

울진 원자력발전소 주 제어실에서의 전도성 잡음 측정 및 분석

Measurement and Analysis of Conducted Noise at Main Control Room in Uljin Nuclear Power Plant

황인구*, 구철수**, 송태승*** 조원서***, 이규봉****

한국원자력연구소*
대전시 유성구 덕진동 150*
한국원자력안전기술원**
대전시 유성구 구성동 19**
산업기술시험원***
서울시 구로구 구로동 222***
한국전력공사 울진 원자력본부****
경북 울진군 북면 부구리****

요 약

본 논문에서는 울진 원자력발전소 3호기의 주 제어실에 설치되어 있는 발전소 제어시스템과 노심 보호 연산기의 전원단에서 연속성 전도잡음과 불연속성 과도현상 및 서지를 측정하고 분석하였다. 연속성 전도잡음의 크기 및 형태는 미 원자력 발전소들의 잡음분포 및 크기와 비슷하였으며, 측정기간 동안에 불연속성 과도현상(Surge Transient)은 발견되지 않았다. 측정된 전도잡음 결과를 최소자승법을 이용한 회귀분석으로 국내에 적용 가능한 전도잡음 한계치를 유도하고 NRC와 미국 전력연구원(EPRI ; Electric Power Research Institute)에서 제시한 한계치와 비교하였다.

Abstract

In this paper, continuous conducted noise and discontinuous transient or surge at the power ports of the plant control system (PCS) and the core protection calculator (CPC) installed at #3 main control room (MCR) in Uljin nuclear power plant were measured and analyzed. The measured values and profiles for conducted noise were similar to those of nuclear plants gathered in US, and transients including surge were not found during measurements. The conducted limits, which is applicable to Korean standard, using the recursive least square analysis technique were derived from measured data. The limits obtained were compared with those of NRC and Electric Power Research Institute (EPRI).

1. 개 요

최근 원자력 발전소에서 발전소의 보호 및 안전설비로 보다 진보된 아날로그 시스템과 마이크로프로세서가 내장된 디지털 시스템의 사용이 증가하면서 이로 인한 원자력 발전소 환경에서의 추가적인 잡음원의 형성과 이미 존재하고 있는 전기적인 잡음의 내성에 관한 관심이 높아지고 있다. 이 시스템들은 신뢰성과 기능의 향상을 위해 고속의 스위칭 소자를 사용하여 고속화로 설계되어 있어, 동작과정에서 필연적으로 기존의 잡음형태와 다른 넓은 주파수 범위에서 높은 전자파

를 방출시킨다. 한편 이러한 기기들은 상대적으로 고 집적화 및 저 전력화로 미세한 신호를 다루는 경우가 많아 잡음에 대한 내성이 떨어지고 있다. 또한 발전소 내에는 통신 및 방송 등 외부 전자파의 유입과 더불어 자연적인 현상으로 발생하는 뇌방전 서지와, 전력계통내의 선로 혹은 설비의 정상적인 또는 비정상적인 개폐작용에 의한 개폐 서지에 이르기까지 다양한 잡음이 존재하고 있어 각종 전자기기 및 제어시스템에 오동작이나 파손 등 여러 가지 전자파 장애(EMI ; Electromagnetic Interference)를 유발시킬 수 있다. 이러한 장애는 원자력 발전소뿐만 아니라 주거환경, 의료분야 등 산업전반에 걸쳐 발생될 수 있으며 국민생활과 안전에 큰 위협이 될 수 있기 때문에 그 대책이 필요하다[1-6]. 각 기기가 설치환경의 전자파 장애로부터 적절한 내성(immunity)을 갖고 허용가능한 정도의 전자파를 방사하도록 설계된다면 이러한 문제는 해결될 수 있다. 이것은 전자파 적합성(EMC ; Electromagnetic Compatibility)시험을 통하여 검증될 수 있기 때문에 미국의 원자력 규제위원회(NRC ; Nuclear Regulatory Commission)와 전력연구원(EPRI ; Electric Power Research Institute)에서는 원자력 발전소에 설치되는 안전등급 기기들에 대한 전자파 적합성 기준을 규정하고 시험을 거치도록 요구하고 있다[6, 7].

본 연구에서는 울진 원자력발전소 3호기의 주 제어실(MCR ; Main Control Room)에서 전자파 장애에 민감할 것으로 예상되는 발전소 제어 시스템(PCS ; Plant Control System)과 노심 보호 연산기(CPC ; Core Protection Calculator)를 대상으로 각각의 전원단에서 전원선을 통해 외부로부터 유입되는 그리고 각 시스템에서 발생되어 타 시스템에 전도되어 영향을 미칠 수 있는 전도성 전자파 잡음을 측정하였다. 측정된 400여개의 데이터를 분석하여 최대 전자파 잡음 레벨과 주파수특성을 구하였고, 최소자승법을 이용한 회귀분석[8]으로 원자력 발전소 제어시스템의 전도성 방사의 한계치를 유도하여 EPRI[6]와 NRC[7]에서 제시한 장비에 대한 전도성 방사 한계치와 비교하여 보았다. 또한 릴레이의 점점순간 및 유도성 부하의 차단시에 발생하는 불연속성 과도현상이나 서지를 시간영역(time-domain)에서 관측하고 분석하였다.

