

# 휴대폰 전자파의 혈액 조사를 위한 SAR별 TEM 셀의 입력 전력 산출

## Input Power Determination of TEM Cell Due to SAR for Mobile Phone Wave Blood Exposure

윤 지 훈 · 손 태 호

Ji-Hun Youn · Tae-Ho Son

### 요 약

TEM 셀 내에 있는 혈액에 대한 삽입 손실과 반사율을 측정하여, 원하는 혈액 흡수 SAR(Specific Absorption Rate) 선택에 따른 TEM 셀 입력 전력을 구하였다. 혈액 세포는 피부 세포와 함께 전자파 영향을 연구하기 위한 기준 세포이다. 따라서 SAR에 따른 혈액 세포에 인가할 전력 산출은 정확해야 함은 물론 타당성이 있어야 한다. 이 연구에서는 g당 혈액 세포가 받는 전력을 산출하기 위해 50 g의 혈액을 이용하여 전달 전력 감소를 측정하였다. 측정된 데이터로부터 휴대폰 전자파 생체 흡수율 SAR 0.8, 1.6, 3, 4 mW/g에 해당하는 TEM 셀 입력 전력을 계산하였다. 이 연구 결과는 배양 세포의 전자파 방사 장치에 응용함을 목적으로 하고 있다.

### Abstract

Input power for TEM cell apparatus due to SAR(Specific Absorption Rate) for culture blood cell is determined by the transmission and reflection measurement of blood into the TEM cell. Blood cell with skin cell are reference culture cells for the study of EM wave effect. Exposure RF power from exposure apparatus to culture cell should not only exact for SAR value, but also should be based on the theoretical theory. In this paper, insertion loss of 50 g blood was measured to know exposure power per gram for culture blood cell, and input power of TEM cell due to SAR 0.8, 1.6, 3, 4 mW/g using the measured data are delivered. This study is for applying to EM wave exposure apparatus to culture cell.

Key words : TEM Cell, SAR, Blood Cell, Culture Cell, Exposure Apparatus, EM Wave Effect

### I. 서 론

전파통신 산업의 발달로 전파 통신 관련 기기의 수용이 급증하였다. 이러한 전자파 이용에 따른 전자파의 유해성 유무는 90년대 초반부터 지금까지 논란이 되고 있다.

전자파의 인체 영향은 자극 작용과 열적 작용 및 장기 노출에 의한 비열적 작용으로 나눌 수 있다. 저

주파의 경우, 체내에 형성되는 유도 전류에 의한 자극 작용이 인체 영향의 주요 인자가 되는 것으로 알려져 있으며<sup>[1]</sup>, 유도 전류의 인체 영향 임계치도 설정되어 있다. 고주파의 경우, 체온 상승을 유발하는 열적 효과가 지배적이기 때문에 이와 같은 열적 효과를 정량적으로 평가하기 위하여 “전자파 비흡수율(SAR: Specific Absorption Rate)” 즉, “단위 시간당 인체의 단위 질량 조직에 흡수되는 에너지”를 정의

「이 연구는 한국산업기술평가원 지정 순천향대학교 차세대 BIT 무선부품연구센터의 지원으로 연구되었음.」

순천향대학교 공과대학 정보기술공학부(Division of IT Engineering, Soonchunhyang University)

· 논문 번호 : 20050521-06S

· 수정완료일자 : 2005년 7월 25일

하며 그 기준도 설정되어 있다. 선진국에서는 전자파 유해성 유무에 대한 다양한 실험이 이루어지고 있으며, 결국 어느 강도 이상의 전자파는 유해하다고 판단하여 SAR를 1.6 mW/g 이하로 제재를 가하고 있다. 그러나 안전 규정치인 1.6 mW/g 이하에서도 유해하다는 사실이 선진국 과학자들에 의해 계속 발표되고 있다<sup>[1][2]</sup>. 인체 유해성 유무를 실험하기 위한 방법으로는 인체에 직접 조사하여 증상을 알아내는 방법, 쥐 및 토끼 등 동물 생체에 조사하여 반응 및 조직을 검사하는 방법 및 배양 세포에 전자파를 조사하여 세포의 여러 변화를 연구하는 방법 등이 있다.

