

고전압 가스차단기용 EMFA 3차원 동작 특성 해석

최상민, 강종호, 정현교
서울대학교 전기컴퓨터공학부

3D Analysis of Electro Magnetic Force driving Actuator(EMFA) for High Voltage Gas Circuit Breaker

Sang-Min Choi, Jong-Ho Kang, Rae-Eun Kim, Hyun-Kyo Jung

The School of Electrical Engineering and Computer Science Engineering, Seoul National University

Abstract - 고전압 가스 차단기에서는 긴 스트로크 동안 가스반발력을 극복하고 빠르게 차단할 수 있는 액추에이터가 필요하다. 기존에는 공압식, 유압식, 스프링 액추에이터와 같은 기계적인 장치가 사용되었다. 그러나 기존 액추에이터에서는 소음, 에너지 손실, 고가격의 단점이 있어, 근래에 들어 PMA, 모터와 같은 전기적 장치도 사용되고 있다. 전기 액추에이터는 간단한 구조로 되어 있어 기계적 손실을 줄일 수 있고 소음이 적은 장점이 있다. 전자식 조작기의 연구 필요성에 따라 새로운 형태의 전자식 조작기 Electro Magnetic Force driving Actuator(EMFA)가 개발되어 고전압 가스 차단기에 적합하다고 분석되었다. EMFA의 동특성을 얻기 위한 과정상태 해석에서는 2차원 유한요소법을 이용하여 얻은 전자기적 해석을 희로, 운동방정식과 연계하여 시간차분법을 사용하여 해석하였다. 하지만 2차원과 3차원의 전자기 해석은 차이를 보인다는 것을 확인하였고 정확한 전자기 해석을 위해 3차원 동특성 해석을 수행하여 실험 결과와 비교하였다.

1. 서 론

고전압 가스 차단기에서 공압식, 유압식, 스프링 액추에이터와 같은 기계적인 장치가 사용되었고 PMA, 모터와 같은 전자식 액추에이터를 사용하려는 연구가 계속되고 있다.[1][2] 전자식 조작기는 기계적 조작기보다 소음, 손실이 적다는 장점이 있지만 가스반발력을 극복하고 긴 스트로크를 짧은 시간동안 차단하는 큰 힘과 속도를 얻기 어렵기 때문에 비교적 낮은 전압 차단기에서 사용되었다.[3] 전자식 조작기 연구 필요성에 따라 Electro Magnetic Force driving actuator(EMFA)가 개발, 제작되어 고전압 가스차단기에 적합하다는 결과를 얻었다. EMFA는 자석 사이에 형성된 자계에 코일을 놓고 전류를 인가하여 로렌츠힘으로 개폐동작을 하는 원리이다. EMFA의 특성을 해석하기 위해서는 전류 인가시부터 스트로크의 행정을 마무리하는 순간까지 과정상태 해석을 통하여 EMFA의 특성을 분석하였다. 유한요소법(FEM)을 이용하여 코일 전류에 의해 여자된 자계를 해석하고 전기회로와 운동 방정식의 커플링 문제를 해결함으로써 입력전압과 전류변화에 따른 액추에이터의 힘, 변위 및 속도 등을 구할 수 있다.

하지만, 기존의 2차원 자계해석은 한 단면의 자계를 구하여 깊이방향으로도 동일하게 분포한다는 가정하에 깊이를 곱하는 방법으로 계산하였다. 하지만, 자석과 전류에 의한 자계는 3차원상에서 깊이 방향의 변화를 무시할 수 없다. 3차원 해석에서 자석에 의해 형성된 자계분포를 2차원의 자계분포 결과와 비교하여 이 사실을 확인하였다. 본 논문에서는 3차원 자계 해석으로 EMFA의 과정상태를 해석하였고 이를 2차원 해석, 제작된 EMFA의 실험 자료와 비교하였다.

2. 본 론

2.1 구조 및 동작

그림 1은 제작된 EMFA 모델이다. 그림 2는 EMFA의 구조이다. EMFA는 매우 간단한 구조이다. moving coil, inserted moving iron core, static core, permanent magnets, transmission rod와 같은 5개 부분으로 구성되어 있다. 단일 이동자가 개폐동작 모두를 동작한다. 전자력을 증가시키기 위해 코일 상하 부분에 철심을 두어 이동자를 만들었다. 이것은 외부 전류 인기가 없는 개폐상태에서 이동자를 자계의 힘으로 붙여 있게 한다. 코일을 포함한 이동자가 상하의 양끝으로 이동하여 개폐동작을 수행하고 이때 전류를 공급하기 위한 회로 단속기도 함께 이동한다. 직류 전원 공급원은 커패시터를 사용하고 코일에 여자전류를 공급한다. 코일에 전류가 인가되면 자계 안에서 로렌츠 힘에 의해 움직이게 되고 이때 흐르는 전류양은 코일의 인덕턴스에 의해 영향 받는다. 전류와 코일의 인덕턴스를 적절히 제어하여 이동자의 힘과 속도를 조절할 수 있다.[4]

