

# 고압전동기용 진동 감시 시스템을 위한 특징 파라미터 추출기법 개발

이달호\*, 박정철\*\*

## Development of the Extracting Technique of the Character Parameter for the Vibration Monitoring System in High Voltage Motor

Dal-Ho Lee\*, Jung-Cheul Park\*\*

**요약** 본 논문에서는 회전체의 특징 파라미터들을 추출하기 위한 센서의 신호들을 수집하는 방법을 연구하고자 한다. 이를 위해, 모형 시험을 수행하기 위한 진동 테스트 리그를 개발하여 정상적으로 운전하에서의 신호특성을 분석하였다. 다른 진동 요소들로부터 주기적인 충격에 의해 발생하는 진동 성분을 추출하기 위하여 포락 신호처리(Envelope FFT Analysis) 기법을 사용하였다. 회전속도에 따른 신호분석과 더불어 회전체의 저주파수 특성을 잘 나타내는 속도센서 및 진동 테스트 리그의 부하변화에 따른 신호를 분석하였다. 그 결과, 베어링 하우징에서 측정되는 가속도 신호는 진폭이 작으며 조화 성분과 모터의 회전주파수 성분만이 발생함을 확인하였다. 즉, 회전수가 높아짐에 따라 가속도의 진폭이 높아짐을 확인할 수 있었다. 회전속도가 증가하면 원 데이터의 형상의 차이가 있는 것을 확인할 수 있었고, 가속도 FFT 그래프와 비교하였을 경우 저 주파수에서 노이즈에 강하며 해당 회전 주파수 성분을 뚜렷하게 나타내었다. 또한 부하를 변화시켜도 주요 회전 주파수 성분이 증가하지 않음을 알 수 있었다.

**Abstract** This paper aimed at collecting sensor signals to extract characteristic parameter of the rotor. A vibration test rig has been developed to perform model tests. Signal characteristics were analyzed when driving normally. Envelope FFT Analysis is used to extract vibration components caused by periodic impacts from other vibration factors. Signal analysis was performed when load changes were given to speed sensors and vibration test rigs that show low frequency characteristics of the rotor and signal analysis according to rotational speed. The acceleration signal measured in the bearing housing has a small amplitude and produces only the rotational frequency component and harmonic component of the motor. As the number of rotations increases, the amplitude of acceleration can be seen. As the rotational speed increases, it can be seen that there is a difference in the shape of the original data and compared with the acceleration FFT graph, it can be seen that the noise is strong at low frequencies and the corresponding rotational frequency components are clearly represented. It can be seen that changing the load does not increase the main rotational frequency component.

**Key Words** : Envelope FFT Analysis, Rotor vibration, Rotational frequency component, Sensor, Vibration component

### 1. 서론

일반적으로 고압전동기는 소음, 진동, 절연열화 등과 같은 장애가 발생할 수 있다. 그러므로

전동기의 결함상태를 정확하게 판단하여 사전예방을 수행하는 유지관리가 매우 중요하다. 고압전동기의 진동 분석은 운전 중 주요 이상 징후를 진단할 수 있는 기반시스템으로서 발전설비의 대

\* Department of Electronic Engineering, Gachon University

\*\* Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Gachon University (jcpark@gachon.ac.kr)

Received May 29, 2019

Revised June 19, 2019

Accepted July 01, 2019

형화 및 경년 노후화에 대한 설비 성능 및 신뢰도 운전을 위한 필수적 요소 기술 중 하나이다 [1,2,3,4]. 국내 상태감시 및 진단기술은 오래 전부터 꾸준히 발전되어 왔으며, 최근 발전설비의 고효율 대응량화에 따른 정밀 설계기술 및 엄격한 운전조건이 필요하게 되었다. 그에 상응하는 국내 기술은 아직 체계적으로 확립되지 않은 상태이다.

국내 발전소의 고압 전동기 진동감시설비는 거의 모두다 외산 제품이 사용되고 있으며, 주로 GE Bently Nevada, VIBRO-Meter사 등의 제품이다. 해외 제품을 사용함으로써 인건비의 고가, 구입비용 및 유지보수 비용, 정비 시간 지연 등 운영상에 애로사항이 발생하고 있으며, 또한 많은 기술사용료를 지불하고 있는 실정이다.

국내 발전소의 진동감시설비는 주로 터빈과 발전기의 진동을 변위센서 중심으로 감시하는 시스템과 전동기 및 펌프 등의 진동을 가속도센서 중심으로 감시하는 시스템으로 구분할 수 있다. 하지만 진동과 변위로만으로는 대상 설비의 상태를 판단하기에는 한계가 있다.

