

디젤엔진용 고장 및 예측진단 기술 개발

박종일⁺, 류길수⁺⁺, 조권희⁺⁺⁺, 소명옥⁺⁺⁺⁺, 김태진⁺, 원라경⁺, 장태린⁺⁺⁺⁺, 안종갑⁺⁺⁺⁺⁺

Development of the Fault and Early Diagnosis Technology for Diesel Engine

Jong-Il Park⁺, Keel-Soo Rhyu⁺⁺, Kwon-Hae Cho⁺⁺⁺, Myoung-Ok So⁺⁺⁺⁺, Tae-Jin Kim⁺,
La-Kyoung Won⁺, Tae-Lin Lee⁺⁺⁺⁺ and Jong-Gab An⁺⁺⁺⁺⁺

Abstract : These days, it is needed that more stability and reliability of Diesel engine. So it is essential that a systematic and comprehensive fault diagnosis analysis technology. this technology makes fault diagnosis analysis system more efficient. Expert System is required to make fault diagnosis analysis system. In this paper, fault and early diagnosis system is implemented to use Expert System development tools.

Key words: fault diagnosis(고장진단), early diagnosis(예측진단), Expert System(전문가시스템)

1. 서 론

디젤엔진을 이용하고 있는 각종 선박이나 원자력 발전소의 비상디젤 발전기들의 운전 중 동작상태의 감시와 경보에 대한 빠르고, 적당한 조치는 안전성과 경제성을 위해서 매우 중요하다. 더욱이 당직자에게 고장원인에 대한 오판으로 조치의 적기를 놓치면 더 큰 문제를 야기할 수 있다. 그런 이유로 당직자의 객관적인 판단을 도와주는 고장 및 예측 진단을 할 수 있는 전문가시스템이 요구되어 왔다. 진단형 전문가시스템은 발생 가능성이 있는 이상상태, 계측항목간의 인과관계, 관찰된 시스템의 동작에 대한 정보로부터 이상의 원인을 찾아내는 시스템을 말한다.[1] 진단형 전문가시스템은 적용분야에 따라 의료진단시스템, 고장진단시스템 등으로 분류할 수 있다. 고장진단시스템은 시스템의 운

행에 있어서 극도의 안전성과 고장에 대한 빠른 조치를 요구하는 원자력 또는 화력 발전소의 온라인 고장진단시스템[3][4], 통신망 고장진단시스템, 전력계통 고장진단시스템 등에 많이 적용되어 오고 있다.

원전에서의 비상디젤발전기는 국내에서는 최근에서야 비상발전기 계통에 대한 열화특성 및 신뢰도 등에 관심을 가지기 시작하고 있다.[5] 그러나 목적이 비상용이므로 상시 감시에 소홀해지기 쉬우며 고도의 전문지식을 가진 전문가를 채용하여 근무시키는 것도 어려움이 따르게 된다. 그러므로 보다 체계적이고 종합적인 성능 감시 및 진단분석 기술을 확보하고 효율적인 성능감시가 가능한 시스템을 활용하여 엔진 고장이거나 또는 비정상 운전시에 당직자에게 시스템이 적절한 어드바이스를 해줌으로써 고도의 전문지식을 가지지 못한 엔지니어가 근무 중일 지라도 위급한 상황에 쉽게 대처할 수 있도록

+ 박종일(한국해양대학교 대학원 컴퓨터공학과), mail: rokmc7051@nate.com, Tel:410-4898
++ 류길수, 한국해양대학교 IT공학부
+++ 조권희, 한국해양대학교 기관시스템 공학부
++++ 소명옥, 한국해양대학교 선박전자기계공학부
+++++ 장태린, 한국해양대학교 대학원 기관시스템공학과
++++++ 안종갑, 한국해양대학교 대학원 메카트로닉스공학과

