

원전 안전등급 비상디젤발전기 속도제어시스템 성능개선 및 분석에 관한 연구

김윤식, 전일영, 이성근, 김창국, 안진우

한국해양대학교, 제원엔지니어링, 한국해양대학교, 한국해양대학교, 경성대학교

Performance upgrade and analysis report for nuclear safety related emergency diesel generator speed control system

Y.S Kim, I.Y Jeon, S.G Lee, C.K Kim, J.W Ahn

Korea Maritime Univ., Jewon Eng., Korea Maritime Univ., Korea Maritime Univ.,
Kyungsung Univ.

ABSTRACT

The paper is final report for speed control upgrade and analysis report which recently performed on PWR NPP safety related EDG KHNP Ulchin NPP No.2 Unit. The upgraded system includes more beneficial function like as "Slow start with starting ramp", "Generator load sensing & control capability" and "Emergency ramp during slow start". This paper shows functional operation of slow start regime according to NRC regulatory guide which guide regulation to NPP safety related environment.

1. 서론

현재 국내 총 전력 생산량의 약 40%가 원자력발전을 통해 이루어진다. 원자력발전은 방사성물질을 연료로 사용하므로 1차 측 및 2차 측 설비의 안정성 문제가 운전 중요한 문제로 부각되고 있고, 이러한 설비의 안정성 문제는 국제적인 규격과 규제코드로 그 안정성을 확보하고 있다. 국내 원자력발전의 경우, 설비의 노후화가 진행되고 있고 설비의 폐기보다는 성능개선 및 설비대체를 통한 지속 사용 및 신규원전도입이 현재의 상황이라 보아진다.

본 논문은 2005년 1월, 한수원(주) 울진원자력 표준형 가압 경수로 원자력발전소(Pressurized Water Reactor type NPP)의 안전등급 비상디젤발전기의 속도제어시스템의 성능개선 및 분석에 관한 보고서이다. 경수로형 원자력발전소의 비상디젤발전기는 가압경수로의 경우 7,000kW 정도의 대용량 디젤발전기를 가지고 있으며, 안전등급신호의 주입 시에는, 주입 후 10초 이내에 정격속도에 도달해야하는 엄격한 규제요건을 가진다. 그러나, 이러한 시험 및 성능규격이 오히려 디젤엔진 각부의 기계적인 열화, 마모 및 응력을 증가시켜 디젤엔진의 장기적인

사용에 있어 부정적인 영향이 있다는 원전산업계의 주장에 따라 엔진의 보호측면에서의 저속기동 방식이 도입되게 되었다.

2. 원전 비상디젤발전기 기동방식 개선 프로그램 및 현황

2.1 비상디젤발전기 기동방식 개선 프로그램

원자력 발전소의 비상디젤발전기 속도제어 시스템은 주 터빈발전기를 통한 소내 전원상실시, 주 냉각수 펌프와 같은 안전관련 기기(EFS)에 전력을 공급하는 디젤발전기의 속도와 출력을 조절하는 기기이다. 이러한 비상디젤발전기의 기존의 원전 운영기술지침은 NRC Regulatory Guide 1.108(Rev.1)을 적용하고 있어 안전등급에 해당하는 기동신호의 주입 후, 10초 이내에 정격주파수에 도달해야만 하는 급속기동을 해야 하는 등의 엄격한 규정을 요구하고 있었다. 다만 비상디젤발전기의 죽 운전시험에도 시행해야 하는 이러한 규정이 오히려 고가의 디젤엔진의 초기 기동 시 응력증가, 열화 및 마모를 증가시킨다는 의견이 반영되어 US-NRC 연구 검토 결과 Reg. Guide 1.9(Rev.3)로 개선된 규제지침을 발표하게 되었다.

국내의 경우 NRC Reg. Guide의 규격에 의거한 신뢰도 프로그램을 실시하고 있는데, 이는 미리 설정된 비상디젤발전기의 목표신뢰도를 유지하기 위하여 기동신뢰도 및 부하운전 신뢰도를 감시하고 유효시험 실패 시 이에 대한 적절한 조치를 이행하도록 하는 신뢰도관리 종합프로그램이다.

