

작동음의 분석을 이용한 펌프의 고장진단

박순재*, 이신영⁺

(논문접수일 2003. 4. 29, 심사완료일 2003. 8. 13)

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 최대로 유지하고, 설비고장 시 신속하게 문제를 해결하여 손실을 줄여야 보다 많은 이익을 창출할 수 있으며^(1,2), 기계를 진단하여 고장을 예방하려는 시도는 오래 전부터 있어 왔다⁽³⁻⁶⁾. 진동 신호는 기계의 동적 정보를 가지고 있으므로 기계의

고장진단에 많이 사용된다⁽⁵⁾.

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.

* 주저자, 군산대학교 기계공학과 (psj@kunsan.ac.kr)

주소: 573-701 전북 군산시 미룡동 산 68번지

+ 군산대학교 기계공학부

이 변질된 신호로부터 원래의 고장을 얼마나 잘 진단하는가가 관건이 된다. 이를 위한 진단신호 처리 방법은 상당히 다양하고 경우에 따라 그 효과가 다르다. Asakura 등⁽¹⁾과 Zang 등⁽⁶⁾은 신경회로망 이론을 이용하여 고장진단을 하였고, Staszewski⁽²⁾와 Lin 등⁽⁵⁾은 웨이블릿 변환을 이용하여 잡음이 혼재된 신호로부터 기계의 고장진단 정보를 추출하였다. 또, Jung⁽⁷⁾은 대상물에 인위적인 손상을 가하고 대상의 구동에 대한 진동 신호를 측정하여 여러 가지 고장 유형을 판별하였다.

본 연구는 Jung⁽⁷⁾의 연구에서 착안하여 이루어졌으며 그 연장선상에 있음을 밝힌다. Jung⁽⁷⁾의 연구에서처럼 진동신호를 측정하는 경우, 펌프의 경우 가속도계의 부착 위치가 명료하지 못하고, 가동에 따라서 열이 발생하여 가속도계에 악영향을 미친다. 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.

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 DP104-100 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 진동실험에서의 가속도계의 장착지점을 나타낸다. 가속도계의 장착지점은 모터축 측 회전자의 부하측 베어링 케이싱의 수직(VX1) 및 수평(HX1), 블레이드가 위치한 케이스 측 수직(VX2) 및 수평(HX2)지점이었다.

펌프는 정상 상태, 모터 냉각 핀(fin)의 일부를 덮혀 모터 축에 변형을 가한 것, 블레이드의 일부를 연삭하여 불평형을 준 것, 베어링의 볼의 일부를 연삭하여 전동체에 인위적 이상을 가한 것 등 4종류, 각 종류별 2대(Fig 4~7까지 (a), (b)로 구분)씩 총 8대에 대하여 음향 신호 및 진동 신호를 분석하였다. 구동 전원은 AC 동력공급장치를 이용하여 54Hz~64Hz 사이에서 변화시켜가며 구동회전수를 조절하였다.

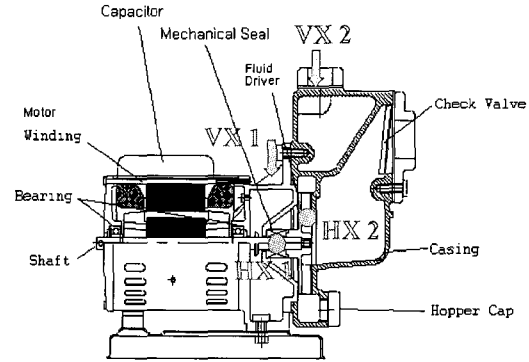


Fig. 1 PU-250M pump

음향측정에서 프로브 마이크로폰은 VX2⁽⁷⁾의 수직 상방에서 측정하였고 음향신호를 측정하여 증폭기를 거친 후 FFT 분석기로 푸리에 변환을 수행하였으며 측정신호에서 압소음을 제외한 값을 도시하였다.

