SAR 계산 방법을 분석하고, 역학조사 대상자가 사용한 휴대전화의 무선주파수 누적 노출량을 평가하는 방법을 제안한다. 휴대전화 대표 모델의 출력을 동일하게 가정하고, 서로 다른 연령의 4개 머리 모델에서의 SAR 분포를 계산하여 데이터베이스를 구축한다. 역학조사 대상자가 사용한 특정 휴대전화 모델의 머리 SAR은 SAR 적합성 시험결과를 활용하여 보정 인자를 적용함으로써 구한다. 그리고 휴대전화 특성과 함께 사용 시간, 좌·우측 비율 같은 대상자의 휴대전화 사용 패턴에 대한 인자를 고려하여 누적 에너지를 산출하게 된다.

### Abstract

SAR calculation method following the Mobi-Kids study protocol is analyzed and evaluation method of cumulative RF dose from mobile phones which have been used by a subject of case and control groups is proposed. An SAR database is built by calculating SAR distributions in 4 head models at different ages for representative phone models with the same conducted power. To obtain SAR distribution in a subject's head for a specific commercial phone which had/have been used by him/her, an SAR correction factor using SAR compliance test results is determined. Cumulative dose is calculated by considering mobile phone characteristics and use pattern such as call time and laterality(right and left).

Key words : Mobi-Kids, Mobile Phone, RF, SAR, Cumulative Specific Energy

### I. 서 론

휴대전화 사용과 발암 위험성에 관한 현재까지 대부분의 역학 연구 논문들은 휴대전화 사용에 대한

설문조사 결과를 바탕으로 위험성을 평가하여 왔다<sup>[1]~[6]</sup>. 그러나 Interphone Study에서는 종양 위치에서 휴대전화 사용과 에너지 흡수 간의 관계를 접목시켰다. 종양 위치에서 전자파흡수율(SAR) [W/kg]에 휴

「본 연구는 미래창조과학부가 지원한 2013년 정보통신·방송(ICT) 연구개발 사업의 연구 결과로 수행되었음.」

한국전자통신연구원 전자파환경연구실(EM Environment Research Team, ETRI)

\*단국대학교 의과대학 예방의학교실(Dept. of Preventive Medicine, College of Medicine, Dankook University)

· Manuscript received September 30, 2013 ; Revised October 29, 2013 ; Accepted November 4, 2013. (ID No. 20130930-087)

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

대전화 사용 시간을 곱함으로써 국부적 흡수를 고려하는 “dose index”를 개발하였었다<sup>[7]</sup>. 일본 Interphone Study의 노출 평가에서는 휴대전화 형상(flip, bar), 안테나 위치(center, top) 및 사용 주파수(800, 1,500 MHz) 등의 사양에 따라 4개 범주로 나누고 SAM (Specific Anthropomorphic Mannequin) 팬텀의 접촉 위치에서 휴대전화 최대 SAR 중심으로 표면 및 깊이 방향으로 -3 dB 영역을 측정된 결과를 기반으로 SAR 평가를 위한 일본 성인 남자 모델 TARO 머리 내 분포를 추정하는 작업을 수행하였었다<sup>[8]</sup>. SAM 팬텀 및 접촉 위치에 대해서는 뒤에서 상세히 기술할 것이다.

Interphone Study는 성인을 대상으로 한 휴대전화 역학조사였기 때문에, 역학 조사 대상자들의 누적 노출량을 평가하기 위해 표준에 해당하는 성인의 한 가지 머리 모델을 고려하였다. 그리고 SAM 팬텀에서의 실측정에 기반하여 해부학적 성인 머리 모델을 균질하다고 가정한 뒤, 뇌 위치에서의 SAR(Specific Absorption Rate)을 추정하였으며, 같은 유형의 휴대전화들에 대해 평균 SAR 값을 일정하게 적용하였었다<sup>[9]</sup>.

