

800kV 모델차단부의 극간 절연회복특성

I. 가동주접점과 가동아크접점간 이격거리의 변화에 대한 영향분석

신영준, 박경엽, 장기찬, 송기동, 정진고, *송원표, **강종호
한국전기연구소 개폐장치연구팀, *효성중공업(주), **현대중공업(주)

Dielectric Recovery Characteristics between Poles of 800kV Model Interrupter I. Effects of Separation between Moving Main Contact and Moving Arcing Contact

Y.J. Shin, K.Y. Park, K.C. Chang, K.D. Song, J.K. Jeong, *W.P. Song, **J.H. Kang
KERI, *Hyosung Indus. Co., Ltd., **Hyundai Heavy Indus. Co., Ltd.

Abstract

The capacitive current breaking capability as well as the short circuit current breaking capability is a very important factor in the performance of a circuit breaker. The dielectric recovery capability between poles should be considered in the design of a circuit breaker because approximately two times of the maximum power system voltage might be applied between poles after the capacitive current be interrupted.

The electric field and flow field analyses were utilized in the calculation of dielectric recovery characteristics between poles of 800kV model interrupter. The results show that the separation between moving main contact and moving arcing contact will affect to decrease significantly the electric field strength of a moving arcing contact and an insulation cover, to increase slightly the electric field strength of a fixed arcing contact and to decrease consequently the dielectric recovery capability between poles of the interrupter.

I. 서론

차단기는 대전류 차단능력과 소전류 차단능력을 동시에 가질 수 있도록 차단설계를 하여야 한다. 초고압급 이상 차단기의 대전류 차단성능에는 BTF(Bus Terminal Fault) 차단성능과 SLF(Short Line Fault) 차단성능이 있으며, 소전류 차단성능의 대표적인 예로 진상소전류 차단성능을 들 수 있다.

진상소전류 차단은 개로된 장거리 선로나 케이블과 콘덴서뱅크를 개로할 때 일어날 수 있으며, 전력계통에서 이런 현상이 일어나면 계통전압 최대치의 약 2배에 해당하는 전압이 차단기 극간에 인가되므로 위험한 상황이 발생할 수 있다는 것이 그림 1에 나타나 있다¹⁾.

그림 1은 전류영역에서 진상소전류를 성공적으로 차단한 경우를 나타내고 있으며, ΔV 는 Ferranti 상승효과에 의한 전압상승분을 나타내고, 차단기의 전원측 인덕턴스는 부하측 커패시턴스에 비해 무시할 수 있을 정도로 작다. 따라서 전류와 전압의 위상차는 대략 90° 정도이며, 전류가 전압보다 진상이 된다. 전류가 차단될 때 커패시터에 충전된 전압은 대략 최대치로 되고, 커패시터는 전원으로로부터 분리되었으므로 이 전하를 유지하게 되지만, 전원측 전압은 계속하여 사용주파수 전압파형으로 진행해 감으로 반사이클 후에는 다음식과 같이 계통전압 최대치의 거의 2배에 해당하는 전압이 차단기 극간에 걸리게 된다.

$$V_c(t) = V_m(1 - \cos\omega t) \quad (1)$$

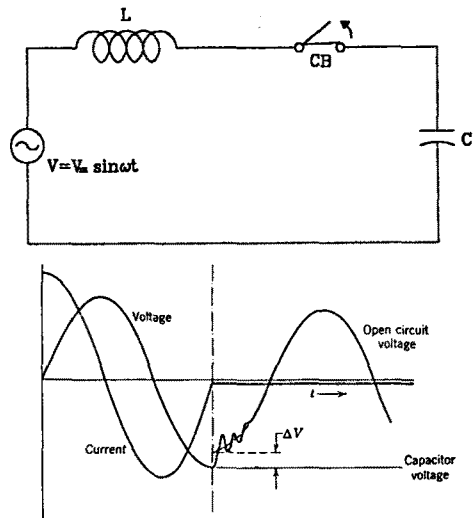


그림 1. 진상소전류 차단시 과전압 발생현상

대부분의 차단기는 부하전류나 고장전류를 차단할 때 첫 전류영역에서 차단하지 못하고 접점간격이 충분히 확보된 후에 성공적으로 아크를 소호하지만, 진상소전류와 같은 극히 작은 전류는 접점이 개리한 뒤 곧 차단할 수 있으므로 대략 2V의 전압이 접점개리가 적을 때 접점간에 인가되어 재점화가 일어날 가능성이 증가하게 된다. 일단 재점화가 일어난 후 전류를 차단하게 되면 이론적으로 전압이 점차 상승하여 외부에서 섬락이 일어나거나 콘덴서가 터지는 일이 발생한다.

