

**CdS 광센서를 활용한 CO<sub>2</sub> 레이저의 출력변동을 개선을 위한 실시간 제어**

정 옹호, 최 진영, 정 현주, 송 건주, 김 휘영, 강 욱, 김 희재  
 부산대학교 전기공학과, 동주대학, 전기연구원

**Realtime controlling for the improvement of the fluctuation ratio on the CO<sub>2</sub> laser power by a CdS Photo sensor**

Yong-Ho Jung, Jin-Young Choi, Hyun-Ju Chung, Gun-Ju Song, Whi-Young Kim, Uk-Kang, Hee-Je Kim  
 Dept. of Electrical Eng., Pusan National Univ., Dong-Ju College, KERI

**Abstract** - The important parameters deciding the fluctuation of laser beam are smoothing capacitor, frequency and the characteristics of laser resonator. In this thesis, we control the fluctuation of CO<sub>2</sub> laser in realtime by changing Duty-Ratio of IGBT and switching frequency with fixed the smoothing capacitor to improve the fluctuation of laser beam. We detect the light on laser resonator using a CdS photo sensor to improve ripple factor of laser beam and feedback fluctuated signals refined by a band pass filter into the control circuit to stabilize fluctuation actively. There is much to be desired in the realtime controlling technique of the light on laser discharge tube in electrical signal. We propose switching control technique with microprocessor and photo sensing technique by controlling switch devices optimum operation and feedback signals detected by a photo sensor into the laser power supply in order to improve ripple factor of the CO<sub>2</sub> laser beam.

**1. 서 론**

CO<sub>2</sub> 레이저는 연속 및 펄스모드 동작이 가능하고, 고출력이면서 안정성이 우수하여 의료용, 정밀계측, 재료 가공 등 여러 분야에서 활용되고 있다. 특히 이러한 실용 레이저가 갖추어야 할 가장 중요한 특성은 출력 변동율의 최소화화 더불어 출력의 안정화이다<sup>[1-4]</sup>. 레이저빔의 출력 리플성분은 양호한 출력이 요구되는 의료용 시술에 있어서는 매우 중요한 사항이다. 또한, 산업용 레이저의 재료가공에서도 출력변동이 적은 레이저빔을 이용해 정밀한 가공이 가능하며 반도체 공정의 etching과 같은 정밀 미세 가공 분야에 적용 가능하다. 이와 같은 레이저빔의 출력변동을 결정하는 중요한 파라메타는 전원의 평활 커패시터 용량과 전원주파수, 그리고 레이저 공진기의 부하특성이다. 또한, 기존의 레이저 전원은 제어부에 의존하여 수행되므로 부하특성 변화에 따라 변하는 레이저의 출력변동을 실시간 가변 하기는 곤란하다. 그리고, 광 신호를 검출하여 전기적 신호로 해석하여 신호를 제어하는 기법에는 어려움이 있었다.

따라서, 본 연구에서는 레이저 출력빔의 리플성분 개선과 레이저 출력의 안정성을 확보하기 위해 CdS 광 센서를 활용한 실시간 전원 제어시스템을 설계 구성하였다. 전원의 커패시터 용량은 고정시키고 스위칭소자(IGBT)의 Duty-Ratio와 스위칭 주파수를 변화시켜 CO<sub>2</sub> 레이저의 출력 변동을 제어함으로써, 레이저빔의 리플성분 개선을 연구하였다. 레이저 공진기의 부하변화를 실시간 감지하여 출력빔의 리플성분을 개선하기 위해 레이저 방전관의 일부 광을 CdS 광 센서를 활용하여 검출하고 대역통과 필터에 의해 선택적으로 검파된 출력

빔의 리플 신호를 피드백 시켜 전원회로에 전달함으로써 출력변화를 능동적으로 안정화시킬 수 있다. 최종적으로 CdS 광 센서에 의해 검출된 신호를 전원부 피드백 시켜 스위칭소자를 최적 제어함으로써 마이크로프로세서를 광 센싱 기술에 접목시킨 스위칭 제어기법을 통하여 레이저 출력의 리플성분 개선을 고찰하였다.

**2. 본 론**

**2.1 실험장치 및 방법**

그림 1은 본 연구를 위해 설계 제작된 시스템의 전체 구성도를 나타낸 것이다. 레이저 전원의 출력 향상을 고려하여 전류 공진형 Full-bridge DC-DC 컨버터를 설계 제작 하였으며, 페라이트코어를 이용한 1:15 권선비의 승압용 펄스 변압기를 사용하였다. 변압기 2차측의 후단에 4배압의 Cockcroft-Walton 회로를 이용하여 최종 부하단인 레이저 공진기에는 DC가 인가 되도록 구성하였다.

