

고반복율 및 고정밀방식을 이용한 펄스형 CO₂ Laser 시스템 설계 및 평가 (Design and evaluation of pulsed CO₂ laser system using high repetition ratio and high precision)

김 흥 수* 김 휘 영**
(Heung-Soo Kim) (Whi-Young Kim)

요 약

본 연구에서는 1kHz 부근의 펄스 반복율을 가지는 경제적이고 컴팩트한 펄스형 CO₂ 레이저의 개발에 관해서 기술하였다. 고압·고주파 펄스 변압기와 수 십 kHz의 스위칭에 적합한 IGBT를 사용한 고압 펄스전원 장치를 레이저 공진기에 접목시켜 새로운 방식의 고반복 CO₂ 레이저 장치를 개발하였다.

전원장치에 사용된 2개의 IGBT를 정밀하게 제어하기 위해서 제어부에는 PIC 마이크로프로세서가 사용되었고 공진기는 수냉방식의 저속축류형으로 제작되었다. 완성된 장치의 펄스 반복율과 동작압력 그리고 레이저 매질 가스의 혼합비의 변화에 따른 레이저빔의 출력 특성실험을 통하여 가스 배압비 CO₂: N₂:He = 1:9:15 펄스 반복율 700 Hz, 동작압력 15 Torr에서 최대 레이저 출력 약 20.5 W, 최대 효율 약 8%를 달성하였다.

ABSTRACT

Study, it is the purpose to develop a cheap and compact pulsed CO₂ laser with pulse repetition rate range of 1 kHz. We used a IGBT switched power supply as a power supply, which is cheap and simple comparing to others. PIC one-chip microprocessor was used for precise control of a laser power supply on the control part. And the laser cavity was fabricated as an axial and water cooled type.

The laser performance characteristics as various parameters, such as pulse repetition rate, gas pressure, and gas mixture rate have been investigated. The experiment was done under the condition of total pressure of CO₂: N₂:He = 1:3:10, 1:1.5:5, 1:9:15 from 6 Torr to 15 Torr and pulse repetition rate from 100 Hz to 900 Hz. As a result, the maximum average output was about 20.5 W at the total pressure of 15 Torr, the gas mixture CO₂:N₂:He = 1:9:15 and the pulse repetition rate of 700 Hz.

1. 서론

펄스형 CO₂ 레이저는 적외선 영역인 10.6 μm 파장의 매우 안정된 고효율 펄스를 방출시킬 수 있으므로 산업용, 군사용, 의료용, 각종 물리·화학의 기초 연구용 등의 광범위한 응용 분야에서 각광을 받

고 있다[1-4]. 특히 금속의 정밀절단, 심용접에서는 수 십 Hz로부터 수 kHz의 펄스 출력이 필요하다. 펄스방식은 Normal Pulse와 Super Pulse로 크게 나눌 수 있다. Normal Pulse의 경우에는 Pulse의 파고치가

* 정회원 : 동주대학 정보통신계열 부교수

** 중신회원 : 동주대학 컴퓨터정보통신계열 전임강사

논문접수 : 2001. 7. 31.

심사완료 : 2001. 8. 16.

연속파의 파고치와 동일하기 때문에 펄스시의 평균 출력은 연속파의 경우보다 낮다. Super Pulse의 경우에는 Pulse 파고치를 연속파의 파고치보다 훨씬 높게 할 수 있으므로 평균 출력은 낮지만 침투 출력이 높아서 유리 등 세라믹 재료의 가공에 널리 사용된다[5-13].

