

## 자력팽창 및 아크회전 원리를 조합한 배전급 복합소호부 개발

손종만<sup>o</sup>, 강종성, 이방욱, 오일성, 최종웅  
LG 신전 전력연구소

### Development of SF<sub>6</sub> Hybrid Interrupter Using Thermal Expansion and Arc Rotation Principle

J.M. Sohn<sup>o</sup>, J.S. Kang, B.W. Lee, I.S. Oh, J.W. Choe  
Electro Technology R&D Center, LG Industrial Systems

**Abstract** - The RMU is a power apparatus which is used in loop network distribution system. This paper considers the development of the hybrid interrupter in RMU which adopts both rotating arc and thermal expansion technology. Because of the operating principle of this device, it has some merit, compared with other interrupter.

In this research, the geometric construction of the interrupting techniques are given and experimental results of hybrid interrupter which is developed by new technology is introduced.

#### 1. 서 론

RMU(Ring Main Unit)은 배전급에 사용되는 기기로 일종의 LOOP형 배전방식에 적용되도록 만들어진 고압 전력기기이다. 주된 기능은 부하개폐 및 다른 전로로 전력공급을 전환하는 배전기능과 사고 시 사고 전류를 차단하는 기능을 가진다. 이 RMU(Ring Main Unit)의 소호부로 가장 많이 사용되는 방식은 VI(Vacuum Interrupter)로 매우 고가의 소호부이며, 최근들어 VI를 대신하여 RMU에 적용되는 소호방식은 Rotary Arc방식과 두 가지 이상의 소호 원리를 이용하는 복합 소호부의 연구가 활발히 진행되고 있다. Rotary Arc 소호부는 VI에 비하여 제조 방법이 쉽고, 가격이 저렴하고, 스위칭 써지가 발생하지 않는다는 장점이 있지만, 소전류 차단이 어려움과 차단용량의 한계성 때문에 Rotary Arc와 열팽창 방식을 동시에 이용하는 복합 소호부 연구에 많은 관심이 집중되고 있다. 복합소호부는 가격 및 제조상 이점이 있고, 동시에 소전류차단의 용이함, 낮은 스위칭써지, 고차단용량 등 기존의 VI 방식의 소호부를 대체할 할 만한 유일한 Gas(SF<sub>6</sub>) 차단부로 주목되고 있다. 현재 복합 소호 기술을 보유한 회사는 유럽의 몇 업체 뿐이며, 국내에서는 그 연구가 아직 미흡한 실정이다

본 연구에서는 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, 구동코일의 설계 및 제작, 팽창실에 관한 설계가 진행되었고, 복합소호 현상을 계속 및 관측할 수 있는 아크발생장치 및 모의 소호부 챔버를 제작하여 개발된 소호부의 차단성능을 실험하였다. 본 논문에서는 자체 개발된 복합소호부에 관한 실험 및 측정결과와 그 차단특성에 관해 소개한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 RMU 복합소호부 개발

Rotary Arc 소호부는 고정접점과 가동접점 사이에 아크가 발생하면 구동코일에 아크 전류에 흐르고 구동코일에

의해서 발생한 자속에 의해서 아크를 회전시켜 냉각시키는 방법으로 아크를 소호한다. Rotary Arc 소호부의 장점은 아크를 회전시키기 때문에 아크 접점의 손상이 적고 구조가 매우 단순하다. 하지만 소전류 차단시 구동코일의 소전류가 흘러 충분한 구동 자속을 발생시키지 못하기 때문에 소전류 차단이 어렵고, 아크 회전에 의한 냉각방식만을 이용하기 때문에 차단용량이 커지면 차단부의 크기 및 Stroke가 길어져야 하므로 차단용량을 높이는 데는 한계가 있다.

이러한 Rotary Arc 소호부의 단점을 보완하기 위해서 Rotary Arc와 열팽창 소호원리를 복합시킨 복합소호부의 필요성이 대두 되었다. 복합소호 방식은 Rotary Arc의 아크 회전 운동과 아크 에너지에 의한 열팽창으로 아크 챔버내의 압력상승을 이용한다. 챔버 내의 압력상승은 가스흐름을 아크 접점 중앙부에 있는 배기구를 통하여 가스를 배출시키는데 이때 가스의 흐름은 아크를 냉각시킨다.