한국에서 출시된 휴대전화 유형의 대표 모델 구현에 대한 내용을 참고문헌 [10]에서 제시하였다. 동일한 유형, 예를 들면 휴대전화 하단에 안테나가 내장된 플립형 휴대전화의 전자파 노출은 그 대표 모델로서 SAR을 계산한다. 그러나 그러한 유형의 휴대전화는 수십에서 수백 개의 모델이 출시되었으며, 그들 간의 SAR 레벨은 매우 다양하다. 역학조사 대상자들 사이의 노출량 차이를 세분화하기 위해서는 동일 유형 내의 휴대전화들 간의 SAR 차이를 반영하는 것이 바람직하다.

본 논문에서는 Mobi-Kids 연구 프로토콜에 따르는 SAR 평가 방법을 분석하고, 역학조사 대상자의 누적 노출량을 평가하는 데 있어 한국에서 출시된 휴대전화의 SAR 적합성 시험 결과가 반영될 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

## II. 머리 SAR 분포 계산

유형별 대표 휴대전화 Model\_1~Model\_15<sup>[10]</sup>는 그림 1에 보이는 성별 및 연령이 다른 4개 머리 모델

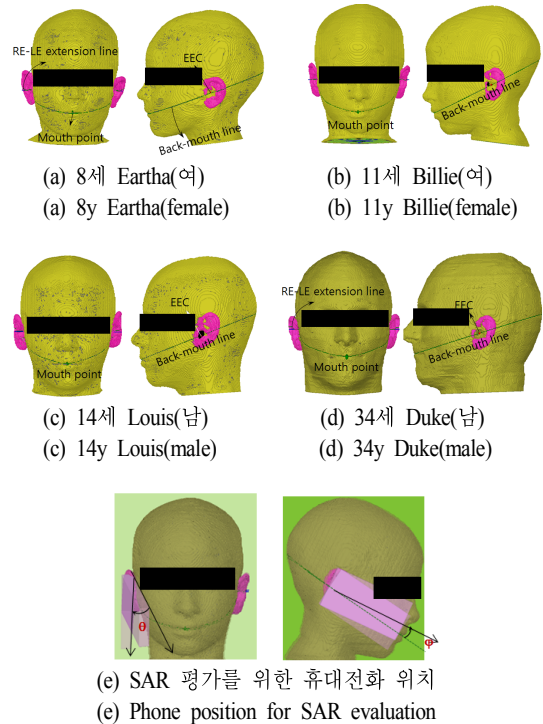


그림 1. SAR 평가용 머리 모델과 휴대전화 사용 위치

Fig. 1. Head models and use position of a mobile phone(Eartha and Louis: Virtual Classroom v1.0, Billie and Duke: Virtual Family v1.0, IT'IS).

내 SAR 평가에 적용된다. Mobi-Kids 연구에서 역학 연구 조사 대상자들의 연령은 10~24세이며, 현재까지 수집된 자료에 따르면 한국의 경우 빠르면 약 8세 쯤에 자신의 휴대전화를 사용하기 시작하는 것으로 조사되었다. Mobi-Kids 연구의 노출량 평가 위원회에서는 휴대전화 모델들의 SAR 평가를 위해 IT'IS(Information Technologies in Society)에서 평균 신체 조건을 갖는 자원의 MR(magnetic resonance) 영상을 기반으로 개발된 전신 모델<sup>[11]</sup>의 머리 부위를 사용하기로 결정하였다. ETRI에서는 참고문헌 [10]에서 분류한 각 휴대전화 대표모델을 머리 모델에 정확히 위치시키도록 하기 위해 머리 모델의 좌우측 귀를 연결하는 선(RE-LE extension line), 귓구멍 입구(EEC), 뒤통수와 입을 연결하는 피부 상의 선(Back-mouth line) 및 입(Mouth point) 등을 모델 내에 복셀(voxel)로서 삽입한 것이다. 이러한 기준 선 및 점

