

# 비상디젤발전기계통 상태감시 및 고장진단기술 개발

조권회<sup>+</sup> · 류길수<sup>++</sup> · 소명옥 · 박종일<sup>+++</sup> · 손민수 · 안종갑 · 이윤형 · 장태린

## Development of the Monitoring and Diagnosis Technique on Emergency Diesel Generator System

Kwon-Hae Cho<sup>+</sup>, Keel-Soo Rhyu<sup>++</sup>, Myung-Ok So, Jong-Il Park<sup>+++</sup>, Min-Su Son, Jong-Kap Ahn,

Yun-Hyung Lee, Tae-Lin Jang

**Abstract** : The importance of emergency diesel generator(EDG) has confirmed in the safety evaluation of PSA and the study on aging of EDG has been progressed actively as a part of the project of nuclear plant aging research in the U.S.A. As the result, the concept of performance evaluation is being transferred from statistical analysis of test results to performance monitoring and trending analysis for monitoring of aging and reliability. Recently, the study related aging characteristic and reliability for EDGS has begun in Korea. Consequently, the efficient performance monitoring based systematic and integrated monitoring and failure diagnostic technology is necessary. In the research, the knowledge basis of monitoring parameters for EDGS is constructed, and the prototype monitoring and diagnosis system applicable to Pielstick EDG is developed.

**Key words** : EDG(비상디젤발전기), Monitoring(감시, 모니터링), Diagnosis(진단)

### 1. 서 론

원자력발전소에서 비상디젤발전기의 중요성은 PSA 안전성평가에서 이미 확인되었을 뿐만 아니라 미국은 이미 원전 경년 열화연구(Nuclear Plant Aging Research) 프로젝트의 일환으로 비상디젤발전기계통의 경년 열화(Aging)에 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 결과로 산업계/규제기관간의 성능 평가 개념이 통계적인 시험결과에 대한 의존에서 경년열화/신뢰도 감시에 활용하기 위한 성능감시 및 경향분석으로의 전환이 시도되고 있다.

국내에서는 최근에서야 비상디젤발전기 계통(EDGS)에 대한 열화 특성 및 신뢰도와 관련된 연구가

시작된 상태이며, 최근에 도입된 비상디젤발전기 신뢰도 프로그램과 관련 비상디젤엔진의 성능감시와 관련된 절차 등을 보완하도록 단편적으로 권고하고 있는 실정이다. 따라서 보다 체계적이고 종합적인 성능감시 및 고장진단/분석 기술을 확보하여 효율적인 성능감시가 필요하다.

특히 비상발전기용 디젤엔진은 운전시간이 극히 짧아 상시 감시에 소홀해지기 쉬우며 고도의 전문지식을 가진 전문가를 채용하여 근무시키는 것도 어려움이 따르게 된다. 그러므로 시스템이 비상발전기용 디젤엔진의 상태감시 및 고장진단결과를 당직자에게 보여줌으로써 당직자가 위급한 상황에 쉽게 대처할 수 있도록 하는 것이 대단히 중요하다.

+ 조권회(한국해양대학교 해사대학 기관시스템공학부), E-mail: khcho@mail.hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4252

++ 류길수(한국해양대학교 IT공학부), 소명옥(한국해양대학교 선박전자기계공학부)

+++ 박종일, 손민수, 안종갑, 이윤형, 장태린(한국해양대학교 대학원)

본 연구에서는 비상발전기용디젤엔진의 상태감시 및 고장진단을 수행하는 시스템 개발에 목적을 두고, 우선 비상발전기용 디젤엔진의 진단인자를 분석한 후, 이 분석결과를 기반으로 하여 상태감시 및 고장진단용 시스템을 개발하였다.

## 2. 본 론

본 연구에서는 원전용 비상디젤발전기엔진을 위한 상태감시 및 고장진단 시스템개발을 위한 방법론을 제시하고 프로토타입을 개발하는데 목적을 두었다.