그래서 진상소전류 차단성능은 극간의 절연회복능력과 밀접한 관계가 있으며, 차단부의 개리속도에 결정적으로 지배되고 접점형상에 따라 많은 영향을 받는다²⁾. 진상소전류 차단시 절연 및 소호매질로 사용되고 있는 SF₆ 냉가스가 극부적으로 분해되고 이온화되지만 냉가스로 취급하여 극간 절연회복특성을 설계하여도 큰 오차가 발생하지는 않는다.

본 논문에서는 2000년대 초 우리나라 최고송전전압을 765kV로 승압할 때 사용하기 위하여 개발하고 있는 800kV GIS용 모델차단부의 극간 절연회복특성을 분석한 결과를 기술한다. 모델차단부의 극부적 전계집중을 완화시키기 위하여 고려 중인 가동주접점과 가동아크접점 사이의 이격거리가 극간 절연회복특성에 미치는 영향을 엄밀히 평가하여 현재 진행중인 800kV급 차단부의 접점 및 노즐의 설계에 활용하고자 한다.

2. 모델차단부의 전계해석 및 특성분석

모델차단부의 절연설계를 위하여 주어진 기준모델에 Magsoft사에서 개발한 FLUX2D 상용패키지를 적용하여 전계해석을 수행하였으며, 여기서 노출의 유전율로 향후 개발할 복합재질을 고려해 2.2를 적용하였다. 기준모델에서 가동부 실드의 선단은 실린더 외벽의 선단보다 축방향으로 훨씬 후면에 위치하고 있으며, 이격거리는 가동주접점의 선단과 가동아크접점의 선단간의 거리를 나타낸다.

완전 개극상태에서 기준모델의 전계해석 결과 가동아크접점과 절연카바의 전계치가 SF₆가스중에서의 허용전계강도를 훨씬 초과하여, 이 부분의 전계집중을 완화하기 위하여 가동부 실드의 위치와 접점의 이격거리를 변화시켰다. 특히 그림 2에 나타나 있듯이 실린더 외벽의 선단과 가동부 실드의 선단이 일치된 상태에 대해 이격거리를 변화시켜 가면서 전계해석을 집중적으로 수행하였으며, 이격거리가 변하는 만큼 고정주접점과 고정아크접점 사이의 거리도 변화시켰고, 가동주접점의 미소갯의 전계완화를 위해 폭 1mm의 갯길이를 더늘어 변화시켰다. 그 결과 표 1에서 알 수 있듯이 이격거리의 영향이 가장 컸으며, 실드의 위치도 전계완화에 상당한 영향을 미친다는 것을 알았다.

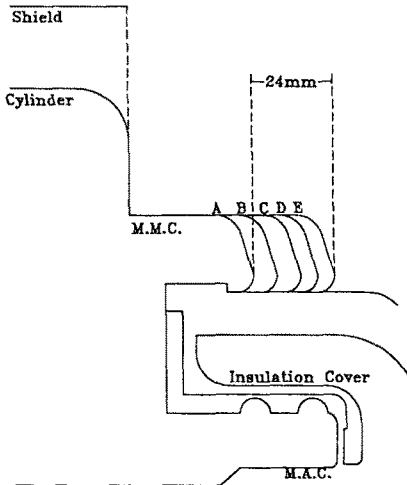


그림 2. 가동주접점과 가동아크접점의 상대위치

표 1. 이격거리에 대한 최대전계강도의 변화

이격거리 (mm)	가동아크접점 (pu/mm)	절연카바 (pu/mm)	가동주접점 (pu/mm)	고정아크접점 (pu/mm)	고정주접점 (pu/mm)	실드 위치 (pu/mm)	미소갯 길이 (mm)
0.0	0.0149	0.0120	0.0158	0.0155	0.0097	0.0108	E 20
5.0	0.0171	0.0134	0.0150	0.0150	0.0105	0.0108	D 15
10.0	0.0185	0.0145	0.0139	0.0138	0.0104	0.0108	C 10
17.0	0.0210	0.0159	0.0132	0.0127	0.0108	0.0110	B 5
24.0	0.0226	0.0175	0.0133	0.0116	0.0121	0.0109	A 0

