

링 블로우를 이용한 펄스형 CO₂ 레이저 시스템의 효율 향상과 동작 특성에 관한 연구

A Study on Efficiency Improvement and Optimization of Operating Characteristics of Pulsed CO₂ Laser System using Ring Blower

김도완*, 정현주, 박성준, 정중환, 이동훈, 김희제, 조정수
부산대학교 전기공학과

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

Abstract

In this paper, it is purpose to develop a pulsed CO₂ laser with stable output at pulse repetition rate range of 2 kHz. We used a IGBT as a switching device. The laser cavity was fabricated as an axial and water cooled type. It was used a ring blower to increase a cooling effect.

The laser performance characteristics as parameters, such as pulse repetition rate, gas pressure have been investigated. The experiment was done under 3 electrode-type instead of 2 electrode-type. To achieve 3 electrode-type, we used two pulse-transformers which is operated parallel. As a result, the maximum output was about 28 W at the total pressure of 20 Torr, the gas mixture CO₂:N₂:He = 1:9:15 and the pulse repetition rate of 1300 Hz.

Key Words(중요용어) : Pulsed CO₂ laser, 3 electrode-type, Ring blower, Pulse-transformer

1. 서 론

Patel은 1964년에 CO₂ 레이저를 처음으로 성공시켰다[1]. 그 당시는 순수 CO₂만을 가지고 발전시켰으나 이후 CO₂에 N₂를 혼합하여 방전 중에 여기된 N₂ 분자의 에너지를 CO₂의 펌핑(Pumping)에 사용함으로써 더욱 개선된 레이저로 발전되었고 [2], 1965년에는 CO₂-N₂-He의 혼합기체를 이용하여 106 W의 출력이 얻어졌다[3].

CO₂ 레이저는 CO₂ 분자의 진동에너지준위 사이에서 일어나는 천이에 의해 10.6μm 영역에서 발진되며 효율도 30%정도로 매우 높다.

최근 레이저의 산업적 응용이 증가함에 따라 우수한 빔(beam), 출력 가변의 용이성, 장치의 소형화 및 저가격화 등이 요구되고 있다. 또한, 우수한 성능의 레이저 발생 장치 자체의 개발이 필요하다. 이런 것들에 대한 특별한 관심은 레이저 출력 성능에 결정적인 영향을 미치는 여기 기술(Excitation technique)에 집중되고 있다.

CO₂ 레이저는 연속형과 펄스형의 방식으로 여기된다. 이 중 펄스형 레이저는 펄스의 반복율, 펄스 폭, 피크 전압 등의 펄스 파라미터들을 제어할 수 있기 때문에 사용 목적에 적합한 레이저 설계에

용이하다.

CO₂ 레이저의 구조에 따른 유형에는 저속 축류형, 고속 축류형, 그리고 횡류형의 세 가지가 있다. 이 중 저속 축류형은 광학적 정렬이나 냉각 능력의 제한에 의해 저출력용으로 정밀계측 분야 및 의료 분야 등에 적합하다[4-5].

본 연구에서는 2 kHz까지의 펄스 반복율에서 안정된 출력을 유지하는 펄스형 CO₂ 레이저를 개발하는 것이 목적이다. 공진기 구조는 저속 축류형을 채택하였고, 전극 형태는 기존의 2전극 방식이 아닌 3전극 방식을 사용하였다. 출력은 글로우(Glow) 방전이 안정되게 지속될 때 펄스 반복율과 동작압력 변화에 따른 결과를 정리하였다.

2. 본 론

2.1 레이저 장치의 구성

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

2.1.1 공진기 시스템

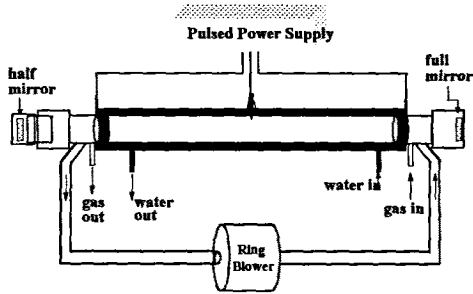


그림 1. 저속 축류형 펄스 CO₂레이저의 공진기 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of a pulsed CO₂ laser resonator with a low circulating gas-flow system

