

**PCA를 이용한 회전설비 이상 감지 시스템 개발**

°이기형, 정찬목, 남성우, 명남진, \*이광순  
 두산기술원 FA센터, \* 서강대학교 화학공학과

**Development of a fault detection system for rotor equipment  
 using PCA method**

°K.H. Lee , C.M. Jeong , S.W. Nam , N.J. Myung , \* K.S. Lee  
 FA Center of DOOSAN Technical Center  
 \* Chem. Eng. Dept. of Sogang Univ.

**서론**

공장의 많은 가동 설비들은 모터를 이용한 회전기계가 주가 된다. 생산의 일관성을 위해, 생산 현장에서는 설비의 유지·보수가 매우 큰 일 중의 하나이다. 일반적으로 이러한 설비의 유지·보수 방법은 고장 발생후 고치는 방법과 정기적으로 보수하는 방법이 있으며, 최근 고장 발생을 미리 진단하여 보수하는 '예지보전' 방법이 보급되고 있다. 설비예지보전이란 설비를 분해하지 않고 간접적 측정치들을 이용하여 설비의 상태를 예측하고, 이를 근거로 결정적인 이상이 발생하기 전에 계획적으로 보수하는 것을 뜻한다.

각 설비보전 방법의 장·단점 간략히 나타내면, 다음 Table 1.과 같다.

Table 1. Characteristics of the maintenance methods in plants.

	장 점	단 점
고장 후 수리 Breakdown Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 계획이 필요 없다</li> <li>· 생산에 큰 차질이 없고 교체 비용이 싼 설비에 적합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 예측할 수 없는 생산 손실</li> <li>· 2차 고장 및 심각한 설비 이상 초래</li> </ul>
정기 점검/보수 Scheduled/Time based Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 설비의 수명 연장</li> <li>· 생산 정지시간 단축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 보수기간 사이의 고장 발생시 큰 손실 초래</li> <li>· 보수 비용이 높다</li> <li>· 부적절한 보수로 고장 발생 가능성</li> </ul>
예지 보전 Predictive/Condition based Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 설비 정지 시간 단축</li> <li>· 불필요한 보수 최소화</li> <li>· 기계 안정성 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 높은 초기 투자비</li> <li>· 효율적 이용을 위한 전문적 교육 필요</li> </ul>

**진동 측정과 이상 감지**

기본적으로 설비의 이상 진단에 쓰일 수 있는 정보는 진동, 잡음, 온도, 압력 등 여러 가지가 있으나, 그 중 진동이 설비 이상진단의 범위가 넓어 가장 많이 쓰인다. 회전 설비에서 나타나는 이상과 이를 감지할 수 있는 정보를 아래 Table 2.에 나타내었다.

Table 2. Mechanical faults and informations available for detecting the faults.

Informations Machinery faults	Temperature	Pressure	Flow	Oil	Vibration
Unbalance					*
Misalignment	*				*
Rolling Bearing	*			*	*
Journal Bearing	*	*	*	*	*
Worm Gear				*	*
Mechanical Looseness					*

회전 기계에서 발생하는 진동은 그 기계의 특성과 운전상황에 따라 결정된다. 진동 측정에는 진동의 변위, 속도, 가속도를 측정할 수 있는 각각의 센서가 있으며, 압전소자를 이용한 가속도 센서가 널리 이용되고 있다. 센서에서 측정된 신호는 아래와 같은 과정을 거쳐 재구성되고 이상진단에 이용된다.

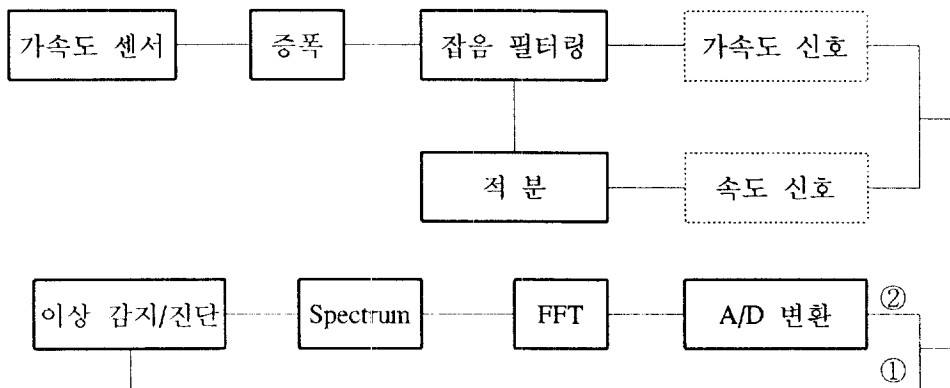


Figure 1. A schematic diagram of the fault diagnosis system using a vibration sensor.

