

휴대전화 단말기에 대한 SAR 규제 및 대처기술

오 학 태

정보통신부 전파연구소

I. 서 론

최근 수년동안 각종 전자기기에서 방출되는 전자기장에 의한 인체유해 가능성과 관련한 연구가 급격하게 증가하고 있다. 전자기장의 경우, 그 발생원으로부터의 거리와 세기가 밀접한 연관관계를 가지고 있으므로 자연히 인체 가까이에서 사용하는 전자기기가 문제가 될 가능성이 높은 것이 사실이다. 따라서 극저주파(ELF)에 해당하는 60 Hz 전자기장의 발생원에 대해서는 전기담요, 헤어 드라이어, 전기 면도기 등이 주목을 받고 있다. 그러나 극저주파의 경우, 에너지 측면에서 볼 때, X-선, 자외선, 가시광선, 적외선 등 보다 높은 주파수의 전자기장보다 광자 하나 당의 에너지가 작으므로 장기노출에 의해 영향이 있을 가능성이 있다. 이에 반하여, 휴대전화의 경우는 현재 우리의 생활에서 가장 신체에 밀착해서 사용하면서도 극저주파보다 광자 하나 당의 에너지가 훨씬 높은 전자기장을 의도적으로 방출하는 전자기장 발생원으로서 특히, 방출된 전자기장의 상당량이 우리 신체부위 중에서 가장 민감한 머리부분으로 흡수되기 때문에 그 심각성이 배가(倍加)된다고 할 수 있을 것이다. 이러한 측면에서 외국에서는 휴대전화 전자파를 이용한 *In vivo*, *In vitro* 실험 등이 활발하게 추진되고 있으며, 이 연구결과를 토대로 사람의 머리부분에서 흡수되어 온도상승효과를 나타낼 수 있는 전자파 에너지의 양을 정하고 있으며, 이것을 「Specific Absorption Rate (SAR)」 즉, “전자파 비흡수율(比吸收率)”이라고 표현하고 있다.

SAR은 휴대전화의 적합성 평가를 위한 객관적

인 기준으로서 이미 세계 각국에서는 SAR에 대한 기준치를 정하고, 그 측정방법에 관한 나름대로의 기준(안)도 마련해 놓고 있다. SAR기준치의 결정 방법은 생체실험자료를 근거로 하고 있으나, 일단 기준치가 결정되고 나면 계속적으로 생체실험을 통해서 인체 영향에 관한 휴대전화의 적합성 평가를 할 수는 없다. 따라서 실제 사람의 모양을 갖추고, 그 구성성분의 전기정수가 사람의 것과 유사한 값을 가지는 모의인체(phantom)를 이용하여 휴대전화 전자파에 의해 인체에 형성되는 SAR 분포를 평가하는 방법이 널리 이용되고 있다. 이러한 측정법에서 중요한 요소는 인체유사조직(tissue simulating liquids), 모의인체의 모양(shape), 실제 휴대전화 사용상황 및 최악의 사용상황 재현, 전기장 및 자기장 측정용 probe의 정밀도, probe에 의한 field의 왜곡특성 보정 등을 들 수 있으며 이러한 요소들을 어떻게 잘 조절하느냐가 SAR 측정 data의 신뢰성을 좌우하게 된다.

본 稿에서는 휴대전화 단말기에 대한 SAR 기준을 분석하고, SAR 적합성 평가방법 및 그 신뢰도에 직접적인 영향을 주는 요소와 SAR 저감대책 기술동향 등을 개괄해 보겠다.

II. SAR의 정의 및 기준

2-1 SAR의 정의

이동통신 주파수 영역에 대한 현재의 인체보호 기준은 모두 조직(tissue)의 온도 증가, 즉 열적 효과에 근거하고 있다. 40 MHz~6 GHz 영역의 주

파수를 가진 전자파가 인체에 흡수될 경우, 불규칙적인 분자운동을 증가시켜 이것이 온도 증가로 나타나게 되며, 이러한 열적인 반응을 SAR이라고 하는 정량적인 양으로 나타낼 수가 있다.