하는 것이 바람직하다. 따라서 비상디젤발전기의 지능적인 고장 및 예측 진단을 가진 시스템 개발이 필수적이다. 진단형 전문가시스템을 구축하기 위해서는 먼저 대상 분야에 적합한 지식표현법을 선정하여 지식베이스를 구축하여야 하며, 또한 이에 합당한 추론기구를 갖추어야 한다.[6] 본 논문에서는 비상발전기 디젤엔진을 대상으로 하여 객체지향기법과 규칙기반기법을 지원하는 전문가시스템 개발도구인 JRules를 사용하여 진단시스템을 구축하는 방법을 제안한다. 전문가시스템을 구축하기 위해서는 먼저 대상 디젤엔진을 객체지향기법을 이용하여 디젤엔진을 객체화하고, 각 계통별로 분석한 후 지식표현 기법을 이용하여 지식베이스를 구축한다. 그리고 진단결과를 표시하기 위해 감시부를 SCADA 시스템 In-Touch를 이용하여 구성하였다. 진단부와 감시부를 연결할 수 있도록 DDE(Dynamic Data Exchange) 통신을 이용하여 인터페이스를 JAVA언어로 작성하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 전문가시스템의 개념과 개발도구에 대해서 살펴본다. 3장에서는 고장 및 예측진단 구현에 대해서 기술하고, 4장에서는 실험 및 고찰에 대해서 살펴보고 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후의 연구 과제에 대하여 논한다.

2. 전문가시스템

2.1 전문가 시스템 개념 및 구성

전문가 시스템이란 특정분야의 인간 전문가들이 전문 지식들을 수집 정리하여 주어진 특정 전문 영역에 관한 문제를 컴퓨터의 추론 능력을 이용하여 해결하는 컴퓨터 자문 시스템을 말한다. 전문가 시스템은 각종 장비의 고장 진단, 의사결정 지원(decision-making)에 응용, 인사관리, 물품 재고 관리, 통신 네트워크 고장 진단, 의료진단, 화학 분자식으로 부터 분자 구조 추출, 지질 정보를 가지고 광의 종류와 위치를 결정하는 등 많은 분야에서 전문가 시스템을 도입한다.

아래 Fig. 2.1과 같이 전문가 시스템의 구조는 지식베이스(Knowledge Base), 작업메모리(Working Memory), 추론엔진(Inference

Engine), 사용자 인터페이스(User Interface)로 구성되어진다.

(1) 지식베이스(Knowledge Base)

지식베이스는 문제 풀이의 규칙, 절차, 그리고 문제 영역과 관련된 고유한 사실(Facts) 등의 자료로 구성된다.

(2) 작업메모리(Working Memory)

작업메모리는 사용자가 해결을 하고자 하는 문제 또는 진위여부를 검토하기 위한 자료를 저장한다. 그리고 추론엔진이 지식베이스에서 가져온 규칙을 사용자가 입력한 자료에 적용하여 나온 결과를 저장하기도 한다.

(3) 추론 엔진(Inference Engine)

전문가시스템의 "수뇌"는 제어 구조(control architecture) 또는 규칙해석기(rule interpreter)라고도 알려진 추론 엔진(inference engine)인데, 추론엔진은 결론의 도출과 형성을 위한 방법론을 제공하는 컴퓨터 프로그램을 말한다. 추론엔진은 사용자 인터페이스를 통하여 사용자로부터 제공된 입력을 받아들이며, 의사결정이나 진단과 같은 문제해결안을 생성하기 위하여 지식베이스내의 지식을 결합한다.

(4) 사용자 인터페이스(User Interface)

사용자와 전문가 시스템 간의 의사소통을 돕는 도구이고, 사용자로부터 사실 또는 질의를 입력 받거나 추론 결과를 출력하는 기능을 가진다.

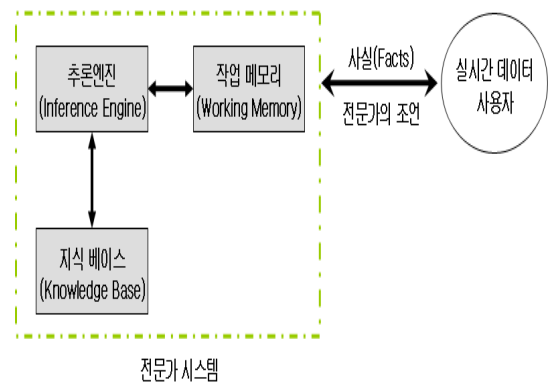


Fig. 2.1 Structure of Expert System

2.2 ILOG의 JRules

본 논문에서 진단을 하기위해 Rule-based Intelligent System 개발 툴인 ILOG의 JRules 전문가 시스템을 사용하였다. 순수 자바 코드로 구현되었으므로 자바 애플릿 혹은 애플리케이션

