

# 누설변압기 1차측의 스위칭 제어에 의한 펄스형 CO<sub>2</sub> 레이저에 관한 연구

論 文

49C-9-8

## A Study on the Pulsed CO<sub>2</sub> Laser by the Switching Control of Leakage Transformer Primary

鄭賢株\* · 李東勳\* · 金熙齊\*\*

(Hyun-Ju Chung · Dong-Hoon Lee · Hee-Je Kim)

**Abstract** - We propose a pulsed CO<sub>2</sub> laser below 30W by the AC(60Hz) switching control of leakage transformer primary which has some advantages of cost and size compared to a typical pulsed power supply. Pulse repetition rate is adjusted from 5 Hz to 60 Hz to control laser output. In this laser, a low voltage open loop control for high voltage pulse discharge circuit is employed to avoid the HV sampling or switching and high voltage leakage transformer is used to convert low voltage pulse rectified from AC to high voltage one. A ZCS(Zero Crossing Switch) circuit and a PIC(programable one-chip microprocessor) are used to control gate signal of SCR precisely. The pulse repetition rate is limited by 60Hz due to the frequency of AC line and a high leakage inductance. The maximum laser output was about 23 W at pulse repetition rate of 60 Hz, total gas mixture of CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : He = 1 : 9 : 15, and total pressure of 18 Torr

**Key Words** : Pulsed CO<sub>2</sub> laser, High voltage pulse discharge, Leakage transformer, ZCS circuit, PIC one-chip microprocessor

### 1. 서 론

CO<sub>2</sub> 레이저는 적외선 영역인 10.6 $\mu$ m파장의 안정된 고�출력 펄스 레이저 빔을 발생시킬 수 있으므로 산업용, 군사용, 의료용 및 각종 물리·화학의 기초 연구용 등의 광범위한 분야에서 각광을 받고 있다[1-3].

최근에 100 Hz이하의 펄스 반복율을 가지는 20 W급 출력의 의료용 및 마킹용 펄스 CO<sub>2</sub>레이저의 수요가 증가함에 따라 유지와 보수의 편리성은 물론 사용자의 편의성을 충족시키기 위한 레이저 전원장치의 소형화, 출력 제어의 용이성 및 저가격화 등에 대한 요구가 증대되고 있다.

기존의 펄스형 CO<sub>2</sub>레이저의 전원장치는 원하는 펄스 반복율에 맞도록 스위칭 소자를 "on"- "off"하여 콘덴서에 충전된 에너지를 고압 펄스 트랜스를 통해서 레이저 방전관에 인가하는 방식이다. 즉 DC를 스위칭 과정을 통해 펄스 에너지로 변환시킨 후 방전관에 그 펄스 에너지를 공급하는 형태이다 [4]. 하지만 이것은 AC를 DC로 변환시키는 정류부 그리고 스위칭을 제어하기 위한 제어부가 필요하다. 정류부는 정류용 다이오드, 전류 제한용 저항, 평활 콘덴서 등으로 구성되는데 리플이 적은 DC를 얻기 위해서는 콘덴서의 용량이 커

져야하고 스위칭부는 값비싼 사이라트론, IGBT 등의 고압·고속 스위칭 소자와 제어회로로 구성되므로 저가격화의 실현이 어렵다[5-8]. 우리는 이전에 CW(continuous-wave) CO<sub>2</sub>레이저에 있어서 기존에 사용되었던 DC방전을 이용한 여기 방식 대신 상용주파 AC(60Hz)방전을 이용하여 CO<sub>2</sub>레이저를 발진시키는데 성공하였다[9-10]. 따라서, 누설변압기의 1차측의 AC(60Hz)를 제어하여 펄스화시킨다면 소형·경량이면서 저가격의 펄스형 CO<sub>2</sub>레이저 제작이 가능하다는 점에 착안하였다. 즉, 기존의 상용주파 AC 여기 방식에서 레이저 출력 제어를 위해 사용되었던 변압기 1차측의 전압변방식 대신 AC의 전파 정류된 펄스를 변압기 1차측에서 스위칭하여 그 펄스 반복율의 가변에 의해 레이저 출력을 제어하는 것이다. 이 방식은 기존의 60 Hz 이하의 펄스 반복율을 가지는 펄스형 CO<sub>2</sub> 레이저의 전원 장치에 비해서 에너지 충전용 콘덴서와 전류제한용 소자가 전혀 필요하지 않다는 것이 특징이다.