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

기존의 저출력, 고반복 펄스형 CO₂ 레이저의 펄스 전원장치는 스위칭 소자로서 싸이랏론을 사용한 TEA 방식이 주로 사용되어졌다[7]~[10]. 하지만 싸이랏론 자체가 아주 고가이고 스위치를 제어하기 위한 제어부의 설계가 또한 복잡하므로 전원장치가 비싸게 되는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 1kHz까지의 펄스 반복율을 가지는 경제적인 펄스형 CO₂ 레이저의 개발이 주목적이다. 고압·고주파 펄스 트랜스와 수 십kHz의 주파수에 알맞은 스위칭 소자인 IGBT를 이용한 펄스 전원 장치를 레이저에 적용하여 새로운 방식의 고반복 펄스형 CO₂ 레이저를 제작하였다. 공진기는 장치의 유지·보수가 용이한 저속 축류형의 구조를 채택하였고 글로우(Glow) 방전이 안정되게 지속될 때 펄스 반복율과 동작압력 그리고 레이저 매질 가스의 혼합비의 변화에 따른 레이저빔의 출력 특성을 조사하여 얻어진 결과를 정리하였다.

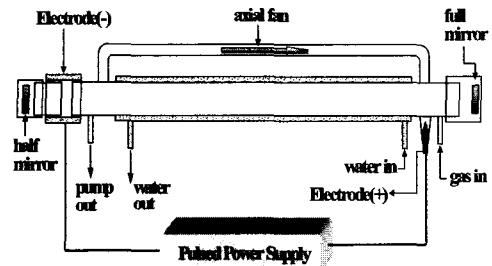
2. 레이저 장치의 구성

전체 시스템은 크게 나누어 공진기와 펄스 전원 장치로 구성되어 있으며, 그 외에 수냉장치, 가스 공급장치, 진공 펌프와 압력계 등이 있다.

2.1 공진기 시스템

본 연구에서는 [그림 1]에서 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 85cm, 내경 16mm, 두께 2mm인 파이렉스(Pyrex)관을 사용하였고 방전 플라즈마를 발생시키기 위한 방전관의 체적은 75mm×π×64mm³이다. 방전부는 알루미늄으로 만든 원통형의 음극과 침 모양의 양극을 방전관에 부착하여 만들었으며, 전극간 거리는 약 75cm로 하였다. 방전관 외벽에는 연속 동작시 방전 플라즈마로 인한 온도 상승에 의해 야기되는 출력의 불안정을 방지하기 위하여 내경 30mm, 두께 2mm인 파이렉스관을 이중으로 제작하여 물순환 냉각 장치를 구성하였다. 냉각은 수돗물로 하였다.



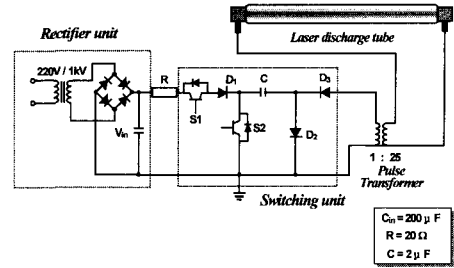
[그림 1] 저속축류형 펄스형 CO₂레이저 공진기의 개략도

[Fig 1] schematic diagram of an optical cavity in repetitively pulsed CO₂ laser with a low circulating

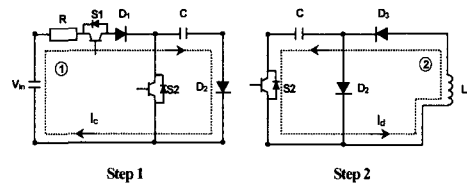
방전관에 순간적인 대전류가 흐르면 방전관의 음극측과 양극측에 압력차가 생긴다. 이 때문에 레이저 발진 효율이 떨어지고 발진정지 등의 상태가 생긴다. 이것을 방지하기 위해 [그림 1]에서와 같이 바이패스(Bypass)관을 설치하고 작은 팬을 삽입하여 가스의 흐름을 도움으로서 전극 주위 가스 파열에 의한 방전관내의 온도 상승과 압력차를 작게 하고 방전시 CO₂ 분자의 해리에 의한 불순물의 발생을 감소시켰다.

