

4-채널 스파크 갭 스위치의 동작특성에 관한 연구

*최 승길 ° *조 주현 *장 용무 **정 은관 *강 형부

*한 양 대 학 교
**조 선 대 학 교

A Study On The Operating Characteristics Of 4-Channel Spark Gap Switch

*S.K. Choi ° *J.H. Cho *Y.M. Chang **W.K. Chung *H.B. Kang

*Hanyang University
**Chosun University

ABSTRACT

Low inductance 4-channel spark gap switch was designed and performed. At NTP, self-breakdown voltage is 29kv, 43kv and 33kv when ratio of seperation(d_1 ; d_2) is 1 : 1, 1 : 2 and 1:3 respectively.

1. 서 론

세타 편지 장치는 콘덴서 방전등을 에너지원으로 하여 스위치를 통하여 고전압, 대전류를 플라즈마관 밖의 코일에 흐르게 하여 축방향으로 자장을 발생시키고 이 자장 변화에 의해 기전력이 유기되어 θ 방향으로 플라즈마 전류가 흘러 이 전류와 축 방향의 자장에 의해 플라즈마를 압축시키는 장치이다. 이러한 세타 편지 장치와 같은 고전압 발생 장치에서, 방전에 의한 펄스형의 대전류를 부하에 전송시키기 위한 스위치가 극히 중요한 문제가 된다. 이런 스위치는 방전할 때 전류의 rising time이 빨라야 하고 스위치에 의한 전압 강하가 작아야만 손실을 줄일 수 있으므로 스위치의 임피던스 성분은 작아야 한다.

일반적으로 고온 플라즈마 발생 장치에 쓰이는 스위치의 요구 조건은 아래와 같다.¹⁾

- 1) 대전류를 안정하게 방전시킬 것
- 2) 빠른 rising time, 짧은 time-jitter를 가질 것
- 3) 큰 전기에너지를 낮은 손실로 부하에 전달할 것
- 4) 수명이 길 것
- 5) 전압에 대해 동작 범위가 넓을 것

바른 스위칭 시간을 얻기 위해서 지금까지 개발 사용된 스위치중 주된 것은 진공 갭 스위치, 유전체 스위치, 가압형 스파크 갭 스위치 등이다.^{1),2)} 그러나 진공상태에서 절연파괴를 일으켜 스위치 동작을 하는 진공 갭 스위치는 짧은 간극에서도 큰 전계에 견딜 수 있으므로 낮은 인덕턴스가 가능하나 전압에 대한 동작범위가 좁다는 단점이 있고 유전체 스위치는 한번 동작 후 절연체를 교환해야 하는 불편한 점이 있어 가압형 스파크 갭이 널리 사용되고 있다.

보통 pulse의 rising-time은 인덕턴스에 비례하는 특성을 가지므로 스위치의 인덕턴스를 줄이기 위해 병렬형 4-channel 스위치를 제작하여 동작 특성을 알아보았다.

2. 본 론

용량이 큰 capacitor bank를 방전시킬 때 대전류를 얻기 위해서는 일반적으로 스파크 갭이 사용되나 단일 갭 스위치는 인덕턴스가 커서 rising-time이 길고 전극의 손상이 크므로 여러번 사용할 경우 절연 파괴 전압이 감소하여 신뢰도가 문제가 된다.³⁾

스파크 갭 스위치의 rising-time t_g 는 저항에 의한 시간항 t_{res} 와 인덕턴스에 의한 시간항 t_{ind} 로 구성되어 아래와 같이 쓸 수 있다.⁴⁾

$$t_g = 2.2 (t_{res}^2 + t_{ind}^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$t_{res} = 88 \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$t_{ind} = \frac{L}{Z} \quad (3)$$

$\left\{ \begin{array}{l} \rho : \text{기계 밀도} \\ \rho_0 : \text{NTP에서의 공기 밀도} \end{array} \right.$

위 식 (1), (2), (3)으로부터 회로 임피던스가 작은 경우에는 저항에 의한 시간항은 무시할 정도로 작게 되어 펄스의 rising time은 주로 인덕턴스에 의한 시간항에 의해 좌우된다. 균일한 전계하에서 여러 채널로 동작이 가능하게 된다면 식 (3)에 의해 인덕턴스는 상당히 감소하여 rising time이 개선될 것이다.

3. 스위치 제작 및 실험 방법

스파크 갭을 제작할 때 고려해야 하는 기본적인 것으로는 전극의 곡률, 트리거 전극의 재질 및 직경, 전극과 트리거 전극간의 간격비, 트리거 방법 등이다. 그림 1-a와 그림 1-b는 각각 본 실험에서 설계 제작한 스위치의 개략도와 스위치의 전경 사진이다.

