

시계열로 측정된 3상 모터 진동 데이터의 분포 추정에 따른 고장 진단법

유현민, 이상연, 김건, 홍인기
경희대학교

yhm1620, sangyeon, gun, ekhong@khu.ac.kr

Method for diagnosing fault based on estimation of probability distribution of vibration data measured time series from three-phase motor

Hyeon-Min Yoo, Sang-Yeon Lee, Gun Kim, Een-Kee Hong
Kyunghee University
요약

현재 모터 고장 진단 및 관리 시스템은 전문가의 경험과 지식을 바탕으로 장비를 직접 진단하는 방법을 통해 이루어져 왔다. 전문가의 정비는 정기적인 기간을 두고 진행되기 때문에 갑작스러운 고장을 예방하기 어려우며, 인적 자원 역시 한정되어 있다. 또한 모터가 다양한 산업 분야에 적용되고, 각 분야마다 모터의 고장 원인 및 고장의 기준이 다르므로, 개인의 주관적 판단에 따르는 현재의 진단 방법은 한계가 있다. 스마트팩토리, 전기차 등 모터가 폭넓게 사용되는 Industry 4.0 시대에는 모터의 고장에 따른 재산 및 인명 피해가 심각해짐에 따라, 객관적이고 효율적인 예측 및 진단 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 고장에 가까운 4개의 3상 모터의 진동 데이터 수집을 위한 시스템을 구축하고, 수집한 데이터의 분포를 추정하고 해당 분포의 수학적 특성을 분석하여 고장을 진단하는 방법을 제안한다. 시뮬레이션 결과 분포의 2, 3, 4차 모멘트 값을 비교하여 이상치를 탐지할 수 있음을 증명하였다.

I. 서론

Industry 4.0 시대의 핵심인 스마트팩토리는 기존 공장에 정보 통신 기술을 결합하여 제품 생산과 설비를 자동화·지능화하고, 사물과 센서들이 통신 네트워크로 연결되어 데이터가 원격 서버에 실시간으로 공유, 활용되어 효율적으로 운영할 수 있는 생산 시스템이다 [1]. 대만의 시장조사기관인 트렌드포스(Trend Force)는 전 세계 스마트팩토리 시장 규모는 3050억 달러(약 375조 원)에 달하고 향후 5년간 연평균 10.5%의 높은 성장세를 지속하여 2025년에 4500억 달러(약 554조 원) 규모에 달할 것으로 예측된다.

스마트팩토리의 핵심 원동력은 전기 모터이며, 산업 전기의 70% 이상을 차지할 만큼 수많은 모터가 공장에 배치되어 있다 [2]. 모터의 고장에 따른 생산 라인 정지, 설비 파손 등은 매우 큰 경제적 손실을 초래하므로, 고장을 미리 진단하고 사전에 대비할 필요가 있다. 기존 모터 고장 진단 시스템은 전류, 진동, 온도 중 하나의 데이터를 수집하는 고가의 센서가 탑재된 측정 장비를 기반으로 고장을 진단했으며, 이를 위해서는 데이터의 작은 변화를 알아내기 위한 고가의 센서가 필요하였다. 하지만 스마트팩토리의 규모가 매우 커지고 수천, 수만 대의 모터가 배치됨에 따라 사람이 일일이 장비를 들고 다니면서 고장을 진단하는 것은 불가능하다. 따라서 센서를 통해 모터의 데이터를 자동으로 수집하는 시스템과, 이를 기반으로 고장을 진단하는 스마트팩토리 전용 고장 진단 자동화 시스템이 필수적이다.

센서는 LIS2DH12TR 센서를 사용하였으며, 진동 데이터는 센서를 통해 수집되는 x, y, z축의 데이터를 1초마다 각 축의 평균값을 구하고 이를 더한 값을 사용한다.



