

Design and Test of Vacuum Rotary Arc Gap Switch

徐吉洙* · 黃棟遠** · 李泰浩*** · 黃理浩§ · 金禧鎭§ · 李弘植* · 林根熙*
 (Kil-Soo Seo · Dong-Won-Hwang · Tae-Ho Lee · Lee-Ho Hwang · Hee-Jin Kim · Hong-Sik Lee ·
 Geun-Hee Rim)

Abstract - Design and test results of a VRAG(Vacuum Rotary Arc Gap) switch were presented. To control the damage of electrodes caused by the vacuum arc, Lorentz's force by the radial magnetic field between spiral electrodes was used to rotate the vacuum arc. VRAG switch electrodes were made of the material of CuCr and OFHC. Gap distance between two spiral type electrodes for the rotation of the arc discharge is 8, 10, 12mm. In the cathode, one trigger electrode was inserted into each spiral wing. Normal operation of the VRAG switch was confirmed with 10.6[μs] of trigger delay and 2~3[μs] of the jitter time. The speed of the vacuum arc was measured to be 0.6 ~ 1[km/s] by a motion analyzer.

Key Words : Vacuum Arc, Closing Switch, Rotary Arc Gap, Vacuum Rotary Arc Gap Switch, Pulsed Power.

1. 서 론

펄스파워 기술은 발파기, 공해 방지 시스템, 가속기 펄스 전원, 핵융합 펄스 전원, 대용량 용접기, 펄스 레이저, 전기 용해로, 플라즈마 발생 장치, 광원 시스템, 의료 기기 등에 광범위하게 사용되고 있다. 특히 최근에 사회적으로 큰 문제로 대두되고 있는 산업 공해 방지도 펄스파워기술이 널리 사용되고 있는데, 전기 집진기나 탈황, 탈질 처리 시스템이 대표적이다. 국방분야에서는 전기포, 레이더 시스템, 대출력 마이크로파 증폭기, 레이저 발생기 등에 이용되고 있다. 펄스파워기술의 핵심부품은 고전압·대전류용 스위치로서, 이를 개발하면 대출력·고에너지 시스템을 기본으로 하는 앞에 기술한 분야에서 광범위하게 활용할 수 있다[1,2].

고전압·대전류 펄스용 스위치는 수십 [kV]의 고전압 절연을 유지하면서 주변운용조건의 변화에 관계없이 일정하게 동작할 수 있어야 하며, 수 만도의 고온아크(arc)의 열적 스트레스에 의한 손상을 극복할 수 있어야 한다. 또한, 여러 가지 운용조건에 따라 다수의 스위치를 직·병렬로 구성하여 동시 또는 시간차를 가지면서 대전류 펄스를 동작시킬 수 있는 제어성 및 스위치의 크기, 내구성, 경제성이 고려되어야 한다. 캐패시터에 저장된 에너지를 요구되는 조건에서 부하에 방출하기 위해서는 전압, 전류, 스위칭 시간, 지연시

간, 지터(jitter), 허용 통전전하량, 수명 등의 조건을 만족하는 투입스위치가 필요하다.

이와 관련하여 스파크 갭(spark gap) 스위치의 장점을 그대로 살리면서 수명을 스파크 갭 스위치에 비해 크게 연장할 수 있는 공기 중 회전 아크형 갭(RAG: Rotary Arc Gap) 스위치가 2000년에 개발된 바 있다[3]. RAG 스위치를 비롯한 모든 스파크 갭 스위치는 그 영역이 전리된 기체 상태인 아크 플라즈마로 이루어져 있다. 아크 상태는 적은 영역에 매우 많은 캐리어가 존재하게 되어 대전류를 통전할 수 있게 하는데, 아크는 중심부분의 온도가 20,000[°K]에 이를 정도로 온도가 매우 높다. 따라서 고온의 아크가 한곳에 집중되거나 수초정도 머무르게 되면 전극을 증발시켜 손상시키게 된다. 스파크 갭에서 스위치의 수명은 대부분 전극의 손상에 기인한다. 그래서 RAG 스위치는 아크가 한곳에 오래 머무르지 않도록 하는 것과 동시에 정해진 전극 면을 따라서 무한계도를 돌게 함으로서, 긴 전류펄스에 대해서도 사용이 가능하게 하는 것이다. 아크를 움직이게 하는 힘은 자기력으로 전극구조를 특수하게 만들어서 아크를 움직이게 하는 자기장이 스스로 형성되도록 하였다. RAG 스위치는 양극전극(anode)과 음극전극(cathode)간의 횡자계(RMF : Radial Magnetic Field)에 의한 반발력이 상당히 크기 때문에 두 전극을 고정시키는 지지물이 견고해야 한다.

