

배선용차단기의 구동자계 증가를 위한 자성체 구조물의 와전류 해석

이세연, 백명기, 이보람, 김영선, 박일한
성균관대학교

Eddy Current Analysis of Magnetic Plate to Increase Magnetic Force in MCCB

Se-Yeon Lee, Myung-Ki Baek, Bo-Ram Lee, Young-Sun Kim, Il-Han Park
Sungkyunkwan University

Abstract - To design the Molded Case Circuit Breaker(MCCB) requires electromagnetic analysis in contact system when the circuit breakers interrupt fault currents. This paper has made sure that there are two ways increasing arc driving force, one is a change of contact point and the other way inserts additionally the magnetic plate. Finally, we have carried out the analysis of eddy current to identify a decrease of arc driving force because of fault currents. In this paper, MCCB models have been analyzed base on 3D-FEM by Maxwell program.

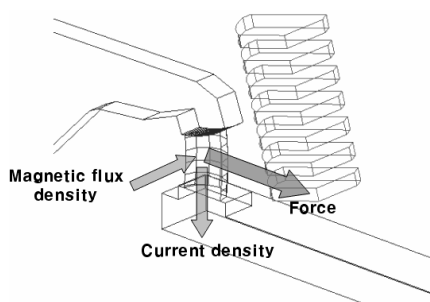
1. 서 론

배전 시스템에서 사용되는 전력기기 중 MCCB(Molded Case Circuit Breakers)는 전로를 과전류사고나 단락사고로부터 보호하기 위해 사용되는 기기로 개폐기구와 트립 장치 등을 절연물의 용기 내에 일체로 조립한 장치이다. 통상 사용 시 전로를 수동으로 혹은 절연물 용기 외부의 전기 조작 장치 등에 의하여 개폐할 수 있고, 과부하 및 단락 등의 경우 자동적으로 전로를 차단하는 기구로 정의되어 있다. MCCB는 기능상 개폐기구부와 트립부 그리고 소호부의 세 요소로 구성되어 있다. 이 중 소호부는 단락전류에 의해 접점이 개방될 때에 발생하는 아크를 흡인시켜 소호시키는 부분이다. 본 논문에서는 접점 개방 시 발생하는 아크를 소호부로 이동시키는 힘을 강화시키기 위한 소호부의 전자장 해석을 수행하였다. 아크의 거동을 발생시키는 소호실내 구동자계의 증가를 위한 고정도체부 형태변화와 자성체 구조물의 추가효과를 확인하고 접점 주변에 추가한 자성체 구조물에 발생할 수 있는 와전류에 의한 구동자계의 저하여부를 확인하였다.

2. 본 론

2.1 소호실내 아크의 거동

고장전류인가 시 두 접점은 반발력에 의해서 개방된다. 두 접점 간에 발생하는 아크는 플라즈마 상태이고, 통전 선로인 아크는 소호실내의 구동자계에 의한 로렌츠 힘(Lorentz force)으로 자성체 판들(Iron plate)로 이동하여 소호된다.



<그림 1> 접점개방 시 발생하는 아크가 받는 힘

2.2 유한요소 모델링

2.2.1 해석이론

접점 개방에 따른 소호실내의 구동자계와 아크의 이동을 계산하기 위해 도체부의 3차원 유한요소해석을 진행하였다. 자기벡터 포텐셜 A 를 구하고 해석영역에서의 자속밀도 분포 B 를 다음과 같이 고려하였다.

$$\nabla \times \left[\frac{1}{\mu} (\nabla \times A) \right] = J_0 + J_e, \quad B = \nabla \times A \quad (1)$$

교류 입력전원에 의해 발생하는 자기장이 시간에 대해 정현적인 변화를 가질 때 추가되는 자성체 부분에 발생하는 와전류는 식(3)과 같다,

$$J_e = j\omega\sigma A \quad (2)$$

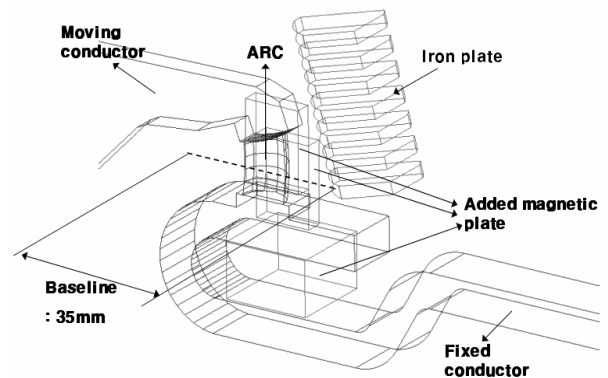
여기서 $\omega = 2\pi f$ 이고 σ 는 도체의 도전율이다. 식(1)에 의해 얻어진 전류밀도와 자속밀도를 이용하여 접점의 사이에 발생하는 아크체적이 받는 힘은 다음과 같이 계산된다.

$$F = \int_v [(J_0 + J_e) \times B] dv \quad (3)$$

여기서 v 는 접점사이에 발생하는 아크기둥의 체적, J 는 입력전류밀도 (A/m^2), J_e 는 유도전류밀도(A/m^2), B 는 자속밀도(Wb/m^2)이다. 자계 해석에서 와전류는 아크슈트 그리고 추가된 자성체 구조물에서만 흐른다고 가정하였다[2].

