

진동 신호를 이용한 회전기기 고장 진단 시스템의 개발

이충휘*, 심현진*, 오재응#, 이정윤**

Development of the Fault Diagnostic System on the Rotating Machinery Using Vibration Signal

Choong-Hwi Lee*, Hyoun Jin Sim *, Jae-Eung Oh#, Lee Jung Yoon**

ABSTRACT

With the rotating machinery getting more accurate and diversified, the necessity for an appropriate diagnosis technique and maintenance system has been greatly recognized. However, until now, the operator has executed a monitoring of the machine by the senses or simple the change of RMS (root mean Square) value. So, the diagnostic expert system using the fuzzy inference which the operator can judge easily and expertly a condition of the machine is developed through this study. In this paper, the hardware and software of the diagnostic expert system was composed and the identification of the diagnostic performance of the developed system for 5 fault phenomena was carried out.

Key Words: Fault diagnosis(고장 진단), Vibration(진동), Rotating machinery(회전기기), Fuzzy inference(퍼지추론), Expert system(전문가 시스템)

1. 서론

발전설비와 플랜트(Plant)는 압력용기, 배관장치, 이송설비 등으로 구성된다. 이 중에서 이송설비의 주요장치는 모터 등을 이용하여 유체를 수송하거나 압축하는 펌프, 압축기, 엔진, 터빈, 발전기, 기어장치 등의 회전기기이다. 이러한 회전기기는 고압, 고속으로 회전하기 때문에 타 설비에 비하여 취약하고 안정성이 떨어지는 특성이 있기 때문에 설비의 운행 도중 자주 고장을 일으켜 막대한 경제적 손상을 발생시킨다. 특히, 산업 발전과 더불어 회전기기가 더욱 고속화되고 정밀화 됨에 따라 경제적 손실 또한 더욱 증가하게 되었다.

회전기기의 이상상태를 감지하기 위한 여러 측정방법이 있지만, 이중 가장 섬세하고 신뢰성 있는 진단방법은 진동을 측정하여 진단하는 방법이다.

따라서, 플랜트의 주요 회전기기에 대해서는 일상적인 점검 외에 예방정비를 통하여 설비의 신뢰성 및 안전성을 주기적으로 점검하고 돌발적인 고장을 방지하여 과잉 보수에 의한 경제적, 시간적 손실을 줄일 수 있도록 회전기기의 진동 분석 및 진동 원인 규명에 대한 기술이 요구되고 있다. 특히, 인명 피해와 밀접한 관련을 가지는 회전기기의 경우는 더욱 이러한 기술을 필요로 한다.

회전기기의 진동을 계측·분석하여 진단을 수

☞ 접수일: 2003년 12월 10일; 게재승인일: 2004년 9월 9일

* 한양대학교 대학원 자동차공학과

한양대학교 기계공학부

E-mail: jeoh@ihanyang.ac.kr Tel.: (02) 2290-0452

** 경기대학교 기계시스템디자인공학과

행하기 위해서는 계측, 데이터 수집, 데이터 분석 및 판단부로 이루어진 진단 시스템의 구축이 필요하다. 국내외적으로 진동 및 소음 신호를 계측하고 신호처리 기법과 신경회로망, 퍼지 추론 기법 등을 이용한 진단 알고리즘에 대해서 많은 연구가 수행되었다. 하지만 진단 시스템의 개발을 위하여 진단 알고리즘뿐만 아니라 진동신호를 계측할 수 있는 하드웨어 및 센서 류의 개발도 뒷받침 되어야 한다. 국외의 경우 하드웨어를 전문적으로 제조하는 기업들이 많지만 국내는 아직 하드웨어의 개발 기술이 미비한 실정이다. 최근 국내 중소기업에서 진단 시스템을 개발하고 보급하고 있지만 외국에 비할 정도의 수준은 아니다.

따라서, 진단 시스템에서 진동 신호를 계측하기 위하여 하드웨어들을 현장의 회전기 진단에 적합하게 구성하여 통합 운용할 수 있는 전문적인 진단 시스템의 개발이 필요하며, 개발된 시스템을 일반 사용자가 전문가처럼 운용할 수 있도록 각종 신호처리 기술 및 인공 지능적 판단 기법을 내재한 진단 전문가 시스템으로의 확장이 반드시 필요하다.

본 연구에서는 회전기기의 진동 현상을 계측하여 설비의 이상을 조기에 진단함으로써 예방 정비를 수행할 수 있는 설비 진단용 전문가 시스템의 개발을 목적으로 회전기기에 대한 진단 전문가 시스템을 구축하기 위해서 현장의 회전기 중에서 공통적이고 주요한 설비인 펌프를 진단 대상으로 선정하였다. 펌프에 대한 진동 신호분석을 통하여 이상고장 현상 및 계측 위치를 선정하였으며 계측 시스템을 구성하였다. 그리고 하드웨어 인터페이스 모듈과 데이터 모니터링 프로그램 모듈, 신호처리용 프로그램 모듈, 사용자 인터페이스 모듈을 개발하여 진동 진단 시스템을 구성하였으며 모의 진단 시뮬레이션을 통하여 구성된 시스템의 진단 성능을 평가하였다.

