

# 작동음의 분석을 이용한 펌프의 고장진단

박순재\*, 이신영†

## Fault Diagnosis of a Pump Using Analysis of Noise

Soon-Jae Park\*, Sin-Young Lee

### 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 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 obtained noises by a microphone, analysed and compared the signals converted to frequency range for normal products, artificially deformed products. We tried to search a change of noise 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(고장진단), Sound(음향), Pump(펌프), Frequency Domain(주파수 영역)

### 1. 서론

일반 산업체에서는 보유 설비의 가동률을 최대한 유지하고, 설비고장 시 신속하게 문제를 해결하여 손실을 줄여야 보다 많은 이익을 창출할 수 있으며<sup>(1-2)</sup>, 기계를 진단하여 고장을 예방하려는 시도는 오래 전부터 있어 왔다<sup>(3-6)</sup>. 진동 신호는 기계의 동적 정보를 가지고 있으므로 기계의 고장진단에 많이 사용된다<sup>(5)</sup>.

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 모양을 잃어버리고 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>(6)</sup>은 신경회로망 이론을 이용하여 고장진단을 하였고, Staszewski<sup>(4)</sup>와 Lin 등<sup>(5)</sup>은 웨이블렛 변환을 이용하여 잡음이 혼재된 신호로부터 기계의 고장진단 정보를 추출하였다.

\* 주저자, 군산대학교 기계공학과 (psj@kunsan.ac.kr)  
주소: 573-701 전북 군산시 미룡동 산 68번지  
† 군산대학교 기계공학부

본 연구에서는 대표적인 회전기계이며 여러 기계의 부품으로 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. 진동신호를 측정하는 경우<sup>(8)</sup>, 펌프의 경우 가속도계의 부착 위치가 명료하지 못하고, 가동에 따라서 열이 발생하여 가속도계에 악영향을 미쳤다. 본 연구에서는 진동 신호보다 비교적 측정이 용이한 기계 이상에 따르는 소음 신호의 변화를 규명하고 소음 신호를 통하여 기계의 이상을 간단히 진단할 수 있는지에 대하여 검토하였다.

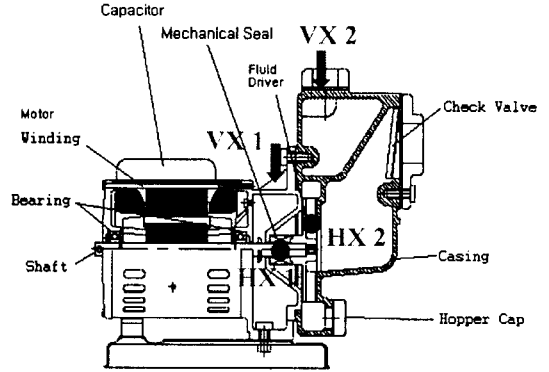


Fig. 1. PU-250M pump

## 2. 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 DPI04-100 FFT 분석기, 계측 센서로는 GRAS 프로브 마이크로폰 및 증폭기 등을 사용하였고, 비교를 위하여 가속도를 측정하고 Dytran 3136A 가속도계를 사용하였다.

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 축 수직(VX2) 및 수평(HX2)이었다.

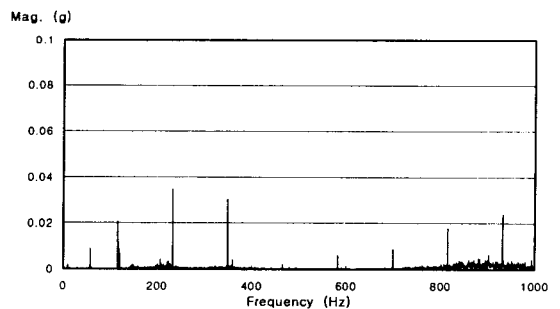
펌프는 정상 상태, 모터 냉각 휠(fin)의 일부를 굽혀 모터축에 변형을 가한 것, 블레이드의 일부를 연삭하여 불평형을 준 것, 베어링의 볼의 일부를 연삭하여 전동체에 인위적 이상을 가한 것의 4종류, 각 종류별 2대씩 총 8대에 대하여 음향 신호 및 진동 신호를 분석하였다. 구동 전원은 AC power supply를 이용하여 54Hz ~64 Hz 사이에서 변화시켜가며 구동회전수를 조절하였다.

