1999년도 대한전기학회 정기총회 및 추계학술대회 논문집 1999. 11. 20

IGBT를 이용한 고반복 펄스형 CO_2 레이저 개발에 관한 연구

정현주*, 김도완, 이동호, 윤성호, 이유수, 김희제, 조정수
부산대학교 전기공학과

A Study on the High Repetition Rate Pulsed CO_2 Laser Using IGBT

H. J. Chung, D. W. Kim, D. H. Lee, S. H. Yoon, Y. S. Lee, H. J. Kim, J. S. Cho
Dept. of Electrical Eng., Pusan National Univ.

Abstract - In this study, it is the purpose to develope a cheap and compact pulsed CO_2 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 CO_2:N_2: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 CO_2:N_2:He = 1:9:15 and the pulse repetition rate of 700 Hz.

1. 서 론

CO_2 레이저는 적외선 영역인 10.6 ㎛ 파장의 고출력 펄스 또는 연속파를 방출시킬 수 있으며, 약 15% 이상의 높은 효율을 내면서도 매우 안정된 동작 특성을 보이기 때문에 산업용, 군사용, 의료용, 각종 물리·화학의 기초 연구용 등의 광범위한 응용 분야에서 각광을 받고 있다[1-4].

CO_2 레이저는 대부분 수 W에서 수 십 kW급의 연속형 레이저이거나 수 십 ㎲에서 수 백 ㎲의 펄스폭을 갖는 수 W에서 수 백 W급의 고반복 펄스형 레이저이다.

펄스형 CO_2 레이저의 발진을 위한 고압 펄스 전원장치는 사용되는 스위치의 종류에 따라 RSG(Roatating Spark Gap)형, 싸이리스트(Thyristor)형, 싸이라트론(Thyratron)형의 세 가지로 분류된다. RSG형은 제작이 용이하고 1 ㎲이내의 짧은 펄스폭을 가지는 에너지 전달에는 유리하나 스위치 on시 스파크 갭 전극이 서로 접촉하므로 전극의 기계적 마모가 심하여 수명이 짧고 고주파의 에너지 전달에는 부적합하다. thyristor형은 반복적으로 커패시터에 충전된 저압의 에너지를 스위칭 소자인 thyristor와 권선비가 큰 고압·고주파 펄스 변압기를 이용하여 고압의 펄스로 변환한 후 부하에 인가한다. 이것은 펄스 변압기의 제한된 di/dt 특성으로 인하여 짧은 펄스 에너지의 전달에는 한계가 있으나 저압측을 스위칭함으로 제어하기가 용이하다. thyristor는 시중에서 쉽게 구할 수 있으며, 또한 가격이 저가이므로 수 백 Hz의 펄스 반복율과 100 ㎲ 이상의 펄스폭을 가지는 펄스 전원의 설계에 적합하다. 싸이라트론형은 고주파의 펄스 반복율과 높은 di/dt 특성 때문에 아주 짧은 펄스폭의 에너지 전달이 가능하다는 장점은 있으나 가격이 매우 고가이고 스위치를 트리거하기 위한 트리거(trigger)회로의 설계가 복잡하다[5].

기존의 저출력, 고반복 펄스형 CO_2 레이저는 펄스 전원장치의 스위칭 소자로서 싸이라트론을 사용한 TEA 방식이 사용되어졌다[6]~[9]. 따라서 이 방식은 싸이라트론 자체가 아주 고가이므로 전원장치가 비싸게 되는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 1 ㎑까지의 펄스 반복율을 가지는 경제적인 펄스형 CO_2 레이저 개발을 위하여 고압·고주파 펄스트랜스와 스위칭소자로 IGBT를 이용한 펄스 전원장치를 레이저에 적용하였다. 공진기는 장치의 유지·보수가 용이한 저속 축류형의 구조를 채택하였고 글로우(Glow) 방전이 안정되게 지속될 때 펄스 반복율과 동작압력 그리고 매질 가스의 혼합비의 변화에 따른 레이저빔의 출력 특성을 조사하여 얻어진 결과를 정리하였다.