2. 설비진단 전문가 시스템

2.1 회전기기 설비 진단

회전기기에 대한 진단은 지금까지 많은 연구가 수행되어 왔으며 진동과 소음 신호를 이용한 방식이 대부분이었다. 일반적으로 회전기기는 축, 커플링, 베어링 등으로 구성되어 있으며 각 요소들의 이상 발생 시 나타나는 현상은 주로 신호의

주파수 특성으로부터 감지할 수 있고 다음과 같이 5 개의 주요 이상현상으로 분류할 수 있다.

2.1.1 불균형(Unbalance)

불균형은 회전기기의 이상 현상 중에서 가장 발생 빈도가 높은 현상으로서 회전축의 무게 중심이 맞지 않거나 마모 등에 의하여 편심이 생기는 경우에 주로 발생한다. 불균형 현상이 발생되면 1 차 회전 주파수의 진동 크기가 급격히 증가하고 회전 속도가 증가함에 따라 진동 크기도 비례적으로 증가하게 된다.

2.1.2 축 정렬오류(Misalignment)

축 정렬오류는 축과 축의 결합 시 두 축의 중심이 일치하지 않을 경우 발생하는 이상으로서 1 차 회전주파수 성분이 뚜렷이 나타나며 정도가 심할 경우에는 2 차 회전주파수까지 나타난다. 축 정렬오류가 발생하였을 경우에는 축방향 진동의 크기가 반경방향 보다 크게 측정되고 회전 속도 증가에 대한 진동 크기가 거의 일정한 특성을 갖고 있다.

2.1.3 오일 휠(Oil Whirl)

오일 휠 현상은 저어널(journal) 베어링에서 오일 wedge 현상에 의해 축이 마찰되거나 미끄러짐에 의하여 발생되는데 1/2 차 회전주파수 보다 낮은 저주파 영역의 진동 크기가 증가하는 특성을 가지고 있다.

2.1.4 베어링(Bearing) 결함

베어링은 회전기기의 주요한 구성 요소로서 축의 지지와 원활한 회전을 유지시키는 역할을 수행한다. 베어링의 내륜이나 외륜, 볼 등에 결함이 발생하였을 경우에 악영향을 미치게 되므로 결함의 조기 발견에 의한 교체가 필요하다. 베어링 결함이 발생하는 경우 특정 결함 주파수가 나타나며 축의 밸런스에 영향을 끼쳐 1 차 회전 주파수를 중심으로 결합주파수가 좌우 대칭으로 나타나는 side band 를 형성하게 되고 충격 진동과 이상 음을 수반하는 경우가 많다.

2.1.5 기계적 느슨함

회전기에서 체결부에 결함이 발생하였을 경우나 불균형, 축 정렬오류 현상을 방치하였을 경우 결합력의 약화로 고주파의 진동 레벨이 전반적으로 급상승하게 된다. 체결부의 결합력이 약해지

면 충격 진동이 특히 심하게 나타나며 고차의 조화 주파수가 나타나며 이 현상이 장기화되면 전체 설비에 공진을 유발시킨다.

2.2 퍼지 추론 기법

퍼지 추론은 불확실성을 고려할 수 있는 방법으로써 인간의 주관율 0 에서 1 사이의 실수 값으로 정량화 시킨다. 특히 외부 상황이 동적으로 변화하여 가중치에 변동이 생기는 경우나 정확한 조건부 확률분포에 대한 정보가 부족한 경우에 유용하게 사용될 수 있다.

설비 진단의 경우 이상발생 메커니즘 혹은 진단 정보로부터 얻을 수 있는 데이터의 애매함이 문제될 수 있으며 이 애매함을 추론하기 위하여 본 연구에서 퍼지 추론 방식을 도입하여 진단 신뢰성을 향상시키고자 하였다. 본 연구에서는 진동 신호를 신호처리 기법에 의해 가공한 후 진단지표를 추출하고 이러한 진단지표에 의한 판단법으로 퍼지 추론 방식을 도입하였다.

퍼지 추론의 일반적인 룰의 형태는 "IF A and B, THEN C"와 같은 형태를 취하게 되는데 여기서 A, B, C 는 언어적 변수이다. 진단 방식에 있어 언어적 변수인 입력 A, B 와 출력 U 에 대한 연관행렬은 식 (1)과 같이 각 언어변수의 멤버십 함수를 이용하여 최대-최소 합성법칙으로 구하였다. 여기서, μ 는 멤버십 함수를 나타낸다.

$$\mu_R(x_1, x_2, u) = \max[\min\{\mu_A(x_1), \mu_B(x_2), \mu_U(u)\}] \quad (1)$$

또한, 출력 멤버십 함수로부터 작용변수의 가중치를 결정하기 위한 비퍼지화 (defuzzification)가 필요하며 본 연구에서는 식 (2)와 같은 무게 중심법을 이용하였다. 여기서, u^* 은 비퍼지화 된 대표값이다.

