

## Class 1E용 여자시스템 개발

신만수\*, 이주현\*, 류호선\*, 임익현\*, 정대원\*\*  
 한전 전력연구원\*, 충남대학교\*\*

### Development of Excitation System for Class 1E

Man-Su Shin\*, Joo-Hyun Lee\*, Ick-Hun Lim\*, Tae-won Jeong\*\*  
 KEPCO KEPRI\*, Hankook University\*\*

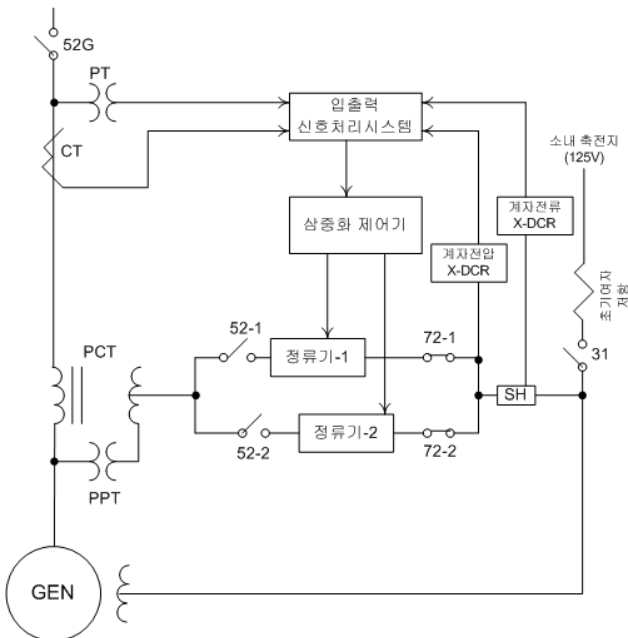
**Abstract** - The excitation system for class 1E has been developed to apply to the nuclear power plant emergency diesel generator by utilizing the existing digital excitation system. The additional mission was to evaluate the excitation system of safety. It is the safety analysis of the excitaton system, the verification test, the aging test, the safety requirement test and so on. The verification test is classified of hardware and software part for detail.

#### 1. 서 론

원전에 설치되는 기기는 원자력법 등에 의해서 방사능 안전의 중요성에 따라 안전등급과 비안전등급으로 나눌 수 있다. 원전 비상전원공급 디젤발전기 여자시스템은 '안전등급 설비에 구동전원이나 동력을 공급하는 기능'에 해당되어 안전등급에 해당된다.

여자시스템 구성은 그림 1과 같이 구성된다. 여자시스템은 복권형 여자시스템으로 소내 계통 단락사고 등에도 안정적으로 계자전원을 공급하게 되어 있다. 기존의 여자시스템이 단일 채널의 제어기와 정류기로 구성된 반면에 개체될 여자시스템은 세 개의 채널, 즉 3중화 제어기와 두 개 채널, 즉 이중화 정류기로 구성하였다. 또한 기존의 아날로그 시스템에서 디지털 여자시스템으로 개체되면서 소프트웨어 확인 및 검증(V&V)도 수행하였다.

필수 모선(Class 1E)

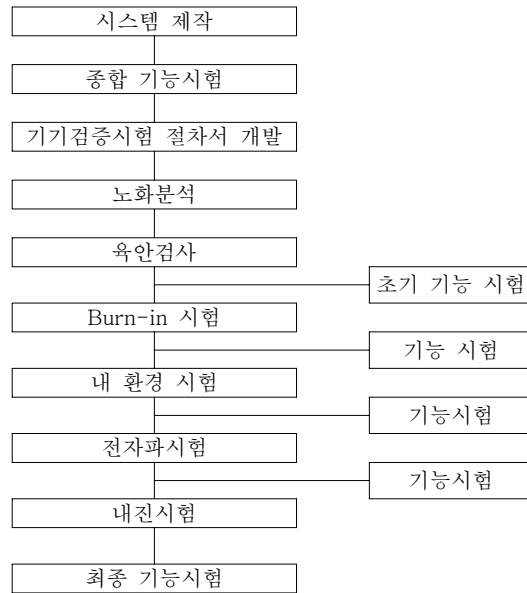


<그림 1> 여자시스템 구성도

#### 2. 본 론

##### 2.1 기기검증시험

그림 2는 기기검증시험의 일련과정을 나타내었다.



<그림 2> 기기검증시험 순서

기기검증시험은 크게 내환경시험과 전자파시험, 내진시험 등으로 구성 되어 있으며, 그 시험 절차는 그림 2와 같다. 비안전성 등급보다 강화된 조건에서 설계되어 제작된 시스템은 가장 먼저 종합기능시험을 수행한다. 종합기능시험은 비상디젤발전기(10MVA급)를 축약한 전동발전기(5kW급)와 연계하여 전압확립, 운전범위 확인, 계단응답, 각종 제한회로 동작 등을 확인하는 것을 의미한다. 기본 기능과 요건이 확인된 시스템을 기기검증시험장으로 이동하여 그림 2와 같은 절차에 의해서 노화분석, 내환경시험, 전자파시험 등의 기기검증시험을 수행하였다.

