

이동통신 주파수 대역에서의 동물 실험용 국부 노출 장치 개발

Development of Local-Exposure Systems for *In Vivo* Studies at Mobile-Phone Frequency Bands

고채옥 · 박민영 · 도현정* · 김정란 · 정기범** · 백정기

Che-a-Ok Ko · Min-Young Park · Hyeon-Jeong Doh* · Jeong-Lan Kim ·
Ki-Bum Jung** · Jeong-Ki Pack

요 약

본 논문에서는 이동통신 주파수 대역인 PCS와 셀룰러 대역(PCS: 1,762.5 MHz, 셀룰러: 848.5 MHz)에서 전자파의 인체 영향 규명을 위해 동물 실험용 국부 노출 장치를 설계, 제작하였다. 제작된 노출 장치는 카루셀 형의 마우스용 국부 노출 장치로서 40마리의 마우스를 동시에 노출시킬 수 있으며, 피 실험체인 마우스에 스트레스가 없도록 조명, 환기, 소음 등 환경 조건을 적절히 고려하여 제작되었다. 노출 장치의 노출량 측정을 위해 온도 프로브를 이용한 SAR 측정을 수행하였다. 마우스 카데바와 고체 팬텀의 머리 부분 내부의 3점에 대해 측정하였으며, 실제로 장기간의 노출에 이용되는 조건에서 시뮬레이션 결과와 잘 일치함을 확인하였다. 현재 제작된 노출 장치는 실제 마우스의 장기 노출 실험에 사용되고 있다.

Abstract

We have designed local exposure systems for long-time mice experiments in PCS and cellular frequency band(PCS: 1,762.5 MHz, cellular: 848.5 MHz). The fabricated systems are local exposure systems of carousel type, and 40 mice can be exposed at a time. In order not to give extra stress to the mice under experiment, the systems were fabricated to meet the environmental conditions such as illumination, ventilation, noise etc. SAR measurement was performed using a temperature probe. Measurements at 3 points in the head of mouse cadaver and solid phantom were made, and it has been confirmed that the measurement results are in good agreement with the simulation results in the real exposure environment. The exposure systems are currently used for long-term mice experiments.

Key words : Local-Exposure, Exposure System, *In Vivo*, FDTD, SAR, EMF, Long-Term Experiment

I. 서 론

최근 개인 휴대 통신의 발달과 이동통신 전화기의 급속한 보급으로 인체가 전자파에 노출될 확률이 높아지고 있다. 이에 따라 국내외적으로 전자파의 인체 노출에 대한 규정을 확립하려는 움직임과

그 근거 마련을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 전자기장의 인체 영향에 대한 연구는 크게 세포 실험 연구, 동물 실험 연구, 역학 연구, 인간을 대상으로 한 자원자 연구로 나눌 수 있으며, 세포 실험과 동물 실험을 포함하는 생체 실험 연구를 위해서는 노출 장치가 필요하다. 생체 실험은 그것이 동물에

「본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(EMERC)의 연구 결과로 수행되었음(IITA-2005-(C1090-0502-0014)).」

충남대학교 전파공학과(Department of Radio and Science Engineering, Chungnam University)

*삼성전자 수원 IT 센터(Suwon IT Center, Samsung Electronics)

**EMC 기술지원센터(EMC Center)

· 논문 번호 : 20060328-028

· 수정완료일자 : 2006년 5월 9일

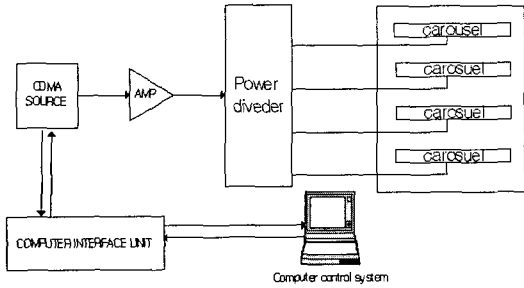


그림 1. 노출 시스템 구성도
Fig. 1. Block diagram of the exposure system.

대한 것이든 사람에 대한 것이든 유해한 건강 영향에 대해 보다 더 납득할 수 있는 증거를 제공한다. 이러한 전자파 인체 영향 연구의 일환으로 본 논문에서는 국내 이동통신 주파수 대역인 848.5 MHz(셀룰러)와 1,762.5 GHz(PCS)에 대한 동물 실험용 전자파 노출 장치를 설계, 제작하였다.

II. 국부 노출 장치 설계

2-1 노출 장치 시스템 구성

그림 1은 노출 장치의 시스템 구성도이다. 챔버 내부에는 4단의 카루셀이 적층되어 40마리의 마우스를 동시에 노출시킬 수 있다^[1]. 노출 주파수는 이동통신 대역인 1,762.5 MHz 및 848.5 MHz로서 실제 단말기 CDMA 신호를 증폭한 후 전력 분배기를 통해 챔버 내의 각 카루셀에 신호를 공급하며 제어용 S/W를 통해 노출 시간과 노출량을 사전에 설정할 수 있게 하였다.

