

진공차단기 구동 메카니즘 연구

김창욱, 김진수, 장영규, 이상훈, 최명준
현대중공업

A Study on Vacuum Circuit Breaker Driving Mechanism

Kim Chang-wook, Kim Jin-soo, Jang Yeong-gyu, Lee Sang-hun, Choi Myung-jun
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

Abstract - In these days the Vacuum Circuit Breaker(VCB) is used in most medium voltage level because VCB has merits of simple structure, long life, free maintenance and environment friendly characteristics. Most of VCBs adopt mechanical spring drive mechanism to operate vacuum interrupter, but this mechanism is composed of many components and needs frequent maintenance works.

In this paper, we study about the VCB drive mechanism with Permanent Magnet Actuator (PMA). Design methods and design flows about PMA are presented. The magnetic equivalent circuit is used for elementary and detailed design to determine the size of PMA. Finite Element Method(FEM) analysis is performed to evaluate the behavior characteristics of PMA in both static and transient state. Finally we manufacture sample PMA and verify FEM analysis through experiments.

1. 서 론

진공상태의 우수한 절연특성을 이용한 진공차단기는 중저압 전력계통의 차단기 분야에서 주로 사용되고 있다. 진공차단기는 경량, 단순구조, 긴 수명, 폭발에 대한 위험성이 없으며 특히 대기오염에 영향을 미치지 않는다는 장점이 있다. 진공차단기에 대한 연구는 크게 진공인터럽터 개발과 진공인터럽터 구동부의 개발분야로 분류된다. 진공인터럽터에 대한 연구는 주로 전극의 부식 감소 및 차단능력향상, 수명연장 등을 위하여 이루어지고 있으며, 구동부에 대한 연구는 차단기의 동작특성 향상 및 신뢰도 향상을 위하여 연구되고 있다.

본 논문에서는 진공차단기(VCB)의 진공인터럽터 구동 메카니즘으로 이용하기 위한 영구자석 액츄에이터(PMA)에 관하여 연구하였다. 현재 진공차단기에서 인터럽터 구동을 위하여 주로 이용하고 있는 방식은 기계적 스프링 구동방식이다. 그러나 기계적 스프링 구동방식의 경우 많은 부속품과 잦은 유지보수 작업이 요구되는 단점이 있다. 반면에 영구자석 액츄에이터는 기계적 스프링구동방식에 비하여 상대적으로 적은 수량의 부속품을 이용하므로 부품 고장으로 인한 고장 발생빈도가 적으며, 높은 신뢰성 또한 가지고 있어 유지보수작업이 거의 필요치 않은 장점이 있다[1].

본 논문에서는 영구자석 액츄에이터의 체계적인 설계 방법을 연구하기 위하여 자기동가회로법과 전자장 수치해석을 이용하였다[3]. 영구자석 액츄에이터의 크기는 개략설계과정에서 진공차단기의 투입유지력을 고려하여 자기동가회로법으로 계산하여 결정하였다. 전자장 수치해석은 정적해석과 동적해석을 수행하였으며, 상세 설계된 영구자석 액츄에이터의 투입유지력 계산시 정적해석을

이용하였으며, 영구자석 액츄에이터의 동작특성을 예측하여 상세설계의 만족여부를 검토하기 위하여 동적해석을 수행하였다[2]. 수치해석 결과를 근거로 시제품을 제작하였으며, 진공차단기의 투입·트립 등의 진공차단기 구동부 동작특성 시험을 수행한 결과와 수치해석 결과와의 일치함을 알 수 있었다.

2. 영구자석 액츄에이터 설계

영구자석 액츄에이터 설계시 가장 먼저 고려하여야 하는 부분은 진공차단기 차단부의 투입상태를 유지시켜주기 위하여 구동부에 요구되는 투입유지력이다. 투입유지력이 선정되면 영구자석 액츄에이터의 개략설계를 수행하며, 개략설계에서는 주로 자기동가회로법을 이용하여 영구자석의 체적 및 단면적, 액츄에이터를 구성하는 자성체의 자로단면적과 크기 등을 결정하게 된다. 개략설계가 수행된 후 상세설계를 수행하게 되며, 상세설계는 주로 개략설계에 의해 얻어진 영구자석 액츄에이터 모델에 대하여 전자장 수치해석을 수행하여 투입유지력 및 동작특성의 만족여부 등을 검토하며, 수치해석 결과가 설계사양을 만족하면 시제품을 제작하여 영구자석 액츄에이터의 동작성능시험을 수행한다.

