

원전기기의 열적열화 및 EMI 시험



김 병 덕

(KIMM 환경설비연구부장)

- '75. 2 한국해양대학교 기관공학(학사)
- '77 - '81 동지상선 1등 기관사
- '83. 8 충남대학교 기계공학(석사)
- '94. 2 한국해양대학교 시스템공학(박사)
- '81 - 현재 한국기계연구원 책임연구원



박 상 진

(KIMM 환경설비연구부)

- '90. 2 서울대학교 기계공학과(학사)
- '92. 2 서울대학교 기계공학과(석사)
- '96. 2 서울대학교 기계공학과(박사)
- '96 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



허 필 우

(KIMM 환경설비연구부)

- '89. 2 경북대학교 전자공학과(학사)
- '91. 2 경북대학교 전자공학과(석사)
- '91 - 현재 한국기계연구원 선임연구원

1. 서 언

원전기기의 환경에 대한 내후성능을 알아보는 방법중에 열적열화시험(Thermal Aging Test)과 EMI(Electromagnetic Immunity Test) 시험이 있다. 열적열화시험은 원전플랜트에 사용되는 기계와 계장제품들이 주위의 온도 및 습도변화에 대하여 적용하여 얼마만한 내구성을 가지고 작동하느냐를 알아보는 시험으로써 실제에 있어서는 수년에서 수십년동안 주위의 온도변화에 대한 열화의 효과를 나타낼 수 있는 강도로 온도변화가 되는 상태의 공간에서 관련기기를 시험하게 된다.

또한 EMI 시험도 같은 개념으로서 전장제품들이 전장이 미치고 있는 공간에서 전자파에 대한 내성을 가지고 이상없이 작동하는가를 알아보는 시험이다. 특히 최근들어 대부분의 주요 제어기나 기록기들이 마이크로프로세서를 사용하는 디지털 시스템이므로 전기노이즈의 영향은 치명적으로 시스템 오동작을 가져올 수 있어 전기노이즈에 대한 대책이 매우 중요하다.

전기노이즈도 여러 가지 형태로 전자장비에 영향을 주고 있는 바, 예를들면 전원선에서의 전기노이즈, 정전기노이즈, 전자파노이즈 등이 있어 이에 대한 각기의 내성시험이 요구된다.

국내에서는 아직까지 이상의 시험에 대해서는 준비단계에 있으므로 이와 관련된 성능시험규정을 비롯한 관련 현황을 소개하여 향후 본 시험업무 수행에 도움이 되고져 한다.

2. Thermal Aging 기술현황

2.1 내용 및 특이점

Thermal Aging은 熱的劣化로 흔히 번역하는 것으로 협의로는 온도에 의한 기기의 열화를 뜻하지만 광의로는 온도, 습도에 의한 환경열화를 통칭하기도 한다. 여기서는 후자의 광의의 뜻으로 지칭하기로 한다. 모든 원자력발전 관련기기들은 설계시의 정해진 수명이 있다. 같은 발전소에 사용되는 기기라도 그 특성에 따라 설계수명이 다르고 또 동일한 기기라도 사용장소에 따라 요구수명이 다를 수 있다.

Thermal Aging은 이러한 각 기기에 가혹한 환경조건(온도, 습도 등)을 가하여 기기의 요구수명이 다했을 때의 상태로 만들어 주는 것이다. 보통 Thermal Aging을 수행한 후 각 기기의 내진시험과 성능시험을 행하는 것이 통상적인 원자력기기 성능검증시험의 절차이다.

Thermal Aging은 일반적으로 동시에 이루어지기 보다는 연속적으로 이루어지고 정당성을 인정받은 시험조건 및 절차에 의하여 수행되어야 한다. 보통 방사선 피폭열화, 온도열화, 습도열화의 순으로 열화를 진행하는 경우가 많다. 참고로 그림 1.은 원자력발전소에 사용되는 Class 1E급 RTD(저항온도센서)의 기기검증절차를 나타낸 것이다. 이 기기는 EMI시험은 수행하지 않는 경우이다.

