

A Study on the Operational Characteristics of CO₂ Laser Excited by 60Hz AC Discharges

李東勳* · 林奎浩** · 鄭鉉珠*** · 金熙齊[§] · 曹井守^{§§}
 (Dong-Hoon Lee · Kyu-Ho Im · Hyun-Ju Chung · Hee-Je Kim · Jung-Soo Cho)

Abstract - In this study, it is the purpose to develop a cheap and compact CO₂ laser and to apply 60 Hz AC discharges as a new exciting source. An axial and water cooled type was adopted as the laser model. The laser performance characteristics as various parameters, such as gas pressure and discharge current, have been investigated. And the laser output and the efficiency of DC and 60 Hz AC discharge-exciting type have been measured and compared for the different input powers at the static operational pressure. As a result, the case of 60 Hz AC discharge-exciting type, the laser oscillation began at the condition of operational pressure 6 Torr and discharge current 5 mA. A maximum laser output of about 32 W was obtained at an operational pressure of 18 Torr and a discharge current of 30 mA. In addition, the laser output was saturated from an operational pressure of about 14 Torr and a discharge current of about 20 mA. In this CO₂ laser, the laser output of 60 Hz AC discharge-exciting type was slightly higher than that of DC discharge-exciting type. And the laser efficiency was about 10 to 13 % for the various operational pressures and the discharge currents.

Key Words : CO₂ laser, Axial and water cooled type, 60 Hz AC discharge-exciting type, Discharge current

1. 서 론

CO₂ 레이저는 에너지변환 효율이 가장 높은 레이저 중 하나이고, 광공진기 내의 레이저 매질 가스를 전기 방전에 의해 여기시키는 대표적인 기체 레이저로서 연속으로 수십 kW의 고출력을 낼 수 있는 특징을 가지고 있다. 그리고 매우 안정된 동작 특성 때문에 산업용, 군사용, 의료용, 각종 물리·화학의 기초 연구용 등의 광범위한 응용 분야에서 각광을 받고 있다[1-5].

CO₂ 레이저의 구조에 따른 유형에는 저속 축류형, 고속 축류형, 그리고 횡류형의 세 가지가 있다. 저속 축류형은 광학적 정렬이나 냉각 능력의 제한에 의해 저출력용으로 정밀 계측분야 및 의료분야 등에 적합하다. 고속 축류형에서는 가스의 유로 길이가 길어져 방전부에서 100 m/s 이상의 유속이 필요하므로 루츠 블로우(Roots Blower)나 터보 블로우(Turbo Blower)와 같은 특수한 송풍기가 요구된다.

한편 횡류형에서는 방전부 통과 길이가 짧아 유속은 고속

축류형보다 낮아도 되지만 여기방전의 균일화가 매우 중요하여 전극 구조나 가스 순환 방식에 각별한 주의가 필요하다. 고출력용으로 산업용 분야에 많이 사용되는 고속 축류형 및 횡류형은 송풍기 및 열교환기, 가스 순환을 위한 유로 설계 등에 상당한 비용이 소요되며 장치가 대형화된다[6-7].

최근에 CO₂ 레이저의 이용이 증가함에 따라 레이저출력의 안정도, 유지와 보수의 편리성, 장치의 소형화, 저가격화 등이 요구되고 있으며, 이러한 특성을 충족시키기 위해서는 레이저 매질 가스의 여기 방식이 매우 중요하다. 그런데 기존의 직류 글로우(Glow) 방전에 의한 여기 방식은 보통 수십 kΩ의 방전 안정 저항에서 발생하는 열 손실과 스퍼터링(Sputtering)작용에 의한 가스의 열화, 광학 부품의 오손 등의 문제점이 있다. 또한 고주파(Radio Frequency:RF)방전 여기방식은 단위 체적당의 방전 입력에너지를 높일 수 있으며 장치의 소형화가 가능하지만, 고가의 RF 전원장치가 필요하다[8-11].

본 연구에서는 실험실에서 직접 설계·제작이 용이하고, 완성된 시스템의 유지·보수가 편리한 저속 축류형의 구조를 채택하였으며, 레이저 매질 여기원으로는 종래의 직류방전 또는 RF방전 여기방식이 아닌 상용주파수의 교류(60 Hz)방전을 도입한 저가의 소형 밀폐형 CO₂ 레이저를 개발하고 그 동작 특성을 연구하였다[12,13].

