

피크코드 기법을 이용한 발전설비 고장예측 시스템 개발

Development of Fault Prediction System Using Peak-code Method in Power Plants

노창수, 도성찬, 정의필

요약

최근 발전소의 첨단기술을 적용한 설비들이 대형화되고, 발전기의 정지나 사고 등으로 막대한 유지보수 비용을 필요로 하고 있다. 따라서 이러한 기계설비들의 운전 상태를 감시하고 고장을 예측할 수 있는 새로운 진단장치의 개발이 요구된다고 본다. 본 연구는 이러한 점에 착안하여 기계들의 정상/비정상 운전 상태를 정상레벨/비정상레벨/주의레벨/위험레벨/고장 즉 5단계로 세분화하고 각 단계별 판별기준을 정하여 운전 중 발생하는 기기들의 신호를 취득 및 분석하여 기기들의 정지 없이 기기의 운전 상태를 실시간 판별할 수 있는 시스템을 개발한다.

이를 위하여, 영역분할 알고리즘에 기반하여 기기의 운전 상태를 주파수특성 행렬로 표시하는 방법을 고안하였다. 각 기기들의 운전 상태를 간략히 피크코드화하고, 이 피크코드를 바코드처럼 활용할 수 있도록 발전설비 기기에 부착함으로써 기기의 운전상태 관리를 시스템화 할 수 있도록 하였다. 5단계 중 주의레벨에서 기기들의 예방정비를 수행하여 발전소의 경제적이고 안정적인 운전효율을 높이는 것이 궁극적 목표이며, 현장 적용 시의 이동성을 고려하여 노트북 컴퓨터로 신호취득에서 판별까지 가능하도록 알고리즘을 개발하였다.

Abstract

The facilities with new technologies in the recent power plants become larger and need a lot of high cost for maintenance due to stop operations and accidents from the operating machines. Therefore, it claims new systems to monitor the operating status and predict the faults of the machines.

This research classifies the normal/abnormal status of the machines into 5 levels which are normal-level/abnormal-level/care-level/dangerous-level/fault and develops the new system that predicts faults without stop operation in power plants.

We propose the regional segmentation technique in the frequency domain from the data of the operating machines and generate the Peak-codes similar to the Bar-codes.

The high efficient and economic operations of the power plants will be achieved by carrying out the pre-maintenance at the care level of 5 levels in the plants.

In order to be utilized easily at power plants, we developed the algorithm applying to a notebook computer from signal acquisition to the discrimination.

keywords : Peak code, power plants, fault prediction, regional segmentation

I. 서론

1.1 연구의 필요성

최신의 발전설비들은 대형화 및 첨단화 그리고 고속운전 등으로 인하여 한 번의 고장으로 야기되는 가동 중단과 이를 복구하기위한 경제적 손실이 막대하다.

따라서 설비의 정지 없이 운전 중에 기기들의 운전 상태를 감시하고 고장을 예측하는 기술개발의 필요성이 필수적으로 요청된다. 일례로 발전소의 터빈 베어링에 고장이 발생하면 축에 상당한 스트레스를 주며 이를 하루정도 방치하면 축이 휘거나 베어링 주위의 기기들이 연쇄적으로 고장이 발생하므로 실시간 고장예측이 되어서 조속히 교체하여야 한다.

그러나 운전 중의 예비보수 결정은 매우 힘든 일로서, 본 연구는 이러한 점을 감안하여 정상/비정상 고장단계를 세분화하고 각 단계별 판별기준을 정하여 운전 중 발생하는 기기들의 신호를 취득 및 분석하여 기기의 상태를 실시간 판별할 수 있는 체계를 구축하고자 한다.

* 울산대학교

접수일자 : 2008. 7. 14 수정 완료 : 2008. 10. 14

게재확정일자 : 2008. 10. 29

※ 본 논문은 2008년도 중소기업청 산학협력실 지원 사업으로 수행된 연구입니다.

기기의 상태를 체계적으로 관리하여, 주의 관찰해야 할 시점과 예비보수 해야 할 시점을 판별할 수 있는 시스템이 개발되어야 한다는 필요성은 대다수가 인식하고 있으나 이를 현장에 적용하는데 기술적/경제적/실용적 측면에서 어려움이 많았다. 이를 극복하고자 피크코드를 고안하여 기존의 컴퓨터로 기기의 정상/비정상을 판별할 수 있도록 하며 실시간 정상/비정상 판별 시스템이 발전설비 현장에 활용되도록 한다.

1.2 연구 목적

발전설비(터빈, 펌프, 밸브 등)의 안전성, 신뢰성 및 운영 효율 향상을 위하여 중요 기기들의 정상/비정상 및 고장상태를 인지할 수 있는 실시간 판별 시스템을 개발하고자 한다.

이를 위하여, 영역분할 기법을 이용한 알고리즘을 정립하였고 기기의 주파수특성을 행렬로 표시하여 실시간 판정이 가능하도록 하였으며 이를 간략히 표현한 피크코드를 고안하였다. 피크코드를 바코드처럼 활용할 수 있으므로 발전설비 기기에 모두 피크코드를 부착함으로써 기기의 사전 사후 관리를 시스템화 할 수 있다.