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^M [\mu_U(u) \cdot u]}{\sum_{i=1}^M \mu_U(u)} \quad (2)$$

3. 진단 전문가 시스템의 개발

3.1 진단 전문가 시스템 구성

본 연구에서 개발한 진단 전문가 시스템의 구성도는 Fig. 1 과 같다. 진단 시스템은 크게 하드웨어와 소프트웨어 부분으로 나누어진다. 하드웨어 부분은 물리적 신호를 전기적 신호로 바꾸는 입력 신호 부와 전기적 신호를 수치화 시키는 A/D Converter 그리고 수치화된 데이터를 임시로 보관하는 메모리로 이루어진다. 현재의 하드웨어의 구성은 1 채널을 사용하고 있지만 향후 다채널로의 확장이 가능할 수 있도록 기본 구조는 다채널용으로 구성하였다. 진단 알고리즘에서 사용되는 물리적인 신호는 진동 신호로 진동의 주파수 경향을 조사하여 적합한 주파수 측정 대역을 가지는 가속도계와 증폭기를 선택하였으며 향후 확대되는 입력 수를 고려하여 최대 16 채널의 A/D 변환기를 선택하였고 측정대상에 따라 진단 시스템의 채널 수를 변경할 수 있도록 구성하였다.

소프트웨어 부분은 하드웨어를 제어하는 부분과 측정 신호로부터 원하는 정보를 얻어내는 신호처리 부 그리고 처리된 신호를 판단하고 보관 관리하는 신호 판단 부로 구성된다. 설비 별로 측정된 진동 데이터는 시간영역의 RMS 값과 주파수 영역의 각종 진단지표로 변환되며 이들 정보는 퍼지 추론을 거쳐 현재 설비의 상태를 진단 결과로 출력한다. 또한 설비 별 RMS 변동 추이를 이용하여 경향 분석 결과도 함께 출력한다.

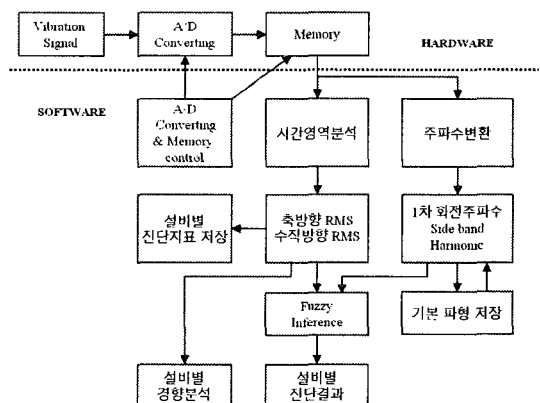


Fig. 1 Schematic diagram of developed system

본 연구에서는 가장 널리 보급되어 있는 Microsoft 사의 Windows 를 OS 로 하는 노트북 (Notebook) 컴퓨터를 이용하였으며 이 기반 위에

서 소프트웨어 제작 프로그램인 National Instrument사의 Lab-Windows/CVI 를 사용하여 소프트웨어를 구성하였다.

3.2 진단 알고리즘

본 연구에서는 설비 별로 측정된 진동 데이터를 신호처리 기법을 이용하여 유용한 정보로 변환한 후 진단에 사용되는 지표들을 추출하였다. 진단 지표로는 기존의 회전기기의 이상을 진단하는 방법인 진동신호의 RMS 값과 1 차 회전주파수의 크기를 기본 진단지표로 선정하였으며 Side-band, 고차 조화주파수 성분, 축 방향의 진동 레벨을 보조 진단지표로 활용하였다.

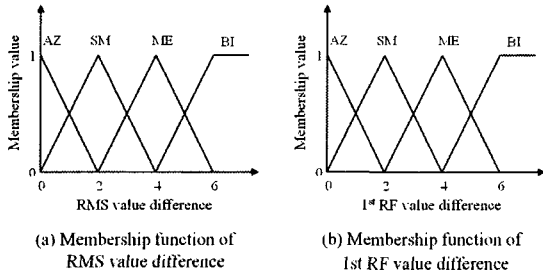


Fig. 2 Membership function of the diagnostic index

회전기기에 대해 정상적인 진동 RMS 값과 측정된 RMS 값에 대한 차이로 구성되는 멤버쉽 함수를 Fig. 2 (a) 에 나타내었다. 이 함수는 퍼지 추론을 위한 기본 정보로서 활용되며 RMS 값의 차이를 나타내는 x 축 값의 범위는 일반 진단에서 적용되는 값의 범위를 3 각형 모양으로 구성하여 인간 전문가의 감각적 판단 기준을 모델링 하였다. 또한 y 축 값은 0 에서 1 까지 정규화 시켰으며 여기서 4 개의 언어적 변수는 AZ (Approximately Zero), SM (Small), ME (Medium), BI (Big)를 각각 의미한다.

마찬가지로 Fig. 2 (b)는 회전기에서 측정된 1 차 회전주파수의 크기 차이에 대한 멤버쉽 함수를 나타내며 x 축 값의 범위나 언어적 변수는 RMS 차이에 의한 함수 표현과 동일하다.

