

고전압 대전류 Multichannel Pseudo-spark 스위치 연구¹

박성수*, 한영진, 김상희, 권영건, 김승환, 박용정, 남상훈
포항공과대학교 포항가속기연구소 가속기부

Study of Multichannel Pseudo-spark Switch for High-voltage and High-current¹

S.S.Park*, S.H.Nam, Y.J.Han, Y.K.Kwon, S.H.Kim, Y.J.Park, S.H.Kim,
Accelerator department, Pohang Accelerator Laboratory, POSTECH

Abstract - This paper attempts to discuss the pseudo-spark which is developed for high voltage and high current. The pseudo-spark switch is on the basic of the Paschen's law. The pseudo-spark switch fabricates the glass chamber. The pseudo-spark switch consists of hollow cathode, hollow anode, and trigger. The pseudo-spark switch is operated at the voltage of 20 kV and the pressure range of 20~80 mtorr with He-gas. The switching current of the pseudo-spark switch was measured as 65 kA, and the duration of the pulse was about 100 μ s. This paper describes the results of tests and the characteristics of the switch.

1. 서 론

현재까지 알려진 Pseudo-spark의 특성을 정량적으로 잘 설명하는 이론은 찾아보기 힘드나, 이에 대한 실험연구는 활발히 진행되고 있다[1~3]. Pseudo-spark 시스템의 방전 시에 흐르는 매우 큰 전류는 field enhanced thermionic electron emission으로 설명이 가능하며, 방전전압과 압력의 관계는 cathode hole 내부에 존재하는 진동하는 전자(pendular electron) 때문에 평행판 구조와는 매우 다르게 나타나는 것으로 알려져 있다[4]. 본 논문은 시험 장치에 Multichannel Pseudo-spark 스위치를 제작하여 시험을 하였으며 수행한 스위치 동작 특성에 대한 설명을 하였다.

2. 본 론

2.1 Pseudo-spark switch의 기본 메커니즘

2.1.1 Paschen 법칙

가스진공 속의 전극 사이로 전류가 흐르기 위해서는 자유롭게 움직이는 전하들이 형성되는 환경을 만들어야 한다. 그 예로서 자연환경에 존재하는 코스모광선(cosmic ray)에 의한 이온화 과정을 들 수 있다. 이 광선은 대개 단위 cm^{-3} 그리고 초당 10~100 개의 전자들을 형성시킨다. 그러나 이 정도의 전자 수는 전기적 전류의 흐름에 있어서는 무시 될 정도로 작은 수이다. 낮은 가스 진공 속에서 보다 확실한 전류 흐름을 만들어내기 위해서는 인공적으로 전극 사이에 자유전하를 만들어 내야 한다. 예를 들어 X-ray나 빠른 전자빔을 가스진공사이로 넣어주거나 광전자 방출 물질로 전자를 만들어 내는 방법 등이 있다. 전극 사이의 전기장이 방전의 문턱값(threshold value)보다 낮으면 전극사이에 흐르는 방전전류는 external ionizer를 제거하면 없어질 것이다. 이러한 방전현상을 non-self-sustained라고 한다[5]. 그러나 전극사이의 전기장의 크기가 breakdown 전압 이상이 되면 전극 사이의 방전은 external ionizer가 없이도 방전을 일으키게 된다. 전극사이의 전압을 천천히 올리게 되면 전기장은 점차

breakdown 전기장에 근접하게 된다. 그때 전극사이에서는 약한 prebreakdown이 일어나게 되는데, 좀 더 전압을 올리게 되면 급격하게 전류가 증가되는 현상이 관측되면서 전극사이의 전압은 감소하게 된다. 이러한 현상을 self-sustained discharge 혹은, breakdown이라고 부른다[6]. 실험적으로 전류가 급격히 증가하게 될 때 인가해준 전압을 breakdown 전압, V_b 라 부른다. 많은 실험에서 breakdown이 일어나기 위한 조건은 가스압력 p 와 전극사이의 거리 d 를 곱한 값인 pd 에 의한 함수.

$$V_b = f(pd)$$

로 나타내고 있으며 이를 처음으로 공식화한 사람의 이름을 따서 Paschen 법칙이라고 부른다. 그럼 1은 여러 종류의 가스에 대한 Paschen 곡선을 보여준다.