본 연구에서는 SCR과 AC 정현파의 영전압을 검출하기 위한 ZCS(Zero Crossing Switch)회로와 SCR 트리거 신호를 원하는 주파수에 맞도록 정밀하게 제어하기 위한 PIC one-chip 마이크로프로세서 제어부로 구성되는 펄스형 CO<sub>2</sub> 레이저 전원장치를 고안하였다. 누설변압기의 1차측에서 PIC(Programmable Integrated Controller) one-chip 마이크로프로세서를 이용하여 상용주파 AC(60Hz)의 전파 정류된 펄스를 정밀하게 스위칭함으로써, 2차측의 CO<sub>2</sub>레이저 방전관에 고압의 펄스를 인가하였고 글로우 방전이 안정되게 유지되는 상태에서 펄스 반복율, 가스혼합비 및 동작압력의 변화에 따른 레이저 빔의 출력 특성을 조사하였다.

\* 正 會 員 : 釜山大 電氣工學科 博士課程

\*\* 正 會 員 : 釜山大 電氣工學科 副教授 · 工博

接受日字 : 2000年 7月 10日

最終完了 : 2000年 8月 24日

## 2. 레이저 장치의 구성

전체 시스템은 크게 나누어 공진기, ZCS(Zero Crossing Switch) 회로, PIC one-chip 마이크로프로세서를 이용한 제어부와 SCR 트리거부 및 스위칭부로 구성된다.

### 2.1 공진기 시스템

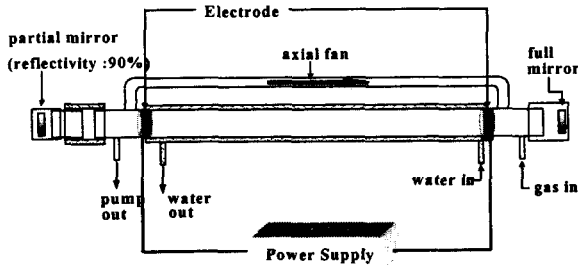


그림 1 펄스형 CO<sub>2</sub> 레이저 시스템의 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of a pulsed CO<sub>2</sub> laser system

본 연구에서는 그림 1에서 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 16 mm, 두께 2 mm인 파이렉스(Pyrex)관을 사용하였고 방전부는 SUS로 만든 원통형 홀로 캐소드(holo-cathode)의 전극을 방전관 내부에 부착하였다. 전극간 거리는 약 80 cm로 하였고 방전 플라즈마를 발생시키기 위한 방전관의 체적은  $80 \times \pi \times 64 \text{ cm}^3$ 이다. 방전관 외벽에는 연속 동작시 방전 플라즈마로 인한 온도 상승에 의해 야기되는 출력의 불안정을 방지하기 위하여 내경 24 mm, 두께 2 mm인 파이렉스관을 이중으로 제작하여 물순환 냉각 장치를 구성하였다.

### 2.2 고전압 펄스 전원장치

전원장치는 펄스반복율을 가변시킴으로써 레이저 출력을 제어할 수 있도록 하였다. 반복율은 5 ~ 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(ZCS), PIC one-chip 마이크로 프로세서를 이용한 제어부와 SCR 트리거부, SCR과 고압 누설변압기를 이용한 전원 회로로 구성되어 있다.

#### 2.2.1 제로 전압 검출부(ZCS)

스위칭부에 인가되는 전압과 동위상의 AC 전압(220V)을 소형 변압기를 통해 9V로 감압시킨후 전파 정류시킨다. 그림 4의 (a)와 같이 전파정류된 정현파는 트랜지스트, Tr1의 베이스에 인가된다.

베이스에 인가되는 정현파 펄스의 전압이 0으로 되는 지점에서 미분기와 증폭기를 거친 신호는 트랜지스트 Tr3의 컬렉트에서 그림 4의 (b)와 같이 펄스폭 약 500  $\mu\text{s}$  정도의 5V구형파 펄스를 발생시킨다.

