

열팽창분사원리를 이용한 25.8kV급 가스차단기의 차단특성

장 기찬, 신 영준, 박 경엽, 정 진교, 김 진기*, 김 귀식*
 한국전기연구소, 개폐장치연구팀
 *(주)진강 기술연구소

Interrupting Characteristics of 25.8kV Gas Circuit Breaker Using Thermal-Expansion Principle

K. C. Chang, Y. J. Shin, K. P. Park, J. K. Jeong, J. K. Kim*, G. S. Kim*
 KERI, * Jin Kwang Co. R&D Department

ABSTRACT: Recently, Gas Circuit Breakers are rapidly replacing Vacuum Circuit Breakers in the medium voltage switchgear. This is due to the improved performance of GCB in interrupting capability, price, weight, size etc., while the countermeasure to suppress the switching surges of VCB has not been satisfactory. Intensive research works on the GCB have been conducted in the world widely since 1980. Nowadays it is well known that the thermal expansion type GCB can provide better performance than puffer type in the distribution power system. KERI has conducted researches in the GCB rated at 25.8kV 25kA with Jinkwang Co. using the thermal expansion principle since 1993. In this paper, the calculated results of electric and magnetic fields for the model GCB are presented and analyzed. The effect of permanent magnet used to improve the interruption capability at the low current level is also investigated. The design parameters for the interrupter inspected through the short-circuit tests conducted at high power laboratory of KERI.

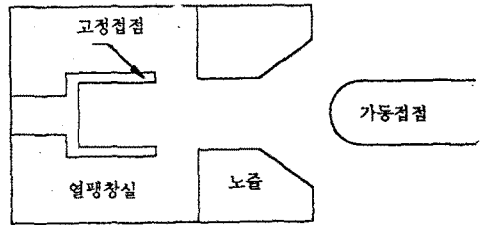


그림 1. 열팽창분사식 소호원리

1. 서론

현재 우리나라 배전급 차단기로 가장 많이 사용되고 있는 것은 진공차단기이며, 이것은 소전류영역에서 전류제한(Current Chopping)현상에 의한 개폐찌지를 발생하는 단점을 갖고 있다.

최근들어 전 세계적으로 배전급차단기는 전류제한현상에 의해 발생하는 개폐찌지를 현저히 줄일 수 있고, 소형경량으로 차단용량을 대용량화할 수 있으며, 타력소호방식에 비해 구동부 조작력을 현저히 줄일 수 있는 자력소호가스차단기로 급속히 대체되고 있는 추세이다.

본 연구에서는, 향후 우리나라 배전계통의 자동화에 대비할 목적으로 25.8kV급 25kA 가스차단기를 개발하기 위해 대전류영역에서는 열팽창분사원리를 이용하고 소전류영역에서는 영구자석을 이용하는 모델소호부를 설계, 제작하였다. 개발표된 외국문헌을 참고해 설계변수를 설정하고 전계 및 자계해석을 행하여 설계 검증 및 보안을 한 모델차단부에 당연구소가 보유하고 있는 단락시험설비를 이용해 차단시험을 실시하고 차단특성을 분석하였다.

2. 모델차단부 및 소호원리

2.1 열팽창분사원리

열팽창분사원리를 이용하는 가스차단기는 차단시 아크에너지에 의해 팽창된 고압가스를 이용하는 차단기로 그림 1과 같은 기본적인 구조를 갖는다. 이 열팽창분사원리는 차단전류가 비교적 큰 영역에서 차단성능이 우수하며, 열팽창실, 고정접점, 노즐 및 가동접점으로 구성되어 있다.

