

양방향 구동 차단기와 같은 복잡한 차단기의 소전류 차단 평가기술 개발

이형구, 송태현, 김연풍, 최병화, 윤자홍
(주) 현대중공업

Development of a Small Current Breaking Prediction Technology
in such a complex GCB as a Dual motion GCB

Lee Hyeong-Goo, Song Tae-Hun, Kim Yeon-Pung, Choi Byeong-Hwa, Yun Ja-Hong
Hyundai Heavy Industries Co. Ltd

Abstract - 기존의 단방향 차단기 소전류 차단성능 해석에서는 해석의 편의를 위해 실제 차단기의 고정부(고정아크접점과 피스톤)를 움직이게 하고 가동부(퍼퍼 실린더, 노즐, 등)를 고정시켜 놓고 해석을 하였다. 기존 차단기에서는 이런 식으로 해석을 하여도 아무런 문제가 발생하지 않았으나 이번 당사 모델인 550kV 50kA 1점 절 차단기는 차단성능 향상을 위해 양방향으로 구동이 이루어지고 있어서 기존 방식으로 해석을 하는 것이 거의 불가능하다. 따라서 이번 연구에서는 상용프로그램인 PHOENICS를 이용하여 실제 차단기와 마찬가지로 가동부가 움직이도록 모의하는 방법을 개발하여 550kV 1점 절 차단기의 소전류 차단성능을 평가하였으며, 앞으로 개발될 모든 복잡한 형태의 차단기도 쉽게 해석할 수 있는 계기를 마련하였다.

1. 서 론

차단기는 대전류 차단 능력과 소전류 차단 능력을 동시에 보유하여야 하는데, 대전류 차단은 수십 kA의 큰 전류를 차단하는 것으로 근거리선로고장(SLF)과 단자단락고장(BTF) 차단이 있다. 한편 소전류 차단은 선로나 케이블에 충전되어 있는 수백 A 정도의 작은 충전전류를 차단하는 것이다. 하지만, 대부분의 개발자들은 대전류의 차단이 차단기의 입장에서 훨씬 부담스럽기 때문에 대전류 차단성능을 확보하는데 우선적으로 주력한다. 실제로 대전류 차단성능을 보유한 대부분의 차단기는 소전류 차단성능을 갖고 있는 경우가 많지만, 일단 소전류 차단성능이 문제가 되는 경우에는 그 문제를 간단히 해결하는 것이 쉽지 않으며 최악의 경우 차단기 전체를 다시 설계해야 하는 경우가 있을 수 있다[1].

차단성능 시험을 하는데 있어서 비용과 시간이 많이 소요되기 때문에 차단기 개발업체들은 차단시험에 앞서 해석을 통한 차단성능의 평가를 한다. 대전류 차단 과정을 해석하기 위해서는 극간의 아크에 의한 고온의 열가스의 유동해석이 전계 해석과 더불어 필요하고, 소전류 차단 과정을 해석하기 위해서는 극간에 아크가 발생하지 않는 냉가스의 유동해석과 전계 해석이 필요하다.

당사를 비롯한 국내에서는 차단성능 해석을 하는데 주로 상용 CFD 프로그램인 PHOENICS를 이용하고 있지만, 사용하기가 어렵고 불편해서 보급된 것에 비해 활용도는 높지 않은 편이다. 게다가 소전류 차단성능 해석은 상당한 수준에 도달하였지만, 대전류 차단성능 해석은 아크 이론조차 정립이 되어있지 않고 아직도 전 세계적으로 연구가 계속 이루어지고 있는 상태라서 이에 따른 해석 기술 역시 계속 개발 중이다.

대부분의 차단기 해석에서는 해석의 편의를 위해 실제 차단기와는 달리, 실제로 움직이는 부분은 해석에서는 고정시켜 놓고 실제로 고정된 부분은 해석에서는 움직이도록 하여 해석을 수행하고 있다. 이러한 방법은 실제 차단기의 고정된 부분이 적거나 형상이 간단한 경우 많은 편의를 제공해 왔으나, 당사 모델인 550kV는 메커니즘이 양방향으로 움직이기는 데다가 고정부의 수가 많고

형상이 복잡하기 때문에 기존의 방법으로 해석을 하기에 거의 불가능하였다. 따라서 새로운 해석 방법이 필요하게 되었다.