정상/비정상 및 고장의 판별단계를 정상레벨/비정상레벨/주의레벨/위험레벨/고장 즉 5단계로 분류하였으며 본 논문에서 개발한 정상/비정상 판별시스템을 활용하여 비정상으로 판별되면 집중 관찰하고 3단계인 주의레벨 내에서 예비정비하여 발전설비의 운영효율을 극대화하는 것이 본 논문의 궁극의 목표이다.

또한 개발된 판별 시스템이 고가의 장비이면 발전설비 현장에 적용하기 힘들다. 따라서 기존의 상용화된 컴퓨터를 활용하여 신호취득과 정상/비정상 판별을 할 수 있는 알고리즘 개발에 역점을 두었으며 실용성과 경제성 그리고 현장에 바로 적용할 수 있는 정상/비정상 판별 시스템 개발이 본 연구의 목적이다.

1.3 연구 방법 및 내용

기존의 컴퓨터와 노트북을 활용하여 실시간 정상/비정상 판별을 할 수 있는 시스템을 개발하기 위해 아래의 알고리즘을 개발하고 새로운 기법을 제안한다.

- 영역분할 기법을 활용한 신호음 처리
- 취득된 신호음을 간략히 기록/비교/분석하기위한 신호음 행렬표현과 피크코드 고안
- 정상/비정상 및 고장의 5단계 판별 기준 제안
- LabVIEW를 활용한 판별 알고리즘

본 연구에서 제안한 알고리즘과 기법들이 실제 발전설비에 적용할 때 이의 타당성 여부와 활용 가능성 그리고 나타나는 문제점을 고찰해 보고자 A화력발전소와 B양수발전소를 방문하여 발전설비 기기들의 신호를 취득하여 실험하였다.

II. 고장진단의 현황

2.1 기존의 고장진단

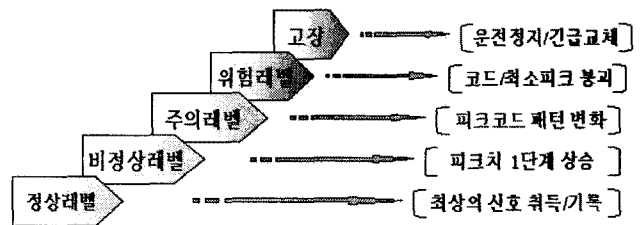
발전설비에 사용되는 발전기 베어링 펌프 회전축등의 고장진단은 국내외 대학과 연구소에서 활발히 연구되어 왔으며 고장진단의 알고리즘은 데이터베이스와 신경망 이론을 활용하여 진단하고 있으며 최근에는 Wavelet 변환을 이용한 신호처리와 Petri nets 알고리즘을 활용한 고장진단의 연구가 대학에서 행해지고 있다[1][2].

국내 몇몇 화력발전소에서 발전기 베어링등 주요기기에 가속도 센서를 부착하여 취득한 신호의 주파수영역에서의 에너지가 최대허용범위를 넘어서는 지의 여부를 판단하여 고장진단을 하고 있다. 그간 대학과 연구소에서 학문적으로 연구되어오던 단계에서 국내에서도 발전설비 현장에 직접 적용하는 단계로서 바람직한 현상이나 학문적으로는 최신의 알고리즘으로 연구되고 있으나 국내 화력발전소에서는 단순한 고장진단만하고 있다.

2.2 문제점 고찰

국내 A화력발전소에서 XYZ축중 X축 1개와 Y축 1개 즉 2개의 가속도센서를 한 기기에 부착하여 신호를 취득하여 고장진단을 행하고 있으며 2개의 센서중 하나에서 최대허용범위를 넘어서면 고장으로 판별하고 있었다. 그러나 최대허용범위를 넘어서는 경우는 이미 고장이 발생된 경우이며 이를 고장정비하기위해 긴급히 대체해야 하므로 경제적 손실이 클 수 있다. 그러므로 고장 이전에 정상/비정상 판별이 필요하며 고장진단 레벨을 5단계로 세분화하여 순차적으로 단계별로 예비정비 하는 것이 필요하고 이를 위하여 판별기준(참고 3.2.3절)을 마련한다.

기기의 상태를 그림 1과 같이 정상레벨/비정상레벨/주의레벨/위험레벨/고장으로 5단계로 분류하면 기존의 연구는 위험레벨과 고장인 경우에 집중되어 있다. 이는 상당



(a)정상/비정상/고장 5단계 분류 (b)피크코드 패턴 판별
그림 1. 정상/비정상/고장의 5단계 분류와 판별 기준

Fig. 1. 5 Level classification of normal/abnormal fault

한 위험요소를 지니고 있으며 사전 계획을 세우지 못한 채 운전중을 정지하고 수리보수 및 교체를 해야 하는 상황을 맞을 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 정상/비정상 레벨에서 판별되도록 시스템을 개발하려 하며 이를 활용하여 비정상으로 판별되면 주의 깊게 관찰하여 늦어도 중간단계인 주

의레벨에서 예지정비 되도록 하는 것이 본 논문의 취지이다. 발전설비 운영측면에서 예비정비와 고장정비의 정비비용을 비교하면 50~60% 절감되는 효과를 본다[4]. 그러므로 정상/비정상 판별의 중요성은 증대될 것이다. 이를 행하고자, 정상/비정상 판별시스템을 외국의 기술에 의존하여 도입 시는 종속적인 관계가 되며 도입 비용도 국내개발의 3배가 되고 지속적인 유지보수 비용은 5배 이상이 소요된다. 경제적 측면뿐만이 아니라 언젠가는 우리의 기술로 연구개발해야 하는 것을, 이는 국가적인 낭비이며 기술우위의 나라가 선진국이 되는 시대에 역행하는 일인 것이다.

