

Sealed off Vacuum Rotary Arc Gap Switch의 특성 연구

김 영배*, 조 국희, 이 홍식, 임 근희
한국전기연구원

A Study on Characteristic of Sealed off Vacuum Rotary Arc Gap Switch

Young-Bae Kim*, Kook-Hee Cho, Hong-Sik Lee, Geun-Hie Rim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 펄스파워 시스템의 핵심은 스위치로서 현재까지 상당히 많은 종류가 개발되어 왔다. 이들 스위치는 구조 및 성능에 따라 장단점이 다르므로 목적에 적합한 시스템을 고려해 선택하여 사용되어 왔다. 일례로 펄스폭이 긴파형의 전류는 아크를 소호할수 있는 장치가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 진공중의 두전극(anode - cathode)을 나선형으로 제작하여 실험 하였다. 이방식은 결과적으로 아크를 회전시켜서 소호를 시키는 방식을 이용하였는데 전극의 수명을 연장시키는 효과를 얻을수 있었다.

1. 서 론

고전압·대전류 펄스용 스위치는 수십 [kV]의 고전압 절연을 유지하면서 주변 운용조건의 변화에 관계없이 일정하게 동작할수 있어야 하며, 수 만도의 고온아크(arc)의 열적 스트레스에 의한 손상을 극복할 수 있어야 한다. 그리고 커패시터에 저장된 에너지를 부하에 방출하기 위해서는 전압, 전류, 스위칭 시간, 지연시간(delay), 지터(jitter), 허용 통전전하량, 수명 등의 조건을 만족하는 투입스위치가 필요하다. 스위치가 thyatron인 경우 closing동작시에 아주 빠른 rise time과 고 반복율을 가진 펄스의 사용에 적합하지만 펄스폭이 큰 전류(I×T) 특성이 크지 못하고, Spark-gap switch의 경우는 100[kV]정도의 높은 내전압과 500[kA]이상의 통전 전류가 가능하지만 소음과 전극 중심부의 z-pinch현상에 의한 전극면 손상이 심하게 발생한다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 아크가 집중되지 않고 정해진 전극면을 따라 무한 계도로 돌게함으로써 펄스폭이 긴 전류(1ms이상)에 대해서도 사용이 가능한 진공 투입 스위치인 Vacuum Rotary Arc Gap Switch(VRAGS)를 개발하여 진공 brazing 과정을 거쳐서 sealed-off type의 진공 스위치를 개발 제작 하였다.

따라서 본 논문에서는 개발 제작된 VRAGS의 특성에 관한 연구 시험 결과를 소개 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 VRAGS의 동작 원리

VRAG 스위치는 진공중에서의 동작시 아크가 회전하도록 전극 축방향에 수직한 방향, 즉 횡방향(radial)으로 자계를 발생시키는 횡자계형 스위치라고도 할 수 있다. 본 연구에서는 횡자계를 형성할 수 있도록 그림 1과 같이 3개의 나선형 날개가 120° 각도로 구성된 양극과 음극의 날개전극에 흐르는 전류가 서로 반대방향이 되도록 설계하였다. 스위치 동작시 진공아크는 아래 식

과 같이 아크전류의 단위 길이당 작용하는 힘은 ϕ 방향으로 작용하여 전류가 인가되는 동안에는 무한루프를 돌게 된다. 단, 자속 B 는 \vec{r} 인 횡방향, 전류 i 의 방향은 \vec{z} 이다.