2. 측정범위 및 방법

본 연구에서는 1차로 전원선을 통하여 전도되는 연속성 잡음과 스위칭 등으로 인한 과도 현상 및 서지의 측정을 중심으로 수행하였다. 연속성 및 불연속성 전도잡음은 내부회로의 구성이나 기능면에서 구분될 수 있는 PCS 10대와 CPC 2대 등 모두 12대를 선정하여 그들의 전원 입력단을 측정지점으로 하여 측정하였다. 또한 측정은 발전소의 출력변화에 따른 잡음의 특성변화도 함께 파악하기 위해 1000 MW급 발전소의 출력이 0%인 시점에서 시작하여 출력을 100%까지 상승시키는 기간과 100% 정상출력을 내는 기간 모두를 포함하여 2주일 동안 연속으로 이루어 졌다. 그림 1은 측정기간 중에 발전소의 출력에 관한 그래프를 나타낸다. 측정 주파수범위는 EPRI TR-102323-R1[6]과 NRC Guide 1.180[7]에서 규정한 전도성 방사 측정주파수를 참고로 하여 30 Hz에서 50 kHz까지는 전도성 잡음전류를 측정하고 10 kHz에서 30 MHz까지는 전도성 잡음전압을 측정한다. 주파수 범위에 따른 측정수신기의 대역폭 및 최소 측정시간은 MIL-STD-461D[9]와 MIL-STD-462D[10]에서 규정한 조건대로 설정하였으며, 그 조건들은 표 1과 같다. 모든 측정장비의 교정과 측정절차는 산업기술시험원 전자파 시험업무 절차서 P226[11]을 따라서 수행되며 다음절에서 설명된다. 측정값은 연속성 전도잡음인 경우 첨두치(Peak value)로, 불연속성 서지는 실효치

(RMS value)로 표현한다.

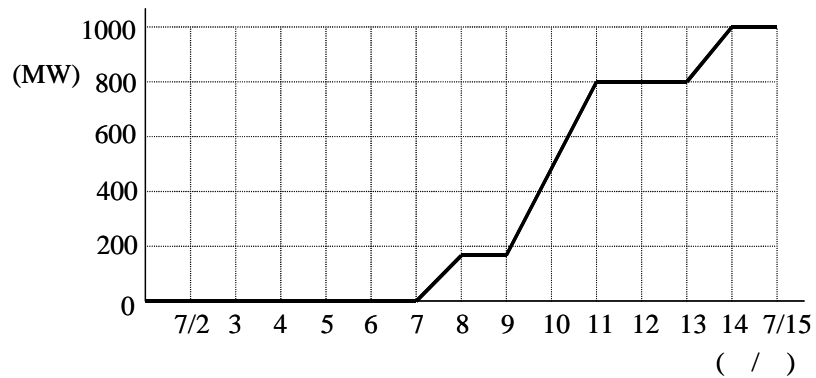


그림 1. 측정기간 중 발전소 출력 현황

표 1. 측정주파수에 따른 대역폭과 측정시간

주파수 범위	6 dB 대역폭	체제시간	최소 측정시간
30 Hz ~ 1 kHz	10 Hz	0.15 sec	0.015 sec/Hz
1 kHz ~ 10 kHz	100 Hz	0.015 sec	0.15 sec/kHz
10 kHz ~ 250 kHz	1 kHz	0.015 sec	0.015 sec/kHz
250 kHz ~ 30 MHz	10 kHz	0.015 sec	1.5 sec/MHz

2.1 저주파 전도잡음 (주파수 범위 30 Hz ~ 50 kHz)

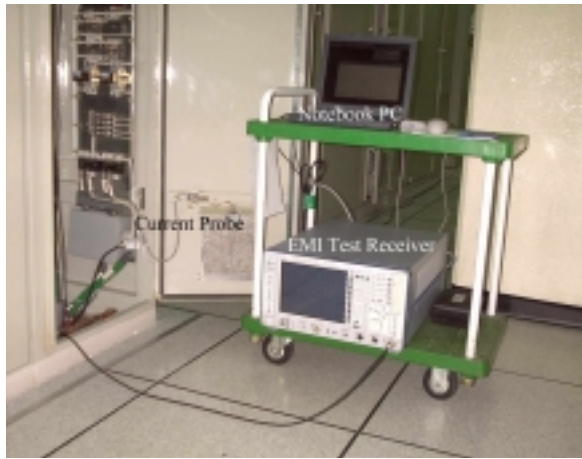
이 측정은 30 Hz에서 50 kHz까지의 주파수 범위에서 CPC 및 PCS의 전원 입력단에서 전원선을 통하여 방사되거나 외부로부터 유입되는 저주파 전도성 잡음의 특성을 파악하기 위한 것이며 측정에 사용되는 장비는 표 2와 같다.