따라서 본 논문에서는 고압 전동기에서 발생하는 진동을 감시 및 분석하여 이상 유무를 파악할 수 있는 전용 진동감시 시스템을 연구하여 이의 국산화에 기여하고자 한다. 또한 고장 원인을 분석하고, 수명 시기를 예측하는 기능을 추가하여 시스템을 보다 효율적으로 운영하는 방안을 제시하고자 한다[5,6,7]. 진동 감시뿐만 아니라, 고압 전동기의 온도, 전류감시 및 분석을 통해 전동기의 결함을 온도, 전기적, 기계적으로 세분화하여 분석 진단한다. 또한 본 논문에서는 다양한 결함을 발생시켜 개발 데이터 수집 장치를 검증하고 고압 전동기의 진동 특성을 나타낼 수 있는 상태 진단 알고리즘을 개발하기에 필수적인 환경요소를 고려한다. 진동 테스트 리그 시험을 통해서 가속도, 속도, 변위, 온도, 전류 특성 등을 측정하여 데이터베이스화하고 이를 분석하여 최적화

된 알고리즘을 개발하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 진동 테스트 리그 제작

회전체의 각종 결함 유형에 대한 지능형 결함 진단에 회전체 진단 알고리즘이 사용된다. 이때, 기기 상태 변화의 정보를 제공하는 상태진단 알고리즘에서 연산된 특정 파라미터들이 필요한데, 이 파라미터들을 추출하기 위해서 결함 유형별 특징이 반영된 센서 신호들을 수집하여야 한다. 신호수집의 모사 시험을 수행하기 위한 진동 테스트 리그를 개발하여, 결함 유형별 모사 시편을 제작하고 시험을 수행하였다. 결함 유형에 따른 신호 특성을 분석하기 위하여 시간영역 분석, 주파수 영역 분석 등을 수행하였고, 분석 결과로부터 상태 진단 알고리즘에 적용할 특징 파라미터를 선정하였다. 테스트 리그는 회전기계 설비의 다양한 결함을 구현할 수 있도록 제작하였다. 진동 테스트 리그는 모터, RPM 센서, 불평형 로터, 결함 베어링, 기어박스, 부하 조절장치, Powder Brake, 다이얼 게이지, 모터 등으로 구성되어 있으며, 센서 신호를 얻기 위하여 가속도 센서, 변위 센서, 온도 센서, 속도 센서, Tachometer, Microphone을 진동 테스트 리그에 장착하였다. 그림 1에 결함 시편 및 센서의 위치를 나타냈다. 본 논문에서 구현하고자 하는 상태진단 알고리즘은 다양한 센서의 신호로부터 회전체의 결함에 가장 효율적인 특징 파라미터를 추출하는 것이 목적이므로, 시험에 다양한 센서 사용, 다양한 환경 조건, 시험 케이스를 두어 수행하고 분석을 실시하였다.

### 2.2 센서 신호처리 모듈제작

그림 2에 신호처리 모듈 구성도를 나타내었다.

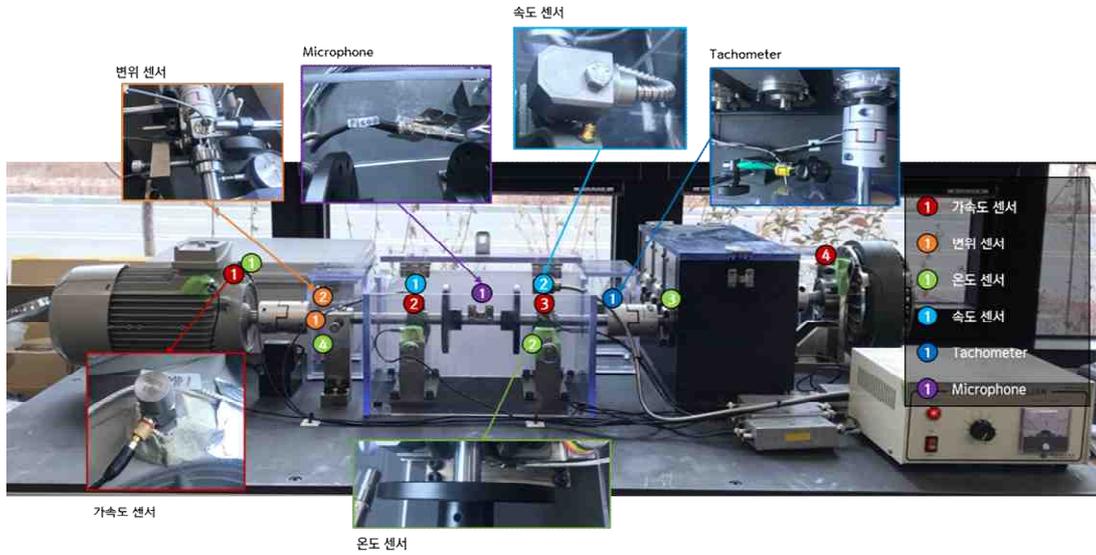


그림 1. 진동 테스트 리그 구성과 센서위치  
 Fig. 1. Configuration of vibration test rig and sensor position

