

마모 단계의 볼 베어링에 대한 적외선 열화상 비파괴 결합 진단 연구

Study on NDT Fault Diagnosis of the Ball Bearing under Stage of Abrasion by Infrared Thermography

서진주*, 홍동표*, 김원태**†

Jin-Ju Seo*, Dong-Pyo Hong* and Won-Tae Kim**†

초 록 기존 진단법과 달리 동적 하중조건하 회전체의 마모 단계에 따른 결합 진단을 위해 비접촉, 비파괴의 적외선 열화상 기법이 제안된다. 본 연구에서는 시험시편인 단열 깊은 홈의 볼 베어링을 설정하여 기존의 스펙트럼 분석과 같은 고장탐지법에 대한 대안으로써 수동형 열화상시험이 수행되었다. 본 연구로부터, 적외선 열화상시험은 신뢰성을 평가하기 위해 기존 진동 스펙트럼 분석시험과 비교, 분석되었다. 연구의 비파괴시험의 결과로써, 마모 단계에 따른 볼 베어링의 온도 특성이 분석되었다.

주요용어: 적외선 열화상, 결합 진단, 볼베어링, 스펙트럼 분석, 마모

Abstract For fault detection about the abrasion stage of rotational machineries under the dynamic loading conditions unlike the traditional diagnosis method used in the past decade, the infrared thermographic method with its distinctive advantages in non-contact, non-destructive, and visible aspects is proposed. In this paper, by applying a rotating deep-grooved ball bearing, passive thermographic experiments were conducted as an alternative way to proceeding the traditional fault monitoring on spectrum analyzer. As results, the thermographic experiment was compared with the traditional vibration spectrum analysis to evaluate the efficiency of the proposed method. Based on the results obtained as NDT, the temperature characteristics and abnormal fault detections of the ball bearing according to the abrasion stage were analyzed.

Keywords: Infrared Thermographic, Fault Diagnosis, Ball Bearing, Spectrum Analyzer, Abrasion

1. 서 론

최근 산업체 현장에서 결합 검사 시스템은 매우 중요한 부분을 차지하고 있다[1]. 자동화된 생산라인에서 한 대의 기계에 이상이 발생하면, 시스템 전체에 미치는 영향이 매우 크다. 따라서 주기적인 결합 진단을 통해 기계의 파손 부위 및 상태를 조기에 판정하고 대책을 수립해야 한다

[2,3]. 이상 진단에 있어 과거와 같이 기계를 정지시킨 상태에서 분해, 검사하는 방법은 운영시간의 단축과 그에 따른 손실이 따라온다[4]. 하지만 적외선 열화상기법은 적외선 영상장치를 이용하여 물체 표면의 열화상을 촬영하고 온도분포나 그 변동 상황을 해석하여 물체의 내부 상태를 추정한다. 또한 결합 부위의 구체적 진단이 가능하다. 기계 시스템의 온도분포와 열적 변화에 대한

데이터를 얻을 수 있기 때문에 이상 온도변화로 인한 결함을 판별하는데 많은 활용도를 보이며 의학·우주·공학 및 제조 분야에서 광범위하게 활용되고 있다[5]. 본 연구에서는 베어링의 결함 진단을 위해 적외선 열화상 장치를 이용한 검사 방법이 수행되었다.

2. 실험 장치 구성

시험편으로 사용한 베어링(bearing)은 단일 깊이는 홈 볼 베어링에서 가장 널리 사용하는 B6XXX 계열을 선택하였고, 그 중에서 B6304를 사용하여 실험을 수행하였다. Table 1은 실험에 사용한 베어링의 규격이다.

동력부와 측정 대상체인 베어링(B6304) 사이에 단순 지지를 위해서 베어링 B6804와 하우징을 설치하였다. Fig. 1은 실험을 수행한 장치 구성의 개략도를 보여주며, Fig. 2는 축에 장착된 1, 3, 5 kg의 원형 추이다. 그리고 Fig. 3은 마모 단계에 따른 베어링의 형상이다. 본 실험에서 마모조건은 베어링 외륜의 거칠기를 측정하여 $0.5 \mu\text{m} \sim$