또한, Fig. 3 은 진단 결과 출력에 대한 멤버쉽 함수를 각각 나타내고 있으며 x 축 및 y 축 값은 0 에서 1 까지 정규화 시켰고 여기서 언어적 변수는 NO (Normal), CA (Caution), FA (Fault), AL (Alarm)을 각각 의미한다.

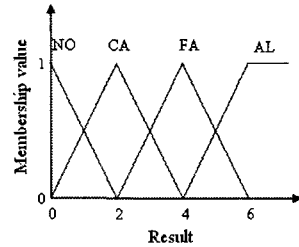


Fig. 3 Membership function of the output

기본 진단 지표들에 대한 멤버쉽 함수의 구성이 끝난 후 추론에 필요한 각종 룰을 구성하기 위하여 RMS 값의 차이와 1 차 회전주파수 크기의 차이를 이용하여 Table 1 과 같은 판단 테이블을 구축하였다.

Table 1 Table of judgment for RMS value difference & 1st RF value difference

1st RF \ RMS	AZ	SM	ME	BI
AZ	NO	CA	FA	AL
SM	CA	CA	FA	AL
ME	FA	FA	AL	AL
BI	AL	AL	AL	AL

Table 1로부터 회전기기의 진단에 사용될 16 개의 룰이 다음과 같이 추출된다.

IF RMS is AZ and 1st RF is AZ THEN output is NO
 IF RMS is AZ and 1st RF is SM THEN output is CA
 ⋮
 IF RMS is BI and 1st RF is BI THEN output is AL

Table 2 Table of judgment for RMS value difference & the number of index

RMS \ Index	0	1	2	3
AZ	NO	NO	CA	FA
SM	CA	CA	FA	AL
ME	FA	FA	AL	AL
BI	AL	AL	AL	AL

한편 Table 2 는 RMS 값의 차이와 보조 진단지

표의 검출 개수를 이용하여 구성된 판단 테이블로써 Table 1 에서와 마찬가지로 16 개의 룰을 추출할 수 있으며 각 판단 테이블에 의한 추론 결과는 통합되어 종합된다

3.3 하드웨어 및 소프트웨어 구성

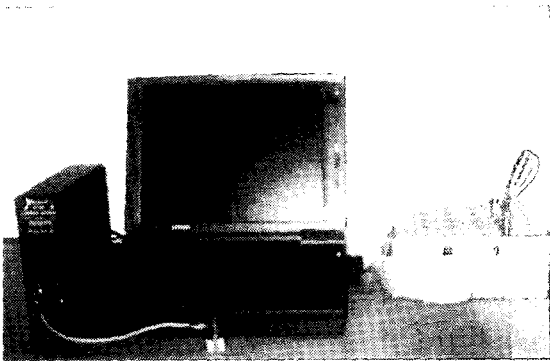


Fig. 4 Hardware of the diagnostic expert system

본 연구에서 개발된 진단 전문가시스템의 하드웨어를 Photo 1 에 나타내었다.

진단시스템의 prototype 을 위한 기본 센서로 전압형(voltage type) 진동 가속도계와 이에 따른 전원공급장치 및 증폭기를 사용하였으며 증폭된 진동 신호가 A/D 변환기로 입력되기 위하여 신호 연결 블록(connector block)을 통과한다. A/D 변환기는 일반적으로 측정센서 중에서 가장 빠른 센서인 마이크로폰을 사용할 경우를 고려하여 음향주파수인 20kHz 를 2 채널이상 측정할 수 있어야 하며 진동을 측정할 경우 1kHz 로 3 채널 이상을 측정할 수 있어야 한다. 따라서 A/D 변환기의 성능은 단일 채널 사용시 250kHz 입력 속도와 16 채널의 입력 수를 처리 할 수 있는 노트북(notebook) 컴퓨터에 적합한 PCMCIA type A/D 변환기를 사용하였다. A/D 변환기를 제어하는 소프트웨어인 driver file 은 2 중 버퍼(buffer)를 사용하여 컴퓨터 상에서 진단을 위한 다른 작업을 수행하더라도 데이터 수집에는 영향을 주지 않도록 구성하였다.

한편, 진단 소프트웨어는 가속도계로부터 입력된 정보를 신호처리기법을 거쳐 가공한 후 퍼지추론 방식을 통하여 진단 결과를 산출하게 된다. 개발된 진단 소프트웨어는 프로그램 별로 각각 모듈화하여 개발하였으므로 불필요한 과정의 삭제나

향후 새로운 기능의 첨가 및 업그레이드 등의 작업이 용이하며 진동 분야에 특별한 지식이 없는 현장 근무자도 손쉽게 시스템을 운용할 수 있고, 진단 결과의 산출에 있어 퍼지 추론방식을 적용함으로써 진단 신뢰도를 향상시키고 진동 전문가의 기능을 모방할 수 있는 기능을 갖추고 있다는 특징이 있다. Fig. 4 에 진단 전문가 시스템의 소프트웨어의 개요를 나타내었고 Fig. 5 와 Fig. 6 에 개발된 진단 소프트웨어를 나타내었다.

