

비자성체 링을 사용한 솔레노이드 액츄에이터의 작동속도 향상법

성백주* 이은웅** 김형의*
 *한국기계연구원 **충남대학교

Speed Increasing Method of Solenoid Actuator Using a Non-Magnetic Ring

Baek-Ju, Sung* Eun-Woong, Lee** Hyoung-Eui, Kim*
 *Korea Institute of Machinery & Materials **Chungnam National University

Abstract - The plunger speed of solenoid actuator is affected by mass of plunger, magnetic motive force, inductance, and return spring. These factors are not independent but related with each other according to design characteristics of solenoid actuator. So, it is impossible to change the designed value for the purpose of increasing plunger speed.

In this study, we have analyzed the characteristics of high-speed solenoid actuator having a non-magnetic ring which plays a role to concentrate the effective magnetic flux into plunger. For more detailed analysis, we have performed FEM analysis and decided the optimal attaching position and length on the guide tube based on these results. And, we proved the propriety of the non-magnetic ring effect by experiments.

대한 전자장 해석은, 솔레노이드의 유효기자력 사용효율을 최대화 하여 작동속도를 극대화 시키기 위한 최적의 비자성체 링 취부위치와 길이를 결정할 목적으로 실시하였다.

해석에 사용한 솔레노이드 액츄에이터의 사양은 표 1과 같다.

표 1. 솔레노이드 액츄에이터의 사양

항목	코일 저항 [R]	입력 전압 [V]	플런저 질량 [M]	스트 로크 [x]	고정 공극 [g _f]	복원 스프링 상수 [k]
사양	20(Ω)	DC24V	6.15(g)	0.95(mm)	0.05(mm)	387(g/mm)

1. 서 론

솔레노이드 액츄에이터는 가격이 저렴하고 오염이나 온도 및 습도에 대한 내환경성이 강하지만 작동속도가 늦다는 특징이 있기 때문에, 기존의 개폐식 솔레노이드 액츄에이터의 응답특성을 개선한 형태인 고성능의 고속형 솔레노이드 액츄에이터 개발의 필요성이 대두되고 있다.

솔레노이드 액츄에이터의 플런저 속도는 플런저 질량, 기자력, 인덕턴스, 복원스프링 등에 의하여 영향을 받는데, 속도를 증가시키기 위해서는 기자력을 크게하고 플런저 질량, 인덕턴스, 복원 스프링 상수를 작게해야 한다. 그러나, 이러한 솔레노이드 액츄에이터의 설계변수들은 설계목표치에 부합되게 고정되고 서로 독립적인 관계가 아닌 상호 연관성을 가지고 있기 때문에, 특정 상수 값을 변경하면 다른 값도 연계해서 변하게 되어 이들 값을 변경하여 플런저 속도를 상승시키는 것은 사실상 불가능하다^[1].

본 연구에서는 플런저 작동 속도를 상승시키기 위한 방법으로서 비자성체 링이 삽입된 가이드 튜브를 갖는 솔레노이드 액츄에이터의 동작 특성을 해석하기 위하여, 비자성체 링의 길이방향 중심 위치 및 길이 변화에 따른 FEM 해석을 통하여 최적의 설치위치와 길이를 결정하였고, 시작기의 실험을 통하여 그 타당성을 입증하였다.

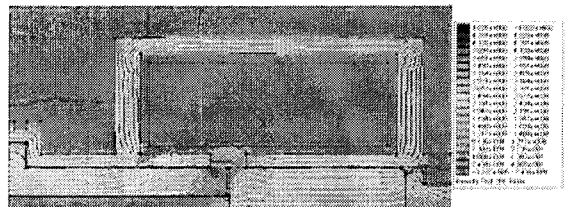
2. 전자장의 FEM 해석

비자성체 링을 사용하여 솔레노이드 액츄에이터의 속도를 상승시키기 위해서는 비자성체링의 취부위치와 길이가 중요한 변수로 작용하여, 그것의 취부위치나 길이에 따라서 플런저의 작동 속도가 민감하게 영향을 받을 것 이란 사실을 예측할 수 있다.

