

배선용 차단기의 전자 반발력에 관한 연구

Analysis of Electromagnetic Repulse Forces of MCCB

김길수*, 임기조**, 강성화***, 조현길*

(Kil-Sou Kim*, Kee-Joe Lim**, Seong-Hwa Kang***, Hyun-Kil Cho*)

Abstract

It is necessary for calculation of repulsion forces acting on the closed electric contacts flowing over-current, e.g. inrush current and overload currents, to do optimum design of switching devices.

In this paper, the forces and flux densities generated by currents at the contact point when circuit breakers are in closed state are obtained by using 3D finite element method. To be convinced of the results, we measure electrodynamic repulsion forces on contacts by measuring voltage between opened contacts in MCCB

Key Words : MCCB, Electromagnetic repulsion forces, Low Voltage Circuit Breakers

1. 서 론

배선용 차단기는 통상 사용 상태의 전로를 수동 또는 절연물 용기 외부의 전기 조작 장치 등에 의하여 개폐할 수 있고, 과전류(부하)사고 및 단락사고가 발생할 경우 자동적으로 전로를 차단하는 보호기기이다.[1,2]

저압배전 계통에서 변압기의 대용량화에 따라 회로 단락 임피던스가 작아져 단락사고 발생 시 고장전류가 종래에 비하여 증대하고 있다. 이에 계통에서는 차단용량이 증대된 배선용 차단기가 요구된다.

한류형 차단기의 차단용량 증대를 위해서는 고장전류를 감지함과 동시에 차단 동작이 이루어져야 한다.

사고전류RK 차단기를 통과하기 전에 전류를 차단함과 동시에 피크 전류를 감쇠하고, 동시에 아크를 신속히 소호실로 구동하여 소멸시켜 차단기 후단의 기기를 보호한다.

따라서 본 논문에서는 한류형 배선용 차단기의 하단에서 단락사고 시 고장 전류를 차단할 때 점 접촉현상을 가지는 고정 접촉자와 가동접촉자 사이의 전자 반발력을 3차원 유한요소법을 이용하여 구하고, 해석 모델과 동일하게 시료를 제작하여 접점간에 발생하는 전자반발력을 실험하였다. 그 결과로부터 3차원 유한요소법 해석에 의한 결과의 타당성을 입증하고 한류형 차단기의 신속한 한류 동작을 위한 전자 반발력 해석 기법을 제안한다.

* : LG산전 설계1팀
(청주시 흥덕구 송정동 1번지,)
FAX : 043) 261-6618
E-mail : kilskim@lgis.com)

** : 충북대학교
*** : 충청대학

2. 본 론

2.1 종래 접점에서 전자반발력

두개의 평행한 왕복도체에 흐르는 전류의 방향이 반대 방향일 때 도체간에는 전자 반발력이 작용하고, 평행한 도체에 같은 방향의 전류가 흐를 때 흡인하는 방향으로 전자력이 작용한다[3].

이 전자력의 원리가 그대로 전기접점에서도 적용된다. 전기접점의 접촉부는 그림1에 나타낸 바와 같이 표면의 미소접촉부의 접촉에 의하여 통전한다. 전류는 전원부의 단자로부터 접촉부를 향해서 집중하여 접촉부를 통과한 후 다시 확산되면서 흐르게 된다. 따라서 접촉부 근방에서 보면 전류는 대단히 작은 간격을 두고 역방향으로 흐르는 것으로 되어 접점사이에는 반발력이 작용하게 된다

개폐기구부 접촉 스프링은 고정접점과 가동접점 사이에 접촉압력을 가하여 접촉저항을 감소시키고, 접점의 통전 시 발생하는 접점의 Joule 열을 억제한다. 사고 전류가 통과하면 접점사이의 전자반발력에 의하여 접점의 접촉상태는 개방되고, 트립소자에 의하여 트립된다. 따라서, 접촉 스프링이 잘못 설계된다면 사고전류보다 작은 시험전류에 가동접점은 Chattering 동작이 일어나고, 주울열과 아크열로 인하여 접점이 융착되는 등 심각한 손상을 입을 수 있다.

전기접점의 전자반발력은 접점을 가지는 모든 대전류기기에서는 중요한 문제이기 때문에 꾸준히 연구되어 왔으며, 그림2와 같은 회전대칭모델의 접촉부 구조에서 전자반발력 F 는 Holm의 식(1)에 의하여 구할 수 있다.

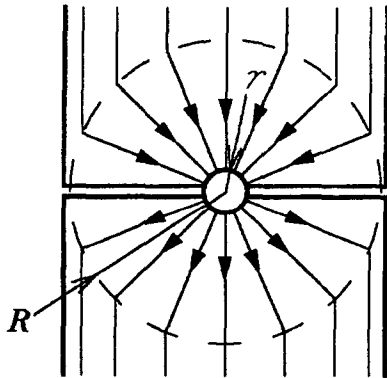


그림 1 Holm의 접촉모델

$$F = \frac{\mu I^2}{4\pi} \ln \frac{R}{r} \quad [N] \quad (1)$$

여기서, I 는 전류, R 접점의 등가 반경, r 접촉부 반경, μ 는 $4\pi \times 10^{-7}$ 이다.

