

실시간 시뮬레이터를 이용한 디젤발전기 여자시스템 현장시험

논 문
59-7-22

A Field Test of Diesel Generator Excitation Control System Using Real Time Simulator

이 주 현* · 류 호 선* · 정 태 원**
(Joo-Hyun Lee · Ho-Sun Rhew · Tae-Won Jeong)

Abstract - The excitation control system of an emergency diesel generator is classified as a kind of safety-related system. Compared with other control systems in a power plant, this system is required to be more reliable and have better performance. KEPCO Research Institute successfully developed the excitation control system for a diesel generator. This paper presents its field test results by using a real time simulator on a nuclear power plant.

Key Words : Diesel Generator, Excitation Control System, Nuclear Power Plant, Real-Time Simulator

1. 서 론

원자력 발전소가 전력계통으로부터 분리되어 외부전원으로 발전소 내부의 주요 보조기기들을 운전할 수 없는 비상 상황에서 디젤 발전기는 원자력발전소의 냉각펌프 등 핵심 설비에 전원을 공급하는 중요한 설비이다. 국내 원자력발전소는 약 7000KW 정도의 대용량 비상 디젤발전기를 가지고 있으며, 안전등급 신호의 주입 시에는 주입 후 10초 이내에 정격속도 및 정격전압에 도달해야 하는 엄격한 규제요건을 가진다. 여자시스템(Excitation System)은 소내 고압모선에 전원 상실 시 자동으로 기동되어 동기발전기의 계자권선에 직류전류를 공급하고 계자전압을 조정하여 디젤발전기의 전압 및 소내 계통의 무효전력을 제어하는 기능을 수행한다. 원자력발전소 품질안전 등급(Q-Class)인 비상 디젤발전기 여자시스템은 고도의 신뢰성과 설비 안정성이 매우 중요하며, 이는 국제적인 규격과 규제코드에 준한 성능시험과 검증 과정을 거쳐 시스템의 신뢰성과 안정성을 확보하고 있다[1].

연구개발시스템을 발전소 현장 적용 후에 성능시험을 통한 여자시스템의 제어, 제한 및 보호 기능과 위상제어 정류기의 건전성 평가 등은 시스템의 신뢰성과 안정성 확보를 위해 꼭 필요한 부분이다. 지금까지는 발전소 실 계통 상업운전 시작 전에 3상 전원공급기 또는 간소한 계측장비들을 이용하여 제한적인 현장시험을 수행하여 실제 운전 중에 발생할 수 있는 제반 현상들을 정확히 예측하고 운전 중인 시스템의 기능들을 확인하는데 문제가 있었다. 만일 실 계통의 전력시스템에 연결하여 시스템을 시험한다면 현장 운전자에게 치명적인 사고를 발생 시킬 위험성이 있으며 또한 복잡

한 여러 기기들이 상호 결합하여 이루어져 있어, 그 동적인 현상을 정량적으로 예측하는 것이 매우 어려운 실정이다. 그러나 최근 마이크로 기술의 발달에 힘입어 짧은 시간 내에 다량의 정보를 처리할 수 있는 프로세서가 실용화 되어 있어서, 실시간 발전기 시뮬레이터를 이용하여 발전소 정지 중에 운전 중의 상태를 모의하여 발전기 여자시스템의 기능 및 성능시험들이 가능하게 되었다. 실시간 시뮬레이터는 동기발전기 및 여자시스템의 다양한 외란에 대한 과도상태를 해석하고 그 동적상태를 시뮬레이션 할 수 있도록 구현되어 있다. 여자시스템 제어기로부터 제어신호를 받아 발전기 및 계통의 응답을 실시간으로 시뮬레이션 한 후에 이를 여자시스템 제어기에 보내 주게 된다. 시뮬레이터의 하드웨어는 고속의 DSP TMS320C33을 이용하였으며, 소프트웨어는 Micro C-OS를 이용하여 각 Task별로 고속 연산, 통신, 계통연계 발전기 시뮬레이션 그리고 보호 계통 부분으로 나누어 구성하였다[2]. 본 논문에서는 전력 연구원이 개발한 실시간 계통연계 발전기 시뮬레이터에 대한 개발 내용과 원자력발전소 실 계통에 상업운전용으로 개발 적용한 디지털 다중화 방식의 디젤발전기 여자시스템을 대상으로 시뮬레이터를 이용한 현장시험 내용에 대하여 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 동기발전기 모델 및 동적방정식

