

### SMPS 방식의 고반복 펄스형 CO<sub>2</sub>레이저의 출력특성 최적화

이동훈\*, 정현주, 김도완, 김취영, 김희제, 조정수  
부산대학교 전기공학과

#### The Optimization of Output Characteristics with High Repetition Rate Pulsed CO<sub>2</sub> Laser Using SMPS

D. H. Lee\*, H. J. Chung, D. W. Kim, W. Y. Kim, H. J. Kim, J. S. Cho  
Dept. of Electrical Eng., Pusan national Univ..

**Abstract** - In this study, We have accomplished a new approach to develop a cheap and compact pulsed CO<sub>2</sub> laser system. We used a fast SCR as switching device instead of a thyatron in the pulsed power supply. Using the pulse transformer, energy in the condenser is transferred to the secondary, electrodes of discharge tube, from the primary. An axial and water cooled type was adopted as the laser cavity.

The laser performance characteristics as various parameters, such as gas pressure and pulse repetition rate, have been investigated.

As a result, the maximum laser output was 12.3[W] at a pulse repetition rate of 120[pps] and a filling pressure of 12[Torr].

펄스방전을 위하여 종래에는 고압 콘덴서에 충전된 에너지를 싸이랏론(thyatron)등의 고가의 스위치를 사용하였다. 이 방식은 고압, 고주파 짧은 펄스폭의 에너지 전달에는 용이하여 그 장점이 있는 반면, 기기 자체가 고가이며 제어장치 또한 복잡하다는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이러한 기존의 방식에서 벗어나 스위칭 소자로서 저가의 고속SCR을 사용하여 저압측에서 스위칭 제어를 실시하여 그 에너지를 고압·고주파 펄스 트랜스를 통해 레이저 방전관에 인가하였다.

공진기는 완성된 시스템의 유지·보수가 용이한 저속 축류형의 구조를 채택하였다. 실험실에서 직접 설계 및 제작한 펄스 전원을 사용하여 레이저 출력 특성을 비교 검토하였다.

### 1. 서 론

CO<sub>2</sub> 레이저는 현존하는 레이저 중에서 가장 효율이 높으며, 광공진기 내의 레이저 매질 가스를 전기 방전에 의해 여기 시키는 대표적인 기체 레이저로서 연속으로 수 십 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].

레이저 작동방법 또는 시간에 따른 빔의 출력 조절 방법은 연속적으로 일정 출력을 내는 CW(continuous wave)방식과 출력을 변화시키는 펄스 방식으로 나눌 수 있다. 급속의 정밀절단, 심용접에서는 수 십 Hz로부터 수 kHz의 펄스 출력이 필요하다.

펄스 방식은 Normal Pulse와 Super Pulse로 크게 나눌 수 있으며 이외에 CW와 Super Pulse의 조합, Normal Pulse와 Super Pulse의 조합을 들 수 있다. Normal Pulse의 경우에는 Pulse의 파고치가 연속파의 파고치와 동일하기 때문에 펄스의 평균 출력은 연속파의 경우보다 낮게 된다. Super Pulse의 경우에는 Pulse 파고치를 연속파의 파고치보다 수 배 높게 할 수 있으므로 평균출력은 낮지만 높은 첨두출력을 요구하는 가공재료(예: 유리, SUS)에 긴요하게 사용된다. CW와 Super Pulse가 조합된 방법은 두꺼운 알루미늄 절단에 효과적으로 사용되는데 알루미늄은 열전도도가 크고 산화물의 조성이 치밀하며 용융점이 높으므로 CW로 충분한 에너지를 공급하고, Super Pulse로 산화막을 파괴시켜 타 작동법에서 얻을 수 없는 좋은 절단효과를 얻을 수 있다.

최근에 이러한 펄스형 CO<sub>2</sub> 레이저의 이용이 증가함에 따라 우수한 빔질, 유지와 보수의 편리성, 장치의 소형화, 저가격화 등이 요구되고 있으며, 이러한 특성을 충족시키기 위해서는 레이저 전원장치의 경제적인 설계가 매우 중요하다.

