

누설 변압기를 이용한 반파 AC 주파수 제어형 CO₂ 레이저의 전원장치 개발

The development on Power supply for Pulsed CO₂ laser using half-rectified AC frequency control and leakage transformer

정현주, 김도완, 이동훈, 이유수, 김희제, 조정수
부산대학교 전기공학과

Hyun-Ju Chung, Do-Wan Kim, Dong-Hoon Lee, Hee-Je Kim, Jung-Soo Cho,
Dept. of Electrical Eng., Pusan national Univ

Abstract

We introduce pulsed CO₂ laser power supply excited by half-wave rectified 60Hz AC discharge some advantage of cost and size compared to a typical pulsed power supply. AC frequency is adjusted from 10Hz to 60Hz to control laser output. In this laser, a low voltage open loop control for high voltage AC discharge circuits is employed to avoid the HV sampling or switching. The control is achieved by using a ZCS circuit and a PIC one-chip microprocessor that control the gate signal of SCR precisely. The pulse repetition rate is limited by 60Hz due to a high leakage inductance. The maximum laser output was obtained about 20W at the condition of total pressure, 18 Torr and pulse repetition rate, 60Hz.

1. 서 론

펄스형 CO₂ 레이저는 적외선 영역인 10.6 μ m 파장의 안정된 고출력 펄스 레이저를 발생시킬수 있으며 산업용, 군사용, 의료용, 각종·물리 화학의 기초 연구용 등의 광범위한 응용분야에서 각광을 받고 있다. 특히, 의료용에는 수Hz에서 수십Hz의 안정된 펄스 출력이 필요하며 금속의 정밀절단 및 심용접에는 수십Hz에서 수kHz의 펄스 출력이 필요하다.[1-5]

최근에 이처럼 펄스형 CO₂ 레이저의 이용이 증가함에 따라 우수한 빔질, 유지와 보수의 편리성, 장치의 소형화와 저가격화가 요구되고 있으며 이러한 특성을 충족시키기 위해서는 레이저 전원장치의 경제적인 설계가 매우 중요하다.

기존의 저출력, 저반복 펄스형 CO₂ 레이저의 펄스 전원장치는 원하는 펄스 반복율에 맞게 스위칭정소자를 "on"- "off" 함으로써 콘덴서에 충전된 에너지를 고압 펄스 트랜스를 통해서 고압 펄스로 변환시킨후 레이저 방전관에 인가하는 방식이다.[6] 즉 DC 직류전압을 스위칭 과정을 통해 펄스 에너지로 변환시킨 후 방전관에 그 펄스 에너지를 공급하는 형태이다. 하지만 이것은 AC를 DC로 변환시키는 정류부와 평활부 그리고 스위칭부가 필요하다. 따라서 회로의 구성이 복잡해지는 단점이 있

다.

CW(continuous-wave) 레이저에 있어서 기존에 사용되었던 DC 방전을 이용한 여기 방식 대신 상용 주파 AC(60Hz) 방전을 레이저 매질의 여기원으로 사용하여 CO₂ 레이저를 발전시켰다.[7-9]

본 연구에서는 펄스 변압기를 사용한 기존의 펄스 레이저용 SMPS 방식의 전원장치 대신에 누설 변압기를 이용한 새로운 방식의 상용 주파 AC 주파수 제어형 펄스 CO₂ 레이저 전원장치를 소개하고자 한다. 상용 주파 AC(60Hz)를 원하는 주파수에 맞게 스위칭하여 각각의 정현파 펄스를 누설 변압기를 통해 고압으로 변환시킨 후 방전관에 인가하는 방식을 취하였다. 기존에 레이저 출력 제어를 위해 사용되었던 전압 가변 방식 대신 반파 정류된 상용 주파 AC(60Hz)의 정현파를 스위칭 과정을 통해 펄스화하여 펄스 주파수에 따라 레이저 출력을 제어한 것이다. 실험 장치는 스위칭 소자로서 저속 스위칭에 적합한 SCR과 AC 정현파의 영전압을 검출하기 위한 ZVS(Zero Voltage Switch) 회로, SCR 트리거 신호를 원하는 주파수에 맞게 정밀하게 제어하기 위한 PIC one-chip 마이크로프로세서 제어부 그리고 고압 누설 변압기를 이용하여 60Hz까지의 펄스 반복율을 가지는 펄스형 CO₂ 레이저용 전원장치를 개발하였다.