동기발전기를 모델링하는 방법은 기기적인 모델링과 회로적인 모델링 두 가지로 나눌 수 있다. 즉, 고정자 및 회전자 전류에 의해 발생하는 회전 자계에 의한 기기적인 모델링과 상호 인덕턴스에 의한 결합회로의 회로적인 모델링하는 방법이 있다. 전자는 주로 정상상태 해석에 이용되고, 후자는 주로 동기 발전기의 과도상태 해석에 이용된다[2]. 본 논문에서는 동기발전기 해석에 널리 쓰이는 파스변환

† 교신저자, 정희원 : 한국전력공사 전력연구원 책임연구원
E-mail : jhlee@kepcoco.kr

* 정희원 : 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

** 정희원 : 충남대학 전기공학과 교수 · 공박

접수일자 : 2010년 4월 13일

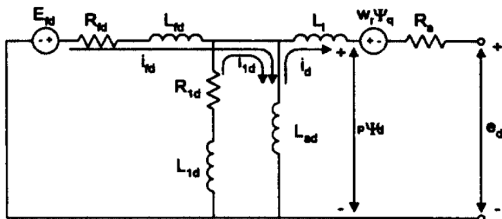
최종완료 : 2010년 5월 20일

(Park's transformation) 식을 사용하여 회전자 권선전류에 의한 회전자계와 정지된 고정자 권선전류에 의한 회전자계의 전자기적인 회로관계를 수식화하였다. a, b, c 상의 전기자 권선 축에 의한 특성을 d, q 축으로 변환하여 해석하였다. 이것은 발전기 공극 상에서 고정자의 3상전류가 형성하는 합성자속이 회전자와 같은 속도로 회전한다는 것을 전제로 한다. 따라서 상수 인덕턴스와 전류관계로 해석되는 모델로 변환이 되는데, 이때 회전자 축에서 고정자의 자속을 보게 되면 회전하지 않고 크기만 변화되는 것으로 관찰된다. 그림 1에서와 같이 d축과 q축에서의 1개의 제동권선을 고려할 경우 자속 쇄교수 방정식은 다음의 식 (1)과 같다[3].

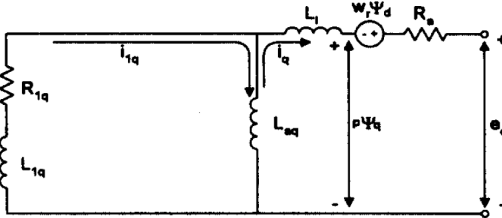
$$\begin{aligned}
 \Psi_d &= -(L_{ad} + L_l) i_d + L_{ad} i_{fd} + L_{ad} i_{1d} \\
 \Psi_{fd} &= -L_{ad} i_d + (L_{ad} + L_{fd}) i_{fd} + L_{ad} i_{1d} \\
 \Psi_{1d} &= -L_{ad} i_d + L_{ad} i_{fd} + (L_{ad} + L_{1d}) i_{1d} \\
 \Psi_q &= -(L_{aq} + L_l) i_q + L_{aq} i_{1q} \\
 \Psi_{1q} &= -L_{aq} i_q + (L_{aq} + L_{1q}) i_{1q}
 \end{aligned} \tag{1}$$

발전기의 전압방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 e_d &= \frac{d}{dt} \Psi_d - \frac{d\theta}{dt} \Psi_q - R_a i_d \\
 e_{fd} &= \frac{d}{dt} \Psi_{fd} + R_{fd} i_{fd} \\
 0 &= \frac{d}{dt} \Psi_{1d} + R_{1d} i_{1d} \\
 e_q &= \frac{d}{dt} \Psi_q + \frac{d\theta}{dt} \Psi_d - R_a i_q \\
 0 &= \frac{d}{dt} \Psi_{1q} + R_{1q} i_{1q}
 \end{aligned} \tag{2}$$



(a) D 축 등가회로



(b) Q 축 등가회로

그림 1 동기발전기 D-Q 축 등가회로
Fig. 1 D-Q axis equivalent circuit of a synchronous generator

2.2 여자시스템 모델 및 동적방정식

본 논문에 적용된 여자시스템 모델은 IEEE type ST1A의 정지형 여자시스템 모델로 발전기 출력 단에 연결된 여자변압기로 여자 전원을 확보하고 이를 싸이리스터 위상제어 정

