

산업기술시험원의 EMC 연구동향

김 석 진

산업기술시험원 전자파팀 팀장

대부분의 사람들은 컴퓨터가 동작할 때 또는 전자레인지 사용할 때 TV 화면이 찌그러지거나 하면 전자파에 의한 영향이라고 연상은 하지만 실제로 이러한 문제들은 일상생활에 있어서 약간의 불편함을 느끼게 할 뿐이지 생활의 위협이 되지는 않는다고 생각한다. 그러나 만일 전자파에 의해 영향을 받는 전자기기가 TV가 아니라 심장박동기, 에어백, 미사일유도장치 또는 항공항법장치라고 한다면, 그 전자파로 인한 장애는 대재앙의 결과를 초래할 수 있다는 것을 결코 간과할 수는 없다.

미국 산업계에서는 전자파에 의한 이러한 문제들이 일어나지 않도록 하기 위해서 매해 EMC분야에 수백억 달러의 비용을 투입하고 있다. 이러한 비용은 대부분 EMC에 관한 연구 및 시험, EMI를 막기 위해 고안된 특수 하드웨어 개발 및 장착 등에 지출되고 있다.

한편 우리 산업계에서도 제품의 수출 또는 내수 판매에 있어서 EMC문제와 봉착하여 EMC분야를 새롭게 인식하고 그 대책 마련에 부심하고 있다. 지난 1996년부터 유럽연합이 시행하고 있는 CE 마킹 제도에서는 거의 모든 제품이 EMC기준을 필연적으로 만족하여야 하고, 우리 나라도 2000년부터 EMS가 시행됨에 따라 각 산업계에서는 EMC분야에 대한 연구와 시험 및 대책 등에 지출이 증가하고 있는 추세에 있다.

이러한 맥락에서 산업기술시험원 전자파팀에서는 1977년부터 국내 산업계에 EMI 실무 서비스를 제공한 이래 산업체를 위하여 EMC 전반에 걸친 시험평가 및 대책기술을 향상시키고, 전보다 더 빠르고 저비용의 보다 정확한 새로운 측정기술을 개발하고자