이격거리에 대한 최대전계강도의 변화를 그래프로 나타내면 그림 3과 같다. 이 그림에서 알 수 있듯이 가동아크접점 및 절연카바의 최대전계강도는 이격거리가 줄어들수록 급격히 감소하고 고정주접점의 최대전계강도는 조금 감소하지만 고정아크접점 및 가동주접점의 최대전계강도는 오히려 조금 증가하는 경향을 보인다.

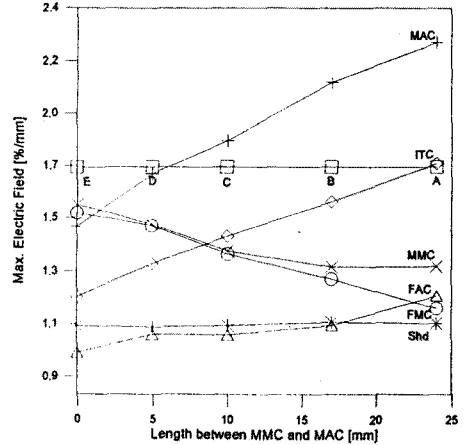


그림 3. 모델차단부의 이격거리에 대한 최대전계강도의 변화

SF₆가스중에서 허용되는 최대전계강도는 그림에서 점선으로 표시되어 있으며, 이격거리가 대략 6mm 이하에서 가동아크접점의 최대전계강도가 허용치 이하로 떨어진다.

그래서 기준모델과 이격거리가 5mm 및 0mm인 경우에 대해 가스밀도와 전계강도에 의해 결정되는 구간 절연회복특성을 구하기 위해 스트로크별로 전계해석을 수행하였으며, 고정아크접점 선단의 30° ~ 60° 지점과 90° 지점에서 발생한 최대전계강도 E(kV/mm/kV)를 그래프로 나타내면 그림 4와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 30°~60° 지점의 전계는 스트로크가 커짐에 따라 지수함수로 떨어지지만 90° 지점의 전계는 노즐목이 고정접점 선단을 지나가는 시점에서 노즐재질의 영향을 받아 오히려 조금 증가하다 감소해 가는 특징을 나타내고 있다.

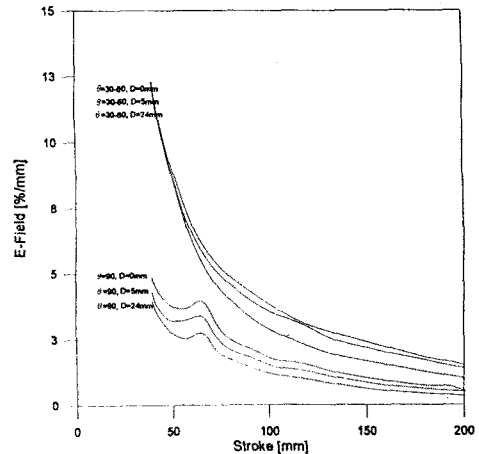


그림 4. 스트로크별 고정아크접점 선단의 최대전계강도 변화

3. 모델차단부의 유동해석 및 특성분석

구간의 절연회복능력은 가스밀도에 크게 좌우되므로 모델차단부에 스트로크별로 유동해석을 수행하였으며, 여기에 사용한 상용패키지는 RAMPANT 2.1이다.

유동해석을 위해 파이프의 압력상승을 계산하여 초기조건으로 주었으며, 사용한 스트로크특성 및 계산결과는 그림 5에 나타나 있으며 평균개리속도는 11.8m/s로 하였다⁴.