본 연구에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 방전 경로와 광축이 동일한 축류형과 plano-concave 공진기를 채택하였다. 레이저 방전을 위한 전반사경은 열팽창계수가 작고 열전도도가 크며 경도가 높은 직경 1.5 인치, 곡률 반경 10 m, 반사율 99.5 %인 폴리브덴 렌즈를 사용하였고, 부분반사경은 발진문턱치를 낮추기 위해 반사율이 90 %인 ZnSe(Zinc Selenide)를 채택하였다. 레이저 방전관으로는 길이 100 cm, 내경 16 mm, 두께 2 mm인 파이렉스(Pyrex)관을 사용하였다. 전극은 서스(SUS)를 재료로 하여 방전부 중간은 침으로, 양 끝은 스프링 모양으로 감은 원통형 전극을 사용하였으며, 전극간 거리는 약 86 cm로 하였다. 한편 CO₂ 가스의 여기를 위해 기존의 2전극 방식이 아닌 3전극 방식을 채택하였다. 3전극 방식은 2전극 방식에 비해 전극간 거리가 반으로 줄어들기 때문에 같은 전계하에 더 높은 압력에서 방전을 일으킬 수 있었다. 3전극 방식의 방전을 위해 그림 2에서 보는 바와 같이 직접 제작한 펄스 트랜스 두 개를 병렬 연결하여 양쪽 방전을 발생시켰다. 방전관 외벽과 전극에는 연속 동작시 방전 플라즈마로 인한 온도 상승에 의해 야기되는 출력의 불안정을 방지하기 위하여 내경 30 mm, 두께 2 mm인 파이렉스관을 이중으로 제작하여 물순환 냉각 장치를 구성하였다. 저속 축류형은 저압(10~20 Torr)의 가스가 흐르고, 방전에 따른 발열은 관벽의 수냉에 의해 제거되어 진다. 반면, 고속 축류형은 레이징 가스 압력이 약 50~100 Torr 정도이며, 고속으로 순환하는 매질에 의한 대류냉각 방식으로 인여의 열을 제거

한다. 또한, 가스의 유속을 100 m/s 이상 유지하기 위하여 루츠 블로우나 터보 블로우 같은 특수한 송풍기가 요구된다. 따라서, 고속 축류형은 송풍기 및 열교환기(Heat exchanger), 가스 순환을 위한 유로 설계 등에 상당한 비용이 소요되며 장치가 대형화된다는 단점이 있다[4-5]. 본 실험에서는 고속 축류형 CO₂ 레이저 장치 설계의 중간 단계로서 송풍기로써 비교적 저가인 링 블로우(Ring blower)를 사용하여 매질을 순환시켰다.

2.1.2 펄스 전원 장치

본 연구에서 사용된 펄스 발생 장치는 실험실에서 직접 설계 및 제작한 SMPS방식의 전원이다.

스위칭 소자는 수 십 ㎐의 스위칭에 적합한 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 사용하였고, 커패시터(Marcon사 제품)에 충전된 에너지를 병렬 결합한 고압·고주파 펄스 변압기(각 변압비 1:15)를 사용하여 고압의 펄스로 변환시킨 후 방전관에 인가하였다. 펄스 변압기 설계에 있어서는 권선간과 층간의 표유 용량에 따른 손실과 잡음을 감소시키기 위하여 층간의 옆면 거리를 확보하고 두꺼운 층간지를 사용하여 층간 표유 용량을 줄였다. 레이저 출력은 일정한 펄스폭에서 펄스반복율을 변화시킴으로서 제어할 수 있도록 하였다. 반복율은 100 Hz~2000 Hz 까지 가변할 수 있도록 설계하였다. 레이저 매질을 여기시키기 위한 펄스 전원장치의 주요부는 그림 2와 같이 정류부, 스위칭부, 고압·고주파 펄스 변압기부, 제어부로 구성되어 있다.

