

## 25.8kV 25kA 열팽창분사식 가스차단기 개발에 관한 연구 (I)

송기동<sup>o</sup>, 박경엽, 신영준, 장기찬, 김귀식\*, 김진기\*  
한국전기연구소 개폐장치연구팀, \*(주)진광 기술연구소

### A Study on the Development of 25.8kV 25kA Gas Circuit Breaker Using Thermal-Expansion Principle (I)

K.D.Song, K.Y.Park, Y.J.Shin, K.C.Chang, \*K.S.Kim, \*J.G.Kim  
Korea Electrotechnology Research Institute  
\*Jinkwang Co., R&D Department

#### ABSTRACT

In order to develop a medium voltage class gas circuit breaker by our own technology, we designed and manufactured the model interrupters using the hybrid arc extinguishing principle which adopts the thermal expansion principle in the large current region and the arc rotation principle by permanent magnet in the small current region. As the results of the first year research out of three years' research period, the main design parameters such as the volume of thermal expansion chamber, the distance between fixed contact and nozzle, the length of nozzle throat, the nozzle expansion angle and the magnitude of permanent magnet etc. have been determined. 4 types of model interrupters have been designed and manufactured considering the main design parameters. The 25kA short-circuit test and capacitive current breaking test have been performed for the model interrupters and the test results analyzed to improve the model interrupters.

#### 서론

최근 국내·외에서는 개폐시의 개폐시켜져가 진공차단기에 비해 거의 발생하지 않는 가스차단기의 소형·경량화가 가능해짐에 따라 배전급 가스차단기에 대한 수요가 대용량 회전기의 보호를 중심으로 급증하고 있다. 그리고 향후 우리나라 배전계통의 자동화가 완성될 경우 주상설치용 차단기로서 가스차단기에 대한 국내수요가 급격히 증가할 것으로 예상되며, 수출시장도 매우 방대해 질 것으로 예측된다.

본 연구에서는 국내 배전계통의 주력기종인 25.8kV 25kA 차단기를 독자적인 기술로 개발하고자, 대전류영역에서는 열팽창분사원리를 이용하고 소전류영역에서는 영구자석을 이용한 복합소호방식의 모델소호부를 설계·제작하였다. 총 삼년 연구기간중에서 일차년도에 수행한 연구결과로 팽창실의 용적, 고정접점과 노즐사이의 간격, 노즐목의 길이, 노즐 발산각도 및 영구자석의 세기 등 소호부의 주요 설계변수에 대해서 검토하고, 설계변수에 따른 4가지의 모델차단부를 설계·제작하여 무부하 동작특성시험, 단락전류차단시험 및 충전전류차단시험을 실시한 결과를 제시하며, 각 모델차단부에 대한 차단특성을 파악하여 향후 개선연구에 대한 방향을 제시한다.

#### 1. 모델차단기의 소호원리

현재의 대부분의 차단기는 순수한 한가지 방식의 소호원리만으로는 대전류영역 및 소전류영역 모두에서 우수한 차단능력을 얻는 데 어려움이 있을 뿐만 아니라 대용량화, 소형경량화에도 문제점이 있어 2중 또는 3중의 복합소호방식을 취하고 있다.

그림 1에는 본 연구에서 사용된 모델차단부의 대략적인 구조를 나타내고 있다.

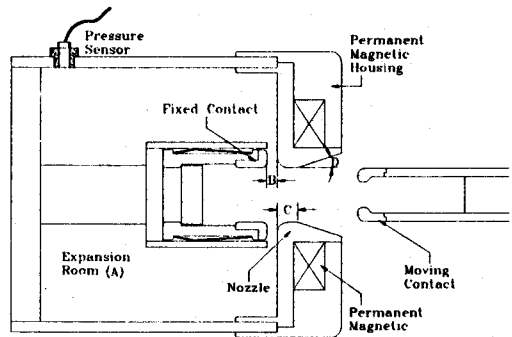


그림 1. 모델차단기 소호부의 구조.