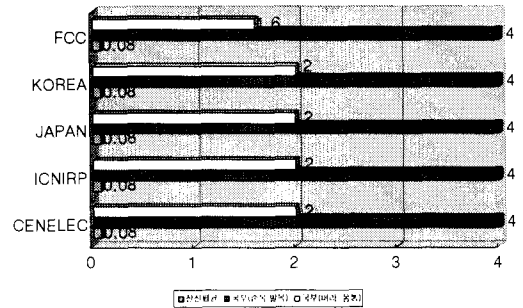
SAR의 정의는 밀도 ρ 인 체적요소 dV 내에 포함되어 있는 질량증분 dm 에 흡수되는 전자파의 전력증분치(dP)로서 (인체의) 단위질량당 흡수되는 전력(W/kg)을 의미한다.

$$SAR = \frac{dP}{dm} = \frac{dP}{\rho dV} \quad (1)$$

2-2 SAR 기준

휴대전화는 머리에 밀착시켜 사용하기 때문에 머리 이외의 다른 신체 부위에는 휴대전화 전자파가 흡수되지 않는다. 더구나 흡수된 전자파 에너지는 거의 대부분이 피부에 집중되므로, 이것을 전신에 대해 평균할 경우는 SAR 값이 상당히 낮아진다. 문제는 전신평균 SAR 값은 낮아도 그 에너지가 집중되는 특정부분은 손상을 입을 수 있다는 데에 있다. 따라서 인체안전도를 평가하는 데에 이용할 수 있는 SAR은 전신평균이 아니라 신체내의 제한된 영역내에 포함된 질량에 흡수되는 전력을 의미하는 국부 SAR 평균이다. 현재 각 나라별로 SAR 기준치를 가지고 있는데 미국은 1gram 평균을 택하고 있으며, 국제비전리방사선보호위원회(ICNIRP), 유럽전자기술표준위원회(CENELEC) 등 다른 기관에서는 10 gram 평균을 채택하고 있다. 평균하는 질량이 커진다는 것은 SAR 분포가 낮거나 전혀 에너지 흡수가 없는 부분까지 포함해서 계산하기 때문에 SAR 평가치가 침투치에 비해서 상당히 낮아진다는 것을 의미한다. 따라서 현재 존재하는 모든 기준의 전신평균은 0.08 W/kg으로 국부 평균 기준치보다 훨씬 낮은 값을 정하고 있다. 국부 평균의 경우는 신체부위 중에서 비교적 영향이 적은

〈표 1〉 각 국 및 국제기구의 SAR 기준

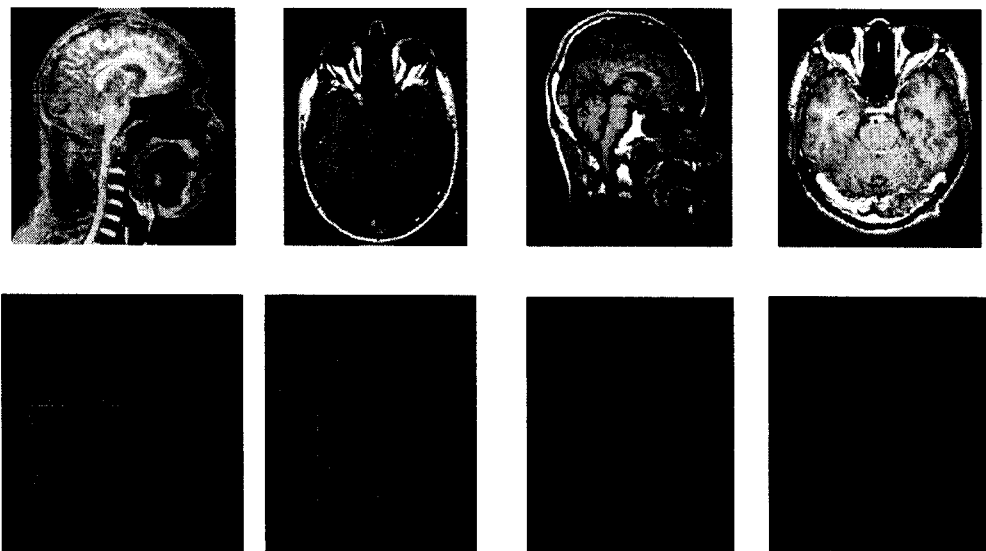


수 있는 곳(손목, 발목)과 민감한 부분(머리, 몸통)으로 나누어 제한치를 정하고 있으며, 휴대전화의 인체 안전성 평가에 적용되는 기준치는 머리, 몸통부분에 대한 국부 평균값이다. 이 값은 미국의 경우 미 연방통신위원회(FCC)에서 1 gram 평균으로 1.6 W/kg을 넘지 못하도록 제한하고 있으며, 우리나라를 비롯한 다른 나라들은 10 gram 평균으로 2 W/kg을 권고하고 있다. 미국은 '97년 1월부터 자국내에 유통되는 휴대전화 단말기에 대해 1gram 평균, 1.6 W/kg의 기준을 만족시키도록 강제 규제하고 있다.

