

On-Off 솔레노이드 액추에이터의 특성 연구

전용식, 김동수, 임기조*

한국기계연구원 정보장비연구센터, 충북대학교 전기공학과*

A Study of On-Off Solenoid Actuator.

Yong-Sik Jeon, Dong-Soo Kim, Kee-Joe Lim*

Korea Institute of Machinery & Materials, Chungbuk National University*

Abstract - Put Recently, development of micro valves that operate by compressed air has received significant attention in the fields of the micro fluid chip for medical applications or production lines of semi-conduct chip for electronic goods. Especially it is required that high-speed responsibility and lower power in optimal design of these micro valves. The primary objective of this study is to compare the optimally designed Solenoid Valve with the actually produced one which can highly improve the efficiency by providing optimal current according to mechanical load.

코일에서 발생된 열의 방출 면으로 코일의 외면만을 고려하는 경우, 온도상승식은 다음과 같다.

$$\theta_f = \frac{W}{\lambda S_{out}} = \frac{W}{\lambda(l_m + 4T)h} \quad (4)$$

식(4)로부터 권선의 높이(h)와 폭(T)의 비율 $\beta = h/T$ 를 적절한 가정하면, 주어진 설계사양으로부터, 권선의 높이와 폭을 구할 수 있다.

코일의 선경은 다음 식으로부터 결정된다.

$$d = \sqrt{\frac{4\rho_h l_m \Xi}{\pi V}} \quad (5)$$

본 논문에서는 이 설계 과정을 프로그램으로 개발하여 설계를 진행하였다. 제안한 설계방법을 이용하여, 그림 1는 전체적인 설계 사양 입력 프로그램을 나타낸 것이며, 그림 2와 같이 주어지는 솔레노이드 액추에이터를 설계하였다.

1. 서 론

초절전형 마이크로 밸브 기술은 청결성, 비폭발성, 저가격성, 고속 고정밀제어기술 향상 등의 이유로 산업계 전반에 걸쳐서 그 응용범위가 무궁무진하며 전기·전자·기계계의 복합기술이며 IT, NT, BT기술의 근간이 되는 기술이다. 아울러 핵심기술인 Solenoid Actuator 저소비전력 및 초소형화 기술을 습득함으로써 전 산업 분야에 걸쳐 응용이 가능한 중요기술이다.

최근에는 액추에이터의 고속화와 솔레노이드의 저소비전력화 기술이 개폐형 솔레노이드 액추에이터(On/Off Solenoid Actuator) 분야에서 강력히 대두되고 있다[1]. 짧은 열림 지연시간(Opening Delay Time)을 갖는 고속형 솔레노이드 액추에이터에서는 빠른 자화 때문에 와전류와 같은 동적 효과를 고려한 시변계(Time-Varying) 유한요소 해석을 하여야 한다[2]. 특히, 이러한 동적 효과는 전기, 자기 및 기계시스템이 결합된 형태로 나타나기 때문에 비정상상태 해석에서 각 시스템간의 결과 치를 서로 비교하면서 해석이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 실제 On-Off 솔레노이드 밸브를 개발하여 소프트웨어(Maxwell)를 활용하여 해석하고 분석한 시뮬레이션 데이터와 개발한 On-Off 솔레노이드 밸브의 실험데이터를 비교하여 최적 설계의 타당성을 증명하고, 이를 통하여 On-Off 솔레노이드 밸브의 성능을 검증하고 최적의 공기압 마이크로 밸브의 작동조건을 찾고자 하였다.

2. 본 론

2.1 등가자기회로법을 이용한 솔레노이드 설계

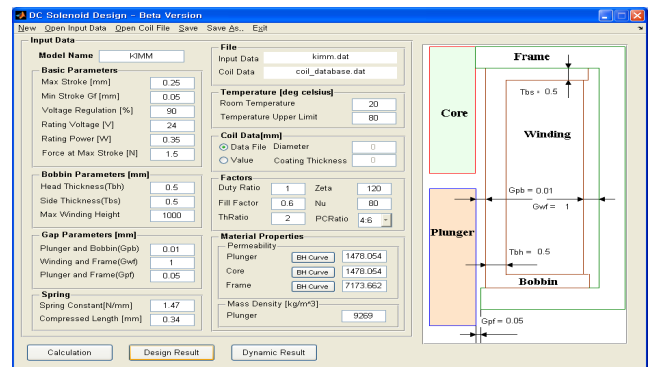
먼저 전압 변동을 고려하여 최소 흡입력(F_{min})을 충분히 크게 산정한다. 주어진 흡입력을 발생시키기 위해 공극자속밀도를 결정한다. 본 논문에서는 Index-number를 이용하여 공극자속밀도(B_g)를 산정하였다.