모델차단기의 소호동작원리에 대해서 간단히 요약하면, 가동접점이 고정접점에서 분리되고 노즐목을 빠져나오기 까지 팽창실의 SF6가스는 두 접점사이에 발생한 아크로부터 에너지를 흡수하여 팽창할 것이다. 이 팽창된 고압가스는 가동접점이 노즐목을 빠져나올 때 순간적으로 분출되어 아크를 냉각 또는 소호하는 역할을 하고, 대전류영역 또는 전류크기가 감소하여 전류영점근치에 이르러서는 팽창실의 고압가스를 기대할 수 없기 때문에 영구자석의 자력에 의한 로렌츠힘으로 아크를 회전시켜 소호한다[1-2].

## 2. 모델차단부의 설계 및 제작

### 2.1 모델차단부의 설계변수해석

#### 2.1.1 모델차단부의 전계해석

모델차단부의 전계해석을 위해 상용프로그램 FLUX 2D를 이용하였다. 그림 2에는 전계해석 결과의 한 예를 나타내고 있다. 전계해석시의 조건은 가동접점부를 100V, 고정접점부를 0V전위로 해석하였으며, 노즐과 영구자석 하우징은 테프론(비유전율  $\epsilon_r = 2.2$ )을 사용하였다. 해석결과에서 가동접점부의 곡선부분에서 최대전계점이 나타나고 있으며, 최대전계치는  $82.38 \times 10^6$  kV/mm/kV를 나타내고 있다.

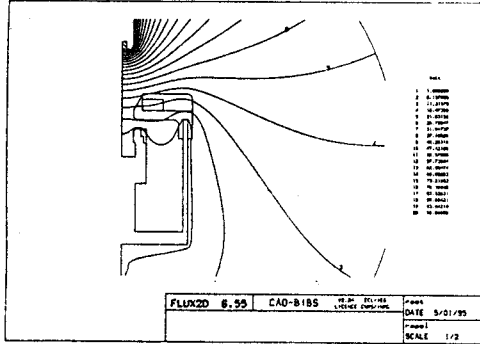
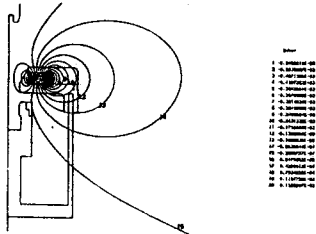


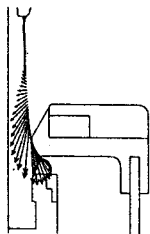
그림 2. 모델차단부의 전계해석결과의 한 예.

#### 2.1.2 모델차단부의 자기해석

모델차단부의 소전류 아크소호특성은 영구자석에 의해 크게 좌우되므로 영구자석에 의해 발생한 자속에 대한 자기해석은 매우 중요하다. 모델차단부에 사용된 영구자석은 페라이트계이며, 잔류자속밀도는 0.4 T, 비투자율  $\mu_r$ 은 1.05이다. 영구자석을 제외한 모든 부품에 대해서는  $\mu_r = 1.00$ 으로 해석하였으며, 그림 3에 해석결과를 나타내고 있다.



(a) 모델소호부의 자속분포



(b) 모델소호부의 자속밀도

그림 3. 모델소호부의 자기해석결과의 한 예.

아크가 고정접점과 가동접점사이에 존재할 때 아크가 받는 로렌츠힘을 알기 위해 아크에 수직성분인 자속을 파악해야 한다. 그림 3(b)의 자속밀도벡터는 영구자석을 중심으로 아크에 대한 수직성분의 방향은 서로 반대로 나타나고 있다. 따라서 아크는 영구자석을 중심으로 위 아래가 서로 상반되게 회전한다.

#### 2.1.3 모델소호부의 유동해석

모델차단부의 차단특성을 파악하기 위한 유동특성해석은 전·자기해석과 더불어 매우 중요한 작업이다. 이러한 유동특성해석을 위해 FLIC(Fluid in Cell)법을 이용하여 냉가스 유동특성을 해석하고 단순화한 아크모델링을 적용시켜 모델소호부내에서의 열가스 유동특성을 해석하는 프로그램을 자체 개발하였다[3]. 또한 아크에너지와 유량의 균형을 이용한 방법을 통해 팽창실의 압력상승을 계산하는 프로그램도 개발하여 실험치와 상호비교하였다.

