

축류형 CO₂ 레이저의 직류와 교류 방전에 따른 특성 연구

A Study on the Characteristics of Axial CO₂ Laser as DC and AC Discharge

부산대학교 공과대학 전기공학과
이동훈, 임규호, 정현주, 김희제, 박정후, 조정수

I. 서론

CO₂ 레이저의 주된 장점은 다른 레이저들과는 달리 전기적 에너지를 높은 효율로 레이저 복사로 전환하는데 있으며, 연속으로 수십 kW의 고출력을 낼 수 있고 매우 안정되게 동작하는데 있다. 따라서 재료가공, 군사 응용, 동위원소 분리, 분광학, 의료 등의 광범위한 활용 범위를 가지고 있다[1-6].

이에 본 연구에서는 100 W 이하의 저출력 CO₂ 레이저를 개발하고자, DC 및 AC 축류형 CO₂ 레이저를 설계, 및 제작하였다.

AC 실험을 위하여 용량 200[VA], 입력 220V, 출력 18KV의 변압기를 사용하여 방전관에 고압을 인가하여 방전을 일으킬 수 있도록 하였다. CO₂ 레이저는 항상 전기적 방전을 이용하기 때문에 폐쇄형(sealed-off) CO₂ 레이저들의 수명은 공진기 안에서 생기는 화학적 부산물에 의해 영향을 받는다. 2개의 CO₂ 분자가 2개의 CO 분자와 1개의 O₂ 분자로 분해된다. CO₂ 손실과 O₂ 형성은 특별한 예방 조치가 없으면 레이저 작용을 감쇄시키는 역할을 하게된다. CO₂ 감소와 O₂ 증가의 문제는 가스의 흐름을 계속 순환시킴으로 해결할 수 있다[7]. 따라서 본 실험에서는 먼저 페루프 system을 채용하여 가스압력, 방전전압, 그리고 방전전류에 따른 레이저 출력 특성을 조사하였다.

II. 실험 장치 및 방법

본 실험에서 설계 제작한 축류형 CO₂ 레이저의 전체 시스템 개략도는 그림 1에 잘 나타나 있으며, 다음과 같이 분류 할 수 있다.

1. 시스템 구성

전체 시스템은 크게 나누어 공진기 시스템, 가스 공급 시스템, 고전압 전원 시스템으로 나눌 수 있다. 그 외에 레이저 공진기 냉각을 위한 냉각 장치와 진공 펌프와 압력계 등이 있는데 이들 모두가 공진기에 연결되어 있으므로 공진기 시스템에 속한다고 보겠다.

2. 공진기 시스템

그림 1에서 보는 바와 같이 방전 경로와 광 축이 동일한 축류형으로 하였다. 레이저 발진기는 길이 110 cm, 내경 24 mm인 파이렉스 관을 레이저 방전관으로 사용하였다. 방전관 외측에는 연속 동작에 따른 온도 상승에 의하여 출력이 변화하는 것을 막기 위하여 내경 30 mm인 파이렉스 관을 덮어 석유판 물 순환 냉각 장치를 제작하였다.

레이저 발진을 위한 반사경으로서 전반사경은 열 팽창계수가 작고 열 전도도가 커서 열 변형이 작으며 경도가 높은 1.5" 몰리브덴을 사용하였는데 곡률 반경은 10 m이고, 반사율은 99.5%이다. 또한 반 투과경은 열적 파탄에 대한 성질이 좋고 기계적 강도와 열전도도가 크며, 흡수계수가 적고 가시광선을 투과하는 반사율 90%인 ZnSe 거울을 채택하였다.

ZnSe 출력경은 고온의 기체 흐름에 의한 손상방지는 물론, 정열을 쉽게 하기 위하여 전극에 15 cm의 파이렉스 관을 SUS 로 된 거울 홀더에 연결하여 진공이 유지되도록 하였다. 거울 홀더는 4개의 나사로 지지하여 광학 정렬을 쉽게 할 수 있도록 하였고 진공 펌프와 압력계는 전 반사경 쪽 거울 홀더에 연결하였다.

