

영구자석형 차단기의 특성해석 및 설계

서정호, 김한균, 주수원, 한성진
 동아대학교 전기공학과

Analysis of Dynamic characteristic and design of permanent magnetic actuator

J. H. Seo, H. K Kim, S. W. Joo , S. C. Hahn
 Dong-A Univ., Pusan 604-714. Korea

Abstract - For past decade, medium voltage circuit breakers have used the spring-driven mechanical system for interrupting of electric power. However, these mechanisms have many disadvantages of high power consumption, mechanical control components and electrical switching ones for the coil current. Recently, the vacuum interrupter operated by permanent magnet actuator gives outlook on improved characteristic, higher reliability and cost price reduction as well as the feature of simple structure and few components. This paper deals with the dynamic characteristics of permanent magnet actuator used in the medium voltage distribution systems. Coupled finite element method is used to analysis the dynamic characteristics of permanent magnetic actuator and we compared with those of conventional ones

1. 서 론

970년대 초부터 중전압 분야에서 진공차단기는 널리 사용되어 왔다. 이것은 전력기기를 보호하고, 고장전류 발생시 전력기기를 보호하고, 고장전류 발생시 전류 차단시간이 감소된다. 진공차단기의 동작 메커니즘은 다른 타입의 차단기(air, oil SF6 type)와 확연히 다른 특징을 가지고 있다.[1-3]

일반적으로 진공차단기는 스프링에 의해 동작하는 메커니즘을 사용해왔다. 이 메커니즘은 기계적 컨트롤 구성 요소들과 코일 전류에 의한 높은 전력소비의 단점을 많이 가지고 있다. 또한 동작요소와 접점은 스프링과 레버로 결합되어있어서 부피 또한 커지게 된다. 이러한 것들은 접점의 직선운동에 의해 고장이 쉽게 발생한다.

강력한 영구 자석들이 출현함에 따라, 영구자석 액추에이터들의 적용은 고전력에 필요한 스위칭과 기계적인 래칭 시스템 한계 위치의 단점보완이 가능해졌다. 영구자석 액추에이터에 의해 동작하는 진공차단기는 다른 전기적인 에너지가 없이 영구자석 힘으로 open position과 close position에 고정된다. 그래서, 조작 방식은 기존의 메커니즘보다 시스템이 더욱 간단하게 되었다. [4]

결과적으로 영구자석형 액추에이터는 특성이 향상되고 구조가 간략화 되고, 부품수가 적어짐으로 인하여 비용이 감소하고, 고장이 발생될 빈도가 적을뿐만 아니라 높은 신뢰성이 있어 유지 보수가 거의 필요하지 않다. 솔레노이드 방식의 액추에이터와 비교하여 부품 수는 50% 정도 감소하였다.[5]

본 논문은 중전압에 사용하는 영구자석형 액추에이터의

동작특성을 해석 및 설계 하고자 한다. 영구자석형 액추에이터의 디자인 또는 분석을 위해, 전기, 자기, 그리고 기계적인 현상들을 결합하여 고려해야 한다.[6] 결합된 유한 요소법은 기존의 솔레노이드형 액추에이터의 특성과 영구적인 자기 액추에이터의 동적 특성을 비교하도록 사용 된다.

2. 본 론

2.1 지배방정식

전기 자기적인 문제를 해석하기 위한 주요 요소는 공급전원에 의한 여자 전류 만큼의 힘의 증가와 Plunger의 변위이다.

코일에 인가되는 전압에 의해 생기는 몇몇 물리적인 현상들을 아래와 같은 식으로 설명할 수 있다.

2.1.1 전기 회로 방정식

$$V = R \cdot i + \sum_{i=1}^N \frac{d\phi}{dt} \tag{1}$$

여기서,

- V : 공급 전압
- ϕ : 코일 쇠교자속
- R : 코일 저항
- I : 인가전압
- N : 코일 턴수

$$\phi_i = \int_{S_i} \int B ds \tag{2}$$

여기서,

- S_i : 코일 페루프의 면적
- B : S_i 영역에서 자속밀도

2.1.2 자기 회로 방정식

자속밀도 B는 맥스웰 방정식으로부터 구할 수 있다.