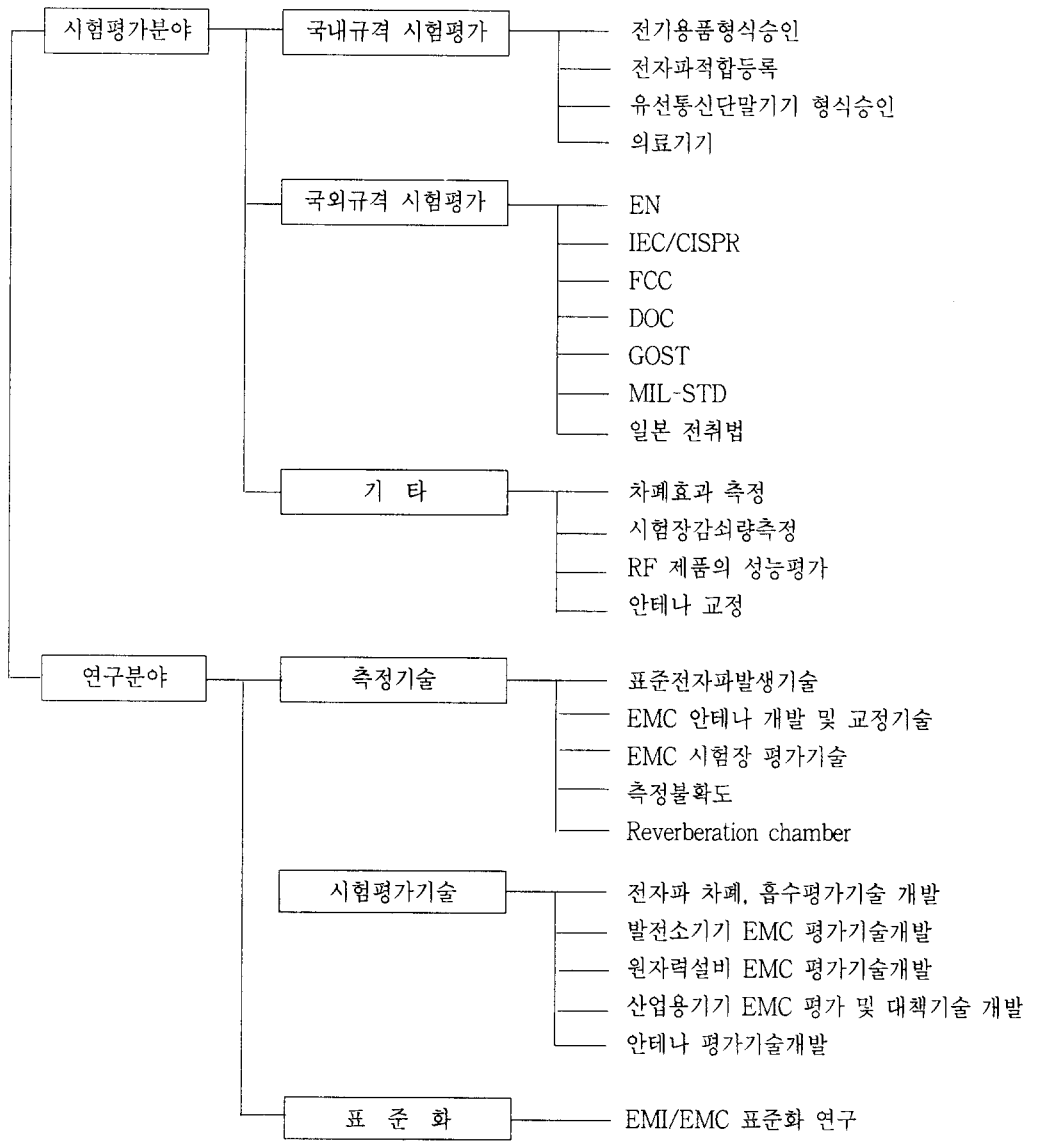
전 연구원이 모든 노력을 경주하고 있다. 특히, 아직도 전자파장애 및 각국의 EMC 인증제도에 대해 인식이 부족한 산업체를 대상으로 지속적으로 세미나를 개최하고 요청시 개별적인 교육도 실시하고 있다. 또한 대부분의 EMC 측정장비는 외국에서 도입하거나 외국기술에 의존하고 가격이 비싸기 때문에 EMC현상을 간단하게 알고자 하는 많은 중소기업이 EMC 측정장비의 도입을 어려워하고 있다. 이와 관련하여 우리원에서는 현재 사용되고 있는 측정장치 중에서 센서류, 교정장치 등을 정확한 특성해석과 제작기술을 연구하여 국산화하는데 초점을 맞추고 있다. 본고에서는 표 1에서 우리원 전자파팀의 업무 개요도를 소개하고 센서류 및 교정장치의 개발결과와 발전소 및 원자력관련 연구를 간단히 소개한다.

I. 측정기술분야

1-1 자기장 측정장치

전기·전자제품의 전자파 장애 문제를 규제차원에서 다루는 것은 기본적으로 기기 상호간의 불필요한 전자파 간섭을 억제하여 기기의 성능을 올바르게 유지시키는데 그 목적이 있다고 할 수 있다. 이러한 전자파 장애를 일으키는 요소 중에는 자기장에 의한 영향도 있다. 자기장은 도선에 흐르는 전류에 의해서 쉽게 발생되며, 변압기 등의 누설전류에 의해서도 발생된다. 만일 어떤 전기·전자기기가 이 자기장 환경에 근접해서 놓여 있을 때 이 기기들은 정상적인 동작에 영향을 받을 수 있다. 따라서 IEC 및 CISPR에서는 이러한 문제와 관련되어 자기장 방사치를 규

[표 1] 산업기술시험원 전자파팀의 업무 개략도



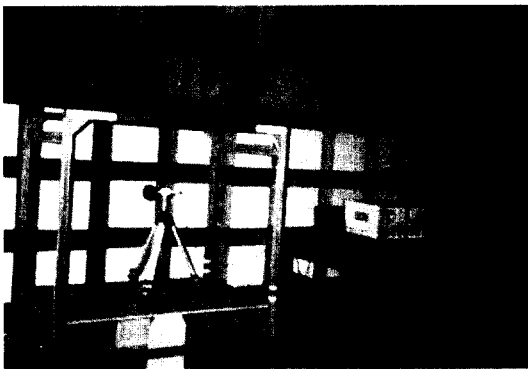
제하는 한편 자기장에 대한 내성기준을 정해 놓고 있다. 자기장 내성 기준인 IEC 61000-4-8에서는 거주지 및 상업환경, 산업 및 발전소 그리고 중·고압 송전소등에 관련된 전원주파수 자기장 장애 환경하에서 동작하는 기기에 대한 내성 요구사항을 규정하고

있다. 또한 CISPR 15에서는 거주지로부터 산업환경에 이르기까지 모든 영역에서 사용되는 조명기기류에 대한 자기장 방사기준을 제한하고 있다.

