

## 소음진동 신호를 이용한 펌프의 고장진단

박순재\*, 정원식(군산대 대학원 기계공학과), 이신영, 정태진(군산대 기계공학부)

### Fault Diagnosis of a Pump Using Acoustic and Vibration Signals

S. J. Park, W. S. Chung(Dept. of Mech. Eng., Graduate school Kunsan Nat'l Univ.),  
S. Y. Lee, and T. J. Chung(School of Mech. Eng., Kunsan Nat'l Univ.)

#### ABSTRACT

We should maintain the maximum operation capacity for production facilities and find properly out the fault of each equipment rapidly in order to decrease a loss caused by its failure. The acoustic and vibration signals of a machine always carry the dynamic information of the machine. These signals are very useful for the feature extraction and fault diagnosis. We performed a fundamental study which develops a system of fault diagnosis for a pump. We experimented vibrations by acceleration sensors and noises by microphones, compared and analysed for normal products, artificially deformed products. We tried to search a change of the dynamic signals according to machine malfunctions and analyse the type of deformation or failure. The results showed that acoustic signals as well as vibration signals can be used as a simple method for a detection of machine malfunction or fault diagnosis.

**Key Words** : Fault diagnosis (고장 진단), Vibration signal (진동 신호), Acoustic signal (음향 신호), Pump (펌프)

#### 1. 서론

제조업체에서는 보유 설비의 가동률을 최대한으로 유지하고, 설비 고장 시 신속하게 문제를 해결하여 손실을 줄여야 보다 많은 이익을 창출할 수 있으며,<sup>(1)</sup> 4) 기계를 진단하여 고장을 예방하려는 시도는 오래 전부터 있어왔다.<sup>(5~9)</sup> 진동 신호는 기계의 동적 정보를 가지고 있으므로 기계의 고장진단에 많이 사용된다.<sup>(8)</sup> 기계에 결함이 발생하면 특정한 주파수에서 이상 진동 또는 소음이 발생되게 된다. 기계를 진단하는 일반적인 방법은 기계로부터 발생하는 신호를 측정하여 분석하는 것이다. 진단 신호를 얻기 위한 신호의 종류가 결정되면 그 진단신호를 측정하기 위하여 계측기를 진단신호가 발생하는 곳에 가능한 한 가깝게 부착하여 측정한다. 많은 이유로 인하여 진단 신호가 계측기까지 도달하는 동안 본래의 자기 모습을 잃어버리고 상당히 변질된다. 이 변질된 신호로부터 원래의 고장을 얼마나 잘 진단하는가가 관건이 된다. 이를 위한 진단신호 처리 방법은 상당히 다양하고 경우에 따라 그 효과가 다르다.

Asakura 등<sup>(1)</sup>과 Zang 등<sup>(9)</sup>은 신경회로망 이론을

이용하여 기계의 고장진단을 하였고, Staszewski<sup>(7)</sup>와 Lin 등<sup>(8)</sup>은 웨이블릿 변환을 이용하여 잡음이 혼재된 신호로부터 기계의 고장진단 정보를 추출하였다.

본 연구에서는 대표적인 회전기계이며 여러 기계의 부속품으로 또는 단독으로 많이 사용되는 펌프의 고장진단 시스템을 개발하는 방법을 제시하고자 하였다. 펌프는 전동기 부분과 펌프부분으로 나누어지며 기계부와 전기부를 포함하는 복합적인 기계요소이다. 따라서 기계시스템의 고장진단을 연구하는 1차적인 대상이 되기에 충분하다고 사료되었다. 본 연구에서는 기계 이상에 따르는 소음 신호와 진동 신호의 변화를 규명하고 소음 신호 및 진동 신호를 통하여 기계의 이상을 간단히 진단할 수 있는지에 대하여 검토하였다.

#### 2. 진동발생의 패턴

여러 가지 기계적 결함은 진동을 발생시키고 이러한 진동은 가속도를 측정하여 FFT로 변환함으로써 진동의 원인을 밝혀낼 수 있다. 다음의 Table 1은 전형적인 진동 문제를 정리한 것이다.

