

은닉 마르코프 모델을 이용한 기어박스 결함의 진동 패턴 인식 Vibration Pattern Recognition of Gearbox Fault using Hidden Markov Model

*#장 미¹, 이종민², 황요하², 송재복¹

*#M. Jang(bbananamilks@korea.ac.kr)¹, Y. Hwang², J. M. Lee², J. B. Song¹

¹고려대학교 기계공학부, ²한국과학기술연구원

Key words : Hidden Markov Model, Gearbox, Fault detection, Pattern recognition

1. 서론

시스템의 갑작스런 가동 정지나 결함으로 인한 손실을 막기 위하여 기계상태 모니터링의 중요성이 부각되고 있다. 특히, 기어박스는 복잡한 내부 구조로 인하여 공진이나 결함의 발생 위험이 높아 상태 및 결함 진단의 주요 연구대상이었다. 기존의 연구는 주로 FFT와 오더분석 등 주파수 특성을 통한 신호처리 기술과 퍼지(Fuzzy), 신경망(ANN) 등의 인공지능 알고리즘이 접목되어 더욱 지능적인 결함 검출이 가능하도록 발전해 왔다.¹ 하지만 이러한 방법들은 정상상태와 결함상태 신호의 비교로 진단을 하므로, 결함상태에 대한 데이터가 필수적이다. 그러나 산업 현장에서 결함 데이터를 얻기 위해서는 인위적인 결함을 가하거나 결함이 발생할 때까지 기다려야 하므로 정확한 결함 검출에 어려움이 있다.

본 연구에서는 이러한 어려움을 해결하기 위하여 은닉 마르코프 모델(Hidden Markov Model, HMM)²을 이용한 기어박스 결함 검출방법을 제안하였다. 기어의 맞물림 면이 마모된 결함을 가진 증속기와 정상적인 증속기의 하우징에서 가속도 신호를 측정하여 이 신호의 패턴으로 HMM을 학습시켜 진단해본 결과 결함신호와 정상신호를 정확하게 구분하였다. 따라서 제안된 HMM의 진단방법이 기어박스의 결함진단에 매우 우수한 성능을 지니고 있음을 알 수 있다.

2. 기어박스

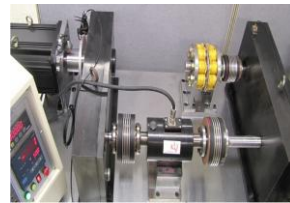
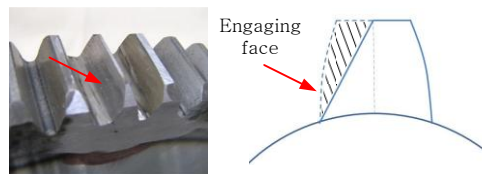


Fig. 1 Photo of torque measuring system

진단 대상인 기어박스는 Fig. 1과 같은 회전토크 측정장비의 증속기이다. 이 측정장비의 구성은 Fig. 1에서 보면 좌측 상단에 있는 모터에 의해 발생한 회전력이 모터 우측에 있는 감속기를 통해 하부 회전축을 구동시키고, 이 회전은 우측에 있는 증속기에 의해 증속기 상부 왼쪽에 있는 전자석 브레이크에 전달된다. 부하토크는 전자석 브레이크에 전류를 흘렸을 때 발생하며, 이 토크는 하부 회전축 가운데에 설치한 토크센서로 측정한다. 증속기와 감속기는 동일한 것으로 입력축, 중간축, 출력축 등 3개의 축이 있는 2단 기어박스로 증속비는 9이다. 기어박스의 진동은 증속기 출력축 상부에 가속도계를 설치하여 측정하였다.



(a) photo (b) cross-section diagram

Fig. 2 Artificial gear fault

본 연구의 결함 검출 능력을 검증하기 위한 인위적 결함으로는 기어의 결함 형태 중 중요도가 높은 이면피로(surface fatigue) 결함을 선정하였다. 결함기어는 중간축 기어를 선택하여 Fig. 2와 같이 하나의 기어이 맞물림 면에 대해 이끝원의 중심에서 이뿌리원까지 Fig. 2(b)의 빛금 친 부분을 절삭하여 사용하였다.

3. 기어박스의 결함 진단

기어박스의 진동신호는 회전 속도에 무관한 분석을 위해 1회전당 96번 측정하였다. 시계열 데이터의 주기성을 모형화하는AR(Auto-Regressive) 모델의 계수를 신호의 특징 벡터로 사용하였으며, 진동 패턴 인식을 위한 모델링은HMM을 이용하였다.

Fig. 3은 증속기의 출력축이1100rpm으로 회전할 때 정상 기어박스의 진동신호와 진단결과이며, Fig. 4는 같은 조건의 결함 기어박스 진동신호와 진단 결과이다. Fig. 3(b)를 보면 정상상태 신호의 진단 에서는 정상상태를 대표하는 정상 HMM 모델의 진단 결과 값이 높게 나타났으며, 결함 기어의 데이터로 모델링한 결함 HMM 모델의 진단 결과 값은 매우 낮은 값을 가짐으로써 진단한 신호가 정상상태임을 보여준다. Fig. 4(b)에 나타난 결함신호의 진단결과에서도 결함 HMM 모델의 진단 결과 값이 정상모델 결과에 비해 크므로 진단 대상 시스템에 결함이 있음을 정확하게 진단하였다.

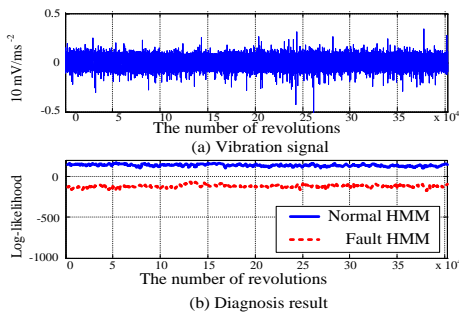


Fig. 3 Normal gearbox at 1100 rpm

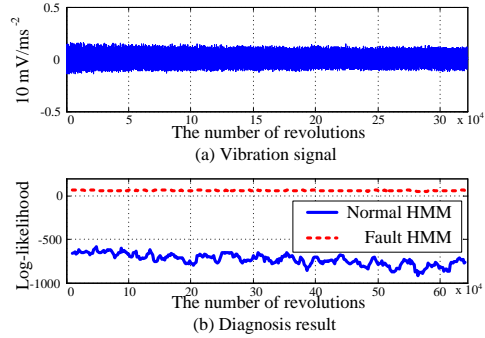


Fig. 4 Faulty gearbox at 1100 rpm

4. 결론

본 논문에서는 기존 기어박스 결함 검출 방법의 문제점을 해결하기 위하여 HMM을 이용한 결함 검출 방법을 제안하였다. 회전토크 측정장비의 증속기에서 정상과 결함상태의 진동을 측정하여 HMM을 적용한 결과 기어박스의 결함을 정확하게 검출하였다. 따라서 HMM이 기어박스 결함진단에 유용하게 적용할 수 있음을 보여주었으며, 앞으로 HMM을 기어박스 결함진단에 적용을 위한 추가적인 연구가 필요하다.

후기

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20093010020011).

참고문헌

1. 이상권, "파워스펙트럼 및 신경망회로를 이용한 기어박스의 결함진단 및 결함형태 분류에 관한 연구," 대한기계학회논문집 A권, **27-4**, 537-543, 2003.
2. Lee, J.M. and Hwang, Y., "New Machine Condition Diagnosis Method Not Requiring Fault Data Using Continuous Hidden Markov Model," Journal of Sound and Vibration, **276**, 1065-1080, 2004.