

방전 플라즈마 빛의 검출량과 CO2레이저 출력의 상관관계

김 태균, 이 임근, 최 진영, 김 희재
부산대학교 전기공학과

The relativity of the emitted light of discharge plasma and CO2 laser output

Tae Kyun Kim, Im Geun Lee, Jin-Young Choi, Hee-Je Kim
Dept. of Electrical Eng., Pusan National Univ

Abstract - Nowadays, CO₂ lasers are used widely in many applications such as materials fabrication, communications, remote sensing and military purpose etc. Especially, CO₂ lasers are in the spotlight at surface handling and heat processing. It is important to control the laser output power and beam quality in those fields. And those are studied the important parameters deciding the fluctuation of laser beam are smoothing capacitor, frequency and the characteristics of laser resonator. But the study of plasma parameters of CO₂ lasers are little.

So we detect the CO₂ laser from emitted CO₂ laser discharge plasma using a non-contact photo transistor sensor and Low pass filter.

In this study, The relativity of the emitted light of discharge plasma and CO₂ laser output.

1. 서 론

CO₂ 레이저는 연속 및 펄스모드 동작이 가능하며, 고출력이면서 안정성이 우수하므로 의료용, 정밀계측, 재료 가공 등 여러 분야에서 활용되고 있다. 특히 이러한 실용 레이저가 갖추어야 할 가장 중요한 특성은 출력 변동율의 최소화와 더불어 출력의 안정화이다^[1-4]. 레이저빔의 출력 리플성분은 안정된 출력이 요구되는 의료용 기술에 있어서는 매우 중요한 사항이다. 또한, 산업용 레이저의 재료가공에서도 출력변동이 적은 레이저빔을 이용해 정밀한 가공이 가능하며 반도체 공정의 etching과 같은 정밀 미세 가공 분야에 적용이 가능하다. 이와 같은 레이저 빔의 출력을 측정한다는 것은 곤란한다. 그리고 CO₂ 레이저 광 신호를 검출하여 전기적 신호로 해석하는 기법에도 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 레이저 출력빔의 측정을 위해 포토트랜스(ST-1KLA) 광센서를 활용하여 실시간으로 방전 플라즈마 빛을 검출하는 시스템을 설계 구성하였다. 레이저 공진기의 부하변화를 실시간으로 감지하여 레이저 방전시 방전 광을 포토트랜스 광 센서를 활용하여 검출하고 대역통과 필터에 의해 선택적으로 검파된 출력빔의 광전변환 신호와 레이저 빔출력의 상관관계에 대하여 연구 하였다.

2. 본 론

2.1 CO₂ 레이저 시스템의 구성

전체 시스템은 크게 나누어 공진기, 누설변압기를 이용한 고전압 전원장치, PIC one-chip 마이크로프로세서를 이용한 제어장치, 그리고 물순환 냉각장치 등이 있다.

2.1.1 공진기 시스템

본 연구에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 방전 경로와 광축이 동일한 축류형과, plano-concave 공진기를 채택

하였다.

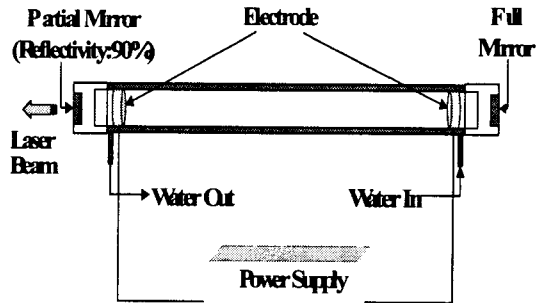


그림 1. Power System에 의한 CO₂ 레이저 공진기 개략도.

Fig. 1 Schematic diagram of the CO₂ laser resonator with power system.

레이저 발진을 위한 전반사경은 열 팽창계수가 작고 열전도도가 크며, 경도가 높은 직경 1.5 인치, 곡률 반경 10 m, 반사율 99.5 %인 몰리브덴 렌즈를 사용하였고, 부분반사경은 발진 문턱치를 낮추기 위해 반사율이 90 %이고 기계적 강도와 열전도가 크며, 흡수계수가 적은 ZnSe(Zinc Selenide)렌즈를 채택하였다.

레이저 방전관으로는 길이 100cm, 내경 16mm, 두께 2mm인 파이렉스(Pyrex)관을 사용하였으며, 방전 플라즈마를 발생시키기 위한 방전관의 체적은 90mm×π×64mm³이다. 방전부는 알루미늄으로 만든 원통형 전극을 방전관에 부착하여 만들었으며, 전극간 거리는 약 90cm로 하였다.