류기로 정류해서 발전기 계자에 공급한다. 이 경우 최대 조절기 전압은 상수가 아니고 발전기단자 전압 V_t 에 비례하며, 교류 간접 형과 다르게 정지형 여자시스템은 시간지연이 거의 없는 장점이 있다. 정지형 여자시스템의 상태공간 표현식을 $V_R = E_{FD}$ 로 놓고 여자기 포화함수 부분을 제거하면 그 결과는 아래의 식 (3)과 같다[4].

$$\begin{aligned}
 V_1 &= (K_R/\tau_R)V_1 - (1/\tau_R)V_1 - V_3(K_F/\tau_F)E_{FD} - (1/\tau_F)V_3 \\
 E_{FD} &= (K_A/\tau_A)V_e - (1/\tau_A)E_{FD} \quad E_{FD} < V_{Rmax} \cdot E_{FD} > V_{Rmin} \\
 V_e &= V_{REF} + V_s - V_1 - V_3
 \end{aligned} \tag{3}$$

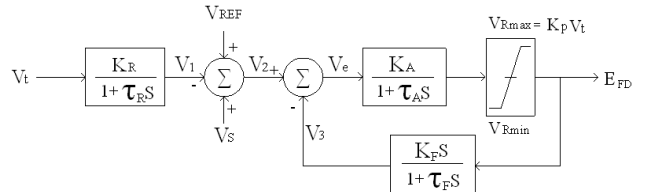


그림 2 정지형 여자시스템 블록도
Fig. 2 Block Diagram of Potential-Source Controlled Rectifier Excitation Control System

2.2 개발 실시간 발전기 시뮬레이터 구성

전력계통의 연계가 가능한 실시간 발전기 시뮬레이터는 동기발전기 및 여자시스템의 다양한 외란에 대한 과도상태를 해석하고, 그 동적상태를 시뮬레이션 할 수 있도록 구현되어 있다. 여자시스템 제어기로부터 제어신호를 받아 발전기 및 계통의 응답을 실시간으로 시뮬레이션 한 후에 이를 여자시스템 제어기에 보내 주게 된다. 동기발전기의 모델로는 Standard, SSFR2 모델을 사용 하였으며[2], 발전소 정지중에도 여자시스템의 운전 상태의 모의시험이 가능하다. 시뮬레이터의 주요 구성은 디지털 시뮬레이터와 전압/전류 증폭기 모듈, 전원공급 장치, MMI 프로그램을 내장한 컴퓨터 등으로 구성되어 있다. 소프트웨어는 실시간 제어프로그램인 Micro-C 운영 시스템을 채택하였으며, 발전기 동특성 분석을 위해 발전기 여자시스템과 1기 무한모션의 임피던스 변화에 따른 동적 특성 시뮬레이션이 가능하도록 개발하였다. 다음의 그림 3은 발전기 디지털 시뮬레이터 내부 구성도를 나타낸다.

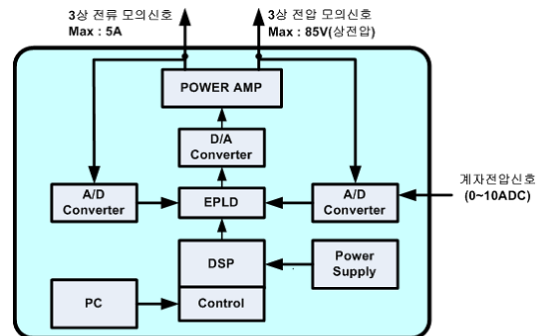


그림 3 시뮬레이터 내부 구성도
Fig. 3 Internal Architecture of Simulator

발전기 디지털 시뮬레이터는 위상제어정류기에서 출력된 계자전압신호를 취한 받아 디지털 시뮬레이터 모듈의 아날로그 디지털 변환기(A/D Converter)에서 디지털 신호로 변환된다. 시뮬레이터 주제어기인 DSP는 현재 출력되는 계자전압 신호를 보정 알고리즘을 통해 연산하여 보정 값을 EPLD를 통해 디지털 아날로그 변환기(D/A Converter)를 통해 출력되고 전력증폭기(Power Amplifier)를 거쳐 발전기 여자시스템으로 입력된다. 아래의 그림 4는 전압/전류 증폭기모듈 구성도를 나타낸다.