본 논문에서는 RAG 스위치의 동작시 충격파소음, 인가전압에 따른 공기 중 갭 거리의 조정, 회전 아크 발생용 전극의 크기 등의 단점을 극복한 VRAG 스위치를 설계·제작하여 시험하였다. 그 결과 전극손상 방지를 위해 설계 제작한 나선형 양극 및 음극전극으로 만들어지는 횡자계에 의해 아크가 회전시키는 것을 초고속 카메라로 촬영하여 확인하였다. 전압 22[kV]일 때, 첨두전류 100[kAp] 이상 및

* 正 會 員 : 韓國電氣研究院

** 正 會 員 : (주)산들네트웍스

*** 正 會 員 : 仁荷大 工大 電氣工學科 博士課程

§ 正 會 員 : (주)비츠로테크

接受日字 : 2001年 12月 20日

最終完了 : 2002年 12月 9日

27.192[C/shot]의 전하량 전송을 달성하였으며, 현재 장기수명시험이 진행되고 있다.

2. VRAG 스위치의 설계 및 제작

스위치로서 일반적으로 고려해야 할 설계변수들은 전극간격, 전극의 직경, 트리거 전극 구조, 전극재질 및 지지구조 등이 있다. 진공밀봉형 VRAG 스위치인 경우 고유 변수로는 진공도, 스크린의 설치, 진공누설을 고려한 getter 등이 있다. VRAG 스위치는 아크에 의한 투입을 담당하는 주전극과 트리거시스템으로 나누어진다. VRAG 스위치를 설계하려면 전극과 트리거시스템이 함께 고려되어야 한다. 우선 전극은 동작전압과 전류, 사용 조건 등을 고려한 전기적 변수를 결정한 다음 기하학적 변수와 재료를 선정하였다. 여기서 개발하고자 하는 VRAG 스위치의 전기적 변수는 최고 사용전압 22[kV], 최저 사용전압 0.5[kV], 첨두 전류치 200[kA_p], 펄스폭 0.5~1[ms], 전달 전하량 100[C]급 및 내구도는 10,000회이다.

2.1 주 전극의 설계

주 전극은 전기전도도가 좋으면서도 녹는점이 높은 재질이 좋다. 최근 일반적으로 사용하는 재질은 내열, 내 아크특성이 우수하고, 증기압이 낮아 O₂를 잘 흡착하는 CuCr이 많이 사용된다. VRAG 스위치 전극 재질은 최근 많이 이용되고 있는 구리와 크롬 분말을 조성비 Cu:Cr=75:25[wt%]로 진공 소결한 합금을 이용하였다. CuCr의 특성은 밀도(density) 8.10[g/cm³], 경도(hardness) 70[HRB], 전도도(electrical conductivity) 51[IACS%]이다. 전기 전도도는 구리의 1/2이며, 소결시 CuCr금속에 포함된 가스는 O₂ 420[ppm], C이 73[ppm], N₂가 24[ppm] 및 H₂가 12[ppm]로 나타났다.

전극의 형상은 횡자계를 형성할 수 있도록 그림 1과 같이 3개의 나선형 날개가 120. 간격으로 구성된 양극 및 음극전극으로 구성하였으며, 양, 음극 전극의 날개에 흐르는 전류가 서로 반대방향이 되도록 설치하였다.

