

## I. 개 요

우리 나라가 전기·전자 제품에서 방출되는 불요 전자파에 대한 기술적 관리를 위하여 1989년에 전자파 장애 검정 제도를 정부가 도입하는 시기에 맞추어 전자파 장애의 적정 기준 설정, 측정 방법 및 방지 대책 기술의 필요성이 제기되면서 1990년 '전자파 장애 측정 및 방지 대책 연구' 라는 과제명으로 당 연구원의 EMC(Electromagnetic Compatibility) 기술 개발이 시작되었다. 이 연구 과제의 수행으로 10 m 전자파 무반사실((Anechoic Chamber)을 구축하여 우리 나라의 전자파 장애 및 내성 측정 기술을 확보하였으며, 산업 현장에서 전자파에 대한 품질 관리에 활용할 수 있는 다양한 종류의 TEM cell 측정 장치를 개발하였다.

또한, 1996년 유럽 연합국에서 처음으로 제품에 대한 전자파 내성 규제가 시행되기 시작하면서 불요 전자파 장애뿐만 아니라 전자파 내성에 대한 대책 기술의 중요성이 부각되어 제품의 전자파 문제를 PCB 단계에서 해결할 수 있는 PEMAS(Electromagnetic Analysis System for PCB) 시스템을 개발하였다.

최근 무선통신 분야가 발전하면서 전자파 환경 문제가 사회 문제로 등장하고 있다. 휴대폰과 같이 장시간 동안 인체의 머리 부위에서 수 mm 이내로 밀착하여 통신하는 사용 환경 때문에 전자파의 생물학적 영향 여부가 연구 대상으로 관심을 모으고 있다. 미국 FCC는 1996년부터 휴대폰 등 이동통신단말기에서 방출되는 전자파의 인체 두부에 대한 SAR(Specific Absorption Rate) 값을 규제하고 있다. 우리 나라도 전자파가 인체, 생체에 미치는 영향

을 조사, 분석하고, 전자파에 대한 인체 보호 기준을 수립하기 위하여 1997년 정보통신부의 정책 과제로 '전자파 환경 영향 연구' 과제를 수행하였다. 특히, 이 연구 분야는 전자파와 인체, 생체 관계를 규명하여야 하므로 생물학, 의학 등 관계 전문가들의 연구 협조가 필요하다. 그러므로 한국전자파학회의 <전자장과 생체 관계 연구회>와 공동으로 '전자파의 생체 영향 실험, 국내 인체 보호 기준 수립, 전자파 노출량의 측정 표준화 등에 관한 연구를 함께 수행하고 있다.

본고는 당 연구원에서 지금까지 수행한 주요 연구 결과를 소개하고 현재 연구 현황을 연구 주제별로 분류하여 기술하고자 한다.

## II. 전자파 무반사실 구축

전자파 무반사실은 일반적인 EMI/EMS 시험장으로 활용되고 있는 야외 시험장(Open Site)을 대용하는 시험장(Alternative Site)이다. 일반적으로 시험장의 조건은 주위 전자파 간섭에 대한 영향이 없어야 하며 반사와 전자파 결합이 일어날 수 있는 장애물이 없어야 한다. 당 연구원에서 보유하고 있는 전자파 무반사실은 1990년에 일본의 AKZO사에서 기자재를 공급하고 유일엔지니어링(주)에서 건축한 시설로서 측정거리 3 m 및 10 m 법이 가능하며, 전자파 무반사실의 주요 특성인 차폐 효과와 및 시험장 감쇄 특성이 매우 높은 수준을 유지하고 있다.

ETRI 전자파 무반사실에 대한 주요 제원은 다음과 같다.

