

모드 변화에 따른 적외선 레이저에 의한 방전 유도 특성

이동훈*, 남경훈, 김희제, 조정수
부산대학교 전기공학과

Characteristics of Laser-Guided DC Discharge for Modes by Infrared Laser

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

Abstract - The experiments of laser-guided dc discharge were carried out by using pulsed Nd:YAG laser radiation at low air pressure ranging from 0.3 to 20 torr. The minimum laser-guided dc discharge voltages(V_{MD}) at given pressure and distances between anode and cathode electrode were obtained. In order to generate TEM(transverse electromagnetic waves) modes, a pinhole was installed between a rod and a half mirror, and its diameter was adjusted from 6mm to 1.7mm. And then, we investigated the characteristics of laser-guided dc discharge corresponding to different TEM modes. As a result, it was found that V_{MD} at TEM₀₀ mode was lower than V_{MD} at multimodes.

1. 서 론

레이저를 이용하여 방전을 제어하는 기술에 대한 여러 분야에서의 관심이 증대되고 있다. 예를 들면, 레이저로 방전을 트리거하여 대전류를 스위칭하려고 하는 시도[1], 방전 경로를 레이저에 의하여 제어하는 연구[2], 번개를 레이저에 의하여 유도하는 레이저 유도[3], 레이저로 방전 유도를 일으켜 재료 가공에 활용하려는 시도 등이 이루어지고 있다[4].

특히, 최근들어 레이저 가공은 정밀성을 요하는 분야에서 각광을 받아오고 있다[5-8]. 그래서 본 실험에서는 레이저를 이용한 방전가공에 대한 기초 데이터를 얻고자 하였다.

본 연구에 사용된 적외선 레이저는 본 실험실 자체적으로 직접 설계, 제작한 펄스형 Nd:YAG 레이저이다. 실험 압력은 0.3 ~ 20 torr, 침대 평판전극 간격은 2 cm로 고정하고, 레이저 헤드의 로드(rod)와 부분 반사경 사이에 핀홀을 설치하여 핀홀 직경을 조절함으로써 핀홀 직경에 따라 얻어지는

레이저 출력 에너지 분포 다시 말해, 모드가 방전 유도 특성에 어떤 영향을 미치는지를 조사하였다.

2. 본 론

2.1 실험 장치

그림 1은 본 연구에서 방전유도용으로 사용된 펄스형 Nd:YAG 레이저와 진공조 등의 개략도이다. 전극간에 가해지는 전원은 용량 20 μ F, 내압 1300V 콘덴서들을 사용한 배압회로를 구성하여 6.6 kV까지 공급할 수 있도록 제작하였다.

진공조는 내경 17.5 cm, 높이 19 cm로 유리로 제작되었다. 전극은 침대 평판전극으로 양극은 45°의 각을 가지며 굵기는 4 mm이고 길이는 2 cm 인 스테레스, 음극은 직경이 약 7 cm이고 두께가 2 mm인 황동을 사용하였다.

그리고 부분 반사경 바로 앞에는 초점거리 10 cm 인 렌즈를 설치하여 레이저 출력을 음극 위에 집광시켰다.

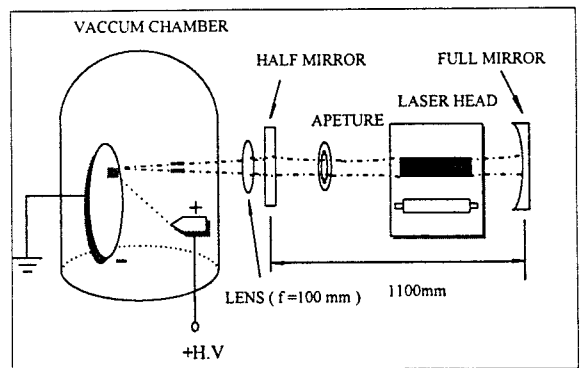


그림 1. 실험 장치 개략도

2.2 실험 방법 및 결과 고찰

본 실험에서는 레이저 출력에너지 분포를 나타내는 모드 변화에 따른 레이저에 의한 방전 유도 특성을 조사하기 위해 먼저 공진기 내에 설치한 편홀 직경에 따른 모드 변화를 확인하였다.