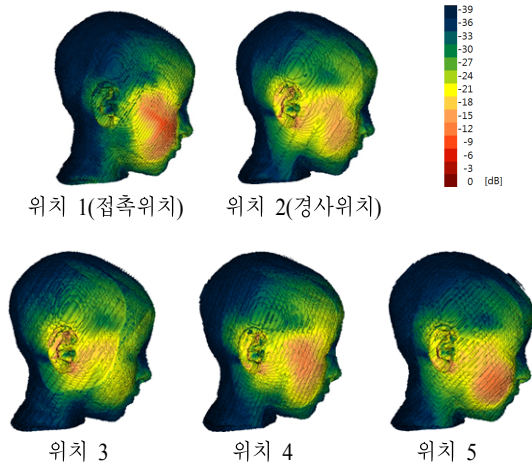


그림 2. 바(bar) 타입 휴대전화 노출에 대한 모델 Billie의 SAR 분포  
 Fig. 2. SAR distribution in model Billie for exposure from a bar type of mobile phone.

에 대한 정보는 SAR 측정에 관한 표준에 상세히 규정되어 있다<sup>[12][13]</sup>. 모든 모델의 공간 정밀도는 1 mm로 균일하며, 머리 부위에 대해 약 40여 개의 조직으로 분류되었다. SAR 계산 시 각 조직의 유전율과 전도도는 참고문헌 [14]의 4-Cole - Cole model을 적용한다.

한편, 우리가 휴대전화를 사용하여 귀에 대고 음성을 통화할 때는 휴대전화의 기울임을 바꾸거나 손의 위치를 변경하는 등 통화 중에 한 가지 위치에 고정하여 사용하지 않는다. 휴대전화 몸체를 쥐고 있는 손의 존재나 형상이 SAR 분포에 영향을 주지만, Mobi-Kids 연구의 SAR 평가에서 손의 영향은 일단 고려하지 않기로 하였으며, Mobi-Kids 연구의 노출 평가 위원회에서는 휴대전화의 위치는 표준 시험 위치인 접촉 및 경사 위치를 포함하여 그림 1(e)의  $\theta$ 와  $\phi$ 가 서로 다른 5가지를 고려하기로 결정되었다.

그림 2는 모델 Billie에 대해 바(bar) 형태 휴대전화 모델의 우측 사용 시 5가지 평가 위치에 대한 SAR 분포를 나타낸다. 여기서 사용된 바(bar) 형태 휴대전화 모델은 초기 모델로서 참고문헌 [10]에서 제시한 SAR 패턴 등의 대표성이 검증되지 않았기 때문에 아직 참고문헌 [10]의 Model\_1이라고 할 수 없으며, 단지 SAR 평가의 예를 들기 위해 보이고 있다.

접촉 위치(cheek position)는 그림 1(e)에서  $\theta$ 와  $\phi$

가 모두 0도인 경우이다. 따라서 귀와 뺨이 모두 휴대전화 몸체에 닿아 있으며, 특히 뺨의 접촉으로 인해 다른 위치에 비해 SAR 분포의 레벨이 높게 보인다. 경사위치(tilt position)는  $\theta$ 가 15도로서, 휴대전화 몸체 아래 부분이 뺨과 멀어지므로 상대적으로 흡수 레벨이 낮게 나타난다. 위치 3은 25도로 더 멀어지는 자세이고, 위치 4와 5의  $\theta$ 는 둘 다 8도,  $\phi$ 는 각각 +10도와 -10도이다. 따라서 이 두 자세의 SAR 분포를 보면 각각 뺨의 위와 아래에 hotspot이 발생됨을 관찰할 수 있다.

이와 같은 5개 사용 위치에 대해 15개 휴대전화 모델<sup>[10]</sup>을 그림 1의 4개 머리 모델에 대해 두 개 주파수(835 MHz와 1,850 또는 1,750 MHz)에서 SAR을 평가할 계획이므로 SAR 계산 횟수는 총 600회(5×15×4×2)가 된다. SAR 계산은 기본적으로 휴대전화를 오른쪽 뺨에 대고 사용함을 원칙으로 한다.

