

종자계형 진공인터럽터의 개발

The Development of Axial Magnetic Field Type Vacuum Interrupter

박 홍 태, 안 희 일, 김 성 일, 이 경 행

(Hong-Tae Park, Hee-Il Ahn, Sung-Il Kim, Kyoung-Haing Lee)

Abstract

Axial magnetic field(AMF) type electrodes can be increase the interrupting capability of vacuum interrupters. Depending on the design, the principle of the local axial magnetic field arrangement are different. In this paper, a new AMF contact design based on a unipolar field arrangement and its characteristics are introduced. The influence of the unipolar AMF on the arc behavior is described by high-speed video camera. In addition, three-dimensional AMF simulations have been performed by means of a finite element analysis(FEM) program to analyze the influence of magnetic field distribution on the AMF performance. The high interrupting capability of the unipolar AMF type electrode has been confirmed by three-phase test.

Key Words : Axial magnetic field(AMF), Vacuum interrupter, Arc behavior

1. 서 론

최근의 고압차단기 시장은 차단성능, 안전성 및 신뢰성이 우수한 진공차단기를 위주로 구성되어 있으며, 그 사용량은 점차 증가하는 추세에 있다. 현재 배전계통에 사용되고 있는 진공차단기는 일부 국산화되어 생산되고 있으나, 기술의 핵심을 이루는 진공인터럽터(Vacuum Interrupter ; VI)는 자체 기술력의 부족으로 외국 선진업체의 기술에 의존하고 있다. 그러므로 고압차단기의 국가경쟁력을 확보하기 위해서는 진공차단기의 핵심부품인 진공인터럽터의 설계기술을 확보하기 위한 기술개발이 필수적이다. 진공인터럽터는 소호방식에 따라 횡자계와 종자계 방식으로 분류할 수 있다. 종자계방식은 전류차단시 발생하는 진공아크에 평행한 자계를 인가하여 아크를 전자유체적으로 안정화시키고, 접점의 표면으로

입력되는 아크에너지를 균일하게 분포시킴으로서 대전류 차단시에 발생하는 양극의 용융을 방지할 수 있는 방법이다. 이러한 종자계 방식을 이용한 진공 인터럽터는 횡자계 방식에 비해 차단성능이 우수하기 때문에 40kA_{rms}이상의 대전류 차단용 진공인터럽터에 가장 유리한 방식으로 알려져 있다. 본 연구에서는 최근의 국내외 동향인 대전류화에 대응할 수 있는 종자계형 진공인터럽터의 개발사례를 소개하고자 한다.

2. 종자계형 전극구조의 개발

진공인터럽터의 차단성능에 결정적인 영향을 미치는 대전류 아크모드를 효과적으로 제어할 수 있는 유일한 방법은 자계를 이용하는 것이다. 진공아크에 평행한 자계를 인가하는 종자계 방식은 전류차단시 발생하는 진공아크를 전자유체적으로 안정화시키는 동시에 플라즈마의 확산을 제어함으로써 아크전압을 감소시켜 양극으로 입력되는 아크에너지를 최소화시킨 방법이다.[1]

* LG산전 전력연구소
(충북 청주시 흥덕구 송정동 1,
Fax : 043-261-6629
E-mail : hongtpark@lgis.com)

2.1 기본원리

그림 1은 종자계형 전극구조를 나타내고 있으며, 종자계를 발생시키는 디스크형 전극, 전류의 흐름을 원활하게 하는 주전극 및 접점으로 구성되어 있다. 고정전극의 전극봉으로 입력된 전류 I_0 는 디스크형 전극상의 슬릿(slit)에 의해 3분할되어 접점으로 흐르며, 이 전류는 가동전극의 접점 및 디스크형 전극상의 슬릿을 통해 흘러 들어가게 된다. 이러한 전류의 흐름에 의해 종자계가 형성되며, 종자속 밀도포의 균일화를 위해서 고정 및 가동전극의 디스크형 전극은 30도 비틀어진 구조로 되어 있다.