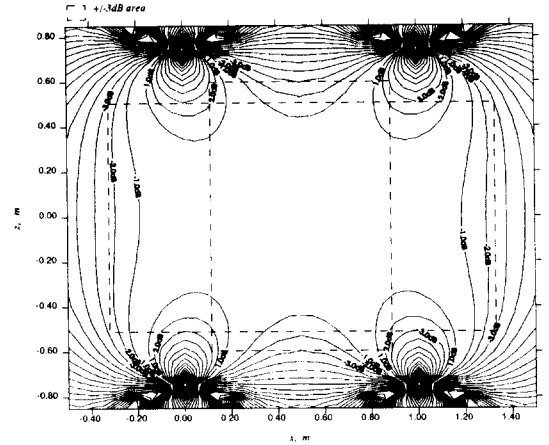
본 연구에서는 IEC 61000-4-8의 전원주파수 자기장 내성시험과 CISPR 15의 조명기기류에 대한 자기

장 방사시험에 적합한 자기장 발생장치와 자기장 방사 측정장치를 해석하고 설계하여 제작하였다. 자기장 발생장치로는 정사각형 헬름홀츠코일을 비롯하여 2종류의 비대칭 코일이 해석되었으며 이 중에서 헬름홀츠코일을 제작하여 평가하였다. 또한 자기장 방사 측정장치로는 2m의 직경을 갖는 루프안테나를 해석하여 제작하고 평가하였다.

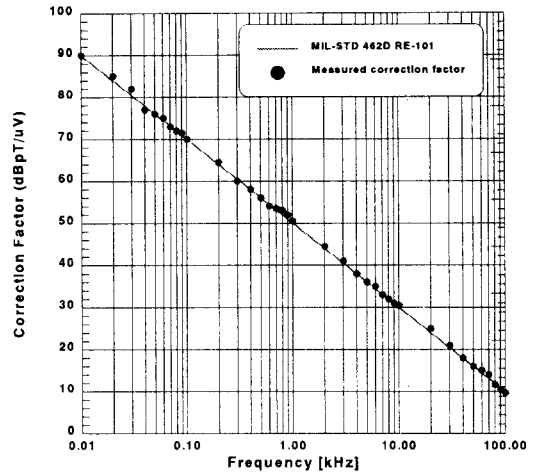
제작된 헬름홀츠코일은 100 A/m 정도의 높은 자기장을 적은 구동전류로 쉽게 발생시킬 수 있으며 ± 3 dB 균일장 영역도 넓어 중소형기기의 내성시험에 적합하다. 유도된 자기장 방정식을 이용하여 이론적으로 해석된 자기장세기 및 균일장 영역은 측정치와 잘 일치하여 설계에 큰 도움이 되었다. 따라서 자기장 발생장치를 설계할 때에는 제작을 하지 않고도 먼저 이론적으로 그 장치의 특성을 예측할 수 있게 되었다. 또한 본 연구에서는 Newton-Raphson 수치해석 기법을 도입하여 자기장 발생장치의 최적설계를 할 수 있도록 하였다. 제작된 헬름홀츠 코일을 이용하여 CE 마킹을 위한 EMC의 자기장 내성시험 지원은 물론 자기장 프로브의 교정에도 사용될 수 있다. 그림 1은 제작된 헬름홀츠 코일과 자기장 프로브의 교정을 보여주고 있다. 그림 2는 MIL-STD 462D의 자기장 방사시험에 사용되는 루프의 보정인자와 제작된 헬름홀츠 코일을 이용하여 측정



[그림 1] 제작된 헬름홀츠코일과 프로브 교정장면



[그림 2] $y=0$ 인 xz 평면상에서의 자기장 분포 편차



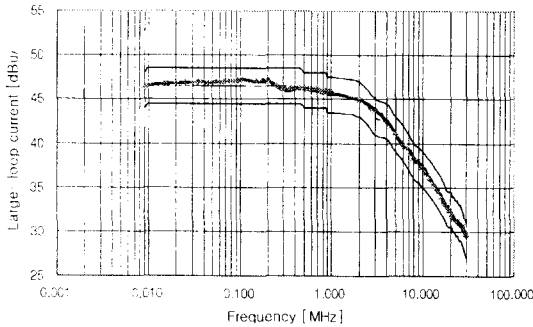
[그림 3] $y=0$ 인 xz 평면상에서의 자기장 분포 편차

된 보정인자를 보여준다.

