

영구자석 액츄에이터 설계 파라메터에 대한 고찰

이 종 혁, 이 재 걸, 안 희 일, 김 영 근, 신 영 준, 길 경 석*

A study of design parameters for permanent magnet actuator

JH Lee, JG Lee, HI Ahn, YG Kim, YJ Shin, GS Kil*

LS Industrial Systems Co., Ltd., Korea Maritime Univ.*

Abstract - This paper describes the design parameters for permanent magnet actuator(PMA). Recently, a PMA is great attention and increased in used. However, it needs a technique for applying design parameters in order to satisfy characteristics of PMA. In this paper, presented the design parameters for PMA that has both a mutual relation and a consideration for load.

1. 서 론

일반적으로 전력계통상에 고압용 개폐장치의 구동을 위해 모터 스프링 구동방식, 솔레노이드 구동방식, 영구자석을 이용한 구동방식등이 있으며 현재까지 모터 스프링 구동방식이 많이 사용되고 있다. 초기구동과 여러 가지 이점을 가지는 기존의 방식은 많은 부품수와 보수작업의 필요성으로 인해 문제점들을 종종 도출시키고 있다. 따라서 이에 대한 보완 및 높은 신뢰성 요구로 인해 새로운 형태의 메카니즘이 영구자석을 이용한 구동장치(PMA)가 개발되어 현재 많은 관심과 이용률이 증대되고 있다. 해외 선진사마다 각각의 고유 PMA 모델을 개발하여 소유하고 있거나 개발 중에 있다. 각 회사의 모델에 대해서는 하나의 코일을 이용하여 전류 방향을 바꿔 구동하거나 두 개의 코일을 이용하여 각각 투입과 차단시 구동 역할을 하도록 하는 상 하 대칭구조를 가지는 것과 보조적으로 기계적 latch를 이용하여 영구자석에 의한 자기유지를 보조해주는 구조 등으로 크게 나뉜다. 각각의 모델들은 특징적인 부분이 있지만 모두 동일한 구동원리로서 구현되어있다. PMA의 중요한 설계 파라메터는 우선, 영구자석을 이용한 구동장치이므로 가장 중요한 것은 영구자석의 자속 밀도 및 자로를 제공하는 외부 코아의 포화자속밀도 값이며, 손실을 최소화 하는 기계적 구조도 중요한 요소이다.

본 논문에서는 기존에 사용되고 있는 보편적인 PMA 모델을 이용하였으며, 여러 가지 중요한 파라메터중에서 실제 설계시에 메카니즘에 고려되는 실제 부하에 대한

값들을 임의 화하여 나타내었으며 또한, 인가전압에 따른 PMA의 여러 특성 값을 측정하여 제시하였다. 측정된 값들이나 파라메터간의 관계들은 향후 독자 모델 설계시에 데이터를 제공하였고 모델 개발에 있어서 시행착오를 최소화할 것으로 기대된다.

2. 본 론

일반적으로 개폐장치중에서 특히 진공차단기(VCB)의 경우 투입(0.6 ~ 1.0m/s)과 차단특성(0.9 ~ 1.2m/s)에서 요구되는 속도는 각기 다르며 각각의 차단전류 급에 따라서 진공 벨브(VI)가 필요한 점점 가압력 역시 차이가 있다.

본 연구에서는 여러 개폐 장치중에 24kV 25kA급 진공차단기(VCB)에 사용되는 가장 보편적인 모델인 PMA(대칭형)을 적용할 경우 고려해야 할 부분들을 전개하였다.

2.1 PMA 구동 원리

PMA는 Ampere의 오른 나사 법칙, 주회 법칙, 그리고 Fleming의 원손 법칙, Lorentz force가 이용되어 구동되며 PMA 단독으로 구동시에 적용되는 관계식을 식 (1)~(4)에 나타내었다.

$$\nabla \times (\frac{1}{\nabla} \times A) = J_o + J_e + \nabla \times \frac{1}{\mu_r} M_r, \quad (1)$$

$$V = R_m I_m + L_m \frac{dI_m}{dt} \quad (2)$$

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_{mag} + F_f \quad (3)$$

$$F = NI_m \quad (4)$$

여기서, J_o : 외부인가 전류에 의한 자화의 세기,

J_e : eddy current에 의한 자화의 세기,

M_r : 영구자석에 의한 자화의 세기,

$$L_m = \frac{dI_m}{dt} : \text{역기전력},$$

N : 코일의 turn 수, I_m : 인가 전류,

F_{mag} : 영구자석에 의해 발생하는 힘,

F_f : 코일에 의해 발생하는 힘.

이다.