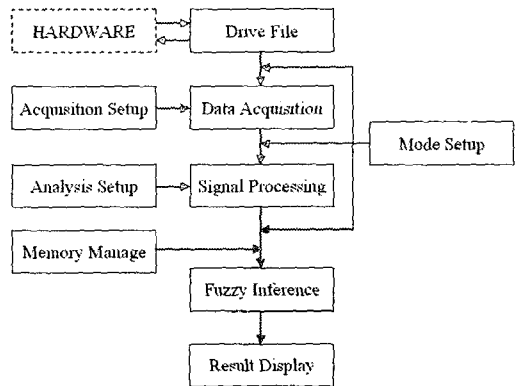


Fig. 5 Schematic diagram of the software of the diagnostic expert system

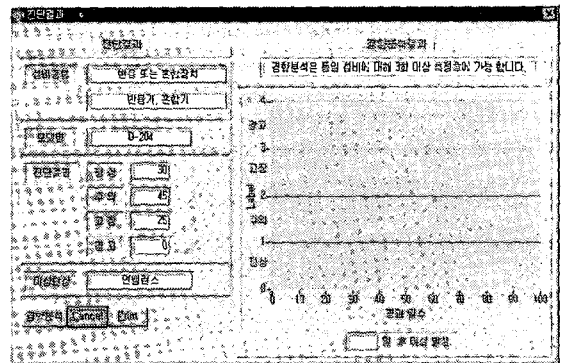


Fig. 6 Diagnostic result panel

4. 진단 시뮬레이션

개발된 진단 전문가 시스템의 진단 알고리즘에 대한 신뢰성을 검증하기 위해서 본 연구에서는 대표적인 회전기기인 펌프에 대하여 진동 신호를 측정하고 이를 정상 상태에서의 신호로 가정하였

으며 2 장에서 언급한 5 가지의 이상발생시에 측정될 수 있는 진동신호를 가정하여 진단 시뮬레이션을 수행하였다.

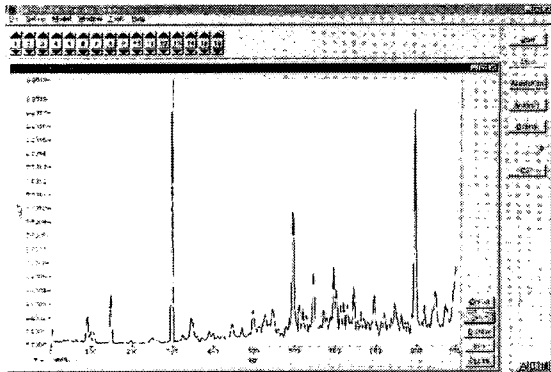
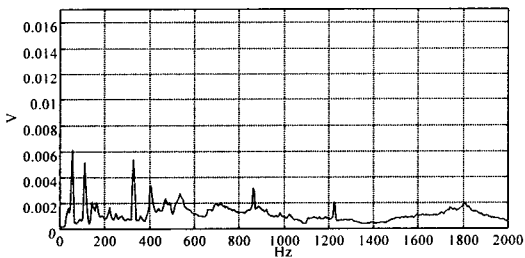


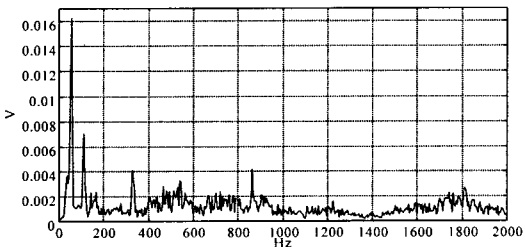
Fig. 7 Monitoring panel

4.1 불균형에 대한 모의 진단

불균형에 대한 진단을 위해 펌프에서 측정된 가속도 신호를 Fig. 7 에 나타내었다



(a) Normal Pump



(b) Pump with unbalance

Fig. 8 Change of vibration signal by the unbalance

Fig. 7(a)는 이상이 없는 정상적인 펌프의 가속도 신호를 나타내고 Fig. 7(b)는 불균형 현상이 발생하였을 경우 가속도 신호의 변화를 나타낸 것이다.

Fig. 7(b)는 정상적인 신호에 대하여 1 차 회전 주파수인 60Hz 의 가속도 크기를 2.6 배 증가시키고 랜덤 노이즈를 더하여 RMS 값을 1.2 배 증가시킨 것이다. Fig. 7(b)의 가속도 신호가 측정되었을 때 개발된 진단 전문가 시스템의 진단 결과를 Fig. 8 에 나타내었다.

