

중저압 PM-type 재폐로(Recloser) 차단기의 FEM을 통한 조작부 구동 메커니즘 연구

박정홍*, 김진기*, 김태진*, 김귀식*, 오연호**, 윤일주***, 한성진***
 진광E&C(주)부설연구소*, 한국전기연구원**, 동아대학교***

Study of operation mechanism using finite element method
 for medium-voltage PM-type recloser circuit breakers

Park Jeong Hong*, Kim Jin Ki*, Kim tae Jin*, Kim Kui Sik*, Oh Yeon Ho**, Youn Il Joo***, Hahn Sung Chin***
 Jin-Kwang E&C Corp., Korea electrotechnology research institute**, Dong-A Uni.***

Abstract - 본 논문은 전력기기 중·저압 재폐로(Recloser) 차단기에 대한 FEM을 이용한 조작부 구동 메커니즘의 동작특성에 대해 연구하였다. 중·저압 차단기는 크게 차단부와 조작부로 분리할 수 있는데 조작부 메커니즘은 동작특성의 영향을 많이 받기 때문에 차단부 동작특성이 좋고 신뢰성 및 반복성이 우수한 영구자석형 마그네틱 액추에이터를 사용하였다. 그리고, 정확한 동작 특성 해석을 위해 물질의 비선형 특성을 고려하였고, 외 부회로와 결합하여 2-D FEM을 통한 전자기 해석을 하였다. 또한, 실험을 통한 최종적인 기계적인 힘과 FEM으로 해석한 액추에이터의 힘을 비교 검증하였다.

재폐로(Recloser)차단기에 들어가는 조작기 구동 메커니즘은 크게 3상 일괄형에 쓰이는 2코일 방식과 각상별의 1코일 방식으로 나눌 수 있는데, 본 논문에서는 17.5kV, 20kA, 630A의 3상 일괄형 2코일 방식을 사용하였다. 아래의 그림 1은 본 논문에서 제안한 2코일 방식의 마그네틱 액추에이터 모델을 나타낸다.

1. 서 론

전력기기 분야에서의 중·저압 재폐로(Recloser) 차단기는 크게 차단 특성을 갖는 차단부와 동작특성을 갖는 조작부 구동 메커니즘으로 나눌 수 있다. 차단 특성을 갖는 차단부는 절연 성능이 우수하고, 환경친화적인 진공 차단기(Vacuum Interrupter)를 많이 사용하고 있으며, 구동부 조작 메커니즘은 재폐로(Recloser) 기능을 가지고 있느냐 있지 않느냐에 따라 동작 특성에 상당한 차이가 있다[1][2]. 먼저 재폐로(Recloser) 기능이 없는 차단기의 동작특성은 O-3sec-CO-3Min-CO로 구성되어 있어서 동작 특성시간에 대한 제어가 용이한 반면, 재폐로(Recloser) 기능이 있는 차단기는 O-CO-CO-CO로 구성된 4 duty 싸이클(cycle)을 3싸이클 즉, 49ms ± 10%(± 10ms) 이내로 구동해야 하기 때문에 제어가 용이 하지 못하며 기존의 전동 스프링 조작방식으로는 동작특성을 만족시키기 어렵다. 본 논문에서는 재폐로(Recloser) 기능이 있는 구동부 조작 메커니즘에 대해 영구자석을 이용한 마그네틱액추에이터(PM-type Magnetic actuator) 조작방식을 사용하였다. 영구자석형 마그네틱 액추에이터 조작방식은 기존의 전동 스프링 조작방식에 비해 부품수가 감소하여 기기의 축소를 가능하게 하였고, 고 신뢰성과 반복성이 뛰어난 유지보수가 거의 없다[3][4].

따라서, 본 논문에서는 2-D 유한요소를 이용한 영구자석형 마그네틱 액추에이터의 과도 해석하여 개략설계를 하였다[5]. 그리고, 정확한 특성해석을 위하여 물질의 비선형 특성을 고려하였으며, 실제 실험을 통한 결과와 해석치를 비교 검증하였으며, 투입시 필요로 하는 기차력 힘을 기계적인 계산 값과 실험 결과 값을 비교 분석하여 이를 해석 결과 값과 비교하였다. 또한 위의 결과를 바탕으로 시제품을 제작하였다.

