2002년도 대한전기학회 EMECS학회 추계학술대회 논문집 (2002.11.14-16)

형상 변화에 따른 Magnetic Actuator의 동작 특성 해석

박 정훈, 김 중경, 주 수원, 한 성진
동아대학교

Operation Characteristic Analysis of Magnetic Actuator by configuration change

J. H. Park , J. K. Kim, S. W. Joo, S. C. Hahn
Dong-A University

Abstract - This paper describes the operating characteristic analysis of magnetic actuator that is used in breaker using 3-D axisymmetry finite element method. To analyze the operating characteristic of magnetic actuator for configuration change is designed an A, B model and C. Also, For Transient analysis of Electromagnetic system is considered Non-linear characteristic for magnetizing of iron. The analysis results of A, B model and C for magnetic actuator compared with those characteristic respectively

1. 서 론

전력기기의 차단기 분야에 쓰이는 마그네틱 액추에이터(Magnetic Actuator)는 전력을 차단할 목적으로 사용되고 있다. 차단기에 쓰이는 마그네틱 액추에이터의 성능과 품질은 설계나 재질 그리고 가공 및 조립기술에 크게 영향을 받고 있으며, 특히 설계 기술의 비중이 상대적으로 크게 차지한다. 또한, 초고압 대용량일수록 고도의 기술을 필요로 하며 기기의 신뢰성이 매우 중요시된다 [1, 2]. 그러나, 차단기에 쓰이는 마그네틱 액추에이터의 대부분이 기술선진국들 중심으로 개발되고 있으며, 국내 전력산업의 핵심인 마그네틱 액추에이터에 대한 설계 기술이나 기기해석 수준이 기술 선진국에 비해 상당히 뒤떨어진다. 차단기에 사용되는 마그네틱 액추에이터는 다른 분야에 사용되는 기기보다 스위칭 동작시 빠른 가속력으로 움직이기 때문에 마모와 스트레스가 상당히 크다. 마그네틱 액추에이터를 어떻게 설계하느냐에 따라 기기의 동작시간과 제어 그리고 부품 및 제조비용을 줄일 수 있다. 하지만, 설계에 대한 정확한 특성 해석 없이는 최적 설계를 할 수가 없다. 따라서, 마그네틱 액추에이터에 대한 구조 변화에 따른 동작특성 해석은 최적 설계를 위해 반드시 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 마그네틱 액추에이터에 대한 특성해석을 위해 각각의 모델을 A, B, C로 나누어 해석하였다. 그리고, 각각 A, B, C 모델을 시간 변화에 따른 해석을 통해 동작특성을 비교하였다.

2. 지배 방정식 및 전자력 계산

2.1.1 지배 방정식

마그네틱 액추에이터는 에너지 보존 법칙을 기초로 하여 전자기 시스템에 대해 비선형 3차원으로 해석하였으며, 가동부의 속도(v)와 변위(x)를 구하기 위해 운동 방정식을 사용하였다 [2, 3, 4].

축 대칭 계 방정식 ;

$$\frac{\partial}{\partial z}\left[\nu\cdot\frac{\partial A}{\partial z}\right]+\frac{\partial}{\partial r}\left[\frac{\nu}{r}\cdot\frac{\partial (r\cdot A)}{\partial r}\right] = -J_c+\sigma\cdot\frac{\partial A}{\partial t}+\sigma\cdot v_z\cdot\frac{\partial A}{\partial z} \quad (1)$$

J_c : 코일영역에서의 전류 밀도

$$i = J_c\cdot S/N$$

S : 코일 영역의 단면적

N : 코일 턴수

σ : 물질의 도전율

ν : 자기 저항률

v_z : 가속도

전기 회로 방정식 ;

$$V = R\cdot i+\frac{d\Psi}{dt} \quad (2)$$

V : 공급 전압

Ψ : 코일 쇄교 자속

R : 코일 저항

운동 방정식 ;

$$f_{mag} = m\cdot\frac{d^2x}{dt^2}+c\cdot\frac{dx}{dt}+kx+f_p \quad (3)$$

여기서,

f_m --- 직선운동 가동부의 총 자기력

c --- 마찰 계수(friction coefficient constant)

m --- 가동부의 질량(mass of moving part)

k --- 스프링 계수 (stiffness coefficient constant)

f_p --- 초기 스프링 부하(Initial spring load)

(단, 마찰계수와 초기 스프링 부하는 zero 한다.)