CISPR 15의 자기장 방사측정을 위한 루프 안테나에 대해서는 이론적으로 그 동작원리를 분석하여 설계시 적용하였으며 이를 통하여 제작된 안테나는 규격에서 요구하는 특성과도 잘 일치하여 100 Hz 이상에서 동작하는 모든 조명기기류의 시험에 사용될 수 있다. 그림 4는 제작된 루프 안테나와 이를 이용한 조명기기의 자기장 방사 측정장면이고 그림 5는



[그림 4] 제작된 루프안테나 및 자기장 방사 측정장면



[그림 5] 제작된 루프 안테나의 특성곡선

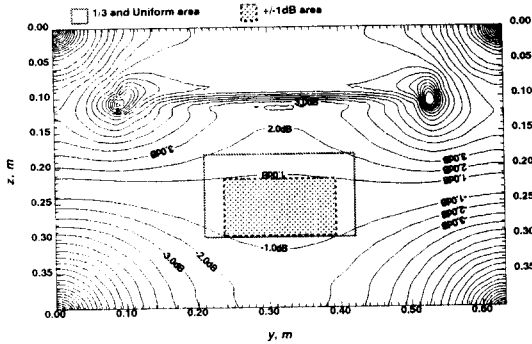
규격에서 요구하는 루프 안테나의 특성 결과를 보여 준다.

1-2 TEM Cell

TEM Cell은 1986년 미국 EIA 사양에 의거, 우리원에서 개발 제작한 이래로 꾸준히 연구의 대상이 되어 왔다. GTEM Cell은 DC에서 수 GHz까지의 폭넓은 대역에서 정확한 전자파를 제공할 수 있기 때문에 전자계 내성시험용이나 전계프로브 등을 교정하는데 사용된다. 특히 야외시험장이나 전자파 무반사실에 비해 제작비가 저렴하고 외부 전자파 환경과 무관하게 시험이 가능하며 측정시간을 단축할 수 있기 때문에 국내외에서의 연구가 급증하고 있다. 최

근에 이 TEM Cell을 이용하여 전자파 방사시험을 할 수 있는 알고리즘이 국내에서 개발되어 미국의 FCC에 승인을 받은 일도 있다. 또한 고가의 측정설비를 구축할 수 없는 중소기업들은 제품에 들어가는 전자부품, 모듈 등에서 그 단계부터라도 EMC 특성을 간단히 확인할 수 있는 설비가 바로 TEM Cell이다. GTEM Cell은 전자파 내성시험은 물론 전자파 방사와 교정에 이르기까지 폭넓게 사용될 수 있기 때문에 이에 대한 기초연구가 이루어져야 하며, 특히 전계프로브의 교정문제는 이와 같은 표준 전자장을 발생시킬 수 있는 Cell을 이용함으로써 해결될 수 있을 것으로 사료된다. 이러한 GTEM Cell을 설계하고 제작하기 위해서는 이 Cell이 갖는 특성을 정확하게 분석해야 한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 GTEM Cell의 특성을 정확하게 파악하고 제작을 위한 기초 데이터를 제공하고자 수치해석 기법을 이용하여 분석한다. GTEM Cell은 기본적으로 비대칭 구조를 갖고 있기 때문에 3차원적 해석이 수행되어야 하는데 해석방법으로 FDTD 알고리즘을 적용하였다. 이와 별도로 제작이 용이하고 수백 MHz대까지의 필드프로브를 교정할 수 있는 비대칭 TEM Cell을 해석하고 제작한다. 이것은 GTEM Cell 제작이 어렵고 비용이 많이 들기 때문에 비대칭 TEM Cell을 이용하며 부분적이거나 그 상태를 파악하고자 본 연구에 포함시킨다. 해석방법은 모멘트법을 이용하였다.