그림 4에는 FLIC법으로 계산된 팽창실의 압력상승을 실험치와 비교하고 있다.

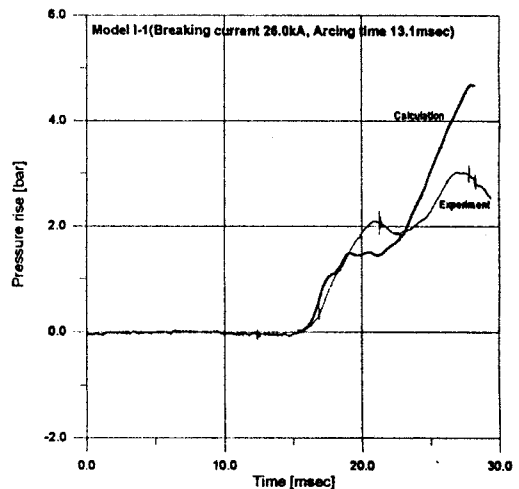


그림 4. 팽창실 압력상승의 계산치와 실험치의 비교 예.

이와 같이 각각의 설계변수에 대해서 전·자기해석과 유동특성 해석을 통해 면밀히 검토하고 모델차단부의 설계를 완료하였다.

### 2.2 모델차단부의 제작

본 연구에서 설계한 모델차단부는 그림 1과 같으며, 영구자석은 페라이트계로 중심부에서 자속밀도가 약 500 Gauss인 공심환형 영구자석을 취부하였으며, 노즐과 영구자석의 하우징은 테프론을 사용하였다. 또한, 팽창실의 상승압력을 측정하기 위해 팽창실의 벽면에 피에조형(Piezo-type) 압력센서를 취부하였다.

열팽창분사식 차단기의 차단특성을 결정하는 주요 설계변수는 팽창실의 압력상승에 중요한 팽창실의 용적(그림 1의 A), 열가스의 분출방향을 결정하고 최소아킹시간에 큰 영향을 끼치는 고정접점과 노즐사이의 간격(B)과 노즐벽의 길이(C), 팽창실의 열가스의 배출방향을 결정짓는 노즐발산각도(D), 그리고 영구자석의 세기 등이라 할 수 있다. 이상의 설계변수를 고려하여 표 1과 같이 4조의 모델차단부를 설계하고 제작하였다.

표 1. 각 모델차단부의 설계변수

Model No.	A	B	C	D
I-1	1550 cc	10 mm	10 mm	30 deg.
I-2	1550 cc	5 mm	15 mm	15 deg.
II-1	1350 cc	10 mm	10 mm	30 deg.
II-2	1350 cc	5 mm	15 mm	15 deg.

3. 차단특성시험

본 연구를 위해 설계·제작한 모델차단부들에 대해서 전압, 전류, TRV과고치를 25.8kV 25kA 단상 단락전류차단시험과 충전전류차단시험을 기준으로 정격차단전류의 10%~100%로 변화시켜 가면서 수행하였다. 시험설비로는 당 연구소가 보유하고 있는 단락시험연구설비를 이용하였으며, 단락전류차단시험에 있어서는 모델차단부가 단락전류에 의해 두 점접점에 형성된 아크를 소호할 수 있어야 하며, 아크를 소호한 후 고정접점과 가동접점 사이에 걸리는 과도회복전압과 회복전압에 견딜 수 있어야만 하고, 충전전류차단시험에 있어서는 시험중에 재발호가 일어나지 않아야 한다. 표 2에는 IEC 56에서 규정하고 있는 모델차단부에 대한 과도회복전압의 기준치를 나타내고 있으며, 그림 5에는 단락전류차단시험시에 인가된 과도회복전압의 예를 나타내고 있다.