상태감시 및 고장진단 시스템을 개발하기 위해서는 계측부, 상태감시부, 진단부를 독립적으로 모듈화하는 것이 개발단계에서나 또는 동작의 유연성면에서 모두 바람직하지만, 저급레벨의 언어를 이용하여 개발하기 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하게 된다. 최근에는 시스템 개발을 보조해주는 많은 개발도구들이 등장하고 있다. 특히 계측부와 상태감시부의 개발을 도와주는 개발도구들로서 많은 SCADA 시스템들이 등장하여 사용자 인터페이스의 경우에는 쉽게 개발할 수 있지만 계측을 위해서는 제공되는 제한된 획득보드를 사용하지 않으면 안되는 제한점들도 있다. 또한 이러한 개발도구들은 여러 버전으로 판매되고 있어서 초기 개발시에는 구입 가격이 비교적 많이 들지만 개발 후에는 배포라이선스만을 구매하면 되어 비교적 저렴하게 시스템을 개발할 수 있다. 진단부의 경우에는 전문가시스템 개발도구들을 이용하여 쉽게 개발할 수 있지만 이러한 도구들은 가격이 대단히 고가일 뿐만 아니라 배포라이선스와 같은 개념이 없다. 그러므로 초기의 개발단계에서는 이러한 개발도구를 이용하여 프로토타입으로 개발한 후 진단 가능성을 확인한 다음, 저급레벨의 언어를 이용하여 재개발하는 것이 경제적인 측면이나 실행측면에서 모두 실용적이라 할 수 있다.

본 연구의 목적은 진단 가능성의 방법을 제시하는 것이 주목표이므로 우선 개발도구를 이용하여 개발하기로 한다. 특히 계측부의 경우 연구개발비 및 기간을 고려하여 기존의 DMDS시스템과 실시간 센서값을 획득하기 위해 충돌하는 문제 등을 배제하기 위해 가급적 하드웨어는 조작하지 않기로 한다. 대신에 울진 5, 6

호 원전의 비상발전기디젤엔진(Pielstick PC2-5V) 용 DMDS시스템의 시운전 데이터가 DB로 보관되어 있어서 이것을 실시간 계측용 데이터로 이용하기로 하였다.

본 연구에서는 진단가능성을 보여주는 것이 목표이므로 진단데이터와 증상과의 인과관계를 대부분 규명하였지만 시스템에 규칙기반 지식으로 표현하는 데에 있어서는 일부분만을 작성하였다. 그러므로 진단결과도 부분적인 범위에서만 가능하며 이에 대한 상용화 연구는 별도로 진행되어야 할 것으로 사료된다.

### 2.1 시스템의 전체 구성

울진 5, 6호 원전의 비상발전기용 디젤엔진(Pielstick PC2-5V)을 대상으로 하여 시스템을 계측 모듈, 상태감시모듈, 진단모듈로 구성되며, 시스템의 총체적인 개발절차는 다음과 같다.



Fig.1 시스템의 모듈화

- ① 디젤엔진을 분석하여 진단데이터와 증상간의 인과관계를 규명하고 이를 지식화한다. 또한 지식표현을 위하여 디젤엔진의 객체를 Java언어를 이용하여 정의한다.
- ② 계측부를 개발하기 위해 울진 5, 6호 비상발전기엔진 DMDS의 시운전데이터로 보관된 MySQL DB를 분석하여 실시간 계측으로 이용할 데이터를 추출한다.
- ③ 상태감시부의 개발을 위해 In-touch 개발도구를 이용하여 상태감시용 텍스트화면, GUI화면, 트렌드화면 등을 디자인하고 진단부를 호출하기 위한 인터페이스를 작성한다.
- ④ 진단부의 개발을 위해 Jrules 개발도구를 이용하여 진단데이터와 증상과의 인과관계를 규칙기반 진단지식으로 작성하고 이를 상태감시부와 연결될 수 있도록 배포하기 위해 Java언어를 이용하여 인터

페이지를 작성한다.

고장진단시스템은 우선 실시간 진단데이터가 계속되어 이 값들을 표시해 주고 알람을 알려주는 기능이 있어야 하며, 알람이 발생하면 전문가와 유사한 진단을 수행하여 이를 표시해주는 기능이 필요하다. 본 연구에서는 현재 운용되고 있는 DMDS의 기능을 방해하지 않으면서 감시 및 진단을 수행할 수 있는 상태감시 및 고장진단 시스템의 개발을 목표로 하여 올진 5,6호 원전용 비상발전기엔진(Pielstick PC2-5V)의 상태감시 및 고장진단시스템을 다음과 같은 전략으로 개발하였다.