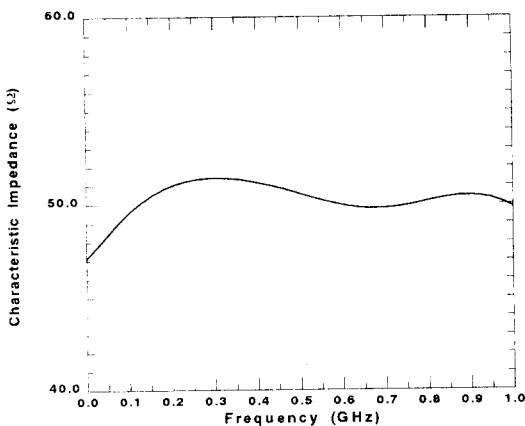
그림 6은 GTEM Cell의 균일장 영역을 보여준다. 균일장 영역은 시험품이 놓여질 위치이며, 상하좌우 1/3영역은 시험품과 외부 및 내부 도체와의 커플링 때문에 사용되지 않는 영역이다. 해석된 균일장 영역은 커플링 영역의 나머지 1/3영역 전체를 포함하고 있으며 전계분포 편차가 ± 2 dB내에 있다. 크기는 $0.21\text{ m} \times 0.11\text{ m}$ 로서 휴대용 기기와 같은 소형 시험품의 내성시험과 일반 프로브의 교정에 적합하다. ± 1 dB 편차영역은 $0.157\text{ m} \times 0.085\text{ m}$ 로서 특히 주파



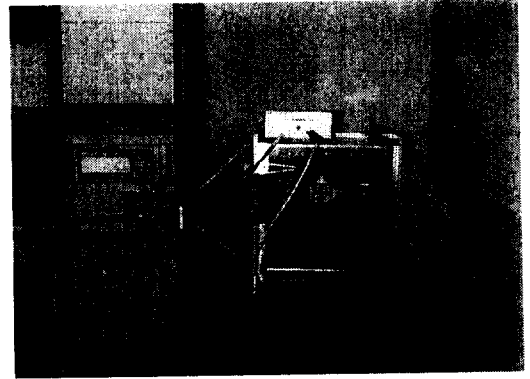
[그림 6] 해석된 GTEM Cell의 전계분포 편차

수 대역이 넓은 광대역 정밀 프로브의 교정에 아주 적합한 영역이다. 그림 7은 해석된 GTEM Cell의 특성 임피던스를 나타낸다. 이것은 입력단에서 정합이 요구되는 50Ω 특성임피던스와 비교적 잘 일치하고 있다.

일반적으로 Crawford TEM Cell은 내부 도체가 어느 곳에 위치하는가에 따라 두 종류로 구분된다. 중심에 위치하는 대칭형과 중심에서 벗어나서 위치하는 비대칭형 TEM Cell이 있다. 본 연구에서는 프로브의 교정용으로 이용될 수 있는 비대칭형 TEM Cell을 해석하고 제작하였다. 일반적인 TEM Cell이 그러하듯 비대칭 TEM Cell도 그 크기에 따라 사용



