

Sealed off Vacuum Rotary Arc Gap 스위치의 제작 및 시험

\*서길수, 이태호, 이홍식, 임근희  
한국전기연구원 \*전력반도체 그룹, 전기물리그룹

An Design and Test of Sealed off Vacuum Rotary Arc Gap Switch

\*Seo-Kilsoo, Lee-TaeHo, Lee-HongSik, Rim-GeunHee  
\*Power Semiconductor Group, Electrophysics Group, Korea Electrotechnology Research In

**Abstract** - 최근 고전압/대전류 펄스파워용이 점차 늘어나고 있다. 정전형 고전압/대전류용 펄스파워전원장치의 핵심인 페스위치의 수요 또한 점차 증가 할 것으로 추정된다. 펄스파워전원장치의 안정적이고 신뢰성 있는 동작을 위해서는 주위 조건에 영향을 받지 않는 진공 스위치가 적합하다. 진공펌프, 챔버없이 사용이 간편하도록 sealed-off화되어야 한다. 본 논문에서는 챔버내에서 동작이 확인된 회전 아크형 진공 스위치를 유지전압 22[kV], 첨두전류 150[kAp]의 사양으로 스위치를 sealed off 제작 및 이를 동작 시험한 결과에 대해 기술하였다.

다. 스위치 동작시 진공아크는 아래 식과 같이 아크전류의 단위 길이당 작용하는 힘은  $\varphi$  방향으로 작용하여 전류가 인가되는 한 무한루프를 돌게 된다. 단, 자속  $B$ 는  $r$ 인 횡방향, 전류  $i$ 의 방향은  $z$ 이다.

$$F_{\varphi} = iz \times Br$$

VRAG 스위치 동작시 발생하는 전극간 반발력에 대해 나선형전극의 변형을 방지하기 위해 전극의 하부에 SUS로 만든 지지판을 설치하였다.

1. 서론

고전압·대전류 펄스용 스위치는 수십 [kV]의 고전압 절연을 유지하면서 주변 운용조건 변화에 관계없이 일정하게 동작, 수만도의 아크에 의한 열적 스트레스에 의한 손상을 극복, 여러 가지 운용조건에 따라 다수개의 스위치를 직·병렬로 구성하여 동시 또는 시간차를 갖으면서 대 전류펄스를 동작시킬 수 있는 제어성 및 스위치의 compact, 내구성, 경제성이 고려되어야 한다. 캐패시터에 저장된 에너지를 요구되는 조건에서 부하에 방출하기 위해서는 전압, 전류, 스위칭 시간, 지연시간(delay time), 지터(jitter), 허용전기량, 수명 등의 조건을 만족하는 투입스위치(closing switch)가 필요하다. 스파크 갭(spark gap) 스위치의 장점을 그대로 살리면서 수명을 스파크 갭 스위치에 비해 크게 연장할 수 있는 공기중 회전 아크형 갭 스위치(RAG:Rotary Arc Gap)를 2000년에 개발하였다. 그러나 회전 아크형 갭 스위치는 동작시 충격파 소음, 주위 온도와 습도, 인가전압에 따른 갭거리 조정 및 전극 손상방지를 위해 회전 아크용 전극의 직경이 커야한다는 등의 단점을 가지고 있었다. 회전 아크형 갭 스위치의 동작시 충격파소음, 인가전압에 따른 공기중 갭거리의 조정, 회전 아크 발생용 전극의 크기 등의 단점을 극복하고 주위의 영향을 받지 않고 동작할 수 있는 회전 아크형 진공 갭(VRAG:Vacuum RAG) 스위치를 설계·제작하여 진공 챔버내에서 잘 동작하는 것이 확인되었다.[1-4] 챔버내 동작이 확인된 VRAG 스위치를 사용하기 간편하게 하려면 세라믹 절연통에 삽입하여 sealed off하는 것이 필요하다. 이와 같이 sealed off화하려면 진공 브레이징, 게터의 설치, 금속증기로부터 세라믹 내벽보호를 위한 스크린의 설치 등의 연구를 필요로 한다. 본 논문에서는 sealed off VRAG 스위치의 제작 및 동작시험특성의 결과에 대해 기술하였다.