열팽창분사식의 차단원리는, 가동접점과 고정접점 사이에 발생하는 아크로부터 열팽창실내의 SF₆가스가 에너지를 흡수하여 가스온도가 상승한다. 팽창실내의 SF₆가스압력 p는 가스온도에 비례하며 기본적인 식은 식(1)과 같다.

$$p = \rho RT \quad (1)$$

여기서, ρ : 열팽창실의 가스밀도, R : 가스상수, T : 열팽창실내의 가스온도

아크에 의한 주입에너지로부터 가스분출에 의한 에너지손실분을 뺀 나머지 에너지가 온도상승 ΔT 에 기여한다. 그러므로 온도상승 ΔT 는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta T = \frac{v_a i_a \Delta t - h q \Delta t}{c_v \rho V_\alpha} \quad (2)$$

여기서, v_a : 열팽창실내의 평균아크전압, i_a : 차단전류, Δt : 미소시간, h : 열팽창실내의 가스 엔탈피, q : 단위시간당 유출 되는 Nozzle의 유량, c_v : 가스의 정적비열, V_α : 열팽창실 용적

Nozzle로부터 가스가 유출되기 때문에, Δt 후의 열팽창실내의 가스밀도는 유출량 $q \Delta t$ 이며, Δt 후 열팽창실내의 가스밀도 $\rho(t+\Delta t)$ 는 식(3)과 같이 된다.

$$\rho(t+\Delta t) = \frac{\rho(t)V_\alpha - q(t)\Delta t}{V_\alpha} \quad (3)$$

여기서, 가스유량 $q(t)$ 는 아크내의 유량과 아크 주위의 저온 가스의 유량의 합이다.

이상과 같은 원리에 의하면 열팽창분사식 소호방식에서의 열팽창실내의 압력은, 소호실이 결정되면 단순히 차단전류와 아크전압에 관계하는 함수로 나타난다. 따라서 열팽창분사식 소호방식을 이용한 차단기는 대전류영역에서 우수한 차단성능을 갖는다.

2.2 영구자석에 의한 아크회전

열팽창분사식 소호방식에서 차단전류가 소전류일 때 열팽창실의 SF₆가스 압력을 충분히 높게 상승 시키지 못하기 때문에 소전류영역에서 차단능력이 없다. 그래서 소전류영역에서 영구자석의 자계를 이용한 로렌츠힘으로 아크를 회전시켜 차단하며 그림 2.에 이에 대한 개념이 나타나 있다.

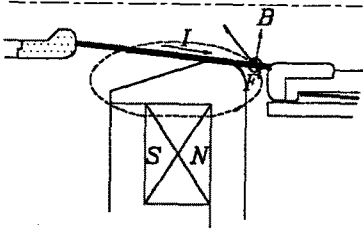


그림 2 아크회전 개념도

그림 2에서 가동접점이 개극한 후 차단전류 I가 영점으로 접근하면 아크의 직경은 점점 작아지며, 아크가 고정접점의 한 부분에 위치하게 된다. 이때 영구자석으로부터 발생한 자속 밀도 B 중 아크에 수직인 성분과 아크전류에 의해 회전력 F가 식(4)와 같이 발생된다.

$$F = B \times I \quad (4)$$

따라서, 전류 I로 구성된 아크는 원주방향으로 힘을 받아 회전한다. SF₆가스 내에서 아크가 회전하므로 효과적으로 아크를 냉각시킬 수 있어 소전류영역에서 차단능력을 가진다.

2.3 모델 차단부

본 연구에 사용된 모델차단부는 그림 3과 같으며, 노즐폭 직경은 26 [mm], 가동접점의 직경은 25 [mm], 소전류소호용 영구자석은 페라이트계, 노즐과 영구자석 하우징의 재질은 테프론이다. 열팽창실의 용적은 1.0 및 1.5 [ℓ]인 것을 실험하였다. 또한 SF₆가스 충전압력은 4.0 [kgf/cm²]로 하였으며, 열팽창실의 상승압력을 측정하기 위해 압력센서를 취부하였다.

