

축약발전기를 대상으로 한 디젤발전기 여자시스템 성능시험

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

A Performance Test of Diesel Generator Excitation Control System in Scaled-down Motor-Generator Test bed

Joo-Hyun Lee*, Ick-Hun Lim*, Ho-Sun Rhew*, Man-Soo Shin*, Tae-Won Jeong**
KEPRI*, Chung Nam University**

Abstract - 본 논문은 원자력발전소에서 가장 엄격한 품질 및 성능요건을 만족해야하는 안전등급(Q) 비상전원 공급용 디젤발전기의 여자시스템을 개발하고, 발전소에 적용하기 전에 축약발전기를 대상으로 여자시스템의 성능시험의 내용과 시험의 결과를 바탕으로 개발시스템의 성능과 건전성을 확인한 내용들을 기술하였다.

1. 서 론

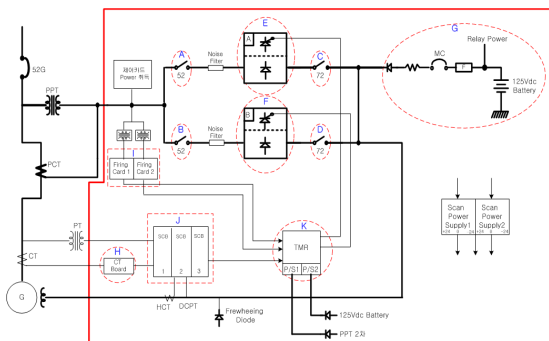
비상전원 공급용 디젤발전기는 원자력 발전소가 전력계통으로부터 분리되어 외부전원으로 발전소 내부의 주요 보조기들을 운전할 수 없는 상황에서 원자력발전소의 핵심 냉각펌프 등 전원을 공급하지 않으면 안 되는 중요한 설비이다. 여자시스템은 동기발전기의 계자권선에 직류전류를 공급하여 계자전압을 조정하고 계자전류를 제어하는 기능을 담당하는데, 디젤발전기를 필요시 기동하고 기동 후 요구되는 전력을 일정시간 안정적으로 계속 공급할 수 있도록 해야 한다. 이에 따라 원자력발전소에서 비상 전원을 공급해야하는 디젤발전기 여자시스템은 고도의 건전성과 신뢰성이 요구되며, 시스템의 안정성을 확보해야하는 원자력 품질안전등급(Q)으로 분류되는 기기이다. 본 논문은 원자력발전소 디젤발전기용으로 개발한 디지털 다중화 방식의 여자시스템의 신뢰성과 안정성을 확보하기 위해 수행한 여자시스템의 성능시험에 대한 내용과 축약발전기를 대상으로 하여 성능시험을 수행한 결과들에 대해 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 디젤발전기 여자시스템 개요

2.1.1 디젤발전기 여자시스템 구성

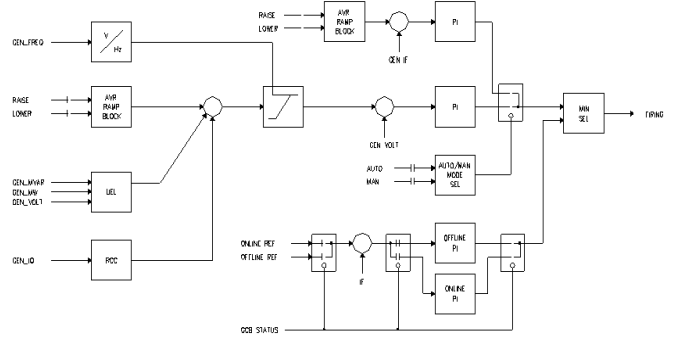
본 논문에 적용된 여자시스템은 원자력발전소 디젤발전기에 적용키 위해 개발된 시스템으로 여자시스템의 형식은 발전기 출력단에서 전원을 공급받는 정지형 여자시스템이며, 주요구성은 3중화 디지털 제어기, 신호처리 보드(Signal Conditioning Board) 그리고 2중화 정류기 및 차단기와 부속설비들로 구성되어 있다. 아래 [그림 1]은 디젤발전기 여자시스템 구성도를 나타낸다.