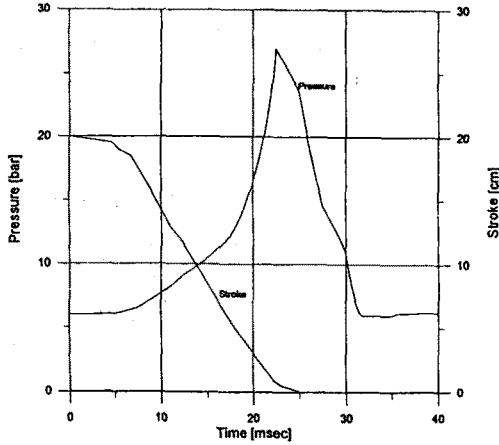


그림 5. 모델차단부의 스트로크특성 및 파피실 압력상승

대표적인 유동해석의 결과가 그림 6에 나타나 있으며, 노즐목이 고정아크점점을 빠져나가는 시점의 가스밀도분포를 나타내고 있다. 그림 7은 이 시점에서 고정아크점점의 표면을 따라 가스밀도의 분포를 나타내며, 90° 지점에서 가스밀도가 가장 급격히 떨어지고 있다.



그림 6. 대표적인 유동해석의 결과(가스밀도)

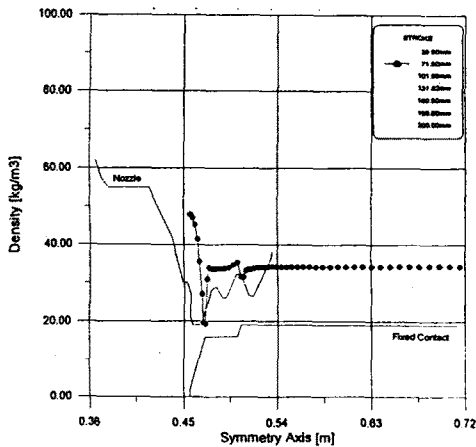


그림 7. 고정아크점점 표면의 가스밀도분포

고정아크점점 선단의 30~60° 지점 및 90° 지점에서 스트로크별 가스밀도의 변화를 구해보면 그림 8과 같이 주어진다. 이 그림에서 알 수 있듯이 노즐목이 고정아크점점의 선단을 빠져나가는 시점에서 가스밀도가 급격히 떨어지고 있으며, 유속이 증가하여 초음속으로 되고 있음을 나타낸다⁵.

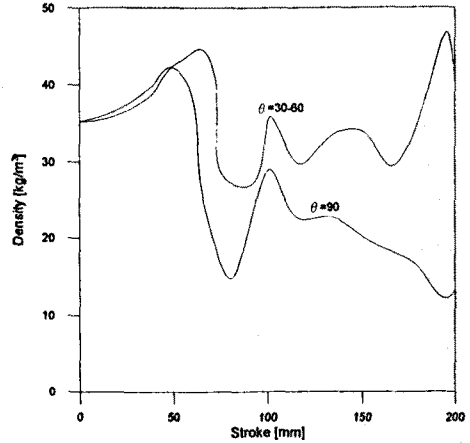


그림 8. 고정아크점점 선단의 스트로크별 가스밀도변화

4. 모델차단부의 극간 절연회복특성

차단기 극간의 절연회복능력은 극간의 입의 지점에서의 가스밀도와 전계강도에 의해 결정되는 섬락전압을 구해보면 알 수 있다. SF₆가스중에서 섬락전압 V_{br}는 전계강도에 역비례하고 가스밀도의 누승에 비례하는 다음식으로 주어지며⁶, 여기서 a, b는 상수이고 ρ는 가스밀도(kg/m³), E는 전계강도(pu/mm)를 나타낸다.

$$V_{br} = a \frac{\rho^b}{E} \quad (kV) \quad (2)$$

상기식을 사용하여 고정점점, 가동점점, 노즐 등 차단부 전체의 섬락전압을 구해보면 고정아크점점의 선단 부근이 절연회복에 가장 취약한 부분임을 알 수 있다. 그래서 고정아크점점의 선단중에서 전계가 집중되는 30~60° 지점과 가스밀도의 변화가 가장 급격한 90° 지점을 선정하여 섬락전압을 구해보면 극간의 절연회복특성을 알 수 있다. 800kV 모델차단부는 2점절로 구성된 차단부이고 분압온전사가 양 극간에 결선되어 있으므로 진상소전류 차단시 하나의 절점에 인가되는 과전압은 다음식으로 표현된다.

$$V_c(t) = \frac{800kV}{\sqrt{3}} \sqrt{2} (1 - \cos \omega t) \times 55\% \quad (kV) \quad (3)$$

그림 9 및 그림 10은 전계해석 결과와 유동해석 결과를 활용하여 고정아크점점 선단의 30~60° 지점 및 90° 지점에서 이격거리 0, 5, 24mm 3가지 경우의 절연회복특성을 구한 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 90° 지점의 절연회복특성은 어느 경우이든지 진상소전류 차단시 극간에 인가되는 과도전압을 충분히 견딜수 있으나, 30~60° 지점의 절연회복특성중 이격거리가 0mm인 경우는 극간에 인가되는 과도전압보다 대략 10% 정도의 여유가 있다.