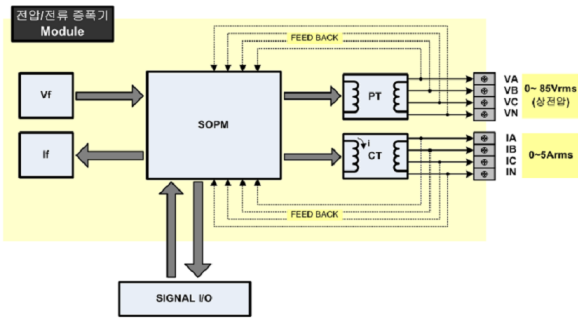


그림 4 전압/전류 증폭기모듈 구성도
Fig. 4 Architecture of Voltage/Current Amp. Module

2.3 시뮬레이터 구현 및 여자시스템 연계

동기발전기 및 여자시스템의 다양한 외란에 대한 과도상태를 해석하고, 그 동적상태를 시뮬레이션 할 수 있도록 구현된 실시간 발전기 시뮬레이터는 여자시스템 제어기로부터 제어신호를 받아 발전기 및 계통의 응답을 실시간으로 시뮬레이션 한 후에 이를 여자시스템 제어기에 보내 주게 되어, 발전소 정지 중에도 여자시스템의 운전 상태의 모의시험이 가능하다. 아래의 그림 5는 동기 발전기가 변압기 및 병렬 전송선로를 통해 무한모선에 연결되어있는 시뮬레이터와 여자시스템 및 현장시험을 위한 별도의 부하장치를 연결한 전체 시스템의 구성 및 연결도를 나타낸다[2][5].

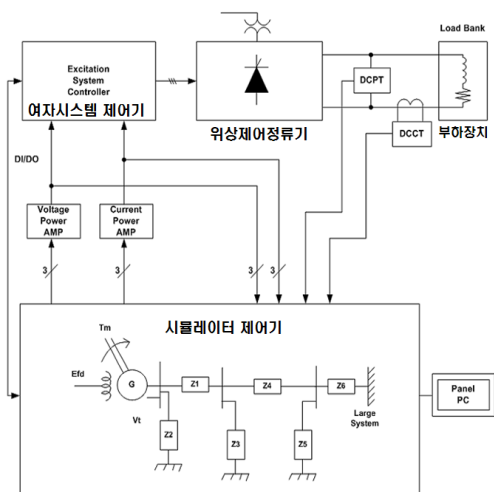


그림 5 시뮬레이터 구성 및 연결도
Fig. 5 Simulator Architecture and Connection drawing

발전기 디지털 시뮬레이터는 크게 발전기 및 1기 무한모선의 모델이 들어 있어 발전기 및 여자시스템의 다양한 외란에 대한 과도상태를 해석하고, 그 동적상태를 시뮬레이션 할 수 있도록 구현되어 있는 시뮬레이터 제어기와 전압 및 전류 증폭기 등으로 구성되어 발전기 여자시스템 제어기와 연결된다. 여자시스템 제어기에서는 전력증폭기를 통해 입력된 발전기 전압 및 전류의 신호에 해당하는 값들을 입력받아 설정된 발전기 전압 값과 비교하여 제어신호를 발생하고, 이 신호는 위상제어 정류기의 입력신호로 입력제어 제어기의 출력 값에 따라 위상 점호각 제어를 수행하게 된다. 위상제어 정류기의 출력은 발전기 계자에 해당하는 부하장치(Load Bank)를 통해 계자전압 및 전류신호로 다시 시뮬레이터 제어기로 입력된다. 컴퓨터(PC)에서는 발전기 디지털 시뮬레이터의 출력을 임의로 변경하여 발전기 여자시스템 및 발전소의 운전 조건을 조정 및 모의 운전이 가능하여 여자시스템의 실 계통 시운전 시를 대비하여 사전에 각종 기능 및 성능시험을 수행할 수 있어, 시스템의 운전 상태나 위험 운전 요소를 사전에 발견할 수 있는 커다란 장점이 있다. 아래의 그림 6은 시뮬레이터를 이용하여 발전기 여자시스템을 모의시험 하는 순서도를 나타낸다.