III. 실시간 정상/비정상 고장예측

본 연구에서는 기기들의 고장이 발생하기 이전에 정상 신호의 변화를 판별하여 정상/비정상 판별에 주안점을 두었다.

현장에 적용할 실시간 판별시스템을 개발하기 위해서는 다음의 세 가지 조건을 만족할 수 있는 알고리즘이 필요하다.

- 판별기준의 단순화
- 주파수특성을 어떻게 단순하게 표현할 것인지?
- 시간이 흐름에 따라 기기의 정상신호의 변화를 간략히 표현/기록/비교 할 수 있는 코드화

이를 위하여, 본 연구에서는 주파수특성을 영역분할하고 각 영역안에서 주요 피크치를 비교할 수 있게 하였고 주요 주파수 피크치의 순서를 코드화하여 실시간 비교하고 정상/비정상 판별을 할 수 있는 피크코드를 고안하였다.

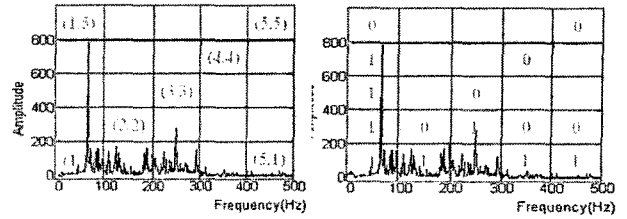
3.1 영역분할 알고리즘

영역분할에 의한 접근방법은 여러 분야에서 활용되고 있다. 일례로, 물건을 제조하는 공장의 최적화를 위해 생산기계, 부품저장소, 물류흐름등의 생산시스템을 영역분할하여 행렬로 나타내어 최적배치하고 있다.

Petri net 알고리즘 또한 행렬로의 표현과 연산으로 최적의 해를 구한다. 이 점에 착안하여 주파수특성도 행렬로 표현하면 실시간 판별과 관련 알고리즘을 활용할 수 있을 것으로 판단되어 주파수특성을 행렬로 표현하는 방법을 착안하게 되었다.

3.1.1 주파수 응답의 영역분할 및 표현법

주파수 영역의 신호응답을 그림 2와 같이 가로축과 세로축으로 영역 분할한다. 각 분할된 셀의 주소를 행렬 규칙으로 표현하며 행렬의 시작위치는 그림 2 (a)와 같이 좌표축 원점을 기준으로 (1, 1)를 위치시킨다. 주파수 신호응답을 간략히 표현하기위해 "0"과 "1"의 조합으로 그림 2 (b)와 같이 나타내며 정상/비정상 판별에 활용한다.



(a)영역분할의 행렬 표현 (b)피크치 없는 영역은 "0"

그림 2. 영역 분할의 예

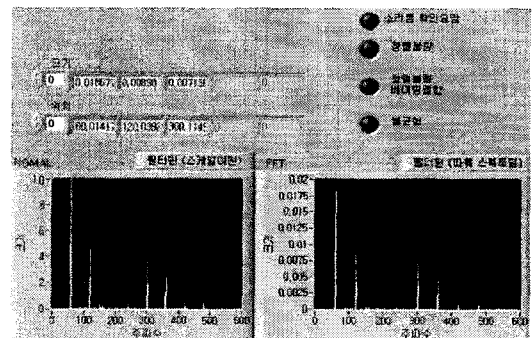
Fig. 2. Example of regional segmentation of the frequency domain

3.1.2 피크코드

실시간 정상/비정상 비교판별을 위해서는 이전 정상 데이터가 있어야 하고 이를 바로 비교분석하여야 한다. 이를 위하여 바코드처럼 기기에 부착 가능하고 코드를 보면 기기의 특성을 바로 알 수 있는 시스템이 필요하다. 이의 해결책으로 주파수특성을 바코드처럼 표현한 "피크코드"를 고안하였다.

1) 피크코드 표현법

주파수 영역에서 주요 주파수와 그 주파수의 크기 성분을 표현한 코드 양식은 그림 3과 같으며 주파수응답을 피크코드 형식으로 표현하면 F100X10YP543-0.01867이다.



