

초고압 GCB의 차단성능 검증을 위한 유동해석

김두성\*, 서경보, 송원표, 정영환, 김덕수  
(주)효성 중공업연구소

Fluid Analysis for Verifying Interrupting Capability of UHV GCB

D. S. Kim\*, K. B. Seo, W. P. Song, Y. H. Chung, D. S. Kim  
Hyosung Corporation

**Abstract** - Recently, it has become more competitive to take larger market share among domestic companies manufacturing high-power apparatus. Unfortunately, the size of total market in this field is being smaller than before because the business of transmission and distribution of electric power is being shifted from government control to private management. To save this situation, we are trying to develop new high-voltage Gas Insulated Switchgear for export such as 245kV GIS and 300kV GIS.

It is very important to make GIS compact size to have international competitiveness against European companies. By reducing GIS's dimensions same as 170kV class, we expect to launch abroad successfully.

Many factors should be considered to achieve good performance during short-circuit making-breaking. Analysis on cold gas flow is one method widely used to evaluate small-current interruption. Through this analysis, we can examine the dielectric characteristics at the weak points in the circuit-breaker. In this paper, we describe the results of cold-gas flow analyses on 245kV and 300kV circuit-breakers.

1. 서 론

국내 중전기 시장의 축소 및 경쟁 업체의 증가는 내수 시장 포화상태를 야기하고 있으며, 이에 따라 수출의 중요성이 어느 때 보다도 중요해 지고 있다. 그러나, 해외 시장에는 ABB나 Siemens, Alstom과 같은 선진 기업들이 이미 진출해 있어, 국내 업체의 진입이 매우 까다로운 실정이다. 이러한 해외 시장 개척을 위해서는 제품의 성능뿐만 아니라 가격 경쟁력을 필수적으로 확보해야 하며, 이를 위해 (주)효성에서는 245kV/300kV GIS를 기존 170kV GIS 크기 정도로 축소, 개발 중에 있다.

GIS의 축소화를 위해서 모선 및 전체 GIS 구간에서의 전계해석을 통한 최적 전계 완화 설계, 냉가스 유동해석과 전계해석을 병행한 소전류 차단성능 해석, 대전류 차단 성능을 정성적으로 판단할 수 있는 기체 해석 등을 실시하였으며, 이를 검증하기 위해 내진압 시험, 소전류 개폐시험, 대전류 개폐시험을 실시하게 된다.

여기서는, 수출용 차단기의 소전류 해석을 위한 이론 및 모델링, 해석 결과에 대해 설명하고자 한다.

2. 본 론

2.1 차단부 소전류 해석

최근에 개정된 IEC 62271-100(1)에서는 소전류 개폐 시험인 충전전류 개폐시험의 시험 방법 및 회수 등에 대해 보다 까다롭고 엄격하게 내용을 규정하고 있다. 소전류 시험 전에 Preconditioning test로써 기본단락시험(Basic Terminal Fault Tests)의 T60에 해당하는 전류를 3회 차단하여 아크 접점 소모시키고 분해가스를 발생시킨 상태에서 충전전류 개폐 시험을 실시하도록 하고 있다. Preconditioning Test 시험 시 주입되는 에너지는 전체 소전류 개폐시험 시 주입되는 에너지의 수십 ~ 수 백배에 달하므로, 이는 매우 가혹한 조건이라 할 수 있다. 또한, 전체 시험 회수 중 재점호 발생회수 및 그에 따른 등급의 제한도 엄격하게 규정하고 있어, 전체 차단기의 단락 시험 책무 중 가장 가혹한 것 중 하나로 그 개폐 성능의 중요성이 규격 개정 전에 비해 매우 커지고 있다.

