

## 7.2kV급 로타리아크 소호방식을 이용한 SF<sub>6</sub>가스 전자접촉기의 차단특성

장기찬, 정진교, 신영준, 김진기\*, 김귀식\*  
 한국전기연구소 개폐장치연구팀  
 \*(주)진광 부설기술연구소

### Interrupting Performance of 7.2kV SF<sub>6</sub> Gas Electromagnetic Contactor Using Rotary Arc Principle

K. C. Chang, J. K. Chong, Y. J. Shin, J. K. Kim\*, G. S. Kim\*  
 Switchgear Research Team KERI  
 \*Jin Kwang Co. R&D Department

#### ABSTRACT

The model interrupters of SF<sub>6</sub> gas electromagnetic contactor whose ratings are 7.2kV, 4.0kA have been designed and manufactured on the basis of theoretical and computational analysis for its development. The eddy current analysis, the magnetic field analysis and the calculation of the rotational force on arcs have been conducted using FLUX2D package.

The short circuit current interrupting tests have been conducted for the model interrupters using the simplified synthetic testing facility in KERI. The results show that the model interrupters have sufficient interrupting capability and the new design concept is proper for good interrupting performance.

#### 1. 서론

전기에너지 배분에서 최종적인 부하개폐용으로 사용하는 고압전자접촉기에 대하여 고선회성, 저씨어지형, 저구동력, 소형경량화 등을 수요자가 요구하여 왔다. 이 요구와 더불어 1973년에 SF<sub>6</sub>가스를 소호매질로 이용한 로타리아크 소호방식의 고압전자접촉기가 최초로 제품화되었으며, 그 이후 계속 연구개발하여 1980년 대초 영구자석을 추가한 로타리아크 소호방식의 고압전자접촉기가 일본에서 최초로 개발되었다. 현재 유럽 및 일본에서 생산되어 전세계적으로 널리 사용되고 있으며 연구개발이 한창 진행중이다.

SF<sub>6</sub>가스를 소호매질로 채용한 로타리아크 소호방식은 접점개리에 필요한 힘만이 소요되며 아크전류에 의해 발생한 에너지를 아크소호에 이용하는 방식으로서 소전류 및 대전류 영역에서 아크소호에 필요한 적당한 소호력을 발생시킬 수 있다. 따라서 기존의 진공접촉기에서 전류차단시 영전류부근에서 전류재단에 의하여 발생하는 개폐어지가 로타리아크 소호방식에서는 거의 발생하지 않는 장점을 지니고 있다.

본 연구에서는 로타리아크 소호방식의 소호원리를 이해하고, 정격전압 7.2kV, 정격차단전류 4.0kA, 정격전류 200A의 SF<sub>6</sub>가스 전자접촉기의 모델소호부를 설계하고, 설계된 모델에 대하여 과도자제해석을 수행하여 효율적인 아크소호를 검증하고 세작하였다. 또한 간이합성시험설비를 이용하여 정격차단성능을 검증하고 아크가 회전할 때의 아크전류와 아크전류를 이용하여 아크특성을 분석하고자 한다.

#### 2. 로타리아크 소호원리

일반적으로 교류차단기의 아크에 단위길이당 다음과 같은 에너지평형식이 성립된다.

$$\Delta t \frac{dQ}{dt} + N = P \quad (1)$$

여기서,  $\Delta t$ 는 미소시간이며, Q는  $\Delta t$  동안 아크에 축적된 에너지, N은  $\Delta t$  동안 아크로부터 빠져나가는 방산에너지, P는  $\Delta t$  동안 아크에 주입되는 에너지이다.

에너지평형식에 의하면 차단성공여부는 교류아크전류가 영점을 향하는 과정에서 주입에너지 P보다 열방산에너지 N이 크게 되고, 축적에너지 Q를 억제할 수 있는 상황일 때에 관계된다. 방산에너지를 크게 하는 통상적인 방법은 단열팽창냉각법, 열전도냉각법, 전하입자확산법 등이 있으며, 로타리아크 소호방식은 이 방법중 열전도냉각법을 이용하는 방식이다. 기존의 puffer방식에서는 고정된 아크주위에 SF<sub>6</sub>가스의 유동이 있어 아크를 냉각시키지만, 로타리아크 소호방식에서는 정체된 SF<sub>6</sub>가스 내에서 아크가 회전하여 냉각되는 방식이다. 정체된 SF<sub>6</sub>가스 내에서 다음 식(2)의 로렌츠힘 의해 아크를 회전시킨다.

$$\vec{F} = \vec{I} \times \vec{B} \quad (2)$$

여기서,  $\vec{F}$ 는 아크가 받는 힘,  $\vec{B}$ 는 아크주변의 자속밀도,  $\vec{I}$ 는 아크전류이다.