2-2 챔버의 설계

본 노출 장치는 마우스용으로 카루셀의 크기가 작고 챔버가 위치할 연구실의 환경적 조건을 감안하여 챔버 외형의 사이즈를 745 mm×1,060 mm×1,980 mm로 제작하였다. 전자파 차폐를 위해 알루미늄 박스 구조를 사용하고, 내부 반사 방지를 위해 차폐재(laminated absorber AEL 4.5, AEMI사)를 챔버 내부에 설치하여 이동통신 주파수 대역에서의 반사율을 20 dB 이하로 줄이고 SAR 측정을 위한 온도 프로브 및 전기장 센서의 투입구도 마련하였다.

카루셀은 원반 모양의 트레이 위에 파이프 형태

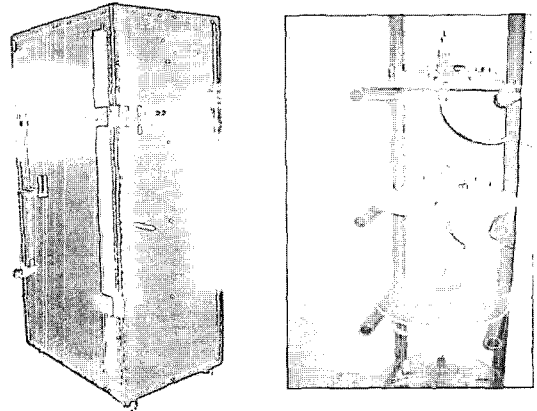


그림 2. 노출 장치 챔버의 외형 및 내부
Fig. 2. Outside and inside view of the chamber.

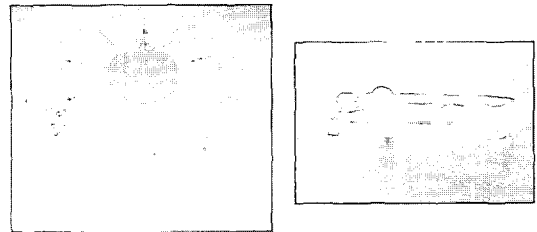


그림 3. 제작된 카루셀과 리스트레이너
Fig. 3. Picture of carousel and restrainer manufactured.

(아크릴 소재)의 리스트레이너 10개가 방사상으로 배치되어 있다. 리스트레이너의 내부 직경은 34 mm이며 푸셔(pusher)를 장착하여 마우스를 고정하고 쥐의 성장에 따라 길이를 조정할 수 있게 하였다. 또한 노출 실험 중에 발생할 수 있는 마우스의 배설물 등을 처리할 수 있도록 리스트레이너 아랫부분에 배설구를 설치하고 3° 정도 기울게 하여 배설물이 흘러 나와 마우스에게 영향을 미치지 않도록 설계하였다.

노출 장치에 사용된 안테나는 Motorola사에서 제작된 반파장 슬리브 다이폴 안테나로 노출 장치의 내부에서 안테나 간의 격리가 충분할 수 있도록 트레이 사이의 수직 간격을 46 cm로 설정하였다. 사용된 PCS 대역 노출 장치의 중심 주파수는 1,762.5 MHz로 채널 250에 해당하며, 셀룰라 대역 노출 장치의 중심 주파수는 848.5 MHz로 채널 779에 해당한다. 최대 입력 전력은 PCS 대역에선 30 W, 셀룰라



그림 4. 챔버 내부의 환기 장치 및 조명
Fig. 4. Picture showing illumination and ventilation facilities inside of the chamber.

대역에서는 60 W이며 1 W 간격으로 출력 레벨을 조정할 수 있다.

또한 노출 장치 내에서 실험 대상 동물이 스트레스를 받지 않도록 하는 것이 매우 중요하므로 그림 4에 보인 것과 같이 형광등을 이용한 조명 장치와 환기 장치를 설치하였다.

챔버 내부의 환기는 2중 환기 장치를 사용하였다. 하나는 챔버 천정에 설치된 환기 팬을 통한 챔버 환기 장치이고 다른 하나는 호스를 통해 각 리스터레이너에 신선한 공기를 주입, 순환시키는 장치이다. 그리고 환기용 팬 등에 의한 소음은 50 dB 이하로 줄이고, 조명은 바닥에서 40~85 cm 사이에서 150~300 lux가 되도록 설계하였다.

