

EPPR Valve의 유압특성 해석에 관한 연구

The research on hydraulic characteristic analysis of EPPR Valve

*송창현¹, #양해정², 권기범³

*C. H. Song¹, #H. J. Yang(yhj@kpu.ac.kr)², K. B. Kwon³

¹ 한국산업기술대학교, ² 한국산업기술대학교, ³ 한국산업기술대학교

Key words : EPPR Valve, Pressure Control Valve, Proportional Pressure Reducing

1. 서론

전자비례감압밸브(Electronic Proportional Pressure Reducing Valve ; 이하 EPPR Valve라 칭한다)는 입력전류에 비례하여 압력을 제어하는 밸브로서 자동차 및 중장비 분야를 포함하여 다양한 산업분야에 널리 이용되어지고 있다.

본 연구에서 대상으로 하는 EPPR Valve는 중장비 등의 Main Control Valve의 Spool을 제어하는데 사용되는 밸브로서 장비를 운용함에 있어 매우 중요한 핵심부품이라 할 수 있다. 이러한 EPPR Valve는 입력전류에 비례하는 흡인력 특성⁽¹⁾을 가지고 있으며, 온오프솔레노이드 밸브보다 높은 수준의 제어가 가능⁽²⁾하다.

본 연구에서는 유압시스템 해석 및 유동해석을 통하여 EPPR Valve 모델을 제안하고, 실제 제작된 밸브의 성능시험 결과와 해석 결과를 비교 분석 하였다.

2. EPPR Valve의 구조 및 작동원리

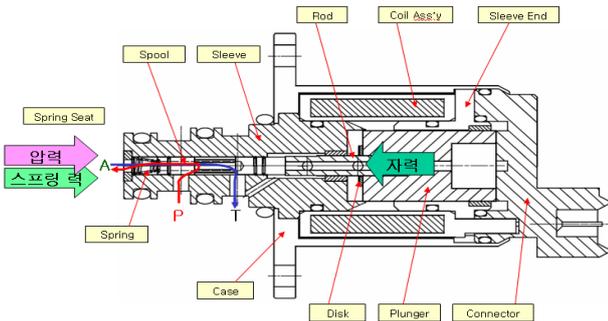


Fig. 1 EPPR Valve

EPPR Valve는 Fig. 1과 같은 구조로써 코일에 전류를 인가하면 전자기력이 발생되고, 인가된 전류가 점차적으로 증가함에 따라 플린저는 좌측으로 변위가 변화한다. 따라서 스톱도 입력전류에 비례하여 좌측으로 변위가 변화하며 이에 따라 밸브에서 A포트로 배출되는 유체의 압력이 상승하게 된다. 반대로 인가된 전류가 점차적으로 감소하게 되면 복원스프링에 의해서 스톱 및 플린저는 우측으로 변위가 변화하면서 A 포트에 배출되는 유체의 압력은 감소하게 된다.

3. 유압시스템 해석

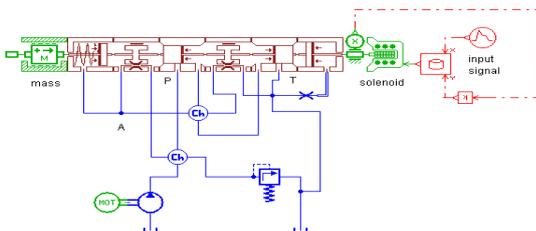


Fig. 2 Modeling of EPPR Valve

EPPR Valve의 설계 파라미터에 대한 영향을 분석하기 위해서는 유압시스템 해석이 요구된다. 따라서 1 차원 시스

템 해석 소프트웨어를 사용하여 EPPR Valve의 유압시스템을 Fig. 2와 같이 모델링 하였다. 여기에서 솔레노이드 데이터는 전자장 해석 소프트웨어를 통해서 얻은 전자기력 해석값을 이용하였다.

EPPR Valve의 P-I 성능곡선을 나타내기 위하여 20초 동안 입력전류를 0mA→700mA→0mA로 하여 A포트에서의 압력변화를 시뮬레이션 하였다. 그 결과는 Fig. 3과 같다.