휴대전화의 안테나에 전력을 인가하는 위치가 몸체의 좌 또는 우에 확실치 치우쳐 있어 SAR 분포에 영향을 줄 경우에는 이 차이가 고려되어야 한다. 예를 들어 외장형 안테나를 갖는 휴대전화는 명확히 안테나 위치가 좌우로 구분이 되며, 대부분의 안테나는 휴대폰 앞면에서 볼 때 우측에 위치하지만, 드물게 좌측에 안테나가 위치하는 모델도 있다. 이를 고려하기 위해서는 참고문헌 [10]의 Model\_8~Model\_15의 안테나 위치를 변경하여 추가된 계산 320회(5×8×4×2)가 필요하다. SAR 패턴이 좌우 대칭에 가깝다면 SAR 계산은 기본적으로 휴대전화의 머리 우측 사용에 대해 실행하므로, 좌측 사용에 대해서는 SAR 분포를 대칭 이동하여 활용하도록 한다.

### III. 누적 노출량 평가

고려하는 모든 휴대전화 모델 및 머리 모델에 대해 정해진 절차에 따라 계산된 모든 SAR 분포, 예를 들면 그림 2의 데이터를 데이터베이스에 저장한다. 모집된 환자군 및 대조군 내 각 대상자의 휴대전화 이력으로부터 특정 휴대전화 모델이 Model\_1~Model\_15중 어느 모델에 해당하는지 그리고 그것을 사용하던 시기의 연령을 가지고 적절한 SAR 분포를 찾아낸다. 보통 수년 간격으로 휴대전화를 교체하므로 사용했던 모든 휴대전화에 대해 개별적 SAR 분

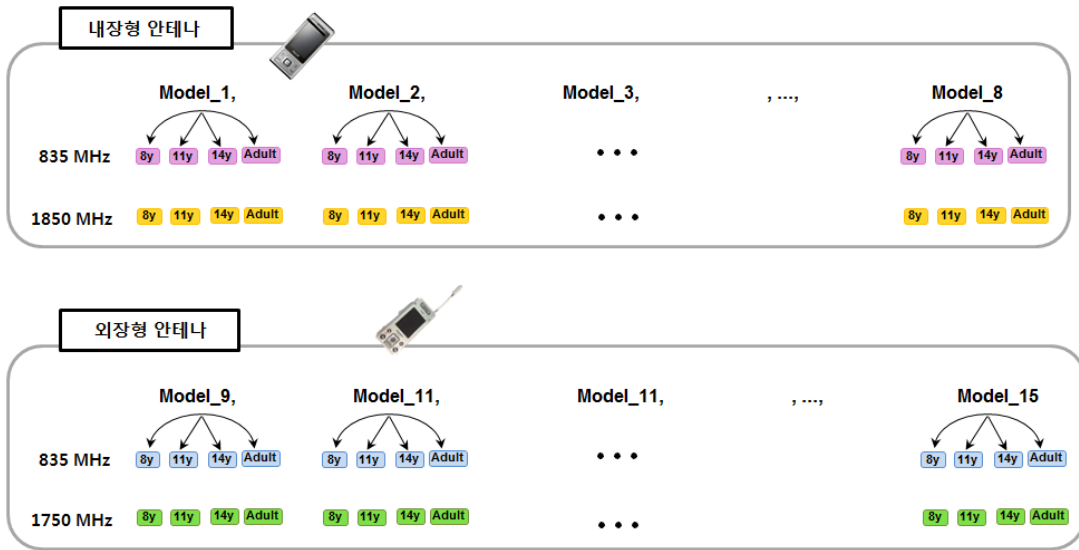


그림 3. SAR 데이터베이스  
Fig. 3. SAR database.

포에 각각의 사용 시간을 반영하여 누적한다.

그림 3은 지금까지 기술한 SAR 평가 절차에 따라 계산된 SAR 데이터베이스 구조의 구성을 보인다. 8y, 11y, 14y 그리고 Adult는 해당 연령의 머리 모델에 대한 5 세트의 SAR 분포를 포함한다. 그림 4는 특정 대상자의 사용 휴대전화 모델, 사용 방법, 시간 등을 예로 들어 누적 노출량 평가에 필요한 인자들을 보이고 있다.

