한국표준과학연구원의 EMC 연구활동

정 연 춘

한국표준과학연구원
전자기환경그룹 그룹장

Ⅰ. 서 론

갈수록 심각해지는 전자파장해 문제에 효과적으로 대처하기 위하여 전자파장해 현상의 정밀정확한 측정이 요구되며, 나아가서 여러 가지의 전자파장해 문제 해결을 위한 대책기술의 개발이 필요하다. 이에 한국표준과학연구원에서는 1995년부터 전자파장해 측정 및 대책기술과 해석기술에 대하여 심도있는 연구를 수행하여 왔으며, 여기에서 그 연구결과를 간단히 소개한다. 또한, 현재 한국표준과학연구원에서 서비스가 가능한 대외시험검사에 대해서 기술한다.

Ⅱ. 전자기내성 시험 및 평가기술

2-1 전압변동내성 평가기술

전원선로에서의 전압감소, 순간중단, 전압변동 형상에 의한 전기전자장비 등의 내성시험을 위한 기본 장치를 구성하는 것으로서 "IEC 1000-4-11: 전압감소, 순간정전 및 전압변동에 대한 내성시험" 규격에 준하여 시험장치를 제작하였으며, 시험환경은 온도 15~35℃, 상대습도는 25~75%으로서 현재 우리 연구원의 환경조건과 동일하므로 별도의 환경시설이 요구되지 않는다. 내성시험평가를 위하여 두 가지 형태의 시험장치를 제작하고 그 특성을 시험하고 있으며 피시험기기에 공급되는 입력현상을 관찰할 수 있는 감시장치를 개발하여 제작하였다. 규격에 의하면 16 A의 출력특성을 가지는 전력공급발생기를 요구하고 있으며, 제작된 가변변압기와 스위치를 사용한 전력공급발생기는 0~240 V, 0~20 A의 출력특성을 가지고 있다. 또, 작은 전류를 요구하면서 다양한 형태의 시험을 요구하는 시험을 위하여 전력증폭기를 사용한 전력공급발생기를 제작하였으며 110 V, 2 A 출력특성을 가진다.

전력발생기에서 공급되는 전압, 전류의 파형 및 크기를 실시간으로 감시할 수 있는 감시장치를 제작하여 피시험기기에 공급되는 전력을 파악할 수 있게 하였다. 그리하여 공급되는 전력의 변화에 따라 피시험기기의 동작변화를 관찰·기록함으로써 전압감소, 순간정전, 전압변동의 원인을 규명하여 대책수립을 가능케 하여 준다.

2-2 자기장내성 평가기술

IEC (International Electrotechnical Commission) 규격에서 규정하고 있는 자기장 내성평가용 이중 정사각형 및 단일 사각형 유도코일에 대해 비오-사바르(Biot-Savart) 법칙으로 코일 계수 및 자기장 균일도를 계산하였다. 계산결과에 따라 3축 이중 정사각형 유도코일을 제작하여 코일계수 및 자기장 균일도를 측정하였다. 제작된 자기장 발생장치는 전원주파수 내성평가에 적합하며, 발생되는 자기장은 0.66 m(x) × 0.66 m(y) × 1.26 m(z)의 공간 내에서 ±3 dB의 균일도를 가진다. 여기서 z방향은 자기장 발생장치가 설치된 바닥에 수직인 방향이며, xy-평면은 그 바닥과 평행한 평면이다. 이중 정사각형 유도코일을 사용하면 단일 정사각형 코일에 비해 유효시험공간이 넓어질 뿐만 아니라 코일을 고정시킨 채로 시험검사를 수행할 수 있고, 연속적, 비연속적 자기

장에 대한 내성평가를 수행할 수 있다.

IEC 규격에서 규정하고 있는 자기장 내성 평가용 단일 정사각형 유도코일에 대한 코일계수와 자기장 균일도를 계산하였으며, ±3 dB 자기장 균일도 영역은 0.62 m(x) × 0.62 m(y) × 0.50 m(z)이다.

2-3 복사전자기장 내성시험

복사전자기장 내성시험 시스템 및 평가 시스템을 구성하였다. 시험주파수 범위는 26~1000 MHz이고 시험 가능한 전자기장의 최대크기는 10 V/m이다. 시험실의 전자기장 균일도 (field uniformity)를 만족하도록 하기 위하여 전자파차폐실의 내부 벽면에는 격자형 페라이트 전파흡수체를 부착되어 있다. 피시험기기가 놓일 위치에서의 복사전자기장의 크기를 모니터링하기 위하여 전력전달 시스템과 송신안테나를 조합하여 송신측 시스템을 구성하고, 등방성 프로우브와 수신기를 조합하여 수신측 시스템을 구성하였다. 피시험기기가 놓이는 가상 시험평면에서의 전자기장의 세기는 전력전달 시스템을 이용하여 순전달 전력(net delivered power)을 측정하여 결정된다.

시험 가능한 규격의 예는 다음과 같다.

- 국내규격 (전자파 장해 검정규칙 고시 1996-79호)
  30~500 MHz, 3 V/m (주거, 상업 및 경공업 환경에서의 일반내성기준)
  80~1000 MHz, 10 V/m (산업환경에서의 일반내성기준)
- 유럽연합 규격 (EN 50082-1)
  27~500 MHz, 3 V/m (주거, 상업 및 경공업환경에서의 일반내성 기준)

또한 TEM 셀을 내성시험에 이용하기 위하여 TEM 셀의 특성을 측정과 이론에 의하여 연구하였다. 이 연구결과는 GHz-TEM셀의 설계에 응용될 것이다.

내성시험에서 전기 전자 기기 오동작 판정 자동화를 위해 비디오 영상 인식 알고리즘을 구현하고 내성시험에 적용하였다. 피시험기기의 오동작 여부를 표시창의 지시값 인식 방법과 전자기장이 가해지는 실험실 내부에 관측하고자 하는 대상 영상을 시험 전 기준영상과 비교하는 두 가지 방법으로 판정하였다. 표시창의 7-segment 인식방법에서의 기하학적인 선분의 특징을 이용하여 인식 속도를 높일 수 있었다. 영상의 변화검출에 의한 방법은 영상을 검출하는 데에 수 초의 시간이 걸렸다.

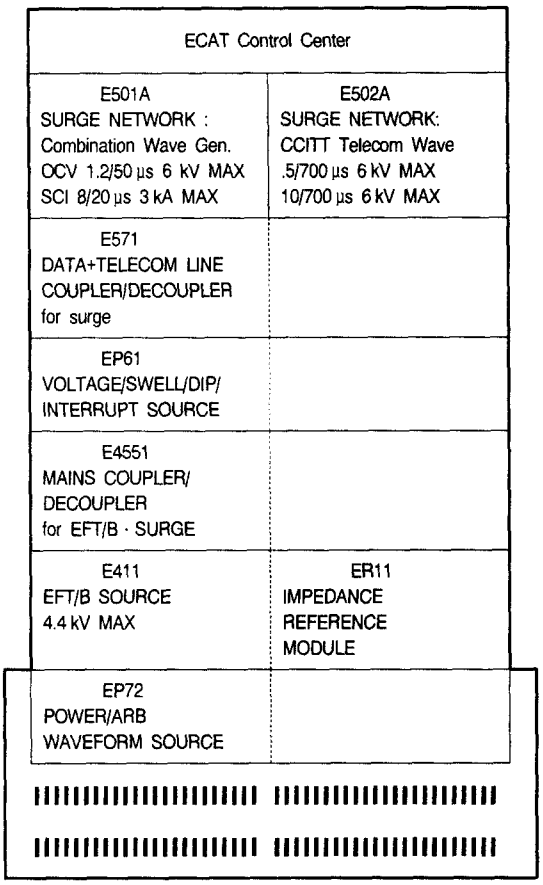
2-4 RF전도잡음 내성시험

IEC 61000-4-6에서 규정한 9 kHz~80 MHz (230 MHz)의 주파수 대역에서의 전도잡음에 의한 내성시험 시스템을 구축하였다. 구축된 시험신호발생기의 전력용량을 제외한 모든 부분에서 IEC의 요구조건을 만족한다. 또한, 결합-감결합 회로, 전류주입 클램프, EM클램프 등을 구비하였으며, 각각의 특성이 요구조건을 만족함을 실험을 통하여 검증하였다.