2. 본 론

2.1 소전류 차단

차단기가 소전류를 차단하는 경우에는 크게 두 가지 경우가 있다. 즉, shunt reactor에 흐르는 전류나 변압기의 무부하 또는 여자 전류와 같은 지상 소전류를 차단하는 경우와 개로된 장거리 송전선로나 콘덴서 뱅크를 개로할 때 흐르는 진상 소전류를 차단하는 경우이다.

차단기가 유도(inductance)성 회로에 흐르는 전류를 차단할 때 전류가 영이 되기 전에 전류를 차단하는 전류재단현상(current chopping phenomena)이 발생할 수 있다. 이러한 전류재단에 의해 썬지가 발생하고 이 썬지는 차단기의 절연뿐만 아니라 다른 전력기기에 해를 끼칠 수 있다. 하지만 재단전류치가 작고 썬지의 크기가 작으므로 특수용도의 차단기를 제외하고 초고압급 가스차단기에서는 특별히 고려하지 않는다. 따라서 소전류 차단에 대한 가스차단기의 설계는 주로 진상 소전류에 대한 차단설계만을 고려한다.

진상 소전류와 같이 전류 크기가 작은 경우에는 접점이 개리한 뒤 곧 차단할 수 있으므로 대략 2Vm(계통 최대전압)의 전압이, 접점 개리가 적을 때, 접점 사이에 인가되어 재발화가 일어날 가능성이 증가한다.

이와 같이, 차단기의 소전류 차단성능은 극간의 절연 회복 능력과 밀접한 관계가 있다. 특히, 진상 소전류 차단에서 가장 문제가 되는 것은 재발호이므로 차단 후 반주기 시점에서 인가되는 회복 전압의 파고치에 대하여 극간거리가 가장 작은, 아크 시간이 영인 가혹한 경우에도 충분히 견딜 수 있어야 한다.

또한 개정된 IEC 규격 62271-100에서 새롭게 규정된 C2 class 소전류 차단시험에서는 단락전류의 60%에 해당하는 전류를 3회 차단한 후에 소전류 차단을 하므로 노즐 및 아크 접점의 손상 또는 오손을 고려하여 충분한 여유를 가져야만 한다.

2.2 소전류 차단성능 평가

차단기의 소전류 차단성능을 평가하기 위해서는 냉가스 유동해석을 통한 밀도와 극간 전계 해석을 통한 전계값과 과도회복전압(TRV)을 알아야 한다.

냉가스 유동해석에 적용된 지배방정식은 다음과 같다.

• 연속방정식
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (1)$$

• 운동량보존방정식
$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{u}) + \nabla \cdot (\rho \vec{u} \vec{u} - \mu \nabla \vec{u}) = -\nabla P \quad (2)$$

• 상태방정식
$$P = \rho RT \quad (3)$$

여기서 ρ 는 밀도, P 는 압력, t 는 시간, \vec{u} 는 속도벡터, R 은 기체상수, T 는 온도이다.

위의 지배방정식들을 PHOENICS에서 계산하여 압력과 속도와 밀도를 얻는다.

전계 계산을 위해 사용된 방정식은 라플라스 방정식으로서 다음과 같다.

$$\nabla \cdot (\epsilon \nabla \phi) = 0 \quad (4)$$

여기서, ϵ 은 유전율, ϕ 는 전위값을 나타낸다.

이 방정식과 각 도체에 주어지는 경계조건들을 이용하여 각 격자에서의 전위값을 구하고, 그 전위값들로부터 전계를 다음 식에 의해 구한다.

$$E = -\nabla \phi \quad (5)$$

경계조건은 고정아크점점에 100[V]를 인가하고, 가동아크점점에는 0[V]를 인가한다.

이상에서 얻은 값들로부터 다음과 같은 절연과피 전압식을 얻는다.

$$V_{BD} = a \frac{\rho^b}{E_0} \quad (6)$$

여기서, a , b 는 실험상수, ρ 는 밀도, E_0 는 극간의 전위차가 100V일 때의 전계값이다.

