

결정트리를 이용한 예지 보전 시스템

박재희*, 유대승, 이명재
울산대학교 컴퓨터정보통신공학부
e-mail : skylove127, ooseyds, ymj@mail.ulsan.ac.kr

The Preventive Maintenance System Using Decision Tree

Jae-Hee Park*, Dae-Sung Yoo, Myeong-Jae Lee
Dept of Computer Engineering and Information Technology,
University of Ulsan

요 약

최근 소프트웨어의 비약적인 발전은 사람들의 일상생활에서부터 복잡한 산업현장까지 점점 더 많은 영향을 주고 있다. 특히, 기업들의 이익과 밀접하게 관련된 생산 산업 현장에서 다양한 보전활동 중에서 예지보전은 설비에 대한 전문적 지식을 요구하기 때문에 기업의 입장에서 전문가 인력을 보유하고 있어야 하는 부담을 가지고 있다. 설비의 보전을 위해 전문가들이 행하던 분석 및 해결의 과정을 컴퓨터를 이용하여 처리하는 전문가시스템은 전문가 인력을 대체할 중요한 수단으로 생각되고 있다. 이에, 본 논문에서는 이러한 문제점에 대한 해결책으로 설비진단 전문가 인력을 대체할 수 있는 결정트리를 이용한 예지보전 전문가 시스템을 제안하고자 한다.

1. 서론

국가산업이 발전함에 따라 생산 설비의 기능이 다양화되고 지능화되면서 장비운전의 안정성과 신뢰성 확보가 대단히 중요하게 되고 있다. 또한, 생산 설비의 운전과 유지관리 측면에서 작업환경과 근무형태(야간, 휴일근무)에 따라 기술자의 확보가 어려워지고 있으며, 고도의 기술력을 갖춘 기술자의 고령화로 전문 인력의 감소가 현실적으로 문제시되고 있다. 따라서 생산 설비의 유지관리측면에서 예지보전기술의 발전이 더욱 필요한 시기이다.

다양한 보전활동 중에서 예지보전은 기업들의 목표를 가능하게 해주는 가장 현대적인 보전활동이다. 하지만, 이러한 예지보전은 설비에 대한 전문적 지식을 요구하기 때문에 기업의 입장에서 전문가 인력을 보유하고 있어야 하는 부담을 가지고 있다. 이에, 본 논문에서는 이러한 문제점에 대한 해결책으로 설비진단 전문가 인력을 대체할 수 결정트리를 이용한 예지보전 전문가 시스템[1]을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 예지보전 시스템의 기술적 배경에 관련된 연구들을 살펴보고, 3장에서는 전동기 고장 유형 및 고장 검출 기법에 대하여 설명한다. 4장에서는 구동부 장비에 적용시킬 예지보전 시스템에 대하여 설명하고, 5장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대하여 기술한다.

2. 기술적 배경

예지보전이란 용어에서 “예지”의 의미를 살펴보면 미리 예측한다는 의미를 가지고 있다. 설비의 수명이나 고장을 미리 예측한다는 것은 결코 쉬운 일은 아니다. 하지만, 최근 활발하게 연구되고 있는 다양한 진단기법들과 설비상태의 경향분석을 통해 설비의 열화정도를 예측하는 것이 가능해졌다.

기존의 설비유지관리기술은 설비부품 또는 설비시스템이 고장, 파손되면 수리하거나 교환하는 등의 사후보수(Breakdown Maintenance)개념이 일반적이었다. 그러나 설비의 규모가 대형화 및 고기능화 되

본 연구는 한국산업기술재단 지역혁신인력양성사업의 지원에 의해 이루어졌습니다.

면서 고장사고의 예방보전개념(Preventive Maintenance, PM)이 요구되기 시작하였다. 예방보전개념은 1925년 미국에서 시작하여 생산보수(Productive Maintenance), 개량보수(Corrective Maintenance)등의 상황별 유지관리기술을 거쳐 현재에 이르고 있다.

