

자기 스위치 펄스 전원을 이용한 TEA CO₂ 레이저 개발

홍 지운[°], 박 득일, 이 주희
경희대학교 공과대학 전자공학과^{*}

Development of TEA CO₂ Laser Excited by a Magnetic Switch Pulse Source

J. U. Hong[°], D. I. Park, C. H. Lee
Department of Electronic Engineering, College by Engineering,
Kyung Hee University^{*}

ABSTRACT

We have developed a repetitive TEA CO₂ laser excited by a magnetic switch pulse source, and have measured the laser output energy for the mixing ratio of the laser gas mixture in single pulse. As a result of experiments, we have obtained the laser output energy of 252 mJ ($\eta_{intrinsic} = 7.8\%$) in CO₂:N₂:He = 1:1:8 (1 atm.).

At a repetition-rate frequency of 10 Hz, an average laser power of 1.5 W was obtained.

I. 서 론

최근 CO₂ 레이저는 라이더, 금속 가공, 레이저 수술 등 많은 분야에 이용되고 있다. TEA CO₂ 레이저의 광범위한 응용을 위해서는 레이저 장치의 고성능화가 요구되는데, 특히 반복 동작으로 레이저 출력을 증가시키는 연구가 필요하다. 지금까지 국내에 발표된 TEA CO₂ 레이저는 다양한 예비 전리 방식을 사용해 효율은 많이 개선되었으나 반복 동작에 의해 레이저 출력을 증가시키는 연구는 미흡한 상태이다.

TEA CO₂ 레이저의 반복 동작을 얻기 위해서는 이에 적합한 레이저 헤드, 광학 소자의 견고성, 고반복 펄스 전원이 만족되어야 한다.

본 논문에서는 PVC 파이프를 이용하여 레이저 헤드를 구성함으로써 콤팩트하고 비용이 저렴한 반복 동작 TEA CO₂ 레이저를 제작하였다. 또한 여기 전원으로서 반복 동작 특성이 우수한 자기 스위치 펄스 전원을 사용하였다.

II. 장치 설계 및 제작

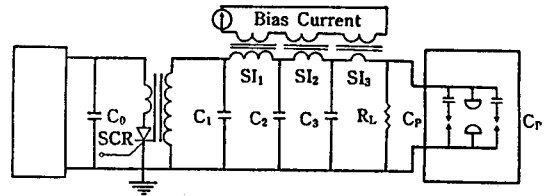
2-1. 자기 스위치 펄스 전원

본 연구에서 개발한 자기 스위치 펄스 전원의 등가 회로는 그림 1 과 같다. 시스템은 직류 전원, 펄스 변압기, SCR, 자기 펄스 압축 모듈, 그리고 바이어스 회로로 구성된다. 회로에서 충전 커패시터 C₀ 의 용량과 충전 전압은 4 μ F, 2 kV 이고 충전 에너지는 8 J 이다. 자기 펄스 압축(MPC : Magnetic Pulse Compression) 모듈은 충전을 위한 커패시터와 스위칭 역할을 하는 포화 인덕터를 한 개의 모듈로 하여 3 단으로 구성하였다.

MPC 모듈을 설계할 때는 레이저의 여기 밀도와 전류 펄스 폭 등을 만족시킬 수 있도록 MPC 모듈의 단수, 포화 인덕터의 형상, 커패시터의 용량 등을 검토해야 한다. 특히 3 단 MPC 시스템의 경우 1 단과 2 단의 모듈에서는 에너지 전송 효율과 펄스 압축비

를 극대화 해야하고, 레이저 헤드에 연결되는 최종단 모듈은 빠른 상승률을 갖는 전류가 공급되도록 코일 길이를 짧게하여 포화 인덕터의 인덕턴스를 극소화 하여야 한다.

제작된 포화 인덕터는 폭이 5 cm, 두께가 25 μ m인 METGLAS 2605SC 코어와 폭이 6 cm, 두께가 12 μ m인 마일러 필름을 겹쳐 내경 6 cm, 외경 18 cm 인 토로이달 형 이다. MPC 모듈의 에너지 전송 효율과 펄스 압축비를 최대로 하기 위해서는 우선 SI₁ 의 단면적과 코일 권수를 선택한 다음 SI₂ 의 최적 조건을 찾는다. SI₃ 는 SI₁ 과 SI₂ 의 최적 조건 하에서, 레이저 헤드에 충분히 압축된 전류를 공급할 수 있도록 포화 인덕턴스를 극소화 하는 조건으로 결정한다. 이와 같은 방법으로 최적화된 포화 인덕터의 설계 파라메타는 표 1 과 같다.



