

회전기계 고장진단 소형 스마트센서의 개발

최우진, 김기훈, 홍태용
브이엠에스

Development of small smart sensor for fault diagnosis of rotating machinery

Woo-Jin Choi, Ki-Hoon Kim, Tae-Yong Hong
VMS Co., Ltd.

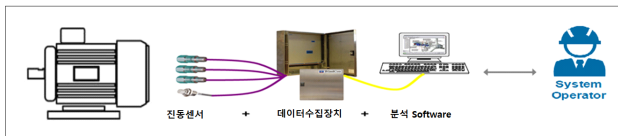
Abstract - 산업계에서 이용되고 있는 다양한 회전 기계(모터, 펌프, 팬, 컴프레서 등) 중에서 정속으로 회전하는 기계의 결함을 사전에 진단하기 위한 소형의 무선 스마트 센서의 개발에 관하여 소개하고자 한다. 가속도를 측정하는 진동센서로부터 원본 데이터를 취득하여 신호변환 및 머신러닝 알고리즘을 적용하여 결함을 사전에 예지하는 것을 목표로 개발을 진행하였으며 개발한 소형의 무선센서에 대한 하드웨어 및 소프트웨어 설계 내용과 기능에 대하여 설명하고자 한다.

는한 블루투스 또는 WiFi 등을 통하여 설비관리자가 현장에서 직접 확인이 가능하도록 편의를 제공할 수 있어야 한다. 다음의 <그림 2>는 개발한 스마트 무선센서의 외형을 나타내며, 회전 기계에 임시적으로 붙여서 측정할 때 사용하는 마그네틱 베이스를 체결한 형태이다. 일반적으로는 마그네틱 베이스가 없이 스테드 볼트(stud bolt)로 설비에 단단히 고정하여 진동을 측정한다.

1. 서 론

산업현장에서는 다양한 형태의 회전 기계가 존재한다. 예로서는 모터, 펌프, 팬, 컴프레서 등이 있다. 제품 생산을 위한 회전 기계는 중요한 역할을 수행한다. 이들 기계의 결함은 곧바로 경제적, 인적 손실과 이어질 수 있어서 사전에 결함을 예지 진단하는 기술은 4차 산업혁명 트렌드 속에서 무인화 되어가는 스마트 공장에서 더욱 활발히 적용되고 있고 최근에는 머신러닝을 이용한 진단 시스템의 개발 역시 활발히 진행 중에 있다.

다음의 <그림 1>은 펌프, 모터, 컴프레서 등의 케이스에 유,무선의 센서를 부착하여 데이터를 수집하고 서버 컴퓨터에 저장하고 분석하는 구성도를 나타낸다. 최종적인 결함 진단은 전문 SW를 이용하여 전문가가 진단한다.



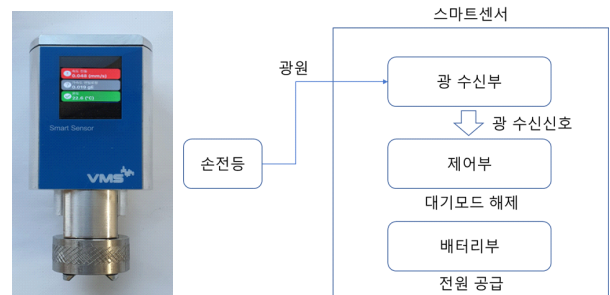
<그림 1> 일반적인 회전기계 진단의 구성도

최근에는 빅데이터, 머신러닝, 클라우드 기술을 활용하여 진단 시스템을 만들고자 하는 시도가 활발하며, 몇몇 국내외 기업들은 인공지능 진단 제품이 출시하여 현장에서의 적용 실적을 쌓아가고 있는 실정이다.

2. 본 론

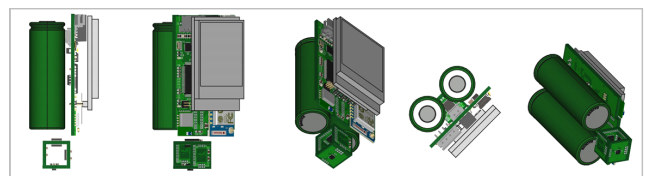
2.1 하드웨어의 설계

개발하고자 하는 소형 스마트센서는 배터리로 구동되므로 저전력을 구현하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어 기술의 개발이 필요하다. 배터리의 소비량의 확인, 잔량의 표시, 백라이트 밝기 조절이 가능해야 하며, 전력소비를 최소화 하기 위하여 진단에 꼭 필요한 시점에만 데이터를 수집하거나 최적의 주기로 데이터를 수집할 수 있어야 한다. 특히 배터리의 사용 시간을 늘리기 위해서는 대기모드(Sleep mode)가 구현되어야 한다. 그리고 통신이 이루어지는 경우에 전력소비가 많이 발생하므로 진단에 필요한 센서 데이터만을 효율적으로 짧은 시간내에 전송할 수 있어야 한다. 더불어 무선 방식에서의 통신 단절을 대비한 자체 저장 기능이 있어서 통신이 다시 연결되면 재전송이 가능하도록 하여야 한다. 경우에 따라서는 회전기계 근처에서의 통신이 가