Table 1 Abnormalities and characteristic frequencies<sup>(6)</sup>

이상 장소	이상 현상	특성 주파수
로터	밸런스불량	$f_r$
축	벤딩	$f_r, 2f_r, 3f_r$
커플링	편심	$f_r, 2f_r, 3f_r$
커플링	커플링불량	주로 $f_r$
롤링 베어링	내륜 손상	$n \frac{Z}{2} \left(1 + \frac{d}{D} \cos \alpha\right) f_r$
롤링 베어링	외륜 손상	$n \frac{Z}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \alpha\right) f_r$
롤링 베어링	전동체손상	$n \frac{D}{d} \left\{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2 \cos^2 \alpha\right\} f_r$
슬라이딩 베어링	윤활불량	$f_r$
기초	설치레벨 불량	$f_r$
기초	강성 부족	$f_r$

$f_r$  : 로터의 회전주파수

$\alpha$  : 베어링의 접촉각

$Z$  : 베어링 전동체의 수

$n$  : 정수

$d$  : 베어링 전동체의 지름

$D$  : 베어링의 피치 원지름

### 3. 실험장치 및 실험방법

실험 대상으로는 LG PU-250M 농공업용 펌프를 선정하여 설치하였다. 본 모델은 회전축이 외부로 드러나 축의 실제 회전수 측정이 용이하며 구조가 간단하고 소형에 가격이 저렴하여 실험실에서의 실험 조건에 많은 장점이 있어 선정하였다. 측정 장비로는 Data Physics사의 DP 104-100 FFT 분석기, 계측 센서로는 Dytran 3136A 가속도계, G.R.A.S 프로브마이크로폰 및 증폭기 등을 사용하였다. 펌프에 연결된 실험관은 고무관을 이용하였으며 200l의 통을 연결하여 물이 순환하도록 하였다. Fig. 1에 펌프의 단면 구조 및 가속도계의 장착지점을 나타낸다. 가속도계의 장착지점은 모터축 즉 회전자의 부하측 베어링 케이싱의 수직(VX1) 및 수평(HX1), 블레이드가 위치한 케이스 측 수직(VX2) 및 수평(HX2)이었다. 펌프는 정상 상태, 모터 냉각 회선의 일부를 굽혀 모터축에 변형을 가한 것, 블레이드의 일부를 연삭하여 불평형을 준 것, 베어링의 볼의 일부를 연삭하여 전동체에 인위적 이상을 가한 것의 4종류에 대하여 음향 신호 및 진동 신호를 분석하였다. 구동 전원은 power supply를 이용하여 55 Hz ~ 70 Hz 사이에서 변화시켜가며 구동회전수를 조절하였다.

음향측정 시의 프로브마이크로폰은 VX2의 수직상방에서 측정하였고 음향신호를 측정하여 FFT analyzer로 푸리에 변환을 수행하였으며 측정신호에서 압소음을 제외한 값을 도시하였다.

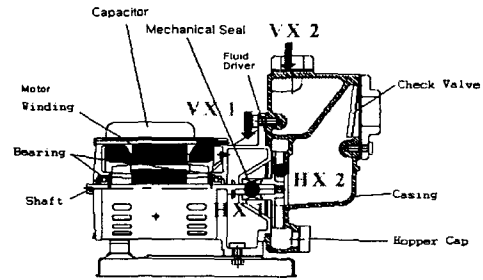
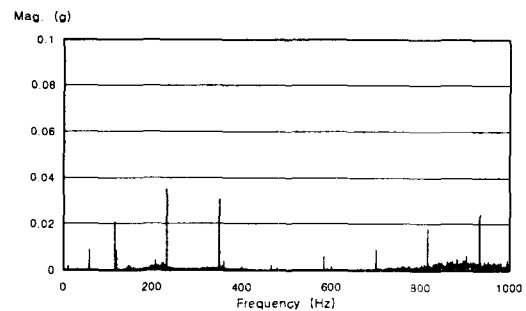


