

비례 압력 제어용 솔레노이드 액추에이터의 PWM 신호 변조에 따른 흡인력 특성 향상에 관한 연구

A Study on Improvement of Attraction Force Characteristic with Modified PWM Signal for Proportional Pressure Control Valve

*정황훈¹, 양주호², 김동건¹, 윤소남¹

*H. H. Jeong¹, J. H. Yang², D.G. Kim¹, S.N. Yun¹(ysn688@kimm.re.kr)

¹ 한국기계연구원 에너지기계연구실, ²부경대학교 기계시스템공학과

Key words : Solenoid actuator, Attraction force, Modified PWM signal, Duty ratio

1. 서론

유압시스템에서 비례 압력 솔레노이드 밸브를 이용한 압력 제어 기술은 차량의 자동 변속기, 연삭기, 자동화 설비, 사출 성형기, 압연 설비 등 산업 전반에 응용되는 기술이다. 비례 압력 솔레노이드 밸브의 제어 방법은 크게 제어콘 설계에 따른 기계적인 방식과 피드백 제어를 기반으로 한 전기적인 방식이 있다. 기계식 비례 압력 솔레노이드 밸브의 경우 전자식 비례 압력 솔레노이드 밸브에 비해 구조가 간단하고, 신뢰도가 높으며, 가격이 저렴하고, 작동유체의 오염에 덜 민감하기 때문에 광범위하게 사용되고 있는 밸브이다.

기계식 비례 압력 솔레노이드 밸브는 자속 누설과 자속 포화를 이용하여 작동영역 내에서 변위에 관계없이 입력 전류에 비례한 흡인력을 낼 수 있도록 하는 구조로 설계되며, 응답성 향상을 위해 주파수 변조법(Frequency Modulation)이나 펄스폭 변조법(Pulse Width Modulation)을 이용하고 있다. 최근에는 PWM 신호에 고주파수의 디더(dither)를 추가하여 더 우수한 응답성을 얻으려는 연구들이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 비례 압력 솔레노이드 밸브의 제어 신호 변조에 따른 흡인력 특성을 확인하기 위하여, 기존의 PWM 신호를 사용하는 방법과 5kHz의 디더를 포함하는 PWM 신호를 사용하는 방법에 대해 PWM 신호의 주파수에 따른 흡인력 특성과 PWM 신호 변조에 따른 흡인력 응답 특성에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 비례 압력 솔레노이드 밸브

Fig. 1은 본 연구에서 PWM 신호에 따른 흡인력 특성 실험을 위한 비례 압력 솔레노이드 밸브의 그림이다. 제어콘 끝점에서의 자기 포화에 의해 플런저의 변위가 변동되더라도 일정한 흡인력을 유지할 수 있도록 설계되었다. Fig. 2은 Maxwell를 이용하여 설계된 비례 압력 솔레노이드 밸브의 흡인력을 분석한 한 것이다. 그 결과, Fig. 3과 같이 플런저의 변위와 코일의 전류에 따른 흡인력을 확인할 수 있다.

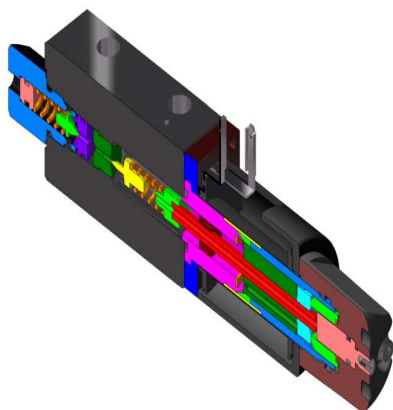


Fig. 1 Proportional pressure control valve

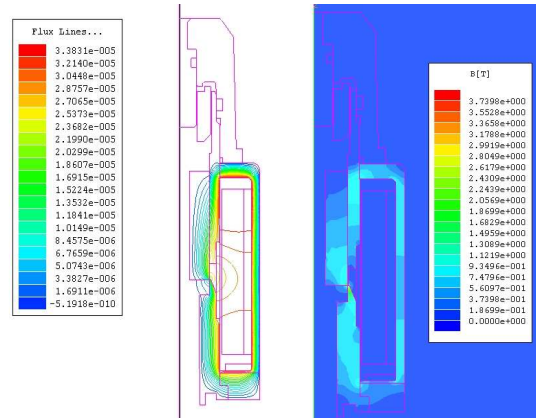


Fig. 2 Flux analyzing

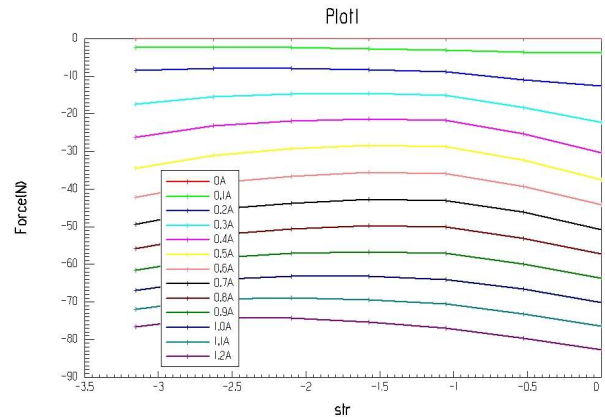


Fig. 3 Attraction force analysis results between plunger displacement and coil current