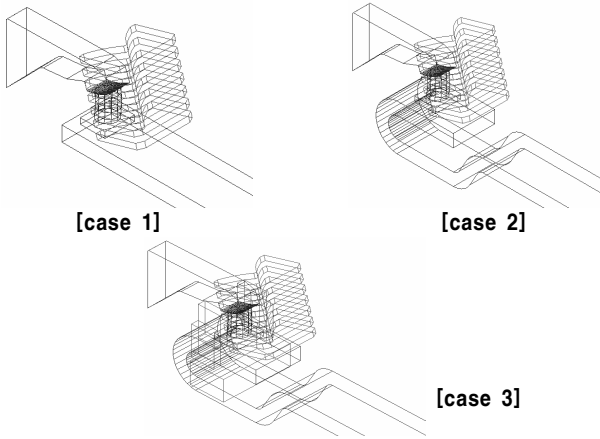
2.2.2 해석모델

아크 모델은 가동도체부가 15° 개방되었을 때와 같은 10mm의 높이와 8mm의 지름을 가지는 원통도체로 가정하였다. 아크원통의 도전율은 구리의 도전율을 이용하였다. 고정도체부는 폭 20mm, 높이 5mm의 구리 도전선이고, 추가 자성체구조물과 아크슈트의 재질은 iron으로 하였다.



<그림 2> 아크를 포함한 소호실 해석모델

소호실내부의 구동자계를 높이기 위한 해석모델은 고정도체부를 U형으로 연장시켜 입력전류에 의한 아크 발생부분의 자속밀도를 높이도록 하였다. 고정도체부 주변에도 자성체 구조를 추가하여 아크가 발생하는 주변부의 자기저항이 감소되도록 하였다. 그림 3에서 Case1은 아크와 선형 고정도체부 및 아크 슈트로 구성하였다. Case2는 고정도체부를 U형대로 연장하였다. Case3은 U형 고정도체부와 주변에 iron구조물을 추가하였다. 접점 개방 시 소호실내의 구동자계와 아크의 구동력을 구하기 위해 1000[A]의 전류를 인가하여 그림3의 세 모델의 전자장 해석을 수행하였다. Iron 구조가 추가된 Case3에 대해서는 60Hz의 교류입력에 대한 와전류해석을 추가로 진행하였다.



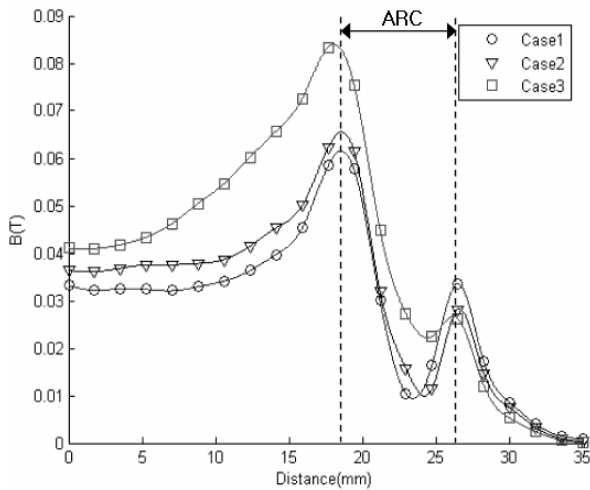
〈그림 3〉 고정도체부의 형상변경과 자성체 구조 추가모델

2.2.3 해석모델의 고찰

고정접점과 가동접촉자 사이에 발생하는 아크의 반경은 일괄적으로 8mm로 고려하였다. 아크의 발생경로는 가동접촉자의 회전반경으로 고려하였다. 이러한 아크의 모델은 실제 아크 현상을 정확히 반영하지 못하고 있다. 아크는 접점이 개방됨과 동시에 이동, 변형되기 때문에 개방 상태에 따른 아크의 위치를 접점사이로 한정된 해석모델은 실제현상을 고려하기에는 적절하지 않다고 할 수 있다. 하지만 아직까지는 아크의 반경이나 경로를 접점의 개방에 따라 정확하게 알아내는 것이 불가능한 문제이므로 이 모델링 방법은 해석의 정확성에 한계를 가지고 있다 하겠다[1],[3].