1) 측정 거리(Test Range)

- 3 m 및 10 m

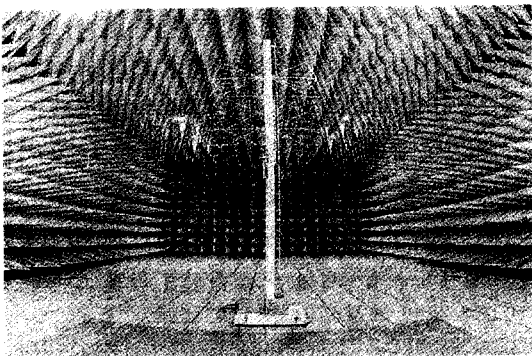
2) 구조(Structure)

- 용접 철골 및 자립식(self-standing)

3) Specification

- 무반사실: 19.5 m(L) × 12.2 m(W) × 7.5 m(H)
- 문: (1) Pneumatic Powered Sliding, 7' × 7' Opening  
(2) Pneumatic Powered Sliding, 3' × 7' Opening
- 회전 테이블 : 직경 3m, 최대 부하 : 1 톤
- 안테나 마스터(antenna mast) : 1 m~5 m 고도 자동제어
- 흡수체 : 페라이트 복합 피라미드(Ferrite Combined Pyramids)

근래 FCC는 전자파 무반사실(혹은 야외시험장)의 성능을 NSA (Normalized Site Attenuation) 평가법으로 EMI 측정용 안테나를 이용하여 평가하고 있다. 그런데 EMI 측정용 안테나의 안테나 인자(antenna factor)는 EMI 측정용 전자파 무반사실에서 평가되어지고 있다. 이 불합리한 문제점을 해결



[그림 1] ETRI 전자파 무반사실 (Anechoic Chamber).

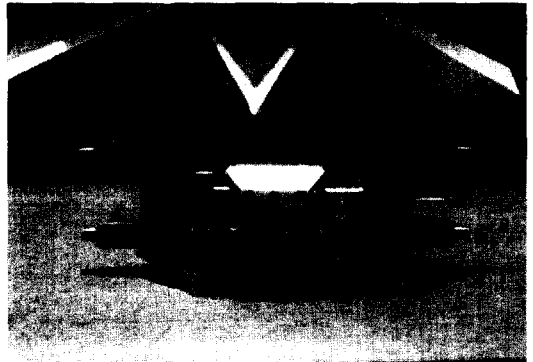
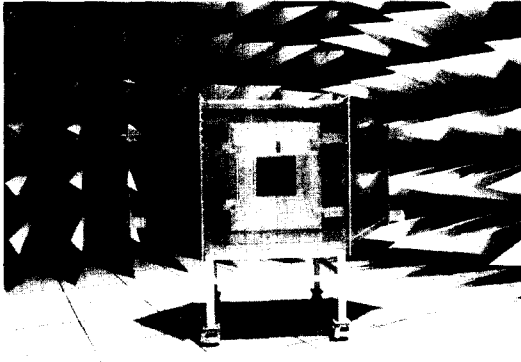
하기 위하여 전자파 무반사실의 성능 평가 방식에 대하여 제고되어야 하며, 안테나 인자가 필요 없는 성능 평가 방식이 연구되어야 한다.

### III. TEM Wave-guider 기술 개발

#### 3-1 TEM cell 설계 기술

TEM cell은 야외 시험장 혹은 전자파 무반사실에 비해 매우 저렴한 가격으로 제작이 가능하고, 작은 공간에서 이동이 자유롭고 저전력으로도 매우 높은 세기의 전자파 조성이 가능하다. 또한 입력 전력에 따른 내부 균일영역(uniform area, 내부 도체와 외부도체 사이의 1/3 영역)에서 발생하는 전자기장의 세기를 정확히 예측 가능하고, 높은 전자파 균일도(field uniformity) 조성이 가능하다