표 2. 저주파 전도잡음 측정장비

번호	장비명	모델명	기능 및 사양
1	EMI Test Receiver	ESI7 Rohde Schwartz	20 Hz ~ 7 GHz
2	Current Probe	EZ-17 Rohde Schwartz	5 Hz ~ 2 MHz
3	Notebook Computer	Sens 670 Samsung	장비 Control 및 Data 저장

측정시에 전류 프로브는 가능하면 측정대상 전원선 길이의 1m 이내에서 하나의 다발로 묶어서 체결할 수 있도록 한다. PCS의 경우 접지선은 합체 접지의 전원 접지선이 없어 전류 프로브로 활성선(Live), 중성선(Neutral) 및 접지선을 한꺼번에 체결하기 어렵다. 따라서 PCS에서는 활성선

과 접지간의 공통모드(Common mode) 잡음 측정은 제외하고 활성선과 중성선간의 차동모드(Differential mode) 잡음만을 측정한다. CPC의 경우에는 전원 접지선을 포함하여 다발로 체결할 수 있으므로 공통 및 차동모드에 대한 잡음, 두 모드 다 측정이 가능하다. 그림 2에서는 실제적인 측정을 위한 장비배치 및 측정장면을 보여준다.



(a) PCS에서의 차동모드 측정



(b) CPC에서의 공통모드 측정

그림 2. 저주파 전도잡음 측정배치 및 측정장면

2.2 고주파 연속성 전도잡음(주파수 범위 10 kHz ~ 30 MHz)

이 측정은 10 kHz에서 30 MHz까지의 주파수 범위에서 CPC 및 PCS의 전원 입력단에서 전원선을 통하여 방사되거나 외부로부터 유입되는 고주파 전도성 잡음의 특성을 파악하기 위한 것이며 측정에 사용되는 장비는 표 3과 같다.

표 3. 고주파 전도잡음 측정장비

번호	장비명	모델명	기능 및 사양
1	EMI Test Receiver	ESI7 Rohde Schwartz	20 Hz ~ 7 GHz
2	Passive(voltage) Probe	ESH2-Z3 Rohde Schwartz	9 kHz ~ 30 MHz
3	Notebook Computer	Sens 670 Samsung	장비 Control 및 Data 저장

전류프로브를 설치할 때와 마찬가지로 가능하면 전압 프로브는 대상기 전원선 길이의 1m 이내에서 각 선간에 연결한다. PCS와 CPC 모두 공통모드 고주파 전도 잡음 측정은 활성선 또는 중성선과 함께 접지간을 연결함으로써 측정할 수 있으며, 차동모드는 활성선과 중성선간을 연결하여 측정한다. 그림 3에서는 실제적인 측정을 위한 장비배치 및 측정장면을 보여준다.



(a) PCS에서의 차동모드 측정



(b) CPC에서의 공통모드 측정

그림 3. 고주파 전도잡음 측정배치 및 측정장면

2.3 불연속성 과도현상 및 서지

불연속적으로 또는 단발성으로 존재하는 잡음은 자연적인 현상으로 인한 뇌방전 서지, 릴레이의 접점순간, 유도성 부하의 차단 등에 의한 과도현상이나 설비의 비정상적인 개폐작용에 의한 개폐 서지 등이 존재할 수 있다[12, 13]. 본 연구에서는 발전소의 출력상승 기간동안에 발생할 수 있는 불연속성 또는 순간적인 서지를 PCS 및 CPC의 전원단에서 오실로스코프의 트리거 기능을 이용하여 특성을 파악하고자 한다.

이러한 형태의 잡음측정을 위한 시스템은 그림 4와 같이 검출을 위한 오실로스코프와 고압 프로브 그리고 오실로스코프의 트리거를 제어하고 통신을 통해 검출된 데이터를 취득하여 분석하는 프로그램이 내장되어 있는 컴퓨터로 나뉘어진다.



그림 4. 불연속성 과도현상 및 서지를 측정하기위한 배치 및 측정장면

프로그램은 LabView를 이용하여 작성하였으며 그림 5와 같이 패널과 다이어그램으로 이루어진다. 패널은 각종 변수 등을 설정하고 검출된 파형을 볼 수 있도록 하며, 다이어그램은 실제 통신을 위한 프로그램과 파형 검출을 위한 기능을 수행한다. 측정용 시스템에서는 오실로스코프상에서 검출된 파형의 최대치를 8비트로 코딩후 저장하며 측정샘플링 포인트수는 500 포인트이다.