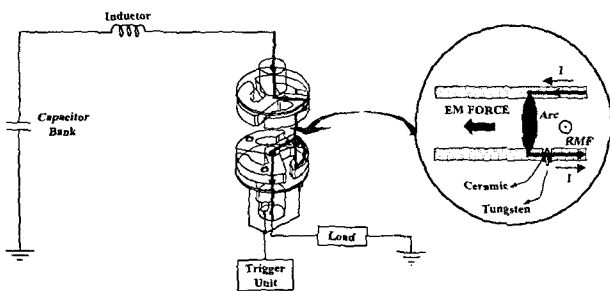


그림 1 VRAG 스위치 동작 원리
Fig. 1 The Basic Concept of VRAG Switch

스위치 동작 시 진공아크는 식 (1)과 같이 아크에 작용하는 힘은 ϕ 방향으로 받아 전류가 인가되는 한 무한루프를 돌게 된다. 단 B는 양, 음극 전극날개에 흐르는 전류에 의해 발생하는 횡자계이고, 방향은 \vec{r} , 전극간의 진공 아크 전류

I의 방향은 \vec{z} 이다.

$$\vec{F}\phi = \vec{Iz} \times \vec{Br} \tag{1}$$

VRAG 스위치 동작 시 발생하는 전극간 반발력에 의한 날개 전극의 변형을 방지하기 위해 전극 하부에 스테인레스로 만든 지지판을 설치하였다.

스위치의 전극간 거리를 결정하는 요소는 여러 가지가 있는데, 이것은 스위치 동작 후 절연회복시간에 영향을 미치기도 한다. 1980년 Farrall의 발표자료에 따르면 진공중 은전극을 이용했을 때 전극간의 거리가 가까울수록, 서로 마주보고 있는 전극의 면적이 클수록 절연회복시간은 짧아진다고 보고하고 있다[4]. 스위칭 후 절연회복속도가 중요한 고반복 스위치는 전극의 면적이 넓고, 간격이 짧은 것이 유리하다. VRAG 스위치는 고전압·대전류용이고, 저반복 스위치이므로 빠른 절연회복특성은 고려하지 않아도 된다.

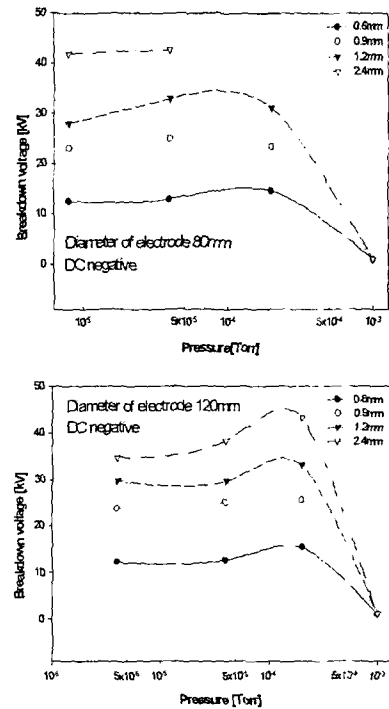


그림 2 진공중 나선형 전극의 전극간 거리에 따른 절연파괴 특성, 전극의 직경 80, 120[mm]
Fig. 2 Characteristics of Electrical Breakdown depended upon the distance between Spiral Electrodes in Vacuum, Diameter of Electrode 80, 120[mm]

진공중의 절연파괴전압을 조사하기 위해 직경 80, 120[mm]인 VRAG 스위치 전극을 대상으로, 전극간 거리 0.6, 0.9, 1.2, 2.4[mm], DC 부극성 전압을 인가하였다. 측정된 절연파괴전압특성은 그림 2에 나타내었다. 압력 1×10⁻⁴[Torr]에서 압력효과(pressure effect)가 발생하는 것을 볼 수 있으며, 전극 간격이 0.9[mm]이상이 되면 절연파괴전압 20[kV] 이상이 되는 것을 알 수 있다. 따라서 전극간격은 1[mm] 이상이 되면 최고 사용전압에 충분하고, 오히려 전극간격은 전극간에 작용하는 전자기력을 고려해 결정된다.

