

# 이동전화 주파수에 대한 전자파 잔향실 형태의 전신 노출장치 개발 및 유효성 평가

## Development and Validation of Reverberation Chamber Type Whole Body Exposure System for Mobile Phone Frequency

정기범 · 고경배 · 도현정\* · 백정기\* · 정연춘\*\* · 최재훈

Ki-Bum Jung · Kyung-Bae Ko · Hyeon-Jeong Doh\* · Jeong-Ki Pack\* ·  
Yeon-Choon Chung\*\* · Jae-Hoon Choi

### 요 약

이동통신 서비스의 급격한 증가로 인해, EMF(Electromagnetic field) 노출의 생물학적 효과에 대한 많은 연구들이 수행되어져 왔다. 그러나 연구 수행에 있어서 필요한 무선 주파수 대역에서의 균일장 생성은 쉬운 일이 아니다. 이러한 어려움을 극복하기 위해 전신노출 시스템에서의 전기장과 SAR(Specific Absorption Rate) 분포 측정이 발전을 해왔다. 본 논문에서는 EMC 대응 챔버로의 활용 가능성이 높은 전자파 잔향실 챔버를 이용하여 동물 실험용 전신 노출 장치를 개발하였다. 설계된 전자파 잔향실은 시뮬레이션과 측정 데이터를 이용하여 시험영역의 균일장에 대한 유효성을 검증하였다. 마우스에 대한 전신노출 실험에 있어서, 노출된 전자파에 대해 SAR을 확인하기 위해서 FDTD 수치해석 방법과 측정 결과를 비교하였다. 전자파 잔향실 내부에서의 전기장 분포 특성을 해석하고, 이러한 해석 결과들을 통계적으로 처리하였다. CDMA 이동전화 주파수 대역에서(PCS & Cellular 대역) 입력 파워 변화에 따른 실험상태에서의 마우스 전신 SAR 평균값 및 국부 최대값을 제시하였다.

### Abstract

Due to the rapid growth of mobile communication services, many studies have been performed on the biological effects of EMF(Electromagnetic field) exposure. However, it is not easy to create the field uniformity in radio frequency. To overcome this difficulty, the electric field and SAR(Specific Absorption Rate) distribution is developed to measure the whole body exposure system. In this paper, we developed the whole body exposure system for *in-vivo* study utilizing reverberation chamber which has a high possibility of practical use by substituting previous the EMC chamber. The field uniformity in the test area of the designed reverberation chamber was satisfied by the simulation and measurement data. In animal study of the whole body exposure for a mouse, the results of FDTD simulation were compared with those of measurement to confirm SAR under the electromagnetic exposure. We analyze the electric field distribution in the interior of the reverberation chamber and treat these results in statistical manner. In the CDMA frequency band(PCS & Cellular band), an average value of the whole body SAR and local peak value for a experimental mouse were presented for various input power.

Key words : Reverberation Chamber, EMC, *In-vivo* Study, FDTD, SAR, EMF

한양대학교 전자통신전파공학과(Division of Electrical and Computer, Hanyang University)

\*충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Chungnam National University)

\*\*서경대학교 정보통신공학과(Department of Information and Communication Engineering, Seokyeong University)

· 논문 번호 : 20031204-170

· 수정완료일자 : 2004년 2월 2일

## I. 서 론

이동통신의 대중화로 인해 사용자들은 전자파에 대한 막연한 두려움을 가지게 되었고, 이에 따르는 유·무해 논쟁들이 국제적으로 활발히 진행되고 있다. 전 세계적으로 휴대폰 전자파의 인체영향에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있지만, 휴대폰의 머리부분 국부 노출에 대한 연구가 대부분이다. 그러나 기지국이나 중계기 인접 환경에서의 전신 노출에 대한 연구는 미미한 실정이다. 전자파 인체영향 연구를 위한 동물실험용 노출장치의 일반적인 요구조건은 전기장 균일도 및 범위가 정의되어야 하고, SAR(Specific Absorption Rate)에 대한 이론적 분석 및 측정이 병행 가능해야 한다. 또한 전자기장의 적절한 차폐가 보장되고, 환경 조절 능력 및 각종 기능 및 조건을 모니터 하는 기능을 가져야 한다. 적절한 크기와 경제적인 비용도 고려해야 한다. 이러한 연구들의 연구결과에 대한 객관성 및 과학적 타당성 확보를 위해서 WHO에서 특히 강조하고 있는 부분은 노출량, 즉 전자기장의 세기 또는 전자파 흡수율(SAR)의 정확한 평가, 실제 상황과 유사한 노출신호 및 환경, 충분한 표본 수 및 재현성 있는 실험 등이다. 본 논문에서는 휴대폰 주파수 대역 동물실험용 전신노출장치로서 전자파 잔향실(Reverberation chamber)을 사용하여, 전신 노출 장치로서 잔향실 챔버가 유용함을 확인하였다. 잔향실은 RF 대역에서의 균일장을 얻기가 용이하여 노출 대상내의 SAR 분포를 예측할 수가 있다. 잔향실 챔버의 수치해석을 위해 FDTD 해석 툴인 SEMCAD을 이용하여 시뮬레이션을 병행하였다. 또한 제작된 잔향실 챔버에서 전기장강도 측정기를 이용하여 케이지(Cage)가 차지하는 공간에서 전기장강도를 측정하였다. cellular와 PCS 대역의 CDMA 신호원을 사용해서 전신 노출장치로 사용된 잔향실의 시험영역 균일장 확인 및 유효성을 검증하였다.