3. 결과 및 고찰

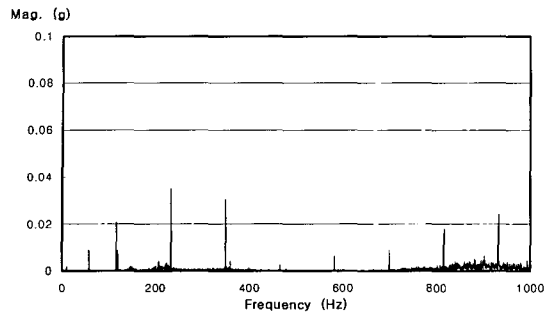
3.1 진동실험 결과

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 58.125Hz인 회전주파수(f_r)에 해당하는 피크가 크게 발달하였고, 전체적으로 작은 피크들도 증가한 것을 볼 수 있다. 축의 핀 일부를 덮힌 펌프 진동의 경우는 현상 변경이 전체에 비하여 매우 작기 때문에 정상펌프의 신호와 확연히 구분할 수 있는 신호가 발생하지 않았다. 베어링의 전동체 중 일부를 연마한 펌프는 고주파 영역인 $31.5 f_r$ (1827Hz) 부근의 새로운 피크가 발생하였다.

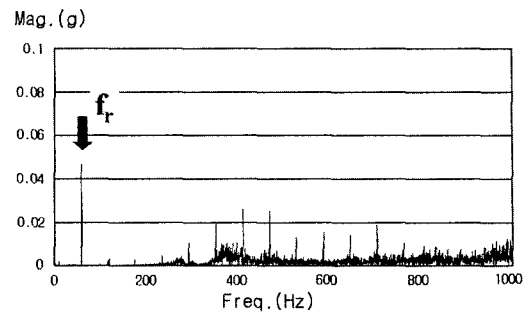
Fig. 3에서는 구동 주파수의 변화에 따라 피크들이 이동함을 볼 수 있다.

3.2 소음 실험 결과

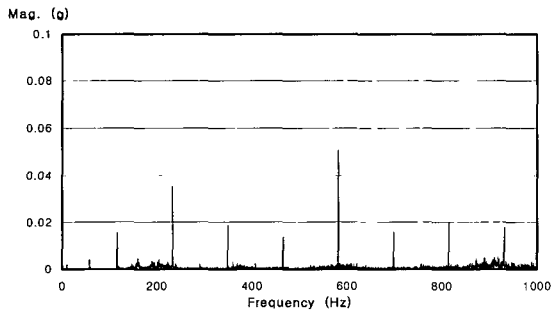
Figs. 4~7은 구동전원의 주파수 변화에 따른 여러 상태의 펌프로부터 측정된 음향신호를 나타낸다. 음향신호를 측정하여 FFT 분석기로 푸리에 변환을 수행하였으며 측정신호에서 배경 소음을 제외한 값을 도시하였다. 여기서 배경 소음 제외 방법은 모든 환경이 동일한 상태에서 펌프만 정지한 상태의 소음을 측정하여 펌프 가동시 측정신호에서 빼



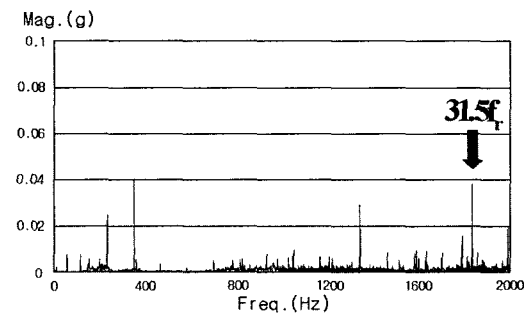
(a) Vibration of a pump in normal condition