따라서 아크는 SF<sub>6</sub>가스내에서 회전력을 받고 회전을 한다. 아크가 회전하면 주위의 SF<sub>6</sub>가스가 아크로부터 에너지를 흡수하게 되며 결국 전류영점에서 아크는 소호된다.

#### 3. 소호부

##### 3.1 소호부 구조

로타리아크 전자접촉기의 모델소호부는 그림 1에 나타나

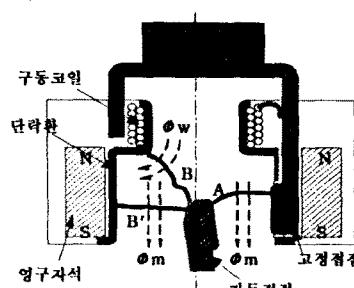


그림 1. 소호부 구조

있으며, 주요 부품은 고정점점, 가동점점, 단락환(아크가이드), 구동코일, 영구자석 등으로 구성되어 있다.

그림 2는 로타리아크 소호부의 전기적 등가회로이다. 등가회로에서 아크 A는 고정점점과 가동점점이 서로 개극하면서 발생한 초기 아크를 나타내고, 아크 B, B'는 영구자석에 의하여 아크가 힘을 받아 단락환으로 전이된 아크를 나타낸다.  $R_1$ 과  $L_1$ 은 각각 구동코일의 저항과 인더턴스를,  $R_2$ 와  $L_2$ 는 각각 단락환의 저항과 인더턴스를 표시한다.

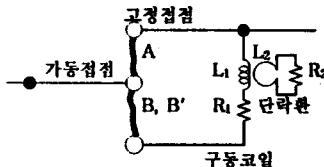


그림 2. 소호부의 등가회로

단락환은 아크회전의 가이드역할과 소호실내의 자속변화에 따른 외전류 통전기능을 동시에 수행하는 부품이다. 단락환의 저항성분과 리액턴스성분의 비에 따라, 아크전류와 아크

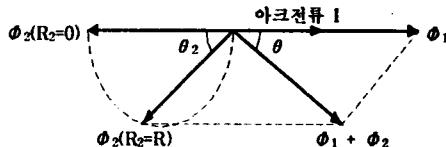


그림 3. 소호부의 자속백터도

를 구동하는데 기여하는 자속( $\Phi_1 + \Phi_2$ )사이에 위상차  $\theta$ 가 그림 3과 같이 결정되므로 단락환은 아크소호에 영향을 미치는 중요한 부품이다. 또한 차단성능에 영향을 미치는 설계변수는 구동코일의 권선수 및 배치, 영구자석의 형상 및 자기특성, 단락환 형상, 접점재질 및 형상, 접점개극속도, SF<sub>6</sub> 가스압력 등이 있다.

### 3.2 모델소호부의 자제해석

모델소호부에 대하여 구동코일에 정격차단전류 4.0kA가 통전되었을 때, 상용전자제작 소프트웨어인 Flux2D를 이용하여 과도자제해석을 하였다. 단락환의 내부자속밀도와 외전류를 차단전류 및 시간에 대해 해석한 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 자속밀도  $B_2$ 는 영구자석의 중심부에서 반경방향으로 2mm씩 증가시킨 곡선이다. 로타리아크 모델소호부를 자제해석한 결과, 반경이 증가하면 전류 첫 영점의 자속밀도는 0.43T에서 0.28T까지 감소하는 것으로

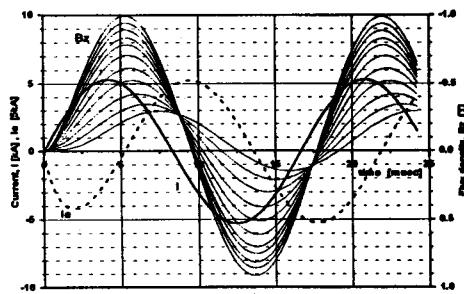


그림 4. 모델소호부 과도해석결과

나타났다. 또한 단락환에 흐르는 단락전류는 약 17.6kA로 해석되었다. 또한 단락환의 두께에 대한 과도자제해석 결과를 그림 5에 나타내었다.