#### 2.2.2 마이크로프로세서를 이용한 제어부

SCR을 원하는 주파수에 맞게 턴-온시키기 위한 제어부에는 PIC one-chip 마이크로 프로세서 PIC16C55를 사용하였다. 실험에 사용된 PIC one-chip 마이크로 프로세서는 다른 원칩 마이크로컨트롤러와 달리 RISC(Reduced Instruction Set Code)와 얇은 구조를 채택하고 있으며 하드웨어 아키텍처라는 독특한 방식으로 설계되어 있다. 이 두가지 특징으로 인해 PIC16C55는 33개의 적은 명령셋을 가지고, 모든 명령이 1사이클 안에 실행되며, 명령 실행과 패치를 동일 사이클에 수행하는 등 프로그램이 고속으로 실행되는 장점이 있다. 제어부의 동작 순서는 다음과 같다.

① 제로 전압 검출부(ZCS)로부터의 상용주파 AC의 제로 전압신호를 그림 2와 같이 PIC의 RTCC(Real Time Clock Count)에서 받아들인다. 즉, 1초에 120개의 영전압 검출 신호가 RTCC에 인가된다.

② 마이크로프로세서 내부에서는 RTCC에서 받아들인 초당 120개의 영전압 검출 신호를 원하는 주파수에 맞게 표 1과 같이 분주하여 SCR 트리거 회로에 신호를 인가한다. 레이저 펄스 반복율은 표 1의 주파수와 같이 자유자재로 조절할 수 있게 하였다. 그림 3은 전체 회로에 있어서 ZCS 회로의 입출력 신호와 주파수에 따른 SCR 트리거 신호 및 변압기 1차측의 전압 파형이다.

표 1 각 주파수에 따른 PIC의 입-출력 신호 분주비

Table 1 The ratio of PIC input-output signal as the change of each frequency

주파수	ZCS로부터의 PIC에 인가되는 펄스 수	PIC로부터의 SCR 트리거부에 인가되는 펄스 수
5 Hz	24	1
10 Hz	12	1
20 Hz	6	1
30 Hz	4	1
40 Hz	3	1
60 Hz	2	1

③ PIC로부터의 신호는 전류와 전압이 작아서 바로 SCR을 트리거시키기가 힘들다. 따라서 SCR 트리거 회로는 안정되게 SCR을 turn-on시키기 위해 PIC로부터 출력되는 신호의 전압과 전류를 증폭시키는 역할을 한다. SCR의 트리거 신호는 AC line의 영전압(Zero Voltage)에서 원하는 펄스 반복율에 맞추어 SCR 게이트에 인가된다. 그림 4의 (c)는 주파수 60 Hz에서의 SCR 게이트 트리거 신호이다.

#### 2.2.3 스위칭부

스위칭부는 그림 2와 같이 SCR과 고압 누설변압기, 환

류다이오드 및 저항으로 구성된다. 정류된 펄스를 스위칭하기 위한 스위칭 소자로서는 SCR이 사용되었고, 저압의 정류된 펄스를 고압으로 변환시켜 방전관에 인가하기 위해서 네온트랜스용 고압 누설변압기(1차 : 220 V, 2차 : 18 kV, 한창 트랜스)를 사용하였다. 고압 누설 변압기에서는 변압기 철심을 통과하는 자속에 의해서 1차, 2차 권선에서 누설 자속이 생기고 이러한 자속은 주파수 성분에 의하여 리액턴스를 발생시킨다. 따라서, 이 누설 리액턴스는 부하의 갑작스런 전류의 변동을 방지할 수가 있으므로 네온사인과 같은 기체 방전을 발생시키는 고압 전원장치에 많이 사용되고 있다. 그리고 변압기의 유도성 부하에 축적된 에너지를 방출하여 연속된 스위치의 "on"- "off"에 따른 변압기의 자속이 포화되는 것을 막기 위해서 환류다이오드와 저항을 변압기 1차측에 연결하였다.