<그림 1> 디젤발전기 여자시스템 구성도

2.1.2 디젤발전기 여자시스템 기능

3중화 디지털 제어기는 여자시스템의 제어, 제한 및 보호 기능을 수행하며, 신호처리 보드(SCB)는 발전기 전압 및 전류 신호를 입력받아 유효, 무효전력 연산과 신호처리를 수행한다. 그리고 정류기는 전력변환 소자인 사이리스터와 다이오드를 조합한 Semi-Converter 형태이며, 제어기의 신호를 받아 교류전력을 직류전력으로 변환하여 디젤발전기 계자권선에 흐르는 직류전류를 공급하여 계자전압을 조정하고 계자전류를 제어하게 된다. 아래의 [그림 2]는 디젤발전기 여자시스템의 제어, 제한기능을 나타내는 소프트웨어 블럭도를 나타낸다.



<그림 2> 디젤발전기 여자시스템 소프트웨어 블럭도

2.2 여자시스템의 성능시험

2.2.1 성능시험용 축약발전기 사양

디젤발전기 여자시스템을 개발한 후에 전력연구원에서 보유한 축약 전동발전기(M-G Set)를 이용하여 성능시험을 수행하였다. 본 시험을 통해 개발 시스템의 제어, 제한 및 보호기능들과 시스템의 건전성을 확인하였다. 아래는 종합성능 시험용으로 사용된 전동발전기의 사양이며, [그림 3]은 전동 발전기를 나타낸다.

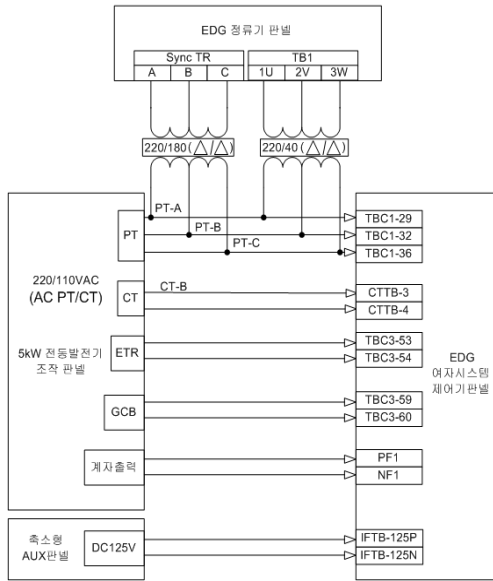
- 용량 : 5.0 [kVA],
- 정격 단자전압 : 220[V]
- 정격 단자전류 : 13.1[A]
- 역률 : 0.8
- PT 비 : 220/110 [Vac]
- CT 비 : 20/5 [Aac]
- 속도 : 1800 [rpm]



<그림 3> 축약 전동발전기

2.2.2 성능시험을 위한 준비

[그림 4]는 여자시스템의 성능시험을 위한 시스템의 결선도를 나타내며, 축약 전동발전기와 개발시스템 간의 주요 결선 내용으로는 발전기 전압(PT), 전류(CT), 계자전압과 초기 전압확립을 위한 전원공급 회로, 동기신호 그리고 계통 병입에 필요한 GCB 신호 등을 결선하고 성능시험을 수행하였다.



〈그림 4〉 축약발전기와 여자시스템 연결도

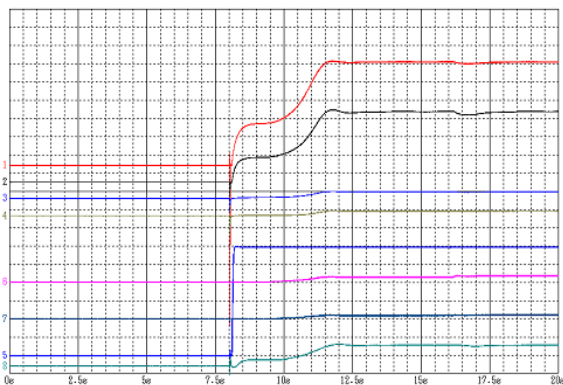
2.4 성능시험 내용 및 결과

개발 여자시스템의 성능과 건전성을 확인하기 위해 축약 전동발전기를 대상으로 한 여자시스템의 종합 성능시험의 내용으로는 아래와 같다.

- 자동/수동모드 전압확립 시험
- 발전기 자동전압 조정 시험
- 자동/수동모드 제어범위 확인 시험
- 무부하/부하 계단응답 시험
- 자동/수동 운전모드 전환 시험
- 과 여자/부족여자 제한기 동작 시험
- 계통 병입 시험
- 발전기 정지 및 부하 탈락 시험

2.4.1 발전기 전압확립 시험

발전기 정격속도의 무부하 상태에서 기동신호에 따라 발전기 계자에 초기 여자전류를 공급하고, 자동(Auto) 및 수동(Manual) 운전모드에서 미리 설정해 놓은 전압 설정값까지 발전기 전압이 정상적으로 생성되는지 또한 발전기 전압이 과도한 Overshoot 없이 안정적으로 확립됨을 확인하였으며, 아래[그림 5]는 발전기 전압확립 시험 시 발전기 전압(1번 그래프)과 계자전압 등 관련된 데이터들의 파형을 나타낸다.