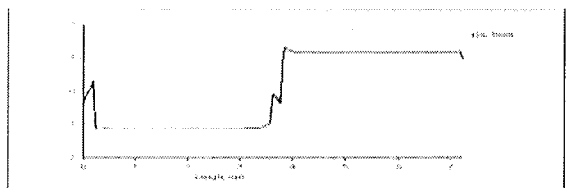
따라서, 본 연구에서 실시한 솔레노이드 액츄에이터에

그림 1은 비자성체 링의 길이방향 중심이 플런저와 고정자 사이의 주 공극 중심과 일치한 경우의 해석 결과이고, 그림 2와 그림 3은 비자성체 링의 길이방향 중심이 주 공극 중심을 기준으로 왼쪽과 오른쪽으로 각각 어긋난 경우의 해석결과를 나타낸다. 그리고 그림 4~그림 6 은 비자성체 링의 길이가 2mm, 3mm, 5mm로 각각 변화했을 경우의 해석결과를 나타낸다.

이 때 주공극의 길이는 최대 스트로크인 1mm를 유지 하였으며, 솔레노이드 액츄에이터의 형상이 축대칭이런 점을 고려하여 축방향 1/4 단면을 가정하여 해석하였다.

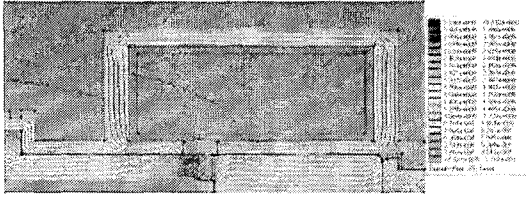


(a) 자속분포

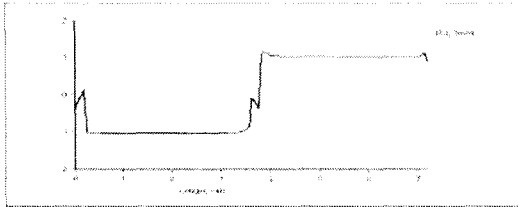


(b) 공극 자속밀도

그림 1. 비자성체 링과 주공극의 길이방향 중심이 일치한 경우의 FEM 해석결과

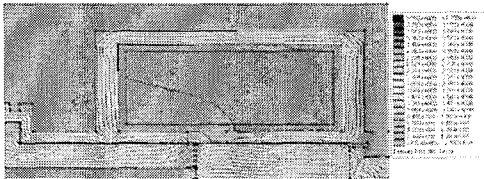


(a) 자속분포

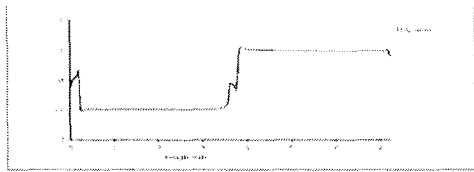


(b) 공극 자속밀도

그림 2. 비자성체 링의 중심이 왼쪽에 위치한 경우의 FEM 해석결과

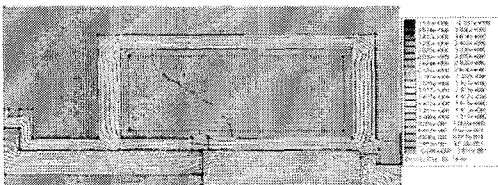


(a) 자속분포

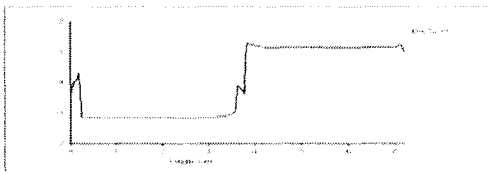


(b) 공극 자속밀도

그림 3. 비자성체 링의 중심이 오른쪽에 위치한 경우의 FEM 해석결과

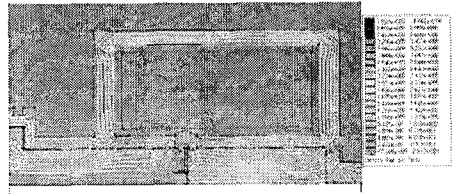


(a) 자속분포

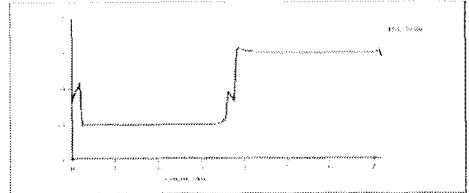


(b) 공극 자속밀도