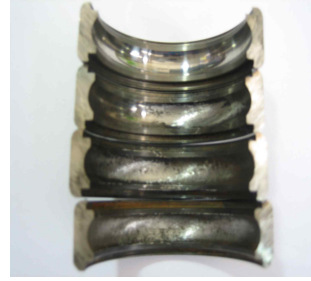


Fig. 3 The bearing 6304 of abrasion

$0.7 \mu\text{m}$, $0.7 \mu\text{m} \sim 0.9 \mu\text{m}$, $0.9 \mu\text{m} \sim 1.1 \mu\text{m}$ 의 세 단계로 나누어 수행하였다. 정상상태 베어링의 거칠기는 $0.2 \mu\text{m}$ 이하이다. 따라서 하중조건 하의 베어링 마모 단계에 따른 온도 특성에 대한 실험을 수행했다. 동력부는 800 W에 1 HP인 APM-SC08ADK 서보 모터를 사용하여 각각 1000, 2000, 3000 rpm에서 실험하였으며 적외선 열화상 기법의 신뢰성과 정확성 및 기존의 진단 방법보다 우수한 성능의 고찰을 위하여 real wave analyzer를 사용하였다. 실험에 사용된 적외선 카메라의 모델은 프랑스 Cedip社의 Silver 450 M이다.

Table 1 Standards of B6304 [unit: mm]

Bearing Name	Outer Dia. (D)	Inside Dia. (d)	Ball Diameter	Ball Number
B6304	52	20	7.9	7

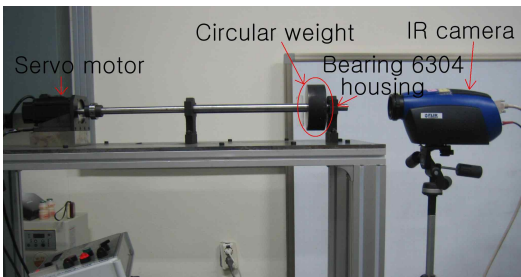


Fig. 1 Rotation laboratory device



Fig. 2 Circular weight

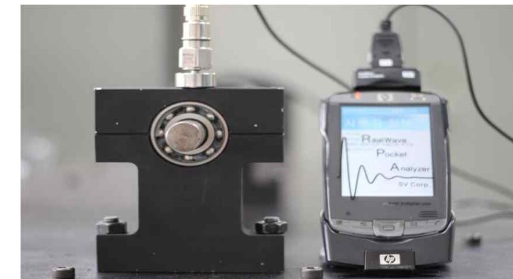


Fig. 4 The frequency diagnostic test

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 진동 실험에 의한 결함 분석

본 연구에서는 적외선 열화상 카메라를 사용한 측정 방법에 앞서 기존의 결함 진단 방법과 적외선 열화상 기법을 이용한 결함 진단 방법의 차별성을 두기 위해 베어링의 결함 진단법으로써 흔히 사용하는 주파수 진단법으로 실험을 수행하였다. 실험장치의 구성은 Fig. 4와 같다. 이 방법은 하우징에 직접적으로 가속도계를 부착하여 실시