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A} \tag{3}$$

$$\vec{J} = \nabla \times \vec{H} \tag{4}$$

$$\vec{H} = \nu \vec{B} \tag{5}$$

식 (3)-(5)를 간략화 하면,

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[\nu \cdot \frac{\partial A}{\partial z} \right] + \frac{\partial}{\partial r} \left[\nu \cdot \frac{\partial (r \cdot A)}{\partial r} \right]$$

$$= -J_c + \sigma \cdot \frac{\partial A}{\partial t} + \sigma \cdot v_z \cdot \frac{\partial A}{\partial z} \quad (6)$$

여기서,

J_c : 코일영역에서의 전류 밀도

$$I = J_c \cdot \frac{S}{N} \quad (7)$$

S : 코일 영역의 단면적

N : 코일 턴수

σ : 물질의 도전율

ν : 자기 저항률

v_z : 가속도

2.1.3 Plunger 운동 방정식

$$m \frac{dv}{dt} + B \cdot v = F_{mag} - F_f \quad (8)$$

$$v = \frac{dz}{dt} \quad (9)$$

여기서,

m : Plunger의 질량(mass of moving part)

v : Plunger의 속도

B : Damping factor

자기포화현상을 무시하고, 공극의 자속밀도를 이용해서 magnetic force를 다시 쓰면,

$$F = \frac{1}{2\mu_0} \int_{S_i} \int_{S_j} B^2 ds \quad (10)$$

이다.

2.2 영구자석형 액추에이터 설계 순서도

본 연구는 솔레노이드 방식의 액추에이터를 영구자석형 액추에이터로 재설계를 하기 위해 우선 솔레노이드 방식의 자기력과 재질 및 크기를 고려하였고, 솔레노이드 방식을 해석하여 얻은 결과를 이용하여 영구자석 액추에이터의 정수를 구하였다. 그 후 영구자석 액추에이터 동작특성을 이용하여 여자전류를 계산하였다.

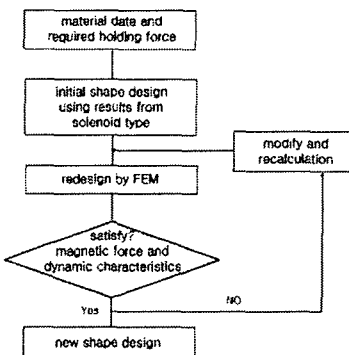
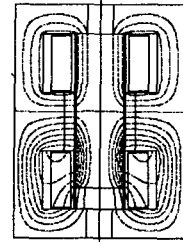


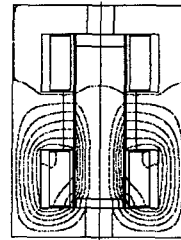
Figure 1. Flow chart of PMA design

2.3 해석 결과 및 토의

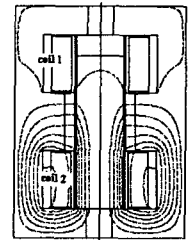
영구자석형 액추에이터의 동작특성을 해석하기 위해 유한요소법을 이용하였고, 그림 2에서는 새로 설계된 영구자석형 액추에이터의 자속분포를 보여주고 있다. 그림 2-(a)를 보면 여자전류가 바로 투입되었을 때 plunger의 위치는 자석의 때문에 윗부분에 고정되어있고 움직이지는 않는다. 제어부로부터 전류가 증가함에 따라 액추에이터의 자속이 변하면서 plunger는 아랫방향으로 움직이는 것을 그림 2-(a)에서 볼 수 있다. 그림 2-(c)는 plunger가 동작 완료 지점에 도달하기 직전의 자속분포를 보여주고 있다.



(a) ($t = 0.0151s$)



(b) ($t = 0.03s$)



(c) ($t = 0.045s$)

Figure 2. Flux distributions for permanent magnet actuator at different time

그림 3과 4에서 두 모델의 전류와 흡인력은 코일 턴수와 면적을 같게 고려하여 비교하였다. 그러한 상태에서 영구자석 액추에이터의 특성을 보면 솔레노이드 타입의 특성보다 더 낫다는 것은 쉽게 예측할 수 있다. 그 까닭은 영구자석과 자장이 생기는 코일의 효과를 결합했기 때문이다.

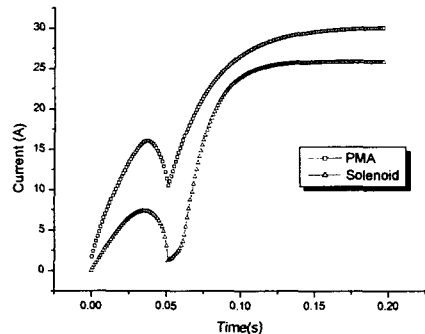


Figure 3. Current in coil versus time

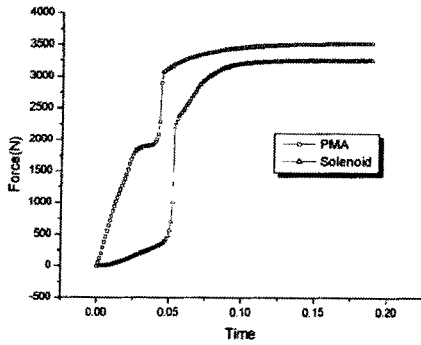


Figure 4. Attracting force versus time

그림 5를 보면 영구자석 액추에이터는 솔레노이드 액추에이터와 비교했을 때 동작특성이 더 나은 것을 볼 수 있다. 그림 5을 보면 동작 완료지점인 바닥에 도달하는 Stroke time이 솔레노이드 타입의 경우 (0.051s)인 반면 영구자석 액추에이터의 (0.045s)로 솔레노이드 타입보다 더 빠른 것을 알 수 있다.