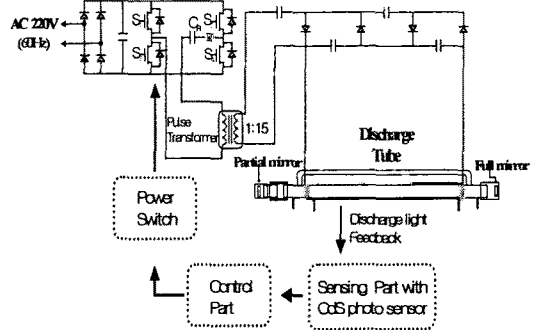


그림 1. 시스템의 전체 구성도  
 Fig 1. Schematic diagram of the experiment

그림 2는 스위칭소자를 제어하기 위한 제어부로서 8비트 원칩 마이크로프로세서인 PIC16C57을 이용하여 전원부의 스위칭 소자에 구동 신호를 인가할 수 있도록 구성하였다. 제어부의 스위칭 주파수는 1 kHz부터 최대 25kHz까지 신호발생 설정이 가능하며 구동신호는 IGBT 구동 Driver(EXB-841)에 입력되어 스위칭소자에 신호가 인가되도록 하였다. 그림 3은 CO<sub>2</sub> 레이저 방전관의 측면에 CdS 광 센서를 부착하고 레이저 발전시 방출되는 방전광을 검출하여 이를 전압이득 60dB의 대역통과 필터를 통해 선택적으로 검파하고, 검출된 신호를 비교기의 입력으로 인가하여 동일 펄스폭과 주기를 가진 구형파가 발생가능 하도록 구성하였다. 광 센싱회로와 제어회로 사이에서 발생하는 절연상의 문제와 광 노이즈 성분 제거 대책으로서 센싱회로 중단에 Photocoupler를 설치했다. 노이즈 성분이 제거된 방전광 신호에 상응하는 비교기 출력 구형파를 만들기 위해 검출

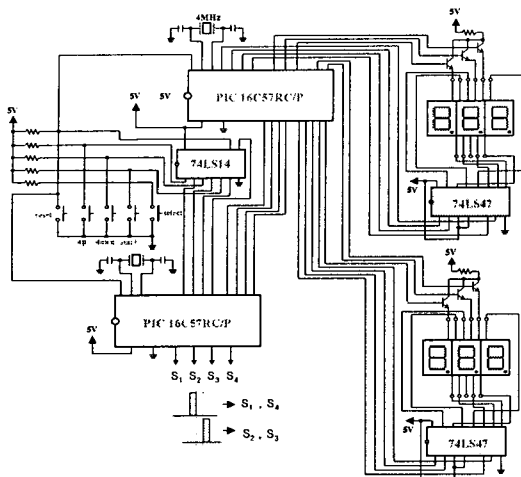


그림 2. IGBT 구동을 위한 PIC 제어회로  
Fig. 2 PIC control circuit

광 신호와 출력 구형파 신호 사이에 시간보상을 조절하여 변동 구형파를 출력하도록 설계하였다. 마이크로프로세서에서 인가되는 스위칭 구동신호와 비교기의 출력인 광 신호를 7414(Schmitt trigger NOT)에 의해 인버전 시키고 두 신호를 7408(AND)의 입력으로 인가하면 검출광의 구형파 범위내에 존재하는 방전광의 침투 구간에서는 마이크로프로세서의 제어신호가 오프되고 그 외의 구간에서는 스위칭 신호가 온 되어 전원부를 능동적으로 스위칭 하도록 구성하였다.

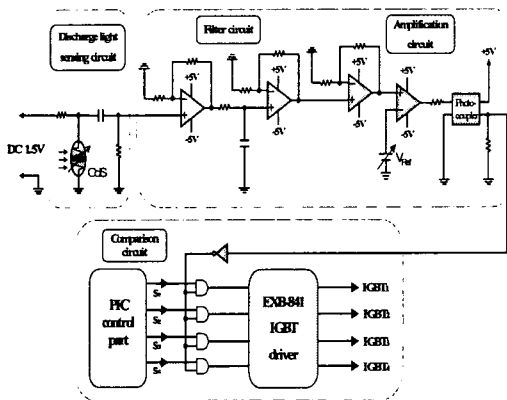


그림 3. 광 검출 피드백 회로  
Fig 3. Feedback circuit with CdS photo sensor

### 2.1.1 스위칭 구동 신호의 Duty Ratio 제어를 통한 방전광의 리플성분 변화특성

스위칭 주파수를 고정시키고, 전원 시스템을 구동시켜서 CO<sub>2</sub> 레이저 공진기의 방전광을 CdS로 검출하였다. 검출된 광 신호를 비교기에 입력하여 발생된 구형파의 펄스폭을 조절하고, 전원의 IGBT를 실시간 제어함에 따른 방전 광의 출력변동을 측정하였다. 그림 4의 첫 번째 파형은 광 신호에 의한 구동신호의 피드백 제어신호를 인가하지 않고 발진된 레이저 공진기의 방전광을 측정 한 파형으로서 스위칭 주파수의 반복주기를 가지고 방전되는 신호특성을 나타낸다. 양의 반주기에서는 광 파형이 양호한 반면 음의 반주기 신호가 인가될 때 변압기