VRAG 스위치의 압력은 그림 2의 실험결과에서 보는 바와 같이 1×10^{-4} [Torr]에서 압력효과가 나타나므로, 급작스런 압력의 상승이 일어나더라도 절연내력 저하로 인한 사고를 방지할 수 있는 이점이 있다. 따라서 압력은 5×10^{-6} [Torr] 이하가 적합하리라 생각된다.

2.2 트리거 시스템

트리거 시스템은 VRAG 스위치전극에 설치되는 트리거전극과 주 전극간에 플라즈마 주입을 위한 트리거전원장치로 구성된다. 스위치의 제작시의 전기적 변수로서 실제 시스템을 구성할 때 고려해야 중요한 변수가 있는데 그것은 지연시간, 리터시간이다. 트리거 전압, 트리거 펄스 에너지, 주 전극간의 전압의 변화 등은 이들 변수에 영향을 미친다. 또한 트리거장치를 음극 또는 양극에 설치하는 방법과 인가되는 트리거 펄스의 극성에 따라서 달라진다. A. J. Green & C. Christopoulos[5]에 의하면 양극에 트리거전극을 설치하고 인가 트리거 펄스로 positive를 인가한 경우를 A+, negative를 인가한 경우를 A-, 음극에 트리거 전극을 설치하고 positive를 인가한 경우를 C+, negative를 인가한 경우를 C-라 했을 때 트리거 지연시간은 트리거 전류가 작을 때는 A+가 가장 짧다. 그러나 트리거 전류가 50[A] 이상이 되면 트리거 지연시간은 네 가지 경우 모두 5[μ s]로 수렴한다.

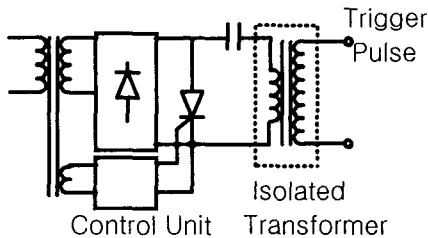


그림 3 트리거용 전원장치의 회로도
Fig. 3 Block diagram of power supply for trigger

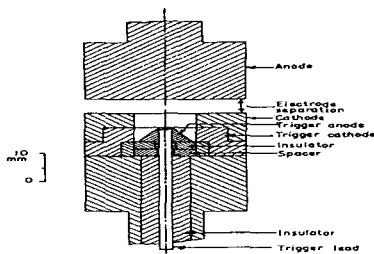


그림 4 트리거 전극구조
Fig. 4 Trigger electrode

전극간 간격, 음극전극의 상부면과 트리거 전극시스템의 양극 상부와의 거리가 길어지면 지연시간이 길어지게 된다. 따라서 본 실험에서는 A. J. Green & C. Christopoulos의 연구결과를 참고하여, 트리거 지연시간이 10[μ s]이하가 되도록 설계하였고, 회로도는 그림 3과 같다. 트리거 에너지는 1[J], 트리거 피크전압 5[kV], 트리거 전류 100[A_p]를 발생하는 트리거 전원장치를 제작하였다.

트리거 전극구조는 그림 4와 같고, 트리거 전극의 재질은

텅스텐이고 절연물은 Al_2O_3 (52%)인 세라믹을 이용하였다. 지연시간, 리터시간을 줄이기 위해 다중 트리거 전극인 3개의 트리거전극을 음극에 설치해서 트리거 펄스를 동시에 인가했다.

3. VRAG 스위치의 동작시험

3.1 트리거 시스템 동작특성

그림 5는 트리거 시 방전모습을 카메라의 셔터를 열어두고 촬영한 것으로, 트리거 펄스를 트리거전극에 인가했을 때 트리거 전극에서 플라즈마가 잘 발생하는 것을 볼 수 있다. 3개의 트리거 전극을 전기적으로 병렬로 연결하여 트리거 펄스를 동시에 인가하기 때문에, 가장 먼저 동작하는 트리거 전극만 동작하게 된다. 트리거 펄스를 여러 번 연속해서 인가하게 되면, 각각 3개의 트리거전극에서 플라즈마가 주 전극간으로 잘 주입되는 것을 볼 수 있다.

