

개폐식 솔레노이드 액츄에이터용 설계 프로그램 개발

성백주 이은웅* 김형의
한국기계연구원 충남대학교*

Development of Design Program for ON/OFF Type Solenoid Actuator

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

Abstract - For design of On/Off type solenoid actuator, designer must have the experimental knowledge as well as general electromagnetic formulas to design object. It is possible for theoretical knowledge to do the out-line design, but it is impossible to optimal design without experimental knowledge which only can achieve through many repeated experiments.

In addition, in present On/Off type solenoid actuator field, smaller, lightning, lower consumption power, high response time are effected as the most important design factor. So, experimental knowledge is more needed for optimal design of solenoid actuator.

In this study, we developed a design program composed electromagnetic theories and experimental parameter values for inexperienced designers. And we proved the propriety of this program by experiments.

1. 서 론

솔레노이드 액츄에이터(Solenoid Actuator)를 설계하기 위해서, 설계자는 전기기기 설계분야에서 필요로 하는 일반적인 전자기적 지식들은 물론 특정한 기기의 동작을 지배하는 물리적 법칙과 여러가지 기기의 수많은 설계 및 제작 경험에서 추론되는 경험적 규칙들을 이해하여 설계하려는 대상에 적용하여야 한다. 물리적 법칙들은 거시적 관점에서의 설계를 가능하게 하여 설계 대상에 대한 전체적인 개괄적 설계를 가능하게 하지만 최적설계가 되기 위한 세부적 설계는 경험적 지식이 없는 불가능하다.

개폐식 솔레노이드 액츄에이터(On/Off Solenoid Actuator) 설계의 핵심기술에는 안전율을 고려한 솔레노이드의 최대 흡인력 결정기술, 자속밀도 해석기술, 플런저 Size 및 형상 결정기술, 최적의 보빈 설계기술, 선정된 자성 재료 해석기술, 공간점유율 결정기술, 온도상승을 고려한 Turn수 계산기술 등이 있다. 이 중에서 자속밀도 해석기술은 플런저 형상결정 기술, 공간점유율 결정기술과 함께 물리적 법칙 보다는 경험적 지식을 훨씬 더 많이 필요로 한다. 플런저 형상에 따라 자기회로에 분포하는 자속의 통로별 자속밀도가 크게 차이나고 이것은 흡인력, 소비전력, 코일의 발열량에 큰 영향을 미치며, 공간점유율의 적절성 여부에 따라 코일의 발열량, 솔레노이드 자체의 외관 Size 등이 직접적으로 영향을 받는다[3].

본 연구에서는, 이와같이 까다롭고 복잡한 솔레노이드 액츄에이터의 설계에, 전자기적 이론과 경험적 변수값을 합성한 설계 프로그램을 개발하여 사용하므로써 경험이 없는 설계자라도 힘, 소비전력, 스트로크 등 원하는 설계 사양을 입력하면 최종적으로 최적의 개폐식 솔레노이드 액츄에이터 제작사양이 출력되도록 하였고, 시제품에 대

한 실험을 통하여 결과를 비교하였다.

2. 본 론

2.1 지배 방정식

2.1.1 솔레노이드 액츄에이터 구조도와 등가회로

그림1은 솔레노이드 액츄에이터의 구조도이고, 그림2는 전기적 등가회로이며, 그림3은 기계적 등가회로도이다.

