論 文
55B-10-6

SF_6 가스차단기의 소전류 차단성능 해석

Analysis of Small Current Interruption Performance for SF_6 Gas Circuit Breaker

金 烘 棨† · 宋 基 東* · 鄭 鎭 敎** · 吳 年 浩*** · 朴 敬 燁§
(Hong-Kyu Kim · Ki-Dong Song · Jin-Kyo Chong · Yeon-Ho Oh · Kyong-Yop Park)

Abstract - To analyze the small current interruption performance for the gas circuit breakers, the gas density and electric field intensity should be calculated. In this paper, the FVFLIC method is used for the gas flow analysis and the FEM for the electric field analysis. Then, the dielectric withstanding voltage is evaluated by the empirical formulation or Streamer theory. By comparing the calculated dielectric strength with the test result, it is found that both methods show good prediction capability for the small current interruption performance. Especially, when both methods predict the same interrupting performance, the prediction is in accordance with the experimental result.

Key Words : Gas Circuit Breaker, FVFLIC Method, Dielectric Strength, Streamer Theory, Small Current Interruption.

1. 서 론

전력계통에서 차단기는 정상 상태에서는 전류를 통전시키는 도체 역할을 하며, 사고 발생 시에는 사고 전류를 차단하기 위한 전기적 절연체 역할을 한다. SF_6 가스를 절연 및 소호 매질로 사용하는 가스 차단기(GCB : gas circuit breaker)는 뛰어난 절연성능과 아크 소호능력으로 인하여 초고압용 차단기에 널리 사용되고 있다[1].

차단기는 BTF(Bus terminal fault) 및 SLF(Short line fault)와 같은 대전류 차단 성능과, 장거리 송전선로, 케이블, 콘덴서 뱅크 등을 개로할 때 일어날 수 있는 소전류 차단 성능을 동시에 가져야 한다. 대부분의 차단기는 큰 고장 전류를 차단할 때, 첫 전류 영점에서 차단 성공에 이르지 못하고 접점이 충분히 떨어진 후에야 아크를 소호하여 차단에 성공하지만, 진상 소전류와 같이 차단 전류 크기가 수 십~수백 A로 작은 경우에는 접점이 분리된 후 곧바로 아크를 소호할 수 있다. 이 경우에는 극간의 거리가 가까우면서 계통 전압 최대치의 약 2배에 가까운 전압이 차단기의 양 극간에 인가되어 재점호가 일어날 가능성이 높아지며, 재점호가 일어난 후에는 극간의 절연파괴가 발생한다. 따라서 소전류 차단 성능은 극간의 절연 회복 능력과 밀접한 관계가 있으며, 극간의 절연회복 능력은 극간의 가스 밀도와 전계 세기에 의해 결정된다. 따라서 소전류 차단 시의 차단 성능 해석을 위해서는 아크가 없는 경우의 냉가스 유동 해석에 의해 공간 상의 가스 밀도 분포를 계산하고, 스트로크에 따른 전계 해석에 의해 극간의 전계 세기를 구한 후, 계산 지점에서 구하여진 밀도와 전계세기로부터 절연내력을 계산한다[2-3]. 한편, 소전류 차단성공 여부를 판정하기 위해서 절연내력과 극간의 인가전압을 비교하여, 절연내력이 극간의 인가전압보다 충분히 높으면 차단기는 충분한 절연회복력을 가져서 소전류 차단에 성공하지만, 절연내력이 인가전압보다 낮아지게 되면 절연파괴에 이르러 차단에 실패하게 된다.

기존의 초고압용 가스차단기는 주로 파퍼형(puffer type) 차단부를 채택하였지만, 현재 저조작력화가 가능한 복합소호(hybrid type) 방식의 가스 차단기 개발이 활발히 진행되고 있다. 복합소호 방식의 가스차단기에서는 조작력의 저감으로 인하여 개극 속도가 낮고 구조적으로 소전류 차단에 취약할 가능성이 파퍼형에 비해 높으며, 따라서 정확히 소전류 차단성능을 예측할 수 있는 해석 기술의 개발이 필수적이다.

