

입력전류에 따른 Magnetic Actuator의 동작특성 해석

오연호<sup>o</sup>, 송기동, 김귀식\*, 김진기\*  
한국전기연구원, 진광 E&C (주)

Analysis for Dynamic Characteristics of Magnetic Actuator According to Input Current

Y.H.Oh<sup>o</sup>, K.D.Song, K.S.Kim\*, J.K.Kim\*  
KERI, \*ChinKwang E&C

**Abstract** - In this study, two magnetic actuator models are chosen to interpret dynamic characteristics.

First model has no permanent magnet, on the contrary second has magnet that hold plunger to keep steady state. Both models are dynamically analyzed according to input current, and also compared with spending time and magnetic force at that moving is finished.

크기에 따른 해석을 수행하였다.

외부에서 전원을 공급하는 경우, 아래의 전압 방정식을 추가하여야 한다.

$$V = R \cdot i + \frac{d\psi}{dt} \tag{1}$$

여기서,  $V$  --- 공급 전압  
 $\psi$  --- 코일 쇠교자속  
 $R$  --- 코일 저항

1. 서 론

최근 진공차단기의 개발 동향은 스프링을 기초로 하는 조작방식에서 영구자석을 가진 Magnetic Actuator의 조작방식으로 전환되고 있다.

자기적으로 동작하는 Magnetic Actuator는 기존의 시스템보다 동작시간과 제어, 그리고 부품수의 감소와 신뢰성 및 반복성이 뛰어나다는 장점을 가지고 있다.

진공차단기의 동특성 설계시 가동자의 이동 속도는 Magnetic Actuator의 전자력, 무게, 자로 형성 등과 밀접한 관계가 있다. 이 경우 Magnetic Actuator의 전자력과 입력전류에 따른 동특성을 해석하여, 진공차단기 전체의 성능을 파악해야 할 것이다.

본 연구에서는 두 가지 Magnetic Actuator 모델을 선정하여 입력전류에 따른 동특성을 해석하였다. 이를 통해 각 모델의 장단점을 비교 분석하였으며, 차후 Magnetic Actuator 설계시 유용한 자료가 될 것으로 판단된다.

첫 번째 모델은 영구자석이 없는 형태이며 두 번째 모델은 영구자석이 존재하여 가동자(plunger)의 정지상태를 유지시켜주는 역할을 한다.

두 모델 모두 투입시 전류 크기에 따른 전자력을 계산하였으며, 시간에 따른 전자력 및 가동자의 속도를 검토하였다. 전류 크기는 4000 ~ 14000 [AT]이며, 각각의 전류에 대해 동작 완료시의 소요 시간과 전자력의 크기를 비교하였다.

이며, 코일 저항은 20[Ω], 턴[turn]수는 1000 이다.

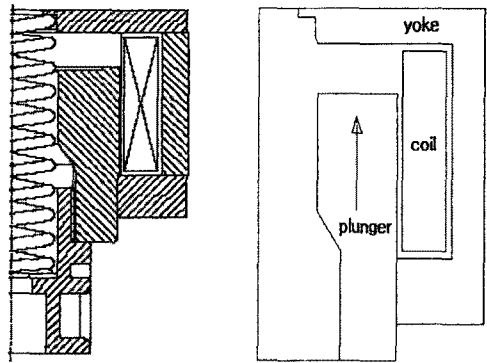


그림 1. 모델 1의 형상 및 해석 모델

또한, 가동부의 부피는 201,795 [mm<sup>3</sup>]이며, 철펠로 이루어져 있으므로 무게는 1.574 [kg]이다.

2. 본 론

2.1. 모델 1

모델 1은 그림 1과 같이 영구자석이 없는 형태의 Magnetic Actuator로서 투입 및 개방시의 동작특성을 파악하기 위하여 선정되었다. 그림 1에서 가동자(plunger)는 초기 개방상태에서 전류가 입력되면 화살표 방향으로 이동하게 되고, 최종적으로 차단기의 투입이 완료되면 정지한다.

