

원자력발전소의 디지털 계측제어계통에 대한 전자파 장애 및 대책

구인수 · 황인구

한국원자력연구소 신형원자로개발단

1. 머리말

이제까지 원자력발전소 계측제어 시스템의 전자파 장애에 대한 규제기관의 평가는 각 사안에 따라 적당한 방법을 선정하여 수행하여 왔다. 그 동안은 대개 기기의 내성시험을 실시하여 그 내성 수준이 설치장소의 전자기 환경을 견디는 것을 입증하는 방식이었는데⁽¹⁾ 최근 들어 아날로그 기기의 대체품으로 디지털 기기의 채택이 늘어남에 따라 일관된 규제지침을 적용할 예정이다. 이에 따라 미 원자력규제위원회와 전력연구소는 원자력발전소 전자파 장애 시험 지침을 개발하였다.^{(2),(3)} 국내에서는 이런 추세에 따라 각 원자력발전소의 현장 전자파 방출에 대한 자료 확보 및 평가를 일부 수행하였고 앞으로 계속해서 원자력발전소 기기에 대한 전자파 장애를 방지하기 위한 연구를 수행해 나갈 것이다.^{(4),(5)}

본고에서는 현재 운전중인 원자력발전소의 전자기파 방출에 대한 시험 내용을 소개하고 원자력발전소 계측제어 기기의 전자파 장애 방지를 위한 시험 항목을 소개하기로 한다.

2. 현장 전자기파 환경 측정 및 평가

가. 올진 3호기

(1) 저주파 전도성 잡음

30Hz부터 50kHz까지의 주파수범위에서 발전소 제어계통과 노심 보호 계산기의 전원입력선 잡음성분을 전류클램프를 사용하여 측정하였다. 현장 시험의 특성상 측정된 전자기파의 크기와 분포는 전원모선과 기기에서 발생하는 전자기파의 합이다. 저주파 잡음의 특징으로 전원주파수의 기수 고조파의 크기가 매우 높게 나타나고 있다. 노심 보호 계산기는 전원공급기로 스위칭 모드 전원장치를 사용하므로 1kHz 이상 영역에서 발전소 제어계통보다 대체로 높게 측정되었다.

(2) 고주파 전도성 잡음

10kHz부터 30MHz의 주파수 영역은 전압 프로브를 사용하여 저주파 전도성 잡음과 같이 발전소 제어계통과 노심 보호 연산기 전원선 잡음분포를 측정하였다. 발전소 제어계통의 경우 고주파 잡음강도가 일부주파수 영역에

서는 100dB μ V를 넘으며, 공통 모드의 잡음 강도가 차동 모드 측정치보다 크다. 노심 보호 계산기의 경우는 차동 모드의 잡음세기가 공통모드보다 다소 크게 측정되었다. 공통모드 잡음의 특징은 발생원에서 전원선을 통해 방사될 경우, 접지선을 결합경로로 하여 전도되기 때문에 연결 전원선의 길이가 길어져도 감쇠가 거의 일어나지 않는다. 그러나 차동모드 잡음의 경우는 전원선의 길이에 따라 감쇠가 커지기 때문에 차동모드에서 높은 잡음이 발생한 것은 대부분 인접한 기기 내부의 잡음일 가능성이 크다.

한편 발전소 출력의 변화에 따라 잡음의 세기는 큰 변화가 없었으며 잡음의 형태 또한 변화가 없는 것으로 분석되었다. 발전출력의 병합과정과 발전출력의 증가시에 전원과 부하의 변동으로 인한 잡음의 갑작스런 변화와 같은 현상이 일어날 가능성을 배제할 수는 없다. 그러나 이것은 아주 짧은 시간동안에 그리고 아주 장시간의 간격을 두고 갑자기 발생할 수 있기 때문에 시간영역에서 오랜 시간을 두고 장기적으로 관찰하는 것이 바람직하다.

(3) 서지 전압 측정

울진 3호기의 주파수 영역에서의 전자기파 측정과 더불어 시간영역에서의 서지전압 유무를 측정하였다. 측정 데이터를 분석한 결과 측정기간동안 특이한 과도현상이나 비정상적인 전압의 유입은 없었다. 다만 전원전압에 잡음이 중첩되어 전원전압파형이 약간 일그러지는 현상을 볼 수 있었다. 이것은 전원을 공급하는 인버터에서 유입된 잡음과 각 기기의 내부에서 발생된 잡음때문인 것으로 보인다. 시간영역에서의 서지 측정은 이벤트가 예측되는 경우는 그 전후를 측정하였다.