영구자석 액츄에이터의 설계과정을 요약하면 아래 그림 1과 같이 표현된다.

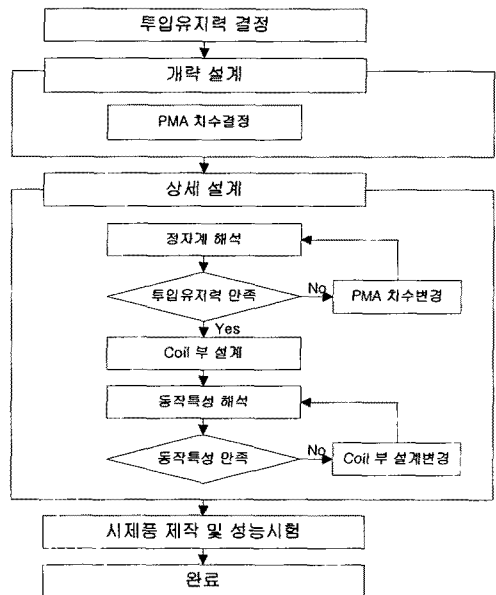


그림 1 영구자석 액츄에이터 설계 순서도

그림 1의 상세 설계 중 코일부의 설계는 영구자석 액츄에이터의 동작특성을 결정하는 중요한 부분이며, 주로 코일의 턴수, 인가전압의 크기 등을 결정한다. 코일의 턴수, 인가전압의 크기 등을 결정할 때는 투입동작시 코일에 인가되는 투입전류의 크기 및 동작완료시간이 설계사양을 만족하도록 결정하여야 한다.

그림 2은 7.2[kV] 25[kA] 진공차단기의 구동부 적용을 위하여 당사에서 개발하고 있는 영구자석 액츄에이터의 형상이다. 진공차단기의 차단 방식은 1개의 영구자석 액츄에이터를 이용하여 3개의 진공 인터럽터를 동시에 차단하는 3상 일괄구동방식을 채택하였으며, 영구자석 액츄에이터의 투입유지력은 접점간의 접촉 전자반발력을 충분히 견디도록 5000[N]으로 결정하였다. 영구자석 액츄에이터 가동자(Mover)의 이동거리는 차단기의 샤프트 변환비를 고려하여 20[mm]로 결정하였다. 차단기의 투입과 트립동작은 영구자석 액츄에이터의 상·하부에 위치한 코일에 의하여 이루어지며, 투입동작에 이용되는 하부 코일의 인가전압은 DC 80[V]이다. 또한 가동자의 좌·우에는 진공차단기 진공 인터럽터의 투입 및 트립상태의 지속적인 유지 또는 투입 및 트립 동작시 코일전류에 의해 발생한 자계에 대하여 영구자석의 자성을 잃지 않도록 하기 위하여 보자력이 큰 희토류계의 NdFeB 영구자석을 배치하였다.

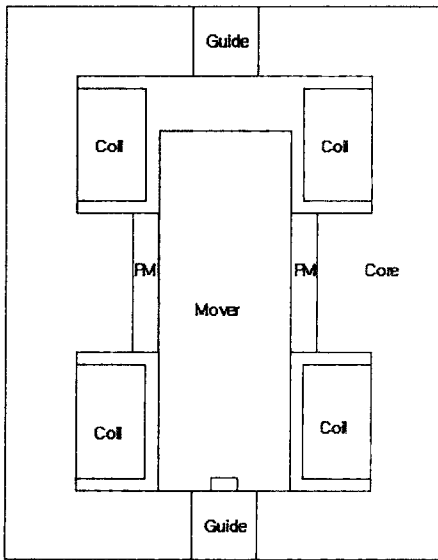


그림 2 PMA 수치해석 모델

3. 수치해석 및 동작특성 시험

본 논문에서는 그림 3의 영구자석 액츄에이터 모델을 대상으로 전자장 수치해석을 수행하기 위하여 상용패키지를 이용하였다. 영구자석 액츄에이터의 자기해석 수행시 보다 정확한 해석작업을 위하여 재료의 자기적인 특성을 측정하여 비선형 해석을 수행하였으며, 수치해석은 해석대상이 좌·우 대칭이므로 계산시간 단축을 위하여 그림 3과 같이 1/2 영역에 대해서만 수행하였다.