해석모델이 축대칭이므로 2차원 축대칭 모델링을 하였으며, 비선형 및 역기전력 해석을 적용하였다. 또한 외부에 전류입력을 위한 전압원 회로를 추가하여, 각 전류

2.2. 해석결과

그림 2는 입력전류값에 따른 전자력을 보여주고 있다. 입력전류값은 4000, 6000, 8000, 10000, 12000, 14000 [AT]이다. 투입 완료 시간(closing time)은 그림에서 알 수 있듯이 입력전류값이 커질수록 비선형적으로 감소하고 있다. 따라서, 차단기의 투입 시간이 정해져 있는 경우, 최적의 입력전류값을 선정하는데 본 자료가 유용하게 쓰일 것으로 판단된다.

그림 3은 각 입력전류값에 따른 속도를 나타내고 있으며, 입력전류값이 증가할수록 동작완료시 가동부의 이동 속도도 비선형적으로 커짐을 알 수 있다.

2.3. 모델 2

그림 4는 모델 2의 해석형상을 나타내고 있다. 모델 2는 영구자석이 존재하여 가동자의 정지상태를 유지시켜주는 역할을 하며, 동작시 자로에 영향을 끼칠 수 있다. 영구자석의 잔류자속밀도는 1.2 [tesla]이며, 자속의 방향

은 수직이다. 모델 1과 마찬가지로 2차원 축대칭 모델링이며, 영구자석을 제외한 다른 모든 해석조건은 동일하게 적용하였다.

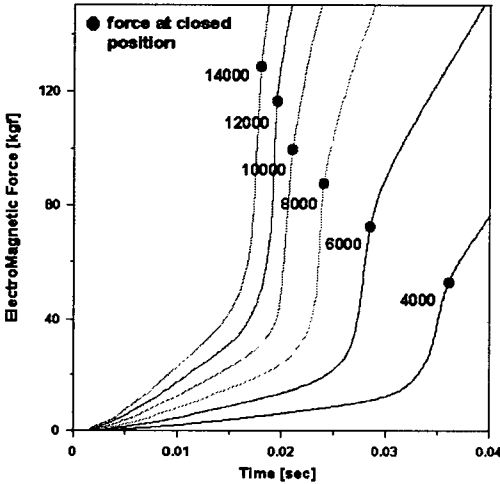
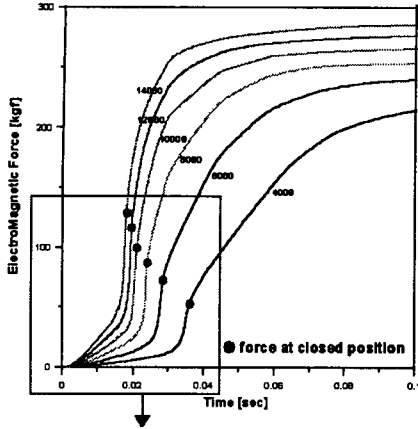


그림 2 입력전류값에 따른 전자력 분포(모델 1)

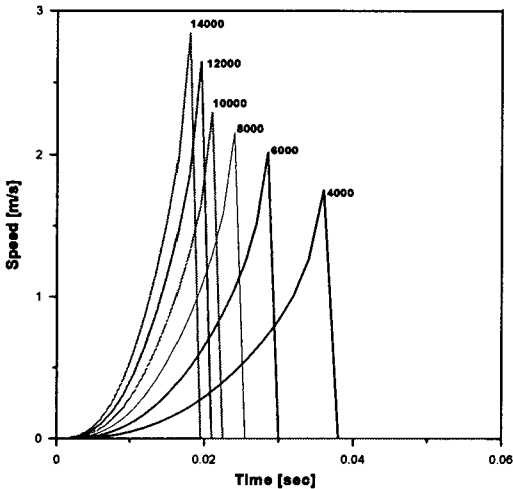


그림 3 입력전류값에 따른 가동부의 속도분포(모델 1)

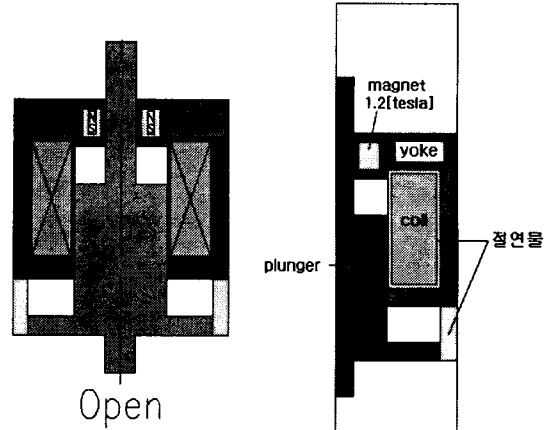


그림 4 모델 2의 형상 및 해석 모델

모델 1과 동일한 전압원 회로를 적용하였으며, 가동자의 무게는 2.67 [kg]이다.