표 2. 정격과도회복전압 기준치

Rated voltage	TRV peak value	Time	Time delay	Voltage	Time	Rate of Rise uc/t3
U(kV)	uc(kV)	t3 (μs)	td(μs)	u'(kV)	t'(μs)	(kV/μs)
24.0	44.0	88.0	13.0	14.0	42.0	0.5

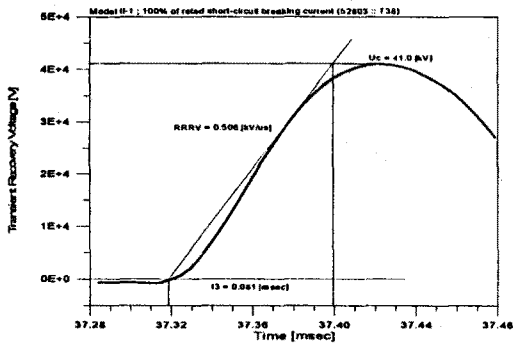


그림 5. 인가된 TRV파형의 한 예.

각 모델의 시험전 조건은

- i) I-1 : 충전가스압력 2.8 bar, 개리속도 3.28 m/s
- ii) I-2 : 충전가스압력 3.0 bar, 개리속도 2.56 m/s
- iii) II-1 : 충전가스압력 3.0 bar, 개리속도 3.06 m/s
- iv) II-2 : 충전가스압력 3.0 bar, 개리속도 3.10 m/s

로 조정되었다.

4. 시험결과 및 분석

그림 6에는 각 모델의 차단전류의 크기에 따른 차단성능을 나타내고 있다.

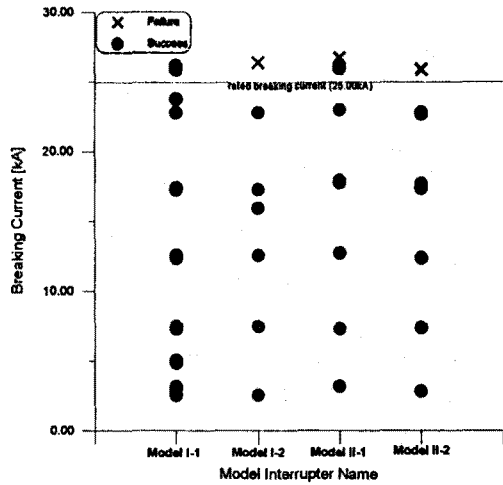


그림 6. 모델차단부의 전류크기에 대한 차단특성.

4개의 모델에 있어서 모두 Duty 4 BTF 90%이하에서는 차단능력을 보유하고 있는 것으로 나타났으며, 모델 I-1은 BTF 100%에서 5회 차단성공하여 최소아킹시간과 최대아킹시간을 파악할 수 있었다. 모델 I-2는 BTF 100%에서 차단실패하였는데, 실패한 원인을 분석해 보면, 열가스에 의해 가동접점과 가동접점의 가이드(guide)가 용착하여 가동부가 움직이지 않았기 때문인 것으로 나타났다. 모델 II-1은 BTF 100%의 3번째 시도에서 차단 실패하고 있다. 차단 실패한 원인은 모델 I-2와 동일한 원인으로 밝혀졌다. 따라서, 가동접점의 접촉자를 유연한(flexible) 것으로 교체하고 가동접점 가이드전단의 구조를 변형시키는 것을 고려할 필요가 있다. 모델 II-2는 BTF 100%의 첫번째 시도에서 차단실패했으며, 차단실패한 원인은 앞의 두 모델과는 달리 열적회복에 실패한 것으로 판단되며, 스트로크 속도, 극간거리, 팽창실 용적 등은 모델 II-1과 동일하다. 다른 점이 있다면 고정접점과 노즐목 사이의 길이가 축소했고, 노즐목의 길이가 증가했으며, 노즐발산 반각이 작아졌을 뿐이다. 따라서, 고정접점과 노즐사이의 길이, 노즐목의 길이, 노즐발산각을 모델 II-1과 동일하게 설계·제작할 경우 충분히 차단특성을 가질 것으로 판단된다.

또한, 위 모델들은 IEC 56규격의 개극위치를 바꿔가면서 12회 실시하기로 되어 있는 충전전류차단시험에 모두 성공했다.

그림 7에는 모델 II-2의 차단부에서 차단전류 90% BTF 차단특성시험시에 측정된 스트로크, 차단전류, 아크전압 및 열팽창실의 압력상승시험의 결과를 나타내고 있다. 시험결과에 대한 분석작업은 이러한 DAS(Data Acquisition System)파형과 측정장비의 OSG(Oscillogram)에서 얻어진 데이터로 처리되었다.