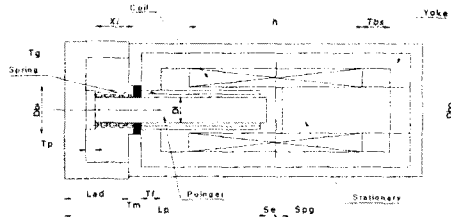


그림1 솔레노이드 액츄에이터 구조도

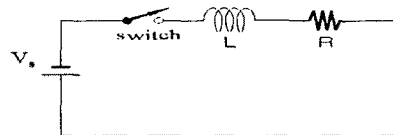


그림2 전기적 등가회로

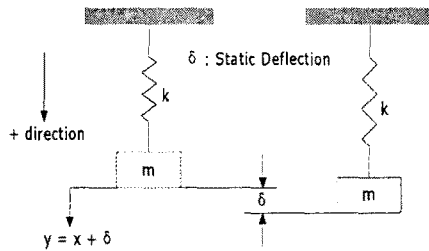


그림3 기계적 등가회로

2.1.2 지배 방정식

그림1, 그림2, 그림3을 이용하여 본 프로그램에 사용된 전기적, 전자기적, 기계적 방정식들을 유도할 수 있다. 방정식들은, 본 프로그램의 유용성과 사용자의 손쉬운 변수선택에 주안점을 두고 변형하여 사용하였다. 특히, 전자기적 방정식을 완성하는데 있어서는 문헌과 전문가의 자문으로 검증된 다수의 경험적 값과 수식형태가 적용되었다. 이러한 방정식들의 결과식만을 요약하면 표1과 같다[1][2][4].

표1 방정식 요약

명 칭	방 정 식
노출에 작용하는 유체의 힘	$F_n = \frac{\pi \cdot dN^2}{4} \cdot P_s$
솔레노이드의 최대흡인력	$F_{max} = \left[\frac{(spg + S_{dl})^2}{spg} \right] \cdot F_{min}$
자속밀도	$B_g = 0.4927 \times [\log(\frac{\sqrt{F_{max}}}{spg + S_g}) - 2] \times \nu$
플런저 직경 계산	$D_f = \sqrt{\frac{32 \times F_{max}}{B_g^2 \times 10^7}}$
보빈의 외경	$D_{bo} = L_{sw} - (2 \times T_m)$
보빈의 내경	$D_{bi} = D_p + (0.05 \times 2) + 2T_g + (T_b \times 2)$
코일 Turn의 평균길이	$l_m = \pi \times (D_{bi} + T)$
기자력(m.m.f)	$U = N \cdot I = (1.15 \sim 1.4) \times \frac{B_g \times (spg + S_g)}{\mu_0}$
코일 Turn수 계산	$N = U \cdot V / W$
단위 길이당 코일 저항	$R_l = \frac{V^2}{N \cdot l_m \cdot W \cdot \theta_c}$
코일의 높이	$h = \frac{N \cdot D_o^2}{T}$
점적율(Space Factor)	$S_i = \frac{\pi \cdot D_o^2 \cdot N}{4 \cdot T \cdot h}$
온도상승	$T_i = \frac{I^2 \cdot R_l}{2 \cdot \lambda \cdot l_m \cdot h}$
고정자 길이	$L_s = \frac{(h + 2T_{bs})}{2}$
플런저 길이	$L_p = \left[\frac{(h + 2T_{bs})}{2} - S - Gf \right] + T_f + T_m + L_{ad}$
스프링의 초기압축 길이	$x_i = (L_{ad} + (T_m - T_g)) - T_p$
스프링 상수	$k = \frac{F_s}{(x_f - x_i)}$
Natural Frequency	$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$
변 수 설 명(그림1 참조)	
dN: 노출직경 . Ps: 공급압력 . Fmin: Full Stroke에서의 흡인력 spg: 고정공극 . Fmax: 최대흡인력 . ν: 자속밀도 고정상수 Se: Plunger Actual Stroke . Bg: 자속밀도 . Lsw: 솔레노이드의 총 폭 Tm: 물딩 두께 . Dp: 플런저 직경 . Tg: Guide Tube 두께 Tb: 보빈의 Cylindrical 방향 두께 . Dbi: 보빈 내경 . T: 코일 두께 N: 코일 Turn수 . I: 전류 . V: 공급전압 . W: 소비전력 lm: 코일 1Turn의 평균길이 . θc: 상승온도에서의 코일저항 보정계수 Do: Insulated Coil 직경 . Ds: 나선의 직경 . ρ: 구리선의 비저항 λ: 열소멸 상수 . Iθ: 온도상승후의 전류 . Rθ: 온도상승 후의 저항 Tbs: 보빈의 측면두께 . Tf: 프레임 두께 . Tm: 물딩 두께 Tg: Guide Tube 두께 . Tp: 플런저 중단 두께 . m: 플런저 질량 Fs: 초기 위 치에서의 스프링 Force . Xf: 스프링의 Free Length	

