

## 전자기장 노출장치

백 정 기

충남대학교 전파공학과

### I. 서 론

전자기장(EMF: Electric, Magnetic, and Electromagnetic Field)의 인체영향에 대한 연구는 1950대부터 시작되었으며, 1980년대 초반부터는 일반인의 관심이 증가하면서 유·무해 논쟁 및 관련 연구가 본격화되기 시작하였다. 선진국에서는 많은 연구비를 투입하여 이와 관련된 연구를 지속적으로 수행해 오고 있고, 국내에서도 학계와 연구소를 중심으로 1996년부터 전자파의 인체영향에 대한 연구를 시작하였으며, 금년에는 전자파 전자파노출에 대한 인체보호기준이 고시되었다.

인체보호기준에서 다루고 있는 전자기장의 주파수 대역은 0-300GHz 대역이다. WHO(World Health Organization)에서는 이 주파수 영역을 정(0Hz), 극저주파수(ELF, >0-300Hz) 및 무선주파수(RF, 300Hz-300GHz) 전자기장으로 나누고 있으며, 300Hz-10MHz 대역을 특히 중간주파수(MF) 대역으로 세분화기도 한다. 이러한 넓은 주파수 영역 중에서 일반인의 관심이 집중되고 있는 주파수 대역은 전력선 주파수(50/60Hz)와 이동통신 주파수(800-900MHz, 1.5-2.0GHz) 대역이며, 따라서 인체영향 연구도 이 주파수 대역에 치중되고 있다.

지금까지 수행되었거나 수행되고 있는 대표적인 대규모 연구 프로젝트로는 미국에서 1992년부터 1996까지 수행된 전력선 주파수 대역의 EMF RAPID(The Electric and Magnetic Fields Research and Public Information

Dissemination) 프로젝트와 역시 미국에서 1995년부터 수행되고 있는 이동통신 주파수 대역의 WTR(Wireless Technology Research) 프로젝트, 그리고 유럽에서 1996년부터 수행되고 있는 COST(European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research) 프로젝트, WHO에서 1996년부터 2005년까지 수행하고 있는 국제 EMF 프로젝트, 국제비전리성복사방호위원회(ICNIRP: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)의 연구 등이 있으며, 한국과 일본 등 각 국가별로도 독자적인 연구가 진행되고 있다.

이러한 많은 연구 노력에도 불구하고 강한 전자기장의 인체영향, 즉 ELF 대역의 유도전류에 의한 자극작용 및 RF 대역의 전자파 에너지 흡수에 의한 열적작용에 의한 영향에 대해서는 어느 정도 밝혀져 있으나, 전자기장의 장기간 노출에 의한 비열적 영향에 대해서는 아직도 많은 논란이 있다. WHO에서는 앞에서 언급한 국제 EMF 프로젝트를 통하여 전자기장 노출에 대한 건강위험성 평가를 위해 필요한 연구주제를 선정하고, 국제적인 공조 하에 대규모의 연구과제들을 수행하도록 조정하며, 연구결과의 객관성 및 과학적 타당성을 확보할 수 있는 연구방법을 채택, 권고함으로써, 2003년에는 정전자기장과 ELF 전자기장에 대한 건강영향평가서(EHC: Environmental Health Criteria), 2005년에는 RF 전자기장에 대한 건강영향평가서를 발간할 계획을 가지고 있다.

전자기장의 인체영향에 대한 연구는 크게 시험

관실험 연구, 동물실험 연구, 역학연구, 인간을 대상으로 한 자원자 연구로 나눌 수 있다. 시험관 실험 연구는 전자기장 노출에 기인한 생물학적 영향의 기본적인 메커니즘에 대해 중요한 통찰력을 제공할 수 있는 반면, 생체 실험은 그것이 동물에 대한 것이든 사람에게 대한 것이든 유해한 건강영향에 대해 보다 더 납득할 수 있는 증거를 제공한다. 그리고 역학 연구는 인체에 미치는 영향에 대한 가장 직접적인 정보를 제공한다. 이러한 연구들의 연구결과에 대한 객관성 및 과학적 타당성 확보를 위해서 WHO에서 특히 강조하고 있는 부분은 노출량, 즉 전자기장의 세기 또는 전자 파 흡수율(SAR : Specific Absorption Rate)의 정확한 평가, 실제 상황과 유사한 노출 신호 및 환경, 충분한 표본 수 및 재현성 있는 실험 등이다<sup>11)</sup>.

본 고에서는 ELF와 RF 대역의 시험관실험(*in vitro*) 및 동물실험(*in vivo*)용 노출장치에 대한 일반적인 요구조건, 노출량 설정 및 평가방법, 그리고 국내외에서 실제 제작되어 사용되고 있는 노출장치에 대해 살펴보고자 한다.

## II. 노출장치의 요구조건

노출장치의 일반적인 요구조건은 다음과 같다.