#### 2.4. 해석결과

그림 5는 입력전류값에 따른 전자력을 보여주고 있다. 투입 완료 시간(closing time)은 입력전류값이 커질수록 비선형적으로 감소하고 있다. 그림 6은 각 입력전류값에 따른 속도를 나타내고 있으며, 입력전류값이 증가할수록 동작완료시 가동부의 이동속도도 비선형적으로 커짐을 알 수 있다.

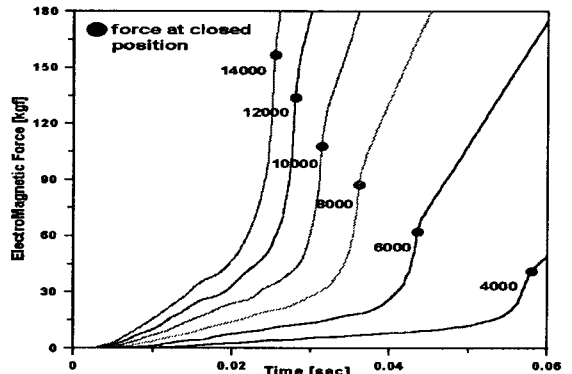
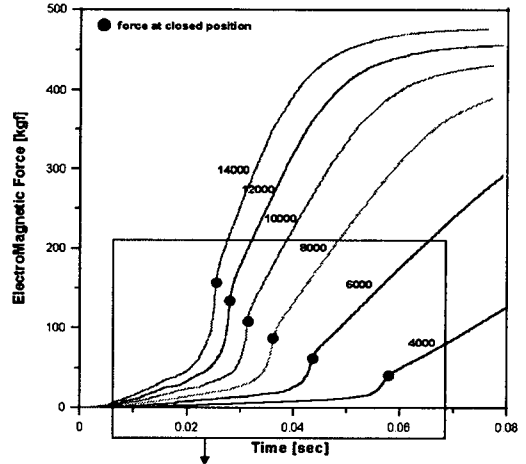


그림 5 입력전류값에 따른 전자력 분포(모델 2)

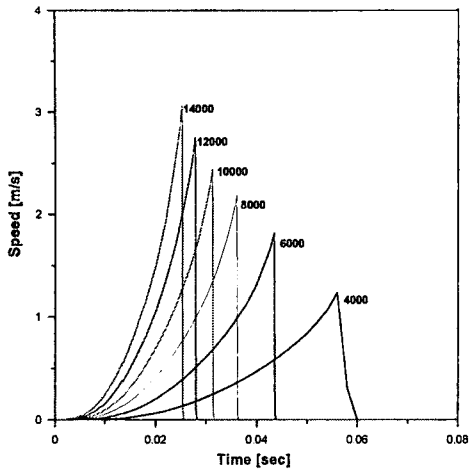


그림 6 입력전류값에 따른 가동부의 속도분포(모델 2)

### 2.5. 모델 1과 모델 2의 동작특성 비교

모델 1과 모델 2의 전자력 및 속도 비교 분포를 그림 7과 그림 8에 나타내었다. 또한 표 1에 모델 1과 모델 2의 전자력 및 투입 완료까지의 소요 시간을 수치적으로 나타내었다.

표 1을 보면 6000[AT] 이하인 경우, 모델 2는 모델 1에 비해 동작 완료시의 전자력이 작게 나타나지만, 8000[AT]에서는 비슷한 값을 나타내고 있으며, 8000[AT] 이상에서는 입력전류값이 클수록 모델 2의 전자력이 증가하고 있다. 또한 동작 완료시까지의 시간을 보면 모델 2가 모델 1에 비해 소요 시간이 크지만 입력전류값이 커질수록 그 차이는 줄어들고 있음을 알 수 있다.