음향측정에서 프로브마이크로폰은 VX2<sup>(8)</sup>의 수직 상방에서 측정하였고 음향신호를 측정하여 증폭기를 거친 후 FFT analyzer로 푸리에 변환을 수행하였으며 측정신호에서 암소음을 제외한 값을 도시하였다.

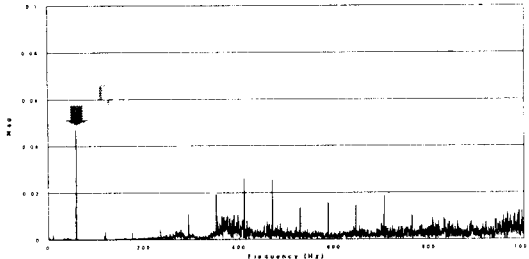
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 진동실험 결과

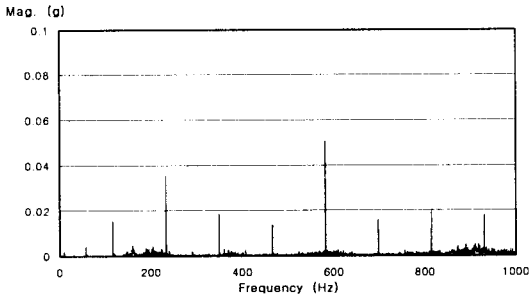
Fig 2.에 나타낸 바와 같이 정상상태 펌프의 진동과 비교할 때 블레이드의 일부를 불균형 마모시킨 펌프의 진동은 전체적으로 진폭이 크고 피크를 나타내는 피크 주파수의 개수도 증가하였으며 58 Hz 부근의 회전주파수( $f_r$ )에 해당하는 피크가 크게 발달하였으며 전체적으로 작은 피크들도 증가하였다. 축의 휠 일부를 굽힌 펌프 진동의 경우는 변형량이 전체의 질량에 비하여 적기 때문에 정상펌프의 신호와 확연히 구분할 수 있는 신호가 발생하지 않았다. 베어링의 전동체 중 일부를 연마한 펌프는 고주파 영역인 35.2  $f_r$  부근의 새로운 피크가 발생하였다.



(a) Vibration of a pump in normal condition



(b) Vibration of a pump with unevenly ground blade



(c) Vibration of a pump with deformed fin in shaft

Fig. 2. Vertical vibrations at motor side

### 3.2 음향 실험 결과

Figs. 3~6은 구동전원의 주파수 변화에 따른 여러 상태의 펌프로부터 측정된 음향신호를 나타낸다. 음향신호를 측정하여 FFT analyzer로 푸리에 변환을 수행하였으며 측정신호에서 배경 소음을 제외한 값을 도시하였다. 블레이드 이상 펌프는 진동신호 측정<sup>(8)</sup> 때와 같이 회전주파수 ( $f_r$ )에서의 피크 값이 크게 증가하였고 진동신호에서는 별 다른 차이가 없던 축의 냉각 핀 일부를 휨 펌프의 경우도 회전 속도의 증감에 따라 진단이 가능한 신호가 측정되었다. Tables 1~4 에 펌프의 작동 중 발생하는 음향과 펌프가 작동하지 않을 때의 음압 차이를 분석한 결과를 집약하였고 각 피크 값은 구동주파수의 배수로 나타내었다. Tables 1~4 를 보면 각 펌프의 작동시 발생하는 소음에서 배경 소음을 제외한 상태의 피크치들이 각 고장 펌프별로 일정한 경향을 나타내는 것을 볼 수 있다.