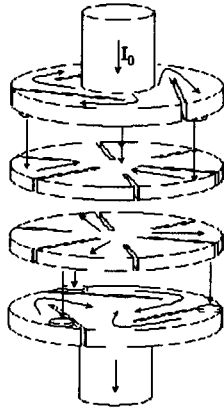


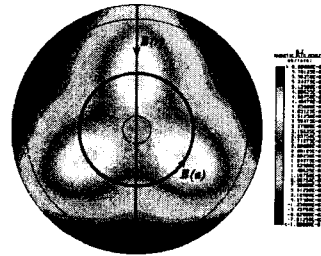
그림 1. 종자계형 전극의 기본원리

2.2 시뮬레이션

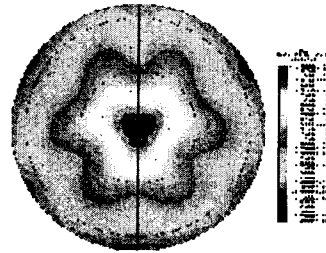
종자계형 전극의 설계에 있어 가장 중요한 인자는 진공아크에 의해 발생하는 열적 스트레스를 균일하게 분포시킬 수 있는 종자계를 형성하는 것이다. 그러나 접점내부에 흐르는 와전류(eddy current)는 종자계 강도를 감소시키고, 전류영점 후의 잔류자속(residual magnetic flux)에 의해 전류와 종자계사이의 위상차를 발생시킨다. 그러므로 종자계형 전극을 설계할 경우 이러한 와전류의 영향을 최소화 할 필요가 있다. 그림 2는 전극간 갭의 중심에서 종자계형 전극의 자계분포를 유한요소법을 이용하여 해석한 결과를 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이, 디스크형 전극상의 슬릿부근에 비교적 높은 자속밀도 영역이 존재하는 것을 알 수 있으며, 이는 슬릿에 의해 축자계가 발생한다는 것을 나타낸다.

일반적으로 종자계형 전극에 대전류가 인가되면 접

점내에 와전류가 발생하여 종자계 강도를 감소시키고, 전류와 자속밀도사이의 위상차를 발생시킨다. 이 잔류자속은 전류영점 후에 접점간에 과도회복전압(Transient Recovery Voltage ; TRV)이 인가되었을 때, 전극내에 하전입자를 구속시켜 그들의 확산과정을 지연할 수 있다.[2] 그림 3은 이에 대한 영향을 분석하기 위한 것으로, 전극간 갭의 중심에서 60Hz, 50kA_{rms}의 전류를 인가하였을 때, 종방향 자속밀도의 최대값을 나타낸 것이다. 이때, 진공인터럽터는 전류영점에서 전류를 차단하는 것으로 가정하였다.



(a) 전류피크



(b) 전류영점

그림 2. 종자계형 전극의 자계분포

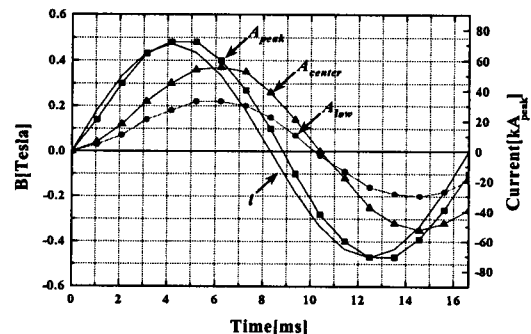


그림 3. 시간에 따른 축방향 자속밀도의 변화

3. 차단성능의 검증

3.1 아크계측

시뮬레이션을 통해 개발된 종자계형 전극에서 발생하는 아크의 형상을 고속카메라를 이용하여 관측하였다.(그림 4) 실험전류는 $25kA_{rms}$, 아크시간은 8ms이다. 이 그림에서 확인할 수 있듯이, 종자계에 의해 발생하는 아크는 전류피크(4~4.5ms) 근처에서 접점의 전면에서 균일하게 확산됨을 알 수 있고, 이는 종자계형 전극에서 나타나는 전형적인 아크형상이라 할 수 있다.[3]