2.1.1 차단부 소전류 해석을 위한 유동해석 이론

소전류 해석을 위한 냉가스 유동해석을 위해 FVFLIC (Finite Volume Fluid-in-Cell)법을 적용한 전용 프로그램을 사용하였으며, 질량 및 모멘텀, 에너지 방정식은 아래와 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V F dV + \int_S F U_n dS = - \int_S p V_m dS \quad (1)$$

여기서  $V$ 와  $S$ 는 임의의 체적과 이 체적의 표면을 나타내며, 3차원 직교 좌표계의 경우 방정식의 각 항들은 다음과 같다.

$$F = [ \rho, \rho u, \rho v, \rho w, \rho E ] \quad (2)$$

$$V_m = \vec{V}_b \cdot \vec{n} = [0, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k}, \vec{U}] \cdot \vec{n} \quad (3)$$

이 식에서  $\rho$ 는 밀도,  $p$ 는 압력,  $E$ 는 총에너지,  $u, v, w$ 는 속도 벡터  $\vec{U}$ 의  $x, y, z$  성분이다.  $\vec{n}$ 은 표면에 수직인 외향 정규 법선 벡터이다.

FLIC(Fluid in Cell)법은 두 가지 특징을 가지고 있는데, 그 중 하나는 계산 영역을 다수의 차분 격자로 분할할 때에 통상의 차분법에서는 격자점에서의 상태량  $F$ (질량, 운동량, 에너지)를 구하지만, FLIC법에서는 각 격자 사이에 있는 셀 내부의 유체가 가지고 있는  $F$ 의 평균치를 취한다는 것이며, 두 번째는 비정상 성분을 2단계의 전진 차분으로 치환하여, 압력 경도 분포에 의해서만 운동량 보존식과 관련된 상태량  $F$ 의 중도값(intermediate values)을 계산하고, 에너지의 중도값을 비보존 에너지 방정식의 압력항에 의해서 계산하는 것이다(2).

## 2.2 해석 모델 선정 및 모델링

소전류 성능 해석을 위해 개발 중인 두 가지 차단부를 선정하여 모델링을 진행하였다. 유동해석을 위한 모델링은 아래와 같다.

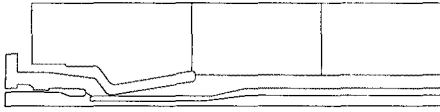
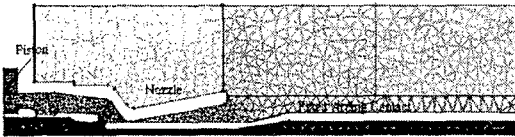
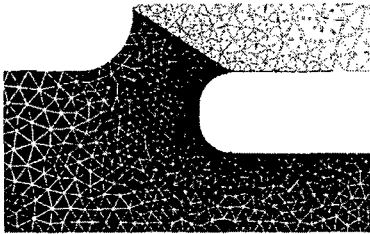


그림 1. 유동해석용 고전압 차단부 모델링

곡면부의 형상을 모의하기 위해 삼각형 격자를 사용하였으며, 그 형상은 아래와 같다.



(a) 격자 생성도



(b) 고정 아크접점 부근 격자 생성도  
그림 2. 해석모델의 격자 생성도

### 2.2.1 유동해석 결과

수 십 ms 동안 움직이는 차단기 내부의 운동을 모의하기 위해 그림 2의 (a)에서 피스톤, 고정아크접점을 가동부로 모의하여, 시간 대 거리의 함수로 표현되는 스트로크 곡선을 입력데이터로 해석을 진행하였다. 그림 3은 그림 2의 (a), (b)의 피스톤 면에서의 시간에 따른 압력변화를 나타낸 것이다.

