

유도형(誘導型) Pulsed Power 전원을 이용한 CO2 레이저 동작 특성에 관한 연구

김근용, 민병대, 김용철, 이유수, 정현주, 김희재
부산대학교 전기공학과

A Study on Operating Characteristics of the CO2 Laser with Inductively Pulsed Power System

Geun-Yong Kim, Byoung-Dae Min, Yong-Cheol Kim, Yu-Soo Lee, Hyun-Ju Chung, Hee-Je Kim.
Dept. of Electrical Eng., Pusan national Univ.

Abstract - Recently, the pulsed power system has been used to many applications.

Such as remediation of environmental hazards, food sterilization, air pollution control, E/P(Electrostatic Precipitator), DeNOx/DeSOx power system, ozone generator, high energy physics, and other power source applications.

A pulse energy efficiency for load depends on the rising time, peak value, pulse duration and impedance matching etc.

The pulsed power system generally required for short pulse duration and high peak value was forced to consider its volume and economy.

In this paper, we investigated operating characteristics of the CO2 laser using an inductively pulsed power system.

1. 서 론

전기적인 에너지를 축적하였다가 순간적으로 방출할 때에는 엄청난 양의 펄스 에너지를 얻을 수 있다.

이러한 에너지를 펄스 파워(pulsed power)라고 한다. 펄스 파워는 현재 여러 영역에서 응용되고 있고 그 기술도 급속히 진보하고 있다.

이와 같이 순간적으로 큰 에너지는 강력한 레이저, 입자빔(beam), 마이크로파(microwave), X-선의 발생 및 전자(電磁)가속, 초고온, 초고밀도, 초고압 등의 극한 상황의 실현, 전력 기기 등의 임펄스(impulse) 전압 시험 등을 할 수 있다.

그 구체적인 응용분야로는 핵융합 발전이나 대(大)출력 레이저 등의 분야에서부터 전자성형가공이나 암석파괴, 혹은 배기가스 처리 등의 분야까지 폭넓게 퍼져 있다.

종래의 펄스 파워 발생장치라고 하면, 콘덴서나 마르크스 발생기(Marx generator) 등을 이용한 용량성(容量性) 에너지 축적방식이 일반적이었다.

그러나 용량성 에너지 축적방식은, 사용되고 있는 콘덴서가 그 규모 및 가격이 막대하여 비(非)경제적이었다.

반면에 인덕터를 이용한 유도성(誘導性) 에너지 축적방식은 용량성에 비해서 단위 체적당 축적되는 에너지 밀도가 높고, 경량이어서 콤팩트(compact)화에 유리하다.

본 연구에서는 인덕턴스(inductance)를 이용한 유도형 에너지 축적 방식을 CO2 레이저에 적용하여 인덕턴스에 따른 레이저 빔(beam) 반치폭(半值幅, FWHM :

Full Width at Half Maximum)의 변화, 또 그때의 레이저 광 파형 및 커패시턴스(capacitance)에 따른 레이저 출력 특성을 실험하였다.

2. 본 론

2.1 레이저 시스템의 구성

전체 시스템은 크게 나누어 공진기, 유도형 펄스 파워 전원 장치, PIC one-chip 마이크로프로세서를 이용한 제어장치 등이 있다.

2.1.1 공진기 시스템

본 연구에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 방전 경로와 광축이 동일한 축류형과, plano-concave 공진기를 채택하였다.

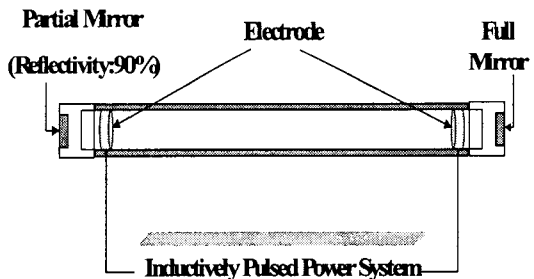


그림 1. 유도형 펄스 파워 전원에 의한 CO2 레이저 공진기 개략도.

Fig. 1 Schematic diagram of the CO2 Laser Resonator using an Inductively Pulsed Power System.

레이저 발진을 위한 전반사경은 열팽창계수가 작고 열전도도가 크며, 경도가 높은 직경 1.5 인치, 곡률 반경 10 m, 반사율 99.5 %인 몰리브덴 렌즈를 사용하였고, 부분반사경은 발진 문턱치를 낮추기 위해 반사율이 90 %이고 기계적 강도와 열전도도가 크며, 흡수계수가 작은 ZnSe(Zinc Selenide)렌즈를 채택하였다.

레이저 방전관으로는 길이 100cm, 내경 16mm, 두께 2mm인 파이렉스(Pyrex)관을 사용하였으며, 방전 플라즈마를 발생시키기 위한 방전관의 체적은 90mm×π×64mm이다. 방전부는 알루미늄으로 만든 원통형 전극을 방전관에 부착하여 만들었으며, 전극간 거리는 약 90cm로 하였다.

방전관 외벽에는 연속 동작시 방전 플라즈마로 인한 온도 상승에 의해 야기되는 출력의 불안정을 방지하기 위하여 내경 30mm, 두께 2mm인 파이레스 관을 이중으로 제작하였다.