Ⅲ. SAR의 평가

3-1 수치해석

SAR의 계산은 현재 시간영역 유한차분법(Finite difference time domain, FDTD)이 가장 널리 사용되는 방법이며, 계산을 위해서는 실제 상황을 잘 재현하는 것이 필요하다. 휴대전화를 사용하는 상황을 구현하기 위해 필요한 것은 우선, 인체 두부를 모델링하는 것으로서 MRI 혹은 CT 촬영을 통한 영상물을 많이 이용하고 있다. 휴대전화는 conducting box에 monopole 안테나를 설치한 구조로 모델링하는 단순한 방법에서부터 실제 안테나 구조인 helical 및 monopole이 결합된 형태로 정밀 모



[그림 1] 한국인 및 흑인모델

델링하고, 나아가서는 휴대폰의 구조를 잘 표현하고 있는 CAD file을 FDTD code로 변환시켜 실제 모습과 거의 유사하게 모델링하는 방법까지 동원되고 있다.

[그림 1]은 미국 국립의학도서관(NLM)의 visible human project에 의해 만들어진 흑인모델과 전파연구소가 한국과학기술원과 공동연구('98년)를 통하여 제작한 한국인모델을 나타내고 있다. 위쪽 그림은 MRI 영상이며 아래쪽 그림은 MRI 영상을 이용하여 FDTD code로 변환한 그림이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 두 모델의 모양은 차이가 있고 이와 같은 차이가 같은 출력의 휴대전화 전자파에 의해서도 다른 SAR 계산결과를 나타내는 요인이 될 수 있다는 점에 그 의미가 있다고 하겠다.

[그림 2]는 휴대폰 안테나의 실제구조에 대한 사진과 whip 및 helical 안테나를 모델링 한 그림이다.

3-2 측정방법

3-2-1 온도 측정

전자파가 Δt 시간 동안 조사(照射)되어 phantom (모의인체) 또는 생체에 ΔT 라는 온도변화가 발생할 경우, 이것을 온도 probe 또는 thermography 등으로 측정하여 SAR값을 얻을 수 있다.

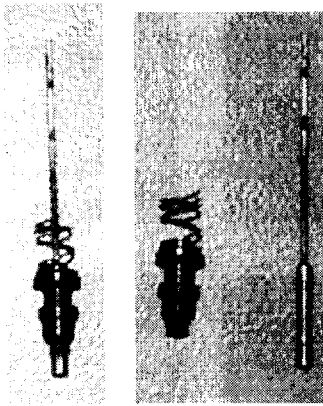
$$SAR = c \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (2)$$

여기서 c 는 측정대상 물질의 비열용량(比熱容量)이다.

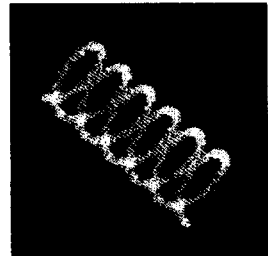
이 방법은 휴대전화와 같은 저전력기기의 경우 온도상승의 정도가 극히 미약하기 때문에 정확한 측정이 힘들다는 문제점이 있다.

3-2-2 자기장 측정

휴대폰에서 전자파가 방출될 때, phantom 에 입



(a) 안테나의 실제구조



(b) 안테나 모델링

[그림 2] 휴대전화 안테나의 구조 및 모델링

사(入射)하는 표면 자기장을 측정하여 SAR을 평가하는 방법이다.

$$SAR = \frac{\sigma}{\rho} \frac{\mu\omega}{\sqrt{\sigma^2 + \epsilon^2\omega^2}} (1 + c_{corr}\gamma_{pw})^2 H_{t,c}^2 \quad (3)$$

여기서 σ , ρ , μ , ϵ 은 각각 전기전도도, 밀도, 투자율, 유전율이며, ω 는 $2\pi \times f$ (주파수), c_{corr} 은 보정계수, γ_{pw} 는 입사 자기장($H_{t,c}$)에 대한 평면파 반사계수를 나타낸다.