Fig. 1 오래된 3상 모터 5대로 구성된 간이 스마트팩토리

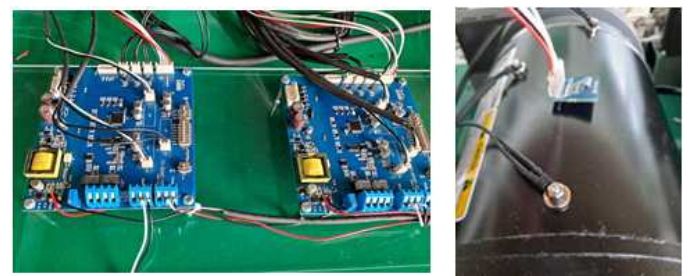


Fig. 2 모터 진단 보드와 LIS2DH12TR 진동 센서

II. 본론

본 논문에서는 모터의 진동 데이터의 분포를 추정하여 이상치(anomaly)를 탐지하는 고장 진단법을 제안한다. 진동 값은 일정한 패턴을 보이는 온도, 전류와 달리 랜덤한 실수 값을 보이는 특성을 가진다. 이 특성을 활용하기 위해 시간에 따른 분포를 추정하고, 분포의 통계적 특성을 이용해 모터의 이상 여부를 판단한다.

모터 데이터 수집을 위해 3상 모터를 이용하여 간이 스마트팩토리를 모델링하고, 데이터 수집을 위한 센서 및 진단 보드를 개발하였다. 개발한 모터 진단 보드는 기존에 사용된 고가의 진단 장비에 비해 훨씬 저렴한 가격으로 개발되었다. 3상 모터는 고장을 진단하기 위해 고장이 임박한 3대 모터로 구성하였으며, 3대의 모터는 속력이 60Hz로 일정한 정속, 2대의 모터는 속력이 변하는 가변 모터로 동작하도록 설정하였다. 진동

모터 진동 데이터는 열흘 간 모터당 10만~11만 개를 수집하였다. 0으로 측정된 결측치를 모두 제거한 데이터로, 이는 각 모터마다 상이하다. 모터 데이터를 시계열로 표현한 경우 Fig. 3처럼 랜덤한 값으로 측정되는 특성을 확인할 수 있다.

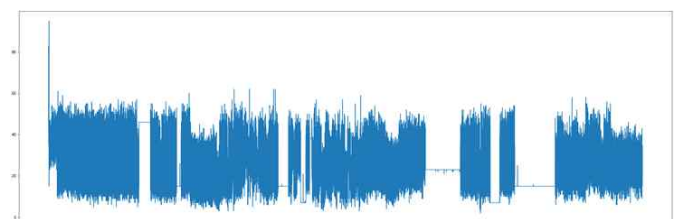


Fig. 3 시간에 따른 모터 데이터 측정

본 논문에서는 python의 seaborn 라이브러리를 이용해 시계열로 표현된 진동 데이터의 확률 분포를 추정하였다. Fig. 4는 각 모터의 진동 데이터 분포를 나타낸다.

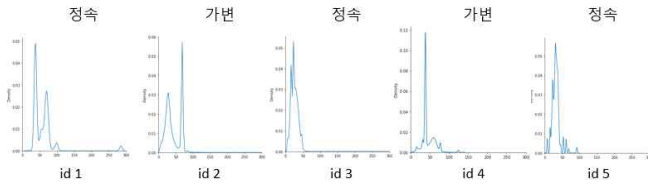


Fig. 4 모터 진동 데이터 분포 비교

이상치 탐지를 위해 사용한 각 분포의 통계적 특성은 1차 모멘트 mean(평균), 2차 모멘트 variance(분산), 3차 모멘트 skew(비대칭도), 4차 모멘트 kurtosis(첨도)이다.

$$E[X] = \sum x_i p(x_i) = \mu$$

$$V[X] = E[(X - \mu)^2] = \sigma^2$$

$$Skew[X] = E[(X - \mu)^3]$$

$$Kurtosis[X] = E[(X - \mu)^4]$$

랜덤 변수의 평균을 기반으로, 분산은 평균으로부터 분포가 퍼져있는 정도, skew는 평균값과 중앙값이 위치하는 기준에 따른 비대칭도, kurtosis는 분포의 극값을 향한 치우침 정도를 나타낸다. Kurtosis는 평균에 비해 매우 큰 값이 나타나거나, 작은 값이 존재할 때 평균에 대한 침투치가 대폭 증가하므로 이상치 탐지에 많이 사용되는 수학적 특성이다.