- 잘 정의된 노출장
  - 전자기장 또는 SAR의 균일도 및 범위
  - SAR에 대한 검증(이론적 분석 및 측정)
- 전자기장의 적절한 차폐
- 환경 조절 기능(온도, 습도 등)
- 각종 기능 및 조건을 모니터 하는 능력
- 실험재료 또는 표본의 동시 노출 기능
- 적절한 크기
- 비용

먼저 노출장의 경우, ELF 대역에서는 균일한 전기장 또는 자기장을 얻기가 비교적 용이하며, 전자기장의 세기는 이론적 분석뿐만 아니라 정밀

한 측정을 통해 검증되어야 한다. 특히, 전력선 주파수의 경우 50/60Hz의 정현파보다 그 고조파 성분, 또는 전원의 단락에 의한 천이장(transient field)의 영향이 더 클 수 있으므로 이에 대한 실험을 하도록 WHO에서는 권고하고 있고<sup>12)</sup>, 이러한 실험을 위한 노출장치는 실제의 전자기장을 정확히 구현할 수 있도록 설계되어야 한다. RF 대역에서는 균일장을 얻기가 쉽지 않으나 노출대상 내의 SAR 분포를 정확히 예측할 수 있어야 하고, 신호원은 실제 시스템의 파형(예컨대, 국내 셀룰러 전화의 경우 실제의 CDMA 신호)을 발생시킬 수 있어야 한다. WHO에서는 30% 이내의 노출량 정확도를 요구하고 있다<sup>13)</sup>. 대부분의 경우 노출장치의 노출량은 조정할 수 있어야 하며, 실험에서 요구되는 노출량의 범위를 충분히 만족시킬 수 있도록 설계되어야 한다.

이러한 노출장치는 외부 전자기장의 영향을 받지 않고, 다른 실험장치 및 실험자에게 영향을 미치지 않도록 적절히 차폐되어야 한다. 또한, 동물 실험용 노출장치의 경우 적절한 환기 장치를 하여야 하며, 노출장치 내에서 실험대상 동물이 스트레스를 받지 않도록 각별히 주의하여 설계하여야 한다. 시험관실험용 노출장치의 경우는 일반적인 세포배양 실험에서와 같은 환경조건(온도, 습도 및 CO<sub>2</sub> 농도)을 만들어 주어야 하며, 특히 SAR 값이 큰 경우에는(약 2W/kg 이상) 냉각수를 사용하여 냉각을 시켜줄 수 있어야 한다. 이것은 실제 생체내의 조직에서는 국부 SAR이 상당히 높은 경우에도 혈액 등을 통한 열 조절 메커니즘에 의해 온도 상승이 크지 않은 반면, 시험관실험의 경우에는 배양액의 온도가 급격히 상승할 수 있기 때문이다.

그리고, 노출장치는 가능한 한 충분한 수의 표본(동물실험의 경우는 동물, 시험관실험의 경우는 Petri dish와 같은 세포 배양액이 담긴 용기)을 동시에 노출시킬 수 있어야 하며, 적절한 크기를 가져야 한다. 또한, 온도나 습도 등을 실시간으로 모니터 할 수 있어야 한다.

### Ⅲ. 노출량 설정 및 평가

#### 1. 노출량 설정

먼저 노출량 설정에 있어서 중요한 노출기준치 중에서 전력선 주파수에서의 전자기장 및 RF 대역의 SAR 값에 대한 각국의 기준치를 정리해 보면 <표 1>, <표 2>와 같다.

<표 1> RF 대역 SAR 기준

국 명	CENELEC	ICNIRP	IEEE, FCC	JAPAN	KOREA
전신평균 (W/kg)	0.08(0.4)	0.08(0.4)	0.08(0.4)	0.08(0.4)	0.08(0.4)
국부(손목/발목)	4(20)	4(20)	4(20)	4(20)	-
국부(머리/몸통)	2(10)	2(10)	1.6(8)	10(2)	1.6
국부치계산을 위한 조직무게(g)	10	10	1(머리, 몸통) 10(손목, 발목)	10('99 국부흡수지침) 1('90 기초지침)	1

<표 2> 전력선 주파수(60Hz)의 전자기장 노출기준

국 명	CENELEC	ICNIRP	IEEE, FCC	JAPAN	KOREA
전기장(V/m)	10(25)	4.17(8.33)	-	3.0	4.17(8.33)
자속밀도(μT)	533(1333)	83.3(417)	-	-	83.3(417)

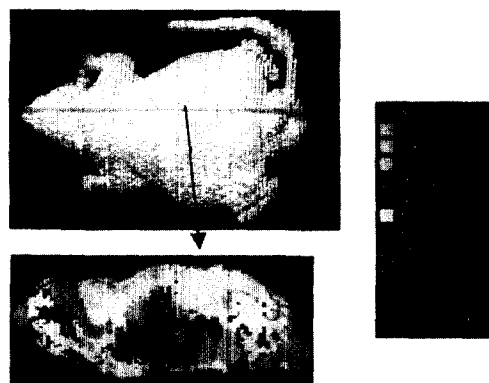
노출량의 설정은 강한 전자기장에 의한 단기적인 영향(즉, ELF 대역에서의 전자기장에 의해 유도된 유도전류의 자극작용 또는 RF 대역에서의 열적 작용에 의한 영향)을 실험하고자 할 경우, 통상 기준치의 5-10배가 되는 레벨로 노출시키며, 약한 전자기장의 장기간 노출에 의한 비열적 영향을 실험하고자 할 경우에는 기준치보다 상당히 낮은 레벨로 노출시킨다.