진동센서를 통한 기존의 이상감지 방법은 다음과 같다.

① 일차적으로 측정신호의 peak 또는 측정신호의 power  $( = \frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt )$

를 미리 설정한 한계치와 비교하여 이상을 감지한다.

② 이상을 감지 하였으면, 진동 신호를 디지털 신호로 바꾸고, Fourier transform 을 하여 그 스펙트럼을 분석한다.

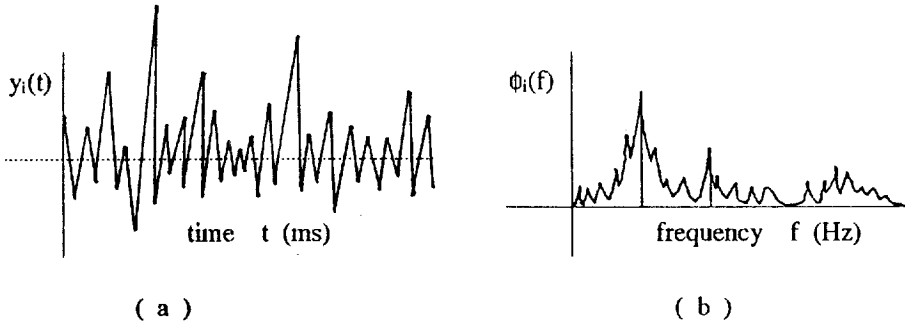


Figure 2. ( a ) Vibration signal vs. time. ( b ) It's amplitude vs. frequency.

시간과 주파수에 대해 신호의 모양을 Figure 2.에 나타내었다.

이와 같이 진동을 측정하여 이상을 감지하고 진단하는 방법은 단순히 진동 에너지량의 측정하는 방법에서 부터 진동 스펙트럼을 분석하는 방법까지 다양한 계층이 있으며, 이 중 스펙트럼 분석 방법이 가장 정밀하다. 기계의 진동 스펙트럼을 분석하면, 각 주파수에 대응되는 기계 각 부의 상태를 알 수 있다. 회전기 진동에서는 축, 기어, 베어링 등의 진동 요소들에 대응하여 진동 주파수가 결정되므로, 스펙트럼의 변화를 통해 기계의 어느 부분이 어떤 이상인가를 진단할 수 있다. 또한 회전기계의 이상에 따른 스펙트럼 분석은 경험적으로 많이 연구되어 있어, 회전설비의 예지보전에는 스펙트럼 분석이 선호된다. 그러나 이러한 스펙트럼 분석은 많은 데이터 처리의 어려움이 있다. 온라인 진단 설비의 경우 계속해서 그 진동 신호를 스펙트럼으로 저장하는 것이 거의 불가능하다고 하겠다. 또한 항상 전체의 스펙트럼의 추이를 감시하는 것도 쉽지 않으며, 그런 이유로 해서 상용화된 시스템의 경우 중요 주파수만 기록하거나, 데이터를 기간 별로 평균하는 등의 방법을 쓰고 있다.

본 연구에서는 진동의 스펙트럼 데이터를 PCA( principal component analysis )를 통해 몇 개의 계수만으로 스펙트럼 데이터를 저장하고, 계수의 추이만을 감시하여 이상을 감지하는 시스템을 개발하였다. 간단한 실험장치를 통해 진동을 측정·기록하고, 이의 스펙트럼을 PCA 방법으로 저장하였다. PCA를 통한 데이터의 저장과 복원은 매우 잘 이루어졌으며, 계수의 추이 변화를 통해 이상을 감지할 수 있었다.