2.2 펄스 전원 장치

본 연구에서 사용된 펄스 발생 장치는 실험실에서 직접 설계 및 제작한 SMPS방식의 전원이다. 스위칭 소자는 수십 kHz의 스위칭에 적합한 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 사용하였고 커패시터(marcon 사 제품 : 2μf)에 충전된 에너지를 고압·고주파 펄스 변압기를 사용하여 고압의 펄스로 변환시킨 후 방전관에 인가하였다. 레이저 출력은 일정한 펄스폭에서 펄스반복율을 변화시킴으로써 제어 가능할 수 있도록 하였다. 반복율은 100Hz~1kHz까지 가변할 수 있도록 설계하였고 전원에서 얻을 수 있는 최대 펄스 전압은 약 20 kV였다. 레이저 매질을 여기시키기 위한 펄스 전원장치의 주요부는 [그림 3]과 같이 정류부, 스위칭부, 고압·고주파 펄스 변압기부, 마이크로프로세스를 이용한 제어부로 구성되어 있다. [그림 2]는 압력 12 Torr에서 방전관에 고압의 펄스를 인가하였을 때 양 전극사이의 전압파형을 1000:1 분압기(Tektronix : P6015A Opt.1R)를 사용하여 측정한 파형이다. 그림에서 알 수 있듯이 동작압력 12 Torr에서 글로우(Glow) 방전이 안정되게 지속될 때, 한 개의 펄스파형을 포착하여 펄스폭(FWHM : Full Width at Half Maximum)을 측정하였더니 약 40μs였다.



(a)



(b)

[그림 3] (a) 고압펄스 전원장치의 개략도

(b) 회로의 동작순서

[Fig. 3] (a) schematic diagram of high voltage pulsed power supply

(b) equivalent circuits of operating two steps

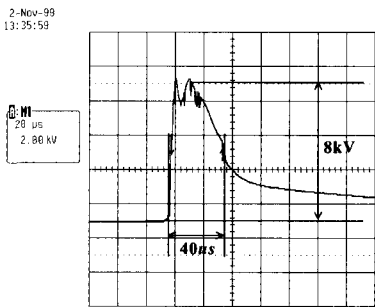
2.2.1 정류부

정류부는 단상 교류전압조정기, 승압용 변압기, 돌입전류 제한 및 단상 브릿지 다이오드 정류기, 평활용 콘덴서로 구성된다. 부하변동에 따른 입력전압의 변동은 단상 교류전압조정기로 미세 조절할 수 있도록 하였다.

2.2.2 스위칭부

스위칭부는 [그림 3]과 같이 스위칭 소자(S1, S2)와 충·방전용 커패시터(C)로 구성된다. S1은 정류부로부터 C에 전달되는 에너지를 투입 또는 차단시키는 역할을 하고 S2는 C에 충전된 에너지를 방전시키는 역할을 한다. 회로의 동작 순서는 다음과 같다.

S1(on) → C 충전 → S1(off) → S2(on) → C방전 → S2(off) → S1(on)



[그림 2] 글로우 방전중인 한 펄스의 전압파형 (전체입력 : 12 torr)

[Fig. 2] voltage waveform of single pulse in glow discharge

이 방식은 C에 충전이 완료된 후에는 정류단을 스위칭부로부터 차단시킴으로서 커패시터의 에너지를 완벽하게 부하에 전달할 수 있는 장점이 있다.

회로의 분석을 간략화하기 위해서 두 단계로 나누어서 설명하면 다음과 같다.

Step 1 : 처음에 S1이 on되면 충전전류 I_s 가 다음과 같이 흐른다.

① $V_{in} \rightarrow D_1 \rightarrow C \rightarrow D_2 \rightarrow V_{in}$ 를 통해 C에 충전된다. C에 충전이 완료된 후 정류부의 전압(V_{in})이 같게되면 S1은 off된다.

Step 2 : S2가 on되면 커패시터로부터 방전전류 I_d 가 다음과 같이 흐른다.

② $C \rightarrow S_2 \rightarrow$ 변압기 1차측 $\rightarrow D_3 \rightarrow C$ 를 통해 방전되면 변압기 1차측은 I_d 에 의해서 자화되고 S2는 off며 다시 S1이 on된다.