1차측 구동 스위칭의 역방향 서지전류성분으로 해석되는 방전광의 피크성분을 계측할 수 있었다. 그림 4의 하단부 파형은 방전광의 신호를 CdS 광 센서로 실시간 검출하고 그 검출 파형에 상응하는 비교기의 구형파를 인가하여 전원부의 스위칭 On-time을 제어함으로써 발생하는 CO<sub>2</sub> 레이저 공진기의 방전광 특성을 나타냈다. 즉, 제어부에 의해 고정된 Duty Ratio를 가진 스위칭 구동신호(S<sub>1</sub>, S<sub>4</sub>)를 인가하고 검출되는 광 신호의 주기와 펄스폭을 가진 구형파를 인가하여 두 번째 스위치 제어신호(S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>)의 On-time을 강제제어 함으로서 출력광의 리플성분을 개선할 수 있었다.

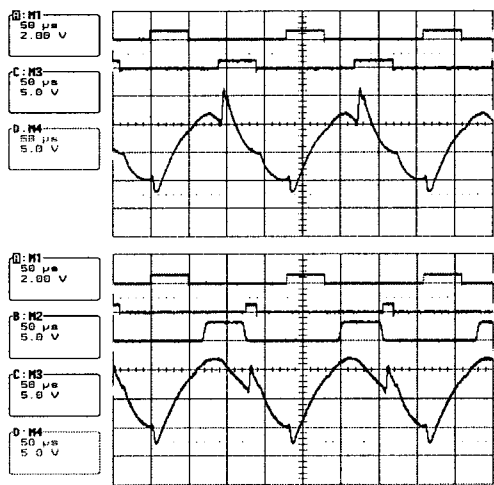


그림 4. 실시간 제어된 CO<sub>2</sub> 레이저의 출력광 파형  
Fig 4. Discharge light waveform of the CO<sub>2</sub> laser by realtime control

CO<sub>2</sub> 레이저 전원 제어 신호의 Duty Ratio가 커지면 상대적으로 강제 제어를 받게되는 마이크로프로세서 신호의 펄스폭은 줄어들어 부하전류를 감소시킨다. 또한, IGBT에 최종적으로 인가되는 실시간 제어된 펄스 신호

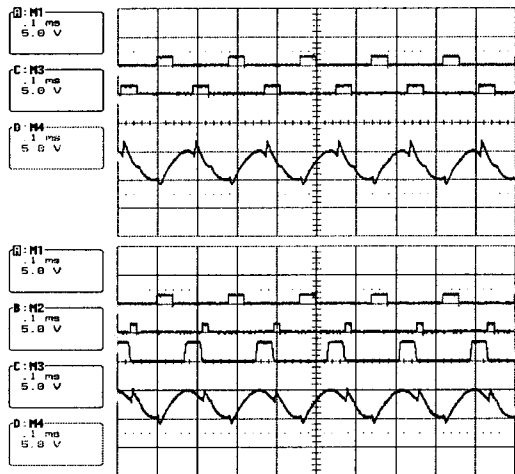


그림 5. 스위칭 주파수와 Duty Ratio의 변화에 따른 CO<sub>2</sub> 레이저 출력광 파형  
Fig 5. Discharge light waveform of the CO<sub>2</sub> laser with switching frequency & Duty ratio

의 폭 변화에 따라 레이저 출력광의 역 피크 성분은 점차 신호발생 구간으로 쉬프트되어 출력광의 리플성분을 감소시키는 효과를 나타냈다. 그림 5는 스위칭 주파수 변화에 의해 발전되는 레이저 방전관의 광 리플성분의 변동특성과 스위칭 Duty Ratio의 실시간 강제 제어에 의한 광 출력 변화를 나타낸 파형으로서 On-time의 최대 제어지점에서의 출력이며 출력변동의 개선을 나타낸다. 따라서, 레이저 출력광 리플성분의 피크치는 전체적으로 감소되었다.

### 2.1.2 스위칭 주파수와 Duty ratio의 변화에 따른 CO<sub>2</sub> 레이저의 출력변화 특성

그림 6은 강제제어 신호를 가지 않고 PIC제어부에서 발생하는 스위치 구동신호만으로 구동하여 발전된 CO<sub>2</sub> 레이저 출력범의 세기를 측정된 결과를 나타냈다.