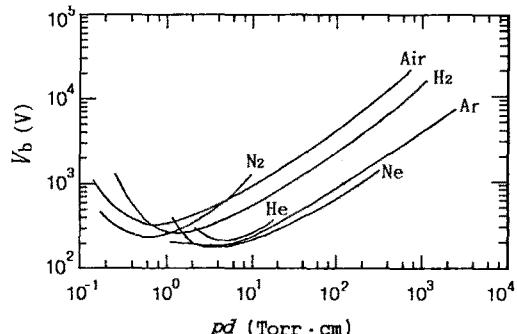


그림 1. 여러 종류의 가스에 대한 Paschen 곡선

그림 1에서 보듯이 Paschen 곡선들은 모두 그 최소값을 가짐을 볼 수 있다. 다시 말해서 Paschen 곡선에서 보여주는 최소 전압 아래로는 가스 방전이 일어나지 않는다는 의미이다. Paschen 곡선의 최소값을 기준으로 곡선의 오른쪽 영역에서는 breakdown 전압이 전극 사이의 거리가 증가할 수록 커진다. 이것은 breakdown이 짧은 경로(short path)에서 전개된다는 뜻이다. Paschen 곡선의 왼쪽 영역에서는 오른쪽 영역과는 반대로 전극사이의 간격이 늘어날수록 breakdown 전압은 줄어든다. 다시 말해서 방전이 긴 경로(long path)에서 전개된다는 의미이다. Paschen 법칙의 breakdown 전압은 다음 식과 같이 주어진다.

$$V_b = \frac{B \cdot pd}{\ln(pd) + \ln\left[\frac{A}{\ln(1+1/\gamma)}\right]}$$

위식은 일반적으로 널리 알려져 있는 Paschen 법칙의 공식이며 오늘날까지 가스 방전을 기술하는데 있어서 중

요한 법칙으로 사용되고 있다.

2.1.2. Pseudo-spark switch의 메커니즘

Pseudo-spark 방전을 일으키는 구조는 그림 2와 같이 평행판의 중간에 구멍이 뚫려 있는 구조이며 그림 3에서 보듯이 pseudo-spark는 hollow cathode 구조를 가지고 있다.

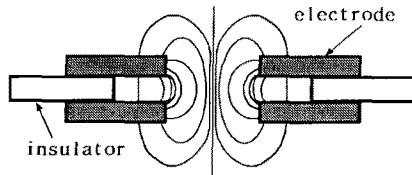


그림 2. Pseudo-spark를 일으키는 구조

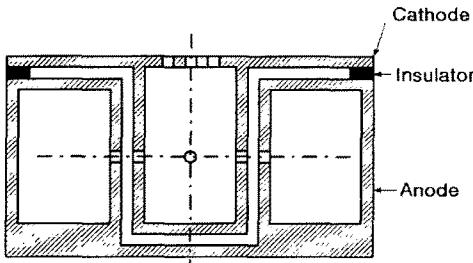


그림 3 Radial Type의 Multichannel Pseudospark Switch의 개략도

일반적으로 pseudo-spark가 실현되는 구간은 진공방전(vacuum discharge)과 Paschen minimum 사이이다[4]. 그림 3에서 보듯이 Pseudo-spark switch는 크게 hollow cathode, hollow anode로 구성되어 있다. 특히, hollow cathode는 Pseudo-spark 스위치에 있어서 가장 중요한 부분으로서 방전과 높은 밀도의 플라즈마가 생성되는 곳이다. Breakdown이 일어나기 전, 외부의 전원으로부터 공급된 전하는 외부의 축전기에 축적되고 이로 인해, hollow cathode의 벽의 포텐셜은 점진적으로 증가한다. 전압이 breakdown 전압 근처까지 도달한 상태에서 트리거를 인하하게 되면 breakdown이 전극 갭들의 사이에서 먼저 일어나게 되고, 그 후 주 방전이 hollow cathode에서 일어나게 된다[1][7].