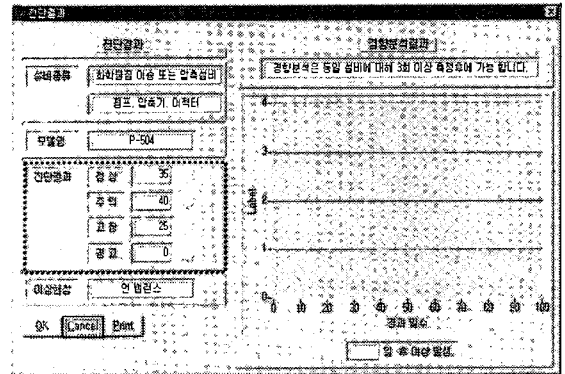
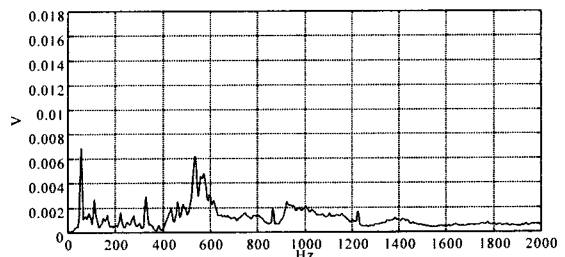


Fig. 9 Diagnostic result for the unbalance

RMS 값의 변화에 대해서 진단을 수행하는 기존의 진단방식에 대해서 RMS 값이 1.2 배 증가되었기 때문에 현장에서 정상적인 상태에서의 주파수 파형과 현재 측정된 주파수 파형을 계속 모니터링 하고 있지 않다면 진단결과를 “이상 없음”으로 밖에 판단할 수 없다. 하지만 개발된 진단 시스템의 진단 결과는 RMS 값의 변화와 1 차 회전 주파수의 크기 및 여러 진단 지표를 통하여 현재 펌프에 “불균형”현상이 발생되고 있으며 “주의”상태임을 판단할 수 있었다.

4.2 축 정렬오류에 대한 모의 진단



(a) Normal Pump

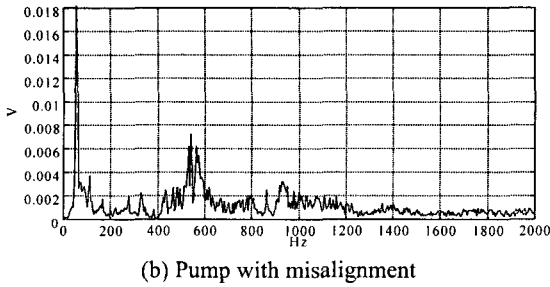


Fig. 10 Change of vibration signal by misalignment

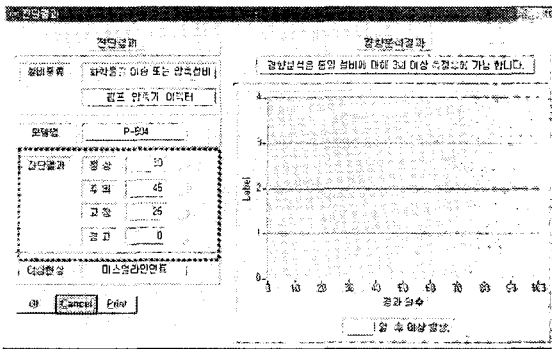


Fig. 11 Diagnostic result for Misalignment

축 정렬 오류 현상을 나타내기 위하여 정상적인 펌프의 가속도 신호에서 축방향 진동의 1 차 회전주파수인 58Hz 의 크기를 3 배로 증가시키고 랜덤 노이즈를 더하여 RMS 값이 1.2 배가 되도록 하였으며 수직방향 진동의 RMS 값보다 2 배 이상 크도록 정상적인 가속도 신호를 조정하였고 이를 Fig. 9에 나타내었다.

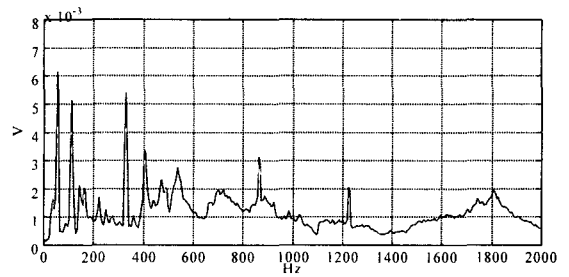
일반적으로 현장에서 RMS 값의 변화에 대하여 결과를 판단하기 때문에 위와 같이 축방향 진동의 RMS 값이 1.2 배로 증가하는 경우 이상이 발생했다고 판단하지 않는다. 하지만 Fig. 9(b)의 신호에 대하여 개발된 진단 시스템은 펌프에 “축 정렬 오류” 현상이 발생하고 있으며 “주의”상태에 있음을 판단하고 있다.

4.3 베어링 결함에 대한 모의 진단

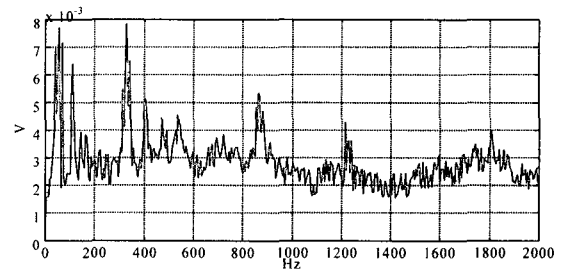
베어링 결함을 진단하기 위하여 정상적인 펌프의 가속도 신호와 베어링 결함을 나타내도록 정상신호에 수정을 가한 가속도 신호를 Fig. 11에 나타내었다. 베어링 결함이 발생한 가속도 신호를 나타내기 위하여 펌프의 수직방향 진동의 1 차 회

전주파수 및 조화주파수 성분에 사이드밴드 (sideband)가 나타나도록 하였고 랜덤 노이즈를 더하여 RMS 값이 2.2 배가 되도록 수정하였다.

