

일체형 원자로 디지털 계측제어계통 전자파 장애 시험결과 분석

이준구^{0*}, 손광영^{**}, 박희석^{**}, 박희윤^{*}, 구인수 ^{*}

한국원자력 연구소^{*}, 삼창(주)^{**}

e-mail : jkleee@kaeri.re.kr

Electromagnetic Interference Test Result Analysis of Integral Reactor Digital I&C System

Joon-Koo Lee^{*0}, Kwang-Young Sohn^{**},
Hee-Seok Park^{**}, Heui-Yun Park^{*}, In-Soo Koo^{*}
Korea Atomic Energy Research Institute^{*}
Samchang Inc.^{**}

Abstract

Because of the development of digital technology, modern digital instrumentation & control systems are being innovatively developed in industrial plants. Whereas, many analog systems are still being used in nuclear plants, because of the demerits of digital equipment.

As known, the demerits of digital equipment are the uncertainty and weaknesses in ambient environments such as smoke & electromagnetic interference

In an Integral Reactor, a digital I&C system will be composed of microprocessor, memory and network card. Designers will apply new technique for digital equipment. Thus, it is important for digital I&C systems to operate according to designed functions & performance in the ambient environments during a life cycle. Digital I&C systems should have tolerance in such environments and environment qualification should be concluded

To acquire electromagnetic interference qualification of digital equipment, this paper suggests an EMI test requirement. Designers should consider the electromagnetic compatibility and test digital equipment according to each test procedure.

This paper involves an EMI test requirement and the results analysis of EUT(Equipment Under Test). Test result analysis will be used as electromagnetic compatibility design guides for Integral Reactor I&C systems

Key words : Digital I&C System, Qualification, EMI

1. 서론

최근 컴퓨터 공학 및 디지털 기술의 발달로 산업계의 계측제어계통은 혁신적으로 발전하고 있으며, 보수적인 원자력 관련 계측제어 계통 또한 제한적으로 신 기술을 도입하여 일부 아날로그 장비들을 디지털 장비로 교체하여 사용하고 있는 추세이다.

디지털 장비가 빠른 정보처리, 대용량 계산과 같은 장점을 가지고 있으나 원자력 플랜트에 장착될 장비들은 설치 환경에서 정상적인 기능 및 성능이 보장되어야 하며 이에 따른 기기 검증이 수행되어야 한다.

디지털 장비는 높은 구동 주파수 및 낮은 동작 전압등으로 인해 아날로그 장비에 비해 상대적으로 전자파에 취약한 것으로 인지되며, 일부 기기를 제외한 모든 계측제어계통이 디지털 장비로 구성되는 일체형 원자로(Integral Reactor)의 경우에는 전자파에 대한 기기 검증이 필수적이다[1,2,3].

기기 설계자들은 각 장비를 전자파 내성 (electromagnetic compatibility)을 고려하여 설계하여야 하고, 전자파 규격에의 적합성 여부를 확인하기 위해 시험을 해야 한다. 원자력 플랜트에 적용되는 전자파 규격은 Reg. Guide 1.180[4]과 EPRI-TR-102323[5]이 사용되고 있다.

본 논문에서는 일체형 원자로 디지털 계측제어계통을 구성하는 일부 장비를 대상으로 전자파 규격에 따른 시험 절차와 시험 결과를 분석하여 현재 진행되고 있는 각 장비의 기기 설계에 반영하고자 하는데 그 목적이 있다.

2. 시험 및 장비 요건

2.1. 시험 요건

1) 원자력 규제지침

-Reg. Guide 1.180 (Jan, 2000)

Guidelines for Evaluating Electromagnetic and Radio-Frequency Interference in Safety-Related Instrumentation and Control Systems

-EPRI-TR-102323 Rev. 1 (Jan, 1997)

Guidelines for Electromagnetic Interference Testing in Power Plant

2) 세부 시험항목

전자파 시험 규격인 Reg. Guide 1.180에 따른 전자파 시험항목은 다음과 같다.

