

비례 솔레노이드 액추에이터의 제어콘 각도 변화에 따른 흡인력 향상에 관한 연구

A Study on Attraction Force Improvement by Control Cone Angle Variation of Proportional Solenoid Actuator

*김동건¹, 정형훈¹, 정은아¹, #윤소남¹

*D. G. Kim¹, H. H. Jeong¹, E. A. Jung¹, #S. N. Yun(ysn688@kimm.re.kr)²

¹ 한국기계연구원 에너지기계연구실

Key words : Proportional solenoid, Attraction force, Control cone, Duty ratio

1. 서론

현재 산업계에서 사용되고 있는 유압식 기계시스템이 점차 자동화 되어감에 따라 압력, 유량 및 방향을 제어하기 위해 필요한 기계요소 및 제어기술들이 눈에 띄게 발전하고 있다. 그 중에서도 솔레노이드 밸브는 기존의 수동식으로 작동되어 오던 압력, 유량 및 방향을 자동으로 제어할 수 있도록 함으로써 기계시스템의 자동화 분야에서 중추적인 역할을 해왔다.

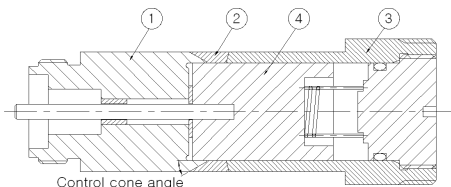
일반 산업현장에서는 대부분 단순 On/Off 기능만을 위해 솔레노이드 밸브를 사용하고 있지만, 정밀 제어가 필요한 일부 시스템에서는 변위에 대해 일정한 힘을 낼 수 있는 솔레노이드 밸브를 사용해야만 한다. 일반적으로 솔레노이드 밸브의 비례 동작을 구현하기 위해서는 밸브에 서보 기구를 추가하여 사용해야 한다. 하지만 이 경우 밸브의 구조가 복잡해지고, 제조원가가 높아지는 문제점을 갖고 있어, 서보 기구를 갖지 않으면서도 비례특성을 갖는 솔레노이드 밸브의 개발이 필요하다.

비례 솔레노이드 액추에이터의 설계에 있어 고려해야할 점은 적절한 코일 선정과 재료 선정, 그리고 최적의 제어기를 이용하여 솔레노이드의 흡인력을 입력전류에 비례적으로 응답하도록 하는 기술과 제어콘 설계를 통하여 자속포화와 자속누설 특성을 적절히 이용하여 입력 전류에 비례하는 흡인력을 얻는 기술이다.

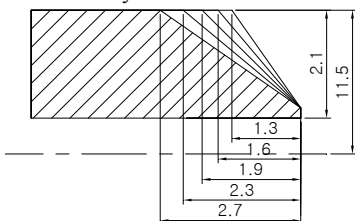
본 논문에서는 비례 동작을 구현할 수 있는 비례솔레노이드 액추에이터의 설계를 위하여, 제어콘 각의 변화에 따른 흡인력 특성 변화를 조사하는데 목적을 두었다. 이를 위하여, 제어콘 각이 각각 35[°], 40[°], 45[°], 50[°], 55[°]인 코어를 제작하여 실험을 수행하였다.

2. 실험장치 및 코어 설계

Fig. 1은 제작된 실험대상 코어의 형상을 나타낸 것이다. Fig. 1의 a)와 같이 제어콘 각(Control cone angle)은 각각 35[°], 40[°], 45[°], 50[°], 55[°]로 제작되었으며, ①, ③ 및 ④는 각각 코어(Core), 튜브(Tube) 및 플런저(Plunger ass'y)이며, 재질은 황 복합 쾌삭강 재를 사용하였다. ②는 가이드(Guide)이고 재질은 인칭동 계열을 사용하였다. Fig. 1의 b)와 같이 제작된 코어의 제어콘 각이 커질수록 제어콘 길이는 짧아지도록 설계되었다.



a) Structure of armature ass'y



a) Control cone shape

Fig. 1 Drawing of designed core

Fig. 2는 실험을 위해 제작된 아마추어와 비례 솔레노이드를 제어할 수 있는 PWM 신호 발생장치를 나타낸 사진이다. Fig. 2에 a)는 Fig. 1의 a)의 도면과 같이 제작된 아마추어의 사진이며, Fig. 2의 b)는 PWM 신호 발생장치의 사진이다. PWM 신호 발생장치는 비례 솔레노이드에 충분한 전력을 공급할 수 있도록 PWM 제어부 및 비례 솔레노이드 전원공급부의 전원을 분리하여 제작되었다. PWM 신호 발생장치에서 생성할 수 있는 PWM 신호는 1~500[Hz]의 주파수와 1~100[%]의 듀티율을 가질 수 있다.