일반적인 진단결과로는 RMS 값이 2.2 배 증가하였기 때문에 이상이 발생했다는 것을 확인할 수 있지만 진동 신호를 주파수 분석을 하지 않는 이상 “베어링 결함”이라는 것을 확인할 수 없다. 하지만 개발된 진단 시스템은 현재 펌프에서 “베어링 결함”이 발생되고 있고 “주의”상태로 진단하였음을 Fig. 12에서 확인할 수 있다.



(a) Normal Pump



(b) Pump with the bearing fault

Fig. 12 Change of vibration signal by the bearing fault

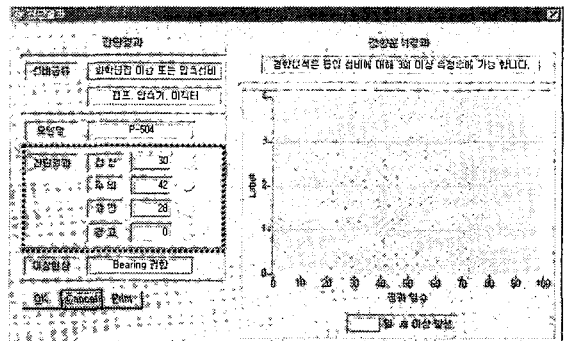


Fig. 13 Diagnostic result for the bearing fault

4.4 오일 휠에 대한 모의 진단

오일 휠 현상은 저주파수 대역에서 특징을 나타내기 때문에 관심주파수를 200Hz 로 하여 가속도 신호를 계측하였다. Fig. 13 에서 정상 상태에서의 가속도 신호와 오일 휠 현상이 발생한 경우에 대한 가속도 신호를 나타내었다.

오일 휠 현상에 대한 가속도 신호를 나타내기 위하여 1 차 회전 주파수인 58Hz 의 절반인 29Hz 에서 피크(peak)를 더하여 1 차 회전주파수의 1/2 되는 대역까지의 진동 크기가 3 배 증가하도록 하였고 랜덤 노이즈를 더하여 전체적인 RMS 값이 2.2 배가 되도록 하였다.

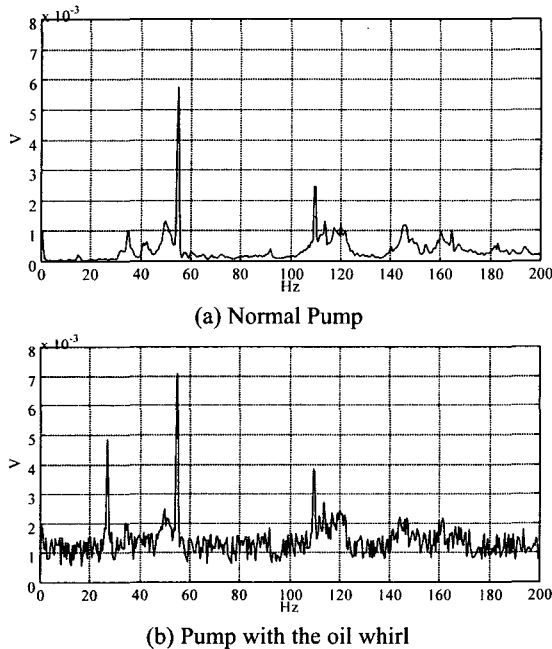


Fig. 14 Change of vibration signal by the oil whirl

일반적인 RMS 값의 변화에 대한 진단 방식으로 Fig. 13(b)의 신호에 대하여 RMS 값이 2.2 배 증가 되었기 때문에 이상 현상이 나타나고 있음을 판단할 수 있지만 “오일 휠” 현상이 발생 했음을 판단하기 위해서 주파수 분석을 수행하거나 지속적인 모니터링이 필요하다.

하지만 개발된 진단 시스템의 결과를 통하여 “오일 휠” 현상이 발생 했음을 알 수 있고 “주의” 상태에 있음을 Fig. 14로부터 확인 할 수 있다.

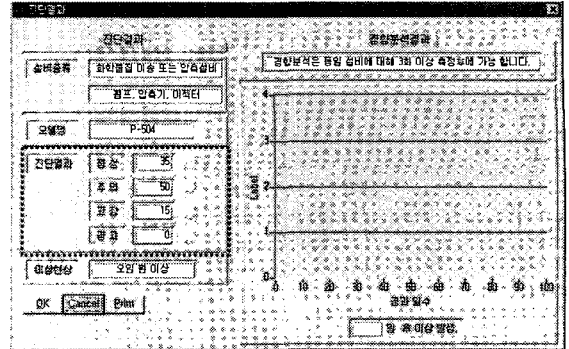


Fig. 15 Diagnostic result for the oil whirl

4.5 기계적 느슨함에 대한 모의 진단

기계적 느슨함이 발생하는 경우에 대한 가속도 신호를 만들기 위하여 정상적인 가속도 신호에 조화주파수 성분을 더하고 RMS 값을 3 배 증가시킨 가속도 신호를 Fig. 15 에 나타내었다.