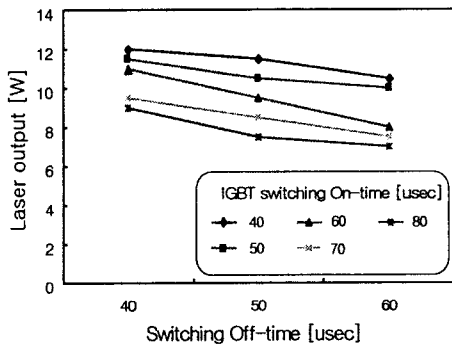


그림 6. 스위칭 주파수와 Duty ratio 가변에 따른 CO<sub>2</sub> 레이저 출력 변화 특성

Fig 6. Characteristics of the CO<sub>2</sub> laser output by var of switching frequency & Duty ratio

Duty Ratio를 고정시키고 스위칭 주파수를 상승시켰을 때 출력값의 변화는 스위칭 주파수에 비례해서 크게 나타났으며, 최대 스위칭 주파수 6.3 kHz에서 최대출력을 보였다. 또한, 동일 주파수에서 스위칭 Duty Ratio의 변화시, On-time 50  $\mu$ sec, Off-time 130  $\mu$ sec 즉, 5.6 kHz에서 12 %의 최대효율을 나타냈다.

### 2.1.3 실시간 제어된 CO<sub>2</sub> 레이저의 출력변화 특성

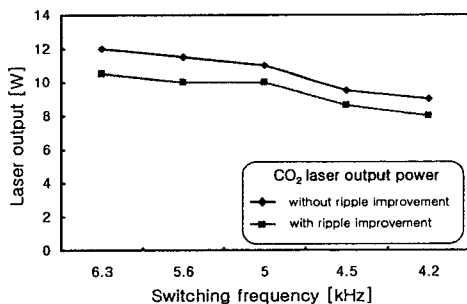


그림 7. 출력 광 신호 실시간 제어에 의한 CO<sub>2</sub> 레이저 출력 변화 특성

Fig 7. Characteristics of the CO<sub>2</sub> laser output by realtime control of discharge light waveform

그림 7은 광 제어 신호를 인가하지 않고 발전시킨 레이저출력과 강제제어 신호를 인가하여 PIC제어부에서 발생하는 스위치 구동신호를 각각 제어함으로써 발전된 CO<sub>2</sub> 레이저 출력범의 세기를 비교 측정했다. 출력광의 리플성분을 개선하여 발전된 레이저 출력은 실시간 광 제어를 하지 않은 경우보다 상대적으로 낮았으나, 전체적으로 그 변화 추이는 안정적임을 확인하였다. 즉, 인가되는 스위칭 주파수 변화와 Duty Ratio, 공진 조건의 변화에 큰 영향을 받는 출력의 변화특성보다는 안정적이며 레이저 출력을 나타냈다.

## 2.2 실험결과 및 검토

CO<sub>2</sub> 레이저의 출력광을 검파하여 실시간 피드백 제어함으로써 IGBT에 입력되는 구동 On-time 신호를 조절하고 전원의 입력 전류제어를 통해 레이저 출력광을 개선하고자 하였다.

1. 검출 광 신호와 직류 기준전압( $V_{Ref}$ )을 입력으로 하는 비교기의 출력 구형파의 펄스폭을 조절하여 인가하고 IGBT 구동 신호를 강제 제어함에 따라 레이저 출력광의 피크성분은 점차 파형의 감소에 따라 구동 신호가 이동되어 출력광의 피크치 성분도 점차 쉬프트 되었다. 결과적으로, 리플성분의 감소를 나타냈다.

2. 비교기를 통해 발생하는 출력광 제어 신호를 인가해서 CO<sub>2</sub> 레이저의 출력을 측정된 결과는 실시간 제어를 하지 않고 발전한 출력보다 5 %정도 감소된 출력을 나타냈다. 그러나, 레이저 출력의 변동 추이는 더욱 완만하였다. 따라서, 광 리플성분의 개선으로 인해 전체 레이저 출력의 변동을 개선할 수 있었다.

## 3. 결 론

본 연구에서는 레이저 출력범의 리플성분 개선과 출력의 안정성을 확보하기 위해 CdS 광 센서를 활용한 실시간 전원 제어를 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 스위칭 주파수의 Duty ratio를 선택적으로 감소시킴에 따라 전원 입력전류는 감소되었고 출력광의 피크부분을 감소시킴으로서 광 리플성분이 개선되었다. 또한, CO<sub>2</sub> 레이저 출력변화에 있어서도 출력 광 제어를 행하지 않은 경우보다는 5 %정도의 출력저하가 초래되었지만 출력 변동의 전체적 추이는 완만하여 레이저 출력의 안정성이 확보됨을 확인하였다.

### (참 고 문 헌)

- [1] R.Nowicki, E.F.Plinski, and J.Rzepka, "The use of discharge electric field variations to CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> laser power by feedback controlling through 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