그 결과 그림 4와 같이 편홀 직경(D)이 1.7mm 정도에서 가우시안 분포를 하는 TEM₀₀ 모드가 되고, D가 커짐에 따라 다중모드로 변한다는 사실을 알 수 있었다.

그림 1의 실험장치 개략도와 같이 먼저 침대 평판전극에 직류전압을 인가하고 전극간 거리는 2cm로 고정하고 압력과 모드에 따른 방전 유도 특성을 조사하였다.

이 때 레이저 조사점을 자연방전이 일어나는 음극의 중심이나 모서리 부분이 아닌 중심에서 일직선상으로 2 cm가량 윗부분에 조사하여 방전 유도 여부를 확인하고 그때의 최소 방전 유도전압을 측정하였다.

그림 2는 본 실험에 들어가기전 침대 평판 전극간의 거리가 2cm, 인가전압이 800V일 때의 전위 분포를 FLUX2D란 시뮬레이션 프로그램을 이용해 구해 본 한 예이다.

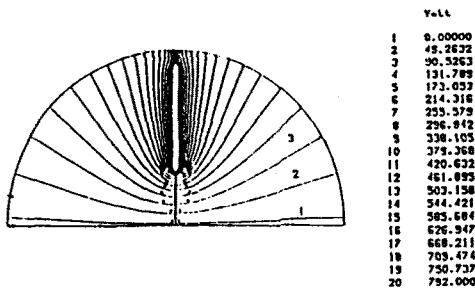


그림 2. 침대 평판전극간의 전위분포

그림 3는 모드 변화에 따른 방전 유도 특성을 확인하기 위해 편홀 직경 D=1.7mm와 D=3.0mm일 때 레이저 출력을 두 경우 다 동일하게 100mJ가 되게 하고 실험하여 진공조내 압력에 따른 자연 방전 전압(V_D)과 레이저에 의한 최소 방전 유도 전압(V_{MD})을 나타내고 있다.

실험 결과에 의하면, 자연 방전 전압보다 레이저에 의한 방전유도전압이 압력에 따라 약 200 ~ 600V 정도 낮았고, TEM₀₀ 모드의 V_{MD}이 다중모드일 때의 V_{MD}보다 실험 압력 범위에서 30-50 V 정도 낮다는 것을 알 수 있었다.