2. 본 론

2.1 레이저 장치의 구성

2.1.1 공진기 시스템

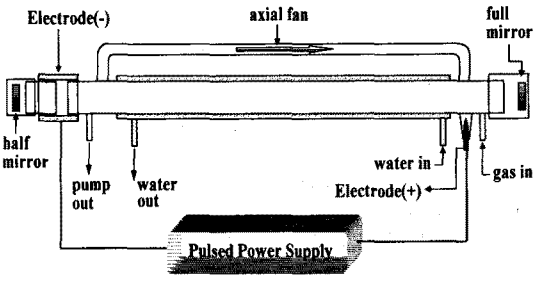

그림 1 저속 축류형 펄스 CO_2레이저의 공진기 개략도
Fig. 1 Schematic diagram of an optical cavity in repetitively pulsed CO_2 laser with a low circulating gas-flow system

본 연구에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 방전 경로와 광축이 동일한 축류형과 plano-concave 공진기를 채택하였다. 레이저 발진을 위한 전반사경은 열팽창계수가 작고 열전도도가 크며 경도가 높은 직경 1.5 인치, 곡률 반경 10 m, 반사율 99.5 %인 몰리브덴을 사용하였고, 부분반사경은 발진문턱치를 낮추기 위해 반사율은 90 %이고 기계적 강도와 열전도가 크며 흡수계수가 적은 ZnSe(Zinc Selenide)을 채택하였다. 레이저 방전관으로는 길이 85 ㎝, 내경 16 ㎜, 두께 2 ㎜인 파이렉스(Pyrex)관을 사용하였고, 방전 플라즈마를 발생시키

기 위한 방전관의 체적은 75㎜×π×64㎟ 이다. 방전부는 알루미늄으로 만든 원통형의 음극과 침 모양의 양극을 방전관에 부착하여 만들었으며, 전극간 거리는 약 75 ㎝로 하였다. 방전관 외벽에는 연속 동작시 방전 플라즈마로 인한 온도 상승에 의해 야기되는 출력의 불안정을 방지하기 위하여 내경 30 ㎜, 두께 2 ㎜인 파이렉스관을 이중으로 제작하여 물순환 냉각 장치를 구성하였다. 냉각은 수돗물로 하였으며 냉각수 온도는 방전시 약 18 ℃ 정도로 일정하게 유지하였다. 방전관에 순간적인 대전류가 흐르면 방전관의 음극측과 양극측에 압력차가 생긴다. 이 때문에 레이저 발진 효율이 떨어지고 발진정지 등의 상태가 생긴다. 이것을 방지하기 위해 그림 1에서와 같이 바이패스(Bypass)관을 설치하고 작은 팬을 삽입하여 가스의 흐름을 도움으로써 전극 주위 가스 과열에 의한 방전관 내의 온도 상승과 압력차를 작게 하고 방전시 CO_2 분자의 해리에 의한 불순물의 발생을 감소시켰다.

2.1.2 펄스 전원 장치

본 연구에서 사용된 펄스 발생 장치는 실험실에서 직접 설계 및 제작한 SMPS방식의 전원이다. 스위칭 소자는 수십 ㎑의 스위칭에 적합한 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 사용하였고, 커패시터(marcon사 제품 : 2㎌)에 충전된 에너지를 고압·고주파 펄스 변압기(변압비 1:25)를 사용하여 고압의 펄스로 변환시킨 후 방전관에 인가하였다. 일정한 펄스폭에서 펄스반복율을 변화시킴으로서 레이저 출력을 제어할 수 있도록 하였다. 반복율은 100 Hz ~ 1 ㎑까지 가변할 수 있도록 설계하였고 전원에서 얻을 수 있는 최대 펄스 전압은 약 20 ㎸였다. 레이저 매질을 여기시키기 위한 펄스 전원장치의 주요부는 그림 2와 같이 정류부, 스위칭부, 고압·고주파 펄스 변압기부, 마이크로프로세스(PIC)를 이용한 제어부로 구성되어 있다.

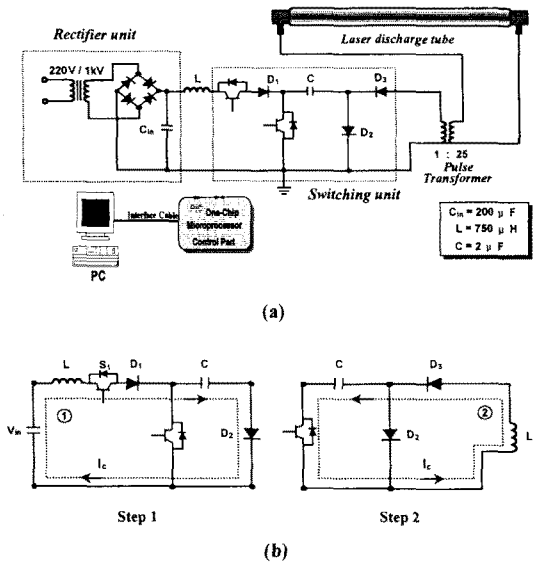

그림 2 (a) 고압 펄스 전원장치의 개략도
(b) 회로의 동작 순서

Fig. 2 (a) Schematic diagram of high voltage pulsed power supply (b) equivalent circuits of operating two steps