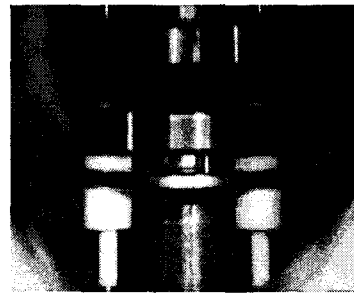


그림 5 진공 중 트리거 동작시험 모습
Fig. 5 Figure of operating the trigger in vacuum

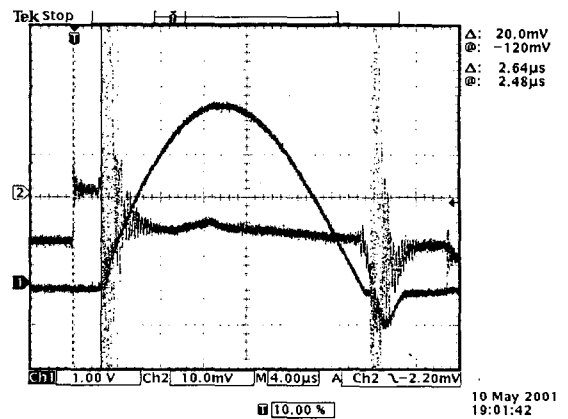


그림 6 트리거 전압, 전류파형
Fig. 6 Voltage, current waveform of trigger unit

트리거 전류는 Stangenes Industries Inc.의 Model 1-0.1, 출력 전압/전류는 0.1인 CT(Current Transformer), 전압은 Tektronix사의 P6015A인 고전압 프로브를 이용하여 측정하였다. 그림 6의 CH1, CH2의 곡선은 트리거 전류 및 SCR의 게이트의 전압을 나타낸다. 트리거전원장치의 스위치를 투입하면 VRAG 스위치의 음극에 트리거 펄스전압이 인가된다. 그러면 4[μ s] 후에 그림 6의 CH1과 같은 첨두치 40[A], 펄스폭 30[μ s]인 전류펄스가 흘러 주 전극간에 플라즈마를 주입하게 된다. 따라서 전류펄스 생성시간 Δt_p 는 4[μ s]이다.

그림 7은 충전전압 4[kV]를 1,236[μ F]인 캐패시터뱅크에 충전한 다음 트리거전원장치의 스위치를 투입했을 때 SCR게이트 전압파형(CH2)과 주 전극간에 흐르는 전류파형(CH1)을 측정하는 것이다. 트리거전원장치의 스위치 투입하는 시간과 주 전극간을 흐르는 전류의 개시 시간의 차, 즉 VRAG 스위치의 지연시간 Δt_{delay} 는 10.8[μ s]이다. VRAG 스위치의 동작에 필요한 플라즈마가 주 전극간에 형성되는데 걸리는 시간은 VRAG 스위치 지연시간에 전류펄스 생성시간 Δt_{ip} 를 빼면 된다. 따라서 인가전압 10[kV]일 때 약 6 [μ s]인 것으로 나타난다. 또한 수신회 걸쳐 실험해보면 지터시간은 2~3[μ s]정도이다.

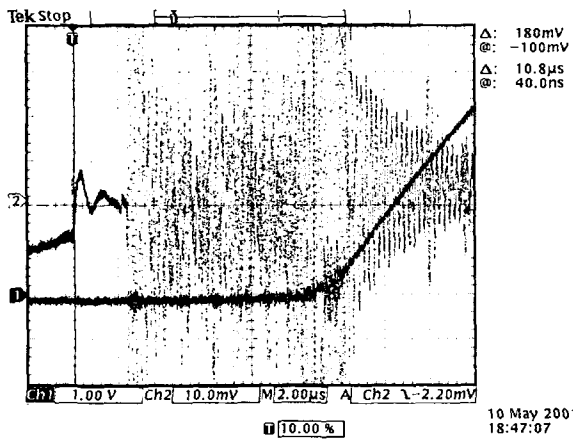


그림 7 주 전극 전류와 트리거 전압파형
Fig. 7 Main electrode current and trigger voltage waveform