그림 3은 영구자석 액츄에이터의 투입유지력을 계산하기 위하여 차단기가 투입된 상태를 해석한 결과이며, 영구자석에 의하여 발생된 자계의 대부분이 공극이 작은 하단부에 집중됨을 알 수 있다. 그림 3의 해석모델에서 수치해석을 이용하여 계산된 투입유지력은

5,250[N]으로 개략설계시 선정된 5,000[N]을 만족함을 알 수 있었다. 수치해석결과를 근거로 그림 4과 같은 시제품 모델을 제작하여 투입유지력 측정시험을 수행한 결과 대략 5,150[N]이 측정되어 개략설계에서 결정한 투입유지력 5,000[N]과 수치해석에 의한 투입유지력 5,250[N]과 거의 일치한다는 것을 알 수 있다.

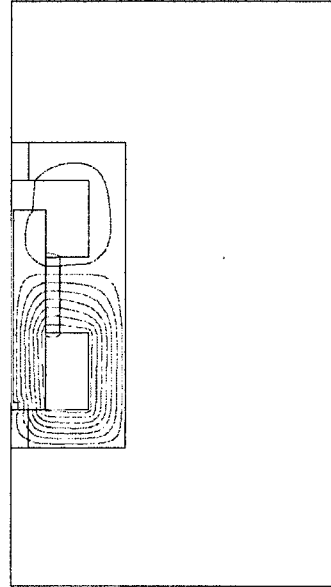


그림 3 영구자석 액츄에이터의 자속 분포

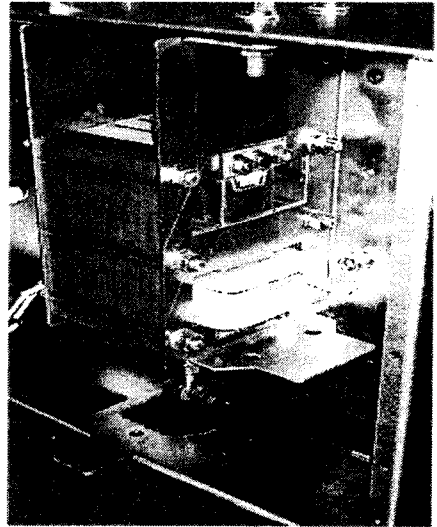


그림 4 영구자석 액츄에이터 시제품 모델

차단기의 투입동작시 영구자석 액츄에이터의 동작특성을 예측하기 위하여 그림 3의 영구자석 액츄에이터 수치해석 모델에 대하여 전압원을 이용한 과도상태 수치해석을 수행하였으며, 수치해석모델의 코일부에 인가된 전압은 실제 시제품 모델과 동일한 DC 80[V]를 인가하였다. 영구자석 액츄에이터의 동작특성 해석 수행시 액

축에이터의 마찰 및 스프링계수는 동작특성과 관련하여 그 영향력이 매우 작으므로 해석과정에서 고려하지 않았다. 영구자석 액추에이터의 동작특성 해석방법의 타당성을 검증하기 위하여 시제품 모델에 대하여 투입동작시험을 수행하여 코일에 흐르는 투입전류를 측정하였다. 그림 5은 영구자석 액추에이터 시제품 모델에 대하여 투입동작시험을 수행하여 코일에 흐르는 투입전류를 측정 한 그래프이며, 그림 6은 그림 3의 수치해석모델에 대하여 전압원 과도상태 수치해석을 수행하였을 때 코일에 흐르는 투입전류의 시간에 따른 변화를 나타낸 그래프이다. 그림 5과 그림 6을 비교해 보면 코일에 흐르는 전류의 최대치는 대략 44[A]로서 거의 일치하며, 투입동작의 완료시점도 42(ms)로 거의 일치한다는 것을 알 수 있다.