### 2. CO<sub>2</sub> 레이저 시스템의 구성

전체 시스템은 크게 나누어 공진기와 펄스 전원장치로 구성되어 있으며, 그 외에 냉각장치, 가스 공급장치, 진공 펌프와 압력계 등이 있다.

#### 2-1. CO<sub>2</sub> 레이저 공진기 시스템

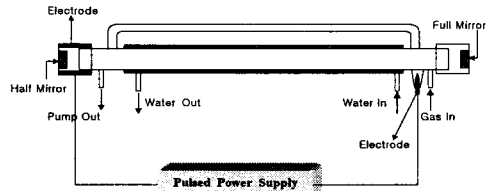


그림 1 펄스형 CO<sub>2</sub> 레이저 시스템의 개략도  
Fig.1 Schematic diagram of the Pulsed CO<sub>2</sub> Laser System

본 연구에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 방전 경로와 광축이 동일한 축류형을 채택하였다. 레이저 방전관으로 길이 100[cm], 내경 24[mm], 두께 2[mm]인 파이렉스(Pyrex)관을 사용하였고, 전극간 거리는 약 90[cm]로 하였다. 연속 동작에 따른 온도 상승에 의해 발생하는 출력의 저하를 방지하기 위하여 방전관 외측에 내경 30[mm], 두께 2[mm]인 파이렉스관을 이중으로 제작하여 수냉하였다.

레이저 발전을 위해 전방사경은 열팽창계수가 작고 열전도도가 크며, 경도가 높은 직경 1.5 인치, 곡률 반경 10[m], 반사율 99.5[%]인 몰리브덴을 사용하였고, 부분 반사경은 열적 파탄에 대한 성질이 좋고 기계적 강도와

열전도도가 크며, 흡수계수가 적은 반사율 90[%]인 ZnSe(Zinc Selenium)을 채택하였다. 또한 바이패스(Bypass)관을 설치하여 전극 주위 가스 과열에 의한 방전관 내의 온도 상승과 압력차를 작게 하고, 방전시 CO<sub>2</sub> 분자의 해리에 의한 불순물의 발생을 감소시켰다.

## 2-2. 펄스 전원 장치

본 연구에서 사용된 전원장치는 실험실에서 직접 설계 및 제작한 수 십Hz에서 수 백Hz의 반복율에 적합한 스위칭 소자로서 고속SCR을 사용하여 1차측 콘덴서(10 μF)에 충전된 에너지를 고압·고주파 펄스 트랜스를 사용하여 고압의 펄스로 변환시켜 레이저 방전관에 인가하였다. 펄스 반복율은 1~120[pps]까지 가변할 수 있도록 설계하였고, 2차측의 출력 전압은 20[kV]까지 얻을 수 있다. 그림 2는 실험에 사용된 펄스 전원 장치의 개략도이다.

그림 3은 고압 펄스를 방전관에 인가하였을 때 양전극 사이의 전압파형이다. 전압 펄스폭은 약 70[μs]이다.

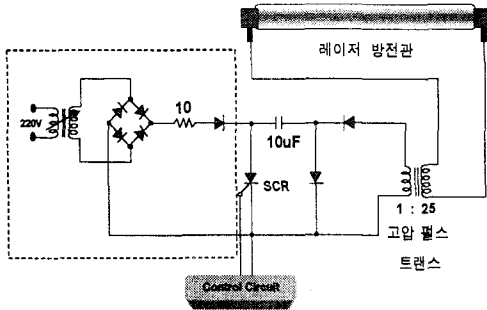


그림 2 고압 펄스 전원의 개략도  
Fig. 2 Schematic diagram of the high voltage Pulsed Power Supply

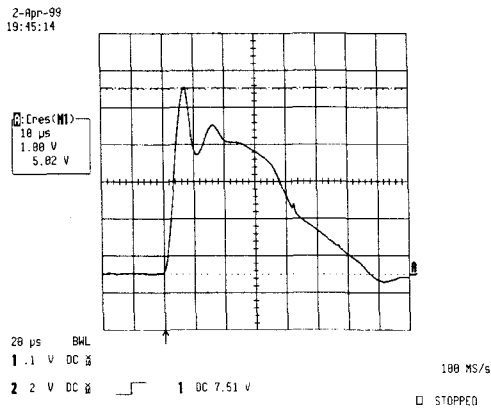


그림 3 펄스 방전시의 전압파형  
Fig. 3 Voltage waveform between electrodes in pulsed discharge