선에 추론 능력을 갖도록 Rule Engine을 가장 쉽게 탑재할 수 있는 최적의 솔루션이다. 규칙(Rules)들을 처리하기 위해 최적의 Rete 알고리즘을 사용하므로 빠른 패턴 매칭이 가능하다.[8] 강력한 BRE(Business Rule Engine) 통합개발 환경을 제공한다. 특히 Rule Engine, Rule Editor(Modeler), Debugger, Profiler등을 지원한다. 내부의 업무 절차나 규칙과 같은 Business Logic의 처리, 고객관계관리, 고장 진단과 같은 규칙 기반의 시스템을 빠르고 신속하게 개발 하도록 지원해 주는 도구이다.[9]

Rule-based System은 애플리케이션과 비즈니스 로직을 분리해서 관리함으로써 환경의 변화나 규칙의 변경에도 시스템에 대한 변경 없이 비즈니스 로직만 변경하고 운영 한다는 점에서 기존의 시스템 개발 방법론에 비해 많은 장점을 가지게 된다. Fig. 2.1은 JRules의 구조를 보여주고 있다.

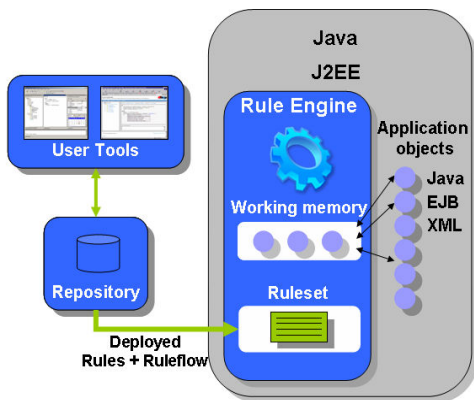


Fig. 2.1 Structure of JRules

3 시스템 구현

3.1 시스템의 전체 구성

본 논문에서는 원전의 비상발전기 디젤엔진을 대상으로 하여 시스템을 구현한다. Fig. 3.1은 시스템의 전체 구성도를 보여주고 있다. 원전의 비상발전기용 디젤엔진 Pilestick PC2-5V를 대상으로 하여 울진 5/6호기의 감시시스템에서 감시되는 인자를 대상으로 하였고, 여기에서 저장된 시운전 데이터를 이용하여 실시간 데이터 값으로 활용한다. 시스템을 진단모듈과 감시모듈로 구성한다. 진단모듈은 JRules기반으로

진단시스템을 구성하고, 감시 모듈은 In-Touch를 이용하여 GUI시스템을 설계한다.

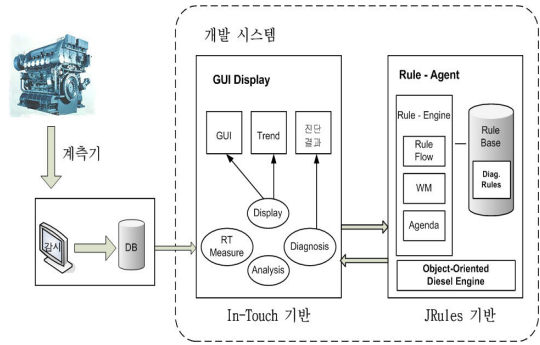


Fig. 3.1 Structure of a monitoring-diagnosis system

3.2 진단 모듈

진단모듈에서는 경보가 발생한 후 진단을 하는 경우와 시계열 데이터의 경향분석을 해서 고장 가능성을 예측하는 두 가지의 진단으로 나뉘어 진다.

진단모듈을 구성하기 위해서 필요한 진단지식은 다음과 같은 절차에 의해서 획득한다.

(1) 디젤엔진을 계통별로 분류하고 객체지향기법을 이용하여 표기한다. 본 논문에서는 Fig. 3.2와 같이 대상엔진을 6계통으로 분류하고, 각 계통별 기기의(device) 증상(symptoms), 상태(state), 센서(sensors)를 정의한다. 또한 현재의 센서값으로 부터 상태를 VL, L, N, H, VH의 5레벨로 분류하고 이 센서값을 시계열 분석에 의해서 경향(trend)을 Increase, Steady, Decrease 3종류로 추정한다. 경향을 추정하기 위한 알고리즘은 Fig 3.3에서와 같은 흐름으로 진단값을 추출한다.