본 연구는 배양 세포에 전자파를 조사하는 장치에 적용될 TEM 셀 입력 전력을 산출하는 연구이다. 배양 기준 세포인 혈액 세포에 인가될 SAR별 전력을 삽입 손실 및 반사 계수를 측정하고 관련 수식을 이용하여 구한다. 전자파 조사 장치는 CDMA와 GSM 대역의 휴대폰 주파수를 발진시켜 이를 전력 증폭한다. 증폭된 신호는 TEM 셀 장치에 의해 균일 전자파로 바뀌며, 그 내부에 배양 세포가 담긴 petri-dish를 위치시켜 전자파에 피폭되게 설계되어 있다. 세포의 배양을 위해 TEM 셀을 Co2 인큐베이터 내에 둔다. SAR 0.8, 1.6, 3, 4 mW/g일 경우에 대한 증폭기의 출력을 만들어 TEM 셀에 연결하도록 한다.

## II. 조사장치의 구성

그림 1은 본 연구에 사용되는 혈액 배양 세포에 인가할 장치이다. 장치는 크게 3부분으로 나누어진다. 전자파를 발생시키는 전자 장치, 세포를 배양시키는 조건을 만들기 위한 인큐베이터 및 시료인 세포에 균일 전자파를 조사하는 TEM 셀이다. 전자파 발생장치는 CDMA와 GSM 주파수를 발생하도록 하였다. 발진된 주파수는 증폭기를 통하여 증폭되며, 증폭률은 SAR에 해당하는 전력이 발생되도록 하였다.

배양될 혈액 세포는 인큐베이터 내 TEM 셀이라는 균일 전자파 조사 장치 내에서 배양된다. 적용된 TEM cell의 그림은 그림 1의 인큐베이터 내부에 위치하고 있다.

TEM 셀은 원래 휴대폰 혹은 페이지 등의 기기에서 발생하는 전자파 수치 및 수신 시스템 감도 등을 측정하기 위해 만들어진 장치이다. 본 연구에서는



그림 1. 배양 세포 전자파 조사 장치  
Fig. 1. Waves exposure apparatus for culture cell exposure.

TEM 셀 원래 목적에서 변형하여 TEM 셀에 전력을 넣어줌으로써 그 내부에 균일한 TEM 모드가 발생토록 한 것이며, 내부에 적층 구조의 JIG를 이용하여 petri-dish를 넣고 그 곳에 세포를 배양토록 설계하였다.

TEM 셀 내 존재하는 TEM 모드는 전자파가 공기 중에 전파해 나갈 때 이루어지는 모드와 같다. 전송선로에서의 TEM 모드는 특정한 물체 즉, 동축선(coaxial cable) 혹은 마이크로스트립 선로 등에 발생되는 모드이다. 우리가 자유 공간에서 이용하는 무선 통신 역시 전자파가 전력의 진행 방향의 수직 평면에 존재하는 형태를 취하고 있다. 따라서 guided mode인 TEM mode는 자유 공간에 전파(propagation)되는 평면파와 같은 형태이다. 따라서 TEM 모드가 존재하는 TEM 셀에 배양 세포를 두면 자유 공간에서와 같은 환경이라 할 수 있기 때문에 본 장치에서는 TEM 셀을 사용한 것이다.

## III. SAR vs. TEM 셀 입력 전력

TEM 셀 내 배양 세포가 받는 SAR 값은 이론적으로도 계산이 가능하다. 그러나 TEM 셀 내 전자파는 내부 크기에 제한으로 인하여 사실상 완전한 TEM 모드라고 볼 수는 없다. 즉, 전자파의 균일성이나 내

부 에너지 흡수가 이론적이지 못하다는 것이다. 따라서 정확한 전자파 흡수량을 알기 위해서는 실험적으로 구할 수밖에 없다. 본 연구에서는 실험하고자 하는 SAR에 해당하는 TEM 셀 입력 전력을 실험적으로 구하였다.

