

## SF<sub>6</sub> 가스를 이용한 배전급 RMU용 소호부 개발

이방욱<sup>o</sup>, 손종만, 서정민, 최종웅  
LG 산전 전력연구소

### Development of Medium Voltage SF<sub>6</sub> Interrupter for RMU

B.W. Lee<sup>o</sup>, J.M. Sohn, J.M. Seo, J.W. Choe  
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.

단, 고성능 제품들이 시장에 출시되고 있다[3,4].

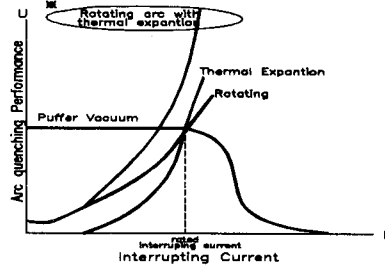


그림 1. 차단 방식별 소호 능력 비교

## 1. 서 론

SF<sub>6</sub> 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)소호방식 등이 있다. 초고압 기기에서는 대부분 puffer 소호 방식을 선호하고 있지만, 배전급 기기에서는 구동메카니즘의 단순화 및 접점 용삭 방지, 대기압 수준의 SF<sub>6</sub> 가스압 사용 등이 요구되므로, 앞서 언급한 새로운 소호방식이 등장하여 사용되고 있다. 이중 복합소호방식은 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].

## 2. 복합소호부 작동 원리

### 복합소호방식 구조

복합소호방식은 자계 구동력에 의한 회전 전자 아크소호 방식과 아크 발생시 상승된 열가스의 압력을 차단 성능의 향상에 이용하는 열팽창 자동소호 방식을 합친 새로운 중첩소호 방식으로서, 제품의 성능을 향상시키는 가장 이상적인 방식으로 판단되고 있다.

동작 원리는 접점은 소호부내에서 개리되고, 아크에 의해서 발산된 에너지는 주변 가스를 가열, 주변영역의 압력이 높아진다. 이때 압력의 상대적 차이로 인하여 가스가 빈 아크점점 내부로 불어오게 되어 아크를 냉각시키며 코일점점에 의해 형성된 자계는 아크를 중심쪽으로 모아 이탈을 방지하게 한다.

복합소호방식의 우수한 성능에 관하여 중요한 점들을 정리하면 다음 표와 같다.

표 1. 복합소호 방식의 장점

특징	결과	원인
접점 용삭	극히 적다 : 진공	빠른 아크 회전
구동 에너지	극히 적다	가스 유동을 일으키기 위한 피스톤 운동이 없음
SF <sub>6</sub> 구동 가스압	특히 낮다. 대기압 수준	차단 효율성 + 절연설계
작동 전압	고압 + 초고압	
과전압 생성	극히 적다	로타리 아크 기기와 동일

배전급 차단기 및 RMU 등 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 개발 기간 및 가격경쟁력 저하의 요인이 되기도 하며, 차단용량의 향상 및 스위칭 써지 저감등의 문제가 대두되고 있다. 따라서 현재 선전 업체에서는 차단전류의 증가에 따라 차단성능이 크게 증대되는 새로운 중첩 소호방식에 대한 활발한 연구가 진행되고 있으며, 이미 새로운 고차

### 복합소호부 열팽창 및 압력상승

복합소호부 차단기 개발에 있어서 핵심 사항은 외부 에너지원 공급이 필요없이 실제 차단전류로부터 차단에너지를 획득하는 것이며, 이를 실현하기 위해 SF<sub>6</sub>의 뛰어난 특성을 최대한 이용한다. 차단 방법은 SF<sub>6</sub> 가스의 열팽창에 의한 압력상승으로 인한 가스분사로서 전극들이 개리될 때 전극사이에 자연적으로 아크가 형성되며, 아크로부터 에너지가 발생되어 전도, 복사, 대류에 의해 가스공간으로 방출된다