3. 흡인력 특성 실험

Fig. 4는 비례 압력 솔레노이드의 흡인력 특성 실험을 위한 실험장치의 사진이다. 실험에 사용한 솔레노이드 액추에이터의 경우 플런저 변위 복귀를 위한 스프링이 액추에이터에 없는

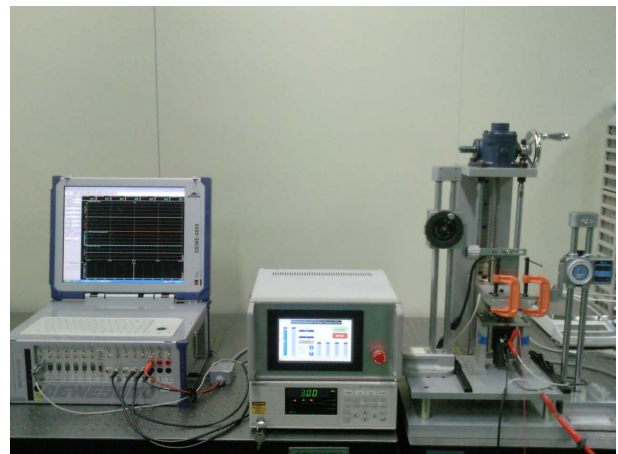
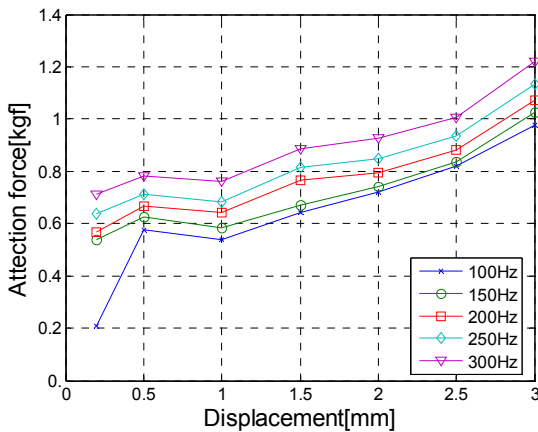


Fig. 4 Experimental equipment

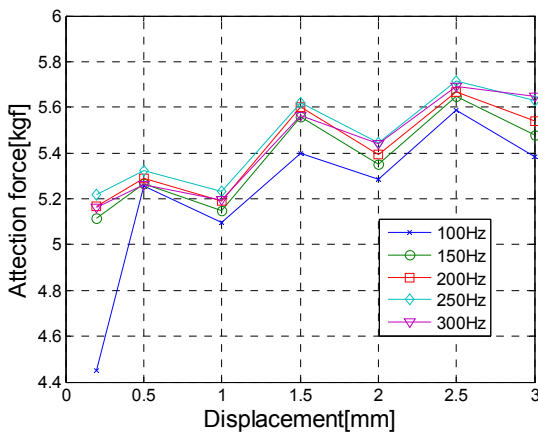
구조이기 때문에, 실험을 위해 플런저의 위치를 최대로 올린 상태에서 자중에 의해 이동하는 거리를 기준으로 흡인력을 측정하였다. 플런저의 변위는 레이저 변위센서를 이용하였으며, PWM 신호는 메인 주파수를 100Hz에서 300Hz까지 50Hz 간격으로 총 5가지에 대해, 듀티비를 10%에서 90%까지 20%간격으로 총 5가지에 대해 흡인력을 측정하였다.

Fig. 5는 PWM 신호의 주파수에 따른 흡인력의 예를 나타낸 것으로 듀티비가 10%와 50%일 때 변위와 주파수에 따른 흡인력을 측정한 그림이다. Fig. 5(b)에서 보는 것처럼 설계한 솔레노이드 밸브의 액추에이터는 PWM 신호의 주파수 변동에 흡인력이 약간 변동되고 있으나, 측정한 변위 구간에서 일정한 흡인력을 유지하고 있다. Fig. 5(a)는 듀티비가 10%일 때, 변위와 주파수에 따른 흡인력을 측정한 그림으로 주파수 변동에 따른 흡인력의 변동폭이 크게 나타나고 있다. 일반적으로 비례 제어용 PWM 신호의 듀티비는 15%~85%를 권장하고 있으며, 이는 권장 듀티비 이외의 영역에서는 Fig. 5(a)에서처럼 흡인력의 비례 특성이 다르게 나타날 수 있기 때문이다.