가로축정보 세로축정보 피크어드레스 최대피크치
F 1 0 0 X 1 0 Y P 5 4 3 - 0 . 0 1 8 6 7

그림 3. 피크코드 형식

Fig. 3. Peak-code format

여기서 F는 FFT(주파수 해석), 100X는 가로축을 100Hz 단위로 등분하였다는 것을 나타내고 10Y는 세로축을 최대 피크치를 기준으로 10등분했다는 것을 의미하며 최대피크치를 P라 표현한다. 0~100Hz 대역에 최대피크치가 있으므로 P이고 100Hz~200Hz대역에서는 피크치가 세로축 5영역에 있다. 즉 각 주파수대역별로 주요 피크치의 크기를 숫자로 표시하여 코드화 한다.

가로축과 세로축을 더 세분화하여 등분할 수 있으며, 등분이 아닌 일부 임의 분할도 가능하다.

2) 행렬과 피크코드

그림 2 (b)를 행렬로 표현하면 그림 4 (a)와 같으며 주파수 대역별 최대피크치로만 표현하면 그림 4 (b)와 같다. 이를 그림 2 (a)의 규칙대로 행렬주소로 표현하면 (1,4) (2,1) (3,2) (4,1) (5,1)이다.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

(a) 기본 행렬 표현 (b) 피크치 만의 행렬표현
그림 4. (그림 2)의 행렬 표현

Fig. 4. Array expression of Fig. 2

그림 5의 위쪽 행렬과 같이 영역 분할된 주파수 대역에 2개의 주요 피크치가 있을 경우, 또한 그림 5의 아래쪽 행렬과 같이 한 셀에 2개의 주요피크치가 있을 경우 피크코드는 위첨자로 표현하여 구별한다. 즉 중복된 피크치의 세로축 셀 행렬 위치 값을 위 첨자에 표현함으로써 중복된 피크치의 크기를 나타낸다. 그림 5의 위쪽 행렬표현을 그림 2. (a)의 행렬표현을 따르면 (3, 2)과 (3, 3)에 각각 주요 피크치가 존재한다. 즉 영역분할된 같은 주파수 대역내(예, 200Hz 대역)에 2개의 주요 피크치가 존재한다. 이를 피크코드로 표현하면 3² 이 된다.

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \text{피크코드 } 2P3^211$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \text{피크코드 } 2P3^311$$

그림 5. 중복된 피크치의 표현

Fig. 5. Expression of overlapping Peak-codes

이와 같이 주요 피크치를 모두 표현함으로써, 취득된 신호의 주요 주파수 피크를 행렬과 피크코드로 표현할 수 있으며 부착된 피크코드와 현재의 주파수 응답 피크치를 비교함으로써 실시간 정상/비정상 판별이 가능하며 현재 기계의 상태 뿐만 아니라 동일한 기계들의 상태를 서로 비교할 수 있다. 또한 LAN을 활용한 원거리 전송도 용이하여 여러 지역에 분포되어 있는 주요 기기들의 집중 관리가 가능하다.

3.2 정상/비정상 판별

기존의 고장진단 논문에서는 회전기기의 일부 부위를 고장 내어 고장 신호음을 발생시켜서 고장진단의 주파수 특성을 추출했다[5,6]. 고장 난 회전기기의 주파수 특성

들 중에서 굵은 회전축과 베어링결함을 [5,6]에서 인용해 보이면 그림 6과 같다.

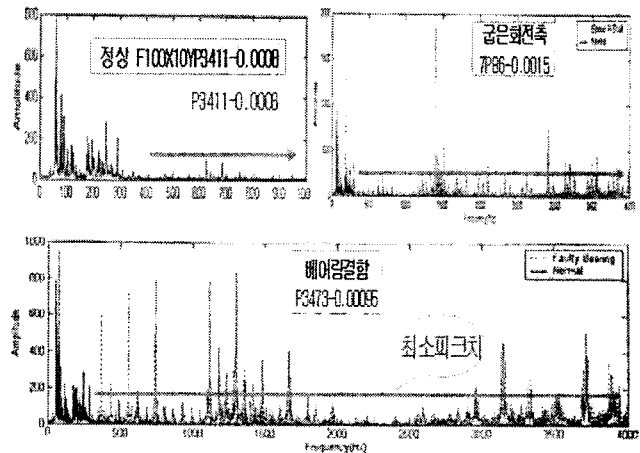


그림 6. 고장 난 회전기기의 주파수 특성

Fig. 6. Spectrum of faulted rotor

이를 살펴보면, 정상상태의 주파수특성에서 400Hz까지는 고유의 피크치 패턴을 가지며, 400Hz이상의 주파수에서는 주파수 피크치가 매우 작게 나타나는데 이를 최소기준피크치라 표현하고자 한다. 그러나 일부 회전기기는 특이한 주파수 특성을 갖는 경우도 있다. 굵은회전축과 베어링결함인 경우에 고장신호의 주파수특성을 보면 신호의 배음 특성으로 인해 400Hz이상에서 최소기준피크치를 초과하는 피크치가 나타난다. 또한 고장일 때에는 대부분 피크치의 패턴이 정상과 다르게 나타난다. 그러므로 본 연구에서는 피크치의 패턴과 최소기준피크치를 판별 기준의 잣대로 정상/비정상 알고리즘을 개발한다.

3.2.1 피크코드 패턴 판별

입력신호로 화력발전소의 발전기/터어빈/베어링/모타 등의 신호를 취득하여 LabVIEW를 활용하여 적용시험을 하였다.