즉, 입력전압 220 V, 출력전압 18 kV, 용량 200 VA인 누설 변압기 2대를 병렬 운전하여 1차측의 전압을 가변시켜가며 글로우(Glow) 방전이 안정화된 상태에서 동작압력과 방전전류 등의 레이저 동작 변수에 따른 레이저빔 출력 특성을 조사하였다. 또한, 이 레이저 장치에서 기존의 직류방전

* 正 會 員 : 釜山大 電氣工學科 博士課程

** 準 會 員 : 釜山大 電氣工學科 碩士卒業

*** 準 會 員 : 釜山大 電氣工學科 碩士課程

§ 正 會 員 : 釜山大 電氣工學科 助教授 · 工博

§§ 正 會 員 : 釜山大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1999年 1月 4日

最終完了 : 1999年 7月 9日

여기방식과 상용주파수의 교류방전 여기방식의 차이점을 분석하기 위해 동일 전기입력에 대한 레이저빔 출력 특성을 비교·검토하였다.

2. CO₂ 레이저 장치의 구성

전체 레이저 장치는 크게 나누어 공진기와 고전압 전원장치로 구성되어 있으며, 그 외에 냉각장치, 가스 공급장치, 진공 펌프와 압력계 등이 있다.

2.1 공진기

본 연구에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 방전 경로와 광축이 동일한 축류형을 채택하였다. 레이저 방전관으로 길이 100 cm, 내경 24 mm, 두께 2 mm인 파이렉스(Pyrex)관을 사용하였고, 전극간 거리는 약 80 cm로 하였다. 연속 동작에 따른 온도 상승에 의해 발생하는 출력의 저하를 방지하기 위하여 방전관 외측에 내경 30 mm, 두께 2 mm인 파이렉스(Pyrex)관을 이중으로 제작하여 수냉하였다.

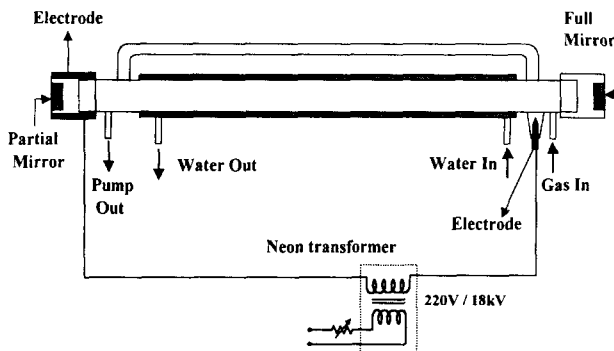


그림 1 상용주파수 축류형 CO₂ laser 장치의 구성도
Fig. 1 Schematic diagram of 60Hz AC axial CO₂ laser

레이저 발진을 위해 전반사경은 열 팽창계수가 작고 열전도도가 크며, 경도가 높은 직경 1.5 인치, 곡률 반경 10 m, 반사율 99.5 %인 몰리브덴을 사용하였고, 부분반사경은 발진문턱치를 낮추기 위해 반사율 90 %의 기계적 강도와 열전도도가 크며, 흡수계수가 적은 ZnSe(Zinc Selenide)를 채택하였다. 또한 바이패스(Bypass)관을 설치하여 전극 주위 가스 과열에 의한 방전관의 온도 상승과 압력차를 작게 하고, 방전시 CO₂ 분자의 해리에 의한 불순물의 발생을 감소시켰다.

2.2 고전압 전원 장치

전극간에 상용주파수 교류 고전압을 인가하여 글로우 방전을 발생시키기 위해 시중에서 저가로 쉽게 구할 수 있는 네온사인용 용량 200 VA, 입력 전압 220 V, 출력 전압 18 kV, 역율 약 85 %인 누설 변압기 두 대를 병렬 운전하였다. 기존에 직류방전을 위해 사용되고 있는 고압 절연변압기와 비교해 볼 때 이 네온변압기는 크기가 작고 정류부가 필요

없이 전원장치의 소형화가 가능하며, 대량 생산되기 때문에 가격경쟁력에서도 우위를 확보 할 수 있을 것이다.

3. 실험 방법 및 결과 고찰

본 연구에서는 CO₂ 레이저의 연속 출력에 영향을 미치는 중요한 요소인 방전 전류와 동작 압력에 따른 레이저 출력 특성을 연구하였다. 실험 방법으로는 로타리(Rotary)펌프로 광공진기 내의 배경 가스압을 10⁻² Torr까지 배기시킨 후 CO₂, N₂, He 혼합 가스를 일정 압력까지 주입하고, 양단 전극에 직류 및 상용주파수의 교류 고전압을 인가하여 글로우(Glow) 방전을 발생시켰다.