TEM cell은 GTEM cell, WTEM cell, TTEM cell, 그리고 YTEM cell과 같이 한쪽 면을 종단하는 한단 TEM cell (single TEM cell)과 대칭형 TEM cell, 비대칭형 TEM cell, 원통형TEM cell, 그리고 결합 전송 선로 셀처럼 양단에 입출력 단자를 갖는 양단 TEM cell (double TEM cell)로 구분이 가능하다. 한단 TEM cell은 사용 주파수 대역이 넓으나, 근역장 특성을 포함하는 일반 표준 전자파 (전파 임피던스:  $0 \sim \infty \Omega$ ) 조성이 불가능하다. 특히, 비대칭형 TEM cell은 전자파 인체 영향 연구에 필요한 전자파 비흡수율(SAR: Specific Absorption Rate) 측정 프로브의 교정 시스템 개발에 활용되었으며, 시스템 구조 특성 해석을 위하여 50 Ω 특성 임피던스 구조 추적용 프로그램, 내부 전자계 분포 계산용 프로그램 및 고조 모드 차단 주파수 계산용 프로그램을 각각 개발하였다. 이것은 기존의 양단형 TEM cell에 비해 균일도가 높고 사용 주파수 대역이 넓으며 전력이 유용도가 높은 특징이 있다. 이외에도 GTEM cell와 YTEM cell을 개발하여 전자파 내성



[그림 2] EMS 측정용 및 SAR 프로브 교정용 결합전송선로셀

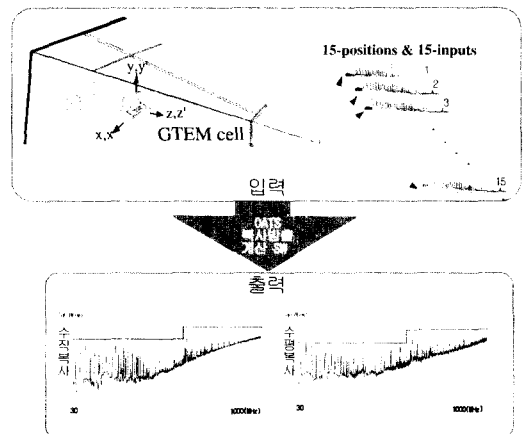
은 물론 안테나 및 프로브 교정, 전자파 장애 측정 연구에 활용하고 있으며, 이 기술의 개발로 전자파 복사 패턴 측정 시간을 획기적으로 단축시킬 수 있을 것으로 기대된다.

### 3-2 EMI 측정 기술

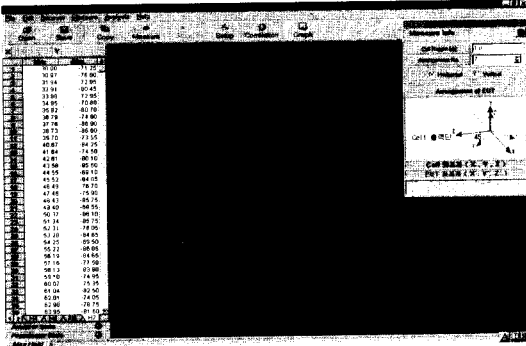
GTEM cell 및 TEM cell은 야외시험장이나 그 대응 시설인 전자파 무반사실에 비하여 가격이 저렴할 뿐만 아니라 공간적인 측면에서도 매우 효율적이어서 제품 생산 현장에서의 EMI 시험에 매우 적합한 시설이다. 특히 GTEM cell은 주파수에 대한 제한이 TEM cell에 비해 적기 때문에 수 GHz까지 복사 방출 측정이 가능하다. 그러나 이 시설에서 시험이 실시되기 위해서는 야외시험장(또는 전자파 무반사실)과 일치되는 상관관계가 제공되어야 한다. 이 상관관계를 위해서는 GTEM cell 내에 정상적으로 동작하는 피 시험체를 일정 횟수 정해진 알고리즘에 따라 배치하고 cell 출력단 전력을 수신하여 그것을 계산 SW에 입력시켜야 한다.