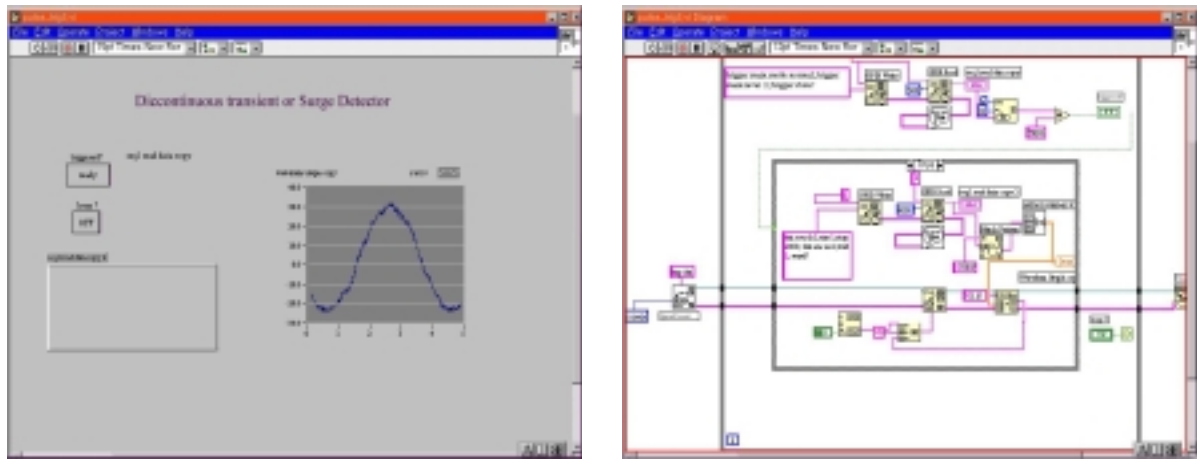


그림 5. 측정용 프로그램의 패널 화면과 다이어그램

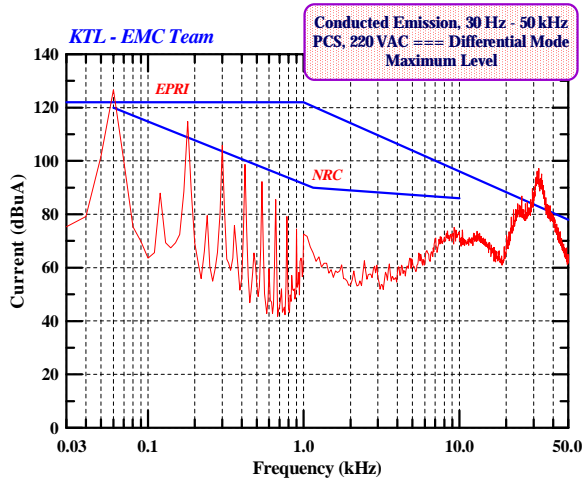
본 측정에서는 측정 채널수가 한 개로 제한되기 때문에 PCS와 CPC 각각 한 대를 선정하여 교대로 측정한다. 또한 공통모드와 차동모드 두 경우 모두 측정한다.

3. 측정결과 및 분석

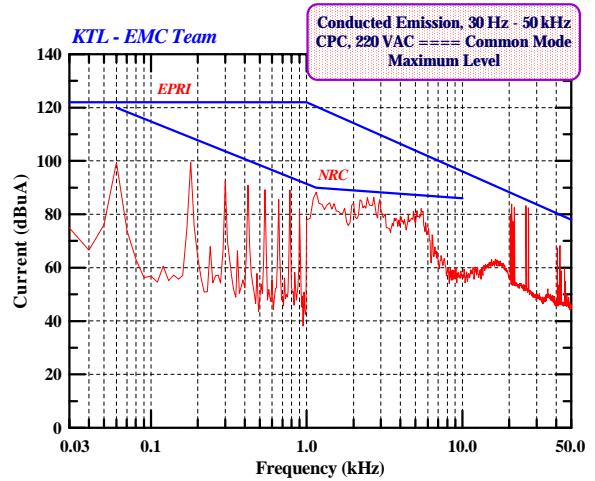
발전소의 정지기간부터 최대 발전출력을 내는 2주간동안 취득한 측정데이터는 약 500여개가 넘는다. 이 중에서 연속성 저·고주파 전도잡음의 측정데이터는 400여개에 이른다. 그림 6, 7, 8은 각각 적용대상에서 측정한 400여개의 데이터를 분석하여 각 측정 주파수 범위에 따라 도출된 최대 전도잡음의 세기를 나타낸다. 이 값들은 NRC와 EPRI에서 제시한 한계치와 비교되었다.

그림 6의 30 Hz~50 kHz 주파수 범위에서 PCS와 CPC에 대해 측정된 저주파 연속성 전도잡음을 살펴보면, CPC에서 측정된 최대 잡음에 비해 PCS에서 더 높게 측정되었다. 저주파 전도잡음의 특색은 주로 60 Hz 전원주파수와 이것의 우수(even) 및 기수(odd) 고조파들로 이루어지고 우수(even)보다 기수(odd) 고조파의 세기가 더 높게 발생된다는 것을 알 수 있다. 한편 주파수가 상승함에 따라 CPC의 경우는 입력 전원단에 스위칭 모드 전원장치(SMPS ; switching mode power supply)가 있어 그것의 스위칭 동작 주파수로 인해 대체적으로 높은 전도잡음이 검출되었으며 PCS의 경우에는 33 kHz 부근에서 EPRI의 한계치를 초과하였다.

그림 7과 8은 고주파 전도성 영역인 10 kHz~30 MHz 범위에서 PCS와 CPC 각각의 차동모드와 공통모드에서 측정한 연속성 전도잡음의 최대치를 나타낸다. 이들의 분포는 EPRI 및 ORNL(Oak Ridge National Laboratory)에서 수집한 전도성 전자기파의 세기와 비슷한 크기와 양상을 가지고 있다[5,6]. 그러나 그림 7의 PCS에서의 측정결과를 보면 차동모드는 각 한계치에 모두 만족하고 있으나 공통모드는 대부분의 주파수 대역에서 각 한계치를 초과하고 있다. 이러한 잡음이 PCS 내부에서 발생된 것인지, 또는 외부에서 유입된 것인지는 구분하기 어려우나 PCS 설치환경에서 볼 때 PCS 내·외부적으로 영향을 미칠 수 있기 때문에 전원필터 등을 이용하여 잡음의 세기를 낮추기 위한 대책이 요구된다. 또한 그림 8의 CPC에서도 많은 주파수에서 각 한계치를 넘고 있다. 특히 75 kHz와 185 kHz 부근에서는 잡음의 세기가 110 dBuV 이상으로 NRC 한계치로부터