GIS시스템에서 EMFA 전자식 조작기는 인터럽터와 직접 연결되어 있다. EMFA는 추가적인 latch 시스템이 필요없고 영구자석에 의한 자기력으로 끝단에 붙어 있다. 동작의 마지막 구간에서 이동자 속도를 줄이기 위해서는 eddy current 완충장치나 스프링을 사용한다.

EMFA는 전자력에 의해 전달축이 움직이게 되고 접점을 열고 닫히게 한다. EMFA의 이동자는 양끝단에 붙으면서 점점 개폐동작을 수행한다. 트립 신호가 들어오면 충분한 에너지로 충전된 커패시터에서 전류가 여자되고 이동자는 움직이게 된다. 전류를 조절함으로써 속도, 힘을 제어할 수 있으므로 가스반발력과 외부 요인에 적절히 대응하여 동작을 수행할 수 있다. 가스차단기에서는 전 스트로크 구간에서 부분마다 다양한 속도를 요구하기 때문에 속도를 제어할 수 있다는 것은 EMFA의 장점이다.

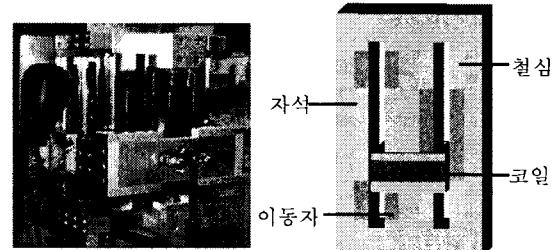


그림 1. EMFA 제품

그림 2. EMFA 구조

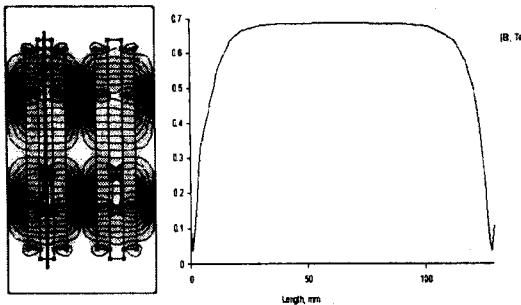


그림 3. EMFA상의 구분선과 구분선에 따른 자계 분포

2.2 시뮬레이션 및 실험 결과

그림 3은 2차원 자계해석에서 EMFA의 자계 분포를 보여준다. 모델링된 조작기의 한 단면에서 자계가 유한요소법에 의해 계산된다. 자석의 양끝으로 갈수록 자속밀도가 감소함을 알 수 있다. 2차원 자계 해석에서는 이와 같은 자계분포가 깊이방향에 대해 공통으로 적용되는 방법을 따른다. 그러나 자계 분포는 깊이 방향에 대해 동일하지 않다. 3차원상에서 두 자석판 사이의 중간 부분의 자속밀도는 자석판 끝부분의 자속밀도보다 작다.

그림 4는 3차원 자계해석을 통하여 얻은 EMFA 자속밀도 분포이다. 이것은 두 자석판 사이를 단면으로 잘라올때의 깊이 방향 자속밀도 분포를 보여준다. 깊이에 따라 자속밀도는 달라짐을 알 수 있다. 2차원 자계해석은 이와같은 깊이 방향 자속밀도 변화를 고려하지 않고 모든 깊이에 대해 동일하게 적용하였기 때문에 실제 자계 보다 큰 자속밀도를 비탕으로 해석하게 된다. 3차원 해석을 통하여 실제 자계와 비슷한 환경에서 EMFA를 해석할 수 있고 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다.

그림 5는 2차원 시뮬레이션, 3차원 시뮬레이션, 실험결과를 통해 얻은 변위 변화를 나타낸다. EMFA 스트로크는 100mm이고 동작을 완료하는데 46msec(2차원 해석), 56msec(3차원 해석), 58msec(실험결과) 소요되었다. 100mm 도착시간은 2차원 해석결과가 다른 결과에 비해 빠르다. 그래프를 보면 알 수 있듯이, 3차원 해석 결과는 실제 실험 결과와 일치한다. 2차원 해석은 깊이방향 자속밀도가 동일하다고 가정하고 해석했기 때문에 실제 자계 분포보다 큰 자속밀도에서 해석하였고 결과적으로 다른 결과에 비해 큰 속도를 얻었다.

