

### 원자력발전소 주 제어실 전자기 방사성잡음 측정

구 철수  
한국원자력안전기술원

## A Measurement of Electromagnetic Emission at Main Control Room in Nuclear Power Plant.

Go, Cheolsoo  
Korea Institute of Nuclear Safety

**Abstract** - 원자력 발전소 방사성 잡음 규제기준을 설정하기 위하여 발전소 내의 전자파 잡음 환경을 측정하였다. 대상 발전소는 1000 MW급 울진 원자력발전소 3호기로 발전소 출력 0 %에서부터 100 %까지 10일간 주 제어실 및 전기설비실 주변을 대상으로 US NRC Reg. Guide 1.180 및 Mil-Std-462D를 측정기준으로 하여 전기장 10 kHz ~ 7 GHz, 자기장 30 Hz ~ 100 kHz의 방사성 잡음을 측정하였다. 측정결과를 최소자승법을 이용한 회귀분석으로 잡음 한계값을 유도하여 미국 EPRI 및 NRC 측정결과와 비교한 결과 자기장의 경우 낮은 한계값을 보였고 전기장의 경우는 20 dB 이상 높게 결정되었다.

### 1. 서 론

원자력 발전소는 어떠한 경우에도 안전하게 정지할 수 있어야 한다. 원자로의 설계기준에 따른 사고가 발생하면 안전관련 기기들은 사고로 인한 발전소 내부 및 외부의 환경에 방사능 누출로 인한 사고를 최소화하고 사고가 확대되지 않도록 안전관련 기기가 설계된 대로 동작하여야 한다. 원자력 발전소의 경우는 이러한 안전관련 기기들을 이중으로 다중화하여 한쪽 안전관련기기가 고장이 나더라도 고장나지 않은 다른 쪽의 안전관련기기가 동작하여 안전하게 발전소를 정지시킬 수 있도록 설계되어 있다. 그러나 전자기파 잡음과 같은 유형의 고장인자들은 이들 다중기기에 대한 공통모드 고장을 유발할 수 있다. 이러한 공통모드 고장을 일으키는 원인을 제거하지 않기 위해 원자력 발전소에 들어가는 안전관련 기기들은 전자기파 잡음에 충분한 내성을 가져야 하며 다른 기기 동작에 미치는 영향을 최소화하여야 한다.

안전관련 기기 및 사고시 안전관련 기기의 동작에 영향을 미치는 비 안전관련 기기도 전자기파 잡음에 대한 충분한 내성과 주변기기의 내성을 충분하게 만족할 수 있는 자체 방출 방사성 잡음준위를 유지해야 한다. 전자기파 잡음에 대한 기기들의 안전성과 건전성을 확인하기 위하여는 설치 전 시험을 수행하는데 이러한 시험의 기준은 일반 상용제품에 적용하는 기준과는 달리 원자력 발전소의 전자기파 환경을 고려하여야 한다. 가능한 많은 원자력발전소 현장의 전자기파 환경을 측정하여 시험 기준을 설정하는 것이 정확할 것이다.

본 논문에서는 원자력 발전소에 설치되는 안전관련 기기들에 대한 전자기파 검증시험에 적용할 시험기준을 설정하기 위하여 울진 3호기 주 제어실 주변의 방사성잡음을 측정하여 외국에서 제시하고 있는 기준과 비교한 결과를 제시하였다. 앞으로 좀더 많은 전자기파 환경측정 자료를 확보하여 원자력발전소에 설치되는 기기들에 대한 좀더 안전하고 신뢰성있는 시험이 되도록 하여야 할 것이다.

### 2. 본 론

#### 2.1 방사잡음의 측정

경북 울진 원자력발전소 3호기의 주 제어실 (MCR ; Main Control Room)에서 전자파 장애에 민감할 것으로 예상되는 발전소감시계통, 노심 보호 연산기케비넷, 발전소보호계통들과, 전기 설비실, 발전소 제어 계통, 그리고 모터-발전기실에 설치되어 있는 전력 개폐 장치 기에서 발생하는 방사성 전자파 잡음을 측정하고 분석하였다.

