

7.2kV급 로타리아크식 SF₆가스 전자접촉기 소호부 개발연구

장기찬, 신영준, 박경엽, 정진교, 김진기*, 김귀식*, 이승학**
 한국전기연구소, 개폐장치연구팀
 *(주)진광 기술연구소
 **한국전력공사

Development of Model Interrupter of 7.2kV SF₆ Gas Electromagnetic Contactor Using Rotary Arc Principle

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

ABSTRACT

The model interrupters of SF₆ gas electromagnetic contactor whose ratings are the voltage of 7.2kV and the short circuit current of 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 to the model interrupters using the simplified capacitive synthetic test circuit in KERI. The results show that the model interrupters have a sufficient interrupting capability and the new design concept is proper for a good interrupting performance.

1. 서론

1959년에 최초로 미국의 웨스팅하우스사에서 SF₆가스를 소호매질로 이용한 가스차단기가 개발된 이후 SF₆가스는 우수한 소호특성으로 인하여 배전급이상 가스차단기의 소호매질로 널리 사용되어 왔다. 1970년대초 타력에 비해 조작성이 작은 자력소호방식인 로타리아크 소호방식이 개발된 이후 배전급이하 개폐장치에도 SF₆가스가 소호매질로 적용되었으며, 1980년대초 로타리아크소호방식의 보퐁고압전자접촉기가 일본에서 최초로 개발되었다. 현재 유럽 및 일본에서 생산되어 전세계적으로 널리 사용되고 있으며 연구개발이 한창 진행중이다.

SF₆가스를 소호매질로 채용한 로타리아크 소호방식은 타력의 도움없이 아크전류에 의해 발생한 에너지를 아크소호에 이용하는 방식으로서 소전류 및 대전류 영역에서 아크소호에 필요한 적당한 소호력을 발생시킬 수 있기 때문에, 기존의 진공접촉기에서 전류차단시 영전류부근에서 발생하는 개폐서어지가 로타리아크 소호방식에서는 거의 발생하지 않는 장점을 지니고 있다.

본 연구에서는 로타리아크소호방식의 소호원리를 규명하고, 정격전압 7.2kV, 정격단락전류 4.0kA, 정격전류 200A의 SF₆가스 전자접촉기의 모델소호부를 설계, 제작하여 간이합성시험설비를 이용하여 정격차단특성을 검증하고 아크가회전할 때의 아크특성을 분석하고자 한다.

2. 로타리아크소호원리

일반적으로 교류차단기의 아크에 단위길이당 다음과 같은 에너지평형식이 성립된다.

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

여기서, Q는 아크에 축적된 에너지, N은 아크로부터 빠져나가는 방사에너지, P는 아크에 주입되는 에너지, Δt는 미소시간이다.

에너지평형식에 의하면 차단성공여부는 교류아크전류가 영점을 향하는 과정에서 주입에너지 P보다 열방사에너지 N이 크게 되고, 축적에너지 Q를 억제할 수 있는 상황일 때에 관계된다. 방사에너지를 크게 하는 통상적인 방법은 단열팽창냉각법, 열전도냉각법, 전하입자확산법 등이 있으며, 로타리아크 소호방식은 이 방법중 열전도냉각법을 이용하는 방식이다. 기존의 puffer방식에서는 고정된 아크주위에 SF₆가스의 유동이 있어 아크를 냉각시키지만, 로타리아크 소호방식에서는 정체된 SF₆가스 내에서 아크가 회전하여 냉각되는 방식이다. 정체된 SF₆가스 내에서 다음 식(2)의 로렌츠힘에 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.

SF₆가스 전자접촉기의 소호부구조를 그림 1에, 차단시 자속밀도, 전류 및 전압을 그림 2에 나타내었다. 그림 1에서 구동코일은 대전류 차단용이며, 영구자석은 아크를 고정접점에서 단락판(아크가이드)으로 전이시키는 역할과 소전류를 차단하기 위하여 이용된다.