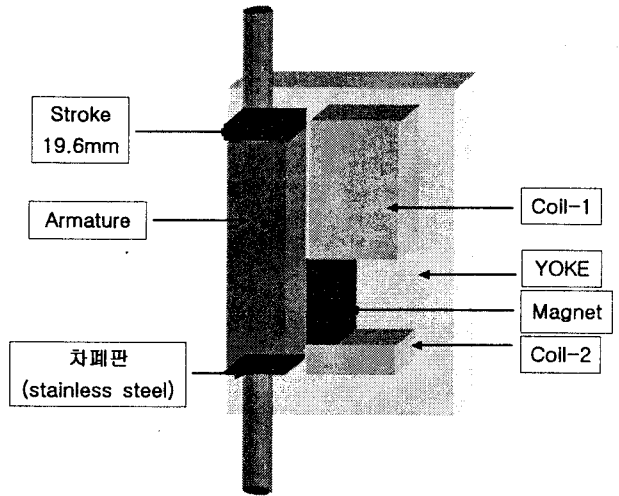


그림 1 PM-type MA 해석 모델

위의 그림 1은 전체 1/2을 나타내고 있는 PM-type 마그네틱 액추에이터(M/A)의 양쪽 코일의 크기가 다르다. Coil-1은 Close 시에 여자전류를 흘려 동작하고, Coil-2는 Open 시에 여자전류를 흘려 아마추어가 움직인다. 이는 Close시 차단기 차단부에 걸리는 접점의 압접력이 기본적으로 220 [kg·f] 힘이 걸리기 때문에, 각상을 합하면 대략 700 [kg·f] 힘이 나옴을 알 수 있다. 그러나 본 논문에서 제안한 PM-type M/A는 차단부와 마그네틱 액추에이터 연결부가 갭 구조로 되어있어 실제로 걸리는 힘을 계산하면 683 [kg·f]가 된다. 이 힘을 이기고 Close-Open의 동작특성을 맞추기 위해서는 기존의 자로 자속밀도를 크게 하여 부피를 증가시키거나 코일여자전류 크기를 다르게 하면 비례적으로 쉬운 제어가 가능하다. 그러나 본 논문에서는 마그네틱 액추에이터의 크기를 작게 가져가면서 큰 힘을 낼 수 있는 구조를 만들기 위해 Coil-2 부분을 작게하였고, Open쪽 아마추어에 차폐판(Stainless steel)을 삽입하는 구조를 설계하였다. 또한, 조작부 구동 메커니즘을 만족시키는 동작특성을 행하기 위해 별도의 스프링 부하를 삽입하였

2. 본 론

2.1 해석 모델의 구조 및 사양

다. 아래의 표 1은 본 논문에서 제안한 모델의 제원을 나타낸다.

표 1 설계 모델의 제원

| 2coil | Close Coil | Open Coil |
|-------------------------|------------|-----------|
| Voltage [V] | 220 | 220 |
| Resistance [Ω] | 0.9 | 1.0 |
| Turns [turns] | 383 | 212 |
| Core weigh[kgf] | 3.3 & 4.1 | 3.3 & 4.1 |
| Spring load [N/m] | 0, 0.13E6 | 0, 0.13E6 |

2.2 해석 결과 및 검토

2.2.1 해석 결과

본 논문은 PM-type M/A의 자계해석을 하기위해 유한요소법을 이용한 수치해석 상용프로그램을 사용하였다. 해석시 Close와 Open Coil 부분의 여자전류를 각각 해석하였으며, 스위치를 삼입하여 1duty에 대한 해석만 행하였다. 아래의 그림 2는 코일 입력시간을 나타내고 있다.

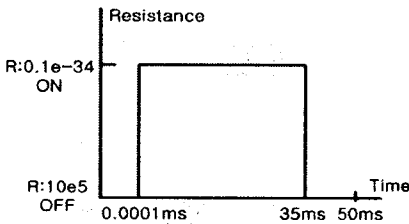


그림 2 PM-type M/A의 해석시 코일 입력시간

아래의 그림 3, 그림 4는 Close-Open시의 자속 밀도 분포를 나타내고 있다.