-전도 방사 시험

CE101 : 30Hz ~ 10kHz

CE102 : 10kHz ~ 10MHz

-전도 내성 시험

CS101 : 30Hz ~ 50kHz

CS114 : 10kHz ~ 400MHz

-복사 방사 시험

RE101 : 30Hz ~ 100kHz

RE102 : 10kHz ~ 1GHz

-복사 내성 시험

RS101 : 30Hz ~ 100kHz

RS103 : 10kHz ~ 1GHz

2.2 시험 시설

- 차폐실

시험 공간 외부의 전자파 잡음을 차단시키는 차폐 시설은 아래 그림과 같이 EUT 및 시험장비 운용에 필요한 최소한의 공간이 확보되어야 하며 시험실 잡음수준은 각 시험기준치(limit level) 보다 6dB 이하이어야 한다.

- RF 차폐재

RE 및 RS 시험시 차폐실 내의 전자파 반사를 최소화시키고 시험 정확도 향상 및 재현성 구현을 위해 EUT 및 안테나 주위 벽면/천정에 부착하며 재료의 최소성능 요구치는 아래 표와 같다.

표 1. RF 차폐재 요구조건(Normal 입사)

주 파 수	최소 흡수율
80MHz - 250MHz	6dB
250MHz 이상	10dB

- 접지면(Ground Plane)

EUT는 실제 설치상태를 재현하기 위해 접지면 위에 설치한다. 특별한 규정이 없는 한 접지면의 요구조건은 아래와 같이 따른다.

- 크기
 - 면적 2.25m² 이상, 작은 한 변의 길이 76cm 이상
- 전기적 특성
 - 표면 저항 (Surface Resistance) 0.1mΩ/m² 이하
 - 차폐실과의 접속저항 2.5mΩ 이하
 - 접속스트랩의 길이 대 폭비 5 : 1 이하, 스트랩 간격 1m 이하

2.3 시험장비 정확도

- 측정 허용오차

특별한 규정이 없는 한 시험장비의 허용오차는 아래와 같다.

- 시험 거리 : ±5%
- 주파수 : ±2%
- 진폭(측정수신기) : ±2dB
- 측정 시스템(트랜스듀서, 케이블 등등 포함) : ±3dB
- 시간(파형) : ±5%
- 저항 : ±5%
- 캐패시터 : ±20%

-LISN(Line Impedance Stabilization Network)

모든 EUT(Equipment Under Test) 입력 전원선 임피던스는 LISN을 통해 조절되어야 하며, 특성임피던스는 50ohm 이어야 한다.

3. EUT 운용 요건

3.1 EUT 및 MMI 설비

1) EUT 개요

EUT는 출력제어와 급수제어시스템의 기능 일부를 수행한다. 또한 EUT는 운전원의 조작명령을 받아 수동적으로 제어대상을 제어하는 수동제어와 내부적으로 프로그램된 설정치 또는 절차에 의해 자동적으로 제어대상을 제어하는 자동제어로 동작된다.

수동제어는 운전원이 MMI 설비를 통해 제어대상을 조작하면 이 명령이 제어계통에 전달되며 제어계통

은 전달된 명령을 해석하여 요구된 제어대상을 제어하는 방식이다.

자동제어는 운전모드에 따라 제어량이 프로그램되어 있어서 제어계통은 현재의 운전모드를 판단하여 프로그램된 제어량에 따라 제어대상을 제어하는 방식이다.

2) MMI 설비 개요

MMI 설비는 EUT의 출력 및 급수제어시스템의 입력 신호를 모사하여 제공한다. 또한 출력제어와 급수제어의 출력신호를 모니터링하여 출력 및 급수상태를 확인하는 설비이다. 그림 1, 2, 3은 운전모드 제어, 출력제어, 급수제어를 위한 MMI 화면들이다. 운전원은 MMI 설비를 통하여 운전모드 제어, 출력제어 및 급수제어를 수행한다. MMI 설비는 출력 및 급수제어시스템 랙과 산업용 PC간의 인터페이스를 담당하는 인터페이스 랙과 산업용 PC로 구성되어, 인터페이스 랙을 통해 입력 신호를 제공받고, 또한 출력 신호를 보낸다.