<표 1> 안전기능 항목 및 허용기준

일련번호	안전기능항목	정격	오차범위
1	PPT 2차 전압	180[Vac]	±3%
2	Power Supply	125[Vdc]	±3%
3	PT 전압	120[Vac]	±3%
4	유효 전력	6[Vdc]	±3%
5	Scan Power 출력	24[Vdc]	±3%
6	접호 신호	4.425[Vdc]	±3%
7	정류기 출력	100[Vdc]	±3%

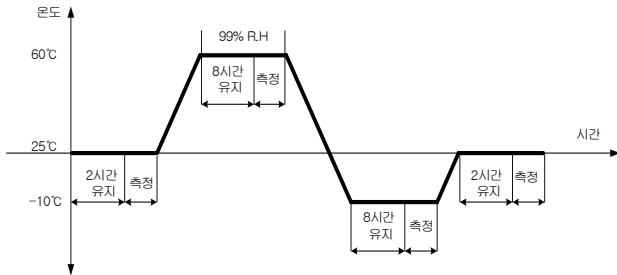
##### 2.2 내환경시험 및 전자파시험

내환경 조건은 온도 -10 ~ 60[°C], 상대 습도 0 ~ 99[%]이며, 노화해석시험은 IEEE 323-1983에 의하면 약성환경의 최고 온도인 29°C를 채택하고 부품들의 자체발열을 고려한 온도상승분율 8°C로 고려하여 29°C와 37°C에서 커패시터와 계전기 등에 대해서 실시하였다.

Burn-in 시험은 초기 조건 확인으로 시스템에 전원을 인가하여 시스템의 기본적인 기능이 가능한 상태에서 50시간을 상온에서 운전하는 것을 의미한다. 그리고 각 시험 전후 실시하는 기능시험을 실시하는데 그 방법은 시험환경 여건상 정류기 입력측 전압의 크기를 95-105[%]로 변화시키면서 출력측 전압의 크기를 측정하는 것으로 대체하였다. 또한 각

시험시 또는 전후에 기능을 유지하여야 하는 안전기능 항목과 그에 따른 허용기준은 표 1과 같다.

표 1의 안전기능 항목은 다음과 같은 이유로 선택되었다. 여자시스템 고유 기능인 교류전원(일련번호 1)을 입력받아 직류전원(일련번호 7)을 공급한다. 발전기 PT 전압(일련번호 3)과 CT 전류를 입력받아서 유도전력(일련번호 4) 등을 만들어 낸다. 시험환경인 Power Supply 전압(일련번호 2)를 공급하여 Scan Power Supply 출력(일련번호 5)를 만들어 낸다. PPT 2차 전압(일련번호 1)과 접지 신호(일련번호 6)를 강제로 출력하여 정류기 출력(일련번호 7)을 만들어 낸다.



〈그림 3〉 내환경 시험조건

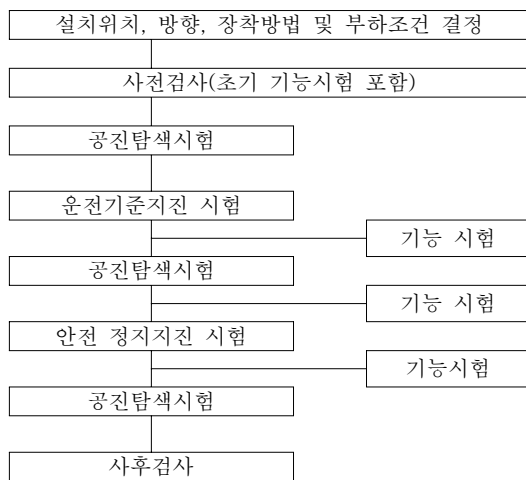
내환경시험은 그림 3과 같이 실시하였으며 상온에서 60% 습도에서 2시간, 고온 다습(60°C, 99%)상태에서 8시간, 저온(-10°C)상태에서 8시간, 상온 60%에서 2시간을 시험하였다.

전자파시험은 EPRI TR-102323(rev.1)에 따라서 전도성 방사, 자기장 방사, 전기장 방사, 복사 전기장에 대한 내성시험, 정전기 방전 내성시험, 전기적 빠른 과도현상, 서지 내성시험, 저주파 전도성 간섭에 대한 내성시험, 고주파 전도성 간섭에 대한 내성시험 등을 실시하였다. 본 시험에서 가장 힘들었던 시험항목이 바로 전자파시험이었는데 특히 전기장 방사(RE102) 항목과 연속과에 의한 전도간섭에 대한 내성시험(CS114) 항목 등 2개 항목에 대해서 바로 통과하지 못하고 다음과 같이 보완하고 나서야 겨우 통과할 수 있었다.