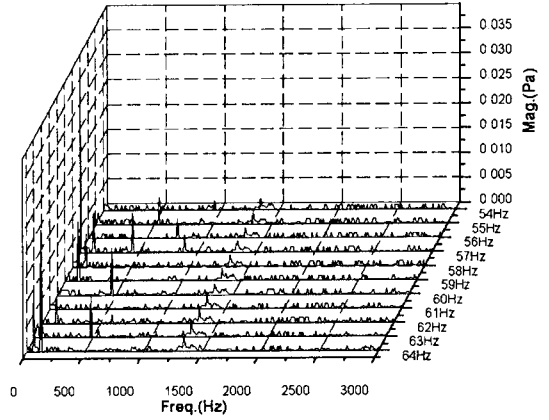


Fig. 3(a). Noise of a normal pump

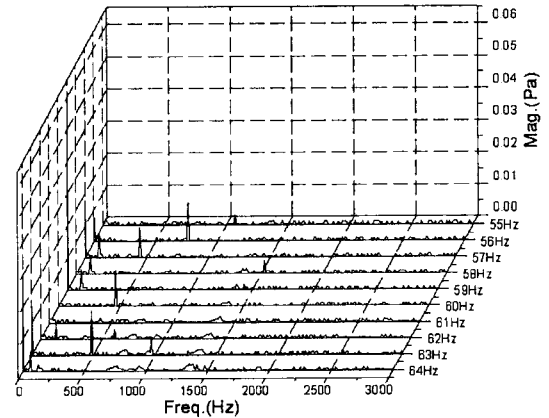


Fig. 3(b). Noise of a normal pump

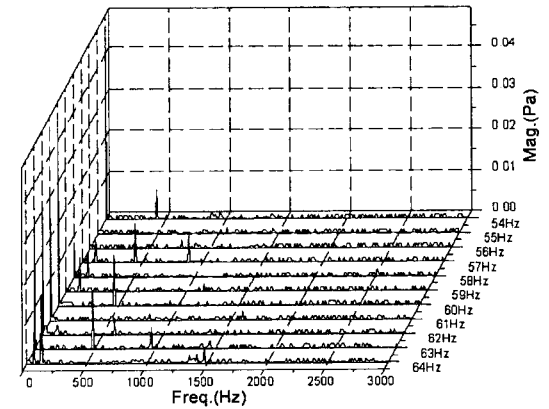


Fig. 4(a) Noise of a pump with a bended cooling fin

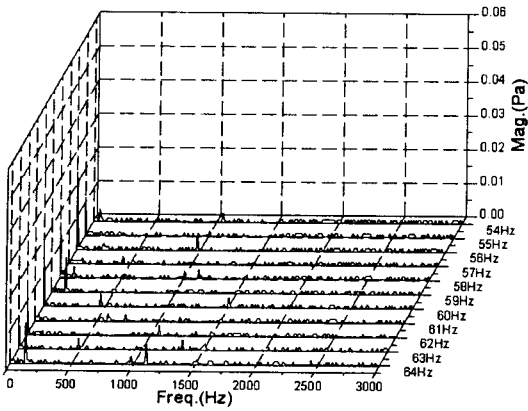


Fig. 4(b). Noise of a pump with a bended cooling fin

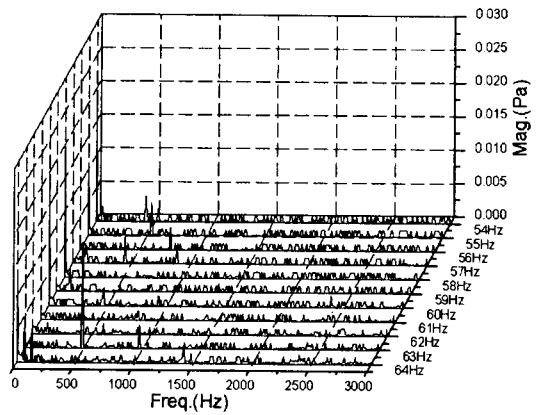


Fig. 6(a). Noise of a pump with damaged bearing

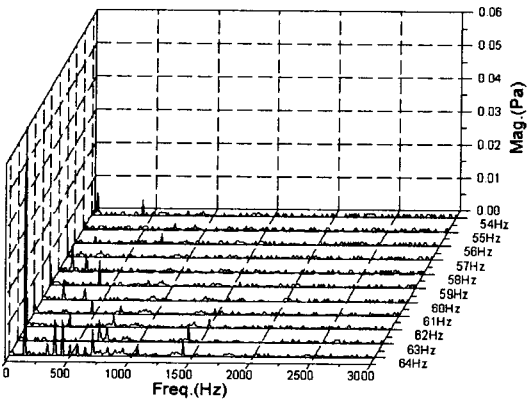


Fig. 5(a). Noise of a pump with unevenly ground blade

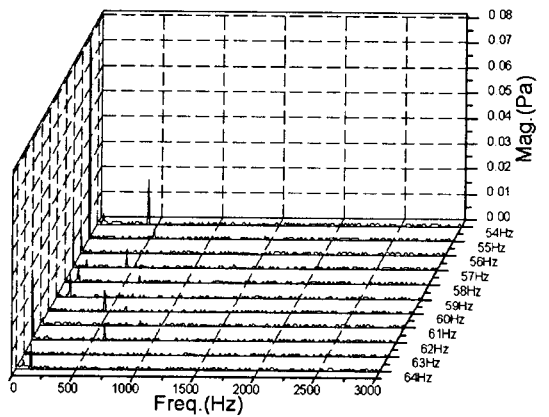


Fig. 6(b). Noise of a pump with damaged bearing

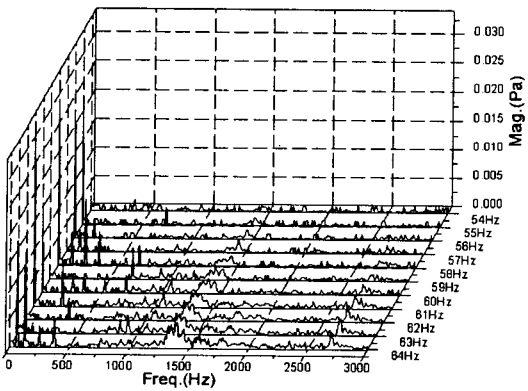


Fig. 5(b). Noise of a pump with unevenly ground blade

Table 1(a) Peak frequencies by Noise of a normal pump

Pump	Driving speed (Hz)	Peak frequencies
1	54	6X - 8X - 14X - 12X - 9X
	55	1X - 8X - 6X - 4X - 2X
	56	1X - 8X - 6X - 2X - 4X
	57	1X - 2X - 4X - 6X - 8X
	58	1X - 2X - 8X - 6X - 16X
	59	2X - 8X - 1X - 16X - 10X
	60	2X - 8X - 23X - 1X - 6X
	61	2X - 1X - 8X - 6X - 12X
	62	2X - 1X - 6X - 12X - 8X
	63	2X - 1X - 6X - 8X - 22X
	64	2X - 1X - 6X - 12X - 22X

Table 1(b) Peak frequencies by Noise of a normal pump

Pump	Driving speed (Hz)	Peak frequencies
2	54	8X - 14X - 4X - 2X - 10X
	55	8X - 4X - 6X - 14X - 2X
	56	14X - 8X - 4X - 2X - 12X
	57	4X - 8X - 2X - 6X - 14X
	58	4X - 8X - 2X - 6X - 27X
	59	2X - 8X - 12X - 4X - 6X