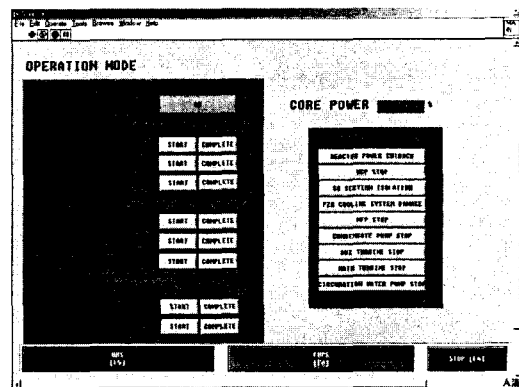


그림 1. 운전모드 제어 MMI 화면

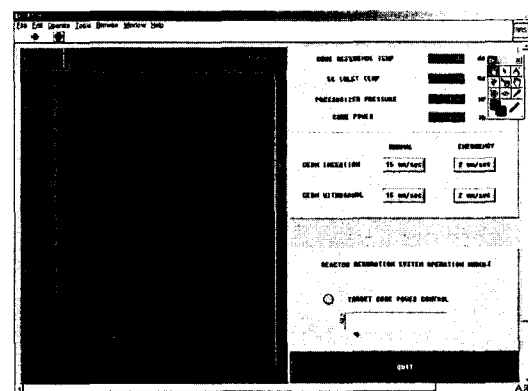


그림 2. 출력제어 MMI 화면

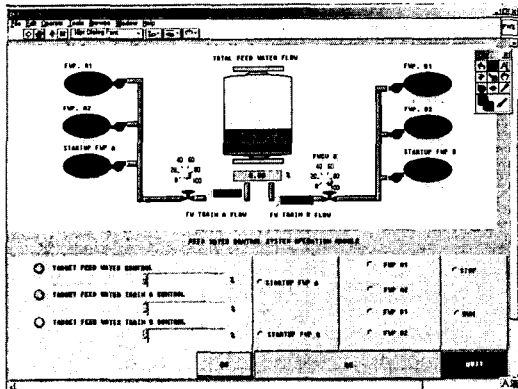


그림 3. 급수제어 MMI 화면

3) EUT 및 MMI 구성

EUT는 그림과 같이 출력/급수제어계통 Rack, 캐비닛과 EUT 동작상태 감시를 위한 MMI 설비가 있다.

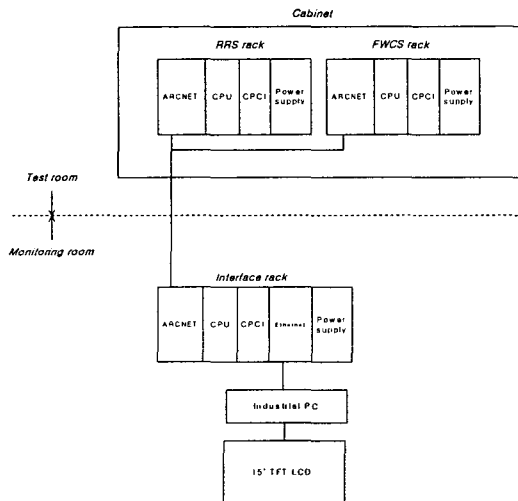


그림 4. EUT 및 MMI 설비 block diagram

3.2 성능 판단 기준

전자파 요건 만족여부는 방사 시험시 EUT 방사량의 기준치 초과 여부와 내성 시험시 EUT 운용시의 건전성 즉 기능 및 성능을 유지하는 가로 판단한다. EUT 운용성능은 MMI 설비를 통해 다음과 같은 사항으로 확인한다. 각 수치의 허용오차는 ±1% 이내이어야 하며 시험은 2.1절의 8가지 항목을 수행한다.