복합 소호부를 설계하기 위해서는 전극의 구조는 물론 소호부의 챔버 용적과 배기구의 크기를, 열팽창으로 발생한 압력상승이 아크 소호에 이용 될 수 있도록 설계해야 한다. 즉 가스 흐름을 고려해서 소호부 형상 설계가 이루어져야 한다. 현재 복합소호 기술은 보유한 업체는 유럽의 몇 업체뿐이며 국내 연구도 아직 미흡한 실정이다.

##### 2.2 복합소호부 구조 및 동작원리

개발된 복합소호부를 그림 1에 표시하였다. 고정전극부는 Flexible finger 모양의 고정 아크접점과 고정 아크 접점과 동 축상에 배열되고 배기 가스가 배출될 수 있도록 중공과 배기구가 있는 원형의 고정전극봉, 실린더 모양이며 중앙에 아크가스가 배기될 수 있도록 중공의 소통로가 있는 도전율을 가진 자성체로 된 arc align 장치를 가진다. 또한 고정전극부는 아크를 회전시키고 제어할 수 있는 자속을 만드는 말굽 모양의 구동코일이 고정전극봉과 동축상에 배치되며 구동코일간의 절연을 위해 절연지와 코일 전류 path를 형성하기 위한 코일 Supporter를 가진다. 고정전극부에는 고정 아크접점이 실린더 모양이며 Flexible finger 형태로 분할되어 각 Finger 끝단에 브레이징 되어있다.

고정전극부와 중공과 배기구를 가지는 가동전극부는 절연물로 둘러싸여 지는데 그 공간을 팽창실이라 부르고 팽창실에는 절연가스가 채워진다.

이상 전류(단락전류) 혹은 과전류가 RMU에 통전되면 RMU의 보호제어기에 의해서 트립 신호가 전달되어 소호부의 구동부(메커니즘)가 아래로 재빨리 하강하여 사고전류를 트립하게 되는데 새로이 개발된 복합소호부의 차단과정은 아래와 같다.

가동전극부가 하강하게 되면 먼저 가동 주접점과 고정 주접점이 분리된다. 계속해서 가동전극부가 하강하게 되면 가동 아크접점과 고정 아크접점이 분리되고 이때 가동 아크접점과 고정 아크접점 사이에 아크가 발생한다.

계속해서 가동전극이 하강하면 아크는 고정 아크접점에서 고정 주접점으로 전이하게 된다. 이때 아크전류는 구동코일로 흐르게 되어 아크를 고정 주접점 외부로 벗어나지 못하게 제어함과 동시에 아크를 빠른 속도로 회전시켜 아크를 냉각시킨다.

동시에 발생한 아크열에 의해서 순간적으로 아크 주변의 SF6가스가 열팽창하여 팽창실 내의 압력이 상승하기 시작한다. 계속해서 가동 전극이 하강하면 아크는 신장하게 되어 아크 주를 형성하면서 계속해서 회전하고, 팽창실 내의 압력상승은 최대치가 된다. 아크는 회전하면서 주변의 SF6가스와 열 교환에 의해서 냉각되고, 이와 동시에 열팽창으로 압력이 상승한 팽창실 내의 가스는 고정전극부와 가동전극부에 뚫린 배기구로 가스가 배출되면서 아크를 냉각시킨다. 전류 영점부근에서 아크는 가동 아크접점 안쪽과 고정 전극의 arc align 장치에 정렬하게 되는데 이때 팽창실 내의 압력상승으로 발생한 가스의 흐름이 전류 영점에서의 차단특성을 양호하게 한다. 사고 전류가 차단된 후 회복전압이 가동전극과 고정전극 양단에 걸리게 되고 팽창실의 절연이 회복되면 차단현상이 종료된다.

