영구자석을 갖는 2 코일형 마그네틱 액추에이터의 유한요소 해석

박정홍, 서정호, 한성진, 주수원
동아대학교

Finite element analysis of 2 coil type Magnetic Actuator with permanent magnet

Park Jeong Hong, Seo Jeong Ho, Hahn Sung Chin, Joo Su Won
Dong-A University

Abstract - 중저압 차단기(Medium Voltage Circuit Breakers)의 최근 개발 동향은 전동 스프링 조작방식에서 마그네틱 액추에이터(Magnetic Actuator) 방식으로 전환되는 추세이다. 마그네틱 액추에이터는 동작시간과 제어가 용이하고 부품수가 감소하여 신뢰성과 반복성이 뛰어나다.[1] 본 논문에서는 2 코일형 마그네틱 액추에이터에 대해서 유한요소 모델링 하였고, 플랜져(plunger)의 이동 거리에 따른 액추에이터의 전자력 변화를 해석하였다. 또한 Time stepping 방식으로 외부회로와 결합하여 유한요소 과도 해석을 하였다.

1. 서 론

근래에 중저압 차단기(MVCB)는 전기적 전력을 차단할 목적으로 가동 접점을 동작시키기 위한 기계적 스프링 에너지 시스템을 이용해 왔었다. 차단기에서의 기계적인 시스템 부분은 스위칭(switching) 동작 동안 높은 에너지와 가속력으로 움직인다. 그리고 기계적인 부분은 마모와 스트레스가 크기 때문에 차단기는 적당한 스위칭 동작을 위해 많은 에너지를 필요로 하게 된다.[1] 따라서 차단기는 소형화와 기계적인 동작에너지를 작게 하기 위해서 기존의 전동 스프링 조작 방식에서 영구자석을 이용한 마그네틱 액추에이터 방식을 채택하고 있다. 기존의 전동 스프링 조작방식의 경우에는 외부환경 즉, 온도, 열화, 마모, 마찰, 등의 영향을 많이 받는 반면에 전자석과 영구자석의 조합이라고 볼 수 있는 마그네틱 액추에이터는 동작시간과 제어가 용이하다. 또한 기계적인 시스템 부분과 차단부를 축 대칭으로 만들어 부품수가 현저히 감소하였으며, 신뢰성과 반복성이 기존의 전동 스프링보다 우수하다. 그리고 마그네틱 액추에이터는 영구자석에 의해 유지기능을 하기 때문에 지속적인 전력공급이 필요가 없어 많은 에너지 감소를 가져왔다.[1]

본 논문에서는 영구자석을 갖는 2 코일형 마그네틱 액추에이터를 유한요소 모델링 하였고, 플랜져의 이동 거리에 따른 액추에이터의 전자력 변화에 대해 해석하였다. 그리고 이 액추에이터를 외부회로와 결합하여 Time stepping 방식으로 유한요소 해석을 하였다.

2. 영구자석을 갖는 2 코일형 마그네틱 액추에이터

2.1 구조 및 사양

그림 1은 본 논문의 해석 대상 모델인 영구자석을 가지고 있는 2 코일형 마그네틱 액추에이터의 구조이다. 그림을 보면 알 수 있듯이 이 모델은 축 대칭 원통형 구조이며 plunger가 축 방향으로 동작한다. 그리고 2개의 코일이 직렬로 연결되어 있으며 외각에는 백 아이언(Yoke)을 형성하고 있다. 또한 이 모델은 2개의 코일 사이로 자로가 형성되어 있으며 그 사이에 영구자석을 가지고 있다는 것이 특징이다.

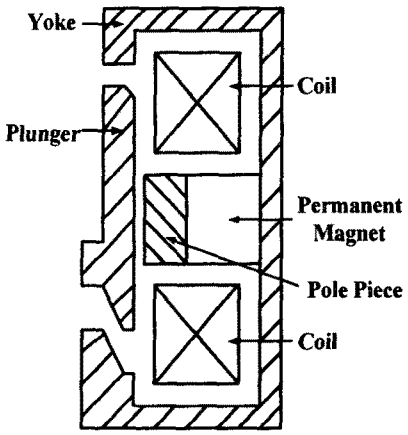


그림 1 해석 모델 구조도

표 1 해석 모델 사양

Spec	정격값
전압	220[V]
전류	8[V]
저항	27.5[Ω]
Turns	500[turns]