#### 2. 노출량 평가

앞에서 언급한 것과 같이 주어진 인가전력에 대해 노출대상 내의 노출량의 공간분포에 대한 정확한 평가가 필수적이다. 노출량 평가에 있어서, ELF 대역에서는 실험대상의 영향이 크지 않기 때문에 자유공간으로 가정할 수 있으며 전자기장의 세기를 FDTD 방법(Finite Difference Time Domain Method) 등을 사용하여 설계

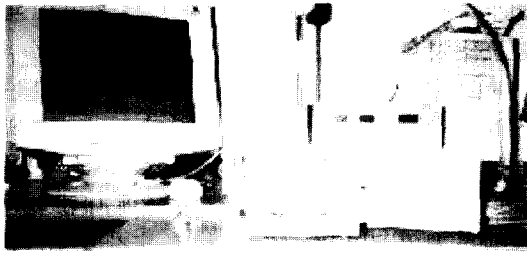
하고, 제작된 노출장치를 전기장 또는 자기장 프로브를 사용한 측정을 통해 검증하면 된다.

RF 대역의 경우는 Petri dish와 배양액(또는 생체조직), 실험대상 동물의 영향이 크기 때문에 이들을 정확히 모델링하고 그 영향을 분석하여야 한다. <그림 1>은 미공군연구소의 쥐에 대한 해석 모델을 보인 것이다. <그림 1>의 수치는 voxel 수를 나타낸다.

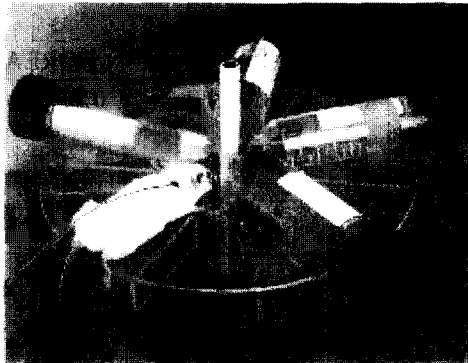


<그림 1> 미공군연구소의 쥐 해석모델

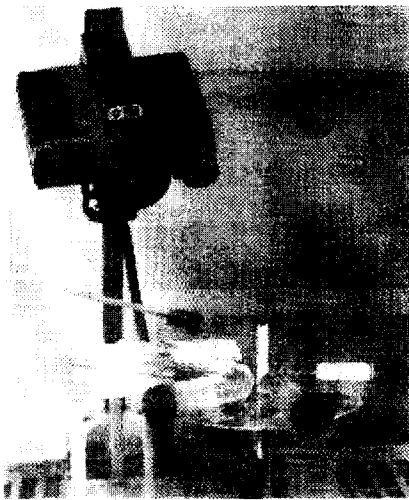
이러한 모델을 사용하여 설계된 노출장치는 정밀 측정에 의해 검증되어야 한다. RF 대역에서 노출대상 내의 SAR 분포는 3축 전기장 프로브, 온도 프로브, 적외선 카메라 등을 사용하여 측정할 수 있다. 적외선 카메라는 표면 SAR 분포 측



〈그림 2〉 온도 프로브를 이용한 측정



〈그림 3〉 온도 프로브를 이용한 측정



〈그림 4〉 적외선 카메라를 이용한 측정

정에 적합하며, 시험동물을 해부하여 내부의 SAR 분포를 측정할 수도 있다. 동물실험용 노출 장치의 경우 노출량 측정에는 동물의 사체를 이용하거나 모의생체(phantom)을 사용한다. 〈그

림 2〉는 시험관실험용 노출장치 내의 SAR 분포를 전기장 프로브를 사용하여 측정하고 있는 사진이며, 〈그림 3〉과 〈그림 4〉는 각각 동물실험용 국부 노출장치에서 동물의 사체 내의 SAR 분포를 온도 프로브와 적외선 카메라를 이용하여 측정하고 있는 사진이다.

측정된 전기장 세기 및 단위시간당 온도변화에 대한 SAR 값은 다음 식으로 주어진다.

- 전기장 세기에 대한 SAR

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} |E|^2$$

- 온도변화에 대한 SAR

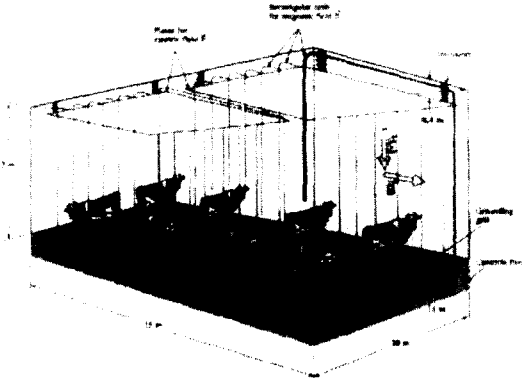
$$SAR = C_p \frac{dT}{dt} \approx C_p \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

윗 식에서  $\sigma$ 는 조직의 전도도(S/m),  $\rho$ 는 조직의 밀도(kg/m<sup>3</sup>),  $E$ 는 전기장 세기(V/m),  $C_p$ 는 비열(J/kg°C), ( $T$ 는 노출에 의한 온도상승, 그리고  $\Delta t$ 는 노출시간을 나타낸다.