그림 6과 그림 7에서 세로축 0.005를 최소기준피크치라 놓으면 최소기준피크치를 넘어서는 피크치 위치는 그림

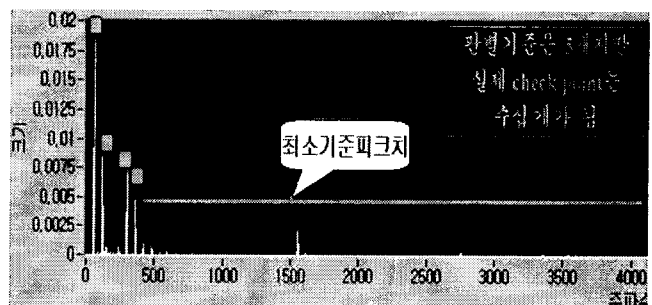


그림 7. 기기의 정상/비정상 피크코드 패턴 판별 예

Fig. 7. Distinction example of Peak-code pattern

3과 7에서 P, 5, 4, 3 이다. 이를 활용하여 화력발전소 발전기에 적용한 정상/비정상 판별 알고리즘을 보이면,

1) 정상/비정상 판별 1

정상상태인 경우, 최대 피크가 가로축에서 몇 번째의 셀에서 발생하는 지?

2) 정상/비정상 판별 2

피크치의 값 즉 세로축 셀을 체크하여 정상상태의 셀을 넘어서는 지 비교한다. 부연하면 피크치를 비교하여 허용치를 넘어서면 비정상으로 간주한다. 즉 셀로 확인할 경우 상위 셀이 영이 아닌 값을 가지면 비정상으로 예측한다.

3) 정상/비정상 판별 3

이외 영역 즉 400Hz 이상에서부터 설정된 주파수영역까지 최소기준피크치를 넘으면 고장으로 간주한다.(참조 그림 7)

4) 정상/비정상 판별 4

그림 7의 발전기 사운드응답에서 피크치의 셀이 한 개의 피크치를 가지는데 만약 한 셀에서 2개 이상의 피크치가 발생하면 고장이다.

3.2.2 주파수 수치 정상 판별

고장진단의 판별 기준으로 주요 피크치의 주파수 값을 중요시 하였다. 이는 회전축을 지닌 기기가 회전축에 심각한 고장이 발생할 때 주파수 값의 변화가 일어날 수 있으므로 고장판별에 활용되어 왔다.

이를 고려하여 정상/비정상 판별시스템의 모니터 화면인 그림 3과 그림 9의 #2에 주요 피크치의 주파수 값이 실시간으로 표시되며 이의 주파수 값의 변화가 감지되면 3단계 주의레벨로 판별하며 경보 및 통보시스템이 작동한다. 주파수 값의 변화는 심각한 고장으로 발전할 수 있으며 피크코드와 더불어 고장진단의 판별기준으로 활용한다.

3.2.3 정상/비정상 5단계 판정 기준

발전설비 중 회전기기에서는 그림 6, 7, 9, 11과 같이 저주파영역에 주요피크치가 나타나며 정상상태일 경우, 일정부분의 고주파영역에서는 피크치가 아주 작게 나타난다.

저주파영역에서의 과도한 진폭은 기계적인 문제와 작동상의 문제를 나타내며 베어링 불량일 경우는 그림 6과 같이 고주파영역에서 다수의 피크치가 생성된다[4]. 즉 비정상이거나 고장이 발생하면 피크치가 과도하게 증가하거나 새로운 피크가 발생한다. 그러므로 저주파대역에서 진폭의 증가와 피크패턴의 변화 즉 피크코드의 변화를 비교하고 그 외 대역에서는 최소기준피크치를 초과하는 새로운 피크가 발생 했는지를 감시 및 비교/판별한다면 기기의 정상/비정상 상태를 예측할 수 있다.

이를 토대로, 정상/비정상에서 고장까지의 5단계 분류는 그림 1과 같으며 이의 판별 기준은 다음과 같이 한다.

< 1단계 : 정상레벨 >

초기 기기 설치 후 최적의 정상상태에서 취득한 신호음으로 실시간 판별시스템을 활용하여 피크코드를 생성부착하고 행렬식을 기록하며 사용연도에 따른 피크코드의 변화를 고려하여 정상레벨을 설정한다.

< 2단계 : 비정상레벨 >

피크코드에서 1단계 초과하는 피크가 발생할 경우 비정상레벨로 판정한다. 즉 영역분할된 주파수 영역에서 영역별 최대피크치의 값을 1단계(최대피크치를 10등분했을 때 1단계 즉 10%) 넘는 피크치가 발생하면 비정상으로 판별하고 집중적인 관찰을 한다.

< 3단계 : 주의레벨 >

피크코드의 패턴이 변할 경우 즉 피크코드의 순서가 바뀌는 경우와 최소기준피크치를 초과하는 피크가 발생하였을 때 그리고 주요 피크치의 주파수 값이 변화는 경우를 주의레벨로 판정한다. 주의레벨을 넘어서면 예상치 못한 고장이 발생할 수 있으므로 예비정비는 늦어도 주의레벨 내에서 완료해야 한다.