(b) Vibration of a pump with unevenly ground blade

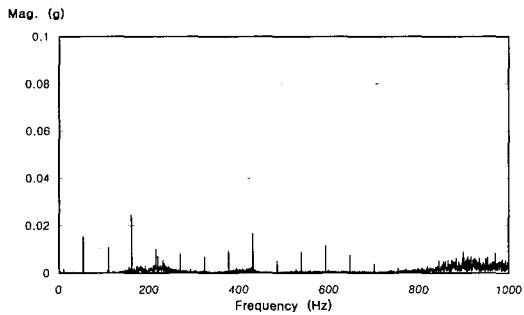


(c) Vibration of a pump with deformed fin in shaft

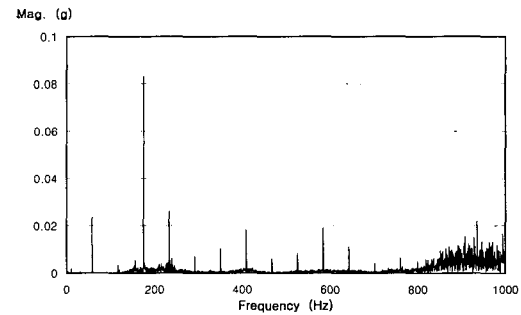


(d) Vibration of a pump in bearing failure condition

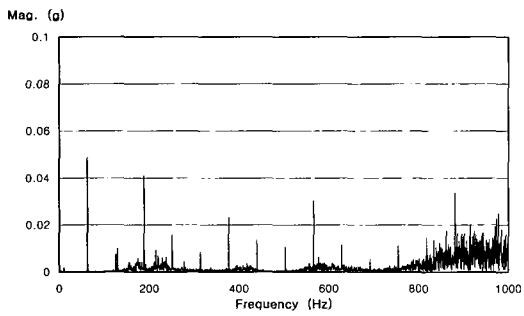
Fig. 2 Vertical vibrations(f_r)