Power Supply Pulse Trans. Magnetic Pulse Compression Modules Laser Head

C₀ = 4 μ F
C₁ (= C₂ = C₃) = 20.4 nF
C_p = 10.2 nF, R_L = 1 k Ω

그림 1. TEA CO₂ 레이저 시스템의 등가회로

표 1. 포화 인덕터의 설계 파라메타

	SI ₁	SI ₂	SI ₃
Cross Section [cm ²]	25	25	25
Magnetic Length [cm]	34.5	34.5	34.5
Core Volume [cm ³]	863	863	863
Number of Turns	30	5	1

2-2. TEA CO₂ 레이저 장치

TEA CO₂ 레이저 장치의 단면도는 그림 2 와 같다. 레이저 관은 10 mm 두께의 PVC 파이프로 내경과 길이는 각각 30 cm ϕ , 33 cm 이다. 전극은 길이가 25 cm, 폭이 2 cm 이고 황동으로 가공한 후

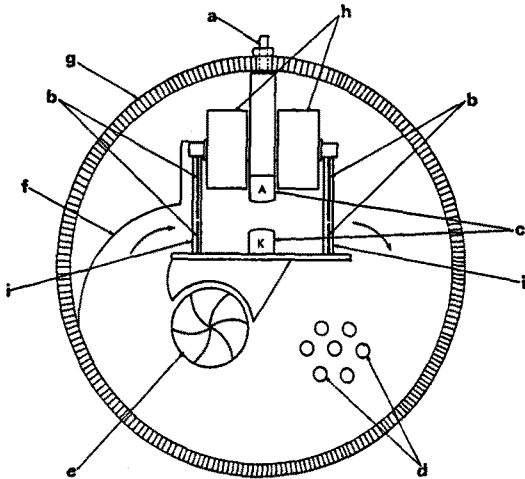


그림 2. TEA CO₂ 레이저 장치의 단면도
(a) High voltage, (b) Preionization pin, (c) Main discharge electrodes, (d) Heat exchanger, (e) Fan, (f) Gas duct, (g) PVC pipe, (h) Peaking capacitor, (i) Teflon insulator

그림 2. TEA CO₂ 레이저 장치의 단면도

니켈 도금을 하였다. 전극의 형태는 k 값이 0.17 인 chang profile 이고, 방전 유효 체적은 $1(w) \times 2(h) \times 23(l) = 46 \text{ cm}^3$ 이다.

피킹 커패시터 C_p 는 전극 양쪽에 각각 3 개씩 두 줄로 배열 하였다. C_p 의 용량은 10.2 nF 이고 TCK 세라믹 커패시터를 사용하였다. 예비 전리는 C_p 에 직렬 연결된 아-크핀에서 발생하는 UV 광에 의해 형성된다.

아-크핀의 재질은 30 mmφ 의 황동 볼트를 가공하여 사용하였고, 전극 양쪽에 균일하게 2 cm 간격으로 각각 12개씩 설치하였다. 아-크핀의 갭 위치는 음극 표면보다 2 mm 높게 하였고 갭 간격은 2 mm 이다. 실험에 사용한 팬의 크기는 지름 6 cmφ x 길이 25 cm이고, 균일한 가스 순환을 위하여 gas duct를 설치하였다.

레이저 공진기에서 전 반사경은 Si substrate에 AU coating한 것으로 직경이 2 inch 이고 곡률 반경이 10 m 이다. 출력경은 ZnSe substrate에 dielectric coating한 것으로 반사율 90 %, 직경 2 inch 인 평면 부분 반사경을 사용하였다.

III. 출력 특성

펄스 변압기를 통해 커패시터 C₁에 충전된 에너지는 포화 인덕터의 스위칭 동작으로 다음단의 C₂, C₃로 지연 전송을 하고, 이때 각 단의 전류는 점차 압축된다. 그림 3 은 MPC 모듈의 각 단에서 측정된 전류 파형이고, 표 2 는 자기 스위치 펄스 전원의 동작 특성을 나타낸다.

TEA CO₂ 레이저 장치에서 최대 출력을 얻을 수 있는 최적의 혼합비를 찾기 위해서 CO₂:N₂:He 의 혼합 기체의 비율을 1:1:3 에서 1:1:15 까지 변화하면서 레이저 출력 에너지를 측정하였다. 실험한 결과 1 기압에서 최적 조건은 CO₂:N₂:He 혼합 기체의 비율이 1:1:8 일 때로 나타났다.