a) Designed armature ass'y



b) Designed PWM signal generator and proportional solenoid

Fig. 2 Photo view of armature ass'y and PWM signal generator

Fig. 3은 비례 솔레노이드의 흡인력 특성을 실험하기 위하여 설계/제작된 장치를 보이는 것이다. 실험 장치에는 실험대상 비례 솔레노이드의 흡인력을 측정하기 위해 로드 셀이 장착되어 있으며, 플런저 변위를 정밀 측정하기 위해 레이저 변위 센서가 설치되어 있다.

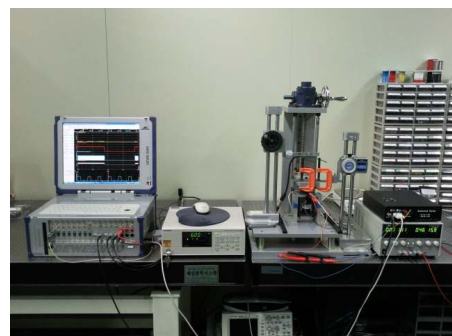


Fig. 3 Experimental setup for proportional solenoid actuator

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 플런저의 변위에 따른 흡인력 특성을 확인하기 위하여 코어에 대한 플런저의 상대 변위를 0.2[mm], 0.5[mm]에서 4.0[mm]까지 0.5[mm] 간격, 5.0[mm], 6.0[mm]에서 실험이 수행되었다. 이 때 플런저 상대 변위 변화에 따라 PWM 입력주파수를 100[Hz], 200[Hz], 300[Hz]으로, 듀티율을 각각 50[%], 40[%], 30[%]으로 설정하였다. 이 때 데이터 샘플링 주파수는 20[kHz]이다.

Fig. 4는 PWM 주파수가 100[Hz], 듀티율은 50[%]로 비례 솔레노이드를 제어했을 때 제어콘 각과 플런저의 상대 변위의 변화에 따른 흡인력 특성을 나타낸 것이다. 실험결과, 제어콘 각이 35[°]와 40[°], 45[°], 50[°]일 때에는 일반 on/off 솔레노이드의 흡인력 특성과 같이 비례 특성이 거의 나타나지 않지만, 55[°]일 때에는 플런저의 상대 변위가 1.0~1.5[mm]에서 비례 특성이 나타나는 것을 확인하였다. Fig. 4에서 35[°], 40[°], 45[°], 50[°], 55[°]인 시작품은 각각 A, B, C, D, E로 나타내었다.

Fig. 5는 PWM 주파수가 200[Hz], 듀티율은 40[%] 일 때 Fig. 4와 동일하게 실험한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 4처럼 제어콘 각이 35[°], 40[°], 45[°], 50[°]에서는 일반 on/off 솔레노이드의 흡인력 특성을 나타내고 있지만, 55[°]일 때에는 0.5~1.5[mm]구간에서 비례 특성이 나타났다.

Fig. 6은 PWM 주파수가 300[Hz], 듀티율은 30[%] 일 때 Fig. 4와 동일하게 실험한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 4와 Fig. 5보다 흡인력이 낮아졌지만, 모든 제어콘 각도에 대해 비례 구간이 나타나는 것을 확인하였다.

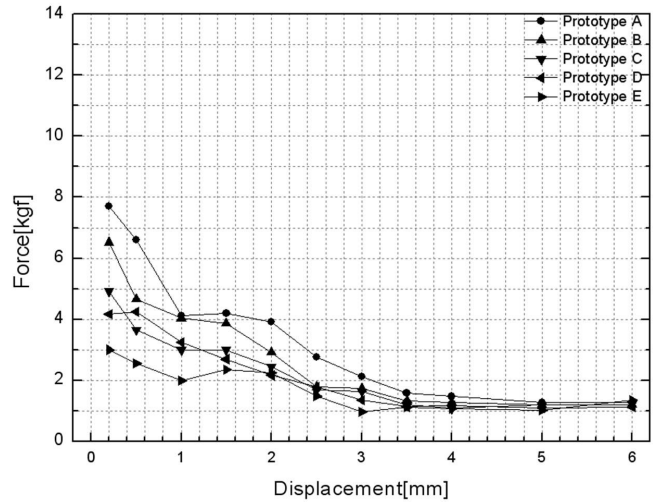


Fig. 6 Attraction force characteristics by plunger displacement and control cone angle variation(300[Hz], 30%)

