

## 펄스형 Nd:YAG레이저에 의한 트리거 갭 스위치의 동작특성

남경훈\*, 정현주, 이동훈, 김희제, 조정수  
부산대학교 전기공학과

### An Operational Characteristic of a Trigger-Gap Switch induced by Pulsed Nd:YAG Laser

G. H. Nahm\*, H. J. Chung, D. H. Lee, H. J. Kim and J. S. Cho  
Dept. of Electrical Eng., Pusan National Univ.

**Abstract** - 콘덴서에 고압으로 축적된 에너지를 부하로 전달해주는 스위칭기술은 고전압 펄스 파워 분야에서 아주 필수적이다. 이러한 관점에서 볼 때, 트리거 갭 스위치는 흔히 연구실에서 용이하게 사용할 수 있고, 갭 간격을 조정함에 의해 방전전압을 가변할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 트리거 갭 스위치는 트리거 방전없이 생기는 자가방전이 발생하거나 트리거 방전이 생겨도 주방전이 일어나지 않는 경우가 있다. 본 연구에서는 이러한 일반 트리거 갭의 단점을 보완하고 확실하게 동작하는 갭 스위치의 제작에 필요한 데이터 확보를 위해 Nd:YAG 레이저를 트리거 갭 스위치 음극에 조사해 전극사이의 거리  $g$ 와 압력에 따른 최소트리거전압  $V_{T,min}$ 의 특성을 파악하였다.

#### 1. 서 론

레이저를 이용한 방전제어기술은 산업의 여러 응용분야에서 대단히 주목받고 있다. 그 예로, 레이저를 이용해서 방전을 트리거하여 대전류의 스위칭에 이용하거나[1], 방전경로를 레이저로 제어하여 방전가공에 응용하는 경우, 번개를 레이저로 유도하는 레이저 유뢰[2] 등을 들 수 있다. 그 중에서도 수~수백 [kV]급의 산업용 콘덴서 전원이 많이 사용되어지면서 대전류의 스위칭 기술이 중요한 역할을 수행하고 있다. 이러한 스위칭에 사용되는 스위치는 통상 이그나이트론(ignitron, 아크점화장치형수은방전관), 사이라트론(thyatron, 열음극방전관), 사이리스터, 트리거 갭 스위치가 있다. 이그나이트론은 수은의 유해성 및 기타 요인으로 인해 생산이 중단되어 입수가 곤란하며, 사이라트론은 펄스레이저의 전원에 많이 사용되는 데 가격이 비싸다. 사이리스터는 쉽게 구할 수 있지만, 고용량 사이리스터의 경우 가격이 상당히 비싸며 소용량 사이리스터를 여러 개 스택접지로 연결해서 사용한다고 해도 분압저항을 통하는 누설전류가 문제가 된다. 더욱이, 각 사이리스터의 게이트 타이밍이 어긋나면 모든

사이리스터가 파괴되는 경우도 있다. 이러한 면에서 볼 때, 트리거 갭 스위치는 보편적으로 용이하게 사용할 수 있고, 갭 간격을 조정함에 의해 트리거전압을 가변시킬 수 있는 장점이 있다. 그러나, 트리거 갭 스위치는 수[kV]대의 동작특성이 10[kV] 이상에서의 동작특성에 비교해서 상당히 나쁘며, 전극 간격의 조정불량에 의해서 트리거 방전없이 생기는 자가방전이 발생하거나, 트리거 방전이 생겨도 주방전이 일어나지 않는 경우가 있다[3-9].

본 연구에서는 이러한 일반 트리거 갭의 단점을 보완하고 효율적인 스위칭이 가능하도록 하는 방법으로 펄스형 Nd:YAG 레이저를 트리거 갭 스위치의 음극에 조사하여 최적의 레이저 빔 조사점을 찾는 한편, 트리거가 가능한 전압범위 및 두 전극사이의 거리와 압력에 따른 동작특성을 파악함으로써 필요한 기초 데이터를 얻고자 하였다.

본 연구에서 사용된 적외선 레이저는 본 실험실에서 자체 설계, 제작한 펄스형 Nd:YAG 레이저이다. 실험압력은 10 [Torr]에서 100 [Torr]이며, 레이저 출력  $E$ 는 200 [mJ]로 고정한 상태에서 실험하였다.