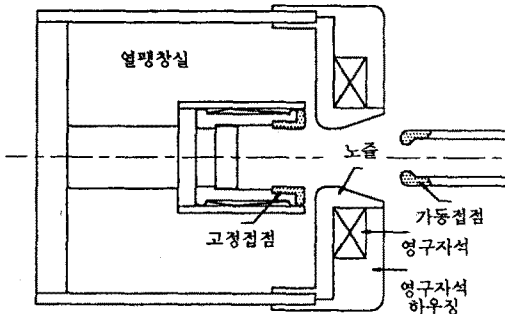


그림 3. 모델차단부

3. 전계 및 자계해석

전자계해석용 상용 Package인 Flux2D를 이용하여 모델차단부의 자계해석결과를 그림 4에 나타내었다. 영구자석은 잔류자속 4.2 [T], 비투자율 1.05인 특성을 가진 페라이트계이다. 해석한 결과 고정아크접점 바로 위부분의 자속밀도크기는 약 20 [mT]이며 이 자속밀도 중 아크에 수직인 성분이 아크회전에 기여하여 소전류 아크차단에 유효하다.

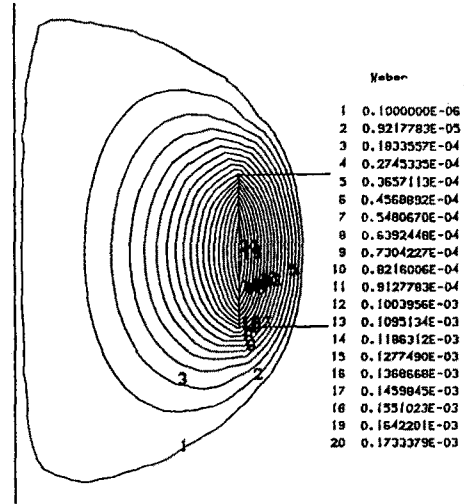


그림 4. 모델소호부 자계해석결과

또한 Flux2D프로그램을 이용하여 차단부 스토로크 전체길이에 걸쳐, 특히 가동접점이 노즐폭을 빠져 나오는 최소아킹시간이 예상되는 위치와 노즐 출구를 빠져 나오는 최대아킹시간이 예측되는 위치에 대해 중점적으로 전계해석을 행하여 극소적인 전계집중이 발생하지 않도록 각 부품들의 모양을 조정하였으며, 그림 5와 그림 6에 이 전계해석의 예를 나타내고 있다.

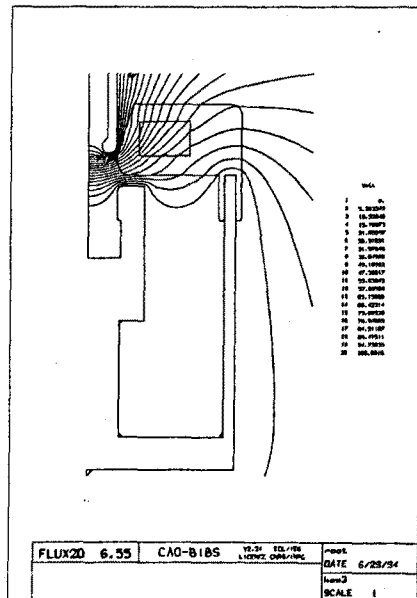


그림 5. 최소아킹시간일 때의 전계해석 예

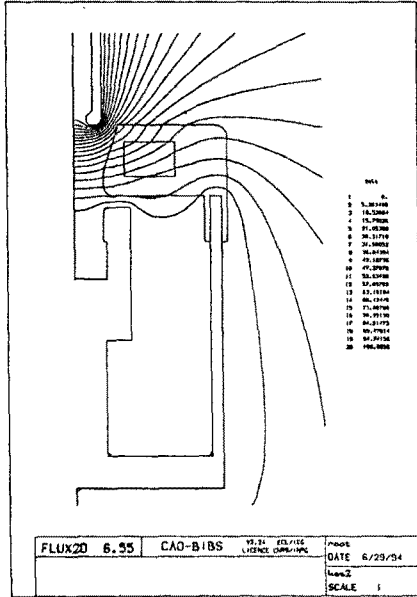


그림 6. 최대아킹시간일 때의 전계해석 예

4. 차단특성시험 및 분석

당연구소가 보유한 단락발전기를 이용하여 100% BTF 차단전류일 때 표1과 같은 과도회복전압을 인가한 직접단락시험을 실시하였다.