2.2 기존 제어시스템의 구성 및 문제점

2.2.1 기존시스템의 구성

기존시스템은 전기식 조속기로 Woodward 1000

Series - Dual Dynamics Speed Control이 사용되고 있었다. 이 시스템은 정상상태(Steady-State) 시의 조절기 특성인 Slow Dynamics와 과도상태(Transient-State) 시의 조절기 특성인 Fast-Dynamics 특성으로 구분되어 작동한다. 이러한 속도제어시스템은 속도설정을 행하는 속도설정기로 직류모터구동으로 가변저항을 구동하는 Woodward MOP (Motor Operated Potentiometer)가 설치되어 있었다. 디젤엔진의 기동 전에는 항상 정격속도에 해당하는 속도설정전압(Preset-Voltage)으로 설정되며, 디젤엔진의 기동과 동시에 속도제어시스템으로 전원이 공급되도록 구성되어 있었다.

2.2.2 기존시스템의 문제점

기존 시스템은 속도의 설정을 MOP를 이용한 구동형태이므로 조속기의 속도설정은 통상 정격속도의 90~110%이다. 모터로 가변저항을 구동하여 속도설정전압을 변경시키는 구조이므로 즉각적인 속도설정의 변경이 용이하지 않다.

기동 전에는 다른 디젤과 마찬가지로 Preset RPM, 즉 정격속도의 100%에 해당하는 속도설정을 가지도록 구성된다. 조속기의 정상제어 시점은 통상 정격속도의 80% 이상에서 제어출력이 행해지므로 디젤엔진의 고속 기동시 응답특성이 늦어지는 단점도 지니고 있다.

3. 속도제어시스템의 개선 및 성능분석

3.1 저속기동 및 고속기동 로직의 개선 및 분석

저속기동 로직은 비상디젤발전기의 기동신호가 정상적으로 작동하는 가운데 전자식 속도설정기(이하 DRU; Digital Reference Unit)의 1ST Ramp rate를 설정함으로써 이루어진다. Governor로의 속도설정은 정지시 항상 정격속도의 70%지점으로 설정된다.

속도제어시스템으로의 전원은 상시 인가된 상태에서 디젤엔진의 기동신호 인가시, 저속기동 Rate는 정격속도의 70% 지점에서 100% 지점까지 30sec의 기울기를 가지고 상승하게 된다. 이때 디젤엔진의 연료는 최대로 공급되고 엔진의 회전수와 피드-백되는 속도값이 편차가 발생하는 지점부터 제어를 수행하기 시작한다.

비상디젤발전기는 서서히 가속되어 30초 동안에 Slow Start로 정격속도에 도달하고, 100% 정격속도 설정 입력은 해제되고 속도조정입력(65)에 따라 계통병입운전을 준비할 수 있는 단계에 도달한다.

고속기동의 경우에는 기동신호 주입시 2초 후 속도설정은 정격속도의 100% 지점에 도달하게 된다. 다음의 그림 1은 저속기동의 순차 타이밍도 및 속도상승커브를 그림 2는 고속기동의 커브를 정리한 것이다.

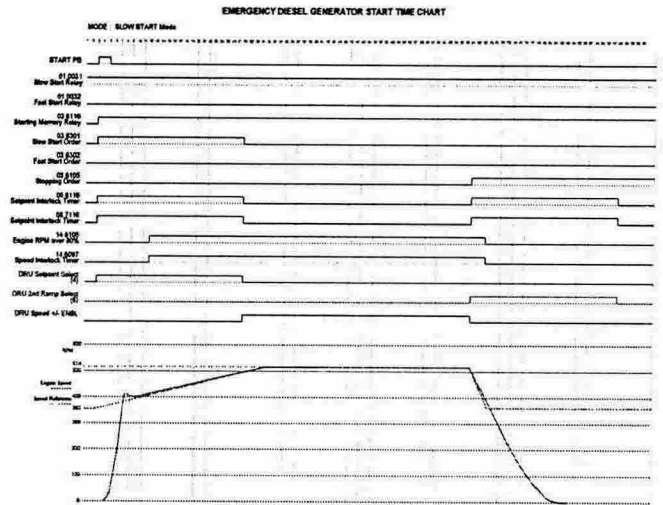


그림 1 저속기동 순차회로 타이밍 및 속도상승
Fig. 1 Slow start sequential timing chart and speed increase relation diagram