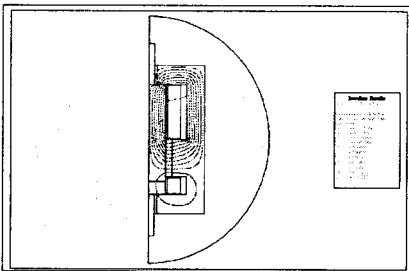


그림 3 Close시 자속밀도 분포

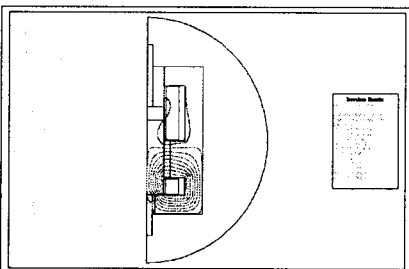


그림 4 Open시 자속밀도 분포

그림 5부터 그림 7는 각각의 해석 결과를 그래프로 나타내고 있다. 그림 5에서는 총 기자력을 나타내고 있으며, 최대 35ms의 전류를 투입했을 경우 76E3의 기자력이 투입된다. 그림 6은 주어진 입력전류에 대한 아마추어의 변위를 나타낸 것이며, 잠복기를 거친 후 아마추어의 이동이 완료되기 까지 24[ms] 시간이 소요되는 것을 알 수 있다. 재폐로(Recloser) 차단기는 실제 동작 시간이 30[ms]이내에 이동이 완료되어야 3cycle 내로 동작특성을 맞출 수 있다. 그림 7은 아마추어에 걸리는 최대 힘을 나타낸 것이며 최대의 힘은 2689[N]을 나타내는 것을 알 수 있으며, 아마추어가 이동하기 시작하는 부분부터 인덕턴스가 감소하여 전류가 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 그에 따른 변위가 '0'됨에 따라 코어의 자기력 또한 증가하지 않는 것을 알 수가 있다.

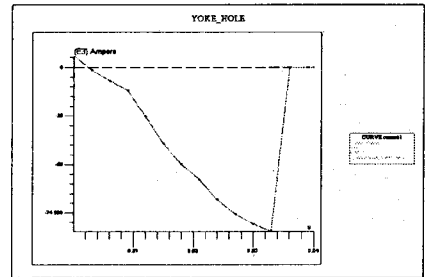


그림 5 시간에 대한 코일 전류

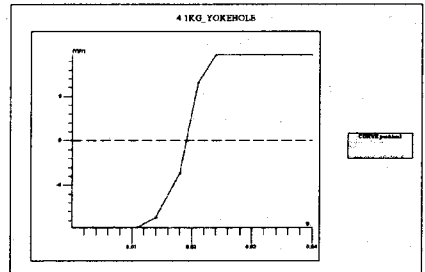


그림 6 시간에 대한 아마추어 변위

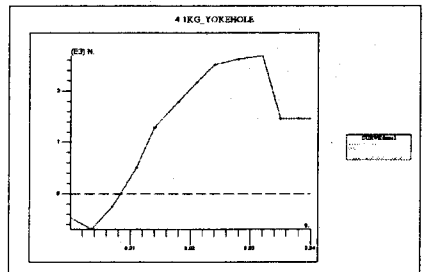


그림 7 시간에 대한 아마추어의 힘

2.2. 실험 결과

본 논문의 실험에 적용된 전원전압은 아래에 그림 8에 나타나 있듯이 24Vdc로 220Vdc콘덴서에 충전하여 IGBT switching 소자를 거쳐 Close-Open 여자전류를 투입하였고, 전체 실험에 대한 제어 판넬을 자체 제작하여 개별시간과 전체시간에 대한 여자전류를 주어 실험 하였다.

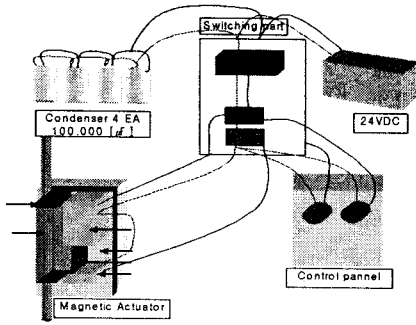


그림 8 전체 실험 시스템구성도

아래의 그림에서 알 수 있듯이 28[ms] 여자시간 내에 투입 여자전류는 138[A]가 흘렀으며, 해석 결과에서는 145[A] 흐르는 것을 알 수 있다. 이는 실험치와 1.05%의 오차가 발생하며, 오차율의 차이는 해석상에서 고려되지 않은 마찰계수라든지 자계의 손실에 의한 부분이라고 추측된다.