전력 증폭기의 용량 이내에서 결합·감결합 회로와 전류주입 클램프, EM클램프를 이용하여 각각의 시험레벨에 해당하는 시험신호발생기의 출력을 데이터베이스화하였다. 이 정보는 피시험기기에 대한 시험에 적용할 수 있다.

2-5 펄스파형 내성시험

전자기내성 시험을 위한 ECAT (Expert Computer Aided Testing) 시스템은 단상 110/220 V의 교류전원을 사용하는 전자전기 기기에 대한 펄스내성 시험 (pulsed-EMI test)을 하기 위한 장비이다. 이 장비는 '전자파 장해 측정 및 극복기술 개발사업'을 수행하면서 미국의 Key Tek사로부터 구입한 주요 장비



[그림 1] 펄스내성 시험을 위한 ECAT 시스템

들 중의 하나이다.

현재 우리 나라 기업에서 생산 판매하고 있는 주요 가전제품이나 컴퓨터, 각종 통신 기기를 해외, 특히 유럽공동체나 서구 선진국으로 수출하기 위해서는 해당되는 전자기내성 규격에서 요구하는 조건을 만족해야 한다. 대표적인 전자기내성 규격 국제전기기술위원회 (IEC)에서 제정한 IEC 1000-4 시리즈이다. 이 시리즈는 정전기방전, 복사 전자기장, EFT (electrically fast transients)/버스트, 서지 (surge), RF전도잡음, 고조파 및 중간고조파, 전원 주파수 자기장, 펄스자기장, 감쇠진동 자기장, 전원전압변동 및 순간정전, 진동파 등 11개 항목에 대한 내성시험 방법들로 구성되어 있다.

설치된 ECAT 시스템은 IEC 1000-4 시리즈 중에서 EFT/버스트, 서어지, 고조파 및 중간고조파, 전원전압 변동 및 순간정전에 대한 내성시험을 가능하게 해 준다. 정전기방전 내성시험은 ECAT 시스템과는 별도로 구입되어 운용 중이다. 그림 1은 ECAT 시스템의 개요를 보여 준다.

시험항목별로 ECAT 시스템의 특성은 다음과 같다.

EFT/버스트 내성시험은 스위칭전원 또는 제어회로 등에서 발생하는 잡음이 주변기기의 동작에 영향을 주는 것을 시험하는 것으로서 해당 ECAT모듈은 2.5~5 kHz 반복률의 전기펄스를 개방회로 전압 8 kV, 단락회로전류 3 kA까지 발생시킬 수 있다. EFT/버스트 발생기의 출력특성 교정시스템을 구성하여 기 보유한 발생기를 교정하여 본 결과, EFT/버스트발생기의 전압첨두값, 버스트 주기와 버스트 유지시간은 IEC 요구조건을 만족하였다.

서지 내성시험은 낙뢰가 발생하거나 고압 스위치 조작에 의해 발생한 전기신호가 전원선이나 신호선을 타고 피시험기기에 들어가서 영향을 주는 현상을 시험하는 것으로서 해당 ECAT모듈은 조합파 서지를 개방회로전압 6 kV, 단락회로전류 3 kA까지 발생 가능하며, 통신선로에 인가하기 위한 서지를 개방회로전압 6 kV까지 발생할 수 있다. 조합파 서지 발생기의 출력특성 교정시스템을 구성하여 기 보유한 발생기를 교정하여 본 결과, 서지발생기의 첨두값, 전방시간, 반치시간은 IEC 요구조건을 만족하였다. 또한, CCITT 서지 발생기의 전압파형에 대하여 첨두값, 전방시간, 반치시간은 IEC 요구조건을 만족하였다.

고조파 및 중간고조파 내성시험은 시스템의 비선형 특성에 의해 발생된 전원주파수의 고조파나 중간고조파가 기기에 영향을 주는 것을 시험하며 해당 ECAT모듈은 120 V, 또는 230 V에서 동작하며 DC

또는 40 Hz~5 kHz의 고조파를 발생시켜 기기에 인가할 수 있다. 전원전압 변동 및 순간 하강, 순간정전 내성 시험은 말 그대로 전원이 순간적으로 급강하였다가 정상값으로 복귀하거나 변동하는 것에 대한 피시험기기의 내성을 시험하는 것으로서 전원전압의 0~100%의 전압을 임의 시간 동안 피시험기기에 인가할 수 있다.

플리커 내성시험을 IEC 1000-3-3 규격에 의하여 할 수 있다. 전력선에 의하여 전력을 공급받는 부하들은 다양한 형태의 임피던스로 이루어져 있어서 공급원의 출력임피던스 변화를 일으키게 하여 공급전압변화를 유발시킨다. 특히 이러한 현상은 조명기기에 영향을 미치게 되는데 그 결과로 조명기기가 일정한 주기를 두고 깜빡이는 플리커 현상이 발생한다. 현재, 고조파 및 플리커 내성시험은 전압 240 V와 전류 16 A 미만의 저전류기기에 대하여 가능하며 전원선이 포함된 단상 피시험기기에 대한 시험이 가능하다. 3상 기기에 대한 내성 시험은 현재 수행할 수 없다.

정전기방전 발생기는 ECAT시스템과는 별개로 설치되었으나, IEC 규격을 만족하는 정전기방전 내성시험을 가능하게 해주며, 기중방전 시험은 15 kV까지, 접촉 방전시험은 8 kV까지 할 수 있다.

지금까지 설명한 전자기내성 시험 시스템은 우리나라 중소기업들이 제품의 개발 단계에서부터 전자파장해 대책을 강구할 수 있게 되어 기업의 경쟁력을 키우는 데에 중요한 역할을 담당할 것이며, 전자전기 기기의 전자파장해에 대한 심도있는 대책을 연구하는 이용될 것이다.

2-6 정전기방전 발생기 교정 시스템

Key Tek사에서 구입한 정전기방전 발생장치는 ESD 발생기는 KeyTek MZ-15/EC로서 최대 출력 크기는 기중방전 (air discharge) 모드에서는 ±15 kV이고, 접촉방전 모드 혹은 전류주입 모드 (current injection mode)에서는 ±8 kV까지는 초당 20회 방전, ±10 kV까지는 초당 1회 방전이 가능하다.

ESD 발생기 교정시스템을 구성하여 기 보유한 Key Tek사의 정전기방전 발생기의 출력 특성을 측정한 결과, 페러데이 케이지를 사용하지 않았을 때는 IEC의 허용 범위를 벗어났으나, 페러데이 케이지를 사용하면 IEC의 허용범위 내에 들어 온다. 그러므로, ESD 발생기의 특성을 정확하게 평가하려면 반드시 페러데이 케이지를 사용하여야 한다.

2-7 측정불확도 분석 연구

시장이 국제화 단일화됨에 따라 제품에 대한 시험 및 교정검사의 신뢰성을 제고하여야 하며 국가간의 상호인증 협약에는 시험검사에서의 불확도를 반드시 명기하도록 요구하고 있다. 이에 우선 여러 측정시스템 중에서 정전기방전 발생기 교정 시스템의 측정불확도를 국제기준에 따라 분석하여 불확도 분석기법을 확립하였다. 확립된 불확도 평가방법은 서지 발생기, EFT 발생기 등 전자기내성시험에 필요한 장비의 측정불확도를 평가하는 데에도 응용될 수 있으며, EMI/EMC 측정실험의 불확도를 평가하는 데에 기본 자료로 활용될 것이다.

