

발전설비의 회전기기 고장진단을 위한 전문가 시스템의 구현

(Development of a Failure Diagnosis Expert System
for Rotational Equipment of Generation Facilities)

김 창 종*

(Chang - Jong Kim)

요 약

발전설비에 있어 고신뢰성이 요구됨에 따라 진행되는 고장을 조기에 발견하는 예방 보전적 진단 시스템이 요구되고 있다. 본 논문에서는 발전설비 중에서 회전체의 절연진단과 진동진단에 대한 지식을 지식 베이스로 구성하고 이것을 CLIPS 언어를 이용하여 전문가 시스템을 구성하였다. 이 전문가 시스템은 진단 룰의 수정과 추가가 용이하며, 사용자와의 인터페이스도 양호한 구조를 취하고 있다.

Abstract

As higher reliability on generator facilities is required to early detect incipient faults, a diagnostic system for predictive maintenance of the facility is highly recommended. In this paper, an expert system is developed using the CLIPS - expert system tool - utilizing the knowledge on the insulation diagnosis and the vibration diagnosis on the rotating machines. this expert system, with user - friendly interface for operator, is easy to revise and add diagnostic rules and knowledge.

1. 서 론

경제의 급격한 발전과 함께 전력 수요가 크게 증가되었고 이에 따라 기술적, 경제적인 관점에서 회전 기기도 고전압, 대용량화되어 왔다. 회전 기기 설계 및 제작 기술의 향상과 고성능 전기 재료의 개발을 통해 발전기기의 성능과 신뢰성이 지속적으로 향상되어 왔으나 반면 운전 조건이 보다 가혹화되고 또

한 기기의 장기 운전으로 인해 사고 발생이 우려되며, 특히 터빈 등의 중요 기기의 돌발 사고 시는 발전 출력의 정지 또는 감소등 경제적인 손실을 끼치므로 이들 발전설비의 고신뢰성 운전이 한층 더 요청되고 있는 실정이다. 그러므로 신뢰성 있는 전력을 생산하고 공급하기 위해서는 발전설비에 대한 진단이 조기에 이루어져서 발전설비에 대한 예방 보전이 이루어져야 하겠다. 그리하여 정비 기간 단축, 예기치 못한 사고의 예방 등을 통하여 발전량을 극대화하고 안정적 전력 공급에 큰 기여를 할 수 있다.

발전설비에 대한 진단 시스템이 이루어지기 위해

* 정회원 : 수원대 전기전자정보통신공학부 교수
접수일자 : 1998. 5. 21.

서는 발전설비에 대한 개개의 진단이 이루어 져야 하며 진단 결과에 의하여 원인 파악과 보존 조치에 대한 정보 제공이 운전원에게 필수적이라 하겠다. 발전 설비의 발전 성능에 영향을 미치는 것으로는 대기 온도 등의 외부 요인과 온도 압력 유량 등의 변화에 의한 운전 요인이 있지만 기기 자체의 성능이 변하는 것이 중요한 변수가 된다. 이러한 기기 자체의 성능 변화 요인으로는 전열면적 변화, 재질 변화, 누설, 마모 등이 있다. 온-라인 진단이 가능하다면 발전 설비의 열화를 파악적 고장이 생기기 전에 미리 검출하여 가장 최적의 보전을 행할 수 있어서 예고 없는 발전 중단 상태를 최소화하고 아울러 고장을 막고 보호할 수 있을 것이다[1].

다양한 시스템과 환경에 따라 대부분의 발전설비 들은 여러 종류의 이상과 고장들이 복합적으로 나타나는데 이런 고장 징후에 대하여 어떠한 진단법을 사용해야 하며, 또한 진단의 결과를 어떠한 방법으로 운전자에게 알려 주어야 하는 것이 발전설비의 유지 보수에 있어서 중요한 문제이다. 설비 진단에서 최근에 사용되는 방법에는 인공지능을 이용하는 방법이 있는데, 그 중에서도 지식과 전문가의 경험을 바탕으로 하는 전문가 시스템을 구성함으로써 운전 원에게 보다 자세한 발전기기의 상태와 이상 징후를 알려주어 발전설비 운전원으로 하여금 보다 정확하고 정밀 한 진단을 할 수 있게 하는 방향으로 가고 있다[2].

