

전류신호 분석을 통한 저널베어링 이상상태 진단 Diagnosis of a Journal Bearing Fault via Current Signature Analysis

박진석[†] · 허 형^{*} · 정경훈^{*} · 이규만^{*} · 박근배^{*}

Jin Seok Park, Hyung Huh, Kyeong Hoon Jeong, Kyu Mahn Lee and Keun Bae Park

Key Words : Motor Current Signature Analysis(전동기 전류 신호 분석), Air Gap Eccentricity(공극 편심), Journal Bearing Wear(저널베어링 마모)

ABSTRACT

A study on motor current signature analysis has been executed for monitoring the fault of journal bearing due to wear. The air gap eccentricity of motor produces specific frequencies in motor current, the supplied current frequency plus and minus rotational rotor frequency. The air gap eccentricity is simulated by the clearance of journal bearing. The amplitudes of the specific frequencies increase with the increasing clearances. The amplitudes of the specific frequencies continue to increase over the wear limit that is used in the manufacturer of the test motor. Though clear relations between the amplitudes of the specific frequencies and the clearances are not obtained in this paper, the specific frequencies can be used as an indicator of a journal bearing fault. Further study is necessary to make out the quantitative relations between the specific frequencies and the clearances.

1. 서 론

모터 전류 신호분석(motor current signature analysis: MCSA)을 통하여 회전축의 기계적 이상상태를 감시하는 기술에 대하여 국내외 학계나 연구소에서 많은 연구가 시작되고 있다. 모터 전류 신호분석 관련 기술을 연구하는 이유는 간편하며, 적은 비용으로 모터의 전기적 결함 또는 회전축의 이상 상태와 같은 기계적 결함을 감시 할 수 있기 때문이다. 현재 MCSA 방법으로 회전축 또는 전동기의 이상 상태를 감시하려는 움직임을 보이고 있으며, 향후 펌프의 유량, 토크, 캐비테이션 등의 이상 상태까지 감시하는 수단으로 활용하려는 추세를 보이고 있다.

국내의 산업계에서 사용하는 많은 회전기기의 수명이 오래된 시점이기 때문에 앞으로 유지보수에 관심을 갖는 것은 필연적이다. 따라서 회전기기 혹은 펌프의 이상상태를 효율적으로 감시하는 방법으로서 MCSA 관련 수요는 계속 증가할 전망이다.

본 연구는 전동기의 전류신호를 분석하여 저널베어링의 이상상태를 감시하는 방법에 대한

연구로서 저널베어링의 틈새비에 따라 전동기에 공급되는 전류 신호의 특정 주파수 분석을 수행하였다.

2. 전류신호

저널베어링의 마모가 많아지면 전동기 공극(air gap) 편심을 초래하며, 이로 인하여 기자력 파형의 변화가 생긴다^[1, 2]. 기자력 파형의 변화로 인한 고정자(stator)의 전류 주파수는 다음과 같이 주어진다.

$$f_e = f_s \pm m \times f_r \quad (1)$$

f_e = 공극 변화에 따른 전류 신호 주파수, Hz

f_s = 공급 전류의 주파수, Hz

$m = 1, 2, 3 \dots$

f_r = 회전자(rotor)의 회전 주파수, Hz

식 (1)에 의하면 회전자를 지지하는 요소인 베어링 등과 같은 기계적인 요동이 고정자의 특정 전류 주파수를 발생시키는 것을 알 수 있다.

3. 시험장치

† 책임저자: 한국원자력연구소 기계공학연구부

E-mail : jspark1@kaeri.re.kr
Tel : (042) 868-2640, Fax : (042) 868-8990

* 한국원자력연구소 기계공학연구부

3.1 시험조건

저널베어링으로 지지된 2.2kW 캔드모터를 제작하였다. 공극의 변화를 주기 위하여 저널베어링의

틈새비(c/r)를 조정하였다. 여기서 c 는 저널베어링의 틈새이며, r 은 저널의 반경을 나타낸다. 저널의 외경(d)과 베어링의 내경(D)이 주어지면 저널베어링의 틈새는 $(D-d)/2$ 이다.