Ⅲ. 전자파 방출시험

3-1 복사방출 시험환경

30~1000 MHz의 주파수 범위에서 시험이 가능하다. 회전 시험대는 시험 피시험기기에서 나오는 복사전자파를 여러 각도에서 측정하여 최대값을 결정할 수 있도록 해 주는 장비이다. 초기에 설치한 회전시험대는 직경 2 m, 한계중량이 2톤인데 비하여 1997년에 설치된 회전시험대는 직경 2 m인 것과 직경 5 m인 것이 설치되어 두 개가 독자적으로 동작한다.

최대하중은 직경 2 m 회전시험대는 2톤, 직경 5 m 회전시험대는 5톤이다. 측정된 시험장 감쇠량은 ANSI/IEEE C63.4 [1]의 규정치를 ±4 dB 내에서 만족함을 확인하였다. 그러나, 10 m 수평편파, 30 m 측정의 경우에는 규정치의 한계에 근접하는 측정값이 있음이 확인되었다. 이것은 시험장 금속접지판의 부식으로 인한 접지불량, 전기적 특성의 열화, 전천후 측정 및 피시험기기 보호를 위한 유전체 돔 (dome)의 금속가루침투, 측정오차 등 여러 요인에서 기인된다. 따라서, 시험장 평가는 반드시 정기적으로 실시되어야 하고 최소 1회/1년 재평가하여 규정값과 비교하고 측정의 재현성을 확인하여야 한다.

3-2 전자파 복사방출 시험시설 사이의 상관성 연구 (이론)

유한요소법을 이용하여 전자파 무향실에 대한 완전한 전자파해석 (full wave analysis)을 수행하였다. 계산비용을 감소시키고 가상해의 발생 등을 피하기 위해 고차벡터기저함수로 전자기장이 근사될 수 있도록 유한요소를 설계하여 계산에 응용하였으며, 측정 결과 및 계산결과와 비교하여 잘 일치함을 알 수 있었다. 전자기장 균일도 예측, 피시험기기의 전자기내성특성의 예측, 야외시험장과 전자파 무향실간의 보정계수 계산 등에 응용될 수 있다.

3-3 전자파 복사방출 시험시설 사이의 상관성 연구 (실험)

주파수 30~1000 MHz 범위에서 야외시험장과 전파무향실의 상관계수를 구하기 위하여 기준 전파원으로 사용할 구형 다이폴 복사기의 특성을 측정하였다. 전자기내성시험 시설로서 전파무향실의 일종인 전파무향실에서 실험하였다. 그 결과 첫째, 편파에 따라서 수신전력이 큰 차이를 보였으며 주파수가 높아질수록 차이가 커지는 경향을 나타내었다. 둘째, 적절한 간극전압을 얻기 위한 구형 다이폴 복사기의 입력전력 변동폭은 30~1000 MHz의 주파수범위에서 10 dB나 되므로 주파수별로 실험하고자 할 때 과도한 전력이 들어가지 않게 해야 한다. 셋째, 전파무향실에서 거리 1 m와 3 m에서 실험한 결과, 거리가 멀수록 편파에 따른 수신전력의 차이가 커짐을 알 수 있었다. 이는 체임버 내부의 전파흡수체의 반사파의 영향이 거리가 멀어질수록 커짐을 의미한다.

구형 다이폴 복사기의 간극전압이 같도록 하여 야외시험장과 전파무향실에서 수신전력을 측정하여 상관계수를 도출하였다. 야외시험장에서는 3-m법과 10-m법으로 실험하였다. 3-m법 야외시험장 및 10-m법 야외시험장과 전파무향실의 상관계수를 각각 구하였다. 상관계수를 적용하여 피시험기기의 복사방출측정에 이용하는 실험과 그 정확성을 검증하는 작업은 앞으로의 연구를 통하여 계속될 것이다. 그 타당성이 실험을 통하여 입증되면 열악한 전파환경 하에서 야외시험장에서의 측정이 곤란한 전자파 복사방출 시험의 정확성이 향상되리라 사료된다

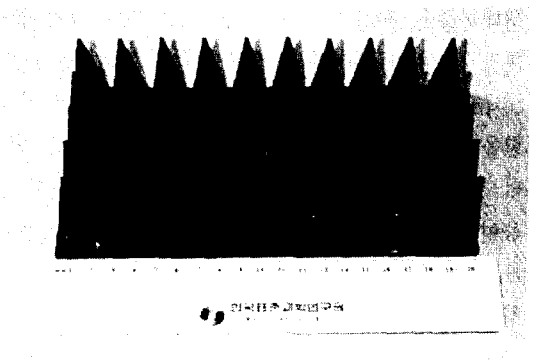
Ⅳ. 전자파장해 대책 및 해석기술

4-1 다층형 복합 손실 광대역 전파흡수체 개발

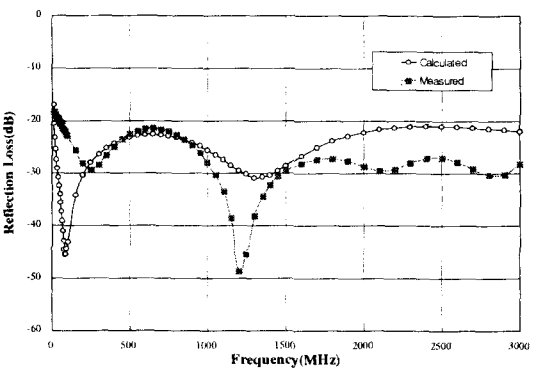
EMI/EMC 규제 주파수가 마이크로파 주파수대역으로 확대되고 있는 추세에 부응하여 전자파무반사실에 사용할 수 있는 광대역 전파흡수체를 페라이트/페라이트 하이브리드 구조를 이용하여 설계하였다. 설계방법은 사용재료의 물성값이 높기 때문에 기존의 전송선로 근사방법을 적용할 수 없으며, 따라서 Floquet 경계조건을 적용한 삼차원 유한요소법을 이용하였다. 페라이트/페라이트 하이브리드 구조의 다양한 구조적 조합에 대해 반사손실을 계산하였으며, 최적의 전파흡수체 구조를 추출하였다. 이렇게 하여 구한 최적 전파흡수체는 두께가 5.5 mm이

고, 크기가 100 mm × 100 mm인 페라이트 타일 위에 5 × 5 배열의 페라이트 피라미드를 적층한 구조이며, 피라미드 모양 흡수체의 높이는 50 mm, 밑바닥 단위면적은 0.78이다. 실제 제작 가능성을 염두에 두고 피라미드의 꼭지 부분이 어느 정도 잘려 나간 경우에 대하여 수치해석을 한 결과, 꼭지 부분의 면적이 2 mm × 2 mm 까지 되더라도 전파흡수체의 성능은 30 MHz~10 GHz의 주파수 대역에서 -20 dB 이하의 반사손실을 보임을 확인하였다. 이러한 전파흡수체의 특성 평가를 위해 기존의 원형 동축선 측정치구는 전파흡수체의 형태에 변형을 가하여야 하므로 사용할 수 없다. 따라서 정사각형 단면을 가지는 동축선 측정치구를 제작하고, 그 특성을 time-gating을 이용한 시간영역기법으로 측정하였다. 그림 2에 실제 제작된 광대역 전파흡수체의 모습과 반사손실의 측정결과를 보였다. 측정결과에서 아래 쪽 피크 근처에서의 계산값과 측정값의 차이는 측정시의 전파흡수체 바다면에서의 공극에 하고, 윗 쪽 피크에서의 차이는 계산값이 무한 주기구조를 근사한 것이고, 측정값은 유한구조 내에 8개의 전파흡수체에 대해 측정한 결과이기 때문에 차이가 나타나는 것으로 이해된다. 이러한 전파흡수체의 특성은 기존의 어떤 종류의 전파흡수체보다 소형이고, 광대역 흡수 특성을 갖는 것이다. 그리고 이러한 구조는 물론, 페라이트/페라이트 하이브리드 구조를 이용한 광대역 전파흡수체에 대해 미국 및 한국 특허가 지난 1997년에 이미 등록되었으며, 유사한 구조의 광대역 전파흡수체는 이러한 특허권과 분쟁의 소지가 있다.