본 논문에서는 초고압 가스차단기의 소전류 차단성능을 예측하기 위해서 FVFLIC법 (Finite volume fluid in cell) [4-6]에 의해서 유동해석을 수행하고, 유한요소법에 의해 전계 해석을 수행한 후, 경험식[2]과 스트리머 이론[3,7]에 의한 절연내력 계산식을 활용한다. 차단부 내의 유동해석 시에는 가동부 모의, 충격파 영향 등 전산유체역학 측면에서 상당히 어려운 문제들을 가지고 있으며, 본 연구에서 적용된 FVFLIC법을 실제 차단부 내의 냉가스 유동해석에 적용하여 만족할 만한 결과를 얻었다. 계산된 절연내력을 소전류 차단시험 데이터와 비교하여, 경험식과 스트리머 이론식 모두 10% 오차 범위 내에서 소전류 차단성능을 예측할 수 있음을 확인하였다.

† 교신저자, 正會員 : 韓國電氣硏究院 先任硏究員 · 工博
E-mail : kimhk@keri.re.kr
* 正 會 員 : 韓國電氣硏究院 責任硏究員 · 工博
** 正 會 員 : 韓國電氣硏究院 先任硏究員
*** 正 會 員 : 韓國電氣硏究院 先任硏究員
§ 正 會 員 : 韓國電氣硏究院 責任硏究員 · 工博
接受日字 : 2006年 8月 10日
最終完了 : 2006年 9月 10日

2. 차단부 내의 냉가스 유동 해석

2.1 가스 차단기의 기본 구조 및 차단원리

그림1은 가스 차단기의 여러 종류 중에서 파퍼식 차단부의 기본 구조 및 차단 과정을 보여준다. 차단 과정에서 조작기의 구동 메커니즘에 의해 그림의 빗금 친 부분이 왼쪽 방향으로 이동하며, 가동부와 피스톤 간의 상대운동에 의해 파퍼실의 가스가 압축되며, 이 압축가스가 극간에 발생한 아크 쪽으로 강한 유동을 형성하여 아크를 소호하게 된다.

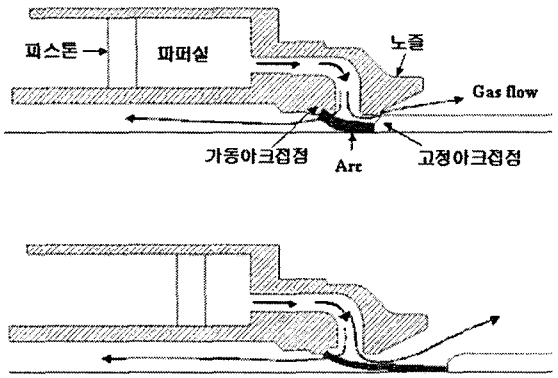


그림 1 파퍼식 가스차단기의 구조 및 차단 원리
Fig. 1 Structure and interruption principle of puffer type GCB

2.2 냉가스 유동해석

차단부 내의 유동 해석 시에는 가동부 이동에 따른 이동경계 조건, 초음속 유동에 의한 충격파 발생, 노즐 등의 복잡한 형상 고려 등 CFD(computational fluid dynamics) 측면에서 상당히 어려운 점들이 많이 있다. 본 연구에서는 이러한 조건들을 비교적 정확히 고려할 수 있는 FVFLIC법[4-6]을 적용하여 차단부 내의 유동 해석을 수행한다. 이 방법은 임의 형상의 격자를 사용할 수 있고, 계산량이 유한체적법, 유한차분법 등에 비해 적으며, 충격파에 의한 영향을 비교적 정확히 고려할 수 있는 것으로 알려져 있다. 차단부 유동 해석 시에는 축대칭을 가정하여도 큰 오차가 없으며, 해석을 위한 축대칭 오일러 방정식은 다음과 같이 표현된다.