나. 월성 2호기

(1) 전도성 잡음

월성의 전도성 잡음의 측정은 전류 클램프를 이용하여

30Hz부터 10MHz 범위에 걸쳐 측정하였다. 공중파 측정이 주목적이었으며 전도성의 잡음은 제어 컴퓨터에서 일시적으로 측정하였다. 전원선의 기수 고주파 성분이 대체로 크다. 즉, 60Hz의 3, 5, 7배의 고조파(180Hz, 300Hz, 420Hz)에서 120dB μ A(=1A)를 넘는 값을 보였다. 제어컴퓨터 CPU 캐비닛에 공급되는 전원선의 전도잡음을 공통모드로 측정된 것은 차동 모드보다 기수 고조파의 크기가 상당히 작았다.

(2) 자계 강도(RE101)

자계강도는 자계를 발생하는 전기기기 유무와 이들 근원과의 거리와 매우 관련이 깊다. 자계강도는 전원 60Hz와 그의 기수 고조파성분이 주된 잡음세기를 이루고 있으나 30Hz~100kHz의 저주파 방사성 전자기파 관련 권고기준에 충분히 만족한다.

(3) 고주파 전계 강도(RE 102)

고주파 방사성 발산 강도는 10kHz~200MHz와 200MHz~7GHz의 두 영역으로 나누어 측정하였다. 측정 결과 내성시험 기준인 10V/m(=140dB μ V/m)에 충분히 만족하였다. 200MHz~7GHz 주파수 영역의 공중파 전계강도 측정결과 850MHz 근처에서 스파이크가 검출되었지만 크기는 110dB μ V/m 정도로서 산업용 계측 제어 장비의 작동에 영향을 미칠 가능성은 낮았다.

(4) 실외 공중파 전계강도 측정결과

계기실의 전자기 환경과 실외의 전자기 환경을 비교하기 위하여 2호기 보조발전기의 옥상에서 전자기환경을 측정하였다. 80m 정도의 거리에서 비상디젤발전기가 작동 시험중인 경우의 전자기파 분포는 200MHz~1GHz 영역에서 몇 개의 스파이크가 존재하지만 100dB μ V를 넘지 않았다.

다. 고리 2호기

(1) 120V 전원의 잡음분포

고리 2호기의 경우는 방사선 감시 계통의 현장 제어반의 전도성 잡음분포를 측정하였다.

(2) 접지선의 전도성 전자기 분포

고리 2호기의 경우에는 현장 방사선 감시기의 접지선에 흐르는 전자기 잡음을 측정하였다. 접지선은 공통모드 잡음의 결합통로가 되므로 접지선의 전자기 잡음분포는 전자기환경에 있어서 중요한 의미를 가진다. 접지선을 측정한 잡음주파수 성분은 접지에 전원 고조파가 있었으며 이는 관련회로에 모터작동 같은 부하변동에 의해 발생할 수 있다. 그러나 격납용기 출입구 옆에 설치되어 있는 현장 제어반 접지선은 전원주파수인 60Hz 및 그의 고조파 성분이 전혀 나타나지 않았고, 터빈빌딩 국부 제어반 접지선에는 세기가 작지만 60Hz 전원주파수 및 그 고조파 성분이 존재한다. 따라서 접지선의 전자기 환경은 장비와 장소에 따라 매우 다양한 형태를 보이고 있어서 발전소 접지선의 전반적인 전자기파 환경을 규명하기 위해서는 좀더 추가적인 접지선에 대한 조사가 필요하였다.

(3) Signal Line의 잡음 분포

고리 2호기 방사선 계측기에서 현장 제어반에 들어오는 검출 신호선로에서의 전류성분을 측정하였다. 이 신호 라인에서도 전원 주파수 및 그 고조파 성분이 포함되어 있었으나 접지선의 잡음크기보다는 매우 작았다.

(4) High Voltage Line의 잡음 측정

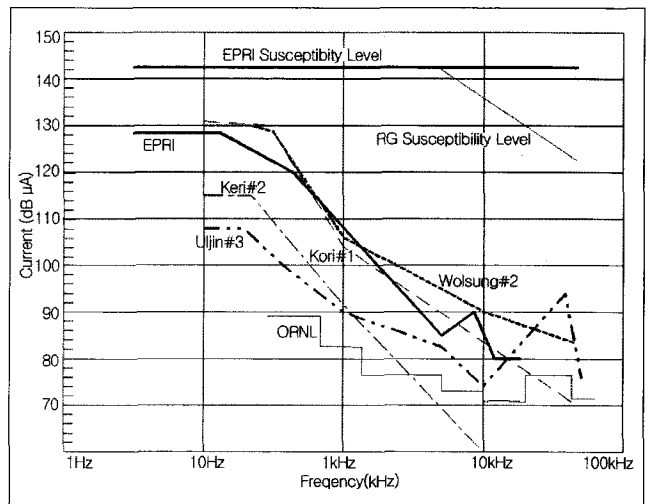
방사선 계측기로 공급되는 고전압 선로의 잡음분포

는 전원고조파 잡음성분이 전혀 없으며 고주파 성분도 매우 낮았다.