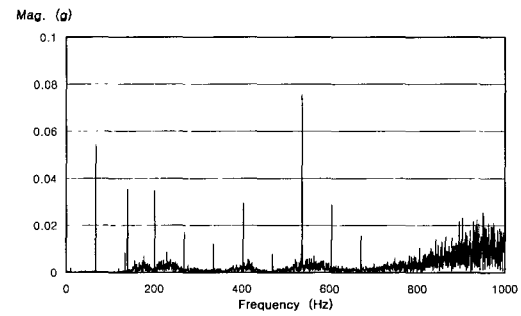
(a) Vibration driven by 53.9 Hz



(b) Vibration driven by 58.5 Hz



(c) Vibration driven by 63 Hz



(d) Vibration driven by 67.2 Hz

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

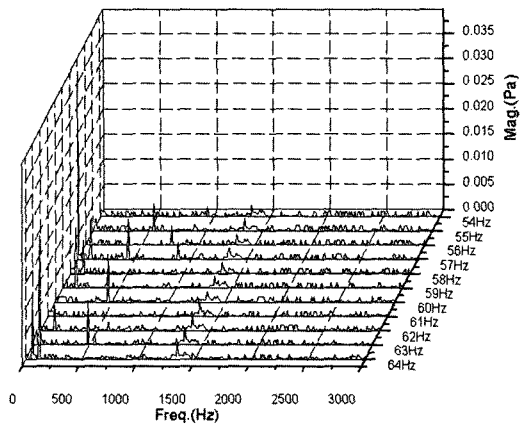


Fig. 4(a) Noise of a normal pump

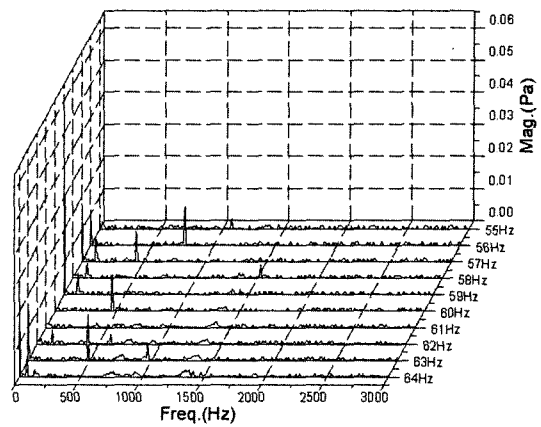


Fig. 4(b) Noise of a normal pump

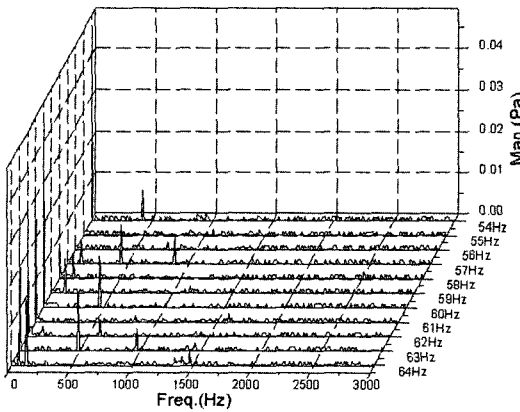


Fig. 5(a) Noise of a pump with a bended cooling fin

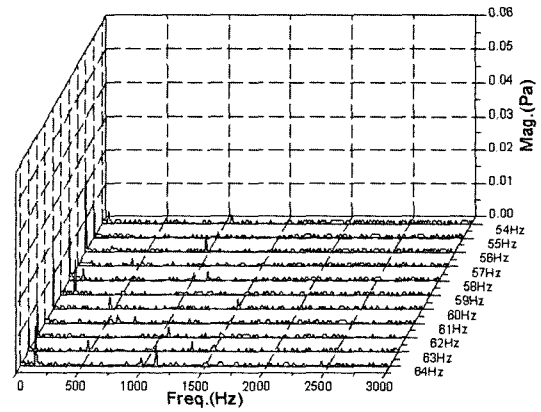


Fig. 5(b) Noise of a pump with a bended cooling fin

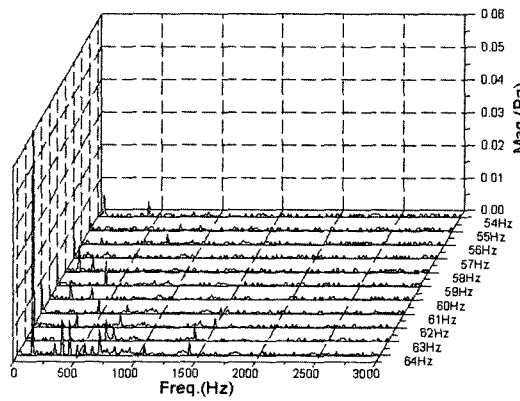


Fig. 6(a) Noise of a pump with unevenly ground blade

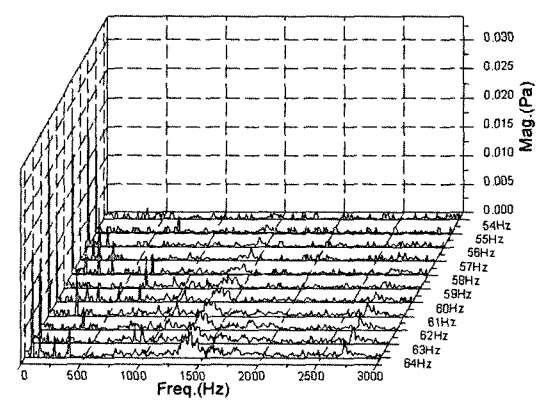


Fig. 6(b) Noise of a pump with unevenly ground blade

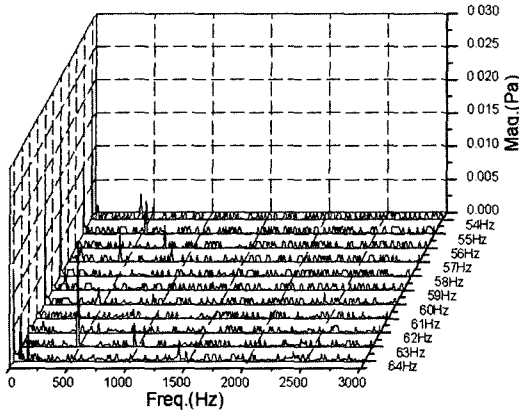


Fig. 7(a) Noise of a pump with damaged bearing

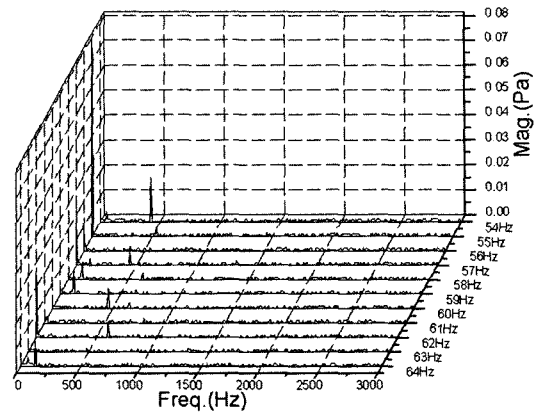


Fig. 7(b) Noise of a pump with damaged bearing

주는 방식으로 하였다. 블레이드 이상 펌프는 진동신호 측정⁽⁷⁾때와 같이 회전주파수(f_r)에서의 피크 값이 크게 증가하였고 진동신호에서는 별 다른 차이가 없던 축의 냉각 팬 일부를 급한 펌프의 경우도 회전 속도의 증가에 따라 진단이 가능한 신호가 측정되었다.

Tables 1~4에는 펌프의 작동 중 발생하는 음향에서 미작동시의 음향을 뺀 결과를 집약하였고 각 피크 값의 크기 순서를 구동주파수의 배수로 나타내었다. Tables 1~4를 보면, Table 2는 14배, 18배, 20배의 피크가, Table 3은 7배, 11배의 피크가, Table 4는 14배의 피크가 정상펌프인 Table 1에 비해 두드러지게 많음을 볼 수가 있다. 각 펌프