본 논문에서는 시스템의 검증을 위해 다양한 상태진단기법들 중에서 회전 설비의 상태 분석을 위한 진동분석법을 선택하였다. 보전활동이 본격화되기 시작한 이후로 이러한 회전 설비에 대한 연구는 오랫동안 이루어져 왔고 지금도 계속되고 있다. 국제표준화기구(ISO: International Organization for Standardization)에서도 회전설비에 대한 많은 진단기법들을 찾아볼 수 있다. 특히, 설비의 상태를 모니터링 하고 진단하는 방법에 대한 용어에 대한 정의와[2] 데이터를 처리하는 방법과 통신과 표현에 대한 기법[3, 4] 등을 통해 상태진단기법에 대해 기초정보를 얻을 수 있다. 이밖에 기어나 펌프와 같은 특정 유닛들에 대한 세부 진단 기법[5]과 진동량에 대한 평가 방법에 대한 표준이 제시되어 있다.[6]

지금까지 이러한 예지보전 활동은 전문가들이 직접 측정대상을 선정하고 판정기준을 작성한 다음 측정주기를 계획하여 측정기를 통한 데이터를 분석한 후에 대책을 수립하는 과정으로 이루어져 왔다. 하지만, 설비진단 전문가 인력의 부족으로 인해 예지보전 활동이 활발하게 이루어지지 못하고 있는 상황이다. 이러한 문제점은 전문가 시스템을 도입함으로써 해결할 수 있다. 즉, 전문가가 없더라도 일반 사용자가 전문가 시스템의 도움을 받아 전문가와 같은 분석과 대책 수립이 가능해진 것이다.

전문가 시스템은 지식베이스와 이를 기초로 추론을 할 수 있는 추론 엔진으로 구성된다. 본 논문에서 다루고자 하는 장비는 회전설비이므로, 이러한 회전설비에 가장 많이 사용하고 있는 방법인 진동분석기법에 대해 알아보고, 전문가 시스템을 위한 지식베이스에 진동분석법이 반영할 수 있는 방법에 대해 설명한다. 최근 이러한 추세에 따라 전문가 시스템을 사용하여 회전설비의 진단을 위한 많은 연구가 있었다. B.S. Yang은 이러한 회전설비의 진단분석을 위해 신경회로망을 이용한 결합 진단[7][8]과 퍼지 추론을 응용한 진동진단법[9]을 연구하였다. 이밖에 전문가 시스템을 위한 결정트리를 만들기 위해 진동분석을 위한 속성과 속성 값 테이블을 정의하고 고장원인과 결과에 대한 통계를 통한 확률을 적용하여 다양한 진동 사례에 대처할 수 있는 결정트리를 제시하였다.[10][11] 이후, D.S. Lim은 이 결정트리를 기초로 한 전문가 시스템을 개발하였는데,[12] 이 시스템은 결정테이블과 결정트리를 둘 다 사용하여 작

동하기 때문에 뛰어난 분석능력을 보여준다. 하지만, 메뉴구동 방식으로 이상 징후가 발생한 위치나 주요 주파수, 진동방향 등을 사용자가 직접 판단해서 입력해야 하는 불편함이 있었다.

3. 전동기 고장 유형 및 진단 기법

전동기의 고장 원인에도 여러 가지가 있다. 이러한 유형의 전동기 고장 원인은 고정자(37%), 베어링(41%), 회전자(10%) 관련 고장이 대부분을 차지하고 있다. 이에 진단의 초점을 고정자, 베어링, 회전자에 맞추고 있다. <표 1>은 전동기의 고장 유형을 세부적으로 나눈 것이다.

<표 1> 전동기 고장 유형

No.	CAUSE OF VIBRATION
1	기계적 불균형 (Mechanical unbalance)
2	어긋남 (Misalignment)
3	Partial rub
4	깨짐 (Crack)
5	이완 (Mechanical looseness)
6	베어링 손상 (Ball bearing damage)
7	기초의 왜곡 (Foundation distortion)
8	Critical speed
9	오일 휩 (Oil whip)
10	정적 편심 또는 고정자 손상 (Static eccentricity or stator damage)
11	동적 편심 또는 회전자 손상 (Dynamic eccentricity of rotor damage)

이러한 11가지의 전동기 고장 유형을 제대로 진단하기 위해서는 전동기 고장 검출 기법이 필수적으로 필요하다. 전동기 고장 유형에 따른 진단을 하기 위하여 현재 나와 있는 전동기 고장 검출 기법은 <표 2>와 같다.