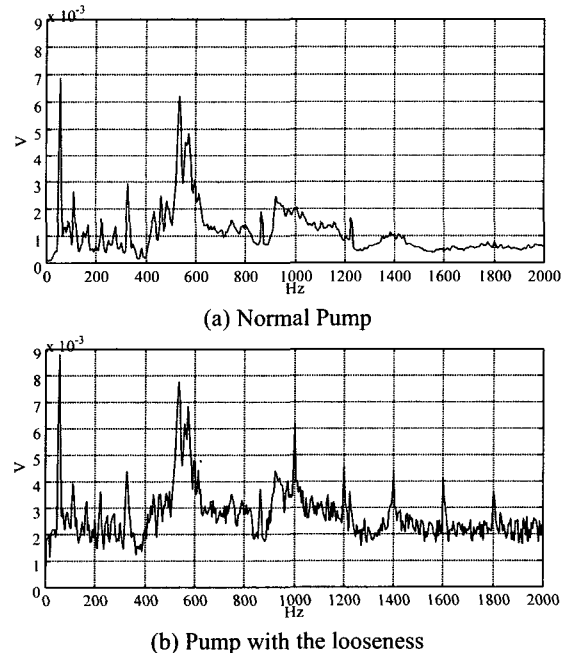


Fig. 16 Change of vibration signal by the looseness

RMS 값의 변화에 대한 진단 방식으로도 RMS 값이 3 배 증가 하였기 때문에 이상이 발생했음을 확인할 수 있지만 원인 파악을 위해서는 더 정확한 분석이 필요하다. 하지만 Fig. 16 의 개발된 진

단 시스템의 결과는 “느슨한 체결” 현상이 발생하였고 “주의”상태에 있음을 판단하였다.

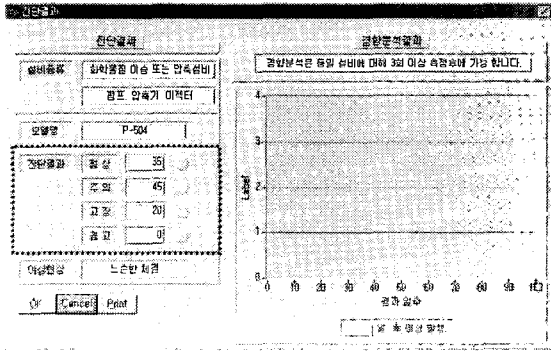


Fig. 17 Diagnostic result for the looseness

5. 결론

본 연구에서는 회전기기의 진단 전문가 시스템의 개발을 목적으로 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어를 구축하고 대표적 회전기인 펌프에서 측정된 가속도 신호와 이를 이상현상이 나타난 것처럼 변형시킨 가속도 신호를 개발된 진단 전문가 시스템에 대하여 모의 진단을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 진동 데이터 수집을 위한 장치와 컴퓨터와의 인터페이스 기능을 수행할 수 있는 진단 모니터링 시스템을 구축하였고 퍼지 추론 방식을 이용한 전문가 시스템을 개발하였다.
2. 개발된 진단 전문가 시스템을 이용하여 회전기에서 주로 발생하는 5 가지 이상현상에 대한 모의 진단을 수행한 결과 기존의 RMS 값의 변화로만 진단을 수행하는 경우보다 더 정밀하게 진단 결과를 도출할 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 논문은 재단 법인 산학 협동 재단의 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Collacott, R. A., "Vibration Monitoring and Diagnosis," John Wiley & Sons, pp.258-329, 1979.

2. Collacott, R. A., "Mechanical Fault Diagnosis," Chapman and Hall, pp.100-132, 1977.

3. Shin, J., Lee, J.C., Oh, J.E., Jang, K.Y., "Diagnosis of Bearing by High Frequency Resonance Technique," KSAE, Vol. 14, No. 5, pp.112-117, 1992.

4. Shin, J. and Oh, J.E., "Automobile diagnosis by Neuro-Fuzzy Technique," KSME, Vol. 16, No. 10, pp.1833-1840, 1992.

5. Stearns, Samuel D., "Signal Processing Algorithm," Prentice-Hall, pp.21-96, 1988.

6. Kaufmann, Arnold, "Introduction to fuzzy arithmetic," Van Nostrand Reinhold Com., pp.9-34, 1985.

7. Negoita, C. V., "Expert systems and Fuzzy systems," Benjamin/ Cummings Pub., pp.117-136, 1985.

8. Zimmermann, H. J., "Fuzzy sets, Decision Making, and Expert systems," Kluwer Academic Pub., pp.23-87, 1986.

9. Bachaman, Bruce G., "Rule-based Expert System," Addison-Wesley, pp.57-94, 1985.