## II. Reverberation Chamber 원리 및 구조

RF 대역에서는 균일장을 얻기가 쉽지 않으나 노출대상 내의 SAR 분포를 정확히 예측할 수 있어야 하고, 신호원은 실제 시스템의 파형(국내 셀룰러 전

화의 경우 실제의 CDMA 신호)을 발생시킬 수 있어야 한다. WHO에서는 30 % 이내의 노출량 정확도를 요구하고 있다. 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 동물실험용 노출장치의 경우 적절한 환기 장치를 하여야 하며, 노출장치 내에서 실험대상 동물이 스트레스를 받지 않도록 각별히 주의하여 설계하여야 한다. 잔향실은 최저 시험 주파수(LUF: Lowest Usable Frequency)에서 필드 균일성을 만족시켜야 한다. 이를 위해 다중모드 전자기 환경이 유지 가능하도록 적절한 크기로 설계되어야 한다. 전자파 잔향실 내부에 발생하는 실제 고유모드 수는 잔향실의 크기와 stirrer 혹은 diffuser의 사용에 따른 전력효율에 따라 결정된다. stirrer 혹은 diffuser의 효율을 높여 줌으로써 유효 고유모드 밀도를 높일 수 있고, 최저 시험주파수를 보다 낮출 수 있다. 그림 1은 일반적인 잔향실 챔버의 내부 구성요소 및 각 구조의 명칭을 나타낸 것이다.

그림 1에서 보는 바와 같이 잔향실은 일정한 영역에서 필드 균일성이 확보된다. 이러한 특성을 이용하여 마우스 전신 노출 시스템을 제작해야 한다. 그림 2는 잔향실 챔버의 설계도를 나타낸 것이다.

그림 1은 일반적인 잔향실을 설명한 것이고, 그림 2는 잔향실 크기와 모형 및 모델링 구조를 보여준다.

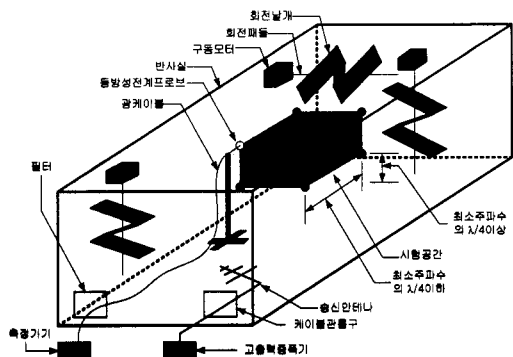


그림 1. 전자파 잔향실 구조  
Fig. 1. The structure of reverberation chamber.

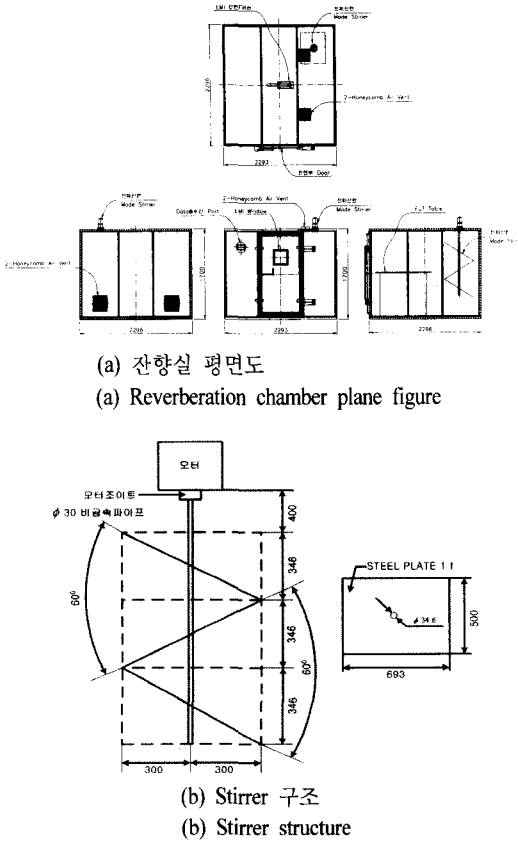


그림 2. 제작된 잔향실 설계도  
Fig. 2. Designed reverberation chamber plan.

2.1 잔향실 내부에 발생하는 고유모드 해석

잔향실 내부의 매질을 공기로 가정할 경우 직사각형 구조에서  $TE_{mnp}$  또는  $TM_{mnp}$  모드의 공진 주파수는 식 (1)과 같다.

$$f_{mnp} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r\mu_r}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{d}\right)^2} \quad (1)$$

여기서, 만약  $b < a < d$ 이면, 기본 공진 모드는  $TE_{101}$  모드가 된다. 또한  $\epsilon_r = 1$ ,  $\mu_r = 1$ 이고 주파수 단위가 MHz이며 식 (1)은 식 (2)와 같이 표현된다<sup>[2],[3]</sup>.

$$f_{mnp} = 150 \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{d}\right)^2} \quad (2)$$

여기서  $m, n, p$ 는 모드 지수이다.  $a, b, d$ 는 cavity의 크기(m)이다. 공진 주파수를 이용하여 잔향실 내부에 존재하는 직사각형 전체 eigen-mode 수는 식 (3)과 같이 일반화식으로 구해진다.

$$N_s(f) = \frac{8\pi}{3} abd \left(\frac{f}{c}\right)^3 - (a+b+d)\frac{f}{c} + \frac{1}{2} \quad (3)$$

여기서,  $f$ 는 주파수(MHz),  $c$ 는 진공에서의 전파속도이다.