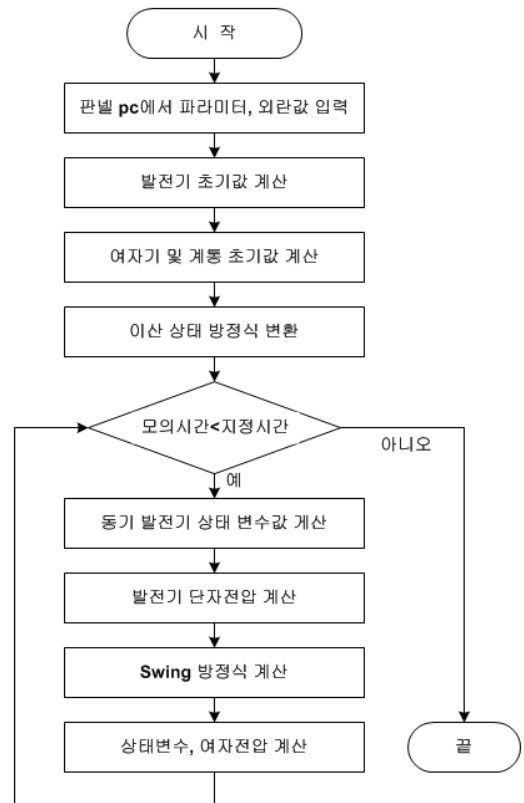


그림 6 모의시험 순서도
Fig. 6 Flow Chart of Simulation Test

2.4 시뮬레이터 제어 흐름

다음의 그림 7은 동기발전기, 여자시스템 및 전력계통(Network)으로 구성된 실시간 시뮬레이터 제어흐름의 블록선도를 나타낸다. 터빈으로부터 기계적 토크(T_m)와 여자시스템에 의한 계자전압(e_{fd})을 입력받은 동기발전기는 d,

q축 전류 (i_d, i_q)를 출력한다. d, q축 전류는 동기발전기의 회전자(Rotor)의 d, q축을 기준으로 하였기 때문에 회전자 위상각(δ)를 이용하여 전류 i_D, i_Q 로 변환되어 전력계통의 입력되며, 전력계통은 시스템의 d, q축을 기준으로 한 단자전압 e_D, e_Q 를 출력으로 내놓는다. 이 출력은 다시 회전자의 d, q축을 기준으로 한 e_d, e_q 로 변환시키고, 이 전압을 동기발전기에서는 다시 입력으로 사용하게 된다. 또한 이 전압은 여자시스템의 입력으로 들어가서, 계자전압 E_{FD} 를 출력하며, 여자시스템을 기준으로 한 단위 값은 다시 동기발전기의 단위 값으로 변환(e_{fd})시켜 동기발전기의 입력이 된다[2][6].

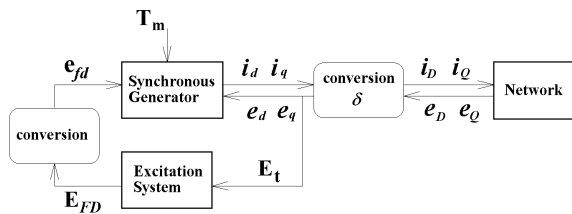


그림 7 제어 흐름 블록 선도
Fig. 7 Control Flow Block Diagram

3. 현장시험 내용 및 결과

3.1 개발된 디지털 여자시스템

원자력발전소 디젤발전기용으로 개발된 디지털 여자시스템의 구성은 여자시스템의 제어, 제한 및 보호 기능을 수행하는 3중화 디지털 제어기와 발전기 전압 및 전류 신호를 입력받아 유효, 무효전력 연산과 신호처리를 위한 신호처리보드(Signal Conditioning Board) 그리고 제어기의 신호를 받아 교류전력을 직류전력으로 변환하는 2중화 되어있는 정류기 및 차단기와 부속설비들로 구성되어 있다. 아래의 그림 8은 디젤발전기 여자시스템의 구성도를 나타낸다[1][7].

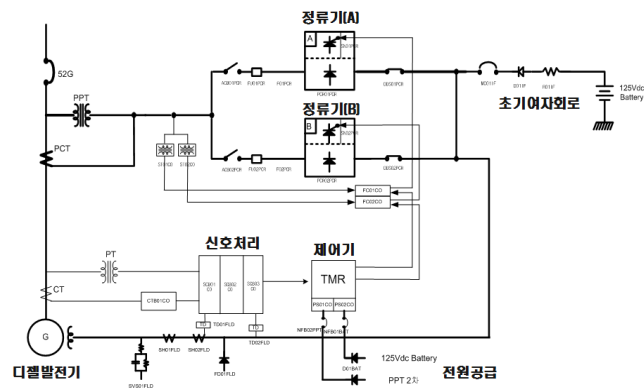


그림 8 개발된 여자시스템 구성도
Fig. 8 Developed Excitation Control System Overview

개발시스템의 제어프로그램은 국제 표준규격인 IEC61131-3을 준용한 Triconex 소프트웨어를 이용하였고, 여자시스

템의 전압 및 무효전력 제어와 제한 기능, 발전기와 여자시스템을 보호하기 위한 보호 기능을 여자시스템의 요구사항에 맞게 동작하도록 조합된 함수의 Software Block의 형태로 제어프로그램을 구현하였다. 또한 수동·자동 제어기 절제 시 원만한 절제를 위하여 사용되는 추종 및 순차 제어기능, 그리고 기존의 아날로그 방식의 한시특성 또는 반한시특성을 갖는 보호 계전기의 기능을 디지털 방식으로 구현하였다. 아래의 그림 9는 개발시스템의 소프트웨어 블록도를 나타낸다[7].