$$F\vec{\phi} = i\vec{z} \times B\vec{r}$$

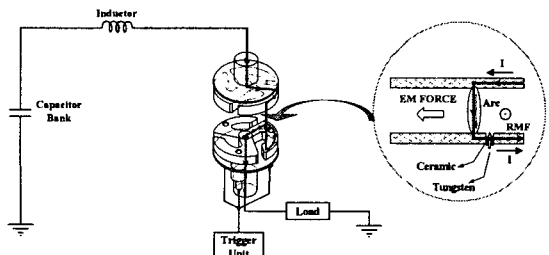


그림 1 VRAGS의 동작 원리

2.1.1 VRAGS의 구조 및 sealed off 제작

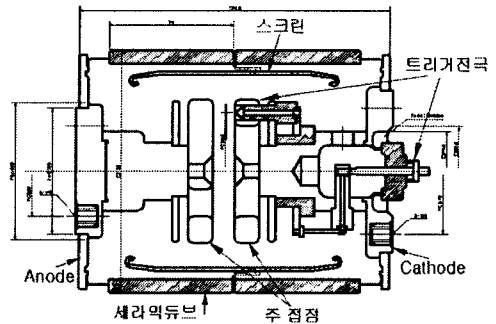


그림 2 Sealed off type의 VRAGS 제작 도면

그림 2는 sealed off VRAGS의 제작도면이다. Anode 와 cathode의 거리는 12mm 이며 전극의 재질은 CuCr(75:25)를 사용하였다. VRAG 스위치 동작시 발생하는 금속증기로부터 세라믹 내벽의 오염을 막기 위해 알루미늄 스크린을 설치하였다. 스크린의 위치 및 크기는 Flux2D로 전계해석을 통해서 결정하였고, 스크린의 끝부분은 전계 집중을 방지하기 위해 동글게 처리하였다. 게터의 재질은 지르코늄알루미늄(ZrAl)합금을 사용하였고, 게터의 부착 위치는 동작시 발생하는 금속증기의 영향이 가장 적은 스크린의 뒤쪽과 세라믹의 내벽 사이에 설치하였으며, brazing후 진공도는 측정결과 10^{-6} - 10^{-7} [Torr] 정도 이었다.

2.1.2 주전극 구조

Anode 전극과 cathode 전극은 그림 3 및 그림 10 에서와 같이 나선형 구조의 두 전극이 마주보고 있다. 재료는 Cu-Cr(75-25%)이며, 전극의 직경은 80mm이다. Cathode에 트리거전극이 3개 설치 되어있으며, 전극간의 내전압은 DC전압 33kV/1분 이상 침투전류 200kA 이상 되도록 설계 하였다. 또한 VRAG 스위치 동작시 발생하는 전극간 반발력에 대해 나선형전극의 변형을 방지하기 위해 전극의 하부에 SUS로 만든 지지판을 설치하였다

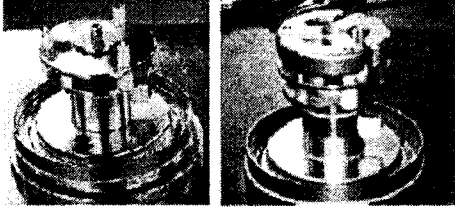


그림 3 Brazing 직전의 트리거전극 조립

2.1.3 트리거전극 구조

트리거 전극 구조는 그림 4와 같다. Anode와 cathode는 진공 스위치(VRAGS)의 주전극이고 트리거 전극은 그림 3에서와 같이 cathode 내부에 존재하며 그림 4의 도면에서 보는바와 같이 전극은 화살표 모양의 형태로 구성되어 있으며 세라믹 튜브를 트리거 전극과 cathode 전극 사이에 절연을 위하여 설치되어 있다. 절연 거리는 0.5mm로 설계하였고 anode와 cathode의 주전극간의 거리는 12 mm로 설계하였다. 트리거의 동작 특성을 살펴보면, 우선 트리거 전극에 펄스 전원이 인가된다. 그리고 트리거 전극과 cathode 전극 사이에 순간적으로 트리거 고압이 인가되면 두 전극 사이에 공간 절연 파괴가 생기고 동시에 트리거 충전부의 전하가 두 전극(트리거전극 과 cathode) 사이를 흐르게 되고 그 결과 트리거 방전 공간의 전하에 의해 순간적으로 강한 플라즈마 영역이 형성된다. 이 플라즈마 영역이 anode 측의 전로 파괴 영역과 만나게 되면 트리거의 본래의 기능인 주전극간의 스위치로 사용이 될 수 있는 것이다. 그 결과 대전력 펄스 파워 에너지를 구동시키는 커패시터 충전 전하가 anode와 cathode 사이를 흐르도록 하는 동작 특성을 가지고 있다.

Trigger lead의 전극 재료는 Cu-W의 복합 금속 재질이고, cathode와의 절연 재료는 산화철과 세라믹 (Al_2O_3 90 % + Fe_2O_3 10 %)을 이중 적층한 재료이다. 그리고 트리거 전극의 전극 간격은 0.5mm로 구성되어 있다.

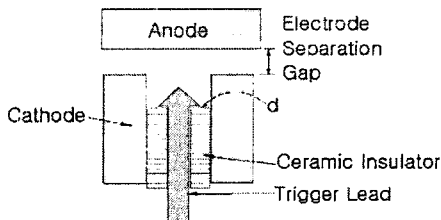


그림 4 트리거 전극의 구조

2.1.4 트리거펄스 발생장치

트리거 펄스 발생장치는 통상적으로 제작이 간단한 그림 5와 같은 회로를 많이 사용한다. 회로가 단순하고 사용자가 원하는 형태의 펄스를 얻기에 적합하다. 또한 회로상의 펄스트랜스의 1차와 2차권선간의 절연만 충분하면 사용되는 스위치를 고압선로에 사용할수도 있다.