- ① 진단데이터와 증상과의 인과관계를 규칙기반 진단 지식으로 만들기 위해 관련자료를 수집하여 많은 분석과 논의를 거쳐 전문가의 경험적 진단방식의 지식으로 정리하였다. 이렇게 정리한 지식을 JRULES라는 전문가개발도구를 이용하여 규칙형 진단지식으로 변환하여 지식베이스에 저장하였다. 디젤엔진에 관한 전문가의 경험적 지식을 얻기 위해서는 디젤엔진의 손상 사례 및 정비경험에 대한 자료가 있어야 한다. 이를 위해, 본 연구에서는 10여종의 자료를 분석하여 이를 토대로 전문가의 경험적 지식을 도출하였다.
- ② 올진 5,6호 비상발전기엔진 DMDS의 시운전데이터로 보관된 DB를 분석하였다. 실시간데이터를 얻기 위해서는 현장의 각 센서로부터 직접 통신라인을 통하여 전송받아야 하지만, 금번의 연구에서는 여러 가지 제약조건 때문에 프로토타입으로 구현할 계획으로 올진 5,6호 비상디젤발전기엔진의 DMDS 시스템의 시운전 데이터가 MySQL DB로 저장되어 있기에 이를 분석하고 이 데이터를 가상의 실시간 데이터로 이용하도록 소프트웨어를 작성하였다.
- ③ 비상발전기엔진의 상태를 실시간으로 감시하여 이를 표시해주기 위해 엔진을 계통별로 분류한 후, 이를 GUI 형태로 화면상에 표시하고 이 화면상에 실시간데이터도 함께 표시하도록 하는 기능을 설계하였다. 이를 위해 In-touch라고 하는 SCADA시스템을 이용하여 비상발전기엔진의 계통별 GUI화면, 실시간 트랜드, 히스토리 트랜드 기능들을 구현하

였다.

- ④ 각 실시간데이터의 상태를 감시하여 알람 발생시에는 이를 화면상에 표시하고 사용자가 인식하도록 하며, 진단이 필요한 경우에는 진단모듈에 진단을 요구하도록 하였다. 이를 위해 역시 In-touch를 이용하여 각 센서의 정상범위를 설정하여 이 범위를 초과하였을 경우 알람발생토록 하고 이를 화면상에 표시하도록 하였다.
- ⑤ 진단요구를 받은 진단모듈에서는 자신이 가지고 있는 규칙형 진단지식과 현재 상태를 기반으로 진단결과를 도출하고 도출한 결과를 DB에 저장하게 된다. 이를 감시모듈에 전송하도록 한다. 이 기능 중에서 진단결과의 도출은 JRULES에서 수행되도록 하고, 이 결과를 In-touch 전송은 java언어를 이용하여 구현하였다.

Figure 2는 상기의 개발전략에 의해 개발된 시스템의 구성도이다.

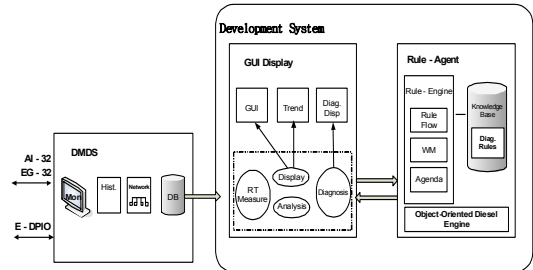


Fig. 2 Structure of a monitoring-diagnosis system

## 2.2 계측 모듈

계측모듈에서는 센서값을 실시간으로 계측하여야 한다. 그러나 올진 5,6호 비상발전기엔진용 DMDS시스템의 하드웨어 변경이 어려운 점을 고려하여 DMDS시스템의 시운전데이터로 보관된 MySQL DB를 분석한 후 이 중에서 shorttrends\_dg56테이블을 사용하였고, 이 테이블의 레코드를 일정시간 간격으로 읽어 이 값을 실시간 센서값으로 활용하였다.

