

동적 하중조건에서 볼 베어링의 고장 탐지에 대한 적외선 열화상 진단메커니즘 고찰

Infrared Thermographic Diagnosis Mechanism for Fault Detection of Ball Bearing under Dynamic Loading Conditions

서진주*, 윤한빛*, 김동연*, 홍동표*, 김원태**†

Jinju Seo*, Hanvit Yoon*, Dongyeon Kim*, Dongpyo Hong* and Wontae Kim**†

초 록 회전기기의 고장 탐지에 있어 기존의 진단법과 달리 동적 하중조건 하에서 비접촉, 비파괴의 적외선 열화상 기법이 제안된다. 본 논문에서는 단일 깊은 홈 볼 베어링을 시편으로 하여, 회전기기의 기존의 고장 진단법 대신 수동형 열화상 기법을 이용한 시험을 수행하였다. 추가적으로, 제안된 방법의 효율성을 평가하기 위해 기존의 진동 스펙트럼 분석법을 적용하여 열화상 시험법을 비교하였다. 시험의 결과로써, 동적 하중조건 하 볼 베어링의 온도분포 특성이 철저히 분석되었다.

주요용어: 적외선 열화상, 고장 탐지, 진단, 스펙트럼 분석, 회전기기

Abstract Fault detection for dynamic loading conditions of rotational machineries was considered from the contactless, non-destructive infrared thermographic method, rather than the traditional diagnosis method. In this paper, by applying a rotating deep-grooved ball bearing, passive thermographic experiment was performed as an alternative way proceeding the traditional fault monitoring. In addition, the thermographic experiments were compared with the vibration spectrum analysis to evaluate the efficiency of the proposed method. Based on the results, it was concluded the temperature characteristics of the ball bearing under dynamic loading conditions were analyzed thoroughly.

Keywords: Infrared Thermographic, Fault Detection, Diagnosis Mechanism, Spectrum Analyzer, Rotational Machinery

1. 서 론

1.1. 연구의 배경

최근 산업체 현장에서 결함 검사 시스템은 매우 중요한 부분을 차지하고 있다[1]. 자동화된 생산라인에서 한 대의 기계에 이상이 발생하면, 시스템 전체에 미치는 영향이 매우 크며 그 고장 및 파손은 큰 손실을 초래하게 된다. 그러므로

주기적인 결함 진단을 통해 기계의 파손부위 및 상태를 조기에 판정하고 대책을 수립해야 한다 [2,3]. 그러나 이상 진단에 있어서 과거와 같이 기계를 정지시킨 상태에서 분해, 검사하는 방법은 운영시간의 단축과 그에 따른 손실이 따라온다[4]. 그러나 적외선 열화상 기법을 사용함으로써 문제를 해결할 수 있다. 이 방법은 적외선 영상장치를 이용하여 물체 표면의 열화상을 촬영하고 온도분포나 그 변동 상황을 해석하여 물체의

내부 상태를 추정한다. 또한 비파괴, 비접촉식 결함 진단 방법으로 기존의 접촉식 검사 방법에 비해 사용의 제약이 적으며, 결함 부위의 구체적인 진단이 가능하다. 게다가 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 적외선 열화상 장치를 이용한 검사 방법이 베어링 결함을 감지하는데 유용하다고 판단하여 적외선 열화상 기법을 통한 베어링 결함 감지에 대한 연구를 진행하였다.

2. 시험편 및 장치 구성

시험편으로 사용한 베어링(bearing)은 단일 깊이는 홈 볼 베어링에서 가장 널리 사용하는 KS B6XXX 계열을 선택하였고, 그 중에서 B6304를 사용하여 실험을 수행하였다. Table 1과 Fig. 1은 실험에 사용한 베어링의 규격과 형상을 각각 보여준다. 그리고 Fig. 2는 실험 장치의 간략한 구성이다. Fig. 3은 축에 장착된 1, 3, 5 kg의 원형 추이다. 동력부와 측정 대상체인 베어링(B6304) 사이에 단순 지지를 위해서 베어링 B6804와 하우징을 설치하였다. 통상적인 시설물, 회전체에서 사용되어지는 베어링의 형상을 구현하고, 베어링에 작용하는 하중조건을 가정하기 위해 축에 1, 3, 5 kg의 원형 추를 장착하여 베어링에 윤활유가 있을 때와 없을 때, 하중조건에 따른 온도특성에 대해 실험을 수행하였다. 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.

