

'99국제학술발표회 논문집
한국원자력학회

원자력발전소 전자기 환경 Electromagnetic Environment in Nuclear Power Plants

구철수, 문문원, 문원영

한국원자력안전기술원
대전광역시 유성구 구성동 19

요 약

구형 아날로그 원자로 보호계통 캐비닛을 교체하기 위해 고리 1호기 제어실 및 기기실의 전자기 환경을 Wyle Lab.이 측정하였고 그 측정값과 미국내 여러 원자력발전소의 전자기 환경 측정값을 비교, 분석하였다. 측정결과 복사방사 측정값은 EPRI의 측정값과 근접한 양상을 보였고 전도방사 측정값은 EPRI 및 ORNL에서 측정한 값보다 낮은 값을 보였다.

감응성 준위는 발전소 전자기 환경 측정값을 근거로 하므로 국내 원자력발전소 디지털 계측제어 기기 전자기 환경검증시 EPRI 및 ORNL에서 제시한 전자기 환경 내성값을 적용하는 것은 적절한 것으로 확인되었다.

Abstract

To replace old analogue protection system cabinets, Wyle Laboratory surveyed Kori No.1 plant control and equipment rooms and Kins compared and analyzed the electromagnetic site survey results of both Kori No.1 plant and several nuclear power plants in U.S. The result shows that the measurement envelope at Kori is comparable to the EPRI measurement in radiated emission and is lower than that of both ORNL and EPRI in conducted emission.

Because the susceptibility level is bound on the basis of the site survey, it is verified that the application of the electromagnetic environment immunity level suggested by ORNL and EPRI is adequate to qualify digital I&C equipment in domestic nuclear power plants.

1. 서론

원자력발전소 설계기술의 변화에 따라 계측제어계통의 설계내용도 매우 빠른 속도로 변화하였다. 이들 변화의 가장 큰 특징은 아날로그 계통설계에서 디지털로의 변환이라 할 수 있다. 이러한 내용은 최근 들어 안전계통 설비에도 확산되어 지고 있다. 국내 원전의 경우에도 이미 ABB-CE 공급 원전의 일부 안전계통의 설계가 디지털계통으로 구성되어 있으며 웨스팅하우스 공급 원전의 경우에는 고리 1호기 SSPS(Solid State Protection System) 계통의 디지털 설비개선이 완료된바 있다.

디지털계통의 경우 외부로부터 유입되는 전자파 잡음에 대한 취약성을 가지고 있으며 이는 원전 사업자와 규제기관의 최대 안전성 현안 중의 하나가 되어왔다. 이와 관련하여 원전 규제기관은 안전관련 디지털 계통의 초기 도입시 주변 전자기 환경에 대한 사전 조사를 요구하고 있다. 그러나 발전소 전자기 환경측정은 많은 경비와 시간을 필요로 하므로 미국에서는 여러 발전소내의 여러 장소에 대한 전자기 환경을 조사하여 기준값을 설정하므로써 설비 개선시마다 현장 조사를 수행해야 하는 번거로움을 생략하고자 하였다. 예로서 ORNL과 EPRI는 미국 내의 원자력 발전소들 중에서 노형, 지리적 위치, 설계회사 등이 다른 발전소를 선정하여 전자기 환경을 조사하여 그것을 근거로 하여 발전소에 설치될 기기의 전자기 내성 시험기준을 각각 제시하였다.

한편, 국내에서도 지난해 완료된 고리 1호기 SSPS 계통의 디지털 설비개선의 일환으로 주제어실 및 기기실에 대한 전자기 환경측정이 1998년 미국 Wyle Lab. 에 의하여 수행되었다. 본 논문에서는 이들 결과를 정리하여 앞서 언급한 미국 원전의 측정값과 비교하였다.

2. 전자기 환경 측정 내용

2.1 고리 1호기 측정내용

고리 1호기 원자로 보호계통 신호처리 및 설정치 계산과 관련된 모듈을 마이크로프로세서 기반 하드웨어인 Foxboro Spec 200 및 Spec 200 Micro로 교체하였다. 이러한 기기의 교체전에 Wyle는 고리 1호기 현장에서 MIL-Std를 근거로 하여 현장 전자기 환경을 조사하였다. 방사 전자기 환경 측정을 위한 안테나의 위치는 발전소 주제어실 옆 기기실로 아래 그림1)에 나타내었고 전도방사측정은 4개의 인버터 모션인 교류전력선(118 Vac)과 접지선에서 차동모드 및 공통모드로 전도방사 측정을 하였다.