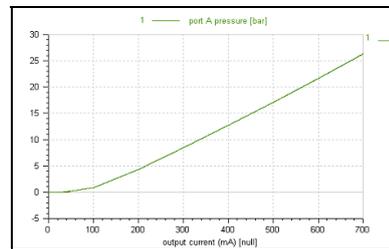


Fig. 3 P-I curve of EPPR Valve

EPPR Valve는 솔레노이드 힘, 스톱의 크기, 스프링부의 압력 면적, 스프링 특성 등 각 설계 파라미터의 변화에 따라 P-I 성능곡선이 변하게 된다. 따라서 유압시스템의 모델링을 통해 설계 초기단계에서 EPPR Valve의 최종적인 성능을 미리 예측할 수 있다.

유압시스템 모델링의 정확성을 규명하기 위하여 실제 제작된 EPPR Valve의 성능시험 결과와 유압시스템 해석 결과를 상호 비교하였다.

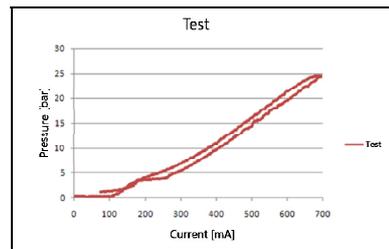


Fig. 4 Experimental result

Fig. 4는 실제 제작된 EPPR Valve의 성능시험을 통해 얻어낸 P-I성능 곡선이다.

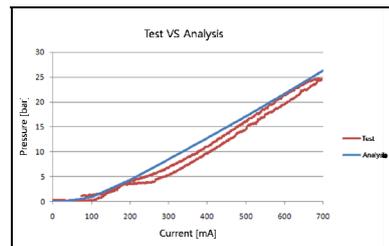


Fig. 5 Comparison of experimental result and analysis

Fig. 5는 유압시스템 해석을 통해 얻어낸 P-I성능곡선과 실제 밸브의 성능시험을 통해 얻어낸 P-I성능 곡선을 비교한 그림이다. 700mA의 전류를 인가하였을 때, 오차율은 약 7%로서 EPPR Valve의 유압시스템이 비교적 정확하게 모델

링 되었음을 알 수 있다.

단, Hysteresis 가 실제 밸브의 성능시험에서만 나타나는 것은 유압시스템의 해석에서 솔레노이드의 Hysteresis 가 반영되지 않았기 때문이다.

Fig. 2의 유압시스템 모델에서 솔레노이드를 전자장 해석 소프트웨어에서 얻은 자력 데이터를 이용하지 않고, 실제 솔레노이드 성능시험을 통해 얻은 자력 데이터를 이용한다면 더욱 정확한 해석 결과값을 얻을 수 있을 것이다.

4. 유동 해석

EPPR Valve 의 해석에서 사용되는 작동유는 비압축성 유체로서 작동유의 물성은 다음과 Table1 과 같다.

밀도 (ρ)	880 kg/m ³
점성계수(μ)	0.0275 kg/ms

유동해석을 수행하기 위해서 EPPR Valve 내의 유동부분만을 유한요소모델로 생성 하였다. Node 의 수는 71612 개이고, Element 의 수는 288804 개로 모델링을 하였다. 또한 유체의 운동에 따른 압력손실과 효율을 확인하기 위해 입구와 출구에서 난류를 배제하고 층류가 형성 될 수 있게 입구와 출구의 길이를 지금의 10 배 이상의 길이로 하였다.

경계조건은 실제 성능시험 조건과 동일하게 설정하였다. Fig.11 을 보면 설정 압력 20[bar] 에서 4.50[liter/min]의 유량이 흐른다. 따라서 유량과 면적으로 입구 속도 8.00[m/s]를 설정하였다.

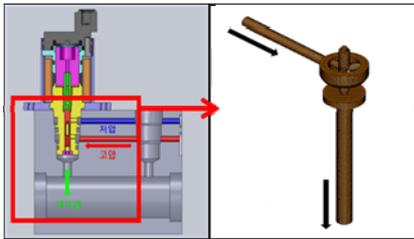


Fig. 6 Flow path and Finite element model

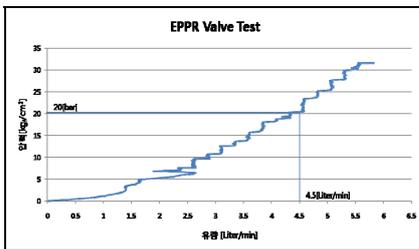


Fig. 7 EPPR Valve test

본 해석에 대한 신뢰성은 시험유량과 해석유량 비교에 의거 하였다. 유동해석 결과 입구와 출구는 각각 4.42 [liter/min]와 4.50 [liter/min] 으로 오차율은 1.8%로 높은 신뢰성을 보였다.