Fig. 1 PU-250M pump and measuring points

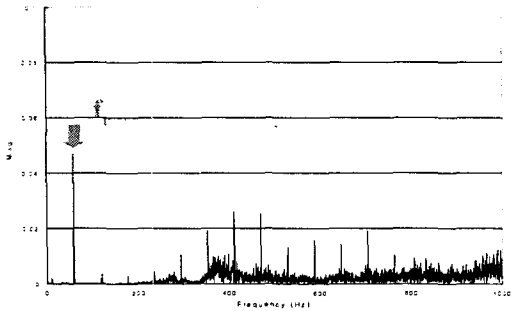
## 4. 실험결과

### 4.1 진동실험

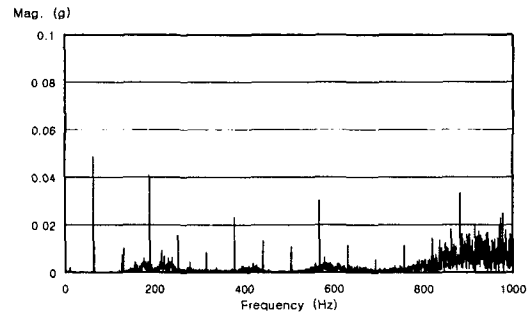
Fig 2에 보이는 바와 같이 정상상태 펌프의 진동과 비교할 때 블레이드의 일부를 불균형 마모시킨 펌프의 진동은 전체적으로 진폭이 크고 피크를 나타내는 피크 주파수의 개수도 증가하였으며 58 Hz 부근의 회전주파수( $f_r$ )에 해당하는 피크가 크게 발달하였으며 전체적으로 작은 피크들도 증가하였다. 축의 휨 일부를 굽힌 펌프 진동의 경우는 변형량이 전체의 질량에 비하여 적기 때문에 정상펌프의 신호와 확연히 구분할 수 있는 신호가 발생하지 않았다. 베어링의 구동체의 일부를 연삭한 펌프는 고주파 영역인  $35.2 f_r$  부근의 새로운 피크가 발생하였다. 구동회전수를 변경하여 실험한 결과에서도 Fig. 3의 경우와 같이 각 피크의 주파수 값과 크기 값도 회전수의 가감과 함께 일정한 변화를 보였다.



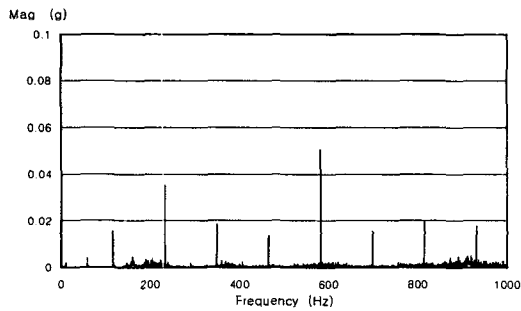
(a) Vibration of a pump in normal condition



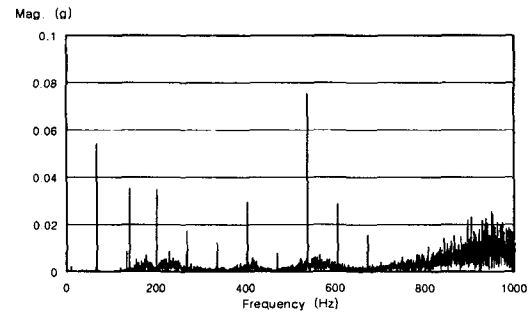
(b) Vibration of a pump with unevenly ground blade



(c) Vibration driven by 63 Hz

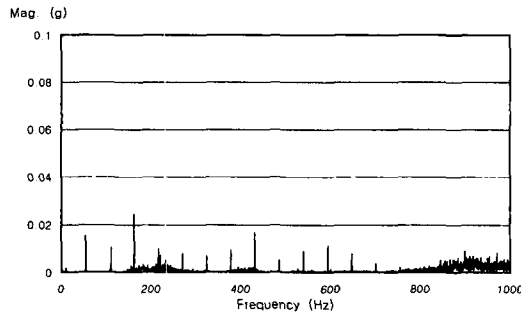


(c) Vibration of a pump with deformed fin in shaft  
Fig. 2 Vertical vibrations at motor side



(d) Vibration driven by 67.2 Hz

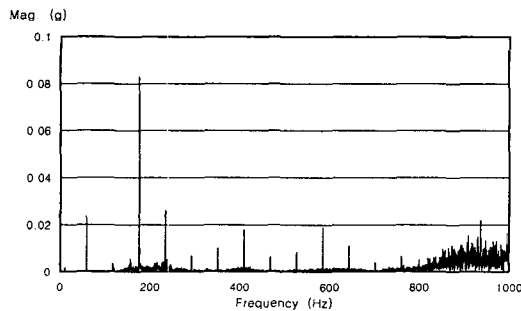
Fig. 3 Horizontal vibrations of a pump(motor side) with unevenly ground blade



(a) Vibration driven by 53.9 Hz

#### 4.2 음향실험

Fig. 4~6은 구동전원의 주파수 변화에 따른 여러 상태의 펌프로부터 측정된 음향신호를 나타낸다. 음향신호를 측정하여 FFT analyzer로 푸리에 변환을 수행하였으며 측정신호에서 잡음을 제외한 값을 도출하였다. 블레이드 이상 펌프는 진동신호 측정 때와 같이 회전주파수( $f_r$ )에서의 피크값이 크게 증가하였고 진동신호에서는 별 다른 차이가 없던 축의 냉각 핀 일부를 흰 펌프의 경우도 회전 속도의 증감에 따라 진단이 가능한 신호가 측정되었다.



