

자유기고문

성인과 어린이: 휴대전화 사용에 대한 건강 영향에 차이가 있는가?

이애경 · 최형도\* · 최재익  
한국전자통신연구원 ·  
\*한국전파진흥협회 부설  
EMC 기술지원센터

요 약

본 고는 최근 이슈가 되고 있는 어린이의 휴대전화 사용에 대해, 휴대전화기에서 복사되는 전자파 에너지가 성인과 달리 작용할 가능성이 있는지에 관한 연구 또는 보고 자료를 수집하여 다양한 각도에서 조사한 것이다. 공학적 관점에서 휴대전화 사용에 있어 어린이와 성인의 전자파 흡수율에 차이를 가져올 수 있는가에 관한 연구 결과를 기술하고 있으며, 각각 형태적 측면에서 성인과 어린이를 나타내는 각기 다른 크기의 머리 형태에서 전자파 흡수율의 차이가 있는지와 생체의 재료(재질) 측면에서 연령층에 따라 조직의 전기적 특성에 변화를 알아보았다. 그 다음 휴대전화기에 가장 가까이 위치하는 인체 머리의 성장 과정 상의 변화를 살펴봄으로써 생물학적 측면에서 어린이가 성인에 비해 취약할 가능성이 있는지 검토하였다. 그러나 이러한 가능성을 현재로서는 명확히 판단하기 어려우며, 원인 규명을 위한 추가 연구 및 다양한 연구 분야간 협력이 요구됨을 알 수 있었다.

학생은 물론 나이 어린 초등학생과 유치원생 사이에서도 휴대전화 구입 붐이 유행처럼 번지고 있으며, 얼마 전에는 우리나라 초등학생들이 받고 싶은 선물 1 순위가 휴대전화라는 조사 결과도 접할 수 있었다. 일본의 한 보고에 의하면 일본 청소년 네 명 중 한 명(여고생의 경우 세 명 중 한 명)은 휴대전화를 소유하고 있으며, 영국의 최근 한 연구에서는 7~16세 청소년의 52%가 그들의 개인 휴대전화를 소유한다고 한다.

휴대전화 가입자가 2천 7백만 명이 넘는 영국에서는 공중보건장관(Minister for Public Health)의 요청으로 이동통신 기술과 관련하여 가능성 있는 건강 영향에 대한 포괄적인 검토를 수행하여 2000년 5월 발표된 IEGMP(Independent Expert Group on Mobile Phone)보고서<sup>[1]</sup>에서 어린이의 경우, 신경계 등 기관이 성장 중에 있으므로 성인보다 휴대전화 노출에 취약할 가능성이 있으며, 두개골의 두께도 얇아 전자기장 에너지 흡수가 성인에 비해 높기 때문에 꼭 필요한 경우를 제외하고 휴대폰 사용을 가급적 자제해야 한다고 발표하였다. 이 권고는 전세계적인 주목과 보도 방송을 야기하였으며 몇몇 정부로 하여금 관련 조치를 취하도록 유도하였다. 예를 들면 영국 정부는 “어린이 및 청소년”은 가능한 적게 휴대전화를 사용해야 함을 권고하는 소책자<sup>[2]</sup>를 발행하였고, 작년, 태국의 내무부 장관은 어린이에 의한 휴대전

I. 서 론

요즈음 청소년들 사이에서 휴대전화의 사용은 거의 일상화되어 있다. 이른바 ‘1318세대’인 중·고등

화 사용 금지령을 제척하고 있다고 공식 발표하였다<sup>[3]</sup>. 이것은 수많은 휴대전화 사용자 및 관련 산업체에 파급효과가 큰 사건들이었으나 확실한 과학적 증거를 제시하지는 못했다.

이에 대해 최근 네덜란드의 건강 자문위원회에서는 두개골과 뇌의 형성에 있어서 어린이와 성인 머리 간의 생물학적 차이는 대략 휴대전화를 사용하는 연령 이전에 발생하므로 어린이의 휴대전화 사용의 제한을 권고할 어떠한 이유도 없다고 발표한 바 있다<sup>[4]</sup>. 그럼에도 불구하고 어린이 또는 청소년의 머리에 동일한 양의 에너지가 흡수된다고 가정하였을 때, 이들은 성인에 비해 이후에도 휴대 전화를 사용할 수 있는 기간도 길고, 기관 형성이 완전하지 않기 때문에 생물학적으로 다른 영향을 줄 가능성도 배제할 수는 없다. 한편 공학적으로 흡수되는 양이 성인과 비교하여 어떻게 다른가에 관해서도 연구자들의 관심이 되어왔다.

본 고에서는 성인과 어린이가 휴대전화를 사용하는 상황에서 생물학적인 측면에서의 영향의 차이를 나타낼 수 있는 이유가 있는지 또한 공학적 관점에서 연령별 조직의 전기적 특성 변화, 머리 크기, 형상의 차이로 인한 전자파 흡수율 차의 비교, 평가에 대한 그 간의 결과 등을 살펴봄으로써 현재 연구 수준을 점검하고 향후 연구 과제를 모색하고자 한다.

