

자력팽창 및 아크 회전에 의한 배전급 SF₆ 복합소호부 개발 연구

이방욱*, 손종만, 강종성, 최원준, 김영근, 서정민
LG 산전 전력연구소 전력기기 연구팀

Investigation on SF₆ Hybrid Interrupter using Thermal Expansion and Arc Rotation Principle

B.W. Lee*, J.M. Sohn, J.S. Kang, W.J. Choe, Y. K. Kim, J.M. Seo
Electric Equipment Team, Electro Technology R&D Center, LG Industrial Systems

Abstract - This paper considers the research of the hybrid interrupter which adopts both rotating arc and thermal expansion technology. The operating principle of this device depends on rapid arc rotation due to the magnetic field created by the fault current through a coil which is mounted on contacts and also relies on the principle of thermal expansion created by arc energy in extinguishing chamber and finally causes pressure rise in expansion volume. In this research, the principle of the interrupting techniques are given and experimental results of hybrid interrupter which is developed by new technology is introduced.

1. 서 론

SF₆ 가스를 차단매질 및 절연매질로 이용하는 소호방식은 20년이상 많은 연구개발이 진행되어 왔으며, 최근까지 주로 적용하고 있는 소호방식을 크게 4가지로 나누면 전자식(rotary-arc)소호방식, 열팽창식(thermal expansion)소호방식, 분사식(puffer)소호방식, 복합(hybrid)소호방식등이 있다. 초고압 기기에서는 대부분 puffer 소호 방식을 선호하고 있지만, 배전급 기기에서는 구동메카니즘의 단순화 및 접점 용삭 방지, 대기압 수준의 SF₆ 가스압 사용 등이 요구되므로, 앞서 언급한 새로운 소호방식이 등장하여 사용되고 있다. 이중 복합 소호방식은 앞에서 언급한 전자식 소호방식과 열팽창식 소호방식을 합친 새로운 중첩 소호방식으로 다른 소호방법에 비해 차단전류의 증가에 따른 아크소호능력이 매우 우수하며, 가격경쟁력과 제작의 용이성등을 갖춰 배전급 차단기기의 성능 향상에 이상적인 소호방식으로 인정되고 있다[1,2].

배전급 차단기 및 개폐기의 소호부로서는 VI(Vacuum Interrupter)를 이용한 소호부가 많이 이용되고 있지만, 진공 소호부를 이용하는 경우 각 차단용량에 따라 VI를 해당 제조업체에서 개발하여야 하며 제품과 소호부의 이원화 및 고가의 가격으로 인해 제품의 개발기간 및 가격경쟁력 저하의 요인이 되기도 하며, 차단용량의 향상 및 스위칭 써지 저감등의 문제가 대두되고 있다. 따라서 현재 선진 업체에서는 그림 1에서 알수 있는 것처럼 차단전류의 증가에 따라 차단성능이 크게 증대되는 새로운 중첩 소호방식에 대한 활발한 연구가 진행되고 있으며, 이미 새로운 고차단, 고성능 제품들이 시장에 출시되고 있다[3,4].

그림 2는 아크 회전 방식, 자력소호방식, 복합소호방식 사용에 관한 통계이다.

위 그림에서 알 수 있듯이 복합소호방식 차단기는 주로 유럽 M.G, ABB사와 일본의 日新사에 핵심 모델로 개발하고 있으며, rotating Arc 방식은 유럽, 미국, 일본 등 많은 회사가 채택하고 있는 차단방식이다. 순수한 자력소호방식은 아직 널리 상용화되어 제작되지는 못했지

만, 세계 각국의 몇몇 메이커가 개발 채택하고 있다. 복합소호방식에 관한 핵심 기술은 주로 구동 코일 관련부와 팽창실에 관한 것이 주종을 이루며, 현재 선진업체에게 특허를 독점하고 있는 관계로 개발에 어려움이 많이 존재한다.