그림 4. 비자성체 링의 길이가 2mm인 경우의 FEM 해석결과



(a) 자속분포

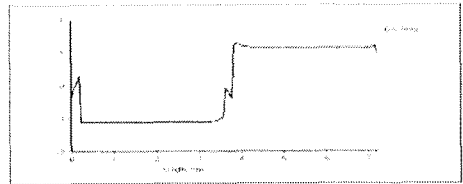


(b) 공극 자속밀도

그림 5. 비자성체 링의 길이가 3mm인 경우의 FEM 해석결과



(a) 자속분포



(b) 공극 자속밀도

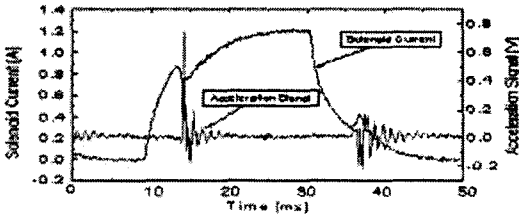
그림 6. 비자성체 링의 길이가 5mm인 경우의 FEM 해석결과

그림 1에서 비자성체 링의 길이 중심이 주공극의 중심과 일치할 경우 자속밀도는 1.2[T]인 것을 알 수 있고, 그림 2와 그림 3에서 비자성체 링의 중심이 좌우로 이동하였을 경우에는 자속밀도가 1[T]로 감소한 것을 알 수 있으며, 그림 4-그림 6의 비자성체 링의 길이변화에 따른 자속밀도는 1.15-1.2[T]로서 중심이 서로 일치한 경우와 비교해서 자속밀도 변화가 거의 없음을 알 수 있다.

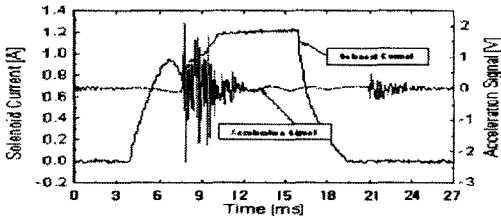
3. 실험

실험은, 비자성체 링의 유무에 따른 플런저의 작동시간과 비자성체 링의 위치 및 길이변화에 따른 흡인력을 측정하기 위하여, 동일 슬레노이드 액츄에이터에 비자성체 링이 있는 가이드 튜브 1개와 비자성체 링이 없는 가이드 튜브 1개, 그리고 비자성체 부분의 길이가 각각 다른 가이드 튜브 3개를 사용하여 실시하였다. 그리고, 플런저 흡인 시점을 감지하기 위해서 가속도 센서를 사용하였다.

그림 7은 플런저의 작동시간 측정 결과를 나타낸다.



(a) 비자성체 링이 없는 경우

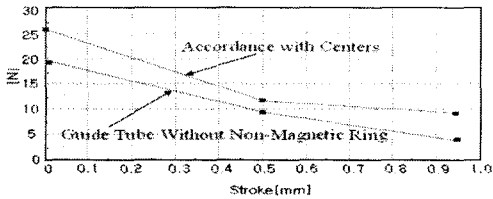


(b) 비자성체 링이 있는 경우

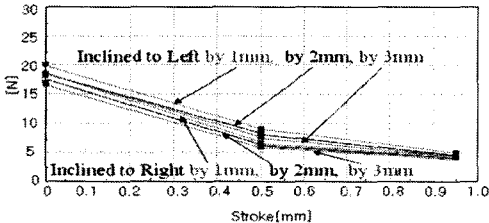
그림 7. 작동시간 측정 결과

그림 7에서, 비자성체 링이 있는 경우의 작동속도가 없는 경우보다 30% 이상 빠르다는 사실을 알 수 있다.