현재까지 6, 9, 12 그리고 15 방위에 의한 측정 알고리즘이 개발되어 왔으며, 최근에는 미국의 Mr. Tim Harrington, Mr. Heyno Garbe 등 전문가들이 중심이 되어 국제 표준화를 꾀하고 있다. GTEM cell을

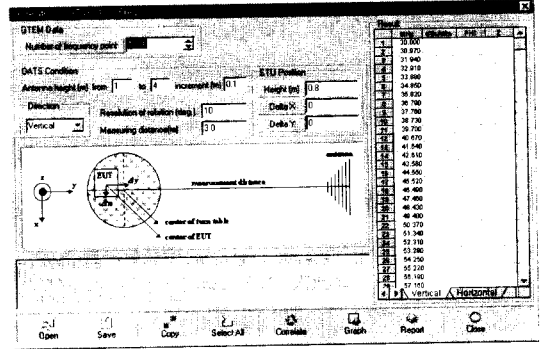
이용한 EMI 측정에 대한 표준화가 이루어지면, 소요 비용이 크고 측정시간이 많이 소요되는 야외시험장 대신에 간편하게 공식적인 EMI 측정결과를 산출할 수 있는 것이다. 상기의 개발 알고리즘 중에 15 방위에 의한 측정 방식은 당 연구원에서 개발한 것으로 그림 3에서 보는 바와 같이 15 방위-15 입력 알고리즘에 따라 피 시험체를 GTEM cell내에 배치하고 cell 출력단 전력을 측정하여 그 데이터 파일을 입력하면 동일 피 시험체가 야외 시험장이나 전자파 무반사실에 있을 때 안테나로 수신되는 복사 전계로 환원하여 그 결과 값을 산출해 주는 방식이다.



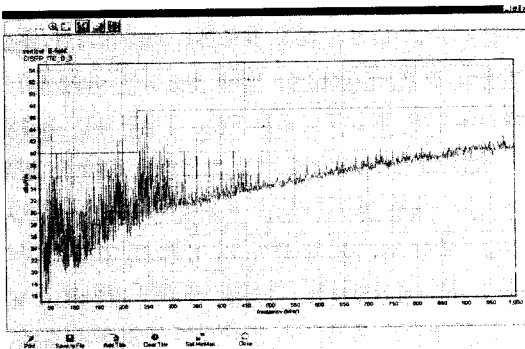
[그림 3] 15 방위-15 입력 알고리즘 개념



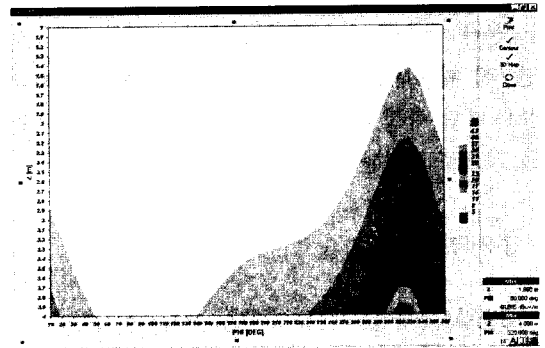
(a) GTEM cell 출력단 측정



(b) Correlation 조건



(c) 야외 시험장 복사 전계 예측



(d) 한 주파수에 대한 복사량 공간 분포

[그림 4] 15 방위 - 15입력 알고리즘 사용자 SW 실행 예

그림 4 (a)는 GTEM cell 내의 피 시험체의 일정 방위(방위 값은 알고리즘에 의함)에 대한 cell 출력단 전력 스펙트럼을 나타내며, (b)는 (a)와 같은 전력분포와 야외시험장에서의 복사 전계를 관련 짓기 위한 상관 조건 (야외시험장에서의 피 시험체 높이, 시험 테이블 상의 위치, 피 시험체로부터 측정거리, 편파의 종류 등)을 지정하는 사용자 화면, (c)는 (b)의 상관 조건에 의한 출력으로써 야외 시험장에서의 피 시험체 복사 전계 스펙트럼을 보이고 있다. 그리고 (d)는 어떤 한 주파수에서 피 시험체로부터 복사되는 전계 분포를 측정 전 공간 ( $\rho$ (측정거리),  $\phi$ (회전각),  $z$ (높이))에 대해 분석이 가능한 기능

으로 대상기기의 EMI 주요 위치를 탐색하는 데 활용이 가능하다.

