

압력 기반 하드웨어 중복성 수압 EHA 고장 탐지 방법

On the Fault Detection Methodology for the Water-based Electro-Hydraulic Actuator by the Hardware Redundancy using Pressure Metrics

○박 인 호¹, 임 동 원^{1*}

¹⁾ 수원대학교 기계공학과 (TEL: 031-229-8675; *E-mail: dwlim@suwon.ac.kr)

Abstract All the machines degrade over time, and the early detection of a machine component failure is necessary for most of modern devices. The water-based Electric Hydraulic Actuator (EHA), which has been designed for the use of multiple units, is advantageous in terms of environmental impacts. However, the pump in the water-based EHA is made of plastic materials, and it requires more attention to monitor the health of the pumps in real-time, because it can degrade even easier than pumps made of engineering materials. In this paper, the method to experimentally determine the threshold to make the decision of the pump fault using the residual is proposed, comparing pressure metrics of two identical healthy pumps. Residuals (1,225 sets) were processed by pressure data and integrated over time. In the results, 0.13795MPa was selected as the threshold, encompassing almost signal noises, and 77.87% among the 1,500 residual sets of the healthy-fault data were detected as faults.

Keywords Electronic Hydraulic Actuator Pump, Fault Detection, Residual, Threshold, Pressure

1. 서론

EHA(Electronic Hydraulic Actuator)는 전기-유압 액추에이터로 모터, 펌프, 액추에이터로 구성되어 있으며, 모터를 통해 펌프를 회전시켜 작동 유체 방향, 유속을 제어해 실린더 구동기의 힘을 조절한다. EHA 는 같은 크기의 회전형 모터보다 큰 힘을 낼 수 있고, 속도 조절이 부드럽고, 과부하 상태에서 안정성이 뛰어나다는 장점이 있다.

하지만 작동 유체를 광유(mineral oil)로 하는 기존의 EHA 는 누유로 인한 환경 오염 위험이 있다. 이를 해결하기 위해 EHA 를 위한 물을 작동 유체로 하는 직경 20mm 의 소형 수압 펌프가 제안됐다[1]. 제안된 펌프는 여러 대를 다중 조합하여 사용할 목적으로 제작되어, 적용 시스템의 사용 크기에 적합하게 맞춤형 설계가 가능한 장점이 있다. 또 다중 펌프를 사용하기 때문에 고장상황에서 전체 시스템의 급작스러운 멈춤(sudden break-down)을 예방할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 제안된 펌프는 작동 유체를 물로 사용하다 보니 메탈 재질의 강도보다 약한 플라스틱으로 제작되어 내구성이 상대적으로 약하고, 신뢰성이 떨어진다. 또 다중 펌프로 구성된 시스템을 운영해야 하므로 임의적 고장 특성에

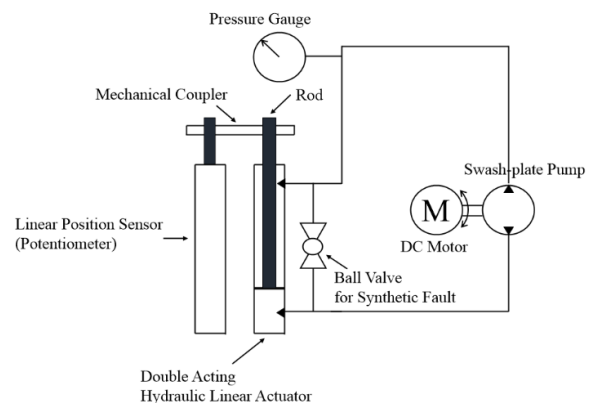


그림 1. EHA 실험 회로도

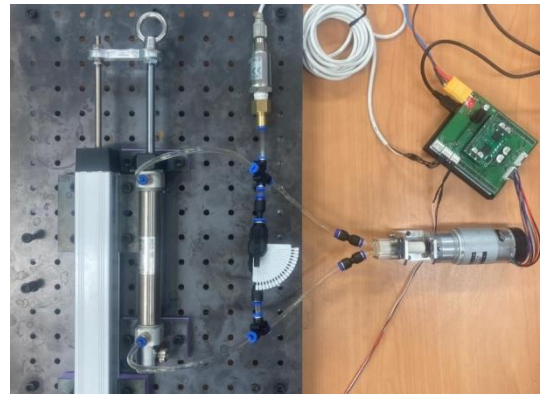


그림 2. 실험 회로도 구현 모습

* 본 연구는 중소벤처기업부의 2021 년도 창업성장기술개발사업에서 지원하여 연구하였음. (No. S3055132)

고장 난 펌프를 파악할 필요가 있다. 이에 실시간으로 펌프의 상태를 확인하고, 고장을 판단할 수

있는 실시간 고장 탐지 방법이 필요하다.

본 연구에서는 동일한 환경에서 동작하는 동일 하드웨어를 서로 비교하는 하드웨어 중복성을 이용한다. 펌프 압력 잔차(residual)[2]를 유도하고, 선행 연구[2]에서 정의한 고장 판단의 기준인 역치(threshold) 값을 실험적으로 선정하고자 한다.