온도열화에서는 고온에 노출시키는 지속시간은 기기의 재질 및 수명에 따라 Arrhenius의 식으로 산정하며 열화시간은 통상 100시간 이상이 되어야 한다. 온도열화의 조건은 IEEE Std 101 Guide for Statistical Analysis of Thermal Life Test Data의 기준에 의해 산출하여야 한다. 요즘은 手計算이 아닌 각종 Data Base를 갖춘 컴퓨터 프로그램으로 열화시간 및 조건을 산출하는 경우가 많다. 온도열화시에 동일한 온도를 계속 유지해 주는 방법과 온도를 주기적으로 변

화시키는 방법이 있는데, 후자의 경우 열화시간을 줄일 수 있는 장점이 있다. 그리고 열화시험 전에는 기준시험(Baseline Test)과 기능확인시험(Functional Test)을 수행한 후 시험시 허용 마진을 결정하여야 한다. 열화온도의 경우에는 통상 +15°F(8°C)의 마진을 주고 열화시간은 +10%의 마진을 준다. 그림 1.에 나타낸 RTD의 경우, 열화온도 140°C이고 예상열화시간 32.04일이다. 다음의 표 1.은 일반적인 열화시험 마진폭을 나타내고 있다. 온도열화에 필요한 장비는 열조정 Oven, Thermocouple, Recorder 등으로 이들장비는 모두 사전에 공인교정을 득하여야 한다. 그리고 온도열화시험이 끝나면 시험대상기기의 기능확인시험을 수행한다.

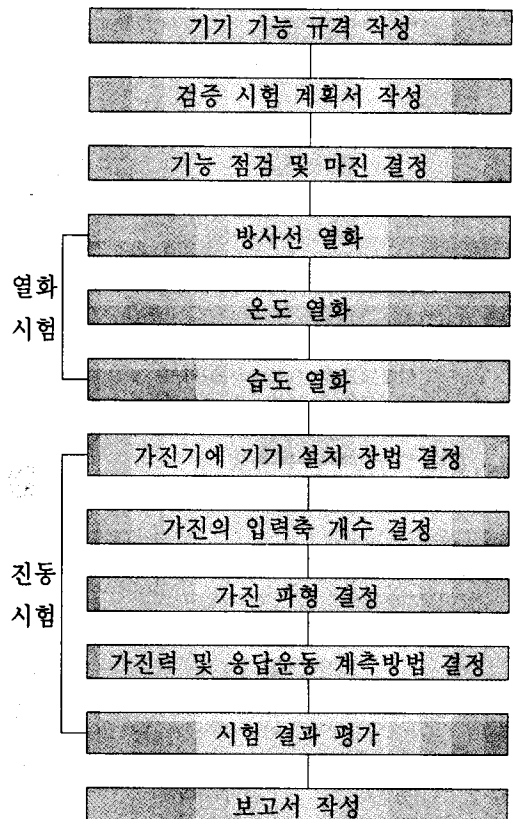


그림 1. 원전 Class 1E급인 RTD 검증절차

표 1. 일반적인 환경열화시험조건의 허용마진

항 목	마 진
온 도	+ 15°F (8°C)
압 력	+ 10% (그러나 10lb/in ² 초과금지)
방 사 선	+ 10%
전 압	± 10%
주 파 수	± 10%
시 간	+ 10%
진 동	+ 10% (주파수응답영역)

습도열화는 항온항습조에서 시행하는데, 온도 열화와 독립적인 챔버에서 수행할 수도 있고 동일한 챔버에서 연속적으로 수행하는 경우도 있다. 습도열화 역시 시험대상기기를 설계수명을 다했을 때의 상태로 만들기 위하여 행하는 것이므로 일반적인 설계조건 보다 가혹한 조건에서 열화를 시행한다. 습도열화에서도 온도열화와 마찬가지로 설계수명과 재질, 사용조건 등을 고려하여 시험조건을 결정하고 표 1.을 참고하여 마진을 준다. 시험전, 후에 기능확인시험을 수행하고 전기계통기기의 경우 시험 후 절연시험도 수행하여야 한다. 그림 1.의 RTD의 경우 습도열화조건은 50°C, 상대습도 95%이상에서 240시간 동안 열화를 수행한다.