표 1 TRV 특성

장격전압 u [kV]	파고치 u _c [kV]	파고시간 t ₃ [μs]	지연시간 t _d [μs]	상승율 u _c /t ₃ [kV/μs]
25.8	45.5	80	8.0	0.57

용적이 1 [ℓ]인 열팽창실의 모델소호부에서 차단전류의 80% BTF인 차단특성시험시에 측정된 차단전류, 아크전압 및 열팽창실의 압력상승시험결과가 그림 7에 나타나 있다.

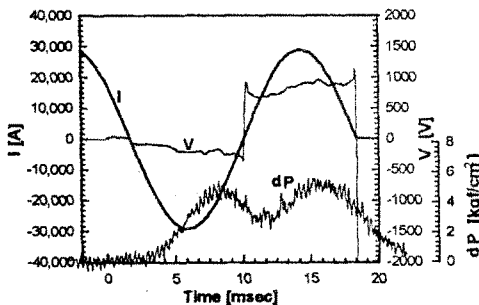


그림 7. 전압, 전류, 압력특성

열팽창실 용적에 따른 차단특성 분석결과를 그림 8에 나타내었으며 열팽창실 용적이 크면 차단특성이 좋아지는 것으로 나타났다. 또한 차단전류와 아킹시간과의 관계를 그림 9에 나타내었다.

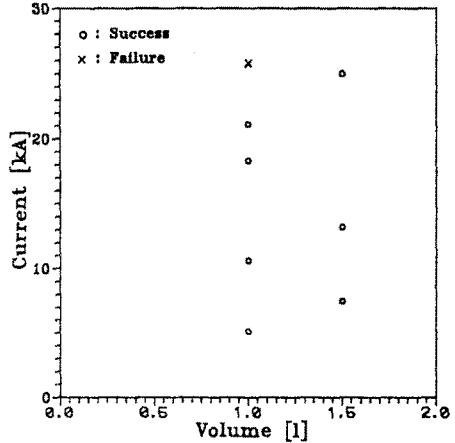


그림 8. 열팽창실 용적에 대한 차단특성

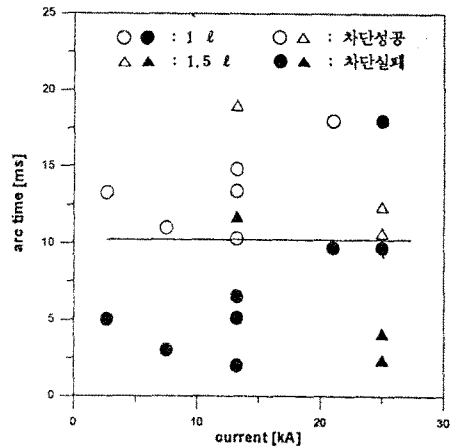


그림 9. 차단전류와 아킹시간과의 관계

5. 결론

열팽창분사식 소호방식을 이용한 25.8 kV급 25kA 배전용 차단기를 개발하기 위해 몇 가지의 모델소호부를 제작하여 차단특성시험을 실시한 결과, 열팽창실의 용량이 크면 클수록 차단용량이 증가함을 알았다. 그러나 차단용량은 구성부품의 성능에 따라 크게 변할 수 있으므로 노즐, 아크절점 등에 대한 연구가 수반되어야 한다.

또한 금회의 대전류영역에서의 차단특성시험에 연이어서 소전류영역에서의 차단특성시험을 실시할 예정으로 있다.

참고문헌

- [1] 신영준, "자력소호 가스차단기의 국산화 기술 연구", 한국전기연구소, 1993
- [2] 藤口均, 豊田充, "アークの熱エネルギーを利用したガス遮断器消弧室の遮断特性", 電學論B, 113巻4號, 平成5年
- [3] A. GLEIZES, A. MAHIDDIN RAHAL, "Study of a Circuit-Breaker Arc with Self-Generated Flow: Part I - Energy Transfer in the High-Current Phase", IEEE trans. on PLASMA SCIENCE, VOL. 16, NO. 6, DECEMBER 1988.