<그림 2> 스마트센서의 외형과 구성도

다음의 <그림 3>은 개발한 스마트센서의 내부 구조를 보인 것으로 3D 캡처 이미지이다. 하부의 3축 가속도 센서 부품은 몰딩을 하여 견고하게 케이스와 일체화 되도록 하였다.



<그림 3> 스마트센서의 내부 구조

2.2 개발한 스마트센서의 특징과 사양

일반적으로 회전설비 진단에 사용되는 진동센서는 압전형 가속도 센서(Accelerometer)를 이용한다. 개발한 스마트센서의 내부에는 MEMS형 가속도 센서가 내장되어 있어서 설비의 진동값을 측정할 수 있다. 스마트센서 본체에 소형의 TFT LCD display가 부착되어 있어서 설비의 진동값을 눈으로 직접 확인할 수 있도록 개발하였다. 표시되는 값은 각각 진동속도, 진동가속도 엔벨로핑, 온도가 표시된다. 표시값의 바탕 색상은 적색일 때는 설비의 이상을 나타내는 것이다.

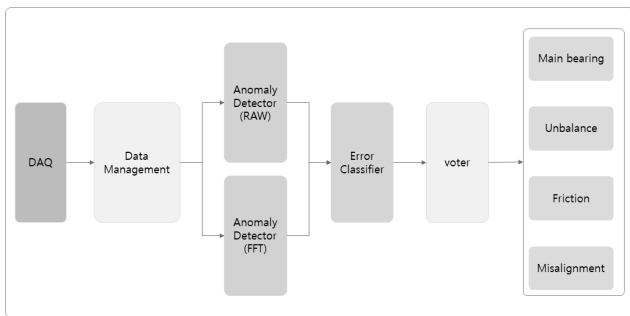
특히 정상 상태(Normal)인 경우에는 소비전력의 절감을 위해 대기모드로 있게 되며, 후레쉬 불빛을 비추면 현재의 설비 상태를 LCD에 표시하고 다시 대기모드로 들어가도록 하였다. 레이저 빔을 사용하는 경우에는 먼 거리에서도 설비의 상태 점검이 가능하다. 다음의 <표 1>은 스마트 센서의 최종 개발 목표 사양이다.

<표 1> 스마트 센서의 개발 목표 사양

항목	사양
전원	3.7V 배터리 1EA
측정 시점	후레쉬(레이저 빔) 또는 설정주기 마다 측정 개시
측정	가속도, 속도, 엔벨로핑, 온도
주파수 범위	10Hz ~ 10kHz
메모리	1GB
사이즈	60 × 60 × 120 mm
방수방진	IP65
기타사항	배터리교체형, Stud bolt 또는 마그네틱 설치방식

2.3 진단을 위한 머신러닝 소프트웨어의 특징

진동센서로부터 얻은 원본 데이터(raw data)는 머신러닝을 위하여 일반적으로 신호의 전처리가 적용된다. 시계열데이터를 FFT 또는 STFT와 같은 신호변환기법을 이용하면 주파수 도메인의 값 또는 이미지 형태로 변환할 수 있으므로 딥러닝 알고리즘을 적용 시 원본 데이터만을 이용하는 것보다는 결합 진단에 더 효과적이라고 알려져 있다^[1]. 다음의 <그림 4>는 본 논문에서 제안하는 머신러닝 알고리즘을 나타내는 구성도이다.



<그림 4> 머신러닝 알고리즘의 구성도

딥러닝 알고리즘 적용의 한계로서는 학습에 이용할 수 있는 데이터가 충분해야 학습이 잘 이루어지는데 실제 산업현장에서 설비의 결함 데이터를 충분히 수집하기가 어려운 실정이다. 따라서 여기에서는 정상상태의 데이터를 충분히 학습함으로써 이상 상태를 감지할 수 있도록 비지도 학습의 하나인 오토인코더를 구축하여 이러한 문제를 해결하고자 하였다. 비정상 감지기(Anomaly Detector)에 의해서 비정상 신호가 검출된 경우에 한하여 FFT, 엔벨로핑, Kurtosis 등의 기법을 이용한 주파수 차수 분석을 통하여 정밀한 분석을 수행할 수 있다.