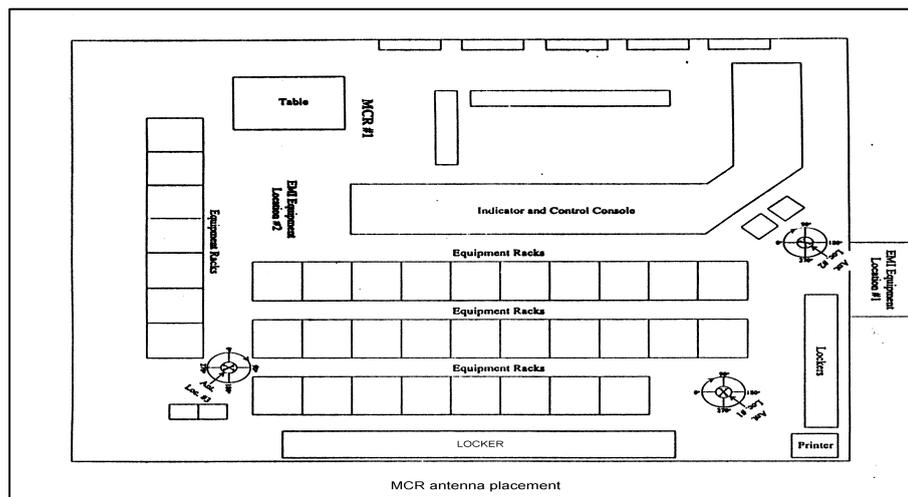


그림1) 전기장 복사방사 환경 측정을 위한 안테나 위치

2.1.1 전도방사(Conducted Emission)

저주파수(30 Hz ~ 50 kHz)와 고주파수(50 kHz ~ 50 MHz)에 대한 측정결과 저주파수대에서는 대부분 MIL-Std 461D와 EPRI TR-102323 R1의 제한값을 만족하나 전력선의 기본 및 제3고조파에서만 제한값을 만족하지 못했다. 또한 고주파수에서는 MIL-Std 461D의 개별 기기 방사 제한값을 만족하나 EPRI 제한값은 부분적으로 만족하지 못하였다.

2.1.2 전기장 복사방사(Electric Field Radiated Emission)

주파수 범위 1 GHz ~ 10 GHz에서 MIL-Std 461D의 제한값을 만족하나 주파수 범위 10 kHz ~ 2 MHz에서는 MIL-Std 461D와 EPRI TR-102323 R1의 제한값을 만족하지 못하였다. 그러나 대부분의 측정값이 110 dB μ V/m 이하이었다.

2.2 EPRI 측정내용

EPRI(Electric Power Research Institute)는 원자력 발전소 전자기파 방사량의 측정과 그 준위를 평가하여 원자력 발전소에 설치될 기기의 전자기파 복사준위와 안전관련 기기에 대한 전자기파 감응성 시험 기준설정을 권고하기 위하여 1991년 9월 및 1992년 2월에 측정된 Zion과 Turkey Point 발전소에 대한 전자기 환경 데이터를 1992년 5월 분석하였고 원자력발전소에서 발생하는 최대 전자기파 방사준위를 확인하고자 추가로 1993년에 발전소 형태, 원자로 공급사 및 지형이 서로 다른 7개의 발전소에 대하여 전자기 환경 조사를 수행하였다.