이러한 열적열화시험이 끝나면 EMI시험을 거쳐 내진동시험을 수행하거나 바로 내진동시험으로 들어가게 된다. 시험의 기준은 국가별, 기기가 사용될 원전별, 설치장소별로 각기 다르게 적용되므로 그때마다 사용처의 주문에 맞는 기준을 정하여 시험을 수행하여야 한다.

2.2 시험설비 현황 및 실적

한국기계연구원 환경설비연구부에서는 그동안 조선용기자재 및 교통신호제어기 등의 기기에 대한 환경시험을 많이 수행하여왔고 따라서 환경시험용 설비를 다양하게 갖추고 있으며, 경험과 인력 또한 풍부하게 확보하고 있다. 현재 추진 중인 원전기기 열적열화시험이 바로 내환경 시험과 그 내용이 일치하기 때문에 몇가지 장비

만 보완하면 원전기기시험에 충분한 조건을 갖추 수 있다고 판단된다.

우선 열적열화시험에 필수적인 항온항습조를 크기 및 범위에 따라 4대를 갖추고 있다. 모두 온도열화와 습도열화를 함께 수행할 수 있는 사양이며 기록계가 부착되어 있어 효율적으로 실험을 수행할 수 있다. 그림 2.와 3.은 본 연구부가 보유하고 있는 항온항습조의 사진이며, 그림 4.는 기록계의 사진이다.

이외에 염분에 대한 내식성을 시험하는 염분살포조와 태양광 노출시의 내구성시험 및 자외선열화 시험을 할 수 있는 태양광시험기를 보유하고 있다.

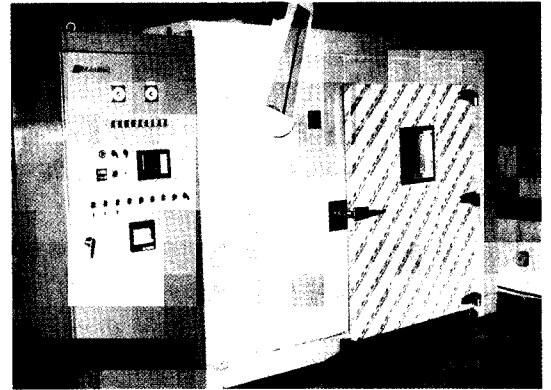


그림 2. 대형 항온항습조 (1450(W)×2000(D)×1650(H), 온도범위 : -40~80°C, 습도범위 : 35~98%).

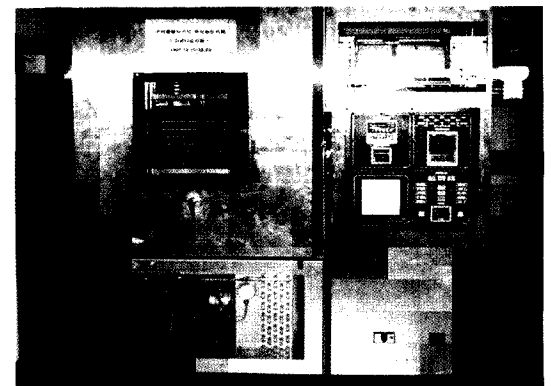


그림 3. 소형 항온항습조 (600(W)×600(D)×700(H), 온도범위 : -70~150°C, 습도범위 : 20~95%).