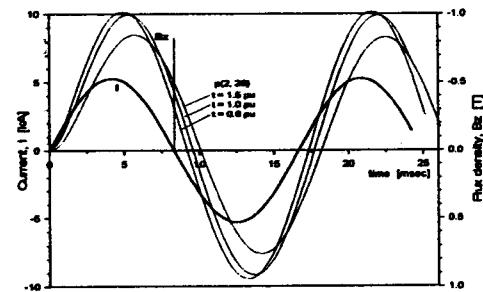


그림 5. 단락환 두께에 따른 자속특성

### 3.3 모델소호부 실험 및 분석

모델소호부의 구동코일에 정격차단전류인 4.0kA가 흐를 때, 자속밀도의 측정치와 계산치를 비교하여 그림 6에 나타내었다. 전류와 자속간의 위상차는 계산치가 26.3도, 측정치가 20.5도로 나타났다. 첫 전류영점에서 자속밀도 계산치가 0.42T, 측정치가 0.34T로 나타났다. 계산치와 측정치의 불일치는 계산시 구동코일의 저항을 무시하고 측정시 영구자석의 영향을 무시하였기 때문으로 사료된다. 또한 실제

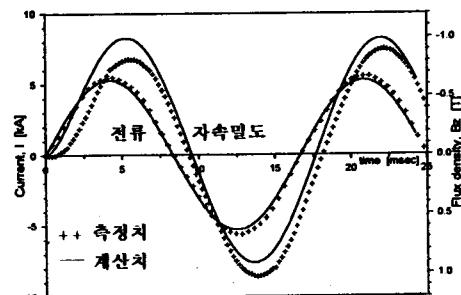


그림 6. 모델소호부의 자속밀도 계산치와 측정치

모델소호부의 계산을 위한 모델간의 약간의 구조적인 차이 때문에 사료된다. 표 1은 간이합성시험설비를 이용하여 제작된 로타리아크 소호방식의 모델소호부의 정격차단특성을 검증하기 위하여 과도회복전압(TRV)을 차단전류 4kA의 영점에 인가하여 실험한 결과이다. 표 1에서 순번 C1, C2, C3의 실험은 모델소호부의 차단한계를 검증하기 위한 것이고 차단한계는 인가된 과도회복전압에 대하여 6.0kA 이하에 존재하는 것으로 나타났다. 표 1의 마지막 줄에 표시된 IEC 632-1의 규격에 명시된 과도회복전압이 인가된다면 6.0kA의 전류도 무난히 본 모델소호부가 차단하는 것으로 판명되었다. 또한 순번 C4에서 C7까지의 실험을 본 모델소호부의 최소 아크시간을 측정하기 위한 실험으로서 6.5ms이상의 아크시간이면 정격차단전류 4.0kA는 차단하는 것으로 나타났다. 순번 C8은 모델소호부의 유전적회복특성을 검증하기 위하여 실시한 실험으로서 전류영점후 약 80μs 시점에서 재점

표 1. 모델소호부의 실험결과

순번	차단 전류 [kA]	아크 시간 [ms]	과도회복전압(TRV)			차단여부	
			$U_c$ [kV]	$t_b$ [ $\mu$ s]	$t_d$ [ $\mu$ s]		
C1	4.07	10.5	12.2	80.0	6.0	0.14	차단성공
C2	5.00	11.5	13.1	80.0	6.0	0.15	차단성공
C3	6.06	11.3	13.1	80.0	6.0	0.15	차단실패
C4	4.14	9.16	12.2	80.0	6.0	0.14	차단성공
C5	4.18	7.26	12.2	80.0	6.0	0.14	차단성공
C6	3.92	7.25	12.2	80.0	6.0	0.14	차단성공
C7	3.92	6.50	12.2	80.0	6.0	0.14	차단실패
C8	3.15	13.8	16.9	80.0	6.0	0.20	차단실패
정격	4.0		12.4	104	-	0.118	IEC 632-1

호가 발생하였으며 이 때의 과도회복전압치는 16.7 kV로 나타났다.

모델소호부의 차단성공시(C1)와 차단실패시의 전압·전류파형을 그림 7, 그림 8에 각각 나타내었다.