2.2.1 Turkey Point 및 Zion 발전소

2.2.1.1 전도방사

MIL-Std 461C의 CE01 및 CE03에 따라 전도방사환경을 조사하였다. Zion의 경우는 교류전력케이블에 대해서만, Turkey Point에서는 교류 및 직류전력케이블에 대하여서 측정 주파수 범위 30 Hz ~ 15 kHz와 15 kHz ~ 50 MHz에서 전도방사환경을 측정하였다. 주파수 5 kHz 이하에서는 주로 60 Hz와 그 고조파성분 및 인버터 스위칭 과도현상에 의한 노이즈 데이터를 얻었고, 주파수 5 kHz 이상에서는 3 mA 이상의 전류신호가 없었다. 인버터 노이즈는 운전중에 40 mA, 발전소 정지기간에는 6 mA로 나타났고 발생원으로부터의 거리 10 feet 마다 15.6 dB로 감소되었다. 그리고 측정점으로부터 거리가 먼 곳에 있는 기기의 동작은 전도방사에 크게 영향이 없음을 확인하였다.

2.2.1.2 전기장 복사 방사

MIL-Std 461C의 RE02에 따라 복사방사환경을 조사하였다. 주파수 범위 14 kHz ~ 1000MHz에 대한 협대역 및 광대역 데이터를 취득하였으며 협대역 방사 조사값 중 가장 큰 값은 Zion에서 104 dB μ V/m(0.158 V/m)이고 Turkey Point 발전소에서는 100 dB μ V/m이므로 복사 감응성 준위인 140 dB μ V/m 보다는 아주 낮은 값이었다. 휴대용 전화기에 의한 전기장 방사값은 Zion 발전소에서는 107.4 dB μ V/m이고 Turkey Point 발전소에서는 133.5 dB μ V/m이었다. 이 값은 휴대용 전화기를 사용하지 않을 때의 60 dB μ V/m에 비하여 상당히 큰 값을 나타내었다.

2.2.1.3 자기장 복사 방사

MIL-Std 461C의 RE01에 따라 복사방사환경을 주파수 범위 20 kHz ~ 50MHz에 대하여 Zion 발전소에서만 측정되었다. 기기로부터 50 Cm 떨어진 거리에서 측정한 값은 RS01 감응성 준위보다 20 dB 이하임을 보여주었다.

2.2.2 나머지 7개 발전소(Haddam Neck, Brown Ferry, Brunswick, Perry, Vogtle, Peach Bottom, Palo Verde)

7개 발전소에 대한 복사방사 전자기 환경 측정은 제어실, 케이블 분배실, 터빈 덱, 스위치기 어실, 축전지실, 디젤발전기실과 원격제어실에서 측정하였다. 측정내용은 아래와 같다

- ▶ 측정 주파수 범위 30 Hz ~ 15 kHz와 15 kHz ~ 50 MHz에서 공통모드 및 차동모드로 전력 및 신호선에 대한 전도방사측정
- ▶ 측정 주파수 범위 30 Hz ~ 50 kHz에서 자기장에 대한 복사방사측정
- ▶ 측정 주파수 범위 14 kHz ~ 1 GHz에서 전기장에 대한 복사방사측정
- ▶ 직류 자기장에 의한 복사방사측정

2.3 ORNL 측정내용

ORNL은 전자기 스펙트럼 수신기로 GE가 공급한 비등경수로(1개)와 웨스팅하우스(3개), B&W(3개) 및 ABB(1개)의 가압경수로 등 8개 원자력발전소에 대해 14개월 동안 각 발전소 전자기 환경을 측정하였다. 다양한 발전소 환경을 만들기 위하여 전출력 운전, 저출력 운전, 정지, 기동 및 발전소 트립 등의 여러 운전조건에서 전자기 노이즈 발생 가능성이 높은 계측제어 설비 부근 및 디지털 계측제어 설비가 설치되어 있는 주제어실, 제어장비실, 전기장비실, 보조 계측실, 케이블포설실, 계전기실, 수압제어실, 터빈 덱 및 전기관통부 등에서 측정을 하였다. 8개의 원자력발전소 측정값들 중에서 복사전자기장 및 전도방사가 가장 높게 측정된 값을 근거로 하여 발전소 전자기 환경 운전 제한값을 권고하고 있다.

2.3.1 전도방사

저주파(30 Hz~50 kHz)에서 측정한 값은 42 dB μ A의 여유가 있는 것으로 나타났다. 고주파(50 kHz~50 MHz)에서는 1.25 MHz이상에서 53.4 dB μ A이었고 156.25 kHz ~ 625 kHz에서는 83.5 dB μ A로 가장 높게 나타났다. 625 kHz이하에서는 MIL-Std 461D CS114의 제한된 값은 만족하지 못하였지만 EPRI 제한값은 만족하는 것으로 나타났다.