## II. 머리 크기 및 형상과 전자파 흡수율

머리 크기 또는 형상의 차이가 휴대전화 사용 시 머리 내부에 흡수되는 전자파 흡수율(Specific Absorption Rate, SAR)에 영향을 주는가에 대해 현재까지는 주로 성인과 어린이 모델을 실제 다른 대상 인체로부터 각기 얻거나 성인 모델을 축소하여 어린이 모델로 가정한 뒤 FDTD 기법과 같은 계산적 방법을 사용하여 머리 내 흡수 에너지를 비교해 왔다. 계산에 있어 머리를 이루는 조직의 전기적 특성은 그 간

보고되어온 여러 가지 자료들을 성인 모델과 어린이 모델에 동일하게 적용하여 모의하였다.

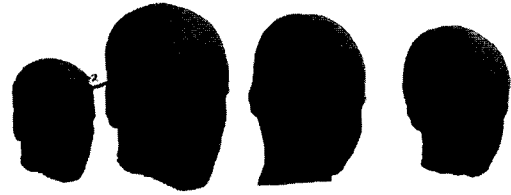
통념상 기준 규제를 위한 일반적 절차는 미국의 FCC, 우리나라의 정보통신부와 같은 정부 기관에서 요구하는 사항이 어떤 주요한 그룹뿐만 아니라 어린이와 노인 등 모든 잠재적인 사용자들에 대해서도 만족하는 것이라야 한다. 휴대전화에 대한 전자파 흡수율 평가 표준을 개발하는 미국의 미국 전기전자학회(IEEE) 표준조정위원회(SCC)34에서는 미국 군인의 통계적 체위의 상위 90%에 해당하는 머리 모델 (SAM, Specific Anthropomorphic Mannequin)을 표준으로 채택하였고 이후 국제전기기술위원회(IEC) 산하 기술위원회(TC) 106에서도 동일한 시험 표준을 채택할 전망이다. 이 모델은 동양인이나 어린이의 체위와 비교하면 상당히 큰 외형을 가지고 있기 때문에 이 접근법은 몇몇 그룹의 연구 논문에서 의문을 던지고 있다.

1996년 Gandhi 그룹<sup>[5]</sup>은 835 MHz와 1900 MHz에서 해당 주파수의 1/4 안테나를 갖는 이동통신단말기에 대해 성인 모델과 그것을 축소시킨 10세와 5세 모델에 대한 국부 전자파 흡수율을 조사, 발표하였다. 이 그룹은 키 176.4 cm, 체중 64 kg의 남자 성인 자원자를 대상으로 획득한 MRI 영상(길이 방향으로 3 mm, 단면 방향으로 1.875 mm)으로부터 voxel 모델을 획득한 뒤 평균치에 해당하는 키와 체중을 갖도록 voxel 크기를 조절하였다. 그리고 이 성인 모델로부터 10세와 5세 어린이의 평균 키(10세: 1.38 m, 5세: 1.12 m)와 체중(10세: 32.5 kg, 5세: 19.5 kg)을 갖도록 voxel 크기를 재조정하여 어린이 모델로 변형시켰다. 성인을 포함한 세 모델이 갖는 cell 크기가 각각  $1.974 \times 1.974 \times 3 \text{ mm}^3$ (성인),  $1.51 \times 1.51 \times 2.3469 \text{ mm}^3$ (10세),  $1.2989 \times 1.2989 \times 1.9048 \text{ mm}^3$ (5세)로 모두 다르기 때문에 IEEE C95.1 지침의 정의를 따르는 1 g 평균된 전자파 흡수율을 얻기 위해 각기 다른 국부 체적을 이용하였다. 1900 MHz에서는 세 모델의

1 g 침투 전자파 흡수율이 거의 유사한 것으로 나타났으나 835 MHz에서는 머리가 작은 어린이 모델의 경우에 상당히 국부 전자파 흡수율이 높은 것으로 나타났다. 또한 voxel 1개 당 계산된 침투 전자파 흡수율은 두 주파수 모두에서 작은 머리 모델에서 더 높게 나타났다. 이것에 대해 저자들은 성인 모델로부터 축소시킨 어린이 모델은 그 귀 또한 축소된 비율만큼 얇아지므로 귀로 인해 단말기가 성인의 경우보다 더 머리에 가까이 위치하기 때문으로 분석하고 있다. 따라서 Gandhi 그룹의 연구결과에서 침투 국부 전자파 흡수율이 대체로 어린이에게서 더 높게 나타난 까닭은 머리 크기에 의한 영향보다는 귀에 의한 영향으로 결론지을 수 있다.

한편, 유사한 시기에 발표된 또 다른 논문<sup>[6]</sup>에서는 공간 침투 SAR은 피부 조직으로부터 규정된 거리에 위치한 전자기 소스에 대한 인체 머리의 크기와 형상에 영향을 거의 받지 않는다. 즉 머리로부터 소스의 이격 거리나 기기의 설계 등과 같은 다른 인자에 비해 영향도가 매우 낮다. 그리고 특히 1 g 또는 10 g으로 규정되는 국부 질량에 대한 평균 값이 고려될 때에는 복잡한 해부 측면에서의 차이점들은 미미하다라고 결론 짓고 있다.