[그림 7] 해석된 GTEM Cell의 특성 임피던스

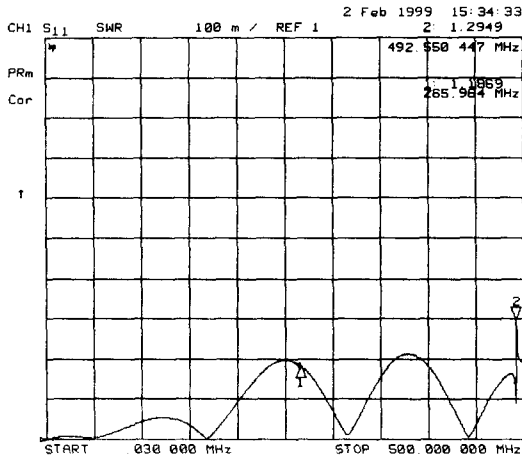


[그림 8] 제작된 비대칭 TEM Cell과 프로브 교정장면

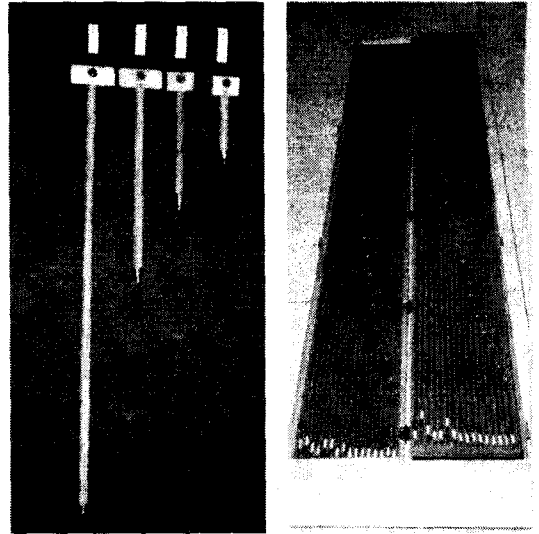
주파수대역이 제한된다. 따라서 해석은 약 $0.1\text{ m} \times 0.1\text{ m}$ 이내의 크기를 갖는 프로브 교정에 적당한 균일장 영역을 확보하며 사용주파수대역을 최대한 사용할 수 있는 비대칭 TEM Cell의 제작 및 설계에 초점을 맞추었다. 그림 7은 제작된 비대칭 TEM Cell과 이를 이용하여 필드 프로브를 교정하는 모습을 보여 주고 있다. 그림 8은 측정된 VSWR 특성을 나타내며 그림 9는 두 개의 프로브에 대해 3 V/m 로 교정된 결과를 나타낸다. 교정결과 두 프로브는 모두 $\pm 1\text{ dB}$ 내에서 일치하는 것을 알 수 있었다.

1-3 EMC 측정용 안테나 및 LISN

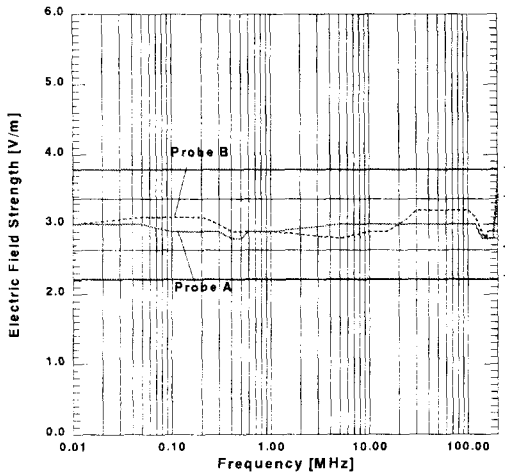
그림 10의 반파장 공진 다이폴 안테나는 야외 시험장 평가용으로 개발되었다. 안테나소자의 공진길이는 모멘트법을 적용하여 구했으며 안테나에 적용된 발룬은 ANSI C63.4에 따라 제작되었다. 그림 11과 그림 12의 바이코니컬 안테나와 LISN은 국산화를 목표로 제작되었고 특히 바이코니컬 안테나의 경우 1:1 및 4:1 발룬을 각각 적용하여 제작되었고 비교 평가되었다. 이 안테나들의 특성은 기존에 수입되어 사용되는 안테나들과의 특성에 견주어 동일한 특성을 나타내었다.



[그림 9] $a=b=0.45$ m, $w=0.3211$ m, $h=0.15$ m인 비 대칭 TEM Cell의 정재파비



[그림 11] 반파장 공진 다이폴 안테나

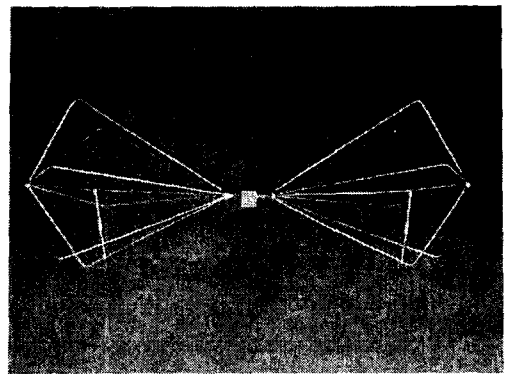


[그림 10] 3 V/m로 교정된 두 개의 프로브의 교정 결과

II. 시험평가기술분야

2-1 발전소 제어설비

발전소 현장에 설치할 목적으로 제조된 디지털 분산제어시스템에 대하여 개발시스템의 기능점검



[그림 12] 바이코니컬 안테나

및 환경시험의 객관적 평가방법에 따라 시험평가를 실시함으로써 시스템의 기능특성 및 내환경 특성을 점검하고, EMC 시험 및 스크리닝 시험을 통하여 시스템 내의 잠재적인 초기 고장모드를 제거함으로써 시스템의 신뢰성을 향상시키는 것을 목표로 하고 있다.