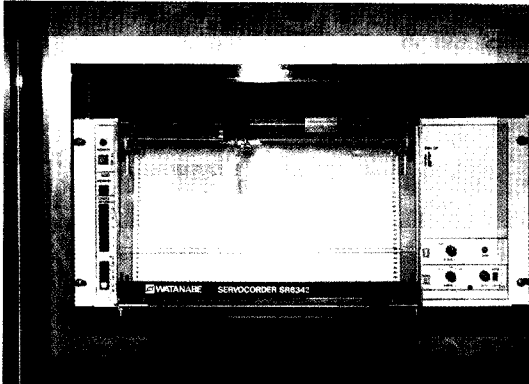


그림 4. 환경시험용 기록계.

3. EMI 시험

EMI는 좁은 의미로 복사와 전도된 노이즈 양을 말하나 여기서는 EMS를 포함한 것을 의미하며 주로 RS(Radiated Susceptibility)와 CS(Conducted Susceptibility)를 다룬다.

방해 배제 능력, 노이즈 마진은 외부로부터 기기나 시스템에 노이즈를 가하면서 그 값을 서서히 올렸을 때 시스템이 오동작 하는 값으로 표시된다. 오동작에 대한 판단은 사전에 정해놓은 기능을 실행시킨 후 그 실행이 정지되는 것에 의하여 판단한다. 산업용 제어기에 대해 IEC규정에 따라 테스트한 후 시스템의 오동작 여부를 시험하고 원자력 기기에 대해서는 MIL규정에 따른다.

전자기기가 현장에 설치되어 운영될 때는 주변환경에 의한 노이즈 문제에 대한 대책이 필요하다. 즉 전자기술의 발달은 시스템의 소형화, 집적화를 가져온 많은 잇점과 함께 외부의 불필요한 에너지에 대해 민감하게 반응하여 오동작을 일으키는 예기치 못한 문제점을 앓고 있다. 일본의 경우 전자파 장애로 인한 산업용 로봇의 오동작으로 인명피해가 발생한 것으로 알려져있고, 우리나라의 경우 NC선반이나 로봇의 오동작 사례등이 보고된 바 있다. 여기서 취급하는 노이즈란 전기적인 잡음을 말하며 유용한 전압,

전류에 혼입되어 방해로 주는 무용한 전압전류가 된다.

전자파 장애가 고려되어야 할 분야는 다양하다. 컴퓨터를 중심으로한 OA, FA 기기나 자동차용 전자 기기와 전자식 교통신호 제어기기는 물론 영상기기, 의료기기, 주엔진 제어등을 위한 선박용 기기, 휴대폰등의 통신기기 그리고 원자력 설비 제어기기등이 있다. 특히 원자력 기기의 오동작은 치명적인 위험이 됨으로 철저한 준비가 요망된다.

노이즈에 대한 대책 방향은 크게 두가지로 볼 수 있다. 그 하나는 외국에 기기류를 수출하기 위한 법규제를 통과하는 것을 목적으로 한다. 다른 하나는 구체적인 노이즈 장애, 즉 원자력 기기의 오동작이나 폭주 등을 막아주어 시스템의 신뢰성 향상을 가져오기 위한 대책이다. 여기서는 원자력기기의 EMI 시험 내용을 기술하고 최근까지 수행된 시험 실적과 관련된 보유장비를 소개한다.

3.1 EMI 시험 내용

3.1.1. CS01

(1) 개요

전자기 에너지가 전원선에 주입되었을 때, UUT(Urit Under Test)의 성능 특성이 주파수 30 Hz~50 kHz 범위에서 UUT 사양에서 주어지는 범위를 넘어서 떨어지지 않아야한다.

(2) 시험절차

이 시험절차는 전원선에 주입된 전자기 에너지에대한 UUT내성을 결정한다.