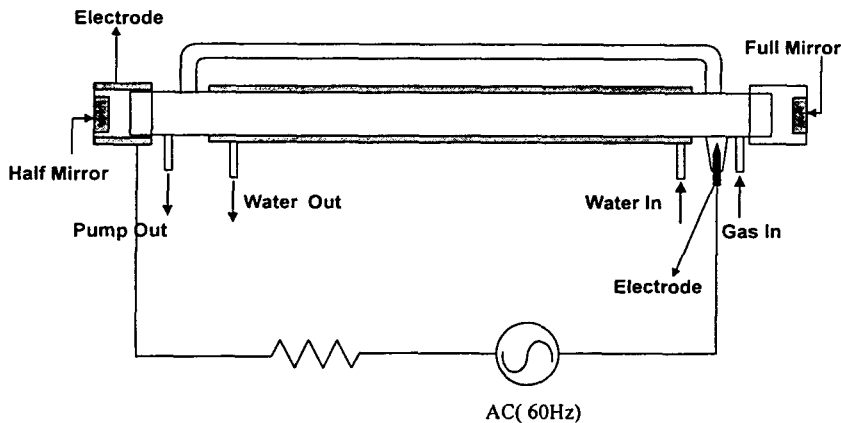


그림 1. AC형 CO₂ Laser의 개략도

3. 가스 공급 시스템

로타리 펌프로 챔버 내부를 배기하고, 각 기체의 동작압력은 부분압력의 측정에 의하여 혼합비율을 조정하여 실험 한 결과 CO₂ : N₂ : He = 1 : 3 : 10 의 비율에서 출력이 가장 안정되게 나오는 것을 확인하였다.

4. 고전압 전원 장치

DC 여기 방식에서 레이저 발진관에 전기 방전을 시키기 위한 고전압 전원으로는 1 kVA 용량의 변압기에 고압 다이오드로 정류를 하여 출력전압 20 kV, 최대출력 전류 50 mA인 고전압 전원을 이용하였다. 공진기 안에서의 안정된 글로우 방전을 유지하도록 방전 안정 저항 60 kΩ을 연결하였다. 전극 재질은 알루미늄으로 원통 형태의 홀로 캐소드를 채택하였다.

한편, AC 여기 방식에서는 용량 200[VA]의 변압기를 설치하여 저항 7.5kΩ을 거쳐 DC의 경우와 같은 양 전극에 고압 전원을 인가할 수 있도록 하였다.

5. 실험 방법

로타리 펌프로 공진기 안의 배경가스압을 10^{-2} Torr까지 도달시킨 후, CO₂, N₂, He(1 : 3 : 10)의 혼합 기체를 주입하여 혼합 기체의 비율과 전체 압력, 방전 전압과 방전 전류에 따른 레이저 출력을 측정하였다. DC의 경우 방전 전류는 5 mA~30 mA 까지 5 mA 씩 변화시키고 전체 압력을 6 Torr~16 Torr 까지 2 Torr 씩 변화시켜가며 그때의 레이저 출력을 측정하였으며, AC의 경우 방전 전류는 5 mA ~ 17 mA 까지 3 mA씩 변화를 시켜 레이저 출력을 측정하였고, 레이저 출력은 power energy meter(Gentec사 제품: 모델명 PS-1K)로 측정하였다.

III. 실험 및 고찰

CO₂ 레이저의 연속 출력에 영향을 미치는 중요한 요소로는 CO₂, N₂, He의 분압비, 방전 전류, 방전 전압, 전체 압력, 기체의 유량, 방전관의 온도 등이 있다. 최대 출력을 얻기 위해서는 이러한 요소들을 최적화 해야 한다.

1. 전류에 따른 출력 특성

그림 2는 DC 여기 방전에서 전류에 따른 레이저 출력의 변화를 보이고, 전류는 5 ~ 30 mA 까지 5 mA 씩 변화시켜가면서 출력을 측정하였다[8]. 그림 3은 AC 여기 방전에서 전류에 따른 레이저 출력의 변화를 보이며 전류는 5 ~17 mA 까지 3 mA 씩 변화시켜가면서 출력을 측정하였다.