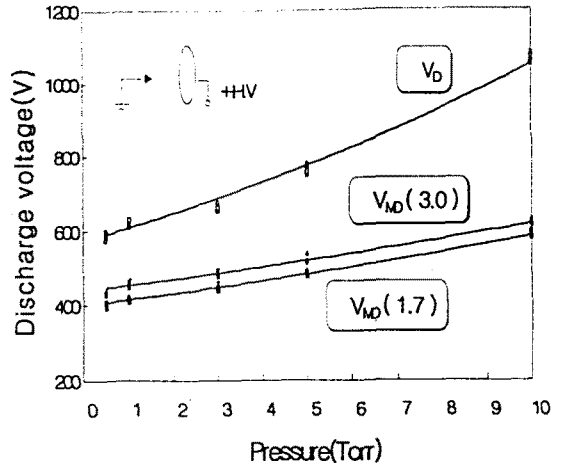


그림 3. 모드변화에 따른 방전유도특성

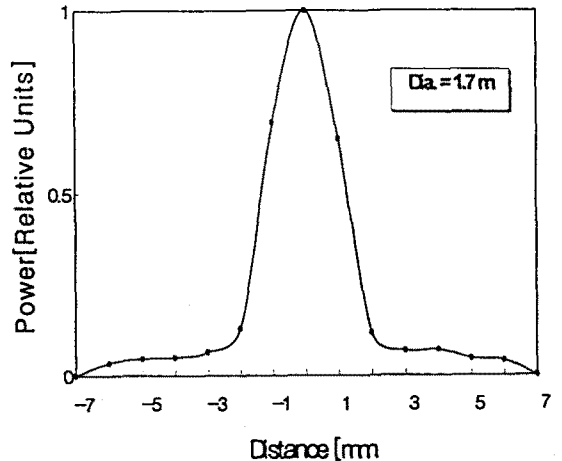


그림 4(a) 편홀 직경 D=1.7 mm

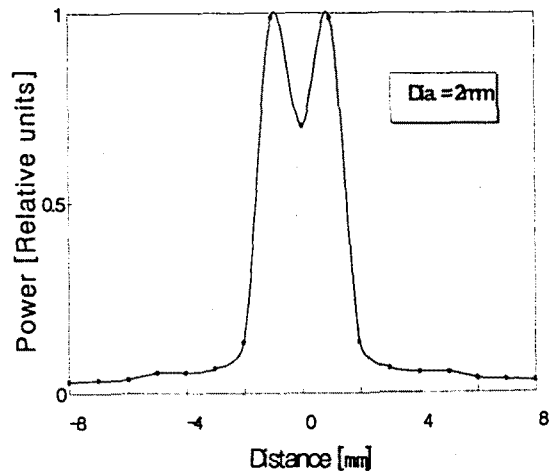


그림 4(b) 편홀 직경 D=2 mm

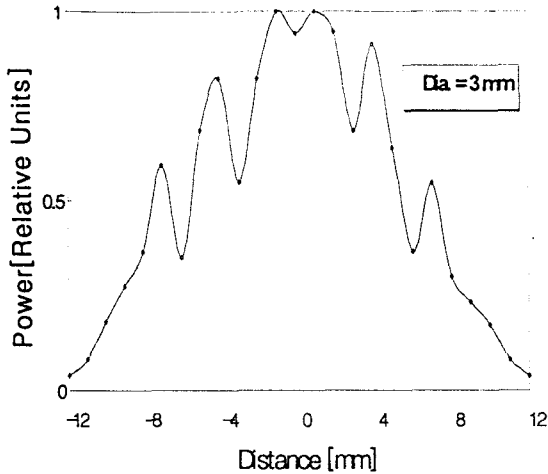


그림 4(c) 편홀 직경 D=3 mm

그림 4. 편홀 직경에 따른 레이저빔의 에너지 분포

3. 결 론

본 연구에서는 적외선 레이저인 펄스형 Nd:YAG 레이저를 이용하여 침대 평판전극간 거리는 2cm로 일정하게 두고 진공조내의 압력과 TEM 모드 변화에 따른 방전 유도 특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- [1] 공진기 내에 편홀을 설치하고 편홀 직경을 조절함으로써 1.7mm 정도에서 레이저 출력빔이 가우시안 분포를 하는 TEM₀₀ 모드가 된다는 것을 확인하였고, 더 큰 직경에서는 다중 모드가 된다는 것을 알 수 있었다.
- [2] 레이저를 이용하면 자연 방전 전압보다 훨씬 낮은 전압에서도 방전을 유도할 수 있다는 것을 확인하였다. 그리고 특히, 레이저 출력 에너지 밀도가 가장 높은 TEM₀₀ 모드에서의 최소 방전 유도 전압 V_{MD}이 다중모드일 때의 V_{MD}보다 실험 압력 범위에서 30~50 V 정도 낮음을 확인함으로써 다중 모드보다는 TEM₀₀ 모드가 더 우수한 방전 유도 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

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

[3] L.M.Ball, The Laser Lighting Rod System:Thunderstorm Domestication, Appl.Optics, 13, 10, Oct. 1974
 [4] 横井健二, 氣中放電加工の研究, 京都工藝纖維大學工藝學部機械系學科卒業論文, 1988년
 [5] Kenichi Iga et al., *Fundamentals of Laser Optics*, Plenum Press, New York and London, 1994, pp. 13-15
 [6] Donald C. O'shea et al., *Introduction to Laser and Their Application*, Addison - Wesley Publishing Company, 1977, pp. 256-261
 [7] Yasutomo Fujimori, "Laser Material Processing in Electric Industries", Proceeding of Lamp '92, Nagaoka, pp. 981-986, 1992
 [8] 田幸敏治 外 7人, レーザーハンドブック, 朝倉書店, 1982, pp. 691-703