2.1.3 설계 프로그램의 흐름도

설계 프로그램은 Visual Basic을 사용하여 작성하였으며, 프로그램의 Flow-Chart를 요약한 흐름도를 그림4에 나타내었다.

2.2. 샘플 설계

공압 솔레노이드 밸브용 DC 24V 솔레노이드 액츄에이터를 설계프로그램에 의해서 설계하였다. 성능값으로는 소비전력 0.5W, Natural Frequency 30Hz, 온도상승 80℃를 목표로 하였다. 설계를 위해서는 사용자가 기본적으로 필요로하는 조건을 만족시키기 위한 변수값과 경험에 의해서 얻어지는 상수값들을 적절히 입력해야 한다.

2.2.1 프로그램 입력 변수의 입력

본 샘플설계에 사용된 Parameter와 입력한 값들을 요약하면 표2와 같다. 이 변수값들은 소형 공압밸브에 적합한 것으로서 솔레노이드 액츄에이터의 사용조건이 변하면 입력되는 변수와 상수값도 바뀌어야 한다.

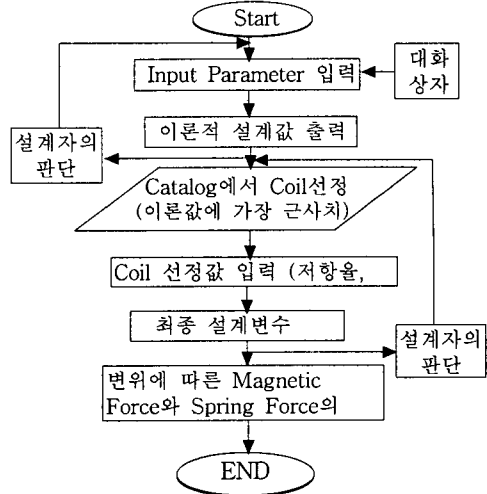


그림4 설계프로그램의 흐름도

표2 입력변수 및 입력값

INPUT PARAMETER		
기 호	명 칭	입력값
Ps	공급압력	980000
dN	노출 직경	0.0005
sdg	고정공극	Experimental
dI	플런저 직경	0.004
Tf	온도상승	80
V	전압	24
Lp	플런저 길이	0.01
alf	F 보정상수(F/Fsn)	Experimental
alfs	스트로크와 노출직경비(Se/dN)	Experimental
alfspr	최대 스프링 Force에 대한 최대 Magnetic Force 비	Experimental
fv	전압변동비	1
ng	기자력 보정상수	Experimental
beta	코일높이(h)/코일폭(w)	Experimental
lamda	열 소멸상수	10.7(at80℃)
gdI	Guide Tube 두께	0.00065
tbo	보빈 두께	0.00155
ds	나선코일 직경(표준코일)	Coil Catalog 참조
d0	절연코일 직경(표준코일)	Coil Catalog 참조
rcm	단위길이당 코일저항(at 20℃)	Coil Catalog 참조
q	Duty Ratio(=1)	내부입력
μ0	공기중의 투자율	내부입력
ρ	동선저항비	내부입력

2.2.2 설계결과 출력

표2의 변수와 입력값을 설계프로그램에 입력했을 때, 최종 출력되는 화면은 그림5와 같다. 여기에는, 숫자로 출력되는 설계변수들과 Natural Frequency는 물론, 스트로크 대비 스프링 힘과 자기력이 포함된다.