그림 2는 TEM 셀 내 전력 흡수를 측정을 위한 장치 연결도이다.

그림 3은 그림 2에 대한 사진으로 TEM 셀 내 petri-dish를 설치하고 그 속에 혈액 50 cc가 들어 있는 모습이다.

측정은 인체 혈액 50 cc(50 g)를 petri-dish에 넣고 이에 대한  $S_{11}$  및  $S_{21}$  network data를 측정하였다. 50

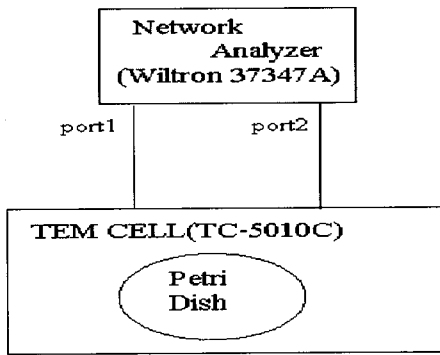


그림 2. TEM cell 내 전력 흡수를 측정을 위한 장치 연결도

Fig. 2. Equipment block diagram to measure power absorption rate in TEM cell.

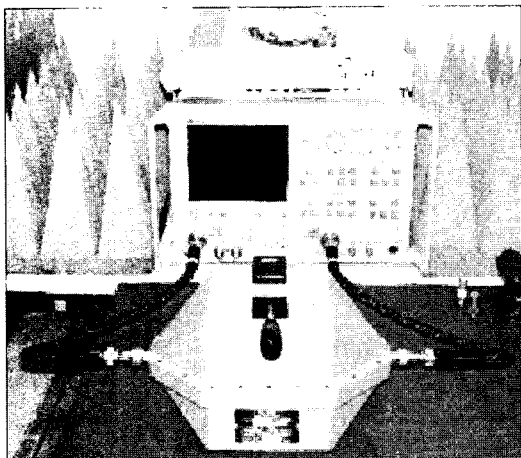


그림 3. 측정 장치 실물 그림  
Fig. 3. Measuring equipment figure.

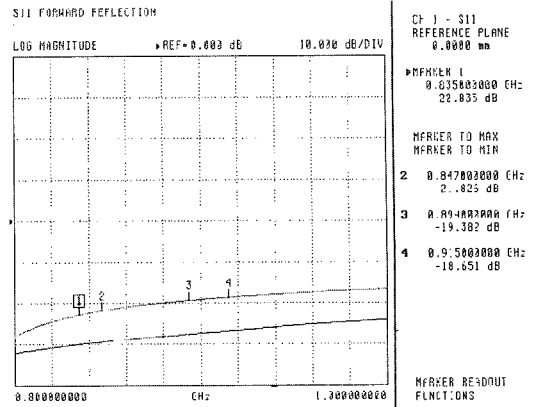


그림 4. 혈액 50 cc에 대한  $S_{11}$  특성(빈 상태: bottom line, 혈액: upper line)

Fig. 4.  $S_{11}$  values for blood 50 cc(empty: bottom line, blood: upper line).

cc를 측정하는 것은 측정의 신뢰성을 높이고자 하는 것으로 나중에 50 cc로 나누어 g당 흡수율 SAR 값으로 환산하기 위함이다. 측정할 때 미세한  $S_{11}$ 의 변화까지 측정하여 보정하였다.

그림 4에서 보듯이 TEM 셀 내 빈 petri-dish 상태 때  $S_{11}$  값은 주파수 835~915 MHz에서 -30 dB ~ -26.8 dB이고, 위선의 값은 혈액 50 cc가 담긴 상태에서의  $S_{11}$  값으로 -22.8 dB ~ -18.6 dB이다. 이는 주파수 대역에서 -20 dB을 유지함을 보이고 있으므로 혈액에 의한 임피던스 비정합이 일어나지 않음을 말해주고 있으므로,  $S_{21}$  계산에 보정할 필요가 없음을 보여주고 있다.