	60	2X - 8X - 12X - 6X - 4X
	61	2X - 8X - 6X - 12X - 16X
	62	8X - 2X - 12X - 16X - 6X
	63	8X - 12X - 2X - 6X - 1X
	64	6X - 12X - 8X - 10X - 16X

Table 3(a) Peak frequencies by Noise of a pump with unevenly ground blade

Pump	Driving speed (Hz)	Peak frequencies
5	54	1X - 8X - 13X - 15X - 7X
	55	1X - 8X - 6X - 7X - 11X
	56	1X - 4X - 8X - 14X - 7X
	57	1X - 4X - 2X - 7X - 13X
	58	1X - 2X - 4X - 7X - 8X
	59	1X - 2X - 7X - 3X - 12X
	60	1X - 2X - 3X - 5X - 7X
	61	1X - 2X - 7X - 8X - 11X
	62	1X - 2X - 7X - 6X - 8X
	63	1X - 2X - 6X - 11X - 12X
	64	1X - 2X - 6X - 7X - 11X

Table 2(a) Peak frequencies by Noise of a pump with a bended cooling fin

Pump	Driving speed (Hz)	Peak frequencies
3	54	8X - 4X - 12X - 6X - 14X
	55	4X - 6X - 8X - 2X - 14X
	56	8X - 4X - 6X - 16X - 2X
	57	4X - 8X - 2X - 6X - 12X
	58	8X - 2X - 12X - 4X - 6X
	59	2X - 8X - 6X - 4X - 1X
	60	2X - 6X - 8X - 4X - 12X
	61	2X - 6X - 8X - 1X - 12X
	62	2X - 6X - 8X - 12X - 16X
	63	2X - 6X - 8X - 1X - 12X
	64	2X - 6X - 8X - 1X - 10X

Table 3(b) Peak frequencies by Noise of a pump with unevenly ground blade

Pump	Driving speed (Hz)	Peak frequencies
6	54	1X - 5X - 13X - 23X - 7X
	55	1X - 5X - 13X - 14X - 2X
	56	1X - 4X - 12X - 3X - 5X
	57	4X - 1X - 2X - 3X - 12X
	58	4X - 2X - 12X - 1X - 23X
	59	2X - 4X - 1X - 23X - 12X
	60	2X - 4X - 1X - 23X - 12X
	61	1X - 2X - 4X - 6X - 11X
	62	1X - 2X - 6X - 10X - 11X
	63	1X - 2X - 11X - 6X - 4X
	64	1X - 11X - 6X - 4X - 15X