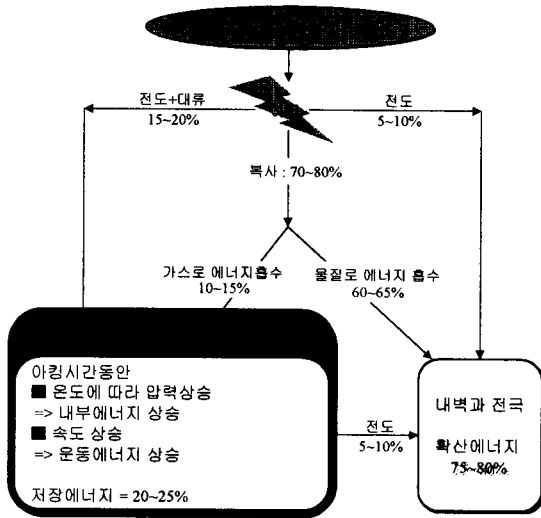


그림 2. 아크에 의한 소호부 에너지 분포도

열팽창소호부에서 열 발생량 중 대략 25%의 아크에너지는 뜨겁게 가열되는 SF<sub>6</sub>가스로 전달된다. 만약 전극이 한정된 공간내에 있다면 온도증가로 인해 가스 압력을 상승시키게 되며, 전극중 하나가 속이 비어 있다면 가스는 상승압력으로 인해 전극내의 냉가스 영역으로 흐르게 된다. 가스가 흐르면서 전극 사이에 형성된 아크를 냉각시키고, 이때 빈전극은 배출 노즐의 역할을 하게 된다. 위 사항을 고려한 전체적인 동작 및 아크 소호 구조는 아래 그림과 같다.

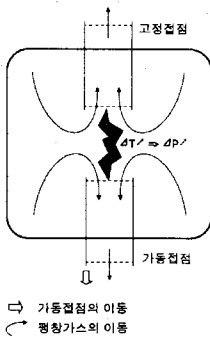


그림 3 열팽창에 의한 아크 소호

위 그림에서 아크 고유의 성질에 의해 아크를 중심으로 유도하지 않는다면, 전기 역학적 힘의 영향으로 축방향으로부터 벗어나게 되므로 이러한 현상을 방지하기 위해 아크를 제어해야 한다.

아크 제어를 위한 방식은 자기제어 방식을 쓴다. 자기제어(magnetic control)방식은 자석과 코일에 의한 자기장의 영역에 있는 아크는 축방향성분으로 인해 중심으로 집중하고, 횡방향성분의 영향으로 회전하게 되는 원리를 이용한 것이다.

### 3. RMU 용 복합 소호부 개발

#### 소호부 제작 및 실험

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

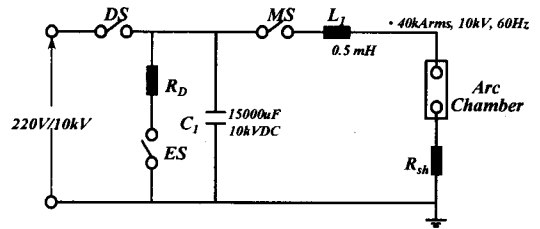


그림 4. 차단부 시험용 전류원 회로도

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.

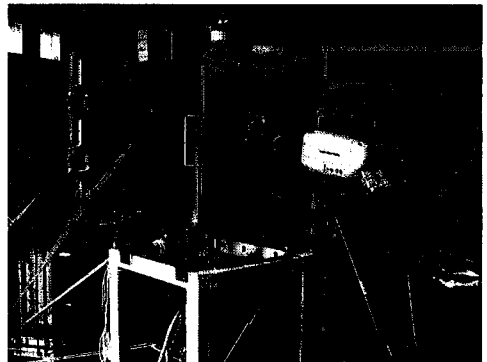


그림 5 복합소호 차단부 실험용 챔버

챔버 내부에는 복합소호부가 장착되어 있으며, 챔버 내부 가스압은 1.5bar, 구동메카니즘은 공압을 사용하였고 구동 속도는 약 2m/s로 하였다. 복합소호부에는 자체 제작한 코일을 이용한 아크 회전부 및 팽창실이 설치되어 있으며,

아크발생실험장치를 이용하여 차단실험을 실시하였다. 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. 또한 복합소호부 개발을 위해 소호부의 코일 구조, 팽창실면적, 아크 전압, 전류에 따른 아크의 안정도 파악, 아크에너지에 의한 팽창실 압력상승 등에 대한 실험적 연구를 위해 복합소호부 실험용 챔버를 제작하여 개발된 소호부를 챔버 내부에 장착하여 차단성능을 테스트 하였다.