그림 4에서 대상자의 첫번째 사용 휴대전화는 10~13세, 두번째는 13~15세, 세번째는 15~17세, 그리고 마지막 네번째 휴대전화는 17세에 구입하여 현재까지 사용 중이며, 설문 시기가 18세라고 가정한다. 그림에서 각 휴대전화 구입 연령을 나타내고 있다. 그림 우측에 각 휴대전화를 참고문헌 [10]의 대표 모델과 연관시키고 있다. 첫 번째 휴대전화 IM-XXX는 플립 형태의 힝을 넣었다 뺐다 할 수 있는 외장형 안테나를 갖는 모델이라면 참고문헌 [10]에서 Model\_14 및 Model\_15에 해당한다. 그리고 두 번째 휴대전화 SCH-XXX는 슬라이드형의 휴대전화로서 몸체 아래에 안테나가 내장된 형태라면 참고문헌 [10]의 Model\_2 및 Model\_3으로서 고려할 수 있다. 이러한 방법으로 대상자가 사용한 휴대전화의 형태와 안테나 및 사용주파수를 고려하여 참고문헌 [10]에서 정의한 대표 휴대전화를 각각 정할 수 있다.

대상자의 설문 조사 결과 등으로부터 각 휴대전화 모델의 사용 기간, 힝 안테나를 집어 넣을 수 있는 외장형 안테나인 경우 힝 안테나를 사용하였는지, 헬리컬 안테나를 사용하였는지, 슬라이드형 휴대전화인 경우 사용 중에 슬라이드를 올린 경우 (open) 또는 내린 경우(closed) 여부의 조사 결과가 있다면 이를 반영하는 것이 필요하다. 따라서 그림 4에서 외장형 안테나가 있는 휴대전화를 사용한 적이 있는 대상자라면 해당 휴대전화를 사용할 때 힝 안테나를 뽑지 않고 사용하는 경우와 그렇지 않은 경우에 대한 사용 비율을 각각 (A)와 (B)라 두고, 슬라이드 형의 휴대전화를 사용했다면 슬라이드를 올린 경우(open)와 내린 경우(closed)의 사용비율을 각각 (G)와 (H)라 한다. 휴대전화 사용의 편측성(偏側性)은 중앙의 발생 위치를 너의 좌우로 분류할 때 직접적 구분 인자가 되므로 매우 중요하다. 이러한 좌우측 사용 비율을 (D<sub>1</sub>)와 (D<sub>2</sub>)라 하며, 통화 횟수와 시간을 산출하여 각각 (E)와 (F)라고 둔다. 상대적 사용 비율에 해당하는 인자들의 세트 합이 1이 될 것이다. 즉, (A)+(B)=1, (G)+(H)=1, (D<sub>1</sub>)+(D<sub>2</sub>)=1. (E)는 단위가 없으며, (F)의 단위는 시간(초)이다.

Interphone Study에서 동일 유형의 휴대전화라 하더라도 모델에 따라 SAR 최대값에는 세 배 이상의 차이가 있는 것으로 보고되었으나, 각 휴대전화 모델



에 대한 특정 SAR 값을 반영하지 않고, 동일 유형의 휴대전화에 대해서 통일된 값을 사용했다<sup>9)</sup>.

미래창조과학부의 SAR 시험 기준<sup>[15]</sup>은 IEC 표준<sup>[13]</sup>을 준용하고 있다. 국내 시장에 출시하고자 하는 휴대전화 모델은 SAM(Specific Anthropomorphic Mannequin)이라고 하는 인체 머리를 대신하는 표준 팬텀에서 II에서 언급한 두 가지 표준 시험위치인 Model\_위치(cheek position)와 경사위치(tilt position)에서 SAR을 측정하여 기준치에 대한 적합성을 시험한다. 각 시험 위치에서의 SAR 값은 SAR 시험성적서에 기술된다.