방전관 외벽에는 연속 동작시 방전 플라즈마로 인한 온도 상승에 의해 야기되는 출력의 불안정을 방지하기 위하여 내경 30mm, 두께 2mm인 파이렉스 관을 이중으로 제작하여 물 순환 냉각 장치를 구성하였다.

2.1.2 전원장치

그림 2는 본 연구에 사용된 누설변압기를 이용한 펄스 고전압 전원 장치이다.

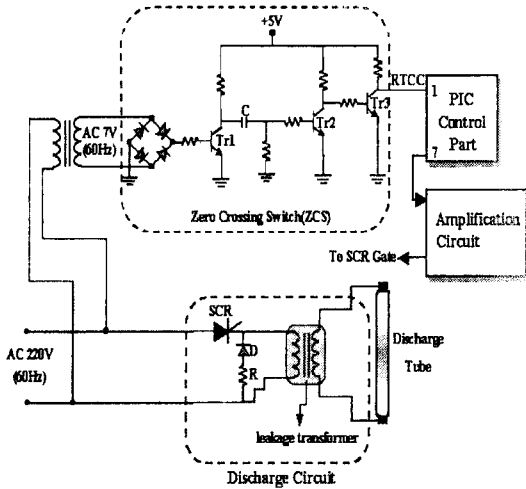


그림 2. CO₂ 레이저의 제어부와 전원부
Fig. 2. Pulsed CO₂ Laser power supply and controller

전원장치는 일정한 펄스폭에서 펄스 반복율을 가변시킴으로써 레이저 출력을 제어할 수 있도록 하였다. 펄스 반복율은 최대 60Hz까지 가변 할 수 있도록 설계하였고, 최대 펄스 전압은 약 25kV였다.

레이저 매질을 여기 시키기 위한 펄스 전원장치의 주요구성은 그림 4-2와 같이 제로 전압 검출부(ZCS), PIC one-chip 마이크로 프로세서를 이용한 제어부와 SCR 트리거부, SCR과 고압 누설변압기를 이용한 전원 회로로 구성되어 있다.

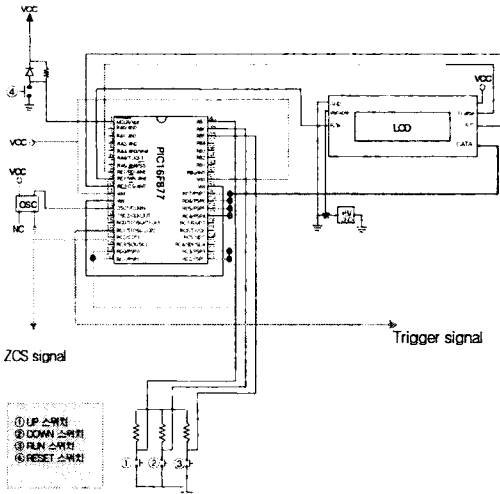


그림 3 PIC 원칩 마이크로 프로세서의 제어회로
Fig. 3 PIC One Chip Micro Processor Control Circuit

그림3의 제어장치인 PIC 원칩 마이크로 프로세서(One Chip Micro Processor)의 회로도이다. 이 PIC는 키보드 입력을 받아 LCD의 디스플레이를 제어할 뿐만 아니라 펄스 반복율을 제어해 펄스신호를 발생 및 제어함으로써 SCR을 스위칭 제어할 수 있음을 보여주고 있다. 그리고 LCD의 디스플레이는 펄스 반복율을 변환 및 조작을 직접 눈으로 보며 컨트롤 할 수 있도록 하였다.

2.1.3 공진기내 방전 플라즈마의 광전변환

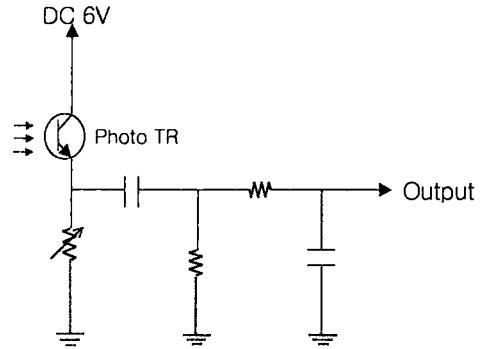


그림 4. 광 검출 회로

Fig. 4. circuit with phototransistors sensor

SCR 도통각을 고정시키고, 전원 시스템을 구동시켜서 CO₂ 레이저 공진기의 방전광을 포토 트랜지스터로 검출하였다. 검출된 광 신호를 그림4의 회로에서 보이는 것처럼 포토 트랜지스터의 이미터 단자에 캐패시터를 달아 직류성분을 최소화 시켰다. 그리고 직류 성분을 최소화한 출력을 다시 로패스필터(low pass filter)를 사용하여 160Hz 이상의 주파수 성분을 걸러 주면서 방전 광의 출력변동을 측정하였다.

