

기중차단기(Air Circuit Breaker)의 전자반발력 해석을 통한 접압스프링 설계

강종성, 손종만, 최원준, 이방욱, 서정민
LG산전(주) 전력연구소

Design of Wipe Spring in ACB by Numerical Analysis of Electromagnetic Repulse Forces

J.S. Kang, J.M. Sohn, W.J. Choe, B.W. Lee, J.M. Seo
Electrotechnology R&D Center, LG Industrial Systems Co., Ltd.

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

In this paper, the forces generated by currents and flux densities at the contact point when circuit breakers are in closed position are obtained by using 3D finite element method.

According to the analysis, the optimum configuration of wipe springs and arc extinguishing chambers are newly designed and consequently type tests show satisfactory results.

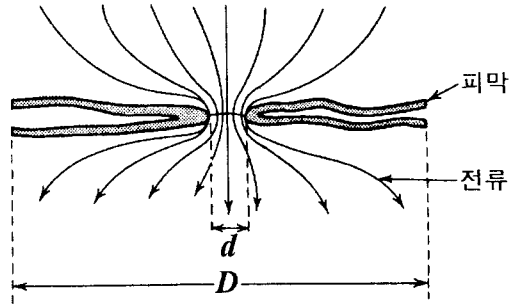


그림 1 접점에 있어서 전류의 흐름

1. 서 론

기중차단기(Air Circuit Breaker, ACB)는 대용량 변압기의 저압측이나, 발전기나 전동기의 보호용으로 널리 사용되고 있다. 또한 기중차단기의 단락용량도 대용량화 하는 추세이다. 이 기중차단기의 인증시험에는 짧은 시간동안 큰 전류를 흘려 전류에 의한 기계 및 전기적인 내성을 시험하기 위한 정격단시간 내전류시험을 행한다. 이 때 소호후에 적합한 접압스프링(wipe spring)이 설계되지 않으면 대전류에 의해 생긴 전자력은 기중차단기의 접점을 순간적으로 들어 올려 순간적인 아크에 의한 발열로 접점이 융착되는 현상이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 전자계 해석을 통하여 접점 및 고정도체와 가동도체 간의 전자반발력을 계산하고 전자반발력을 줄일 수 있는 개선된 소호부 모델을 고려해 최적의 접압 스프링을 설계하여야 한다.

으로 되어 접점사이에는 반발력이 작용하게 된다[1]. 이와 같은 상황을 가정하여 송변전기기의 정격단시간 내전류시험을 행한다. 정격단시간 내전류시험은 1초동안(2초의 경우도 있다.) 대전류를 기기에 흘려서 이상을 일으키지 않아야 하고 기중차단기는 정격단시간 내전류 시험에서 인접부품과 통전부의 온도상승이 규정된 범위를 벗어나서는 안되고 시험후 차단기에 중대한 손상이 없어야 하고 정상적으로 동작하여야 한다.

2. 본 론

2.1 기중차단기 접점에서 전자반발력

전력계통에서 사고가 발생하였을 때, 즉시 차단기가 동작하여 사고전류를 차단할 수 있으면 좋지만 차단에 실패하면, 다음의 차단기가 동작하기까지 상당한 시간동안 고장전류가 흘러 전자력이나 아크에 의해 기기가 손상되는 수가 있다. 특히 회로에 커다란 단락전류가 흐르게 되면 이때 전류에 의하여 발생하는 자계와 전류의 상호작용에 의해서 선간에는 전자력(electromagnetic force)이 발생한다. 두개의 도체에 흐르는 전류의 방향이 같을 때에는 서로 흡인하는 방향으로 힘이 작용하며, 전류가 역방향일 때에는 서로 반발하는 방향의 힘이 작용한다[1, 2].

개폐기구에서는 이 반발력에 대항하는 접압스프링 등으로 접점에 압축력을 가하며, 대전류가 흐를 때 반발력에 의해서 접점이 개리되고 아크가 발생하여 접점이 소모되지 않도록 하고 있다.

그러나 접압스프링이 잘못 설계된 기중차단기는 시험도중에 가동접점이 떨게 되어 접점이 아크에 의한 발열로 접점이 융착되는 등 심각한 손상을 입을 수 있다. 그러므로 가동접점이 시험중에 들리지 않도록 적절한 힘으로 누를 수 있는 접압스프링 설계가 필요하다.

전기접점의 전자반발력은 접점을 가지는 모든 대전류 기기에서는 중요한 문제이기 때문에 꾸준히 연구되어 왔으며, 그림2와 같은 회전대칭모델의 접촉부 구조에서 전

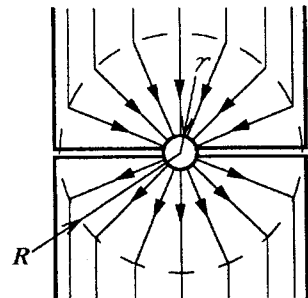


그림 2 Holm의 접촉모델

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

자반발력 F 는 아래와 같은 Holm의 식에 의하여 구할 수 있다.

