

‘98 추계학술발표회 논문집

한국원자력학회

원자력 발전소 비상디젤 발전기의 성능 감시 시스템 설계

Design of Performance Monitoring System for NPP Emergency Diesel Generators

정환성, 배상민, 김태운

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

정현종, 최광희

한국전력연구원

대전광역시 유성구 문지동 103-16

요약

원자력 발전소의 비상 디젤 발전기는 외부 정전시 원자로 정지, 노심 냉각, 방사능누출 방지, 안전 기기 작동에 필요한 전력의 공급원이다. 따라서 비상디젤 발전기는 항상 운전 가능하도록 주기적으로 시험 및 검사를 수행하고 있다. 기동은 10초 이내에 하여야 하고, 부하 시험 시에는 정격출력을 낼 수 있는지를 확인하여야 한다. 그러나 이러한 시험 및 검사 결과 취득이 자동화되어 있지 않아 많은 인력과 시간이 소요된다. 그리고 기동실패나 운전 실패가 발생되면 신뢰도를 입증하기 위하여 가속시험을 수행하여야 한다. 따라서 원자력 발전소에서는 열화나 고장을 사전에 검출하는 것이 중요하다. 그러나 주기적인 시험만으로 엔진 자체의 성능열화나 보조 기기 등의 열화현상을 검출하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 신뢰도 프로그램의 일환으로 시험자료 데이터 베이스를 구성하여 측정치, 추세 및 성분 분석을 하여 열화 및 고장을 사전에 발견할 수 있는 성능감시 시스템을 개발한다.

Abstract

The emergency diesel generator(EDG) in nuclear power plant is an electric power source which supply the electricity to safety related equipments to shutdown and cool the reactor , to prevent radiation release, and to activate the safety actuators. It should be verified by periodic tests that the EDG start within 10 seconds upon start signal and supply its rated load. These tests require a lot of manpower. But the faults and the deterioration can not be detected easily without detail analysis. In this study the performance monitoring system will be developed to make database of the EDG test results to support trending and engine performance analysis and to monitor selected variables in real-time during EDG operation.

## 1. 서론

원자력 발전소의 비상디젤발전기는 발전소 안전의 보루로서, 운전 및 관리에 있어서 매우 중요하다. 비상디젤 발전기는 비상기동 신호에 의하여 10초 이내에 기동하여야 하며 규정된 정격 출력을 낼 수 있어야 한다. 또한 일시에 정격 부하를 차단할 경우에도 과속도 트립이 없이 정격 전압 및 주파수를 유지하여야 한다. 이러한 성능은 주기적인 시험에 의하여 확인된다. 만약 시험 시 고장으로 기동 실패나 운전 실패가 발생되면 신뢰도를 입증하기 위하여 시험주기를 단축하도록 되어있다. 따라서 비상디젤발전기의 성능을 감시하여 고장이나 열화를 발견하는 것이 중요하다.

매달 실시하는 비상디젤발전기의 주기 시험의 목적이 엔진과 발전기 계통의 “건강진단“이므로 대부분의 운전변수를 측정하여 감사하면 현재의 엔진의 상태를 판단할 수 있다. 그리고 일부 변수의 추이를 분석하여 부품의 장기적인 노후화 정도를 판단할 수 있다.

성능감시시스템 개발의 목적은 현재의 비상디젤발전기의 운전변수를 실시간 시스템으로 취득함으로써 성능을 정량적으로 파악하고 고장 발생 시 고장부위를 식별하고 대처하도록 하며 더 나아가 시험자료데이터 베이스를 구축하여 추세 분석을 통하여 고장 발생 전에 열화를 예측하여 비상디젤발전기의 효율과 신뢰도를 향상시키는 것에 있다.

본 연구에서는 우선 영광 제2 발전소를 대상으로 비상디젤 발전기의 성능 감시 시스템의 설계를 수행하였다.

## 2. 성능감시 시스템 설계

### 2.1 성능감시 시스템 구조

성능감시 프로그램은 성능을 알아내기 위한 제반 활동을 의미하는 것으로 특정한 자동화된 감시 시스템만을 언급한 것이 아니고 정기검사와 행정적인 절차 등도 포함되며 이의 자동화된 수단이 컴퓨터화된 성능감시 시스템이다.