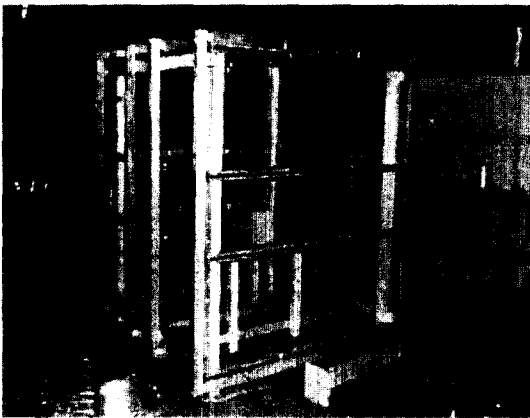
#### IV. ELF 대역 노출장치

ELF 대역 전기장과 자기장 노출장치는 각각 평행 평판과 코일로 구성되며, 발생하는 전자기장의 성분 수에 따라 단축, 2축 및 3축 노출장치로 구분된다. 〈그림 5〉는 캐나다에서 사용한 60Hz 전자기장 노출에 의한 젖소의 혈액과 뇌척수액 내의 무기물 변화량을 실험하기 위한 단축 전자기장 노출장치이다<sup>12)</sup>. 위, 아래의 도체판에 의해 수직방향 전기장이 형성되며, 횡단면 상의 14개의 코일에 의해 수평방향의 자기장이 발생한다. 노출장치의 크기는 길이 15m, 폭 10m, 높이 5m로서 1.79m×1.62m×2.43m의 목재 우리에 갇힌 젖소를 동시에 8마리까지 노출시킬 수 있으며, 노출장치 내의 전기장과 자기장은 각각 10kV/m, 30μT이다.

〈그림 6〉은 국내에서 개발된 60Hz, 2축 자기



〈그림 5〉 ELF 대역 단축 전자기장 발생장치



〈그림 6〉 ELF 대역 2축 자기장 발생장치

장 노출장치로서 횡단면과 수평면 상에 위치한 4개의 사각형 코일에 의해 수평방향과 수직방향의 자기장이 발생된다<sup>[3]</sup>. 노출장치의 크기는 각 변의 길이가 1.8m로서, 수직방향의 3개 층에서 50마리의 쥐를 수용할 수 있게 설계되었고, 노출장치 내의 자기장은 0.1-500 $\mu$ T의 범위 내에서 가변시킬 수 있다.

### V. RF 대역 노출장치

RF 대역 노출장치는 시험관실험용 노출장치와 동물실험용 노출장치로 구분되고, 동물실험용 노출장치는 다시 전신노출용과 국부노출용으로 구

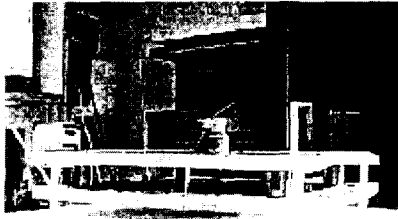
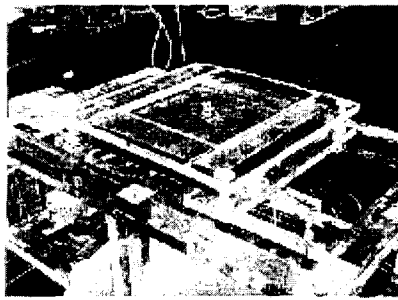
분할 수 있으며, 그 목적에 따라 아래와 같이 다양한 형태가 사용되고 있다.

- 무반사실 (anechoic chamber)
- 반사실 (reverberant chamber)
- 평행평판
- 공진기 (원형, 구형, 방사형)
- 튜브형 도파관
- Stripline
- 방사형 도파관
- TEM 셀
- 국부 노출장치 (Carousel 등)

무반사실은 통상 혼 안테나에 의해 급전되며 반대편 벽면 앞의 3dB 빔폭 내에서 실험대상 동물을 노출시킨다. 무반사실은 상당히 많은 동물을 동시에 노출시킬 수 있으나, 인가 전력이 매우 높아야 한다는 단점이 있다. 반사실은 전자레인지와 유사한 노출장치로서, 잘 설계하지 않으면 hot spot이 발생할 수 있다. 무반사실과 반사실형 노출장치는 최근에는 많이 사용되지 않는 노출장치이다.

평행평판형 노출장치는 두개의 평판사이에 RF 전자파를 여기 시키는 것으로, 제작이 용이하나 SAR의 균일도가 나쁘다. 동축선로에 의해 급전되며, 외부도체는 위 판에, 내부도체는 아래 판에 연결시킨다. 〈그림 7〉은 이탈리아에서 사용한 1800MHz의 시험관실험용 노출장치이다<sup>[4]</sup>. 평판의 크기는 20cm×20cm로서, 직경이 3.5cm인 Petri dish 4개를 동시에 노출시킬 수 있다. 높이가 2mm인 배양액 내의 평균 SAR은 1W 입력에 대해 1.4W/kg이다. 전자기장 차폐를 위해 〈그림 7(b)〉에 보인 것과 같이 도체 그물로 노출장치를 둘러쌌으며, 또한 온도, 습도 및 CO<sub>2</sub> 농도 조절을 위해 incubator 내에 노출장치를 위치시켰다.

