

## Probe 고정형 SAR 측정 시스템

김 정호<sup>o</sup>, 김 윤명<sup>o</sup>

단국대학교 대학원 전자·컴퓨터공학 전공<sup>o</sup>, (주) EMF Safety<sup>\*</sup>

E-mail : gimm @ dku.edu

### Implementation of SAR Measurement System with Stationary Probes

Jeong-Ho Kim<sup>o</sup>, Youn-Myoung Gimm<sup>o</sup>

Graduate School of Dankook University<sup>o</sup>, EMF Safety Inc.<sup>\*</sup>

#### Abstract

The SAR measurement system with stationary probes, presented in this paper, can calculate area SAR value based on the measured 9 electric field data. By converting obtained area SAR to the volume SAR, the results can be acquired in a few seconds. The system can be very useful tool in the stages of handset development for mobile communication as well as in the handset production line because of its rapid SAR measurement. The system showed good linearity characteristics at 835 MHz of 10~27 dBm input power range.

Key words : 고속 SAR 측정, stationary probes, jelly phantom

#### I. 서론

최근 휴대용 이동 통신 단말기가 생활의 필수품이 되어 이용자가 급증함에 따라 휴대 단말기에서 방출되는 전자파가 신체, 특히 사람의 머리에 미치는 영향에 대한 관심이 고조되어 있다. 이에 따라 복사 전자파가 인체에 미치는 영향에 대한 과학적 실험 결과와 전자파에 노출된 상태에서 인체의 비흡수율을 정량화한 SAR(Specific absorption rate) 측정<sup>[1]</sup>을 요구하는 강제적 규제 내용이 세계적으로 적용되고 있다.

현재 휴대 단말기의 SAR 측정을 위해 사용되고 있는 인증(Compliance)용 SAR 측정 시스템은 그 측정값이 정밀하다는 장점에도 불구하고, 고가의 시스템 장비 가격과 측정기간이 길고 설치 장소가 넓어야 한다는 단점 때문에 생산 라인에 투입할 수 없고 별도의 장소에서 샘플링 검사 밖에 할 수 없는 실정이다.

본 논문에서 제시한 프로브 고정형 SAR 측정 시스템은, Phantom 내부에 모의조직 용액(simulated tissue)을 넣고 하나의 프로브로 용액을 평면 스캐닝하는 기존 방식 대신에 9개의 전계 센싱 프로브를 쫓아 측정된 전기장 값들로부터 면적 SAR 값을 계산하고, 얻어진 면적 SAR로부터 체적 SAR로 환산하여 그 값을 도출하는 기술로서, 이동통신 단말기의 개발 단계 및 생산 라인에 직접 투입하여 간단하고 신속하게 SAR 값을 측정할 수 있는 시스템이다.

#### II. 고주파 전자계의 열작용

##### 1. SAR (Specific Absorption Rate)

###### (1) SAR의 정의

전자파 에너지 비흡수율(SAR, Specific Absorption Rate)은 생체 시스템과 에너지의 상호 작용의 정량화(定量化)에 중요한 역할을 하는 양으로, 현재 휴

대폰에서 복사되는 전자파에 의한 인체 영향을 규제할 수 있는 측정량으로 널리 사용되고 있다.

SAR은 RF의 노출량 측정, 즉 단위 시간에 단위 질량 당 흡수되는 전력(W/kg)으로 표시되는 양(量)으로서, 유전체의 밀도와 전기 전도도 그리고 기기에서 복사되는 전자기장 등의 물리량에 의해 정의된다.

$$SAR = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{C \Delta T}{\Delta t} = \frac{\sigma |\overline{E}|^2}{\rho} \quad [2][3] \quad (2-1)$$

(  $|\overline{E}|$  : 전기장의 세기 [V/m],  $\sigma$  : 전기 전도도 [S/m],  $\rho$  : 조직의 밀도 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $\Delta T$  : 온도변화 [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $\Delta t$  : 노출 시간 [s], C : 비열 용량 [ $\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ ])