<표 2> 전동기 고장 검출 기법

Method	Fault it can detect				
	Insulation	Stator winding	Rotor Winding	Air-gap eccentricity	Bearing Damage
Vibration Monitoring	No	No	Yes	Yes	Yes
MCSA	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Electromagnetic Field Monitoring	No	Yes	Yes	Yes	No
Chemical analysis(Lubricating oil debris)	No	No	No	No	Yes
Chemical analysis(Cooling gas)	Yes	Yes	Yes	No	No
Partial discharge	Yes	No	No	No	No

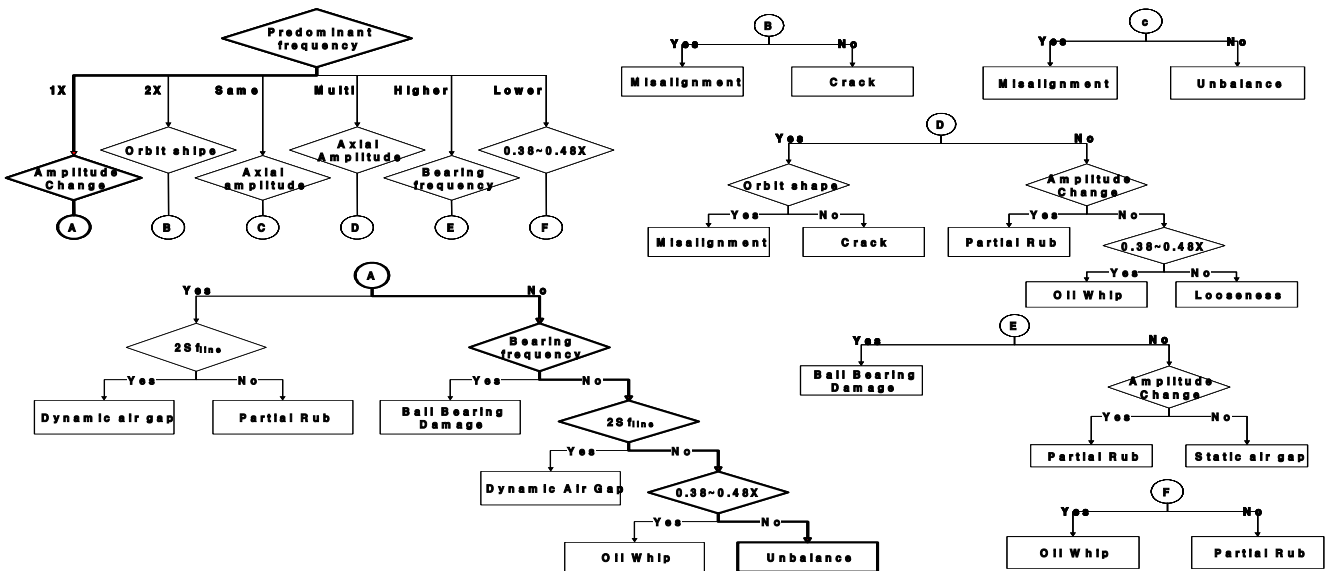
현재 나와 있는 Vibration Monitoring, MCSA 기법이 다양한 전동기 고장 유형을 진단하기에 제일 근접한 진단 기법이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 이 두 기법을 토대로 결정트리를 이용한 진단 기법을 구축하였다. 본 연구에서는 각각의 센서로부터

진동, 전압, 전류, 속도, 변위 데이터 등을 받아 진동기 고장 유형을 판별하였고, 다음의 <표 3>은 진동기의 상태 감시 방법에 대해서 보여주고 있다.

<표 3> 진동기 상태 감시 방법

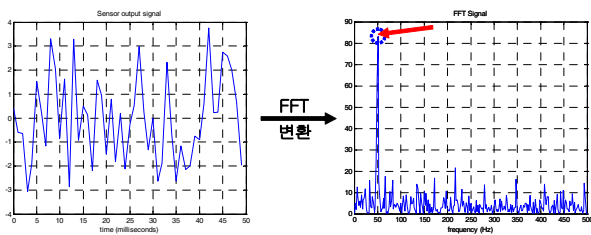
상태 감시 방법	감시파라미터	센서	감시 가능 항목
진동 감시	진동 변위, 속도, 가속도	진동 센서	- 기계적 전기적 결합 파악 가능
전류감시	전동기 공급 전류	전류 센서	- On-line 측정 - 전원 전압의 비대칭은 전류 비대칭, 권선과열, 절연 결함의 원인 파악
속도 변동 감시	전동기의 회전속도 변동	속도 센서	- 회전자 결함, 공급 편심, 정렬 불량 등의 파악
공극 토크 감시	전류, 전압	전류, 전압 센서	- 기동, 운전 중의 회전자 봉크랙, 고정자 코일 단락 유무

