

PMDC 모터 축 정렬 불량의 정량적 진단 및 특성 분석

박효진, 허장욱*

국립금오공과대학교 신소재공학부, *국립금오공과대학교 기계시스템공학과

jin0826@kumoh.ac.kr, *hhjw88@kumoh.ac.kr

Quantitative Diagnosis and Characteristic Analysis of PMDC Motor Shaft Misalignment

Park Hyo Jin, Hur Jang Wook*

Department of Materials Science and Engineering, Kumoh National Institute of Technology,

*Department of Mechanical Systems Engineering, Kumoh National Institute of Technology.

요약

본 논문에서는 PMDC 모터와 테스트 베드 사이에 서로 다른 두께의 철판을 삽입하여 축 정렬 불량 조건을 인위적으로 모사하는 실험 방법론을 제안한다. 축 정렬 불량 상태에서 츠득될 진동 신호를 대상으로 FFT 및 웨이블릿 기반의 신호 분석과 전처리 과정을 수행하여 시간-주파수 영역 특성을 분석할 계획이며, 베어링 하중 증가에 따른 온도 변화의 경향을 함께 검토하고자 한다. 향후 본 연구에서 제안한 방법론을 통해 축 정렬 불량의 진단 정확도를 향상시키고, 회전기계의 상태 감시 및 상태 기반 정비 시스템에 효과적으로 적용될 것으로 기대된다.

I. 서론

축 정렬 불량(Shaft misalignment)은 두 개 이상의 축이 회전 중심선이 서로 일치하지 않을 때 발생한다. 이는 기계의 수명을 단축시키고 커플링과 베어링과 같은 기계 구성부품을 손상시킨다[1]. 축 정렬 불량은 크게 각도 정렬 불량(Angular misalignment), 평행 정렬 불량(Parallel misalignment), 결합 정렬 불량(Combination misalignment)으로 세 종류로 나뉜다. 각도 정렬 불량은 모터와 구동 장치가 일정한 각도를 이루도록 설치될 때 발생한다. 이 경우, 두 축의 중심선을 연장하면 서로 일치하여 겹쳐지는 것이 아니라 교차하게 된다. 평행 정렬 불량은 두 축의 중심선이 서로 평행하지만 같은 선상에 위치하지 않을 때 발생한다. 결합 정렬 불량은 축이 평행 정렬 불량과 각도 정렬 불량이 동시에 존재할 때 발생한다 [2]. 이러한 정렬 불량은 유연 커플링의 적용으로 일정 수준 보정될 수 있으나, 잔류 정렬 오차에 따른 베어링 하중 증가와 진동 특성 변화는 여전히 발생하여 정렬 문제를 완전히 해결하는 데에는 한계가 있다[1, 3]. 본 논문에서는 이러한 정렬 불량 유형 중 수직 오프셋 형태의 평행 정렬 불량을 모사하여 실험을 수행할 예정이다. 일반적으로 축 정렬 상태가 개선될 수록 기계적 하중과 접촉 응력이 감소하며, 이는 베어링 및 샤프트와 같은 주요 기계 부품의 마모를 줄여 사용 수명을 연장시키는 효과를 가진다. 따라서 정렬 상태를 정량적으로 평가하고 이를 기반으로 고장을 조기에 진단하는 기술은 회전 기계의 안정적이고 신뢰성 있는 운용을 위해 필수적이다[4]. 본 논문에서는 PMDC 모터를 대상으로 축 정렬 불량 조건을 단계적으로 구현하고, 진동 및 온도 신호를 활용한 고장 진단 방법론을 제안함으로써 상태 기반 정비 관점에서의 적용 가능성을 분석하고자 한다.

II. 본론

본 논문에서는 PMDC 모터를 대상으로 축 정렬 불량에 따른 고장 진단 시스템을 구성하였다. 전체 데이터 수집 및 저장 과정은 Fig. 1의 개념도로 나타내었으며, 시험 장치의 실제 구성은 Fig. 2에 제시하였다.