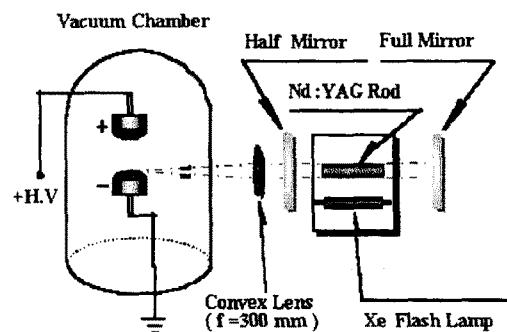


그림 1. 실험장치의 개략도

## 2. 본 론

### 2.1 실험 장치

그림 1은 본 연구에서 사용되어진 펄스형 Nd:YAG 레이저와 진공조의 개략도이며, 그림 2는 레이저 빔의 조사지점을 보여주고 있다. 트리거 캡 양단에 인가되는 전원장치는 용량 2 [nF], 내압 30 [kV]의 콘덴서 10개로 구성된 배압회로로서 15 [kV]까지 공급 가능하도록 제작되었다. 진공조는 내경 17.5 [cm], 높이 19 [cm]이고, 재질은 유리이며 들판 형태로 제작되었다. 트리거 캡은 동작시간이 짧고 전류용량이 큰 전계 왜곡형 캡을 선택하였고, 재질은 청동이며 직경 3 [cm], 두께 2 [cm]이다. 그리고, 부분반사경의 전방에 초점거리가 300 [mm]인 집광렌즈를 설치하였다.

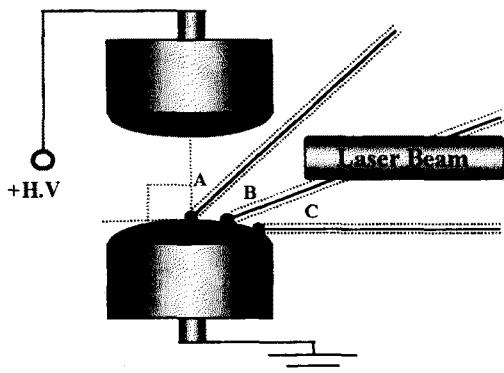


그림 2. 레이저 빔 조사지점

### 2.2 실험 방법 및 결과 고찰

본 실험은 레이저 출력  $E$ 를 200 [mJ]로 고정한 상태에서 진행하였다. 먼저, 트리거 캡의 음극상의 레이저 빔 조사지점을 찾기 위하여 캡 양단에 자연 방전전압  $V_{ND}$ 보다 낮은 DC전압을 인가한 상태에서 음극에 임의의 점 A, B, C를 선정하고 각각의 지점에 레이저 빔을 조사하여 최소트리거 전압특성을 파악함으로써 조사지점을 확인하였다. 그리고, 전극간 거리  $g$ 를 1, 2, 3 [cm]로 변화시키면서 진공조 내의 기압증가에 따른 최소트리거 전압특성을 파악하였다.

#### 2.2.1 트리거 캡 음극상의 레이저 빔 조사지점

레이저 출력  $E$ 를 200 [mJ], 전극간 거리  $g$ 를 1 [cm]로 고정하고 트리거 캡 음극상에 임의의 점 A, B, C를 선정한다(그림2). 점 A는 두 전극사이의 최단거리를 연결하는 지점이며, B와 C는 차례로 각각

5 [mm]씩 떨어진 지점이다. 여기서 전극상의 호에 대한 레이저 빔의 입사각을 균일하게 유지하기 위해 접선에 대해 45°의 각도를 유지하면서 각각의 기압에 대해서 최소트리거 전압을 파악하였다. 그럼 3으로부터 각 기압하에서 A지점이 가장 최소트리거 전압이 낮음을 알 수 있었다. 이로써 A점을 레이저 빔 최적 조사지점으로 정하였다.

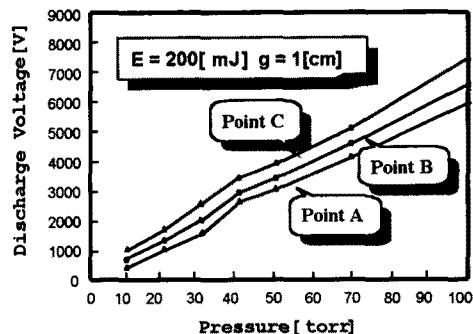


그림 3. 각 지점에서의 최소트리거 전압특성

#### 2.2.2 전극간 거리 $g$ 에 따른 최소트리거 전압특성

레이저 출력  $E$ 를 200 [mJ]로 고정하고 전극간 거리  $g$ 를 각각 1, 2, 3 [cm]로 가변시키면서 최적 조사점에 레이저 빔을 조사하여 최소트리거 전압특성을 파악하였다. 여기서 5회 시도에 5회 모두 트리거된 경우만을 정확한 데이터로 간주하였다. 그럼 4는 전극간 거리에 대한 최소트리거 전압의 특성을 각각 보여준다. 전극간 거리가 증가할수록 최소트리거 전압은 상승하였다. 자연방전전압과 비교할 때 낮은 기압에서 높은 기압으로 갈수록 전압차가 커짐을 알 수 있었다. 또한, 전극간 거리가 3 [cm]일 때, 70 [Torr] 이상에서는 트리거가 이루어지지 않았다. 따라서, 전극간 거리  $g$ 와 기압이 증가할수록 트리거 특성이 나빠짐을 알 수 있었다.