2.1.2 전자력 계산

마그네틱 액추에이터의 기계적인 전자력 계산식;

$$dw = F\cdot dL \quad (4)$$

자속 ϕ가 변화하는 경우

$$W = W_m = \int_{\phi=0}^{\phi} NI\, d\phi \qquad (5)$$

W : Actuator가 한 일
W_m : 전자석에 축적된 에너지
N : 코일의 턴수

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

m.m.f $F = NI = Hl_g$ 에서

$$I = \frac{Hl_g}{N} = \frac{\phi}{NS}\ \frac{l_g}{\mu_g} \qquad (6)$$

$$W_m = \int_0^{\phi} \frac{\phi}{S}\ \frac{l_g}{\mu_0}\ d\phi = \frac{\phi^2 l_g}{2\mu_0 S} \qquad (7)$$

이 된다. 따라서,

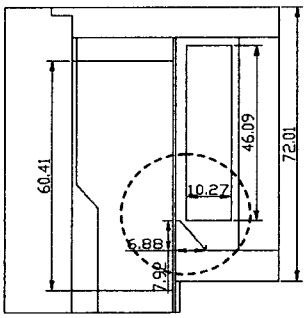
$$F = \frac{\phi^2}{2\mu_0 S} = \left[\frac{B^2 S}{2\mu_0}\right] = \frac{\mu_0 H^2 S}{2} \qquad (8)$$

된다.

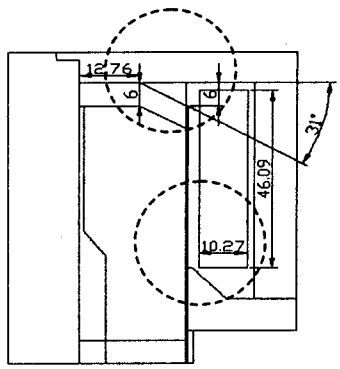
2.2 각각의 해석 모델

2.2.1 구조 및 사양

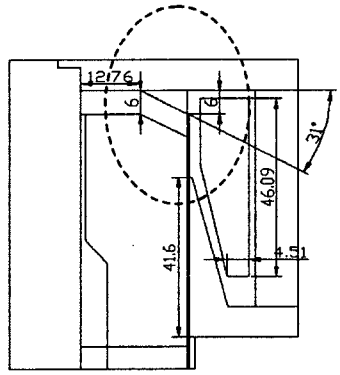
그림 1은 본 논문에서 제안한 각각의 A, B, C 모델에 대한 설계 구조이다. 해석 모델은 영구자석을 사용하고 있으며, 1코일형 마그네틱 액추에이터의 축 대칭 원통형 구조이다. (a), (b)는 장방형 코일설계를 하였으며, (c) 모델은 자기저항을 줄이기 위해서 요크(yoke) 부분을 기존의 모델보다 크게 주어서 해석하였다.



(a) A 모델



(b) B 모델



(C) 모델

Fig 1. 각각의 해석 모델 구조

표 1.은 각 모델에 대한 단면적을 나타내고 있다. 요크 부분에서의 단면적을 증가시키면 전체의 자기저항이 적어지기 때문에 가동부 단면적을 줄여서 동작시간을 줄였다. 그리고 요크 부분에 대해 중점적인 형상 설계가 이루어 졌다는 것을 표 1.을 보아 알 수 있다. 또한 표 2.의 각 모델들은 동일한 입력 전원, 전류 값 및 턴수를 주었으며, 철심의 자기 포화에 대해 S40C (JIS G 4051)의 비선형 B-H 특성곡선을 적용하였다. [2, 5]

Table. 1 각 모델의 단면적

	가동부	Up yoke	Dn yoke	coil
실 모델	1168	381.5	360.96	370.05
A모델	-	-	217.12	473.34
B모델	1138	411.5	-	-
C모델	1138	-	309.90	390.74

Table. 2 각 모델의 입력 값

Spec.	1코일형
Voltage	22([V]
Current	8 [A]
Resistance	27.. [Ω]
Turns	120([N]

2.3 해석 결과 및 고찰

차단기에 쓰이는 마그네틱 액추에이터의 각 모델에 대한 동작 특성 결과를 그림3, 4, 5에서 가속도, 위치, 힘의 순서로 나타내었다. 최대 스트로크의 거리는 12mm로 동일하게 하였으며, 형상변화 설계 이외의 외부 요인은 동일하게 하였다.

