

점성가열을 고려한 유압 비례제어밸브의 CFD해석 CFD Analysis of Proportional Control Valve with Viscous Heating

*정요한¹, 이준오¹, #박태조²

*Y. H. Jeong¹, J. O. Lee¹, #T. J. Park(tjpark@gnu.ac.kr)²

¹경상대학교 대학원 기계항공공학부, ²경상대학교 기계공학부

Key words : Spool valve, Viscous heating, Thermo-hydrodynamic analysis, Computational fluid dynamics

1. 서론

자동차에서 자동변속기는 차량의 주행상태와 부하에 맞춰 자동적으로 최적의 토크변환을 얻을 수 있는 동력전달 장치로 운전자의 편의성을 보장한다. 최근에는 승용차뿐만 아니라 건설차량과 농업용 차량에도 적용이 확대되고 있다. 특히 건설차량은 전진과 후진 작업을 번갈아 수행하므로 전·후진 변속 시스템의 안정화가 중요하다. 변속시의 변속충격은 변속기 클러치에 형성되는 압력 때문에 발생한다. 압력형성이 빠르면 변속 응답시간은 좋아지지만 과도한 토크에 의한 변속충격이 발생하게 되어 운전자의 조작성과 승차감을 저해하는 요소로 작용한다. 이 문제를 해결하기 위한 방법으로 비례제어 밸브를 이용한 라인압 가변제어기술이 주목 받고 있으며 응답특성이 빠르고 선형적(Linearity)인 제어가 가능한 밸브 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

최근에 사용되기 시작한 CFD를 이용한 유동해석 방법은 밸브내의 복잡한 유동특성과파울을 가능하게 하여 밸브의 성능개선에 기여하고 있다. Amirante 등[2]은 방향제어밸브에 대해 3차원 유동해석과 실험을 수행하여 밸브내의 노치를 가진 스푸울(Spool)의 움직임에 따른 유동력을 분석하였다. Yuan 등[3]은 다양한 재질특성에 있어 정상적인 유동특성 효과를 찾고자 하였다. 지금까지의 대부분의 연구에서는 등온조건을 적용하여 유동특성을 파악하였다. 하지만 점성유체의 유동에 의해 발생한 점성마찰은 유온을 상승시켜 점도의 변화를 야기하기 때문에 유동장에 큰 영향을 미친다. 특히, 점도지수가 낮은 유압유일수록 온도의 영향이 한층 커지기 때문에 정확한 유압 제어밸브의 성능예측을 위해서는 점성가열(Viscous heating)을 고려한 열유동해석(Thermo-hydrodynamic:

THD)이 요구된다.

본 논문에서는 유압 비례제어밸브의 성능개선 연구의 일환으로 THD 해석방법을 적용하여 밸브의 유동특성을 조사하고자 한다.

2. 해석 방법 및 조건

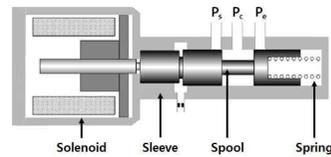


Fig. 1 Schematic of variable force solenoid valve

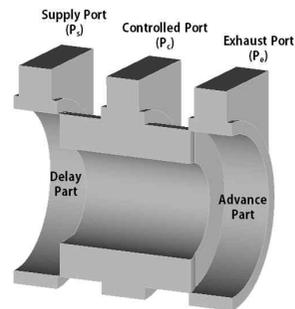


Fig. 2 Flow field of computational domain

본 논문에서는 상용 열·유체해석 CFD 프로그램인 FLUENT[4]을 이용하여 유압 비례제어밸브의 열유동해석을 수행하였다. Fig.1은 해석에 사용한 유압 비례제어 밸브로 슬리브(Sleeve), 스푸울, 스프링과 자성체로 구성되어 있다. 스푸울은 전류가 인가되어 자기력을 받으면 좌측 끝에서 스프링과 자기력이 평형을 이루는 지점으로 이동하게 되고 공급포트(Supply port, 좌측)와 배출포트(Exhaust port, 우측) 사이를 움직이며 원하는 제어포트(Control port, 중앙)의 압력을 형성한다. 주요 유동