의 작동시 발생하는 소음에서 배경 소음을 제외한 상태의 피크치들이 각 고장 펌프별로 일정한 경향을 나타내는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 펌프의 작동 중 발생하는 음향 신호를 측정하여 분석함으로써 고장진단이 가능한지를 파악하고자 하였다. 펌프의 구성 요소에 인위적인 손상을 가하고, 구동주파수를 변화시켜가며 측정된 음향 데이터를 분석한 결과가 Tables 1~4에 나열되어 있다. 음향 실험결과에서도 나

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 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 - <u>14X</u>
	55	4X - 6X - 8X - 2X - <u>14X</u>
	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 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 - <u>20X</u>
	55	8X - 1X - 12X - 14X - 4X
	56	4X - 6X - <u>18X</u> - 2X - 8X
	57	4X - 2X - 6X - 8X - <u>20X</u>
	58	2X - 4X - 10X - <u>20X</u> - 14X
	59	2X - 6X - 4X - 8X - 12X
	60	2X - 8X - 6X - 10X - <u>20X</u>
	61	2X - 8X - 18X - 6X - 12X
	62	2X - 8X - 12X - 18X - 6X
	63	2X - 12X - 6X - 8X - 16X
	64	2X - 12X - 8X - 16X - <u>18X</u>

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 - <u>7X</u>
	55	1X - 8X - 6X - <u>7X</u> - <u>11X</u>
	56	1X - 4X - 8X - 14X - <u>7X</u>
	57	1X - 4X - 2X - <u>7X</u> - 13X
	58	1X - 2X - 4X - <u>7X</u> - 8X
	59	1X - 2X - <u>7X</u> - 3X - 12X
	60	1X - 2X - 3X - 5X - <u>7X</u>
	61	1X - 2X - <u>7X</u> - 8X - <u>11X</u>
	62	1X - 2X - <u>7X</u> - 6X - 8X
	63	1X - 2X - 6X - <u>11X</u> - 12X
	64	1X - 2X - 6X - <u>7X</u> - <u>11X</u>