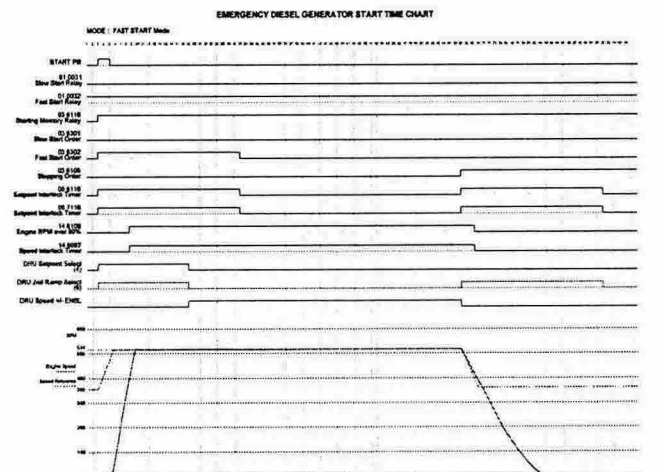


그림 2 고속기동 순차회로 타이밍 및 속도상승
Fig. 2 Fast start sequential timing chart and speed increase relation diagram

3.2 현장운전시험 및 분석

비상디젤발전기의 디젤엔진은 Semt-Pielstick사(프랑스) 514RPM, Alsthom 7,000kW 발전기로 한국수력원자력(주) 울진원자력 2발전소에 적용되었다.

3.2.1 제어기 조정 전 저속기동(Slow start)

다음의 그림 3은 디젤엔진의 제어기 조정 전 초기기동을 데이터 계측한 그림이다. 데이터는 500sample/Sec로 측정하였고 Nicolet Vision DAQ 시스템을 사용하였다.

다음의 그림 5에서와 같이 제어기의 게인이 조정되어 있지 않은 상태에서는 부적절하게 기동되는 것을 볼 수 있다.

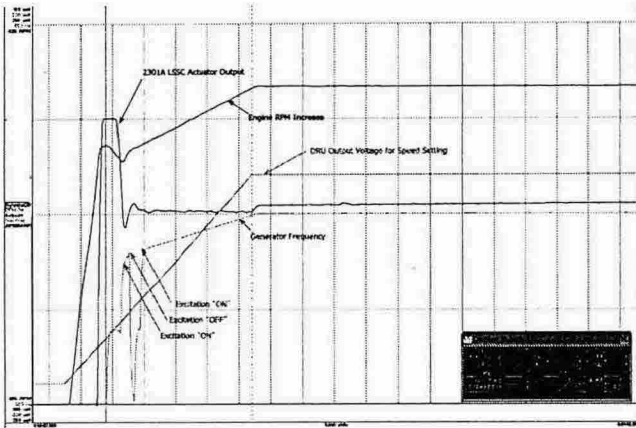


그림 3 제어시스템 튜닝 전 저속기동 특성커브
Fig. 3 Slow start characteristics curve before tuning the speed control system

3.2.2 제어기 조정 후 저속기동(Slow start)

다음의 그림 4는 디젤엔진의 제어기 조정 후 기동을 데이터 계측한 그림이다. 디젤엔진은 약 422 RPM에서 즉시 저속기동 속도설정 기울기 곡선과 동일한 행태로 엔진의 속도를 상승시키고 기동신호 주입 후, 약 23.2sec 후에 정상상태 정격속도에 도달하였다.