2-3 마우스 내부의 SAR 분포 시뮬레이션

카루셀 내에 위치한 마우스 내부의 SAR 분포는 FDTD 방법을 이용하여(SEMCAD) 시뮬레이션을 수행하였다. 노출 장치는 그림 5 및 6과 같이 모델링하였으며, 시뮬레이션에 사용된 마우스의 수치 팬텀(numerical phantom)은 그림 7과 같이 길이 방향으로 8 cm(x), 폭 방향으로 3.5 cm(z), 그리고 높이 방향 3.5 cm(y)인 크기로 미 공군 연구소의 쥐(rat) 모델을 참고로 하여 축소 제작한 것이다^[2]. 그림 7에서 고체 팬텀은 측정에 사용된 마우스 카테바가 실제 수

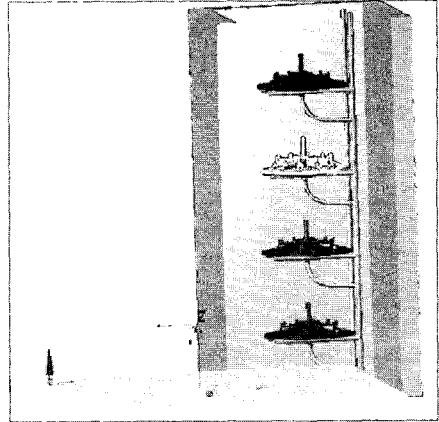


그림 5. 챔버 모델링
Fig. 5. Modeling of the chamber for simulation.

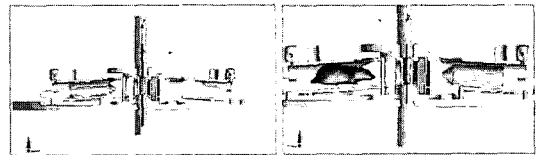


그림 6. 시뮬레이션에 사용된 마우스와 카루셀 모델
Fig. 6. Modeling of the carousel and restrainer for simulation.

치 해석용 마우스 팬텀과 모양이 다를 뿐만 아니라 실제 측정시 정확한 형상을 유지하기 어렵기 때문에 동일 형상에 대한 측정치와 시뮬레이션 값을 비교하기 위한 것이다. 마우스는 FDTD의 수렴 조건을 만족시킬 수 있도록 0.7 mm(x)×1.6 mm(y)×0.68 mm(z)의 셀 크기로 모델링하였고, 안테나는 delta gap 소스로 여기하였으며, 흡수체는 PML로, 챔버 외부의 알루미늄 구조는 PEC로 모델링 하였다.

FDTD 시뮬레이션에 의한 두부 SAR 값의 전신 평균치와 두부 평균치는 표 1과 같다. 그림 8과 9는 마우스 내부의 SAR 분포를 나타낸 것이다.

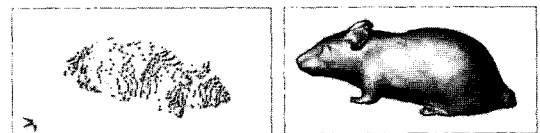


그림 7. 수치 해석용 마우스 팬텀 및 고체 팬텀
Fig. 7. Numerical mouse phantom and solid phantom for simulation.

표 1. 마우스의 수치 해석 팬텀을 이용한 시뮬레이션 결과

Table 1. Simulation results for head SAR in the numerical mouse phantom.

Frequency	Brain-averaged SAR [W/kg/W]	Whole body-averaged SAR [W/kg/W]
PCS	5.28	1.55
Cellular	0.33	0.24
Whole body-averaged SAR/Brain-averaged SAR		
PCS	0.30	
Cellular	0.73	



(a) 고체 팬텀 모형을 이용한 시뮬레이션 (최대 SAR: 0.203 W/kg/W)

(a) Solid phantom

(Maximum SAR: 0.203 W/kg/W)



(b) 마우스의 수치해석 팬텀을 이용한 시뮬레이션 (최대 SAR: 0.394 W/kg/W)

(b) Mouse cadaver

(Maximum SAR: 0.394 W/kg/W)

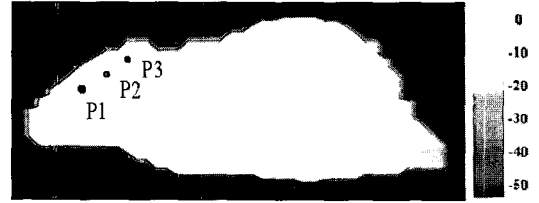
그림 8. 셀룰러 대역 SAR 분포 시뮬레이션 결과(중심 단면)

Fig. 8. Simulation results for SAR distribution at cellular band (Vertical cut through the center of body).

Ⅲ. 노출 장치 특성 측정

3-1 안테나의 특성 측정

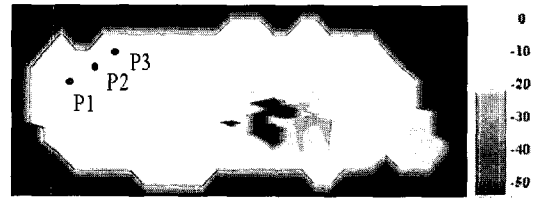
그림 10은 PCS 및 셀룰러 대역용 슬리브 다이폴 안테나(Motorola사)를 보인 것이다. 각각의 주파수



(a) 고체 팬텀 모형을 이용한 시뮬레이션 (최대 SAR: 5.19 W/kg/W)

(a) Solid phantom

(Maximum SAR: 5.19 W/kg/W)



(b) 마우스의 수치해석 팬텀을 이용한 시뮬레이션 (최대 SAR: 5.28 W/kg/W)

(b) Mouse cadaver

(Maximum SAR: 5.28 W/kg/W)

그림 9. PCS 대역 SAR 분포 시뮬레이션 결과(중심 단면)

Fig. 9. Simulation results for SAR distribution at PCS band (Vertical cut through the centre of body).