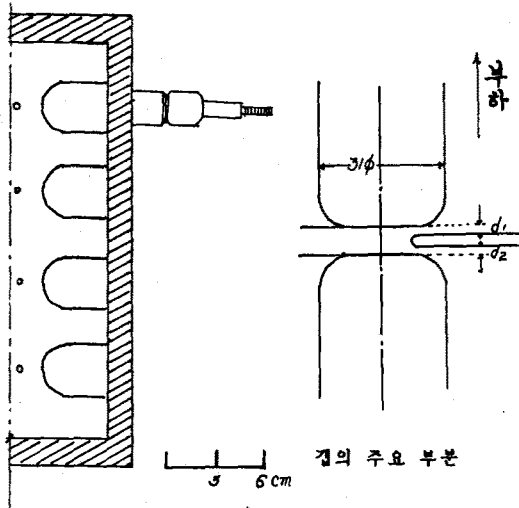


그림 1-a. 병렬형 4-channel spark gap 스위치의 개략도

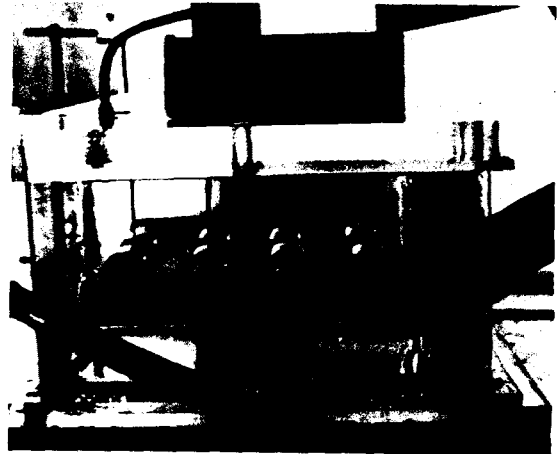


그림 1-b. 스위치의 전경 사진

전극(직경 = 31 mm)은 황동을 재질로 하여 균일 전계를 얻기 위하여 타원형으로 제작하였고, 전극과 트리거 전극간의 간격 조정이 가능하게 하였다. 이때 전극 사이의 최대 간격은 35 mm이다.

용기는 두께 15 mm의 알루미늄판을 사용하였고, 용기의 뒷면에 두개의 hole을 설치하여 대기압과 가압 상태에서 동작할 수 있도록 하여 넓은 전압 동작영역을 갖도록 함과 동시에 방전후의 불순물을 제거할 수 있도록 하여 불순물에 의한 절연 파괴 전압감소를 최소화시키려 하였다.

바른 스위칭 동작을 위해서는 트리거 전압의 크기, rising time, 트리거 방법도 문제시된다. 여기서 트리거란 주전극 이외의 제 3의 전극(트리거 전극)에 신호를 가함으로써 갭사이의 절연물(진공, 기계, 액체, 고체)를 절연 파괴시켜 스위치를 도통시키는 것을 의미한다. 본 실험에서는 부극성의 트리거 신호를 직경 2mm의 황동편에 가함으로써 갭사이의 전계를 왜곡시켜 스위치를 동작시키는 방법을 이용하였다. 그림 2는 전계 왜곡에 의한 트리거 방법을 나타낸 것이다.

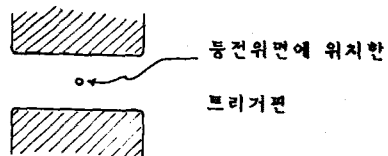


그림 2. 전계 왜곡에 의한 트리거 방법

4. 실험 결과 및 고찰

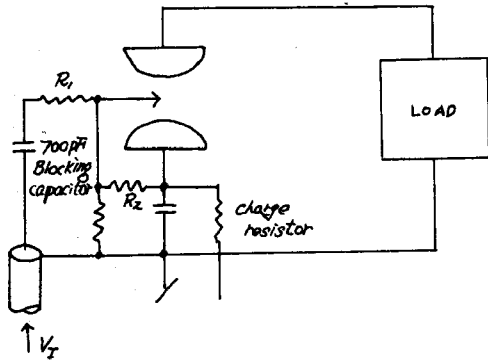
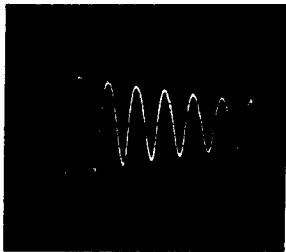


그림 3. 스위치의 회로도



V = 30 kV

V = - 30 kV

그림 4. 자기 탐침에 의한 전압파형

그림 3과 같이 회로를 구성하여 전극 간격을 15mm로 조정하여 30 kV의 충전 전압에서 -40kV의 트리거 펄스를 가했을 때, magnetic probe로 측정한 전압 파형을 그림 4에 나타내었다. 위의 조건에서 $d_1 : d_2$ 를 1:1, 1:2, 1:3으로하여 각각 30회 스위치를 트리거 신호없이 동작시켰을 때 자발전압의 평균치는 각각 29kV, 42.5kV, 33kV였고 자발전압은 평균치에서 ± 2 kV 정도의 편차를 가졌다. 이 사실로부터 본 실험에서 사용한 스위치는 4 channel로 동작하여 전극의 손상이 적게되어 방전후 이물질에 의한 절연 파괴 전압의 감소가 적음을 알 수 있었고 $d_1 : d_2$ 가 1:2일 때 최대 절연 파괴 전압을 갖는다는 사실을 알 수 있었다. 절연 파괴 전압은 전극과 압력의 곱의 함수이고 전극의 간격이 좁을수록 인덕턴스가 작으므로

가압에 의해 전극 간격을 줄일 경우에는 보다 짧은 rising time과 전압에 대한 넓은 동작 영역을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

5. 참고 문헌

- 1) I. Hayashi, Vacuum Switch for High-Power-Pulse Discharge, J.I.E.E.J., vol.82, p.1093, 1961
- 2) T. R. Burkes et al, A Review of High-Power Switch Technology, IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-26, p.1401, 1979
- 3) G. R. Neil et al, Multichannel, High-Energy Railgap Switch, Rev. Sci. Instrum., vol.49, p.401, 1978
- 4) H M von Bergmann, Triggered Multichannel Surface Spark Gaps, J. Phys. E, vol.15, p.243, 243