신호처리 모듈에 사용되는 DSP는 TI의 KeyStone 멀티 코어 구조를 기반으로 하는 고성능 fixed 및 floating point DSP이다. TI C6657 DSP 코어를 통합한 이 모듈은 1.25GHz 코어 속도로 동작을 한다. TI의 키스톤 아키텍처는 다양한 서브 시스템 (C6657 코어, 메모리 서브 시스템, 주변 장치 및 가속기)을 통합하는 프로그래밍 가능 플랫폼을 제공하며, Signal Process 모듈을 효율적이고 원활하게 운영 할 수 있도록 하는 장치와 통신을 극대화하기 위한 구성 요소 및 기술을 사용한다. 이 구조의 핵심은 다양한 장치 구성 요소 간의 효율적인 데이터 관리를 가능하게 하는 멀티 코어 네비게이터와 같은 핵심 구성 요소이다.

DTeraNet은 빠르고 논쟁이 없는 내부 데이터 이동을 가능하게 하는 논블로킹 스위치 패브릭을 사용하며, 멀티 코어 공유 메모리 컨트롤러를 사용하여 스위치 패브릭 용량을 사용하지 않고도 공유 및 외부 메모리에 직접 액세스 할 수 있도록 제작되었으며, C6657 코어는 부동 소수점 기능을 통합하고 코어 당 원시 계산 성능은 코어 당 40 GMACS 및 코어 당 20 GFLOPS (@ 1.25 GHz 작동 주파수)이다. C6657 코어는 사이클 당 8 개의 단 정밀도 부

동 소수점 MAC 연산을 실행할 수 있으며 이중 및 혼합 정밀도 연산을 수행 할 수 있으며 IEEE 754를 준수하도록 제작하였다.

### 2.3 센서 신호 처리

일반적으로 기계의 상태 변화를 알기 위해서는 가속도, 음향 방출, 변위, 전압, 전류등과 같은 다양한 센서를 사용한다. 이들 센서는 대상 기계로 부터 시계열 데이터를 측정하며, 기계의 각종 상태에 대해서 많은 정보를 가지고 있다. 그러나 측정된 신호에는 변화를 감지할 수 있는 유용한 신호 성분들뿐만 아니라 잡음과 같이 불필요한 신호 성분들이 섞여 있기 때문에 별도의 신호 처리 가 필요하다. 또한 신호의 원 성분을 이용하여 결함 진단에 필요한 다양한 특징 파라미터들을 직접 추출할 수도 있지만 매우 제한적이다. 그러므로 여러가지 정보들을 얻기 위해서는 각종 신호처리 기 방법들이 필요하다.

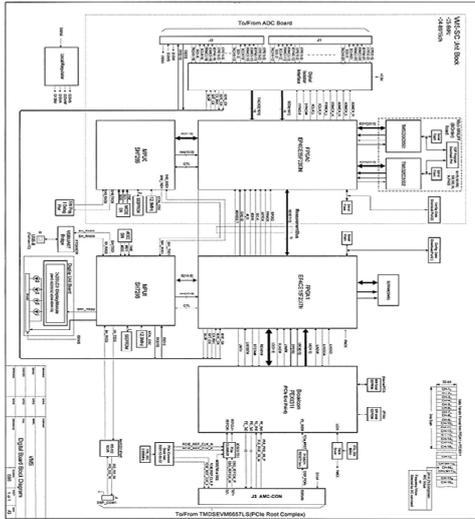


그림 2. 신호처리 회로도  
Fig. 2. Circuit Signal Processing module

회전기를 진단할 때 주파수 스펙트럼 분석은 주파수영역에서의 분석에서 현재 가장 널리 사용되는 기법이 푸리에변환을 적용한다[6]. 푸리에변환은 비주기적, 주기적인 신호의 주파수 특성을 구하기 위해 적용되며, 주기적인 신호에는 푸리에 급수를 사용한다. 일반적으로 컴퓨터에서 처리하는 신호는 일정 시간 간격으로 샘플링하여 수집한 이산데이터이므로 이산푸리에변환을 사용하여 주파수 특성을 구한다. 여기서  $x(n)$ 과  $N$ 은 이산데이터 값과 한 주기 당 데이터 개수를 나타낸다.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j\Omega n} \quad (1)$$

$$\Omega = \frac{2\pi k}{N} \quad (2)$$

포락 신호처리는 다른 진동 요소들로부터 주기적인 충격에 의해 발생하는 진동 성분을 추출하기 위해 사용된다[9]. 특히, 주기적으로 반복하여 나타나는 충격 신호(impact signal)를 생성하는 구름요소 베어링의 국부적인 결함을 검출할 때 매우 유용한 신호처리 기법이다. 초기에는 정류기를 가진 아날