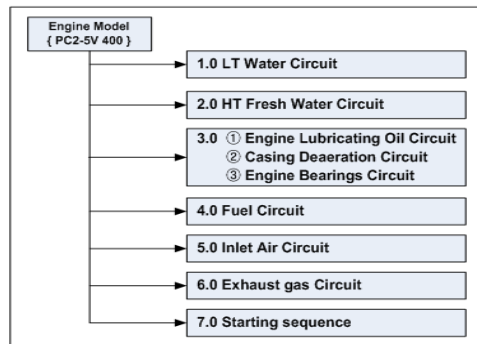


Fig. 3.2 Subsystem of a EDG system

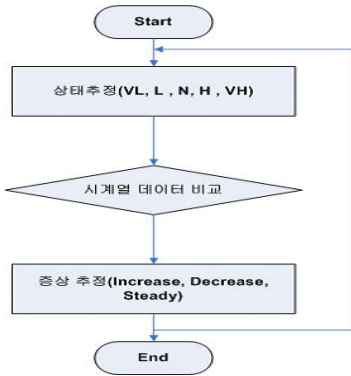


Fig. 3.3 Algorithm of trend - presumption

- (2) 각 계통별로 기기의 증상과 상태간의 관계를 규정한다.
- (3) 규정된 관계를 JRules를 이용하여 규칙형 진단지식으로 변환한다. Fig. 3.4는 JRules를 이용하여 규칙형 진단지식으로 작성한 화면이다.

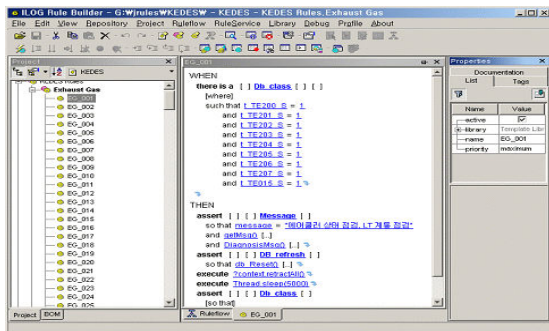


Fig. 3.4 TRL Rules using Production Rule

3.2.1 고장진단

고장진단은 Fig 3.5와 같은 흐름으로 진단이 이루어진다. 감시모듈에서 알람이 발생하게 되면 진단모듈은 현재 센서의 상태값을 가지고 진단을 JRules에서는 진단을 시작하게 되고 진단결과를 DDE통신을 이용하여 감시모듈에 보내어 진단결과를 표시하게 된다.

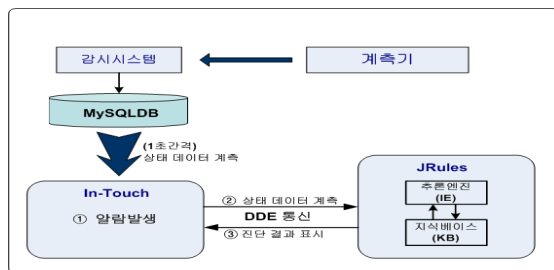


Fig. 3.5 Flow of Fault Diagnosis

3.2.2 예측진단

예측진단은 Fig. 3.6와 같은 흐름으로 진단이 이루어진다. 시계열 데이터의 경향 분석한 진단값을 가지고 고장 가능성을 예측하게 되고 진단결과를 DDE통신을 통해서 감시 모듈에 보내지고 진단결과를 표시하게 된다.

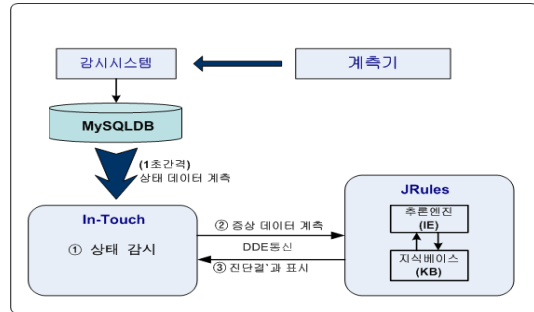


Fig. 3.6 Flow of Early Diagnosis

3.3 감시모듈

SCADA 시스템 In-Touch를 이용하여 윈도우 화면을 디자인하고, In-Touch 내장의 매크로(macro) 함수를 사용하여 원전의 시운전데이터로 보관된 데이터를 ODBC로 연결하여 레코드를 일정한 간격으로 읽어 들여 감시모듈에서 이용한다. 감시모듈의 GUI 구성은 실시간 트렌드, 히스토리 트렌드, 계통별 MIMIC Diagram, 알람 히스토리 리스트, 현재 알람 리스트, 고장진단 결과표시, 예측진단 결과표시창으로 구성되어 있다.