(b) Vibration driven by 58.5 Hz

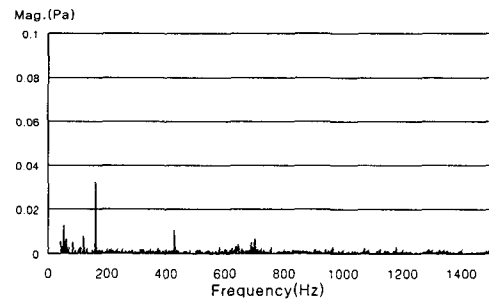


Fig. 4(a) Noise of a normal pump driven by 53.6 Hz

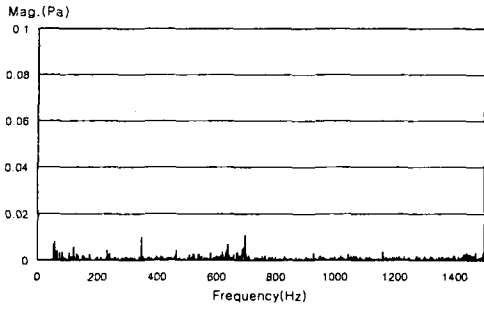


Fig. 4(b) Noise of a normal pump driven by 58 Hz

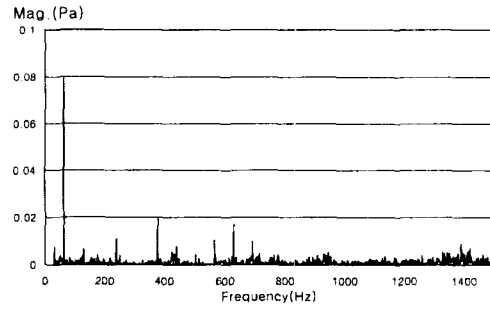


Fig. 5(c) Noise of a pump with a blade unevenly ground driven by 63 Hz

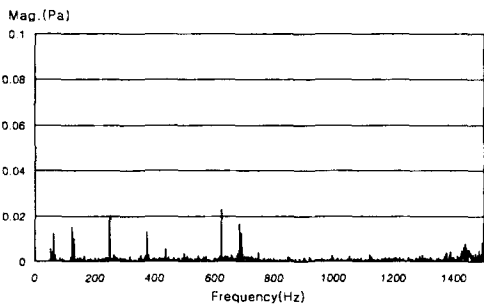


Fig. 4(c) Noise of a normal pump driven by 62.3 Hz

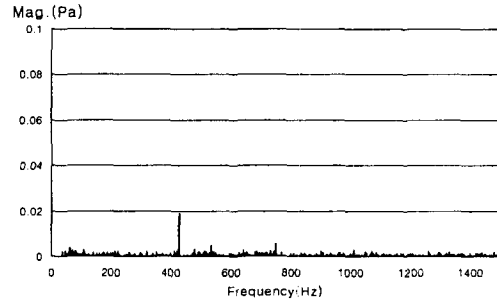


Fig. 6(a) Noise of a pump with a bended cooling fin driven by 53.5 Hz

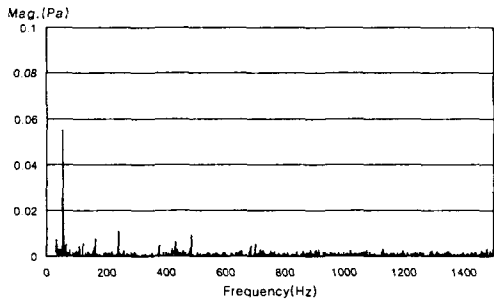


Fig. 5(a) Noise of a pump with a blade unevenly ground driven by 53.9 Hz

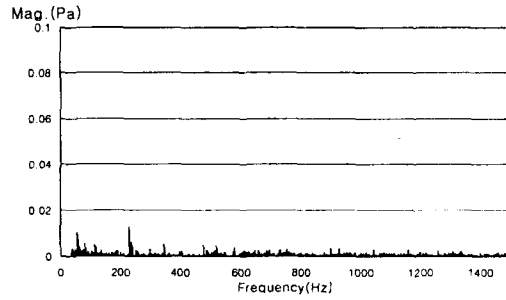


Fig. 6(b) Noise of a pump with a bended cooling fin driven by 58 Hz

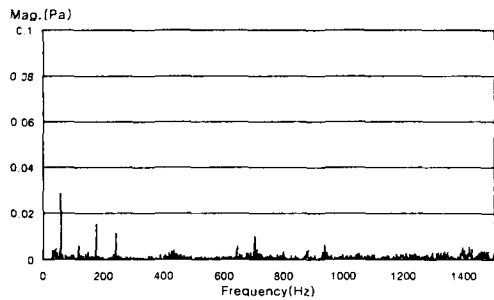


Fig. 5(b) Noise of a pump with a blade unevenly ground driven by 58.5 Hz

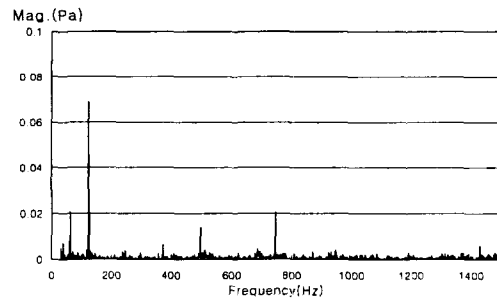


Fig. 6(c) Noise of a pump with a bended cooling fin driven by 62 Hz

Table 2 Peak frequencies obtained by sound tests

펌프	구동	음압 피크치
정상 상태	53.6 Hz	3X - 1X - 8X - 2X
	58.0 Hz	12X - 6X - 1X - 2X
	62.3 Hz	4X - 6X - 1X - 12X
블레이드 이상	53.9 Hz	1X - 4X - 9X - 3X
	58.5 Hz	1X - 4X - 12X - 2X
	63.0 Hz	1X - 6X - 10X - 9X
축 불균형	53.5Hz	8X - 14X
	58.0 Hz	4X - 1X
	62.0 Hz	2X - 1X - 12X - 8X

Table 2에 음향신호를 분석한 결과를 집약하였고 각 피크치는 구동주파수의 배수로 나타내었다. Table 2를 보면 각 펌프의 작동시 발생하는 소음에서 압소음을 제외한 상태의 피크치들이 각 고장 펌프별로 일정한 경향을 나타내는 것을 볼 수 있다.

#### 4. 결론

펌프의 진동 및 소음 신호를 분석함으로써 파악하고자한 본 연구의 목적에 따라 진동신호를 측정하기 위하여 선정하였던 4지점 중 모터축의 수직·수평의 2지점에서 측정된 신호만으로도 목표로 하는 데이터를 얻을 수 있다는 것을 알았고 블레이드 이상의 경우 진동신호의 주파수분석 결과에서 정상상태와 뚜렷한 차이를 찾을 수 있었다. 음향측정을 통한 진단에서는 진동측정의 블레이드 이상의 경우와 같은 경향을 나타내었고 진동측정에서는 구분할 수 없었던 적은 양의 축 불균형 상태에 대해서도 진단이 가능하였다. 이로써 진동 및 음향측정을 통한 고장 진단의 패턴이 비슷함을 알았고 진동측정이 어렵거나 원격 고장진단이 필요한 경우 마이크로폰을 이용한 음향측정만으로도 가능함을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