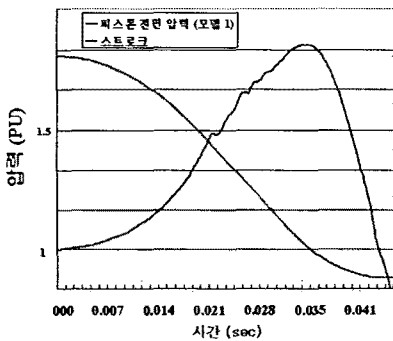


그림 3. 무부하 동작 해석 시 피스톤 전면의 압력변화

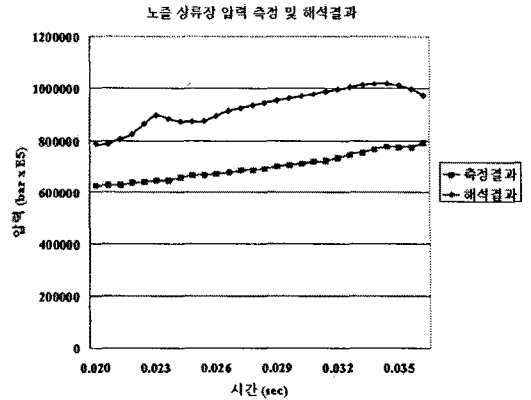
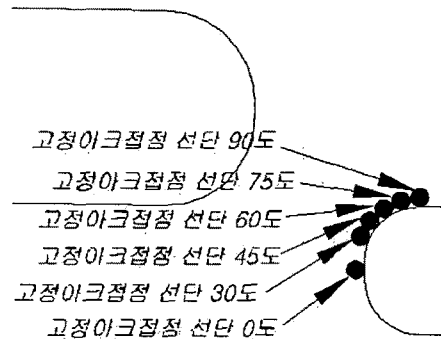
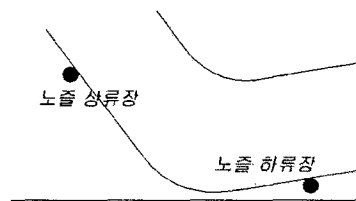


그림 4. 노즐 상류장에서 압력값 비교

그림 3은 퍼퍼실린더 내 피스톤 전면의 압력 변화 해석 결과이다. 그림 4는 노즐 상류장(그림 5의 (b) 참조)에서의 해석으로 구한 압력값과 측정값을 비교한 것이다. 전체적으로 시간에 따라 상승하는 경향은 일정하나, 그 크기는 전체적으로 약 2 bar 정도 해석 값이 높은 것으로 계산되었다. 이는 해석상에서는 실제 차단기 내의 누기면적 등을 고려하지 않았기 때문으로 생각된다.



(a) 소전류 차단 해석 시 고정아크접점 선단 내전압 특성 확인위치



(b) 소전류 차단 해석 시 노즐 측 내전압 특성 확인위치

그림 5. 내전압 특성 확인 지점

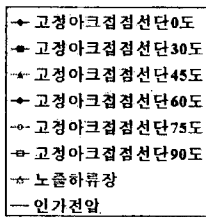
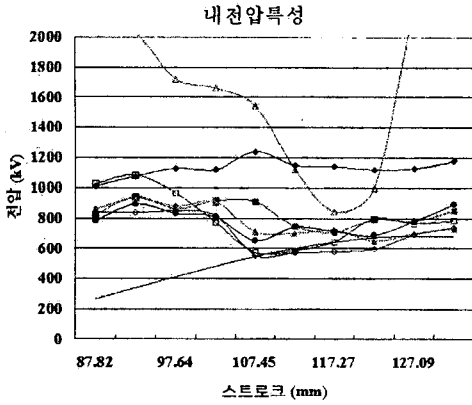


그림 6. 소전류 차단시 내전압특성

고정 아크 접점은 중앙에 배기 구멍을 갖고 있는 형태이며, 이 때 접점 선단 및 노출 하류장의 소전류 차단시 내전압 특성은 그림 6과 같다. 내전압 특성은 냉가스 유동해석으로 얻은 밀도 또는 압력과 전계해석을 통해 얻은 전계값을 실험식에 대입하여 구하게 된다. 중요 부위의 내전압 값이 차단 후 극간에 인가되는 과도 회복 전압과 비교하여 높은 경우 차단성능이 양호한 것으로 판단하며, 낮은 경우 절연파괴가 발생할 가능성이 높다고 판단한다. 접점 선단 60도까지는 실선으로 표시되는 인가전압보다 높은 부분에 전압 분포가 형성되어 차단 후 절연 성능에 이상이 없는 것으로 판단되나, 고정 아크접점 60도를 넘어가면 스트로크 약 100mm 이상부터 인가전압 보다 낮은 영역이 나타남을 알 수 있다. 이는 이 부분에서부터 고정아크 접점이 노출목을 빠져나가기 때문이며, 성능 개선이 필요한 부분이다.