본 연구에서는 특정 휴대전화에 대한 SAR 값을 반영할 수 있는 인자를 도입하고자 국내 제조사의 협조를 얻어 SAR 시험성적서를 바탕으로 그림 5와 같이 휴대전화의 몇 가지 유형에 대한 SAR 값을 분석하였다. 그림 5(a), (b) 및 (c)는 외장형 안테나를 갖는 플립형, 각각 하단과 상단에 내장형 안테나를 갖는 슬라이드형의 휴대전화 35, 11, 그리고 23개 모델의 SAR 시험결과를 시험위치별로 평균, 최대, 최소 값을 보여준다. 그 결과, 그림에서 보는 바와 같이 동일 유형의 휴대전화라 하더라도 한 시험위치에서 조차 세배보다 훨씬 큰 차이를 확인할 수 있었다(최대와 최소값 비교). 따라서 상용 모델 간 SAR 편차는 역학조사 대상자별 노출량에 반영되는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 휴대전화 대표 모델은 그림 5와 같은 동일 유형의 휴대전화 모델들의 적합성 시험결과의 평균 SAR 값을 갖도록 설계 구현하도록 한다.

그림 5에서 확인할 수 있는 바와 같이 대부분의 경우에 휴대전화의 좌·우 사용에 대한 SAR 차이에 비해 접촉 위치와 경사 위치 간에는 많은 경우에 분명한 차이를 보이므로 그림 4의 해당 휴대전화 모델의 두 가지 시험위치에 대해 특정 모델의 SAR 적합성 시험결과에 따라 SAR 값의 보정 인자를 식 (1)과 같이 결정한다.

$$C_1 = \left( \frac{SAR_{compl.cheek}}{SAR_{Model_i.cheek}} \right),$$

$$C_2 = \left( \frac{SAR_{compl.tilt}}{SAR_{Model_i.tilt}} \right) \quad (1)$$

여기서  $C_1$ 과  $C_2$ 는 각각 접촉 및 경사 위치에 대한 보

정인자이다.  $SAR_{compl.cheek}$ 와  $SAR_{compl.tilt}$ 는 특정 휴대전화 모델(예를 들면 그림 4의 대상자가 사용한 모델)의 SAR 적합성 시험 결과서에서 가져온 값이다. 두 값은 각각 해당 송신 주파수 대역의 중간주파수에서의 접촉 위치와 경사 위치에서 1 g 최대 SAR이다.  $SAR_{Model_i.cheek}$ 와  $SAR_{Model_i.tilt}$ 는 그 휴대전화 모델이 속하는 그룹의 대표 모델에 대한 SAM 팬텀에서 각각의 시험위치에 대한 최대 1 g SAR 값을 수치해석 기법을 사용하여 계산한 결과이다.

그림 4에서 최초로 구입한 휴대전화가 휩 안테나를 넣을 수 있는 외장형 안테나를 갖는 PCS 대역 모델이라 하면, Model\_14와 Model\_15가 이에 해당하고<sup>[10]</sup> 각 모델에 대해 인자 (A)와 (B)를 반영할 수 있다. 사용 시기는 대상자가 11세 전후이므로 Model\_14와 Model\_15 노출에 대한 Billie의 SAR 분포를 데이터베이스에서 선택한다.

예를 들어 그림 4의 대상자에 대해 첫 번째 휴대전화에 대한 누적 에너지(CSE: Cumulative Specific Energy)는 식 (2)와 같이 계산할 수 있으며, 총 누적 에너지(TCSE, total CSE)는 각 휴대전화에 대한 노출  $CSE_n$ 을 모두 더하여 구한다. 식 (2)에서 “Left[SAR, (11y, Model\_14, 1765)]”는 휴대전화 모델 Model\_14이 1,765 MHz에서 동작할 때 11세 Billie의 머리 우측 사용에서  $i$ 번째 사용 위치에 대한 SAR 분포를 좌우 대칭 이동시킨 SAR 분포를 의미한다.  $C_i$ (첨자  $i=1\sim5$ )는 5 가지 사용위치에 대한 각각의 SAR 보정 인자를 의미한다. 각 휴대전화에 대해 이와 같이 해당하는 SAR 분포를 데이터베이스에서 찾은 뒤 휴대전화 SAR 보정 인자, 편측성, 휴대전화의 사용 상태(휩 안테나의 수납(受納) 여부 및 슬라이드의 open/closed) 및 통화량, 통화 시간 등에 관련된 인자를 적용하면 물리량 CSE는 대상자의 머리에 흡수된 단위질량 당 전자파 에너지( $SAR \times \text{시간} = SA$  [J/kg])가 된다.