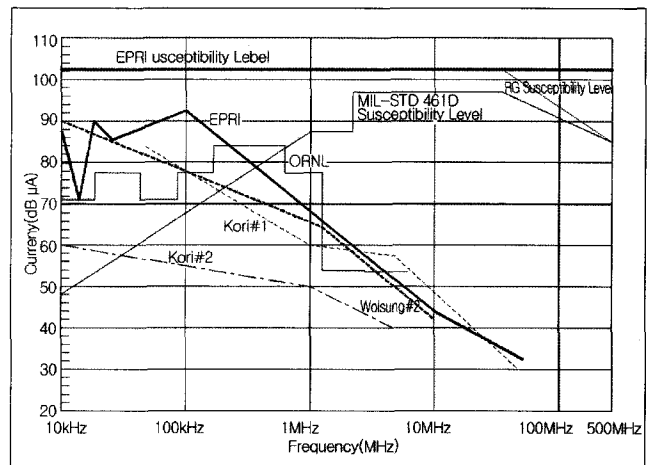
라. 측정 결과 분석

(1) 시험 결과

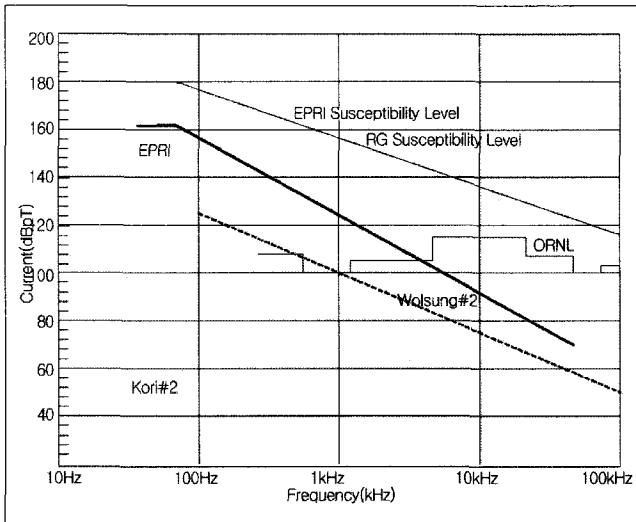
측정된 발전소 자료 평가를 위해 그림 1~그림 4에 기



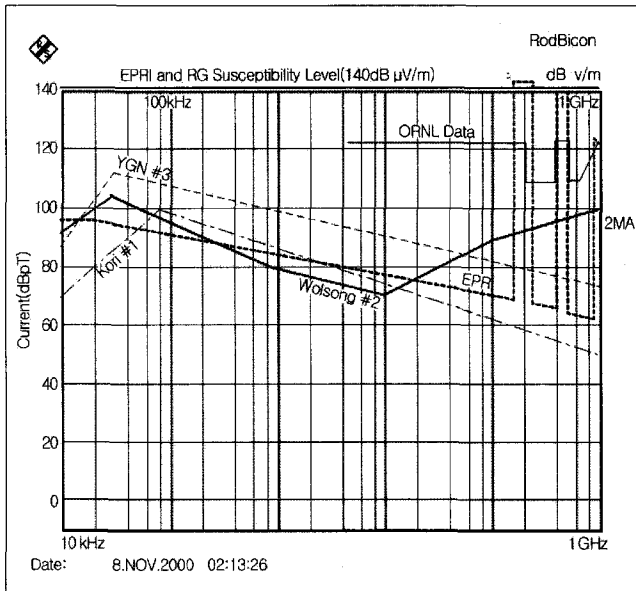
〈그림 1〉 저주파 전도성 잡음 자료 비교



〈그림 2〉 고주파 전도성 잡음 비교



〈그림 3〉 저주파 자기 강도 비교 그래프



〈그림 4〉 전계 측정 자료 비교

존의 국내의 측정 자료와 비교하였다. 그림에서 EPRI로 표시된 점선은 7개의 미국 발전소에서 측정한 전자기 수준의 최대값을 나타내며, ORNL로 표시한 것은 ORNL

이 측정한 미국 8개 발전소의 자료 중 최대치를 표시한 것이다. 또한 기존에 측정된 고리 1호기 및 영광 3호기의 전자기 환경 데이터의 최대치 분포를 함께 그래프로 나타내었다.

(2) 결과 분석

이상의 자료는 전자기파가 원자력발전소 계측제어 장비에 미치는 영향을 분석하기 위해 국의 연구 자료를 분석하고 국내 원자력발전소에 대한 전자기파 관련 자료를 수집한 것이다. 국내 발전소의 각 전자기 환경 수준이 주파수영역을 따라 형태는 비슷한 양상을 띠고 있으나, 크기에 있어서는 차이가 있음을 알 수 있다.