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

이 간단한 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 미소구 접촉부는 무한대의 도전율이라고 했다[2].

또한 미소접촉부의 직경 $d(=2r)$ 는 접촉압력, 접점재료의 도전율 및 탄성한계에 의존하는데 아래와 같은 식으로 알려져 있다[3].

$$r = \sqrt{P/\pi\xi H}$$

여기서 P 는 접촉력이고, H 는 접점재료의 ξ 는 접점 접촉면의 상태에 따라 결정되는 상수인데 보통 0.5~0.7정도이다.

통상 미소접촉부의 직경으로 1~2mm정도가 사용되고 있다.

2.2 해석모델과 해석조건

해석모델은 그림3과 같이 기중차단기의 소호부 전극 구조를 간략화 하였다. 실제로 1상의 소호부는 3개의 finger로 구성되어 있으나 해석시간을 고려해 1개의 finger만을 고려하였고 그 1개의 finger도 서로 좌우대칭이므로 반쪽만을 해석영역으로 하여 해석을 하였다.

또한 가동접점과 고정접점 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 퍼크전류치를 이용한 정자계해석을 하였다.

표 1 해석조건

입력전류	47.67 kA
미세접촉부 반경	0.5, 0.8, 1.1 [mm]
미세접촉부 위치	접점중앙, 안쪽, 바깥쪽
접압력	8, 20, 37 [kg]
도체	copper

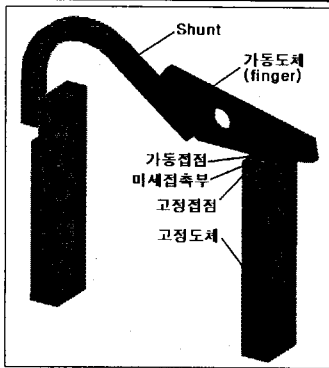


그림 3 해석모델

2.3 해석결과

먼저 전류밀도를 살펴서 전류 흐름을 체크하고, 자속 밀도분포를 구하여 전자반발력의 분포를 예상할 수 있다. 결국 전자반발력 F 는 아래의 식으로 구할 수 있다.

$$F = \int_V (J \times B) dv$$

여기서, J 는 전류밀도, B 는 자속밀도를 말하고, V 는 전자력을 구하려는 도체의 영역을 말한다.

전류밀도분포

그림4는 shunt, 가동도체, 가동접점, 고정접점, 고정도체으로 이어지는 전류흐름을 벡터로 표시한 그림이다. 가동접점과 고정접점사이에 존재하는 미세접촉부에 매우 큰 전류가 흐르고 또한 전류의 방향들이 그림1과 같이 배치되는 것을 알 수 있다.

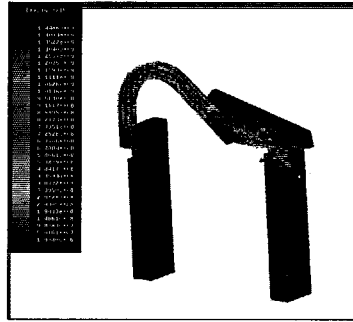


그림 4 전류밀도 벡터도

자속밀도분포

그림5는 와전류를 고려하지 않은 선형자계해석한 결과 자속밀도 분포그림이다. 기초방정식의 다음식과 같다.

$$\nabla \times (\nu \nabla \times A) = J$$

여기서 ν 는 자기저항율, A 는 자기벡터퍼텐셜이다.

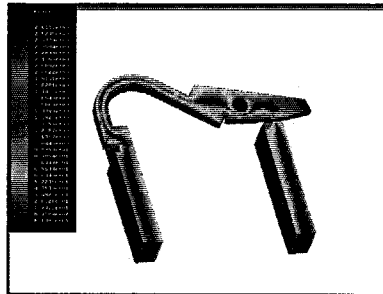


그림 5 자속밀도

전자반발력

위에서 구한 전류밀도와 자속밀도의 외적을 체적적분한 값이 전자반발력이 된다[4].

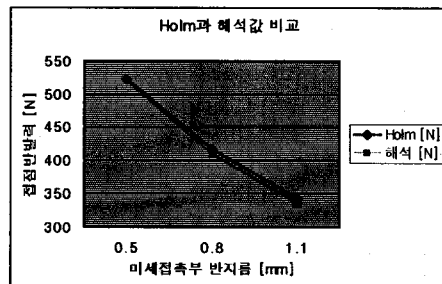


그림 6 Holm식과 해석결과의 비교

각각의 해석모델들에서 전자반발력뿐만 아니라 접점반발력을 구해보았다. 특히 접점반발력은 그림6과 같이 미

세접촉부를 가동점점의 중앙위에 배치할 경우, Holm의 식과 상당히 일치함을 알 수 있었다.