본 논문에서는 현재 연구된 여러 가지 진단 방법을 분류하고 그 결과를 운전원이 쉽게 적용하여 진단할 수 있도록 전문가 시스템을 개발하고, 그 적용 가능성을 제시한다. 본 전문가 시스템을 PC 환경에서 실현하기 위해서 전문가 시스템 툴(tool)인 CLIPS (C-Language Integrated Production System) 를 사용하였고, 이 시스템을 이용한 발전설비 진단의 결과 및 과정을 제시하였다[3].

2. 발전 설비 고장 진단 현황

발전 설비에 있어서의 진단 대상은 주로 회전에 있어서의 절연 상태와 터빈 축 등에 있어서의 기계적 상태라고 할 수 있다. 기계적 진단은 주로 터빈 축의 진동을 해석하는 것인데 미국의 경우 전력연구소(EPRI)를 중심으로 연구가 진행되었다. 발전설비

중 가장 중요한 설비 중의 하나인 터빈 발전기는 최근 대용량화, 다량화에 따라 터빈 발전기의 전체 길이가 길어지고 있다. 이로 인해 사용중 보수 불안 운전 조작 부주의 재질의 경년 변화, 운전모드 변화등 여러 가지 원인으로 발생하는 불평등, 회전축 계통 특성 변화 등은 진동을 유발시켜 터빈 발전기가 운전하지 못하는 경우가 많다. 따라서 진동을 분석하는 진단법의 개발에 의하여 정확한 진동 원인 규명을 조사하여 터빈, 발전기의 운전 및 보수 유지비 절감과 이용률을 향상시키는 연구가 진행되었다. 1988년에 행해진 EPRI의 회전기 고장 조기 발견 워크샵에 의하면 많은 회전 기기의 고장에 대하여 현재의 기술로 이 고장 초기에 발견에 대한 예측 진단이 가능함을 보여 주었다[4, 5].

한국에서는 최근 수년 전까지 회전에 대한 절연 진단법을 실제적으로는 외국의 자문을 받아서 행하여 왔다. 하지만 한전을 중심으로 회전의 절연 진단법에 대한 기본적인 연구가 행하여지고 있다. 그 리하여 절연 특성과 열화 현상과의 관계 설정, 발전기의 수명 예측에 대한 기본적인 연구도 진행되바 있다[6, 7]. 발전기 권선 절연 열화 진단의 경우 교류 전류 시험법, 유전체 정점 시험법, 부분 방전법 등이 현재 존재하지만 절연 열화의 발생 원인 및 현상이 다양하고 진단법도 다양하여 여러 가지의 권선의 절연 상태를 파악하기 위해서는 어느 한 두 가지의 진단법에 의해서는 정확한 진단이 불가능한 상태에 있다.

1988년 8월 EPRI 보고서에 따르면 보고되어 있는 현재 발전 설비에 대한 예측 보전과 고장의 조기 발

표 1. 발전설비 고장 진단 현황
Table 1. Status of Plant Diagnosis

적용대상	예측 보전 기술
터빈축 균열	진동 신호 분석
터빈 블레이드 진동	음향 도플러
발전기 아킹	RF 신호 검출
터빈/보일러 부식	방사형 감쇄 현상
터빈 용축	초음파
보일러 관 누출	음파
위험 부위의 진동	레이저
보일러 피로 누적	스트레스 분석
회전부위 손상	진동 신호 분석
팬 베어링 고장	진동 및 음향

건을 위하여 적용 또는 적용을 고려하고 있는 방법을 아래의 표1에 정리하였다. 아래의 방법을 적용하여 그 감시 데이터를 해석하여 예측 보전에 이용하는 데는 전문가 시스템이 주로 이용된다고 전망하고 있다.