소전류 차단 후 차단기에는 다음과 같은 TRV가 걸리게 된다.

$$V(t) = \frac{\sqrt{(2)}}{\sqrt{(3)}} \times V_n \times (1 - \cos(ut)) \times F_k \times F_p \quad (7)$$

여기서, V_n 은 차단기 정격 전압, F_k 는 전압계수, F_p 는 차단기 점절 수(1점절 차단기인 경우=1, 2점절 차단기인 경우=0.55)를 나타낸다.

결국 차단기가 차단하는 동안 식 (7)에서 구한 TRV와 식 (6)에서 구한 절연과피 전압을 비교하여 절연과피 전압이 TRV보다 높으면 소전류 차단에 성공한 것으로 판단한다. 특히, 소전류 차단성능을 평가하는데 있어서, 고정아크점점 선단의 밀도변화와 전계강도를 분석하는 것이 반드시 필요하다. 왜냐하면, 가스 차단부를 구성하고 있는 부분 중 고정 아크점점의 선단 부근에서는 초음속 유동과 충격파(shock wave)로 인하여 가스 밀도가 급격히 감소하고 전계강도는 가장 커서 극간 절연 회복에 가장 취약하기 때문이다[2].

2.3 양방향 구동 차단기에의 적용

기존의 해석에서 이동하는 물체를 모의하는 방법은 이동격자를 이용하거나 셀의 속성을 변화시키는 방법이 있다. 어느 방법이든 이동을 모의하는데 해석자가 주의 깊게 처리해야 하고, 이동 물체의 형상이 복잡해질수록 모의 방법도 복잡해지고 시간 소모가 많아진다.

앞에서 언급한 바와 같이 이번에 해석한 당사 모델 550kV 1점절 차단기는 양방향 구동인데다가 피스톤과 퍼퍼 실린더의 형상이 기존 차단기와 확연히 달라서 기존 소전류 차단성능 평가 프로그램으로는 이동을 모의하기가 거의 불가능하였다. 또한 설계자가 그 프로그램을 사용하기에 복잡하여서 실제로 설계자들이 사용할 수 없었다.

본 해석 프로그램에서는 기존 프로그램의 문제를 해결하기 위해서 MOFOR(Moving Frames Of Reference)를 이용하여 프로그램 내부에서 이동물체를 처리하도록 하였다. 따라서 기존의 소전류 차단성능 해석 프로그램에서 사용자가 프로그래밍을 해야 하기 때문에 다루기 힘

들었던 부분을 제거하였고, 이에 따라 이동 물체가 복잡한 형상이거나 양방향 구동 차단기와 같은 복잡한 차단기의 경우에도 이동 모의를 간단히 처리할 수 있게 되었다. 또한 해석 시간을 단축하기 위하여 전계 해석을 서브루틴으로 처리하지 않고 PHOENICS 내부에서 풀도록 하였고, 이렇게 하므로써 사용자의 처리 부분도 줄어들게 되었다. 결과적으로 기존 프로그램에 비해 사용자가 처리해주어야 하는 부분이 대폭 줄어들어, 기존의 약 1/5의 시간만이 소비된다.

2.4 해석 결과

그림 1과 2는 각각 임의의 시간에서 포텐셜과 압력 해석 결과를 나타낸다. 두 그림 사이의 시간 간격은 3ms로 우측 상단의 고정된 물체를 기준으로 나머지 물체가 양쪽으로 이동한 것을 확인할 수 있다.

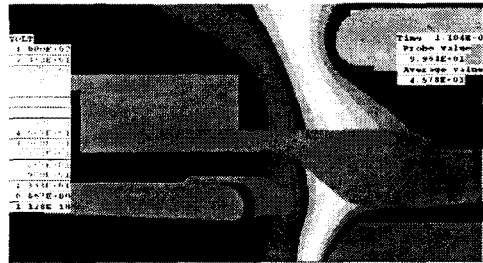


그림 1 포텐셜 분포

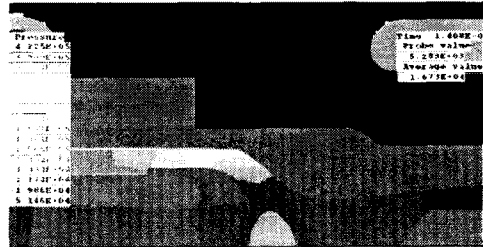


그림 2 압력 분포

그림 3은 퍼퍼실에서의 압력 상승을 나타낸 것이고, 그림 4는 고정아크점점(FAC) 선단부 각 각도에서의 압력 분포를 나타낸 것이다. 마지막으로 그림 5는 TRV와 절연내력을 비교하여 소전류 차단성능을 평가하는 것을 나타낸 그림이다.