## 2.3 상태감시모듈

엔진모니터링 및 고장진단시스템은 EDG 운전 중 운전상태의 감시, 기기들의 정상상태 유지 확인 및 정비, 엔진의 비정상 상태(비상디젤발전기계통 성능 및 고장 분석기술 개발 보고서) 조기발견에 있음에 주목하고 GUI 환경을 통한 중앙 집중적인 운전감시를 위해 올진 5, 6호기 EDG Piping System을 기반으로 In-Touch로서 엔진모니터링의 Graphic 부분을 완성하였다. EDG System 계통도는 아래 9가지로 세분화한다.

- ① LT Water Circuit
- ② HT Fresh Water Circuit
- ③ Engine Lubricating Oil Circuit
- ④ Fuel Circuit
- ⑤ Inlet Air
- ⑥ Exhaust gas
- ⑦ Starting
- ⑧ Casing Deaeration
- ⑨ Engine Bearing Circuit

이 중에서 DMDS에서 우수하게 실현된 Starting air circuit에 대한 구현은 생략하고, Casing Deaeration, Engine Bearing Circuit는 Lubricating oil circuit로 분류한다.

전문가에게 효율적인 상태감시기능을 제공하기 위해 다음과 같은 요소들을 화면상에 표시해 준다.

- ① Real-Time Trend
- ② History Trend
- ③ 계통별 MIMIC diagram
- ④ Alarm History List
- ⑤ 현재 알람
- ⑥ 진단결과표시

엔진모니터링의 Piping System Graphic 부분은 EDG 운전 중 감시되어야할 중요 인자를 중심으로 실제 도면에 충실하게 제작되었다. 감시되어야할 중요 인자로서 화면에 표시되는 알람부분은 EDG로부터 실

제의 Data를 실시간으로 수집할 수 있는 부분에 한해서만 표시할 수 있었다.

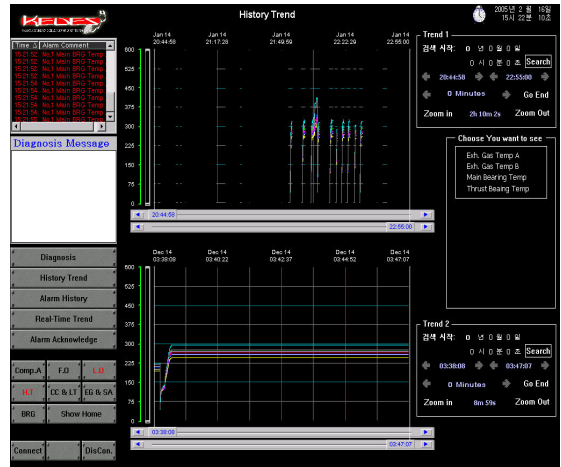


Fig.3 History Trend 화면

### 2.3.1 In-Touch

Invensys System, Inc.의 Wonderware 중 개체-지향적 그래픽을 사용하여 동적으로 접촉-민감한 화면 작성을 위한 개발환경인 WindowMaker를 사용하여 엔진모니터링 부분을 완성하였으며 WindowMaker로 제작된 그래픽 화면을 디스플레이하기 위해 런타임 환경인 WindowViewer를 사용하였다.

고장진단부분은 ILOG JRules tools부분에서 행하여지며 InTouch는 발생한 알람의 진단텍스트를 디스플레이 해준다.

### 2.3.2 Alarm 발생의 분류

Data의 수집에는 Analog적인 부분과 Digital적인 부분으로 나누어진다.

#### ① Analog 신호가 입력되는 경우

각 EDG Piping System에 실시간으로 Data의 값이 표시되도록 제작하였다. Alarm 발생은 In-Touch 자체기능을 이용하였으며 알람 발생 한계치는 원진용 디젤기관에서 제시하는 한계값을 기준으로 알람이 발생할 수 있도록 제작하였다.

#### ② Digital 신호가 입력되는 경우

Digital이라함은 EDG 각부에 설치된 센서가 ON/OFF 작동만으로 정보를 AMS에 전달하는 것을 말한다.