또한 전파흡수체의 설계에 널리 적용되는 유효매질 이론의 유효성을 확인하기 위하여 전형적인 피라미드형 전파흡수체와 격자형 전파흡수체에 대한 전자파산란 특성에 대한 수치해석 방법(FEM, FDTD)을 연구하였다. 2차원 구조의 격자형 전파흡수체의 경우는 약 5 GHz 까지, 3차원 구조를 갖는 쇄기형



(a)



(b)

[그림 2] 제작된 페라이트/페라이트 광대역 전파흡수체의 (a) 실제 형태, (b) 반사손실 특성

및 피라미드형 전파흡수체는 관심주파수의 파장이 적어도 전파흡수체 단위구조의 주기의 2배보다 큰 경우에 국한하여 Hashin-Shtrikman 하여 간단하게 설계할 수 있음을 확인하였다. 3차원 FDTD법에 의한 전자파산란 수치해석은 한국과학기술원 명노훈 교수팀과 공동으로 연구하였으며, 각 단위구조의 기하학적 형태를 고려할 수 없는 균질화방법의 한계를 극복하고 고주파영역의 최적 전파흡수체를 설계할 수 있게 되었다. 주파수분산 매질인 페라이트와 공기, 서로 다른 종류의 페라이트 경계면에서 발생하는 계단현상을 극복하기 위하여 경계면에서의 새로

운 계산방법을 제시하였다. 또한, 무한 주기 구조의 FDTD 해석에서 발생하는 플로케 (Floquet) 감쇠모드에 의한 PML 층의 불련속 현상을 극복하기 위하여 개선된 PML 층을 제시하여 효과적으로 PML 층의 불연속 현상을 해결할 수 있었다.

4-2 시스템 레벨 EMC해석 기법 연구

전자파장해 문제의 해석 및 대책을 위하여 수치해석을 위한 상용 프로그램을 이용하거나 직접 프로그래밍을 통한 수치해석이 요구되며, 이러한 목적을 위하여 빠른 계산 능력과 큰 기억용량의 컴퓨터가 필요하다. 이를 위하여 구입한 워크스테이션 사양은 다음과 같다.

기종은 Sun UltraSPARC 1 모델 170이며, CPU 167 MHz, 주기억장치 256 MHz의 용량을 가지고 있다. 상용 프로그램으로는 XFDTD 4.0.6을 보유하고 있다. 현재 한국과학기술원 엄효준 교수팀과 공동으로 시스템레벨 EMC 해석 소프트웨어를 GUI 방식으로 개발 중에 있다.

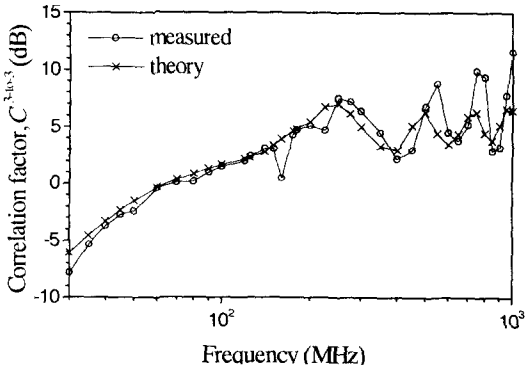
4-3 핸드폰에 의한 인체 두부의 영향

핸드폰에 의한 인체 두부의 영향은 최근 들어 일고 있는 전자파 인체 위해성 논란과 맞물려 매우 민감한 관심을 보이는 내용으로서 인체실험을 할 수 없기 때문에 과학적이고도 구체적인 엄밀한 수치해석을 통해서만 분석될 수 있다. 핸드폰을 도체상자와 모노폴 안테나로 모델링하였고 인체두부를 자기공명진단 장치의 출력영상을 이용하여 FDTD모델링하였다. 핸드폰에 의한 인체영향의 척도로서 SAR (specific absorbtion rate)값을 구하였다. 계산결과로서 0.6 W의 전자파를 복사할 경우에 대하여 해석하였다. 안테나 중심도체를 포함하는 frontal 면으로 가장 큰 영향이 미칠 것으로 여겨지므로 이 frontal 면과 전자파가 가장 많이 복사되는 핸드폰과 안테나접합부를 포함하는 horizontal 면에서 결과를 보였다. 계산결과로부터 핸드폰이 오른쪽 뇌와 귀, 눈 부위에 가장 큰 영향을 주고 있고 대부분 귀와 두피에서 전자파가 흡수됨을 알 수 있었다. 이 연구는 한국과학기술원 명노훈 교수팀과 공동으로 연구되었다.

4-4 야외시험장과 전자파무향실과의 상관관계

우리 연구원의 야외시험장 지하에 설치되어 있는 EMS 체임버는 일종의 전자파 무향실이며 이 시설의 전자파 복사방출 사용 가능성을 연구하였다. 야외시험장과 전자파무향실에서의 시험장 감쇠량을 각각 측정하고 시험장 감쇠량의 차이를 상관계수로 정의하였다. 피시험기기를 노트북 컴퓨터로 정하여 전자파 무향실에서 복사방출을 측정하고, 위에서 구한 상관계수를 적용하여 야외시험장에서의 복사방출량을 예측하였다. 이 예측값과 야외시험장에서의 측정값을 서로 비교한 결과, 70 MHz 이상의 주파수에서는 서로 유사한 결과를 얻었으나, 30~70 MHz주파수 범위에서는 야외시험장에서의 측정값이 예측값보다 작았다. 상관관계를 개선하기 위해서는 피시험기기를 적절한 등가 전파원으로 모델링하여 상관계수를 추출하는 기법이 적용되어야 할 것이다.

구형 다이폴 복사기(spherical dipole radiator)을 기준 복사기(reference emitter)로 하여 야외시험장과 전파 무향실에서 설험적으로 구한 결정상관계수(deterministic correlation factor)를 그림 3에 보였다. 그림 3에 알 수 있듯이 두 시험시설 사이의 상관성을 정확하게 규명하는 것은 매우 어려우며(주파수가 높아질수록 더욱 그러하다) 이 문제를 해결하기 위하여 통계적인 방법을 이용하는 것이 바람직하다.



[그림 3] 3m-야외시험장과 3m-전파무향실 사이의 결정상관계수 (수평편파)

4-5 임의파형 외부전자파와 전송선로의 결합해석 소프트웨어 개발

다중전송선로 (multi-transmission line, MTL)에서 발생되는 누화(crosstalk)를 해석하는 프로토타입 소프트웨어를 개발하였다. 그러나 누화의 이론해석은 매우 복잡한 문제로서 개발된 프로그램은 아직까지 많은 한계점을 가지고 있다. MTL 방정식의 R, L, C, G 행렬변수를 계산하기 C. R. Paul에 의해 개발된 기존의 프로그램을 그대로 사용하였다. 이 프로그램의 경우도 L, C만 계산할 수 있기 때문에 R, G는 별도로 계산해 주어야 한다. 특히 저항 성분인 R은 표피효과로 인한 주파수 의존성으로 말미암아 FDTD와 같은 시간영역 기법의 경우에는 입력신호의 모양에 따라 R값이 크게 변하기 때문에 이 문제를 해결하기 위해서는 FDTD 알고리즘이 더욱 복잡해진다.

외부 임사장과 MTL 사이에 결합이 존재할 때의 누화해석은 더욱 문제를 어렵게 만든다. 본 연구에서 가장 역점을 두어 개발한 Implicit FDTD기법은 그 알고리즘이 회로 모델로 등가화되는 장점으로 인하여 향후 연구 노력 여하에 따라서 큰 관심의 대상이 될 수 있을 것이다. 결론적으로 여러 가지 제약으로 인하여 당분간은 이론해석보다는 실험에 의한 측정이 주류를 이루리라고 여겨지며 이론해석은 실험결과를 예측하고 평가하는 데에 하나의 기준으로 활용될 수 있을 정도일 뿐 정량적인 의미를 부여하기는 곤란하다.