3. 전문가 시스템

전문가 시스템이란 전문가가 갖고 있는 지식을 이용하여 그 전문영역의 문제를 전문가와 동일한 정도의 능력으로 해결할 것을 목적으로 컴퓨터를 이용하는 시스템을 말한다. 전문가 시스템은 주목을 받고 있는 인공지능 분야의 한 몫을 구성하고 있는 응용 분야이다. 현재 이 전문가 시스템은 여러 영역에서 이용이 확대되어 가고 있고 실용화시대가 도래되고 있다.

그림 1에서 처럼 전문가 시스템의 기본적인 구성은 대상분야의 전문지식을 표현하고 종합적으로 관리하는 지식 베이스, 지식 베이스에 저장된 지식을 이용해서 추론을 실행하는 추론기구, 사용자와 시스템 사이를 연결하는 사용자 인터페이스, 전문가로부터 전문지식을 획득하고 지식베이스를 구축하기 위한 개발지원기구, 이용자의 요구에 따라서 추론의 과정이나 추론으로 도출한 결론의 근거를 설명하기 위한 추론과정 설명 기구가 있다[8]. 지식 베이스에는 전문가의 지식뿐만 아니라 센서를 통해 들어온 실제 값도 포함된다.(그림 2에 발전설비 및 센서의 위치를 나타내었다).

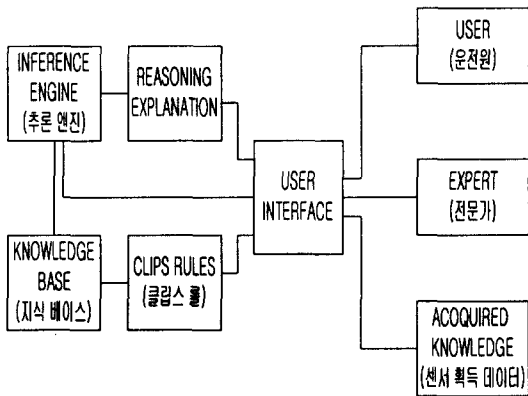


그림 1. 전문가 시스템의 구성
Fig. 1. Structure of Expert System

본 전문가 시스템을 위하여 사용된 툴은 CLIPS 인데, CLIPS는 미국 NASA의 존슨 스페이스 센터에서 개발한 전문가 시스템 툴이다. CLIPS는 1984년에 최초로 발표된 이래 많은 발전과 개량을 거듭해왔다. 현재 이 CLIPS는 세계의 수천 사용자들에 의해 사용되고 있다. CLIPS에서는 지식을 표현하는데 다음의 3가지 방법을 이용한다. 즉,

- 툴: 경험에 의한 휴리스틱 지식을 표현한다.
- 함수: 주로 순차적 지식을 표현한다.
- 객체 지향 프로그래밍: 주로 순차적 지식을 표현한다.

전문가 시스템을 구성할 때에는 툴도 중요하지만 가장 중요한 것은 지식베이스를 구성하는 일이다. 본 논문에서는 터빈 발전기 진단에 사용되고 있는 기존의 방법과 현재 연구 중인 진단 방법들로 구성된 터빈 발전기 진단에 관한 지식 베이스를 다음 장에서 다루도록 한다.

4. 터빈 발전기 고장 진단 지식 베이스

발전설비의 대부분을 차지하는 고압의 회전 기기는 매우 복잡한 구조로 구성되어 있으므로 사고부위 및 형태가 매우 다양하다. 터빈 발전기의 구조는 일반적으로 그림 2와 같이 터빈 부분과 발전기 부분으로 나뉘는데, 터빈 부분과 발전기 부분은 공통적으로 회전 기기를 가지고 있으며, 터빈 부분과 보일러 부분은 스팀이나 열에 의한 이상 현상이 발생하고, 주로 기계적 진단이나 진동 진단을 사용하여 이상을 찾아내고 있다. 터빈 발전기의 발전 부분은 주로 고정자와 회전자로 구성되고 이에 대하여는 주로 전기적 절연 진단과 진동 진단을 적용하여 이상 유무를 진단한다.