발전소 고장으로 인한 경제적, 사회적 손실이 막대하다는 것을 고려할 때, 발전소의 설비 중에서 핵



[그림 13] 전도성 방사 측정용 LISN

심적인 역할을 담당하는 제어시스템의 신뢰도를 확보하는 것은 매우 중요하다. 특히 개발된 제어시스템의 초기고장 제거 및 시스템의 안정화 과정은 개발시스템의 신뢰도를 높이는 필수적인 과정이라 할 수 있다.

본 연구에서는 디지털 분산제어시스템의 기능점검기술 및 전자파 환경을 포함한 환경평가기술을 개발하고 그 기준에 따라 시험을 실시하여 시험결과를 분석하였다. 그 결과를 살펴보면 여러 가지 환경시험에서 전자파시험을 제외하고는 대체로 양호한 것으로 나타나 발전소 설비에서도 EMC 문제가 심각한 것으로 판단되며, 향후 전자파에 대한 내성을 갖도록 설계·제작되어야 할 것이다.

2-2 원자력발전소 제어설비

원자력에너지는 관련 사고가 발생하는 경우 인류의 생명에 큰 위협이 되기 때문에 그 안전성에 대한 철저한 검증이 요구된다. 원자력발전소의 안전관련 기기들은 안전성에 대한 검증을 위하여 그 기기들이 정상적으로 운전될 때의 환경뿐만 아니라 운전 중 예상되는 극한 상황 및 발전소의 설계 기준 사건으로 인하여 발생할 수 있는 환경 하에서도 정상적으로 동작 가능함을 검증하는 기기검증(Equipment

Qualification)을 실시한다.

I&C분야에 있어서 기기검증은 크게 나누어 오랜 기간 사용에 따른 기기의 노화에 대한 영향을 분석하는 노화분석(Aging Justification), 방사선, 온도, 습도, 압력 등의 기기가 사용될 환경에서 제 기능을 수행할 수 있는지 여부를 평가하는 내환경시험(Environmental Test), 설계 기준 사고인 지진이 발생할 경우 기기가 제 기능을 수행할 수 있는지 여부를 평가하는 내지진시험(Seismic Test)으로 나누어 볼 수 있다. 하지만 근래에 들어 아날로그 시스템들이 디지털 시스템으로 교체되면서 전자파 환경(Electromagnetic Environment)에 대한 고려가 요구되어지고, IEEE Std 7-4.3.2 (1993)에 EMC시험을 수행하도록 명시되게 되었다. 이에 따라서 최근 I&C분야의 기기검증은 기존의 노화분석, 내환경시험, 내지진시험 외에 추가적으로 EMC시험을 실시하도록 되어 있다. 한국 원자력안전기술원에서는 현재 EMC시험과 관련하여 NRC DG-1029 또는 EPRI TR-102323을 따르도록 정하고 있다. 산업기술시험원에서는 작년 국내에서는 처음으로 고리 원자력발전소에 사용될 노심 과냉각 여유도 감시설비에 대하여 EMC시험을 포함한 기기검증을 수행하였고, 뒤 이어 영광 원자력발전소에 사용될 발전소경보설비 아이솔레이션 캐비닛(Plant Annunciator System Isolation Cabinet)과 고리 원자력발전소 및 영광 원자력발전소에 사용될 직류전원공급장치에 대한 기기검증을 수행하였다.

EMC시험평가를 수행한 결과 원자력 발전소의 I&C 분야 기기들에 대한 국산화가 아직 초기단계이고, 더구나 EMC시험의 경우 최근 기기검증에 포함되어 제조업체들이 EMC시험에 대한 대처방안이 수립되지 않은 상태에서 시험을 받아서 디버깅과 재시험에 많은 시간과 비용이 소요되었다. 국내 제조업체들이 아직 EMC에 대한 지식과 기술이 발달되어 있지 못한 상황에서 원자력 발전소의 I&C분야 기기

들에 대한 국산화는 증가하고 있는 추세에 있으므로 기기검증을 수행할 때 EMC시험에서 가장 많은 문제가 발생할 것으로 예상된다. 그러므로 EMC시험 평가에 대한 대처방안 연구가 절실하게 필요한 상황이며 특히, 설계할 때부터 전자파에 대한 영향을 고려하여 설계하는 방법과 EMC시험을 수행한 후 문제가 발생하였을 때 효과적으로 디버깅하는 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