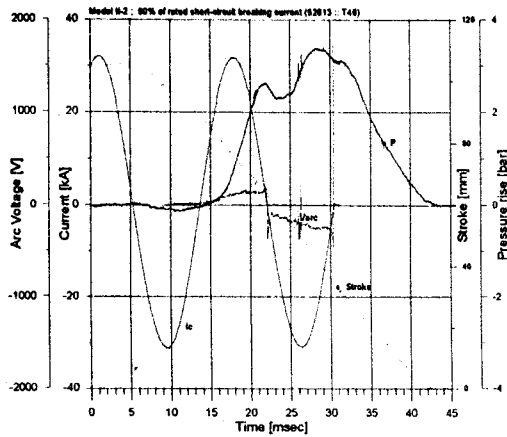


그림 7. 모델차단부(II-2) 90% BTF에서의 전압, 전류, 압력특성.

그림 8에는 각 모델의 전류크기에 따른 아킹시간을 나타내고 있다. 그림에서 차단전류의 크기가 증가함에 따라 아킹시간이 길어지는 것을 알 수 있다. 모델 I-1의 최소 아킹시간은 약 8.3msec, 차단에 성공한 최대 아킹시간은 약 16.8msec로 나타났다. 또한 차단전류 약 15kA 이상에서는 아킹시간이 거의 변하지 않는 것으로 판단되며, 차단전류 5kA 이하에서는 가동접점이 노즐목을 빠져나오기 전에 이미 아크가 소호되는 것을 알 수 있다.

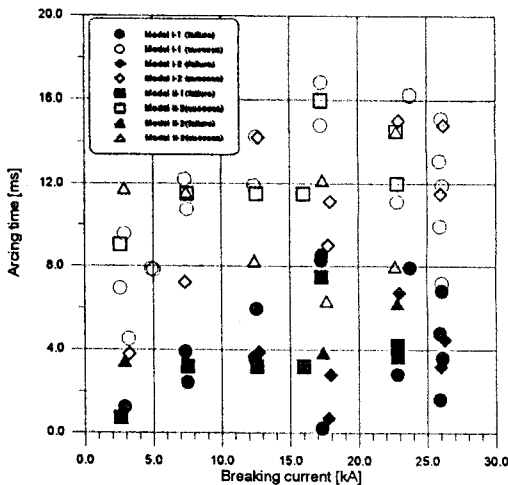


그림 8. 전류크기에 따른 각 모델차단부에서의 아킹시간.

각 모델에 대한 아킹시간에 있어서 팽창실의 용적과 차단전류의 크기에 관계없이 고정접점과 노즐사이의 길이가 짧고, 노즐목이 길며, 노즐발산각이 작은 모델에서는 아킹시간이 길게 나타났고, 전반적으로 큰 변화가 없다는 것을 알 수 있다. 반면에, 이와 상반되는 경우에는 차단전류의 크기에 비례해서 아킹시간이 길어지고 차단특성이 향상된다는 것을 알 수 있었다.

그림 9에는 각 모델차단부의 팽창실에서의 전류크기에 따른 압력상승을 나타내는 것으로, 팽창실의 압력상승은 주입된 아크에너지에 크게 좌우되지만 대체적으로 차단전류의 크기에 비례하고

있는 것을 알 수 있다. 개리속도가 가장 빠르며, 팽창실의 용적이 다른 모델차단부보다 크고 노즐발산각도가 큰 모델 I-1의 압력상승은 가장 낮은 값을 나타내고 있다. 모델차단부 I-1과 팽창실의 용적이 동일하지만 고정접점과 노즐사이의 간격이 짧고 노즐목이 길며, 노즐발산각도가 작은 I-2 모델차단부에서의 압력상승은 팽창실의 용적이 작은 II-1, II-2의 모델차단부보다 높게 나타나고 있다.