$$\text{Index-Number} = \sqrt{F_{\min}} / l_g \quad (1)$$

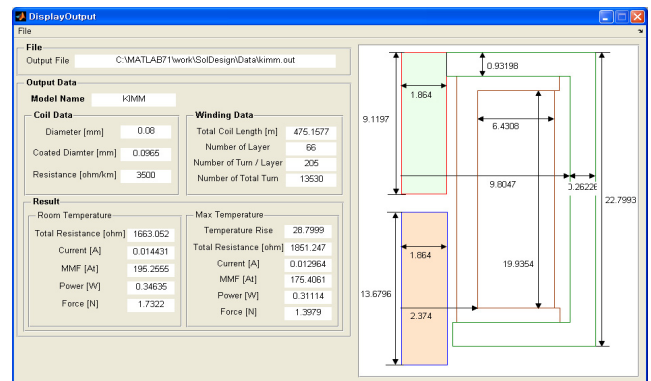
$$B_g = 0.4927[\log(\text{IndexNumber}) - 2]v \quad (2)$$

산정된 자속밀도를 공급하기 위한 기자력(U)을 계산한다. 플린저(Plunger), 코어(Core), 프레임(Frame) 에서 소요되는 기자력을 산정할 수 없기 때문에 공극에서 소요되는 기자력에 적당한 계수(ζ)를 곱하여 전체 기자력을 산정한다.

$$U = \frac{\zeta B_g l_g}{\mu_0} \quad (3)$$

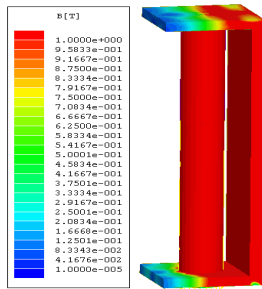


<그림 1> DC Solenoid Design

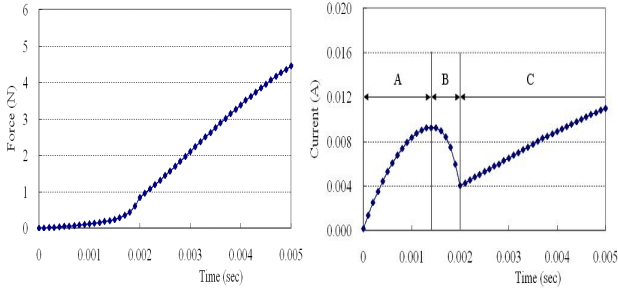


<그림 2> Display Output

2.2 유한요소법을 이용한 특성 해석



<그림 3> Analysis model and magnetic flux density



<그림 4> force

<그림 5> current waveform

먼저 설계된 데이터를 검증하기 위해 상용 프로그램인 Maxwell을 이용하여 정특성과 동특성 해석을 시행하였다. 정특성 해석은 공극 0.3[mm], 전류 0.014[A]에서 행하였고, 동특성 해석은 입력전압 24[V], 코일의 전제 저항 1650에서 행하였다. 그리고 플런저와 코어는 QMR-5L, 그리고 프레임은 순철을 사용하였다.

그림 3은 설계된 ON-OFF 솔레노이드 액츄에이터와 정특성 해석 결과 얻어진 자속 밀도 분포를 나타낸 것이다.