Fig. 4에서 Fig. 6의 결과로부터 제어콘 각의 크기가 커질수록 흡인력이 낮아지지만, 흡인력의 비례특성이 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 제어콘 각이 55[°]일 때 다른 제어콘 각을 가지는 아마추어에 비해 우수한 비례 특성을 갖는 것을 확인하였으며, 300[Hz] 및 듀티율 30[%]에서는 모든 시작품이 비례 구간을 갖는 것이 확인되어, PWM 주파수와 듀티율 관계를 명확히 조사할 필요가 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문의 목적은 비례 솔레노이드의 제어콘 각의 변화에 따른 흡인력 실험을 수행하여 관련 연구의 기초자료로 활용하는 것이다. 이를 위해, 제어콘 각이 35[°], 40[°], 45[°], 50[°], 55[°]인 아마추어를 설계/제작하였으며, 해당 아마추어에 대하여 PWM 주파수, 듀티율 및 플런저의 상대 변위의 변화에 따른 흡인력 실험을 수행하였다. 그 결과 비례 솔레노이드의 제어콘 각을 55[°]로 선정하는 것이 타당함을 확인하였다. 향후 제어콘 각도에 따른 흡인력 특성을 보다 정확히 분석하기 위해 PWM 주파수와 듀티율 및 플런저 상대 변위의 실험 범위를 확대하여 실험할 필요가 있다.

참고문헌

1. Ye, N., Scavarda, S., Betemps, M. and Jutard, A., "Models of a pneumatic PWM solenoid valve for engineering applications", Transactions of ASME, Vol. 114, pp. 680-688, 1992.
2. Yun, S. N. and Yun, D. W., "Performance improvement strategy of solenoid valve and magnetic material technique", Journal of the KFPS, Vol.6, No.3, pp. 28-34, 2009.
3. Derose, D., "Proportional and servo hydraulic valve primer", Fluid power journal, pp. 8-13, 2003.
4. Walters, R. B., "Hydraulic and electro-hydraulic control systems", Elsevier applied science, London, pp. 173-178, 1991.
5. Yun, S. N., Yun, D. W. and Ham, Y. B., "Characteristics Analysis of Solenoid Actuator for Common rail system, Transaction of KSAE, Vol. 17, No. 6, pp. 31-38, 2009.

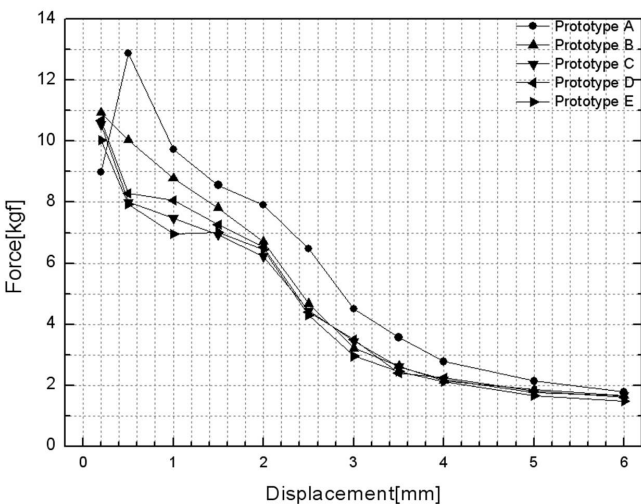


Fig. 4 Attraction force characteristics by plunger displacement and control cone angle variation(100[Hz], 50%)

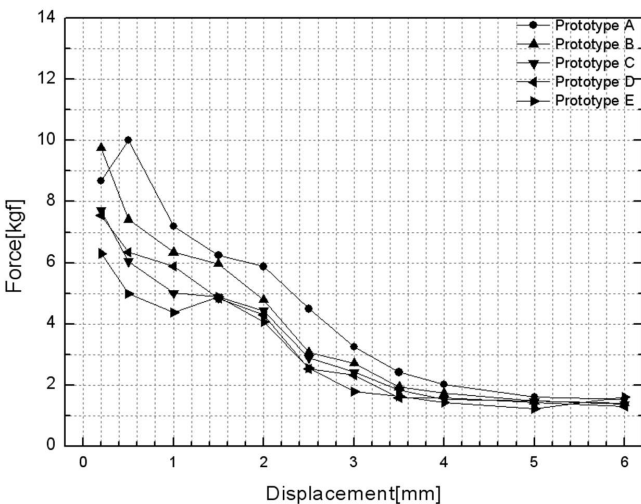


Fig. 5 Attraction force characteristics by plunger displacement and control cone angle variation(200[Hz], 40%)