그림 7은 고정 아크접점 선단의 형상을 변형한 그림이다. 접점 가운데 구멍을 없애고 단일 반경으로 변경한 것이다. 그림과 같이 표시된 부분에서 해석을 진행한 후 내전압 특성을 확인하였다.

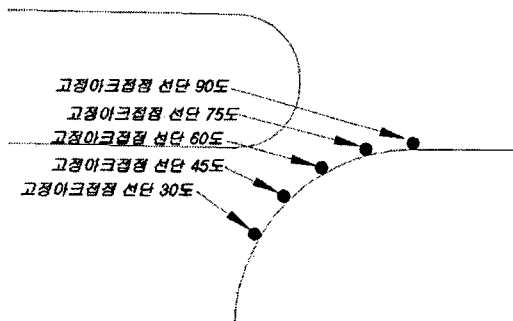


그림 7. 고정아크접점 형상 변경 및 내전압 특성 확인 위치

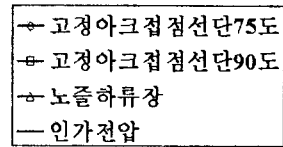
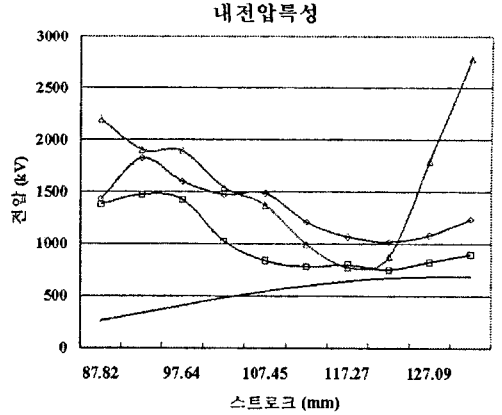


그림 8. 고정아크접점 형상 변경 후 내전압 특성

그림 8은 고정아크접점 선단 형상 변경 후 내전압 특성이다. 형상 변경 전에는 고정아크접점 60도를 넘어가는 부분에서 소전류 차단 후 극간 인가전압보다 낮은 부분이 발생하였는데, 형상 개선 후에는 이 부분의 내전압 특성이 양호하게 향상된 것을 볼 수 있다. 이는 고정 아크접점 형상의 반경을 이전보다 크게 변형하면서 각 부의 밀도는 상대적으로 낮아졌으나 전계강도도 함께 크게 낮아졌기 때문이다.

### 3. 결 론

현재 당사에서 개발 중인 신형 모델에 대한 냉가스 해석 및 소전류 해석을 실시하였으며, 내전압 특성 및 형상 변화에 의한 차단 성능 변화를 검토하였다. 고정 아크 접점만의 작은 형상 변화에도 차단성능이 약 10% 이상 향상된다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나, 노출 상류장의 압력 측정 및 해석 결과의 비교에서 알 수 있듯이 이러한 해석 결과는 그 정밀도에 있어서 아직 충분한 검증이 이루어지지 않았기 때문에, 향후 실제 소전류 차단시험을 통한 확인이 필요하다. 또한, 해석상에서는 실제 관련 규격[1]에서 소전류 시험 전에 실시하는 Preconditioning test에 의한 접점 소모 및 조도 변화, 다량의 시험 회수에 의한 미세 조립 조건 변화 등을 고려하지 않고, 이상적인 경우를 가정하므로 이에 따른 오차는 충분히 고려되어야 한다.

### (참 고 문 헌)

[1] International Electrotechnical Commission, "High-voltage switchgear and controlgear Part 100 : High-voltage alternating-current circuit-breakers", IEC 62271-100 First Edition 6.111, 2001  
 [2] Y. Zhao and D.E. Winterbone, "The Finite Volume FLIC Method and its Stability Analysis", Int. J. Mech. Sci. Vol. 37 No. 11, pp 1147 ~ 1160, 1995