당 연구원에서 개발한 GTEM cell에 의한 복사 방출(EMI) 상관 알고리즘은 미국의 FCC에서도 현재 인정되고 있어 미국 수출용 제품의 시험시 활용이 가능하다. 현재 국내 및 국제특허를 등록하였으며, (주)삼성전자는 이 기술을 활용하여 노트북PC 등의 제품에 대하여 미국 FCC 인증을 획득하였다.

GTEM cell을 이용한 EMI 측정 방식에 대한 국제적인 표준화 움직임이 활발한 현 추세에 발맞추어 개발된 기술에 그치지 않고 지속적인 연구인력과 연구비 투자로 관련 연구의 수행과 개선을 바탕으로

우리 기술에 대한 국외 홍보와 국제 표준화 활동에 참여하는 것이 바람직하다.

#### IV. PCB 전자파 대책 - PEMAS 시스템 개발

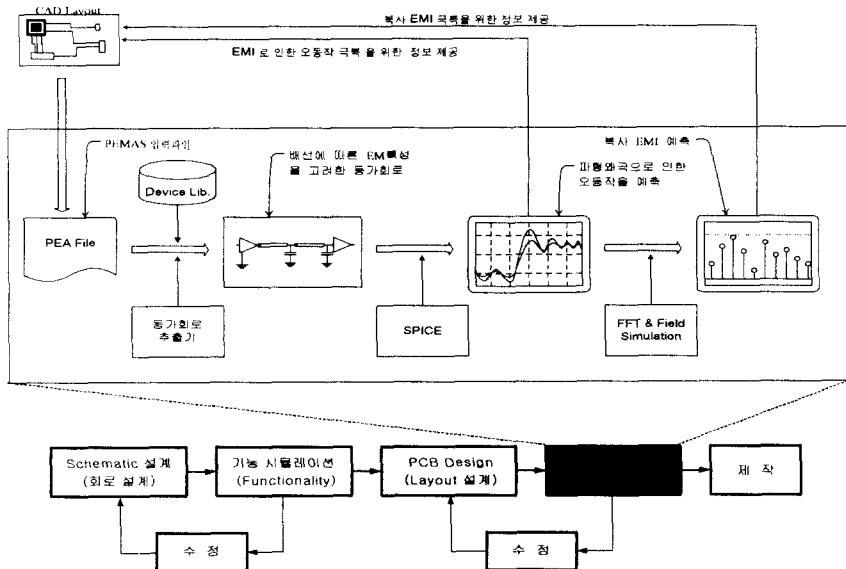
PCB의 제작은 모든 전기·전자회로의 구현에 필수적인 과정으로서 설계된 회로가 실제로 구현되는 단계이다. 일반적으로 PCB 제작에 사용되는 레이아웃 설계 CAD는 각 부품들간의 연결관계를 정의하는 네트리스트를 이용하여 기판 상에 구현하는 선로의 물리적인 연결방법만을 설정하여 준다. 그러나 최근에는 사용되는 클럭 신호의 주파수 증가와 각종 전기전자 제품들의 경박단소(經博短小)화로 인하여 집적회로(IC) 레벨의 설계에서 뿐만 아니라 PCB 레벨의 레이아웃 설계에서도 신호의 지연(Delay)이나 반사(Reflection), 누화(Cross-talk) 등으로 인한 EMI 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 PCB 레이아웃 설계용 ECAD들도 네트 선로의 형태와 기판의 구성 등에 따른 SI(Signal

Integrity) 해석이나 EMI (Electromagnetic Interference) 규제에 대응하기 위한 복사 전자파의 예측 기능이 필요하다.

이러한 필요성에 의해 당 연구팀에서는 1999년부터 수행하고 있는 "이동통신 단말기의 전자파 대책 기술 연구"의 일환으로 인쇄회로기판 상에서의 SI 해석 및 전자파 복사량을 예측하여 EMI 문제를 해결할 수 있는 프로그램인 PEMAS(EMI Analysis System for Printed Circuit Boards)을 개발 중에 있다.