본 연구에서는 위와 같은 배전급 가스차단부의 필요성 및 세계화 기술동향에 적극 대응하기 위해 대기압 수준의 가스압을 사용하며, 아크회전 및 자력팽창 방식의 장점을 보유한 정격 24kV, 25kA 소호부 개발을 시작하게 되었으며, 현재 구동코일의 설계 및 제작, 팽창실에 관한 설계가 진행되고 있고, 복합소호 현상을 계측 및 관측할 수 있는 아크발생장치 및 모의 소호부 챔버를 제작하여 차단시험을 실시하고 있다. 본 논문에서는 복합소호부에 대한 구동원리 및 작동 메카니즘을 분석하고, 자사에서 개발하고 있는 복합소호부에 관한 실험 및 계측결과에 관해 간략히 소개하고자 한다.

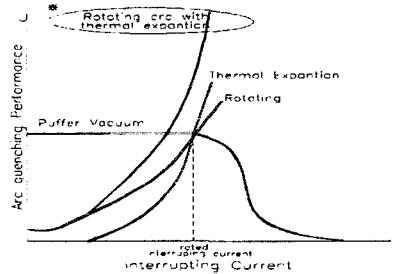


그림 1 차단전류에 따른 소호방식 개발 동향

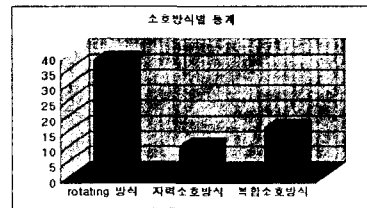


그림 2 소호 방식별 사용 현황

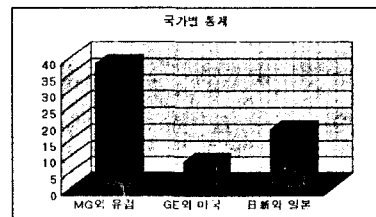


그림 3 국가별 가스 소호부 사용 현황

2. 본 론

2.1 복합소호부 작동원리

아크 회전을 이용한 차단(로타리 아크 차단기)

노즐 및 puffer를 사용하지 않는 로타리 아크 차단기가 유럽 및 일본을 중심으로 개발되어 시판되고 있고, 로타리 아크 차단기의 차단방식은 크게 나선형 아크형, 동심환형 아크형으로 구분된다. 차단 메커니즘을 살펴보면, 나선형아크방식에서는 봉접점과 환상접점사이에서 아크 발생하고 아크 전이부를 통해 아크 전이가 되고 이로 인하여 자계가 생성되어, 아크를 최대자속밀도 생성시 차단하는 방식이며, 동심환형 링방식에서는 차단부가 두개의 아크접점, 주접점의 환상 접점으로 구성되어 있으며, 아크 전이부가 없는 구조이다. 이때 구동 코일에 의해 발생하는 자속의 위상은 아크 전류와 동상이며, 아크 전류의 영점 부근에서 자속이 더 이상 발생하지 않게 되면 아크 구동력도 없어지게 된다. 따라서 사고전류의 차단을 위한 가장 적절한 아크 제어를 위해서는 사고 전류와 자속밀도간의 위상차를 최적화하는 문제가 핵심기술이다. 교류 차단기에서는 아크 전류 영점 부근의 현상이 중요하다. 왜냐하면, 이 영역에서 발생 자속이 크게 되면 차단 성능도 좋아지기 때문이다. 따라서 소호부내의 전자계해석을 통해 아크가 받는 구동력, 전류영점에서의 자속밀도 계산을 통해 차단 성능 예측을 해야 하며 이에 대한 연구가 필요하다.

현재 자사 복합소호부 아크회전방식으로 채택한 것은 환상아크방식이며, 환상접점 구조 구동 메커니즘은 아크를 가동자와 고정 환상접점사이에서 구동시켜 소호하는 방식으로서, 아크 구동력은 부하전류 그 자체에 의해 발생하는 자계에 의하여 형성되며 아크에 작용하게 된다. 아크 차단기 구성요소는, 자기 코어, 실제 차단전류가 흐르게 되는 코일, 자기 회로, 고정자 주접점, 고정자 아크 접점, 가동 아크 접점, 가동 주접점으로 구성되어 있으며 아래 그림에 간략 구조가 나타나 있다.

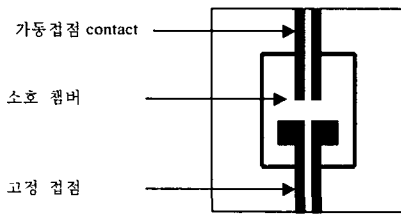


그림 4 복합 소호부 간략 구조

자력팽창 소호방식

복합소호방식 소호부에서 핵심이 되는 것은 아크열에 의한 팽창실내의 압력 상승, 즉 자력팽창이라 불리는 메카니즘이다.