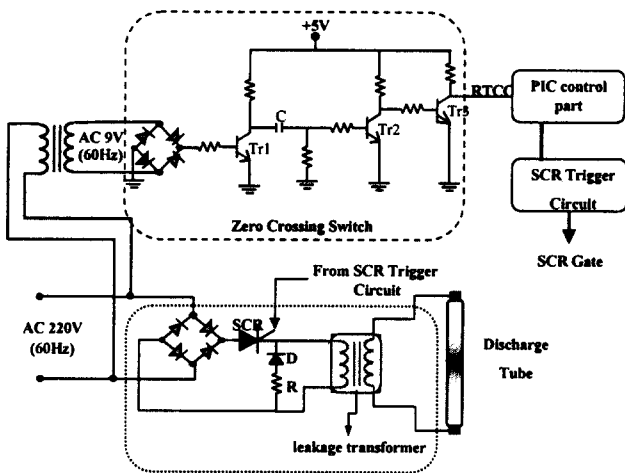


그림 2 누설변압기 1차측을 스위칭한 펄스형 CO<sub>2</sub>레이저의 제어부와 전원부

Fig. 2 Control circuit and power supply for a pulsed CO<sub>2</sub> laser by switching of leakage transformer primary

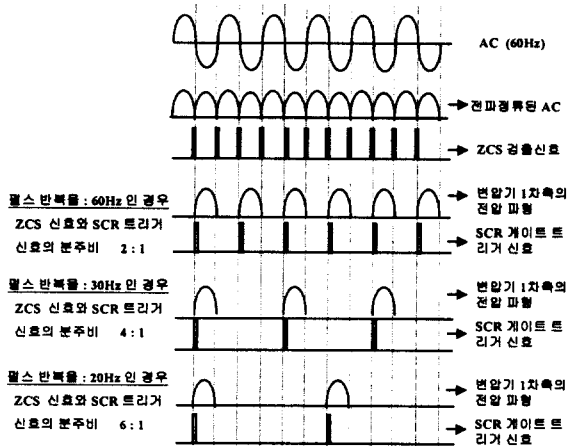
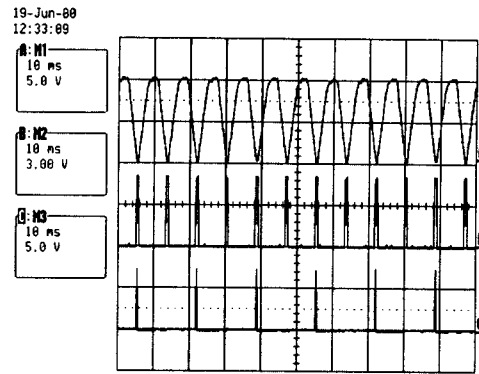


그림 3 동작 주파수에 따른 ZCS의 입출력 신호와 SCR 트리거 신호의 파형

Fig. 3 The waveform of ZCS input-output signal and SCR trigger signal as working frequency



A. AC를 전파 정류한 전압 파형  
B. ZCS 회로에서의 영전압 검출 신호  
C. SCR 게이트 트리거 신호

그림 4 ZCS의 영전압 검출 신호 파형과 SCR 트리거 신호(60Hz)

Fig. 4 Waveform of input-output signal in ZCS and SCR trigger circuit (60Hz)

### 3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 펄스형 CO<sub>2</sub> 레이저의 출력에 영향을 미치는 중요한 요소인 펄스 반복율과 레이저 매질 가스(CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, He)의 혼합비 및 동작압력에 따른 레이저 출력 특성을 비교 검토하였다. 실험 방법으로는 로타리 펌프로 광공진기 내의 배경 가스압을 10<sup>-2</sup> Torr까지 배기시킨 후 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, He의 혼합 가스를 일정 압력까지 주입하고, 양단 전극에 고압 펄스를 인가하여 글로우(Glow) 방전을 일으켰다. 동작압력 6 Torr에서 레이저가 발진하였으며, 실험범위는 글로우(Glow) 방전이 안정되게 유지될 펄스 반복율 5 ~ 60 Hz, 레이저 매질 가스의 혼합비는 CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : He = (1 : 2 : 15), (1 : 4 : 15), (1 : 9 : 15), 동작압력은 6 ~ 22 Torr까지로 하여 실험을 하였다. 출력은 CO<sub>2</sub> 레이저용 에너지미터(Gentec사 모델명 PS-1K)로 측정하였다.