성능 감시 시스템은 발전기의 상태를 감시하여 성능을 나타낼 수 있도록 하는 설비로서 이에 필요한 데이터는 자동(실시간) 또는 수동으로 취득하게 된다. 계통분석과 고장이력 분석 그리고 IEEE, NUMARC 의 권고 사항 등을 참조하여 선정된 성능감시 변수는 크게 2 종류로 구분된다. 첫 번째는 실시간 변수로서 이에겐 발전기와 제어기의 성능을 나타내는 변수들과 배기가스 온도들이 포함된다. 두 번째는 수동(off-line) 취득 변수로서 운전원이 주기적으로 취득한 엔진의 공정 변수들이 포함된다. 실시간 변수는 컴퓨터 시스템으로 시험 시 자동으로 취득하여 데이터 베이스로 작성되며 또한 경보 제한치를 설정하여 실시간 경보를 발하게 된다. 수동 취득 변수는 운전원이 취득한 변수를 시험이 끝난 후에 데이터 베이스로 작성하며 자료 입력 시 경보 등을 발하게 된다. 일단 데이터 베이스가 작성되면 이 자료는 신뢰도 데이터 시스템의 데이터 베이스로 옮겨 모든 사용자가 사용하게 된다. 이상의 개략적인 내용을 도식적으로 표현하면 그림1과 같다.

비상디젤발전기의 성능을 표현하는 운전변수 중 변화율이 빠른 제어변수 및 배기가스 온도는 이동형 컴퓨터에 의하여 실시간으로 감시하고, 변화율이 느린 엔진의 온도 및 압력의 변수는 수동입력에 의하여 감시하는 방식으로 구성하게 된다.

실시간 감시용 휴대형 컴퓨터 시스템은 발전소당 1대만 구비하여 각 계열 시험시 공동으로 사용할 수 있도록 한다. 그러나 이를 연결할 수 부분은 각 발전기마다 설치하여야 한다.

## 2.2 하드웨어 설계

실시간 변수 취득은 휴대형 컴퓨터와 이와 관련된 자료 수집용 기기가 이용되며 이러한 설비는 별도로 구비하여야 한다. 그러나 수동자료 입력용 컴퓨터 시스템은 네트워크 연결된 일반 컴퓨터에 소프트웨어만 설치하면 되므로 별도의 하드웨어 설계가 필요치 않다.

### 2.2.1 하드웨어 구성

실시간 변수 데이터 취득 및 감시를 위한 시스템은 다음과 같은 기기로 구성된다.

- 휴대형 PC
  - 자료 수집 보드
  - RS 485 통신 보드
- 배기가스 온도 감시 장치(CMR S128.3 with RS485 serial link)
- 연결 보드
- 데이터 케이블이블
- 기타 현장 전선

위의 기기 들은 그림 2와 같이 연결된다.

### 2.2.2 하드웨어 설치

자료 수집 보드(DAQ) 와 직렬통신보드(RS485) 는 휴대형 컴퓨터 내에 내장된다. 따라서 본체와의 사이에는 별도의 배선이 필요 없다.

자료 수집보드와 연결보드 사이는 이들 규격에 맞는 특수한 케이블로 연결된다. 이 케이블은 자료수집 보드와 함께 구입한다. 연결 보드는 현장신호를 연결하는 부분으로서 역시 자료 수집 보드 제작자로부터 구입하며 현장에 영구적으로 설치된다. 따라서 이 연결보드는 엔진 제어반과 발전기 제어반 사이에 설치되어야 한다.

연결보드와 각 제어반 사이는 현장 전선으로 영구적으로 설치하여야 한다. 이 배선은 표준 신호(4-20mA, 0-10V) 용이므로 기존 신호선 연결 방식과 같이 설치한다.

휴대형 컴퓨터의 직렬 통신보드와 배기가스 온도 감시장치의 직렬 통신 포트 사이는 RS 485 직렬 통신이 가능한 5가닥의 전선으로 구성된 1가닥의 차폐 케이블로 연결한다.

### 2.2.3 하드웨어 접속의 영향(Isolation)

성능 감시를 위하여 새로 추가되는 기기는 기존설비에 연결할 때 비상디젤 발전기의 성능 및 안전 요건을 저하시키지 않아야 한다. 즉 기존 시스템에 잡음을 유기하지 않아야 하고,

격리가 이루어져 기존 시스템의 안정성을 떨어뜨리지 않아야 한다. 따라서 각 변수에 대한 영향을 조사한 결과는 다음과 같다.

제어 변수 : 엔진 제어에 영향을 줄이기 위하여 제어 입력이 아닌 제어신호 출력단이나 지시회로 출력 단에서 신호를 인출하고, 신호 수집 보드의 임피던스를 충분히 높은 것으로 선정하였다. 신호 수집 보드의 임피던스는 전원 인가시 100 GΩ, 전원 제거시 5MΩ 으로서 기존 회로에 대한 영향이 없을 것이다.

발전기 변수 : 발전기의 출력과 관련된 전압, 전류, 주파수 신호는 격리회로가 내장된 신호 전송기의 출력에 연결하므로 기존 회로에 영향을 주지 않는다.