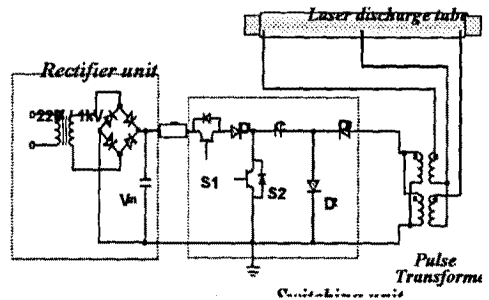


그림 2. 고압 펄스 전원장치의 개략도

Fig. 2 Schematic diagram of high voltage pulsed power supply

3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 펄스형 CO₂ 레이저의 출력 향상 및 안정화를 위하여 3전극 방식과 링 블로우를 사용하여 그 효과를 고찰하였다. 또한 출력에 영향을 미치는 중요한 요소인 동작 압력과 펄스 반복율에 따른 출력 특성을 연구하였다. 실험 방법으로는 로타리 펌프로 광공진기 내의 배경 가스압을 10⁻² Torr까지 배기 시킨 후 CO₂, N₂, He 혼합 가스를 일정 압력까지 주입하고, He-Ne 레이저를 이용하여 광학적 정렬을 한 후 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 100~2000 Hz와 동작압력 6~25 Torr까지로 하였다. 레이저 매질 가스의 혼합비는 CO₂:N₂:He = 1:9:15로 하였다. 출력은 CO₂ 레이저용 에너지미터(Gentec사 : PS-1K)로 측정하였다.

3.1 펄스 반복율에 따른 레이저 출력 특성

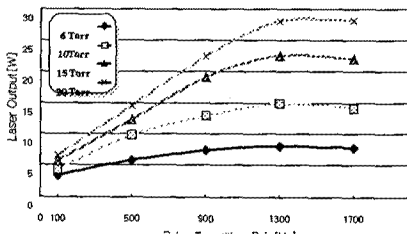


그림 3. 펄스 반복율에 따른 레이저 출력 특성
Fig. 3 Laser output vs. pulse repetition rate

그림 3은 일정 압력과 일정 가스 혼합비에서 펄스 반복율에 따른 레이저 출력 특성을 나타내고 있다. 각 실험 데이터는 다섯 번 실험한 결과의 평균치를 표시하고 있다. 각각의 동작 압력에 따른 실험 결과를 보면 펄스 반복율 100 Hz에서 발진을 시작하였고, 1300 Hz에서 최대 출력을 얻었다. 출력 모드는 TEM₀₀ 였다. 반복율이 증가함에 따라 레이저 출력도 증가하고 있지만 그 증가폭이 1300 Hz부터 점점 감소하는 것을 알 수 있다.

3.2 가스압력에 따른 출력 특성

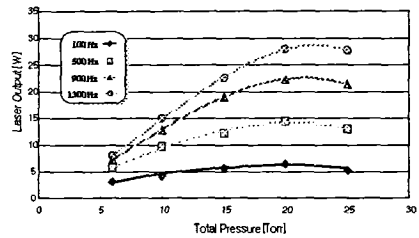


그림 4. 압력에 따른 레이저 출력 특성
Fig. 4 Laser output vs. total pressure

그림 4는 가스 압력에 따른 레이저 출력의 변화를 나타낸다. 가스 압력을 5 Torr에서 25 Torr까지 5 Torr씩 증가시키면서 출력을 측정하였다. 반복율이 일정할 때 압력이 증가하면 출력도 증가하였지만 약 20 Torr 부근에서는 압력의 증가에 따른 출력의 증가폭이 감소하여 출력이 점점 포화되는 경향이 보였다.

가스 압력이 상승함에 따라 CO₂ 및 N₂ 분자의 밀도가 증가하므로 레이저 여기 준위의 밀도가 늘어나고 충돌 단면적의 증가에 따른 확산 냉각 효과 때문에 레이저 출력은 증가한다. 하지만 높은 가스 압력은 높은 방전 전계를 요구한다. 왜냐하면 최적 동작 상태에서는 E/P가 거의 같은 정도로 유지되어야 하는데, 이는 E/P가 방전전자의 평균 에너지를 결정하기 때문이다. 따라서 이러한 높은 전계를 얻기 위해서는 더 높은 전기 입력을 인가해야 한다. 그러나 전기 입력을 증가시킴에 따라 전류 밀도가 증가하게 되어 방전관 중앙으로부터 기체의 온도가 상승하기 시작한다. 기체의 온도가 상승하게 되면 상위 레이저 준위에서의 충돌에 의한 감쇠율이 급격히 증가하여 상위 준위 밀도의 감소를 가져오게 되고 상대적으로 하위 준위의 열적 밀도가 증가하여 밀도반전이 감소된다. 결국 초기에는 전류 증가에 따라 밀도반전과 이득이 양의 효과로 증가하다가 나중에는 전류 증가에 따른 기체 온도 상승의 효과가 지배적으로 되기 때문에 출력의 감소를 보이게 된다. 따라서 이득을 최대로 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 단위 체적당 투입되는 에너지를 증대시킬 수 있는 고속 축류형이나 횡류형 등을 사용해야 할 것이다.[6]