(그림 1)은 결정트리를 이용하여 진동기 고장유형 중 “Unbalance”에 대한 추론 과정을 보여준다.



(그림 1) 결정트리 및 결정트리를 이용한 고장진단 예

각각의 센서로부터 받은 데이터는 FFT변환 과정을 거쳐 주요주파수(1x)값을 찾은 후 결정트리의 각각의 가치를 거치면서 “Unbalance”에 도달 하고 있다. 다음의 (그림 2)는 FFT 변환 전·후의 그래프를 보여주고 있다.



(그림 2) FFT변환 그래프

“Unbalance” 진단 예에 대한 추론 과정을 정리하면 다음과 같다.

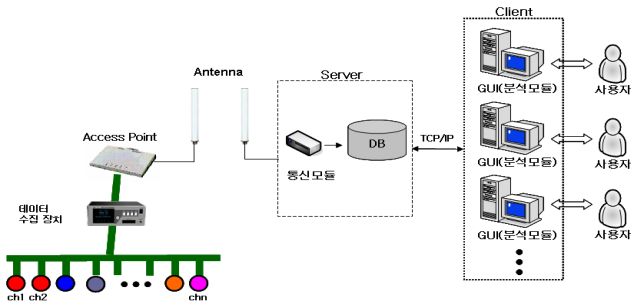
- a. Receive Sensor Signal
- b. FFT Conversion
- c. Find Predominant frequencies.
Predominant frequency= 1X
- d. Amplitude of predominant frequency is changed ? No
- e. Bearing frequencies are predominant ? No
- f. 2xslip speed frequency component occurs? No
- g. Frequency component in the range 0.38X~0.48X is predominant ? No
- h. It is clear the **unbalance** problem exists.

진동기 고장 검출에 결정트리를 이용함으로써 진단 시 여러 가지 경우를 고려하여 확률로 고장 원인을 표현할 수 있으며, 위에서 정의한 11가지 진동기 고장 유형 이외의 고장원인이 발생할 경우 가지의 개수만 늘려주는 방법으로 업데이트가 가능함으로 동적인 업데이트가 쉽다는 장점을 가진다.

4. 결정트리를 이용한 예지보전 시스템

본 연구에서 구현한 구동부 예지보전 시스템은 실제 오버헤드 크레인의 전동기를 대상으로 하였다. 현장의 특성상 무선 LAN을 이용 하였다. 특정 측정 포인트를 선택했을 때 그 포인트에서 수집된 데이터를 진동량(RMS) 값과 진동파형, 그리고 FFT 변환 파형을 볼 수 있도록 하였다.

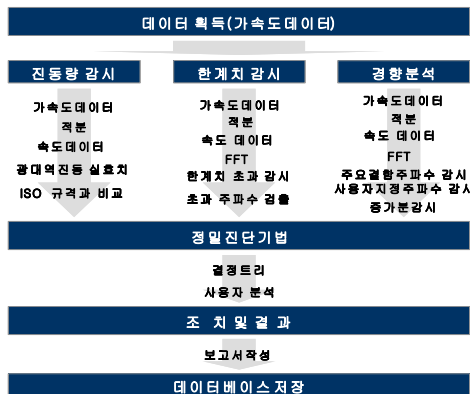
(그림 3)은 현재 구동부에 설치된 예지보전 시스템을 보여준다.



(그림 3) 예지보전 시스템 구성도

서버는 데이터를 수집하는 통신모듈, 수집된 데이터를 저장하는 데이터처리모듈과 데이터베이스로 구성된다. 클라이언트는 진동 데이터를 분석하기 위해 변환시켜주는 FFT변환 모듈, 진단을 처리하는 분석모듈, 이상 징후가 발생할 경우 사용자에게 알려주는 사용자 알람모듈과 분석한 데이터를 사용자에게 보여주는 보고서 생성모듈로 구성된다.