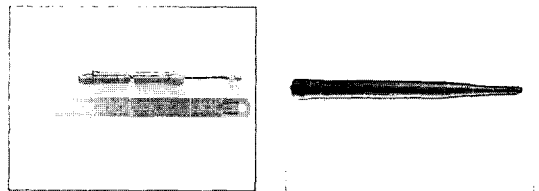


그림 10. PCS 및 셀룰러 대역용 안테나

Fig. 10. PCS and cellular antenna.

에서의 안테나의 반사 손실은 12.9 dB와 15.5 dB로서 전방향 방사 패턴을 가지는 다이폴 안테나를 통해 마우스 주위에 동일한 분포의 전기장에 노출될 수 있도록 하였다.

실제의 실험 상황에서 안테나의 정합 특성 확인을 위해 마우스의 부하 효과(loading effect)를 측정하였다. 그림 11과 12에 보인 것과 같이 고체 팬텀과 액체 팬텀을 하나씩 loading 시키면서 안테나의 반사 손실을 측정된 결과 그림 12와 같이 부하 효과에 의한 최대 편이가 1 dB 이하로서 추가 정합이

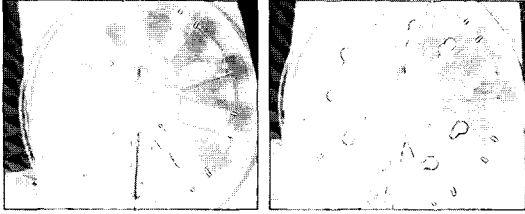


그림 11. 고체 팬텀 및 액체 팬텀 loading
Fig. 11. Picture of loaded phantoms in the carousel and the restrainers.

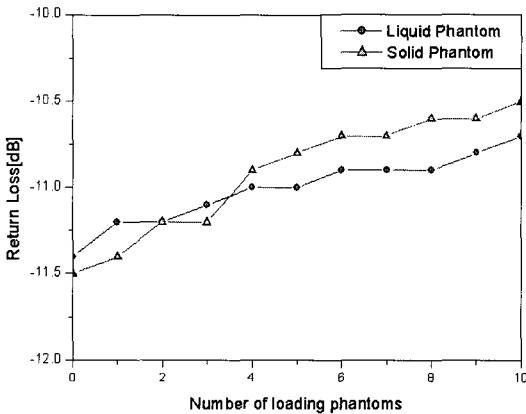


그림 12. 고체 팬텀 및 액체 팬텀 loading에 따른 반사 손실 특성
Fig. 12. Return losses vs. number of loaded phantoms.

불필요함을 알 수 있었다.

3-2 챔버 내부 흡수체의 성능 확인

챔버 내부에 설치된 흡수체의 성능을 확인하기 위해 챔버 내부에서의 필드 분포와 자유 공간 상태에서의 동일 위치에 대한 필드 분포를 전자파 무향실 내에서 측정하였다. 그림 13은 측정 결과를 나타낸 것으로 x축은 리스트레이너의 길이 방향, y축은 필드 세기를 나타낸다. 측정 결과를 보면 실제 마우스의 노출 관심 영역인 머리 부분에 해당하는 영역(약 15 cm 이내)에서 최대 편이가 1.5 dB 이하로서 챔버 내부의 흡수체가 반사 신호를 적절히 차단하여 자유 공간에서와 거의 유사한 필드가 형성되고 있음을 알 수 있다.

3-3 챔버의 차폐 효과 및 환경 측정

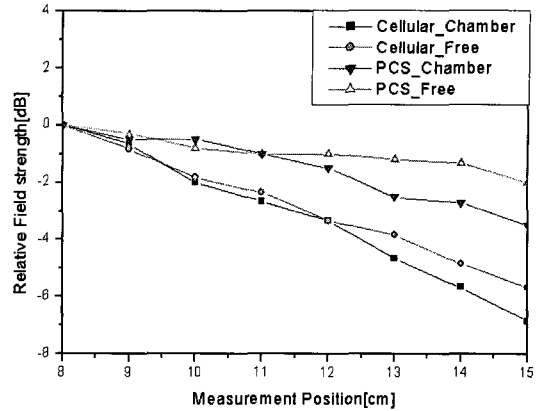


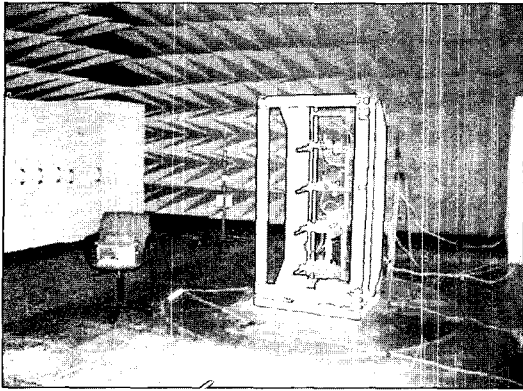
그림 13. 자유 공간 및 챔버 내부에서의 필드 분포 특성 측정 비교
Fig. 13. Comparison of the field distribution inside the chamber with that in free space.