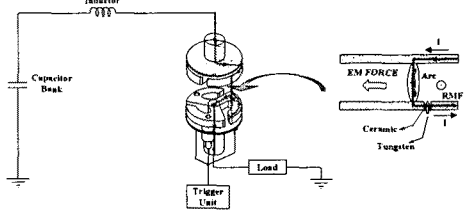


그림 1 VRAG switch의 동작원리

2.2 Sealed off VRAG 스위치의 제작

그림 2는 sealed off VRAG 스위치의 제작도면으로서 크기는 TVS와 유사하다. 갭 거리는 동작손실 및 트리거특성을 평가하기 위해 8, 10, 12mm를 각각 2분씩 전부 6분을 제작하였다. 전극의 재질은 챔버내에서 시험한 것과 같은 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 둥글게 처리하였다. 게터의 재질은 지르코늄알루미늄(ZrAl)합금을 사용하였고, 위치는 동작시 발생하는 금속증기의 영향이 가장 적은 스크린의 뒤쪽과 세라믹의 내벽사이에 설치하였다.

2. 본론

2.1 VRAG 스위치의 원리

VRAG 스위치는 진공중 동작시 아크가 회전하도록 전극 축방향에 수직인 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°로 구성된 양극과 음극의 날개 전극에 흐르는 전류가 서로 반대방향이 되도록 설계하였

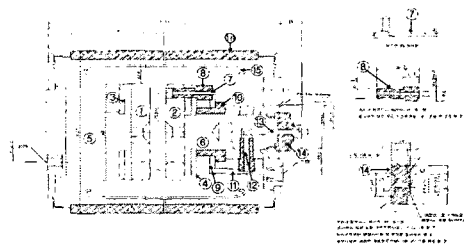


그림 2 Sealed off VRAG 스위치의 제작도면

- ① anode, ② cathode, ③ anode보강판, ④ cathode보강판, ⑤ anode지지대, ⑥ cathode지지대, ⑦ 트리거 전극, ⑧ 트리거 절연물, ⑨ 트리거 접속링, ⑩ 트리거 접속링과 cathode간 절연물, ⑪ 트리거와 feedthrough와 연결봉, ⑫ feedthrough연결부, ⑬ feedthrough, ⑭ 트리거 부

상, ⑮ 스크린

진공도는 제작 후  $10^{-7} \sim 10^{-8}$  [torr]이고, 자연 leak에 의해 2년후에  $10^{-6}$  [torr] 정도에 이를 것으로 추정된다.

그림 3은 각 부품을 진공 브레이징으로 조립한 scaled off VRAG switch의 anode전극이다. 그림 4는 cathode전극을 조립한 것으로 트리거 전극이 cathode 전극의 각 날개마다 1개씩 전부 3개가 설치되기 때문에 구조는 복잡하고 조립에는 브레이징 되는 부분이 많은 축상에 있지 않아 어려움이 있었다.

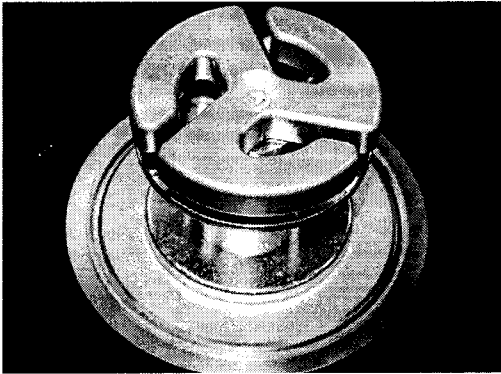


그림 3 Scaled off VRAG switch의 anode 전극

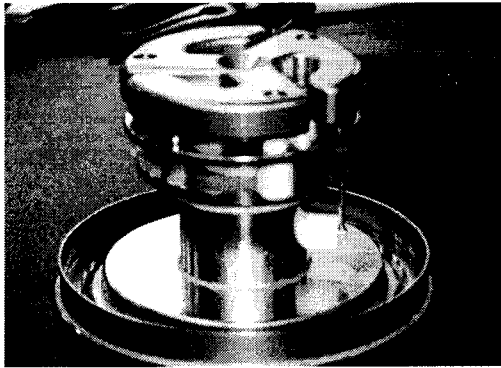


그림 4 Scaled off VRAG switch의 cathode전극

그림 5는 제작된 scaled off VRAG 스위치의 모습이다. 트리거의 위치는 진공 기밀도를 고려하여 스위치내에서 3개를 1개로 접속해서 feedthrough를 통해 외부로 인출