CO₂, N₂, He의 혼합 기체의 비율을 1 : 3 : 10 의 비율로 하여 실험한 결과 그림 2 와 그림 3 에서 보는 바와 같이 전류의 증가에 따라 출력이 증가함을 알 수 있었다. 하지만 DC의 경우 전류가 증가할수록 출력의 증가폭이 작아짐을 알 수가 있는데 이것은 전원의 용량 부족에 인한 것이며 30 mA 이상에서 포화될 것으로 예상된다. 전류가 증가하면 방전관 내의 전자밀도가 증가하고 결과적으로 상위 준위로의 펌핑률이 증가하고, 밀도반전이 커지게 되어 출력은 증가한다. 그러나 전류 밀도를 증가시킴에 따라 전기 입력이 증가하게 되어 기체의 온도가 상승하기 시작한다. 기체의 온도가 상승하게 되면 상위 레이저 준위에서 충돌에 의한 감쇄율이 급격히 증가하여 상위 준위 밀도의 감소를 가져오게 되고, 상대적으로 하위 준위의 열적 밀도가 증가하여 밀도 반전이 감소된다.

AC의 경우도 마찬가지로 전류의 증가에 따라 레이저 출력이 계속 증가함을 알 수가 있었다. 그리고 변압기 용량 부족으로 방전 입력이 제한되었는데 차후에 용량이 큰 변압기로 실험을 할 계획이다.

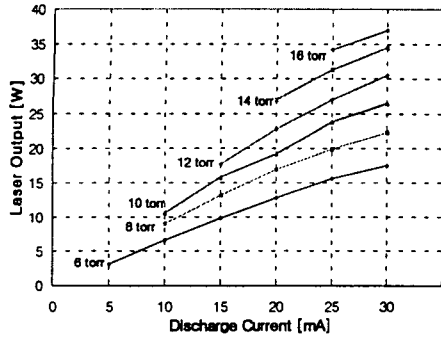


그림 2. 전류에 따른 DC 여기 방식에서의 레이저 출력 특성

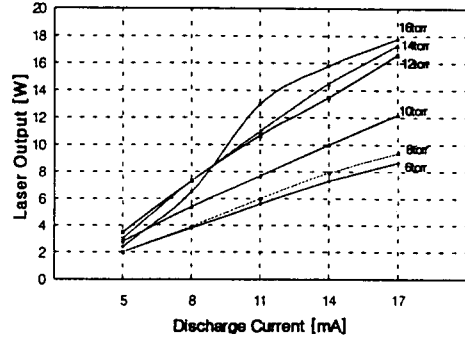


그림 3. 전류에 따른 AC 여기 방식에서의 레이저 출력 특성

2. 방전 입력에 따른 레이저 출력 특성

그림 4는 10 Torr에서 방전 입력에 따른 DC와 AC의 레이저 출력 특성의 변화를 보인다. 70 ~ 150 W까지 방전 입력을 20 W 씩 변화시켜가며 출력을 측정하였다. DC의 경우는 효율이 14 % 이상이 됨을 알 수 있었고, AC의 경우는 DC 경우보다 효율이 약 4 % 정도 떨어진 10 % 정도 됨을 알 수 있었다. 이것은 AC의 경우 주파수가 60 Hz 이므로 DC 보다 방전이 불안정하여 방전관 전체의 효율적인 여기가 불가능하게 되고 따라서 상위준위로의 펌핑이 효율적이지 못하기 때문으로 추정된다. 흔히 DC 방전은 글로우 방전이 아크 방전으로의 전환을 방지하기 위해서 방전 안정화 저항을 필요로 하게 된다. 하지만 AC 방전은 방전 안정화 저항이 필요 없게 되고 주파수를 높이면 방전시 발생하는 열로 인한 전극 손실도 줄일 수 있게 되는 장점이 있다. 특히 RF 방전은 방전관내에서 안정된 글로우 방전을 일으킬 수 있으며, 전극 손실이 전혀 없는 장점이 있지만 전원장치에 RF 차폐가 필수적이고 가격이 너무 비싸다는 단점이 있기 때문에 본 연구에서는 60 Hz의 AC 방전을 이용하여 경제성을 확인하였다.