2.3.3 펄스 변압기

펄스 변압기는 1차, 2차측의 결합도가 우수한 페라이트 코어(TDK3415)를 사용하였다. 1차측의 권선으로는 $\phi 0.55$ 의 에나멜선을 1430턴으로 감았고, 2차측은 $\phi 0.2$ 의 에나멜선을 56턴으로 감아 사용하였다. 디지털 LCR 미터(HUNG CHANG사 모델명 Z216)로 측정 하였더니 1차측의 인덕턴스 값은 37 [mH]였고, 2차측은 21[H]였다. 1차, 2차측의 전압비는 식 (1)과 같다.

$$a \approx \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} = \frac{V_2}{V_1} \quad (1)$$

따라서, 설계 제작한 변압기의 권수비 a 는 약 25로서 1차, 2차측의 변압비가 약 1 : 25임을 알 수 있었다[6]. 제작한 변압기는 사이즈가 큰 코어를 사용하여 공간, 연면 거리(변압기의 1차-2차간, 1차 - 코어, 2차 - 코어간 등의 거리)를 확보하였고, 내열성과 절연내력이 뛰어난 테프론 테이프를 층간 절연을 하였으며, 보빈에 의해 코일과 코어간의 절연을 강화하였다. 마지막으로 절연유 속에 함침시켜 변압기의 절연내력을 보장하였다. [그림 4]는 "u"형 페라이트코어로 직접제작한 고압펄스변압기이다.

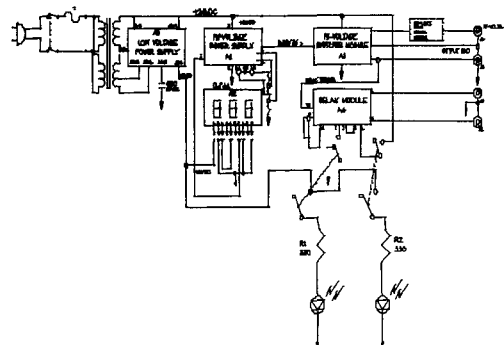


[그림 4] 고압펄스변압기

[Fig. 4] high voltage pulse transformer

2.3.4 마이크로프로세서를 이용한 제어부

2개의 IGBT를 순차적으로 턴-온, 턴-오프시키기 위해 제어부로는 PIC one-chip 마이크로프로세서를 사용하였다. 전원부와 레이저 출력을 총괄적으로 제어하며 동시에 입·출력의 감시와 외부 프로세서와의 인터페이스를 하고 전체적인 동작에 필요한 레이저 빔, 표적 조명 및 모니터링 시스템, 주변 부품과의 인터록 등도 동시에 처리하도록 제어부를 설계하였다. 또한 정밀한 동작의 MPFN(Modified Pulse Forming Network)의 실시간 입력/출력 모니터링을 위해 연산회로부, 인터페이스 보드, 레이저 빔 구동 및 지시 조명용 전원, 인터록 및 제어용 비교기 회로부 등을 내장하였고, 각 부분을 서로 연계시켜 컴퓨터의 키보드를 통해 레이저 펄스 반복율을 100Hz에서 1kHz까지 자유자재로 조절 할 수 있게 하였다.



[그림 5] 콘트롤 및 디스플레이부

[Fig. 5] control and display parts

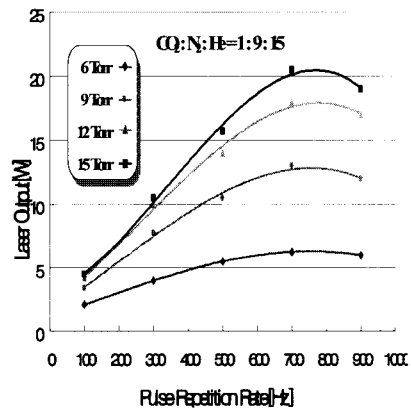
3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 펄스형 CO₂ 레이저의 출력에 영향을 미치는 중요한 요소인 펄스 반복율과 동작 압력 그리고 레이저 매질 가스(CO₂, N₂, He)의 배압비에 따른 레이저 출력 특성을 연구하였다. 실험 방법으로는 로타리 펌프로 광공진기 내의 배경 가스압을 10² Torr까지 배기시킨 후 CO₂, N₂, He 혼합 가스를 일정 압력까지 주입하고, 양단 전극에 고압 펄스를 인가하여 글로우(Glow) 방전을 일으켰다. 글로우(Glow) 방전이 안정화된 시점에서 펄스 반복율과 동작압력을 변화시켜가며 레이저 출력의 변화를 비교·검토하였다. 동작압력 6 Torr에서 레이저가 발진하였으며, 실험범위는 글로우(Glow) 방전이 안정되게 지속되는 펄스 반복율 100Hz~900Hz와 동작압력 6~15 Torr까지로 하였다. 레이저 매질 가스의 혼합비는 CO₂ : N₂ : He = 1 : 3 : 10, 1 : 1.5 : 5, 1 : 9 : 15 세가지지를 가지고 실험을 하였고 출력은 CO₂ 레이저용 에너지미터(Gentec사 모델명 PS-1K)로 측정하였다.