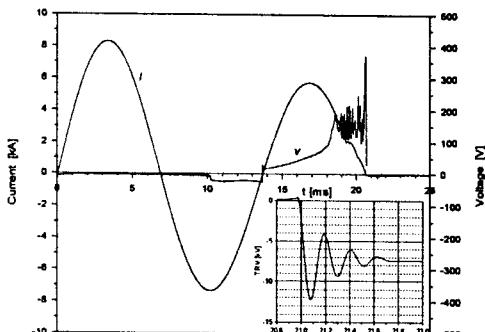


그림 7. 차단성공시(C1) 전압·전류 파형

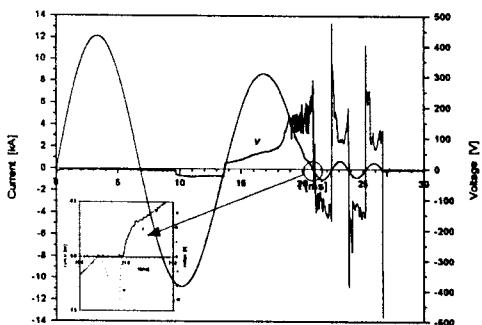


그림 8. 차단실패시(C3) 전압·전류 파형

시험결과 아크는 개극순간부터 영구자석에 의하여 비교적 속도가 느리게 회전하며 고정점점으로부터 단락환으로 전이하고, 전이순간부터 구동코일과 단락환에 전류가 흘러 소호실내에는 비교적 큰 자속이 발생하고, 아크의 회전속도를 증가시켜 아크를 불안정한 상태로 유도하는 것으로 판단된다. 또한 아크전류가 단락환으로 전이되는 시점은 개극후 약 8msec 되는 점에서 발생하는 것으로 나타났다. 이는 아크에 가해진 로렌즈힘이 아크전류크기에 비례하기 때문인 것으로 사료된다. 로타리아크 소호방식에서 아크가 가동점점을 축으로 회전하면 단락환의 아크뿌리와 아크주의 회전속도가 서로 상이하여 아크저항은 증가하는 것으로 나타났다. 또한 아크길이가 길어지면 루프형상이 발생하여 아크

저항의 변화가 심하게 발생하는 것으로 나타났다.

차단성공시(C1)의 아크저항변화를 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서 아크가 단락환으로 전이된 후의 아크저항의 변화는 상술한 원인으로 변화가 심한 것으로 나타났다.

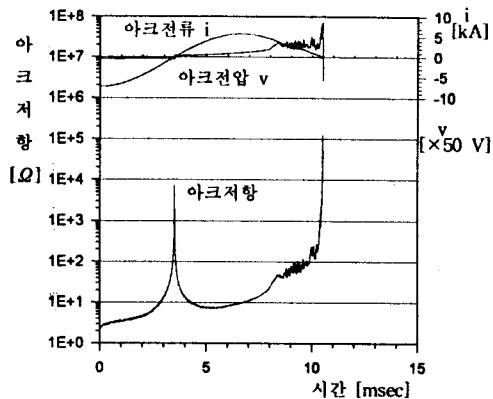


그림 9. 차단성공시의 아크저항 변화

#### 4. 결론

로타리아크 소호방식을 이용한, 정격전압 7.2kV, 정격차단 전류 4.0kA의 SF<sub>6</sub>가스 전자접촉기의 모델소호부를 설계, 제작후 차단시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 정격차단전류 4.0kA에 대하여 차단성능이 확인되었다.
- IEC 632-1에 규정된 과도회복전압에 대해서는 모델소호부의 차단한계는 6.0kA 이상도 가능한 것으로 판단된다.
- 접점이 개극한 후 약 8msec에서 아크가 고정점점에서 단락환으로 전이되었다.
- 아크가 단락환으로 전이되면 아크저항의 변화가 심하며, 루프형상이 발생하였다.

#### 참고문헌

- [1] 武本安生, 渡邊治男, “ロータリーアークシャーダー”, 安川電氣, No. 4, 제 37호, 통권 제 144호, 1973.
- [2] 신영준, “SF<sub>6</sub>가스 자력소호 차단기에 대한 연구동향” KERI 전기기술동향, 제5권 제7호, 한국전기연구소, 1992년, pp1-7
- [3] G.R. Jones, D.R. Turner, J. Spencer, D. Chen and J. Parry, “Factors affecting the performance and properties of an SF<sub>6</sub> rotary arc interrupter,” 2nd Int'l Conf. Devel. Dist. Switching, Publ. No.261, 1986, pp1-5
- [4] L. Keinert, K. Ragaller and D. Poole, “Service experience with, and development of SF<sub>6</sub> gas circuit-breakers employing the self-extinguishing principle,” Int'l Conf. Elec. Dist., 1981, pp36-40
- [5] S. Hamada, Y. Takemoto, Y. Tanaka, T. Matsuo and H. Ishihara, “Small breaking-capacity rotary-arc SF<sub>6</sub> circuit breaker,” 安川電氣, 第41卷 通卷 第156號, No.2, 1977, pp60-66
- [6] T. Matsuo, K. Sato, H. Miyazaki and K. Yamura, “SF<sub>6</sub> gas, rotary-arc circuit breakers,” 安川電氣, 第52卷 通卷 第199號, No.2, 1988, pp95-103
- [7] 장기찬, 신영준, 박경업, 정진교, 김진기, 김귀식, “열팽창분사원리를 이용한 25.8kV급 가스차단기의 차단특성,” 대한전기학회, 1994년도 학제학술대회 논문집 C, pp1603-1605

본 연구는 한국전력공사지원 생산기반기술과제로 수행한 연구결과입니다.