공진기형 노출장치는 SAR 균일도가 좋고 전력효율도 높으나, 공진기의 공진특성으로 인해 대역폭이 좁다는 단점이 있다. 특수한 경우를 제외하고는 별도의 전자파 차폐장치가 필요없다. 원형 및 구형 공진기는 시험관실험에 주로 사용



(a)

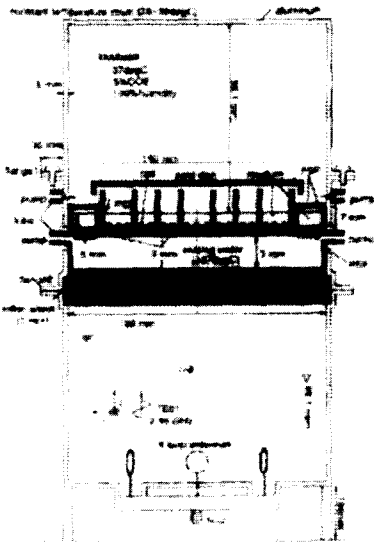
(b)

〈그림 7〉 평행평판형 RF 대역 노출장치

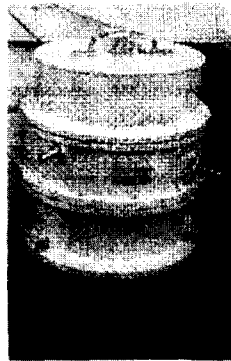
되며, 방사형 공진기는 동물실험에 많이 사용된다. 〈그림 8〉은 일본에서 2.45GHz의 시험관실험용으로 사용되고 있는 원형 공진기이다<sup>15)</sup>. 크기는 직경이 19cm, 높이가 약 32cm로서, 직경이 14cm인 Petri dish 1개를 노출시킬 수 있다.

4개의 루프 안테나에 의해 TE<sub>01</sub> 모드로 여기되며, 냉각수에 의한 냉각 과 순환 펌프를 통한 온도, 습도 및 CO<sub>2</sub> 농도 조절이 가능하다. 〈그림 8(c)〉는 실제 실험장면이다.

〈그림 9〉는 국내 이동통신 주파수 대역의 시험



(a)

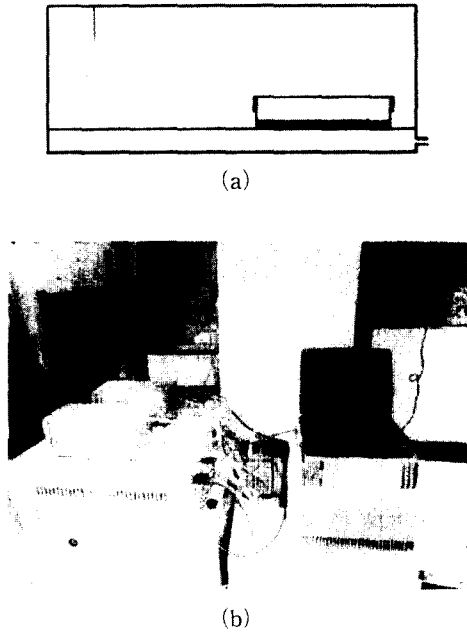


(b)



(c)

〈그림 8〉 원형 공진기형 RF 대역 노출장치



〈그림 9〉 구형 공진기형 RF 대역 노출장치

관 실험에 사용되고 있는 848.5MHz와 1.7625 GHz 노출장치이다<sup>16)</sup>. 모노폴 안테나에 의해 TE<sub>102</sub> 모드로 동작되며, 크기는 각각 31.7cm×42cm×10cm와 11.5cm×24cm×8cm로서 직경 8.5cm의 Petri dish 1개를 노출시킬 수 있다. 배양액 내의 SAR 값은 0.15-75W/kg 범위에서 가변시킬 수 있다. 〈그림 9(a)〉는 공진부의 길이 방향 단면으로서 그 아랫 부분에는 냉각장치가 있어서 뒷 면(그림의 오른쪽)에 위치한 2개의 노즐을 통해 냉각수를 순환시킴으로써 냉각을 시킬 수 있고, 공진부 측면 정 중앙에 위치한 노즐을 통해 온도, 습도 및 CO<sub>2</sub> 농도를 조절할 수 있다. 〈그림 9(b)〉는 두 노출장치의 실제 실험 장면을 보여주고 있다.

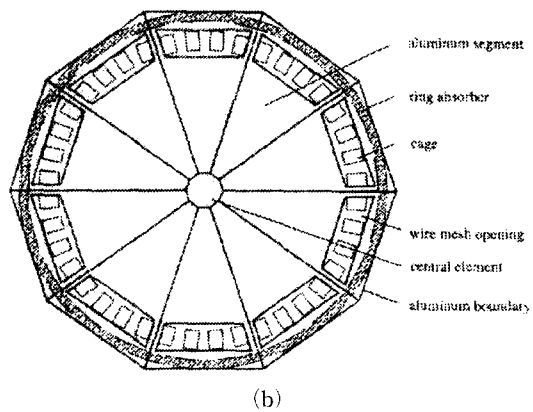
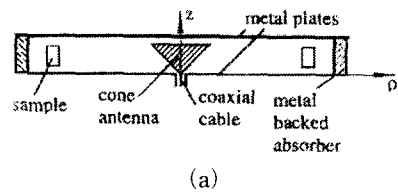
〈그림 10〉에 보인 TEM 셀은 taper 영역을 제외한 셀 내부에서 평면파 형태의 전자파를 발생 시킨다. 셀의 단면은 최저차의 TE/TM 모드 차단 주파수에 의해 크기가 제한되나, 전자파의 진행 방향으로 길이를 임의로 조정할 수 있다. 또한, 환기를 위해 셀의 한면의 일부분을 도체 그물의 형태로 만든다. 837MHz에서 직경 5.19cm