(2) SAR 값의 안전 기준

인체 안전도를 평가하는데에 이용할 수 있는 SAR는 전신평균이 아니라 신체내의 제한된 영역 내에 포함된 질량에 흡수되는 전력을 의미하는 국부 SAR 평균이다. 머리에 근접시켜 사용하는 휴대전화기의 경우 이 기준을 적용하며, 우리나라를 비롯한 미국, 캐나다, 호주 등 강제규제를 시행하고 있는 국가에서는 조직 1 그램에 대하여 평균한 전자파 흡수율이 1.6 W/kg 이하가 될 것을 요구하고 있으며, 국제비전리복사방호위원회(ICNIRP)와 유럽, 일본 등에서는 조직 10 그램에 대하여 평균한 전자파흡수율 값이 2 W/kg 이하일 것을 권고하고 있으나, 측정절차는 두 경우 모두 동일하다.

2. 팬텀 (Phantom)

SAR 검출은 인체에 삽입시킬 수 없는 프로브의 특성 때문에 인체를 대상으로 측정이 곤란하며, 유도되는 전계의 분포는 인체의 크기, 모양 및 위치에 따라 달라지기 때문에 동물에 대해 이루어진 연구는 인체에 대해 정확하지 않다. 이러한 이유로 전자파 인체 노출을 분석할 때 Phantom 이라 불리는 유사 인체 모델을 이용하여, 보통 체온의 인체 조직 구조와 동일한 크기의 외형을 갖고 각 측정주파수에 있어서 생체 조직의 비유전율  $\epsilon_r$ , 도전을  $\sigma$ , 밀도  $\rho$  를 재현시킨다.

Phantom의 모델 재료는 액체와 준 고체(젤리) 및 고체 형태로 분류가 된다. 주로 고체 표피(Phantom Shell) 속에 인체 특정 부위 조직의 유전상수와 전도도를 재현시킨 모의조직 용액(Simulated tissue)을 채운 후 휴대전화를 Tx mode (최대송신 출력 상태)로 동작시켜 Phantom내의 국소 peak SAR

[W/kg] 값을 실험적으로 구하고 이를 이용하여 인체 내의 SAR을 추정하는 방법이 일반적이다.

3. 모의 용액(Simulant Tissue)

모의조직 용액은 특정 주파수 영역에서 인체 특정 부위 조직의 유전상수와 전도도를 재현시킨 것이며, 표 2-1에 IEEE Std 1528-200X에 명시된 주파수에 따른 모의 용액의 구성 성분을 제시하였다<sup>[4]</sup>.

표 2-1. 모의 두뇌 조직을 위한 용액의 조성 (성분 : 질량 %)

Frequency (MHz)	835 MHz	1,800 MHz	
	Recipe 1	Recipe 2	Recipe 3
Water	40.45	52.64	55.36
Sugar	57.0		
Salt	1.45	0.36	0.35
HEC	1.0		
Bactericide	0.1		
DGBE		47	13.84
Triton X100			30.45
Diacetin			
Target value	$\epsilon_r$	41.5	40.0
	$\sigma$	0.9	1.4

III. 공간주사(走査)형 SAR 측정 시스템

1. 측정 시스템의 규격

공간 주사형 SAR 측정 시스템의 구성은 전계 프로브, 증폭기 및 자료전송 시스템, 공간 주사 시스템(6축 로봇), 모의인체 및 용액과 피 측정품 홀더로 구성되어있다. 무선기기로부터 발생하는 전자기장에 의해 노출되는 모의인체에서의 내부 전기장 분포를 측정하기 위해 근거리장 측정 시스템을 SAR 측정에 이용한다. 이는 자동적으로 위치 제어되는 등방성을 가진 Miniature 프로브를 이용하여, 모의 인체 용액 속을 스캐닝하여 측정된 전자기장 값으로부터 SAR 분포 및 최대 질량 평균 SAR 값을 계산해 내는 시스템이다. 그림 3-1에 공간 주사형 SAR 측정 시스템의 개념도를 나타내었다.