직류와 상용주파수 교류방전의 여기방식에 따라 방전전류와 동작압력을 가변시키면서 레이저 출력 변화를 비교·검토하였다. 발진을 개시한 경우의 방전전류와 동작압력은 각각 5 mA와 6 Torr였으며, 실험범위는 방전전류 5~30 mA와 동작압력 6~18 Torr까지로 하였다.

글로우(Glow) 방전이 안정화된 시점에서, 전기입력은 단상 교류 전력계(Hwashin사 모델명 7013), 레이저 출력은 Energy Meter(Gentec사 모델명 PS-1K)로 측정하였다. 레이저 매질 가스는 여러 문헌들과 직접 실험한 결과를 토대로 얻어진 최적 혼합비율인 CO₂ : N₂ : He = 1 : 3 : 10 으로 하였다[6-11].

3.1 방전전류에 따른 출력 특성

그림 2는 상용주파수 교류방전에 의해 발진을 시켰을 때 일정한 동작압력에서 방전전류를 5 mA에서 30 mA까지 5 mA씩 가변시키면서 측정된 레이저 출력의 변화를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 방전전류가 증가함에 따라 레이저 출력도 증가하다 방전전류가 20 mA 부근에서부터 차츰 레이저 출력의 증가폭이 작아지는 경향을 보임을 알 수 있다. 전원장치의 용량 제한 때문에 35mA이상의 실험 데이터를 얻을 수 없었지만 레이저 출력이 35mA이상에서는 포화될 것으로 추정된다.

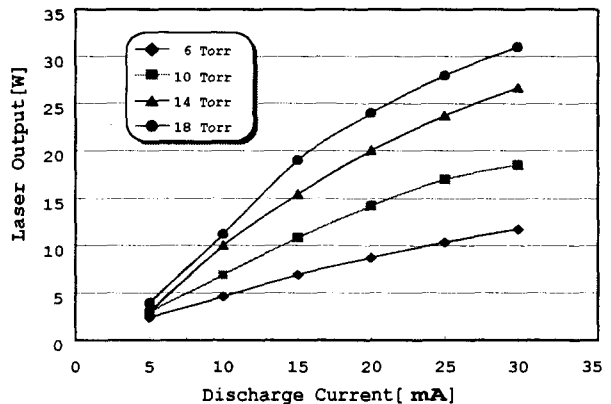


그림 2 방전전류에 따른 레이저출력 변화
Fig. 2 Laser output as functions of the discharge currents

이것은 직류방전 여기방식과 같이 발진 개시 이후 방전전류가 증가하면 방전관 내의 전자밀도가 증가하여 상위준위

로의 펌핑률이 상승하고, 밀도 반전이 커지게 되어 출력은 증가한다. 그러나 글로우 방전시 레이저 가스는 완전 단락 상태가 아니라 약 수십 kΩ의 저항체로 작용하기 때문에 전류밀도를 계속 증가시키기에 따라 열의 발생으로 인해 기체의 온도가 상승하기 시작한다.

이로 인하여 방전관 내의 가스 온도가 상승하게 되면 상위 레이저 준위에서 충돌에 의한 감쇠율이 급격히 증가하여 상위 준위의 밀도가 감소하고, 상대적으로 하위 준위의 열적 밀도가 증가하여 밀도 반전이 저하된다. 즉 초기에는 방전 전류 증가에 따라 밀도 반전과 이득이 출력 증대에 기여하다가 점차 전류 증가에 따른 기체 온도 상승의 효과가 지배적으로 되기 때문에 일정 방전전류에서부터 레이저 출력의 증가율이 감소하고 결국 포화하게 된다.

3.2 동작압력에 따른 출력 특성

그림 3은 동작압력에 따른 상용주파수 교류방전에 의한 레이저 출력의 변화를 나타낸다. 방전전류가 30 mA일 때, 동작압력을 6 Torr에서 18 Torr까지 2 Torr씩 가변시키면서 출력을 구하였다. 동작압력이 증가하면 레이저 출력도 증가하지만 동작압력 14 Torr부근부터 그 증가폭이 현저히 줄어들면서 포화하는 경향을 보였다. 최대 레이저 출력은 동작압력 18 Torr에서 약 32 W가 얻어졌다.

