

## 친환경적인 소형 EHA를 위한 양방향 사판식 액셀피스톤 수압펌프의 설계

### Design of Two Ways Swash-Plate Axial Piston Water Hydraulic Pump for Eco-Friendly Mini EHA

○송 하 권<sup>1</sup>, 이용권<sup>2</sup>, 임 동 원<sup>1\*</sup>

<sup>1)</sup> 수원대학교 기계공학과 (TEL: 031-229-2527, E-mail: dwlim@suwon.ac.kr)

<sup>2)</sup> 한국하이액트지능기술(주) (TEL: 031-478-3030, E-mail: songhg@hyact.net)

**Abstract** The small-size water-based hydraulic pump for the compact EHA system, which has little environmental impact, has been developed. To verify the theoretical design nominal values, the EHA experimental set was built, and the spring constant of the piston cap was measured. With the obtained spring constant, the pump design specifications had been set as the pressure of 0.237 MPa and flow rate of 1499.6 mm<sup>3</sup>/s, theoretically. The measured maximum pressure and the measured average flow rate was 0.19 MPa and 1206.6 mm<sup>3</sup>/s, respectively, and they are close to the design numerics. Therefore, it can be concluded that the pump design for the compact water-based EHA system is verified.

**Keywords** EHA, Water hydraulics, Swash plate axial pump, Two-way hydraulics

#### 1. 서론

전기-유압-액추에이터(Electro-Hydraulic Actuator, EHA)는 크고 무거운 기존 유압 시스템과는 다르게 전기 모터, 펌프, 배관 또는 튜브 및 액추에이터로 구성되어 독립된 유압 시스템 운용이 가능한 장치이다. EHA가 동작하는 방식은 전기 모터에 결합된 펌프가 회전하며 압력을 발생시키고, 압력에 의해 내부 광유가 흐르게 되어 액추에이터를 움직이게 된다[1]. 특히 EHA의 독립적인 운용 특성으로 인해 하나의 액추에이터에 여러 개의 모터와 펌프가 결합된 동력원을 연결하여 시스템에 맞는 용량으로 설계할 수 있다. 그러므로 순수한 기계 및 전기 동력원에 비해 더 유연한 설계가 가능하다.

일반적으로 EHA의 광유는 재생 불가능한 물질이며, 유압 시스템은 결국 누유가 발생한다. 따라서 보다 친환경적인 물을 작동유체로 적용할 경우 화재, 폭발 및 주변 환경 오염 문제를 해결할 수 있다. 또한 광유에 비해 저비용인 점과 유체의 가용성, 보관 용이성 측면에서도 매우 합리적인 선택이 될 수 있다[2].

이러한 물의 장점을 활용할 수 있는 소형 EHA를

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

[3, 4]에서 제안하였다. 본 논문에서는 [4]의 설계를 바탕으로 피스톤의 고무 탄성체에 의한 에너지 손실을 고려하여 이론적인 압력식을 유도한다. 또한 실험 결과로써 이론적인 압력, 유량 식을 검증한다.

#### 2. 수압펌프의 설계

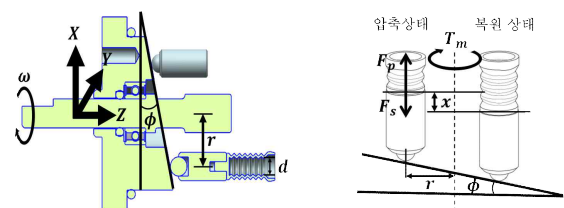


그림 1. 제안된 수압 펌프의 단면도 및  
피스톤의 자유물체도

문헌 [4]에서 제안된 양방향 수압 펌프의 설계는 그림 1과 같다. 수압펌프는 그림 1에서 오른쪽 자유물체도와 같이  $F_p$ 에 의한 미는 힘과 고무 탄성체에 의한 반발력  $F_s$ 의 합이 토크  $T_m$ 에 의해 피스톤을 돌리는 힘과 같아야 한다. 따라서 [3]의 압력식을 바탕으로 수압펌프의 에너지 손실을 고려한 압력  $P$ 의 관계식을 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$P = \left( \frac{1}{d^2 r (2 \sin \phi + \pi \mu \cos \phi)} \right) \left( \frac{2}{3} T_m - \frac{(2r \sin \phi)^2}{\pi} k \right) \quad (1)$$

식 (1)에서 미지수인  $\mu$ 는 피스톤의 마찰계수,  $T_m$ 은 모터 토크,  $k$ 는 고무 탄성체의 스프링 상수를 의미한다. 피스톤 마찰계수  $\mu$ 는 [3]에서 추정된 0.15로 고려하며, 모터 토크 및 고무 탄성체의 스프링 상수 값은 실험장치를 이용하여 측정해서 계산한다.