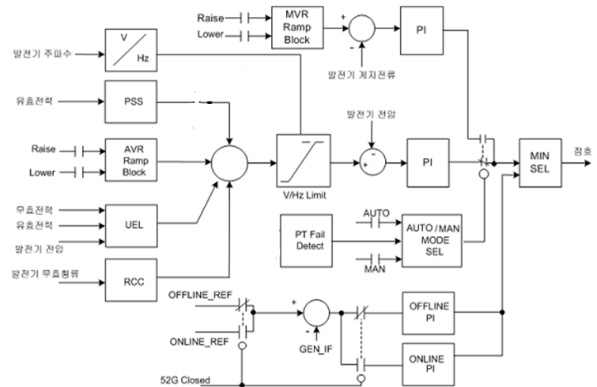


그림 9 개발시스템 소프트웨어 블록도
Fig. 9 Software Block of Developed System

3.2 여자시스템 사양 및 현장시험 내용

대상발전소인 고리원자력 4호기 디젤발전기 및 여자시스템의 사양은 아래와 같다.

- 발전기 정격출력과 역률 : 8750 [kVA] / 0.8
- 발전기 정격 전압/전류 : 4160 [V] / 1214[A]
- 무부하 정격 전압/전류 : 45[V] / 111[A]
- 부하 정격전압/전류 : 101[V] / 249[A]
- 전압 조정범위 : 정격 전압의 $\pm 10\%$
- 정류기 형식 : Semi-Converter

개발된 여자시스템을 고리원자력 4호기에 디젤발전기에 현장 설치한 후 시뮬레이터를 이용하여 모의시험을 수행하였다. 본 시험을 통해 개발 여자시스템의 제어, 제한 및 보호기능들과 시스템의 건전성을 확인하였다. 주요시험 내용은 아래와 같다.

- 디젤발전기 전압확립 시험
- 자동/수동 전압조정 운전 시험
- 자동/수동 모드 절환 시험
- 계단 응답 및 보호회로 시험
- 과 여자/부족여자 제한 시험
- 제어기 3중화 확인시험 등

3.3 시뮬레이터 현장시험 결과

시뮬레이터를 이용한 현장 시험을 통하여 발전기 전압의 안정적인 확립, 자동/수동 모드절환 및 각 모드별 전압조정이 정상적으로 동작되는 것을 확인하였다. 또한 계단응답 시험을 통해 제어기의 응답특성을 확인하였으며, 이 과정에서 파라미터 정정(Tuning) 등 실제 디젤발전기 운전 중의 시험을 사전에 대비하였다.

3.3.1 발전기 전압확립 및 자동조정

디젤발전기 정격속도의 무부하 상태에서 발전기 계자에 초기 여자전류를 공급하고 발전기 전압이 정상적으로 생성되는지 또한 미리 설정해 놓은 전압 설정 값까지 발전기 전압이 과도한 Overshoot 없이 안정적으로 확립되는지 확인하였다.

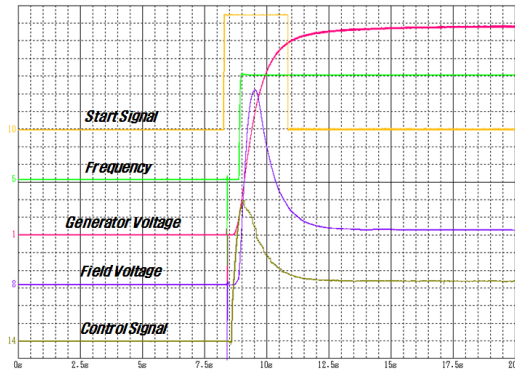


그림 10 발전기 전압확립 결과
Fig. 10 Result of Generator Voltage Build-Up

그림 10의 발전기 전압확립 결과 그래프를 통해 보여 주듯이 자동(Auto) 및 수동(Manual) 운전모드에서 여자시스템의 기동신호(Start Signal)에 따라 정상적으로 발전기 전압이 4,160[V] 정격전압까지 확립하는 것 확인하였다. 발전기 전압이 Overshoot가 거의 없이 약 4초 이내에 안정적으로 확립되어, 10초 이내에 정격전압까지 도달해야 하는 기준을 충분히 만족함을 확인할 수 있었다.