- a) UUT 시험 구조와 동작 모드가 그림5의 EMI시험 설치 요구조건에 따르는 지를 확인한다.
- b) 발전기는 30 Hz로 조정되고 주입전압을 관측하면서 최소 출력으로 조정되었는 지를 확인한다.
- c) 요구된 rms전압이 될 때까지 발전기 출력

을 천천히 증가한다. 전원 증폭 출력을 조정하면서 요구조건내에서 전압 값을 유지하면서 30 Hz~1.5 kHz 주파수 범위에서 전원 발진기를 천천히 조정한다.

- d) 위 c)와 동시에 내성 기준에 따라 성능저하에 대한 UUT동작 성능을 기록한다.
성능저하가 일어나는 곳에서 UUT동작이 정상으로 돌아갈 때 까지 발진기 출력을 줄이고 EMI 시험 데이터 기록지에 내성을 위해 확인된 문턱값으로 주입된 신호 크기를 기록한다.
- e) 같은 방법으로 CS01에서 주어진 사양에 따라 주입 값을 내리면서 1.5 kHz~50kHz 범위의 주파수에서 가변을 계속한다.
- f) 모든 동작 모드/설치가 시험될 때 까지 b)에서 d)를 반복한다.

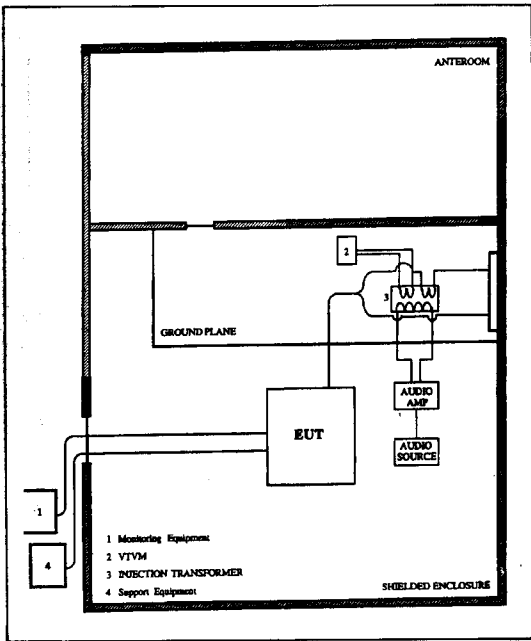


그림 5. CS01시험

3.1.2. CS02

(1) 개요

전자기 에너지가 전원선에 주입될 때 주파수 범위에서 UUT 사양에서 주어진 허용한계를 넘

어서 성능이 저하되지 않아야한다.

(2) 시험절차

- 이 시험절차는 전원선에 주입된 전자기 에너지의 UUT내성을 결정하기위해 사용한다.
- a) UUT 시험 구조와 동작 모드가 그림 6.의 EMI시험 설치 요구조건에 따르는 지를 확인한다.
- b) 발진기는 50 kHz로 조정되고 주입전압을 관측하면서 최소 출력인지를 확인한다.
- c) 50 kHz에서 1 Vrms전압이 될 때까지 발진기 출력을 천천히 증가한다. 유사하게 주파수를 400MHz로 가변을 계속한다.
- d) 위 c)와 동시에 내성 기준에 따라 성능저하에 대한 UUT동작 성능을 기록한다. 성능저하가 일어나는 곳에서 UUT동작이 정상으로 돌아갈 때 까지 발진기 출력을 줄이고 EMI 시험 데이터 기록지에 내성을 위해 확인된 문턱값으로 주입된 신호 크기를 기록한다.
- e) 모든 동작 모드/설치가 시험될 때 까지 b)에서 d)를 반복한다.