## 3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 펄스형 CO<sub>2</sub> 레이저의 출력에 영향을

미치는 중요한 요소인 동작 압력과 펄스 반복율에 따른 레이저 출력 특성을 연구하였다. 실험 방법으로는 로타리 펌프로 광공진기 내의 배경 가스압을 10<sup>-2</sup>[Torr]까지 배기시킨 후 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, He 혼합 가스를 일정 압력까지 주입하고, 양단 전극에 고압 펄스를 인가하여 글로우 방전을 발생시켰다. 글로우 방전의 안정상태를 확인한 후 펄스 반복율과 동작압력을 변화시켜가며 레이저 출력 변화를 비교·검토하였다.

동작압력 6[Torr] 펄스 반복율 1[pps]에서 레이저가 발진하였으며, 실험범위는 펄스 반복율 1~120[pps]와 동작압력 6~14[Torr]까지로 하였다.

펄스방진이 안정화된 시점에서 레이저 출력은 Energy Meter(Gentec사 모델명 PS-1K)로 측정하였다. 레이저 매질 가스는 여러 문헌들과 직접 실험한 결과를 토대로 얻어진 최적 혼합비율인 CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> : He = 1 : 3 : 10 으로 하였다[6-11].

### 3-1. 펄스 반복율에 따른 레이저 출력 특성

그림 4는 일정 압력하에서 동작 주파수에 따른 레이저 출력 특성을 나타내고 있다. 동작 주파수가 증가함에 따라 레이저 출력도 증가하고 있다. 이론상으로는 반복율이 증가하면 레이저 출력은 싱글 펄스일 때의 레이저 출력에서 반복 주파수를 곱한 값이 된다. 동작 압력 10[Torr]인 경우 싱글 펄스에서 출력이 0.088[W]였다. 따라서 반복율 120[pps]를 곱한 값인 10.56[W](0.088×120=10.56)의 출력이 기대되나 실험상으로는 9.8[W]였다. 즉, 주파수가 증가함에 따라 출력이 계산치 보다 낮게 나왔다.

콘덴서 양단의 임피던스 성분은 주파수가 변함에 따라 (1/ωC)와 같이 변한다. 따라서, 입력측 전압이 일정할 때 콘덴서 양단에 인가되는 전압은 전류제한 저항과 콘덴서 양단사이의 전압분배 법칙에 의해 결정된다. 주파수가 증가함에 따라 콘덴서의 임피던스 성분은 저하하고, 따라서 콘덴서에 충전되는 전압 또한 줄어들게 된다. 즉, 주파수가 증가하게 되면 일정 입력 전압에서는 주파수가 낮은 경우에서보다 전류제한 저항에서 Joule 열로 발생하는 손실(V<sup>2</sup>/R)이 커지게 되므로 레이저 출력의 증가폭은 감소하게 된다.

그림 5는 싱글 펄스로 방전시킬 경우 압력에 따른 레이저 출력을 나타내고 있다.