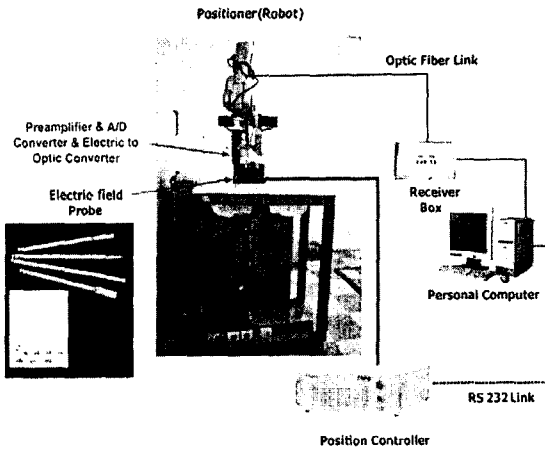


그림 3-1. 공간 주사형 SAR 측정 시스템 개념도

2. 전기장 프로브

전기장 프로브는 무선 주파수 신호를 직류 전압으로 변환시켜 모의인체에서 흡수되는 전자파 에너지의 전기장 강도를 측정할 수 있는 세 개의 다이폴로 구성된 소형의 등방성 안테나를 말한다. 주요 구성으로는 다이폴 센서, 검파 다이오드 그리고 적합한 전기적 회로 그리고 출력부이다. 다이폴 피드 포인트에서 검파 다이오드는 RF 신호를 DC 전압값으로 정류하여 고저항선을 통해 출력하는데, 다이오드의 출력 특성이 Square-law인 영역에서 센서의 출력전압은 전계의 제곱에 비례하며, 전체 전계의 세기는 3개의 센서에서 검출된 전계의 값의 합 RSS (root-sum-square)값이다. 이 범위를 넘어서면 출력전압이 압축되므로 규정된 동작 영역을 얻기 위해 식(3-1)과같이 선형화작업이 필요하다<sup>[5]</sup>.

$$V_{compensated} = V_{out} + \frac{V_{out}^2}{DCP} \quad (3-1)$$

DCP (Diode Compression Point)는 다이오드의 비선형 출력의 분기점으로 예기된 출력 전압보다 출력이 3dB 적은 곳에서 결정된다. Low-barrier Silicon Schottky Diodes의 정류된 출력 전압을 위한 일반적인 DCP 값은 100 mV 정도이다.

VI. Probe 固定형 SAR 측정 시스템

본 논문에서 구현하고자하는 프로브 고정형 SAR 측정 시스템은 Phantom 내부에 모의조직 용액을 넣고 용액 속에 9개의 전계 센싱 프로브를 꽂아 각 측정 점에서 측정된 전기장 값들로 부터 면적 SAR 값을 계산하고, 얻어진 면적 SAR 값으로부터 체적

SAR값을 도출하는 기술로서, 국내외적으로 처음 시도되는 시스템이다. 측정 시스템의 구성은 팬텀, 근거리장 전계 측정 프로브, Data 수집 및 전송 시스템, 프로브 교정(Calibration)시스템과 컴퓨터 및 수치해석 프로그램으로 되어있다. 그림 4-1에 시스템의 구성을 나타내었다.