< 4단계 : 위험레벨 >

정상/비정상 판별시스템을 활용하지 않더라도 감지 및 인지 할 수 있는 단계이며 평소보다 높은 소음이 발생하거나 기기 표면의 온도가 높은 상황이다. 즉시 가동을 중단하고 대체를 해야 하는 단계.

< 5단계 : 고장 >

3.3 LabVIEW 적용

본 연구에서의 영역분할 알고리즘의 개념을 LabVIEW에 적용하여 프로그램 하였다. 그림 8는 영역분할 기법과 정상/비정상 판별 1, 2, 3, 4의 개념을 LabVIEW로 프로그램 한 블록도이다. 판별 2, 3, 4는 그림 8에서 오른쪽 비교 논리연산자로 표현하였고 판별 1은 그림 8에서 가운데 아래에 행렬로 나타내어 주파수 대역별 최대 피크치의 순서를 비교 판별한다.

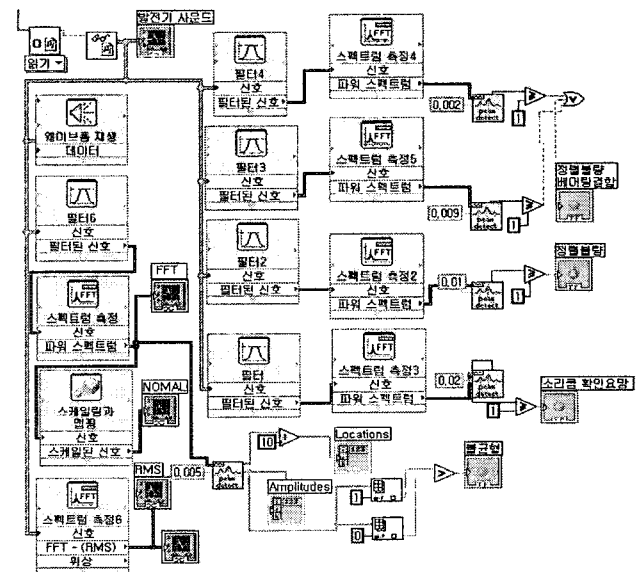


그림 8. LabVIEW 블록도

Fig. 8. Block diagram of LabVIEW

그림 9는 A화력발전소의 터빈 베어링 #4의 사운드를 취득

하여 LabVIEW를 활용하여 구현 결과이며 노트북 모니터 화면을 그대로 나타내었다. 그림 9에서 왼쪽 위 즉 #1은 최소기준주파수를 설정하는 슬라이드버튼이고 바로 옆 #2의 영역에는 주요피크치의 주파수값이 표현되며 #3의 영역에는 피크코드가 자동 생성 표현된다.

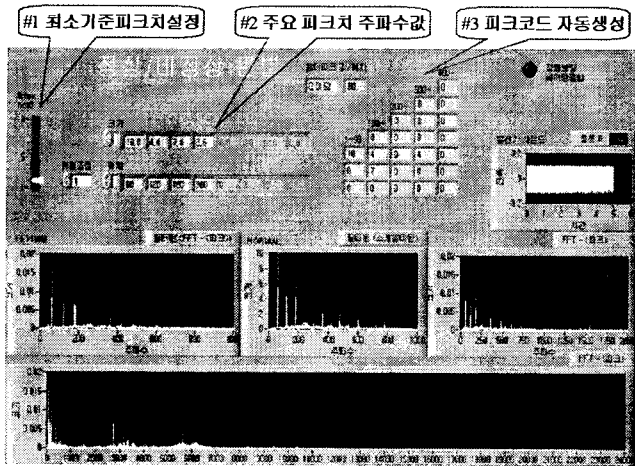


그림 9. A화력발전소 터빈 베어링 사운드 모니터링
Fig. 9. Monitoring of sound signal of turbine bearing in A power plants

IV. 정상/비정상 판별 실험

발전설비 기기의 최상의 정상상태 신호를 기준하여 판별을 행하고 정상상태를 벗어나면 즉 비정상레벨이면 집중적으로 관찰하여 3단계 주의레벨 내에서 예비정비하여 발전설비 운영의 효율향상과 안전성 증대를 이루는 것이 궁극의 목적이다.

이렇게 하기 위해서는 실제 설치된 기기의 최상의 정상상태의 신호가 있어야 하는데, 본 연구에서는 화력발전소와 양수발전소를 방문하여 기존 시설에서 기기의 신호음을 취득하였다. 그러므로 최상의 정상상태의 신호가 아닐 수 있으나 본 연구에서 개발한 판별시스템으로 실험해 보면, 표 1과 같이 터빈 베어링 #1, 2, 3, 4, 5, 6, 7의 기기들의 주파수응답을 피크코드로 간략히 상호 비교할 수 있다. 현재 베어링 #3의 상태가 다른 베어링과 달리 특이한 신호음을 낸다는 것을 알아 낼 수 있는 점이 피크코드의 장점이다.

향후 새 기기로 부품을 교체할 때, 최상의 정상상태 신호음을 취득하여 행렬과 피크코드로 기록하여 보관한다면 더 좋은 데이터가 될 것이다.