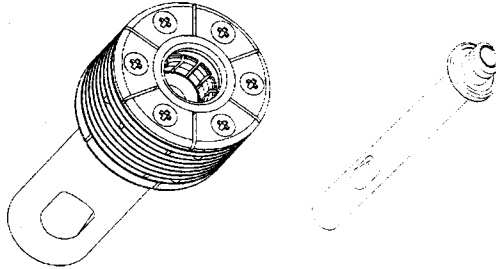


그림 1 개발된 복합소호부 전극구조

### 2.3 개선된 특징 및 효과

아크 소호과정 중 가장 중요한 시점은 전류 영점부근으로 전류 영점부근에서의 절연회복 특성이 아크 소호특성을 결정한다. 이번에 새로이 개발된 복합소호부는 전류 영점 부근에서 아크를 빠르게 고정전극 중심부로 정렬(arc align)시킬 수 있도록 arc align 장치를 삽입하여 전류영점부근에서 가스유동에 의한 자력팽창(Auto Expansion) 소호원리를 이용하여 아크소호가 용이하게 하였다. 또한 arc align 장치는 재질이 도전율을 가지는 자성체로 만들어 전류영점 부근에서 아크가 arc align 장치로 이동하였을 경우 arc align 장치에 유도된 와전류에 의한 자속에 의해서 아크는 arc align 장치 위에서 계속 회전하게 되므로 아크 소호에 도움을 준다.

또한 구동코일 내부에 삽입된 고정 아크접점은 flexible 형태로 되어 있어, 차단기가 투입(ON) 되었을 경우 입피던스의 차이에 의해서 대부분의 전류가 flexible finger 와 가동전극부로 흐른다. 따라서 사고전류에 의해 소호부에 아크가 발생시에는 구동코일에 사고전류가 흐르게 되지만 평상시 구동코일에 흐르는 통전전류는 그 양이 적으므로 구동코일의 권선수를 증가시키고 그 크기를 줄일 수 있게 된다. 즉 정격전류 통전은 가동 아크접점과 고정 아크접점(flexible finger)으로 통전되므로 정격전류 통전 용량을 높이는 것이 가능하게 된다.

또한 가동 아크접점은 고정아크 접점(flexible fingers) 속으로 삽입되어 접촉하므로 가동전극의 접압 스프링이 필요 없게 되어 구조적으로 매우 간단하고 간결하게 설계가 가능하다.

### 2.4 차단특성 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 구축하였으며 그 구성은 아래 그림과 같다.

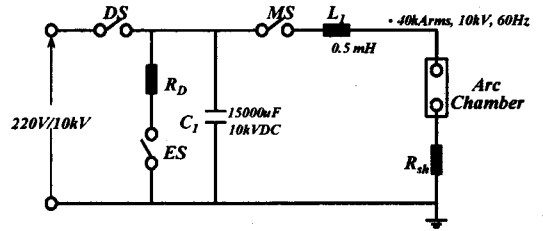


그림 2 아크발생 실험장치 회로도

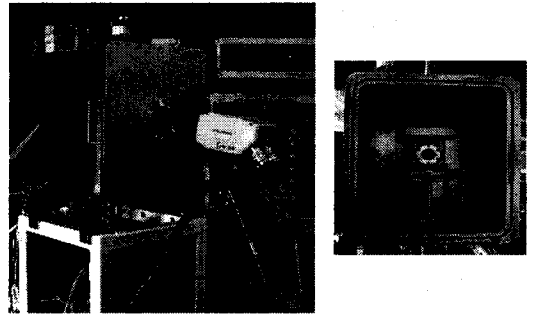


그림 3 복합소호부 실험용 챔버

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 제작하여 개발된 소호부를 챔버 내부에 장착하여 차단성능을 테스트 하였다.

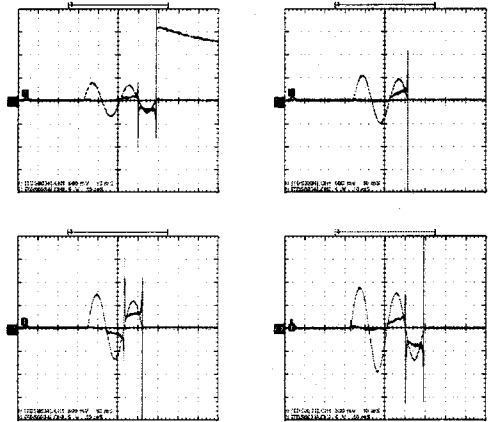


그림 4 복합소호부 차단특성 파형

본 실험장치는 합성설비의 전류원만 갖추고 있으므로 실제 합성설비와는 차이가 있지만 소호부 차단특성 검증에는 유효하게 사용할 수 있었으며 고속카메라를 이용하여 복합소호부내에서 아크의 거동을 관측하였다.

그림 5는 개발된 복합소호부에 대한 고속카메라 촬영으로부터 얻은 소호 특성을 보여주고 있다.