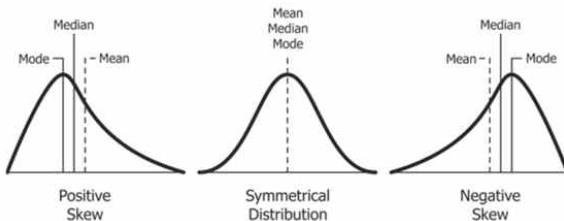


Fig. 5 평균 값과 중앙 값에 따른 skew 값 변화

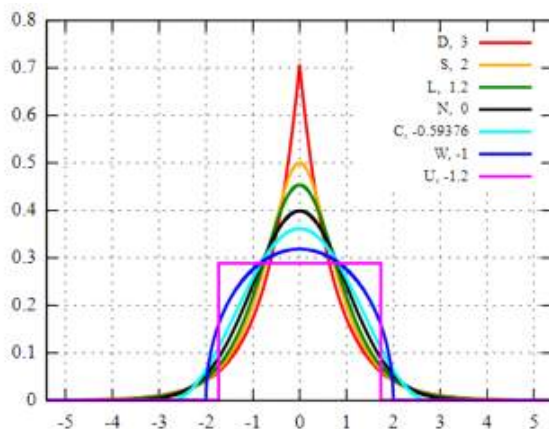


Fig. 6 Kurtosis 값에 대한 분포 형태 [3]

Table 1은 Fig4에 나타난 각 모터의 진동 데이터 분포에 대한 통계적 특성 값을 나타낸다. 육안으로 분포를 보았을 때는 확인하기 어려웠지만, 통계적 수치를 분석한 결과 1번 모터를 제외하면 정속과 가변에 관계없이 통계적 특성이 모두 비슷하게 나타났다. 이상을 보이는 1번 모터의 분산, skew, kurtosis 값은 다른 모터의 측정 값들에 비해 비정상적으로 크게 측정되었음을 확인할 수 있다. 1번 모터의 경우 정상 모터와 달리 Fig. 4의 분포를 육안으로 확인했을 때에도 큰 진동 값에 대해 일정 분포가 형성되었음을 확인할 수 있다. 이처럼 데이터 수집 시스템과 데이터 분포 추정 및 통계적 특성을 이용하여 데이터 분포에 대한 새로운 insight 및 모터의 이상 유무를 판단할 수 있다.

	mean	variance	skew	kurtosis
id1 (정속)	58.73	1371.42	4.63	25.60
id2 (가변)	42.35	453.57	0.26	-1.30
id3 (정속)	25.50	99.18	0.38	-0.24
id4 (가변)	45.21	271.48	1.36	3.94
id5 (정속)	31.59	134.99	1.68	6.61

Table 1. 모터 데이터 분포의 통계적 특성

IV. 결론

본 논문은 모터 진동 데이터 수집 시스템 및 데이터를 활용한 모터 고장 진단법을 제안하였다. 이상을 보이는 모터는 데이터 분포의 통계적 특성이 정상 모터에 비해 상이함을 확인할 수 있었고, 정상 모터는 정속과 변속에 관계없이 비슷한 특성을 보임을 확인할 수 있었다. 향후 수많은 모터가 배치되는 미래 스마트팩토리에서 자동으로 모터의 이상을 탐지할 수 있는 알고리즘으로 활용될 수 있으며, 기존 진단법에 비해 시간·인적 자원을 대폭 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2021-0-02046*)

참 고 문 헌

- [1] 양진호 외 10명, "글로벌 공급사슬의 조립 및 물류를 위한 사이버물리 시스템," 정보와 통신 한국통신학회지, 2020년 7월
- [2] S. Dol and R. Bhinge, "SMART motor for industry 4.0," 2018 IEEMA Engineer Infinite Conference (eTechNxT), New Delhi, India, 2018, pp. 1-6
- [3] <https://www.kaggle.com/code/sandhyakrishnan02/normal-distribution-skewness-and-kurtosis/notebook>