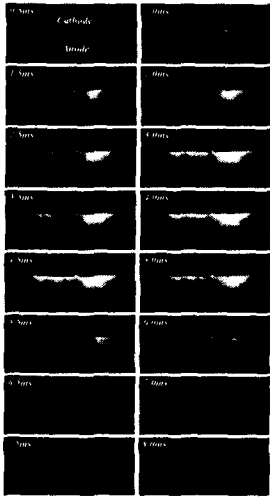


그림 4. 종자계형 전극의 아크거동

3.2 차단실험

그림 5는 종자계형 전극의 차단성능을 검증하기 위해 유압조작기를 이용하여 단상으로 차단실험(IEC-60056, TD5)하였을 때, 그 파형결과를 나타내고 있다.

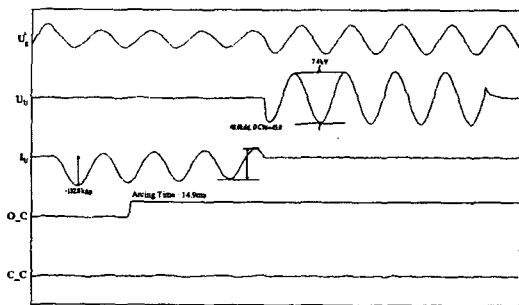
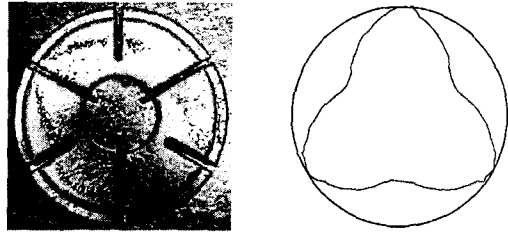


그림 5. 차단실험 결과파형

3.3 유효면적

그림 6의 (a)은 그림 5의 조건하에서 10회 차단한 접점의 표면형상을 나타내고 있다. 접점의 표면에 약간의 용융흔적은 있지만, 대체로 양호한 상태를 나타내고 있다. 그리고 접점의 표면에 존재하는 아크흔적을 살펴보면, 그림 2의 (a)에 나타난 전류피크시에 종방향의 자계분포와 매우 유사한 형태로 나타났다. 이는 개발된 종자계형 전극에서 발생하는 아크는 그림 6의 (b)에 나타난 것과 같이 약 $4mT/kA$ 이상의 영역에서 확산되는 것으로 생각할 수 있다.



(a) 접점표면의 형상

(b) 유효면적

그림 6. 차단후 접점표면의 형상 및 유효면적

4. 결론

대전류 차단 및 소형화에 유리한 종자계형 진공인터럽터의 개발사례를 개략적으로 소개하였다. 새로운 방식의 진공인터럽터를 개발하기 위해서는 전자계해석을 통한 형상의 최적화, 아크전압을 최소화할 수 있는 코일전극의 강도설계 그리고 조립식 아크챔버(demountable arc chamber)와 고속카메라를 사용한 아크계측 및 단락설비를 이용한 성능평가 등이 필수적으로 요구된다. LG산전에서는 이러한 체계적인 연구를 통해 종자계형 전극을 개발할 수 있었다. 향후에는 개발된 전극의 성능 및 신뢰성을 안정화시키기 위해 지속적인 연구를 수행하고자 한다.

참고문헌

- [1] K. Watanabe, K. Kaneko and S. Yanabu "Technical Progress of Axial Magnetic Field Vacuum Interrupter", XVIIth ISDEIV 231, 1996
- [2] F. Heizinger, "Contact Materials for Vacuum Switching Devices", IEEE Trans. on Plasma Science, Vol. 21, No. 5, 447-453
- [3] P. Slade, "Vacuum Interrupters the New Technology for Switching and Protecting Distribution Circuits", Cutler-Hammer, 1995