그림 5의 파형은 SCR의 도통각을 최대로 했을 경우에 발진된 레이저 공진기의 방전광을 측정된 파형이다. 스위칭 주파수의 반복주기를 가지고 방전되는 신호특성을 볼 수 있다.

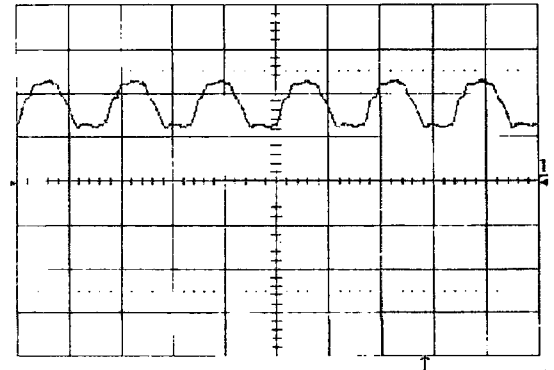


그림 5. CO₂ 레이저의 출력광 파형

Fig. 5. Discharge light waveform of the CO₂ laser

2.1.4 광 검출 회로의 노이즈

레이저 광 측정을 하기 위해서 센서를 방전관에서 7cm 떨어진 부근에 설치했다. 그림 5-(a)는 노이즈 차폐를 시키기 전에 측정된 파형이다. 이때의 파형은 스위칭 주파수에 따라 일정한 주기를 보이지만 파형에 노이즈 성분이 많이 검출되었다. 이때 발생한 노이즈는 측정시 방전관 주위에서 발생하는 EMI(electromagnetic interference)로 생각된다. 전류의 형태로 전원선이나 신호선을 통해 전도되는 것과 전자기파의 형태로 공간을 통해 방사되는 것이 있는데 전도성 잡음에는 정상모드(normal mode)와 공통모드(common mode) 2가지 형태

가 있다. 정상모드 전류는 양선간을 통해 방향에 있어서는 반대로, 크기는 동일한 값을 가지고 흐르며, 공통모드 전류는 양선간을 통해 같은 크기와 방향을 가지며 흐른다. 이러한 EMI는 잡음원의 세기, 전달경로, 잡음원으로부터의 거리, 결합구조 등에 좌우된다. (b)는 EMI를 차폐시킨 이후의 파형이다. 그림 5-(a)에서 보이는 EMI를 차폐시키기 위해서 회로의 모든 소자들을 알루미늄 호일을 사용하여 차폐시키고, 모든 단자의 접지를 건물 접지로 하였다.