약 8세부터 성인에 이르는 일반적 휴대전화 사용 연령에서 뇌의 크기는 거의 변하지 않는다. 따라서 서로 다른 연령의 뇌에서의 3차원 에너지 분포를 적절한 좌표 이동을 통해 더하면 한 대상자의 총 누적 에너지 분포를 구할 수 있다.

$$CSE_i = \left\{ \begin{array}{l} \text{Right} \left[ \sum_{position\ i=1}^5 SAR_i(11y, Model\_14, 1765) \times A \times C_i + \sum_{position\ i=1}^5 SAR_i(11y, Model\_15, 1765) \times B \times C_i \right] \times D_2 + \\ \text{Left} \left[ \sum_{position\ i=1}^5 SAR_i(11y, Model\_14, 1765) \times A \times C_i + \sum_{position\ i=1}^5 SAR_i(11y, Model\_15, 1765) \times B \times C_i \right] \times D_1 \end{array} \right\} \\ \times E \times F \times 365(days/year) \times 3years \quad (2)$$

$$TCSE = \sum_{phoncn=1}^N CSE_n \quad (3)$$

#### IV. 결 론

본 논문에서는 Mobi-Kids의 SAR 평가 프로토콜을 분석하고, 역학 조사 대상자의 과거 사용 휴대전화 모델에 대해 개인별 누적 노출량을 평가하는 데 있어 특정 휴대전화의 최대 SAR 값을 도입하는 방법을 다루었다. 휴대전화의 머리 SAR 적합성 시험은 표준 및 정부 고시에 따라 중간 송신 주파수에서는 접촉 위치와 경사 위치에 대해 머리의 좌, 우를 모두 시험하도록 되어 있다. 또한, 외장형 안테나의 경우에는 힙 안테나를 뽑은 경우와 넣은 경우에 대한 SAR 값을 모두 명시하고 있으며, 슬라이드형 휴대전화에 대해서는 슬라이드를 올린 경우(open)와 내린 경우(closed)에 대한 값들도 측정하도록 하였었기 때문에, 이 정보들을 활용한다면 특정 휴대전화 모델 별 노출량을 반영함으로써 개인별 노출 분포를 더 정교하게 평가할 수 있다.

머리 SAR 레벨에 직접적 영향을 주는 인자인 휴대전화 출력은 사용 환경에 따라 가변적이므로 각 대상자의 사용 지역 및 환경에 대한 휴대전화 출력을 측정, 조사하여 노출 레벨에 반영하는 것 또한 매우 중요하다. 더구나 Mobi-Kids Study는 다국적 연구이므로 각 국가별 휴대전화 사용자의 노출 레벨의 차가 고려되어야 한다. 본 논문에서는 휴대전화 사용 환경에 대해서는 고려하지 않고 있다. 현재 한국의 Mobi-Kids 대상자 모집은 서울, 인천 및 경기도 지역에 한정하고 있기 때문에, 역학조사 대상자 간 사용 환경이 대체로 유사하다고 예상하나, 향후에는 통신 방식, 주파수, 통신서비스 사업자, 주거 환경, 사용자의 이동 속도 등 사용 환경적 조건에 따른 휴대전화 출력을 평가하여 누적 노출량 평가에 반영하고자 한다.