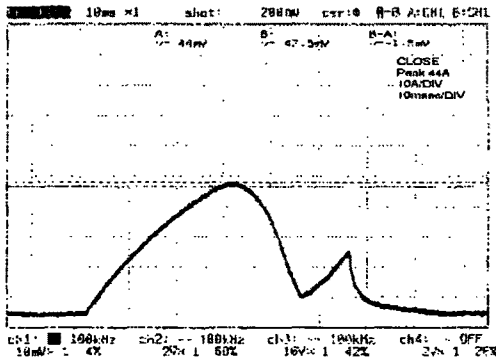


그림 5 측정된 코일의 투입 전류

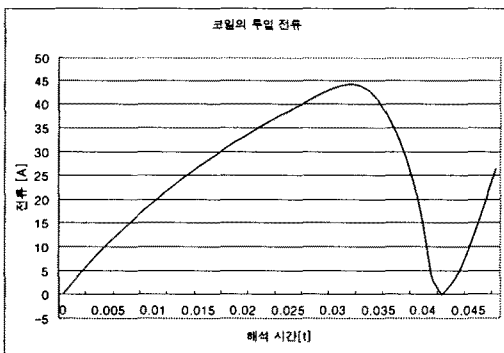


그림 6 수치해석을 이용한 코일의 투입 전류

그림 7과 그림 8은 수치해석을 이용하여 영구자석 액추에이터 가동자의 시간에 따른 이동거리 및 이동속도를 나타낸 그래프이다. 시제품 모델의 투입동작 시험 수행 시 시간에 따른 가동자의 이동거리 및 이동속도의 측정은 수행하지 못 하였으나 위 그림 5의 시험 결과와 그림 6의 수치해석 결과가 거의 일치하므로, 아마도 실제 가동자의 시간에 따른 이동거리 및 이동속도 또한 그림 7, 그림 8과 유사한 결과를 얻을 것이라 예상된다. 먼저 그림 7과 그림 8을 검토해 보면 투입동작을 위하여 코일에 전압이 인가된 후 대략 30(ms)부터 가동자의 이동이 시작되며, 진공차단기의 진공 인터럽터 이동속도 및 진공차단기의 차단 성능을 결정하는 중요한 변수 중 하나인 가동자의 평균이동속도는 이동시점부터 완료시점 까지 대략 1660(mm/s) 계산되었다.

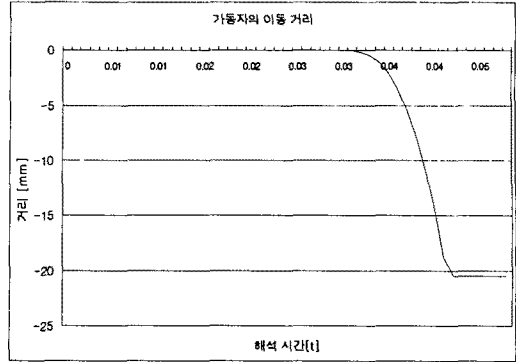


그림 7 수치해석을 이용한 가동자의 이동 거리

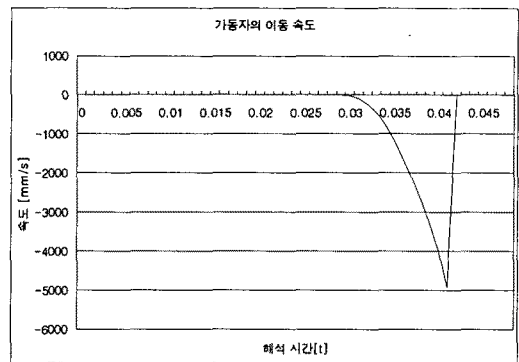


그림 8 수치해석을 이용한 가동자의 이동 속도

4. 결 론

본 논문에서는 진공차단기의 진공인터럽터 구동시 기존의 기계적 스프링 구동 방식 대신에 영구자석 액추에이터를 이용하기 위하여 영구자석 액추에이터의 설계방법에 관하여 연구하였다. 자기등가회로법을 이용하여 영구자석 액추에이터의 개략설계 및 기초설계를 수행하였으며, 전장장 수치해석을 이용하여 투입유지력 계산 및 영구자석 액추에이터의 동작특성을 해석하여 상세설계를 수행하였다. 전장장 수치해석 결과를 근거로 하여 시제품 제작 및 투입·트립 등의 진공차단기 구동부 동작특성 시험을 수행하였으며, 수치해석결과와 시험결과가 거의 일치하였다. 향후에는 본 논문에서 연구한 설계 및 해석 기술들을 이용하여 영구자석 액추에이터의 소형·경량화 및 고압차단기 적용을 위한 영구자석 액추에이터의 연구개발을 수행할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] Edgar Dullni, "A Vacuum Circuit Breaker with Permanent Magnetic Actuator for Frequent Operations," IEEE 18th Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, pp688-691, 1998
- [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] Z. Li, L. A. Renforth et al., "Computer Aided Optimal Design of Magnetic Actuator for Autorecloser Application," IEE Trends in Distribution Switchgear, Conference Publication No.459, pp80-85, 1998