

전기자동차 Relay 용 DC Solenoid actuator 설계

이서현*, 윤희성* · 고창섭*
충북대학교 전자정보대학 전기공학부*

Design of DC Solenoid Actuator applied in Electric Vehicle Relay

Seohyun Lee*, Heesung Yoon*, Chang Seop Koh
School of Electrical Engineering, ChungBuk National University
mlkjpll@chungbuk.ack.kr, hsyoon@chungbuk.ac.kr, kohcs@chungbuk.ac.kr

Abstract - 최근 녹색성장과 함께 전기자동차에 대한 관심이 높아짐에 따라 전기자동차 Relay 용 Solenoid Actuator에 대한 관심 또한 높아지고 있다. DC Solenoid Actuator는 Electric Vehicle relay(EV-Relay)의 동작을 담당하므로, EV-Relay의 핵심 부분이라 할 수 있다. 본 논문에서는 등가자기회로법을 통해 EV-Relay가 동작하기 위한 DC Solenoid Actuator를 설계하였다.

과정 2의 흡인력을 충분히 공급할 수 있는 공극의 자속밀도(B_g)를 산정한다.

$$F_{min} = \frac{B_g^2 S_g}{2\mu_0} \quad (3)$$

1. 서 론

Electric Vehicle Relay(EV-Relay)는 배터리로부터 전기자동차가 전력을 공급받아 동작할 수 있도록 연결해주는 역할을 한다. 그렇기 때문에 DC Solenoid Actuator의 올바른 작동이 이루어져야 EV-Relay의 원활한 동작이 이루어진다.

DC Solenoid Actuator를 설계함에 있어 다음의 조건이 필요하다. 무엇보다 빠른 동작과 함께 안정적인 전력 공급이 이루어져야 한다. 그리고 동작 시 Return 스프링의 힘보다 더 큰 힘이 요구된다. DC Solenoid Actuator가 Return 스프링이 가진 힘보다 작은 힘을 갖게 되면 동작하는데 있어 문제가 발생하기 때문이다. 또 온도가 상승하거나 전압이 정격전압에 비해 조금 작아지더라도 DC Solenoid Actuator는 동작해야 하며, 전체적인 크기 역시 EV-Relay의 Model에 따라 제한되어야 한다.

이러한 조건들에 맞추어 DC Solenoid Actuator가 설계되어야 올바른 설계가 되었다고 할 수 있다. 본 논문에서도 역시 위 조건들을 고려하여 주어진 사양에 맞도록 각각의 Parameter를 계산하고 수정하여 원하는 목표치가 되도록 DC Solenoid Actuator를 설계하였다.

2. 본 론

2.1 설계 이론

통상 DC Solenoid Actuator의 설계는 등가자기회로법에 의한 수순을 밟는다. 본 논문에서도 등가자기회로법에 따라 다음의 설계 과정을 거쳐 다음 표 1에 주어진 설계 사양에 맞도록 그림 1의 DC Solenoid Actuator를 설계하였다.

〈표 1〉 설계 사양

Force	Return 스프링 F	주변온도	20도
공극	s	온도상승	θ_f
정격전압	V	정격과워	W
전압변동	%V	제한치수	h

2.1.1 설계 과정

Step 1. 공극 길이(stroke)

Moving Core가 움직이는 공극의 길이를 결정한다.

$$s = \text{Over-travel} + \text{Gap} \quad (1)$$

Step 2. 흡인력 산정(F_{min})

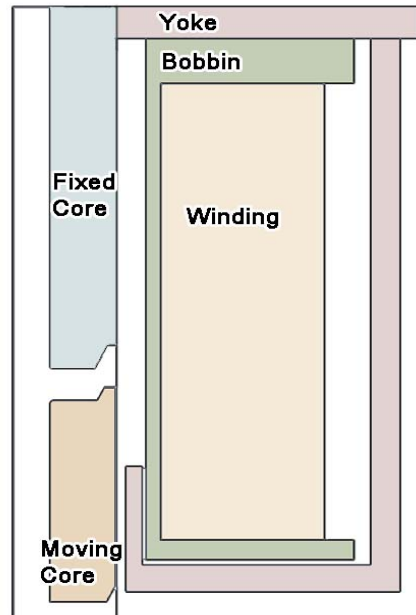
이번 과정에서는 최소의 전압이 인가되는 경우에도 충분한 흡인력이 유지될 수 있도록 최소 흡인력(F_{min})을 산정한다. Moving core가 return 스프링의 힘을 이겨내고 움직여야 하므로, 초기 흡인력은 return 스프링의 힘(F)과 같도록 한다.