3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 펄스형 CO_2 레이저의 출력에 영향을 미치는 중요한 요소인 동작 압력과 펄스 반복율에 따른 레이저 출력 특성을 연구하였다. 실험 방법으로는 로타리 펌프로 광공진기 내의 배경 가스압을 10^{-2} Torr까지 배기시킨 후 CO_2, N_2, 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 출력 변화를 비교·검토하였다. 동작압력 6 Torr에서 레이저가 발진하였으며, 실험범위는 글로우(Glow) 방전이 안정되게 지속되는 펄스 반복율 100 ~ 900 Hz와 동작압력 6~15 Torr까지로 하였다. 레이저 매질 가스는 혼합비는 CO_2 : N_2 : He = 1 : 9 : 15로 하였다. 가스 혼합비에 따른 출력 특성 실험에서는 가스 혼합비로 CO_2 : N_2 : He = 1 : 3 : 10, 1 : 1.5 : 5, 1 : 9 : 15 세 가지를 사용하였다.
출력은 CO_2 레이저용 에너지미터(Gentec사 모델명 PS-1K)로 측정하였다.

3.1 펄스 반복율에 따른 레이저 출력 특성

그림 3은 일정 압력과 일정 가스 혼합비에서 펄스 반복율에 따른 레이저 출력 특성을 나타내고 있다. 각 실험 데이터는 다섯번 실험한 결과의 평균치를 표시하고 있다. 100 Hz에서 발진을 시작하여 700 Hz에서 최대치에 도달하였고, 특히 15 Torr에서 최대 20.5 W를 얻었다. 이 때, 단상 교류 전력계(Hwashin사 모델명 7013)로 측정한 전기 입력은 약 260 W였으므로 출력 효율은 약 8 %가 된다. 반복율이 증가함에 따라 레이저 출력도 증가하고 있지만 그 증가폭이 500 Hz부터 점점 감소하고 900 Hz에서는 그 출력이 700 Hz에서보다 다소 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

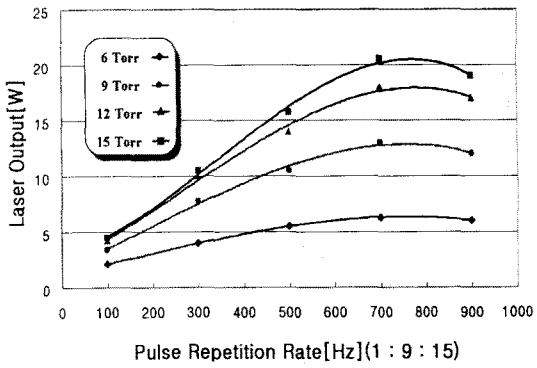

그림 3 펄스 반복율에 따른 레이저 출력 특성

Fig. 3 Laser output vs. pulse repetition rate

3.2 동작압력에 따른 출력 특성

그림 4는 동작압력에 따른 레이저 출력의 변화를 나타낸다. 동작압력을 6 Torr에서 15 Torr까지 3 Torr씩 증가시키면서 출력을 측정하였다. 반복율이 일정할 때 압력이 증가하면 출력도 증가하였지만 약 15 Torr 부근에서는 압력의 증가에 따른 출력의 증가폭이 감소한다.
동작압력이 상승함에 따라 CO_2 및 N_2 분자의 밀도가 증가하므로 레이저 여기 준위의 밀도가 늘어나고 충돌 단면적의 증가에 따른 확산 냉각 효과 때문에 레이저 출

력이 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 최대로 하기 위해서는 압력을 최적화 하여야 한다.