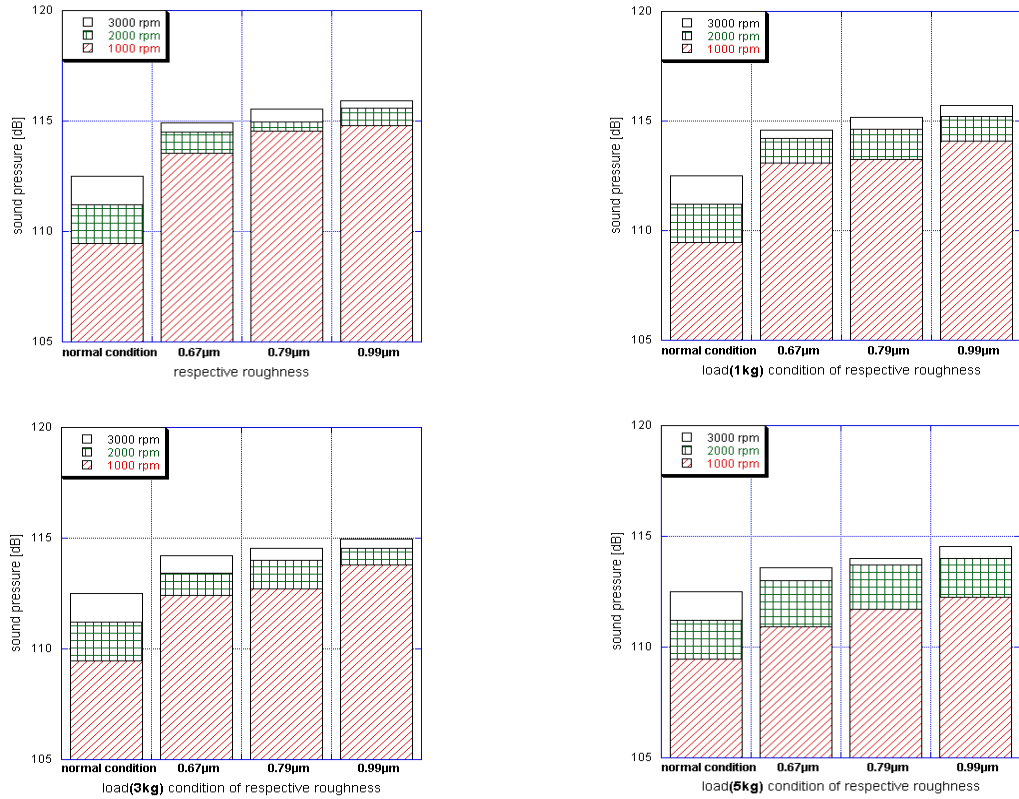


Fig. 5 The sound pressure pattern according to the load and abrasion conditions

간으로 데이터를 전송받아 나온 그래프를 분석하여, 주파수-크기 선도에서 특정 주파수에 따른 음압의 크기에 대한 결과 값으로 이상 유무를 판단하는 방법이다. 시간-진폭의 형태는 푸리에 변환을 통하면 진동수-진폭의 영역에서 바라볼 수가 있다. 다시 말해, 대부분의 소리는 몇 개의 특정한 주파수에서 파동이 강하게 나타나는데 이를 피크라고 하고, 사람이 인식하는 음의 높이는 바로 첫 번째 피크의 로그 값에 비례한다[6]. Real wave analyzer와 가속도계를 사용하여 실험을 실시하였으며, Fig. 5는 실험의 결과 값을 나타낸다. Fig. 5의 그래프를 보면 rpm이 높고, 마모가 심할수록 음압은 증가했으며, 하중조건이 커질수록 감소하는 경향을 보였다. 즉, 베어링에 결함이 있을 경우 정상상태의 베어링에 비해 높은 음압 값을 보이는 것을 알 수 있으며, 정확한 측정을 통해 결함의 유무가 판단 가능하다. 동적 하중조건이 가해지는 경우 음압 값이 감소하는 경향을 보이며, Fig. 5에서 5 kg의 하중이 작용하는 경우의 그래프를 보면 정상상태의 음압 값과 근사해

짐을 알 수 있다. 진동 주파수 분석 기법에 의한 하중조건 하의 마모 단계에 따른 결함 진단이 쉽지 않았다.

3.2. 적외선 열화상 기법에 의한 결함 분석

적외선 열화상 카메라를 이용하여 40분 주기로 초당 20 frame을 측정하였으며, 시작 후 3초 이내에 1000, 2000, 3000 rpm에 각각 도달할 수 있도록 설정하여 그에 따른 온도 특성의 변화를 실시간으로 관찰하였다. 베어링의 여러 부분 중 본 실험에서는 발열이 가장 많이 일어나는 베어링의 불과 내, 외륜의 접합부에 대한 데이터를 산출하였다[7]. 측정 온도가 일정 시간 상승하여 온도의 평형이 이루어질 때 최고 온도를 기록하였다.

동적 하중조건 하에서 베어링 거칠기 0.67, 0.79, 0.99 µm 조건의 각 마모 단계에 따른 실험을 수행하였다. 실험의 결과는 Fig. 6과 같다. 마모조건이 심하고, rpm이 높으며, 하중이 커질수록 베어링에 높은 발열이 발생했다. 따라서 베어