2년 뒤인 1998년 Kuster 그룹<sup>[7]</sup>은 해부학적으로 서로 다른 성인과 어린이 사이의 전자기장 에너지 흡수에 있어 차이점을 조사하기 위해 성인 1명과 어린이 2명에 대한 MRI 영상을 기초로 얻어진 voxel 모델을 가지고 모의하였다[그림 1]. 이산화된 머리 형상 voxel 크기는 성인 모델의 경우  $2 \times 2 \times 1 \text{ mm}^3$  이고 어린이 모델의 경우에는 3세와 7세에 대해  $2 \times 2 \times 1.1 \text{ mm}^3$ 로 동일하다. 모델의 분류된 생물학적 조직은 동일한 10 가지이며, 0.45  $\lambda$  다이폴을 노출원으로 사용하여 900 MHz와 1800 MHz의 주파수에 대하여 조사되었다. 조사 결과, 근역장에서 성인과 어린이의 전자기장 에너지 흡수에는 거의 차이가 없었으며, 성인의 모델을 가지고 축소하여 만들어진 어



(a) 67%로 (b) 성인 (c) 7세 어린이 (d) 3세 어린이 축소된 성인

[그림 1] Kuster 그룹이 사용한 머리 모델<sup>[7]</sup>  
(67% 축소 모델은 [5]의 “5세 어린이” 모델에 근접함.)

린이 모델을 사용한 경우에도 동일한 결론을 얻었다고 보고하였다.

67%로 축소된 머리 모델은 앞서 살펴보았던 [5]의 어린이 모델과 유사하나 머리 둘레가 38 cm로 갓 태어난 아기에 가까움을 지적하였다. 즉, 성인 머리 모델을 모든 방향으로 균일하게 축소한다고 해서 어린이 모델과 해부학적 측면의 등가의 모델을 얻을 수 있는 것은 아님에 유의할 필요가 있다.

이 같이 Gandhi 그룹이 성인으로부터 축소된 머리 모델 내의 국부 최대 전자파 흡수율의 상당한 증가를 보고한 데 반해, Kuster 그룹은 어린이와 성인 간에 국부 전자파 흡수율의 심각한 차이는 없다고 주장하였다. 상기 두 그룹의 연구 사례에서 알 수 있듯이 서로 다른 자원자를 대상으로 구현된 모델을 사용하든 어느 특정한 자원자로부터 축소된 모델이든 귀를 포함한 전체 머리 모델의 크기를 축소 또는 확대하는 경우에는 귀의 형상이 일정하지 않기 때문에 휴대전화와 머리 표면과의 이격된 거리가 동일하지 않을 수 있다.

그 후 2002년에 ETRI(Electronics and Telecommunications Research Institute)에서 머리 크기가 전자파 흡수율에 미치는 영향에 대한 연구 결과를 발표하였다<sup>[8],[9]</sup>.

ETRI에서는 인체 머리가 성장 단계에 따라 성인의 축소형과는 다른 형상을 가지지만 우선적으로 머

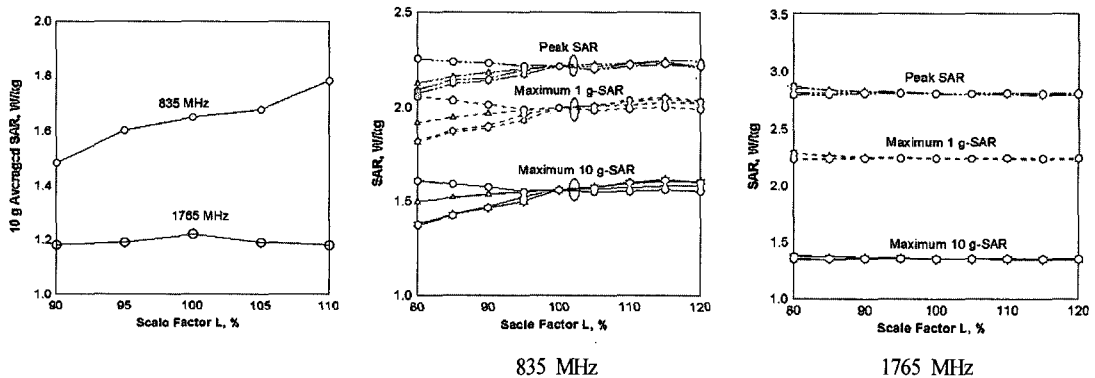
리 크기가 일정하게 변화할 때에 그 변화가 전자파 흡수율 평가 결과에 영향을 주는 인자로 작용하는지를 조사하기로 하였다. 따라서 머리 크기 이외에 평가결과에 영향을 끼칠 수 있다고 판단되는 요인인 외이를 voxel 모델로부터 제거함으로써 머리와 휴대전화의 이격 거리를 동일하게 하였다. 그럼에도 불구하고 해부학적 머리 모델이 갖는 사실적인 외형은 그 불규칙성으로 인해 국부 전자파 흡수율 평가 결과에 불확실성을 제공할 수 있으므로 국내 표준 성인 머리 모델의 머리 너비, 머리 두께, 그리고 머리 길이와 동일한 단순 모델을 구현하여 머리 크기를 변화시키면서 전자파 흡수율을 추가 조사하였다. 본래 머리 모델의 voxel 크기는  $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$  이었으나 계산 시 요구 메모리의 축소를 위해  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ 로 변환하였다.

[그림 2]는 835 MHz와 1765 MHz 두 주파수의 각 휴대전화에 대해 해부학적 모델의 머리 크기와 국부 전자파 흡수율의 관계를 보이고 있다. 835 MHz 모델에 대해서 머리의 크기가 클수록 국부 전자파 흡

수율이 높아짐을 볼 수 있으나 1765 MHz에서는 국부 전자파 흡수율이 머리 크기나 형태에 관계없이 거의 일정하다. 이것은 주파수가 높아질수록 생체 매질의 도전을 또한 높아지기 때문에 주파수와 도전을 두 인자는 전자기장의 생체 침투 깊이를 알게 하여 국부 전자파 흡수율은 거의 표면 흡수에만 의존하므로 머리의 형태에 거의 영향을 받지 않는 것으로 보인다.