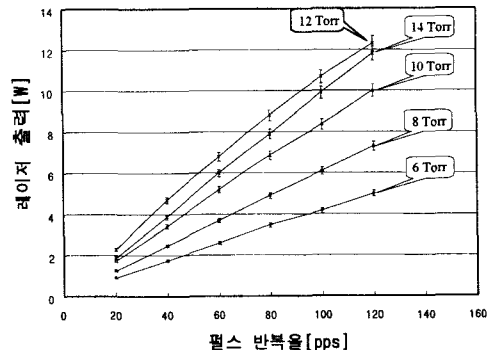


그림 4 펄스 반복율에 따른 레이저 출력  
Fig. 4 Laser output vs. pulse repetition rate

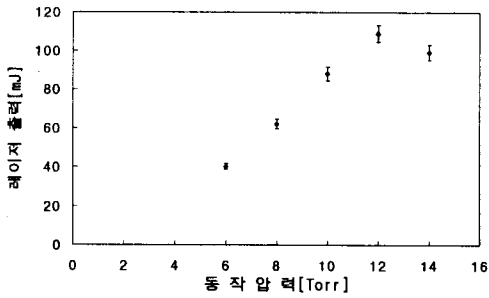


그림 5 Single 펄스에서의 레이저 출력  
Fig. 5 Laser output in single pulse

### 3-2. 동작압력에 따른 출력 특성

그림 6은 동작압력에 따른 레이저 출력의 변화를 나타낸다. 동작압력을 6[Torr]에서 14[Torr]까지 2 [Torr]씩 가변시키면서 출력을 구하였다. 동작압력이 증가하면 레이저 출력도 10[Torr]까지는 증가하지만 동작압력 12[Torr]부근부터 그 출력이 감소하였다. 최대 레이저 출력은 동작압력 12[Torr], 펄스 반복율 120[pps]에서 약 12.3[W]이었다.

동작압력이 상승함에 따라 CO<sub>2</sub> 및 N<sub>2</sub> 분자의 밀도가 증가하므로 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 6에서 보면, 12[Torr]에서는 레이저 출력이 포화되는 것을 알 수 있다. 이와 같은 저속 축류형 CO<sub>2</sub> 레이저는 확산 냉각이 지배적이기 때문에 단위 체적당 투입할 수 있는 최대 입력이 0.5[W/cm<sup>2</sup>] 정도로 제한되어 있으므로 더 높은 출력을 얻기 위해서는 고속 축류형이나 횡류형 등을 사용해야 한다[7].

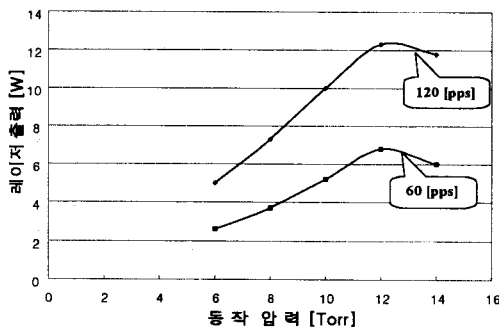


그림 6 압력에 따른 레이저 출력 특성  
Fig. 6 Laser output characteristics vs. filling pressures

## 4. 결 론

본 연구에서는 표면처리, 정밀계측용, 의료용, 마이크로머시닝 등의 다양한 용도로 활용할 수 있는 새로운 방식의 전원을 채용한 저출력 축류형 펄스 CO<sub>2</sub> 레이저

를 개발하기 위한 시스템 설계 및 제작, 그리고 완성된 시스템의 동작특성을 파악하고자 하였다.

즉, 펄스 전원으로 기존에 사용되고 있는 싸이라트론 등과 같은 고가의 스위칭 소자를 채택한 것과는 달리 저가의 고속SCR과 고압·고주파 펄스 트랜스를 이용한 펄스 전원을 사용하여 동작압력, 펄스 반복율에 따른 레이저 출력 특성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 동작 압력 6[Torr] 펄스 반복율 1[pps]에서 레이저 출력은 약 40[mJ]이었고, 동작압력 12[Torr] 반복율 120[pps]에서 최대 레이저 출력은 12.3[W]였다.
2. 주파수가 증가함에 따라 레이저 출력은 증가하였지만 그 증가폭은 조금씩 감소하였다.
3. 압력이 증가함에 따라 레이저 출력이 증가하나 12[Torr]에서 최대 출력을 보였으며 12[Torr]이상에서는 다시 감소하였다.

본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단 대학 부설연구  
구소 과제 연구비에 의하여 연구되었음

### (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, "CO<sub>2</sub> Lasers for Military Applications," SPIE Vol. 1042 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> laser", Sov. J. Quantum Electron. Vol. 11, No. 12, pp.1535-1549 (1981)
- [7] W. J. Witteman, The CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> Laser", Rev. Laser Eng. Vol. 15, No. 4, pp.34-38 (1987)
- [9] A. Lapucci, "Hybrid stable-unstable resonators for diffusion-cooled CO<sub>2</sub> slab lasers", Appl. Opt. Vol. 35, No. 18, pp.3185-3191 (1996)
- [10] K. Terai, "Characteristics of RF Excited CO<sub>2</sub> Lasers", Rev. Laser Eng. Vol. 21, No. 4, pp.39-48 (1993)