로그 형 대역통과 필터에 적용하였으나 이후에는 푸리에변환 결과인 실수와 허수 사이의 관계를 나타낸 힐버트 변환(hilbert transform)을 사용한 시계열 신호의 포락 처리 방법으로 측정하였다. 포락 신호 처리를 위해 연속적인 신호  $x(t)$ 와 힐버트 변환쌍  $\bar{x}(t)$ 는 다음의 식과 같이 정의된다.

$$Hx(t) = \bar{x}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t-\tau} d\tau \quad (3)$$

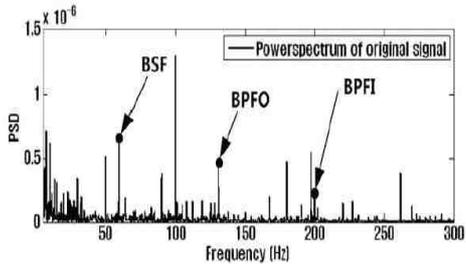
위와 같은 변환을 통해 입력신호와 동일한 진폭을 갖고 직교하는 신호  $x(t)$ 를 구한 후원 신호를 실수 부분으로 하고 직교 신호를 허수 부분으로 하는 복소 함수에 대한 해석 신호는 다음 식 (4)와 같다.

$$Z(t) = x(t) + j\bar{x}(t) = A(t)e^{i\theta(t)} \quad (4)$$

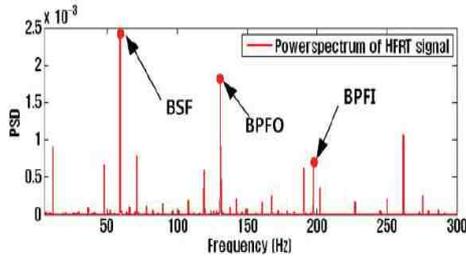
이로부터 포락  $A(t) = \sqrt{x^2(t) + \bar{x}^2(t)}$ 와 신호의 순간 위상  $\theta(t) = \tan^{-1}[\bar{x}(t)/x(t)]$ 를 구할 수 있다.

그림 3 (a)는 측정 가속도 신호에 대해서 힐버트 변환 없이 원 신호에 대해서 스펙트럼 분석을 수행한 결과이며 그림 3 (b)는 힐버트 변환 신호에 대해서 스펙트럼 분석을 수행한 결과이다. 결론적으로 베어링 결함 유형별 특성 주파수 성분(BSF : ball spin frequency, BPFO : ball pass frequency of outer race, BPFI : ball pass frequency of inner race)들이 모두 나타나긴 하지만 힐버트 변환 처리된 신호가 다른 주파수 성분들에 비해서 좀 더 큰 진폭을 가지고 명확하게 관찰되고 있음을 보여준다.

그림 3에서 BSF는 주파수 변조된 베어링 볼 결합 주파수의 에너지값이고 BPFO는 주파수 변조된 베어링 외륜 결합 주파수의 에너지값이며 BPFI는 주파수 변조된 베어링 내륜 결합 주파수의 에너지값을 의미한다.



(a) FFT Analysis



(b) Envelope FFT Analysis

그림 3. FFT 해석과 포락신호처리  
Fig. 3. Spectrum analysis of FFT Analysis and enveloped signal

### 3. 결과분석

결합 유형별 모사 실험 이전에 실험 장치와 데이터 수집 장치 상태를 파악하기 위해서 정상 상태 실험을 수행하였다. 실험 장치에서는 축 정렬 상태와 부품 결합상태 그리고 정상 기능 동작상태 등을 확인하였다. 데이터 수집 장치에서는 센서 측정 상태와 신호 수집상태 및 기기 제어상태 등을 각각 확인하였다. 실험 장치가 정상 상태인 경우에는 회전축이 베어링에 가하는 부하량이 크지 않기 때문에 베어링 하우징에서 측정되는 가속도 신호는 진폭이 작고 모터의 회전주파수 성분과 조화 성분만이 발생한다. 그림 4~6은 회전 속도에 따라서 시험 베어링 하우징 측면에 부착된 단축 가속도 센서(채널 3)의 측정 신호를 나타낸 것으로, 그림 4에서는 각 회전 주파수에 대한 원 데이터 그래프를 보이고 있으며, 회전수가 높아짐에 따라 가속도 진폭이 높아짐을 확인할 수 있다. 이는 회전수에 따라 가속도 센서에서 수집되는 진동 데이터 값이 커짐을 의미하고 즉 테스트

리그가 부하를 더 받음을 나타낸다.