1986년도에 발표된 미국 NBS(National Bureau of Standard) Technical Note 1092(NIST 전신)에 의하면 직사각형 구조의 cavity에서 eigen-mode가 60개 이상이면 cavity 내부의 일정한 공간에 균일장이 형성된다고 보고가 되었다<sup>[4]</sup>. 즉, 유효 고유모드 밀도의 기준이 60이 된다. 식 (3)은 실제적인 고유모드를 구하는 식이 아니라 근사값을 나타낸 것이다. 그림 3은 식 (3)을 이용하여 제작된 전신노출장치의 주파수별 잔향실 전체 eigen-mode 수를 계산한 결과이다.

그림 3의 결과에 의하면 사각형 구조의 잔향실 챔버 사이즈( $a: 2295, b: 2293, d: 1470$  mm)에 대해서는 대략 290 MHz 이상의 주파수에서 60개 이상의 고유모드가 존재함을 알 수 있다. 따라서 290 MHz 이상의 주파수에서는 잔향실 내부의 일정한 공간에 균일장이 형성됨을 알 수 있다. 그림 4는 전신 노출장치 시스템의 흐름도를 나타낸 것이다.

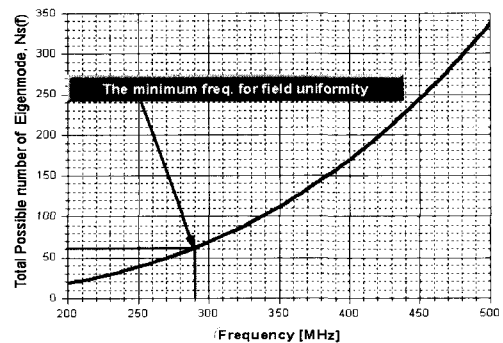


그림 3. 주파수별 잔향실 내부의 가능한 전체 고유모드 분포  
Fig. 3. Total possible eigen-mode distribution of reverberation chamber interior by frequency.

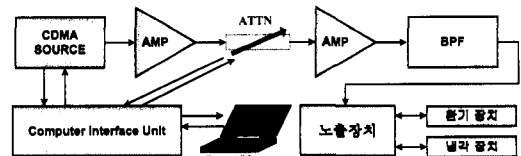


그림 4. 제작된 전신노출 시스템의 흐름도  
Fig. 4. Flowchart of designed whole body system.

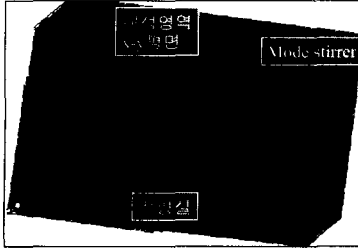


그림 5. SEMCAD 시뮬레이션을 이용한 전자파 잔향실 모델링

Fig. 5. Reverberation chamber modelling using SEM-CAD simulation.

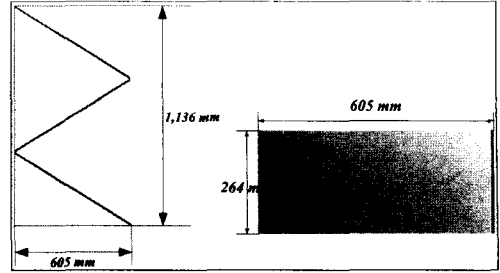


그림 6. Stirrer에 대한 FDTD 모델링 구조

Fig. 6. FDTD modeling structure in the stirrer.

### III. 잔향실 수치해석 및 측정 결과

수치해석에 사용된 툴은 FDTD를 이용한 상용 툴인 SEMCAD와 XFDTD를 이용하였다. 그림 5는 SEMCAD를 이용하여 잔향실을 모델링한 것이다.

Mode stirrer를 회전시키면서 전체 360도에 해당하는 필드분포를 산출하여 rms(V/m)로 평가를 하였다. 모델링에 필요한 컴퓨터 사양은 Intel(R) Xeon CPU 2.4 GHz, RAM 2 GB이다. 잔향실 및 stirrer에 대한 총 셀 사이즈와 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다.

챔버 및 stirrer는 두께 10 mm로 하였으면 PEC로 모델링 하였다. 그림 6은 stirrer FDTD 모델링 구조를 나타낸다.

그림 6과 표 1과 같이 잔향실에 대한 FDTD 모델

표 1. 잔향실의 FDTD 모델링 파라미터 및 조건

Table 1. FDTD modeling parameter & configuration in the reverberation chamber.

Frequency	1.762 GHz	$\lambda$	170.45 mm	Total Cell Number
Axis	X	Y	Z	
Problem Region Size	2,356 mm	2,453 mm	1,539 mm	
Cell Size	1~10 mm	1~10 mm	1~10 mm	
Cell 갯수	322	321	243	25,116,966
Frequency	1.762 GHz			
Simulation Period	80 Period			
Period(s)	$5.68182 \times 10^{-10}$ [s]			
Time Step Duration(s)	$1.9195 \times 10^{-12}$ [s]			
Time Step / Period	296			
Simulation Time / Period	32 min			
Total Simulation Time	2,560 min(42.6 hour)			

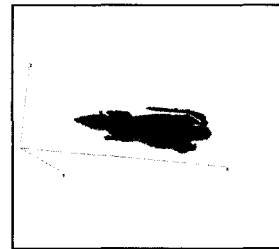


그림 7. FDTD를 이용한 마우스 수치해석 모델

Fig. 7. Numerical model of mouse for FDTD simulation.

링을 하였다. 그림 7은 FDTD로 모델링한 마우스의 수치해석 모델이다.