내성 시험시 EUT의 건전성으로서 확인할 항목은

다음과 같다.

- 1) 운전모드화면의 "MCP HIGH SPEED COMPLETE" 버튼 신호 "깜빡거림" 확인
- 2) RRS 화면의 수치확인
"CORE REFERENCE TEMP.(310°C)"
"SG INLET TEMP.(310°C)"
"PRESSURIZER PRESSURE(14.7 MPa)"
"CORE POWER(100.17 %)"
- 3) FWCS 화면의 수치확인
"Total Feed Water Flow(100 %)"
"FW TRAIN A FLOW(50 %)"
"FW TRAIN B FLOW(50 %)"
- 4) FWCS 화면의 "FWP A1", "FWP B1"의 ON 상태 확인
- 5) FWCS 화면의 "FWP A2", "FWP B2"의 OFF 상태 확인
"STARTUP FWP A"의 OFF 상태 확인
"STARTUP FWP B"의 OFF 상태 확인
- 6) EUT의 운전운용절차에 따른 동작 상태
- 7) EUT로 부터의 입력신호 전송 상태

4. 시험 결과 분석

디지털 계측제어계통은 플랜트 환경에서 전자파에 대한 건전성을 갖고, 제어계통 본래의 기능을 수행해야 한다. 따라서 제어계통 시험검증설비를 전자파 규격에 따라 시험을 수행하였고, 그 시험결과를 평가보완하여 설계에 반영하고자 한다.

제어계통 검증설비의 전자파 시험은 총 8가지의 전자파 시험을 수행하였다. 시험대상인 검증설비는 캐비닛을 포함하여 출력제어계통 랙 1대, 급수제어계통 랙 1대와 통풍을 위한 팬(fan)으로 구성하였, 그림 5와 같이 인원의 출입이 제한된 차폐실 내부에서 전자파 시험을 하였다.

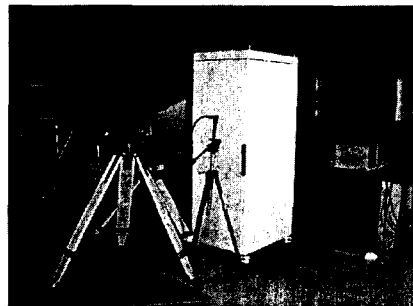


그림 5. RS103 EMI 시험

시험결과는 총 8개 시험항목중 6개 항목에 대하여는 규격을 만족하였고, 2개 항목은 규격에 만족하지 못했다. CE102의 시험결과는 10kHz ~ 20kHz 범위에서 기준치보다 약 2dB정도를 초과하였으며, RE102 시험결과는 1MHz ~ 200MHz범위에서 최대 35dB를 초과하였다. 통신용인 5Mbps의 arcnet 카드로부터 발생하는 잡음이 원인임을 확인되었다.

시험결과에 따른 보완점으로는 캐비넷 입력측에 정밀한 필터를 설치하여 전원선을 경유하는 전도잡음을 제거하고, 현재 캐비넷 하단부의 전원선 및 신호선 인입을 위한 개방된 관통구와 캐비넷 상단부의 팬에 대한 차폐가 필요하다는 다음과 같은 결론을 내렸다.

1) CE102 항목 보완사항

이 시험항목에서 전도성 노이즈를 제거하기 위해서는 그림 6과 같은 필터 설계가 필요하다. 10kHz ~ 20kHz 대역의 노이즈는 차동모드(Differential Mode)특성을 갖고 있으므로 차단 주파수(cutoff frequency)는 4kHz, 감쇄 요구치는 20dB인 Xcap=10 μF, Ld=100μH이상으로 설계하고 65kHz이후 대역은 공통모드(Common Mode) 특성 노이즈이므로 차단 주파수는 20kHz, 감쇄요구치는 20dB인 Ycap=3300pF, Lc=100mH로 설계한다.