본 연구결과로부터 835 MHz에서는 머리 형상이 큰 경우가 최악의 노출 상황을 모의한다고 할 수 있으며, 1765 MHz의 경우에는 형상이 국부 전자파 흡수율 결과에 거의 영향을 주지 않는다고 할 수 있다. 전자파 흡수율 측정 표준화와 관련한 국제 동향을 살펴보면 머리 형상이 대체로 큰 모의 인체를 표준으로 하려고 하는 움직임은 최소한 현재 서비스되는 휴대전화 대역에서는 대체로 바람직한 것으로 판단된다<sup>[10]~[12]</sup>.

한편 Wang & Fujiwara 그룹은 Kuster 그룹과 Gandhi 그룹의 연구에 있어 서로 다른 전자기 소스



(a) 해부학적 모델의 국부 전자파 흡수율

(b) 단순 모델의 국부 전자파 흡수율

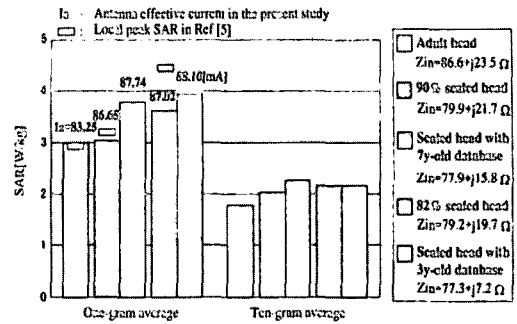
- L=head breadth (mm)/158, (head length: 181 mm, chin-vertex length: 232 mm).
- ◇ L=head length (mm)/181, (head breadth: 158 mm, chin-vertex length: 232 mm).
- △ L=chin-vertex length (mm)/232, (head breadth: 158 mm, head length: 181 mm).
- ☆ L=head breadth (mm)/158=head length (mm)/181=chin-vertex length (mm)/232.

[그림 2] ETRI 전자파 흡수율 비교 결과<sup>[9]</sup>

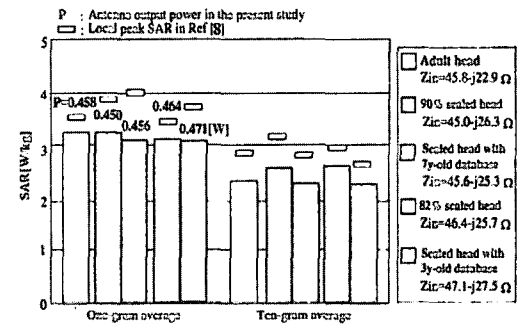
와 소스의 기준 값을 적용한 데 관심을 두고 추가 연구를 시도, 발표하였다<sup>[13]</sup>. 이들은 일본 어린이의 머리 외형에 대한 통계적 데이터를 바탕으로 일본 성인 머리 모델로부터 7 가지의 머리 관련 체위를 기준으로 두 종류의 어린이 모델을 새로이 개발하였다. 이 저자들은 주파수, voxel 크기, 단말기 크기의 조건 일부를 제외하고는 Gandhi 그룹<sup>[5]</sup>과 Kuster 그룹<sup>[7]</sup>에서 사용한 것과 동일한 조건 하에서 국부 최대 전자파 흡수율을 계산하였다고 기술하고 있다. 그러나 소스가 위치하는 쪽의 귀의 조건은 매우 중요함에도 불구하고 휴대전화 위치에서 눌린 귀를 표현하고 성인과 어린이에 관계 없이 휴대전화기와 머리 표면 간의 거리를 동일하게 하기 위해 귀의 일부를 제거한 점에 주목해야 한다. 또한 이 귀의 모델을 다이폴 소스를 모의할 때에도 동일하게 사용하였다.

Gandhi 그룹의 모의 조건을 재현하기 위해 휴대전화 출력을 0.6 W로 고정하였으며, Kuster 그룹의 모의 조건을 위해서는 다이폴 안테나의 유효전류를 100 mA(rms)로 고정하였다. 그 결과 휴대전화에 대해서 어린이의 국부 전자파 흡수율은 성인과 비교하여 1 g-SAR은 31.5 %, 10 g-SAR은 21.6 %의 증가를 각각 보였으며, 머리 크기가 작아질수록 휴대전화 안테나 입력 임피던스의 감소, 즉 전류의 증가를 야기한다 주장하였다. 반면에 다이폴 안테나를 노출원으로 사용한 경우에는 전류의 크기를 고정하여서 머리 크기에 따른 국부 전자파 흡수율의 차이가 거의 없었다고 보고하였다[그림 3].