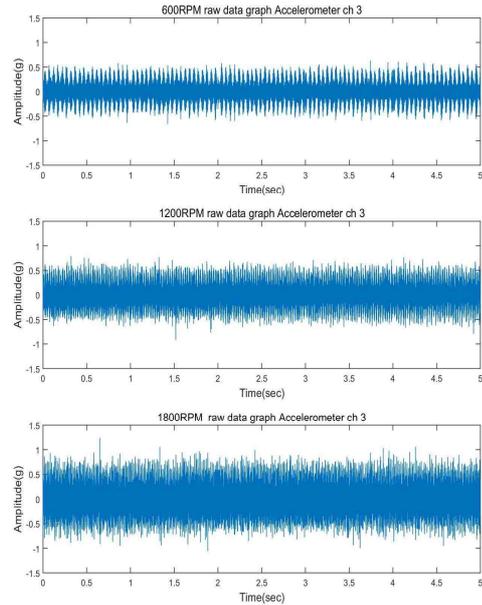


그림 4. 회전수에 따른 가속도 센서 원 데이터  
Fig. 4. Acceleration sensor Raw data with different RPM

그림 5의 스펙트럼 분석 결과를 살펴보면, 회전 속도가 600rpm인 경우 그 해당 회전주파수 성분인 10, 20, 30Hz의 회전 주파수 성분이 발생하고 있음을 확인할 수 있지만 그 크기가 작게 나타남을 보이고 있다. 1200rpm인 경우 그 해당 주파수인 20Hz에서 1X 성분이 발생하고 조화 성분들(40Hz, 60Hz,...)도 발생함을 확인할 수 있다. 또한 1800rpm인 경우 해당 1X 및 조화성분인 30, 60, 90Hz의 회전 주파수 성분이 나타남을 확인할 수 있었다. 회전속도가 높아짐에 따라 회전 주파수 및 조화성분 주파수가 뚜렷하게 나타나는 현상을 보이고 있다.

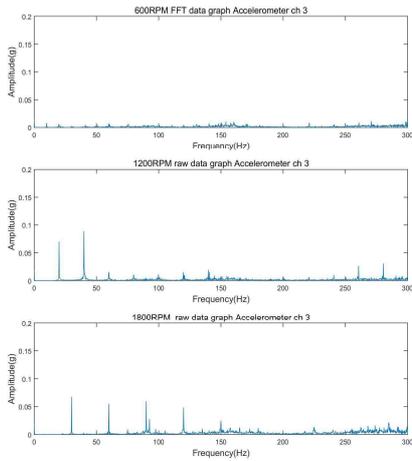


그림 5. 회전수에 따른 가속도 센서 FFT Data  
Fig. 5. Acceleration sensor FFT data with different RPM

그림 6에서는 가속도 센서 채널 3번(시험 베어링 하우징 측면에 부착)의 포락선 분석 그래프를 나타내고 있다. 이 그래프에서 보면 각 회전 주파수의 2X 성분이 크게 나타남을 확인할 수 있다.

회전체 분석에서 가속도 센서를 이용하여 기기 결합 분석에 사용하기도 하지만 주로 회전체의 저주파수 특성을 잘 나타내는 속도 센서를 이용하여 결합 진단에 사용하고 있다.

그림 7에서는 속도 센서 채널 2번(시험 베어링 하우징 측면에 부착)의 원 데이터 그래프를 나타내고 그림 8에서는 푸리에 변환된 FFT 그래프를 나타내고 있다. 그림 7에서 나타낸 바와 같이 회전속도가 증가함에 따라 원 데이터의 형상의 차이가 있음을 확인할 수 있다. 그림 8에서와 같이 가속도 FFT 그래프와 비교하였을 경우 저 주파수에서 노이즈에 강하며 해당 회전 주파수 성분을 뚜렷하게 나타냄을 확인할 수 있다. 스펙트럼 분석 결과를 살펴보면, 회전 속도가 600rpm인 경우 그 해당 회전주파수 성분인 10, 20Hz의 회전 주파수 성분이 발생하고 있음을 확인할 수 있지만 그 크기가 작게 나타남을 보이고 있다. 1200rpm인 경우 그 해당 주파수인 20Hz에서 1X,

2X 성분이 발생함을 확인할 수 있다.