엔진변수 : 엔진 변수인 배기가스 및 터보차저 온도는 배기가스 감시 장치인 CMR S128.3 의 직렬 통신 장치를 이용하므로 기존 회로와는 완전히 격리된다. 따라서 기존 회로에 영향을 주지 않는다.

## 2.3 소프트웨어 설계

### 2.3.1 개발 소프트웨어 선정

소프트웨어 개발은 개발도구를 이용하여 시간을 단축하고, 유지 보수를 용이하게 하여야 한다. 따라서 다음과 같은 특성을 가진 Labview 5.0 으로 선정하였다.

- Graphical User Interface : 우수
- 하드웨어 호환성 : 우수
- 개발성 : 우수
- 유지보수성 : 우수

### 2.3.2 성능 감시 시스템 소프트웨어 구비 요건

#### 가. 사용자 인터페이스

성능 감시 시스템은 사용자가 기능을 변경하거나 선택할 수 있는 기능을 제공하여야 한다. 그리고 도식적 표현(Graphical interface)을 채택하여 정보전달이 효과를 높일 수 있어야 한다. 또한 최근에는 사무환경에서 익숙한 윈도우와 마우스를 사용하도록 한다. 프로그램은 가능하면 윈도우 표준 인터페이스를 이용하고 화면을 인간공학적으로 설계하여야 한다.

#### 나. 메뉴

소프트웨어 프로그램은 시작/ 종료 /저장 /재생 / 인쇄 등의 기능을 기본적으로 제공하여야 한다. 그리고 가능하면 현장에서 선택하여야 하는 작업이 적게 하여 사용자는 쉽게 , 개발자나 관리자는 모든 것이 가능하게 하여야 한다. 복잡하지 않게 하여 인적 오류 발생이 적게 하여야 한다. Pull-down menu 와 button(icon)을 같이 사용한다.

#### 다. 화면 표시

전압, 전류, 주파수, 제어신호 등의 기본적인 변수는 디지털 또는 아날로그 형태는 물론 추이 곡선으로도 나타낸다. 그리고 배기가스 온도는 수량이 많으므로 디지털로 표시함을 기본으로 하고 필요시 추이를 볼 수 있게 한다. 화면은 기동, 운전, 자료재생으로 나눈다.

#### 라. 성능

실시간 샘플링 속도는 기동시 특성을 볼 수 있도록 선정하여야 한다. 현재는 기동 시에는 약 10 msec 로 자료를 저장한다. 운전시에는 약 10초 단위로 자료를 저장하여 추후 추이를 감시하는데 정확도를 높이고자 한다. 그러나 이러한 주기는 시험 단계에서 조정할 필요가 있을 것이다. 실시간 감시 중에 변수가 설정 값을 초과하면 경고(표시 및 기록)를 할 수 있도록 한다. 성능감시 시스템은 데이터 베이스를 생성하고, 또한 이를 재생할 수 있어야 한다. 이때 필요한 변수만 볼 수 있는 기능도 갖추어야 한다. 화면에 표시된 그래프는 프린터로 인쇄가 가능하여야 한다.

#### 마. 기능

비상디젤발전기의 운전시 제어변수와 배기가스 온도의 변화 추세를 성능감시 컴퓨터에 의하여 현장에서 감시하고 프린터 및 데이터베이스로 출력할 수 있는 프로그램을 개발한다.

사용자가 매월 비상디젤발전기의 시험시 취득한 엔진의 온도 압력을 데이터베이스에 입력할 수 있는 프로그램을 개발한다.

운전변수 데이터베이스를 취득하여 사용자가 비상디젤발전기의 성능을 분석할 수 있는 프로그램을 개발한다.

#### 바. 인터페이스

성능 감시 시스템에서 생성된 데이터 베이스는 영구 저장과 다중 사용자를 위하여 신뢰도 데이터 시스템의 데이터 베이스에 옮겨져야 한다. 따라서 성능 감시 시스템은 네트워크에 연결할 수 있는 기능을 구비하여야 한다. 그리고 데이터 베이스는 신뢰도 데이터 시스템과 호환성이 있는 구조를 채택하여야 한다. 현재 선정된 데이터 베이스는 Microsoft Access 7.0 데이터 베이스이다.

### 3. 결론

비상디젤발전기의 성능감시 시스템은 엔진의 운전 변수를 감시하며 동시에 데이터 베이스를 구축하여 추후 엔진의 성능과 기기의 열화, 신뢰도 저하를 감시하는 시스템이다. 따라서 선정된 변수의 실시간 감시가 가능하도록 자동 신호 처리장치를 구비한 컴퓨터 시스템과 수동 자료 입력을 위한 시스템이 개발된다. 이 시스템은 실시간 또는 수동으로 취득한 정보로 데이터 베이스를 생성하여 다수의 사용자가 시험 결과 및 추세 분석을 할 수 있다.