2.2. Multichannel pseudo-spark switch의 제작 및 성능 시험

그림 4는 유리 챔버를 사용하여 설계, 제작한 고전압 고전류 Pseudo-spark 스위치이다. 스위치의 cathode와 anode는 hollow로 되어 있으며 hollow cathode 쪽에 트리거가 설치되어 있으며 cathode와 anode와의 간격은 5 mm로 구성이 되어 있다. 그림 3의 그림과 같이 Hollow cathode와 hollow anode 사이에 radial 형태로 구멍이 있으며 구멍의 지름은 5mm가 8개로 multichannel을 구성하고 있다. 그리고 챔버 내부의 진공을 측정하기 위한 진공측정장치와 가스를 주입하기 위한 포트가 cathode 플랜지에 설치되어 있으며 트리거 전원은 절연이 된 상태로 cathode 플랜지에 설치되어 있다. 그럼 5는 Pseudo-spark 스위치의 실험을 위한 회로도이다. 에너지 저장용으로 사용한 축전기(Capacitor)의 용량은 $50 \mu F$, $44 kV$ 두 개를 병렬로 사용하여 $100 \mu F$ 이며, $50 k\Omega$ 의 저항을 통하여 충전된다. 커뮤니케이터에 충전된 에너지는 $20 \mu H$ 의 인덕터를

통하여 스위칭 한다. 측정장치로는 스위칭 전류(switching current)를 측정하기 위한 $250 : 1$ 의 비율을 가진 Current Transformer(CT), 그리고 고전압 프로브를 통하여 충전방전의 전압과 전류를 측정하고 있으며 오실로스코프는 Lecroy에서 제작된 모델명 LT344를 사용하였다.