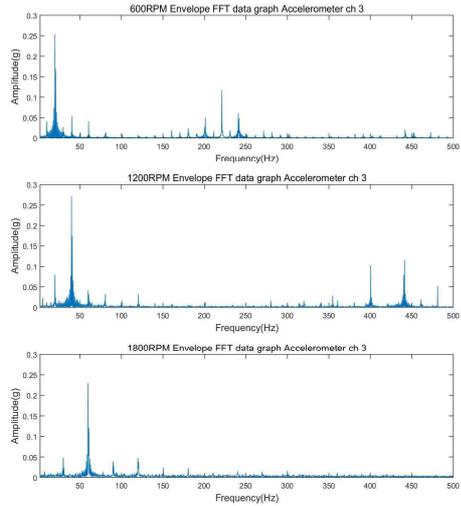


그림 6. 각 회전수에 따른 가속도 센서 Envelope FFT Data 그래프  
Fig. 6. Acceleration sensor envelope FFT data with different RPM

또한 1800rpm인 경우 해당 1X 및 조화성분인 30, 60, 90, 120, 150Hz의 회전 주파수 성분 및 조화성분이 많이 나타남을 확인할 수 있었다. 회전속도가 높아짐에 따라 회전 주파수 및 조화성분 주파수가 뚜렷하게 나타나는 현상을 보이고 있다.

그림 9는 X, Y방향으로 설치된 두 변위 센서를 이용하여 XY 그래프를 그렸으며, 샤프트의 회전 반경을 나타내고 있다. 두 변위 센서의 Raw 그래프를 보면, 회전속도가 증가함에 따라 회전성분의 신호가 크게 나타나고 있음을 쉽게 확인할 수 있다. 변위 센서는 노이즈를 제외하면 회전속도 하모닉 성분인 1X 성분에만 반응하는 것으로 분석된다. 제작된 진동 테스트 리그에는 파우더 브레이크를 통해서 부하를 줄 수 있도록 설계되어 있다. 일반적으로 고압전 동기의 경우 물을 끌어 올리거나 공기를 이용하여 압축 운동을 수행하기 때문에 기기에 부하가 걸리게 된다.

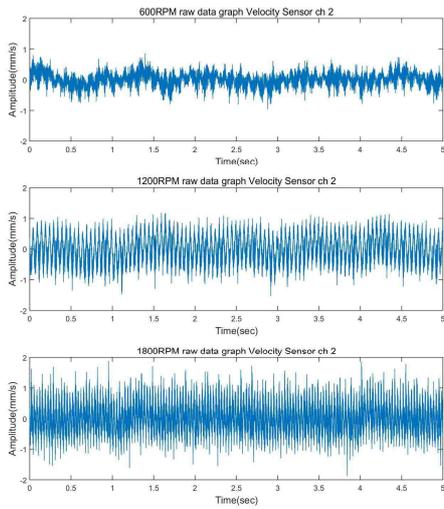


그림 7. 회전수에 따른 속도 센서 Raw Data  
Fig. 7. Speed sensor Raw data with different RPM

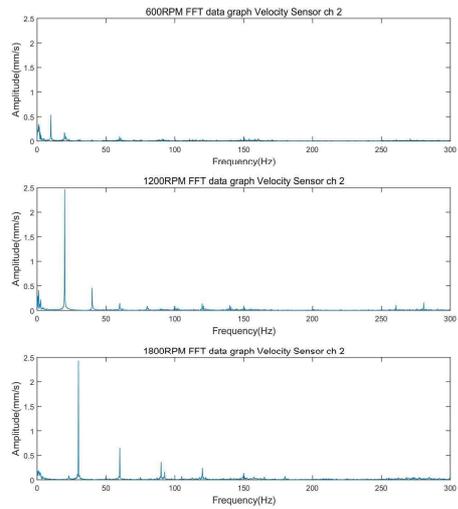


그림 8. 회전수에 따른 속도 센서 FFT Data  
Fig. 8. Speed sensor FFT data with different RPM

기기에 부하가 걸리는 현상을 모사하기 위하여 테스트 리그 끝에 파우더 브레이크를 장착하여 부하를 줄 수 있도록 하였다. 부하 시험은 위와 마찬가지로 총 600 rpm, 1200rpm, 1800rpm으로 구분하여 수행하였으며, 하중은 부하 조절 장치 (Tension Controller)를 사용하여 0kgf, 1kgf, 3kgf로 증가하며 시험을 수행하였다.

그림 10~12는 1200rpm인 경우 부하의 변화에 따라서 시험 베어링 하우징 측면에 부착된 단축 가속도 센서(채널 3)의 측정 신호를 나타낸 것으로, 그림 10에서와 같이 부하의 증가에 따른 신호 진폭의 증가 현상은 나타나지 않았다. 약간의 진폭의 변화가 있으나 이는 부하의 증가에 기여한다고 판단되지 않으므로 부하에 따른 신호 변화 기여도가 낮음을 알 수 있다.