이들은 결론적으로 휴대전화 모델의 출력을 고정할 때에 어린이 머리 내에 더 높은 국부 전자파 흡수율을 보고하여서 Gandhi 그룹과 동일한 경향을 보고하였으나 Kuster 그룹이 Gandhi 그룹의 어린이 머리의 더 높은 국부 전자파 흡수율이 어린이 모델의 얇은 귀 두께에 기인한다고 판단한 것에 대한 명확한 결론을 제시하지 못하였다. 이들은 다이폴 형태의 안테나의 유효 전류를 고정할 때에는 큰 차이가 없



(a) 0.6 W 출력의 휴대전화(0.25 λ 모노폴 안테나 장착)에 대한 국부 전자파 흡수율



(b) 유효 안테나 전류 100 mA를 갖는 0.45 λ 다이폴 안테나에 대한 국부 전자파 흡수율

[그림 3] Wang & Fujiwara 그룹의 전자파 흡수율 비교 결과<sup>[13]</sup>

어 Kuster 그룹의 결론과 유사하다고 하였으며, 상기의 두 그룹의 일치하지 않는 결론이 수치적인 전자파 흡수율 계산에 있어 다른 조건에 기인할 수 있음을 암시하였다. 그렇다면 휴대전화의 출력 전력을 고정하는 대신 입력 전류 값을 고정하는 경우에는 국부 전자파 흡수율 값에 큰 차이가 없어야 하나 결코 그러한 분포는 보이지 않아 그 보다는 앞서 언급한 바와 같이 귀 또는 시험위치의 조건이나 전자기 소스에 초점을 두고 추가 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

몇몇 연구 결과로부터 국부 전자파 흡수율 경향이 불일치함에도 불구하고 휴대전화의 출력이 동일

하고 전기적 특성을 동일하게 가정하였을 때 머리 내에 흡수되는 평균 에너지는 성인에 비해 어린이에게서 더 높다는 사실에 주목할 필요가 있다. 국부 전자파 흡수를 침투 값은 머리의 구조 상 대부분 피부, 근육조직에서 평가되는 값이지만 머리의 평균 전자파 흡수율은 뇌를 포함하는 전 영역에 관련된 값이므로 현재 휴대전화 적합성 시험의 평가 파라메터가 국부 전자파 흡수를 값이라고 해서 머리 전체 평균 전자파 흡수를 값을 간과할 수는 없다.

한편, 상기에서 살펴본 바와 같이 현재까지 대부분의 연구자들은 휴대전화의 입력단 전력(휴대전화의 복사전력 포함) 또는 입력단 전류 등을 일정하게 가정할 때의 성인과 어린이의 전자파 흡수율을 값을 비교하였다. 현재 휴대전화의 전자파 흡수율을 적합성 시험 시에 휴대전화는 최대 출력으로 고정된 뒤 시행된다. 즉, 피시험기기의 출력을 허용된 최대출력으로 맞춘 후 표준 팬텀에 정해진 위치에 두고 전자파 흡수율을 측정하도록 되어 있다. 그러나 휴대전화 사용에 대한 어린이의 건강 문제를 고려하고자 할 때에는 이 노출 조건은 부적절하며, 실제 통화 상태의 어린이와 성인을 비교하는 것이 보다 현실적일 것이다. 휴대전화의 디자인, 기지국으로부터의 거리, 빔 방향, 기타 주변 환경 조건이 동일하다면 어린이와 성인에 있어 무엇이 다른가? 머리의 형상과 해부학적 구조 그리고 조직의 전기적 특성의 차이(III장 참고)와 이러한 머리의 차이로 인한 복사전력의 차이가 존재하게 된다. 기지국은 이동국의 전력을 모니터링하여 통화에 필요한 최소한의 전력 레벨만을 요구한다. 즉 역방향 통화 용량을 최대화하고 배터리 수명을 연장하도록 전력을 제어하게 된다. 현재까지 어린이와 성인 간의 전자파 흡수율 연구 결과 휴대전화 출력을 일정하게 할 경우 어린이 모델에 흡수되는 평균 전자파 흡수율이 더 높게 나타났다. 그러나 이러한 기지국 전력 제어를 고려한다면 어린이 머리는 크기가 작기 때문에 휴대전화로부터 전자

기장이 잘 복사될 수 있어 성인에 비해 더 낮은 휴대전화 전력이 요구될 것이다. 따라서 제어된 전력을 기준으로 국부 전자파 흡수율과 평균 전자파 흡수율이 재검토될 필요가 있다.

### III. 머리 조직의 전기적 특성과 전자파 흡수율

지금까지 전자파 흡수율 연구에 적용된 조직의 전기적 측정 자료들은 연령을 고려하지 않은 인체 및 동물에 대한 조직 별 측정 데이터가 전부였으며, 연령차가 조직의 특성차를 가져오는 지 여부에 대해서는 관심을 갖지 않았다. 해부학적 관점에서 성장에 따른 구조 변화와 더불어 수반되는 조직의 전기전도도 및 유전율의 변화는 수학적으로 어린이와 성인 간의 전자파 흡수율의 차이를 계산하는 데 직접적인 영향을 주는 파라메터로서 작용한다.

A. Peyman 등은 쥐의 다양한 조직에 대한 유전 특성의 변화를 출생 시부터 70일까지 측정하였다<sup>[14]</sup>. 이 연구에서 쥐의 일령(日齡)을 6 단계로 구분하고 총 10개 조직에 대해 37°C에서 130 MHz~10 GHz 대역의 유전 특성을 측정하였으며, 그 결과는 일령 상승에 따라 일반적으로 유전율과 도전율이 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 변화는 조직의 수분 함유량과 유기적 합성에 기인하는 것으로 보인다. 조직 성질 변화는 특히 뇌, 뼈, 그리고 피부조직에서 더 분명하게 나타나고 복부 조직에 대해서는 덜 분명하게 보인다. 따라서 머리에 대한 노출을 고려하는 본 연구 주제의 경우에는 평가에 있어 성인과 어린이 사이의 가능한 편차를 고려하는 데 큰 보탬이 되리라 본다. 그러나 A. Peyman 등의 동물을 대상으로 한 연구 결과를 두고 앞서 살펴본 바와 같은 인체의 머리의 매우 빠른 형상학적 성장 속도와 조직의 시간적 특성 변화와 어떻게 관련을 갖도록 할 것인가가 주요 과제인 것 같다. 다시 말해 인체는 생후 1년간 키에 있어서는 일생 중 가장 빠른 성장을 하여 만