질량 보존식 :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{U}) = 0 \tag{1}$$

운동량 보존식 :

z방향 $$\frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u \vec{U}) = -(\nabla P)_z \tag{2}$$

r방향 $$\frac{\partial (\rho v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v \vec{U}) = -(\nabla P)_r \tag{3}$$

에너지 보존식 :

$$\frac{\partial (\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho E \vec{U}) = -\nabla \cdot (P \vec{U}) \tag{4}$$

여기서 $\vec{U} = (u, v)$는 z 와 r 방향의 속도 성분, ρ는 밀도, P는 압력, E는 비총에너지(specific total energy)를 나타낸다.

2.3 인공점성항

Navier-Stokes방정식을 해석하는 경우에는 그리드 간격과 시간 스텝을 적절히 선택하면 인공 점성항(artificial viscosity)이 필요하지 않은 경우도 있지만, 오일러 방정식을 적용한 FVFLIC법의 경우에는 차분 방정식의 안정성을 위해서 속도가 낮은 영역에서 인공 점성항이 필요하다. 인공점성은 주로 셀의 표면에서 계산되며, 인접한 두 셀 a와 b 사이의 경계면 i에서의 인공점성의 크기는 다음과 같이 정의된다[5].

$$q_i = A\,[\rho_i\, c_i\, (\vec{U_a} - \vec{U_b}) \cdot \vec{n_i}] \quad \text{if } K U_i^2 < c_i^2 \text{ and } (\vec{U_a} - \vec{U_b}) \cdot \vec{n_i} > 0$$
$$= 0\,, \quad \text{otherwise} \tag{5}$$

여기서 ρ_i : 셀 경계면에서의 밀도[kg/m^3]
c_i : 셀 경계면에서의 음속[m/s] = $\sqrt{\gamma R T}$
γ : 비열비, R : 기체상수, T : 온도[K]
$\vec{U_a}$, $\vec{U_b}$: 셀 a, b의 속도벡터
n_i: 셀 경계면에서의 외향 정규 법선 벡터

위의 식에서 계수 K는 인위적인 점성항이 적용될 하나의 셀 경계면에서의 마하수(Mach number)의 최대값을 결정하며, A는 점성압력항의 크기를 결정한다. 계산의 안정성을 높이기 위해서는 A는 큰 값일수록 좋지만, 해의 중요한 특징들을 정확히 표현하기 위해서는 작은 값이어야 한다. 따라서 실제 차단부 모델에 대한 시험 결과를 바탕으로 가장 적합한 K 및 A값을 구하여 사용하여야 한다. 본 연구에서는 K는 0.4를, A는 0.3을 사용하였다.

2.4 차단부 내의 유동해석 적용

FVFLIC법에 의한 유동해석 방법의 타당성을 검토하기 위해서 실제 차단부 모델의 유동해석을 수행하여 시험결과와 비교하였다. 그림 2는 해석에 적용된 170kV급 파퍼식 차단부의 형상을 보여주며, 해석에 사용된 삼각형 요소 수는 해석 초기에는 약 17,000개, 최종 스트로크 위치에서는 약 25,000개이며, 해석 시간은 P-IV 2.3GHz를 사용하여 약 30분이 소요되었다. 그림 3은 해석 결과의 타당성을 검토하기 위해서 그림 2의 "압력측정지점"에서 측정된 압력과 해석결과를 비교한 것이며, 압력 상승치 및 최고 압력 상승 시점 등이 시험결과와 잘 일치하고 있다.