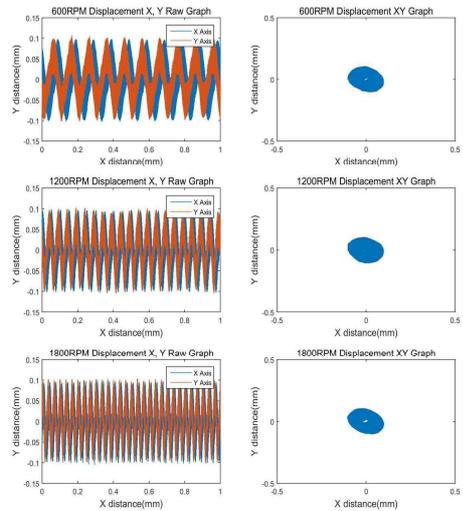


그림 9. 회전수에 따른 변위 센서 XY  
Fig. 9. Displacement sensor XY data with different RPM

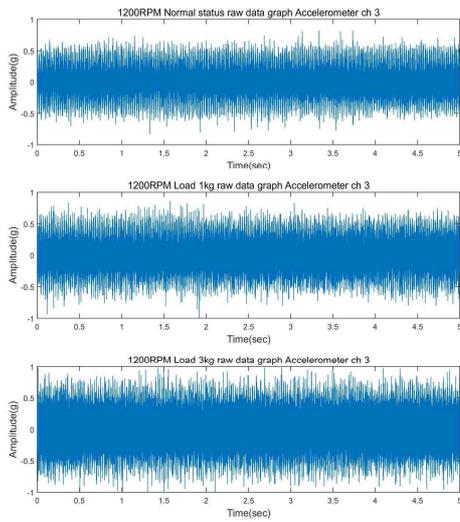


그림 10. 회전수에 따른 가속도 센서 Raw Data  
Fig. 10. Acceleration sensor Raw data with different RPM

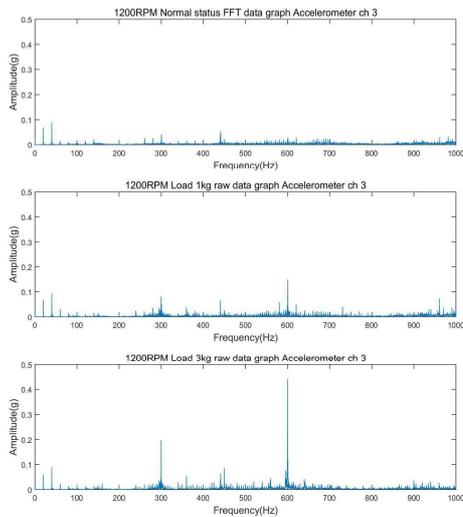


그림 11. 회전수에 따른 가속도 센서 FFT Data  
Fig. 11. Acceleration sensor FFT data with different RPM

그림 11에서와 같이 부하의 증가에 따라 600Hz

에서 진폭이 증가함을 보이고 있다. 이는 기어박스에 있는 기어 주파수가 전달되는 것으로 베어링-기어박스-파우더 브레이크로 구성되어 있는 구조상 부하가 증가할수록 기어박스에 부하가 가장 크게 가해지기 때문에 이와 같은 신호가 측정되는 것으로 판단된다. 또한 이뿐만 아니라 300Hz에서 기어 주파수의 하모닉 성분이 나타남을 확인할 수 있다. 하지만 부하에 따라서 주요 회전 주파수 성분이 증가하지 않음을 알 수 있다.

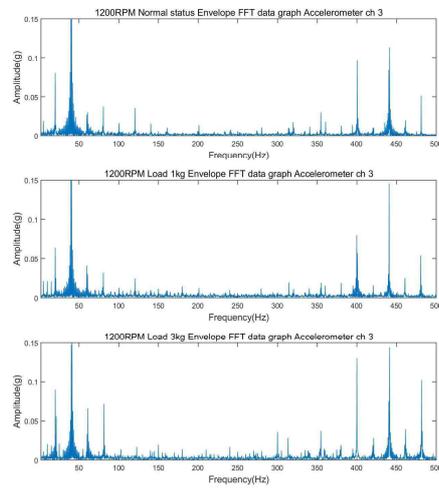


그림 12. 회전수에 따른 가속도 센서 Envelope FFT Data  
Fig. 12. Acceleration sensor envelope FFT data with different RPM

그림 12에서는 가속도 센서 채널 3번(시험 베어링 하우징 측면에 부착)의 포락선 분석 그래프를 나타내고 있다. 이 그래프에서 보면 각 회전 주파수의 2X 성분이 크게 나타남을 확인할 수 있다. 이는 테스트 시 약간의 정렬불량 상태가 생겨 발생하는 것으로 추정 된다

### 3. 결론

본 논문에서는 회전체의 각종 결함 유형에 따른 지능형 결함 진단을 위하여 회전체 진단 알고리

즘에 기기 상태 변화 정보를 제공해주는 상태진단 알고리즘의 연산결과인 특징 파라미터들이 필요하다. 이들 특징 파라미터들을 추출하기 위하여 결합 유형별 특징이 반영된 센서 신호들을 수집하는데 그 목적을 두었다. 이를 위하여, 모형 시험을 수행하기 위한 진동 테스트 리그를 개발하였으며, 정상적인 운전 상태에서의 신호특성을 분석하였다.