노출 장치는 외부 전자기장의 영향을 받지 않아야 하며, 다른 실험 장치, 통신 시스템 및 실험자에게 영향을 미치지 않도록 적절히 차폐되어야 한다. 그림 14는 차폐효과 측정 장면을 보인 것이다. 측정 결과 PCS 대역 노출 장치의 전체적인 차폐 효과는 70 dB, 셀룰라 대역은 65 dB로서 주변 기기나 실험자, 다른 실험 장치에 영향을 미치지 않는다는 기존 목표에 잘 부합하는 것을 확인하였다. 그리고 챔버 내부의 조도 측정(ANA-999 Lux meter, Tokyo Photoelectron사) 결과는 바닥에서 40~85 cm 사이의 조도가 250 lux로서 당초 설계 사양을 잘 만족시키며, 소음 측정(SOUND LEVEL METER NA-24, RION사) 결과 또한 설계 목표치인 50 dB 이하가 됨을 확인하였다.

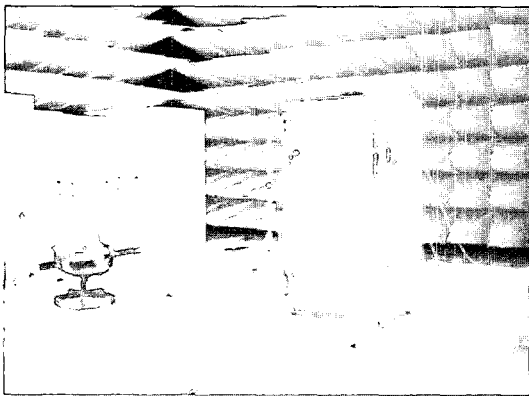
3-4 SAR 측정

SAR 특성은 PCS 대역 및 cellular 대역에서 온도 프로브(Luxtron 790 프로브, Luxtron사)를 이용하여 측정하였으며, 마우스 카테바와 고체 팬텀의 두 피실험체를 사용하여 측정하였다^[4].

고체 팬텀 혹은 마우스 카테바를 이용한 측정 모두 실제의 부하조건과 같도록 하기 위해 그림 15에 보인 액체 팬텀을 부하용으로 사용하였고(실제 주는 이동 때문에 사용이 어렵고 카테바도 반복 실험에 대한 부패 가능성 및 형상 유지의 어려움이 있



(a) 챔버가 없는 경우의 방사 전력 측정
(a) Without chamber



(b) 챔버에 적층시킨 후의 방사 전력 측정
(b) With chamber

그림 14. 챔버의 차폐 특성 측정 장면
Fig. 14. Picture showing the measurement of shielding effectiveness of the chamber in an anechoic chamber.

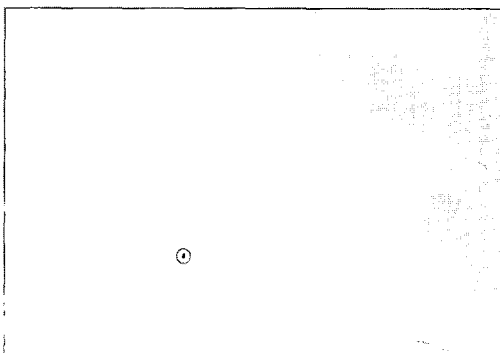


그림 15. 실험용 액체 팬텀
Fig. 15. Liquid phantom equivalent to brain tissue.

표 2. 액체 팬텀의 전기적 특성(측정치)
Table 2. Electrical properties of liquid phantom.

Frequency [MHz]	Permittivity		Conductivity	
	1,800	800	1,800	800
Target	40.0	41.5	1.40	0.90
Measurement	38.4	42.2	1.41	0.93

음), SAR 측정용으로는 마우스 카테바와 고체 팬텀을 사용하여 동일한 측정을 반복하였다. 그 이유는 마우스 카테바는 정확한 형태 유지가 어렵기 때문에 시뮬레이션 결과에 대한 검증은 보다 정확하게 하기 위함이다. 각각의 주파수에서 사용된 액체 팬텀의 전기적 특성은 표 2와 같다.

SAR 측정에서는 실제 마우스와 유사한 형태와 전기적 특성을 가지는 고체 팬텀을 제작하는 것이 중요하다. 따라서 측정에 사용된 고체 팬텀은 마우스와 유사한 형상의 팬텀을 얻기 위해 12주령의 마우스(C57BL/6N)에서 3-D scanning 기법을 이용해 3차원 표면 데이터를 추출하고 이를 이용하여 마우스 CAD 파일을 제작하였다. 제작된 CAD 데이터를 RP(Rapid Prototype) 기법을 이용하여 2차원 단면 데이터를 순차적으로 적층하는 방법으로 실리콘 몰드를 만들고, 이를 이용하여 마우스의 정확한 형상을 가진 고체 팬텀을 제작하였다. 이때 고체 팬텀은 전기적으로 두뇌 조직 등과 물질로서 표 3과 같은 물질로 이루어져 있다^[3]. 완성된 고체 마우스 팬텀은 그림 16에 나타내었다.