그림 7의 마우스 모델은 U. S Air forces Research Laboratory의 rat 모델을 이용하여 스케일링한 XFDTD 시뮬레이션 툴로 모델링된 마우스이다. 변화과정 후의 마우스 사이즈는 길이(X) 8.2 cm, 높이(Y) 1.7 cm, 너비(Z) 2 cm이며, 셀 사이즈는 0.072 cm(X) × 0.078 cm(Y) × 0.039 cm(Z)로 스케일링 하였다. 그리고 25개의 세포조직을 사용하였다. 또한 6 방향의 2개의 편파를 이용하여 총 12개 편파방향으로 수치해석을 하였다.

#### 3-1 잔향실의 전기장 분포 시뮬레이션과 측정 결과

전자파 잔향실 챔버에서 실제 마우스가 놓이는 cage의 크기와 테이블 평면 전체에 대한 잔향실 챔버내의 필드 분포를 해석하였다<sup>[5]~[8]</sup>. 측정은 0.8 m 높이의 테이블 위에서 cage 밑면과 윗면에 대해 각각 9개의 지점 총 18개 지점에 대해 이루어졌다. 또한 전체 시험영역인 테이블 전체 평면에 대해서는

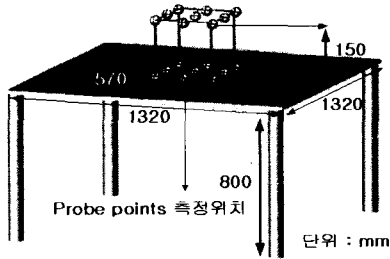


그림 8. 잔향실 내의 테이블 크기와 cage 크기 및 측정위치

Fig. 8. Cage size of measurement position and table size as a inside reverberation chamber.

총 24개의 지점에서 대해 측정과 시뮬레이션이 이루어졌다. 송신 신호원은 CDMA 방식의 PCS와 셀룰라 주파수 대역으로 각각 30 W, 40 W, 50 W, 60 W로 방출시켰다. 각 측정 포인트의 측정시간은 반응시간을 고려하여 최소 5분 이상씩 측정하였다. 그림 8은 챔버 내에 있는 cage의 측정위치를 나타낸 것이다.

그림 9는 전체 테이블 평면의 cage가 놓이는 위치와 측정 위치가 된다. 총 24개 지점이 된다. 실제 동물실험에서 cage의 개수가 24개이고 한 cage 안에 6마리의 마우스가 놓이게 된다.

각 측정환경에서 필드의 균일성을 증명하기 위해서는 측정 조건에 대한 표준편차가 전자파 잔향실에서 요구하는 제한값 3 dB 안에 들어와야 한다. 그림 8과 그림 9의 측정결과가 3 dB 안에 들어오지 않으면 균일성이 만족하지 않으므로 WHO에서 요구하는 측정 결과의 신뢰성 범위 30 %를 만족하기 어렵게 된다. 전기장의 세기 측정기는 AR사의 모델 FP6001/kit의 전계 프로브를 사용하였다. 측정주파수 범위는 1

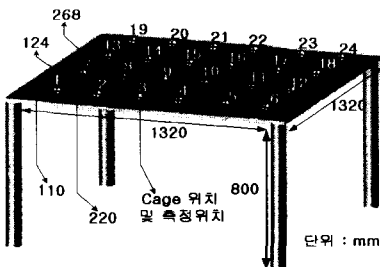


그림 9. 테이블 전체 평면에 대해 cage가 놓이는 위치 및 측정 위치

Fig. 9. Cage position and measurement position for total table plane.

MHz~4.2 GHz이고 응답시간은 1 msec, 등방성 편차는  $\pm 0.3$  dB이다. 챔버내의 방사용 안테나는 표준 다이폴 안테나를 사용하였다. 제작된 증폭기의 PCS 대역 및 cellular 대역 노출실에서 입력 power는  $E^2$ 에 비례하므로 측정된 power 값의 선형성의 유지 정도를 전기장의 세기 값으로 측정을 하였다. 이 선형성이 확보되어야만 SAR 측정값을 정확히 예측할 수 있다. 그림 10과 그림 11은 각각 노출실의 중앙에서 측정된 입력 파워에 대한 전기장의 세기이다.

그림 10과 그림 11은 측정시간이 5분이고 측정된 rms 값의 평균을 취하여 각각 30 W, 40 W, 50 W, 60 W등에 대해 선형 fitting 함수를 적용하여 선형성이 얼마나 잘 유지되는가를 확인하였다. 결과적으로 선

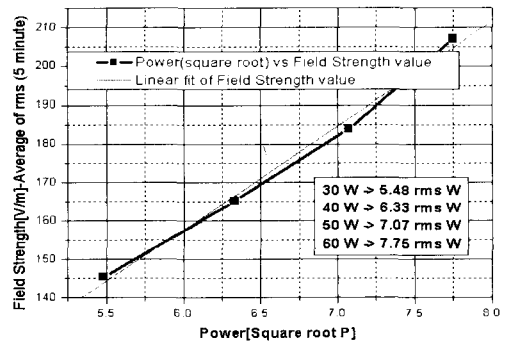


그림 10. PCS 대역 노출실에서 입력전력의 평방근과 전기장의 세기 사이의 선형성 측정결과

Fig. 10. Linearity measurement between the square root of input power and electric field strength in the PCS band exposure room.