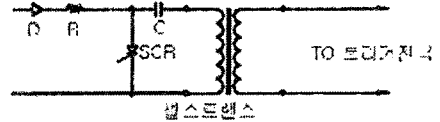


그림 5 트리거 발생회로

펄스트랜스의 제작에 사용된 capacitor값은 9uF를 사용하였고 웨라이트코어는 TDK사의 Part No.PC40 EC90-Z 를 사용하였으며 트랜스의 인덕턴스 값을 최대한 줄일수 있도록 1차 코일은 $\Phi 2mm$ 에나멜선을 10턴을 감았으며 2차 코일은 $\Phi 1.6mm$ 에나멜선을 120턴 감았다. 트리거 장치의 open전압은 피크치 12[kV]. 전압파형의 rise time은 약 30ns이며 short 전류는 peak치 100[A]이다. 또한 펄스트리거장치의 에너지는 0.007[J]이다

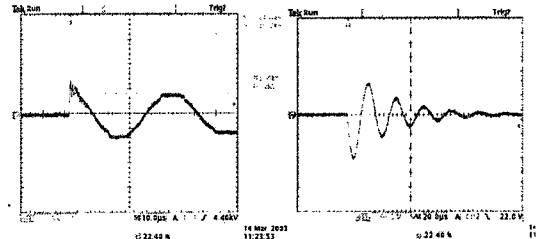


그림 6 트리거장치의 open전압 과 short전류 파형

2.2. 실험 및 결과

2.2항에서는 그림 11과 같이 제작된 sealed off type 의 VRAGS에 대하여 성능평가의 일부 항목 시험 즉, 트리거전극의 트리거 실험, delay실험 그리고 대전류 통전 실험에 대해서 논하고자 한다.

2.2.1 트리거 및 Delay 실험

고전압 대전류 펄스 스위치는 각각의 스위치끼리 직, 병렬 연결하여 사용하거나 또는 capacitor bank를 여러 module을 연결하여 순차적으로 트리거를 시키는 경우에 사용하는 스위치는 delay특성이 매우 중요하다. 또한 jitter가 적어야 하는것도 당연한 것이다.

그림 8은 그림 5와 같이 제작한 트리거 장치를 이용하여 실험한 결과로서, 트리거 전류가 흐르고나서 주전극에서 전류가 흐르는 시간 즉 약 3us의 delay가 생긴다.

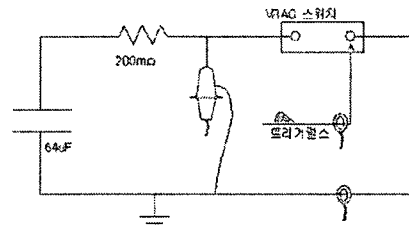


그림 7 트리거 및 delay 실험회로

펄스파워 장치에 사용되는 스위치로서는 delay 시간이 30us 이내이면 큰 문제없이 사용할수 있다.

그런데 이 delay 시간은 트리거 전극에 흐르는 트리거 전류의 크기에 의해서 많은 차이가 생긴다. 즉 트리거 전극에서 발생하는 플라즈마가 충분히 커야만 스위치의 anode전극과 cathode전극 사이를 전로 파괴 영역으로 변화시킬수 있다.

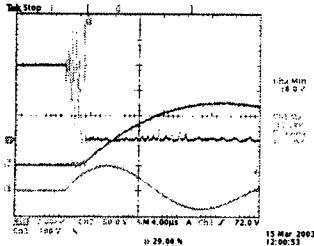


그림 8 Delay된 전압 및 전류 파형

표 1은 이러한 전로 파괴 영역을 충분히 만들 수 있는 트리거 전극 사이에 흐르는 전류치에 대한 delay 시간의 관계를 실험을 통해 구한 표이다.

트리거 전류	delay 시간
10Ap	38us
108Ap	2us
350Ap	1.8us

표 1 트리거 전류치 변화에 따른 delay 시간

표 1을 보면 트리거 전류가 10 ~ 108[Ap] 영역은 delay 시간차가 많음을 알수 있고 108[A] 이상에서는 차이가 적음을 알수 있다. 그래서 표 1에서와 같이 적정 트리거 전류는 100[Ap] 이상이면 될것으로 사로 된다.