이 방법은 probe를 삽입하지 않고 phantom 표면에서 자기장을 측정하기 때문에 실제 사람을 대상으로 SAR을 평가할 수가 있다. 또한 인체 표면의 자기장은 안테나 전류로부터 구할 수 있으므로 측정이 간단하다는 장점이 있다.

3-2-3 전기장 측정

측정 정밀도가 비교적 높기 때문에 세계적으로 가장 많이 이용되는 방법으로서, 휴대폰에서 방출

되는 전자파가 phantom 내부에 형성하는 전기장 세기를 probe로 측정한다.

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad (4)$$

여기서 σ 는 phantom의 전기전도도, ρ 는 밀도를 나타낸다.

이 방법은 전기장 probe를 삽입하여 측정해야 하므로 실제 생체에 적용하기는 불가능하며, 인체의 유전율 및 투자율과 유사한 값을 갖는 phantom을 이용해야 한다.

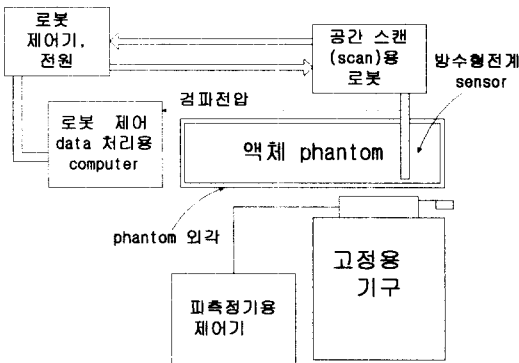
[그림 3]은 전기장 측정에 의한 SAR 평가시스템의 일반적인 구성도이다.

휴대전화를 사용하는 상황에서 인체 두부는 휴대전화의 전자파로부터 근거리장의 영역에 위치한다. 원거리장의 측정과는 달리 근거리장의 측정은 측정시스템의 공간적인 재현성과 해상도가 높아야 하기 때문에 로봇을 이용한다. 또한 휴대전화를 phantom에 고정시키는 위치도 높은 재현성이 요구된다. 현재 상용화되어 있는 시스템의 경우, 여

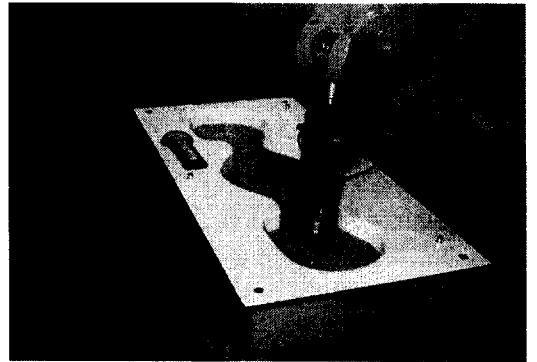
러 가지 방향으로 각도를 조절할 수 있게 되어 있으나 시스템에 휴대전화를 장착하는 것은 사람이 하게 되어 있다. 따라서 이러한 것도 SAR 측정값의 오차요인이 될 수도 있기 때문에 고정용 기구에 대한 자동화도 필요할 것으로 보인다.

휴대전화에서 방출되는 전자파가 인체에 흡수되는 양은 단말기 본체 또는 안테나와 인체와의 거리에 의존한다. 따라서 같은 종류의 단말기라 하더라도 그 사용방법상 안테나와 머리 사이의 거리에 따라 전자파의 인체 흡수량은 크게 달라질 수가 있다. SAR 적합성 평가라는 측면에서도 이와 같은 사용상황의 정의가 필요하기 때문에 CENELEC (유럽전자기술표준위원회)에서는 [그림 4]와 같이 intended use 및 non-intended use(3가지) 조건을 명시하고 있다.

[그림 5]는 전파연구소에서 보유하고 있는 상용



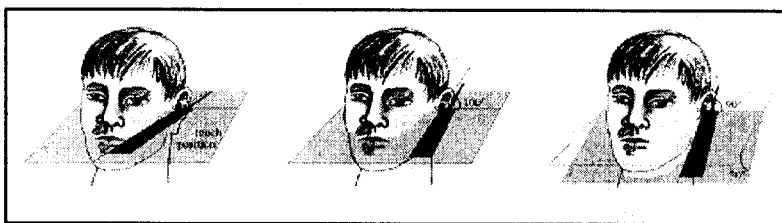
[그림 3] SAR 측정시스템의 구성



[그림 5] 상용 SAR 측정시스템



(a) Intended use condition



(b) Non-intended use condition

[그림 4] CENELEC에서 정의하고 있는 휴대전화의 사용조건

화된 SAR 측정시스템이다.