이러한 이유로서는 먼저 모델 2가 모델 1에 비해 가동부의 무게가 1.7배 정도 무겁기 때문이며, 또한 영구자석에 의한 자로 형성의 차이에도 기인하는 것으로 판단된다. 따라서, 모델 2의 동작 완료 시간을 줄이기 위해서는 입력전류값을 증가시키거나, 또는 가동부의 무게를 줄이고 yoke, 영구자석, 가동부의 형상 변경을 통해 자로형성을 최적화해야 할 것이다.

표 1 모델 1과 모델 2의 전자력 및 동작시간

전류 [AT]	전자력 [kgf]			동작완료까지의 시간 [s]		
	모델1	모델2	모델1-모델2	모델1	모델2	모델1-모델2
4000	53.0	41.2	11.8	0.036	0.058	-0.022
6000	72.6	62.1	10.5	0.0285	0.0436	-0.0151
8000	87.5	87.2	0.3	0.024	0.0362	-0.0122
10000	100.0	107.9	-7.9	0.021	0.0314	-0.0104
12000	116.6	134.1	-17.5	0.0195	0.028	-0.0085
14000	128.6	156.9	-28.3	0.018	0.0254	-0.0074

### 3. 결 론

본 연구에서는 두 가지 Magnetic Actuator 모델을 선정하여 입력전류에 따른 동특성을 해석하였다. 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 두 모델 모두 입력전류값이 증가할수록 동작완료시 가동부의 이동속도도 비선형적으로 커짐을 알 수 있었

다.

2) 모델 2가 모델 1에 비해 가동부가 무거워, 동작완료시까지의 소요시간이 상대적으로 증가하였다.

3) 차단기의 투입 시간이 정해져 있는 경우, 최적의 입력전류값을 선정하는데 본 자료가 유용하게 쓰일 것으로 판단된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Marielle Piron, P.Sangma, Gordon Feid, T.J.C.Miller, Dan M. Ionel, Jeft R.Coles, "Rapid Computer-Aided Design Method for Fast Acting Magnetic Actuator", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 35, No. 5, 1999
- [2] K. V. Eckroth, "Recent Advance in the Development of Commercial Axial Magnetic Field Vacuum Interrupters", IEEE, pp. 35~39, 1994
- [3] P.P.Silvester and R.L.Rerrari, "finite Elements for Electrical Engineers", Cambridge University Press, 1983
- [4] S.J.Salon and J.Peng, "Hybrid finite element boundary element solutions to axisymmetric scalar potential problems", in Z.J.Csendes(ed.), Computational Electromagnetics. New York:North/Holland, 1986
- [5] A. Ganz, "Electrical Switching of high-Voltage motors", BBC, Symp. High Voltage Switching equip., Sydney, May 1979
- [6] Wriht et al., "Method of Compensation of Flux Control of an Electromechanical Actuator", US Patent 6,285,151 B1, 2001

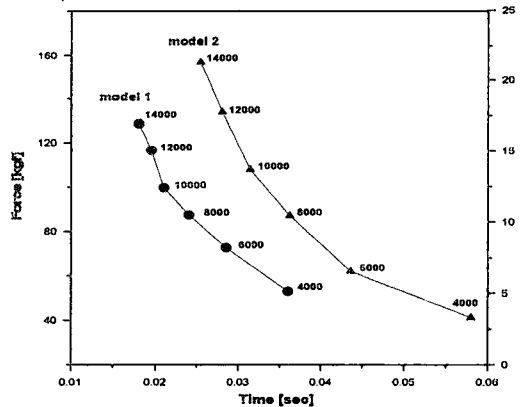


그림 7 모델 1과 모델2의 전자력 비교

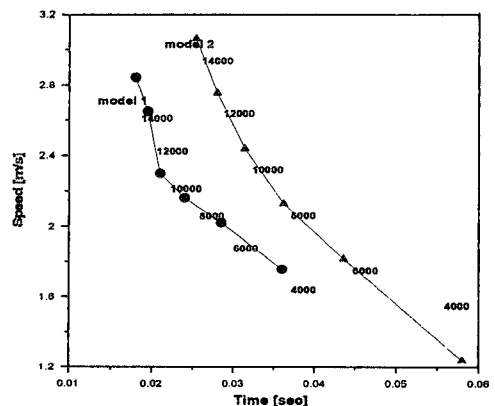


그림 8 모델 1과 모델2의 속도 비교