위의 <그림 4>에서의 이상 감지기(Anomaly Detector)는 오토인코더로 구성하였다. 데이터 수집부에서 수집된 데이터가 입력레이어, 히든레이어, 출력레이어로 순차적으로 거치면서 인코딩과 디코딩을 통해 원래의 데이터로 재구축된다. 오토인코더가 지닌 비지도 학습의 특성을 이용하여 기계설비의 정상적인 작동에 대한 신호를 학습한 후 입력레이어와 출력레이어 간의 평균 제곱오차(Mean of squared error)가 설정값 이상일 경우 이상상태로 판정하도록 하였다. 오토인코더 모듈에서 이상 상태라고 판단한 경우에는, 다음 단계의 Error Classifier 블록에서 이상상태라고 판단된 특징맵을 바탕으로 기계설비의 결함 진단 결과를 분류한다. 진단의 정확성을 높이기 위하여 Raw data 및 FFT data에 대하여 오토인코더 블록을 학습시키며, 최종적으로는 Voter 블록을 통하여 일정 횟수 이상의 진단결과가 확률적으로 높을 때 결과를 도출하도록 설계하였다^{[2],[3],[4]}.

Error Classifier는 회전설비의 결함 정도를 소프트웨어 회귀함수로 연산하여 확률수치를 출력값으로 출력하도록 구성한 것이다. 출력값에 대해 목표값을 설정하고, 출력값과 목표값 간의 오차를 경사하강법(AdaGrad법)을 이용하여 신경회로망의 결합가중치를 학습이 진행됨에 따라 조금씩 수정하도록 해 나가도록 하였다^[5].

앙상블 학습(Ensemble Learning)을 통한 분류는 여러 개의 분류기(Classifier)를 생성하고 그 예측을 결합하여 최종적인 예측을 도출하는 기법이다. 앙상블의 유형으로는 보팅(Voting), 배

깅(Bagging), 부스팅(Boosting) 등 다양한 방법들이 있다. 이 중에서 보팅은 서로 다른 알고리즘의 분류기를 결합하는 방법이

2.4 테스트 환경

일반적으로 회전설비의 결함의 종류에는 미스얼라인먼트(축정렬 불량), 언밸런스(질량 불균형), 구름요소(베어링) 불량, 윤활 불량, 기계적인 충격, 벨트 불량, 회전불량(마찰), 불안정성, 기계적 헐거움 등이 있다^[6]. 개발한 스마트센서로 설비의 이상을 감지하고 결함의 종류를 추론할 수 있도록 개발하였다.

개발한 제품의 진동은 다음 <표 2>와 같은 휴대용 진동발생장치(Portable Shaker Table)로 부착하여 스마트 센서의 특성을 테스트하였다.

<표 2> Portable Shaker Table 699B06 specifications

Frequency Range	5 Hz ~ 10 kHz
Maximum Amplitude (50Hz, 10-gram payload)	20 g pk (20 in/s pk, 150 mils pk-pk)
Maximum Amplitude (50Hz, 500-gram payload)	2.5 g pk (3.5 in/s pk)
Maximum Payload	800 grams

다음으로 이상 진단의 성능을 확인하기 위하여 결함을 인위적으로 만들 수 있는 결함 시뮬레이터를 이용하였다. 개발한 스마트센서는 회전체에 스테드 볼트로 단단히 고정한다. 밸런스 불량을 검출하기 위해, 회전체에 2개의 볼트(질량체)를 인위적으로 부착하여 밸런스 불량을 만들어 내고 이것을 스마트센서가 검출하고 진단을 하는지 살펴보았다. 또한, 회전불량(마찰, 브레이킹)과 관련한 시험의 경우에는, 회전 중에 마찰(브레이킹)력을 인위적으로 조절함으로써 개발한 스마트센서의 이상 진단 성능을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 회전기계 고장진단을 위한 소형 스마트센서의 개발에 대하여 소개하였다. 향후 스마트 공장의 회전설비에 장착하여 실증을 하여 스마트센서를 이용한 고장진단의 신뢰성과 정확성을 높여나갈 계획이다.

감사의 글

본 연구는 2020년도 중소기업기술개발사업의 재원으로 중소벤처기업부(TIPA)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. S2940850)로서, 관계부처에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Mohammakazem Sadoughi, Austin Downey, Garrett Bunge, Aditya Ranawat, Chao Hu, and Simon Laflamme, "A Deep Learning-based Approach for Fault Diagnosis of Roller Element Bearings", Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society, 2018.
- [2] 권민철, 파이썬 머신러닝 완벽가이드, 위키북스, 2020.
- [3] 허민석, 나의 첫 머신러닝/딥러닝, 위키북스, 2020.
- [4] 천인국, 인공지능, 인피니티북스, 2020.
- [5] 조태호, 모두의 딥러닝, 도서출판 길벗, 2020.
- [6] 이성호, 정주택, 차홍식, 설비진단이해, 일진사, 2018.