PCB 상에서의 EMI/EMC 현상에 대해 알아보고 인접선로들 사이의 전자기적 결합현상에 대해 시뮬레이션을 통하여 해석하였다. 이러한 전자기적 결합현상에 대한 물리적인 이해를 위해 주파수영역과 시간영역에서의 해석을 통해 MTL에서 일어나는 유도성 결합(inductive coupling)과 용량성 결합(capacitive coupling)을 예측하였다. 외부로부터 임의의 펄스 전자파가 MTL에 입사하는 경우에 대해 각 전송선에 걸리는 전압에 대해 알아보고 산란전압 방식으로 유도된 MTL방정식을 해석하기 위해 FDTD법을 이용하였고, 이를 통해서 외부 전자파와 전송선 간의 전자기적 결합 현상에 대한 시뮬레이션을 행하였다. 본 연구는 충남대학교 박동철 교수팀과 공동연구되었다.

실험은 TEM 셀 내부에서 수행되었다. 외부 입사장에 의한 전송선으로의 결합 현상에 대한 실험은 TEM 셀 안에서 전송선로의 높이, 전송선 양단의 임피던스, 입력 전압의 상승/하강 시간 및 크기, 그리고 전송선의 수를 변화시키면서 각각의 경우에 대해 전송선 양단에서의 near-end 전압과 far-end 전압을 측정하였다. 이러한 실험을 통해 외부 전자파가 전송선에 입사하여 전송선의 양단의 부하에 전압을 유기시킬 때에 영향을 미치는 여러 가지 요인들에 대해 알아보았다.

측정 및 계산결과를 비교한 결과 두 결과는 유도된 전압의 크기에서 약간의 차이를 보여주고 있는데 이는 다음과 같은 몇 가지 원인에 의해 나타나는 것으로 생각된다. 첫 번째 원인으로는 시뮬레이션 결과는 무손실 전송선로를 가정하였고, 실제 실험에 있어서는 전송선로의 손실이 고려되었기 때문에 발

생한 차이라고 생각되어진다. 두 번째로 시뮬레이션에서는 전송선의 구조적 파라미터인 LC 값을 근사적인 방법으로 계산하였으나 이 값은 실제 TEM 셀 내부에 존재하는 전송선의 LC 값과는 차이가 있을 것이다. 세 번째로 TEM 셀에 전송선을 삽입함으로써 필드의 왜곡이 생기게 되고, 전송선 자체도 균일한(uniform)한 구조가 아니기 때문에 Quasi-TEM 가정이 깨지게 되어 이론치와 실험치의 차이가 생기게 된다. 그러나 두 결과에서 보듯이 유도된 전압 파형의 전체적인 경향성은 상당히 일치하는 것을 볼 수 있다.

4-6 변조방식이 피시험기기의 복사전자기장 내성에 미치는 영향

진폭변조(amplitude modulation, AM), 주파수변조(freqeuncy modulation, FM), 펄스변조된 신호를 피시험기기에 인가하여 시험한 결과, 진폭변조파가 피시험기기에 가장 큰 영향을 끼침을 알았다. 그러나 CDMA 방식의 휴대폰에서 나오는 디지털 변조파에 의해 전자회로가 간섭을 일으키는 정도를 진폭변조파로 어떻게 시험할 것인가를 계속적으로 연구하여야 한다.

휴대전화가 널리 이용됨으로써 복사내성 시험규격이 개정되고 있다. 큰 차이는 대부분의 휴대전화가 디지털 변조방식을 채택하고 있지만 기존 IEC 규격은 진폭변조 방식으로 내성시험을 하도록 규정하고 있다는 점이다. 따라서, 내성시험에서 변조방식의 차이를 어떻게 만족시킬지를 결정하는 것이 중요하다. 이 연구에서는 10가지의 다른 변조파를 사용하여 6종의 피시험기기에 대한 영향을 실험하였다. 그 결과, TDMA 방식이 진폭변조파에 비해 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다. CDMA 방식은 TDMA 방식이나 진폭변조 방식에 비해 상대적으로 적은 영향을 주는 것으로 나타났다.

4-7 조합형 서지발생기의 SPICE 모델링

IEC 규격의 조합형 서지발생기 (surge generator)를 SPICE로 모델링하여 수치해석한 출력파형과 실제 상용 서지 발생기의 출력파형을 비교하여 모델링의 유용성을 확인하였다. 단일 전류원이나 단일 전압원으로 모델링된 서지발생기의 출력파형과 SPICE 모델링된 조합형 서지발생기의 부하에 의한 출력파형의 변화를 관측하여 모델링한 서지발생기의 효율성을 확인하였다. IEC 규격에서는 1.2μs/50μs 서지전압 및 8μs/20μs서지 전류파형만을 규정하고 있으나 서지 내성시험에서 실제로 피시험기기에 인가되는 파형은 부하임피던스에 따라 많은 차이를 보임을 확인하였다.

서지 대책부품들 중에서 어레스터(arrestor)와 MOV(Metal Oxcide Varister)를 SPICE모델링하여 위에서 모델링한 조합형 서지발생기의 출력단에 인가하여 그 변화를 상용 서지발생기의 실험결과와 비교하였다. 이 연구의 결과는 서지 대책기술 개발에 응용되며 피시험기기에 서지 신호를 직접 인가하지 않고도 서지 대책을 수립하는 것을 가능하도록 해준다.

SPICE모델링된 조합형 서지발생기를 이용하여 페라이트 코어가 붙은 동축선로의 특성을 예측하고 측정결과와 비교하였다. 동축선로 상의 페라이트 코어 장착위치와 장착형태에 따른 외부잡음의 내부유도 변화를 분석하여 페라이트 코어 장착이 서지 내성에 미치는 영향을 평가하였다. 이를 통하여 한 개의 페라이트 코어를 동축선로에 장착하는 것은 역효과를 초래할 수 있으며, 두 개의 코어를 동축선로 양단에 동시에 장착해야만 서지 내성능력을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

4-8 고조파 내성평가기술 (웨브렛 변환을 이용한 고조파신호처리기법 개발)

웨이브렛(wavelet) 변환을 이용한 전자파장해 신호의 시간 및 주파수영역에서 피측정 고조파 성분의 위상 및 크기를 감시할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 그리하여 고조파 내성시험에서의 고조파 크기 및 위상의 감시 및 해석이 가능하게 되었다. 이는 고조파 내성평가를 위한 핵심기술로 실시간에 고조파를 감시하여 피시험기기에 장해에 발생하였을 때의 대책수립에 활용될 수 있다. 또한, 고조파 내성시험장치의 교정 시스템의 고조파분석 및 신호발생 프로그램으로 활용될 것이다.

4-9 자기장 차폐기법 및 평가기술 개발

상용 비정질 연자성 재료를 이용하여 실린더형 및 박스형 차폐체를 제작하고 100 Hz 이하의 저주파 교류자장 차폐에 관한 연구를 수행하였으며, 다음의 결론을 얻었다. 투자율 50,000~300,000, 비저항 120~140 $\mu\Omega$cm로 제조되는 상용 Fe-기 또는 Co-기 리본형 비정질 연자성 재료의 경우 상용주파수 부근에서 교류자장의 침투깊이는 리본의 두께보다 크며 단층 차폐재인 경우 직류 자기 차폐와 유사한 거동을 보인다. 주파수 20~100 Hz의 교류자장 0.5 Oe을 가하여 상용비정질 재료인 2605 SC, 2826 MB, 2505 CO, 2714 A 및 2705 M 등의 자기차폐효과를 조사한 결과 2605 CO에서 가장 우수한 차폐효과를 얻었다. 동일한 체적으로 동일한 공간을 점유하는 차폐체를 제작하는 경우 차폐재의 두께를 증가시키는 것보다 차폐체를 2~3층으로 하여 밀착시켜 감는 것이 더 효과적이다. 비정질 2705 M/2605CO 실린더형 자기장 차폐함체 설계기술을 개발하였다. 최대 차폐율은 약 750이며 실험결과 700의 비교적 높은 차폐효과를 얻었다. 개발된 자기장 내성용 차폐함체 설계 및 간단한 성능 예측방법은 관련업체에 보급되어 활용될 것이다.