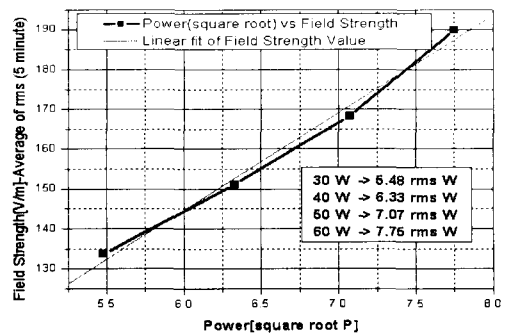


그림 11. 셀룰라 대역 노출실에서 입력전력과 전기장의 세기 사이의 선형성 측정결과

Fig. 11. Linearity measurement between the square root of input power and electric field strength in the cellular band exposure room.

형성이 잘 유지된다고 볼 수 있다. 그림 8과 그림 9의 측정 조건을 이용하여 시뮬레이션 결과와 측정결과를 비교하였다.

그림 12는 cage를 3등분하여 총 27개 측정점에 대해 표준편차에 따른 균일장을 해석한 것이다. 케이지 체적에서 표준편차가 3 dB 이하이므로 균일장이 형성된다. 그림 13은 전체 테이블 위에 각 케이지가 놓이는 지점에 대한 균일장 평가이다. 마찬가지로 표준편차가 3 dB 안에 포함되므로 균일장이 형성된다. 그림 14는 셀룰라 room의 cage 영역에서 총 18 포인트를 10분 동안 측정하여 rms 평균 측정값을 시뮬레이션 결과와 함께 보여준다.

그림 14는 셀룰라 room의 cage가 차지하는 영역내에서 균일장이 형성됨을 확인할 수 있다. 또한 IEC

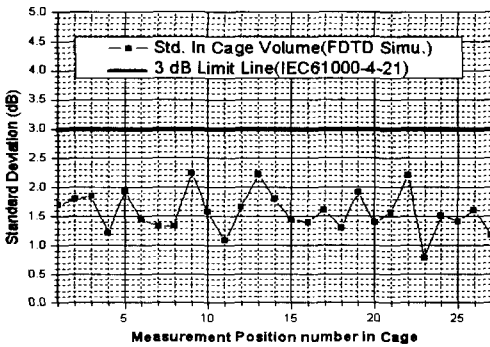


그림 12. Cage에서 균일장 평가를 위한 시뮬레이션 결과(1.762 GHz)  
Fig. 12. Simulation result for field uniformity estimation in cage(1.762 GHz).

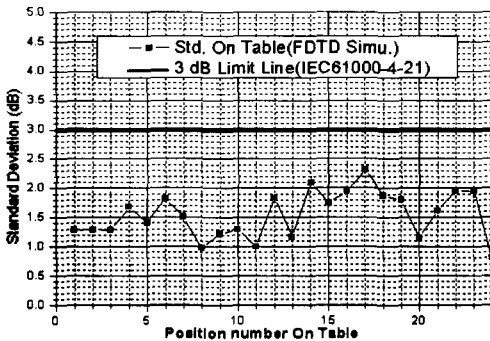


그림 13. 테이블 위에서 균일장 평가를 위한 시뮬레이션 결과(1.762 GHz)  
Fig. 13. Simulation table result for field uniformity estimation on table(1.762 GHz).

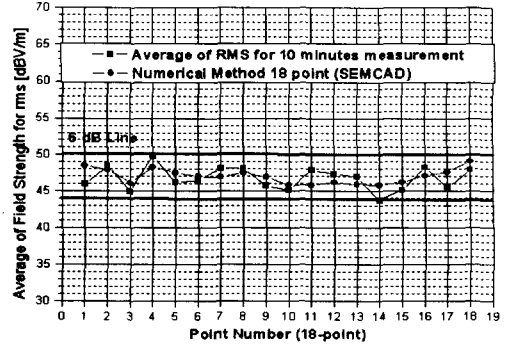


그림 14. 셀룰라 room에서 cage 영역에 대한 균일장 측정 및 시뮬레이션 결과(Power: 60 W).  
Fig. 14. The measured and simulated field uniformity data in cage volume inside the cellular room (Power: 60 W).

61000-4-21에서 제시하는 필드 균일장 평가 파라미터인 표준편차가 1.57 dB이므로 3 dB인 제한치에 만족을 한다. 그림 15는 같은 조건하에 PCS room에서 5분 동안 측정한 결과와 시뮬레이션한 결과를 보여주고 있다. 셀룰라 room과 마찬가지로 균일장이 형성됨을 알 수 있다. 표준편차가 1.09 dB이므로 3 dB 제한치를 만족한다. 같은 결과로 그림 16과 그림 17은 전체 테이블 위에서 필드 균일성을 평가한 결과이다. 측정과 시뮬레이션 결과가 거의 일치함을 알 수 있고, 표준편차는 각각 1.2 dB와 1.3 dB가 된다. 제한치 3 dB에 모두 만족함을 알 수 있다. 본 논문에서 제안한 잔향실 챔버의 필드 균일성은 매우 우수함을 알 수 있다. 또한 위 결과로부터 잔향실 챔버의 필드 균일성

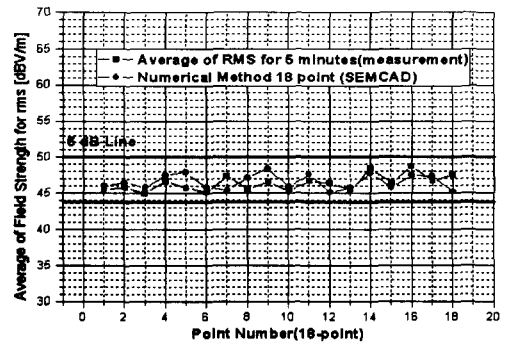


그림 15. PCS room에서 cage 영역에 대한 균일장 측정 및 시뮬레이션 결과(Power: 60 W)  
Fig. 15. The measured and simulated field uniformity data in cage volume inside the PCS room.