신호취득 도구로 마이크로폰을 사용하였으며 폰의 방향은 기기의 중심을 향하고 기기의 외곽 케이스에서 15cm 거리를 두었으며 기기 중심을 기준으로한 수평면에서 위로 45도 경사지게 마이크로폰을 위치시켜 10초간 취득

하였다.

4.1 A화력발전소 실험

A화력발전소의 발전 설비 중 터빈 베어링 1번에서 7번까지 그림 10의 위치에서 각각 신호를 취득하였으며 실시간으로 LabVIEW를 활용하여 모니터한 주파수응답은 그림 11와 같고 피크코드는 표 1과 같다[7].

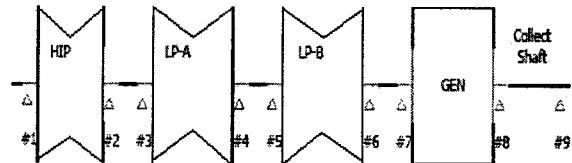
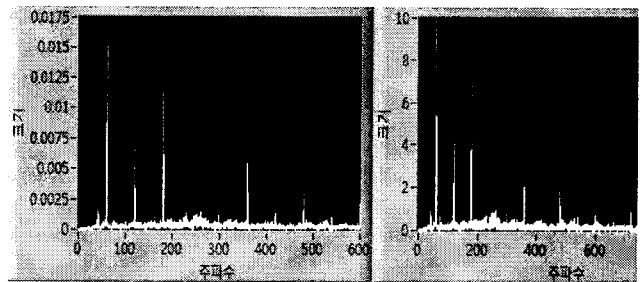
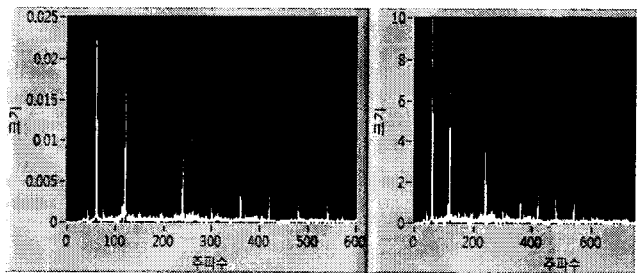


그림 10. A화력발전소 터빈 베어링 사운드 취득 위치
Fig.10. Microphone location near turbine bearing in A power plants

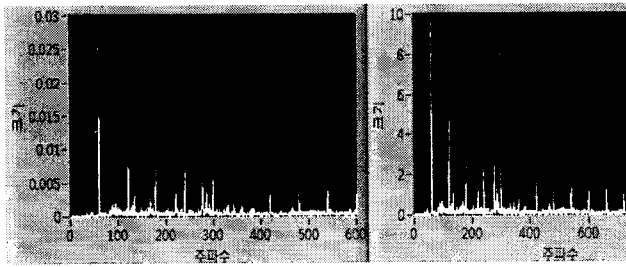
표 1의 피크코드에서 최대피크치 P의 위치를 비교하면 베어링 #1만 유일하게 300Hz대역에 있으며 베어링 #2의 피크치보다 3배 이상 크다. 피크코드 패턴을 살펴보면 베어링 #3과 #5는 특이한 주파수 특성을 보인다. 즉 100Hz 대역에서 2개의 피크치가 나타난다. 그러므로 베어링 #1>#3>#5는 지속적인 관찰이 필요하고 주기적으로 피크코드를 비교하여야 하며 피크코드 패턴이 변하면 예비정비를 해야 한다. 터빈 베어링 #1, #3, #5를 새 제품으로 교체할 때 이의 피크코드와 행렬 값을 기록하여 보관 및 부착해 놓으면 정상/비정상 판별을 정확히 할 수 있다.



(a) A화력발전소 터빈 베어링 #3



(b) A화력발전소 터빈 베어링 #4



(c) A화력발전소 터빈 베어링 #5

그림 11. A화력발전소 터빈 베어링 실험 결과
Fig. 11. Experimental results of turbine bearing in A power plants

표 1. 터빈 베어링 #1 ~ #7의 피크코드
Table 1. Peak-code of turbine bearing #1~#7

발전소	대상	피크코드-max	주파수(Hz)	측정년
A 화력 발전소	터빈 베어링 #1	422P - 0.028	60-120	2007년
	터빈 베어링 #2	P3932-0.0085	60-120-240	"
	터빈 베어링 #3	P5 ⁸ 142 -0.015	60-120-180	"
	터빈 베어링 #4	P8422 -0.022	60-120-240	"
	터빈 베어링 #5	P5 ³ 33 -0.029	60-120-180	"
	터빈 베어링 #6	P2111 -0.049	60-120	"
	터빈 베어링 #7	P2111 -0.093	60-120	"

(기본 영역분할 F100X10Y는 생략가능)

최적의 정상상태의 주파수특성을 알고 있으면, 즉 정상상태의 피크코드 패턴 혹은 피크들의 행렬 값을 안다면 정상/비정상 판별을 정확히 할 수 있고 이를 토대로 예비정비를 할 수 있다. 또한 주위의 베어링들과 비교하여 어느 베어링의 상태가 상대적으로 안 좋은지를 파악할 수 있다. 즉 같은 기기들의 피크코드를 상호 비교하여 기기들의 현재 컨디션의 순위를 매길 수 있다.