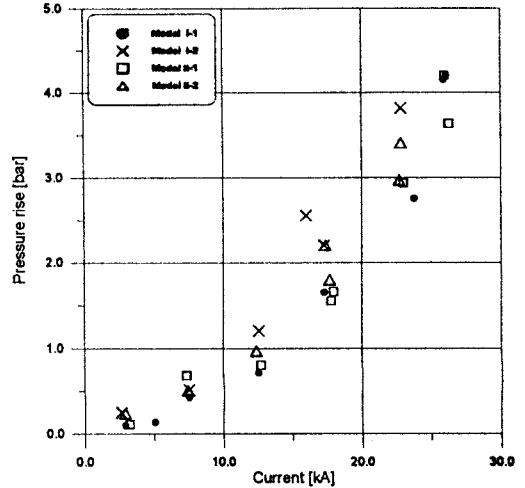


그림 9. 각 모델차단부 팽창실의 압력상승.

시험후 각 주요부품의 증량변화에서 노즐의 경우 약 1.6%, 노즐머리는 1.8%, 가동접점과 고정접점은 각각 0.6%, 2.5% 감소한 것으로 나타났다.

시험전·후의 영구자석의 자속밀도변화는 시험전보다 시험후에 자속밀도가 최대 약 20% 감소한 것으로 나타났으며, 이것은 소전류차단능을 저하시킴으로 보자력이 보다 큰 재질을 사용하여 영구자석을 제작할 필요가 있다.

## 5. 결론

25.8kV 25kA 열팽창 분사식 차단부의 개발을 위한 일차년도 연구 수행한 후 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 배전급 가스차단기에 주로 채용되는 로타리아크 소호방식, 열팽창분사 소호방식 및 복합소호방식에 대한 소호원리를 규명하였으며,
2. 아크모델링에 의한 가스유동특성을 해석하였고, 열팽창실내의 상승압력 계산프로그램을 개발하여 실험치와 비교하였으며,
3. 모델소호부의 주요 설계변수를 결정하고, 설계변수에 따른 4가지의 모델소호부를 설계 및 제작하여 무부하 동작특성시험, 단락전류차단시험 및 중전류차단시험을 실시하였고,
4. 각 모델소호부에 대한 차단특성시험결과
  - 가. 고정접점과 노즐사이의 간격이 짧고, 노즐목이 길며, 노즐발산각도가 작은 경우에는 팽창실의 용적과 차단전류의 크기에 관계없이 아킹시간이 길어지고, 상반되는 경우에는 아킹시간이 차단전류의 크기에 비례해서 나타났다.

- 나. 가동점집과 가동점집가이드가 용착되는 것을 방지하기 위해 가동점집쪽의 접촉자를 유연한(flexible)한 형태로 교체하는 것과 가이드의 앞단의 구조를 변경할 필요가 있다.
- 다. 각 모델차단부가 충전전류차단시험에 있어서 성공적이었으므로 차단부의 소형화를 위해 우선 스트로크 길이의 최적치를 파악할 필요가 있다.
- 라. 100%의 단락전류에 만족한 모델은 1-1의 모델차단부였지만, 나항과 같이 수정, 보완할 경우 팽창실의 용적은 더욱 축소될 수 있을 것이다.

따라서, 상기와 같이 보완대책을 적절히 적용하여 지속적인 개선 연구를 수행한다면, 국제시장에서 경쟁력이 있는 25.8kV 25kA 열팽창 분사식 차단기의 개발이 가까운 시일내에 가능할 것으로 판단된다.

※ 이 연구결과는 과학기술처가 지원한 특정연구과제 94NB333으로 수행한 연구내용중의 일부입니다.

<참고문헌>

1. Y.Ueda, H.Sasao, Y.Murai, K.Yoshinaga, T.Miyamoto, S.Tominaga, "Self-Flow Generation Phenomena in a Gas Circuit Breaker Without Puffer Action", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 8, August 1981. pp 3888 - 3895.
2. H.sasao, S.Hamano, Y.Wada, H.Hasegawa, N.Kobayashi, "Development of a magnet-assisted autopuffer GCB", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 3, July 1990. pp1355 - 1361
3. 송기동, 신영준, 박경엽, 최영길, 송원표, 강중호, "파괴형 GIS/GCB의 유동특성해석", 대한전기학회 1994년도 하계학술대회는문집(C) 1994. 7월. pp1512 - 1516.