- 큐비클 인출입 케이블을 플렉시블 전선관 내부로 배치
- 큐비클 인출입 케이블을 쉴드 케이블로 교체
- 정류기 큐비클 내부에 접지 동판 보강
- 점호카드와 제어기의 인터페이스 케이블을 쉴드 케이블로 교체

### 2.3 내진 시험

내진시험은 IEEE 344에 따라서 그림 4와 같이 수행되었다. IEEE 344에 따르면 기기의 내진검증방법에는 해석, 시험, 조합방법과 경험에 의한 방법 등이 있는데 여기서는 진동시험대에 의한 시험방법을 적용하였다. 초기 성능점검 단계에서부터 각 단계별 시험이 끝나고 나면 시스템의 성능을 점검하기 위하여, 내환경시험과 마찬가지로 입력측의 전원을 변화시켜서 출력측의 변화의 폭을 확인하였다.



〈그림 4〉 내진시험 순서

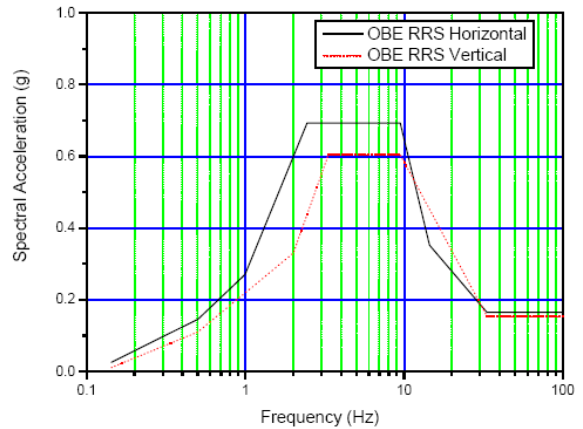
내진시험은 지진사고가 발생하였을 때 시스템의 기능적 동작성 및 시스템을 구성하는 구성품들의 구조적 건전성을 입증하기 위하여 실시한다. 시험 중에 계속된 기기의 성능시험 결과는 각 기기가 요구하는 허용

기준을 만족시켜야 하며, 시험 후에도 구조적 건전성 및 기능적 동작성을 유지하여야 한다. 구조적 건전성을 유지한다는 것은 시스템의 변형이 생기지 않아야 하고, 구성품이 시스템으로부터 분리가 되어서는 안된다는 것을 의미하며, 기능적 동작성을 유지한다는 것은 기기가 오동작 없이 요구되는 안전 기능을 수행함을 의미한다.

운전기준지진 시험 전 공진탐색시험의 경우에는 입력신호의 크기는 기기의 손상을 피하기 위하여 0.2g 이하의 저준위로 하며, 입력신호 파형은 광대역 랜덤 신호로 한다. 시험주파수 범위는 1-50[Hz]까지 설정하고, 가진은 수평 두 축 및 수직 한 축을 동시에 적용한다. 공진탐색시험 결과는 기기의 동적 특성에 대한 정보를 제공하고, 내진시험시 운전기준지진과 안전정지지진 시험조건인 요구응답스펙트럼을 포괄해야 하는 저주파수 범위 등을 결정하는데 이용된다.

운전기준지진 시험은 시방서에서 제시한 운전기준지진에 대한 요구응답스펙트럼을 1/6 옥타브 대역폭으로, 시험 주파수는 1-50[Hz]로 하고 테이블은 3축 동시 가진하며 시험하였고 총 5회 시험을 수행하였다. 안전정지지진 시험은 시방서에서 요구하는 안전정지지진의 요구응답스펙트럼(그림 5 참조)을 이용하여 운전기준지진 시험과 비슷한 방법으로 1회 시험을 수행하였다. 각 시험 후 공진탐색시험의 경우는 기기의 구조적 건전성 및 안전기능 유지 여부를 확인한다. 측정센서(가속도계) 부착 위치 및 방향은 각 판넬의 하부, 중앙, 상부 등 세 개 지점에 세 방향(X, Y, Z) 가속도계를 부착하였다.

또한 안전정지지진 시험에서 내진시험기의 각 축이 독립적인 운동을 하였음을 입증하기 위하여 상관함수가 0.5 이하가 됨을 입증하였고 시험 시간은 총 25초로 하였고 격심한 운동시간은 15초 이상 유지하였다. 내진검증조건에 대한 시험결과 제어기 판넬과 정류기 판넬 모두 구조적 건전성 및 기능적 동작성을 만족하는 것으로 확인되었다.



〈그림 5〉 3% 감쇠의 FRS에 여유율 10%를 적용한 SSE 요구응답스펙트럼

### 3. 결 론

기기검증시험을 위주로 살펴 보았는데 추후 논문에서 인허가문제와 현장 적용 등을 포함하여 다룰 수 있을 것으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국산업기술시험원, “고리 3호기 비상발전기용 여자시스템에 대한 성능검증보고서”, 2007
- [2] 한전 전력연구원, “고리 3호기 비상디젤발전기 여자시스템에 대한 내진시험보고서”, 2007
- [3] 한국수력원자력(주) 원자력교육원, “원자력품질보증일반(수탁)”, 2007
- [4] 한국수력원자력(주), “원전 비상전원공급 디젤발전기 여자시스템 개발 2차년도 중간보고서”, p55, 2007