본 논문에서는 기존의 고압 회전 기기 진단, 발전설비 진단에 대한 결과를 수집 연구하여, 터빈 발전기에 공통적으로 연결된 회전축 상에서 일어나는 진동 진단과, 회전축과 기기를 연결 지지하는 베어링 진단, 그리고 발전기 부분의 중요한 요소인 고정자와 회전자의 절연을 전문가 시스템에 의하여 설비진단이 이루어지도록 하기 위하여 본 논문에서는 진단

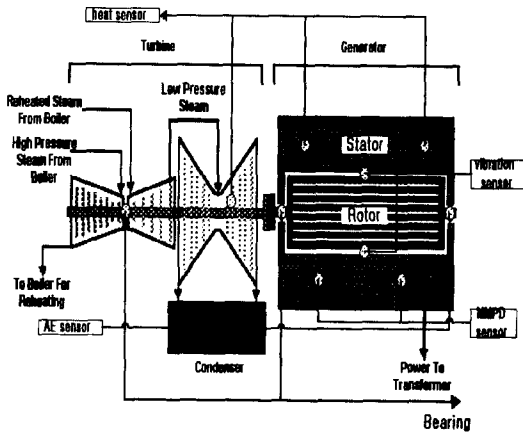


그림 2. 터빈 발전기의 구조 및 센서 위치
Fig. 2. Turbine-Generator Structure & Sensor Locations

방법과 진단 대상 그리고 공통적으로 나타나는 이상 현상들에 대하여 다음과 같이 지식베이스를 구성하였다[9].

4.1 진동 진단 지식 베이스

축 불일치

축 불일치에 의한 진동은 이상 원인의 약 50%를 차지하는 중요한 요소이다[10]. 회전축의 축 불일치는 커플링으로 연결된 2개의 회전체가 중심선이 일치하지 않는 경우에 발생하는 진동 현상으로 특히 온도 상승이 있고 축의 팽창등이 관계하는 설비에서 많이 볼 수 있으며, 일반적으로 축 일치 시 나타나는 변화나 현상은 축 방향에 진동이 생기기 쉽고 반경 방향(수직, 수평)의 50%이상 축 방향으로 진동이 발생한다. 축 불일치 시 주파수 성분에서 나타나는 현상으로는, 커플링에서는 회전 주파수(f_0) 성분이 나타나지만 그 정도가 심해지면 고주파($2f_0, 3f_0$) 성분이 발생한다[11].

축 불균형

축 불균형에 의한 진동은 거의 모든 회전기에 나타나며 기계 진동 원인중 가장 일반적이고 기본적인 현상으로 회전자의 회전 중심선에 대한 회전체 중량의 불평형 상태에 기인한다. 축 불균형은 회전체 및 베어링의 판 진동을 초래하며 회전체 축 불균형 양

은 질량과 회전 중심선으로부터의 거리의 곱으로 표시한다.

축 불균형 발생시 나타나거나 변화하는 주파수 성분은 회전 주파수의 고조파이며, 그 진동폭은 축 불균형 양에 비례한다. 위에서 설명한 이상 변수들의 검사를 통하여 축 불균형 현상의 발생과 이상 정도를 구분하고 판별 할 수 있다.

축 마찰

축 마찰 현상은 회전체와 고정자 간의 미소한 간극의 접촉으로 인하여 발생하는 현상으로 주 요인은 고 하중을 받을 경우, 베어링의 틈새가 불충분한 경우, 회전자의 속도가 저속인 경우, 윤활유 점도가 불충분한 경우, 베어링 면이 거친 경우, 변형으로 인한 축과 베어링의 접촉이 한 쪽에만 치우친 경우 등을 들 수 있다. 이러한 현상은 접촉면에 생기는 마찰로 나타낼 수 있는데, 접촉면에서 생기는 마찰은 수직력과 마찰계수의 비례 상수로 나타난다. 마찰의 기본 진동수는 대부분 $1/2X$ 이며 $1/3X, 1/4X, 2/11X, 4/9X, 3/5X$ 등도 때때로 발생한다. 축 마찰에서 발생하는 주파수는 랜덤한 고주파이다[7].