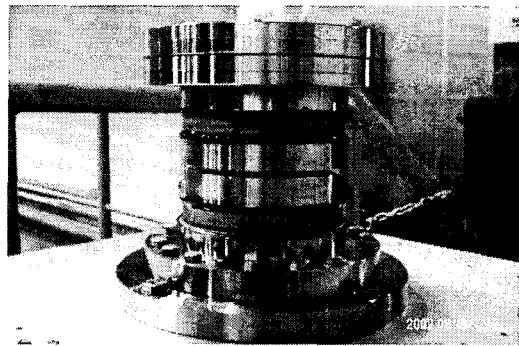


그림 4 유리 챔버를 사용하여 제작한 Multichannel Pseudospark 스위치

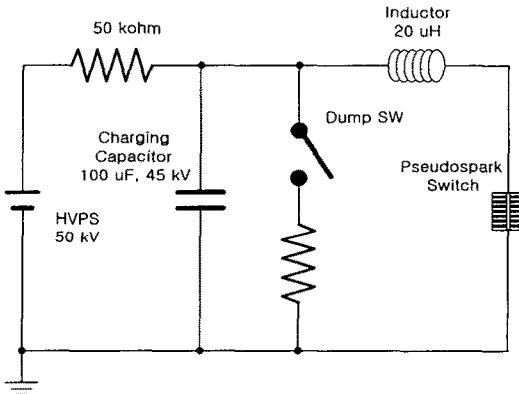


그림 5 Pseudospark 스위치의 실험을 위한 회로도

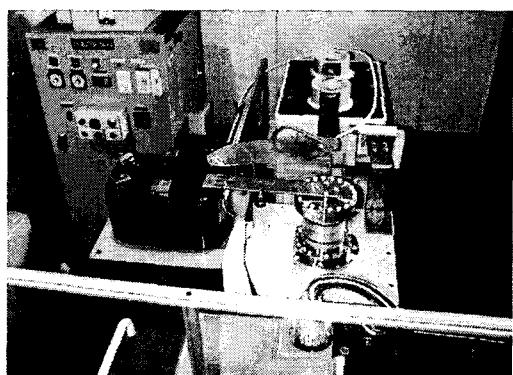


그림 6 Pseudospark 스위치의 시험 장치

그림 6은 Pseudospark 스위치의 실험을 위하여 제작한 시험 장치이다. $50 \mu F$, $44 kV$ 의 커뮤니케이터 2개를 병렬로 연결하여 에너지 저장장치로 사용을 하였으며 직렬로 $10 \mu H$ 의 인덕터를 연결하여 포항가속기 연구

소에서 제작한 pseudo-spark 스위치를 설치하여 스위치의 특성시험을 하였다.

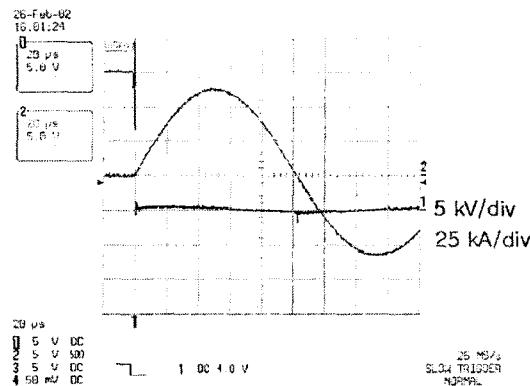


그림 7 Pseudo-spark 스위치의 전압 전류 특성시험

그림 7은 Pseudo-spark 스위치 양단의 전압 전류 시험 과정이다. 20 kV를 인가하여 약 65 kA의 첨두 전류가 흘렀으며 전류의 폴스 폭은 약 100 μ s을 얻었다.

3. 결 론

현재 제작된 Pseudo-spark 스위치의 특성 실험한 결과, 스위칭전류는 인가전압을 20 kV로 했을 경우 약 65 kA이고 폴스 폭은 100 μ s정도의 값을 가진다. 제작한 Pseudo-spark 스위치는 고전압 대전류 스위치의 본 제품을 제작하기 위한 초기 단계로 스위치의 특성 시험 및 각종 파라메타를 측정하기 위하여 제작한 시제품이다. 그리고 육안으로 스위칭되는 모습을 보기 위하여 유리 챔버를 사용하여 제작을 하였다. 앞으로 SiC 전극을 사용하여 스위치 시험을 할 예정이며 시제품의 특성 시험 결과를 갖고 seal-off된 Pseudo-spark 스위치를 제작하여 시험을 할 예정이다. 그리고 300 kJ의 커페 시터 뱅크를 제작하여 기 제작한 Pseudo-spark 스위치를 시험 할 예정이다.

{ 참 고 문 헌 }

- (1) K. Frank and J. Christansen : IEEE, Trans. on Plasma science, Vol. 17, No 5, October 1989.
- (2) W. Benker, J. Christansen, K. Frank : IEEE Trans. on Plasma science, Vol 17, No 5, October 1989.
- (3) K. K. Jain, E. Boggasch, M. Reiser, M. J. Rhee, : Phys. Fluids B 2, (10), 1990.
- (4) Y. H. Lee: Master thesis, Pohang University of Sci. and Technol. 1993.
- (5) V. L. Granovsky, "Electrical Current in Gas. The Steady Current", Nauka, Moscow, 1971 in Russian.
- (6) J. M. Meek and J. D. Craggs, "Electrical Breakdown of Gases", Clarendon Press, Oxford, 1953.
- (7) D. Bloess, I. Kamber and H. Riege : Nucl. Instrum. Method. 205 (1983) 173.
- (8) K. Frank, O. Almen, P. Bickel, J. Christansen, A. Gortler, W. Hartmann, etc., "Pseudo-spark Switches for High Repetition Rates and High Current Applications", Proceedings of the IEEE, Vol. 80, No. 6, pp. 958-970, 1991.

1) 본 연구과제는 민군겸용과제 지원을 받은것임.