3. 결과 및 고찰

3.1. 진동 실험에 의한 결함 분석

본 연구에서는 적외선 열화상 카메라를 사용한 측정 방법에 앞서 기존의 결함 진단 방법과 적외

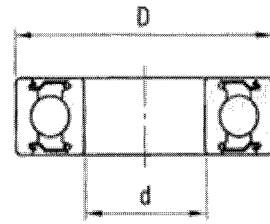


Fig. 1 Schematic diagram of deep groove ball bearing

Table 1 Standards of B6304 [unit : mm]

| Bearing Name | Outer Dia. (D) | Inside Dia. (d) | Ball Diameter | Ball Number |
|--------------|----------------|-----------------|---------------|-------------|
| B6304 | 52 | 20 | 7.90 | 7 |

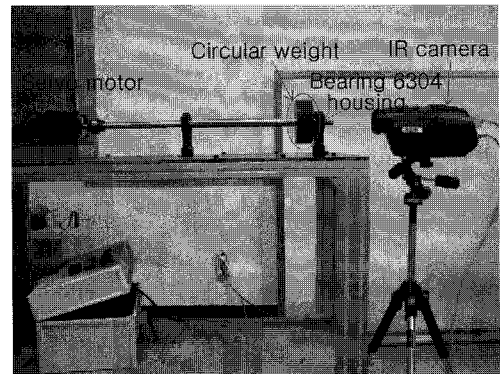


Fig. 2 Rotation laboratory device

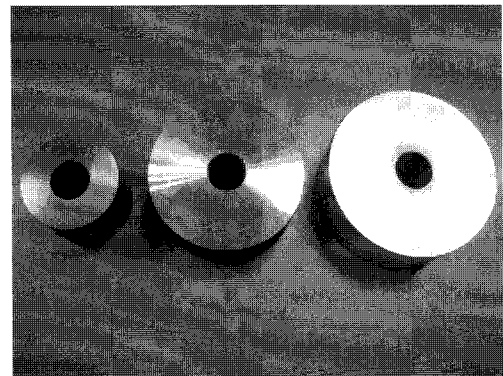


Fig. 3 Circular weight



Fig. 4 The frequency diagnostic test

선 열화상 기법을 이용한 결함 진단 방법의 차이점 및 차별성을 두기 위하여 베어링의 결함 진단 방법으로써 가장 흔히 사용되어지는 기존의 주파수 진단법으로 실험을 수행하였다. 실험장치의 구성은 Fig. 4와 같다. 이 방법은 하우징에 직접적으로 가속도계를 부착하여 실시간으로 데이터를 전송받아 나온 그래프를 분석하여, 주파수-크기선도에서 특정주파수에 따른 음압의 크기에 대한 결과 값으로 이상 유무를 판단하는 방법이다. 시간-진폭의 형태는 푸리에 변환을 통하여 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. Real wave analyzer와 가속도계를 사용하여 실험을 실시하였으며, Fig. 5와

같이 음압 값으로 데이터를 분석하였다. 실험의 결과 0 ~ 6000 Hz 대역에서 전체적으로 100 dB 이상의 높은 음압을 보였고, 윤활유가 없는 상태는 윤활유가 있는 상태보다 음압이 높게 나타남을 알 수 있었다. 또한 Table 2의 수치를 보면 베어링의 윤활유 유무에 따라 진동수 레벨의 크기 값에서 확인한 차이를 보였다. 하지만 윤활유의 유무와는 상관없이, 동적 하중조건 하의 진동수 레벨의 크기 값은 특별한 패턴을 보이지 않아 베어링에 작용하는 하중조건에 따른 이상상태를 판별하는데 한계가 있었다.