#### References

- [1] J. Schüz, R. Jacobsen, and J. H. Olsen, et al., "Cellular telephone use and cancer risk: update of a nationwide Danish cohort", *Journal of the National Cancer Institute*, vol. 98, pp. 1707-1713, 2006.
- [2] A. Auvinen, M. Hietanen, and R. Luukkonen, et al., "Brain tumors and salivary gland cancers among cellular telephone users", *Epidemiology*, vol. 13, pp. 356-359, 2002.
- [3] H. C. Christensen, J. Schüz, and M. Kosteljanetz, et al., "Cellular telephones and risk for brain tumors: a population-based, incident case-control study", *Neurology*, vol. 64, pp. 1189-1195, 2005.
- [4] L. Hardell, M. Carlberg, and M. Hansson, "Pooled analysis of two case-control studies on the use of cellular and cordless telephones and the risk of benign brain tumours diagnosed during 1997-2003", *Int. Journal of Oncology*, vol. 28, pp. 509-18, 2006.
- [5] A. Lahkola, A. Auvinen, and J. Raitanen, et al., "Mobile phone use and risk of glioma in 5 North European countries", *Int. Journal of Cancer*, vol. 120, pp. 1769-1775, 2007.
- [6] A. Lahkola, T. Salminen, and J. Raitanen, et al., "Meningioma and mobile phone used a collaborative case-control study in five North European countries", *Int. Journal of Epidemiology*, vol. 37, pp. 1304-1313, 2008.
- [7] Elisabeth Cardis et al., "Estimation of RF energy absorbed in the brain from mobile phones in the interphone study", *Occup. Environ. Med.*, vol. 68, pp. 686-693, 2011.

- [8] K. Wake, N. Varsier, and S. Watanabe, et al., "The estimation of 3D SAR distributions in the human head from mobile phone compliance testing data for epidemiological studies", *Phys. Med. Biol.* vol. 54, pp. 5695-5706, 2009.
- [9] 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.
- [10] 이에경 외, "Mobi-Kids Study: 휴대전화의 전자파 노출량 평가 I. 노출 유형 분석", 한국전자과학회 논문지, 24(10), pp. 1017-1026, 2013년 10월.
- [11] 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>
- [12] IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques, IEEE Standard 1528-2003, 2003.
- [13] Human Exposure to Radio Frequency Fields from Hand-Held and Body-Mounted Wireless Communication Devices-Human Models, Instrumentation, and Procedures, Part1: Procedure to Determine the Specific Absorption Rate(SAR) for Hand-Held Devices Used in Close Proximity to the Ear(Frequency Range of 300 MHz to 3 GHz), International Electrotechnical Committee, Geneva, Switzerland, IEC 62209-1, Feb. 2005.
- [14] C. Gabriel, "Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies", *Air Force Material Command, Brooks Air Force Base, TX, AL/OE-TR-1996-0037*, 1996.
- [15] 국립전파연구원고시 제2012-23호, 전자파흡수율 측정기준.

### 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

### 홍 선 의



1997년: 충남대학교 전파공학과 (공학사)  
 1999년: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)  
 1999년~현재: 한국전자통신연구원 전자파환경연구팀 선임연구원  
 [주 관심분야] 전자파 노출량 해석



### 최 경 화



1995년 2월: 숙명여자대학교 통계학과 (이학사)  
2011년 8월: 충북대학교 의학과 (의학석사)  
2013년 8월: 단국대학교 보건학과 박사과정 수료  
2009년 12월~현재: 단국대학교 의

과대학 예방의학교실 연구조교

[주 관심분야] 전자파 역학

### 최 형 도



1986년 2월: 고려대학교 재료공학과 (공학사)  
1989년 8월: 고려대학교 재료공학과 (공학석사)  
1996년 8월: 고려대학교 재료공학과 (공학박사)  
2004년 6월~2005년 12월: 한국전자

진흥협회 부설 EMC 기술지원센터장

1997년 1월~현재: 한국전자통신연구원 전자파환경연구실 실장

[주 관심분야] 전자파 인체 노출량 평가, 전자파 저감 소재 및 부품 등

### 하 미 나



1992년 2월: 서울대학교 의학과 (의학사)  
1996년 2월: 서울대학교 환경보건학과 (보건학석사)  
2000년 2월: 서울대학교 의학과 (의학박사)  
1996년 3월~현재: 단국대학교 의과

대학 전임강사, 조교수, 부교수, 교수

[주 관심분야] 전자파 역학