동작압력이 상승함에 따라 CO₂ 및 N₂ 분자의 밀도가 증가함으로 레이저 여기 준위의 밀도가 늘어나고 충돌 단면적의 증가에 따른 확산 냉각 효과 때문에 레이저 출력이 증가한다. 한편 방전관 내의 동작압력이 커지면 글로우 방전을 유지시키기 위해 더 높은 전압을 인가해야 하므로 전극 사이에 강한 전기장이 걸려 전자밀도가 증가하게 된다. 결과적으로 이것은 혼합가스의 온도 상승을 초래하여 상위 준위 밀도를 감소시켜 레이저 출력을 포화시킨다. 그림 4에서 보면, 14 Torr이상에서는 확산에 의한 냉각 능력이 포화된 것을 알 수 있다. 이와 같은 저속 축류형 CO₂ 레이저는 확산 냉각이 지배적이기 때문에 단위 체적당 투입할 수 있는 최대 입력이 0.5 W/cm² 정도로 제한되어 있으므로 더 높은 출력을 얻기 위해선 고속 축류형이나 횡류형 등을 사용해야 한다[7].

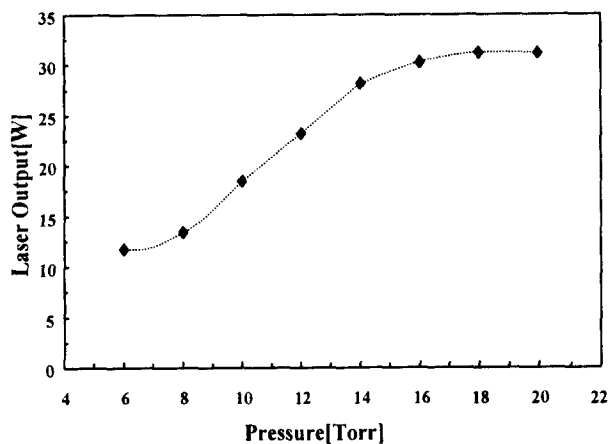


그림 3 동작압력에 따른 레이저출력 변화
Fig. 3 Laser output as functions of the operational pressures

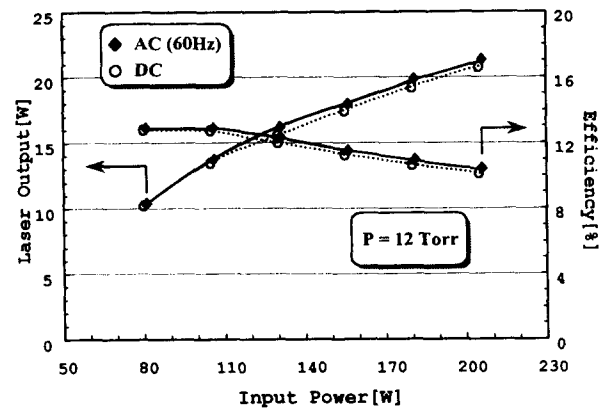


그림 4 전기입력에 따른 레이저출력과 효율 변화

Fig. 4 Laser output and efficiency as functions of input power

3.3 방전 입력에 대한 효율 특성

그림 4는 동작압력이 12 Torr인 경우, 방전입력에 따른 직류방전과 상용주파수 교류방전에 의한 레이저 출력 효율의 변화를 보여준다. 여기서 효율은 방전입력을 시스템에 공급되는 전기입력으로 정의하여 계산하였다. 즉, 변압기 앞단에 전력계를 설치하여 전기입력을 측정하면서 레이저빔 출력을 측정하였다.

실험 결과를 보면 레이저 출력 곡선은 그림 4와 같이 입력에 따라 상승하나 조금씩 그 증가폭이 감소하고 있으며, 레이저 출력 효율은 입력이 증가함에 따라 약 13%에서 10% 정도까지 감소함을 알 수 있다. 또한 실험 오차의 범위안에 들어가는 하지만 직류 방전 방식보다 상용주파수 방전의 경우가 레이저 출력 효율이 약간 높게 나타났다. 이것은 상용주파수 방전에서는 직류 방전에서 필수적인 방전안정 저항이 없어 저항에서의 소비전력이 포함되지 않기 때문이라고 생각된다. 레이저 출력 효율이 감소하는 이유는 냉각 능력의 포화와 더불어 앞 절에서 언급한 입력에너지의 증가에 따른 방전관 내의 온도상승이 밀도 반전의 저하를 초래하고 있기 때문이다.

4. 결 론

본 논문에서는 표면처리, 정밀계측용, 의료용, 정밀가공 등의 다양한 용도로 활용할 수 있는 새로운 여기방식을 채용한 저출력 축류형 CO₂ 레이저를 개발하기 위한 시스템 설계 및 제작, 그리고 완성된 시스템의 동작특성을 파악하고자 하였다.