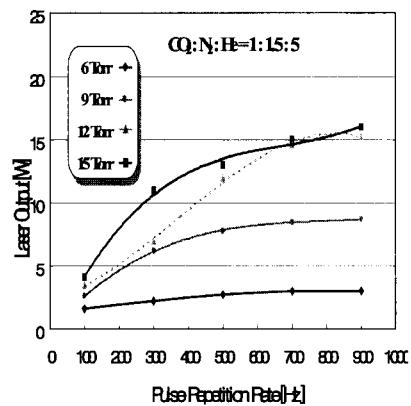
3.1 펄스 반복율에 따른 레이저 출력 특성

[그림 6, 7, 8]은 일정 압력과 일정 가스혼합비(CO₂ : N₂ : He = 1 : 3 : 10, 1 : 1.5 : 5, 1 : 9 : 15)에서 펄스 반복율에 따른 레이저 출력 특성을 나타내고 있다. 각 실험 데이터는 다섯 번 실험한 결과의 평균치를 표시하고 있다. 100Hz에서 발진을 시작하여 700Hz에서 출력이 최대치에 도달하였고, 특히 가스 혼합비 CO₂ : N₂ : He = 1 : 9 : 15, 동작압력 15 Torr에서 최대 20.5W를 얻었다. 이 때, 단상 교류 전력계(Hwashin사 모델명 7013)로 측정한 전기 입력은 약 260W였으므로 전체 전기적 입력에 대한 출력 효율은 약 8%가 된다. 반복율이 증가함에 따라 레이저 출력도 증가하고 있지만 그 증가폭이 500Hz부터 점점 감소하고 900Hz에서는 그 출력이 700Hz에서보다 다소 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 즉 출력이 펄스 반복율 700Hz에서 포화되었다. 그 원인은 분석하면 반복율이 증가하게 되면 입력에너지가 증대된다. 즉, 방전관내의 전자밀도가 높아지므로 상위준위의 펌핑율이 증가하고, 밀도반전이 커지게

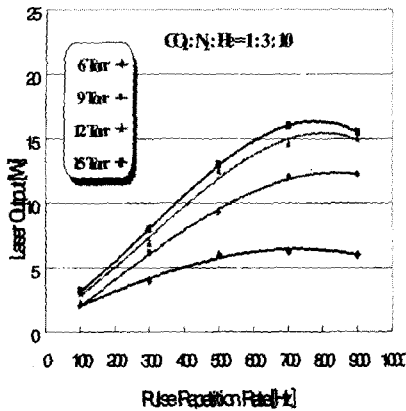
되어 출력은 증가한다. 그러나 펄스 반복율을 증가 시킴에 따라 전기 입력이 커지게 되어 방전관 중앙으로부터 기체의 온도가 상승한다. 기체의 온도가 상승하게 되면 상위 레이저 준위에서의 충돌에 의한 감쇠율이 급격히 증가하여 상위 준위 밀도의 감소를 가져오게 되고, 상대적으로 하위준위의 열적 밀도가 증가하여 밀도 반전이 소멸된다. 즉 반복율을 증가시키는 초기 단계에는 밀도반전과 이득이 증가하지만 점차로 기체 온도상승의 효과가 지배적으로 되기 때문에 출력의 감소를 보이게 되는 것이다.