설계된 회로를 기판상에 실제로 구현할 때에 나타나는 여러 가지 문제들을 예측하기 위해서는 PCB 설계의 결과로써 나타나는 전자기적인 영향을 확인해 볼 수 있는 시뮬레이터가 필요하고, 이러한 시스템을 이용한 기본적인 PCB 설계 단계와 실제 PEMAS 시스템에서 적용하고 있는 PCB EMI 해석을 위한 과정을 표현하면 그림 5와 같다.

당 연구원에서 개발 중인 PEMAS는 PCB 설계자들이 사용하는 레이아웃 설계용 ECAD와 연동하

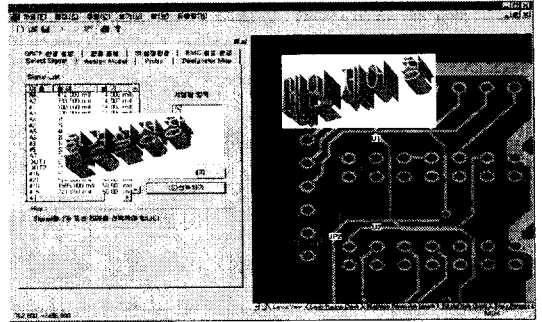


[그림 5] PCB 설계시의 EMI를 예측하기 위한 순서도

여 설계 단계에서부터 EMI 문제를 해결할 수 있도록 EMI 문제를 종합적으로 분석하여 설계에 고려해야 할 정보를 제공하는 시스템이다. 상기 그림 5의 PEMAS 시스템의 순서도에서 알 수 있듯이 본 시뮬레이터는 다음과 같은 4가지 기능을 갖는 프로그램들로 구성되어 있다.

- 설계된 CAD 데이터 및 각종 부품들에 대한 전기적 정보를 입력 받고, SI 및 EMI 현상과 관련된 계산 결과를 출력하는 입출력 Parser와 메인 제어 프로그램 및 GUI
- 입력된 CAD 레이아웃에 대해 EMI를 고려한 설계규칙을 이용하여 설계 이상 유무를 설계자에게 알려주는 DRCE(Design Rule Checker under EMI constraints)
- 사용자가 선택한 네트에서 인가되는 신호에 따른 신호파형을 해석하는 SISE(Signal Integrity Simulator for EMI on PCBs)
- 선택된 2D/3D 구조에 대한 등가회로 파라미터 및 SPICE 입력파일 추출
- IBIS-to-SPICE 변환 프로그램을 이용한 IC Pin이나 Package에 대한 등가회로 추출
- 기존 SPICE를 이용한 전압/전류 계산 및 계산 결과 디스플레이 기능
- 해석된 신호파형으로부터 외부로 복사되는 전자파의 강도를 계산하여 EMI 규제치와 비교할 수 있게 해 주는 RES(Radiated Emission Simulator)

그림 6은 구현된 PEMAS 시스템의 초기 화면을 나타낸다. 사용자와의 인터페이스를 구성하는 부분으로 SI/EMI 시뮬레이션을 실행하는 메인창과 EMI 현상을 검증하기 위해 요구되는 선로의 도전율이나 기판의 유전율, 신호선과 전원선의 구분 및 클럭신호의 상승시간 등 각종 해석에 필요한 전기적인 파라미터를 설정하는 환경설정창으로 구성된다.