2.2.4 해석결과

구동자계는 아크 중심을 가로지르는 35mm의 거리동안에 자속밀도로 고려되었고 아크가 받는 힘의 크기는 아크체적에서의 전류밀도와 자속 밀도를 이용하여 계산되었다.

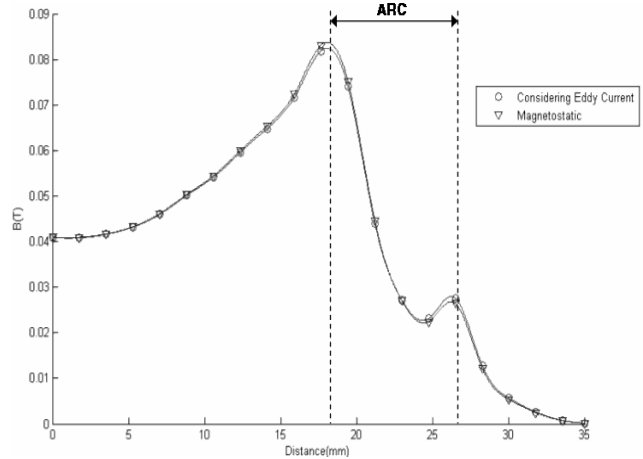


〈그림 4〉 고정도체부 형상변경과 자성체 구조 추가에 따른 구동자계 비교

여기서 아크주의 좌측에 나타나는 자계(자속밀도)의 세기는 아크를 접점에서 아크슈트방향으로 밀어내어 아크를 소호시킬 수 있는 고장 전류를 차단하는 순방향의 구동자계이다. 아크주의 우측에 나타나는 자계의 세기는 고정접점과 가동접점 간에 아크를 유지하려는 역방향의 구동자계이다. 따라서 아크를 중심으로 좌, 우측의 자계세기의 차이가 클수록 두 아크의 구동력은 강해지고 따라서 접점 간에 발생하는 아크를 소호할 수 있는 가능성이 높아진다고 볼 수 있다[4].

〈표 1〉 점접형상변화와 자성체 구조추가에 따른 아크구동력

모델	아크구동력 [N]
Case 1	0.058
Case 2	0.083
Case 3	0.148



〈그림 5〉 와전류를 고려한 자성체 추가 모델의 구동자계 비교

〈표 2〉 와전류 발생에 따른 아크구동력 비교

모델	아크구동력 [N]
Case 3 (와전류 해석)	0.136
Case 3 (정자장 해석)	0.142

3. 결 론

본 논문에서는 MCCB의 고정도체부의 형상 변화와 자성체구조물의 삽입 모델의 장자장 해석과 와전류 해석을 통해 소호실내의 아크 거동을 위한 구동자계의 증가 효과를 확인하였다. 또한 점접 주변에 자성체 구조를 추가하는 경우 발생하는 와전류에 의한 구동자계의 저하를 확인하였다. 해석모델이 가지고 있는 문제점들과 해석결과를 비교할 실제 실험결과가 없기 때문에 본 논문은 소호실내의 자계분포에 영향을 미칠 것으로 예상되는 부분에 대한 수치해석 적 검토결과이다. 해석결과 고정도체부를 U형으로 연장하고, Iron구조를 추가한 경우 좀 더 큰 구동자계를 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 또한 와전류가 고려된 해석결과는 4.3% 정도의 구동력 저하가 있음을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 고려된 와전류 효과는 교류전류에 의한 60Hz의 주파수에 대하여만 고려되었다. 하지만 실제 접점의 개방 시 발생하는 아크는 아크슈트를 향해 빠르게 이동하게 된다. 이와 같은 아크의 거동과 고장전류 인가 시 짧은 시간동안에 발생하는 전압변화는 또 다른 와전류를 발생시키는 원인이 된다. 이처럼 고려되지 않은 부분들의 경우 추후 더 정확하고 실제적인 해석을 위하여 계속 검토해야 할 부분으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] S.Ito, Y.Takato, Y.Kawase, T.Ota, "Numerical analysis of electromagnetic forces in low voltage AC circuit breakers using 3-D finite element method taking into account eddy currents", IEEE Trans. on magnetics, vol.34, no.5, p.2597-2600, 1998
- [2] A. Slama, V. Mazauric, Y. Marechal, G. Meunier, and P. Wendling, "Electric railgun 3D modeling: Computation of eddy current and Lorentz force", IEEE Trans. Magnetics, vol.37, pp.139 - 142, 2001
- [3] 강경록, 유홍희 "전자기력의 영향을 포함한 MCCB 기구부의 동역학적 모델링방법 연구", 대한기계학회논문집, A권, 제25권, 제3호, pp.362-368, 2001
- [4] 최영길, 박찬교 "차단성능 평가해석기법을 적용한 강자계 구동방식의 460[V]/225[A]/50[kA]급 한류형 MCCB 소호부 개발", Journal of KIIEE, vol.18, no.1, pp.78-84, 2004