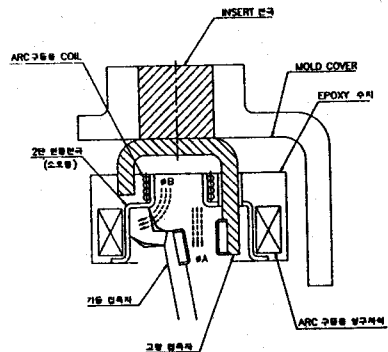


그림 1. 소호부 구조

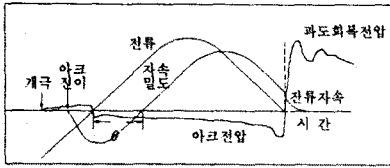


그림 2 로타리아크 차단시의 파형

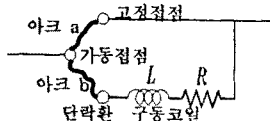


그림 3 로타리아크 소호부의 등가회로

그림 3은 로타리아크 소호부의 전기적등가회로이다. 등가 회로에서 아크 a는 고정접점과 가동접점이 서로 개극하면서 발생한 초기 아크를 나타내고, 아크 b는 영구자석에 의하여 아크가 힘을 받아 단락환으로 전이된 아크를 나타낸다. R과 L은 각각 구동코일의 저항과 인덕턴스를 표시한다.

3. 모델소호부

3.1 모델소호부 구조

로타리아크 전자접촉기의 모델소호부는 그림 4에 나타나 있으며, 주요 부품은 고정접점, 가동접점, 단락환(아크가이드), 구동코일, 영구자석 등으로 구성되어 있다. 단락환은 아크회전의 가이드역할과 소호실내의 자속변화에 따른 와전류 동전기능을 동시에 수행하는 부품으로서, 와전류는 저항성

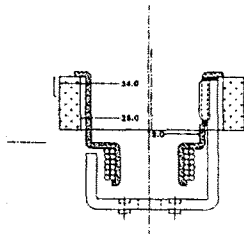


그림 4. 모델소호부

분과 리액턴스성분의 비에 따라 아크전류와의 사이에 위상차가 결정되므로 아크소호에 영향을 미치는 중요한 설계변수이다. 또한 차단성능에 영향을 미치는 설계변수는 구동코일의 권선수 및 배치, 영구자석의 형상 및 자기특성, 단락환 형상, 접점재질 및 형상, 접점개극속도, SF₆가스압력 등이 있다.

3.2 모델소호부의 자체 해석

그림 4의 설계된 모델소호부에 대하여 구동코일에 정격 차단전류 4.0kA가 통전되었을 때, 상용전자계해석 소프트웨어인 Flux2D를 이용하여 과도자체해석을 하였다. 단락환의 내부자속밀도와 와전류를 차단전류 및 시간에 대해 해석한 결과를 그림 5에 나타내었다. 로타리아크 모델소호부를 자체 해석한 결과, 차단전류의 첫 영점에서 0.12T의 자속밀도가, 두번째 영점에서 0.13T의 자속밀도가 아크에 수직으로 인가되는 것으로 나타났다. 또한 아크에 수직으로 작용하는 최대자속밀도는 차단전류 최대점부근에서 0.26T로 나타났다.

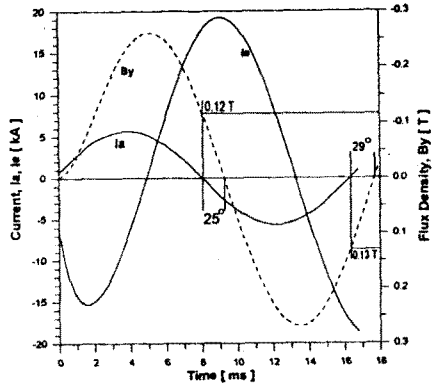


그림 5 모델소호부 과도해석결과

3.3 모델소호부 차단특성 시험 및 분석

모델소호부의 차단성능을 검증하기 위하여 그림 6에 나타나 있는 간이합성설비를 이용하였다. 전류원콘덴서(C₁)에 전압을 충전하여 전류원리액터(L)의 공진회로를 통해 모델소호부에 60Hz의 차단전류를 공급하고, 전류영점전 약 500μs 일 때 전압원콘덴서(C₂)에 충전된 전압을 트리거점으로 방전하면 전압원리액터(L₂)를 통해 약 600Hz의 전류가 주입되어 차단전류와 합성되고, 주입전류 영점에서 과도회복전압이 모델소호부 극간에 인가된다.

그림 6의 간이합성시험설비를 이용하여 설계·제작된 로타리아크 소호방식의 모델소호부의 정격차단특성을 검증하기 위하여 과도회복전압(u_c=13kV, t₃=58μs, u_c/t₃=0.25kV/μs)을 차단전류 4kA의 영점 직후에 인가하여 시험하였다.