3.2 VRAG 스위치전극의 동작

전술한 바와 같이 설계 제작된 VRAG 스위치가 잘 동작하는가를 시험하기 위한 챔버는 최고 사용전압 22[kV], 투입펄스전류 200[kAp], 펄스폭 1[ms], 챔버 압력 10^{-6} [Torr]이하, 전극간 간격 0~20[mm] 조절가능, VRAG 스위치의 주전극용 진공 feed-through는 전압 30[kV], 전류 200[kA]이상, 트리거전압 인입용 feed-through는 전압 5[kV]이상 절연, 진공아크 관측용 창 180[.]의 2개, 절연물 보호용 스크린이 설치되어 있다. VRAG 스위치 구동용 시험 회로는 그림 8과 같이 충전기, 캐패시터뱅크(C = 1,236[μ F]), 덤프, 전송 케이블(L = 8.3[μ H]) 및 저항부하(R = 100[m Ω])로 구성된다.

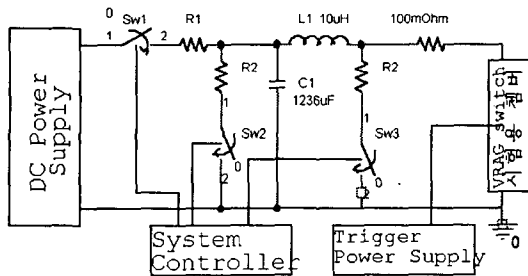


그림 8 VRAG 스위치 시험회로도
Fig. 8 Test Circuit for VRAG switch

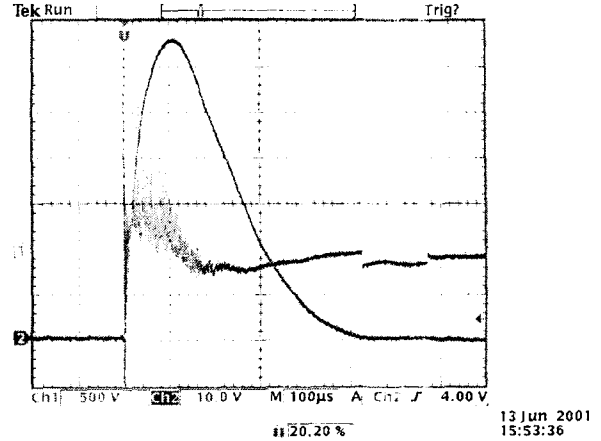


그림 9 VRAG 스위치 동작시의 전압, 전류파형
Fig. 9 Voltage and Current Waveform when VRAG Switch operated

그림 9는 캐패시터뱅크에 전압을 10[kV] 충전한 다음 VRAG 스위치를 동작시켰을 때 오실로스코프로 측정된 파형으로서 CH1은 VRAG 스위치 양단에 걸리는 전압 파형이고, CH2는 VRAG 스위치를 흐르는 전류 파형이다. 펄스폭은 520[μ s], 전류상승시간은 100[μ s]이다. 전류 영점에서 절연이 회복되어 전류가 끊어지고 전압은 잔류전하에 의해 전압이 VRAG 스위치의 양단에 나타나는 것을 볼 수 있다.

황자계형 진공스위치 전극에서 발생하는 양극점(anode spot), 음극점(cathode spot)이 발생하는 것을 VRAG 스위치 양단의 전압 파형으로 추정할 수 있다. 이러한 현상은 초고속 Motion Analyzer로 촬영한 그림 10에서도 볼 수 있다. 측정된 전압, 전류파형을 PSpice를 이용해 VRAG 스위치의 회로정수를 구해보면 $R_{VRAG}=4.3[m\Omega]$, $L_{VRAG}=0.8[\mu H]$ 로 된다. VRAG 스위치내에 0.8[μ H]의 인덕턴스가 존재하는 것은 전극간의 진공 아크를 회전시키는데 필요한 자장에 의한 것으로 추정된다.