특성은 이 3개의 포트 주변에서 발생하기 때문에 해석영역을 Fig.2와 같이 설정하였다. 해석영역은 20 μ m의 누설부를 고려하였으며 대칭조건을 적용한 1/2모델을 사용하였다. 격자는 180만개 정도의 육면체 격자로 구성하였다. 공급압(P_s)과 배출압(P_e)은 각각 2MPa, 0.1MPa이며, 공급포트에서의 유압유온도는 85℃이다. 제어압이 형성되는 제어포트에서의 유동은 없다고 가정하여 벽(Wall)으로 간주하였다. 대칭면을 제외한 모든 벽면은 접촉조건과 단열조건을 설정하였다. 밸브내부는 층류로 가정하여 3차원 정상상태의 비압축성 Navier-Stokes 방정식을 사용하였으며 THD 해석을 수행하기 위해 에너지 방정식과 온도에 따른 점도변화식을 포함하였다. 압력과 속도 커플링은 SIMPLC 알고리즘을, 대류항(Convection term)은 2차 상류도식(Second order upwind scheme)을 사용하였다. Table 1에는 수치해석에 사용된 유압유의 물성자료를 나타내었다.

Table 1 Oil Properties

Density, kg/m ³	826.55
Specific heat, J/kg·s	1,880
Thermal conductivity, W/m·K	0.12
Viscosity, cS	1

3. 결과 및 고찰

Fig.3은 진각부(Advance part)의 노치가 개방되는 위치에서의 속도분포이다. 진각부에서는 강한 제트유동과 와류(Vortex)를 확인 할 수 있다 (Fig.3(B)). 지각부(Delay part)는 누설부를 통한 유동에 의해 제트 유동이 발생, 스푸울 전체에 거대한 와류를 형성한다. 이때 발생하는 제트유동의 최고속도는 약 25m/s이며 접촉조건이 적용된 벽면과의 속도구배에 의해 유압유의 온도가 상승한다.

Fig.4는 온도분포를 나타내었다. 지각부에서 누설부를 통과한 유압유는 점성마찰에 의하여 유온이 상승하였으며 이는 제어포트의 점도변화를 야기하였다(Fig.5). 유온의 상승은 1% 미만이지만 점도는 10% 정도의 큰 차이를 나타내었으며, 이에 따라 제어압 역시 차이를 보였다. 따라서 본 논문에서 사용한 THD 해석방법으로 실제로 가까운 운전 조건에 대한 스푸울 밸브의 성능을 보다 정확하게 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Lee G. S., Sung H. J., Kim H. C., and Lee H. W., "Flow Force Analysis of a Variable Force Solenoid Valve for Automatic Transmissions", *ASME Journal of Fluids Engineering*, **132**, pp. 031 103-1-031 103-7, 2010.
2. Amirante R., Moscatelli P. G. and Catalano L. A., "Evaluation of the Flow Forces on a Direct(Single Stage) Proportional Valve by Means of a Computational Fluid Dynamic Analysis", *Energy Conversion and Management*, **48**, pp. 942-953, 2007.
3. Yuan Q. and Li P. Y., "Using Steady Flow Force for Unstable Valve Design: Modeling and Experiments", *ASME Journal of Dynamic System, Measurement and Control*, **127**, pp. 451-461, 2005.
4. FLUENT, FLUENT 14.0 Manual, 2011.

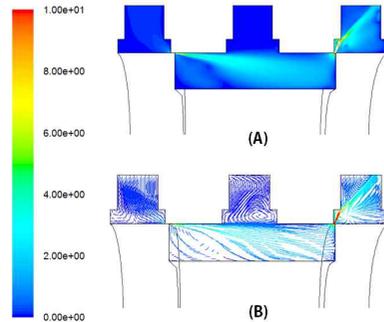


Fig. 3 (A) Velocity distribution, (B) Streamline

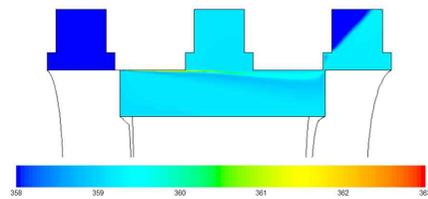


Fig. 4 Oil Temperature distribution

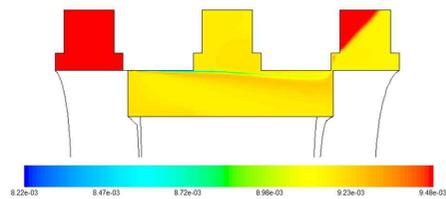


Fig. 5 Viscosity distribution