$$F_{min} = F \cdot \left(\frac{\%V_{max}}{\%V_{min}} \right)^2 \quad (2)$$

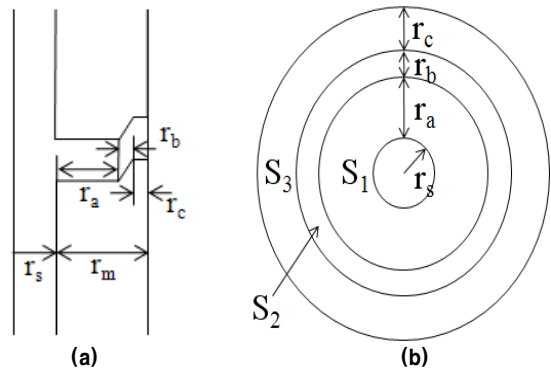
Step 3. 공극 자속밀도 산정(B_g)

Step 4. Moving core와 Fixed core의 반경

앞의 과정에서 결정된 공극 자속 밀도를 바탕으로 원하는 만큼의 힘을 갖기 위한 Moving core 및 Fixed core의 반경을 구한다.



〈그림 1〉 DC Solenoid Actuator Basic Model



〈그림 2〉 (a)Radius of Core, (b)Surface of core

[참 고 문 헌]

[1] 中田高義, 有限要素法による直交電磁石の設計と応用, 森北出版株式會社, Japan, 1991
 [2] Herbert. C. Roters, Electromagnetic Devices, John Wiley & Sons, USA, 1995
 [3] B.J. Sung, E. W. Lee and H. E. Kim, "Empirical Design of an On and Off Type Solenoid Actuator For Valve Operation", *KIEE International Trans on EMECS*, Vol 4-B, No. 2, pp39~46, 2004
 [4] 윤희성, 고창섭, 류재섭, 김동수, 윤소남, 박상운, "마이크로 솔레노이드 액츄에이터의 설계 및 3차원 유한 요소법을 이용한 특성 해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집B, pp1011~1013, 2005

$$S_g = \left\{ r_a^2 + r_c^2 + 2(r_s r_a + r_s r_c + r_a r_c + r_b r_c) \right\} \pi \quad (4-1)$$

$$= \frac{2\mu_0 F_{min}}{B_g^2}$$

$$r_m = r_a + r_b + r_c, \quad r_m = r_f \quad (4-2)$$

Step 5. 기자력 산정
 앞의 과정에서 힘을 얻기 위한 공극 자속 밀도와 Moving core의 반경이 정해졌으므로 보정상수 ζ 를 사용하여 공극 자속 밀도를 공급할 수 있는 기자력을 계산한다.

$$U = \zeta \times \frac{B_g l_g}{\mu_0}, \quad \zeta = 1.15 \sim 1.40 \quad (5)$$

Step 6. 온도상승을 고려한 코일의 높이
 과정 5에서 구한 기자력을 발생시키기 위한 코일을 설계한다. 코일의 온도 상승 및 열 방출 면적을 고려하여 코일 권선의 높이(h)를 구한다. 본 모델에서는 코일의 열 방출 면적을 외부만 고려하였다. 식 (5)에서 λ 는 열 방출 계수이다.

$$\theta_f = \frac{W}{\lambda S} = \frac{W}{\lambda(T\pi + l_m)h} = \frac{IR^2}{\lambda(T\pi + l_m)h} \quad (6)$$

Step 7. 코일 및 Yoke 설계
 앞의 과정에서 구해진 코일의 높이(h)로부터 코일의 폭(T)을 계산한다. 그리고 필요한 기자력과 코일의 형상이 설계되었으므로, 이 조건들을 만족할 수 있는 코일의 선경을 구하고 Solenoid Actuator의 전체적인 틀을 구성하는 Yoke를 설계하도록 한다. Yoke는 Moving core를 통과한 자속이 Yoke를 통과할 수 있을 만큼 충분히 두꺼워야 하므로, Yoke의 단면적은 Moving core의 단면적과 같거나 그 이상이 되도록 해야 한다. 본 논문에서는 Moving core 단면적의 125%을 Yoke의 단면적으로 한다.