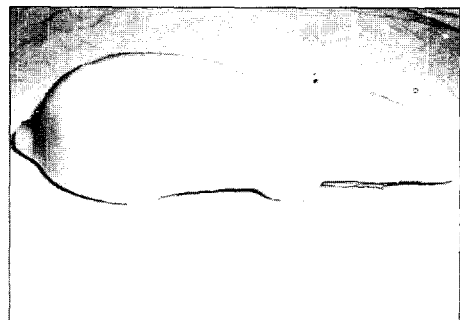


그림 16. SAR 측정을 위해 제작한 고체 팬텀
Fig. 16. Solid phantom used for SAR measurement.

표 3. 고체 팬텀의 물질 및 구성비(두뇌 등가 조직)
Table 3. Composition of the material used for solid phantom tissue(Brain-equivalent tissue).

Ingredient	Ratio [%]
De-ionized water	82.15
Agar	2.54
NaCl	0.52
NaN ₃	0.048
TX-151	1.4
Polyethylene Powder	13.34

SAR 값은 다음 식 (1)과 같이 노출 시간에 따른 온도 상승량으로부터 구할 수 있다.

$$SAR = C_p \frac{\Delta T}{\Delta t} \approx C_p \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

C_p : 조직 비열 [J/kg °C]

T : 노출에 의한 온도 상승 [°C]

t : 노출시간 [sec]

온도 프로브를 이용한 SAR 측정은 머리 앞쪽부터 3 mm 간격으로 3 포인트에 걸쳐 측정하였다(그림 9 참조)^[4]. PCS 대역에서의 SAR 값은 피실험체인 마우스 카데바와 고체 팬텀에서 열 방출이 일어나기 전인 초기 2분의 온도 상승 곡선을, 셀룰러 대

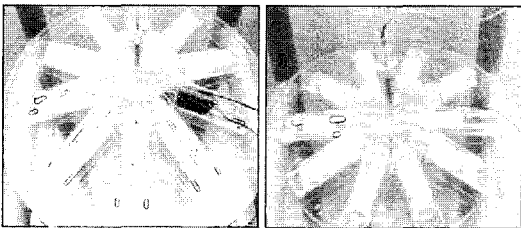


그림 17. 마우스 카데바를 이용한 SAR 측정
Fig. 17. Measurement for mouse cadaver.

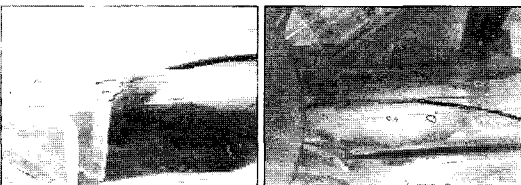
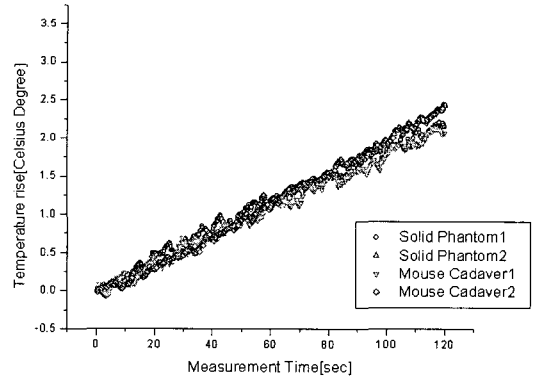
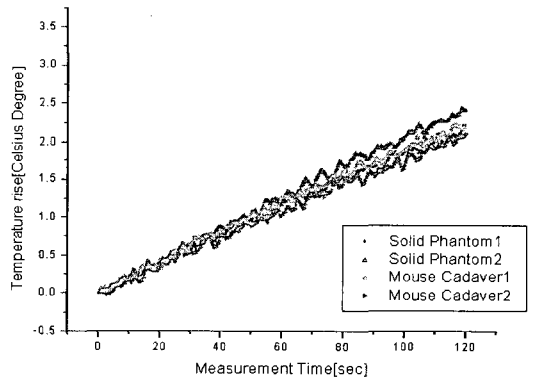


그림 18. 고체 팬텀을 이용한 SAR 측정
Fig. 18. Measurement for solid phantom.

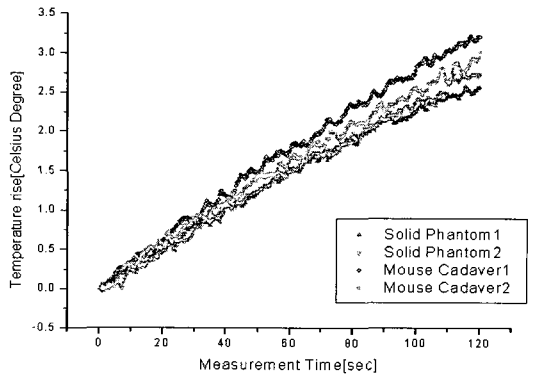
역에서는 초기 5분 동안의 온도 상승 곡선을 이용하여 온도 상승 값을 구한 후 식 (1)을 사용하여 SAR 값을 구하였다.