[그림 6] 반복율의 변화에 따른 레이저 출력특성
[Fig. 6] Laser output vs.repetition frequency



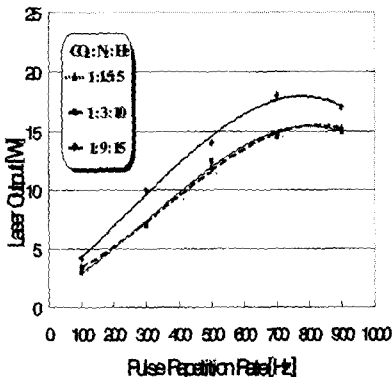
[그림 7] 반복율의 변화에 따른 레이저 출력특성
[Fig. 7] Laser output vs.repetition frequency



[그림 8] 반복율의 변화에 따른 레이저 출력특성
[Fig. 8] Laser output vs. repetition frequency

3.2 가스 혼합비에 따른 레이저 출력 특성

[그림 9]는 레이저 출력이 비교적 안정적으로 나오는 동작 압력 12 Torr에서 레이저 매질 가스의 혼합비를 CO₂ : N₂ : He = 1 : 3 : 10, 1 : 1.5 : 5, 1 : 9 : 15와 같이 달리하면서 펄스 반복율에 따른 레이저 출력을 측정하였다. CO₂ : N₂ : He = 1 : 3 : 10, 1 : 1.5 : 5에서는 그림에서 보는 것처럼 출력이 있어서 큰 차이가 없었다. 그러나 CO₂ : N₂ : He = 1 : 9 : 15에서의 출력이 CO₂ : N₂ : He = 1 : 3 : 10, 1 : 1.5 : 5에서보다 약 20%정도 증대됨을 알 수 있다.

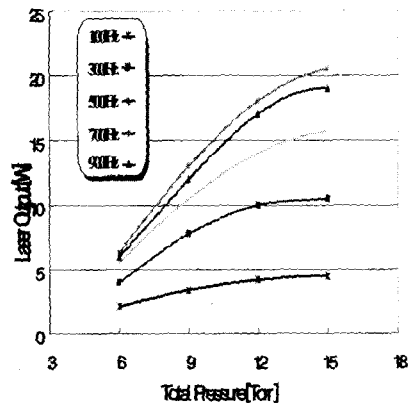


[그림 9] 반복율의 변화에 따른 레이저 출력특성
[Fig. 9] Laser output vs. repetition frequency

3.3 동작압력에 따른 출력 특성

[그림 10]은 동작압력에 따른 레이저 출력의 변화를 나타낸다. 출력이 가장 높게 나오는 가스의 혼합비 CO₂ : N₂ : He = 1 : 9 : 15에서 동작압력을 6 Torr에서 15 Torr까지 3 Torr씩 증가시키면서 출력을 측정하였다. 반복율이 일정할 때 압력이 증가하면 출력도 증가하였지만 약 12 Torr 부근에서는 압력의 증가에 따른 출력의 증가폭이 감소한다.

동작압력이 상승함에 따라 CO₂ 및 N₂ 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 최대화 하기 위해서는 압력을 최적화 하여야 한다. 이와 같은 축류형 CO₂ 레이저는 확산 냉각이 지배적이기 때문에 단위 체적당 투입할 수 있는 최대 입력이 0.5 W/cm² 정도로 제한되어 있다. 따라서, 더 높은 출력을 얻기 위해서는 단위체적당 투입되는 에너지를 증대시킬 수 있는 고속 축류형이나 횡류형 등을 사용해야 할 것이다[11].



[그림 10] 압력에 따른 레이저 출력특성
[Fig. 10] Laser output vs. total pressure

4. 결론

1kHz 부근의 펄스 반복율을 가지는 경제적이고 컴팩트한 펄스형 CO₂ 레이저를 개발하기 위하여 고압·고주파 펄스 변압기와 수 십 kHz의 스위칭에 적합한 IGBT를 사용한 고압 펄스전원 장치를 레이저 공진기에 접목시켜 새로운 방식의 고반복 펄스형 CO₂ 레이저 장치를 개발하였다.