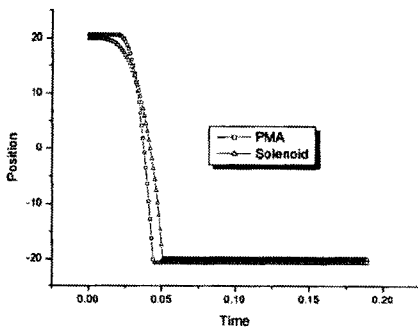


Figure 5. Strokes versus time

그림 6과 7에서 보이는 바와 같이, 영구자석 액추에이터의 체적당 힘이 솔레노이드 타입의 체적당 힘보다 약 57.1%가 더 크다.

그것은 영구자석 액추에이터가 실제 차단기에 사용되었을 때 차단기의 크기를 작게 하여 편리하게 해준다.

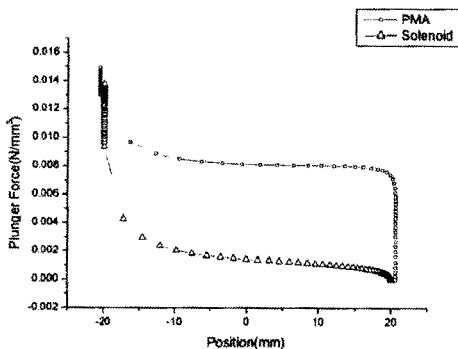


Figure 6. Volum force versus Stroke

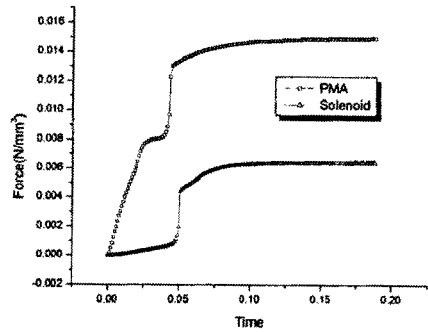


Figure 7. Volume forces in a plunger

3. 결 론

최근 진공차단기에서 영구자석 액추에이터를 사용함으로써 구조가 간단해지고 부품의 감소로 높은 신뢰도와 비용절감을 가져왔다. 이러한 영구자석액추에이터와 솔레노이드 액추에이터와 비교했을 때 부품수를 50%정도 감소시킬 수 있다.[5]

본 논문은 중전압 시스템에 사용되는 영구자석 액추에이터의 동특성을 해석했고 영구자석 액추에이터와 솔레노이드 타입 액추에이터의 동특성을 해석하고 비교하기 위하여 전계, 자계와 기계적인 현상을 고려하여 결합한 유한 요소법을 사용하였다.

본 논문에서 영구자석 액추에이터가 솔레노이드 액추에이터와 비교해서 더 좋은 동특성을 가지고 있다는 것을 보았다. 더군다나 동작 완료 지점에 도달하는 stroke time이 솔레노이드 타입의 경우보다 영구자석 액추에이터의 경우가 더 빠르다.

결국 두 모델의 체적당 힘을 비교해서 영구자석 액추에이터의 총 힘이 솔레노이드 타입의 총 힘보다 약 57.1% 크다는 결론을 내렸다.

[참 고 문 헌]

- [1] M. Morant and M. Bonjean, P. Thiry, D. Wysota "Intelligent M.V. circuit-breakers: recent evolutions" IEE, 1997 NO. 438
- [2] B A R Mckean and Dr C Reuber, "Magnet & Vacuum The perfect match" IEE 1998 No. 459
- [3] C. B. Rajanathan and G. Hu, "Electromechanical Transient Characteristics of an Inductuion Actuator by Finite Element Analysis" IEEE Trnas. In Magnetics, VOL. 29, NO. 2, March 1993.
- [4] Marielle Piron, Member, IEEE, P. Sangma, Gordon Feid and T.J.C. Miller, Fellow, IEEE Dan M. Ionel, Member, IEEE, and Jeft R. Coles, "Rapid Computer-Aided Design Method For Fast-Acting Magnetic Actuator, "IEEE Trans. On industry Applications, VOL.35, NO.5, September/October 1999.
- [5] P. S. Sangha and D. Rodger "Design and Analysis of Vlotage Fed Axisymmetric Actuators" IEEE Trans. On Magnetics, Vol. 30, NO. 5, September 1994.
- [6] I. H. Choi, C. S. Koh, T. K. Chung and S. Y. Hahn, "Finite Element Analysis for Electromagnetic System of Magnet Actuator," KIEE, VOL. 40, NO. 11, 1991.

본 연구는 산업 자원부에 의거하여 기초전력연구원 (R 2003 B 271)주관으로 수행된 과제임