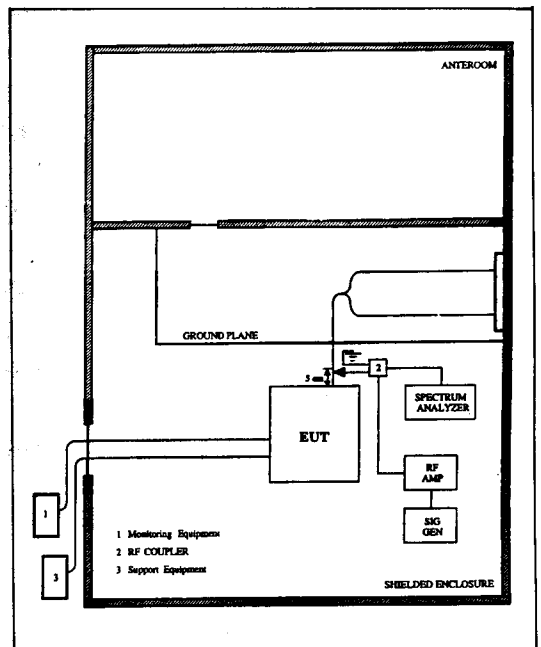


그림 6. CS02시험

3.1.3. CS06

(1) 개요

그림 7.과 같이 100 Vpk, 10 μ s spike가 시험장비의 전원 입력선에 공급될 때 장비의 성능 특성이 UUT 사양에서 주어진 허용한계를 넘어서 저하되지 않아야한다.

(2) 시험절차

- Spike 특성 조사

spike 발생기 출력 특성을 확인한다.

- a) spike 발생기를 5 Ω 부하 저항과 병렬로 연결하고 오실로스코프로 확인한다.
- b) 그림 7.과 같이 요구되는 전압 peak 값이 얻어질 때 까지 spike 발생기 출력을 증가한다.

- CS06 시험

- a) UUT 시험 구조와 동작 모드가 그림 8과 같이 EMI시험 설치 요구조건에 따르는 지를 확인한다.
- b) spike 발생기 출력을 최소로 조정하고 (+) spike에 대해 전원 스위치를 ON했는지 확인한다.
- c) spike 천이를 AC 전원선 주파수에 동기한다. 동기화 시험동안 spike는 전원 주파수의 360도를 통해 천천히 움직이고 0, 90, 180, 270도에서 최소 1분동안 유지된다.
- d) 5 Ω 저항 양단에 연결된 값으로 spike 발생 출력을 증가한다.
- e) spike 발생기를 위 조건에서 전압 값을 유지하면서 최소 5분동안 동작을 계속하게 한다. 이 시기동안 펄스 발생기의 주파수는 10pps로 조정한다.
- f) e)와 동시에 내성 기준에 따라 성능저하에 대해 장비의 동작 조건을 관측한다.

내성 조건이 일어나는 곳에서 조건이 정상으로 돌아갈 때 까지 발전기 출력을 줄이고 spike 발생 크기, 반복률 그리고 동기화 특성을 전도되는 내성 시험 데이터 용지에 문턱값으로 기록

한다. 모든 정보(pps rate, 펄스 위치/동기화)를 기록한다.