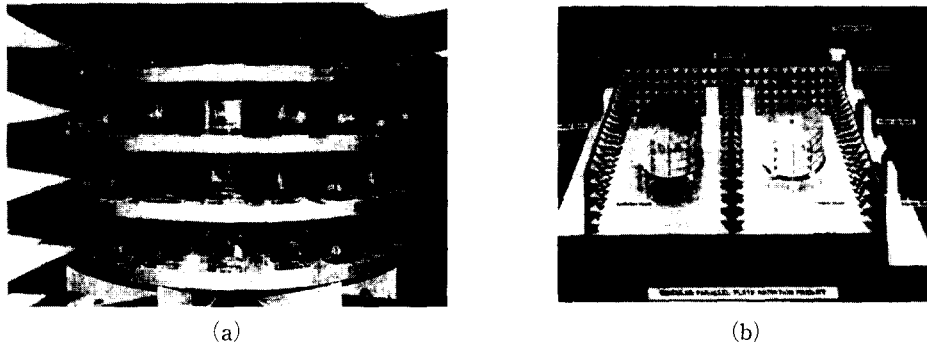
〈그림 10〉 TEM 셀

인 Petri dish에 담긴 두께 2mm인 배양액 바닥의 SAR은 상당히 균일하며 최대 SAR 값은 1W 입력에 대해 0.31W/kg이다<sup>17)</sup>.

구형 또는 원형 단면의 튜브형 도파관은 시험관실험 및 동물실험용 노출장치로 쓰일 수 있으나, 최근에는 TEM 셀이 많이 쓰인다. Strip-line은 동물실험용 노출장치로서는 다소 비효율적이나, Petri dish를 사용하는 시험관실험용으로는 상당히 효율적일 수 있다. 모든 도파관형 노출장치는 종단부에 흡수체를 필요로 한다.



〈그림 11〉 방사형 도파관형 RF 대역 노출장치-I



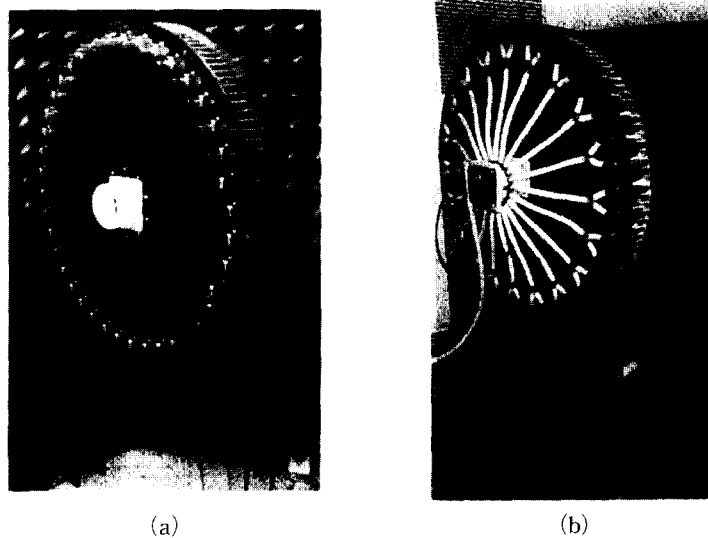
〈그림 12〉 방사형 도파관형 RF 대역 노출장치-II

방사형 도파관은 원형의 평행평판 중앙에서 TEM 또는  $TE_{10}$  모드로 여기 시키며, 도파관의 종단에 흡수체를 부착하거나, 종단을 개방시켜서 무반사실 안에 둘 수도 있다. 〈그림 11〉은 미국에서 사용된 종단이 개방된 435MHz 노출장치로서, 도파관 4개가 중첩된 형태로 구성되어 있다<sup>18)</sup>. 각 도파관 부분은 중심 부분에 위치한 원통형 슬롯(수직방향) 안테나에 의해  $TE_{10}$  모드로 여기 되며, 200W의 연속파 신호가 인가되었을 때  $1mW/cm^2$ 의 균일한 전자기장이 형성된다. 노출장치의 직경은 3.6m, 도체판 사이의 간격은 45.7cm로서, 유전체 우리에 갇힌 쥐를 동시에

100 마리까지 노출 시킬 수 있다.