그림 10은 캐패시터뱅크에 전압 4[kV]를 충전한 다음, VRAG 스위치를 동작시켰을 때 진공 중 아크의 거동을 KODAK EKTAPRO HS Motion Analyzer; Model 4540mx로 촬영한 것이다. 카메라의 측정조건은 노출시간 1/27,000 [sec], 프레임 속도 27,000[frame/sec]이다. 진공 중 아크는 전류파형의 전류상승시간이 약 100[μ s]이므로 2번째 프레임에서 양극점과 음극점에 의해 진공아크가 형성되는 것을 볼 수 있다. 응축된 아크가 3번째 프레임에서 6번째 프레임까지 이동하는 것으로 볼 수 있으며, 이때 진공아크의 회전속도는 프레임 속도로 추정해 보면 대략 0.6~1[km/s]정도이다. 이후의 프레임에서는 점차 아크가 감소하면서 음극전극에 많은 음극점을 남기며 소멸하는 것을 볼 수 있다.



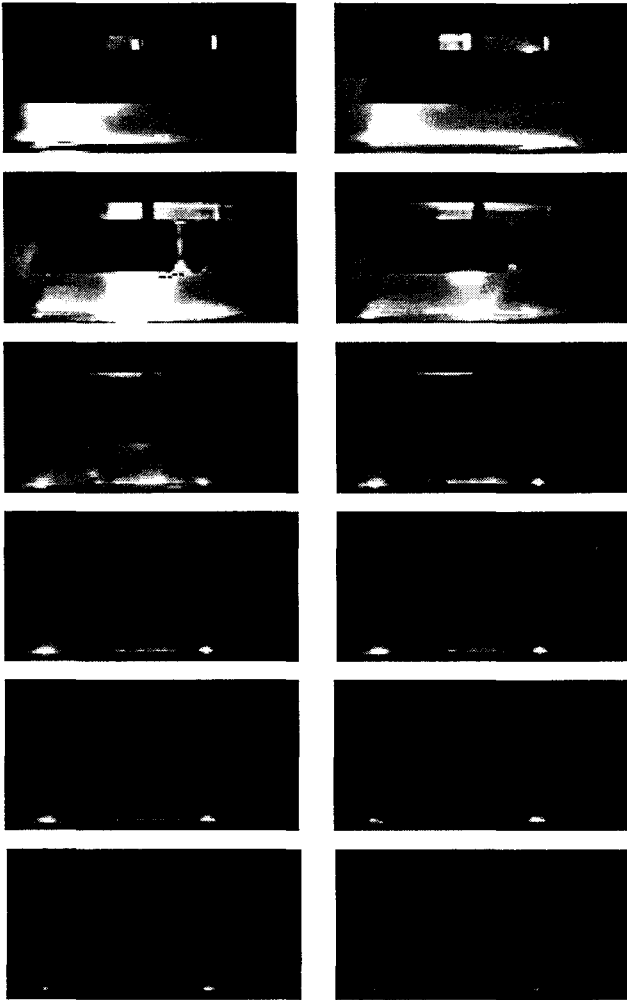


그림 10 Motion Analyzer(Model 4540mx)로 촬영한 VRAG 스위치 동작시의 아크모습(노출시간1/27000 sec, frame speed 27000 frame/sec)

Fig. 10 Figures of the arcs photograph by Motion Analyzer(Model 4540mx) when VRAG switch operated (expose time 1/27000 sec, frame speed 27000 frame/sec)

4. 결 론

본 논문에서는 고전압·대전류용 진공 회전 아크 갭 스위치전극과 트리거시스템을 설계 및 제작하였고, 제작된 스위치 전극을 진공 챔버내에 설치한 후, 트리거 시스템과 동작시험을 통해 다음과 같이 잘 동작하는 것을 시험 확인하였다.

- 주전극 재질은 내열, 내아크 특성 및 전기전도도가 우수한 CuCr을 사용하였고, 전극 형상은 횡자계를 발생시키기 위하여 3개의 나선형전극을 사용하였다.