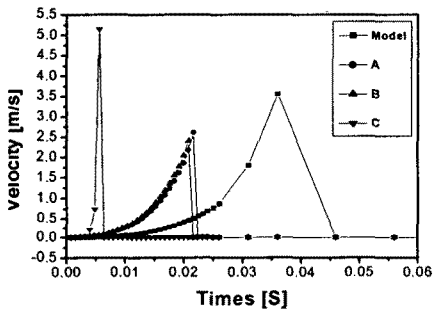


Fig 2. 각 모델의 시간에 따른 속도 곡선

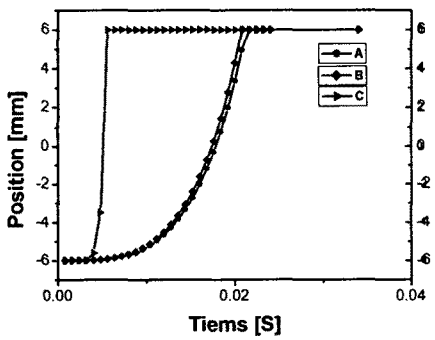


Fig 3. 각 모델의 시간에 따른 위치 곡선

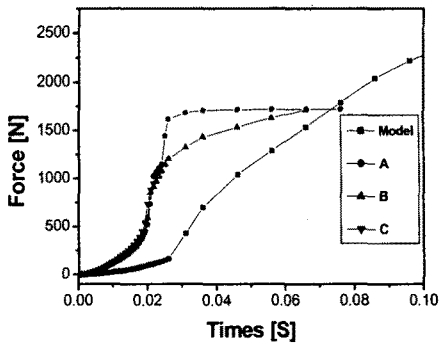


Fig 4. 각 모델의 시간에 따른 힘 곡선

그림 3, 4, 5에서 보아 알 수 있듯이 실제 모델(Model)과 (a), (b), (c) 모델들의 시뮬레이션 결과가 (c)모델의 특성해석이 가장 빠르게 동작하는 것을 알 수가 있다. 또한, 전압 투입시 영구자석에 의한 힘이 1000N이상이 될 때부터 가동자가 움직이기 시작했다. 그리고, (c)모델은 실제 모델(1.6Kg)보다도 가동부의 무게가 100g 정도가 가볍기 때문에 빠른 속도로 동작할 수가 있다. 반면, (c) 모델의 힘은 단면적이 감소하여 1000N이 약간 넘는다는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

차단기에 쓰이는 영구자석형 마그네틱 액추에이터에 대한 각 모델을 설계하여 실제 모델과 특성해석을 비교 분석 하였다. 그 결과, 마그네틱 액추에이터에 대한 FEM 특성 해석 결과가 실제 모델의 값과 일치한다는 것을 알 수가 있으며, 형상이 변함에 따라서 결과가 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 또한, 특성해석의 결과가 신뢰성과 정확성을 가짐에 따라서 앞으로의 설계 기술의 시간과 비용을 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다. 본 결과를 토대로 설계기술을 향상시키기 위해서는 설계 알고리즘에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

[참 고 문 헌]

[1] 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.

[2] 최인호, 고창섭, 정태경, 한송엽 "Finite Element Analysis for Electromagnetic System of Magnet Actuactor," 전기학회논문지, 11월 11호, 1991.

[3] Marielle Piron, Member, IEEE, P. Sangma, Gordon Feid, 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 TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS. VOL.35, NO.5, SEPTEMBER/OCTOBER 1999.

[4] 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.

[5] Dundee Instute of technology, Bell Street, Dundee, DDi, HuGscotland, UK, "Electromechanical transient Chr acteristics of an Induction Actuator by Finite Element Analysis," IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL.29, NO.2, March 1993.