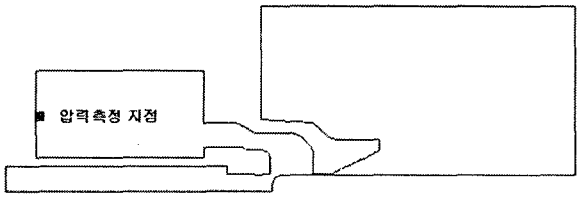


그림 2 냉가스 유동해석용 차단부 모델
Fig. 2 GCB model for cold gas analysis

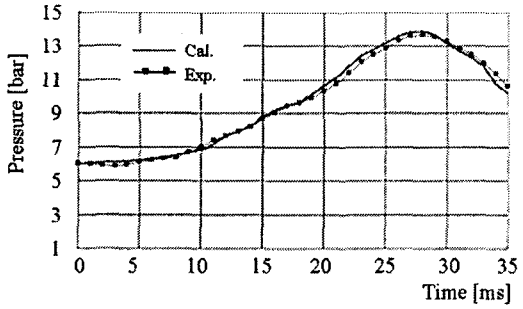


그림 3 피스톤 전면에서의 압력상승 비교
Fig. 3 Comparison of pressure rise in front of piston

3. 절연 내력 계산

3.1 소전류 차단의 기본개념

차단기가 소전류를 차단하는 경우는 크게 두 가지 경우가 있다. 한 가지는 션트리액터(shunt reactor)에 흐르는 전류 또는 변압기의 무부하 전류 혹은 여자전류와 같은 지상 소전류를 차단하는 경우이고, 다른 하나는 장거리 송전선로나 콘덴서 뱅크를 개로할 때 흐르는 진상 소전류를 차단하는 경우이다. 지상 소전류 차단은 진상 소전류 차단에 비해 차단 조건이 용이하기 때문에 차단기 설계 시에는 주로 진상 소전류에 대한 조건만을 고려하고 있다. 전류가 차단될 때 콘덴서의 충전 전압은 대략 최대전압치가 되고, 콘덴서는 전원으로부터 분리되었으므로 이 전압을 유지하게 된다. 또한 차단 후에 전원측 전압은 계속하여 상용주파수 전압파형으로 진행해 감으로 0.5 싸이클 후에는 계통전압 최대치의 약 2배에 해당하는 전압, 즉 식 (6)으로 표현되는 전압이 차단기의 양 극간에 인가되며, 차단기가 성공적으로 차단 임무를 수행하기 위해서는 이러한 큰 전압에 대해서 절연파괴가 일어나지 않아야 한다.

$$V_{ap}(t) = V_m(1-\cos wt) \tag{6}$$

여기서 V_m은 계통최고전압[V], $\omega = 2\pi f$, f는 주파수[Hz]를 나타낸다.

이와 같이 진상 소전류 차단성능은 차단기 극간의 절연내력에 의해 좌우되며, 절연내력은 전계의 세기와 충진가스인 SF_6의 밀도와 밀접한 관계가 있다. 진상 소전류 차단 시에는 차단 전류 크기가 수십 ~ 수백 A로 작은 값이며, 이 전류크기에 해당하는 아크에 의해 SF_6 가스가 국부적으로 가열되어 분해되고 이온화되지만, 아크에 의한 영향은 미미하므로 냉가스로 취급하여도 차단성능을 예측하는 데에는 큰 오차가 없다.

그림 4는 차단기의 소전류 차단성능 예측을 위한 기본 개념도를 나타낸다. 극간의 절연내력은 밀도와 전계 세기에 의해 계산되며, 절연내력과 인가전압을 비교하여, 절연내력이 인가전압보다 충분히 크면 재점호가 발생하지 않고 차단에 성공하게 되며, 반대의 경우에는 극간에 절연파괴가 발생하여 차단에 실패하게 된다.

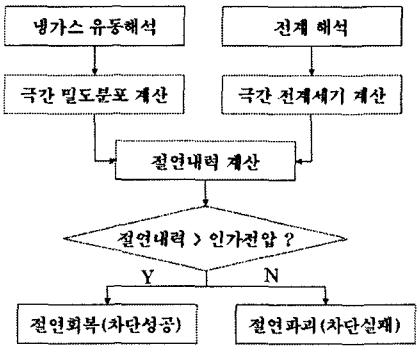


그림 4 소전류 차단성능 예측
Fig. 4 Prediction of small current interrupting performance

3.2 경험식에 의한 절연내력 계산

일반적으로 기체의 절연파괴 전압은 가스의 밀도와 전계세기와 밀접한 관계가 있다. 즉, 전계세기가 낮을수록, 그리고 가스 밀도가 높을수록 절연내력이 높아져 소전류 차단에 성공할 가능성이 높아진다. 이러한 조건으로부터 절연내력을 계산하기 위한 경험식은 다음과 같이 표현될 수 있다[2].

$$V_{bd} = a\frac{\rho^b}{E} \tag{7}$$

여기서 ρ는 가스밀도, E는 전계세기를 나타내며, a와 b는 시험으로부터 구하여야하는 상수들이다.

