

전류리플 정보에 의한 비례 밸브의 위치보상기 구성에 관한 연구

최성철¹, 권준형¹, 송명진¹, 박성미², 박성준^{1†}
 전남대학교¹, 한국승강기대학교²

A Study on the Composition of Position Compensator of Proportional Valve by Current Ripple Information

Seong-Cheol Choi¹, Jun-Hyeong Kwon¹, Myeong-Jin Song¹, Seong-Mi Park², Sung-Jun Park^{1†}

Chonnam National University¹, Korea Lift College²

ABSTRACT

유량이나 유속을 제어하기 위해서는 비례 밸브 및 서보 밸브를 일반적으로 사용되어 진다. 하지만, 최근 비례 밸브 위치 센서의 경제적 문제로 인하여 위치 센서를 사용하지 않는 비례 밸브 연구가 증가하고 있다. 비례 밸브는 개폐 시 위치 히스테리시스 특성으로 인하여 동일한 전류에서도 상이한 위치로 동작하는 것이 큰 단점이다. 따라서 본 논문에서는 비례 밸브의 위치에 따른 인덕턴스의 변화가 전류의 리플률로 나타나는 점을 이용한 새로운 센서 리스 위치 보상기를 구현하였다. 또한 PSIM시뮬레이션을 통한 분석으로 제안된 토폴로지의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

솔레노이드는 전류를 흘릴 수 있는 도선을 일정한 간격으로 길게 감아 만든 원통형관 형태로서 도선에 전류를 통전시키면 전자기력(electromagnetic force)이 발생한다.^[1] 이러한 원리를 활용하는 비례 밸브와 전기-유입식 서보 밸브는 기술의 발전에 따라 성능이 향상됐고 유체의 유량, 압력, 방향 등의 다양한 응용 분야에 활용이 확대되고 있다.^[1]

솔레노이드 비례 밸브는 도선에 흐르는 전류에 의해 발생하는 전자기력을 직접 활용하여 유체 및 유속을 제어하는 반면, 전기-유입식 서보 밸브는 전기적 신호로 직접 제어하는 것이 아니라, 기계적인 변위를 통한 유압적 증폭 과정을 거친다는 차이점을 지니고 있다. 이러한 구성의 차이로 인해 비례밸브는 경제적 이점을 지니고 있으며 전류 입력이 일정하면 플런저 변위와 관계없이 일정한 힘을 발생시키고 전류에 비례하는 힘을 얻을 수 있는 특성이 있어 사용도가 높다.

솔레노이드는 동일한 전류에 대해 정교한 플런저 위치 제어를 가질 수 있는 특성이 매우 중요하다. 하지만, 실제 밸브에서 발생하는 히스테리시스 손, 마찰 손 등 에너지 손실로 인하여 동일한 전류에서도 플런저에 위치가 상이하다는 단점이 존재한다. 이에 따라 정밀 제어를 위한 연구가 증가하고 있으며 저가의 비례 밸브의 위치 센서를 사용하지 않는 센서 리스 방식 연구가 증가하고 있는 추세이다.

본 논문에서는 비례 밸브의 플런저 위치 변동으로 나타나는 인덕턴스의 변화가 전류 리플을 발생시킨다는 점을 이용하여 새로운 센서리스 위치 보상기를 구현하고 비례 밸브와 서보 밸브의 상관관계를 통해 비례 밸브를 이용한 서보 밸브화 연구를 진행하였다. 이를 PSIM Tool을 이용한 시뮬레이션을 통해 분석하고 제안된 토폴로지의 타당성을 검증한다.