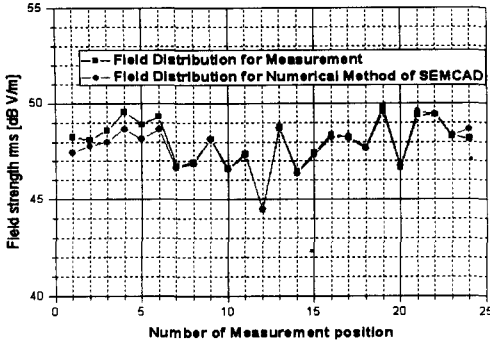


그림 16. 셀룰라 room에서 전체 시험 영역에 대한 균일장 측정 및 시뮬레이션 결과(Power: 60 W)

Fig. 16. Result of the field uniformity to measurement and simulation in the total test area inside the cellular room(Power: 60 W).

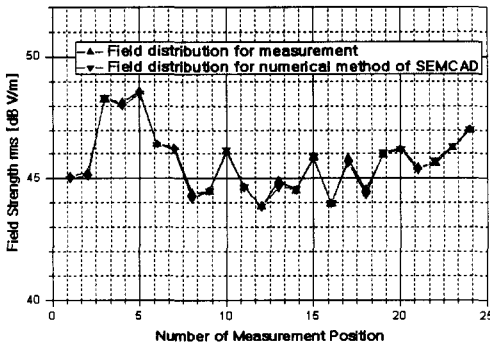


그림 17. PCS room에서 전체 시험 영역에 대한 균일장 측정 및 시뮬레이션 결과(Power: 60 W)

Fig. 17. Result of the field uniformity to measurement and simulation in the total test area inside the PCS room(Power: 60 W).

평가 파라미터인 CLF(Chamber Loading Factor)가 본 논문에서 제시한 시험영역인 cage 체적과 테이블 위에서 크게 영향이 없다는 것을 알 수 있었다.

잔향실 챔버에 대한 평가를 하기 위해서는 또 하나의 평가가 이루어져야 한다. 이것은 mode stirrer의 속도 변화에 대한 평가이다. 본 논문에서는 mode stirrer의 속도 변화에 대한 전기장 값의 변화를 관찰하였다. 그림 18은 mode stirrer의 속도 제어를 보여 준다.

그림 18의 오른쪽 그림과 같이 단계별로 속도를 변화시켜 전기장의 변화를 관찰하였다. 그림 19는 이러한 결과를 보여주고 있다.

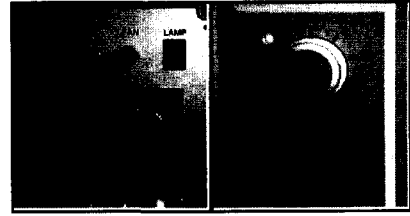


그림 18. Mode stirrer의 속도 제어기  
Fig. 18. Speed controller of mode stirrer.

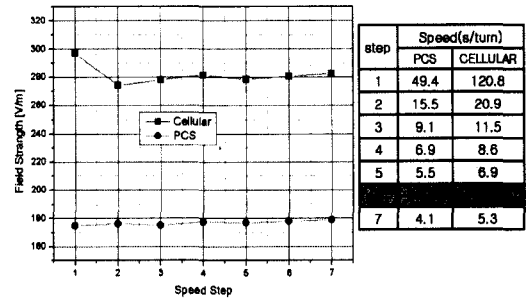


그림 19. 속도 변화에 대한 전기장의 세기  
Fig. 19. Field strength value as a function of speed variation.

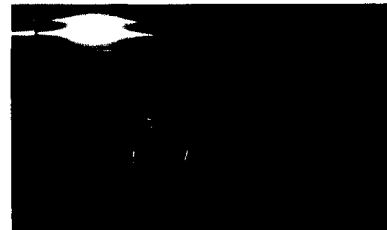


그림 20. 잔향실 챔버 내부 사진  
Fig. 20. Interior picture of reverberation chamber.

각 단계별 mode stirrer의 속도변화에 대해 본 논문에서 제작한 잔향실 챔버의 사이즈에서는 크게 영향이 없음을 알 수 있다. 측정에 사용된 mode stirrer의 속도는 단계 6으로 하였다. 그림 20은 잔향실 챔버와 mode stirrer, cage 테이블 위치를 보여주고 있다.

### 3-2 실험실 내 전기장 세기와 SAR 값

SAR 수치해석은 시뮬레이션과 계산을 통해 산출하였다. 표 2는 cage 내에  $E_{rms} = 0.707 [V/m]$ 를 2개의 편파를 6방향으로 인가시켰을 경우 1 W당 마우스 내부의 SAR 값이다<sup>[1]</sup>.

마우스의 시뮬레이션은 FDTD 방법으로 하였으

표 2. SAR 시뮬레이션 값

Table 2. SAR simulation value.