3.3.2 계단응답 시험을 통한 특성시험

시뮬레이터를 이용하여 디젤발전기를 무 부하상태에서 정격전압인 4,160[V]의 5%에 해당하는 계단응답(Step Up/Down) 신호를 주어 시험을 실시하여 응답 특성을 확인하였으며, 그 결과를 가지고 제어기의 PI 파라미터(KP, KI)값을 설정하였다. 아래의 그림 11은 계단응답 시험의 결과를 나타내며, 발전기 정격전압의 5%에 해당하는 계단응답 신호를 주었을 때 계자전압 및 계자전류의 변화에 따라 속응성있게 발전기 전압이 응답함을 확인하였다.

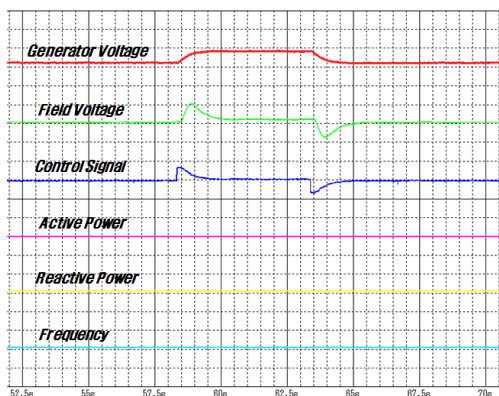


그림 11 5% 계단응답 시험결과
Fig. 11 5% Step Test Result

그림 12는 시뮬레이터를 이용하여 여자시스템을 병입하고 정격출력까지 증발할 때 출력 증발 신호에 따라 유효출력 및 제어기 신호에 따라 계자전압과 무효전력이 정상적으로 조정됨을 확인할 수 있었다.

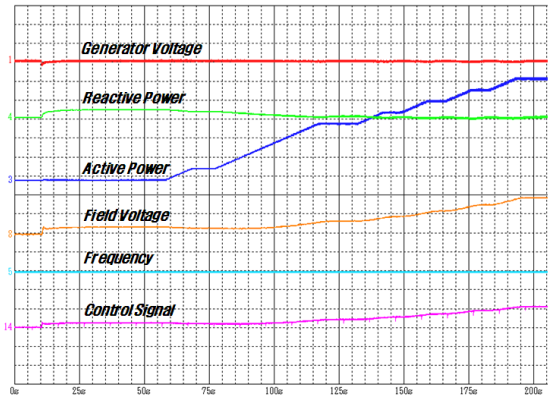


그림 12 출력 증발 시험결과
Fig. 12 Power Increase Test Result

3.3.3 정지 시험 특성

아래의 그림 13은 정상 운전 중인 발전기 여자시스템을 정지 명령(Stop Signal) 후 교류차단기가 개방될 때까지의 제어기 신호, 계자전압 및 발전기 전압의 감쇄특성을 나타낸다.

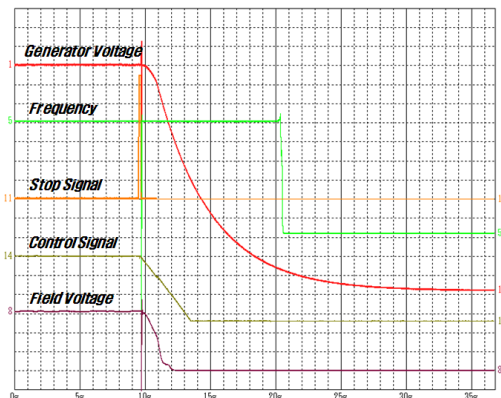


그림 13 정지시험 결과
Fig. 13 Stop Test Result

4. 결 론

원자력발전소 비상 디젤발전기 여자시스템은 고도의 신뢰성과 설비 안정성이 요구되며, 이는 국제적인 규격과 규제코드에 준한 성능시험과 검증과정을 거쳐 신뢰성과 안정성을 확보하고 있다. 전력연구원에서는 발전소가 정지 중에도 운전 중인 상태를 모의할 수 있도록 동기발전기 및 여자시스템의 다양한 외란에 대한 과도상태를 해석하고 그 동적상태를 시뮬레이션 할 수 있는 실시간 발전기 시뮬레이터를 개발하였다. 본 논문에서는 본 시뮬레이터를 이용하여 디젤발전기용으로 개발된 여자시스템을 1000MW급 원자력발전소 실 계통에 적용하고, 품질안전등급(Q) 준한 모의시

험을 통하여 제어알고리즘의 건전성과 개발시스템의 성능을 검증하였고, 다음과 같은 결과를 얻었다.