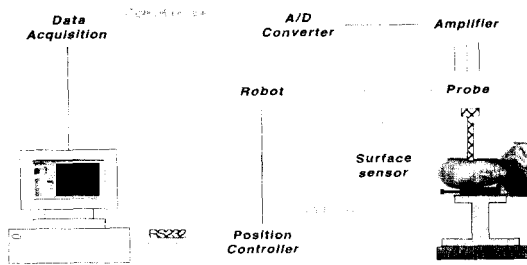
[그림 6] PEMAS 시스템의 초기화면

현재, PEMAS 메인 제어 프로그램 및 GUI, DRCE 기능과 2D구조에 대한 등가회로를 추출하는 기능이 완성되었으며, 3D 구조에 대한 해석 및 Radiated Emission 해석 기능에 대해서는 차후에 개발할 예정이다. 또한 여러 가지 상용 ECAD Tool들과의 호환을 위한 데이터 변환 기능과 IC/Package의 전기적인 특성을 나타내는 IBIS 모델로부터 SPICE 등가회로 추출 기능 등도 PEMAS 시스템의 기능으로 추가할 계획이다. 특히, 고속 PCB를 설계할 때 사용하는 시뮬레이터는 실제 발생하는 상황을 정확하게 모델링할 수 있어야 한다. 그러므로 향후 보완 개발될 PEMAS 시스템은 이러한 문제점들을 고려할 수 있도록 기능을 확장시켜 개발할 계획이다.

## V. 인체 SAR 측정 시스템 개발

최근 무선통신기기의 사용이 급증하면서 장시간 전자파에 노출될 때, 전자파가 인체에 미치는 영향 여부에 관심과 우려가 높아지고 있다. 특히, 휴대폰과 같이 인체에 밀착하여 장시간 사용하는 무선통신기기는 인체에 미치는 송출 전력에 제한이 가해질 것으로 예상된다. 미국 FCC는 이미 1997년부터 휴대폰 전자파의 인체 노출 정도를 SAR(비흡수율)로서 기준을 정하여 강제 규제를 시행하고 있다.

전자파의 인체 SAR 평가 방법은 인체 부위를 수



[그림 7] 인체 SAR 측정 시스템

치 해석 기법을 이용한 계산적 평가 방법과 모의 인체에 전자계 프로브를 삽입하여 실제 그 양을 측정하는 실험적 평가 방법이 있다.

당 연구원은 1998년 부터 SAR 평가를 위한 측정 기술 개발에 착수하였으며, 현재 측정 시스템의 기본적인 기능과 해석 데이터를 처리할 수 있는 데이터 입·출력 모듈, 인체 두부의 각 부위별 3차원 전기적 상수 위치 데이터 베이스 등을 개발하였다. 그림 7은 SAR 측정 시스템의 구성도이다. 이 측정 시스템은 실제 사용 조건과 동일하게 동작되는 휴대 전화기를 모의 인체에 연결하고, 3차원 공간 위치 제어가 가능한 다관절 로봇으로 프로브를 자동으로 이동시켜 모의 인체 내에 전자기장 등의 물리량을

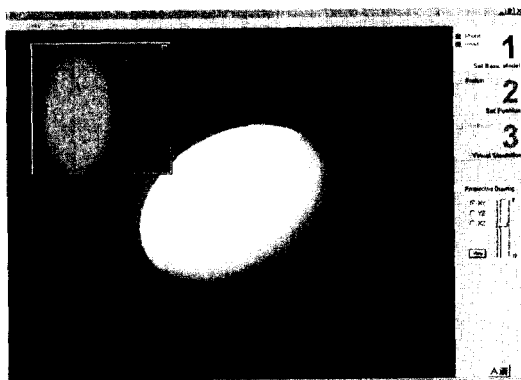
측정하여 SAR량으로 계측되도록 되어 있다.

이동통신단말기의 SAR 해석 시스템은 단말기의 모델과 해부학적 인체 모델을 결합시켜 해석 조건(인체 조직, 단말기 구조 등) 및 시험 위치 설정 기능 등을 사용자가 쉽게 선택할 수 있도록 하였으며, 휴대폰 사용시 인체 두부의 SAR 분포, 단말기의 근역장 및 원역장 복사 패턴 등의 계산결과를 쉽게 표현할 수 있도록 라인 그래프, class post map 및 polar map 등의 기능 등이 구현되었다.