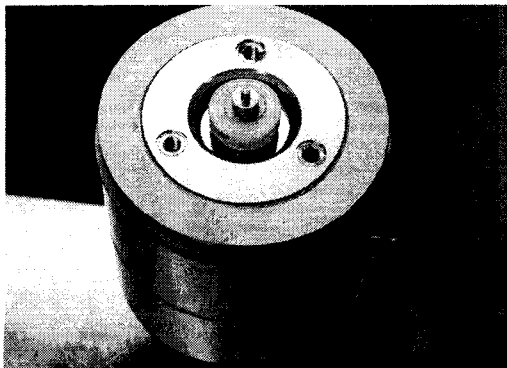


그림 5 제작된 scaled off VRAG switch

하도록 제작하였다.

표 1은 제작된 scaled off VRAG switch를 내전압 및 진공시험을 행한 후의 결과이다. 상용주파 내전압은 모두 30[kV]에서 1[min]을 통과했고, 진공도는  $10^{-6} \sim 10^{-7}$  [Torr]인 것을 알 수 있다.

표 1 Scaled off VRAG switch전압 및 진공시험

VRAGS 검사성적서			
			검사일 : 02/3/28
순번	제조번호	진공도	상용주파내전압 (30kV, 1분)
1	VRAGS.12.1	$3.5 \times 10^{-8}$ Torr	OK
2	VRAGS.12.2	$3.0 \times 10^{-7}$ Torr	OK
3	VRAGS.10.1	$5.6 \times 10^{-7}$ Torr	OK
4	VRAGS.10.2	$1.2 \times 10^{-8}$ Torr	OK
5	VRAGS.8.2	$6.8 \times 10^{-7}$ Torr	OK

### 2.3 Sealed off VRAG 스위치의 동작시험

전술한 바와 같이 제작한 scaled off VRAG 스위치의 동작여부를 확인하기 위한 시험회로는 그림 6과 같다. 그림의 시험용 챔버 대신에 scaled off VRAG 스위치를 설치하여 시험하였다. 그림 7은 scaled off VRAG 스위치를 고정하기 위한 지그의 모습이다.

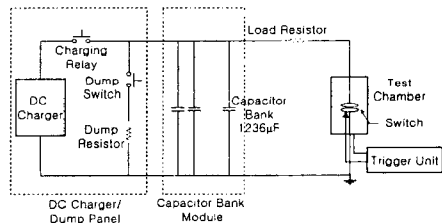


그림 6 Scaled off VRAG 스위치 동작시험회로

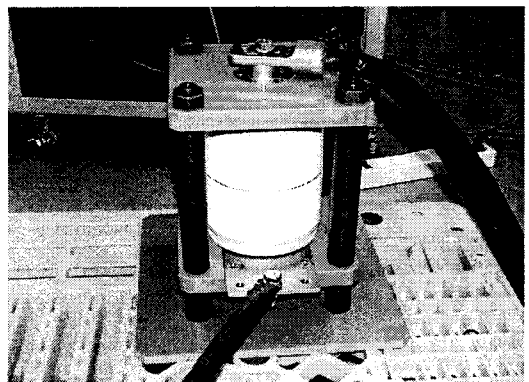
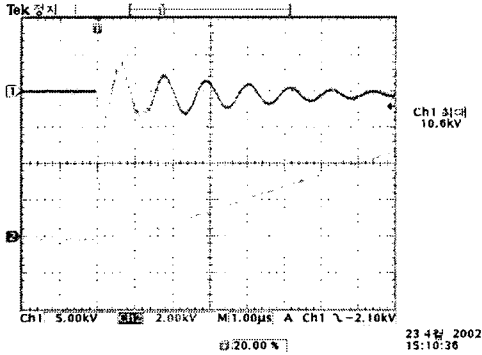