3.3 스트리머 이론에 의한 절연내력 계산

스트리머 이론에 의한 임계 절연파괴 전압은 다음과 같이 표현된다[3].

$$V_{bd} = \frac{(E/N)^*}{E/N} \times V_{ap} \tag{8}$$

여기서 $(E/N)^*$은 임계 E/N이라고 하며, E는 전계의 세기, N은 단위체적당의 입자의 수, V_{ap}는 인가전압을 나타낸다. SF_6 가스의 경우 $(E/N)^*$은 약 3.56×10-15Vcm²의 값을 가지는 것으로 알려져 있다[7].

위의 식에 의해 임계 절연파괴전압을 구하기 위해서는 전계해석으로부터 E를 구하고, 유동해석으로부터 밀도를 계산하여 N을 계산하면 된다. 즉 스트리머 이론에 의한 절연내력 계산식도 경험식에 의한 계산식과 유사하게 전계의 세기와 밀도의 함수로 표현됨을 알 수 있다.

4. 사례 연구

본 연구에 의한 소전류 차단성능 예측 방법을 145kV급 가스 차단기에 적용하여 그 결과를 검토한다. 소전류 차단 시에도 실제로는 차단 전류가 흐르며, 따라서 극간에 인가되는 전압은 다음 식으로 표현된다.

$$V_{ap}(t) = V_m(1-\cos w(t-t_0)) \tag{9}$$

여기서 t_0는 아크 시간을 나타내며, 전압은 접점이 분리된 후, $t=t_0$ 시점부터 인가된다.

극간에 절연파괴가 발생할 확률이 가장 높은 곳은 고정 아크 접점 표면으로, 이 지점은 노즐목을 지나는 시점에서 빠른 유동에 의해 밀도가 다른 곳보다 현저히 낮아지고, 또한 접점이 노즐 부근을 지나는 시점에 유전체인 노즐의 영향으로 전계가 집중되기 때문이다[2]. 본 연구에서는 그림 5에서와 같이 고정아크 접점 표면에 위치한 점들의 절연내력을 계산 한 후, 가장 절연내력이 취약한 점에서의 값과 인가전압을 비교하여 절연회복 특성을 평가한다.

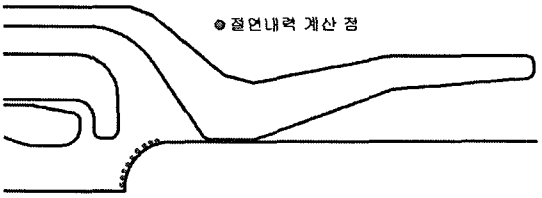
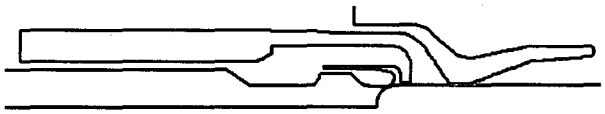


그림 5 절연내력 계산점
Fig. 5 Points for the calculation of dielectric strength

그림 6은 해석에 적용된 차단부 모델을 보여주며, (a)는 파퍼식 차단기, (b)는 병렬복합소호 방식의 차단기[8]이다.