본 시스템은 twin phantom을 이용하고 있다. 휴대전화의 경우, 안테나의 위치와 인체 두부와의 상대적인 위치, 즉 오른손으로 사용할 경우와 왼손으로 사용할 경우의 SAR 값은 서로 다르다. 휴대전화의 SAR 적합성 평가는 최악의 상황을 가정해서 하므로 두 경우 모두 측정해야 할 필요가 있다. Twin phantom은 휴대전화를 오른손과 왼손으로 사용하는 상황을 모두 구현할 수 있게 되어 있으며 현재 그림은 왼손으로 사용하는 경우에 대해서 측정하고 있는 장면이다. 휴대전화를 정면에서 봤을 때 안테나가 오른쪽에 있는 경우, 실제로 왼손으로 사용하는 상황의 SAR 값이 더 크게 측정되었다. 또한 안테나를 뿔았을 때 즉, helical 및 whip 안테나가 동시에 작동할 경우와 뿔지 않았을 때 즉, helical 안테나만 작동하는 경우의 SAR 측정치도 서로 다르다. 물론 이러한 경향은 휴대전화 단말기의 형태에 따라서 그 경향이 달라질 수도 있다.

SAR 측정 data의 신뢰도는 측정시스템과 측정대상인 휴대전화 단말기의 상태에 의존한다. 측정시스템에 있어서는 E field probe에 의한 field perturbation 정도, tissue simulating liquid의 전기적 특성 및 측정시 휴대전화의 고정위치에 대한 재현성 등이 측정오차의 요인이 될 수 있다. 휴대전화에 있어서는 그 출력이 SAR 값에 직접적인 영향을 미치므로 측정하는 과정에서 계속적으로 출

력을 관측할 필요가 있다.

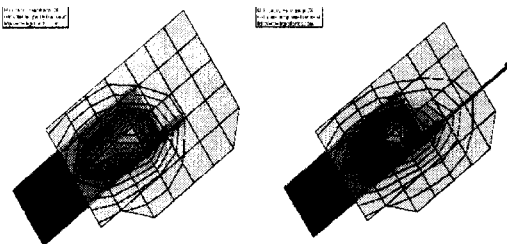
[그림 6]은 실제로 SAR을 측정한 결과로서 안테나를 뿔었을 때와 뿔지 않았을 때의 SAR 분포가 서로 다를 수 있다.

IV. SAR 대처기술

휴대전화는 의도적인 전자파 발생원이면서도 사용자의 필요성 때문에 다른 전자파 발생원과는 달리 우리나라에서는 아직까지 일반인들에 의해 심각하게 그 피해의 유무에 대한 논란이 이루어지고 있지는 않다. 휴대전화 전자파는 고주파로서 인체에 열적 효과를 발생시킬 수 있으며, 머리에 밀착시켜 사용한다는 점에서 장시간 연속해서 사용할 경우 인체에 치명적인 손상을 줄 수 있다는 연구 결과도 있기 때문에 확실하게 그 영향이 밝혀지지 않은 상황이면서도 외국에서는 생체실험 등의 결과를 토대로 휴대전화 전자파에 대한 노출 제한치를 설정하고 있다. 더욱이 미국은 1997년 1월부터 자국 내에서 유통되는 휴대전화 단말기에 대해 SAR 적합성 평가를 받도록 강제 규제하고 있으며, 다른 나라들도 SAR 기준을 법제화하려는 움직임을 보이고 있다.

휴대전화 사용자들은 단말기의 소형화와 통신품질의 개선을 동시에 요구하고 있으며 이러한 요구는 SAR 값을 상승시킬 수 있기 때문에 제조업체로서는 상당한 고민을 안게 되었다. 단말기의 출력과 통화품질은 직접적인 관련이 있기 때문에 SAR 기준치 내에 들어가기 위해서는 출력을 낮출 수밖에 없고, 이렇게 되면 약전계에서의 통화품질에 지장을 주게 된다. 그렇다고 cell planning을 다시 한다는 것은 상당한 비용 손실을 가져오게 되므로 단말기 자체에 대한 대책을 강구해야만 한다.