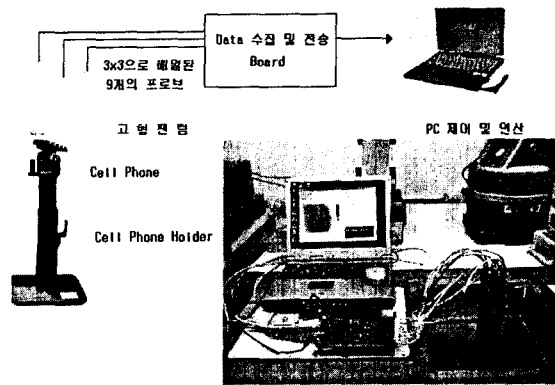


그림 4-1. 프로브 고정형 SAR 측정 시스템의 개념도 및 사진

시스템의 작동원리는 Battery가 장착된 휴대 단말기를 휴대폰 지지대에 설치하고, 인체 두뇌의 전기적 특성을 재현한 고형(固形) Phantom 내에 9개의 전기장 센싱 프로브를 꽂아서 각 점에서의 전기장 값에 비례한 전압 값을 측정한다. 이 값을 전송 보드를 이용하여 컴퓨터로 전송한 후 선형화 작업을 통해  $V_i$ 의 선형화 함수  $f(V_i)$ 를 만들고, 식(4-1)의 프로브 민감도  $\eta_i$  및 공기에서 측정된 값과 다른 매질에서 측정된 값 사이의 변환 인자  $\psi_i$ 를 이용하여 9개의 프로브에서 각각  $|\overline{E}|^2$ 을 산출한다.

$$|\overline{E}|^2 = \sum_{i=1}^3 |\overline{E}_i|^2 = \sum_{i=1}^3 \frac{f_i(V_i)}{\gamma_i} = \sum_{i=1}^3 \frac{f_i(V_i)}{\eta_i \psi_i} \quad (4-1)$$

여기서,  $\gamma_i$ : 매질 속에서 다이폴 센서의 절대 감도  
 $\eta_i$ : 자유공간에서의 다이폴 센서의 절대 감도  
 $\psi_i$ : 자유공간에서의 감도에 대한 매질에서의 프로브 센서의 감도의 비

각 프로브에서 얻어진  $|\overline{E}|^2$ 에 적절한 내삽법 (Interpolation)을 적용시켜 표면 전체의  $|\overline{E}|^2$ 값

을 구한 후, 식(2-1)로부터 표면 전체에서의 SAR 값을 구할 수 있다. 여기서 software로서 1 cm<sup>2</sup>의 최대면적 SAR 값(Peak Surface SAR Value)을 구하였다. 이때  $\int \int \frac{SAR(x, y, z)}{S} dx dy$  (단, S = 1 cm<sup>2</sup>)가 최대가 되는 1 cm<sup>2</sup>의 면적을 찾기 위하여, E<sup>2</sup>(x,y,z)이 최대가 되는 점 (x,y,z)을 찾는다. 그 점을 중심으로 하여 1 cm<sup>2</sup>의 면적 내에서 적분을 계산한다. 얻어진 최대 면적 SAR 값에 적절한 Factor를 곱하여 체적 SAR 값 (1 cm<sup>3</sup> = 1 g)으로 환산하여 SAR 기준치 (1.6 [W/kg] at 100 kHz~10 GHz, 1 g Volume-averaged SAR)와 비교하여 합격 여부를 결정하게 한다.

### V. SAR 측정 시스템의 평가

제작된 Probe 고정형 SAR 측정 시스템을 사용하여 모의 두뇌 인체 용액에서 최대 점 SAR 값 (Peak Point SAR Value)과 이 점을 중심으로 1cm<sup>2</sup> 내의 최대 면적 SAR 값 (Peak Surface SAR Value)을 구하였다. 이 값들의 선형성 평가 및 측정된 SAR 값의 분포를 기존의 Probe 스캐닝 시스템과 비교하여 봄으로써, 제작된 Probe 고정형 시스템의 신뢰성을 평가 하였다.

#### 1. SAR 값 측정 및 선형성 평가

표준 다이폴 안테나에 입력되는 RF 신호 출력 전력 레벨을 가변 시키면서 그에 따른 최대 점 SAR 값과 최대 면적 SAR 값의 변화를 조사하여 제작된 시스템의 신뢰성 및 선형성을 평가하였다. 표 5-1에 주파수 835 Mhz에서 RF 전력 변화에 따른 측정된 SAR 값의 변화를 나타내었고 그림 5-1에 SAR 값의 변화를 그래프로 나타내었다.