#### 3.1 펄스 반복율에 따른 레이저 출력 특성

그림 5는 일정 압력과 가스혼합비 CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He = 1:9:15 에서 펄스 반복율에 따른 레이저 출력 특성을 나타내고 있다. 각 실험 데이터는 다섯번 실험한 결과의 평균치를 표시하고 있다. 5 Hz에서 발진을 시작하여 60 Hz에서 최대치에 도달하였고, 특히 동작압력 18 Torr에서 최대 23 W를 얻었다.

반복율이 증가함에 따라 레이저 출력도 증가함을 알 수 있으며 반복율 60 Hz까지는 거의 선형적으로 출력이 증가하고 있다. 그 원인은 반복율이 증가하게 되면 입력에너지가 증대되기 때문이며 방전관내의 전자밀도가 높아지므로 상위준위의 펌핑율이 증가하고, 밀도반전이 커지게 되어 출력은 증가하게 되는 것이다[11].

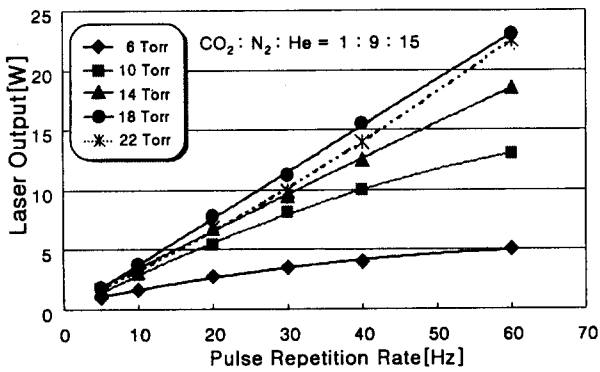


그림 5 반복율의 변화에 따른 레이저 출력특성  
Fig. 5 Laser output characteristics as the change of repetition rate

3.2 가스 혼합비에 따른 레이저 출력 특성

그림 6은 레이저 출력이 가장 높은 동작 압력 18 Torr인 경우 전체압력에서 N<sub>2</sub>의 비율을 CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : He = (1 : 2 : 15), (1 : 4 : 15), (1 : 9 : 15) 와 같이 달리하면서 펄스 반복율에 따른 레이저 출력을 측정 한 결과이다.

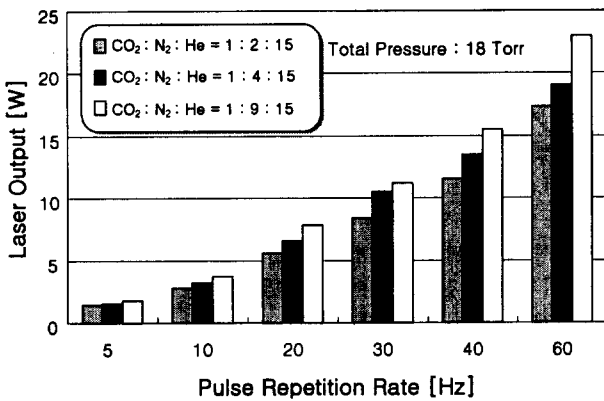


그림 6 가스 혼합비에 따른 레이저 출력특성  
Fig. 6 Laser output characteristics as gas mixture

CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : He = 1 : 9 : 15 에서의 출력이 다른 두 경우에서보다 최대 30 % 정도 증대됨을 알 수 있다. CO<sub>2</sub> 레이저에서는 펄핑의 많은 부분이 질소가스가 먼저 여기하여 공명천이를 일으킨다고 알려져 있다. 즉, N<sub>2</sub>의 첫 번째 진동 준위는 CO<sub>2</sub> 분자의 (001) 준위와 매우 비슷하다. N<sub>2</sub>의 v=1에서 8까지의 진동 준위끼리의 간격들은 CO<sub>2</sub>의 (000)에서 (001)까지의 간격과 잘 일치한다. 레이저 방전관에서 글로우 방전이 일어날 때 에너지를 가진 전자는 중성 질소 분자에 붙어 몇 번 선회를 한 뒤 빠져 날아가면서 N<sub>2</sub>를 진동 여기 상태로 남긴다. 따라서, N<sub>2</sub> 분자들을 진동적으로 여기시킬 수 있으며, 이들은 이 묶여진 에너지를 CO<sub>2</sub>의 상위 레이저준위로 효과적으로 전달할 수 있다. 따라서 CO<sub>2</sub> 레이저의 효율을 높이는 데는 N<sub>2</sub>가 필수적이다[12-13]. 위의 실험 결과에서 혼합비가 CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : He = 1 : 9 : 15에서 레이저 출력이 높은 것은