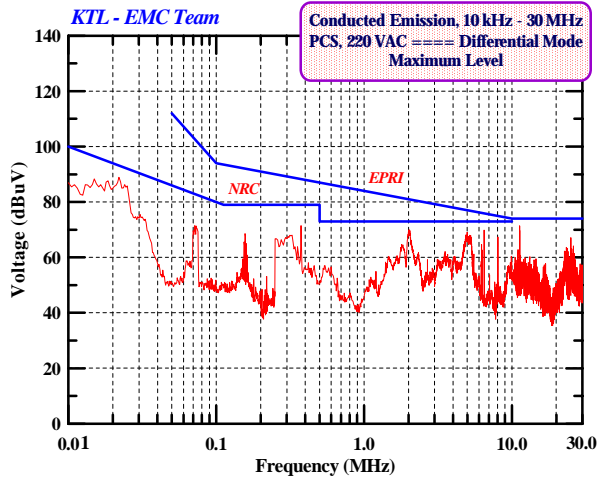


(a) PCS의 차동모드

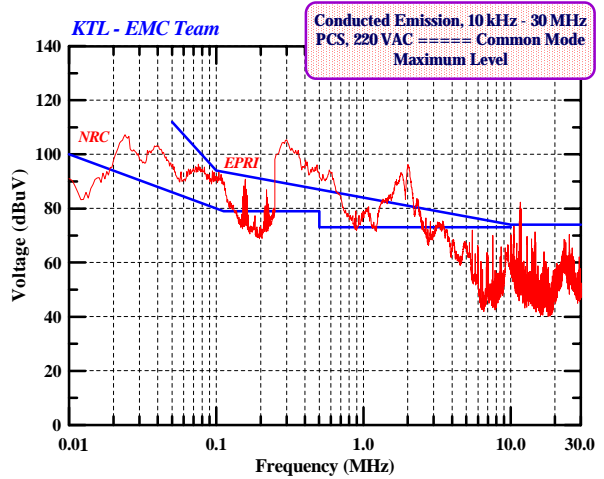


(b) CPC의 공통모드

그림 6. 저주파 전도성 잡음의 최대 측정치

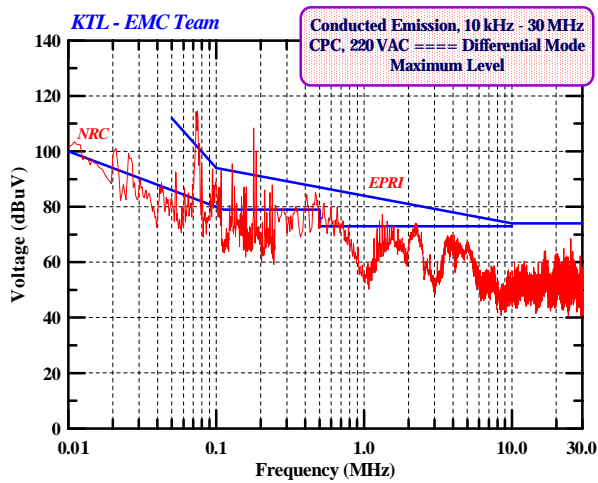


(a) 차동모드

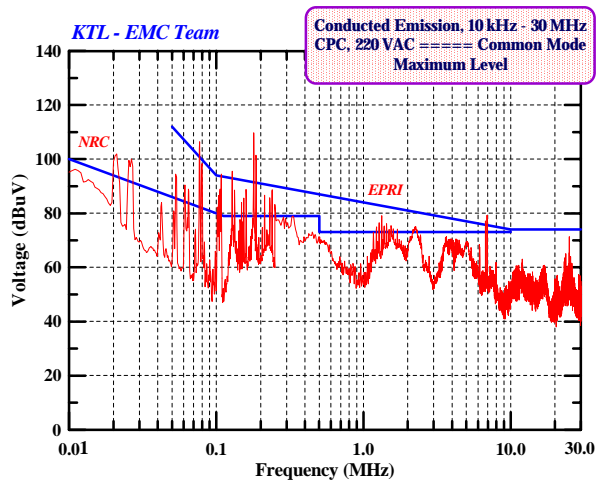


(b) 공통모드

그림 7. PCS에서의 고주파 전도성 최대 잡음



(a) 차동모드

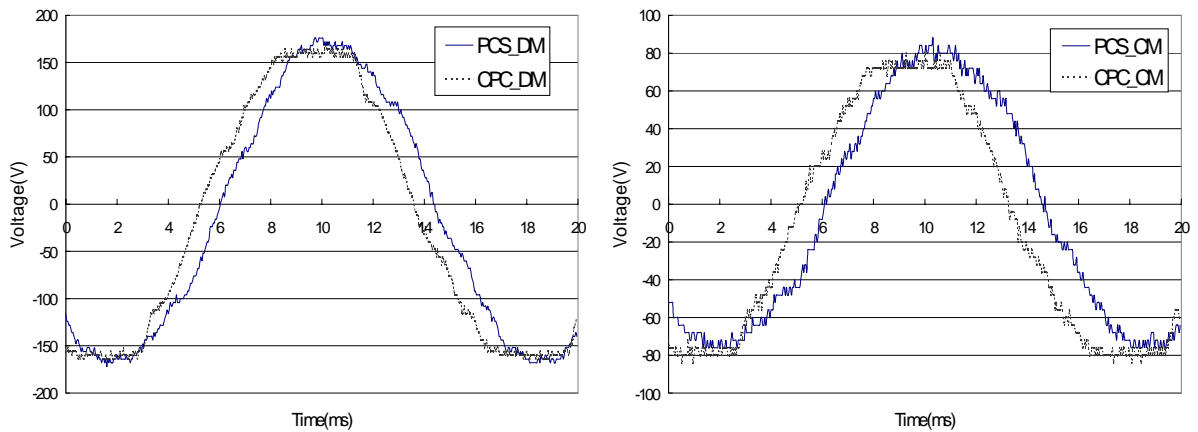


(b) 공통모드

그림 8. CPC에서의 고주파 전도성 최대 잡음

20 dB에서 35 dB이상을 초과하고 있다. 이것은 SMPS에서 발생된 스위칭 동작주파수 및 그것의 고조파에 의한 영향으로 분석되며, 협대역의 높은 잡음은 CPC 내·외부회로, 특히 마이크로 프로세서와 같은 회로의 클럭 동기 주파수에 영향을 미칠 수 있다. 발전소 출력에 따라서 잡음의 세기는 큰 변화가 없었으며 잡음의 형태 또한 변화가 없는 것으로 분석되었다.

시간영역에서 불연속적으로 발생하는 과도현상 및 서지의 측정은 전원 전압보다 약간 높게 트리거를 설정하여 그 이상의 비정상 전압은 모두 검출하였다. 약 100여개의 저장된 측정데이터를 분석한 결과 특이한 과도현상이나 비정상적인 전압의 유입은 없었다. 다만 그림 9에서처럼 전원 전압에 잡음이 중첩되어 전원전압이 일그러지는 현상을 볼 수 있었다. 이것은 PCS와 CPC에 전원을 공급하는 인버터에서 유입된 잡음과 각 기기의 내부에서 발생된 잡음으로 인한 것으로 보여지며, PCS보다 CPC가 더 많은 잡음이 중첩되어 있는 것은 SMPS의 영향으로 보여진다. 불연속성의 과도현상 및 서지에 대한 측정은 보다 더 긴 시간을 두고 관찰해야 할 것으로 판단된다.



(a) 차동모드

(b) 공통모드

그림 9. 불연속성 과도현상 및 서지의 측정결과

4. 전도성 잡음 한계치의 유도

현재 원자력 발전소에 설치되는 안전 및 안전관련 시스템에 대한 EMC 시험은 미국에서 원자력 설비에 대한 EMC 시험기준으로 사용되거나 권고되고 있는 USNRC REG. Guide 1.180이나 EPRI TR-102323-R1을 따르고 있다. 