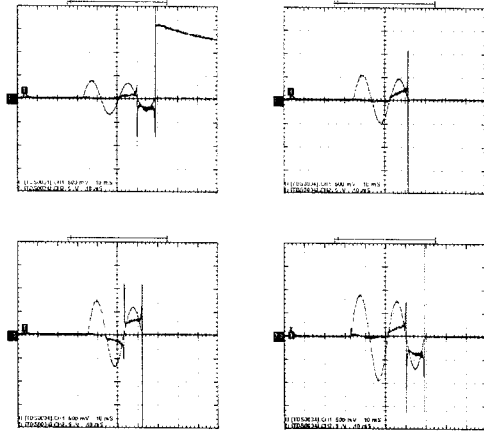


그림 6 복합소호부 차단특성 파형

복합소호부 차단시험 결과 3kA에서 25kA에 이르기까지 차단이 양호하게 이루어짐을 확인할 수 있었다. 다음 그림은 복합소호부에 대한 고속카메라 촬영으로부터 얻은 소호 특성을 보여주고 있다. 고속 카메라 촬영 목적은 실제 아크가 자계구동력에 의해 회전이 되고 있는지 아크가 축상에서 control되고 있는지, 아크 소호가 이루어지고 있는지 확인하기 위한 목적이다.

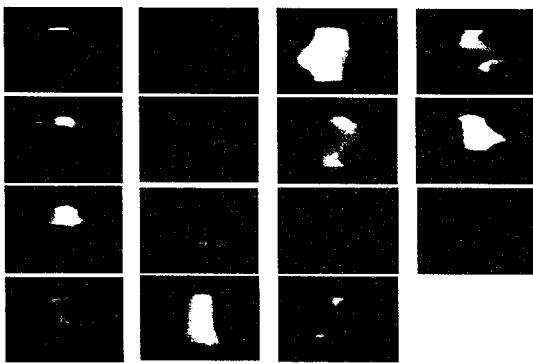


그림 7. 고속카메라를 이용한 복합소호 현상 관측

복합소호부에 대한 고속카메라를 이용한 계측을 실시한 결과 아크점점 사이에서 발생한 아크는 설치된 구동코일에 의해 발생한 자계구동력에 의해 매우 빠른 속도로 갭간에서 회전하는 현상을 나타내었고, 아크는 점점밖으로 이탈하지 않았으며, 이 아크회전에 의해 전달된 에너지에 의해 소호부내에서 압력상승이 일어나 결국에는 전류영점 부근에서 아크가 점점 사이에서 일직선으로 위치하여 소호되는 전형적인 복합소호 특성을 잘 보여줌을 알 수 있었다. 이 현상은 인가 전류가 커질수록 더욱 확실하게

계측이 가능하였다.

아래 그림 8에서 볼 수 있듯이 일련의 차단실험이후의 전극의 손상 정도가 극히 미비함을 알 수 있고, 특히 아크는 점점밖으로 이탈하지 않았으며 아크점점주변으로만 아크가 움직였음을 알 수 있었다.

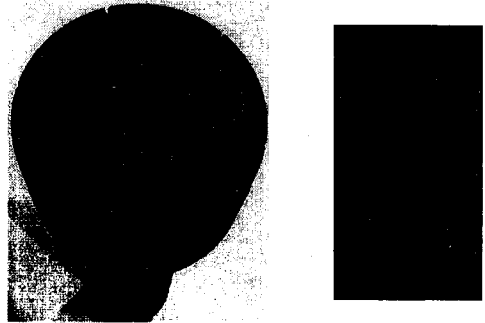


그림 8 차단실험이후의 전극 그림

아크 발생장치를 이용한 소호부 시험결과 양호한 결과를 얻었고, 이를 바탕으로 실제 단락시험을 실시하였다. 단락시험은 차단 정격인 24kV, 25kA 단상으로 이루어졌으며 Duty1~Duty5에 이르는 전 영역에 걸쳐 IEC60056 규격에 의거하여 실시되었다. 시험 결과 모든 시험에서 양호한 시험결과를 보여주었고 있다. 그림 9와 그림 10에서는 차단 시험 파형을 보여주고 있다.