오일 회전

오일 회전이 발생하는 이유는 베어링과 축 사이의 오일이 축 회전에 이끌리어 축 속도의 약 1/2 로 선 회하기 때문에 축이 평형점에서 변위했을 경우 변위 방향과 직각방향으로 휘둘리게 된다. 이 힘이 클 경우 축은 지속적으로 휘둘림을 계속하게 된다.

오일 회전은 회전 속도의 43%~48% 에서 회전축의 원주 궤도 방향으로 발생하며 오일 회전은 균형공진 속도에서 축의 원주궤도 방향으로 발생한다. 오일 회전 현상은 $1X$ 주파수의 0.42~0.46 배 되는 주파수 성분을 스펙트럼 상에서 관찰할 수 있다[11].

진동 진단 지식 베이스

본 논문에서 사용한 진동 진단의 지식 베이스(knowledge base)는 4가지 이상 진동 현상인 축 불일치, 축 불균형, 축 마찰, 오일 회전을 진단할 수 있도록 구성되어 있으며 그 내용을 표 2에 정리하였다.

4.2 베어링 진단 지식 베이스

음파(Acoustic Emission)에 의한 진단

엔진 베어링 손상 원인으로서는 축 정렬 불량이나 조립 불량 등의 원인에 의한 것도 많으나 대부분 베어링과 축 사이의 윤활층내에 이물질 침입에 의한 것으로 조사되었다. 모래나 금속 칩 등이 처음 제작 시나 조립시 충분히 제거되지 않거나 또는 운전중에 축이나 베어링에서 분리된 이물질이 발생할 수 있다. 이러한 입자의 크기에 비례하여 음향 방출에 의한 파의 실효값이 비례적으로 변함으로 입자의 크기의 이물질 혼입의 경우 음파 실효값의 분석으로써 상대적인 비교가 가능하다[12]. 음파 신호로부터 얻은 데이터의 파형 분석에 의하여 기기의 손상 형태 및 이상 또는 고장 지점에 대한 추가적인 정보를 얻을 수 있다.

표 2. 진동 진단 특성
Table 2. Vibration Diagnosis Characteristics

진동이상 현상	발생 주파수 및 이상 특성	비 고
축불일치	· 1x rpm 주파수 · 2, 3x rpm 고주파 발생 · 축 방향의 진동이 반경 (수직, 수평)방향 진동의 50% 이상 발생	진동 이상 현상의 50%
축불평형	· 1x rpm 주파수 발생 · 진동진폭은 불평형 양에 비례	진동 이상 현상의 40%
축마찰	· half (1/2, 3/2, 5/2, ...) 주파수 발생 · 전반적인 고유 진동수 순간적 증가 · 케도가 8자 형태로 형성	진동 이상 현상의 5%
오일회전	· 0.43~0.48x rpm 주파수 발생 · 오일 케도에서 사파 모양 형태 형성	진동 이상 현상의 5%

베어링 진단 지식 베이스

본 논문에서 사용한 베어링 진단의 지식 베이스는 회전기기의 베어링에 부착되어 있는 음파 센서로부터 얻어진 데이터로부터 현재의 베어링 상태를 진단할 수 있다. 음파의 데이터 값은 여러 가지 형태를 가지고 있다. 일시적인 혹은 순간적인 음파의 증가는 베어링 내에 이물질이 발생되었으나, 내부의 윤활유나 베어링의 내부적 동작에 의하여 정상 상태로 회복할 수 있다는 것을 나타낸다. 측정된 음파 데이터

값으로부터 베어링의 마모와 파손 정도뿐만 아니라 베어링내의 이물질의 농도와 측정된 데이터의 시간 변수로부터 대략적인 이상위치 까지도 알 수 있다. 표 3에 베어링 이상 현상 진단 특성을 나타내었다.