다른 두 종류의 혼합비보다 N<sub>2</sub>의 비율이 높기 때문이다. 그러나 무조건 N<sub>2</sub>의 비율이 높다고 해서 레이저 효율이 증대되는 것은 아니며 60 Hz 정도의 반복율에서는 CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : He = 1 : 9 : 15 부근에서 N<sub>2</sub>의 비율이 최적치에 근접된 것으로 판단된다.

3.3 동작압력에 따른 출력 특성

그림 7은 동작압력에 따른 레이저 출력의 변화를 나타낸다. 출력이 가장 높게 나타나는 가스의 혼합비 CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : He = 1 : 9 : 15에서 동작압력을 6 Torr에서 22 Torr까지 4 Torr씩 증가시키면서 출력을 측정하였다. 반복율이 일정할 때 압력이 증가하면 출력도 증가하였지만 약 18 Torr 부근에서는 출력이 포화하였다.

동작압력이 상승함에 따라 CO<sub>2</sub> 및 N<sub>2</sub> 분자의 밀도가 증가하므로 레이저 여기 준위의 밀도가 늘어나고 충돌 단면적의 증가에 따른 확산 냉각 효과 때문에 레이저 출력이 증가한다. 그러나 그 이상의 압력에서는 글로우(Glow) 방전을 유지시키기 위해 더 높은 전압을 인가해야 하므로 전극 사이에 강한 전기장이 걸려 전자밀도가 증가하게 된다. 결과적으로 입력이 증가하게 되므로 기체의 온도 상승을 초래하여 상위 준위 밀도를 감소시켜 레이저 출력을 포화시킨다. 따라서 이득을 최대 하기 위해서는 압력을 최적화 하여야 한다. 이와 같은 축류형 CO<sub>2</sub> 레이저는 확산 냉각이 지배적이기 때문에 단위 체적당 투입할 수 있는 최대 입력이 0.5 W/cm<sup>2</sup> 정도로 제한되어 있으므로 압력은 18 Torr정도가 적절함을 알 수 있다[14].

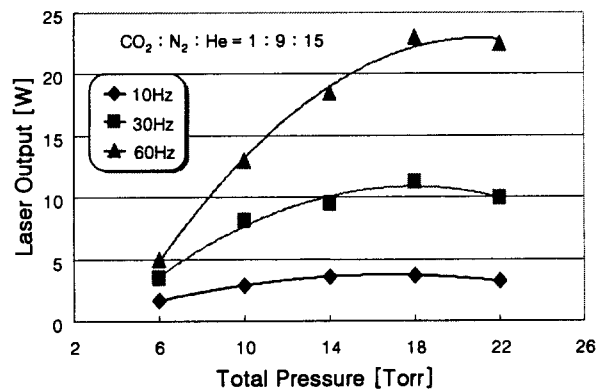


그림 7 압력에 따른 레이저 출력 특성  
Fig. 7 Laser output characteristics as the change of total pressure

4. 결 론

본 연구에서는 고압 누설변압기의 1차측에서 상용주파수 AC를 전파 정류하여 SCR로서 스위칭된 펄스를 고압 누설변압기를 통해 2차측의 CO<sub>2</sub> 레이저 방전관에 인가하는 60 Hz 이하의 펄스형 CO<sub>2</sub> 레이저 장치를 고안하였다. 펄스 반복율, 가스 혼합비 및 동작압력에 따른 레이저 시스템의 출력특성에 대하여 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 동작 압력 18 Torr에서 레이저 매질의 혼합비를 CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : He = (1 : 2 : 15), (1 : 4 : 15), (1 : 9 : 15)와 같이 달리 하면서 펄스 반복율에 따른 레이저 출력을 측정한 결과 CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : He = 1 : 9 : 15 에서의 출력이 다른 두 경우보다 최대 약 30%정도 높았다.