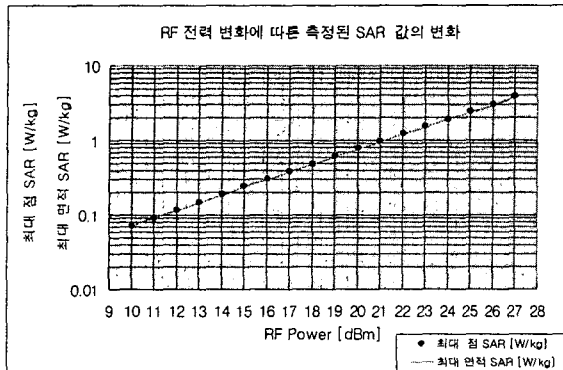


그림 5-1. 전력 변화에 따른 최대 점 SAR 값 및 최대 면적 SAR (1 cm<sup>2</sup>) 값의 선형성 평가 그래프

표 5-1. 전력 변화에 따른 측정된 SAR 값의 변화

RF Power [dBm]	최대 점 SAR [W/kg]	최대 1cm <sup>2</sup> SAR [W/kg]
10	0.072	0.070
11	0.096	0.094
12	0.116	0.113
13	0.146	0.142
14	0.192	0.189
15	0.240	0.233
16	0.300	0.291
17	0.388	0.377
18	0.486	0.473
19	0.604	0.587
20	0.772	0.750
21	0.964	0.941
22	1.223	1.188
23	1.532	1.489
24	1.931	1.877
25	2.422	2.354
26	3.042	2.958
27	3.832	3.717

평가 결과 17 dB 동작영역(dynamic range)에서 좋은 선형성을 가짐을 알게 되었다.

#### 2. 측정된 SAR 값의 분포

SAR 값을 측정 하기위해 사용된 총 면적 (4 cm × 4 cm) 내부의 SAR 값의 분포를 기존의 Probe 스캐닝 시스템과 이 연구의 Probe 고정형 시스템과 비교해 봄으로써, 프로브 고정형 SAR 측정 시스템으로 측정한 SAR 값에 대한 신뢰성을 조사하였다. Flat 팬텀에 835 Mhz에 대한 전기적 특정을 갖는 모의 용액을 채운 후 팬텀 바닥으로부터 밑으로 15 mm 떨어진 곳에 dipole 안테나를 놓고 835 Mhz의 전력을 인가했을 경우의 SAR값 측정결과 두 시스템 각각의 측정 영역의 거의 모든 위치에서 SAR 값의 분포가 매우 흡사함을 알 수 있었다. 그림 5-2에 SAR 값 측정을 위한 표준 구성도를 나타내었다. 그림 5-3과 5-4에 측정한 각각의 SAR값 분포를 나타내었다.