2. 센서 리스 위치 보상기

2.1 비례 솔레노이드 밸브

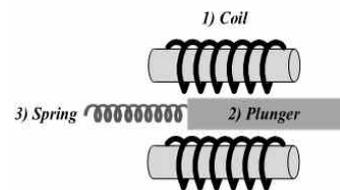


그림 1 솔레노이드 밸브 간략구조
 Fig.1 Simplified solenoid valve

그림 1은 솔레노이드 밸브 구조의 간략도를 나타낸다. 비례 밸브는 PWM을 이용해 코일에 입력 전압을 조정하고 전압에 비례하여 Coil 인가 전류를 조절할 수 있다. 듀티비에 따라 평균 전압의 크기가 변화하게 되면 자성체의 자화, 발생하는 힘까지 변화하는 특성을 이용해 플런저의 움직임을 제어한다. 이러한 플런저의 움직임 X는 코일 인덕턴스 L 값에 영향을 미치게 되며 그림 2와 같은 그래프 형태로 나타낼 수 있다.

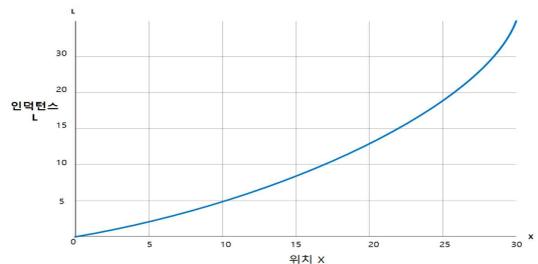


그림 2 위치 X와 인덕턴스 L 관계 그래프
 Fig. 2 Position X and inductance L relationship graph

2.2 서보 밸브

서보 밸브는 액추에이터를 이용하여 전기적 입력을 변위로 변화 위치를 제어하는 방식을 지니고 있다. 밸브 사용 시 차동 센서와 같은 위치 센서를 이용하여 플런저 위치 값을 받아오며 입력 전류에 의한 위치 변동 관계를 그림 4 그래프와 같이 나타낼 수 있다.

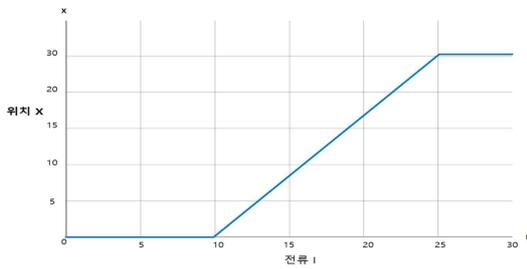


그림 3 위치 X와 전류 I 관계 그래프
Fig.3 Position X and current I relationship graph

2.3 전류 리플을 이용한 L 추종

서보 밸브 측면에서 그림 4와 같이 입력 전류 I가 변하면 위치 X가 변하게 되고, 이에 따라 자기저항 R의 변화와 인덕턴스 L의 변화가 이루어지게 된다. 이러한 현상을 바탕으로 위치 X에 대한 인덕턴스 L 변화를 $L = f(X)$ 형태로 나타낼 수 있으며, 반대로 $X = f(L)$ 형태로도 나타낼 수 있다.

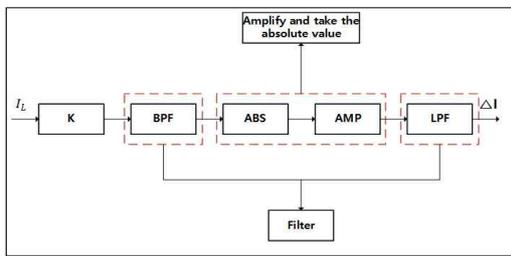


그림 4 필터증폭
Fig .4 Filter amplification

밸브는 플런저 움직임에 따라 히스테리시스 손, 와류 손 등 손실로 인하여 동일한 전류에서 동일한 플런저 위치 제어가 힘들며 전류 리플이 발생한다. 이를 근거로 Buck 컨버터 특성을 활용하여 평균 전류를 그림 4와 같은 과정을 통해 전류 리플 값을 측정한다.