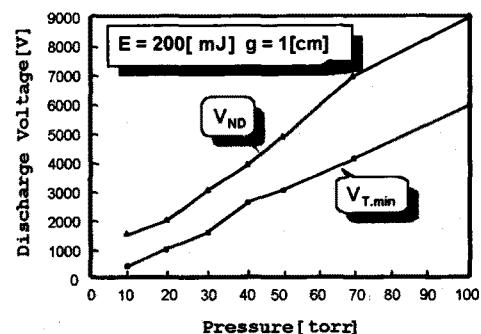


그림 4 (a)

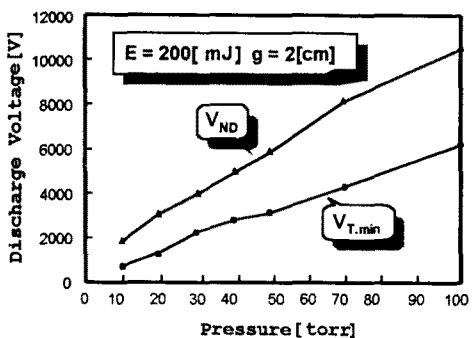


그림 4(b)

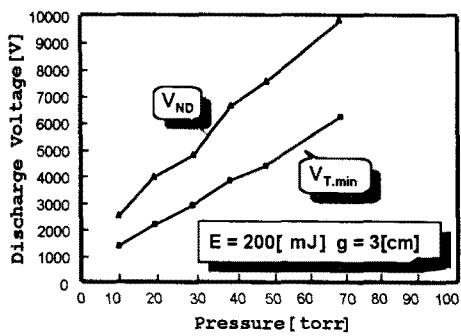


그림 4 (c)

### 3. 결 론

본 연구에서는 레이저 빔에 의한 전계왜곡형 트리거 캡의 트리거전압특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 레이저 빔을 이용하여 트리거 캡을 스위칭함에 있어서 빔의 최적 조사점은 두 전극간의 최단거리 를 연결하는 지점임을 알 수 있었다.
- (2) 실험 압력범위인 10 ~ 100 [Torr]에서 레이저 에 의한 최소트리거전압은 전극간 거리와 기압이 증가할수록 높아지는 것을 확인하였다.

Guided by Laser-induced Rarefaction Channels ",  
The Physics of Fluids, 15, 11, Nov. 1972

[3] 水野保則 外 1人, " 低電圧用低氣壓トリガギャップスイッチの試作 ", 電學論A, 114卷 6号, PP. 439-444, 1994

[4] 宅間 董 外 1人, " 高電圧大電流工學 ", 電氣學會, PP.144-146,1988

[5] R. M. Gilgenbach, O. E. Ulrich, and L. D. Horton, "Localized metallic melting and hole boring by laser guided discharges", 18 August 1982

[6] Kenichi Iga et al., "Fundamentals of Laser Optics", Plenum Press, New York and Londodn, pp. 13-15, 1994

[7] Donald C. O'shea et al., "Introduction to Laser and Their Application", Addison-Wesley Publishing Company, pp. 256-261, 1997

[8] Yasutomo Fujimori, "Laser Material Processing in Electric Industries", Proceeding of Lamp '92, Nagaoka, pp. 981-986, 1992

[9] 田辛敏治 外 7人, "レーザーハンドブック", 朝倉書店, pp. 691-703, 1982

[10] Hee-Je Kim, Jon-Han Joung, Dong-Hoon Lee, and Dong-Hyun Kim, "Active two-pulse superposition technique of a pulsed Nd:YAG laser", Optical Engineering, Vol 37, Issue 6, pp. 1780-1784, June 1998

### (참 고 문 헌)

- [1] W. K. Pendleton, A. H. Guenther, "Investigation of a Laser Triggered Spark Gap", Rev. Sci. instrum.36, 11, Nov. 1965
- [2] K. A.Saum, D. W. Koopman, " Discharges