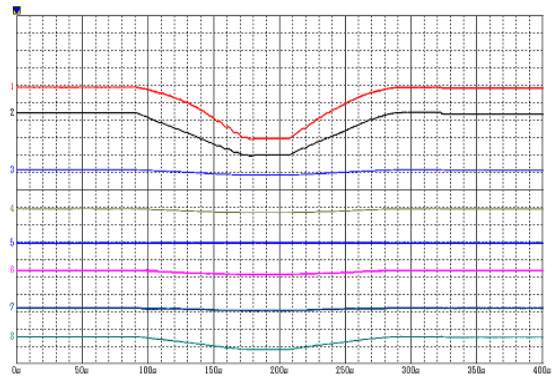
〈그림 5〉 자동운전 모드 시 발전기 전압확립

1	발전기 전압	5	발전기 주과수
2	계자 전류	6	정류기 1의 전류
3	발전기 유효출력	7	정류기 2의 전류
4	발전기 무효출력	8	계자 전압

2.4.2 발전기 전압조정 및 운전범위 확인

정상적으로 기동하여 발전기 정격전압 상태에서 전압 설정값을 증발 또는 감발하면서 발전기 전압이 자동으로 조정되는지 또한 자동/수동모드에서 전압 설정값을 제한 값까지 증발 또는

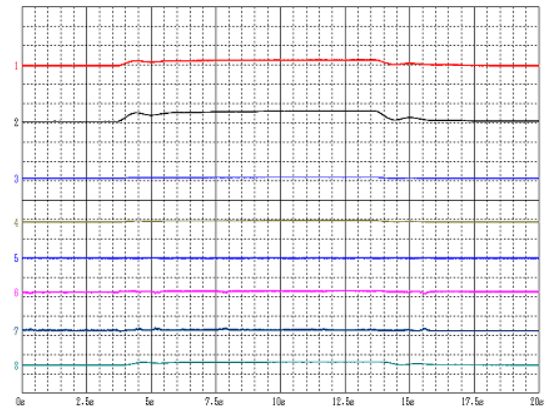
감발하면서 제한 값에서 증발 또는 감발 조작 시에도 발전기 전압이 변동 없이 정상적으로 제한되는 지 확인하였다. 자동 운전 모드에서 확인된 전압의 범위는 정격전압의 85~110%이었으며, 목표 값의 ±1% 이내로 양호한 결과를 나타내었다. 아래 [그림 6]은 발전기 전압조정 및 운전범위 시험의 결과를 나타낸다.



〈그림 6〉 발전기 전압조정 및 운전범위 확인

2.3.3 무 부하/부하 계단응답 시험

축약 전동발전기를 계통에 병해상태에서 정격전압의 5%, 계통 병입 상태에서 2%에 해당하는 계단응답 시험(Step Up/Down)을 실시하여 제어기의 응답특성 확인하였으며, 그 결과를 가지고 제어기의 PI 파라미터(KP, KI)값을 설정하고 조정하였다. 아래의 [그림 7]은 계단응답 시험의 결과를 나타내며, 결과 그래프에서 보듯이 계통에 병입된 발전기 정격전압의 5%에 해당하는 계단응답 신호를 주었을 때 발전기 무효전력과 계자전압이 속응성 있게 응동하여 정상적인 여자시스템의 성능과 건전성을 확인할 수 있었다.



〈그림 7〉 계단응답 시험의 결과

3. 결 론

본 논문에서는 선진외국 기술에 전적으로 의존하고 있는 원자력발전소 비상디젤발전기의 여자시스템을 순수 국내기술로 개발하고, 발전소 현장에 적용하기 전에 축약 전동발전기를 이용하여 개발시스템의 성능시험을 통해 시스템의 성능과 건전성을 확인하였다. 금번 디젤발전기 여자시스템의 개발과 성능시험 결과로 확보한 기술을 바탕으로 향후 원자력발전소 품질안전등급(Q)에 적합한 여자시스템의 발전소 적용과 안정적 운전에 크게 기여할 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

[1] IEEE Std. 323, 2003, IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations
 [2] IEEE Std. 344, 2004, IEEE Recommended Practices for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations.
 [3] 이주현, 임익현 외 “원자력발전소 디젤발전기 기기검증용 여자시스템 개발(1)”, 제어자동화학회, 2007