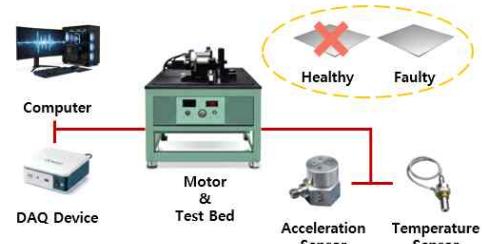


Fig. 1. Diagram of the fault prediction big data collection system

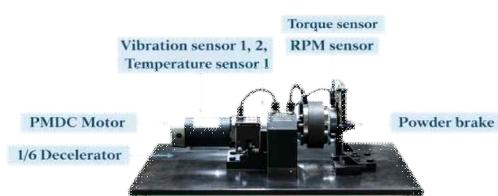


Fig. 2. Components of the Motor and Test Bed

Table 1에서는 축과 커플링 정렬 불량을 포함한 주요 고장 모드와 그 영향, 그리고 각 고장 모드별 진단 관찰 지표를 함께 제시하였다. Table 2에서는 실험 장치에 사용된 PMDC 모터의 사양을 상세히 정리하였다.

Table 1. Motor FMEA

Type	Fault_mode	Occurrence	Severity	Detection	RPN
brush	excessive / uneven wear	5	7	4	140
commutator	pitting / grooving	4	8	5	160
bearing	inner/outer surface fatigue	4	9	4	144
alignment	shaft/coupling misalignment	4	7	4	112

Table 2. Specification of motor

Model	Voltage	Output	RPM	Current	Torque
S9D200 -90CH	90	200	2670	2.8	0.715

축 정렬 불량의 정도는 PMDC 모터와 테스트 베드 사이에 삽입되는 철판의 두께를 기준으로 5단계(0.4 mm, 0.8 mm, 1.2 mm, 1.6 mm, 2.0 mm)로 설정하였다. 서로 다른 두께의 철판을 순차적으로 삽입함으로써 수직 오프셋 형태의 정렬 불량 상태를 단계적으로 구현할 예정이다. 각 조건에서 동일한 작동 조건, 즉 속도 400 RPM과 토크 1.2 N·m를 유지하며, 각 단계별로 15분 동안 모터를 가동하고, 60초 간격으로 Trend 데이터를 15회 취득하여 실험을 수행할 계획이다.

진동 데이터는 베어링 하우징의 축방향과 반경방향에 센서를 부착하여 수집하고, 온도 데이터는 베어링 하우징 측면에 부착된 센서를 통해 측정한다. 이러한 센서 배치는 축 정렬 불량으로 인한 기계적 하중 변화와 진동 신호 특성을 정확히 포착하고, 온도 신호를 통해 베어링 열적 특성 변화를 관찰할 수 있도록 설계되었다.

본 실험을 통해, 서로 다른 정렬 불량 단계에서 진동 및 온도 신호가 어떻게 변화하는지를 비교·분석하고자 한다. 이를 바탕으로 정상 상태와 축 정렬 불량 상태를 명확히 구분할 수 있는 지표를 도출하고, 향후 정량적 고장 진단 및 상태 기반 정비 시스템 구축에 활용할 수 있는 근거를 마련하는 것을 목표로 한다.

또한, 실험에서 수집된 진동 및 온도 데이터는 고장 모드별 특성 분석뿐만 아니라 머신러닝 기반의 분류 및 진단 알고리즘 개발에도 활용될 예정이다. 본 연구에서는 SVM(Support Vector Machine), RF(Random Forest), KNN(K-Nearest Neighbor) 세 가지 기법을 적용할 계획이다.