3.2. 적외선 열화상 기법에 의한 결함 분석

실험은 적외선 열화상 카메라를 이용하여 40분 주기로 초당 20 frame을 측정하였다. 또한 시작

Table 2 Sound pressure data of B6304 [unit : dB]

| B6304 | full lubricating | | | | no lubricant | | | |
|----------|------------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| | 0 kg | 1 kg | 3 kg | 5 kg | 0 kg | 1 kg | 3 kg | 5 kg |
| 1000 rpm | 109.1 | 109.8 | 112.1 | 107.3 | 114.4 | 114.6 | 112.5 | 113.4 |
| 2000 rpm | 112.1 | 113.6 | 113.8 | 113.9 | 114.6 | 113.9 | 113.9 | 114.5 |
| 3000 rpm | 113.5 | 113.6 | 114 | 113.7 | 114.3 | 114 | 114.3 | 113.9 |

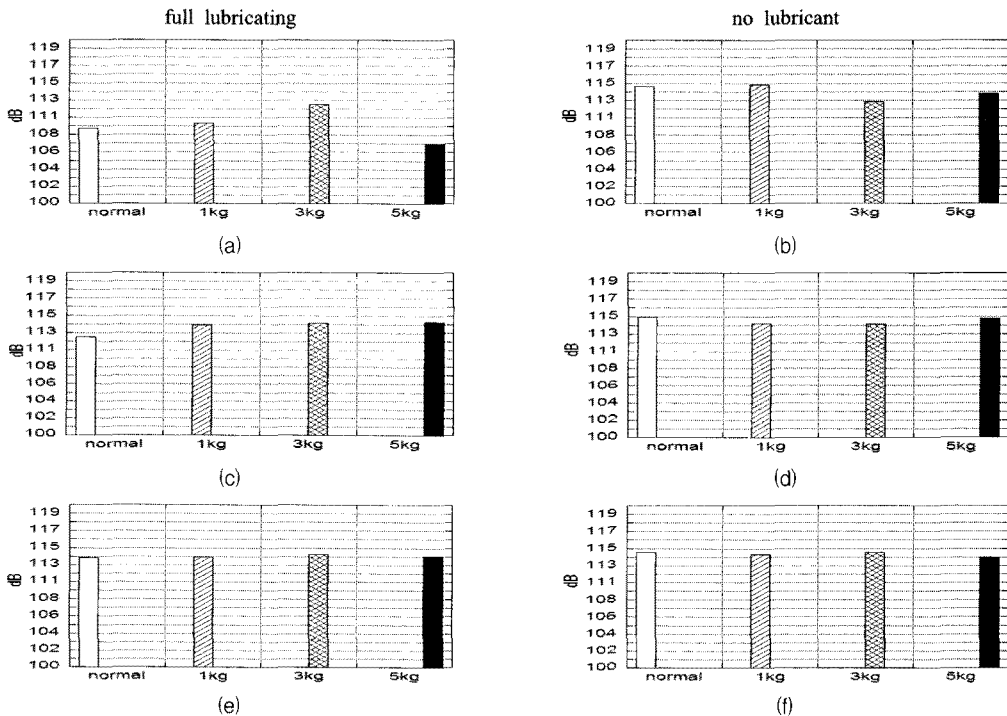


Fig. 5 The results of the frequency diagnosis (B6304)

Table 3 Maximum temperature data of B6304 [unit: °C]

| B6304 | full lubricating | | | | no lubricant | | | |
|----------|------------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| | 0 kg | 1 kg | 3 kg | 5 kg | 0 kg | 1 kg | 3 kg | 5 kg |
| 1000 rpm | 23.51 | 25.04 | 26.05 | 28.03 | 23.75 | 25.65 | 26.87 | 30.75 |
| 2000 rpm | 27.93 | 34.93 | 35.49 | 39.88 | 29.04 | 35.79 | 36.75 | 41.22 |
| 3000 rpm | 39.08 | 42.58 | 44.55 | 46.99 | 39.36 | 44.08 | 45.67 | 50.73 |