그림 4 는 CO₂:N₂:He = 1:1:8 일 때 혼합 기체의 압력 변화에 따른 레이저 출력 에너지와 효율(intrinsic efficiency)을 나타낸 것이다. 최대 출력 에너지는 1 기압에서 252 mJ 이다. 최대 효율은 7.8 % 로서, 효율은 C_p에 충전된 입력 에너지에 대한 레이저 출력 에너지의 비로서 계산하였다. 이때 C_p에 충전된 입력 에너지는 3.2 J 이다.

사진 1 은 CO₂:N₂:He = 1:1:8 (1 atm.) 일 때 C_p 의 방전 전압과 충전 전류 파형이다. C_p 에 충전되는 최대 전압과 전압 감하

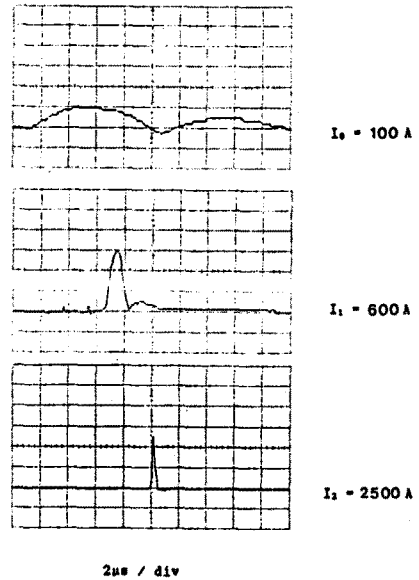


그림 3. MPC 모듈의 각 단에서 측정된 전류 파형

표 2. 자기 스위치 펄스 전원의 동작 특성

Parameters	Trans.	C ₁	C ₂	C ₃
Peak Current [A]	100	600	2500	3600
Pulse Duration [μs]	8.6	2	0.5	0.22
Peak Voltage [kV]	25	24.5	24	23
Current Gain		6	4.2	1.4
				(36)
Compression Ratio		4.3	4	2.3
				(39)
Energy [J]	6.4	6.1	5.9	5.4
Efficiency [%]	80	76.3	73.8	67.5

시간은 25 kV, 120 ns 이고, C_p 의 충전 전류는 3.6 kA 이다.

단펄스 동작시 얻은 최적의 혼합비 CO₂:N₂:He = 1:1:8 (1 atm.) 에서 반복 실험을 하였다. 전극 간을 통과하는 기체의 유속을 측정하지 못한 관계로 CR 값은 계산하지 못하였고 챔버 내부와 외부의 밀폐를 위해 사용된 마그네틱 실의 최대 동작 범위인 900 rpm 으로 팬의 회전 속도를 고정시키고 실험하였다. 그림 5 는 반복비에 따른 레이저 평균 출력을 나타낸 것이다. 반복률이 5, 10, 15, 20 Hz 일 때 출력 에너지 변동률(%)은 5, 16, 45, 63 % 이고, 레이저 평균 출력은 1.1, 1.5, 1, 0.7 W 이었다. 출력 에너지 변동률은 각각의 레이저 출력을 산술 평균하여 얻은 평균값에 표준 편차를 구하여 계산하였고, 평균 출력은 이 평균값에 반복비를 곱하여 계산하였다. 사진 2 는 10 Hz 동작시 레이저 출력 에너지를 보인 것이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 PVC 파이프를 레이저 헤드를 구성함으로써 컴팩트하고 비용이 저렴한 반복 동작 TEA CO₂ 레이저를 제작 하였다. 또한 수명 및 반복 동작 특성이 우수한 전고체 소자 여기 전원을 사용하여 반복 동작에 따른 TEA CO₂ 레이저 출력 특성을 고찰하였다.