표 2 물질에 대한 투자율

Spec	Permeability
Plunger	1000
Pole	1500
Yoke	1000

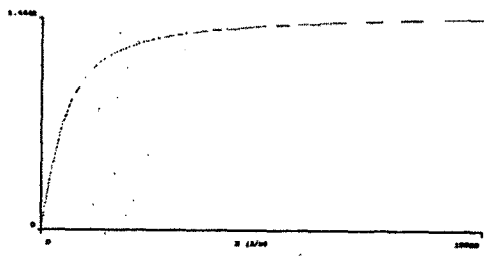


그림 2 비선형 특성곡선

2.1.1 자계 해석 순서도

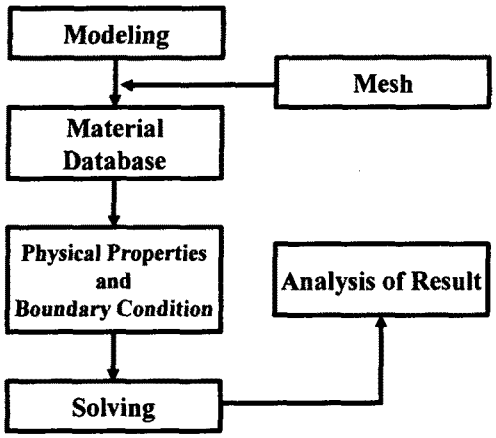


그림 3 자계 해석 순서도

그림 3는 모델에 대한 자계 해석 순서도를 보여주고 있다. 기기의 형상을 모델링 한 다음 유한의 요소로 분할하여 주어진 물질 값과 경계조건을 적용하여 해석하였다.

2.2 흡인력 산출

마그네틱 액추에이터의 흡인력 계산식은 다음과 같다.

$$dw = F \cdot dL \tag{1}$$

자속 ϕ가 변화하는 경우

$$W = W_m = \int_{\phi=0}^{\phi} NI\, d\phi \tag{2}$$

여기서, W: Actuator가 한 일
W_m: 전자석에 축적된 에너지
N : 코일의 턴수
I : 전류

공극의 자기 저항에 비해 철심의 자기저항이 극히 작고, 누설 자속이 없다고 가정하면,

m.m.f : $NI = Hl_g$ 에서

$$I = \frac{Hl_g}{N} = \frac{\phi}{NS}\ \frac{l_g}{\mu_g} \tag{3}$$

$$W_m = \int_0^{\phi} \frac{\phi}{S}\ \frac{l_g}{\mu_0}\ d\phi = \frac{\phi^2 l_g}{2\mu_0 S} \tag{4}$$

이 된다. 따라서,

$$F = \frac{\phi^2}{2\mu_0 S} = \frac{(BS)^2}{2\mu_0 S} = \frac{(\mu_0 HS)^2}{2\mu_0 S} = \left[\frac{B^2 S}{2\mu_0}\right] = \frac{\mu_0 H^2 S}{2} \tag{5}$$

된다.

2.2.1 Modeling

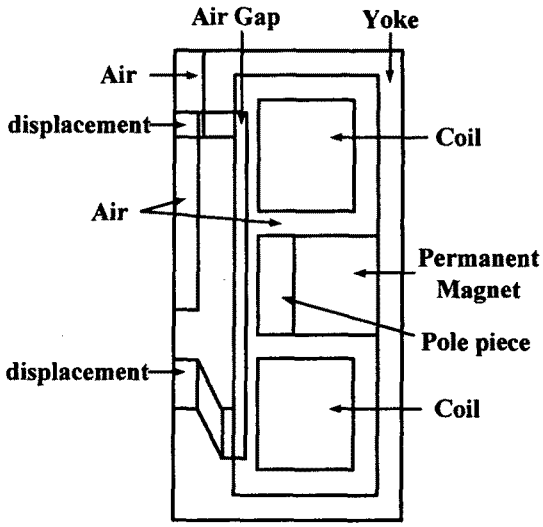
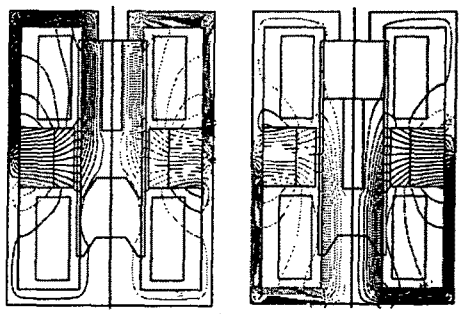


그림 4 유한요소 모델링

그림 4 에서 알 수 있듯이 유한요소 해석을 위해서 전체 영역을 분할하였다. 또한 플랜져의 무게를 1.5kg 주어졌으며 플랜져의 전체 동작구간은 6mm로 하였다.

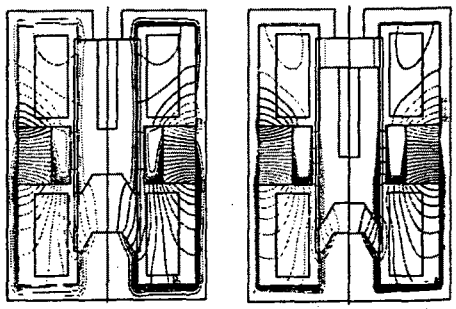
2.2.2 해석 결과



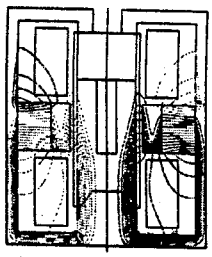
(a) 동작전 (b) 동작후

그림 6. 무여자시 자속 분포도

그림 6에서 알 수 있듯이 동작전과 동작후에는 무여자 즉, 전류가 흐르지 않고 오직 영구자석에 의해서 유지되고 있는 것을 보여준다.