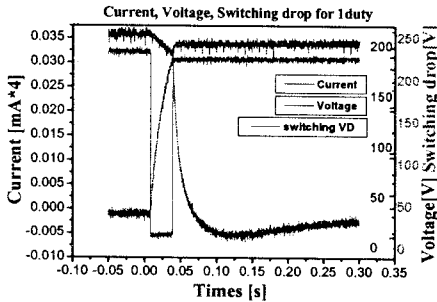


그림 9 실제 투입된 전류와 전압 drop

아래의 그림 9부터 그림 12까지는 Multi-Amp를 이용한 실제 고장전류를 흘려서 실험한 파형으로써, 파형 1은 고장전류를 나타낸다. 그리고, 파형 2와 파형 3은 각각 Close와 Open에 대한 IGBT 신호를 나타내고 있으며, 파형 4는 접점의 투입과 개방을 나타낸다.

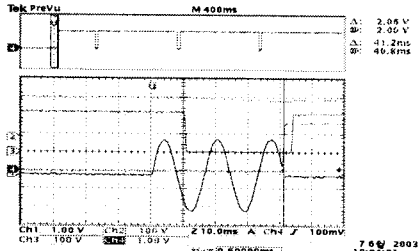


그림 10 전체 4duty중 1duty의 파형

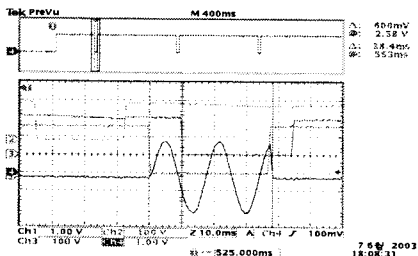


그림 11 전체 4duty중 2duty의 파형

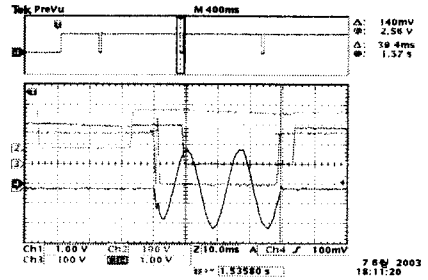


그림 12 전체 4duty중 3duty의 파형

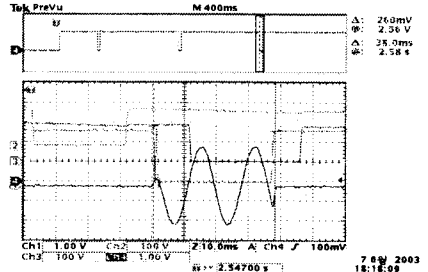


그림 13 전체 4duty중 4duty의 파형

위의 실험 결과를 통해 알 수 있듯이 전체 1duty에서 4duty 까지의 사이클이 40ms이내에 동작하는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문은 중·저압 재폐로(Recloser) 차단기에서의 PM-type 마그네틱 액추에이터의 조작부 메커니즘에 대한 연구를 하였다. 이는 기존의 전동 조작방식을 대체할 수 있으며, 해석에 의한 설계와 실험에 의한 오차율이 거의 일치하는 것을 확인하였다. 향후 본 논문에서는 보다 컴팩트한 모델 설계에 따른 제어부 콘텐서의 용량을 줄이는 연구가 필요하며, 또한, 물질의 비선형 재질 특성을 다루어 입력전압을 줄이는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Shannon Soupiset, Development Manager, "The Magnetically Actuated Circuit Breaker Reality" AB B Power T&D Company Inc. March 27, 1999.
- [2] Lin Xin, Gao Huijun, Cai Shiyuan, "Magnetic Field Calculation and Dynamic Behavior Analysis of the Permanent Magnetic Actuator", IEEE 19th Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, pp532-535, 2000
- [3] Marielle Piron, Member, IEEE, P. Sangma, Gordon Feid, T.J.C. Miller, Fellow, IEEE Dan M. Ionel, Member, IEEE, and Jeff 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] 최인호, 고창섭, 정태경, 한송엽 "Finite Element Analysis for Electromagnetic System of Magnet Actuator," 전기학회논문지, 11월 11호, 1991.
- [5] 中田高義/李藤昭吉/河頼順洋 "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.