2세가 되면 성인의 50%에 이른다. 그리고 인체 머리의 뇌의 무게와 두개골의 조직학적 성장은 만 10세 이내에 거의 완료된다고 알려져 있다. 그러나 청각 기관과 눈의 경우에는 동일한 속도를 갖지 않는다. 인체에 대한 연령 변화에 따른 조직의 측정 데이터는 현재 없기 때문에 [그림 4]에 보이는 A. Peyman 등의 결과를 외삽시키려 한다면, 쥐의 일령을 인체의 나이에 어떻게 관련 지을 것인가 하는 과제가 남게 된다. 각 조직 별 변화는 약간씩 편차가 있지만 인체의 형상학적 성장과 같이 결코 초기에 빠른 변화를 겪지는 않는다. 따라서 이 데이터가 인체에는 어떻게 외삽될 수 있는 지 또 외삽이 가능한 지는 불분명하다.

현재까지 인체 머리 내의 전자파 흡수율을 구하기 위한 수학적 계산에 이 같은 연령에 따른 전기적 특성이 고려되지는 않았다. 인체에 대한 연령에 따른 두개골 및 뇌의 전기적 특성 값에 대한 명확한 연

구결과가 도출된다면 어린이 머리 내의 전자파 흡수율 값 계산에 있어 보다 구체적인 연구결과를 제시할 수 있을 것이다.

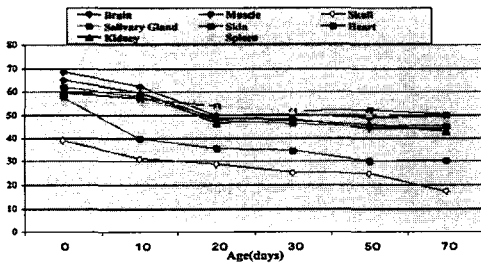
#### IV. 인체 머리의 초기 발달과 전자파 흡수율

IEGMP 보고서<sup>[1]</sup>의 결론에서 어린이는 현재 성인에 비해 더 어린 나이부터 기지국 및 휴대전화 RF 복사에 노출되고 있기 때문에 그들의 생애에 있어 더 긴 노출 누적 시간을 갖게 되고 노출에 대해 지연된 영향이 발전되기까지 더 긴 시간을 갖게 되므로 어린이는 특별히 RF 복사의 역기능적 영향에 취약할 수 있다고 시사하였다.

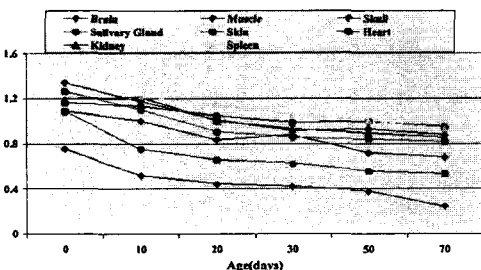
또한 어린이는 신경계가 발달 중이고 머리 내 조직에 에너지 흡수가 성인에 비해 어린이의 경우 생후 1년 때 2배, 5년 때 1.6배 흡수될 수 있으므로 예방적 접근의 방침으로서 어린이의 광범위한 휴대전화 사용은 꼭 필요한 경우가 아니라면 자제해야 한다고 믿고 또한 휴대전화 산업체는 어린이의 휴대전화 사용 조장을 자제할 것을 권고하였다.

그러나 IEGMP의 이 같은 진술에 대해 어떠한 과학적 뒷받침 거리도 제공하지 못했으며, IEGMP의 유일하게 타당한 주장은 예방적 접근법을 취한다는 사실이다. 그럼에도 불구하고 전자파의 인체영향에 대해서는 단순한 가정이 아닌 사실적인 의학적 징후가 있어야 한다. 어린이가 성인보다 더 긴 기간 동안 노출될 수 있다는 것은 청소년들에 대해서는 타당하다. 그러나 문제는 그 선을 어디에 그어야 하느냐 하는 것이다.

본 장에서는 네덜란드의 건강자문위원회에서 조사한 자료<sup>[4]</sup>를 비롯하여 어린이 뇌 발달 과정에서 머리의 구조 변화와 조직의 전기적 특성 등의 측면에서 과연 어린이의 경우에 성인의 경우와 휴대전화로부터 복사되는 에너지의 흡수가 다르게 나타날 수 있는지 알아본다.



(a) 조직별 상대유전율



(b) 조직별 도전율

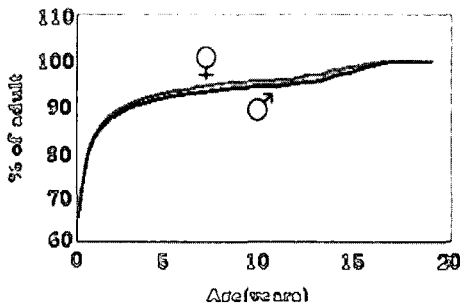
[그림 4] 쥐 생체 조직의 일령에 따른 전기적 특성<sup>[14]</sup>