### PCA를 이용한 이상 감지

회전기의 진동 신호는 기본적으로 반복되는 유사한 패턴을 갖는 데이터 집합(ensemble)의 특성을 갖는다. 진동 신호를 A/D 변환하고, 다시 FFT ( Fast Fourier Transform ) 하여 진동신호의 스펙트럼을 구한다. 이 때 각 샘플된 진동신호의 스펙트럼은 조금씩 차이가 나면서도 그 기본 패턴은 유사할 것이다. 이 때 각 스펙트럼의 기본 패턴을 추출하여 신호를 재구성하는 것을 PCA ( principal component analysis )라 한다.

기본 패턴 벡터( 신호 스펙트럼은 주파수에 대해 벡터로 표시할 수 있다 )  $v_j$ 를  $p$ 개 구하였으면, 신호  $\phi_i$ 를 다음과 같이 구성할 수 있다.

$$\phi_i = \sum_{j=1}^p c_{i,j} v_j, \quad \text{샘플된 각 신호는 기본 벡터와 각 신호에 대한 계수만 있}$$

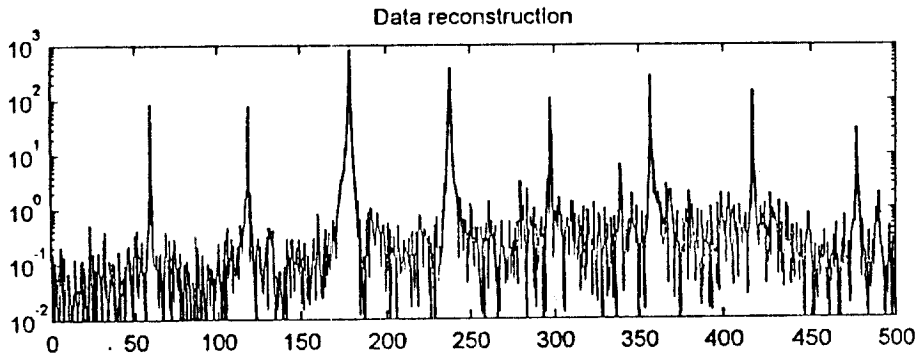
으면 기록할 수 있게된다.

PCA를 통해 이상감지 방법은 다음의 잇점을 지닌다.

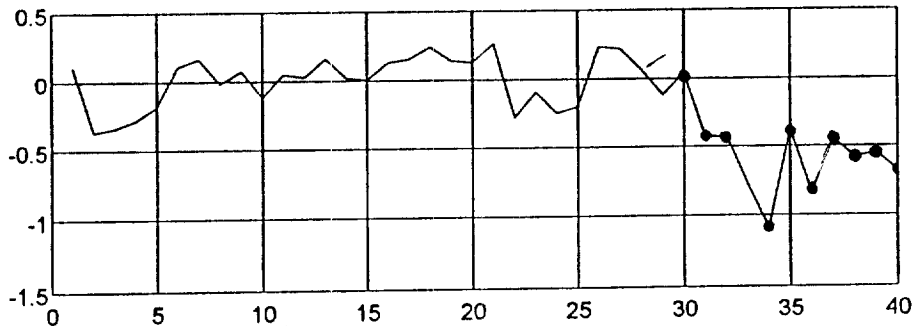
- ① 기본 패턴에 해당하는 계수만을 갖고 있으면 되므로 저장 용량을 크게 줄일 수 있고,
- ② 계수들이 적정 범위를 벗어나는 것을 이용하면, 기존의 peak 또는 power를 이용한 것 보다 더 정확하고 세밀하게 이상을 감지할 수 있다.

본 연구에서는 1/4 마력 교류 모터와 1/10 감쇄비를 갖는 기어박스를 이용, 간단한 장치를 꾸미고, 진동센서를 부착하여 그 진동신호를 측정하였으며, 이 신호를 스펙트럼으로 바꾸고 PCA를 이용하여 저장/복원하였다. 신호를 재구성한 결과 장치에 고의로 불균형을 가한 이상 신호를 감지할 수 있었다.

### 실험결과 및 결론



\* 재 복원된 신호와 실제 신호가 일치하였다.



\* 계수가 정상 상태와 다른 패턴을 보여 그 이상이 감지된다.

- 진동 스펙트럼에 대해 위와 같이 신호의 재구성과 이상 감지가 가능하므로, PCA 기법을 이용한 설비에지보전 시스템은 실제 현장에서 유용하리라 사료된다.