그림 7 Scaled off VRAG 스위치의 시험장치

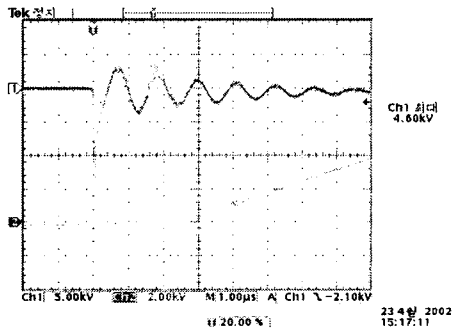
그림 8은 scaled off VRAG 스위치의 양단에 전압을 5[kV]를 인가한 다음, 트리거 발생기로 트리거 펄스전압파형 및 스위치의 주전극을 흐르는 부하 전류파형이다. 이를 통해서 제작된 scaled off VRAG 스위치가 잘 동작하는 것을 확인할 수 있다.

트리거펄스의 전압상승시간은 50[ns], 트리거펄스에너지는 0.8[J], 트리거 펄스전압은 표 2와 같이 16.8[kV] 서는 모두 동작하였고, 전압 16[kV]에서는 갭간극 12[mm]가 트리거 실패가 있고, 트리거 펄스전압이 낮

아질수록 트리거실패 가능성이 높아지고, 14.6[kV]에서는 거의 잘 동작하지 않는 것을 볼 수 있다. 트리거 전압을 낮추려면 제작 공정에 트리거전극에 삽입되는 절연물의 표면저항을 수백 [kΩ] 정도로 낮추어야 할 것으로 생각된다. 또는 스위치의 주전극간에 전압을 인가하여 동작시키면 동작시 발생하는 금속증기에 의해 트리거절연물이 금속피막이 입혀 트리거전압이 감소할 것으로 추정된다.



(a) Trigger generator input voltage=16.8[kV]



(b) Trigger generator input voltage=15.2[kV]  
그림 8 Sealed off VRAG switch의 트리거 전압 및 부하 전류 파형

표 2 VRAG switch 동작시험표

Model No.	Trigger Succeed(○)/Fail(×)			
	트리거전압 [kV]			
	16.8	16	15.2	14.6
VRAG 08.2	○	○	×	×
VRAG 10.1	○	○	×○	×
VRAG 10.2	○	○	○	×○
VRAG 12.1	○	×○	×○	×
VRAG 12.2	○	○	×	×

트리거 전압의 커짐에 따라 지연은 짧아지는 것을 볼 수 있고, 그림 8의 (a)에서 보는 바와 같이 지연시간은 1[μs]이하이다. 지연시간이나 지터는 트리거에너지보다는 인가되는 펄스전압의 크기에 의존하는 것으로 추정된다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 챔버내에서 시험 성공한 VRAG 스위치를 sealed off VRAG 스위치로 제작하여 잘 동작하는 것을 확인하였으며, 향후 수명시험을 진행할 예정이다.

Sealed off VRAG 스위치의 동작에 필요한 트리거 펄스전압이 높다는 것이 앞으로 해결해야 것으로 사료된다. 또한 트리거 펄스전압을 낮추기 위해서는 조립공정에 오손된 트리거 절연물의 삽입, 이미 제작된 sealed off VRAG 스위치의 트리거 절연물 표면에 금속피막생성과 같은 방법에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

본 논문은 국방부에서 시행한 민군겸용기술사업으로 수행된 연구결과입니다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 서길수, "Vacuum, Rotary Arc Gap switch의 Dynamic Resistance특성연구", 대한전기학회, 춘계학술대회 논문지, 2001년 4월 27일
- [2] 서길수, "고전압/대전류용 Vacuum Rotary Arc Gap Switch의 개발", 대한전기학회, 하계학술대회,
- [3] 서길수, "Vacuum Rotary Arc Gap Switch의 개발", 한국군사과학기술학회
- [4] 이태호, 서길수, 이홍식, 임근희, "형·종자계형 진공스위치의 동작특성" 제 5차 전열추진기술세미나, 2001년 11월 9일, 대전국방과학기술연구소