2.2.2 대전류 통전 실험

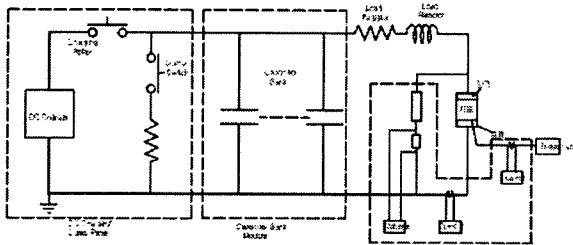


그림 9 대전류 통전 실험 회로

그림 10 과 11은 sealed off type의 제품화로 제작이 되어진 VRAGS의 외관사진과 내부전극의 사진이다. 대전류 통전시험은 그림 9과 같은 회로로 장치를 구성하여 실험 하였다. 충전기의 정격은 22[kV] 100[mA]로 국내 제품이며 capacitor는 maxwell사 206[uF] 6대를 병렬 연결하였고 부하저항과 리액터는 각각 200[mΩ], 60[uH]를 사용하였으며 텡을 바꾸면서 저항값과 인덕턴스 값을 조정할수 있었다. 그리고 대전류 통전 실험후에 스위치의 이상 유무 상태 확인을 위해서 직류 내전압을 인가하여 스위치의 내부에서 절연 파괴가 발생하지 않아야, 스위치가 양호한 상태임을 판정할 수가 있을 것으로 사로 된다.

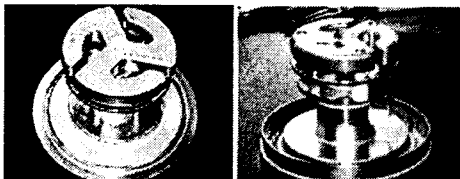


그림 10 Sealed off VRAGS의 주전극 사진

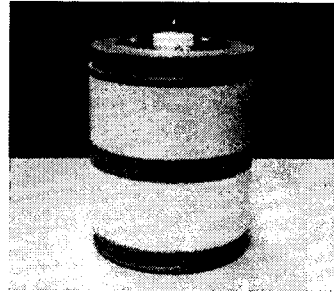


그림 11 Sealed off VRAGS의 외관 사진

3. 결 론

본 논문은 민군겸용 기술개발로 연구되어 실제품을 제작하여 상품화 단계에 도달한 상태의 과제 수행 결과이다. 본 논문에서는 상품화 되어 시험개발연구 단계에서 수행할 시험을 위주로 하여 VRAGS의 트리거 특성, delay특성, 대전류통전 특성 등을 실시하여 양호한 결론을 얻을수 있었다. 또한 트리거 전류의 적정치를 제시하였으며 delay에관한 연구를 수행하여 시험 규격치인 30us이내의 특성을 알수 있었고 대전류 통전실험을 실시 하여 고전압 대전류펄스 스위치로서의 책무를 확인할 수 있었다.

본 논문은 국방부에서 시행한 민군겸용기술 개발사업의 지원에 의해 수행된 것입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김영배,조국희,이홍식,임근희, "Vacuum, Rotary Arc Gap switch의 개발", 대한전기학회, 춘계학술대회논문지, 2003년 4월 25일 - 26일
- [2] 서길수,이홍식,임근희"Sealed off Vacuum Rotary Arc Gap 스위치의 제작 및 시험"2002년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2002.7.10-12
- [3] 김영배,조국희,이홍식,임근희,"펄스파워 스위치용 트리거 장치 특성 연구"대한전기학회 부산지부,경남지부,울산지부 합동추계학술대회 논문집 2002년11월29 pp28-30
- [4] 이태호,이홍식,임근희 "Vacuum, Rotary Arc Gap switch의 Dynamic Resistance특성연구", 대한전기학회, 춘계학술대회논문지, 2001년 4월 27일
- [5] S. T. Pai & Qi Zhang "Introduction to high power pulse technology", Advanced Series in Electrical and Computer Engineering, Vol 10
- [6] Gerhard Schaefer and M. Kristiansen "Gas Discharge Closing Switches", Prentice Hall, 1990
- [7] Geun-Hee Rim, Hong-Sik Lee, Dong-Phil Kang, "Development of Rotary Arc Gap (5kV, 100kA) closing switch", Report of the Ministry of Science and technology, 97-NZ-01-01-A-31, 2000
- [8] Farrall, G.A., 1980, Current Zero Phenomena, Chap 6, in; "Vacuum Arcs", J.M. Lafferty, ed., Wiley-Interscience, New York.