

배양세포에 대한 휴대폰 전자파 영향 연구를 위한 장치 개발

손 태호* 장 성근**

순천향대학교 공과대학 정보기술공학부(*)

순천향대학교 자연과학대학 응용과학부(**)

Culture Cells Apparatus for the Mobile Phone EMF Effects

Taeho Son and Sung-Keun Chang

Division of IT Eng. Soonchunhyang University

Division of Applied Science Soonchunhyang University

요 약

배양세포에 휴대폰 전자파를 조사시켜 전자파의 영향을 연구할 수 있는 장치를 개발 제작하였다. 이 장치는 궁극적으로 이동통신용 전자파의 인체영향 평가를 위한 기초장비이며, 무선통신 산업화에 도움을 주고자 함을 목적으로 하고 있다.

국내 CDMA 통화주파수인 835MHz를 발진한 신호는 세포의 종류와 인가할 세포의 SAR 레벨에 따라 다르게 전력 증폭된다. 증폭된 전자파는 CO2 incubator 내에 설치된 TEM 균일 전자파 조사장치에 인가되고 그 안에 위치하는 petri dish내 배양세포에 균일하게 조사되도록 설계하였다. 전자파 균일 조사장치 내 전자파를 해석하고 세포의 전기적 특성에 따른 입력전력과 SAR의 관계를 구하였다.

1. 서 론

휴대폰 등 이동통신산업의 발전에 따라 무선통신 전자파가 인체에 미치는 영향에 대한 연구의 관심은 한층 더해지고 있다. 인체에 대한 휴대폰 전자파의 규제치는 SAR(Specific Absorption Rate, 인체 특수부분 흡수율)로 규제하고 있다. 현재 우리 나라를 포함하여 미국, 일본 등 선진국에서 규제하고 있는 SAR은 1.6 w/kg(1.6 mw/g)이다. SAR 값에 따른 인체, 동물 및 세포 단위의 영향에 관한 연구는 90년 초반부터 현재까지 꾸준히 진행되어오고 있으며, 규제치 이상의 전자파일 경우 유해성을 인정하고 있으나 그 이하의 미약한 전자파의 경우에도 유해성이 발표되고 있다. [1]-[5]

발표된 연구 중 세포가 증식할 때 비교적 약한 전자파에도 세포의 이상이 발생한다는 연구가 발표되기도 하였다. 때문에 영국 등 일부국가에서는 한창 커나가는 어린이의 휴대폰 사용제한 법안을 추진하고 있는 실정이다.[1]

본 연구는 이러한 문제를 상세히 밝히는 연구를 위하여 배양세포에 전자파를 조사하는 장치를 제작하는 연구이다. 제작된 장치의 구성과 동작원리를 설명하고 세포별 SAR에 해당하는 전자파 전력을 산출한 결과를 나타낸다.

2. 장치의 구성

세포를 배양하기 위해서는 적절한 온도 및 습도와 CO2가 공급되어야 한다. 따라서 incubator 내에 전자파 조사장치가 설치되어야 한다. 그림1은 본 장치에 대한 블록선도이다.

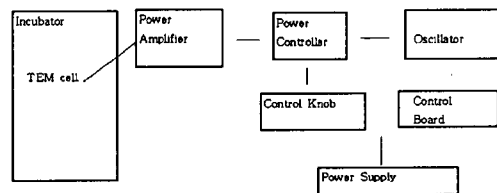


그림1. 블록선도

장치는 크게 2부분으로 이루어진다. 휴대폰 신호를 발생시키는 전자장치부분과 incubator를 포함하는 전자파 조사장치 부분이다. 먼저 우리 나라에서 가장 많이 사용하는 CDMA 통화주파수를 CW로 발진시킨다. 신호는 위상천이 방식의 디지털 신호이기 때문에 CW 정현파를 적용하여도

실제 신호로 간주될 수 있다.

발진된 휴대폰 신호는 전력 증폭기를 통하여 증폭된다. 이때 패널 상에 있는 세포모드 스위치 및 SAR 레벨 선택 스위치에 의해 증폭률이 제어된다. 증폭된 신호는 CO2 incubator 내에 있는 TEM 균일 전자파 발생장치에 공급되어 그 내부에 있는 배양세포에 조사되도록 설계되어 있다.

3. 균일 전자파 조사를 위한 장치

배양되는 세포는 직경 10cm 크기의 petri dish내에서 배양된다. 따라서 연구의 확실성을 위해서는 dish 내 어느 부분이든 같은 전자파세기가 조사되어야 함은 물론이다. 이는 전자파가 균일하게 조사되어야 한다는 것이다.

본 연구에서는 내부가 TEM(Transverse Electromagnetic) 모드가 발생됨으로써 균일성을 갖는 장치를 적용하였다. TEM 모드 발생장치는 입출력 연결을 위하여 type N connector를 사용한다. 입력된 휴대폰 신호전력은 넓은 +극판과 상하에 위치하는 -극판 사이의 전자파로 변환된다. 극판의 크기가 무한히 크거나 비록 작더라도 극판의 간격이 아주 작으면 완전한 TEM 모드가 발생된다. 이때 극판 사이의 전자계는 위치와 무관하게 일정한 완전 균일 전계를 형성하게 된다.

그러나 실제의 경우 petri dish를 수납하여야 하기 때문에 극판 간격도 높아야 하고 또한 극판의 크기도 제한을 받기 때문에 완전한 TEM 모드가 아닌 Quasi TEM 모드가 발생된다.