(a) 동작개시 (b) 동작중



(c) 동작완료

그림 7. 동작중 자속 분포도

그림 7 에서 알 수 있듯이 plunger 의 위치가 변화하는 것을 볼 수 있다. 극성을 반대로 주게되면 그림 5에서처럼 반대가 되어 아래쪽 코일에 여자되는 것은 영구자석과 상쇄가 되고 위쪽 코일은 증가되기 때문에 plunger 의 위치가 변화한다.

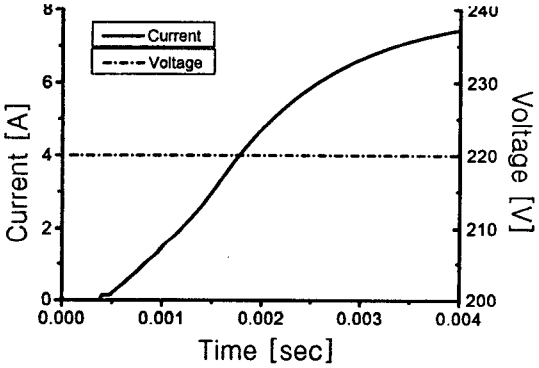


그림 8 입력전류와 전압

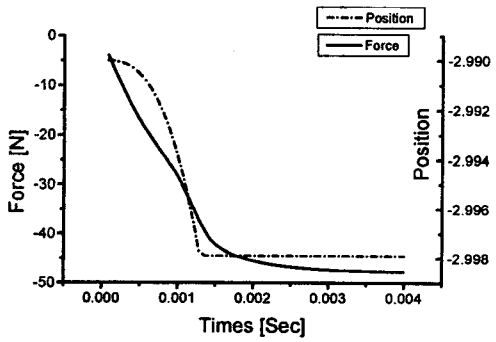


그림 9 Force 와 Position의 관계

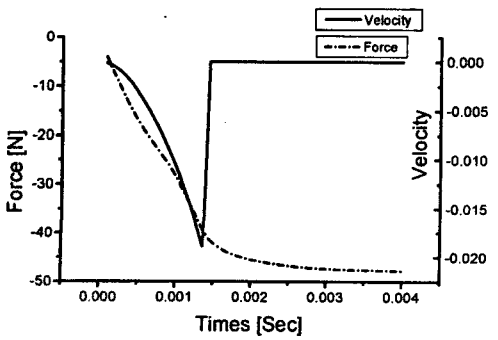


그림 10 plunger의 Force 와 Velocity의 관계

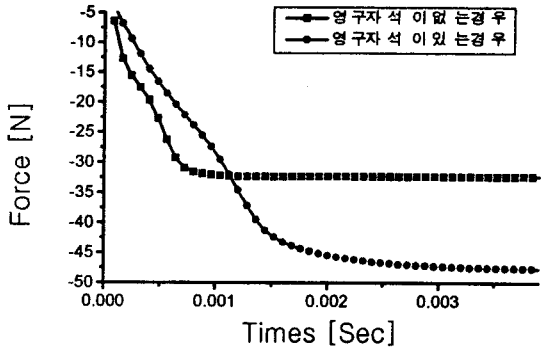


그림 11 영구자석이 有경우와 無경우 비교

그림 8 과 그림 9 그림 10 에서는 유한요소 해석을 Time Stepping 방식으로 과도해석을 한 결과이다. 그림 11은 영구자석이 있는 경우와 없는 경우의 흡인력을 비교한 결과이다.

3. 결 론

본 논문에서는 영구자석을 가지는 2 코일형 마그네틱 액추에이터의 유한요소 해석과 플랜져의 이동 거리에 따른 액추에이터의 전자력 변화를 해석하였다. 그리고 액추에이터를 외부회로와 결합하여 Time stepping 방식으로 유한요소 과도 해석을 하였다. 그 결과 마그네틱 액추에이터가 전동스프링 조작 방식보다 큰 흡입력을 낼수있다는 것을 알 수 있다. 또한 전력 에너지 감소로 기기의 유지 비용을 줄일 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] Shannon Soupiset, Development Manager, " The Magnetically Actuated Circuit Breaker Reality" ABB Power T&D Company Inc. March 27, 1999.

[2] C B Rajanathan and G Hu "Electromechanical Transient Characteristics of an Induction Actuator by Finite Element Analysis" IEEE TRANSACTION ON MAGNETICS. VOL.29, NO.2, pp2001~2005 NOVEMBER 1993

[3] K.srairi and M.Feliachi "Electromagnetic Actuator Behavior Analysis Using Finite Element and Parametrization Method" IEEE TRANSACTION ON MAGNETICS. VOL.31, NO.6, pp3497~3500 NOVEMBER 1995

[4] 이복희저 "고전압 대전류 공학" 정문각 1989

[5] 中田高義/李藤昭吉/河賴順洋 "有限要素法을 포함한 交直電子石의 設計와 應用" 森北出版株式會社 1991.