식(1)은 PMA의 지배방정식이며, (2)는 인가전원에 대한 전압방정식으로 이동시에 주위 자계에 의해 변하는 인덕턴스에 의한 유기전압은 무시되었으며, (3)은 PMA의 동작시에 적용되는 운동방정식, 그리고 식 (4)는 투입과 차단을 위한 구동코일에 대한 기자력 식이다. 본 연구에서 이용한 PMA는 이미 선진사에서 적용중인 2개의 코일을 이용한 PMA이며 그에 대한 일반적인 사양과 구성을 그림 1에 나타내었다.

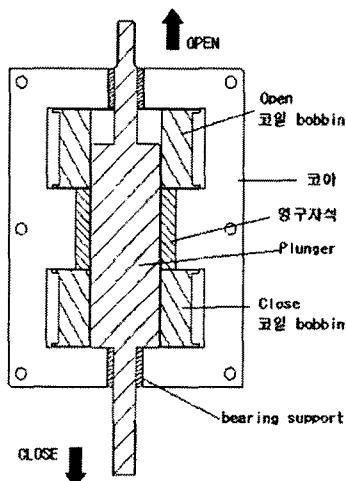


그림 1. PMA의 구조(대칭형)

Fig. 1. The structure of PMA(type of two coils)

그림 1에서 양측에 마주보고 있는 영구자석(PM)이 이동자(Plunger)를 그 상태로 유지하고 있으며 차단(Open) 시에 차단코일에 전원이 인가되어 이동자(Plunger)를 이동시키게 된다. 투입(Close)시에도 차단시와 마찬가지의 과정을 거치게 된다.

2.2 주요 설계 파라메터 및 실험장치의 구성

영구자석을 이용한 구동장치에는 여러 가지 변화요소들이 있으며 이러한 요소들을 이용하여 원하는 투입 및 차단 속도 또는 에너지 손실등을 조정할 수 있다.

일반적으로 고려되어야 할 PMA의 설계 파라메터들은 다음과 같다.

- 1) 영구자석의 자력 크기
- 2) 코아의 포화자속밀도
- 3) 인가전원의 크기
- 4) 영구자석과 이동자간의 간격
- 5) 이동자와 bearing support간의 Gap
- 6) 이동자의 형상
- 7) 코일 Bobbin의 turn수
- 8) 해당 VI에 대한 자폐력의 크기
- 9) 접점 가압을 위한 Wipe spring
- 10) CB(차단부)의 기계적 마찰저항 및 질량

위에 나열한 1) ~ 10)의 모두 중요한 파라메터이지만, 본 논문에서는 영구자석의 자력크기와 인가전원에 따른 전류파형변화 그리고 부하단의 하중에 따른 파라메터 등 만을 기술하였다. 먼저, 영구자석의 자력크기와 코일에 의해 발생되는 힘과 각 부하간의 관계를 투입과 차단에 따라 아래 수식 (5)와 (6)에 나타내었다.

$$F_f + F_W \gg F_{mag} + F_g + f \quad (5)$$

$$F_f + F_g \gg F_{mag} + F_W + f \quad (6)$$

여기서, F_f : 코일에 의한 힘,

F_W : Wipe spring에 의한 척력,

F_{mag} : 영구자석에 의한 힘,

F_g : VI의 자폐력,

f : 기계적 마찰력,

이다.

식(5)은 차단 동작때에 필요한 힘의 크기를 나타낸 것이다. 식(6)은 투입 동작때에 필요한 힘의 크기를 나타낸 것이다. 두 식에서 나타낸 바와 같이 PMA의 동적 특성을 얻기 위해서는 반드시 위와 같은 관계식을 적용하여야 한다. 영구자석의 자력 크기는 부하단의 Wipe spring 등의 척력 및 초장력, VI의 자폐력을 고려하여 설계되어야 하며 이는 초기의 차단 속도에 상당히 큰 영향을 준다. 또한, 이와 함께 인가전원은 DC전원을 사용하는 것이 일반적이며 Capacitor를 사용하여 초기에 많은 전하를 공급한다. 인가전원의 크기는 크면 클수록 투입시 혹은 차단시에 동작 속도를 증가시키지만, 연속동작(O-0.3s-CO)시의 전압강하분이 증가하여 처음의 차단동작후 차순의 투입동작이 이루어지지 않을 수도 있으며, 코일 전류에 의한 역기전력의 증가로서 보호소자 및 보호회로의 부가로 전원회로의 불합리한 비용증대를 가져올 수 있다. 표 1은 본 연구에서 사용한 PMA의 기본적 인 사양을 나타내었으며 그림 2는 본 연구에서 사용된 PMA에 대한 연속개폐동작의 예시를 나타낸 것으로 처음 차단 동작 후 투입동작까지 전압강하가 상당히 일어난 것을 알 수 있다.