이 모델은 동일한 반경 R 의 2개의 원주형 접촉자가 그 중심에서 접촉되어 전류는 그림의 중앙의 화살표로 표시한 것과 같이 미소반경 r 의 구표면으로부터 방사모양으로 빠져나가고 반경 R 의 구면으로 굴절되어 원주의 바깥 면과 평행하게 흐른다고 가정하였고 미소구접촉부는 무한대의 도전율을 갖는 것으로 가정했다[3].

또한 미소접촉부의 직경 $d(2r)$ 는 접촉압력, 접점재료의 도전율 및 탄성한계에 의존하는데 Holm의 식(2)로 정리된다[4].

$$r = \sqrt{P/\pi \zeta H} \quad (2)$$

여기서 P 는 접촉력이고, H 는 접점재료의 브리넬 경도, ζ 는 접점접촉면의 상태에 따라 결정되는 상수이다.

2.2 해석모델과 해석조건

해석모델은 그림2와 같으며 200A Frame의 한류형 차단기 3상 중 1상의 접촉부를 모델링하였다.

또한 가동접점과 고정접점이 사이에 존재하는 미세접촉부는 원기둥으로 모의하였고, 그 원기둥 주위에 해석의 정확도를 높이기 위해 공기로 된 dummy를 만들었다. 와전류의 효과를 고려한 전자반발력 해석과 정자계로 보고 해석한 결과가 별 차이가 없었기 때문에 피크전류치를 이용한 정자계해석을 하였다.

접촉부위의 전자반발력 해석을 위하여 전류벡터 포텐셜 T 를 이용하는 3차원 유한요소법에 의해 도전부에 흐르는 전류밀도 분포 J 는 식(3)과 같다.

$$\nabla \left(\frac{1}{\sigma} \nabla T \right) = 0, J = \nabla T \quad (3)$$

식(3)에서 얻어진 전류밀도를 이용하여 자기벡터 포텐셜 A 를 3차원 유한요소법에 의하여 구하고 이를 이용하여 해석영역의 자속밀도 분포 $B[T]$ 는 식(4)와 같이 계산한다.

$$\nabla \left(\frac{1}{\mu} \nabla A \right) = J_0 + J_e, B = \nabla A \quad (4)$$

전류분포해석(식(3))과 자계해석(식(4))에 의하여 얻어진 전류밀도와 자속밀도를 이용하여 가동접촉자

에 발생하는 전자반발력 $F[N]$ 는 식(5)와 같이 정량적으로 계산한다[4].

$$F = \int_V J \times B dV \quad (5)$$

여기서, V 는 전자반발력이 작용하는 가동자 영역의 체적이다.

3. 해석 및 실험 결과

3.1 해석 모델

그림2는 배선용 차단기의 접촉부 해석 모델이다. 해석 모델의 접촉 스프링의 자중은 1.6[kgf], $H_b=420$, $\zeta=1$, 접촉점의 반경 $r=0.1[mm]$ 로 하였다.

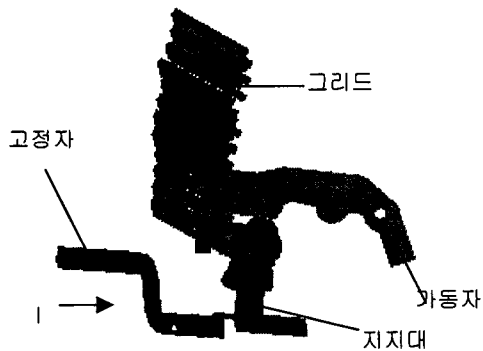
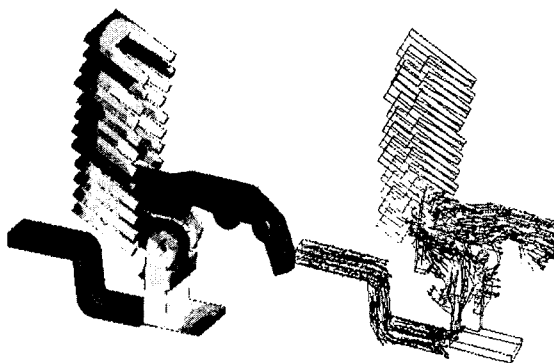


그림 2. 해석 모델



(a) 자속밀도 분포 (b) 전류벡터
그림3. 해석 결과($I=5000A$)

3.2 해석 결과

그림3(a)는 인가 전류 5000A에서의 자속밀도 분포의 해석 결과이며, 그림3 (b)는 전류 벡터도이다.

그림4는 전류를 0에서 10kA까지 증가시키면서 Holm의 식에 의하여 전자 반발력을 계산하고, 유한 요소법에 의하여 전자 반발력을 해석한 결과이다. 해석 결과에서 1.6[kgf]의 접촉 하중을 받는 경우, Holm 식은 4600A, FEM 계산치는 5000A에서 스프링 힘과 동일한 전자 반발력 1.6[kgf]가 되었다.