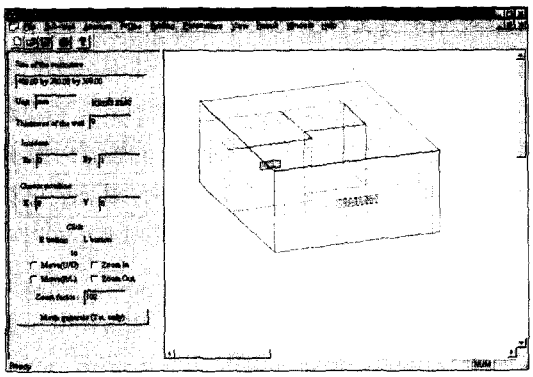
4-10 교류자기장 차폐효과 측정장치 개발

함체 재료의 자기장 차폐 특성을 평가할 수 있는 측정시스템을 미국 재료시험협회(ASTM)의 표준규격 A698/A698M-92에 따라 제작하고 그 성능시험을 수행하였다. 측정장치는 교류자기장 발생용 헬름홀쯔(Helmholtz) 코일 시스템과 교류자기장 측정시스템으로 크게 구분된다. 제작한 헬름홀쯔 코일의 직경은 약 1.2 m로 인가 교류자기장 첨두치의 최대값은 약 2 Oe이다. 이 헬름홀쯔 코일을 이용하여 길이 40 cm, 직경 30 cm이하 크기의 시편을 측정할 수 있으며, 이 범위 내의 자기장 균일도는 ±0.5 dB 이내이다. 교류자기장은 탐지코일 및 lock-in 증폭기를 이용하여 측정하도록 구성하였으며, 전력주파수 대역에서 ±5 %의 정밀도로 교류자기장에 대한 차폐효과시험을 수행할 수 있다. 투자율이 아주 높은 경우에는 지자기장의 영향을 고려해야 한다.

4-11 차폐함체의 전자파차폐효과

다양한 개구 (aperture) 모양을 가지는 차폐함체의 전자파 차폐효과를 측정하였다. 또한, 유한요소법에 의하여 결과를 예측하고 측정결과와 비교하였다. Schulz 실험식으로부터 구한 결과와 비교하여 잘 일치함을 보였다. Schulz의 결과는 임의의 위치에서 전자기장 분포를 알 수 없을 것이며 차폐함체의 공진주파수와 같이 함체의 구조적인 특성을 고려할 수 없으나, 유한요소법에 의해서는 이러한 모든 것을 모두 파악할 수 있다. 또한, 유한요소법을 이용하면 임의형태의 개구부 및 임의형태의 차폐함체에 대해서도 차폐효과를 예측할 수 있다.

유한요소법을 이용하여 사용자가 편리하게 임의 모양의 개구부를 가지는 차폐함체의 전자파 차폐효



[그림 4] 차폐함체 차폐효과 계산 프로그램 실행 예

과와 함체 내부의 전자기장 분포를 예측할 수 있는 프로그램을 완성하였다. 측정 및 해석 결과의 비교를 통하여 타당성을 입증하였고 냉각팬 등의 개구부 설계 또는 함체 내부의 회로소자 배치에 활용될 수 있을 것이다. 그림 4는 개발된 소프트웨어의 실행화면으로서 주어진 주 함체와 내부 부 함체를 유한요소법으로 계산하기 위해 메쉬(mesh)화 한 것이다.

또한 FDTD 방법을 이용하여 개구부가 있는 완전도체상자의 차폐효과를 구하는 방법을 연구하였다. 부격자/주격자 개념을 쓰지 않고, 개구부 부분과 프로우브 부분을 적절하게 모델링하면 측정결과와 근접한 결과를 얻을 수 있다. 또한, 차폐구조물의 개구면의 모양과 배치에 따른 차폐효과의 변화를 연구하였고, 사각형 차폐구조물의 내부에 놓여 있는 PCB 전송선에 외부로부터 침투되어온 전자파의 간섭현상과 차폐구조물이 내부 격벽을 가지는 경우 격벽 내부의 전원에 의해 격벽 외부에 존재하는 전송선에서 일어나는 간섭현상을 알아보았다. 이러한 결과들은 차폐구조물의 개구면 설계와 차폐구조물 내부에 PCB 전송선의 효율적인 배치에 도움을 줄 것이다.

4-12 슬롯을 통한 불요전자파 방출 특성 해석

동축 선로에 갭이 있는 경우의 전송특성을 해석하기 위하여 퓨리에 변환(복사 필드를 표현하기 위해)과 모드 정합법을 이용하여 선로전송 및 복사 특성을 보다 정확하게 해석하였다. 선로 불연속에 의해 생기는 모든 고차모드의 영향도 고려하였다. 이 기법은 복사 필드를 수렴속도가 매우 빠른 수열로서 나타낼 수 있다는 장점을 가지고 있으며, 이와 같은 장점은 안테나 해석에서 매우 중요한 부분이며 안테나 복사 필드를 계산하는데 편리하다. 또 급수해로 표현되므로 계산을 간단히 할 수 있을 뿐만 아니라 물리적 현상을 쉽게 이해할 수 있다는 장점도 있다. 또한 코팅된 유전체가 플라즈마일 경우에 대해서도 연구하여 보았다. 본 연구는 한국과학기술원 엄효준 교수팀과 공동연구를 통해 수행되었다. 코팅된 유전체가 플라즈마일 경우는 우주선이 우주에서 지구 대기권으로 고속으로 진입할 때 전리층 통과시 플라즈마 층이 생기는 경우를 모델링한 경우이며, 이 층에 의한 안테나 패턴 및 어드미턴스 변화를 안다는 것은 매우 중요하다. 이 플라즈마 층을 통과시 지구와 통신이 어려워지거나 차단되는데 이러한 문제를 해결하는데 정확한 해석이 중요하다고 본다. 본 연구에서 유도한 표현식은 주기적으로 갭이 여러개 있을 경우에도 적용할 수 있으며 안테나로서 사용도 가능하다고 본다. 이 안테나는 기본적으로 endfire 안테나이며 여러 개의 갭을 만들어서 주기와 내부 유전율을 조정하면 주파수 scanning이 됨을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 코팅된 유전체의 두께가 영이거나 유전율이 1일 경우에는 Kiang[6]의 결과와 비교하여 완전히 일치함을 확인하였다. 동축 케이블에 TEM 모드가 입사하였을 때 슬롯갯수에 따른 복사필드, 안테나의 scanning 특성, 유전율 변화에 따른 반사, 투과 및 복사계수를 계산하였다. 또한 코팅된 유전체가 플라즈마일 경우 복사 패턴의 변화도 보였다.

4-13 '99년도 주요 연구내용

'99년도에는 보다 측정기술에 초점을 맞춰 연구가

진행되고 있다. 주요 연구내용을 살펴보면 다음과 같다:

GTEM Cell을 이용한 전자파장해 시험을 위해 전자통신(연)의 도움을 받아 크기가 6.50 m × 3.55 m × 2.55 m 인 GTEM Cell을 설계, 제작하였다. 시험가능한 피시험기기의 크기는 70 cm × 70 cm × 48 cm이며, 하단부에 바퀴를 부착하여 이동이 가능하도록 제작하였으며 도어와 컨넥터 판넬, 전원 필터 등을 장착하였다. 10 kHz ~ 200 MHz의 주파수영역에 걸쳐 수직방향과 수평방향, 진행방향의 전기장 균일도(Field Uniformity)를 측정하였고, 기준 구형 다이폴 안테나를 이용하여 입력단의 장해전자파 응답 특성을 측정하였으며, FDTD 방법으로 전기장 균일도와 균일도 평면에서의 정현파 전계분포 등을 시뮬레이션하였다.