3.3 3전극 방식과 링 블로우 사용에 따른 효과

직접 제작한 펄스 트랜스 두 대를 병렬 연결하여 방전 저항 없이 3전극 방식으로 방전하는데 성공하였다. 그 결과 방전 저항에서의 손실을 감소시킬 수 있었으며, 펄스 트랜스와 전원 회로의 각 소자에 걸리는 부담감을 저감시켜 보다 안정된 전원 장치의 구성이 가능하였다.

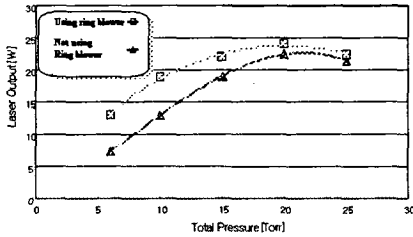


그림 5. 가스 순환 여부에 따른 레이저 출력 특성
Fig. 5 Laser output vs. gas circulating with ring blower

대류 냉각형 레이저에서 기본적인 조건 중의 하나는 방전부에서 방전을 안정화시키고, 레이저 매질을 냉각시키기 위해서 적절한 기체 유로의 배치와 송풍기를 통하여 레이저 기체를 순환시키는 것이다. 그림 5는 링 블로우(HB329)를 사용하여 방전관 내의 가스를 순환시켰을 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하였다. 사용한 링 블로우는 최대토출압(Maximum Pressure) 1800 mmAq, 최대배기량(Maximum Air Flow Rate) 3m³/min이다. 가스를 순환시켰을 경우 펄스 반복율 900 Hz, 압력 20 Torr에서 최고 5.7 W 더 높은 출력이 나왔으며, 출력의 안정도도 순환시키지 않았을 경우 보다 훨씬 좋았다. 가스 압력이 높아짐에 따라 출력의 증가율이 저하되는 이유는 압력이 높아질수록 방전관 내의 입자수가 점점 적어져 이로 인한 유속의 감소로 냉각효과가 떨어지기 때문인 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 3전극 방식과 링 블로우를 펄스형 CO₂ 레이저 시스템에 적용하였다. 완성된 장치의 펄스 반복율, 동작 압력에 따른 레이저 출력 특성 실험을 통하여 펄스 반복율 1300 Hz, 동작압력 20 Torr에서 최대 레이저 출력 약 28 W, 최대 효율 약 8%를 달성하였다. 링 블로우를 사용하여 가스

순환을 하였을 경우 최대 5.7 W까지의 출력 증가를 얻을 수 있었다. 향후, 방전관 내의 유속 측정 장치와 열 교환기 설치 및 유로의 최적 설계를 통하여 더욱 높은 냉각 효과와 출력 특성을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- [1] C.K.N. Patel, Phys. Rev. Lett. 12, 588 (1964)
- [2] C.K.N. Patel, Phys. Rev. Lett. 13, 617 (1964)
- [3] C.K.N. Patel, Appl. Phys. Lett. 7, 15 (1965)
- [4] G.A. Abil'siitov, E.P. Velikhov, V.S. Golubev, and F.V. Lebedev, "Promising systems and methods for pumping high-power technological CO₂ laser", Sov. J. Quantum Electron. Vol. 11, No. 12, pp.1535 - 1549 (1981)
- [5] W.J. Witteman, The CO₂ Laser, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany (1987)
- [6] K. Terai, "Characteristics of RF Excited CO₂ Lasers", Rev. Laser Eng. Vol. 21, No. 4, pp.39-48 (1993)