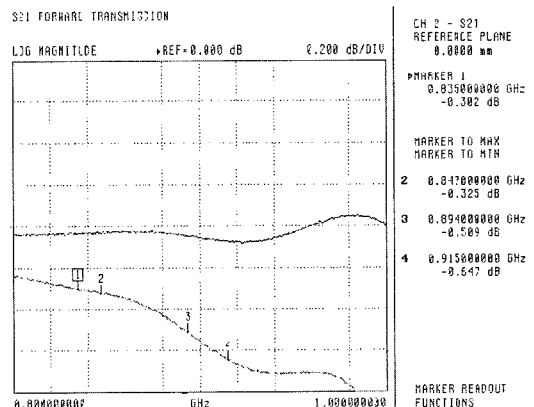


그림 5. 혈액 50 cc에 대한  $S_{21}$  측정값  
Fig. 5.  $S_{21}$  values for blood 50 cc.

그림 5는 주파수 800~1,000 MHz에서 TEM 셀 내 위치한 혈액 50 cc에 대한  $S_{21}$  값을 측정할 것을 나타낸 것이다.

그림 3, 4와 같이 측정한  $S_{11}$ ,  $S_{21}$  값을 이용하여 50 cc 당 흡수율을 AR(Absorption Rate)이라 할 때 AR은

$$AR = \frac{10^{\left(\frac{S_{21}E}{10}\right)} - 10^{\left(\frac{S_{21}B}{10}\right)}}{10^{\left(\frac{S_{21}E}{10}\right)}} \quad (1)$$

로서 구할 수 있다. 여기에  $S_{11}$  값이 미소하지만 달라지기 때문에 이를 보정하여야 한다. 이를 위하여 반사율 차이를 RR(Return Rate)라 하면

$$RR = 10^{\left(\frac{S_{11}E}{10}\right)} - 10^{\left(\frac{S_{11}B}{10}\right)} \quad (2)$$

가 되므로 보정된 흡수율 CAR(Compensated Absorption Rate)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$CAR(/50g) = AR - RR \quad (3)$$

위 식 (1)~(3)은 혈액 50 cc에 대한 것이므로 1 cc(1 g)당 SAR 값은 식 (3)을 50으로 나누면 얻을 수 있다. 따라서 TEM 셀 내 입사되어야 할 g당 SAR 전력은

$$P_i = \frac{SAR(/g)}{CAR(/g)} \quad [mW] \quad (4)$$

로부터 얻을 수 있다.

이상으로 실험한 수치를 나타내고 계산식을 이용하여 SAR 1.6 mW/g일 때 주파수 별 TEM cell 입사 전력을 구하면 표 1과 같다.

따라서 본 장치가 적용한 SAR 0.8, 1.6, 3.0, 4.0에 해당하는 TEM cell 입력 전력을 구하여 공급하였다. 이를 표로 나타내면 표 2와 같다.

혈액 세포 이외 인체 배양의 기준인 또 하나인

표 1. SAR 1.6 mW/g일 때 TEM cell 입사 전력  
Table 1. TEM cell input power at SAR 1.6 mW/g.

| 주파수[MHz] | Blood[50 cc]  |               | Power[W] |
|----------|---------------|---------------|----------|
|          | $S_{11}$ [dB] | $S_{21}$ [dB] |          |
| 835      | -22.835       | -0.302        | 1.236    |
| 847      | -22.826       | -0.325        | 1.150    |
| 894      | -19.382       | -0.509        | 0.729    |
| 915      | -19.651       | -0.647        | 0.606    |

표 2. SAR별 TEM 셀 입력 전력(주파수 835 MHz)  
Table 2. TEM cell input powers versus SAR(Frequency=835 MHz).