표 3. 베어링 이상 현상 진단 특성
Table 3. Bearing Diagnosis Characteristics

이상현상	발생 AE level 및 이상 특성	비 고
일시적 (순간적) 이물질 발생	· 정상 상태 음파의 수십 배 증가된 음파가 일시적으로 발생	· 일시적인 현상으로 내부 윤활유에 의해 이물질 제거
일시적 (순간적) 이물질 농도 증가	· 정상 상태 음파의 수십 · 수백 배 증가된 음파가 장시간 발생 · 지속되는 시간 계산으로 이물질 농도 계산	· 일시적인 현상으로 내부 윤활유에 의해 이물질 제거 · 다소 시간이 소요됨
베어링 내의 마모	· 음파의 주기적으로 반복 · 음파의 크기와 주기의 계산으로 고장 (파손) 상태 진단	· 베어링의 기능 저하
베어링 고장	· 정상 상태의 음파의 수백 배 증가된 음파가 계속적으로 발생	· 베어링의 기능 상실

5. 터빈 발전기 진단용 전문가 시스템의 실현

본 시스템에서는 각각의 진단 방법을 지식 베이스로 하여 증상이나 주어진 조건에 알맞은 진단을 채택하여 진단할 수 있게 구성하였다. 또한 이상 현상이 발생하면 어느 정도의 이상현상이 진행 중이라는 메시지와 함께 보수 지시를 내리는 메시지를 화면에 출력하여준다. 예를 들면, 현재 고정자내의 온도가 절연물의 한계값 이상으로 상승중일 경우 현재 고정자내의 절연에 문제가 생겼다는 메시지와 함께 보다 자세한 진단을 위한 다음 물을 찾고 그 물로 넘어 가게 된다. 그러한 절차를 거쳐, 고정자에 대한 절연 진단을 마치고 난 뒤 현재 발생한 이상 현상에 대한 고정자의 상태와 적절한 처리 요령을 지시하고 난 뒤 고정자와 연결된 베어링이나 회전축의 진단으로 넘어 가게 된다.

5.1 고정자 절연 진단 구조 및 진단률

전문가 시스템을 실행시키면, 기존에 설정된 절연 재료의 타입 혹은 사용자에게서부터 현 시스템의 절연재료 타입을 결정하는데 그 이유는 절연 재료에 따라 최고 허용 온도가 결정되기 때문이다. 절연 타입이 결정된 다음, 고정자 내부 온도를 측정한다.

표 4. 고정자 절연 진단 룰
Table 4. Stator Insulation Diagnosis Rule

진단 룰(rule)	진단 방법	진단 결과
내부 온도에 의한 진단 룰	시스템 절연 물질과 현재 내부 온도를 비교하여 절연 상태 판정	절연 상태의 양호 판단 및 진단
MMPD 값에 의한 진단 룰	출력 등급별 MMPD 데이터 임계치 비교하여 절연 상태 진단	열화된 절연 이상 진단
MMPD 변화에 의한 진단 룰	출력 등급별 MMPD 데이터의 임계치의 변화에 의하여 절연 파괴 유무 진단	절연 파괴 유무 진단
고정자 진동 폭에 의한 진단 룰	센서를 통한 진동 폭 데이터와 진동 주파수 데이터에 의하여 고정자의 상태 진단	고정자의 절연 박리 현상 진단 슬롯내의 방전 진단
진동 주파수에 의한 진단 룰		
스펙트럼에 의한 진단 룰	스펙트럼 분석을 통한 절연 상태 진단	열화된 절연 이상 진단

측정된 내부 온도는 지식 베이스내의 각 절연 재료별 임계온도와 비교된다. 만일 내부 온도가 절연물이 견딜 수 있는 최고 허용온도를 넘었을 경우 본 전문가 시스템은 사용자에게 현재 고정자 시스템내의 절연에 문제가 발생하였다는 메시지를 출력하고, 이상이 발생한 시스템의 냉각장치를 체크하거나, 내부의 온도를 내리라는 지시 혹은 제안을 한다. 고정자에 대하여 본 전문가 시스템에 적용된 절연 진단 룰은 표 4 와 같다.

5.2 고정자 베어링 진단 구조 및 진단률

앞에서 실행한 고정자 절연 진단 종료 후 혹은 전

문가 시스템을 재실행시키면, 베어링에 부착된 센서로부터 받아들인 음파 데이터를 분석하여 베어링의 상태가 정상 상태인지 아니면 이상 상태인지를 결정한다. 정상 상태일 경우, 본 전문가 시스템은 다른 이상 현상으로 인한 고정자 시스템의 진단을 하기 위한 로로 넘어간다. 베어링 진단률은 표 5 와 같다.