저주파 전도성 잡음 및 자기장의 크기를 결정하는 것은 주로 전원주파수의 고조파 성분이었다.

릴레이의 접점순간 및 유도성 부하의 차단시에 발생하는 불연속성 과도현상이나 서지전압은 각 제어시스템에 장애를 초래할 수 있다. 측정기간 동안 이러한 과도전압의 발생여부를 시간영역에서 관측하였으나 뚜렷한 서지전압이 검출되지는 않았다.

원전의 발전소 계기실에는 각종 계기 및 전기관련 기기들이 집중되어 설치되어 있고, 조명을 위한 형광등, 모터, Relay 등의 기기들이 많으므로 고주파 전계 강도에 있어서 주파수 영역에 따라서는 다소 높은 값이 측정되었으나, 장비의 내성기준으로 제시되고 있는 140dBµV/m (10V/m)에는 훨씬 못 미치고 있으므로 현재 작동되고 있는 계측제어 장비의 작동에 영향을 줄 가능성은 매우 낮다고 할 수 있다.

결과적으로 전도성 잡음의 경우 많은 선로에 있어서 전원의 고조파 특히 기수 고조파 성분이 존재하고 있으며, 고주파 방출의 경우는 일부 주파수 영역에서 실험실 검증기준을 넘고 있으나, 내성기준보다는 낮게 측정되므로 장애를 일으킬 확률은 낮다고 보여진다.

3. 시험 항목

이상의 시험은 단순히 국내 원자력 발전소의 전자파 장애에 대한 분석을 위한 초기자료 획득 수준이었다. 그러나 관련 보고서를 종합할 때 적어도 다음의 전자기파 장애 대처를 위한 시험은 거쳐야 할 것으로 판단된다.

가. 내성 시험

전자파 신호	원 인	내 성 시험
연속 고주파 방사	휴대용 송수신기, 상용 방송, 휴대폰, 보안설비 등	IEC-61000-4-3 IEEE ANSI C63.12
연속 저주파 전도	유도성 부하변동, 스위칭모드 전원 공급기, 배전계통의 상호 유도 및 용량결합	IEC-61000-4-6
연속 고주파 전도	디지털 기기, 인버터, 스위칭소자	IEC-61000-4-6 IEEE ANSI C63.12
서 지	번개, 송전계통 과도 전압	IEC-61000-4-5 IEEE ANSI C62.45
임펄스	릴레이 동작, 스위치	IEC-61000-4-4

나. 전자파 방출 제한

시 험 항 목	주파수 범위	방 출 한 도
전도성 저주파 방출	30Hz-50kHz	122dB μ A(0-1kHz) 78dB μ A(50kHz)
전도성 고주파 방출	50MHz-400MHz	60dB μ A(100kHz) 40dB μ A(10MHz) 40dB μ A(400MHz)
저주파 자기장 복사 방출	30Hz-100kHz	160dBpT(70Hz) 96dBpT(100kHz)
고주파 전기장 복사 방출	10kHz-1GHz	80dB μ V/m(10kHz) 80dB μ V/m(1MHz) 60dB μ V/m(1GHz)

4. 맺음말

국내 원자력발전소의 전자기파 환경은 미국의 발전소에 대한 측정치와 대체로 크기와 양상이 비슷하다. 따라서 미 원자력규제위원회와 전력연구소의 권고기준을 만족하는 기기의 원전 적용은 타당하다. 그러나 방출시험과 내성시험을 하는 것만으로 모든 전자기파 장애가 방지된다는 보장은 없다. 발전소의 전자기장애 발생 가능요인을 가능한 한 줄이는 것과 함께 여러 가지 효과적인 EMI 대책기술을 기기의 제작, 설계 및 설치요건 등에 적용하여 장애가 유발될 수 있는 확률을 최소화해야 할 것이다.

〈참고문헌〉

- (1) Lee, E.J., Understanding of EMI/RFI and Digital Updates, The American Nuclear Society International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human Machine Interface Technologies, Pennsylvania State University, USA, Volume II, pp. 1181-1187, 1996
- (2) EPRI-TR-102323-R1, Guidelines for Electromagnetic Interference Testing in Power Plants, Rev.1, EPRI, January 1997
- (3) Regulatory Guide 1.180, Guidelines for Evaluating Electromagnetic and Radio-frequency Interference in Safety-related Instrumentation and Control Systems, NRC, January 2000
- (4) 구철수 외, 원자력발전소 전자기 환경, 99춘계원자력학회 학술발표회, 포항, 1999
- (5) 황인구 외, 원자력 발전소의 전자기 환경 분석, 2001 원자력추진 학술발표회, 수원, 2001. 10