4.2 B양수발전소 실험

B양수발전소의 발전 설비 기기들 중 신호를 취득하여 실시간으로 LabVIEW를 활용하여 모니터한 결과는 표 2와 같으며 Shaft의 피크코드가 특이한 편이나 모두 최소기준 피크치 0.005보다 10배이상 작은 피크치를 가지므로 정상상태라 판별할 수 있다.

표 2. B양수발전소 기기들의 피크코드
Table 2. Peak-code of machinery in B pumping-up power plants

발전소	대상	피크코드-max	주파수(Hz)	측정년
B양수 발전소	Main transfor.	1P312 - 8E-6	120-240-480	2007년
	Generator	1P111 - 0.0005	120	"
	Shaft	1P ⁶ 231- 3.5E-6	120-135-310	"

V. 결론

발전설비의 운영효율의 극대화를 위하여 정상/비정상 실시간 판별시스템을 개발하였다. 이를 개발하기 위하여 영역분할 알고리즘을 정립하였고 판별의 기준이 되는 최적의 정상상태 신호특성을 마코드처럼 해당 기기에 부착 보존하고자 피크코드를 고안하였다. 또한 피크코드를 활용한 정상/비정상 판별을 5단계로 세분화하여 판별할 수 있는 기준을 정하였다.

본 연구에서 개발한 실시간 정상/비정상 판별 시스템을 검증하기 위하여 화력발전소와 양수발전소를 방문하여 발전설비의 사운드를 취득하여 실험하였다. 실험결과 정상/비정상 판별이 가능함을 보였고, 향후 실제 적용을 위하여 운전기기들의 정상/비정상상태 운전데이터의 데이터베이스 구축이 필요하다. 발전설비 설치 초기에 기기별 최적의 신호를 피크코드화 하여 기기에 부착하여야 하며 이의 방안을 제안하였다. 또한 기준에 설치되어 있는 기기는 교체할 때에 피크코드를 부착하여 정상/비정상 판별을 할 수 있는 체계를 갖추어야 한다. 이렇게 함으로서 최적의 운영효율을 기할 수 있으며 사고를 예방하고 경제적 손실을 최소화할 수 있다.

향후 운전 상태에 대한 지속적인 데이터 축적을 통하여 정상/비정상 예측판단에 대한 정확도를 높이는 것이 필요하며 LAN을 사용하여 원거리에서 24시간 실시간 관리하는 IT융합 정상/비정상 통보시스템으로 확장하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] Do Van Tuan, Sang Jin Cho, Ui-Pil Chong, "Development of Acoustic Analysis Using Advanced Wigner Distribution for Pipeline Fault Detection in Power Plant," The proceeding of HPSC 2006 ,

accepted [SCI], 2005년.

- [2] Bo-suk Yang, Seok Kwon Jeong, Yong-Min Oh, Andy Chit Chiow Tan "Case-based reasoning system with Petri nets for induction motor fault diagnosis", Expert Systems with Applications 27, pp301~311, 2004.
- [3] 이상국, "발전설비 건전성평가를 위한 음향방출 진단기술", 소음 진동 제17권 제3호, pp 12~25, 2007년 6월.
- [4] 이병준, "회전기계 진동 및 정비 핸드북", INCOSYS.
- [5] 이성상, 정의필, "LPC를 이용한 발전소 회전기기의 고장진단 시스템"울산대학교 석사학위논문, 2004년 12월.
- [6] 노창수, 정의필, "영역 분할기법을 이용한 발전설비의 고장예측 시스템 개발", 울산대학교 석사논문, 2008년 2월
- [7] 광두영, "컴퓨터 기반의 제어 계측 Labview", Ohm사.



정 의 필(Uipil Chong)

1978년 울산대학교 전기공학과 졸업
 1980년 고려대학교 전기공학과(석사)
 1985년 미국 Oregon State University (공학석사)

1996년 미국 Polytechnic University(공학박사)
 1997년 - 현재 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수
 관심분야 : 신호처리, 고장진단, 멀티미디어, 컴퓨터음향



도 성 찬(Sungchan Do)

1991년 울산대학교 산업관리공학과(석사)
 1978년- 1992년 현대자동차(주)
 1993년 대도기계 창업
 1996년 - 현재 : (주)대도기계 대표이사

1998년 - 현재 : 울산과학기술대학 기계공학부 겸임교수
 2006년 - 현재 : 울산상공회의소 상공의원
 관심분야 : 플랜트 고장진단



노 창 수(Changsu Roh)

1980년 한양대학교 정밀기계공학과 졸업
 1982년 성균관대학교 기계공학과 (석사)
 2008년 울산대학교 컴퓨터정보통신학과 (석사)

1989년 한국기계연구원 CAD/CAM실 선임연구원(8년)
 2008년 울산과학기술대학 기계공학부 겸임교수(10년)
 관심분야 : 고장진단, 3D모델링, 신호처리