현재 각, 휴대전화 단말기 제조회사들은 SAR이라는 새로운 기준에 맞추기 위해서 많은 노력을



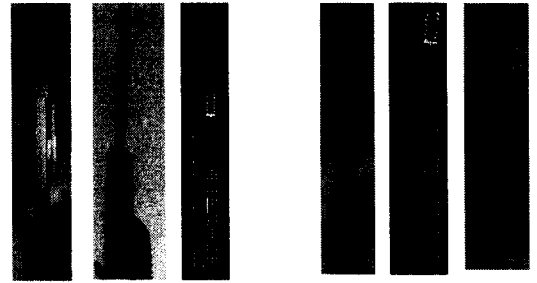
[그림 6] 안테나 상황에 따른 SAR 분포

기울이고 있다. 물론 이러한 경향은 미국이 1 gram 평균값 1.6 W/kg이라는 기준을 강제로 지키도록 하기 때문에 발생하고 있는 결과이며, 미국내의 휴대전화 제조업체들은 물론 미국으로 수출하는 세계 모든 국가의 관련기업들에게 공통적으로 당면한 과제이다. SAR이 문제가 되고 있는 요인 중의 하나는 단말기의 발전이 크기가 점점 작아지는 쪽으로 가고 있다는 것이다. 크기가 작아지면서 전자파를 방출하는 내부 source와 머리와와의 간격이 점점 줄어들고, 이것은 SAR 값이 더 크게 나올 수 있다는 의미를 가지고 있다. 물론 단말기의 출력이 작으면 SAR 값도 줄어들겠지만 미국에서는 지금도 AMPS 방식을 사용하고 있기 때문에 문제가 되고 있는 것이다.

SAR을 줄이는 방법은 크게 나누어서 다음에 기술하는 세가지로 압축할 수 있다. 첫째, 단말기 본체에서 나오는 전자파의 양을 줄이거나, 둘째, 단말기의 설계 자체를 본체에서 전자파가 가장 많이 나오는 위치로부터 머리까지의 거리가 자연스럽게 멀어지도록 하는 것이다. 세 번째는 전자파가 어느 한곳에 집중되는 것을 막는 것이다. 위와 같은 세가지 방안에 대해서 좀 더 구체적으로 표현하면, 1) 적절한 grounding 방식선택, 2) 단말기 본체의 ear piece 부분을 두툼하게 하거나 위치의 변동, 3) 안테나 방사패턴의 적절한 변형, 4) 단말기 내부의 적절한 위치에 전기장 또는 자기장 차폐 재료 적용 등으로 나타낼 수 있다.

[그림 7]은 SAR 값을 줄이기 위해서 안테나를 5° 기울인 상태의 예를 보여주고 있다. 측정 및 simulation 결과, 기울이지 않은 상태에 비해서 약 10% 정도의 SAR 감소 효과를 볼 수 있으며, 주파수가 높을수록 기울인 효과는 더 크게 나타난다.

[그림 8]은 시중에 판매되고 있는 휴대폰 전자파 차단제품에 대한 실험결과로서 휴대전화의 ear piece 부분에 붙이면 인체에 흡수되는 전자파가 감

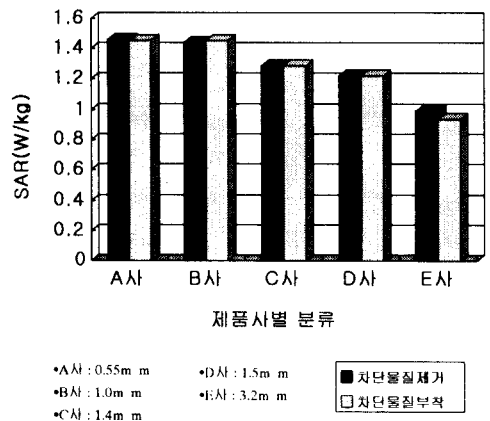


(a) 보통형태

(b) 기울인 형태

[그림 7] SAR을 감소시키기 위해 안테나를 기울인 휴대전화 단말기

성능시험 결과



[그림 8] 휴대폰 전자파 차단제품의 성능 검증

소된다고 하는 제품이다. SAR 값은 휴대폰과 머리 사이의 거리에 민감하므로 제품을 붙임에 따라서 거리가 멀어지는 효과를 배제하기 위해 동일제품에 대해 2개의 시료를 준비하여 그 중 하나는 내용물을 제거하여 reference로 잡는다. 결과에서 볼 수 있듯이 차단제품의 효과는 없으며 5개 회사 제품 중에서 두께가 가장 두꺼운 E사의 제품을 휴대폰에 부착했을 때 SAR이 감소하였다. 이것은 단순히 휴대폰과 머리 사이의 거리가 멀어지기 때문에 나타난 효과로 볼 수 있다.