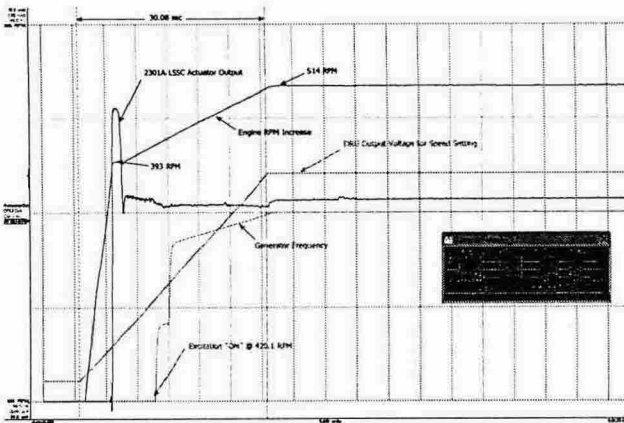


그림 4 제어시스템 튜닝 후 저속기동 특성커브
Fig. 4 Slow start characteristics curve after tuning the speed control system

3.2.3 고속기동(Fast start)

다음의 그림 7은 디젤엔진의 기동모드를 "Fast start" 모드로 두고 기동하고 이를 데이터 측정된 그림이다. 디젤엔진의 기동신호와 함께 DRU의 2ND Ramp rate에 의하여 약 2sec만에 속도설정은 정격속도설정으로 도달하였고 디젤엔진의 속도는 가장 빠른 시간 내에 정격속도로 상승하였다. 기동신호 주입부터 정격속도 도달시간은 약 6.6sec로 안전등급에서 요구하는 시간을 충분히 만족시킬 수 있다.

이러한 고속기동은 비상기동신호 주입시에도 동일하게 적용된다.

3.2.4 속도조절 및 백업시험

비상디젤발전기가 정격속도에 도달한 후, 속도조절 스위치 65를 조정하여 정상적인 속도증감이 행해지는 지 확인하고 속도제어시스템으로 입력되는 속도신호를 상실시켰을 때, EGB Governor/Actuator가 정상적으로 백업기능을 수행하여 디젤엔진이 정지되지 않음을 확인하는 시험이다. 그래프에서 속도신호가 사라진 부분이 속도측정용센서의 신호를 분리한 부분이고 신호를 재연결 시키자 전기식 조속기는 즉시 제어동작을 행함을 알 수 있다.

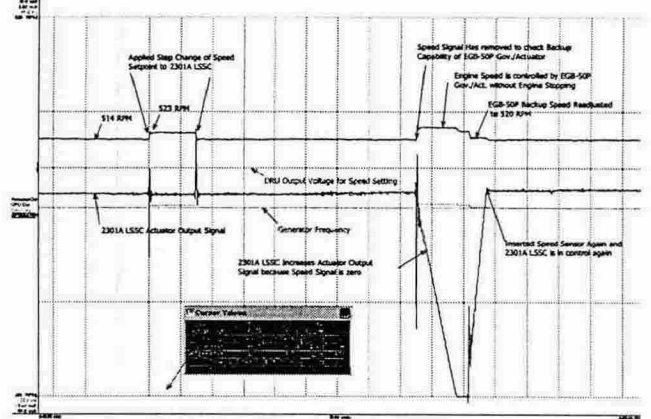


그림 5 제어시스템 조절 및 백업시험
Fig. 5 Speed Control & Backup test

4. 결론

현재 국내 원전의 비상발전시스템에는 여러 가지 방식의 적용이 이루어졌고, 본 논문에서 소개하는 기동기법 및 제어기의 구성이 상대적은 많은 디젤엔진에 가장 안정적인 기동기법으로 인정되어 소개하였다. 추후 이러한 기동기법에 대한 표준화방안과 같은 심화논의가 필요하며, 각 사업소 별로 제작사가 상이하므로 계측된 데이터를 통한 디젤엔진의 모델링 및 시뮬레이션을 통한 제어기의 안정성 검토와 같은 연구가 지속적으로 이루어져야 한다고 본다.

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력연구원 (과제번호:R2005-B-109)주관으로 수행된 과제임.

참고 문헌

- [1] 전일영, 김윤식, "대용량 양수발전소의 디지털 조속기 적용에 관한 연구", 한국박용기공학회 추계학술논문집, pp. 213-216, 2003. 10
- [2] Y.S Kim, S.G Lee and I.Y Jeon, "Development of Speed Regulation Monitoring System for Turbine Generator", Proc. of ICEP '04, pp. III-315~318, Oct.2004