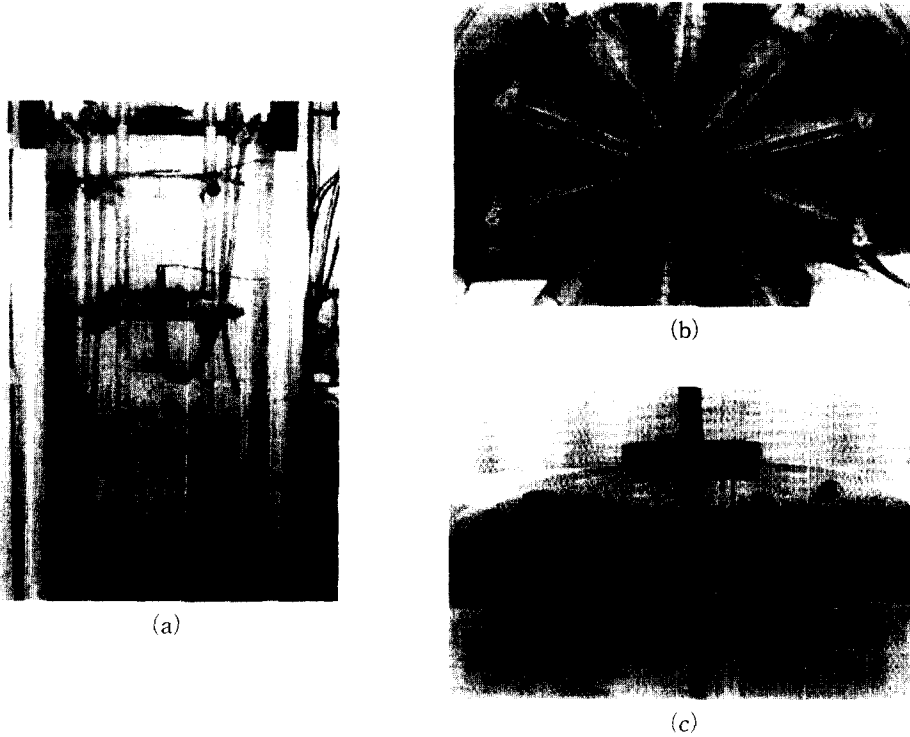
〈그림 12〉는 독일에서 제작된 종단에 흡수체가 부착된 900MHz 노출장치이다<sup>19)</sup>. 도파관 중심의 원추형 안테나에 의해 TEM 모드로 여기 된다. 전신평균 SAR은  $80mW/kg$ 이며, 국부 SAR은 ICNIRP 기준치인  $2W/kg$ 을 초과하지 않는다. 직경은 4.5m, 높이는 14cm로서, 40개의 유전체 우리에 총 120마리의 쥐를 수용할 수 있다. 동일한 형태의 노출장치가 383MHz와 1800MHz에 대해서도 제작되었다.

〈그림 13〉은 방사형 도파관에서 종단이 전기적으로 단락된 방사형 공진기로서, 공진기의 중심



〈그림 13〉 방사형 공진기형 RF 대역 노출장치(Ferris Wheel)





〈그림 14〉 RF 대역 국부 노출장치-I (Carousel)

부분에서 모노폴 안테나로 여기 된다(저자들은 Ferris wheel로 일컬음)<sup>[10]</sup>. 노출장치의 가장자리 부분에 위치한 플라스틱 원통은 쥐를 가두는 장치로서, 하나의 원통에 한 마리의 쥐가 들어간다. 이 경우에는 기본적으로는 공진기 형태이지만 원통의 윗 부분을 통해 전자파가 방출되므로 이를 적절히 차폐할 필요가 있다. 노출장치의 직경은 약 1m로서 40마리의 쥐를 동시에 노출시킬 수 있다. 1W 입력에 대한 최대 전신평균 SAR은 0.16W/kg이다. 〈그림 13(b)〉는 각각의 플라스틱 원통에 대한 환기장치를 보여주고 있다.

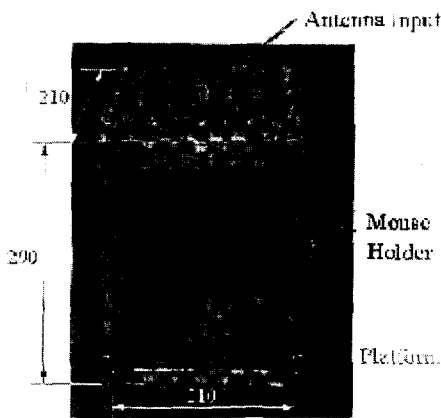
머리 부분에 대한 국부 노출장치로서는 carousel 형태가 많이 사용되고 있다. 〈그림 14〉는 미국에서 제작된 840MHz 대역 노출장치로서 4개의 carousel이 적층 되어 있고 40마리의 쥐를 동시에 노출시킬 수 있다<sup>[11]</sup>. 전체 노출장치의 크기는 1.07m×1.07m×2.11m이며, 노출장치 케이스의 안쪽 벽에는 흡수체가 부착되어 있



〈그림 15〉 RF 대역 국부 노출장치-II

다. 각 carousel은 중앙에서 반과장 슬립 다이폴로 여기 되며, 또한 중앙의 급전부 반대편에서 신선한 공기가 공급된다.

〈그림 15〉와 〈그림 16〉은 일본에서 사용되고 있는 쥐의 허리 부분과 등의 가운데 부분에 대한 국부 노출장치의 예를 보인 것이다<sup>[5,12]</sup>. 특히, 〈그림 16〉은 피부암에 대한 1.5GHz 전자기장 노출의 영향을 연구하기 위한 것으로, 노출장치



<그림 16> RF 대역 국부 노출장치-III

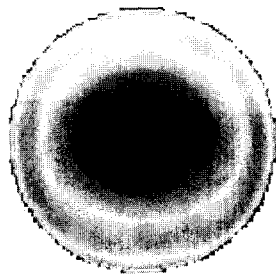
의 내벽은 흡수체가 부착되어 있고, 유리도 전자파 차폐 유리이다. 또한, 장치의 아랫 부분에서 호스를 통해 환기가 되도록 설계되었다.