주파수 [MHz]	848.5	1762.5
전선평균 SAR [W/kg/W]	$0.33 \times 10^{-4}$	$1.42 \times 10^{-4}$
최대국부 SAR [W/kg/W]	$2.04 \times 10^{-4}$	$10.9 \times 10^{-4}$

며, 무게는 30 g이다. 그림 7과 같이 셀 사이즈는 0.072 cm(X) × 0.078 cm(Y) × 0.039 cm(Z)이다. 그림 21은 그림 7의 마우스 모델을 사용하여 XFDTD로 시뮬레이션한 결과이며, 마우스를 등에서부터 등간격으로 4등분한 셀룰라 대역과 PCS 대역의 마우스 SAR 값을 시뮬레이션 결과이다. 또한 정규화 분포로 나타내었다.

잔향실에서 입력 전력의 변화에 대한 전기장의 세기 값을 측정하였다. 표 2를 참고로 식 (4)와 식 (5)를 적용하여 SAR 값을 계산하였다.

$$E^2_{ref} : SAR_{ref} = E^2_{Mea} : SAR \quad (4)$$

$$SAR = \frac{SAR_{ref} \times E^2_{Mea}}{E^2_{ref}} \quad (5)$$



0.88x10<sup>-4</sup> [W/kg] max. 1.55x10<sup>-4</sup> [W/kg] max.



1.73x10<sup>-4</sup> [W/kg] max. 1.40x10<sup>-4</sup> [W/kg] max.

(a) Cellular 대역(848.5 MHz) SAR 값  
(a) Cellular band(848.5 MHz) SAR value



3.07x10<sup>-4</sup> [W/kg] max. 8.39x10<sup>-4</sup> [W/kg] max.



9.10x10<sup>-4</sup> [W/kg] max. 7.03x10<sup>-4</sup> [W/kg] max.

(b) PCS 대역(1762.5 MHz) SAR 값  
(b) PCS band(1762.5 MHz) SAR value

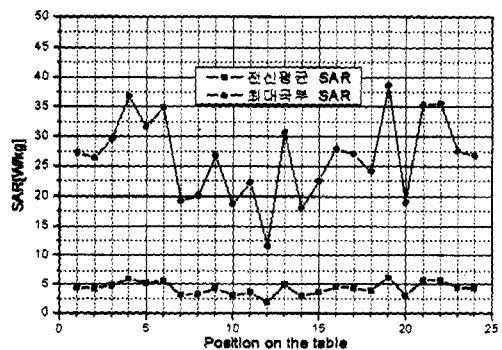
그림 21. SAR 시뮬레이션 결과

Fig. 21. Result of the SAR simulation.

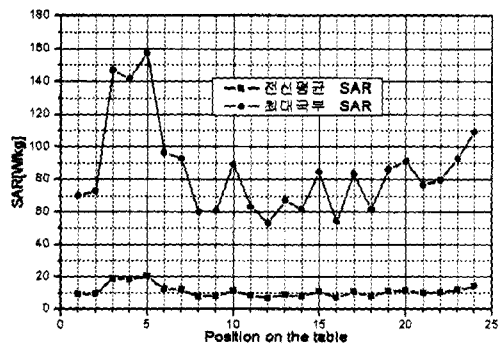
그림 22는 식 (5)를 적용하여 셀룰라 room과 PCS room의 테이블 위의(전체 시험 영역) 측정 위치에서 전기장의 세기를 측정하여 SAR을 계산한 결과를 보여주고 있다. 측정 지점은 그림 9와 같다.

전체 시험영역인 테이블 위의 SAR 계산 결과를 통하여 마우스 내의 SAR 값을 예측할 수 있다. 표 3과 표 4는 셀룰라와 PCS 잔향실의 테이블 중앙지점에서 측정된 전기장 세기를 바탕으로 입력 전력 변화에 따른 SAR 값을 계산한 결과이다.

식 (5)를 바탕으로 잔향실 챔버에서 측정된 전체의 세기 값을 이용하여 SAR 값을 계산할 수 있었다. 본 논문에서는 이러한 결과를 바탕으로 *in-vivo*의 동물 실험용 노출장치에 대한 유효성 및 신뢰성을 측정과 시뮬레이션을 통해 검증하였다.



(a) 셀룰라 room에서 테이블 영역의 SAR 값(60 W)  
(a) SAR value in the table area within the cellular room (60 W)



(b) PCS room에서 테이블 영역의 SAR 값(60 W)  
(b) SAR value in the table area within the PCS room(60 W)

그림 22. 셀룰라와 PCS실의 테이블 영역의 SAR  
Fig. 22. SAR value in the table area by cellular and PCS room.



표 3. 입력전력에 대한 SAR 값(셀룰라 room)

Table 3. SAR value in the various input power (cellular room).

Input Power [W]	Field Strength Mea.(center) [V/m]	Whole-Body Averaged SAR [W/kg]	Local Peak SAR [W/kg]
30	133.76	1.18	7.30
40	151.13	1.15	9.32
50	168.26	1.87	11.55
60	189.95	2.38	14.73

표 4. 입력전력에 대한 SAR 값(PCS room)

Table 4. SAR value in the various input power(PCS room).