### 3. 유량과 압력 이론 및 실험 결과

식 (1)에서 제시한 이론적인 압력  $P$ 와 [4]에서 유도한 유량  $Q$ 를 검증하기 위한 EHA 실험을 진행한다.  $P$ 에 대한 검증을 위해 식 (1)에서 스프링 상수장치  $k$ 를 파악해야 하고, 이를 실험적으로 유도하기 위해 그림 2와 같이 장치를 구성한다. 그 결과 그림 2와 같이 질량변화에 의한 분동의 변위를 측정 후  $k$ 를 계산한다. 또 토크 트랜스듀서를 이용하여 모터의 구동토크  $T_m$ 을 측정한다.

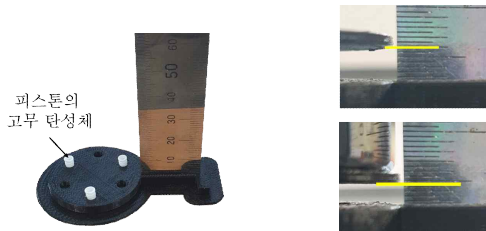


그림 2. 스프링 상수 실험장치

실험 결과 분동 무게에 따른 바닥에서 탄성체 끝까지 높이는 분동이 100g 증가할 때마다 0.2mm씩 감소하는 것으로 측정되었다. 측정된 데이터를 이용하여 스프링 상수를 계산한 결과는 다음 식 (2)와 같고, 토크 트랜스듀서를 이용한 모터 구동토크  $T_m$ 은 평균 0.014Nm로 측정되었다.

$$k = 1633.3 \text{ N/m} \quad (2)$$

따라서 앞서 구한 값을 적용한 이론적인 펌프의 압력  $P$ 와 펌프의 유량  $Q$ 는 다음 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} P &= 0.237 \text{ MPa} \\ Q &= 1449.6 \text{ mm}^3/\text{s} \end{aligned} \quad (3)$$

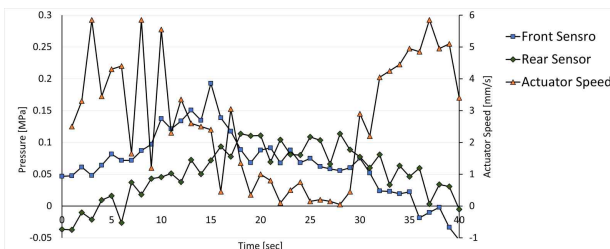


그림 3. 측정된 압력 및 로드 속도 그래프

EHA 실험장치를 이용한 실험 결과 압력  $P$ 는 0.19MPa으로 측정되었다. 액추에이터 로드는 그림 3과 같이 압력 변화간에 평균 3.841mm/s의 속력으로 움직였으므로 펌프의 유량  $Q$ 는 1206.6mm<sup>3</sup>/s로 환산된다. 또한 펌프의 P-Q 그래프는 그림 4와 같다.

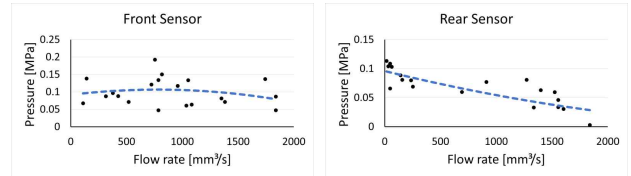


그림 4. 제안된 펌프의 P-Q 그래프

### 4. 결론

본 논문에서는 피스톤 고무 탄성체의 영향을 고려한 수정된 압력식을 제안하였고, 이를 실험적으로 검증하였다. 검증 결과 제안된 이론에 따른 이론값 0.237MPa은 실험값 0.19MPa과 매우 가까운 값을 제시할 수 있었다. 본 논문에서 제시한 이론식을 바탕으로 소형 EHA 시스템을 이용하여 친환경적인 수압 시스템의 설계 가능성을 입증하였다. 향후 EHA의 제어 특성을 파악하기 위한 피스톤의 마찰계수 및 동역학 시스템을 모델링하는 전달함수를 구하고, 실험을 통해 검증할 계획이다.

### 참고문헌

- [1] A. Navatha, K. Bellad, S. S. Hiremath and S. Karunanidhi, "Dynamic Analysis of Electro Hydrostatic Actuation System," *Procedia Technology*, vol. 25, pp. 1289-1296, 2016.
- [2] K. T. Koskinen, T. Leino, H. Riipinen, "Sustainable development with water hydraulics-possibilities and challenges," *Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power*, pp. 11-18 September. 2008.
- [3] D. W. Lim and Y. K. Lee, "Design of the swash-plate water hydraulic pump for environment-friendly acuator systems," *International Jouranal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, vol. 8 pp. 1587-1596, July 2021.
- [4] 송하권, 이용권, 임동원 "소형 EHA 시스템을 위한 사판식 수압펌프의 소형화 설계," *제어로봇시스템학회 국내학술대회 논문집*, pp. 44-45, 2021. 6.