발전소의 출력과 관련설비의 동작조건에 따른 방사잡음의 특성을 함께 파악하기 위해 측정은 발전소의 출력이 0 % 인 정지기간 열출과, 출력이 100 % 인 정상동작 기간 열출동안 반복적으로 수행되며, EPRI TR-102323-R1 과 USNRC Reg.Guide 1.180 그리고 MIL-STD-462D에서 규정한 방사잡음 측정항목 및 범위를 참고로 하여 30 Hz ~ 100 kHz의 자기장 방사잡음과 10 kHz ~ 7 GHz의 전기장 방사잡음을 측정하였다. 측정된 600여개의 데이터를 분석하여 최대 전자파 잡음 레벨과 주파수특성을 구하였고, 최소자승법을 이용한 회귀분석으로 원자력발전소 제어시스템의 방사잡음의 한계치를 유도하여 EPRI와 USNRC에서 제시한 한계치와 비교하였다.

#### 2.1.1 측정지점 선정

국내 가동중 원자력발전소의 중에서 가장 최근에 건설된 울진 원자력발전소 3호기를 선택하여 주 제어실에서 전자파 장애에 민감할 것으로 예상되는 발전소 감시계통, 노심 보호연산기, 발전소 보호계통들과, 전기설비실, 발전소 제어계통, 그리고 모터발전기실에 설치되어 있는 전력 개폐 장치기 부근을 측정지점으로 설정하였다. 이 설비들이 선정된 것은 이들이 발전소자를 사용하는 디지털 회로를 채택하고 있고, 인버터로부터 전원을 받기 때문에 주 제어실에서 가장 전자파 장애에 민감하고 방사성 잡음을 발생시킬 것으로 예상되었기 때문이다. 그림 1은 발전소의 주 제어실, 전기설비실 및 모터발전실에서 전·자기장 방사잡음의 측정을 위한 안테나 설치지점 5곳(●)을 나타낸다.

#### 2.1.2 설비 동작 및 주변환경

발전소의 출력과 관련설비의 동작조건에 따른 방사성 잡음의 특성을 함께 파악하기 위해 측정은 1000 MW급 발전소의 출력이 0 %인 정지기간 열출과, 출력이 100 %인 정상동작기간 열출동안 반복적으로 수행되었다. 발전소의 출력이 변화하는 동안에 측정 대상설비 및 관련기기의 동작은 임의로 조정하기 어렵기 때문에 이 설비들은 측정기간 동안에 모두 정상동작을 유지하였다. 주변 측정환경에서의 온도 및 습도의 요건은 측정결과와 신뢰성에 영향을 미칠 수 있기 때문에 악 조건의 환경하에서 측정은 피하도록 하였다.

- (1) 온도 : 10 ~ 40 °C
- (2) 습도 : 75 % 이하

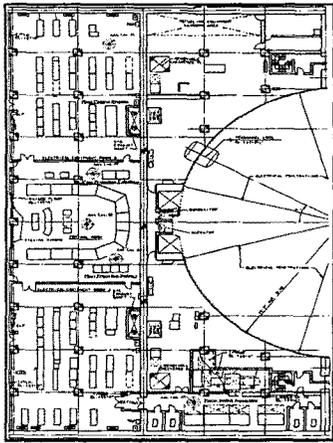


그림 1. 전자기장 방사잡음 측정지점

### 2.1.3 측정 항목 및 범위

방사잡음의 측정항목 및 범위는 EPRI TR-102323-R1 과 USNRC Guide 1.180 그리고 MIL-STD-462D 에서 규정한 방사성 잡음 측정항목 및 범위를 참고로 하고, 현장에서 측정이 가능한 조건과 측정주파수 범위를 결정하였다.

(1) 자기장 방사잡음: 30 Hz ~ 100 kHz 의 자기장 측정  
 (2) 전기장 방사잡음: 10 kHz ~ 7 GHz 의 전기장 측정  
 방사 전자파 잡음 측정 결과에 대한 측정 불확도는 95 % 의 신뢰수준에서 주파수 대역별로 그리고 측정 안테나에 따라 다음과 같이 계산되었다. 이 결과는 시험기관인 산업기술시험원의 불확실도 평가 지침서에 따랐다.