완성된 장치의 가스 혼합비, 펄스 반복율, 동작 압력에 따른 레이저 출력 특성실험을 통하여 가스 혼합비 CO₂ : N₂ : He = 1 : 9 : 15, 펄스 반복율 700 Hz, 동작압력 15 Torr에서 최대 레이저 출력 약 20.5 W, 최대 효율 약 8 %를 달성하였다.

향후, 공진기 시스템의 일부를 개선하여 고속 가스 순환 방식을 적용하면 더 높은 출력을 기대할 수 있을 것으로 예상된다.

※ 참고문헌

- [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] E. Hirota, High-Resolution Spectroscopy of Transient molecules, Springer, Heidelberg, Germany (1985)
- [5] Orazio Svelto, "Principles of Lasers", Plenum Press, New York, Chap. 9, (1982).
- [6] A. L. Petrov et al. "New Advances in Industry Application of YAG Pulse Lasers", Proceeding of Lamp '92, Nagaoka, pp. 993-997, (1992).
- [7] Whi-Young Kim, Jung-Hwan Hong, Dong-Sung Moon, Hee-Je Kim, A simple pulsed Nd:YAG laser power supply adopted ZPC method, J-K Symposium on ED & HVE, pp.706-1~706-4, 2000.10, IEEJ and KIEE
- [8] Whi-Young Kim, Jung-Hwan Hong, Hyun-Joo Jung, Hee-Je Kim "The digital controlled implementation of the resonant DC-DC converter with high voltage, high frequency for pulsed Nd:YAG Laser J-K Symposium on ED & HVE, pp.144-148, 1998.10, IEEJ and KIEE
- [9] 김휘영 외 4인 "다단메쉬 PFN방식 펄스형 Nd:YAG 레이저의 출력특성 비교, 대한전기학회논문집, 제47권, 제5호, pp.685-690, 1998.3.20 대한전기학회(1998).
- [10] I. BLACK, "laser cutting of thick ceramic tile", Optics & laser Technology, Vol.29, No. 4, pp. 193-205 (1997)
- [11] 김휘영 외 1인 " a variable pulsed Nd:YAG laser system adopted ZCC method " 한국컴퓨터교육학회논문지, pp 357-359 2001, 3 한국컴퓨터교육학회
- [12] Yu. A. Baloshin and I. V. Pavlishin, repetitively pulsed short-pulse TEA CO₂ laser with UV pre-ionization, J. Opt. Technol. 65(1), pp.61-62 (1998)
- [13] 김휘영 외 2인 "3단 병렬 충방전 방식을 적용한 고반복 펄스형 Nd:YAG 레이저 출력저울 반사율의 최적화" 한국컴퓨터교육학회논문지, pp 369-376 2001, 3 한국컴퓨터교육학회
- [14] C Baker, "Design of a compact high PRF TEA CO₂ laser and performance under multimode and single mode conditions", J. Phys. E: Sci. Instrum., Vol14, pp.1167~1170 9(1981)
- [15] N. Menyuk and P. F. Moulton, "Development of a high-repetition-rate mini-TEA CO₂ laser", Rev. Sci. Instrum. 51(2), pp.216~pp.220 (1998)
- [16] 김휘영, " CO₂ 의료용레이저시스템의 설계 및 구현" 한국OA학회 논문지, pp 8 - 13 2001. 6. 한국OA학회

김 홍 수



1979년 울산대학교
전자계산학과 이학사
1984년 숭실대학교
산업대학원 전자계산학과
이학석사
1998년 - 경상대학교
전자계산학과 박사과정 수료
2001년 - 현재 동주대학
정보통신계열 부교수
관심분야 : 정보통신 보안,
멀티미디어 콘텐츠

김 휘 영



1989 부경대학교 전자공학과
공학사
1992 동아대학교 전자공학과
공학석사
2001부산대학교 전기공학과
공학박사
2000, 2~ 현재 동주대학
컴퓨터정보통신계열
전임강사
관심분야 :
laser 및 광응용 시스템,
전자의료기기 시스템,
웹프로그래밍