IV. 결론

본 연구는 의료용, 재질 가공, 마이크로 머시닝, 등의 다양한 용도로 이용 가능한 100 W급 이하의 축류형 CO₂ 레이저 개발을 위해 수행되었고, 레이저 가스의 여기 방식으로는 기존에 사용되고 있는 직류(DC) 방전 대신에 상용주파수의 교류(AC) 방전을 채택하여 압력과 전류에 따른 레이저 출력 특성을 조사하였다. 그 결과 교류(AC) 방전에 의한 축류형 CO₂ 레이저의 최대 출력은 동작압력 16 Torr, 전류 17mA에서 최대 약 18W를 얻었고, 효율은 압력과 전류에 따라 약간의 차이는 있으나 약 10 % 내외임을 확인 할 수 있었다. 즉 직류 방식과 비교하면 상용주파수의 AC방전이 다소 안정적이지 못해 효율은 약 3 ~ 4 % 정도 떨어지지만 직류 전원의 정류 및 평활용 콘덴서가 없어도 되므로 경제적인 면에서 유리하므로 향후, 적극적인 연구 개발을 수행할 계획이다.

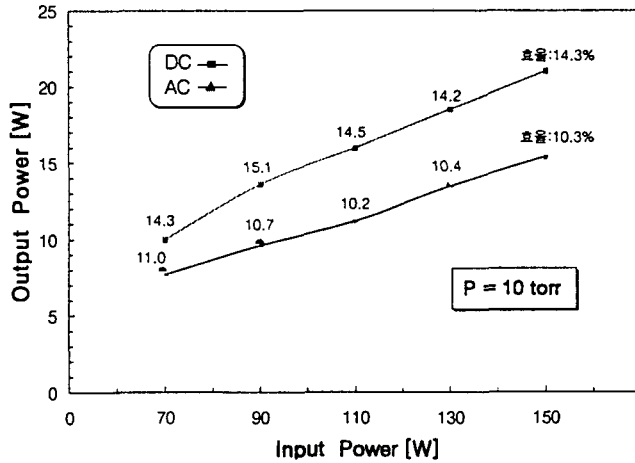


그림 4. Input Power에 따른 DC 와 AC의 레이저 출력 특성
(10 Torr 일때)

V. 참고문헌

- [1] C.K.N. Patel, "Interpretation of CO₂ Optical Maser Experiments," Phys. Rev. Lett., 12, pp.558 (1964)
- [2] M.E. Belov, S.S. Alimpiev, V.V. Mlynsky, S.M. Nikiforov, and P.J. Derrick, "Laser Ablation of Organic Molecules from Frozen Matrices," Rapid Communications in Mass Spectrometry, 9, pp. 1431-1436 (1995)
- [3] J.K.R. Weber, J.J. Felten, and P.C. Nordine, "Laser Hearth Melt Processing of Ceramic Materials," Review of Scientific Instruments, 67, pp.522-524 (1996)
- [4] R.C. Harney, "CO₂ Lasers for Military Applications," SPIE Vol. 1042 CO₂ Lasers and Applications, pp.42-54 (1989)
- [5] P. Loosen, "Recent Development of Lasers for Materials Processing", Proc of LAMP '92, Nagaoka, Vol. 1, pp.61-66.
- [6] A. Lapucci, "Hybrid stable-unstable resonators for diffusion-cooled CO₂ alab lasers", Appl. Opt. Vol. 35, No. 18, pp.3185-3191 (1996)
- [7] W. J. Witteman, *The CO₂ Laser*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany (1987)
- [8] D.H. Lee, "Development of DC Self-Sustained Discharge-Excited Axial CO₂ Laser", K-J Symposium on ED and HVE, pp.36-40 (1998)