그리고 아래의 그림7은 미세접촉부의 위치에 따른 가동점점과 가동도체, Shunt에 작용하는 토크를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 미세접촉부의 위치가 점점의 안쪽에 있을수록 반발토크가 적음을 알 수 있었다. 이는 미세접촉부가 반발토크측으로부터 가까이 위치해 있을수록 반발토크가 작게 되는 것으로 생각된다.

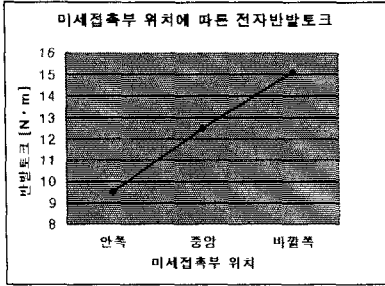


그림 7 미세접촉부 위치와 반발토크

기중차단기 소호부의 전자반발력 해석결과 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

첫째, 기중차단기의 전자반발력은 전극간 반발력과 점점간 반발력으로 나눌 수 있으며 전극간 반발력은 거의 일정하나 점점간 반발력은 가압력 및 점접촉 위치에 따라 달라진다.

둘째, 점점의 가압이 클수록, 즉 점점간의 접촉면적이 클수록 점점반발력은 작아진다.

셋째, 기중차단기의 전자력에 의한 토크는 회전축을 중심으로 반발 토크와 Shunt의 토크가 서로 상쇄되어 반발토크는 현저하게 작아진다.

넷째, Shunt의 토크는 Shunt의 형상 및 위치에 따라 현저하게 달라진다. 즉 Shunt와 가동도체 조립부분의 각도가 크면 클수록 토크는 증가한다.

다섯째, 가동점점과 고정점점의 점접촉 위치가 안쪽에 위치할 때 전자반발력은 작아진다.

개선모델

위의 해석결과를 가지고 아래와 같이 소호부 모델을 개선하여 단시간 내전류시험을 행하여 만족할 만한 결과를 얻었다.

1. 미세접촉부의 위치가 안쪽에 배치되도록 점점의 구조를 변경하였다.
2. Shunt에 의한 역방향 전자반발토크가 커지도록 Shunt의 길이를 조정하였고 가동도체와 Shunt 체결부위에 각도를 변경하였다.
3. 기중차단기의 ON/OFF 개폐동작시 Shunt의 변형으로 역방향 반발토크의 감소를 억제하기 위해 단성이 있는 Shunt를 사용하였다.
4. 가동도체를 구성하는 3개의 finger에 각각 17kg, 8.5kg, 17kg의 점압력을 갖는 스프링을 선정하였다.

그림8은 개선된 모델을 가지고 단시간 내전류시험을 행한 전류파형이다.

3. 결 론

기중차단기의 정격단시간 내전류시험에서 점점이 들리는 것을 방지하고자 Shunt와 가동도체, 가동점점, 고정점점, 고정도체으로 구성된 모델을 3차원 정자계해석을 실시한 결과는 다음과 같다.

첫째, Holm의 식과 해석한 결과를 비교하여 해석의 신뢰성을 확인하였으며, 해석결과 점점반발력은 미세접

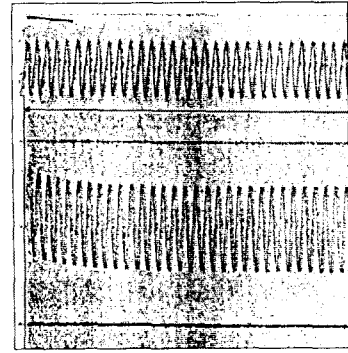


그림 8 단시간 내전류시험 전류파형

촉부의 위치에 강하게 의존함을 알았고 Shunt에 의한 전자반발토크는 전제토크를 현저히 상쇄시키는 것을 알았다.

둘째, 새로이 개선된 모델에서는 점점의 위치가 안쪽에 배치되도록 고정도체 형상을 변경하였고, Shunt와 가동도체의 체결부위의 각도 및 Shunt 길이와 재질을 변경하여 Shunt에 의한 역방향 전자반발토크를 크게 하였다.

셋째, 개선된 모델을 제작하여 단시간 내전류시험을 행한 결과 점점이 들리는 등의 오동작이 발견되지 않는 만족스러운 결과를 얻었다.

(참 고 문 헌)

- [1] 이복희, "고전압대전류공학", 1993
- [2] 河瀬順洋・伊藤昭吉, "電氣・電子機器の實用解析", 1997
- [3] 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
- [4] 伊藤昭吉, "交流電磁接觸器の接点反発力の三次元有限要素解析"