2.3.2 전기장 복사방사

14 kHz에서 1 GHz에 대한 측정값을 취득하였는데 발전소에서 측정한 자료는 MIL-Std의 제한값을 만족하는 것으로 나타났다. 가장 높게 측정된 값은 100 ~ 200 MHz부근에서 132 dB μ V/m로 측정되었다.

2.3.3 자기장 복사방사

발전소 전출력, 가압경수형, B&W형 및 케이블 분배실 등이 상대적으로 높은 값이 측정되었고 그 차이는 10 ~ 20 dB 정도이었다. 주파수 범위 100 ~ 1000 kHz에서 90 ~ 105 dBpT가 측정되었다.

4. 측정 결과 고찰

고리 1호기 전자기 환경측정값과 미국내 원자력 발전소에 대한 ORNL 및 EPRI가 측정한 전도방사 및 복사방사 전자기 환경 측정값을 하나의 그래프로 비교하였다. 전도방사 측정값은 고리 1호기 측정값이 ORNL 및 EPRI에서 측정한 값보다 평균 20 dB 정도 낮은 값임이 확인되었으며 모든 발전소의 측정값이 발전소에 설치될 기기의 전자기 감응값보다는 상당히 낮은 값을 나타내었다.

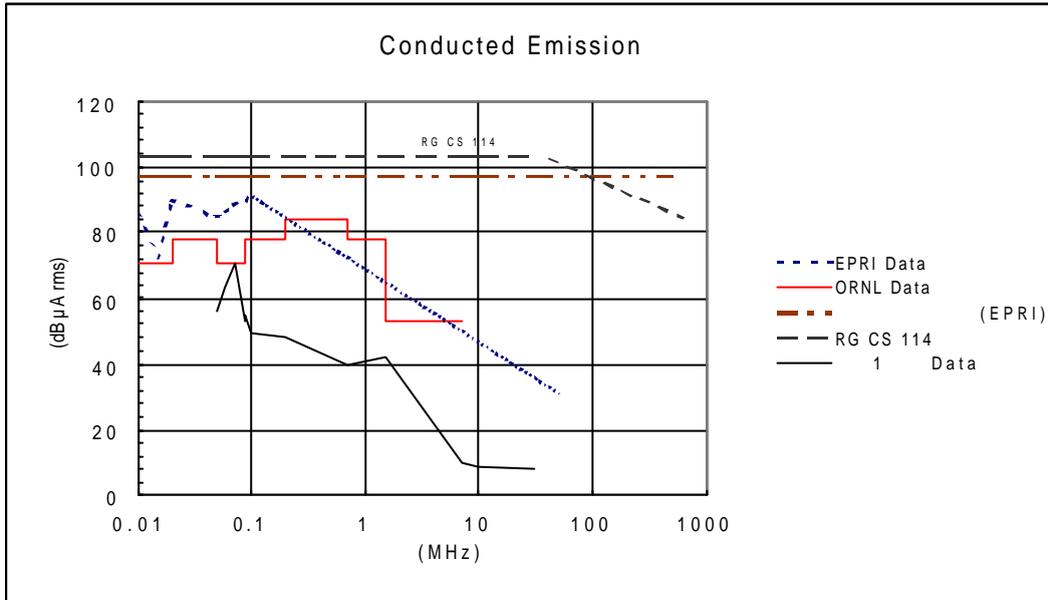


그림 2) 원자력발전소 전도방사 측정값

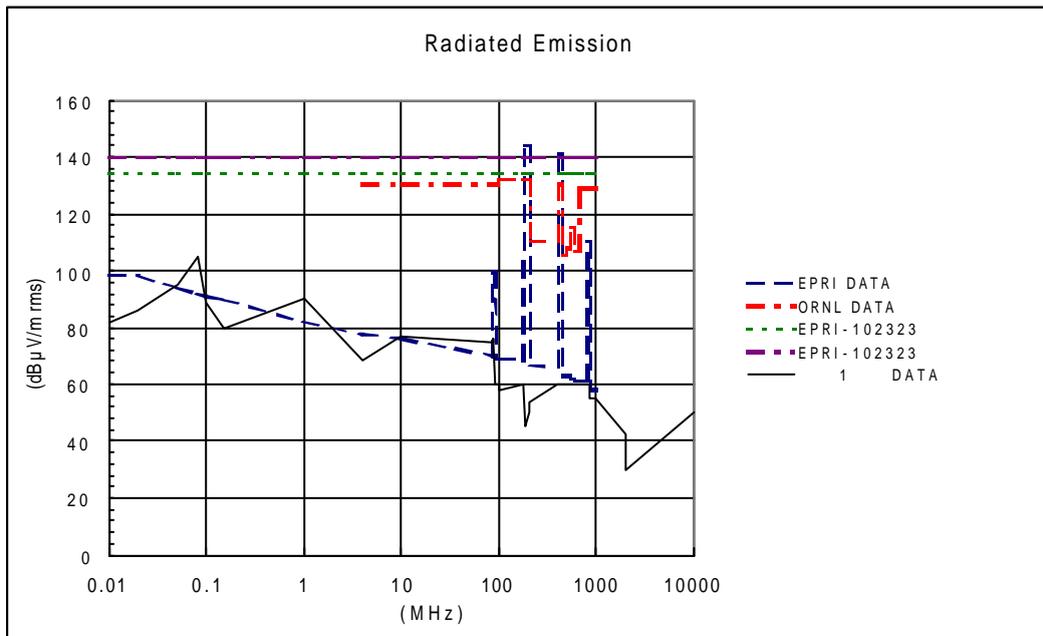


그림 3) 원자력발전소 복사방사 측정값

복사방사 측정값은 고리 1호기와 EPRI 측정값과 아주 유사한 값을 나타내고 있다. 복사방사 측정값도 발전소의 감응제한값보다는 상당히 여유가 있음을 보여준다. 예외적으로 발전소 보수용 휴대전화 사용시 휴대전화기 사용 주파수대에서는 감응제한값을 초과함을 보이고 있다.

5. 결론

국내 및 미국의 원자력발전소 전자기 환경 조사내용 분석 결과 국내 원자력발전소 전자기 환경이 미국의 여러 발전소 전자기 환경과 큰 차이가 없음이 확인되었으므로 국내 원자력발전소 전자기 환경검증시 미국의 ORNL 및 EPRI가 제시한 전자기 내성 기준을 적용하여도 전자기 환경검증에 무리가 없을 것이다. 이러한 기준을 적용함으로써 발전소의 구형 기기 교체시 발전소 현장 전자기 환경조사를 생략할 수 있으므로 현장 조사에 필요한 경비와 시간을 절약할 수 있다. 앞으로는 좀더 국내 원자력발전소의 디지털 계측제어기기 안전성에 위협을 줄 것으로 예상되는 전도성 방사 노이즈의 측정과 감쇠 방안의 연구가 필요하다.

6. 참고문헌

- 1) Electromagnetic interference(EMI) test report of a site survey at Kori #1 MCR plant in Korea.
- 2) Draft Regulatory Guide DG-1029, "Guideline for Evaluating Electromagnetic and Radio-Frequency Interference in Safety-Related Instrumentation and Control Systems".
- 3) EPRI TR-102323, Jan.1997, "Guidelines for Electromagnetic Interference Testing in Power Plants".
- 4) MIL-Std 461D, Jan. 1993, "Electromagnetic Emission and Susceptibility Requirements for the Control of Electromagnetic Interference".
- 5) MIL-Std 462D, Jan. 1993, "Electromagnetic Interference Characteristics Measurement".
- 6) NUREG/CR-6431, "Recommended Electromagnetic Operating Envelopes for Safety-Related I&C Systems in Nuclear Power Plants".
- 7) NUREG/CR-6436, "Survey of Ambient Electromagnetic and Radio-Frequency Interference Levels in Nuclear Power Plants".
- 8) NUREG/CR-5941, "Technical Basis for Evaluating Electromagnetic and Radio-frequency Interference in Safety-Related I&C Systems".