- (1) 30 Hz ~ 100 kHz :  $\pm 2.86$  dB
- (2) 10 kHz ~ 30 MHz :  $\pm 4.64$  dB
- (3) 30 MHz ~ 300 MHz :  $\pm 4.84$  dB(수평),  $\pm 5.08$  dB(수직)
- (4) 300 MHz ~ 1 GHz :  $\pm 4.82$  dB(수평),  $\pm 4.81$  dB(수직)
- (5) 1 GHz ~ 7 GHz :  $\pm 3.54$  dB(수평),  $\pm 3.54$  dB(수직)

### 2.1.4 현장 측정 방법

발전소 현장에서의 방사잡음 측정절차는 산업기술시험원 전자파 시험업무 절차서에 수립된 방법에 따라 수행되었고, 주파수 범위에 따른 측정수신기의 대역폭 및 최소 측정시간은 MIL-STD-461D 와 MIL-STD-462D 에서 규정한 조건대로 설정하였다.

(1) 자기장 방사잡음 측정절차(주파수 범위 : 30 Hz ~ 100 kHz)

이 측정절차는 30 Hz에서 100 kHz까지의 주파수 범위에서 주 제어실의 발전소 감시 계통, 노심 보호 연산기, 발전소 보호계통과, 전기설비실, 발전소 제어계통, 그리고 모터발전기실에 설치되어 있는 전력 개폐 장치기에서 발생하는 자기장 방사잡음 및 외부로부터 발생되어 들어오는 자기장 방사잡음을 측정하였다.

(2) 전기장 방사잡음 측정절차(주파수 범위 : 10 kHz ~ 7 GHz)

이 측정절차는 10 kHz에서 7 GHz까지의 주파수 범위에서 각 실에서 선정된 계측제어기기로부터 발생하는 전자파 및 외부로부터 발생되어 발전소 내부로 유입되는 모든 방사성 잡음에 대하여 적용한다. Rod, Biconical, Log-periodic 그리고 Horn 안테나를 각 주파수 대역에 맞도록 선택하여 측정한다. 지정된 측정지점에서는 MIL-STD-462D 에 의해 Rod 안테나는 접지면에 그대

로 놓고, 그 이외의 안테나는 높이와 방향을 변화시켜 가장 최대방사가 측정되는 경우를 찾아 반복적으로 데이터를 수집하였다. 특히 안테나의 특성에 의해 10 kHz ~ 30 MHz 까지는 방사 전기장의 수직성분만을 측정하고, 30 MHz ~ 7 GHz 에 대해서는 수평 및 수직편파에 대해 모두 측정하였다.

### 2.2 측정 결과 분석

발전소의 출력이 정지한 기간 열흘과 최대 발전출력을 내는 기간 열흘동안 취득한 전·자기장 방사잡음의 측정 데이터는 약 600여개에 이른다. Loop 센서를 이용하여 주 제어실내의 여러지점에서 측정된 자기장 방사잡음의 최대값 중 특히 모터발전기실의 모터발전제어반에서 자기장 방사가 많이 측정되었다. 30 Hz ~ 100 kHz 주파수 범위에서 측정된 방사잡음을 살펴보면, 측정지점으로부터 50 cm 거리에서 측정된 최대 잡음에 비해 7 cm 거리에서 10 dB 이상 더 높게 측정되었다. 하지만 50 cm 거리에서 측정된 방사치가 USNRC 에서 제공한 한계치를 12 dB 정도 넘었다. 저주파 복사잡음의 특색은 주로 60 Hz 전원주파수와 이것의 우수 및 기수 고조파들로 이루어지고, 우수보다 기수 고조파의 세기가 더 높게 발생되었다.

Rod 안테나를 사용하여 10 kHz ~ 30 MHz 범위에서 측정된 복사잡음의 측정결과를 보면 잡음이 광대역에 걸쳐 나타났으며, 대부분의 주파수 대역에서 각 한계치를 초과하고 있고, 700 kHz 부근에서 EPRI 와 USNRC 한계치를 각각 29 dB 와 43 dB 정도 초과하고 있다. 이것은 계측제어시스템(특히 노심보호연산기) 내부의 Switching Mode Power Supply 에서 발생된 스위칭 동작주파수 및 그것의 고조파에 의한 영향으로 분석되며, 이러한 높은 잡음은 내·외부회로, 특히 마이크로 프로세서와 같은 회로의 클럭 동기 주파수에 영향을 미칠 수 있다.