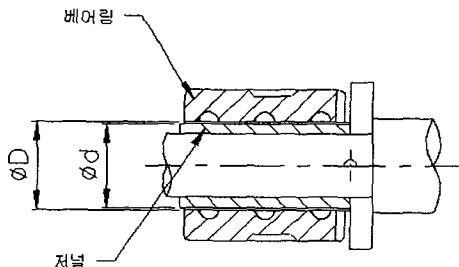


그림 1. 저널베어링 주요 치수

표 1 과 같이 저널베어링의 틈새비를 4 가지로 변화하면서 시험을 수행하였다. 틈새비가 0.010인 경우는 정상적으로 작동하는 베어링의 조건에 해당하며, 0.015의 틈새비는 시험에 사용된 전동기를 제작하는 회사에서 경험적으로 정해 놓은 베어링 마모 한계이다.

표 1. 저널베어링 틈새비

순서	베어링 내경 (mm)		저널 외경 (mm)		틈새비 ($\frac{D-d}{d}$)	
	Left	Right	Left	Right	Left Bearing	Right Bearing
1	28.18	28.18	27.9	27.9	0.010	0.010
2	28.32	28.32	27.9	27.9	0.015	0.015
3	28.46	28.46	27.9	27.9	0.020	0.020
4	28.60	28.60	27.9	27.9	0.025	0.025

전동기 공극의 편심은 10% 까지는 허용할 수 있지만 20%의 편심은 허용할 수 없다고 전동기 제작자가 추천하고 있다. 공극의 편심이 50%가 될 경우에 전동기는 심각한 문제를 발생시킬 수 있다고 알려져 있다^[3]. 본 시험에 사용된 틈새비 0.010은 약 10%의 편심에 해당하는 값이며, 틈새비 0.015는 제작사에서 추천하고 있는 베어링 마모 한계로서 약 15%의 편심에 해당한다. 그리고 틈새비가 0.020, 0.025는 각각 약 20%, 25%의 편심에 해당하는 값이다

3.2 시험장치

전류신호 분석을 위한 시험장치는 그림 2와 같이 농형유도 캔드모터(canned motor), 전류센서, 레코더, 신호분석기, dynamometer 등으로 구성된다. 전류센서에서 측정할 수 있는 주파수 영역은 DC 부터 10kHz 까지이며, 10mV/A 의 출력 사양을 갖는다. 베어링 몸체에 부착한 근접센서는 회전축의 진동을 측정하기 위한 센서이다.