자력팽창(auto expansion) 원리는 가스팽창과 더불어 자체내에서의 아크 회전을 연동한 것이다. 이 방식을 사용하면 아크는 자계에 의하여 강제로 회전하게 되는데 그 자계는 고정전류가 코일 또는 솔레노이드로 흐를 때 발생한다. 아크가 빨리 회전함에 따라 아크는 냉각되고 또한 접점용삭을 획기적으로 줄일 수 있다.

동작 메카니즘을 살펴보면, 접점은 상대적으로 작은 소호부내에서 개리되고, 아크에 의해서 발산된 에너지는 주변 가스를 가열, 주변영역의 압력이 높아지게 된다. 압력의 상대적 차로 인하여 가스가 속이 빈 아크접점 내부로 불어오게 되어 아크를 냉각시킨다. 또한 고정자 코

일접점에 의해 형성된 자계는 아크 회전의 장점을 응용하여, 아크를 중심쪽으로 모아주는 역할을 한다.(그림 5)

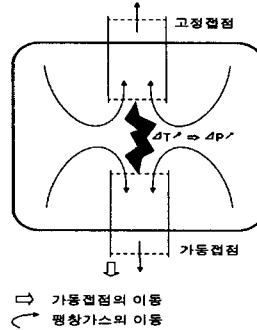


그림 5 복합소호부 소호 메카니즘

2.2 소호부 제작 및 실험

차단기 소호부를 개발하기 위해서는 여러 차례의 차단성능 실험과 소호부의 압력상승, 온도상승, 아크전류, 아크전압 등을 측정할 필요가 있다. 이러한 실험을 하기 위해서 LC공진회로를 이용한 아크발생 실험장치를 구축하여 차단기 소호부 개발에 이용하고자 하였으며, 그 구성은 아래 그림과 같다.

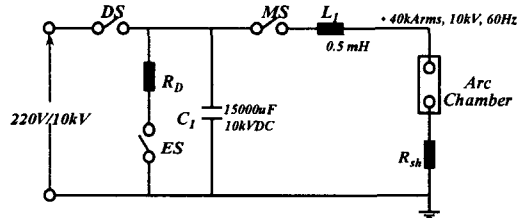


그림 6 아크발생 실험장치 회로도

또한 복합소호부 개발을 위해 소호부의 코일 구조, 팽창실 면적, 아크 전압, 전류에 따른 아크의 안정도 파악, 아크에너지에 의한 팽창실 압력상승 등에 대한 실험적 연구를 위해 복합소호부 실험용 챔버를 제작하였다.

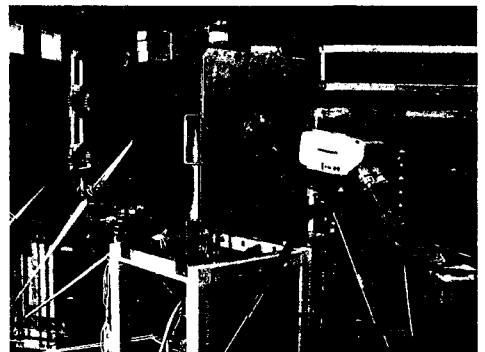


그림 7 복합소호부 실험용 챔버

챔버 내부에는 복합소호부가 장착되어 있으며, 챔버 내부가스압은 1.5bar, 구동메카니즘은 공압을 사용하였고 구동속도는 약 2m/s로 하였다. 복합소호부에는 자체 제작한 코일을 이용한 아크 회전자부 및 팽창실이 설치되어 있으며, 아크발생실험장치를 이용하여 차단실험을 실시

하였다.

본 실험장치는 전류원만 갖추고 있으므로 실제 합성설비와는 차이가 있지만 소호부 차단특성 검증에는 유효하게 사용할수 있었으며, 아크 전압 및 아크전류를 측정하였고, 고속카메라를 이용하여 복합소호부내에서 아크의 발생에서부터 소멸에 이르는 과정에 대한 관측이 가능하였다.

그림 8은 장착된 복합소호부에 관한 차단실험 파형을 보여주고 있다.