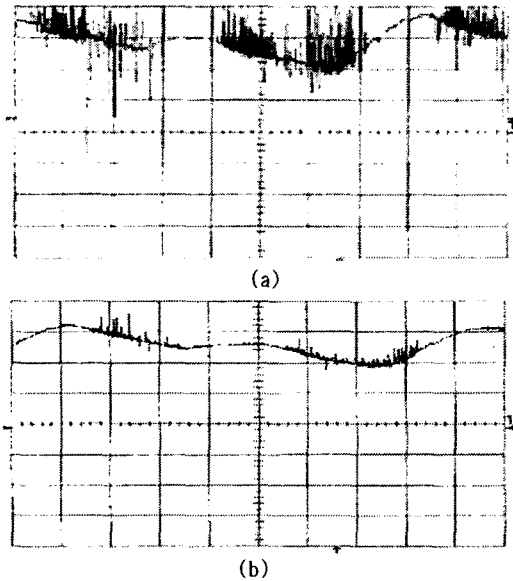


그림 6. CO₂ 레이저 출력광 파형
(a) EMI 제거 전 (b) EMI 제거 후

Fig 6. Discharge light waveform of the CO₂ laser

(a) Before the removal of EMI
(b) After the removal of EMI

2.2 실험결과 및 검토

그림 7은 입력 전압에 따른 CO₂ 레이저 출력빔의 세기를 측정된 결과를 나타냈다

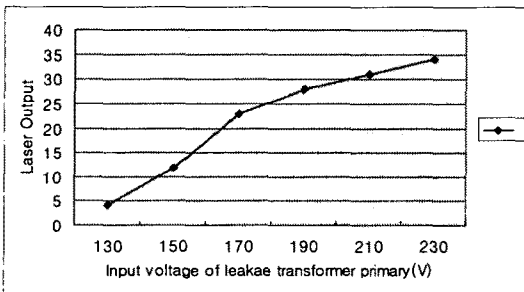


그림 7. 입력 전압에 의한 CO₂ 레이저 출력 변화특성
Fig 7. Characteristics of the CO₂ laser output by input voltage of leakage transformer primary

CO₂ 레이저의 출력광을 검파하여 레이저 방전 플라즈마에서 방출되는 출력광과 레이저 출력의 상관 관계를 알아보았다.

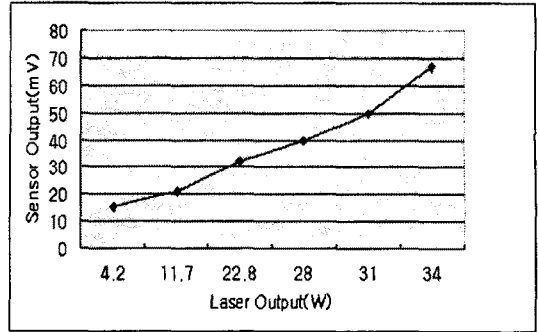


그림 8. CO₂ 레이저 출력광에 따른 센서의 출력 변화특성

Fig 8. Characteristics of the sensor output by discharge light waveform

그림 8은 CO₂ 레이저 출력빔의 세기와 센서로 검출한 광전변환 신호를 비교 측정된 것이다. 출력이 안정화되는 시점에서부터 10초 단위로 광전변환 신호를 검출하였다.

포토 트랜지스터의 이미터 단자에 캐패시터를 달아 직류성분을 최소화 시켰으며, 로패스필터(low pass filter)를 사용하여 160Hz 이상의 주파수 성분을 걸러 주면서 방전 광의 출력변동을 측정하였다.

그 결과, 레이저 출력에 대한 포토트랜스 센서의 광전변환 신호가 그림 8과 같이 선형성을 보이는 것을 알 수 있었다

3. 결 론

본 연구에서는 레이저 출력빔의 세기와 광전변환 신호의 상관 관계를 알아보기 위해 포토 트랜스(ST-1KLA) 광 센서를 활용하였다.

레이저의 최대 출력 34W에서 센서 출력 72mV 얻었으며, 방전이 안정화 되는 레이저 최소 출력 4.2W에서 센서 출력 17mV를 얻었다. 여기서 우리는 CO₂ 레이저 출력과 광전변환 신호가 상관성이 있다는 것을 알았다. 향후 본 연구에서 사용된 포토 트랜스의 검출회로를 더욱 정밀화 시키고, 방전중에 발생하는 EMI 저감을 위해 필터의 설계 및 활용에 대해서 연구해 나갈 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] R.Nowicki, E.F.Plinski, and J.Rzepka, "The use of discharge electric field variations to CO₂ laser stabilization," Opt. Commun., vol. 60, pp. 306-308, Dec.1986
- [2] M.W.Lund, J.N.Cogan, and J.A.Davis, "Low-cost method for stabilization of a CO₂ laser for use in far infrared laser pumping," Rev.Sci. Instrum, vol. 50, pp. 791-792, June 1979
- [3] Dong Joo Shin, Young Boong Chung, and Won Lee, "Stabilization of CO₂ laser power by feedback controlling though an auxiliary electrode," IEEE Transactions on Instrum, vol. 38, No. 2, April 1989
- [4] E.Higurashi, R.Sawada, and T.Ito, "Monolithically integrated optical displacement sensor based on triangulation and optical beam deflection", Appl. Opt., vol. 38, pp. 1746-1751, 1999.
- [5] P. Loosen, "Recent Development of lasers for Materials Processing", Proc of LAMP'92 Conference, Vol.1, 61-66, 199.
- [6] James T. Luxon, David E. Parker, "Industrial Lasers and Their Applications", Prentice-Hall, 1992.
- [7] A. C. Lippincott, "A series resonant converter with constant on-time control for capacitor charging applications". Master's Thesis. Auburn Univ., 147-154, 1990.
- [8] 김희제, "센서 활용의 명수", 우용출판사, 2002.