(a) 파퍼식 차단기

(b) 병렬복합소호 방식 차단기

그림 6 해석용 차단부 모델 형상
Fig. 6 Geometry of analyzed GCB model

각 차단기에 대해서 다음의 전압

$$V_{ap} = \frac{145\text{kV}}{\sqrt{3}} \times f \qquad (10)$$

을 인가하여 상수 f를 0.7에서 재발호(restrike)가 일어날 때까지 증가시킨다. 즉 시험에서 아크시간 T_{arc}와 절연파괴가 발생하는 전압을 구하고, 이 결과를 해석 결과와 비교한다. 소전류 차단성능 시험 과정과 결과는 [8]에 상세히 설명되어 있어 여기서는 생략한다. 그림 7은 해석에 사용된 삼각형 격자를 보여주며, 해석 초기에는 약 13,000개, 그리고 전극이 노즐목을 지나는 시점에는 약 15,000개의 요소가 사용되었으며, 고정아크 접점 선단의 유동특성이 중요하기 때문에 이 부근에는 조밀한 요소를 사용하였다.

그림 8은 파퍼식 차단기에 대해서 계산된 절연내력과 인가전압을 비교한 것이다. 그림 (a)는 인가전압 피크치 V_c = 327 kV, 아크시간 T_{arc} = 3.4 ms인 경우이며, 경험식과 스트리머 이론에 의한 식 모두 절연내력값이 인가전압보다 높게 나타나 소전류 차단에 성공할 것으로 예상되었으며, 시험에 의해서도 절연파괴가 발생하지 않았다.

그림(b)는 인가전압 피크치 V_c = 371 kV, 아크시간 T_{arc} = 3.14 ms인 경우이며, 두 가지 절연내력 계산식에 의해 모두 절연내력이 인가전압보다 낮은 시점이 있어 소전류 차단에 실패할 것으로 예상되며, 실제 차단 시험에서도 약 20ms 부근에서 재점호가 발생하였다. 이 시점은 그림에서 보듯이 절연내력이 인가전압보다 낮아지기 시작하는 시점에 해당한다.

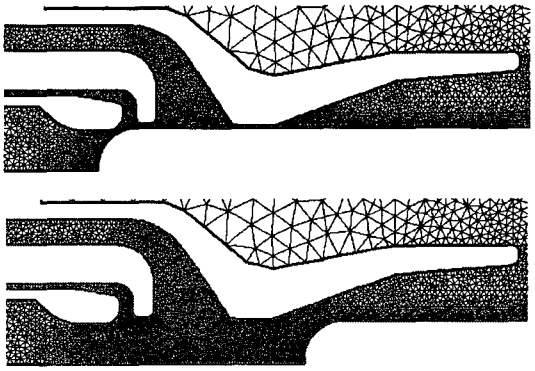
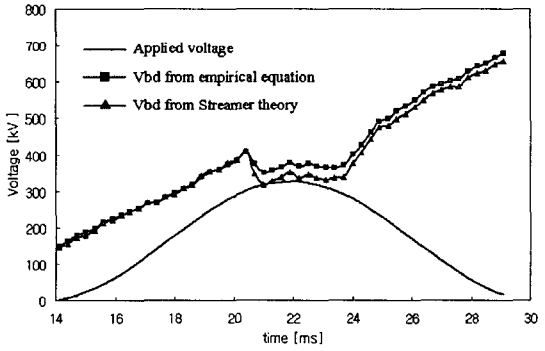
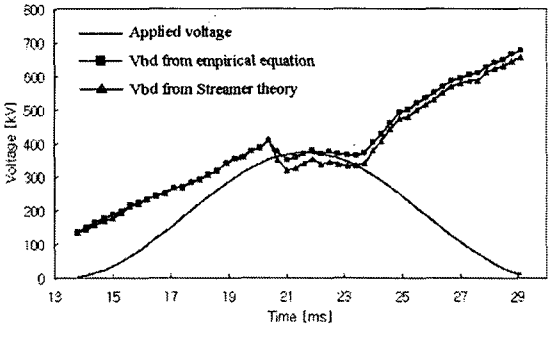


그림 7 요소분할도
Fig. 7 Mesh diagram



(a) V_c = 327 kV, T_{arc} = 3.4 ms



(b) V_c = 371 kV, T_{arc} = 3.14 ms

그림 8 절연내력과 인가전압 비교
Fig. 8 Comparison of dielectric strength and applied voltage

표1은 시험 및 해석에 의한 소전류 차단성능 결과를 비교한 것이다. 여기서 시험결과가 ○이면 재점호가 일어나지 않은 경우이며, ×이면 재점호가 일어난 경우이다. 그리고 F_{db}는 다음 식으로 계산되는 절연내력과 인가전압의 상대적 차이의 최소값을 나타낸다.