[1] 실시간 발전기 시뮬레이터의 현장시험은 발전소 정지중에도 발전기 및 계통의 응답과 여자시스템의 동적인 운전상태를 실시간으로 모의시험이 가능하여, 실 계통의 운전 중의 시험에서 발생할 수 있는 예기치 못한 사고 발생을 사전에 방지할 수 있는 매우 유용한 방법이라 사료된다.

[2] 본 시뮬레이터를 이용한 발전소 현장 모의시험을 통해 디젤발전기의 무 부하 상태에서 기동신호에 따라 전압설정 값까지 발전기 전압이 Overshoot 없이 안정적으로 확립됨을 확인하였으며, 정격전압까지 확립되는데 소요되는 시간이 4초 정도로 10초 이내의 기준을 충분히 만족하는 결과를 얻었다.

[3] 발전기 전압의 자동조정 및 계단응답 시험을 통해 운전원의 설정 값 및 계단응답 전압설정 값의 변화에 따라 발전기 전압조정의 제어가 정상적으로 잘 수행되어 개발시스템의 성능 및 제어프로그램의 건전성을 확인하였다.

[4] 고속의 신호처리 및 연산이 가능하고, 고장을 허용하는 디지털 다중화 방식으로 개발된 여자시스템을 본 시뮬레이터를 이용한 모의시험을 통해, 디젤발전기의 특성에 맞는 기동 시 빠른 응답특성과 여자시스템의 모든 기능들의 사전 시험을 통해 개발시스템의 신뢰도 확보와 원자력발전소의 안정적 운전에 크게 기여할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] 이주현, 류호선, 정태원 외 “실시간 시뮬레이터를 이용한 디젤발전기 여자시스템 현장시험”, 전력전자공학회 학술대회 논문집, pp.2557~2558, 2009

[2] 류호선, 이주현, 임익현 외, “정지형 디지털 여자시스템 시뮬레이터에 관한 연구”, 전력전자 학회, 2005

[3] 이병구, 홍현문, 최재호 “사이리스터 여자시스템의 속응성 개선을 위한 예측전류 제어기법, 산업과학기술연구소 논문집 제12권 제2호, pp.157~163, 1997

[4] P.M Anderson and A.A Fouad, "Power System Control and Stability," The Iowa State Univ. Press, U.S.A., 1997.

[5] P. Kundur, "Power System Stability and Control" McGraw-Hill Inc., 1994

[6] IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE Standard 421.5-1992.

[7] 이주현, 정태원 “원전 디젤발전기 다중화 디지털 여자 시스템 개발 및 적용(1)” 제어자동화학회, 2009

[8] R.C. Schaefer, "Application of Static Excitation Syatem for Rotating Exciter Replacement", IEEE Industry Application Magazine November/December 1998

[9] 임익현 외, “원전 비상전원공급 디젤발전기 여자시스템 개발” 최종보고서, 전력연구원, 2009

저 자 소 개



이 주 현 (李 柱 鉉)

1964년 2월 1일생. 2000년 홍익대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 충남대 대학원 전기공학과 박사과정 수료, 1993년~현재 한전 전력연구원 책임연구원
Tel : 042-865-5643
Fax : 042-865-5609
E-mail : jhlee@kepco.co.kr



류 호 선 (柳 皓 善)

1970년 6월 18일생. 1993년 충남대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원전기공학과 졸업(석사). 1995년~현재 한전 전력연구원 선임연구원
Tel : 042-865-5647
Fax : 042-865-5609
E-mail : 95104088@kepco.co.kr



정 태 원 (鄭 泰 媛)

1948년 1월28일생. 1970. 2월 전북대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1984. 8월 연세대학교 대학원전기공학과 졸업 (공학 박사). 1976. 5월-현재 충남대학교 공과대학 전기공학과 교수
Tel : 042-821-5653
Fax : 042-821-8895
E-mail : twjeong@cnu.ac.kr