2) RE102 항목 보완사항

1MHz ~ 200MHz 대역에서 기준치를 벗어난 복사노이즈는 캐비넷의 전원입력부(그림 7 참조) 및 차폐도어 개폐부(shield finger)에서 누설되고 있으므로 위 CE102 항목 설계보완용 필터의 캐비넷 내부 설치, 전원선로의 관통구의 Bulkhead Connector사용, 신호선 변경 및 도어 Locking 방식 변경시 기준 만족이 가능할 것이다.

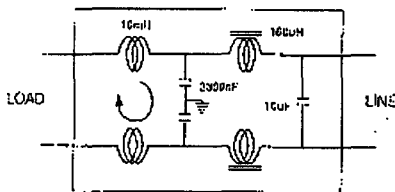


그림 6. 필터 구성도

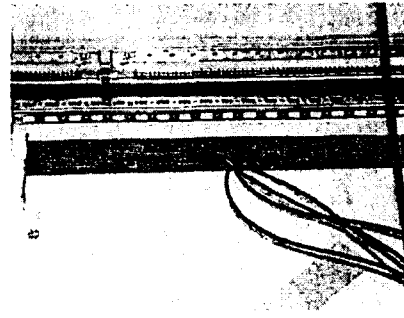


그림 7. 캐비넷 전원선/신호선 관통구

5. 결 론

일체형 원자로에 장착될 디지털 장비들은 설치 환경에서 정상적으로 동작하여 기능 및 성능을 발휘해야 하므로 계측제어계통의 아날로그 장비들이 디지털 장비로 바뀌는 상황에서 기기 검증은 필수적이다.

디지털 장비는 전자파에 대하여 매우 취약한 것으로 인지되고 있으며, 이에 따라 원자력 관련 전자파 규격에 따른 시험은 꼭 이루어져야 한다.

본 논문에서는 일체형 원자로에 사용될 수 있는 디지털 장비의 전자파 기기 검증을 하기 위하여, 시험요건으로 Reg. guide 1.180에 따라 시험항목과 기준치를 적용한 시험절차를 결정하였다.

디지털 장비의 체계적인 전자파 시험절차는 전자파 시험의 일관성을 유지하고, 전자파에 대한 대책을 세울 수 있도록 하는데 도움이 된다.

피 시험체로서 제어계통 디지털 장비를 선정하여 전자파 시험을 수행하였다. 원자력 관련 전자파 시험에 여러 가지 규격이 있고, 규격들간에 시험항목, 기준치, 주파수 범위등의 약간의 차이는 있으나, 이런 요인은 시험절차에 영향을 주지 않으므로 이 시험은 다른 시험에도 적용하여 사용할 수 있다. 또한 시험결과는 차후 일체형 원자로 각 장비의 설계에 적용된다.

참고문헌

[1]NUREG/CR-5941, ORNL/TM-12221, "Technical

Basis for Evaluating Electromagnetic and Radio-Frequency Interference in Safety-Related I&C systems", 1994.

[2]NUREG/CR-6431,ORNL/TM-13158, "Recommended Electromagnetic Operating Envelopes for Safety-Related I&C Systems in Nuclear Power Plants", 1997.

[3]NUREG/CR-6436, ORNL/TM-13171, "Survey of Ambient Electromagnetic and Radio-Frequency Interference Levels in Nuclear Power Plants", 1996.

[4]Reg. Guide 1.180, "Guidelines For Evaluating Electromagnetic and Radio-Frequency Interference in Safety-Related Instrumentation and Control System", U.S Nuclear Regulatory Commission, 2000.

[5]EPRI-TR-102323, "Guidelines for Electromagnetic Interference Testing in Power Plant", 1997