5. 결론

본 연구를 통하여 800kV 모델차단부의 절연회복특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론에 도달할 수 있다.

- (1) 모델차단부의 전계집중을 허용치 이하로 완화하기 위해서는 가동주점점과 고정아크점점 사이의 이격거리를 6mm 이하로 제한하여야 한다.
- (2) 이격거리를 작게하면 할수록 고정아크점점 및 절연카바의 전계는 현저히 완화되지만 고정아크점점 선단의 전계는 외히려 증가하여 절연회복력이 떨어지게 된다.
- (3) 이격거리가 클수록 차단기극간의 절연회복력은 증가한다.

(4) 따라서 모델차단부의 전계집중을 완화하면서도 극간의 절연회복특성이 개선될 수 있는 알맞은 이격거리를 선택하거나 별도의 방안을 강구하여야 한다.

이 연구결과는 한국전력공사가 지원한 생기반과 제 941P30으로 수행한 연구내용중의 일부입니다.

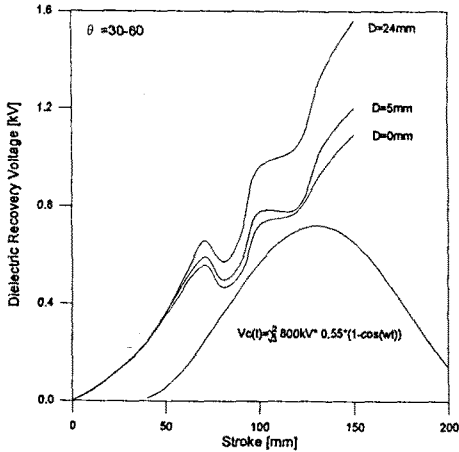


그림 9. 극간 절연회복특성(30~60° 지점)

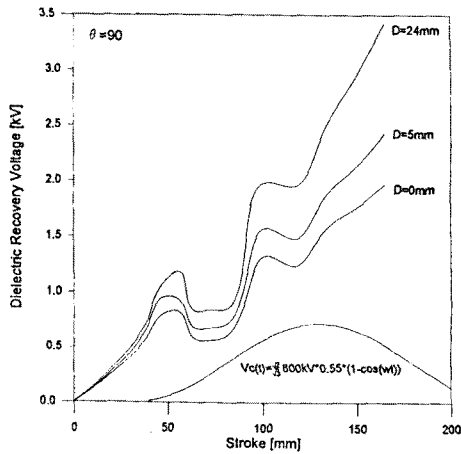


그림 10. 극간 절연회복특성(90° 지점)

참고문헌

1. A. Greenwood, "Electrical Transients in Power Systems" Wiley-Interscience Pub., John Wiley & Sons, Inc. 1991
2. 정상진, 노철용, 신영준, "765kV 기기 개발" 대한전기학회, Proceedings of KIEE, Vol.43, No.8, 1994, pp48-57
3. K. Nakanishi, K. Hirasawa, S. Yanabu and T. Yoshizumi, "Analysis and application of interrupting arc and hot gas flow in SF₆ gas circuit breaker," CIGRE 1994, Session Paper 13-104, Group 13 Switching Equipment, Aug/Sept 1994

4. 박경엽, 송기동, 최영길, 신영준, 송원표, 강종호, "무부하시의 초고압 GCB의 파퍼실린더 내부의 상승압력 계산", 대한전기학회, 1994년도 하계학술대회 논문집 C, 7월 1994년, pp1559-1561

5. 신영준, 조연욱, 김진기, 이정림, "Experimental investigations into low current steady state arcs in a dual-airflow model interrupter" 대한전기학회, 1992년도 하계학술대회 논문집 B, 7월 1992년, pp961-965

6. Hitachi Kokubu Works의 Mr.K. Hirasawa의 Seminar 자료