이 시험규격은 미국의 대표적인 원자력발전소에서 측정된 데이터를 기반으로 제정되었기 때문에 국내에서도 현재 국내 원자력발전소를 대상으로 취득한 자료를 토대로 전도성 잡음의 한계치를 구하여 NRC나 EPRI에서 제시한 한계치와 비교해 적용여부의 가능성을 고려해 볼 필요가 있다. 현재 취득한 데이터는 국내 원자력 발전소 전체를 대상으로 취득한 자료가 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 전도성 잡음 한계치를 최소자승법을 적용한 회귀분석을 통하여 유도하였다.

본 연구에서 사용한 회귀분석은 데이터에 가장 적합한 직선을 구하는 “최소 자승법”을 사용하여 직선의 통계를 계산하고 선에 대한 배열을 구한다. 주파수 $w(kh)$ 에 대한 전도잡음 크기의 관계를 결정하는 최소자승법은 다음과 같다. 실제 획득된 N 개의 데이터에서

$$Z^N = \{w(1), y(1), \dots, w(N), y(N)\} \quad (1)$$

취득된 잡음의 크기 $y(kh)$ 와 관계계수 θ 를 변화시키면서 계산된 추정 출력 $\hat{y}(kh|\theta)$ 와의 차의 제곱을 최소화시키는 θ 를 결정하는 알고리즘이 최소자승법이다.

$$\text{Least squares method : } \min_{\theta} V_N(\theta, Z^N) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } V_N(\theta, Z^N) &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y(kh) - \hat{y}(kh|\theta))^2 \\ &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y(kh) - \varphi^T(kh)\theta)^2 \end{aligned}$$

식 (2)를 최소로 하는 θ 는 다음 식으로 정의된다.

$$\hat{\theta}_N = \arg \min_{\theta} V_N(\theta, Z^N) \quad (3)$$

이때 “arg min”은 V_N 을 최소화시키는 θ 처럼 최소화시키는 변수를 의미하고, $\hat{\theta}_N$ 은 $V_N(\theta, Z^N)$ 의 미분을 영으로 하여 쉽게 구할 수 있다.

$$0 = \frac{d}{d\theta} V_N(\theta, Z^N) = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N \varphi(kh) (y(kh) - \varphi^T(kh)\theta) \quad (4)$$