| SAR(mW/g) | Power(W) |       | 비고 |
|-----------|----------|-------|----|
|           | Blood    | Skin  |    |
| 0.8       | 0.618    | 0.701 |    |
| 1.6       | 1.236    | 1.403 |    |
| 3.0       | 2.318    | 2.631 |    |
| 4.0       | 3.091    | 3.509 |    |

$$\text{Blood } \sigma = 1.19 \quad \epsilon_r = 74 \quad \rho(\text{density}) = 1,000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Skin } \sigma = 0.92 \quad \epsilon_r = 57 \quad \rho(\text{density}) = 1,000 \text{ kg/m}^3 \quad (5)$$

( $\sigma$  : 전도율,  $\epsilon_r$  : 비유전율)

$$SAR = \frac{1}{2} \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad [mW/g] \quad (6)$$

skin 세포에 대한 실험은 불가하므로 이에 해당하는 전력은 혈액과 skin과의 전기적 특성을 이용하여 관계식을 적용하면 전력은  $E^2$ 에 비례하므로 전도율의 차이에 따라 skin의 입력력을 구할 수 있다. 구한 SAR별 skin 세포의 TEM 셀 입사 전력은 표 2에 나타내었다. 같은 SAR에서 skin 세포가 혈액 세포보다 전도율이 작기 때문에 보다 큰 전력이 요구됨을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

TEM 셀 내에 있는 혈액에 대한 전자파 침투율을 측정하여, SAR 선택에 따른 TEM 셀 입력 전력량을 구하였다. g당 혈액 세포가 받는 전력을 구하기 위해 50 g의 혈액에 대한 전달 전력 감소를 network analyzer로 측정하였다.

TEM 셀 내 빈 petri-dish 상태 때  $S_{11}$  값은 주파수 835~915 MHz에서 -30 dB ~ -26.8 dB이며 혈액 50 cc가 담긴 상태에서의  $S_{11}$  값은 -22.8 dB ~ -18.6 dB이다. 835 MHz에서 혈액의 경우 SAR 0.8, 1.6, 3, 4 mW/g에서 입력 전력은 0.618, 1.236, 2.318, 3.091 [W]였으며, skin 세포일 때 같은 SAR에서 입력 전력은 0.701, 1.403, 2.631, 3.509 [W]였다. 이 연구는 배양 세포에 대한 전자파 조사 장치에 응용되고 있다.

참 고 문 헌

[1] EMFacts consultancy, "Mobile phone health hazards", <http://www.tassie.net.au/emfacts/mobiles/>

[2] ITN Online, "Cancer scare for mobile phone users", ITN ONLINE, May 1999.

[3] 손태호, 신길상, "광학 및 전자현미경 관찰을 위한 마이크로파 생체조직 고정법", 제4회 전자기

장의 생체영향에 관한 워크샵 논문집, 한국전자과학회, 1(1), pp. 133-144, 2000년 10월.

[4] 한국전자과학회, "전자기장 노출에 대한 인체 보호 기준", 한국전자과학회지 전자과학기술, 10(2), pp. 14-29, 1999년 6월.

[5] C. A. Balanis, *Antenna Theory*, 2nd Ed., John Wiley & Sons Inc., 1997.

윤 지 훈



2004년 2월: 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)  
 2004년 3월~현재: 순천향대학교 정보통신공학과 석사과정  
 [주 관심분야] 안테나, RFID 시스템

손 태 호



1979년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)  
 1986년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)  
 1990년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)  
 1978년 10월~1987년 2월: LG이노

텍(주) 연구소 근무  
 1992년~1994년: 천문우주연구원 위촉연구원  
 1999년~2000년: University of Illinois 연구교수  
 2000년~2003년: (주)넷시텔레콤 위촉 연구소장  
 2002년~현재: (주)에스비텔콤 기술고문  
 2005년~현재: (주)하이트렉스 기술고문  
 1990년~현재: 순천향대학교 정보기술공학부 교수  
 [주 관심분야] 위성통신용 및 휴대폰용 안테나 설계, 자동차용 전장품 개발, 레이더 시스템, 전자파 생체영향 등