Biconical 안테나와 Log-periodic 안테나를 사용하여 30 MHz ~ 1 GHz 범위에서 전기장 방사잡음을 측정 한 측정결과를 보면 100 MHz 부근을 제외하고, 대부분 주파수범위에서 EPRI 의 한계치를 만족하고 있으나 USNRC 의 한계치에는 4 ~ 5 dB 정도 초과하고 있다. 협대역의 잡음은 전기설비실 및 주 제어실에 많이 설치되어 있는 공기추출식 연기감지기의 디지털 회로에서 주로 발생되었으며, 제어실비의 내·외부적으로 영향을 미칠 수 있기 때문에 차폐장치 등을 이용하여 잡음의 세기를 낮추기 위한 대책이 요구된다.

높은 주파수(1 GHz 이상) 영역에서는 주 제어실내의 급속파편감시계통(Loosed Part Monitoring System) 등의 여러 디지털 기기 또는 퍼스널 컴퓨터의 영향으로 불연속적인 잡음이 자주 측정되었다. 하지만 최대값의 레벨은 70 dB 미만이었다. EPRI 및 USNRC 규정에서는 1 GHz 까지만 측정하도록 되어있어 여기서는 MIL-STD-461D의 한계치와 비교하였다. 한편 발전소 출력의 변화에 따라 잡음의 세기는 큰 변화가 없었으며 잡음의 형태 또한 변화가 없는 것으로 분석되었다.

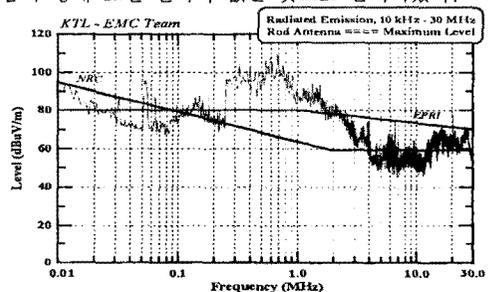


그림 2. 전기장 방사잡음(10 kHz ~ 30 MHz)의 최대치

### 2.3 방사잡음 한계치의 유도

현재 원자력발전소에 설치되는 안전 및 안전관련 시스템에 대한 EMC 시험은 미국에서 원자력 설비에 대한 EMC 시험기준으로 사용되거나 권고되고 있는 US NRC REG. Guide 1.180이나 EPRI TR-102323-R1을 따르고 있다. 이 시험규격은 미국의 대표적 원자력발전소에서 측정된 데이터를 기반으로 제정되었기 때문에 국내에서도 현재 국내 원자력발전소를 대상으로 취득한 자료를 토대로 방사잡음의 한계치를 구하여 USNRC나 EPRI에서 제시한 한계치와 비교해 적용여부의 가능성을 고려해 볼 필요가 있다. 현재 취득한 데이터는 국내 원자력발전소 전체를 대상으로 취득한 자료라 아니기 때문에 전체 발전소에 적용하기에는 다소 무리가 있다 하더라도 가장 최근에 건설된 발전소를 모델로 선정하였기 때문에 이 측정데이터를 이용하는 것도 의미가 크다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 방사잡음 한계치를 최소자승법을 적용한 회귀분석을 통하여 유도하였다.