Input Power [W]	Field Strength Mea.(center) [V/m]	Whole-Body Averaged SAR [W/kg]	Local Peak SAR [W/kg]
30	145.9	6.00	46.10
40	165.30	7.76	59.58
50	183.77	9.59	73.64
60	207.11	12.19	93.54

#### IV. 결 론

본 논문에서는 전자파 잔향실을 제작하여 SAR 값을 구함으로써 전자파 잔향실을 전신 노출 장치로 사용할 수 있음을 검증하였다. 장기 노출 조건에서 전자파가 얼마나 흡수되는지에 대한 예측 방법을 측정을 통해 제시하였다. 잔향실이 노출 장치로 사용 가능함을 보이기 위해 두 가지 조건에 대해 연구를 하였다. 첫 번째는 잔향실의 일반적인 조건인 균일장 형성이고, 두 번째는 잔향실을 이용하여 구한 SAR 값의 유효성이다. 첫 번째는 잔향실의 시뮬레이션과 제작을 병행하여 검토를 하였다. 시뮬레이션과 측정시에는 cage가 놓일 공간에서 18개 포인트를 선정하여 그림 13과 그림 14의 전기장의 세기가 6 dB 이내에 들어옴을 확인함으로써 균일장 형성을 확인하였다. IEC61000-4-21의 균일장 평가 파라미터인 표준편차를 산출하여 제한치 이하로 만족함을 보였다. 또한 단일 cage 뿐만 아니라 여러 개의 cage 영역에 대해서도 전기장의 세기를 측정하여 그림 16, 그림 17과 같이 전기장의 세기 편차가 6 dB보다 작

음을 확인하고 더불어 표준편차가 2 dB 이하로 측정됨으로써 집단 SAR 측정 및 단일 SAR 측정의 가능성을 보여 주었다. SAR 값은 잔향실 내에서 측정된 전기장의 세기를 마우스 수치펜턴에 적용하여 SAR를 산출하였다. 이러한 측정과 시뮬레이션 결과를 바탕으로 잔향실 형태의 챔버가 동물 실험용 전신 노출장치로의 유효성 및 신뢰성을 확보하였으며, 노출에 의한 SAR 값을 예측할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 류해훈, 성미진, 유호정, 백정기, "전자파잔향실에서의 동물실험을 위한 마우스내 SAR 분포해석", 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, pp. 203-206, 2002년 5월.
- [2] CISPR/A/389/CDV, *ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC)-Part 4, Section 21: Reverberation Chamber Test Methods*, May 2002.
- [3] M. O. Hatfield, "Shielding effectiveness measurements using mode-stirred chambers: a comparison of two approaches", *IEEE Transactions on EMC*, vol. 30, no. 3, pp. 229-238, Aug. 1988.
- [4] L. Crawford, G. H. Koepke, "Design, evaluation, and use of a reverberation chamber for performing electromagnetic susceptibility/ vulnerability measurement", *National Bureau of Standards(US) Technical Note 1092*, Apr. 1986.
- [5] 정기범, 고경배, 정연춘, 최재훈, "전신 SAR 측정용 전자파 잔향실 평가 해석", 마이크로파 및 전파학술대회, pp. 619-622, 2003년 5월.
- [6] J. K. Pack, Y. C. Chung, G. J. Lim, K. B. Jung, H. H. Ryu and H. J. Doh, "Development and verification of Reverberation chamber-type exposure system for *IN-VIVO* study at a cellular phone frequency", *3rd International EMF Seminar in China : Electromagnetic Fields and Biological Effects*, Guilin, China, Session 5-4, pp. 41-42, Oct. 2003.
- [7] J. K. Pack, Y. C. Chung, G. J. Lim, K. B. Jung, H. H. Ryu and H. J. Doh, "Development of Reverberation chamber type system for *IN VIVO* study at a mobile-phone frequency band", *BEMS Abstract Book*,

Twenty-fifth annual meeting, pp. 178-a, Jun. 2003.

[8] Ki-Bum Jung, Kyung-Bae Ko, Yeon-Choon Chung and Jae-Hoon Choi, "Reverberation Chamber Esti-

mation Analysis for the whole Body SAR Measurement", 2003 Asia-Pacific Microwave Conference, pp. 1348-1351, Nov. 2003.

### 정 기 범



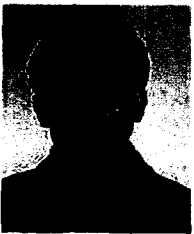
1999년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학사)  
2001년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학석사)  
2002년~현재: 한양대학교 전자통신전파공학과 박사과정  
[주 관심분야] EMC 및 대책기술, SAR, 전자파 수치해석, 안테나 설계

### 백 정 기



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

### 고 경 배



2003년 2월: 한양대학교 전기전자공학부 (공학사)  
2003년 3월~현재: 한양대학교 전자통신전파공학과 석사과정  
[주 관심분야] EMC, 수치해석, 안테나

### 정 연 춘



1984년 2월: 경북대학교 물리학과 (이학사)  
1986년 2월: 경북대학교 물리학과 (이학석사)  
1999년 8월: 충남대학교 전자공학 (공학박사)  
1985년 12월~2001년 5월: 한국표준과학연구원 전자기환경그룹 책임연구원, 그룹장  
2000년 3월~2001년 2월: Univ. of York, Visiting Academics  
2001년 6월~2002년 2월: 익스팬전자(주) 중앙연구소장 부사장  
2002년 3월~현재: 서경대학교 정보통신공학과 교수  
[주 관심분야] EMI/EMC 측정 및 대책기술, 전자파재료

### 도 현 정



2002년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)  
2002년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 석사과정  
[주 관심분야] 전자파 생체영향, 전자장 수치해석

### 최 재 훈



1980년: 한양대학교 전자공학과 (공학사)  
1986년: 미국 Ohio State University 전기공학과 (공학석사)  
1989년: 미국 Ohio State University 전기공학과 (공학박사)  
1989년~1991년: 미국 Arizona State University 연구 교수  
1991년~1995년: 한국통신 위성사업본부 연구팀장  
1995년~현재: 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수  
[주 관심분야] 안테나 설계, 마이크로파 능·수동 소자 설계, EMC