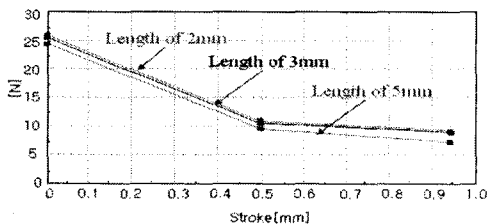
그림 8은 세 가지 경우에 대한 흡인력 측정 결과를 나타내는 것으로서, 비자성체 링의 길이 중심이 플런저와 고정자 중심과 일치할 때 가장 큰 흡인력이 발생함을 알 수 있고, 비자성체 링의 길이에는 큰 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있으며, 이것은 그림 1-그림 6의 FEM 해석결과와 일치함을 알 수 있다.



(a) 중심이 일치한 경우와 비자성체 링이 없는 경우의 흡인력 비교



(b) 비자성체 링의 위치 변화에 따른 흡인력



(c) 비자성체 링의 길이 변화에 따른 흡인력

그림 8. 흡인력 측정 결과

주파수 응답시험은 시작품 액츄에이터의 최대 응답주파수를 구하기 위하여, 플런저가 입력 구형파 주파수를 추종하지 못하는 시점까지 측정하였다. 그림 9는 입력 신호를 추종하는 코일 전류 파형을 나타내고, 여기서 최대 응답주파수는 25Hz 임을 알 수 있다.

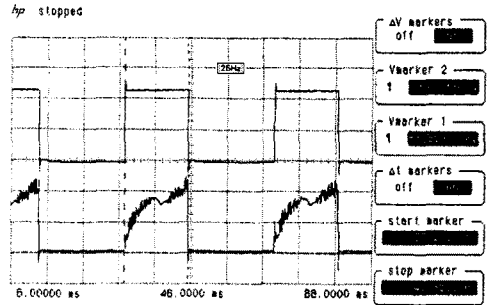


그림 9. 주파수 응답특성

4. 결 론

본 연구에서는 솔레노이드 액츄에이터를 고속화 하기 위한 중요 변수인 비자성체 링의 취부위치와 길이 변화에 대한 자속밀도 분포를 유한요소법으로 해석하였고, 솔레노이드 액츄에이터의 동특성을 실험을 통하여 검증하고 분석함으로써,

- (1) 비자성체 링의 길이 중심 위치는 가동자와 고정자의 중심에 일치되도록 설치하는 것이 최적임을 확인하였고,
- (2) 흡인력과 작동속도는 비자성체 링의 길이보다는 취부위치에 더 큰 영향을 받는다는 것을 규명하였으며,
- (3) 주파수 응답 시험 결과를 통하여, 비자성체 링을 사용한 플런저속도 증가 방법은 PWM 액츄에이터에도 적용될 수 있다는 사실을 알았으며,
- (4) 이 해석기법을 사용함으로써 솔레노이드 액츄에이터의 동적 특성을 비교적 정확히 예측할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] B.J. Sung, E.W. Lee, H.E.Kim, "Characteristics of Non-Magnetic Ring For High-Speed Solenoid Actuator", CEF C2004 Digest Book, pp342, June 6-9, 2004.
- [2] 강보식, 윤소남, 성백주, 김형의, "PWM 제어용 고속전자석의 특성에 관한 연구", 한국기계연구원 연구논문집, 제 27집, pp141--151, 1997. 12
- [3] Katsuhiko Ogata, "System Dynamics", Prentice Hall, 1998. 1
- [4] Herbert C. Roters, "Electro Magnetic Device", John Wiley & Sons, Inc, 1970
- [5] Takashi Kajima, "Dynamic Model of the Plunger Type Solenoid at Deenergizing State", IEEE Transactions on Magnetics, Vol.31, No.3, pp2315--2323, May 1995
- [6] Takashi Kajima, Shuichi Satoh, Ryuichi Sagawa, "고속電磁弁의 開發", 日本電氣學會 論文集(C編), 60권 576호, pp254--261, 1994. 8