#### 2.3.1 유도된 한계치의 비교

유도된 한계치는 국내의 설치환경을 고려한 것으로 USNRC와 EPRI에서 제시한 한계치와 비교해 볼 때 형성된 유형에 약간의 차이가 있음을 알 수 있다. 그림 3에 정리된 자기장 방사잡음의 한계치 비교를 보면 7 cm의 거리에서 측정된 경우, 본 연구에서 제시된 한계치와 USNRC의 한계치와는 유형이 비슷하나 EPRI의 한계치와는 다른 유형을 갖는다. 또한 본 연구에서 제시된 한계치가 가장 낮아 자기장 방사잡음은 미국 원자력발전소 보다 더 낮다는 것을 알 수 있다. 또한 그림 4에서 Rod 안테나로 측정된 30 MHz 이하의 전기장 방사잡음은 상당한 양의 최대값 측정결과로 인해 한계치는 USNRC나 EPRI에 비해 20 dB 이상 높게 결정되었다. 그림 5에서는 전원선이나 신호선을 통해 전도되기보다는 공간을 통해 복사되는 양이 더 지배적인 30 MHz 이상의 전기장 방사잡음이 USNRC나 EPRI에서 제시한 한계값과 비슷함을 보여준다.

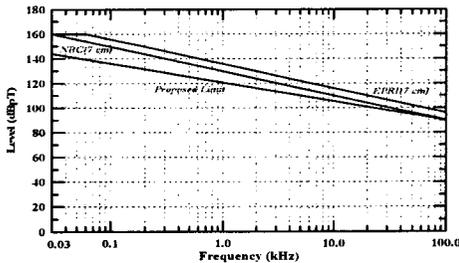


그림 3. 자기장 방사잡음(30Hz ~ 100 kHz)의 한계치 비교

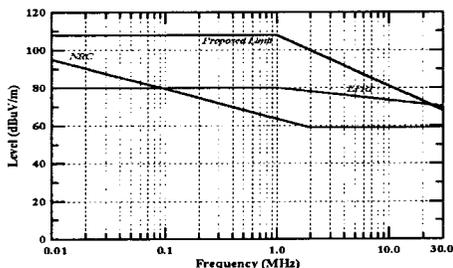


그림 4. 전기장 방사잡음(10 kHz ~ 30MHz)의 한계치 비교

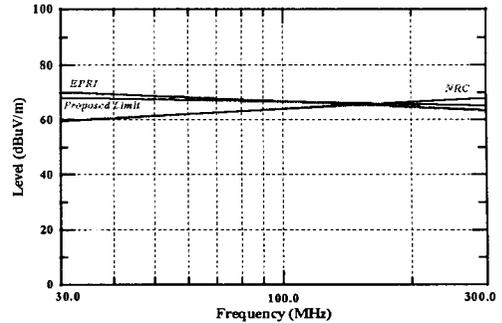


그림 5. 전기장 방사잡음(30 MHz ~ 300 MHz)의 한계치 비교

## 3. 결 론

울진 원자력발전소 3호기의 주 제어실에서 전자파 장애에 민감하거나, 전자파를 많이 발생시킬 것으로 예상되는 디지털 계측 및 제어 시스템들을 대상으로 1, 2차에 걸쳐 방사잡음을 측정하고 분석한 결과 EPRI 기준으로 29 dB 이상을 초과하는 높은 잡음도 검출되었으며 발전소 출력과 잡음의 세기와 형태는 큰 관계가 없는 것으로 분석되었다. 방사잡음의 한계치를 유도하여 EPRI와 USNRC에서 제시한 한계치와 비교한 결과 자기장 방사잡음의 경우 USNRC와 비슷한 유형과 상대적으로 낮은 한계치로 평가되었으며, 30 MHz 이하의 전기장 방사인 경우는 기존의 한계치들보다 20 dB 이상 높게 결정되었다.

#### (참 고 문 헌)

- (1) EPRI TR-102323-R1, "Guidelines for electromagnetic interference testing in power plants", 1997.
- (2) USNRC REG. Guide 1.180, "Guidelines for evaluating electromagnetic and radio-frequency interference in safety-related instrumentation and control systems", 2000.
- (3) MIL-Std-461D, "Electromagnetic Emission and Susceptibility Requirements for the Control of Electromagnetic Interference", 1993.
- (4) MIL-Std-462D, "Measurement of Electromagnetic Interference Characteristics", 1993.
- (5) 산업기술시험원, "전자파 시험 업무 절차서", P226, 1999.
- (6) USNRC NUREG/CR-6436, "Survey of ambient electromagnetic and radio-frequency interference levels in nuclear power plants", 1996.