$$F_{db} = \min\left\{ \frac{V_{db} - V_{ap}}{V_{ap}} \times 100 \right\} \quad [\%] \tag{11}$$

따라서 F_{db} 값이 양의 값이 되면 절연내력이 항상 인가전압보다 높게 되어 소전류 차단에 성공하는 경우이며, 음의 값이 되면 재점호가 일어나는 것으로 예측하게 된다.

표1에서 보듯이 경험식과 스트리머 이론식 모두 소전류 차단성능을 잘 예측하고 있으며, 경험식의 경우 V_c가 345kV인 경우에 차단 성공으로 예측되었지만 시험에서는 재점호가 발생하였으며, 스트리머 이론식의 경우 V_c가 347kV인 경우 차단실패로 예측이 되었지만 시험에서는 차단성공의 결과가 나왔다. 하지만 두 방법 모두 오차 범위 10% 내에서 소전류 차단 성능을 예측할 수 있음을 알 수 있다.

표2는 복합소호 방식 차단기에 대해서 시험 및 해석에 의한 소전류 차단성능을 비교한 것이며, 파퍼식 차단기의 경우와 마찬가지로 10% 이내의 오차범위에서 차단성능을 잘 예측할 수 있음을 알 수 있다.

표 1 시험 및 해석에 의한 소전류 차단성능 비교 (파퍼식 차단기)

Table 1 Comparison of small current interrupting performance (Puffer type GCB)

V_c [kV]	T_{arc} [ms]	시험 결과	F_{db} [%] (경험식)	F_{db} [%] (스트리머)
327	3.40	○	10.2	0.1
345	2.70	×	1.4	-7.7
371	3.14	×	-4.3	-11.6
347	3.29	○	3.1	-6.3
374	3.25	×	-4.4	-13.1

표 2 시험 및 해석에 의한 소전류 차단성능 비교 (복합소호 방식 차단기)

Table 2 Comparison of small current interrupting performance (Hybrid type GCB)

V_c [kV]	T_{arc} [ms]	시험 결과	F_{db} [%] (경험식)	F_{db} [%] (스트리머)
326	1.79	○	11.9	1.7
351	1.94	×	3.5	-5.1
334	1.92	○	8.5	-1.2

표 1과 2에서 보듯이 경험식과 스트리머 이론식의 결과가 모두 차단성공으로 예측되면 실제 시험에서도 차단에 성공하며, 두 방법 모두 차단 실패로 예측되면 차단시험에서 실패하는 것을 알 수 있다. 따라서 차단기 설계 시에 두 방법을 모두 적용하여 차단성공으로 예측되는 차단부를 설계한다면 시험으로 차단성능을 확인하지 않고서도 적절한 소전류 차단성능을 가지는 차단부 설계가 가능하리라고 예상된다. 또한 스트리머 이론식에 의한 F_{db}값이 경험식에 의한 값보다 작으므로 스트리머 이론식을 적용하여 차단부를 설계한다면 소전류 차단에 더 여유가 있게 된다.

5. 결 론

본 논문에서는 SF_6 가스 차단기의 소전류 차단성능 예측을 위해서 FVFLIC법에 의해 냉가스 유동해석을 수행하고, 유한요소법에 의해 전계 세기를 구한 후, 경험식과 스트리머 이론식에 의한 절연내력 계산식을 적용하였으며, 파퍼식 및 복합소호 방식 차단기에 적용하여 소전류 차단성능 예측의 정확도를 검토하였다. 절연내력을 계산하는 두 방법 모두 10% 오차범위 내에서 소전류 차단성능을 예측할 수 있었으며, 두 방법 모두 차단 실패로 예측되면 실제 시험에서도 재점호가 발생한다는 점을 확인하였다. FVFLIC법은 상용 CFD 툴에 비해서 해석 시간이 매우 짧기 때문에 향후에 본 연구에 의한 절연내력 해석방법과 최적화 루틴을 결합한다면, 소전류 차단성능이 향상된 차단부 형상 설계가 가능하며, 또한 차단기 개발 시에 소요되는 개발 기간을 단축하고 시험비용을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Kunio Nakanishi, "Switching Phenomena in High-Voltage Circuit Breakers", MARCEL DEKKER, INC., 1991.