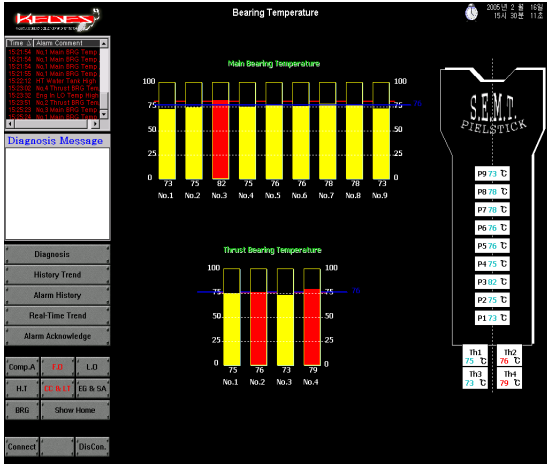


Fig.4 In-Touch 배기가스계통 구성화면

GUI 화면상에서 정상일 때는 항상 NORMAL로 표시가 되며 센서 작동 시에 알람 발생할 수 있도록 제작하였다.

## 2.4 진단모듈

울진 5, 6호 비상발전기엔진 DMDS의 시운전데이터로 저장된 DB를 먼저 분석하였다. 이 데이터베이스는 MySQL DB로 저장되어 있으며 DB의 이름은 INSPECT이며 총 10개의 테이블로 이루어져 있다. 본 연구에서 DB를 분석해본 결과 fastacquisition\_points\_dg56은 정지 시 데이터가 대부분이라 사용을 하지 않았고, shorttrends\_dg56\_stopped 테이블은 엔진 정지 시 매 15분 간격으로 저장되어 있었다.

Shorttrends\_dg56 테이블은 엔진 운전 중 매 15초 간격으로 저장되어 있다. 테이블 분석한 결과로 235개의 진단 데이터를 저장하였으며, Starting, Stop, Running의 3가지 형태로 분석되었다. 본 연구에서 shorttrends\_dg56 테이블을 사용하여 In-Touch에서 모니터링하고 알람이 발생하면 진단 데이터를 alarmed\_db에 저장하여 저장된 데이터로 진단을 하게 된다.

진단모듈을 구성하기 위해 필요한 진단지식은 다음과 같은 절차에 의해 획득된다.

- ① 디젤엔진을 계통별로 분류하고 각 계통을 객체지향기법으로 표기한다. 각 계통별로 기기(devices)의 증상(symptoms), 상태(state), 센서(sensors)를 정의하였다. 또한, 현재의 센서값으로부터 상태를 VL, L, N, H, VH의 5레벨로 분류하고 이 센서값의 시계열에 의해 Increase, Steady, Decrease 3종류의 경향(trend)을 추정한다.
- ② 각 계통별로 기기의 증상과 상태간의 관계를 규정한다.
- ③ 규정된 관계를 규칙형 지식으로 변환한다.

In-Touch에서 실시간 모니터링을 하면서 알람이 발생하게 되면 AlarmViewerCtrl에서 발생한 알람에 대한 목록을 보여주게 된다. 진단을 하기 위해서는 먼저 AlarmViewerCtrl의 목록에 알람을 선택한 다음 Diagnosis 버튼을 클릭하게 되면 In-Touch는 진단에 필요한 값들을 DB에 저장하게 된다.

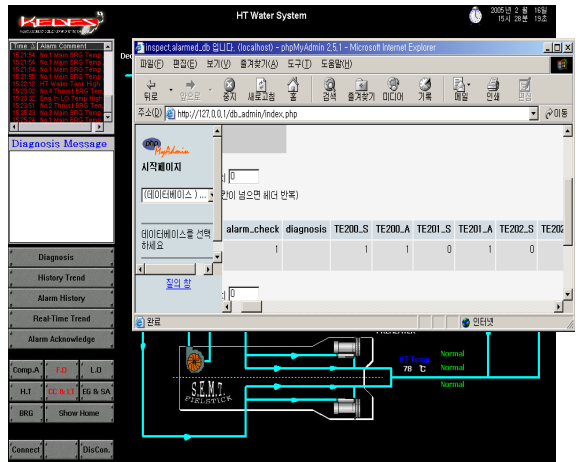


Fig.5 LO계통 진단에 필요한 값들을 DB에 저장한 화면

발생한 알람에 대한 AlarmViewerCtrl의 목록에서 알람을 선택한 다음 Diagnosis 버튼을 클릭하면 Alarmed\_db에 진단에 필요한 진단 데이터를 저장하