표 1. PMA 사양

Table 1. Specification of PMA

Stroke	23.2 [mm]
Holding force	540 ~ 780 [kg·f]
Operation voltage	80 [V]
Capacitor for Operation	100,000 [μ F] 100 [WV]
Br (Permanent magnet)	1.27 [T]

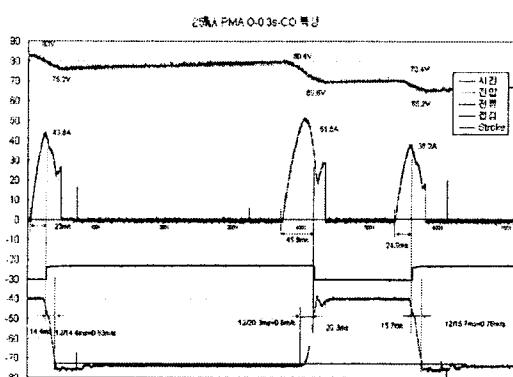


그림 2. 연속 개폐동작에 따른 특성값의 예
(변위, 전압강하, 전류, 접점상태)

Fig. 2. An example of characteristics value
to continual operation

(displacement, voltage drop, current, status of contact)

그림 3은 DC 전원을 85V, 90V, 100V로 각각 차등을 두어 PMA에 인가했을 경우 투입시에 나타나는 전류값이 각각 58A, 64A, 69A를 나타내며 인가전원의 크기가 클수록 전류의 파고치는 증가하고 더불어 파고치까지 도달하는 시간은 감소하는 것을 알 수 있다.

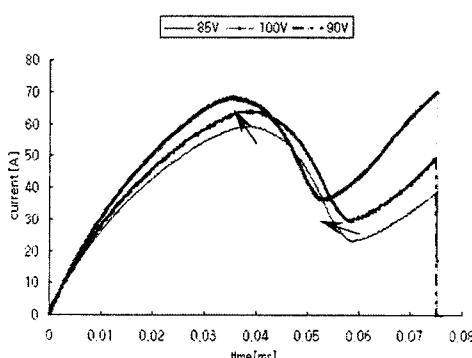


그림 3. 투입시 인가전압에 따른 전류의 변화

Fig. 3. A difference of current for input voltage
in close motion time

반면에 영구자석의 자력의 세기를 증가시키면 동일한 전

원을 인가하더라도 자력의 세기가 클수록 전류의 파고값이 증가되며 동시에 파고까지 도달되는 시간까지 증가된다. 그럼 4는 PMA의 동작특성을 알아보기 위한 시험대와 JIG를 나타낸 것으로 동작전류 차단시간을 0 ~ 99ms 까지 조정할 수 있으며, 125V 300,000 μ F의 전원을 인가할 수 있다.

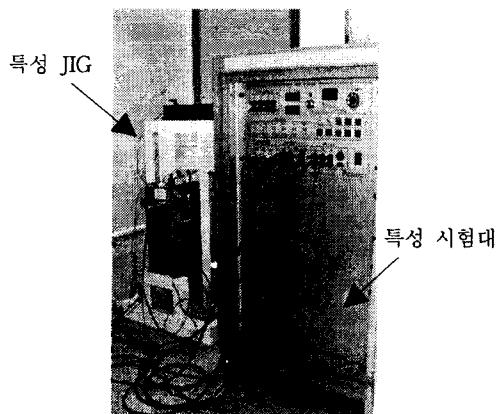


그림 4. 실험장치의 구성

Fig. 4. Construction of instrument for measurement

3. 결 론

본 연구에서는 고압용 개폐기의 구동장치로서 많은 관심을 받고 있는 영구자석 구동장치에 있어서 실제 설계에서 고려해야 할 사항들을 나열하였고 그중에서 몇 가지 주요한 파라메터들간의 관계를 임의의 수식으로 나타내어 관계성을 나타내었으며 연속동작시의 전원의 특성에 대한 영향과 연속동작 파형을 제시하였고, 실험장치구성을 나타내었다. 실제 차단기를 설계할때는 각 정격 등급에 따라 요구되는 부하정도가 큰 차이가 있으며 이에 대한 주요한 데이터는 현재 진행중인 독자모델에 적용중에 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Varlow, B.R., "A permanent magnet actuated solid state controlled auto-reclose circuit breaker", CIRED, Liege, Vol 1, 1991
- [2] A.J.W. Lammers, P.P Leufkens, G.C. Schonenberg, "MV Vacuum Switchgear Based on Magnetic Actuators", IEE, No, 459, 1998
- [3] B.A.R Mckean, Dr C Reuber, "Magnets & Vacuum - The Perfect Match", IEE, No.459, 1998
- [4] Lin Xin, Gao Huijun, Cai Zhiyuan, "Magnetic field Calculation and Dynamic Behavior Analysis of The Permanent Magnet Actuator", IEEE, 19th Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, 2000