공진기는 저속 축류형의 구조를 채택하였고 글로우 방전이 안정되게 지속될 때 펄스 반복율과 동

작업력의 변화에 따른 레이저 빔의 출력 특성을 조사하여 얻어진 결과를 정리하였다.

2. CO₂ 레이저 장치의 구성

2.1 공진기 시스템

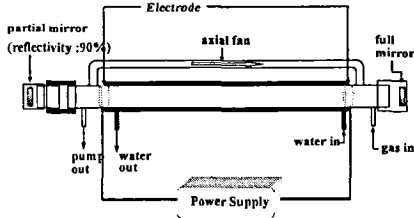


그림 1. 펄스형 레이저 시스템의 개략도
Fig. 1 schematic diagram of Pulsed Laser System

본 연구에서는 그림1에서 보는 바와 같이 방전 경로와 광축이 동일한 축류형과 plano-concave 공진기를 채택하였다. 레이저 발진을 위한 전반사경은 직경 1.5 인치, 곡률 반경 10 m, 반사율 99.5 % 인 몰리브덴 렌즈를 사용하였고, 부분반사경은 발진문턱치를 낮추기 위해 반사율이 90%인 ZnSe(Zinc Selenide)렌즈를 채택하였다. 레이저 방전관으로는 길이 95cm, 내경 16mm, 두께 2mm인 파이렉스(Pyrex)관을 사용하였고 방전 플라즈마를 발생시키기 위한 방전관의 체적은 $80\text{mm} \times \pi \times 64\text{mm}^3$ 이다. 방전부는 알루미늄으로 만든 원통형의 홀로캐소드(holo-cathode)형의 전극을 방전관 내부에 부착하여 만들었으며, 전극간 거리는 약 80cm로 하였다. 방전관 외벽에는 연속 동작시 방전 플라즈마로 인한 온도 상승에 의해 야기되는 출력의 불안정을 방지하기 위하여 내경 28mm, 두께 2mm인 파이렉스관을 이중으로 제작하여 물순환 냉각 장치를 구성하였다.

방전관에 순간적인 대전류가 흐르면 방전관의 음극측과 양극측에 압력차가 생긴다. 이 때문에 레이저 발진 효율이 떨어지고 발진정지 등의 상태가 발생한다. 이것을 방지하기 위해 그림1에서와 같이 바이패스(Bypass)관을 설치하고 작은 팬을 삽입하여 가스의 흐름을 도움으로서 전극 주위 가스 과열에 의한 방전관내의 온도 상승과 압력차를 작게 하고 방전시 CO₂ 분자의 해리에 의한 불순물의 발생을 감소시켰다.

2.2 고전압 펄스 전원장치

전원장치는 일정한 펄스폭에서 펄스반복율을 가변시킴으로써 레이저 출력을 제어할 수 있도록 하였다. 반복율은 10 ~ 60 Hz까지 가변할 수 있도록 설계하였고 전원에서 얻을 수 있는 최대 펄스 전압은 약 25 kV였다. 레이저 매질을 여기시키기 위한 펄스 전원장치의 주요부는 그림 2와 같이 제로 전압 검출부(ZVS), 고압 누설변압기를 이용한 전원 회로, PIC one-chip 마이크로 프로세서를 이용한 제어부와 SCR 트리거부로 구성되어 있다.

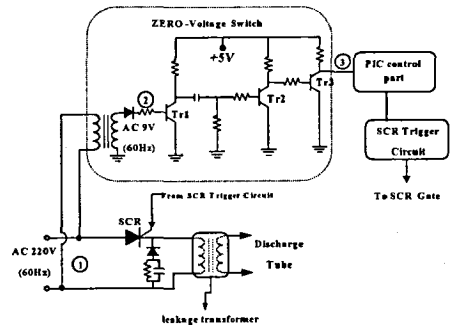


그림 2. 누설변압기를 이용한 펄스형 CO₂레이저의 제어부와 전원부
Fig. 2 Control circuit and power supply for Pulsed CO₂ laser using leakage transformer