#### 4. 참고문헌

- [1] IEEE Standard Criteria for Diesel-Generator Units Applied as Standby Power Supplies for Nuclear Power Generating Stations, IEEE Std387-1995
- [2] Stephen Hofmann, Engine Analysis - Tips, Tricks and techniques for an Effective Program, Proceedings of Joint Emergency Diesel Generator Owners Group Conference, June, 1997
- [3] SACM, Diesel Engine Instruction Manual, 1993

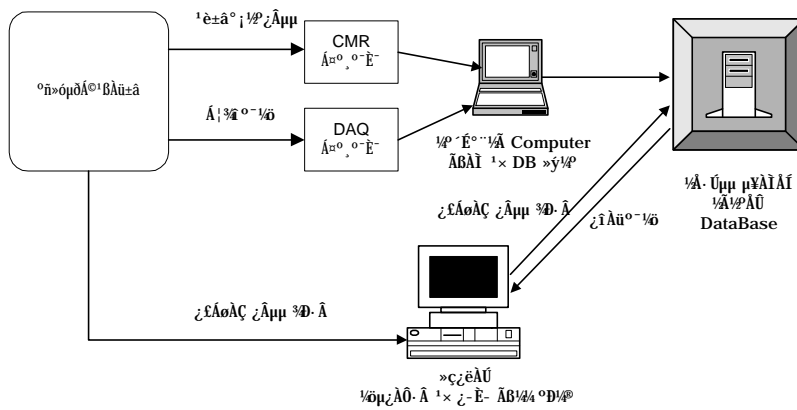


그림 1 성능감시 시스템 구성도

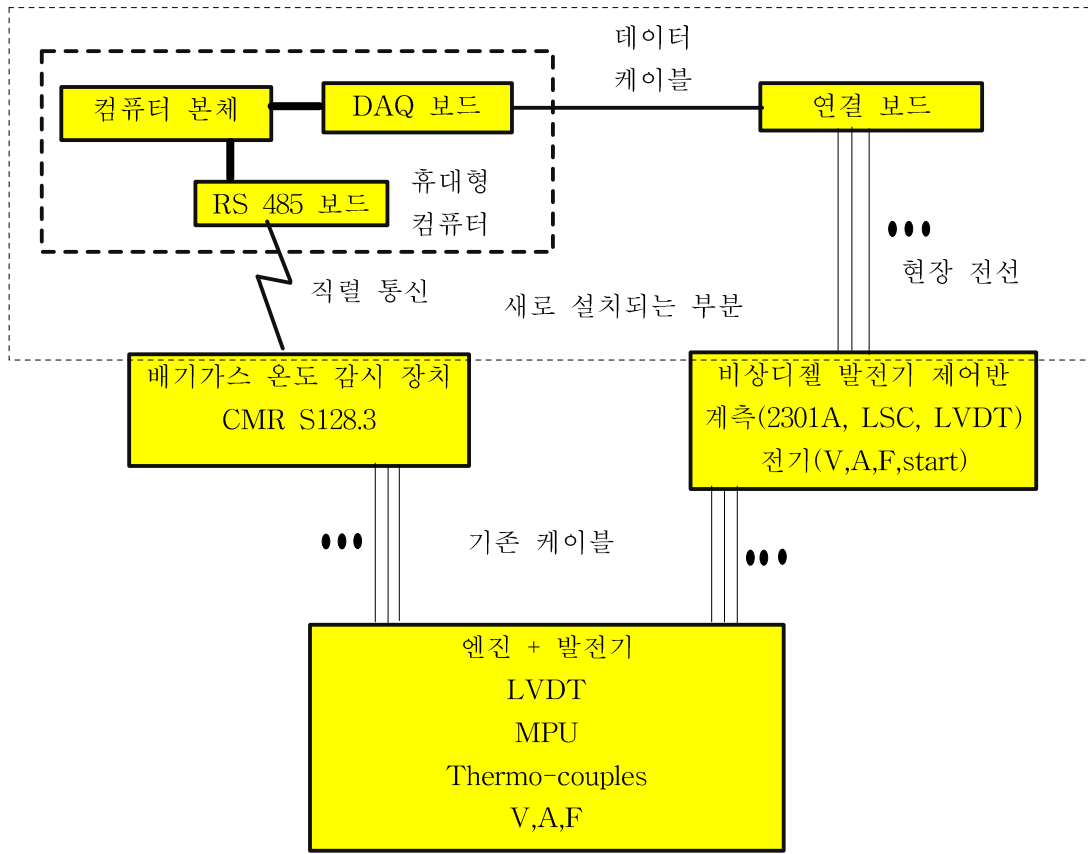


그림 2 실시간 성능 감시 시스템 연결도