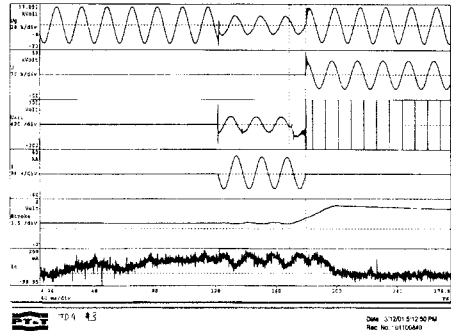


그림 9. 24kV, 25kA TD 4 차단시험 파형

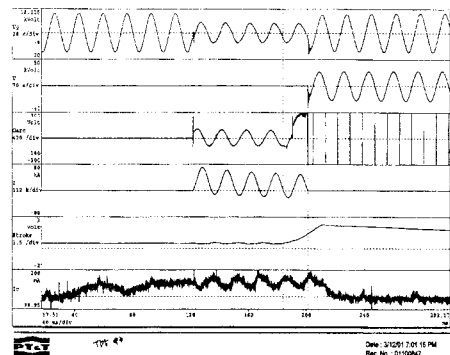


그림 10. 24kV, 25kA TD 4 차단시험 파형

본 개발 소호부에 대한 차단성능이 입증되어 복합소호방식의 RMU 적용이 가능하리라는 결론을 얻었다. 시험 결과를 바탕으로 구성된 3상 소호부 구조는 아래 와 같다.

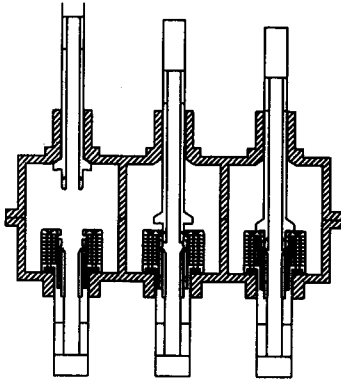


그림 11. 3상 복합소호부 단면도

#### 4. 결 론

복합소호부 개발을 위해 소호부 핵심기술인 아크회전기술, 자력팽창 기술에 관한 해석연구를 바탕으로 새로운 소호부를 개발하였다.

새로이 개발된 복합소호부는 구동코일 내부에 arc align 장치와 flexible finger 형태의 고정 아크접점을 삽입하여 아크소호를 용이하게 하고, 통전전류를 증가시키고, 접압 스프링이 필요 없는 차단부를 구성할 수 있게 하였다.

개발된 소호부를 기 제작된 실험철판에 삽입하고 대전류원 실험장치를 이용하여 차단실험을 하였고, 그때 아크의 거동을 고속카메라로 시각화하였다.

실험 결과 복합소호부내의 아크회전현상 및 소호현상을 확인하였으며 정격 25kA 고장전류에 대한 차단성능이 확인되었다. 또한 실 단락시험을 실시하여 차단 성능을 확인하였다.

현재 본소호부 구동에 필요한 메카니즘 개발작업 및 RMU 구성이 이루어지고 있으므로 빠른 시일내에 복합소호부를 장착한 RMU가 등장하리라 사료된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] P. Scarpa, B. Dauby, " SF<sub>6</sub> 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 SF<sub>6</sub> Rotating arc by a mathematica model", IEEE Trans. on Power Delivery, vol.7 No.2, April 1992
- [3] G. Bernard et al., "An SF<sub>6</sub> 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 SF<sub>6</sub> circuit breakers", IOP Publishing Ltd. 1987