- 전압 22[kV]에 대한 진공중 절연은 전극간 거리 0.9[mm] 이상이면 충분하나, 자장에 의한 전극간에 작용하는 반발력을 고려해 8 ~ 12[mm]가 적당하다.
- 트리거는 에너지 1[J], 피크전압 5[kV]인 펄스전압을 발생하는 전원장치를 제작하였으며, 트리거전극의 지연시간은 10.6[μs], 지터는 2~3[μs]정도로 나타났다.
- 전압 22[kV], 전류 100[kA], 27.192[C/shot]의 전하량을 부하에 전송할 수 있다.
- VRAG 스위치 아크의 거동은 Motion Analyzer로 촬영하여 아크가 설계한 대로 전극간에서 회전하는 것을 볼 수 있었고, 아크의 속도는 대략 0.6~1[km/s]로 추정된다.

감사의 글

본 논문은 국방부에서 시행한 민군겸용 기술 개발 사업으로 수행된 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] S. T. Pai & Qi Zhang, Introduction to high power pulse technology, Advanced Series in Electrical and Computer Engineering, Vol 10
- [2] Gerhard Schaefer and M. Kristiansen, Gas Discharge Closing Switches, Preum press, 1990
- [3] 임근희, 이홍식, 강동필, Rotary Arc Gap (5kV, 100kA) 투입 스위치 개발, 과학기술부 특정연구개발사업 연구보고서, 97-NZ-01-01-A-31, 2000
- [4] Farrall, G.A., Current Zero Phenomena, Chap 6, in: "Vacuum Arcs", J.M. Lafferty, ed., Wiley-Interscience, New York, 1980.
- [5] A. J. Green and C. Christopoulos "Plasma buildup and breakdown delay in a triggered vacuum gap" IEEE Transactions on plasma science, Vol. PS-7, No. 2, pp 111 - 115, June 1979
- [6] J. M. Lafferty, "Triggered Vacuum Gaps", Proceeding of The IEEE Vol. 54, No. 1, pp 23 - 32, January 1966.
- [7] S Kamakshaiah and R S N Rau "Low-voltage and high-current delay characteristics of a simple triggered vacuum gap", J. Phys. D : Appl. Phys., Vol. 8, pp 1017 - 1022, 1975
- [8] G. N. Aretov, V. I. Vasil'ev, M. I. Pergament, and S. S. Tserevitinov, "Delay characteristics of Vacuum Disc Switches", Soviet Physics- Technical Physics, Vol. 12, No.1, pp 90 - 96 July, 1967

저 자 소 개



서길수 (徐吉洙)

1966년 8월 25일생. 1989년 영남대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1995년~현재 한국전기연구원 선임연구원

Tel : 055-280-1532

Fax : 055-280-1590

E-mail : ksseo@keri.re.kr



황동원 (黃棟遠)

1972년 4월 10일생. 1997년 경일대학교 전기공학과 졸업. 1999년 영남대학교 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동대학원 박사과정 수료. 2001년~현재 (주)산들네트웍스 근무중

Tel:02-3070-1327, Fax :

E-mail : dwhwang@sandeul.co.kr



이태호 (李泰浩)

1972년 6월 19일생. 1997년 인하대 전기공학과 졸업. 1997년~1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

Tel : 032-860-7391

Fax : 032-863-5822

E-mail : g1991140@inhavision.inha.ac.kr



황리호 (黃理浩)

1968년 9월 17일생. 1994년 부산대, 기계설계공학과 졸업. 1994~현재 비츠로테크 과장

Tel:031-489-2112, Fax:031-492-2216

E-mail : hlh917@vitzrotech.com



김희진 (金禧鎭)

1959년 3월 13일생. 1980년 광운대 전기공학과 졸업. 1982년 인하대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994~현재 비츠로테크 이사

Tel:031-489-2004, Fax:031-492-2116

E-mail : hjkim@vitzrotech.com



이홍식 (李弘植)

1953년 9월 13일생. 1975년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 한국전기연구원 전기물리그룹장(책임)

Tel : 055-280-1491, Fax : 055-280-1490

E-mail: hslee@keri.re.kr



임근희 (林根熙)

1955년 10월 7일생. 1978년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1988년 미국 Virginia Polytech Institute & State University (VPI & SU) 전력전자 석사. 1988. 2 동대학 박사. 현재 한국전기연구원 산업전기연구단장

Tel:055-280-1400, Fax : 055-280-1490

E-mail : ghrim@keri.re.kr