플런저에 작용하는 흡입력은 4.6[N]으로 나타났다. 이는 설계 목표로 잡았던 3[N]에 비해 충분한 흡입력이 발생되고 있음을 확인할 수 있다.

$$V = i(t)R + L \frac{di(t)}{dt} \quad (6)$$

$$V = i(t)R + \frac{d}{dt}(L(t)i(t)) \quad (7)$$

$$= i(t)R + L \frac{di(t)}{dt} \Big|_{L=c} + i(t) \frac{\partial L}{\partial i} \frac{\partial i(t)}{\partial t} \Big|_{x=c} + i(t) \frac{\partial L}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} \Big|_{i=c}$$

$$V = i(t)R + \frac{d}{dt}(L(t)i(t)) \quad (8)$$

$$= i(t)R + L \frac{di(t)}{dt} \Big|_{L=c} + i(t) \frac{\partial L}{\partial i} \frac{\partial i(t)}{\partial t} \Big|_{x=c}$$

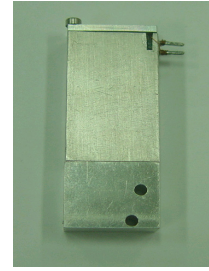
그림 4는 동특성 해석 결과 얻어진 시간-변위, 시간-흡입력 곡선을 나타낸다.

그림 5는 시간-전류곡선을 나타낸 것이다. 플런저는 약 0.5ms 후에 이동을 시작했으며, 2ms 후에 이동을 완료하였다. Fig. 5을 살펴보면 A구간에서는 플런저의 움직임이 거의 없어 인덕턴스가 일정한 상태이다.

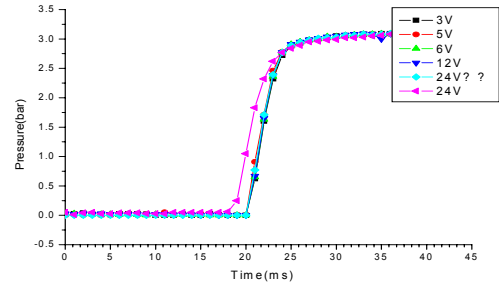
B구간에서는 플런저의 속도가 증가하면서 전류가 감소하는 구간으로 인덕턴스가 변화하기 때문에 식 (7)로 설명할 수 있다.

C구간에서는 플런저의 이동의 끝난 상태로 전압방정식은 식 (8)과 같다.

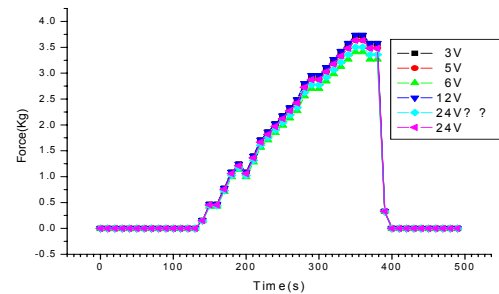
2.3 On-Off 솔레노이드 성능평가



<그림 6> ON-OFF Solenoid Valve



(a) Dynamic Response Test



(b) Absorption Force Test

<그림 7> Reliability Test of On-Off Micro Valve

그림 6은 최적 설계를 바탕으로 제작한 솔레노이드 밸브의 시제품이다.

신뢰성 시험결과 초기 설계 사양과 비슷한 3ms 응답특성과 4.6N의 흡입력을 보이고 있음을 그림 7에서 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 자기장 해석을 통하여 On-Off 솔레노이드 밸브를 최적설계하여 시제품을 제작, 밸브의 성능 평가를 목표로 하였다.

등가자기회로법을 이용하여 On-Off 솔레노이드 액츄에이터를 설계하였고, 설계된 데이터를 바탕으로 유한요소법을 이용한 정특성 해석과 동특성해석을 자기장 해석으로 설계의 타당성을 검증하였다.

솔레노이드 액츄에이터의 포켓이 고응답의 반응 속도 (3ms)로 스트로크(0.3mm)를 발휘되도록 솔레노이드에 충분한 전자력의 힘(4.8N)이 작용하며, 프레임(Frame)로 인하여 외부로 방출되는 자기력이 없음을 확인 하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Bruno Lequesne, "Dynamic Model of Solenoids Under Impact Excitation, Including Motion and Eddy Currents," IEEE Trans. Magnetics, Vol. 26, No. 2, 1990
- [2] Yan Xiuke, Ryu Jae Seop, Koh Chang Seop, and Xie Dexin, "Comparison of Force Calculation in 2D and 3D Finite Element Method," 대한전기학회 영문 논문지, vol.11-B, No. 4, pp. 137-145, 2001