회전속도에 따른 신호분석과 회전체의 저주파수 특성을 잘 나타내는 속도센서 및 진동 테스트 리그에 부하변화를 주었을 때 신호를 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 베어링 하우징에서 측정되는 가속도 신호는 진폭이 작고 모터의 회전주파수 성분과 조화 성분만이 발생하였다. 즉, 회전수가 높아짐에 따라 가속도 진폭이 높아짐을 확인할 수 있었다.
2. 회전속도가 증가함에 따라 원 데이터의 형상의 차이가 있음을 확인할 수 있었고 가속도 FFT 그래프와의 비교에서 저주파수에서 노이즈에 강하며 해당 회전 주파수 성분을 뚜렷하게 나타냄을 확인할 수 있었다.
3. 부하 변화에도 주요 회전 주파수 성분이 증가하지 않음을 알 수 있었다.

결합 분석을 위하여 시간영역 분석, 주파수 영역 분석, 및 포락선 분석 등의 기법을 통하여 데이터를 수집하여야 하나 현실적으로 데이터 분석량의 과다 및 전송 속도 한계 등의 이유로 다른 방법으로 특징 파라미터를 추출하여야 한다. 본 논문의 실험 결과 제안한 알고리즘이 비교적 정확하게 신호를 분석함을 알 수 있었다. 이 결과를 바탕으로 비정상적인 동작상태에서 추출된 신호의 분석을 통하여 고장진단이 가능할 것이다.

## REFERENCES

- [1] J.S.Kang, "Development of EMD- based Fault Diagnosis System for Induction Motor", Trans, korean Soc. Noise Vib.Eng., Vol.24, No.9, pp.675 ~ 681, 2014
- [2] S.S.Lee, S.J.Cho and U.P.Chon, "Fault Diagnosis System of Rotating Machines Using LPC Residual Signal Energy", Journal of the Institute of Signal Processing and System, Vol.6, No.3, pp.143~147,2005
- [3] S.S.Son, "A Study on Improving High-Power Induction Motor Starting", JKIIECT, Vol.9,No.2 pp.178~184,2016
- [4] L.Hwang, H.La S. K, Y.B.Kim, "A Study on Drive in Extending Break Power of The PMSM using series Resistor", JKIIECT, Vol.3.No1 pp.127~135,2012
- [5] Muller,G.H. and Landdy,C.F., "A Volvel Method to Detect Broken Rotor Bars in Squirrel Cage Induction Motors when Interbar Currents are Persent", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 18. No. 1, pp.7179,2003
- [6] Dorrell,D.G.,Thomson, W.T. and Roach, S., "Analysis of Airgap Flux,current and Vibration Signals as a Function of the Combination of Static and Dynamic Airgap Eccentricity in 3-phase Induction Motors", IEEE Transactions on Indstry Applications, Vol.33, No.1, pp.24~34,1997
- [7] S.,H.Chong, K.T. and Kum,Ar, R,Ravi, "Vibration Signal Analysis for Electrical Fault Dectection of Induction Machine Using Neural Networks," Neural Computing & Applications, Vol.20, No.2, pp.183~194,2011
- [8] J.H.Han, J.H.Song, K.H. Choi, "Dagmosis of Induction Motor Faults Using Inverter Input Current Analysis", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.17, No.7, pp. 492~498,2016
- [9] B.Xu,L.Sun,L.Xu, and G.Xu, "Improvement of the Hibert method vis ESPRIT for detecting rotor fault in induction

motors at low slip", IEEE Trans. Energy  
Convers, Vol.28. No.1, pp.225 ~233,  
2013s

---

저자약력

---

**이 달 호(Dal-Ho Lee)**

**[정회원]**



- 1982년 서울대학교  
제어계측공학과 공학사
- 1985년 서울대학교  
제어계측공학과 공학석사
- 1992년 서울대학교  
제어계측공학과 공학박사
- 1992년~현재 가천대학교  
전자공학과 교수

〈관심분야 : 시스템 식별, 필터링 기법, INS 응용, Data Hiding〉

**박 정 철(Jung-Cheul Park)**

**정회원**



- 1983년 명지대학교  
전자공학과 공학사
- 1992년 명지대학교  
전자공학과 공학석사
- 2000년 명지대학교  
전자공학과 공학박사
- 2007년 ~현재 가천대학교  
전자공학과 교수

〈관심분야 : 신재생에너지〉