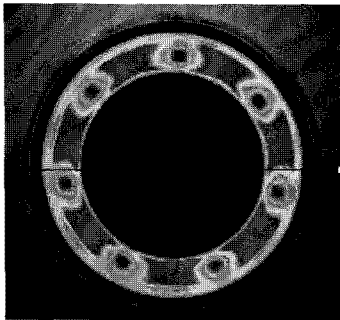


Fig. 6 Infrared thermographic image of B6304

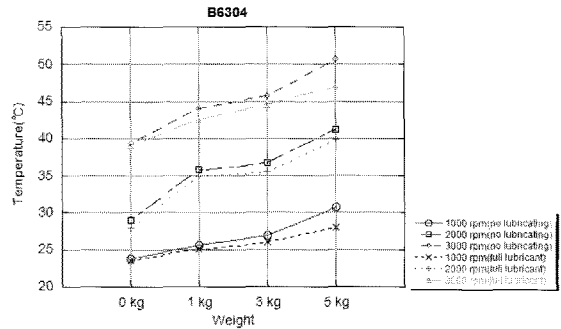


Fig. 7 Rising pattern of temperature under the loading conditions

후 3초 이내에 1000, 2000, 3000 rpm에 각각 도달할 수 있도록 설정하여 그에 따른 온도 특성의 변화를 실시간으로 관찰하였다. 적외선 열화상 카메라를 이용한 실험을 통해 베어링의 모든 부분의 데이터를 측정할 수 있으며, 본 실험에서는 발열이 가장 많이 일어나는 베어링의 볼과 내, 외륜의 접합부에 대한 데이터를 산출하였다. 측정 온도가 일정 시간 상승하여 온도의 평형이 이루어질 때 최고온도를 기록하였다. B6304의 윤활유가 있는 상태와 없는 상태로 하여 작용하는 하중이 없을 경우, 1, 3, 5 kg의 하중이 작용하는 경우로 각각 실험을 수행하였다. Fig. 6은 적외선 열화상 카메라로 촬영한 베어링의 온도분포 이미지를 나타내며, 실험의 결과는 Table 3과 같다. Table 3에서 보이는 바와 같이 각각의 실험을 통하여 윤활유가 있는 상태와 없는 상태에서 하중에 따른 영향을 분석한 결과 윤활유의 상태가 동일한 경우, 베어링에 작용하는 하중이 클수록, 축의 회전속도가 빠를수록 온도가 더욱 상승하는 것을 알 수 있었고, 모든 하중조건에서 윤활유가 있는 정상상태보다 윤활유가 없는 이상상태의 경우에 최고 온도가 더 높게 측정되었다.

Fig. 7은 각 하중조건에서의 최고점 온도의 변화 그래프로써 온도상승 패턴을 보여준다. 본 실험

에서는 기존의 시열물, 회전체의 결함 진단법인 주파수 분석법으로 측정된 데이터를 기준으로 적외선 열화상 기법으로 측정된 데이터의 정확성을 비교함으로써 신뢰성을 높이고, 기존의 진동 실험에 의한 결함 진단에서는 알 수 없는 부분까지 적외선 열화상 기법을 통해 확인할 수 있다는 차별성을 보여준다. Table 3 및 Fig. 6과 Fig. 7에서 보이는 것처럼 적외선 열화상 기법을 이용한 진단방법으로 측정할 경우, 구동 기계의 정지 없이 비접촉 진단 방법으로 베어링의 윤활유 유무는 물론 하중조건에 따른 온도특성의 변화 등을 실시간 온도 영상으로 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서 주파수 진단법을 이용한 베어링의 결함 진단 시, 윤활유의 유무에 따른 이상상태는 판별할 수 있었으나 베어링에 하중조건이 미치는 영향에 대해 연구하는데 한계가 있었다. 반면, 적외선 열화상 기법을 통한 베어링의 결함 진단 시, 윤활유의 유무는 물론 베어링에 하중조건이 미치는 영향도 실시간 측정되는 온도 데이터를 통해 알 수 있었다. 따라서 신뢰성 분석에 있어서 기존의 방법보다 더 정교하고, 정량적으로 얻

어진 데이터를 통한 정확성을 확인할 수 있었다.

결론적으로, 적외선 열화상 기법을 이용한 결합 진단법은 비접촉, 비파괴 측정 방법으로써 향후 시설물, 회전체에서의 기계류의 고장 메커니즘 분석 및 동적 상태감시(condition monitoring), 고장 등 이상 진단(abnormal diagnosis) 실시간 모니터링의 적용에 용이할 것이다.

후기

"이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0023353)."

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. 1230-128 (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)