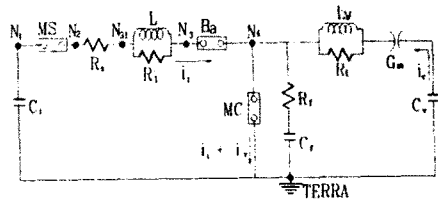


그림 6 간이합성시험설비 회로도

모델소호부는 정격차단전류시험에 대하여 성공적으로 차단하였다. 그 결과를 표 1에 정리하였으며 차단전류 및 아크전압 파형을 각각 그림 7의 (a) (b)에 나타내었다.

표 1 시험결과

차단 전류 [kA]	아크 시간 [ms]	전이 시간 [ms]	과도회복전압				차단 여부
			u _c [kV]	t ₃ [μs]	t ₅ [μs]	u _c /t ₃ [kV/μs]	
5.0(3.0)*	11.0	6.5	13.0	58.0	0	0.25	성공

주) * : 개극점전류지(전류영점전 반과전류지)

시험결과 아크는 개극순간부터 영구자석에 의하여 비교적 속도가 느리게 회전하며 고정접점으로부터 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 시작점은 아크전류가 최대치가 되는 점에서 발생하는 것으로 나타났다. 이는 아크에 가해진 로렌츠힘이 아크전류크기에 비례하기 때

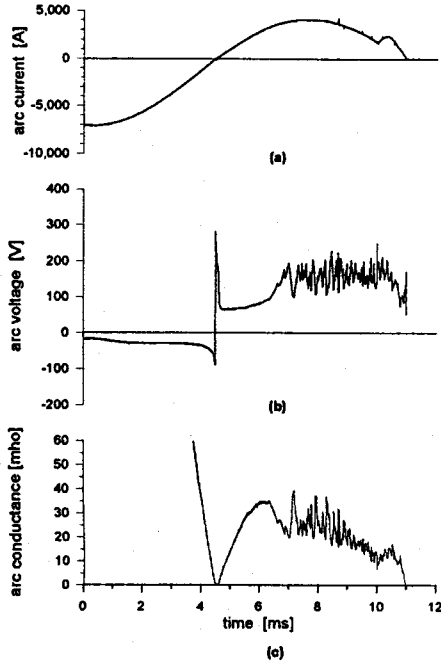


그림 7. 시험결과
(a)아크전류 (b)아크전압 (c)아크콘дук탄스

문인 것으로 사료된다. 로타리아크 소호방식에서 아크가 이동접점을 축으로 회전하면 단락환의 아크뿌리와 아크주의 회전속도가 서로 상이하여 아크저항은 증가하는 것으로 나타났다. 또한 아크길이 길어지면 루핑형상이 발생하여 아크 저항의 변화가 심하게 발생하는 것으로 나타났다.

4. 결론

로타리아크 소호방식을 이용한, 정격전압 7.2kV, 정격차단 전류 4.0kA의 SF₆가스 전자접촉기의 모델소호부류 설계, 제작후 차단시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

-정격차단전류 4.0kA, TRV($u_c=13kV$, $t_3=58\mu s$, $u_c/t_3=0.25kV/\mu s$)에 대하여 차단성능이 확인되었다.

-차단전류 최대치부근에서 아크가 고정접점에서 단락환으로 전이되었다.

-아크가 단락환으로 전이되면 아크저항이 증가하며 루핑현상이 발생하였다.

참고문헌

- [1] 武本安生, 渡邊治男, "로-타리 아-크 셔-斷器", 安川電氣, No. 4, 제 37호, 통권 제 144호, 1973.
- [2] 신 영준, "SF₆가스 자력소호 차단기에 대한 연구동향," KERI 전기기술동향, 제5권 제7호, 한국전기연구소, 10월 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 SF₆ 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 SF₆ 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 SF₆ 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, "SF₆ 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, 박경엽, 정진교, 김진기, 김귀식, "열팽창 분사원리를 이용한 25.8kV급 가스차단기의 차단특성," 대한전기학회, 1994년도 하계학술대회 논문집 C, pp1603-1605

본 연구는 한국전력공사지원 생산기반기술과제로 수행한 연구결과입니다.