Fig. 6은 일반적인 PWM 신호와 고주파수 디더를 포함하는 PWM 신호에 대해 흡인력 출력의 상승시간과 지연시간을 측정할 예를 나타낸 그림으로, PWM 신호의 주파수가 250Hz이고, 플런저의 변위가 1.5mm와 2mm일 때의 흡인력 응답 특성을 측정한 그림이다. 실험결과, 지연시간의 경우 두 신호에 대해 동일한 특성을 나타내고 있으나, 상승시간의 경우 고주파수 디더를 포함시킬 때, 일반적인 PWM 신호에 비해 응답속도가 최대 15%(약 12ms) 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

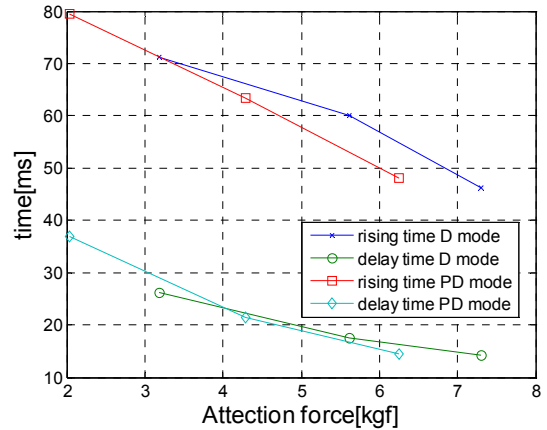


(a) attraction force on duty rate 10%

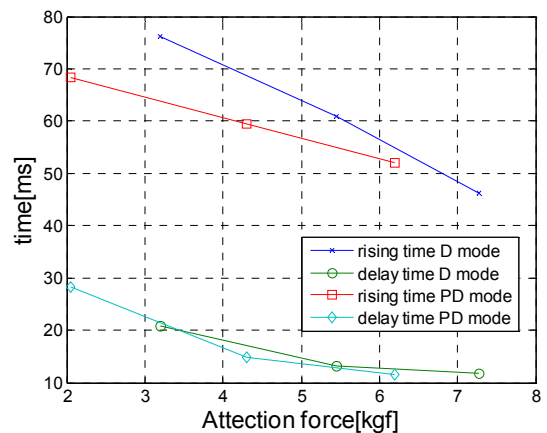


(b) attraction force on duty rate 50%

Fig. 5 Illustration of attraction force at parameter changing



(a) Rising time and delay time on 250Hz at 1.5mm



(b) Rising time and delay time on 250Hz at 2mm

Fig. 6 Illustration of response characteristic

4. 결론

본 연구에서는 비례 압력 솔레노이드 밸브의 제어 신호 변조에 따른 흡인력 특성을 확인하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

가. 비례 압력 솔레노이드 밸브를 위해 설계된 솔레노이드 액추에이터의 흡인력은 0.2mm에서 3mm 구간에서 일정한 흡인력을 나타내고 있다.

나. 듀티비가 10% 일 때, PWM 신호의 주파수 변동에 따른 솔레노이드 액추에이터의 흡인력 변화폭이 커져, 제어신호로 부적합하다.

다. PWM 신호에 고주파수 디더를 포함한 제어 신호의 흡인력 응답 속도 특성은 일반적인 PWM 신호에 비해 최대 15% 향상되었다.

참고문헌

1. Ruggeri, M. and Gardenghi, S., "Benefit of the Asymmetrical Half Bridge on Proportional Valve Electronic Control", 7th International Fluid Conference, WH2, 1-12, 2010.
2. Barertscher, J., Cunefare, K. A. and Ferri, A. A., "Braking Impact of Normal Dither Signals", Journal of vibration and Acoustics, Vol. 129, 17-23, 2007.
3. 윤소남, 함영복, 박중호, 함상용, 한성민, "비례압력제어밸브용 솔레노이드의 응답성 향상을 위한 PWM 신호 특성 연구", 유공압시스템학회 춘계학술대회 논문집, 37-42, 2009.
4. 허준영, Wennmacher, G., "고속전자밸브를 사용한 유압장치의 PWM 제어에 관한 연구", 대한기계학회, 19, 3, 868-876, 1995.