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 - <u>7X</u>
	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 - <u>11X</u>
	62	1X - 2X - 6X - 10X - <u>11X</u>
	63	1X - 2X - <u>11X</u> - 6X - 4X
	64	1X - <u>11X</u> - 6X - 4X - 15X

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 - <u>14X</u>
	55	8X - 6X - 10X - <u>14X</u> - 16X
	56	10X - 4X - <u>14X</u> - 6X - 2X
	57	4X - 10X - 8X - 1X - 2X
	58	4X - 1X - <u>14X</u> - 2X - 8X
	59	4X - 2X - 6X - <u>14X</u> - 1X
	60	2X - 6X - <u>14X</u> - 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 - <u>14X</u>
	55	8X - 12X - 1X - <u>14X</u> - 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 - <u>14X</u>

타냈듯이 각 펌프마다 두드러지게 많은 배수 피크를 볼 수가 있다. 각각의 인위적인 변형에 대해 나타나는 특정 피크를 알아냈으며, 특히, Table 2에서 보여지는 것처럼 진동측정에서는 구분하기 곤란했던 축의 미세 불균형 상태에 대해서도 진단이 가능하였다.

결론적으로 센서를 직접 작동물에 부착하여 이루어지는 진동측정에 의한 진단에 비해, 마이크로폰을 이용한 작동음 분석을 통한 진단 방법이 오히려 신호의 미세한 부분을 취득함에 있어 더 우수함을 알 수 있었고, 진동측정에 비하여 용이한 마이크로폰을 이용한 음향측정만으로도 장비의 고장진단이 가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- (1) Asakura, T., Kobayashi, T., Xu, B. and Hayashi, S., 2000, "Fault Diagnosis System for Machines Using Neural Networks", *Int. J. of JSME, Series C*, Vol. 43, pp. 364~371.
- (2) Staroswiecki, M., 2000, "Quantitative and Qualitative Models for Fault Detection and Isolation", *J. of MSSP*, Vol. 14, pp. 301~325.
- (3) Lee, S. H., Kim, J. S., Kim, B. S., Song, J. Y., Lee, S. W., Park, H. Y. and Park, J. K., 2000, "A Study on Failure Mode Analysis for Reliability Assessment of Maching Center", *Trans. of KSPE*, 00F228, pp. 1010~1013.
- (4) Lee, S. W., Song, J. Y., Kang, J. H., Hwang, L. H., Lee, H. Y. and Park, H. Y., 2000, "Evaluation of Reliability for Critical Unit of Machinery System", *Trans. of KSPE*, 00F229, pp. 1014~1017.
- (5) Lin, J. and Qu, L., 2000, "Feature Extraction Based on Morlet Wavelet and Its Application for Mechanical Fault Diagnosis", *J. 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", *J. of Sound and Vibration*, Vol. 242, pp. 813~827.
- (7) Jung, W. S., 2000, *Fault Diagnosis of a Pump Using Analysis of Vibration Signal*, Master Thesis, Kunsan National University.
- (8) Danai, K. and Chin, H., 1991, "Fault Diagnosis With Process Uncertainty", *J. of DSMC*, Vol. 113, pp. 339~343.
- (9) Maeng, M. J. and Chung, J. K., 2001, "Wear Detection of Coated Tool Using Acoustic Emission", *Trans. of KSMTE*, Vol. 10, No. 5, pp. 9~16.
- (10) Cho, D. H., Lee, S. T., Won, J. S. and Jung, Y. G., 2000, "Monitoring of Chatter Vibration by Frequency Analysis of AE Signals", *Trans. of KSMTE*, Vol. 9, No. 5, pp. 157~164.