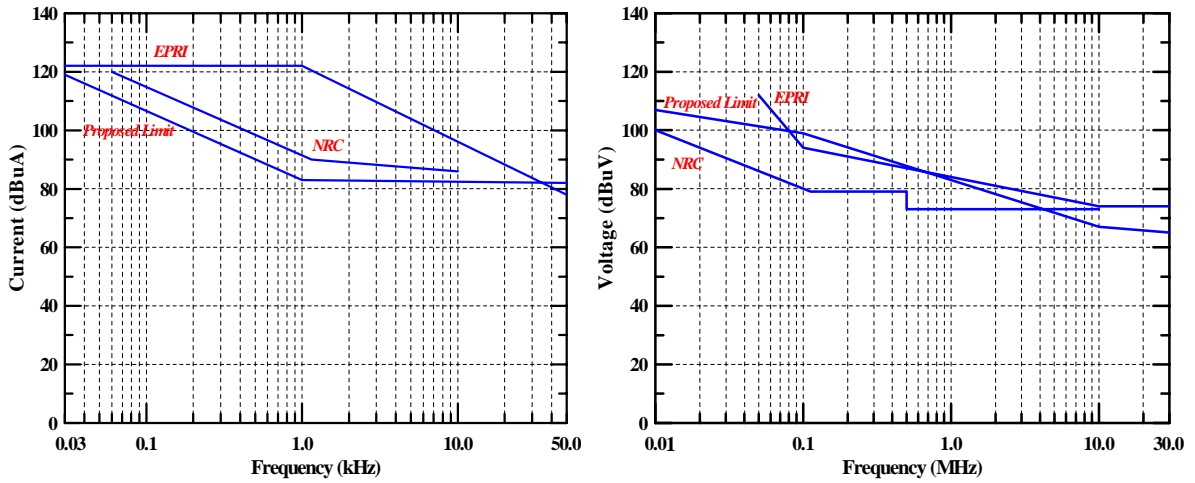
$$\sum_{k=1}^N \varphi(kh) y(kh) = \sum_{k=1}^N \varphi(kh) \varphi^T(kh) \theta \quad (5)$$

$$\hat{\theta}_N = \left[\sum_{k=1}^N \varphi(kh) \varphi^T(kh) \right]^{-1} \sum_{k=1}^N \varphi(kh) y(kh) \quad (6)$$

식(6)의 해는 일반적인 수치해석 프로그램을 이용하여 쉽게 계산 할 수 있다[8].

유도된 한계치는 국내의 설치환경을 고려한 것으로 NRC와 EPRI에서 제시한 한계치와 비교해 볼 때 형성된 유형에 약간의 차이가 있음을 알 수 있다. 그림 10과 표 4에 정리된 한계치의 비교를 보면 저주파 전도잡음의 한계치 유형에 대해 본 논문에서 제시된 한계치와 NRC의 한계치와는 유형이 비슷하나 EPRI의 한계치와는 다른 유형을 갖는다. 또한 본 논문에서 제시된 한계치가 가장 낮아 저주파 전도잡음은 미국 원자력 발전소 보다 더 낮다는 것을 알 수 있다. 따라서 그림 10(a)를 볼 때, 전자파 장애 문제에서는 보다 엄격하게 제한하는 요소로서 작용되나 내성시험측면에서는 한층 완화된 레벨이 적용될 수 있음을 의미한다. 또한 그림 10(b)에서 고주파 전도잡음의 한계치 유형은 NRC나 EPRI와 다른 양상을 갖는다. 반면 한계치는 NRC보다는 높고 EPRI와는 비슷하다. 주파수 범위의 설정은 저주파 전도잡음 측정의 경우 NRC와 EPRI의 자료를 참고로 하였지만, 고주파 전도잡음 측정의 최상위 주파수는 30 MHz로서 일반 상용규격에서 사용하는 한계를 적용하였다. 이것은 30 MHz이상의 주파수에서는 잡음이 전원선이나 신호선을 통해 전도되기

보다는 공간을 통해 복사되는 양이 더 지배적이기 때문이다.



(a) 저주파 전도잡음

(b) 고주파 전도잡음

그림 10. EPRI 및 NRC의 한계치와 유도된 한계치와의 비교

표 4. 유도된 결과와 EPRI 및 NRC의 한계치와 비교 정리

저주파 전도잡음	EPRI	30 Hz ~ 1 kHz 122 dBuA		1 kHz ~ 50 kHz 122 dBuA ~ 78 dBuA
	NRC	60 Hz ~ 1.15 kHz 120 dBuA ~ 90 dBuA		1.15 kHz ~ 10 kHz 90 dBuA ~ 86 dBuA
	Proposed	30 Hz ~ 1 kHz 123 dBuA ~ 87 dBuA		1 kHz ~ 50 kHz 87 dBuA ~ 86 dBuA
고주파 전도잡음	EPRI	50 kHz ~ 100 kHz 112 dBuV ~ 94 dBuV	100 kHz ~ 10 MHz 94 dBuV ~ 74 dBuV	10 MHz ~ 400 MHz 74 dBuV
	NRC	10 kHz ~ 112 kHz 100 dBuV ~ 79 dBuV	112 kHz ~ 500 kHz 79 dBuV	500 kHz ~ 10 MHz 73 dBuV
	Proposed	10 kHz ~ 100 kHz 111 dBuV ~ 103 dBuV	100 kHz ~ 10 MHz 103 dBuV ~ 71 dBuV	10 MHz ~ 30 MHz 71 dBuV ~ 69 dBuV