표 5. 베어링 진단 룰
Table 5. Bearing Diagnosis Rules

진단 룰	진단 방법	진단 결과
일시적 (순간적) 이물질 발생 진단 룰	정상상태 음파의 수십배 증가된 음파의 일시적 발생 유무 확인	일시적 (순간적) 이물질 발생
이물질의 농도 진단 룰	정상상태 음파의 수십·수백배 증가된 음파의 장시간 발생 유무 확인 지속되는 시간의 계산으로 이물질 농도 진단	일시적 (순간적) 이물질 농도 증가
베어링의 마모 진단 룰	음파가 주기적으로 반복 음파의 크기와 주기 계산으로 고장(파손) 상태 진단	베어링의 기능 저하
베어링 파괴 진단 룰	정상상태의 음파의 수백 배 증가된 음파의 계속적 발생 유무 확인	베어링으로서의 기능 상실
이상 위치 탐지 룰	각각의 센서를 통해 획득된 음파 측정값 비교와 시간 데이터 계산에 의한 위치 탐지	이상 위치 탐지

한편 이상 상태일 경우, 본 시스템은 음파 데이터를 통하여 베어링의 상태를 측정한다. 입력 데이터에 따라 현재의 이상 현상이 일시적인 것인지, 지속적(장기적) 이상인지, 이상 현상으로 인하여 베어링 내부의 피해 혹은 베어링의 교체여부를 사용자에게 출력 하여준다.

여러 개의 센서가 부착되었을 경우, 센서에 도착된 데이터와 시간을 통하여 회전축상의 이상 혹은 고장 지점을 사용자에게 출력 해준다. 그림 3에 진동 진단의 상세 구조를 나타내었으며, 그림 4에 진동

진단의 실제 실행 예를 나타내었다.

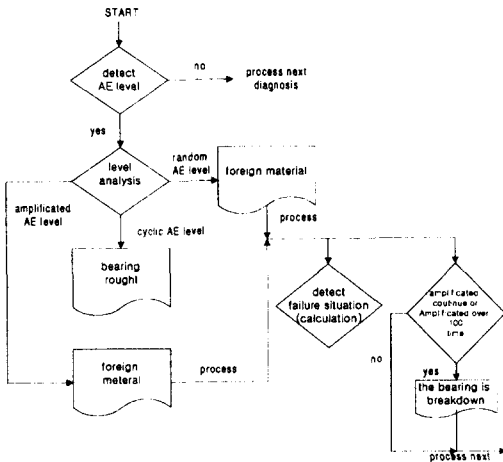


그림 3. 베어링 진단 세부 구조
Fig. 3. Structure of Bearing Diagnosis

본 논문에서 구성한 시스템은 다수의 진단법을 동시에 채용할 때의 진단 결과를 지식베이스에 의한 진단룰 즉, 터빈 발전기의 부위별 혹은 장치별 진동 진단 룰, 절연 진단 룰, 그리고 기타 진단룰로 구성하였다. 즉 현재 연구된 여러 가지 진단 방법을 분류하고 그 결과를 운전원이 쉽게 적용하여 진단할 수 있도록 전문가 시스템을 개발하였으며, 그 적용 가능성을 제시한다. 이 시스템은 진단해 나가는 과정을 사용자에게 보여주고, 현재의 진단 대상이나 시스템의 상태를 출력하여주며 이에 따른 적절한 대책이나 지시도 사용자에게 전달하여 사용자 혹은 터빈 발전기 관리자로 하여금 적절한 대책을 마련하거나, 보다 정확한 판단을 할 수 있도록 도와준다.