2-2-1.제로 전압 검출부(Zero Voltage Switch)

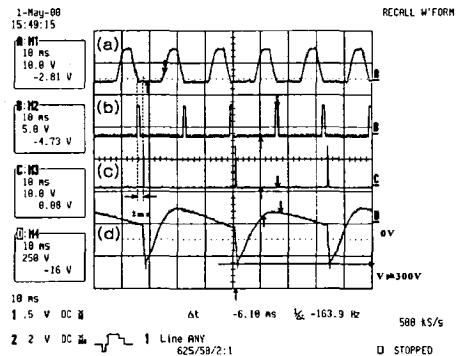


그림 3. zcs의 입출력 신호 파형과 SCR 트리거 신호
Fig. 3 Waveform of input-output signal in zcs and SCR trigger one

스위칭부에 인가되는 전압과 동위상의 AC 전압(220V)을 변압기를 통해 9V로 감압시킨후 반파정류시킨다. 그림 3의 (a)와 같이 반파정류된 사인파는 트랜지스트, Tr1의 베이스(base)단에 인가된다. 적분기와 증폭기를 거친 신호는 최종단의 트랜지스트, Tr3의 컬렉트단(collector)에는 Tr1의 베이스에 인가되는 사인파의 위상이 180도되는 부분, 즉 전압이 0으로 되는 지점에서 그림 3의 (b)와 같이 펄스폭 약 1ms정도의 5V구형파 펄스를 발생시킨다.

2-2-2. 마이크로프로세서를 이용한 제어부

SCR을 원하는 주파수에 맞게 턴-온시키기 위해 제어부로는 PIC one-chip 마이크로 프로세서를 사용하였다. 동작 순서는 다음과 같다.

- ① 제로 전압 검출부로부터의 제로 전압 신호를 PIC의 RTCC(Real Time Clock Count)에서 받아들인다.
- ② 마이크로프로세서 내부에서 원하는 주파수에 맞게 표1과 같이 분주하여 SCR 트리서 회로에 신호를 인가하였다.
- ③ SCR의 트리거 신호는 SCR이 안정되게 턴온시키기 위해서 그림 4의 (c)와 같이 AC line 전압의 제로 지점으로부터 약2ms정도 지연시킨후 SCR 게이트에 인가된다.

표 1 주파수에 따른 PIC의 입-출력 신호 분주비

주파수	ZVS로부터의 PIC에 인가되는 펄스 수	PIC로부터의 SCR 트리거부에 인가되는 펄스 수
10Hz	6	1
20Hz	3	1
30Hz	2	1
60Hz	1	1

레이저 펄스 반복율을 컴퓨터의 키보드를 통해 위의 표1의 주파수와 같이 자유자재로 조절할 수 있게 하였다.

2-2-3. 스위칭부와 고압 누설변압기

스위칭부는 그림 2와 같이 SCR과 고압 누설변압기 그리고 환류다이오드로 구성된다. 용량을 증대시키기 위해서 200[VA] 용량의 네온트랜스용 고

압 누설변압기(한창 트랜스) 2대를 병렬로 운전하였다. 그리고 변압기의 유도성 부하에 축적된 에너지를 방출하여 변압기의 자속이 포화되는 것을 막기 위해서 환류다이오드와 저항을 변압기 1차측과 병렬로 연결하였다. 그림 3의 (d)는 펄스 반복을 30Hz에서 SCR을 통해 on된 전압파형을 변압기 1차측에서 측정 한 파형이다.

3. 실험 방법 및 결과 검토

본 연구에서는 펄스형 CO₂ 레이저의 출력에 영향을 미치는 중요한 요소인 펄스 반복율과 동작압력 따른 레이저 출력 특성을 연구하였다. 실험 방법으로는 가스 배압비가 CO₂, N₂, He = 1 : 1.5 : 5 인 혼합 가스를 일정 압력까지 주입하고, 양단 전극에 고압 펄스를 인가하여 글로우(Glow) 방전을 발생시켰다. 글로우(Glow) 방전이 안정화된 시점에서 펄스 반복율과 동작압력을 변화시켜가며 레이저 출력의 변화를 비교·검토하였다. 실험범위는 펄스 반복을 10Hz, 20Hz, 30Hz, 60Hz와 동작압력 12~24 torr까지로 하였다. 출력은 CO₂ 레이저용 에너지미터(Gentec사 모델명 PS-1K)로 측정하였다.