[2] 송기동, 이병윤, 박경엽, 박정후, "초고압 SF_6 가스차단기의 소전류 차단성능 해석 기술 I", 대한전기학회 논문지 Vol. 50B, No. 7 , pp. 331-337, 2001년 7월.

[3] 송기동, 이병윤, 박경엽, 박정후, "초고압 SF_6 가스차단기의 소전류 차단성능 해석 기술 II", 대한전기학회 논문지 Vol. 50B, No. 8 , pp. 384-391, 2001년 8월.

[4] R.A. Gentry, R.E. Martin and B. Daly, "An Eulerian differencing method for unsteady compressible flow problems" , J. Computl, Phys., Vol. 1 , pp. 87-118, 1966.

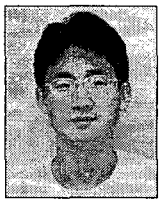
[5] Y. Zhao and D.E. Winterbone, "The Finite Volume FLIC Method and its Stability Analysis " , Int. J. Mech. Sci., Vol. 37, No. 11, pp 1147 - 1160, 1995.

[6] 김홍규, 신승록, 정현교, 김두성, 권기영, "Puffer식 차단기 내의 냉가스 유동 해석", 대한전기학회 논문지 Vol. 48B, No. 7 , pp. 233-239, 2000년 4월.

[7] J.Y. Trépanier, M. Reggio, and Y. Lauzė, "Analysis of the dielectric strength of an SF_6 circuit breaker", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 6, No. 2, pp. 809-815, April, 1991.

[8] 송기동, 정진교, 김홍규, "차단부 형태에 따른 소전류 차단성능 비교", 대한전기학회 논문지 Vol. 55B, No. 7 , pp. 362-368, 2006년 7월.

저 자 소 개

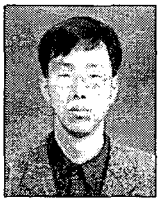


김 홍 규 (金 烘 槿)

1969년생. 1995년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1997년 서울대 공대 전기공학부 대학원 졸업(석사). 2001년 서울대 공대 전기공학부 대학원 졸업(공학박사). 현재 한국전기연구원 신전력기기연구그룹 선임연구원.
Tel : 055-280-1568
Fax : 055-280-1589
E-mail : kimhk@keri.re.kr

송 기 동 (宋 基 東)

1963년생. 1988년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1990년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 한국전기연구원 신전력기기연구그룹 책임연구원.
Tel : 055-280-1563
Fax :055-280-1589
E-mail : kdsong@keri.re.kr



정 진 교 (鄭 鎭 敎)

1967년생. 1991년 강원대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1994년 강원대 공대 전기공학과 대학원 졸업(석사). 현재 한국전기연구원 신전력기기연구그룹 선임연구원.
Tel : 055-280-1564
Fax : 055-280-1589
E-mail : jkchong@keri.re.kr

오 연 호 (吳 年 浩)

1991년 동아대 공대전기공학과 졸업(학사). 1993년 동아대 전기공학과 대학원 졸업(석사). 현재 한국전기연구원 전력연구단 신전력기기연구그룹 선임연구원.
Tel : 055-280-1566
Fax : 055-280-1589
E-mail : yhoh@keri.re.kr

박 경 엽 (朴 敬 燁)

1957년생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 영국 Liverpool 대학 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 한국전기연구원 신전력기기연구그룹 그룹장(책임연구원).
Tel : 055-280-1561
Fax : 055-280-1589
E-mail : kypark@keri.re.kr