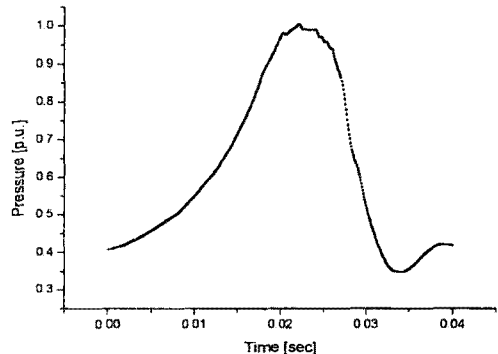


그림 3 퍼퍼실에서의 압력 상승

[참 고 문 헌]

- [1] 송기동, 이병윤, 박경엽, 박정후, "초고압 SF6가스차단기의 소전류 차단성능 해석기술 I", 전기학회논문지, 50B권 7호, pp 331 337, 2001.
- [2] T. Onchi, S. Sugiyama et al, "An Estimation of Current Breaking Performance of GCBs Using a Gas Flow Analysis", Proceedings of the XIII International Conference on Gas Discharges and Their Applications GD 2000, Vol. 1, pp 42 45, Sept. 2000

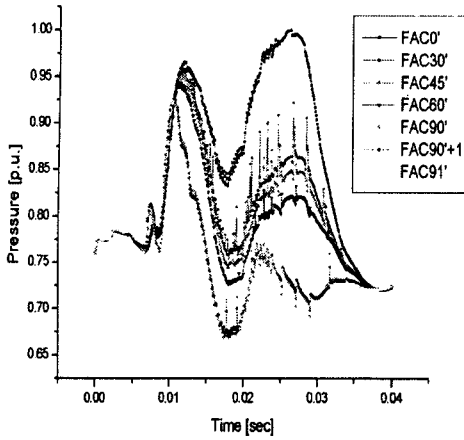


그림 4 고정아크점점(FAC) 선단에서의 압력 상승

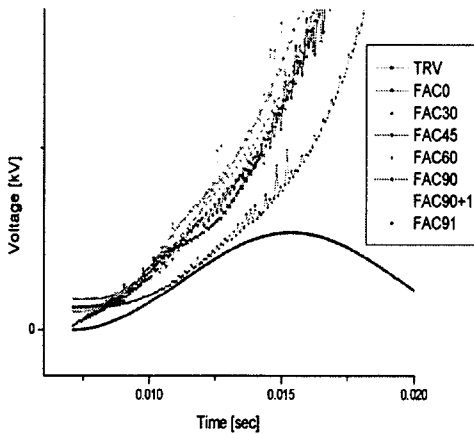


그림 5 소전류 차단성능 평가

그림 5를 통해서 차단성능을 평가한 결과 이 차단기는 소전류 차단에 성공하는 것으로 나타났으나, FAC0 부분, 즉 고정아크점점의 중앙의 절연내력에 여유가 적은 것으로 판단된다. 이는 식 (6)으로부터 알 수 있듯이 이 부분이 밀도에 비해 전계값이 높기 때문이다. 따라서 소전류 차단성능을 더 높이기 위해서는 이 부분의 형상 변경을 통해 전계를 완화시켜야 한다.

3. 결 론

복잡하고 시간 소모가 많은 기존의 물체 이동 방법을 개선하여 간단히 이동을 모의할 수 있도록 하였으며, 사용자가 프로그래밍 하여야 할 부분을 대폭 개선하여 프로그램 사용에 있어서의 어려움을 제거하였으며, 전계 계산하는 과정을 외부 서브루틴(sub-routine)으로 두었다가 프로그램 내부에서 함께 계산하도록 변경하여 계산 시간을 절감하였으며, 그 결과 양방향 차단기와 같은 복잡한 구조의 차단기도 손쉽게 해석할 수 있는 해석 기술을 개발하였다.

이 해석 기술을 이용하여 550kV 1점절 차단기의 소전류 차단성능을 평가한 결과 이 모델은 소전류 차단에 성공하는 것으로 나타났다.