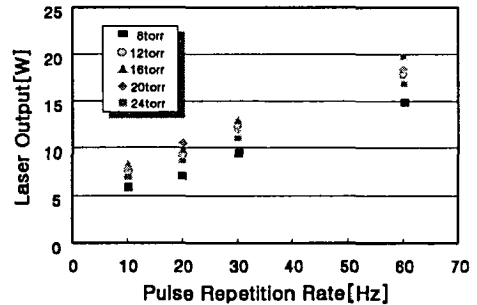


그림 4. 반복율의 변화에 따른 레이저 출력특성

Fig. 4 Laser output characteristics as the change of repetition rate

그림 4는 각각의 동작 압력에서 펄스반복율의 변화에 따른 레이저 출력 특성을 보여주고 있고 그림 5는 각각의 펄스반복율에서 동작 압력에 따른 레이저 출력 특성을 보여주고 있다. 그림5, 6에서 보는바와 같이 펄스 반복율이 증가함에 따라 레이저 출력이 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만 압력에 따른 출력 특성을 각각의 펄스 반복율에서 보면 16torr에서 최대 레이저 출력을 얻

출력이 있었고 더 높은 압력 20torr, 24 torr에서는 오히려 출력이 감소하였다.

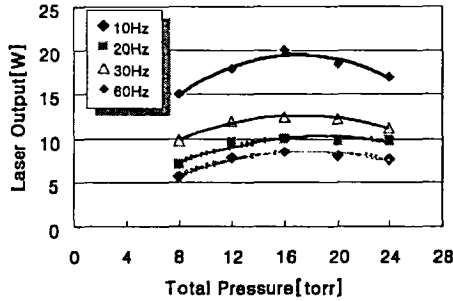


그림 5. 압력에 따른 레이저 출력특성
Fig. 5 Laser output characteristics as the change of total pressure

4. 결 론

저속 스위칭에 적합한 소자인 SCR과 고압 누설 변압기를 사용하여 상용주파 AC의 정현파 파형을 직접 스위칭함으로써 60Hz까지의 주파수 가변이 가능한 저가격의 저주파 펄스형 CO₂ 레이저 전원 장치를 개발하였다. 완성된 장치의 펄스 반복율, 동작 압력에 따른 레이저 출력 특성실험을 통하여 펄스 반복율 60Hz, 동작 압력 16torr에서 최대출력 약 20W를 얻었다.

참 고 문 헌

[1] P. Loosen, "Recent Development of Lasers for Materials Processing," Proc. of LAMP '92, Nagaoka, Vol. 1, pp. 61-66, 1992.
 [2] J.K.R. Weber, J.J. Felten, and P.C. Nordine, "Laser Hearth Melt Processing of Ceramic Materials," Rev. Sci. Instrum. 67, pp. 522-524, 1996.
 [3] R.C. Harney, "CO₂ Lasers for Military Applications," SPIE Vol. 1042, CO₂ Lasers and Applications, pp. 42-54, 1989.
 [4] 最先端 レーザ・テクノロジー-集成, オプトロニクス社, 1989.
 [5] E. Hirota, High-Resolution Spectroscopy of Transient Molecules, Springer, Heidelberg,

Germany 1985.

[6] Jen-Shin Chang, "Handbook of Electrostatic Processes", Macel Dekker Inc, pp.221-223 (1990)
 [7] Dong-Hoon Lee, "Comparison of dc and ac excitation of a sealed CO₂ laser", Rev Sci. Instrum. 71,(68), p577, 2000
 [8] Dong-Hoon Lee, "Effect of leakage transformer on laser power and mode pattern of CO₂ laser excited by 60HzAC discharges", Optics & Laser in Engineering, V32, p49, 1999
 [9] 이동훈, "상용주파수 교류방전 CO₂ 레이저의 동작 특성", 대한전기학회,48C,p587,1999
 [10] K. Terai, "Characteristics of RF Excited CO₂ lasers", Rev. laser Eng. Vol. 21, No. 4, pp.39-48 (1993)