Table 2(b) Peak frequencies by Noise of a pump with a bended cooling fin

Pump	Driving speed (Hz)	Peak frequencies
4	54	1X - 6X - 14X - 8X - 20X
	55	8X - 1X - 12X - 14X - 4X
	56	4X - 6X - 18X - 2X - 8X
	57	4X - 2X - 6X - 8X - 20X
	58	2X - 4X - 10X - 20X - 14X
	59	2X - 6X - 4X - 8X - 12X
	60	2X - 8X - 6X - 10X - 20X
	61	2X - 8X - 18X - 6X - 12X
	62	2X - 8X - 12X - 18X - 6X
	63	2X - 12X - 6X - 8X - 16X
	64	2X - 12X - 8X - 16X - 18X

Table 4(a) Peak frequencies by Noise of a pump with damaged bearing

Pump	Driving speed (Hz)	Peak frequencies
7	54	8X - 1X - 10X - 12X - 14X
	55	8X - 6X - 10X - 14X - 16X
	56	10X - 4X - 14X - 6X - 2X
	57	4X - 10X - 8X - 1X - 2X
	58	4X - 1X - 14X - 2X - 8X
	59	4X - 2X - 6X - 14X - 1X
	60	2X - 6X - 14X - 12X - 4X
	61	2X - 6X - 1X - 8X - 12X
	62	8X - 6X - 12X - 1X - 2X
	63	6X - 8X - 1X - 2X - 12X
	64	6X - 8X - 12X - 2X - 1X

Table 4(b) Peak frequencies by Noise of a pump with damaged bearing

Pump	Driving speed (Hz)	Peak frequencies
8	54	8X - 1X - 10X - 12X - 14X
	55	8X - 12X - 1X - 14X - 10X
	56	8X - 4X - 10X - 2X - 13X
	57	4X - 2X - 6X - 8X - 12X
	58	2X - 4X - 8X - 12X - 11X
	59	2X - 8X - 4X - 12X - 10X
	60	2X - 6X - 8X - 12X - 4X
	61	2X - 6X - 8X - 12X - 4X
	62	6X - 2X - 8X - 1X - 10X
	63	2X - 6X - 10X - 1X - 4X
	64	6X - 2X - 10X - 8X - 4X

#### 4. 결론

본 논문에서는 펌프의 작동 중 발생하는 음향 신호를 측정하여 분석함으로써 고장진단이 가능한지를 파악하고자 하였다. 펌프의 작동 중 발생하는 음향과 펌프가 작동하지 않는 상태에서의 음향의 차이를 분석한 결과 음향측정을 통한 진단에서 각 이상상태의 경우 정상상태와 뚜렷한 차이를 나타내었고, 진동측정에서는 구분하기 곤란한 축의 미세 불균형 상태에 대해서도 진단이 가능하였다. 이로써 음향측정을 통한 고장진단의 패턴이 진동측정의 경우보다 우수함을 나타내었고, 진동측정에 비하여 용이한 마이크로폰을 이용한 음향측정만으로도 장비의 고장진단이 가능함을 확인하였다.

#### 참고문헌

(1) Asakura, T., Kobayashi, T., Xu, B., and Hayashi, S., 2000, "Fault Diagnosis System for Machines Using Neural Networks", *JSME International Journal, Series C*, Vol. 43, pp. 364~371.

(2) Staroswiecki, M., 2000, "Quantitative and Qualitative Models for Fault Detection and Isolation", *Mechanical Systems and Signal*

*Processing*, Vol. 14, pp. 301~325.

(3) Danai, K., and Chin, H., 1991, "Fault Diagnosis With Process Uncertainty", *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, Vol. 113, pp. 339~343.

(4) Staszewski, W., 1998, "Wavelet Based Compression and Feature Selection for Vibration Analysis", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 211, pp. 735~760.

(5) Lin, J. and Qu, L., 2000, "Feature Extraction Based on Morlet Wavelet and Its Application for Mechanical Fault Diagnosis", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 234, pp. 135~148.

(6) Zang, C. and Imregun, M., 2001, "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.

(7) Chen, Z. and Mechefske, C., 2002, "Diagnosis of Machinery Fault Status using Transient Vibration Signal Parameters", *Journal of Vibration and Control*, Vol. 8, pp. 321~335.

(8) Jung, Won-Sik, 2000, "Fault Diagnosis of a Pump Using Analysis of Vibration Signal", Master Thesis, Kunsan National University.