마이크로파 대역에서의 전자파장해 시험검사 및 국제표준화 연구를 위해 전자파잔향실(reverberation chamber)을 설계, 제작하였다. 전자파잔향실의 크기, 사용되는 안테나와 안테나의 위치, 피시험기기의 영역 등을 고려하여 제작된 전자파잔향실은 600 MHz~18 GHz의 주파수대역에서 사용이 가능하도록 설계되었으며, 전자파잔향실에 사용되는 Mode stirrer는 결정된 잔향실의 크기와 사용하고자 하는 최저차 주파수의 파장을 고려하여 크기, 형태와 위치를 설계하였다. 전자파잔향실 내부에 사용하는 안테나 종류는 사용 주파수에서 안테나의 VSWR, 안테나 성능 등을 고려하였고, 안테나의 위치 및 피시험기기의 위치 사용가능한 피 시험기기의 크기 등을 전자파를 잔향시키기 위해 사용하는 Mode stirrer 등과 위치, 서로간의 관계를 고려하여 균일한 전자기장이 발생하도록 결정하였다. 결정된 전자파잔향실의 크기와 안테나, Mode stirrer/tunner의 위치에 대하여 피시험기기의 영역에서 전자기장의 균일도를 유한요소법을 이용하여 해석하였다.

국제적으로 전자파장해 시험검사의 측정불확도 분석이 매우 중요하게 대두되고 있다. 정전기방전시뮬레이터의 측정불확도 분석에 이어서 복사방출 시험, 서지 내성시험, EFT/Burst 내성시험의 측정불확도를 분석하였다. 야외시험장에서 구형 다이폴 복사기로부터의 복사방출을 측정할 경우, 불확도 요인은 크게 송신부, 수신부, 그리고 야외시험장 자체의 특성으로 나뉘어진다. 송신부 불확도는 외부 신호발생기의 출력 레벨 정확도, 외부 신호발생기와 구형 다이폴 안테나 사이의 부정합, 그리고 구형 다이폴 복사기 자체의 반복도에 기인한다. 수신부 불확도는 수신안테나의 안테나인자의 높이에 따른 변화, 안테나인자 교정불확도, 안테나의 지향성, 수신안테나와 수신장치 사이의 부정합, 케이블 손실 측정불확도 등에 기인한다. 야외시험장 자체의 불확도는 실제 시험장 특성과 이론값의 일치성 등에 기인한다. 분석결과 95.5 % 신뢰수준에서 측정불확도는 5~6 dB 이다. 서지 및 EFT/Burst에 대한 전자기내성 측정불확도와 관련하여 개방회로 서지전압의 최대전압, 전방시간, 반치시간 측정불확도를 전압프로브와 오실로스코프의 표준불확도를 고려하여 계산하였다. 시험전압이 각각 0.5 kV, 1.0 kV, 2.0 kV, 4.0 kV일 때의 측정불확도는 각각 31.02 V, 61.05 V, 148.45 V, 296.91 V이다. 또한 EFT/Burst의 최대전압, 상승시간, 지속시간, 반복주파수에 대한 측정불확도를 감쇠기와 오실로스코프의 표준불확도를 고려하여 계산하였다. 시험전압이 각각 0.25 kV, 0.5 kV, 1.0 kV, 2.0 kV, 4.0 kV일 때의 측정불확도는 각각 13.58 V, 27.16 V, 67.90 V, 135.79 V, 135.79 V이다.

전자파장해 시험의 기준환경이 되는 야외시험장은 날로 열악해져 가는 전자파환경으로 인해 그 사용이 제한되고 있다. 따라서 대용시험장에서의 측정이 증가하고 있으며, 동시에 측정결과의 기준환경으로의 변환방법이 매우 중요해지고 있다. 이러한 연구동향을 반영하여 시험환경 특성 및 측정상관성 분석에 관한 연구를 진행하고 있으며, '99년도에는 야

외시험장과 EMS Chamber간의 측정상관성 분석을 위해 결정 상관계수와 통계 상관계수에 관해 연구하였다. 실제의 피시험기기에 대한 일반적인 상관계수를 구하는 것은 피시험기기의 일반적인 복사패턴을 모의하기가 어려워 문제를 가지며, 통계적 상관계수의 중요성을 확인하였다. 또한 야외시험장에서의 측정거리 변환에 따른 변환인자를 분석하여 기존의 거리에 역비례하는 환산인자의 사용(inverse distance law)에 문제점이 있음을 확인하였다. 이러한 변환인자 역시 실제의 피시험기기의 복사패턴에 의존하므로 일반적인 변환계수를 결정하는데 문제점이 있음을 확인하였다.

V. 대외 시험검사 및 기술지원

앞에서 기술한 연구업무는 아니지만 대외서비스 업무의 하나로서 산업체 및 관련 정부부처 등의 관련 계측기기 교정 및 시험검사를 지원하고 있다. 지난 4년간('95~'99), 전자4사는 물론, 자동차3사, 중소기업 등의 전자파장해 관련 시험검사로 281건(시험수수료: 약 3억 4천만원), 교정검사로서 431건(1억 2천만원)을 지원하였다. 그동안 정보통신부 지정시험기관으로 운영해 왔으며, 현재 전자파장해분야 최초의 KOLAS 국가공인시험기관을 유지하고 있다. 특히, 안테나 교정과 관련하여 BIPM(국제도량형국)에서 주관하는 국제비교에도 참여하였으며, 그동안 국내에서 교정이 불가능하였던 안테나(루프, 다이폴, 혼 안테나 및 다양한 광대역안테나 등)를 비롯하여, EMI수신기, 등방성프로브, 정전기방전시뮬레이터, 서지발생기, EFT/Burst 발생기, LISN, CDN 등의 교정검사를 지원하고 있다.

그동안 정보통신부 전파연구소, 전자통신연구원, 국립기술품질원, 지방중소기업청, 소비자보호원, 삼성전자, LG전자, 대우전자, 현대전자, 기아자동차, 대우자동차, 현대자동차 등에서 건설한 전자파무반사실 및 야외시험장 등의 시험장감쇠량, 전자파차폐효과, 전기장균일도 등의 평가를 지원함으로써 고가의 시험환경을 고품질로 실현시키는 데 기여해왔다. 또한 국방부 및 해군, 미8군의 주요 전자파차폐시설 건설과 방산제품의 전자파장해 신뢰성 제고에도 크게 기여하고 있다.

산업체의 기술지도 및 자문에도 적극적으로 대응하고 있으며, 그동안 (주)대우자동차, 현대전자산업(주), 동부한농화학(주), (주)동화계량기, 닥터리전자(주), 익스팬전자(주) 등에 기술 지도 및 자문을 수행하였으며, 전자통신(연)의 ATM교환기 개발과 관련한 전자파장해 대책수립 등을 지원한 바 있다.

표준연 전자기환경그룹에서 지원하고 있는 주요 시험검사 업무는 다음과 같다:

5-1 전자파 복사방출 시험

전자파 복사방출 시험은 국내 전자파장해 검정규칙[2], ANSI/IEEE C63.4-92, CISPR 16-2[3] 규격에 적합하게 수행할 수 있다. 전자파 복사방출 시험은 30~1000 MHz의 주파수범위에서 가능하며, 피시험기기의 최대하중은 5톤이다. 현재 외부잡음이 커서 측정하기 어려운 주파수 대역도 발생하고 있으나, 전파무향실과의 상관성 연구를 추진하고 있어 이 문제를 극복할 수 있으리라 기대된다. 한편, 전자파 전도방출 시험은 9 kHz~30 MHz의 주파수 범위에서 가능하다.

5-2 전자기내성 시험

내성시험은 주로 IEC 규격에 따라 수행할 수 있도록 시험시스템을 구성하였으며 2.5절의 펄스파형 내성시험에 시험항목과 시험가능 범위를 정리하였다.

5-3 군사규격시험

개정된 군사규격인 MIL-STD 461/462D [4],[5]에 의한 시험이 가능하다.