Ⅲ. 향후 연구 분야

이상으로 산업기술시험원에서 최근에 수행한 몇몇 EMC 연구에 대해 간단히 소개하였다. 지면관계상 자세한 설명이 부족했던 부분과 본고에 소개되지 않은 과제는 차후에 논문으로서 발표될 예정이다. 이렇듯 산업기술시험원에서는 외화를 절약하는 차원에서 국산화가 가능한 EMC 측정장치는 계속해서 국산화하도록 노력할 것이며 산업체와 밀접하게 관련된 EMC 과제를 도출하여 산업체의 애로부분을 해결하는데 최선을 다할 것이다. 이밖에 현재 많은 관심이 고조되고 있는 전자파잔향실(Reverberation Chamber)의 개발과 측정불확도(Measurement Uncertainty)에 연구를 진행하고 있다. 전자파잔향실에서는 저전력으로 복사전자기장 내성시험이 가능하고 각종 케이블 차폐효과 시험뿐만 아니라 EMI시험도 할 수 있다. 또한 제작비가 저렴하고 특히 이 시설에서 수행된 시험결과의 승인여부가 조만간 확정될 예정이어서 많은 관심이 집중되고 있다. 반면 낮은 주파수대역에서의 사용제한과 시설 내부의 정확한 통계학적 필드분포의 추출 등 문제점이 있기 때문에 이와 관련된 연구가 진행될 예정이다.

참 고 문 헌

[1] 조원서, 장태현, 김석진, "EMC 측정용 자기장

발생장치 및 루프안테나의 개발에 관한 연구," 산업기술시험평가연구소 연구보고서, PES97-020, 1998.

[2] Won-Seo Cho, "Design and analysis of helmholtz coil sets for generating an uniform magnetic field," 1999.

[3] 조원서, 장태현, 김정민, "표준전자파발생용 GTEM Cell의 개발에 관한 연구," 산업기술시험평가연구소 연구보고서, PES98020, 1999.

[4] J. H. Yun, J. S. Kim, W. S. Cho and J. K. Kim, "Performance of coupled transmission line cell for generating standard EM-fields," *Electron. Lett.* 34(12), 99-1210-1211, 1998.

[5] 엄우식, 조원서 등, "EMA보드용 전자파흡수 재료 개발에 관한 연구," 산업기술시험평가연구소 연구보고서, PIS97070, 1997.

[6] Won-Seo Cho, Kyu-Don Choi and Jung-Ki Kim, "Analysis of a thick dipole antenna with end disks for EMC measurements," in *proc. Int. Symp. on EMC, Roma*, pp. 747-751, 1998.

[7] Won-Seo Cho, Motohisa Kanda, Ho-Jung Hwang and Michael W. Howard, A disk-loaded thick cylindrical dipole antenna for validation of an EMC test site from 30 to 300 MHz, *IEEE Trans. on EMC*, vol. 42, no. 2, to be published, 2000.

[8] 정문식, 조원서 등, "디지털분산제어시스템 성능평가 및 환경시험 개발에 관한 연구," 산업기술시험원 연구보고서, 1999.

[9] 정문식, 조원서 등, "장기사용발전소 제어설비 신뢰성을 위한 개조방안 연구," 산업기술시험원 연구보고서, 1999.

[10] 조원서, 장태현, 조영재, "무인통신기지국용 전원공급장치의 전자파장해 대책 및 평가에 관한

-
- 연구,” 산업기술시험평가연구소 연구보고서, PIS98160, 1998.
- [11] 산업기술시험원 원자력안전품질매뉴얼, QM-004, 개정번호0, 1998.
- [12] J. Ldbury, G. Koepke and D. Camell, “Evaluation of the NASA lang leg research center mode-stirred chamber facility,” *NIST Tech. Note* 1508, 1999.
- [13] Juan Chan, T. H. Hubing, “Development of models and design guidelines related to embedded capacitance,” *A progress report TR99-4-025*, EMC Lab., University of Missouri-Rolla, 1999.
- [14] M. Windler, *Test report for NSA antenna calibration*, Underwriters Laboratories Report, 1998.
- [15] Guide to the expression of uncertainty in measurement, corrected and reprinted, 1995.

≡ 필자소개 ≡

김 석 진

산업기술시험원 전자과팀 팀장