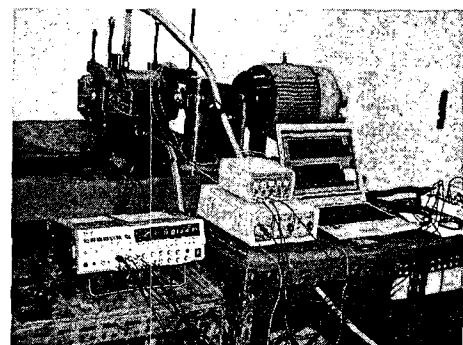


그림 2. 저널베어링 이상상태 진단을 위한 시험 장치

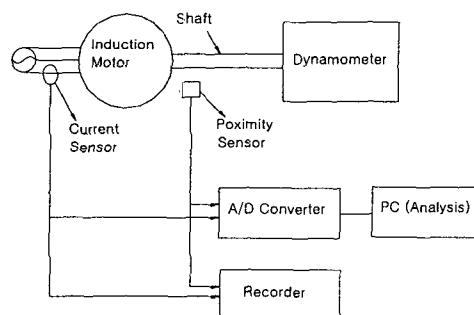


그림 3. 시험장치 개념도

4. 시험 결과 및 분석

4.1 시험결과

그림 4는 틈새비가 0.010인 저널베어링을 장착한 전동기에서 측정한 전류신호이다. 이때 근접센서에서 회전축의 진동을 함께 측정하였다. 전동기에 공급 전원의 공급 주파수는 60Hz이며, 그림 4에서 측정된 전동기 슬립은 약 0.1로서 회전자 회전속도는 54Hz이다. 베어링의 마모로 발생한 편심 때문에 발생하는 전류 주파수는 식 (1)에 의하면 하위 주파수(f_1)는 6Hz이며, 상위 주파수(f_2)는 114Hz이다. 근접센서에서 측정된 진동신

호는 약 54Hz이며 크기는 0.027이다. 그림 4에서 표시된 전류신호 및 진동신호 주파수의 크기는 비교가 용이 하도록 최대 값이 1을 넘지 않도록 설정되었다.

그림 5는 틈새비가 0.015인 저널베어링을 장착한 전동기에서 측정한 전류신호이다. 베어링 마모에 의한 회전자의 진동으로 발생하는 f_1 주파수는 7Hz이며, f_2 주파수는 113Hz이다. 그림 5에서 발생한 f_1 및 f_2 주파수 성분의 크기는 그림 4와 같이 틈새비가 작은 경우보다 큰 것을 알 수 있다.

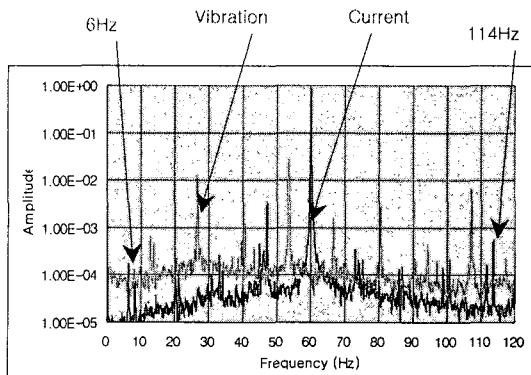


그림 4. 틈새비 0.010 일 때 전류신호 및 진동신호

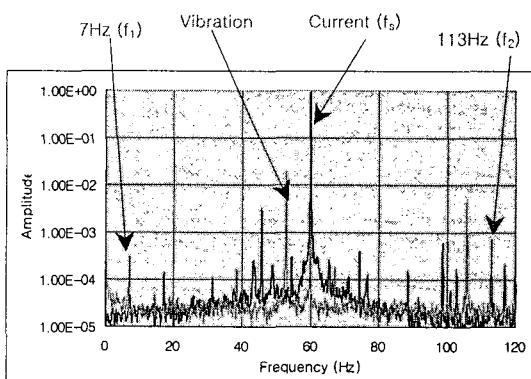


그림 5. 틈새비 0.015 일 때 전류신호 및 진동신호

제작사에서 경험적으로 정해 놓은 베어링 마모한계를 넘는 틈새비 0.02 및 0.025인 저널베어링을 장착한 전동기의 전류신호와 진동신호를 분석한 것 중에서 틈새비가 0.025인 전류신호와 진동신호는 그림 6과 같다.

그림 6에서와 같이 베어링 마모에 의한 회전자의 진동으로 발생하는 하단 주파수는 7Hz이며,

상단에 발생하는 전류 주파수는 113Hz로서 틈새비가 0.010인 경우와 유사하다. 하지만 f_1 , f_2 의 크기는 증가한 것을 알 수 있다. 근접센서에서 측정된 진동신호의 주파수도 틈새가 0.010인 경우와 유사하지만 진폭은 0.13으로 크게 증가하였다

4.2 결과분석

제작사에서 설정한 저널베어링의 마모 한계에 해당하는 틈새비 0.015보다 작은 0.010의 틈새비에서 얻은 전류신호와 진동신호를 기준신호로 설정하여 다음 틈새비의 저널베어링을 장착한 전동기에서 얻은 전류신호와 진동신호를 각각 비교하였다.