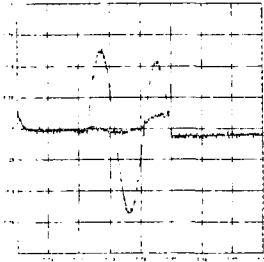


그림 8 3.5kV, 10kA 인가시 복합소호부 차단특성 파형

그림 9는 복합소호부에 대한 고속카메라 촬영으로부터 얻은 소호 특성을 보여주고 있다.

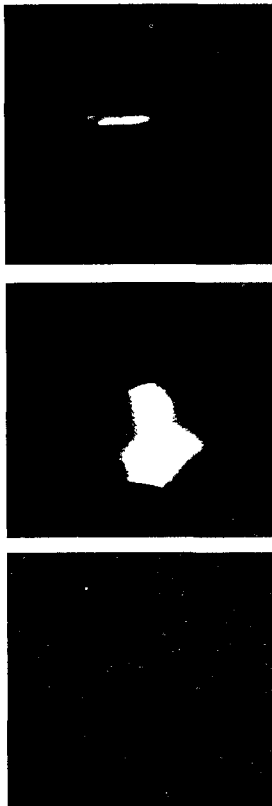


그림 9 고속카메라를 이용한 복합소호 현상 관측

복합소호부에 대한 고속카메라를 이용한 계측을 실시한 결과 아크점접 사이에서 발생한 아크는 설치된 구동코일에 의해 발생한 자계구동력에 의해 매우 빠른 속도로 갭 안에서 회전하는 현상을 나타내었고, 아크는 점접밖으로

이탈하지 않았으며, 이 아크회전에 의해 전달된 에너지에 의해 소호부내에서 압력상승이 일어나 결국에는 전류 영점 부근에서 아크가 점접 사이에서 일직선으로 위치하여 소호되는 전형적인 복합소호 특성을 잘 보여줌을 알 수 있었다. 이 현상은 인가 전류가 커질수록 더욱 확실하게 계측이 가능하였다.

복합소호부 차단시험은 기존 선진사 제품 및 자체 제작한 4가지 type의 소호부를 대상으로 실험을 실시하였으며, 최대 25kA까지 전류를 인가하였다. 그 결과 선진사 제품은 정격 16kA 제품으로서 그 이상의 전류 인가시 차단성능 저하가 나타났으나, 자체 제작 소호부를 대상으로 한 실험에서는 두가지 type의 소호부에서 선진사 제품에 필적하는 소호능력을 나타내었고, 그 이상의 인가 전류(~30kA)에도 소호 성능을 입증함으로써, 자체 기술 및 설계에 의한 복합소호부 개발에 가능성을 보여주었다.

3. 결 론

복합소호부 개발을 위해 소호부 핵심기술인 아크회전기술, 자력팽창 기술에 관한 해석연구를 바탕으로 제작한 복합소호부에 대한 아크계측 및 차단시험 결과, 복합소호부내의 아크회전현상 및 소호현상을 확인하였으며, 정격 25kA 고장전류에 대한 차단성능이 있음을 알 수 있었다. 하지만 아직까지는 실험실 수준에서 연구가 진행되었으므로, 빠른 시일 내에 소호부 구동코일 및 팽창실에 대한 최적화를 이루고, 단락 시험을 통해 차단 성능을 입증한다면, 세계 시장에서 가격 경쟁력 및 제품 경쟁력을 갖춘 가스 차단기 개발에 기여할 수 있는 기초 기술을 확보하였다고 할 수 있으리라 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] P. Scarpa, B. Dauby, " SF₆ Atuo Expansion Circuit Breaker Design", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.7 No.1, January 1992
- [2] K.P. Guruprasad et al. " Investigation of the Characteristics of an SF₆ Rotating arc by a mathematica model", IEEE Trans. on Power Delivery, vol.7 No.2, April 1992
- [3] G. Bernard et al., "An SF₆ Circuit breaker using the autoexpansion principle", IEEE Trans. on Power Delivery, vol.3 No.4, April 1988
- [4] D. R. Langeac, M. R. Barrault, "Optical diagnostics in the design and development of rotary autoexpansion SF₆ circuit breakers", IOP Publishing Ltd. 1987