(a) Point 1



(b) Point 2



(c) Point 3

그림 19. PCS 대역에서의 온도 프로브를 이용한 SAR 측정 결과

Fig. 19. Results of the thermal probe measurement in the head of mouse cadavers and solid phantoms at PCS band.

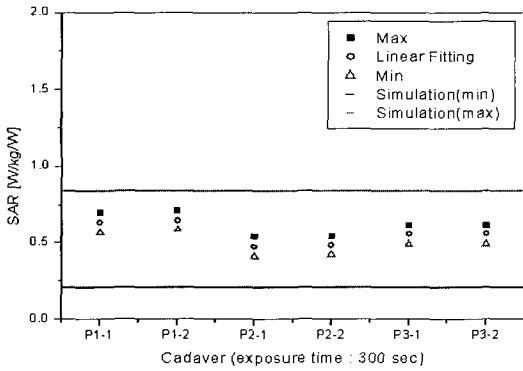
그림 19는 P1, P2, P3에서 측정된 온도 상승 곡선을 보인 것으로 입력 전력은 각각 30 W(셀룰러 대역), 60 W(PCS 대역)이다. 여기서 입력 전력은 안테나에 연결된 케이블에 공급되는 각 해당 채널(셀룰러 대역은 채널 779, PCS 대역은 채널 250) CD-MA 신호의 채널 전력을 나타낸다.

SAR 계산시 인간의 두뇌 조직의 조직 비열 3,700 J/kg °C을 사용하였으며 각각의 주파수에서의 케이블 손실 값을 고려하여 계산하였다. 그림 20과 21은 입력 전력에 대해 정규화된 SAR 측정치와 시뮬레이션 값을 비교한 그림이다. 온도 측정에 사용된 온도 프로브의 해상도는 0.1 °C이므로 측정된 SAR 값은 식 (2)에 주어진 것과 같이 유한한 오차를 가진다. 그림 20과 21에서 Max, Min으로 표시된 데이터가 식 (2)로부터 계산한 오차 범위를 나타낸 것이다.

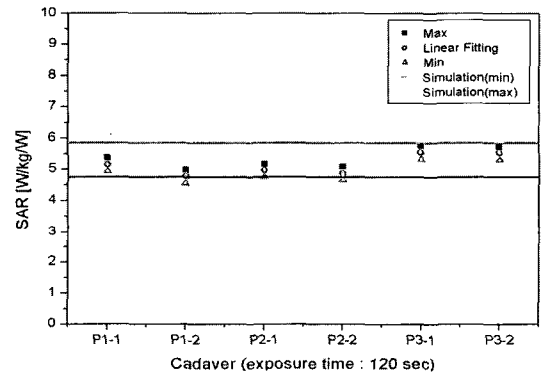
$$SAR = C_p \frac{\Delta(T \pm 0.1)}{\Delta t} \approx C_p \frac{d(T \pm 0.1)}{dt} \quad (2)$$

그림 20과 21에서 고체 팬텀을 노출시켰을 경우, 셀룰러 대역에서 P1, P2, P3에 대한 SAR 측정값은 시뮬레이션의 최소값과 최대값(머리 부분 SAR 값의 최대, 최소값)인 0.36 W/kg/W와 0.72 W/kg/W 사이에서 측정되었고, PCS 대역에서도 시뮬레이션의 최소, 최대값인 4.62 W/kg/W와 6.93 W/kg/W 사이에서 측정되었다. 3개의 SAR 측정 포인트에 대해 시뮬레이션 값을 직접 비교하지 않은 이유는 측정에 사용된 마우스 카테바 및 마우스 팬텀의 측정 포인트와 시뮬레이션 모델의 해당 포인트를 일 대 일로 대응시키기가 어렵기 때문이다.

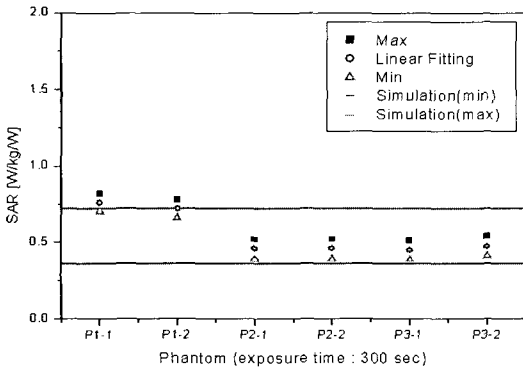
그림 20과 21에서 알 수 있듯이 셀룰러 대역 노출 장치의 SAR 값은 PCS 대역 노출 장치에 비하여



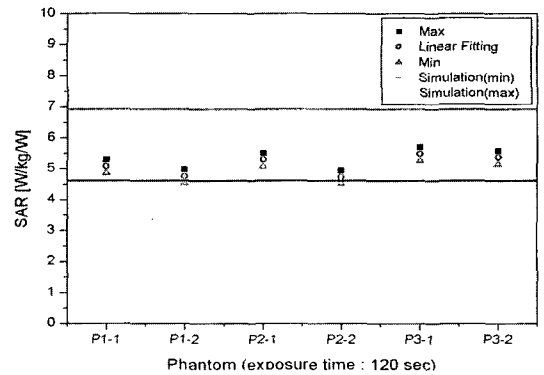
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 20. 셀룰러 대역 SAR에 대한 시뮬레이션 및 측정 결과 비교

Fig. 20. Comparison of simulation and measurement results for SAR at cellular band.