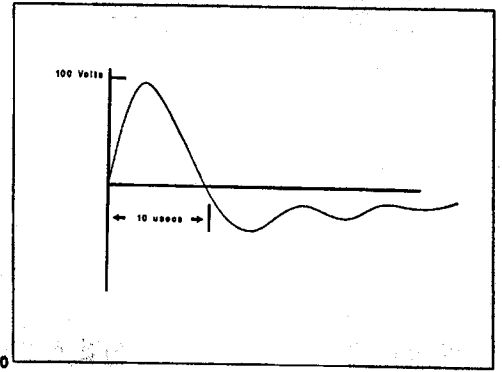


그림 7. 입력 파형

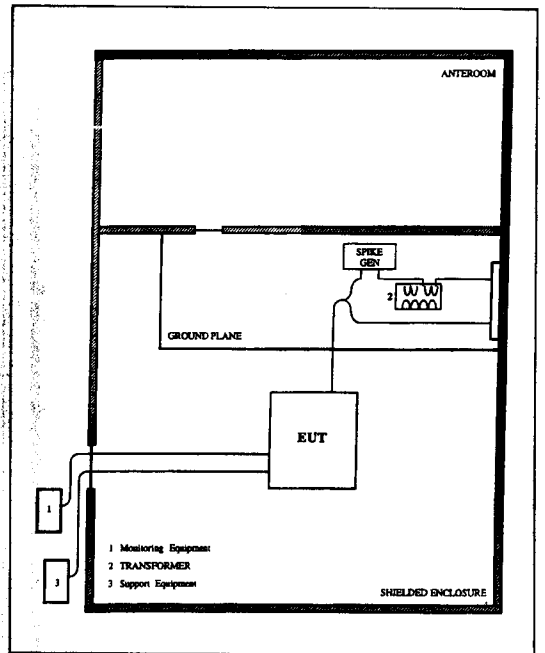


그림 8. CS06시험

3.1.4. RS02

(1) 개요

자기 유도장이 UUT에 가해졌을 때 오동작이나 성능저하와 같은 UUT의 규정된 사양을 벗어나지 않아야한다.

(2) 시험절차

이 시험 절차는 자기유도장에 UUT 내성을 결정하기위해 사용된다.

a) UUT 준비 구조와 동작 모드는 그림 9.와 같이 EMI 시험 요구조건에 따르는 지를 확인한다.

케이블 시험에대한 전류선은 선 연결부로부터 15cm 떨어져야하고 모든 선은 접지면에서 적어도 5cm 떨어져야한다.

b) 성능 저하에대해 UUT를 모니터하는 동안 규정된 spike와 전원주파수 전압을 모든 UUT 모듈과 상호 연결선에 적용한다. 정(+) 과 부(-)의 spike 극성 모두를 사용한다.

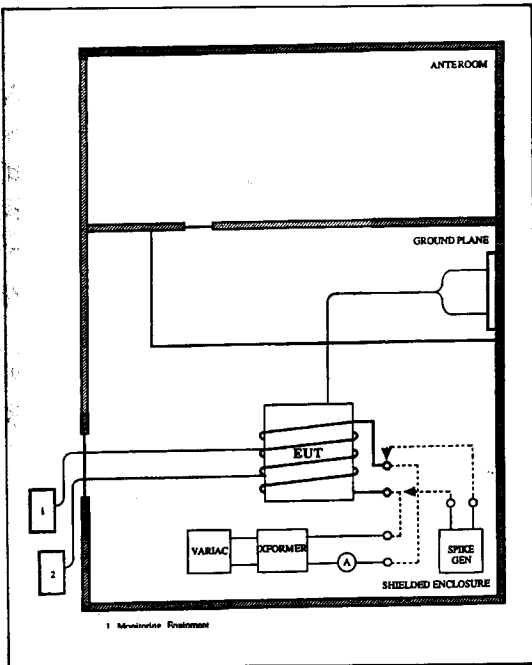


그림 9. RS02 시험

3.1.5. RS03

(1) 개요

시험 부분에 아래에 나타낸 방사장 강도가 가했을 때 각각의 장비 사양을 넘어서 오동작, 성능저하나 UUT의 규정된 사양을 벗어나지 않아야한다.

표 2. RS03 시험 기준 값

주파수 (MHz)	장(field) 강도 (V/M)
14 kHz~2 MHz	1
2 MHz~30 MHz	10
30 MHz~10 GHz	5

(2) 시험절차

이 시험은 전자기장에 대한 UUT 내성을 결정하기 위해 사용된다.

a) UUT 구조와 동작 모드가 그림 10.과 같이 EMI 시험 요구조건에 따르는 지를 확인한다.

b) 원격으로 장 강도를 센싱하는 장치를 사용하여, 발생된 장의 강도를 모니터하여 증폭기 이득을 주파수 14kHz~10GHz 에 대해 요구된 장의 강도를 전달하기위해 조정한다. 전력 증폭기의 최대 동작 범위는 장비의 안전 동작 범위내에 있는지 주의하여 지켜보아야 한다.