본 전문가 시스템은 데이터를 통한 진단뿐만 아니라, 사용자와의 문답식의 진단으로도 활용할 수 있으며 또한, 지식 베이스가 진단 방법 즉, 진단룰로 구성되어 있기 때문에 계속적인 진단 방법의 추가와 사용자가 취사 선택한 룰의 사용으로 보다 정확한 진단을 할 수 있으며 복수개의 진단 방법을 적용함으로써 발전기의 회전 기기에서 발생하는 전형적인 이상 현상들에 대한 고장 진단이 가능할 것으로 기대 된다.

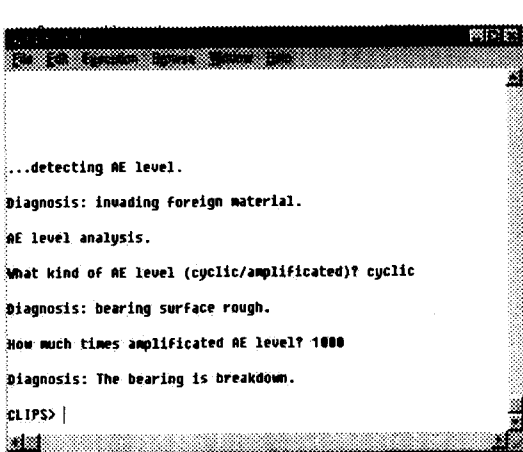


그림 4. 고장자 베어링 진동 진단을 위한 전문가 시스템의 실행 예
Fig. 4. Example Execution of Bearing Diagnosis Expert System

본 연구는 과학재단의 연구비 지원 (과제 "발전소의 고신뢰 운전 및 고장 조기 진단을 위한 계측 신호 해석 기법에 관한 연구 (세부과제: 불확실성 추론법에 기초한 발전소 진단시스템에 관한 연구)", 과제번호: 96-0102-02-01-3) 에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

- (1) Proceedings of the Third EPRI Incipient Failure Detection Conference, EPRI, August 1988.
- (2) 김창중, "발전설비 예측 보전을 위한 Evidence Theory의 적용", 대한전기학회 전기기기 연구회 학술 발표회 논문집, 1997년 4월 pp.72-75
- (3) "CLIPS Reference Manual" Software Technology Branch, Lyndon B. Johnson Space Center, vol. 1, June 2nd 1993
- (4) Proceedings of Incipient Failure Detection for Fossil Power Plant Components, EPRI, March 1983.
- (5) Feasibility study of on-line vibration diagnosis of Steam Generators, EPRI report, RP-S141-01, 1981.
- (6) 김길용, 김택수, 이승학, "회전 전기기기의 절연진단기

발전설비의 회전기기 고장진단을 위한 전문가 시스템의 구현

- 술 연구,” 전력연구, 1990년 5월, pp. 9-22.
- [7] 이현, 하정수, “진동신호처리에 의한 터빈 상황 진단 및 결함 탐지기술 연구,” 전력연구, 1990년 5월, pp. 23-33.
 - [8] Donald Waterman, A Guide to Expert System, Reading, MA: Addison-Wesley, 1986.
 - [9] 일본전기학회 편저, 전기설비의 진단기술, 한국전기협회, 1994.
 - [10] Vibration monitoring and analysis for auxiliary rotating machinery at the J.A Fitzpatrick Nuclear Station, EPRI report TR-284, 1987.
 - [11] 김종락 “A Study on a Fault Diagnosis of Rotating Machinery by an Experimental Method”, 한양대학교 산업대학원 석사학위 논문, 1992, 12
 - [12] 정민화, 송규천, 조용삼 “회전기 베어링 AE 진단 기술 개발”, 전력연구 pp.37-40

◇ 저자소개 ◇

김 창 종 (金昌鍾)

1957년 4월 8일생. 1980년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1982년 서울대대학원 전기공학과 졸업. 1982년 서울대대학원 전기공학과 졸업(석사). 1983년~1985 LG산전연구소 연구원. 1989년 TEXAS A & M 대학 전기과 졸업(박사). 1990~1992 TEXAS A & M 대학 POST-DOC연구원. 1992~1994 TEXAS A & M 대학 및 TEES(텍사스주립연구소)연구교수. 현재 수원대 전기전자통신공학부 교수. 당화회편수위원.