즉, 여기방식으로 기존에 사용되고 있는 직류방전 또는 RF방전 대신 상용주파수의 교류방전을 채택하여 방전전류, 동작압력, 방전입력에 따른 레이저 출력 특성을 비교·검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상용주파수 교류방전에 의한 여기방식에서는 동작압력 6 Torr, 방전전류 5 mA에서 발진을 개시하였고, 최대 출력은 동작압력 18 Torr, 방전전류 30 mA에서 약 32 W를 얻었다. 또한 일정한 동작압력에서는 방전전류가 증가함에 따라 레이저 출력도 증가하지만 방전전류가 약 20 mA 부근에

서부터 레이저 출력이 포화하였고, 일정한 방전전류에서 레이저 출력은 동작압력이 상승함에 따라 증가하다 동작압력이 약 14 Torr 정도에서부터 포화되었다.

2. 본 시스템에 적용된 직류방전과 비교하면 상용주파수의 교류방전이 동일한 전기입력에서 레이저 출력이 약간 높았고, 시스템 효율은 동작압력과 방전전류에 따라 조금의 차이는 있지만 약 10~13 % 정도였다.

따라서, 본 연구에서 처음 시도한 상용주파수의 교류방전에 의한 여기방식을 도입함으로써 직류방전 여기방식에서 필수적인 정류부의 생략과 함께 같은 전기입력으로 더 높은 레이저 출력을 얻을 수 있었다. 즉, 전원장치의 단순화 및 가격절감 효과가 있는 고효율 상용주파 축류형 CO₂ 레이저를 개발하였다. 향후, 시스템의 일부를 개선하여 고속 가스 순환 방식을 채용하고 병렬 운전하는 누설변압기의 대수를 증가시켜 나간다면 더 높은 출력을 기대할 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단 대학 부설 연구소 과제 연구비에 의하여 수행된 연구로서, 관계 부처에 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, "CO₂ Lasers for Military Applications," SPIE Vol. 1042, CO₂ Lasers and Applications, pp. 42-54, 1989.

[4] 最先端 レーザ・テクノロジー-集成, オプトロニクス社, 1989.

[5] E. Hirota, High-Resolution Spectroscopy of Transient Molecules, Springer, Heidelberg, Germany 1985.

[6] G.A. Abil'sitov, 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.

[7] W.J. Wittman, *The CO₂ Laser*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany 1987.

[8] H. Sugawara, K. Kuwabara, K. Sasaki, and S. Shiono, "Development of a 20 kW Fast Axial Flow CO₂ Laser", Rev. Laser Eng. Vol. 15, No. 4, pp. 34-38, 1987.

[9] A. Lapucci, "Hybrid stable-unstable resonators for diffusion-cooled CO₂ slab lasers", Appl. Opt. Vol. 35, No. 18, pp. 3185-3191, 1996.

[10] K. Terai, "Characteristics of RF Excited CO₂ Lasers", Rev. Laser Eng. Vol. 21, No. 4, pp.39-48, 1993.

[11] P.P. Vitruk, H.J. Baker, and D.R. Hall, "The Characteristics of Stability of High Power Transverse Radio Frequency Discharges for Waveguide CO₂ Slab Laser Excitation", J. Phys. D:Appl. Phys. 25, pp. 1767-1776, 1992.

[12] E. Nasser, Fundamentals of Gaseous Ionization and

Plasma Electronics, Wiley-Interscience, pp.363-396, 1971.

[13] F.L. Jones, Ionization and Breakdown in Gases, Methuen & Co Ltd. pp. 153-161, 1956.

저 자 소 개



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



임 규 호(林奎浩)

1973년 5월 8일 생. 1997년 부산대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).

Tel : 051-510-2770, Fax : 051-513-0212

e-mail : ikh0606@hanmail.net



정 현 주(鄭鉉珠)

1975년 12월 5일 생. 1998년 울산대 전기공학과 졸업. 1998년~현재 부산대 전기공학과 석사과정

Tel : 051-510-2770, Fax : 051-513-0212

e-mail : hyunju30@hanmail.net



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(공학박). 1990년~1995년 한국전기연구소 선임연구원. 1995년~현재 부산대 전기공학과 조교수

Tel : 051-510-2364, Fax : 051-513-0212

e-mail : heeje@pusan.ac.kr



조 정 수(曹井守)

1935년 2월 21일생. 1961년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1976년 부산대 공대 전기공학과 졸업(공학박). 현재 부산대 공대 전기공학과 교수

Tel : 051-510-2365, Fax : 051-513-0212