c) 조정을 통해 장의 강도를 유지하면서 주파수를 14kHz~30MHz범위에서 천천히 가변한다.

d) 위의 c)와 동시에 내성 기준에따라 장비 동작 성능 저하를 모니터한다. 시험장비의 성능저하가 일어나는 순간에 시험 항목에서 장 강도가 규정된 값에 있는지 결정한다. 성능저하가 일어나면 UUT 동작이 정상으로 돌아갈 때 까지 기준 값으로부터 dB 감소를 지켜보면서 장 강도 값을 줄인다. 규정된 값 아래의 dB 장 강도를 주목하여 이것을 문턱값으로 기록한다.

e) 방사신호를 0으로 줄여 30Hz~300MHz 주파수 시험 범위로 조정한다.

f) 같은 방법으로 b)에서 d)를 수행한다.

g) 방사 장을 0으로 줄이고 300MHz~1GHz 주파수 범위로 조정한다.

h) 같은 방법으로 b)에서 d)를 수행한다.

- i) 방사 장을 0으로 줄이고 1GHz~10GHz 시험 주파수 범위로 조정한다.
- j) 같은 방법으로 b)에서 d)를 수행한다.

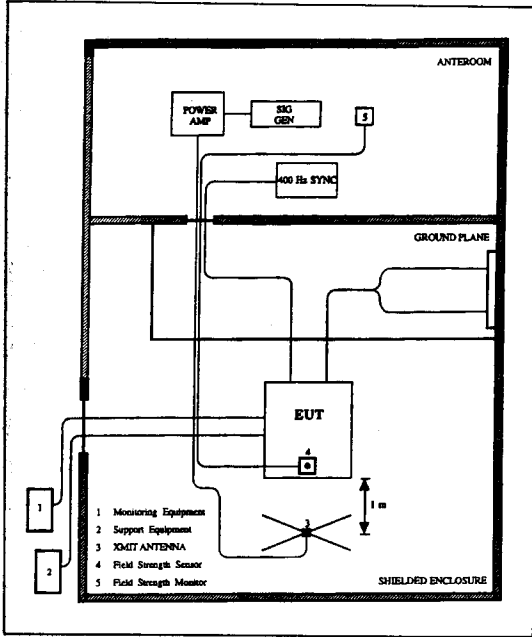


그림 10. RS03 시험

3.2 시험 실적

최근에 수행된 EMI 관련 시험 실적과 보유장비는 표 3. 표 4. 같다.

표 4. 보유장비

시험명칭	장비
Electrostatic Discharge	● ESD Test System
Radiated Electromagnetic Field	● Shield Room ● Signal Generator ● Controller
Electrical Fast Transient/Burst	● Burst Generator
Surge Immunity	● Surge Network ● Signal Generator ● Broadband Power Amp
Conducted Immunity	● Coupling and Decoupling network ● Attenuator

4. 결 론

국내에서는 원전기기에 대한 본 열적열화 성능시험이나 EMI 성능시험은 아직 준비단계에 있으나 그간의 기계연구원의 산업설비기계에 대한 내환경시험이나 EMI 시험의 경험으로 볼 때 시험시설에 대한 보완이 이루어지면 관련기기 검증업무를 원활히 수행할 수 있을 것으로 생각된다.

따라서 우리 기계연구원에서는 이에대한 준비를 하고 있으며 이에대한 상세한 내용은 다음 기회에 소개하기로 한다.

표 3. 시험 실적

해당년도	CUSTOMER	INSTRUMENT
95년	한라레벨(주)	Cargo Monitoring System
	현대정보기술(주)	486PC
96년	KT전기(주)	Purifier Auto Control Pandel
	삼성중공업(주)	Alarm Monitoring System
	KT전기(주)	Programmable Power Control
97년	삼성항공산업(주)	Alarm Monitoring System
	현대정보기술(주)	586PC
	LG하니웰(주)	분산처리시스템