생후 1개월 이내의 신생아 시기에 머리는 신체 길이의 약 1/4을 차지한다. 성인 시기에는 약 10%를 차지한다. 우선적으로 머리의 성장은 생후 약 10년간 일어난다. 사춘기에 들어서면 신체의 나머지 부분이 빠르게 성장하여 머리 대 전신의 비율이 줄어든다. [그림 5]의 (a)에서 보는 바와 같이 생후 1년 유아의 머리 둘레는 성인의 약 84%에 이른다. 7세가 되면 93~95%에 달한다<sup>[15]~[16]</sup>. 이 성장은 주로 두개골과 뇌에서 일어난다. 청각 기관과 눈과 같은 기타 기관의 구조는 생후에 성장하지 않는다. 두개골 두께는 [그림 5]의 (b)에서와 같이 생후 12년 간 평균 1.4 mm(출생 시)에서 6.8 mm(12세)까지 거의 선형적으로 증가하다 그 후 성장 속도는 평균 두개골 두께가 7.7 mm인 약 18세가 되어 성장을 멈출 때까지 감소한다. 한편, 두개골 내에 수분과 이온 레벨에 따

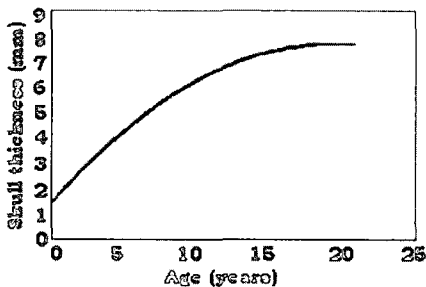
른 유전율과 전기전도도는 점진적인 석회화(化)로 인해 감소한다. 결과적으로 성인에 비해 어린이에 있어 두개골의 더 높은 전자기 장벽 기능을 예측할 수 있다. 머리 내의 전자파 흡수율 분포는 복잡한 전자기적 상호작용의 결과이며, 두개골의 전자기적 장벽 기능은 많은 인자들 가운데 단 두 가지의 요인에 지나지 않음에 주목해야 한다. 이러한 패턴의 구조적인 성장은 단순히 성인의 머리 모델로부터 그 크기를 일정 비율로 모든 방향으로 축소한 어린이 대응 머리 모델이 궁극적으로는 해부학적 견지에서 볼 때 최선의 모델은 아니라고 할 수 있다.

생후 1년간 인체의 뇌 성장은 뇌 세포 개수와 무게 두 가지 모두의 증가를 의미한다<sup>[16]</sup>. 이 시기 이후에는 단지 세포의 무게만 증가한다. 뇌의 미엘린화(myelination)는 생후 2년 내에 주로 발생한다. 세포 간 유동액과는 달리 미엘린은 자유 이온을 포함하지 않는다. 이것은 뇌 속에 미엘린의 양이 증가하면, 이온 집중을 감소시키고 결과적으로 뇌 세포의 전체적인 전기 전도도의 감소를 가져옴을 의미한다. 이것은 초기 발달 동안 발생하나 그 이후에는 거의 변화가 없다.

따라서 네덜란드의 건강자문위원회는 전기적 특성 관점에서 볼 때 어린이의 두개골의 두께가 성인에 비해 매우 얇지만 높은 유전율과 도전율이 전자기 장벽 기능을 제공할 수 있어 특별히 성인에 비해 전자파 노출에 더 민감할 수 있는 근거를 찾기는 어렵다고 판단하였다. 그러나 III장에서 살펴본 바와 같이 성인과 어린이의 생체 조직 간의 유전율과 도전율 등 전기적 특성의 차이에 대한 데이터는 머리 내에 흡수된 전자파 흡수율 분포를 계산하는 데 유용한 정보이지만 현재 인체 조직을 대상으로 정확히 비교, 연구된 결과는 없다.



(a) 머리 둘레



(b) 두개골 두께

[그림 5] 연령별 인체 머리의 둘레와 두개골 두께 변화<sup>[15]</sup>

## V. 결 론



휴대전화의 대중화된 것은 불과 5년 안팎이나 다른 전기·전자기에 비해 인체 가까이 사용하면서 또한 개개인이 평상시 몸에 지니고 다니므로 휴대전화는 전자파 노출의 관점에서 보면 웬만한 기기 중에서 가장 긴 기간의 노출 가능성을 갖고 있다. 따라서 성인보다 일생 동안 더 긴 기간 동안 사용할 어린이, 청소년에 대한 건강 위험성 여부에 대해 대중의 관심이 높은 것은 어찌 보면 당연한 일인지도 모르겠다. 본 고에서는 휴대전화 사용자가 어린이인 경우에 휴대전화기에서 복사되는 전자파 에너지가 성인과 달리 작용할 가능성이 있는 지에 관한 연구 또는 보고 자료를 수집하여 다양한 각도에서 살펴본다.

어린이 또는 청소년의 머리에 성인의 경우와 동일한 양의 에너지가 흡수된다고 가정하더라도 이들은 성인에 비해 이후에도 휴대 전화를 사용할 수 있는 기간이 길고 기관 형성이 완성되지 않았기 때문에 생물학적으로 다른 영향을 줄 가능성도 배제할 수는 없어 향후 명확한 의학적 징후 및 수학적 계산 결과를 포함하는 과학적 근거를 확보할 때까지는 예방적 차원에서 어린이의 휴대전화 사용을 자제하는 것이 바람직하다는 것이 몇몇 국가의 입장이므로 이 분야 연구자들은 문제의 해답을 얻을 때까지 지속적인 연구를 진행할 것으로 보인다. 그러나 설사 생물학적 및 의학적 관점에서 어떠한 징후가 보이더라도 이것이 II장 및 III장에서 언급한 공학적 측면에서의 비교 결과와 더불어 제시되지 않으면 일부분을 분실한 미완성의 조각 그림과도 같을 것이다. 따라서 완성된 해답을 얻고자 여러 분야의 전문가들이 타 분야의 지식에도 관심을 기울이며, 연구 협력을 꾀해야 할 것으로 생각한다.