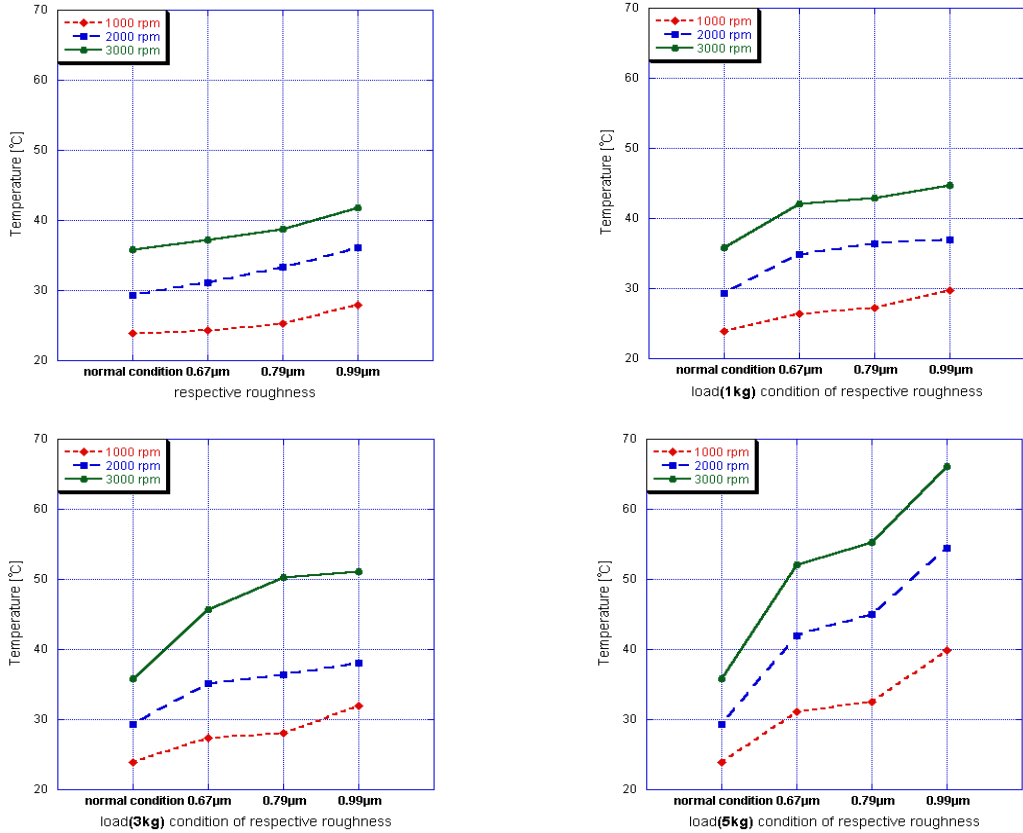


Fig. 6 The temperature pattern according to the load and abrasion conditions

링에 결함이 있을 경우 하중조건에 제한 없이 온도 상승 패턴을 통해 결함의 유무를 판단할 수 있다. Fig. 6에서 5 kg의 하중이 작용하는 경우의 그래프를 보면 특히 하중이 발열에 큰 영향을 미치는 것으로 보였다.

본 연구에서 수행되어진 실험의 고찰로부터, 기존의 회전체 결함 진단법인 주파수 분석법으로 측정된 데이터를 기준으로 적외선 열화상 기법으로 측정된 데이터의 정확성을 비교함으로써 신뢰성을 높이고, 기존의 진단법에서 진단하기 어려운 부분까지 적외선 열화상 기법을 통해 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서 진동 스펙트럼 분석을 통한 베어링의 마모상태에 따른 이상 진단이 가능하였다. 하지만 동적 하중조건 하에서 정상상태 베어링의 값에 비해 결함 베어링의 특정 주파수 변화가 미

세하여 베어링의 상태 판단이 쉽지 않았다. 반면에, 적외선 열화상 기법을 통해 동적 하중조건 하 베어링의 마모조건에 따른 이상 진단이 가능했다.

따라서 결함 메커니즘의 신뢰성 분석에 있어 기존의 방법보다 더 정교하고, 정량적으로 얻어진 데이터를 통한 정확성을 확인했다. 결론적으로, 적외선 열화상 기법을 이용한 결함 진단법은 비접촉, 비파괴 측정 방법으로써 향후 회전체에서의 기계류 고장 메커니즘 분석 및 동적 상태감시(dynamic condition monitoring), 기계류의 동작 상태에서의 이상 진단(abnormal diagnosis)을 실시간으로 모니터링하는 분야에 적용하는데 용이할 것으로 사료된다.

후 기

"이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0015969)."

참고문헌

- [1] J. Kim and D. yang, "Thermo-analysis of machining center main-axis thermo-displacement for infrared rays thermo-image camera," *Proceedings of the Korean Society of Machine Tool Engineers Conference*, pp. 125-130 (2001)
- [2] R. A. Collacott,, *Mechanical Fault Diagnosis and Condition Monitoring*, Chapman and Hall, London (1977)
- [3] A. E. Elsayed, "Knowledge based systems for machinery fault diagnosis," 6th IMAC, pp. 123-128 (1988)
- [4] J. Woon, S. Kim, J. Yoo and J. Lee, "A study on the automatic diagnosis system of ball bearings for rotating machinery," *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 19, No. 8, pp. 1787-1798 (1995)
- [5] D. Kim, H. Yun, S. Yang, W. Kim and D. Hong, "Fault diagnosis of ball bearing within rotational machines using the infrared thermography method," *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, Vol. 30, No. 6, pp. 570-575 (2010)
- [6] J. Seo, H. Yun, D. Kim, D. Hong and W. Kim, "Infrared thermographic diagnosis mechanism for fault detection of the ball bearing under dynamic loading conditions," *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, Vol. 31, No. 2, pp. 134-138 (2011)
- [7] F. P. Incropera and D. P. DeWitt, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer," 7th Ed., John Wiley & Sons (2008)