극판 사이에 존재하는 전자계는 다음으로 된다.

$$E_x = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{i\omega\mu b}{n\pi} H_n \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-i\beta_z z} \quad (1)$$

$$H_y = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{j\beta_z b}{n\pi} H_n \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-i\beta_z z}$$

$$H_z = \sum_{n=1}^{\infty} H_n \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-i\beta_z z}$$

$$E_y = E_z = H_x = 0$$

이 식에서 b는 극판의 간격이고, $\mu=\mu_0$, β_z 는 전파상수이다. 이 연구를 위해 적용된 TEM 장치는 다음 그림2와 같다.



그림2. TEM 모드 발생장치

TEM 발생장치의 전자파는 petri dish 내 세포에 인가되고 잔여 전력은 출력에 연결된 부하에서 모두 소모된다. 이때 입력전력과 내부 발생 전계와의 관계식은 다음과 같다.

$$P = \frac{1}{2} \frac{(EL)^2}{Z_0} \quad (2)$$

4. 증폭기 출력 대비 SAR

인체의 세포는 전기적 특성이 다르다. 전기의 흐름 정도를 나타내는 전도율(conductivity)과 분극의 정도를 나타내는 비 유전율(relative permittivity) 특성이 다르다.

표1. 세포별 전기적 상수 값

세 포	전도율 (s/m)	비유전율	밀도 (kg/m ³)	비 고
Brain	0.61	55.0	1050	비균질
	0.74	46.1	1030	균질
Skin	0.92	57.0	1000	비균질
Fat, Bone	0.09	8.3	1200	비균질
Blood	1.19	74.0	1000	비균질
Eye	1.7	74.0	1000	비균질
Muscle	0.92	57.0	1020	비균질
Cartilage	0.09	8.3	1000	비균질

인가되는 전력은 유전율에 따라 전계강도(electric field strength)가 달라진다. 그러므로 세포의 밀도와 전도율에 따라 SAR이 달라지게 된다. SAR 수식은 다음과 같다.

$$SAR = \frac{1}{2} \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad [w/kg] \quad (3)$$

여기서 σ , E , ρ 는 세포의 전도율, 도달 전계강도(field strength) 및 밀도[kg/m³]이다. 따라서 위 식들을 이용하면 세포에 따라 원하는 SAR에 해당하는 TEM 장치의 입력전력을 계산할 수 있다.

따라서 본 장치에서 세포에 공급되는 전력에 따라 전력 밀도가 달라지며 이에 따라 SAR 값이 달라지게 된다. 즉, blood 세포를 선택할 경우 그 세포에 조사하고자 하는 SAR에 따라 세포가 받아야 할 전계강도가 계산되고, 그 전계강도 값이 되도록 TEM 모드 장치에 전력을 인가하면 되는 것이다.

표2. 세포별 SAR 대비 전자파 전력

세포	SAR (w/kg)	전계강도 (v/m)	입력전력 (w)
Blood	1.6	51.86	0.15
	2	58.0	0.19
	3	71.0	0.28
	4	82.0	0.38
Skin	1.6	58.97	0.2
	2	65.94	0.25
	3	80.76	0.37
	4	93.25	0.5

표2에서 선택된 SAR 값은 우리 나라를 포함한 미국, 일본, 유럽 등에서 채택하고 있는 휴대폰 규제치 1.6, 한국 일반인 전자파 안전기준인 머리 및 몸통 국부적인 규제치 2.0 및 팔 다리의 국부적 규제치 4.0을 적용한 것이다. 위와 같이 제작된 장치의 형태는 다음 그림과 같다.



그림3. 제작된 장치

5. 결론

배양 세포에 휴대폰과 동일한 전자파를 균일하게 조사할 수 있는 장치를 개발 제작하였다.

한국에서 가장 널리 사용하는 CDMA 011 통화주파수를 발견시켜, 선택하는 세포종류 및 SAR 별로 달리 증폭되는 전력 증폭기를 거친다. 배양세포는 TEM 모드 발생에 의해 균일한 전자파 분포를 갖는 장치에 위치됨으로써 휴대폰과 동일한 조건의 전자파를 받을 수 있도록 설계하였

다. 이 장치는 세포의 배양조건을 맞추어주기 위해 CO2 incubator 내에 장착되었다.

제작된 장치는 지속 연구과제에 넘겨 세포의 전자파 영향 연구에 활용되고 있으며, 나아가 전자파의 인체 유해 유무 연구에 활용될 예정이다.

참고문헌

[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 24, 1999

[3] 손태호, 신길상 "마이크로파에 의한 생체물질 고정효과", 전자파기술학회 논문집, 제5권 제3호, pp.78-87, 9월, 1994

[4] 손태호, 신길상, "광학 및 전자현미경 관찰을 위한 마이크로파 생체조직 고정법", 제4회 전자기장의 생체영향에 관한 워크숍 논문집, 한국전자파학회, 제1권 1호, pp.133-144, Oct., 2000

[5] Bernard GR. "Microwave irradiation as a generator of heat for histological fixation". *Stain Tech* 49, pp. 215-224. 1974

[6] M. E. Jensen, Y. Rahmat-Samii, "EM Interaction of Handset Antenna and a Human in Personal Communications", *Proceeding of the IEEE*, Vol.83, No.1, Jan., pp.7-17, 1995

[7] M. Okoniewski, M. A. Stuchly, "A Study of the Handset Antenna and Human Body Interaction", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol.44, No.10, pp1855-1864, Oct., 1996

[8] C. A. Balanis, "Antenna Theory" 2nd ed. John wiley & Sons Inc., 1997

[9] 한국전자파학회, "전자기장 노출에 대한 인체 보호 기준". 한국전자파학회지, Vol.10, No.2, pp14-29, 6월, 1999

이 연구는 한국과학재단지원 순천향대학교 지역협력연구사업(RRC)의 제1-1세부과제(R12-2002-007-01001-0)로 연구된 것이며 제작된 2종의 장비 중 1 장비임