4. 실험 및 고찰

원전의 비상발전기용 디젤엔진을 대상으로 상태감시 및 진단시스템을 구축하였다. In-Touch에서의 감시모듈을 구성하기 위해 시운전 데이터를 ODBC 연결하여 GUI 시스템을 구성하였고, JRules에서의 진단모듈은 감시모듈과의 인터페이스를 DDE통신을 이용하여 JAVA 언어로 구현하였다. Fig. 4.1을 보면 실시간 모니터링 하면서 알람에 대한 고장진단과 시계열 데이터의 경향을 분석하여 예측진단을 보여주는 화면이다.

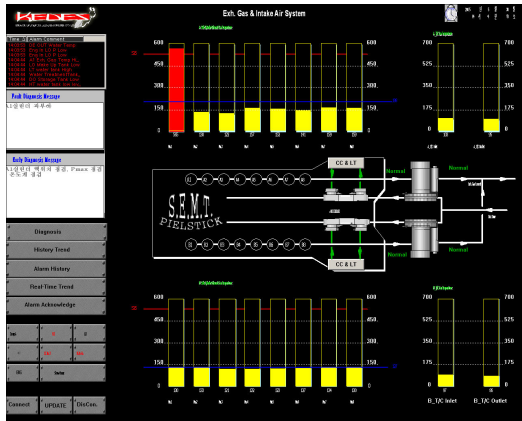


Fig. 4.1 monitoring and diagnosis system

4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 디젤엔진의 고장 및 예측 진단 방법을 제시하였고, 개발시간을 단축하기 위해서 전문가 시스템 개발 도구를 이용하였다. 디젤엔진을 객체지향기법을 이용하여 객체화를 구현하였고, 객체간의 인과관계를 규정하였다. 전문가시스템 개발도구를 이용하여 진단시스템을 구축하였고, 진단결과를 SCADA시스템 In-Touch 이용하여 GUI 화면을 설계하였다. 진단모듈과 감시모듈간의 연결을 위하여 DDE 통신을 이용하여 JAVA언어로 구현하였다.

현재까지는 3계통에 한해서 진단지식을 작성하였기 때문에 향후 보완하여 실용적인 시스템으로 완성하여야 하며, 실시간 데이터의 증상을 3종류로 국한하였으나 더욱더 정밀한 진단을 위하여 추후에 확장할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] 이재규 외 5명 공저, 전문가 시스템 원리와 개발, 법영사, 1996.
- [2] 이재규 외 5명 공저, 전문가시스템의 응용과 사례분석, 법영사, 1996.
- [3] 모경주외 3명, 화학 공정의 이상진단을 위한 조업지원 시스템의 개발, 전문가시스템학회지 제2권 제1호, p11 ~ 26, 1996.
- [4] 정학영, 박현신, 경보처리 기반 진단 시스템 개발, 전문가시스템학회지 제4권 제1호, p103 ~ 113, 1998.
- [5] 최재성, 조권희, 비상디젤발전기 기계계통

열화평가 및 신뢰도 개선방안 연구, 한국 원자력안전기술원,INS/HR-366, KINS/HR-435, 2000, 2001

- [6] R. Khosla and T. Dillon, Enableing Technology for Diagnostic Applications, Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligent and Expert Systems : proceedings of the eight international conference held in Melbourne, Australia, p263 ~ 272, 1995.
- [7] ILOG JRULES for developers "Customer Education"
- [8] 최옥현, 하이브리드 지식표현을 이용한 선박 엔진 고장진단 전문가시스템의 구현에 관한 연구, 석사학위 논문, 1999.2
- [9] ILOG JRULES 4.6 Rule Builder Tutorial
- [10] InTouch 9.0 Advanced Training Manual
- [11] HSD-SEMT Pielstick 16PC2.5V-400 of Ulchin nuclear power plant unit 5&6 Service information