위의 다양한 방안은 이미 개발이 완료된 모델이
 나, 아니면 지금 개발 중인 모델이나에 따라 적절
 히 선택해야 한다. SAR에 대한 대책을 세울 때
 유념해야 할 것은 현재 세계적으로 널리 이용되고
 있는 SAR 적합성 평가방법은 아직 표준화가 되어
 있지 않으며 향후에 평가방법이 바뀌면 같은 모델
 의 휴대전화 단말기라고 할지라도 SAR 값이 바뀔
 수 있다는 것이다. 이것은 제조업체로서는 다소 난
 해한 사실이지만 역으로 생각하면 현재의 평가방
 법에 대한 허점을 잘 이용하면 쉽게 SAR 값을 낮
 출 수도 있다는 것을 의미한다.

SAR 적합성을 만족하기 위한 가장 좋은 방법은
 개발단계에서부터 미리 SAR을 예측하여 개발하는
 것이다. 다시 말하면 이미 설계단계를 지나고 제품
 이 생산되면 이 때에 적용할 수 있는 SAR 대책은
 상당히 제한적이기 때문에 제품의 설계단계에서
 미리 SAR을 계산해 보는 것이다. 휴대전화 단말
 기의 SAR 값을 수치해석으로 계산하기 위하여 실
 제 사람의 MRI 영상을 이용하여 만든 비균질 인
 체모델을 많이 사용하지만 휴대전화 단말기에 대
 한 SAR 적합성 평가는 어차피 균질 인체모델
 (phantom)에 대해서 이루어지기 때문에 비균질
 모델을 이용한 SAR 계산값은 제조업체의 입장에
 서는 별로 이용가치가 없다. 따라서 SAR 개념을
 적용한 제품개발에 이용하기 위해서는 SAR 측정
 시스템에서 이용되는 phantom과 시험대상인 휴대
 전화 단말기를 정확하게 모델링하는 것이 필요하
 다. 물론 실제 개발에 이용할 수 있기 위해서는 측
 정 data와의 비교를 통해 일정한 오차범위내에서
 측정과 simulation data가 일치함을 확인해야 할

것이다.

V. 맺음말

전자파 에너지가 인체에 흡수되는 양을 의미하
 는 「전자파 비흡수율」 즉, SAR(Specific Absorption
 Rate)에 대한 정의 및 평가방법을 개발하고, 휴대
 전화 단말기 제조업체들의 현안인 SAR 대책기술
 의 방향을 생각해 보았다. 휴대전화 사용자들의 요
 구와 SAR 평가치는 서로 상반되는 관계에 있으므
 로 이러한 문제를 어떻게 풀어 나가느냐가 향후
 경쟁력의 새로운 척도가 될 가능성이 있다. 휴대전
 화의 SAR 기준은 전자파의 인체영향이라는 측면
 이외에 각 나라의 기술수준에 따라 언제든지 비관
 세 무역장벽으로 활용될 수 있기 때문에 정책적으
 로도 관심을 기울여야 할 부분으로서 SAR 대책기
 술 개발과 함께 국내 기술수준을 정확하게 파악하
 여 외국의 규제에 적절히 대응해 나가야 할 것이
 다.

≡필자소개≡

오 학 태

1964년 3월 26일 생

1986년 2월: 부산대학교 자연과학대학
 물리학과(이학사)

1993년 2월: 부산대학교 물리학과(이학
 박사)

1994년 1월~1996년 1월: 일본 오오사
 카대학 물리학과 객원연구원

1995년 6월~1996년 11월: 공업기술원 전자정보과

1996년 11월~현재: 정보통신부 전파연구소 공업연구원

[주 관심분야] 전자파-인체영향, EMI/EMC