그림 21. PCS 대역 SAR에 대한 시뮬레이션 및 측정 결과 비교 그래프

Fig. 21. Comparison of simulation and measurement results for SAR at PCS band.

상당히 낮다. 그 이유는 마우스 길이가 신호원의 반파장일 때 공진이 일어나 에너지 흡수가 최대가 되는데, 셀룰러 대역과 PCS 대역 신호원의 파장은 각각 35.36 cm, 17.02 cm로서, PCS 대역 신호가 마우스 길이 방향의 공진 조건에 더 가깝기 때문이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 국내 이동통신 주파수 대역인 1,762.5 MHz 및 845.5 MHz에서 전자파의 인체 영향 규명을 위한 동물 실험용 국부 노출 장치를 설계, 제작하였다. 제작된 노출 장치는 카루셀 형의 마우스용 국부 노출 장치로서 40마리의 마우스를 동시에 노출시킬 수 있다. 장치 내부에 대한 전기장 분포 특성과 외부에 대한 차폐 특성을 측정하고 노출 장치의 환경 특성이 피실험체인 마우스에 환경 스트레스가 없도록 제작된 것을 검증하였다. 노출 장치의 노출량 검증을 위해 고체 팬텀과 마우스 카테바의 두 가지 피실험체에 대해 온도 프로브를 이용한 SAR 측정을 수행하였다. 측정 결과는 시뮬레이션 결과와 잘 일치하였으며, PCS 대역 노출 장치는 신호원의 파장이 마우스 길이 방향에 대한 공진 조건에 가깝기 때문에 cellular 대역 노출 장치에 비하여 SAR 값이 상당히 높음을 확인하였다. 현재 제작된 노출 장치는 서울대 의과대학에서 실제 마우스

의 장기 노출 실험에 사용되고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] C. K. Chou, G. W. Chen, A. W. Guy, and K. H. Luk, "Formulars for phantom muscle tissue at various radiofrequencies", *Bioelectromagnetics*, vol. 5, pp. 435-441, 1984.
- [3] Yoshinobu Okano, Koichi Ito, Ichirou Ida, and Masaharu Takahashi, "The SAR evaluation method by a combination of thermographic experiments and biological tissue-equivalent phantoms", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 48, pp. 2094-2102, Nov. 2000.
- [4] M. Swicord, J. Morrissey, D. Zakharia, M. Ballen and Q. Balzano, "Dosimetry in mice exposed to 1.6 GHz microwaves in carousel irradiator", *Bioelectromagnetics*, vol. 20, pp. 42-47, 1999.

고 채 옥



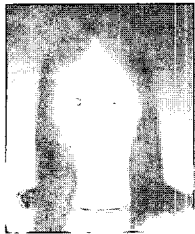
2004년 2월: 충남대학교 정보통신공학부 (공학사)
 2004년 3월~2006년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
 [주 관심분야] 전자파 산란, 전자파 인체영향

박 민 영



2004년 2월: 충남대학교 정보통신공학부 (공학사)
 2004년 3월~2006년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
 [주 관심분야] 전자파 산란, 전자파 인체영향

도 현 정



인체영향

2002년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
2004년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
2004년 3월~현재: 삼성전자 정보통신총괄 수원 IT 센터
[주 관심분야] 전자파 산란, 전자파

정 기 범

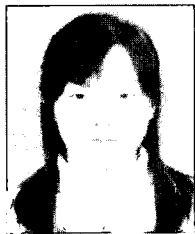


EMC 팀장/P.L

[주 관심분야] EMC, 전자파수치해석, 안테나 설계

1999년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학사)
2001년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학석사)
2002년~현재: 한양대학교 전자통신전파공학과 박사과정
2004년~현재: EMC 기술지원센터

김 정 란



2006년 2월: 충남대학교 정보통신공학부 (공학사)
[주 관심분야] 전자파 산란, 전자파 인체영향

백 정 기



자통신연구원

1978년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1985년: Virginia Tech. (공학석사)
1988년: Virginia Tech. (공학박사)
1978년 3월~1983년 2월: 국방과학연구소
1988년 10월~1989년 2월: 한국전자통신연구원
1989년 3월~1995년 2월: 동아대학교 전자공학과 부교수
1995년 2월~현재: 충남대학교 전파공학과 교수
2004년 3월~현재: 충남대학교 전자파환경기술연구(EM-ERC) 센터장
[주 관심분야] 전자파 전파 및 산란, 전자파 생체영향