3. 시뮬레이션

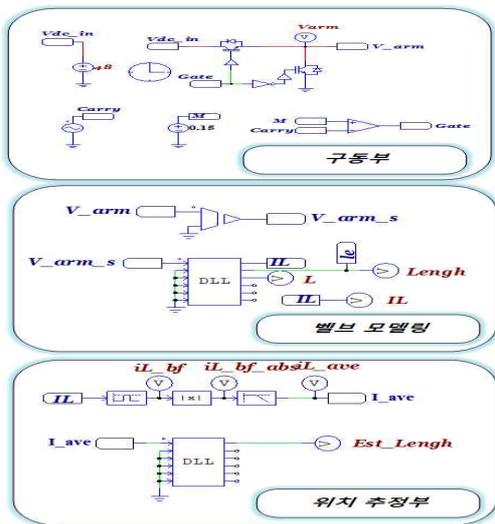


그림 5 시뮬레이션 회로
Fig .5 Simulation circuit
센서리스 방식은 솔레노이드 밸브 자체 특성을 이용한다. 플

런저 위치에 대한 정보가 인덕턴스 값에 영향을 미친다. 이에 따라 입력 리플 전류를 처리하여 실제 플런저 위치를 측정할 수 있다. 그림 5는 제안된 방식의 타당성을 검증하기 위한 시뮬레이션 회로이다. 시뮬레이션 회로는 크게 밸브 구동부, 모델링부, 밸브 스위칭 주파수 성분의 리플 검출 부 및 위치 추정부로 구성되어 있다. 그림 6은 밸브의 위치 추정 특성을 분석하기 위한 시뮬레이션 결과이다.

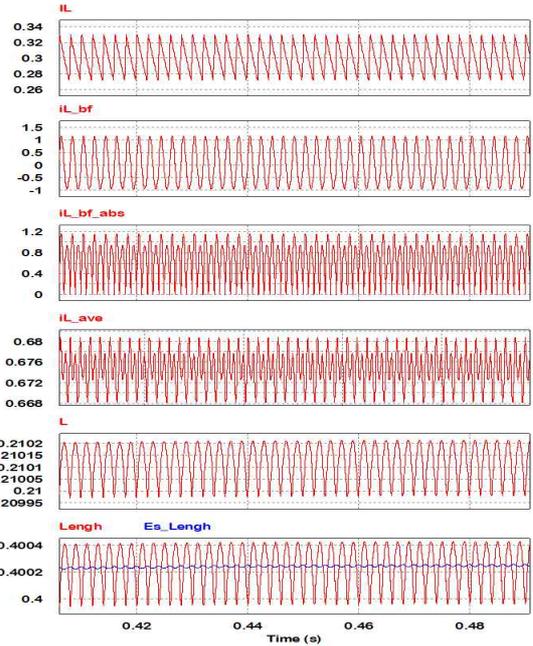


그림 6 시뮬레이션 결과
Fig .6 Simulation result

그림 6에서 스위치 리플 전류의 평균치를 검출한 제안된 위치 추정은 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

4. 결론

솔레노이드 밸브 원리 및 비례, 서보 밸브를 소개하고 인덕턴스값, 전류 리플로부터 플런저의 실제 위치를 어떻게 구할 수 있는지 연구하였다. 인덕턴스 시뮬레이션 결과는 센서를 사용하지 않고 플런저의 실제 위치를 얻을 수 있고 인덕턴스의 변화가 전류의 리플로 나타나는 점을 이용한 새로운 센서리스 위치 보상기를 구현하였다.

본 연구는 2023년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(No. 20214000000560)

참고 문헌

[1] G.-H. Jung, "Auto Tuning of Position Controller for Proportional Flow Control Solenoid Valve," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, vol. 36, no. 7. The Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 797 - 803, 01-Jul-2012.
[2] Jun-Seong Lee, Seung-Geon Hong, John-Oh Park, Jang-Bom Chai, Il-Han Park. "Fault Diagnosis Method for Driving Part of Position Control Solenoid Valve" The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers 69, 12 (2020)