- Asakura, T., Kobayashi, T., Xu, B., and Hayashi, S., "Fault Diagnosis System for Machines Using Neural Networks," JSME International Journal, Series C, Vol. 43, pp. 364-371, 2000.
- Staroswiecki, M., "Quantitative and Qualitative Models for Fault Detection and Isolation," Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 14, pp. 301-325, 2000.
- 이수훈, 김충수, 김봉석, 송준엽, 이승우, 박화영, 박종권, "공작기계의 신뢰성 평가를 위한 고장 모드 해석에 관한 연구," 한국정밀공학회 2000년도 추계학술대회논문집, pp. 1010-1013, 2000.

- 이승우, 송준엽, 강재훈, 황주호, 이현용, 박화영, "기계류 핵심 유니트의 신뢰성 평가기술," 한국정밀공학회 2000년도 추계학술대회논문집, pp. 1014-1017, 2000.
- Danai, K., and Chin, H., "Fault Diagnosis With Process Uncertainty," Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 113, pp. 339-343, 1991.
- Inoue, N., "설비진단기술," 자동화기술, pp. 55-63, 2000. 5.
- Staszewski, W., "Wavelet Based Compression and Feature Selection for Vibration Analysis," Journal of Sound and Vibration, Vol. 211, pp. 735-760, 1998.
- Lin, J., and Qu, L., "Feature Extraction Based on Morlet Wavelet and Its Application for Mechanical Fault Diagnosis," Journal of Sound and Vibration, Vol. 234, pp. 135-148, 2000.
- Zang, C., and Imregun, M., "Structural Damage Detection Using Artificial Neural Networks and Measured FRF Data Reduced via Principal Component Projection," Journal of Sound and Vibration, Vol. 242, pp. 813-827, 2001.
- Chen, Z., and Mechefske, C., "Diagnosis of Machinery Fault Status using Transient Vibration Signal Parameters," Journal of Vibration and Control, Vol. 8, pp. 321-335, 2002.