2. 실험 설계 및 역치 선정

펌프 유량 손실은 작동 유체의 누출에 의해 발생한다. 사판식 펌프 내의 피스톤이 장기적인 동작으로 인해 마모가 발생하고, 이에 따라 피스톤 부위에서 유체가 누출될 수 있다. 특히, 플라스틱 재질의 사판식 펌프는 이러한 누출에 대한 가능성이 더욱 높다. 이러한 내부 누출을 모사하기 위해 볼 밸브(ball valve)를 사용한다. 실험 장치를 그림 1과 같이 구성하고, 펌프 출구와 입구를 바로 잇는 내부 순환 루프를 만들어 내부 누출을 모사한다. 여기에 볼 밸브로 개방 각도를 조절하면서 유량 손실 정도를 제어하고, 압력 센서(press gauge), 선형 센서(linear sensor)를 통해 데이터를 추출한다. 볼 밸브가 닫혀 있을 때를 건전(health)상태, 5° 이상 열린 상태를 고장(fault)으로 정의하고, 5° 씩 개방하면서 압력의 변화를 관찰한다.

실험적 역치 값을 선정하기 위해 충분한 양의 건전 펌프의 압력 잔차 데이터를 수집한다. 수집한 데이터를 정규분포로 모델화하고, 이것의 평균과 표준편차를 계산한다. 압력데이터가 $\pm 2.5\%$ 의 오차 값을 포함하기 때문에 데이터의 95%를 신뢰구간으로 구한다. 신뢰구간 범위를 넘는 5% 경우를 고장으로 판단하고 해당 지점을 실험적 역치 값 L 로 다음 식 (1)과 같이 선정한다.

$$L = \mu + Z_{0.025} * \sigma. \quad (1)$$

여기서 $Z_{0.025} = 1.96$ 이다.

3. 실험 결과

실험적 역치 선정을 위해 밸브 0° 개방한 건전한 펌프에 대한 실험을 50 회, 밸브 5° 개방한 고장 펌프에 대한 실험을 30 회 진행하였다. 건전-건전 조합 1,225 개의 잔차 데이터를 [2]에서와 같이 적분하고 통계적으로 분석하였다. 적분데이터의 최종 값을 기준으로 계산하여 평균은 -0.02689MPa , 표준편차는 0.08410MPa 으로 그림 3의 확률분포와 같이 나타났다. 식(1)을 통해 역치 값 L 을 0.13795MPa 로 선정하였다. 그림 4는 선정된 L (녹색선)을 바탕으로 고장을 탐지하는 모습을 보여주고 있는데, 대략 18 초경 고장을 탐지할 수 있었다. 이를 1,500 개 건

전-고장 조합 세트에 대해 77.87% 긍정 사실(true positive) 확률로 탐지할 수 있었다.

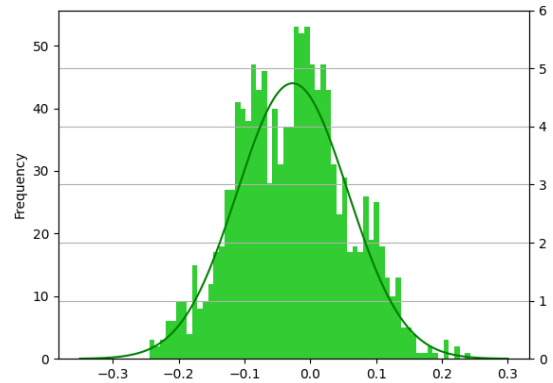


그림 3. 잔차 적분 데이터 확률분포

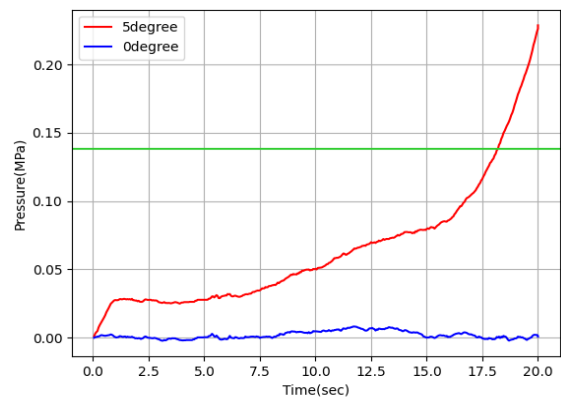


그림 4. 고장 탐지 그래프

4. 결론

본 논문에서는 고장 판단 기준인 역치 값을 실험적으로 선정하고 실험 결과를 바탕으로 검증하였다. 선정된 역치 값은 대략 0.14MPa 이며, 1500 개 고장 모사 펌프 데이터에 대해 대략 78% 긍정 사실 확률로 탐지할 수 있었다. 이를 통해 펌프의 초기고장을 검출할 수 있을 것이고, 전체 시스템의 연속적인 동작을 확보할 수 있을 것이다.

향후 연구에서는 해당 시스템의 물리적 정보로 78%의 고장탐지 확률 결과를 분석하고, 성능을 개선하기 위한 방법을 연구할 것이다. 또 인공지능을 물리적 시스템 정보에 적용한 새로운 상태 감시 시스템을 제시할 것이다.

참고문헌

- [1] 송하권 외, “소형 EHA 시스템을 위한 사판식 수압 펌프의 소형화 설계”제어로봇시스템학회 국내학술대회 논문집, 제50권, 제6호, pp. 44-45, 2021.
- [2] 송하권 외, “수압 EHA의 사판식 액셀 피스톤 펌프 고장 검출 방법”, 대한기계학회 춘추학술대회, pp. 900-904, 2021.