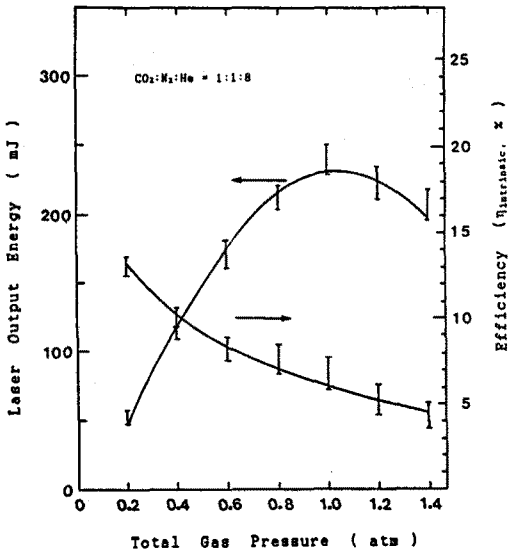


그림 4. CO₂:N₂:He = 1:1:8 일 때 혼합 기체의 압력 변화에 따른 레이저 출력 에너지와 효율

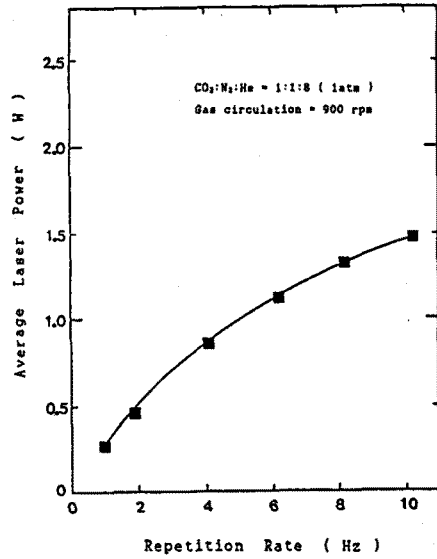
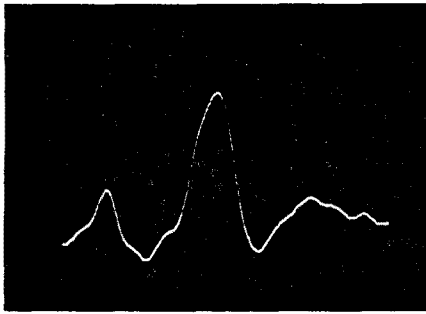
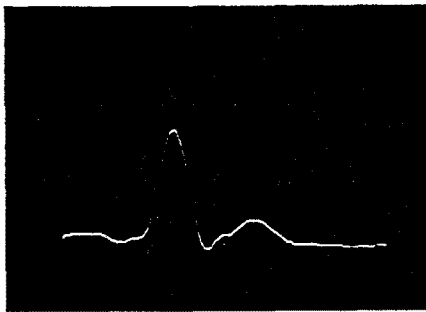


그림 5. 반복비에 따른 레이저 평균 출력



(a) 전압 파형 (5kV/div, 100ns/div)



(b) 전류 파형 (1kA/div, 100ns/div)

사진 1. CO₂:N₂:He = 1:1:8 (1 atm.) 일 때 C_p의 방전 전압과 충전 전류 파형

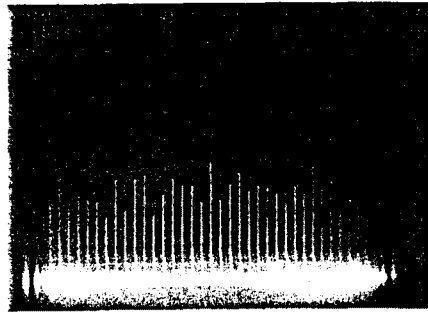


사진 2. 10 Hz 동작시 레이저 출력 에너지

TEA CO₂ 레이저의 최대 레이저 출력 에너지는 CO₂:N₂:He = 1:1:8 (1 atm.) 일 때 252 mJ 이고, 효율은 7.8 % (E_{input} = 3.2 J) 이었다. 반복률 10 Hz 에서 1.5 W 의 레이저 평균 출력을 얻었다.

앞으로 고출력의 TEA CO₂ 레이저 개발을 위해 반복률을 증가시키는 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] H. Tanaka, M. Obara, and S. Namba, 레이저科學研究, No. 9, pp. 46, 1987.
- [2] Y. Akiyama, H. Hatanaka, and S. Namba, 레이저科學研究, No. 10, pp. 43, 1988.
- [3] M. Maki, H. Tanaka, and H. Tashiro, 레이저科學研究, No. 12, pp. 36, 1990.
- [4] K. Midorikawa and H. Tashiro, SPIE., vol. 1225, pp. 324, 1990.
- [5] H. Hatanaka, N. Kawahara, K. Midorikawa, and M. Obara, The Review Laser Engineering, vol. 20, pp. 322, 1992.
- [6] H. Tanaka, M. Obara, and H. Tashiro, Rev. Sci. Instrum., vol. 61, pp. 2092, 1992.
- [7] T. Shimada, K. Noda, and K. Midorikawa, Japan, J. Appl. Phys., vol. 24, pp. L855, 1985.
- [8] 박득일, 이주희, 레이저 공학(경희대학교 레이저 공학 연구소), vol. 3, pp. 49, 1992.