2. 가스의 혼합비 CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : He = 1 : 9 : 15에서 동작압력을 6 Torr에서 22 Torr까지 가변하면서 SCR 게이트 트리거 주파수에 따른 출력을 측정한 결과 반복율이 일정할 때 압력이 증가하면 출력도 증가하였지만 18 Torr에서 출력이 포화하였다.

3. 동작압력 18 Torr, 펄스 반복율 60Hz 및 가스 혼합비 CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : He = 1 : 9 : 15에서 얻어진 최대 레이저 출력은 약 23 W였다.

**감사의 글**

본 연구는 1999년도 한국산업기술평가원의 spin-off 과제 연구비에 의하여 수행된 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

**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, "CO<sub>2</sub> lasers for Military Applications," SPIE Vol. 1042 CO<sub>2</sub> lasers and Applications, pp.42-54, 1989

[4] 정현주 외 7인, "고효율 CO<sub>2</sub> 레이저 개발연구 : SMPS 방식 펄스형 CO<sub>2</sub> laser의 출력 특성", 대한전기학회, 48C, pp.730-734, 1999

[5] Yu. A. Baloshin and I. V. Pavlishin, repetitively pulsed short-pulse TEA CO<sub>2</sub> laser with UV pre-ionization, *J. Opt. Technol.* 65(1), pp.61-62, 1998

[6] K. R. Rickwood and J. McInnes, "High repetition rate mini TEA CO<sub>2</sub> laser using a semiconductor prionizer", *Rev. Sci. Instrum.* 53(11), pp.1667-1669, 1982

[7] C Baker, "Design of a compact high PRF TEA CO<sub>2</sub> laser and performance under multimode and single mode conditions", *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, Vol 14, pp.1167-1170, 1981

[8] N. Menyuk and P. F. Moulton, "Development of a high-repetition-rate mini-TEA CO<sub>2</sub> laser", *Rev. Sci. Instrum.* 51(2), pp.216-220, 1998

[9] Dong-Hoon Lee, Hyun-Ju Chung, Hee-Je Kim, "Comparison of dc and ac excitation of a sealed CO<sub>2</sub> laser", *Rev. Sci. Instrum.* 71,(68), pp577-578, 2000

[10] 이동훈 외 4인, "상용주파수 교류방전 CO<sub>2</sub> 레이저의 동작 특성", 대한전기학회, 48C, pp587-590, 1999

[11] S. Müller, J. Uhlenbusch, "Influence of turbulence and

convection on the output of a high-power CO<sub>2</sub> Laser with a fast axial flow", *J. Phys. D: Appl. Phys.* 20, pp697-708, 1987

[12] J. J. Lowke, "Predicted transport coefficients and operating characteristics of CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-He laser mixtures", *J. Appl. Phys.*, Vol.44, No.10, pp.4754-4761, 1973

[13] A Cenian, "Improvement of self-regeneration of gas mixtures in a convection-cooled 1.2kW CO<sub>2</sub> laser", *J. Phys. D: Appl. Phys.* 30, pp.1103-1110, 1997

[14] K. Terai, "Characteristics of RF Excited CO<sub>2</sub> lasers", *Rev. laser Eng.* Vol. 21, No. 4, pp.39-48, 1993

**저 자 소 개**



**정 현 주 (鄭 鉉 珠)**

1975년 12월 5일 생. 1998년 울산대 전기공학과 졸업. 2000년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(석사) 2000년 동 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : 051-510-2770, Fax : 051-513-0212  
E-mail : hyunju30@hanmail.net



**이 동 훈 (李 東 勳)**

1970년 1월 17일 생. 1996년 부산대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : 051-510-2770, Fax : 051-513-0212  
E-mail : dhlee6@pusan.ac.kr



**김 희 제 (金 熙 齊)**

1955년 10월 23일생. 1980년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1981년~1983년 동 대학원 전기과 조교. 1983년~1985년 한국전기연구소 연구원. 1985년~1990년 일본 큐슈대학원 연구생 및 박사과정. 1990년 동 대학원 에너지변환공학전공 졸업(공학). 1990년~1995년 한국전기연구소 선임연구원. 1995년~현재 부산대 전기공학과 조교수

Tel : 051-510-2364, Fax : 051-513-0212  
E-mail : heeje@pusan.ac.kr