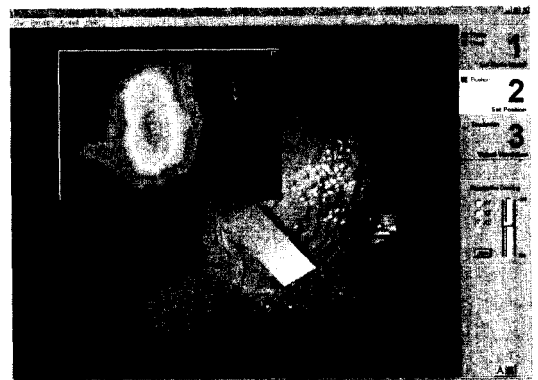
그림 8은 SAR 해석 시스템의 출력 예를 보인다. 이 SAR 해석 시스템에 사용된 표준 인체 조직의 데이터 베이스 작업은 20여 가지의 파라메타로 규정된 한국인 표준 인체 요구 조건에 가장 부합되는 대상자를 선정하여 MRI와 CT 촬영으로 공간 이미지 데이터를 얻었다. 이 데이터를 기초하여 의과대학의 인체 두부 전문 교수들과 공동으로 1 mm<sup>3</sup> 크기 voxel 단위로 조직 데이터 베이스를 제작하였다.

## VI. 결 론

근래 디지털 기술은 정보통신 기술뿐만 아니라 방송 기술에도 활용되면서 유한한 전파 자원의 이용



(a) 단순 두부 모델링



(b) 시험 위치와 해석 결과 출력

[그림 8] SAR 해석 시스템의 출력 예

은 점점 제한 요소가 많아지고 있으며, 이를 보호해야 하는 전자파 기술의 폭도 과거에 비하여 점점 확장되고 있다. 뿐만 아니라 전자파의 인체, 생체에 미치는 영향 문제도 국제적인 문제로 등장하여 전기, 전자, 통신기기 사용자의 불안 요소로서 깊숙이 자리잡고 있으므로 관련 산업의 위축을 초래할 수 있다.

본고에서 소개한 당 연구원의 EMC 기술은 넓은 전자파 기술 분야 중에 일부에 지나지 않는다. 특히, TEM 응용 디바이스는 CISPR 와 IEC TC77 위원회가 국제 표준화를 위한 공동연구에 박차를 가하고 있으며, 당 연구원도 이 표준화 연구에 동참하고 있다. 또한, 세계보건기구 WHO는 전자파가 암 발생 등, 인체에 미치는 영향 여부를 조사하기 위하여 자체 연구계획을 확정하였으며, IEEE, IEC는 전자파에 대한 인체 SAR 측정 표준화 작업을 이미 시작하였다. 이것은 앞으로 전자파 규제의 새로운 방향을 예고하는 것이다.

앞으로 EMC 기술은 CISPR 등 국제기구의 표준화 연구에 동참하여 적기에 국제 표준화 동향을 파

악하고 이에 관련된 제품의 전자파 품질을 제고시킬 수 있는 노력을 하여야 한다.

막연한 표준화 연구를 지양하고 산업 경쟁력에 예측되는 표준화 연구과제를 정하여 심도 있게 추진할 필요가 있다. 또한, 전자파 대책기술은 여러 가지 유형의 대책기술이 예상되지만 전자파 발생원은 제품의 PCB에서 출발하므로 이 단계부터 EMC 대책을 수립할 수 있다면 최선의 문제 해결 방법이라고 말할 수 있다. 그러므로 근래 개최되는 학술회의에 참석해 보면 이 분야에 대한 연구 논문 발표가 많아지고 있으며, 기술 개발 경쟁도 치열하다.

또한 전자파 인체 영향 연구는 어떤 기준을 적용하느냐 하는 문제보다는 전자파와 인체 생체 관계 규명을 과학적으로 풀어보려는 의지를 가지고 접근하여야 하며, 대학의 생물학, 의학, 각종 질병 관련 연구소들이 함께 이 연구에 동참하여야 한다. 특히, 이 연구 분야는 복잡한 인체, 생체 시스템에 대한 전자파의 영향을 연구하는 것이므로 장기적인 연구 투자와 인내심 있는 연구 노력이 꼭 필요할 것이다.

≡ 필자소개 ≡

조 광 윤

1993년 2월 : 광운대학교 전자통신과(공학석사)

1980년~현재 : 한국전자통신연구원 전파기술연구부 책임연구원