<그림 17>은 각각 시험관실험과 동물실험용 노출장치에서 노출대상물 내의 SAR 분포 예를 보

림 13>의 Ferris Wheel에서 노출된 쥐 내부의 SAR 분포를 보인 것이다. SAR 분포가 상당히 불균일함을 알 수 있으며, 전신 노출장치의 경우 최대 SAR과 전신평균 SAR의 비가 크지 않아야 하며, 국부 노출장치의 경우도 노출 대상 부분의 SAR 분포 및 필요한 경우 전신 노출에서와 마찬가지로 국부대 전신평균 SAR의 비에 대한 요구조건을 만족시켜야 한다.

## VI. 결 론

본 고에서는 노출장치와 관련된 전반적인 사항들을 살펴보고, 다양한 노출장치의 장단점을 검토하였다. 노출장치의 설계, 제작에는 많은 시간이 소요되므로, 사전에 아래에 열거한 사항들을 엄밀히 검토함으로써 최적의 노출장치 형태를 선



(a) Petri dish 내의 SAR 분포



(b) 쥐 내부의 SAR 분포

<그림 17> 노출장치 내의 SAR 분포

인 것이다. <그림 17(a)>는 <그림 9>에 보인 1.7625GHz의 구형 공진기형 노출장치에서 배양액 내의 SAR 분포이다. 이 형태의 노출장치에서는 Petri dish 중심에서 SAR 값이 최대가 된다. 노출장치 설계시 SAR 균일도(요구되는 최대값과 최소값의 차이)가 만족되는 원의 반경이 충분히 크도록 최적화 하여야 하며, 균일한 영역이 불충분 할 경우에는 다른 형태의 노출장치를 고려해 보아야 할 것이다. <그림 17(b)>는 <그

택한 후 설계에 임하여야 할 것이다.

- 실험의 종류(시험관실험/동물실험)
- 노출의 종류(국부노출/전신노출)
- Petri dish 또는 실험동물의 크기 및 수
- 최대 SAR 및 전력 효율
- SAR의 균일도
- 환경 조절의 용이성
- 전자파 차폐의 필요성 유무
- 제작의 용이성 및 제작비

## 참고 문헌

- [1] WHO's Agenda for EMF Research, The International EMF Project, WHO, 1998.
- [2] J. F. Burchard, D. H. Nguyen, and E. Block, "Macro-and Trace Element Concentrations in Blood Plasma and Cerebrospinal Fluid of Dairy Cows Exposed to Electric and Magnetic Fields", *Bioelectromagnetics*, vol. 20, pp. 358-364, 1999.
- [3] 김상범, 이동일, 김정부, "자계 균일 공간 확보를 위한 소동물 실험용 5G급 자계 발생 장치의 최적 설계 및 제작", 제4회 전자기장의 생체영향에 관한 워크숍, pp. 239-248, 2000.
- [4] G. A. Lovisolo et al., "In vitro Exposure System Operating at 1800 MHz", *Proceeding of BEMS Meeting*, pp. 124-127, 2000.
- [5] M. Taki, "RF Dosimetry Researches in Japan", *Proceeding of the First Japan-Korea-EU Joint Symposium*, pp. 1-34, 1999.
- [6] 백정기, "휴대폰 주파수의 전자기장 노출장치 개발", 제4회 전자기장의 생체영향에 관한 워크숍, pp. 60-69, 2000.
- [7] A. W. Guy, C. K. Chou, and J. A. McDougall, "A Quarter Century of In Vitro Research: A New Look at Exposure Methods", *Bioelectromagnetics*, vol. 20, pp. 21-39, 1999.
- [8] S. Bonasera, J. Toler, and V. Popovic, "Long-Term Study of 435MHz Radio-Frequency Radiation on Blood-Borne End Points in Cannulated Rats, Part I: Engineering Consideration", *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, vol. 23, pp. 96-104, 1988.
- [9] V. W. Hansen et al., "RF exposure of Biological Systems in Radial Waveguides", *IEEE Trans. Electromagnet. Compat.*, vol. 41, pp. 487-493, 1999.
- [10] Q. Balzano et al., "An Efficient Exposure System with Precise Whole-Body Average SAR Determination for in vivo Animal Studies at 900MHz", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. 48, pp. 2040-2049, 2000.
- [11] E. G. Moros, W. L. Straube, and W. F. Pickard, "A Compact Shielded Exposure System for the Simultaneous Long-Term UHF Irradiation of Forty Small Mammals: I. Electromagnetic and Environmental Design", *Bioelectromagnetics*, vol. 19, pp. 459-468, 1998.
- [12] O. Fujiwara et al., "A Novel Setup of Small Animal Locally Exposed to Near Fields for Biological Effect Test of Cellular Telephones", *IEICE*, vol. EMCJ99-15, pp. 47-54, 1999.

## 저자 소개



## 白定基

1978년 서울대학교 전자공학과(공학사), 1984년 Virginia Tech. (공학석사), 1988년 Virginia Tech. (공학박사), 1978년 3월~1983년 2월: 국방과학연구소, 1988년 10월~1989년 2월: 한국 전자통신연구원, 1989년 3월 1995년 2월: 동아대학교 전자공학과, 1995년 2월~현재: 충남대학교 전자공학과 부교수, <주관심 분야: 전자파 전파 및 산란, 전자파의 인체영향>