다음의 (그림 4)는 전동기 고장 진단 및 처리과정을 보여준다.



(그림 4) 전동기 고장 진단 및 처리과정

데이터가 획득되기 이전에 전동기 및 감속기의 사양, 진동량의 기준값과 한계치(초기 설정값은 ISO 10816-3[6] 기준), 경향 분석의 증가분 등을 설정한다. 이후 센서로부터 획득된 데이터를 바탕으로 진동량(RMS) 감시, FFT 변환 후 주요주파수들에 대한 한계치(Overall) 감시, 진동량과 주요주파수들에 대한 경향(Trend) 분석을 수행한다. 세 가지(RMS, Overall, Trend) 분석 중에 하나 이상에서 이상이 감지되면 결정트리를 이용한 정밀진단기법이 수행되고, 정밀 진단 결과에 대한 보고서가 작성되어진다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서 개발한 결정트리를 이용한 예비보전 시스템을 활용하여 회전설비에 대한 사전 점검 또는 교체 등을 함으로써 장비의 고장 발생 빈도를 줄이고 작업 손실을 최소화 할 수 있으며 전문가 인력의

부족을 상당부분 보완해 줄 것으로 판단된다. 또한, 예지보전 시스템 개발에 대한 기반을 확립하고 본 연구의 성과물인 결정트리를 이용한 오류 진단 추론 엔진과 고장발생 환경에 대한 지식베이스는 다른 유사 시스템 개발 시 비교 모델이 될 수 있을 것이다.

향후, 구동부 예지보전 시스템에 있어서 수집하여 분석한 데이터에 대한 활용도를 높이기 위하여 구조적이면서 쉽게 이해될 수 있는 표현 방법에 대한 추가적인 연구와 다양한 뷰를 제공하는 방법들에 대한 연구가 필요하다. 시스템의 검증에 있어, 전문가가 직접 파형과 FFT 변환 데이터를 분석하고 판단한 결과와 구현된 예지보전 시스템에서 분석해주는 결과를 비교분석 하여 점차 보완해 나갈 필요가 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Yu Qian, Xiuxi Li, Yanrong Jiang, Yanqin Wen. "An expert system for real-time fault diagnosis of complex chemical processes" Expert Systems with Applications 24 (2003) 425 - 432
- [2] ISO Standard : "Condition monitoring and diagnostics of machines - Vocabulary" ISO 13372:2004
- [3] ISO Standard : "Condition monitoring and diagnostics of machines -- Data processing, communication and presentation" ISO/CD 13374-2
- [4] ISO Standard : "Condition monitoring and diagnostics of machines -- Data processing, communication and presentation" ISO 13374-1:2003
- [5] ISO Standard : "Mechanical vibration -- Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts " ISO 7919-2:2001
- [6] ISO Standard : "Mechanical Vibration-Evaluation of Machine Vibration by Measurements on Non-Rotating Parts-," ISO/IS 10816, 1996
- [7] 양보석, 최성필, 최원호, 김진욱, "신경회로망을 이용한 불베어링의 결함진단", 한국박용기관학회지 18(5) : 512-521(1994)
- [8] 양보석, 김남철, "신경회로망을 이용한 유도전동기의 결함 진단에 관한 연구", 한국 퍼지 및 지능 시스템학회 논문지 5(4) : 56-66(1995)
- [9] 전순기, 양보석, "퍼지추론을 응용한 회전기계의 진동 진단법", 한국소음진동공학회지 6(5) : 431-438(1996)
- [10] 양보석, 임동수, 이윤희, 전순기, "결정나무를 이용한 유도전동기의 이상진동진단", 한국보전공학회지 3(2) : (1998)
- [11] B.S. Yang, C.H. Park, H.J. kim, "An Efficient Method of Vibration Diagnostics for Rotating Machinery Using a Decision Tree", International Journal of Rotation Machinery, Vol. 6, No. 1, pp. 19-27, 2000
- [12] D.S. Lim, B.S. Yang and D.J. Kim, "An Expert System for Vibration Diagnosis of Rotating Machinery Using Decision Trees", International Journal of Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management, Vol. 3, No. 4, pp. 31-36, 2000