그림 6은 2차원 시뮬레이션, 3차원 시뮬레이션, 실험결과를 통해 얻은 전류 변화를 나타낸다. 전류는 커패시터 용량과 코일의 인덕턴스에 의해 변화한다. 최고 전류값은 안정성, 코일 두께, 드라이브 회로의 사양, 차단기 효율에 영향을 미치는 요소이다. 3차원 시뮬레이션 결과 전류 최고값은 247A, 2차원 시뮬레이션 결과 전류 최고값은 234A이다. 2차원 해석시 자계가 상대적으로 크기 때문에 3차원 해석에 비하여 전류 최고값이 작게 되었다. 하지만, 실제 실험 결과는 3차원 해석 결과와 유사함

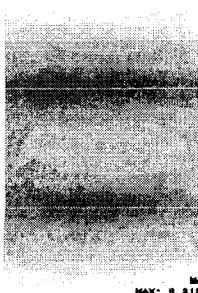
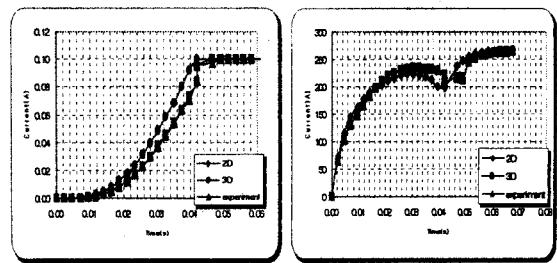


그림 4. 두 자석 사이를 단면으로 한 자속밀도 분포



(a) 시간에 따른 변위
(b) 시간에 따른 전류
그림 5. 변위, 전류변화 비교(2,3차원 해석 및 실험결과)

을 알 수 있다. 깊이 방향의 자속밀도 감소를 고려하지 못했기 때문에 2차원 해석결과는 더 작은 전류로 동작을 수행할 수 있었지만, 이는 오차 원인이 되었다. 전반적으로 3차원 해석결과가 실제 실험 결과가 일치함을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 고전압 가스 차단기에서 EMFA는 좋은 동작 특성을 보이며 필요조건을 만족하는 적합한 조작 시스템임을 확인하였다. EMFA는 전자식 조작기의 발전을 의미하며 저렴한 가격의 조작기를 차단기에 사용할 수 있음을 보여준다. 전자식 조작기를 통하여 기존의 기계적 메커니즘보다 작고 효율적인 시스템이 가능해졌고 전류를 조절함으로써 보다 정확한 제어가 가능해졌다. 그리고 전력IT를 위한 전력시스템 연구에도 도움이 될 것으로 예상된다.

유한요소법(FEM)과 시간차분법(TDM)을 이용하여 3차원 전자계 해석을 통한 EMFA의 동특성을 해석하였다. 2차원과 3차원 자계 분포를 비교하였을 때, 3차원 자계 해석은 깊이 방향의 자속밀도 변화를 반영하여 실제 자속밀도와 동일한 자계에서 EMFA의 동특성을 해석할 수 있었다. 그리고 3차원 해석을 통하여 2차원 해석보다 정확한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 3차원 해석의 경우 유한요소법을 적용하는 요소가 많아서 2차원 해석보다 시뮬레이션 시간이 더 소요되는 단점이 있지만, 정확한 설계를 위해서는 3차원 해석을 병행하여 EMFA를 설계해야 한다.

【참 고 문 헌】

- [1] Jong-Ho Kang and Hyun-Kyo Jung, "Development and Characteristic Analysis of New type Actuator, Electro Magnetic driven Force Actuator applicable to High Voltage Circuit Breaker," *The Fifth International Symposium on Linear Drives for Industry Applications*, pp.383~386, September 2005.
- [2] Jong-Ho Kang and Hyun-Kyo Jung, "Dynamic Behavior Analysis of Permanent Magnetic Actuator in Vacuum Circuit Breaker," *The Seventh International Conference on Electrical Machines and Systems*, pp.256~259, 2004.
- [3] B.A.R. McKean and Reuber, "Magnets & Vacuum-The Perfect Match," *Trends in Distribution Switchgear*, no. 459, November 1998.
- [4] Edgar Dullni, "A Vacuum Circuit-breaker with Permanent Magnetic Actuator for Frequent Operations", *IEEE 18th International Symposium on Discharges and Electric all Insulation in Vacuum-Eindhoven*, pp.688~691, 1998.