현재 미국을 비롯한 많은 국가에서 휴대전화 사용에 앞서 규정된 전자파 흡수를 적합성 평가를 실시하고 있기 때문에 공학적 관점에서의 연구 결과 불일치에 대한 과학적 해명은 곧 시험 표준과 연결

되므로 산업체에 민감할 뿐 아니라 건강 영향에 대한 가장 기본적인 연구 결과이므로 대중에게도 매우 중요하다 할 수 있다. 따라서 현재까지 발표된 다수의 데이터들이 불일치하는 원인을 분석하고 추가로 고려되어야 할 문제들을 도출하여 향후 연구에서 보다 합리적인 조건 설정에 활용할 수 있다면 매우 바람직할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] Independent Expert Group on Mobile Phones (IEGMP). 2000. Mobile phones and health. Chilton: Independent Expert Group on Mobile Phones. <http://www.iegmp.org.uk/report/text.htm>
- [2] UK Department of Health. 2002. Mobile phones and health. Internet: <http://www.doh.gov.uk/mobilephones/mobilephones.htm>
- [3] Channelnewsasia. 2002. Thai minister nulls cell-phone ban for youngsters. Internet: <http://www.Channelnewsasia.com/stories/southeastasia/view/4467/1/html?pre>, Apr. 2002.
- [4] E. Rongen, E. W. Roubos et al., "Mobile phones and children: Is precaution warranted?", *Bioelectromagnetics*, vol. 25, pp. 142-144, 2004.
- [5] O. P. Gandhi, G. Lazzi, and C. M. Furse, "Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 MHz and 1900 MHz", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 44, no. 10, pp. 1884- 1897, Oct. 1996.
- [6] V. Hombach, K. Meier, M. Burkhardt and E. Kuhn, "The dependence of EM energy absorption upon human head modeling at 900 MHz", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 44, no. 10, pp. 1865-1873, Oct. 1996.

- [7] F. Schonborn, M. Burkhardt, and N. Kuster, "Differences in energy absorption between heads of adults and children in the near field of sources", *Health Physics*, 74, pp. 160-168, 1998.
- [8] A. K. Lee, J. K. Pack, "Effect of head size for cellular telephone exposure on EM absorption", *IEICE Transactions on Communications*, vol. E85-B, no. 3, pp. 698-701, Mar. 2002.
- [9] A. K. Lee, H. D. Choi, H. S. Lee, and J. K. Pack, "Human head size and SAR characteristics for handset exposure", *ETRI Journal*, vol. 24, no. 2, pp. 176-179, Apr. 2002.
- [10] IEEE Std 1528TM-2003, IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate(SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques.
- [11] Federal Communications Commission Office of Engineering and Technology Supplement C (Ed. 01-01) to OET Bulletin 65 (Ed. 97-01), Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, Additional Information for Evaluating Compliance of Mobile and Portable Devices with FCC Limits for Human Exposure to Radiofrequency Emissions, Washington, DC, Jun. 2001.
- [12] 정보통신부 고시 제2000-93호, "전자파 흡수율 측정기준", 2000년.
- [13] J. Wang, O. Fujiwara, "Comparison and evaluation of electromagnetic absorption characteristics in realistic human head models of adult and children for 900 MHz mobile telephones", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 51, no. 3, pp. 966-971, Mar. 2003.
- [14] A. Peyman, A. A. Rezazadeh and C. Gabriel, "Changes in the dielectric properties of rat tissue as a function of age at microwave frequencies", *Physics in Medicine and Biology*, vol. 46, no. 6, pp. 1617-1629, Jun. 2001.
- [15] [http://www.cost281.org/documents.php?node=11&dir\\_session=\(2002년 5월 Rome에서 열린 COST 281/EBEA Forum\)](http://www.cost281.org/documents.php?node=11&dir_session=(2002년%205월%20Rome)에서%20열린%20COST%20281/EBEA%20Forum).
- [16] Fein GG, *Child Development*, Englewood Cliffs, NY: Prentice-Hall, Inc.

≡ 필자소개 ≡

이 애 경



1990년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학사)

1992년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학석사)

2003년 8월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)

1992년 2월~현재: 한국전자통신연구원  
디지털방송연구단 전파기술연구그룹 책임연구원

[주 관심분야] EMC 현상의 이론적 해석, 전자파 인체 노출량 평가 등

최 재 익



1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)

1983년 8월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)

1995년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)

1983년~현재: 한국전자통신연구원  
디지털방송연구단 전파기술연구그룹 전자파환경연구팀장

[주 관심분야] 위성통신 및 이동통신 관련 전파기술 등

최 형 도



1986년 2월: 고려대학교 재료공학과 (공학사)

1989년 8월: 고려대학교 재료공학과 (공학석사)

1996년 8월: 고려대학교 재료공학과 (공학박사)

1997년 1월~현재: 한국전자통신연구원  
디지털방송연구단 전파기술연구그룹

2004년 6월~현재: 한국전파진흥협회 부설 EMC 기술지원센터장

[주 관심분야] EMI/EMC, 전자파 인체영향 등