표 2는 각각의 틈새비에 해당하는 저널베어링을 장착한 전동기에서 얻은 전류신호와 진동신호를 나타낸다. 전류신호의 특정 주파수 f_1 , f_2 는 틈새비가 증가함에 따라 크기가 증가함을 보였다. 마모한계를 초과하는 저널베어링의 틈새비에 해당하는 진동신호는 기준신호의 진동 크기보다 매우 증가함을 알 수 있다. 일반적으로 기준 신호 진동 크기보다 2.6배 이상일 경우에 이상상태 발생 초기로 간주하며, 6배 이상의 경우는 적절한 조치가 필요한 상황이다^[4].

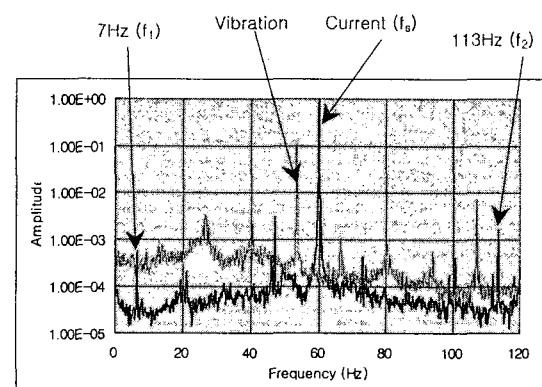


그림 6. 틈새비 0.020 일 때 전류신호 및 진동신호

표 2. 틈새비에 따른 전류 주파수 크기 및 진동 주파수 크기

틈새비	Current Amplitude		Vibration Amplitude
	f_1	f_2	진동
0.010	1.75E-04	5.64E-04	0.027
0.015	3.13E-04	7.41E-04	0.018
0.020	5.64E-04	1.68E-03	0.114
0.025	1.13E-03	2.85E-03	0.138

참고문헌

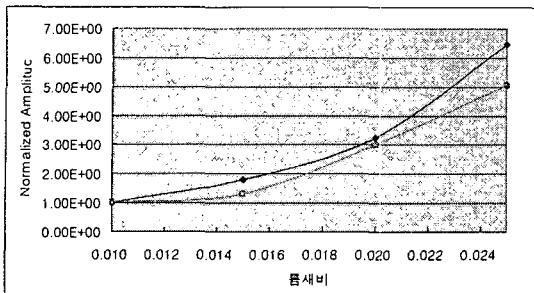


그림 7. 틈새비에 따른 전류의 특정주파수 크기 변화

5. 결 론

저널베어링의 틈새비가 증가함에 따라서 전류의 특정 주파수(f_1 , f_2) 크기가 함께 증가하였다. 경험적으로 설정한 베어링의 마모 한계를 초과하여도 전류 주파수 f_1 , f_2 크기는 여전히 증가하였다.

특정 전류 주파수의 크기와 저널베어링 마모 한계와의 정량적인 관계를 규명하여 저널베어링 이상상태를 감시하는 데 활용하기 위한 연구가 더 필요하다.

(1) W. T. Thomson, "On-Line Current Monitoring-The Influence of Mechanical Loads/Unique Rotor Design on the Detection of Broken Rotor Bars in Squirrel Cage Induction Motor", ICEM '92, UMIST, September 1992.

(2) R. R. Schoen, B. K. Lin, F. G. Habetler, H. J. Shlog and S. Farag, "An Supervised On-Line System for Induction Motor Fault Detection Using Stator Current Monitoring", IEEE-IAS Transactions, November/December, Vol31, No 6, 1995, pp 1280-1286.

(3) W. T. Thomson, "On-Line Current Monitoring and Application of a Finite Element Method to Predict the Level of Static Airgap Eccentricity in Three-Phase Induction Motors", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 13, No. 4, December 1998.

(4) ASME OM CODE-1998, Code for Operation and Maintenance of Nuclear Power Plants, 1998, The American Society of Mechanical Engineers.