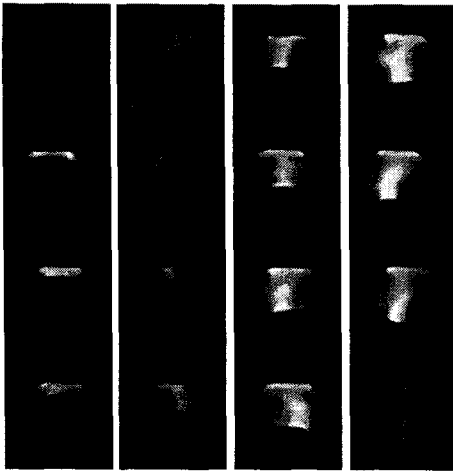


그림 5 고속카메라를 이용한 복합소호부 아크 관측

복합소호부에 대한 고속카메라를 이용한 계측을 실시한 결과 아크접점 사이에서 발생한 아크는 설치된 구동코일에 의해 발생한 자계구동력에 의해 매우 빠른 속도로 갭 안에서 회전하는 현상을 나타내었고, 아크는 점점박으로 이탈하지 않았으며, 이 아크회전에 의해 전달된 에너지에 의해 소호부내에서 압력상승이 일어나 결국에는 전류 영점 부근에서 아크가 접점 사이에서 일직선으로 위치하여 소호되는 전형적인 복합소호 특성을 잘 보여줄 수 있었다. 이 현상은 인가 전류가 커질수록 더욱 확실하게 계측이 가능하였다. 아래 그림 6에서 볼 수 있듯이 일련의 차단실험이후의 전극의 손상 정도가 극히 미비함을 알 수 있고, 특히 아크는 점점박으로 이탈하지 않았으며 아크점점주변으로만 아크가 움직였음을 알 수 있었다.

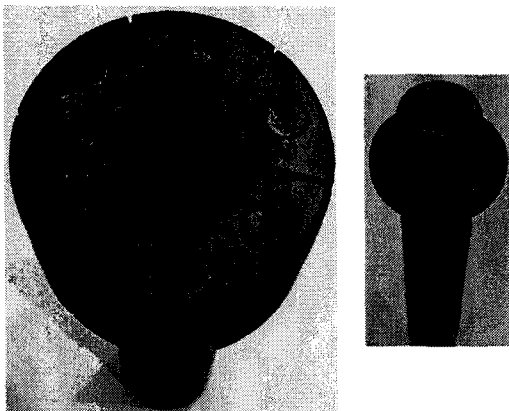


그림 6 차단실험이후의 전극 그림

### 3. 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 실험챔버에 삽입하고 대전류원 실험장치를 이용하여 차단실험을 하였고, 그때 아크의 거동을 고속카메라로 시각화하였다.

실험 결과 복합소호부내의 아크회전현상 및 소호현상을 확인하였으며 정격 25kA 고장전류에 대한 차단능성이 확인되었다.

현재 본 실험장치는 전원원만 갖추고 있으므로 실제 합성설비와는 차이가 있지만 소호부 차단특성 검증에는 유효하게 사용될 수 있다고 사료되고 향후 사내의 단락시험설비를 이용하여 그 차단능성을 검증할 계획이다.

또한 빠른 시일 내에 팽창실에 대한 최적화를 이루어 세계 시장에서 가격 경쟁력 및 제품 경쟁력을 갖춘 가스 차단기 개발을 할 수 있으리라 사료된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 이방욱, 손종만, 강종성, 최원준, 김영근, 서정민, "자력 팽창 및 아크 회전에 의한 배전급 SF6 복합소호부 개발 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집B, p919-p921, 2000
- [2] P. Scarpa, B. Dauby, "SF6 Atuo Expansion Circuit Breaker Design", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.7 No.1, January 1992
- [3] 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
- [4] G. Bernard et al., "An SF6 Circuit breaker using the autoexpansion principle", IEEE Trans. on Power Delivery, vol.3 No.4, April 1988
- [5] D. R. Langeac, M. R. Barrault, "Optical diagnostics in the design and development of rotary autoexpansion SF6 circuit breakers", IOP Publishing Ltd, 1987
- [6] 강종성, 박홍태, 최원준, 이방욱, 서정민, "아크계측 및 응용연구를 위한 LC공진회로 전류원 구축", 대한전기학회 하계학술대회 논문집C, p2113-p2115, 2000