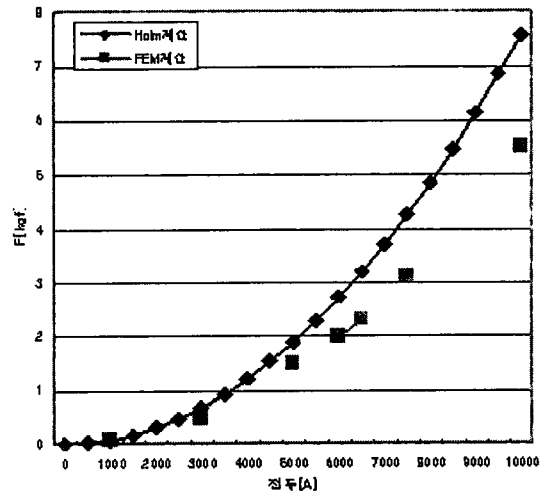


그림 4. 해석 결과의 전자 반발력

3.3 실험결과

Holm의 계산식과 FEM해석 결과를 한류형 차단기의 접점에 적용하고, 한류형 차단기에 적합한 계산식을 얻고자 그림5와 같이 실험장치를 구성하였다.

접촉자 양단의 전압을 Triger 신호로 이용하므로써 이상 전압이 발생하면 파형을 정지하도록하여, 접점 반발시 접점 양단의 전위차를 감지하므로써 접점이 반발되는 전류와 전압 파형 오실로 스크وپ에 메모리 하였다. 시험 전원으로 순시 과전류시험기를 사용하여 전압의 상승에 따라 전류가 증가하도록 하였다.

그림 6은 차단기의 스프링 하중이 1.65[kgf]인 시료를 제작하여 4900A에서 접점 양단의 이상 전위차 및 접점이 반발하는 전류를 측정된 것이다.

그림6에서 상단 그래프는 검출한 전압 파형이며, 급속히 돌출하는 부분이 접점의 반발에 의하여 이상 전위차가 발생됨을 나타내고, 하단의 그래프는 접점을 통과하는 전류 그래프로 전압이 돌출되는 부위에서 접점이 개방되어 전류는 급격히 감소되었다. 다시 전류가 검출되는 것은 접점이 개방되어 전류가

감소하여 전자 반발력이 소멸되어 접촉 스프링 하중에 의하여 재투입된 것이다. 재투입된 다음 주기에서 전원이 차단되도록 하였다. 이 결과에서 Holm의 계산식과 FEM 해석 결과를 비교하면 FEM 해석 결과가 실험 결과와 가까운 결과가 됨을 알 수 있다.

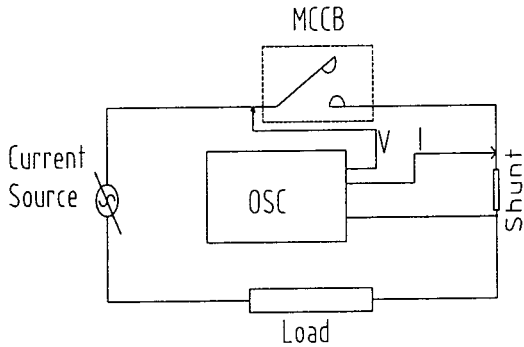


그림 5. 점접 반발력 측정회로

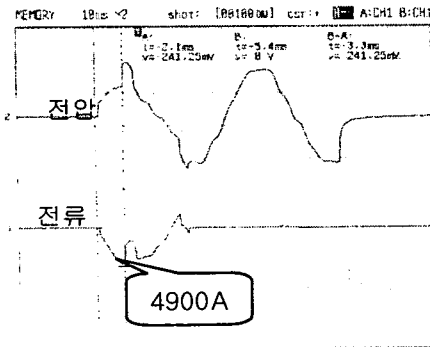


그림 6. Oscilloscope로 관측한 전압, 전류 파형

4. 결론

본 논문에서는 한류형 배선용 차단기의 단락사고 시 고장 전류를 차단할 때 점 접촉현상을 고정 접촉자와 가동접촉자 사이의 전자 반발력을 Holm의 계산식과 3차원 유한요소법을 이용하여 구하고, 해석 모델과 같은 시료를 제작하여 점접간에 발생하는 전자반발력을 측정하였다. 그 결과로부터 3차원 유한 요소법 해석에 의한 결과의 타당성을 입증하고 전자 반발력을 예측하기 위한 해석기법을 제안한다.

참고문헌

- [1] IEC 60947-2, "Low-Voltage Switchgear and Controlgear Part 2: Circuit Breakers", 1998
- [2] 국립기술품질원, "KSC 8321", 한국표준협회 1996
- [3] 河瀬順洋·伊藤昭吉, "電氣·電子機器の實用解析", 1997
- [4] S.Ito, Y.Kawase and H.Mori, "3-D Finite Element Analysis of Repulsion Forces on Contact Systems in Low Voltage Circuit Breakers", IEEE Trans. on Magnetics, Vol.33, No.3, pp.1677-1680, 1996
- [5] 伊藤昭吉, "交流電磁接觸器の接點反發力の三次元有限要素解析"