SVM은 지도학습 기반의 데이터 분석 및 패턴 인식 알고리즘으로, 주어진 데이터가 두 개 이상의 클래스로 나눠질 때, 각 클래스를 구분하는 최적의 결정 경계를 찾는 방법이다. RF는 다수의 의사결정 트리를 학습한 양상을 학습 방법으로, 구성 의사결정 트리의 수는 RF의 성능을 결정 짓기에 다수의 의사결정 트리를 사용할 경우 정확성과 안정성을 높일 수 있다. KNN은 새로운 데이터를 분류할 때, 거리상 가장 가까운 이웃들의 특성을 종합하여 이를 기반으로 데이터를 분류한다. 주로 분류와 회귀 문제를 해결하는 데 사용된다[5, 6, 7].

이러한 기법을 통해 축 정렬 불량의 단계별 진단 정확도를 평가하고, 다양한 알고리즘별 성능을 비교함으로써 최적의 진단 모델을 선정할 수 있을 것으로 기대된다.

III. 결론

본 논문에서는 PMDC 모터의 축 정렬 불량 진단을 위해 진동 및 온도 신호를 활용한 실험적 방법론을 제안하였다. 먼저, 축 정렬 불량 상태를 인위적으로 구현한 후 진동 신호와 베어링 하중 증가에 따른 온도 변화를

측정함으로써 고장 모드별 특성 차이를 분석할 예정이다. 정상 상태와의 비교를 통해 축 정렬 불량으로 인해 발생하는 1X 및 2X 회전 주파수 성분의 진동 변화와 베어링 하중 증가에 따른 온도 변화의 경향을 분석함으로써, 이를 신호의 고장 진단 지표로서의 활용 가능성을 검토하고자 한다.

또한 수집된 데이터 중 70%를 학습 데이터로, 30%를 시험 데이터로 분할하여 머신러닝 기반 분류 기법을 적용함으로써 축 정렬 불량 진단의 정확도를 평가할 예정이다. 향후 연구를 통해 여러 머신러닝 기법을 비교·분석하여 최적의 고장 진단 모델을 선정할 계획이다. 최종적으로, 본 연구에서 개발된 방법론은 회전기계의 고장 진단 및 예지보전 시스템 구축에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터사업의 연구결과(IITP-2025-RS-2024-00438430, 기여율 50%)과 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 지역지능화혁신인재양성사업(IITP-2025-RS-2020-II201612, 기여율 50%)의 지원을 받아 수행된 결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] Kim, S. M., Suh, J. H., Im, J. S., Kim, S. B., and Kim, S. B., "A Smart Memory Type of Data Acquisition System for Shaft Misalignment Maintenance," Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 19, No. 1, pp. 15 - 27, 2005.
- [2] U.S. Department of Energy, *The Importance of Motor Shaft Alignment*, Advanced Manufacturing Office, Energy Efficiency and Renewable Energy, Washington, DC, USA, 2012.
- [3] Kim, B. O., and Kim, Y. C., "A Study on the Development of a Dynamic Model for a Misaligned Gear Coupling (I): Focus on the Development of a Dynamic Model of a Gear Coupling," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 27, No. 6, pp. 857 - 863, 2003.
- [4] Jesse, S., The effects of shaft misalignment on efficiency and bearing load of electric motors, M.S. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Texas A&M University, College Station, TX, USA, Aug. 2001.
- [5] T.-S. Sim, S.-W. Lee, and J.-W. Hur, "Failure impact of drone blades by damage location using machine learning," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., vol. 24, no. 2, pp. 58 - 64, Feb. 2025.
- [6] S. Y. Moon, "Performance comparison of classification methods based on the random forest in class imbalanced data," M.S. thesis, Dept. of Biostatistics, Korea Univ., Seoul, Korea, 2018.
- [7] S. M. Kim, H. S. Yoon, T. H. Kang, Y. W. Lee, and C. W. Park, "AI-based data type classification using the KNN algorithm: A study on hyperparameter tuning for increasing learning rate," Proc. Korea Inst. Inf. Commun. Eng. Spring Conf., vol. 28, no. 1, pp. 520 - 521, May 2024.