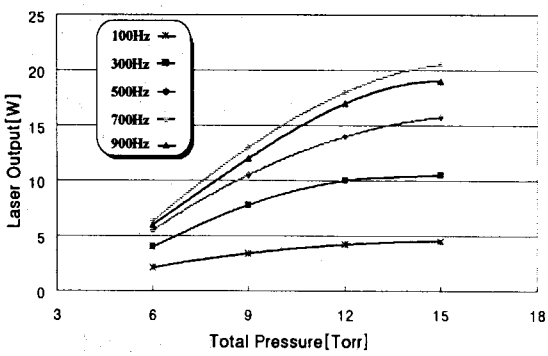

그림 4 압력에 따른 레이저 출력 특성

Fig. 4 Laser output vs. total pressure

3.3 가스 혼합비에 따른 출력 특성

그림 5는 레이저 출력이 비교적 안정적으로 나오는 동작 압력 12 Torr에서 레이저 매질 가스는 혼합비를 CO_2 : N_2 : He = 1 : 3 : 10, 1 : 1.5 : 5, 1 : 9 : 15 와 같이 달리하면서 펄스 반복율에 따른 레이저 출력을 측정하였다. CO_2 : N_2 : He = 1 : 3 : 10, 1 : 1.5 : 5에서는 그림에서 보는 것처럼 출력에 있어서 큰 차이가 없었다. 그러나 CO_2 : N_2 : He = 1 : 9 : 15 에서의 출력이 CO_2 : N_2 : He = 1 : 3 : 10, 1 : 1.5 : 5 에서보다 약 20%정도 증가함을 알 수 있다.

s

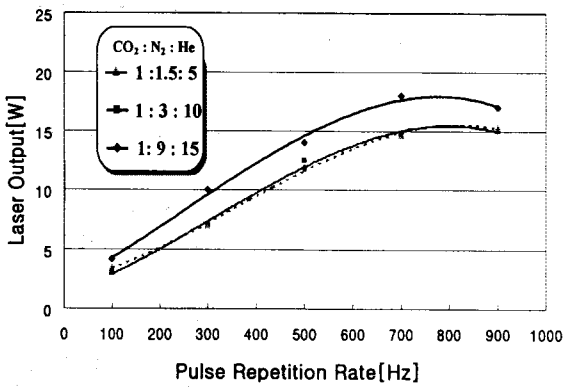

그림 5 가스 혼합비에 따른 레이저 출력 특성

Fig. 5 Laser Output vs. gas mixture

3. 결 론

본 연구에서는 1 kHz 부근의 펄스 반복율을 가지는 저가격의 컴팩트한 펄스형 CO_2 레이저를 개발하기 위하여 고압·고주파 펄스 변압기와 고속 스위칭에 적합한 소자인 IGBT를 사용한 방식을 채택한 고압 펄스 전원으로 새로운 방식의 고반복 CO_2 레이저 장치를 개발하였다. 완성된 장치의 펄스 반복율, 가스 혼합비, 동작 압력에 따른 레이저 출력 특성실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 펄스 반복율 700 Hz, 동작압력 15 Torr에서 최대 레이저 출력 약 20.5 W, 최대 효율 약 8%를 달성하였다.

2. 압력이 증가함에 따라 출력은 증가하나 12 Torr에서 그 증가폭이 감소하기 시작하여 15Torr 부근에서 출력이 포화되는 경향을 나타냈다.

3. 가스 혼합비가 CO_2 : N_2 : He = 1 : 9 : 15 일 때 레이저 출력이 CO_2 : N_2 : He = 1 : 3 : 10, 1 : 1.5 : 5 에서보다 약 20%정도 증가하였다.

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 Precessing", 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] 最先端レーザ・テクノロジー集成,オプトロニクス社 (1989)

[4] E. Hirota, High-Resolution Spectroscopy of Transient molecules, Springer, Heidelberg, Germany (1985)

[5] Jen-Shin Chang, "Handbook of Electrostatic Processes", Macel Dekker Inc, pp.221-223 (1990)

[6] G. N. Glasoe, J.V.Lebacqz,"Pulse Generators", McGRAW - HILL book company, pp.499-598 (1948)

[7] 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)

[8] K. R. Rickwood and J. Mclnnes,"High repetition rate mini TEA CO2 laser using a semiconductor prionizer", *Rev. Sci. Instrum.* 53(11), pp.1667-1669 (1982)

[9] C Baker,"Design of a compact high PRF TEA CO2 laser and performance under multimode and single mode conditions", *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, Vol.14,p.1167~1170 (1981)