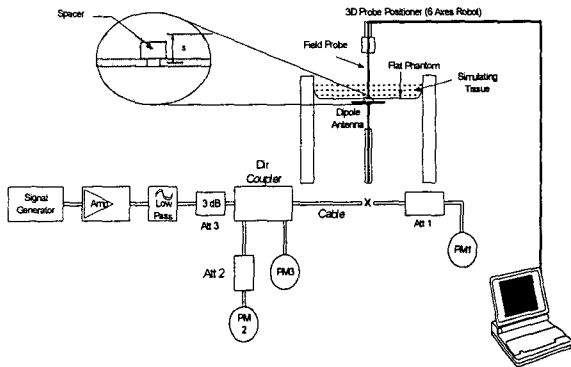


그림 5-2. SAR 값 측정을 위한 표준 구성도

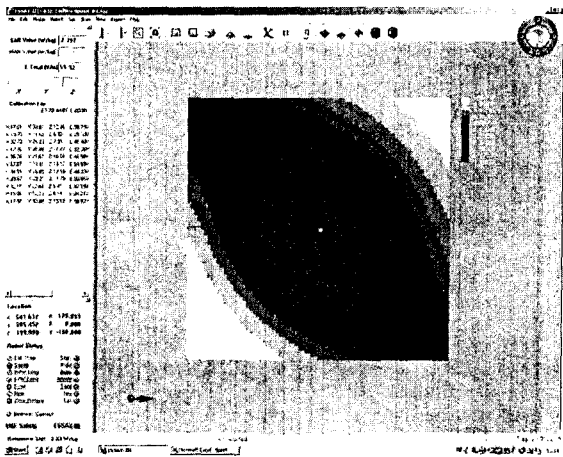


그림 5-3. 기존의 SAR 측정 장비로 4 cm x 4 cm 면적을 스캔하여 9개의 측정점 데이터로 구성된 다이폴 안테나의 점 SAR 값 분포도

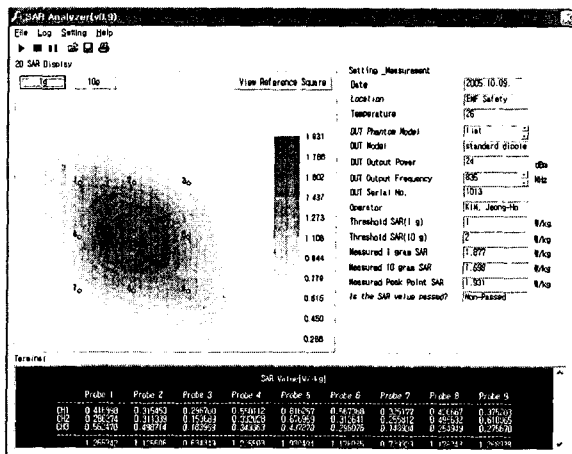


그림 5-4. 9개의 프로브들로 이루어진 고정형 SAR 시스템에 의한 다이폴 안테나의 SAR 값 분포도

본 논문에서 제시한 프로브 고정형 SAR 측정 시스템은, 기존의 프로브 스캐닝 방식의 단점을 보완하고자 제작 설계된 고속 SAR 측정 시스템이다. 이러한 시스템은 생산되는 모든 단말기에 대해 전수(全數)의 SAR 검사가 가능하게 해주며, 연구 개발 단계에서 SAR 값을 높게 하는 주원인을 쉽게 찾아낼 수 있게 하여, SAR 값을 감소시키는 방법을 보다 쉽게 찾도록 한다.

개발 단계에서의 이러한 시스템의 적용은 개발 시간 및 비용의 절감을 가져오고, 생산 라인에서의 적용은 생산성 및 품질 향상을 가져와 국내외적으로 휴대폰 제조업계의 경쟁력을 높이는데 크게 기여할 것으로 생각된다.

### 참고문헌

- [1] Hombach V, Meier, K., Burkhardt, M., Kühn, E., and Kuster, N., "The dependence of EM energy absorption on human head modeling at 900 MHz," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 44, no. 10, pp. 1865-1873, Oct. 1996.
- [2] Okoniewski, M. and Stuchly, M.A., "A study of the handset antenna and human body interaction," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 44, no. 10, pp. 1855-1864, Oct. 1996.
- [3] Watanabe, S., Taki, M., and Fujiwara, O., "Characteristics of the SAR distribution in a head exposed to electromagnetic fields radiated by a hand-held portable radio," IEEE Transactions on Microwave Theory Techniques, vol. 44, no. 10, pp. 1874-1883, Oct. 1996.
- [4] 김정호, 김윤명, "동축 슬롯 선로를 이용한 기준 용액들의 이동 통신 주파수대에서의 복소 유전율을 측정," 한국전자파학회논문집 제14호, pp. 955-960, 2003. 9.
- [5] IEEE P1528/D.1.2, Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices; Measurement Techniques, IEEE WG1 of SC2 of IEEE SCC 34, April 21, 2003.

### VI. 결론