Step 8. 기자력 상수 보정 및 설계 결과 검증
 Solenoid Actuator의 형상이 개략적으로 설계되었다. 하지만 정확한 설계가 이루어진 것이 아니므로 수정이 필요하다. 앞의 과정 5에서 기자력을 산정하는데 있어 전체기자력을 공극기자력의 ζ 배로 가정하였다. 따라서 이번 단계에서는 설계된 Solenoid Actuator의 전체적인 기자력을 계산하여 가정하였던 ζ 와 비교, 오차가 1%이상이면 재계산하도록 한다.

$$\zeta = \frac{U_{total}}{U_{air}} = \frac{R_{total}}{R_{air}} \quad (7)$$

Step 9. 설계 결과 검증 및 수정
 설계된 Solenoid Actuator가 초기에 제시하였던 설계사항을 만족하는지 검증되어야 한다. 검증은 등가자기회로법을 이용하여 선정된 코일을 바탕으로 상온 시와 온도 상승 시 출력과 기자력을 만족하는지 확인한다.

설계검증 결과 출력이 초기 조건보다 크거나 온도 상승이 제한범위를 넘어서는 경우(코일 재선정), 또는 기자력이 충분하지 않은 경우(공극 자속 밀도 수정) 설계를 수정하도록 한다. 수정하는 단계에 있어서 Moving core 및 Fixed core의 반경은 재계산하지 않는다.

2.2 설계 결과

다음 표 2, 그림 3(a)의 설계사항을 조건으로 설계 수순에 맞추어 설계한 결과는 다음 그림 3(b)와 같다.

2.3 해석 결과

등가자기회로법을 통해 설계한 결과를 바탕으로 유한요소법을 통해 해석한 결과 그림 4(a)에서처럼 발생한 흡인력에 의해 Moving core가 stroke를 모두 움직이긴 하지만 초기에 한 번의 진동이 나타났다. 이는 그림 4(b)에서 볼 수 있듯이 Moving core가 움직이는 과정에서 전류가 충분히 공급되지 못함에 따른 결과임을 확인하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 등가자기회로법을 통해 EV-Relay 용 DC Solenoid Actuator를 설계하였다. 설계하는 과정에서 각각의 Parameter를 계산함에 있어 몇 가지 Factor들을 가정하게 되는데 이는 경험으로부터 얻는 것이므로 좀 더 정확한 Factor의 선정이 요구된다.

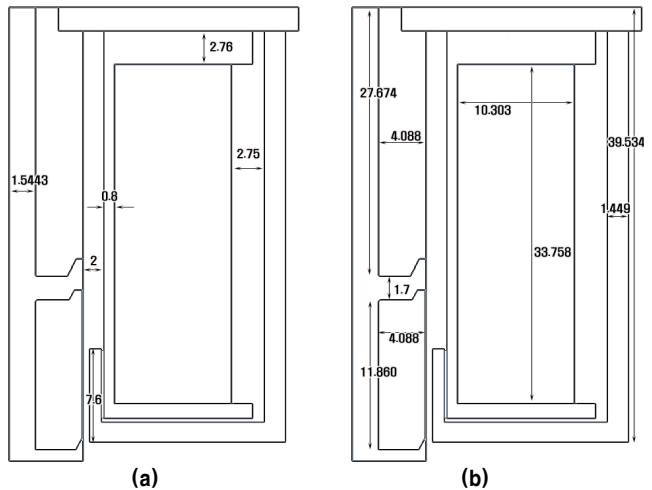
또한 등가자기회로법을 통한 설계에 있어 좀 더 정확한 설계가 이루어지고 유한요소법을 통한 해석이 된다면 한층 더 뛰어난 EV-Relay 용 DC Solenoid Actuator의 설계 결과를 얻을 수 있을 것이다.

<표 2> 설계 사양

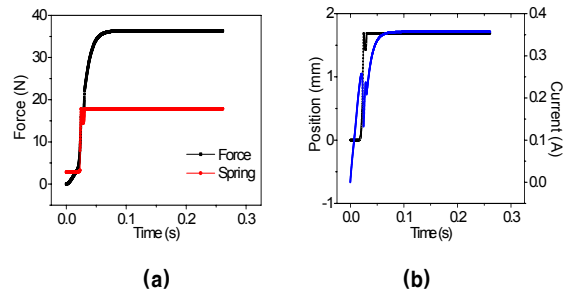
Force	2.88N	주변온도	20도
공극	1.7mm	온도상승	80도
정격전압	12V	정격과워	4.5W
전압변동	90%	제한치수	40

<표 3> 설계 결과

코일선경	3.87[mm]	최고온도	76°
기자력(20°)	778.9[At]	기자력(76°)	637.8[At]
출력과워(20°)	4.28[W]	출력과워(76°)	3.50[W]
흡인력(20°)	9.341[N]	흡인력(76°)	5.63[N]



<그림 3> (a)Design Condition, (b)Design result



<그림 4> (a)Spring힘과 Solenoid Actuator의 힘 비교 (b)Moving Core의 위치와 전류