Fig. 8~11 은 유동해석 결과로 속도분포를 비롯해 정압 및 전압분포를 나타내는 그림이다.

자세한 유동해석 결과는 Table 2 에 도시하였다. 부 손실 계수(Km), 부차적 수두 손실 (hm), 레이놀즈 수(ReD), 관 마찰계수(f), 관 상당길이(Leq)를 추출하였다. EPPR Valve System 의 부차적 손실은 직경이 작은 관로의 평균 속도로 계산되었다.

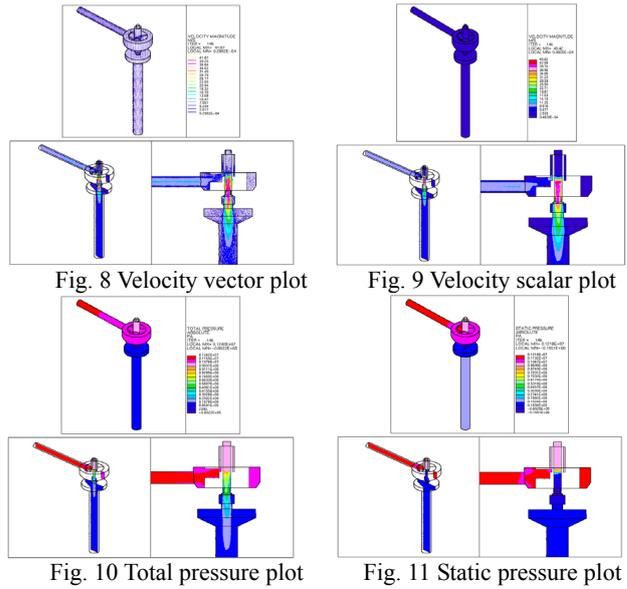


Table 2 CFD result

관직경(m)	0.0035
ΔP_s (Pa)	1,062,208
Minor Loss (Pa)	1,082,602.99
Q(m ³ /s)	7.36E-05
K _m	32.93
h _m	1.10E+02
V _D (m/s)	8.11E+00
ReD	2.78E+04
f	7.11E-01
L _{eq}	1.62E-01

5. 결론

본 연구에서는 EPPR Valve 의 설계 최적화를 목적으로 유압시스템 해석 및 유동해석이 수행되었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) EPPR Valve 에서 발생하는 Hysteresis 는 전자기력 Hysteresis 의 영향이 크다.
- (2) 유동해석을 통해 밸브 내 유체의 속도 및 단면적의 급격한 변화로 인한 압력손실이 발생하는 부분을 수치적으로 확인 할 수 있었다.
- (3) 실제 제작된 EPPR Valve 의 성능시험 결과와 이론 해석 결과의 비교분석을 통해 해석 모델에 대한 타당성 및 신뢰성을 확보할 수 있었다.
- (4) 이 연구의 결과는 향후 EPPR Valve 의 성능 개선 및 새로운 모델 개발에 유용한 자료가 될 것이다.

참고문헌

1. Yun, S. N., Ham, Y. B., Park, P. W., "Pressure Control Valve using Proportional Electro-magnetic Solenoid Actuator," Journal of the KSME (A), Vol. 30, No. 10, pp. 1202~1208, 2006.
2. Song, C. S., Yoon, J. S., Suh, J. B., "A Study of Electromagnetic Proportional Flow Control Valve," Journal of the KSPE, Vol. 10, No. 1, pp. 100~107, 1993.
3. Tae, H. J., Jung, H. I., Kim, H. M., Lee, H. W., "Numerical Analysis of Dynamic Behavior in a Variable Pressure Solenoid Valve," Transactions of KSAE Fall Conference, pp.70~76, 2003.
4. Kim, H. M., Tae, H. J., Lee, H. W., Lee, C. H., "Dynamics Analysis of Pressure Control Characteristics in a Variable Pressure Solenoid Valve," Transactions of KSAE, Vol, 11, No. 6, pp. 80~85, 2003.