5. 결론

본 논문에서는 원자력 발전소의 전자파 환경을 파악하고자 가장 최근에 건설된 울진 원자력발전소 3호기의 주 제어실(MCR ; Main Control Room)에서 전자시스템으로 구성된 발전소 제어 시스템(PCS ; Plant Control System)과 노심 보호 연산기(CPC ; Core Protection Calculator)를 대상으로 1차 연구로서 전도성 전자파 잡음을 측정하고 분석하였다. 측정은 내부회로의 구성이나 기능면에서 구분될 수 있는 PCS 10대와 CPC 2대 등 모두 12대를 선정하고 그들의 전원 입력단을 측정지점으로 하였으며, 발전소의 출력변화에 따른 잡음의 특성변화도 함께 파악하기 위해

1000MW급 발전소의 출력이 0%인 시점에서 시작하여 출력을 100%까지 상승시키는 기간과 100% 정상출력을 내는 기간 모두를 포함하여 2주일 동안 연속으로 이루어 졌다. 측정된 400여개의 데이터를 분석하여 최대 전자파 잡음 레벨과 주파수특성을 구한 결과 부분적으로 높은 잡음수준도 측정이 되었으나 대체로 미국에서 측정된 전도성 전자기파의 크기 및 형태와 비슷하였다. 한편 발전소 출력과 잡음의 세기와 형태는 큰 관계가 없는 것으로 분석되었다.

현재 원자력 관련 EMC 시험규격은 미국의 대표적인 원자력발전소에서 측정한 데이터를 기반으로 제정되었기 때문에 국내에서도 현재 국내 원자력발전소를 대상으로 취득한 자료를 토대로 전도성 잡음의 한계치를 구하여 NRC나 EPRI에서 제시한 한계치와 비교해 국내에 적용여부의 가능성을 고려해 볼 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 최소자승법을 이용한 회귀분석으로 전도성 잡음의 한계치를 유도하여 EPRI와 NRC에서 제시한 한계치와 비교하여 보았다. 비교 결과 저주파 부분에서는 NRC와 비슷한 유형과 가장 낮은 한계치로 평가되었으며 고주파 부분에서는 유형은 서로 다르지만 비슷한 한계치를 보였다. 이것은 국내의 전도 잡음의 한계치로서 적용할 수 있는 가능성을 보여 주었다.

한편 릴레이의 점점순간 및 유도성 부하의 차단시에 발생하는 불연속성 과도현상이나 서지는 각 제어시스템에 장애를 초래할 수 있기 때문에 이들을 시간영역(time-domain)에서 관측하고 분석하였다. 약 100여개의 저장된 측정데이터를 분석한 결과 특이한 과도현상이나 비정상적인 전압의 유입은 없었다. 이 측정은 보다 장시간동안 여러 채널을 연속적으로 감시하여 데이터를 취득하여야 할 것으로 판단된다.

추후 연구과제로는 주 제어실 내부에서 각 시스템으로부터 공간적으로 복사되거나 외부에서 유입되는 복사 전자파를 측정하고 분석하여 국내 원자력 발전소의 복사 전자파 환경특성을 파악하는 것이다.

참고문헌

- [1] R. J. Hoff, "EMC measurements in hospitals," in *Proc. IEEE Int. Sympo. on EMC*, pp. 5BIIc 1-5, 1975.
- [2] H. Cichori and H. Trzaska, "Electromagnetic environment within apartment houses," in *Proc. IEEE Int. Sympo. on EMC*, pp. 47-52, 1987.
- [3] G. G. Champiot and J. C. Agostini, "Electromagnetic environment in a PWR power plant," in *Proc. IEEE Int. Sympo. on EMC*, pp. 377-387, 1982.
- [4] P. Rajagopalan and S. Karunakaran, "Electromagnetic ambient survey in industries for the design and installation of radio control and other sensitive electronic equipment," in *Proc. IEEE Int. Sympo. on EMC*, pp. 589-591, 1989.
- [5] USNRC NUREG/CR-6436, Survey of ambient electromagnetic and radio-frequency interference levels in nuclear power plants, 1996.
- [6] EPRI TR-102323-R1, Guidelines for electromagnetic interference testing in power plants, 1997.
- [7] USNRC REG. Guide 1.180, Guidelines for evaluating electromagnetic and radio-frequency

interference in safety-related instrumentation and control systems, 2000.

- [8] I. D. Landau, System Identification and Control Design, Prentice-hall, 1990.
- [9] MIL-Std-461D, Electromagnetic Emission and Susceptibility Requirements for the Control of Electromagnetic Interference, 1993.
- [10] MIL-Std-462D, Measurement of Electromagnetic Interference Characteristics, 1993.
- [11] 산업기술시험원, 전자파 시험 업무 절차서, P226, 1999.
- [12] IEC 61000-4-4, EMC part 4 : Testing and measurement techniques, Section 4 : Electrical fast transient/burst immunity test, 1995.
- [13] IEC 61000-4-5, EMC part 4 : Testing and measurement techniques, Section 5 : Surge immunity test, 1995.