5-4 전자파차폐 및 흡수성능 시험

다양한 전자파차폐재료의 평면파 차폐 특성은 물론, 자기장 차폐 특성 시험을 지원하고 있으며, 전파흡수체 재료의 반사손실 특성 등의 시험검사를 지원하고 있다. 또한 전자파재료의 유전율 및 투자율 측정 지원도 가능하다.

5-5 시험환경 특성 분석

전자파장해 시험검사에는 고가의 시험환경이 필요하다. 대표적인 시설로서 야외시험장과 전자파무반사실이 있으며, 이러한 시설의 주요 특성인 시험장감쇠량, 전자파차폐효과, 전기장균일도, 자유공간정재파비 등의 특성 시험검사를 지원하고 있다.

VI. 최근 4년간의 주요 발표논문 (SCI 기준)

최근 4년간 SCI에 등록된 국제저널에 게제된 논문과 주요 국제학술회의에서 발표한 논문은 다음과 같다:

[1] D. Y. Kim, Y. C. Chung, T. W. Kang, and H. C. Kim, "Dependence of Microwave Absorbing Property on Ferrite Volume Fraction in MnZn Ferrite-Rubber Composites," *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. 32, no. 2, pp 555~558, Mar., 1996.

[2] Dong-Young Kim and Yeon-Choon Chung, "Electromagnetic Wave Absorbing Characteristics of Ni-Zn Ferrite Grid Absorber," *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, vol. 39, no. 4, pp. 356-361, Nov., 1997.

[3] T. W. Kang, N. S. Chung, R. Honigbaum, J. Rühaak, and U. Stumper, "K- and Ka-Band Waveguide Microcalorimeters for Microwave Power Standards," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 46, no. 6, pp. 1247-1250, Dec., 1997.

[4] Joo. G. Lee and Hyo. J. Eom, "Magnetostatic Potential Distribution Through a Circular Aperture in a Thick Conducting Plane," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 40, no. 2, pp. 97-99, May, 1998.

[5] Tae-Weon Kang and Hyo-Tae Kim, "Basis Function Considerations for the Method of Moments Using the Fictitious Current Model," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 47, no. 6, pp. 1118-1120, Jun., 1999.

[6] Hyun H. Park, Byung W. Kim, Yeon C. Chung, and Joo G. Lee, "FDTD, Analysis of Electromagnetic Penetration into a Rectangular Enclosure with Multiple Rectangular Apertures," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 22, no. 3, pp. 188-191, Aug., 1999.

[7] Yeon-Choon Chung, Byung-Wook Kim, and Dong-Chul Park, "A Broadband Electromagnetic Absorber with Ferrite/Ferrite Hybrid Structure," *Electron. Lett.*, vol. 35, no. 18, pp. 1526-1527, Sep., 1999.

[8] Yeon-Choon Chung, Byung-Chil Woo, and Dong-Chul Park, "Shielding Factors of Grain Oriented 3% SiFe Cylinders," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 35, no. 5, pp. 3454-3456, Sep., 1999.

[9] Joo. G. Lee and Hyo. J. Eom, "Magnetic

Polarisability of Thick Multiple Rectangular Apertures," *Electron. Lett.*, vol. 35, no. 21, pp. 1850-1851, Oct., 1999.

[10] Hyun H. Park, Byung W. Kim, Yeon C. Chung, and Joo G. Lee, "FDTD Analysis of Electromagnetic Coupling between Transmission Lines within a Rectangular Enclosure," *IEICE Trans. Commun.*, accepted for publication, 1999.

[11] Tae-Weon Kang, Yeon-Choon Chung and Hyo-Tae Kim, "A Deterministic Correlation of Fully Anechoic Chamber and OATS Measurements Using a Spherical Dipole Antenna," *Microwave and Optical Technology Letters*, accepted for publication, 1999.

[12] Tae-Weon Kang, Sung-Ho Won, Yeon-Choon Chung and Hyo-Tae Kim, "On the Uncertainty in the Current Waveform Measurement of an ESD Generator" *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, accepted for publication, 1999.

[13] Y. C. Chung, T. W. Kang, D. C. Park, "Design and Construction of Stripline for Measuring Electromagnetic Immunity of Vehicular Electrical Cables," *Proceedings of 1997 Int. Symp. on Electromag. Compat.*, Beijing, China, May, 21-23, 1997.

[14] Y. C. Chung, D. Y. Kim, D. C. Park, "Design of Broadband Electromagnetic Absorber Using NiZn/MnZn Ferrite Hybrid Structure," *in Proc. IEEE Int. Symp. EMC*, pp. 409-412, Austin, TX, Aug., 1997.

[15] B. W. Kim, Y. C. Chung, T. W. Kang, "Analysis of Electromagnetic Penetration Through Apertures of Shielded Enclosure Using Finite Element Method," *Proc. of 14th Annual Review of Prgress in Applied Computational Electromagnetics*, pp. 795-798, Monterey, CA., Mar., 16-20, 1998.

[16] C. B. Lee, T. W. Won, J. G. Lee, I. H. Kang, and N. S. Chung, "Pulsed interference immunity on coaxial shield cables due to ferrite core attachment", in Proc. *IEEE Int. Symp. EMC*, pp. 118-121, Denver, CO, Aug., 1998.

[17] Yeon-Choon Chung, Byung-Wook Kim, and Dong-Chul Park, "Application Limit Anaysis of Transmission Line Approximation For Design of Electromagnetic Absorbers," *COMPUMAG 99*, pp. 384-385, Sapporo, Japan, Oct., 25-28, 1999.

Ⅶ. 결 론

지금까지 한국표준과학연구원 전자기환경그룹(정연춘, 이주광, 강태원, 원성호, 김병욱)에서 수행하고 있는 전자파장해 측정, 대책, 그리고 해석기술의 개발 현황 및 응용 영역을 분야별로 다루었다. 여기에 소개된 기술은 대기업 뿐만 아니라 대기업에 비해 개발환경이 상대적으로 열악한 국내 중소기업을 지원하기 위한 것이다. 필요한 기술이 있다면 적절한 방법을 통하여 국내의 많은 기업에서 활용되기를 기대한다. 참고문헌 [6]~[11]에 수록된 연구보고서는 우리 연구원 정보전산그룹 (042-868-5434)에 연락하면 구입할 수 있다. 또한, 전자기환경그룹의 활동을 수록한 인터넷 웹 사이트를 운영하고 있으며 주소는 http://emc.kriss.re.kr이다.

참 고 문 헌

[1] ANSI/IEEE C63.4: Methods of Measurement of Radio-Noise Emissions from Low-Voltage

Electrical and Electronic Equipment in the Range of 9 kHz to 40 GHz, American National Standards Institute, 1992.

[2] 전자파장해 검정규칙 개정령: 전자파장해 검정규칙, 정보통신부, 1996.

[3] CISPR 16-2: Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods- Part 2: methods of measurement of disturbances and immunity, International Special Committee on Radio Interference, 1999.

[4] MIL-STD 461: Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Emissions and Susceptibility, Military Standard, 1993.

[5] MIL-STD-462D: Measurement of Electromagnetic Characteristics, Military Standard, 1993.

[6] KRISS-95-083-IR, 전자기내성 평가 및 대책 기술개발 (제1차년도), 한국표준과학연구원, 1995.

[7] KRISS-96-006-IR, 전자파장해 측정 및 극복 기술개발, 한국표준과학연구원, 1996.

[8] KRISS-96-062-IR, 전자기내성 평가 및 대책 기술개발 (제2차년도), 한국표준과학연구원, 1996.

[9] KRISS-97-021-IR, 전자파장해 측정사업, 한국표준과학연구원, 1997.

[10] KRISS-98-027-IR, 전자파장해 측정사업, 한국표준과학연구원, 1998.

[11] KRISS-99-042-IR, 전자파장해 측정사업, 한국표준과학연구원, 1999.

≡필자소개≡

정 연 춘

한국표준과학연구원 전자기환경그룹 그룹장

IEC TC77 국내전문위원회 간사

CISPR WG1 Member