2.2 펄스 파워 전원 장치

그림 2는 유도성 에너지의 전형적인 방전 회로이다. 기존의 용량성 에너지를 이용하여 펄스 파워를 발생시킬 때는, 유전체와 외함의 누설 전류에 의한 손실, 배향 분극과 공간 전하 분극에 의한 손실, 전극과 연결선의 저항에 의한 손실 및 부분 방전에 의한 손실로 장기간 사용하게 되면 커패시턴스가 절연 파괴에 이르게 된다.

하지만, 유도성 에너지는 매질 중에 자계(磁界) 에너지 성분으로서 자장(磁場)을 형성한다.

따라서 인덕턴스의 저장 에너지 밀도는 커패시턴스에 비해 상당히 크고, 에너지를 저장시키고 있는 시간은 매우 짧은 특징을 가지고 있다.

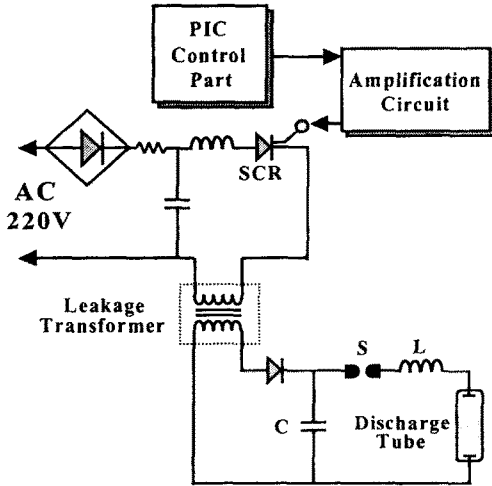


그림 2. 유도형 에너지 축적방식을 이용한 레이저 전원 회로.

Fig. 2 Laser Power Supply using Inductively Pulsed Power System.

전원회로의 동작원리는 다음과 같다.

먼저, PIC one-chip 마이크로프로세서로 구성된 제어 회로(PIC control part)에서 출력되는 신호는 증폭회로(amplification circuit)를 거쳐 누설 변압기(leakage transformer) 1차측의 SCR(Silicon Controlled Rectifier)을 트리거(trigger)시킨다.

그 후 2차측의 커패시턴스(C)에 일정 전압이 충전되면 트리거-트론(trigger-tron)형의 스위치(S)를 통해 인덕턴스(L)로 에너지를 전송하게 된다.

2.3 실험 결과

그림 3은 커패시턴스(C)의 값을 일정하게 둔 상태에서 누설 변압기 2차측의 인덕턴스(L)에 따른 레이저 출력 빔 파형의 반치폭을 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 인덕턴스(L)에 따라 레이저 출력 빔의 반치폭만이 변화할 뿐, 출력 에너지에는 거의 영향을 주지 않았다.

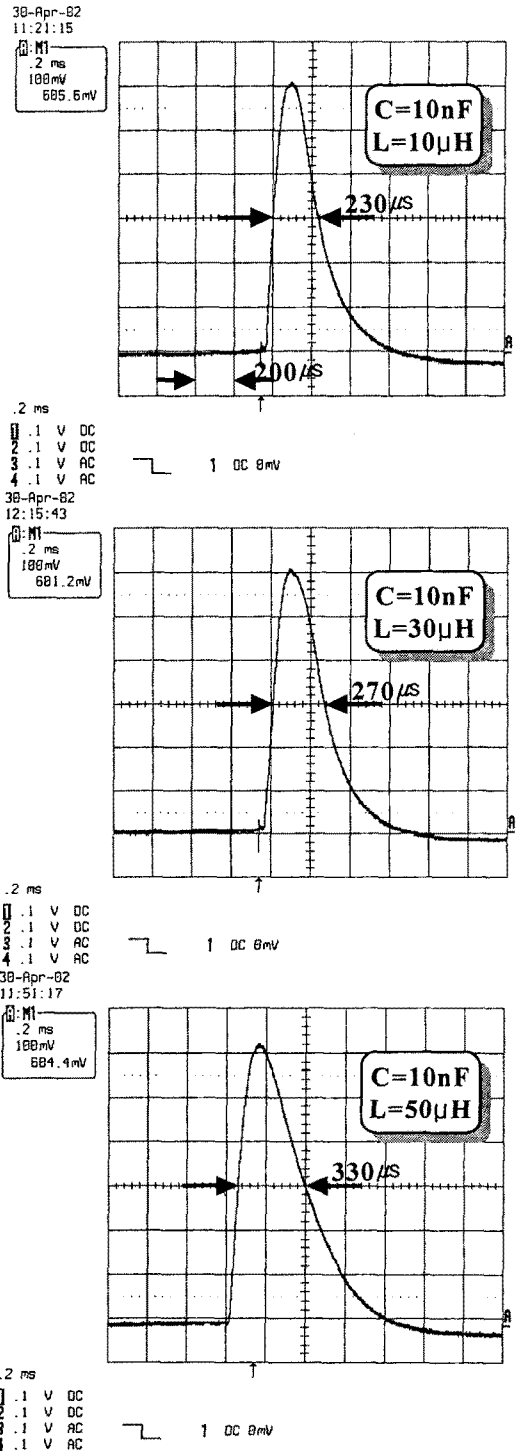
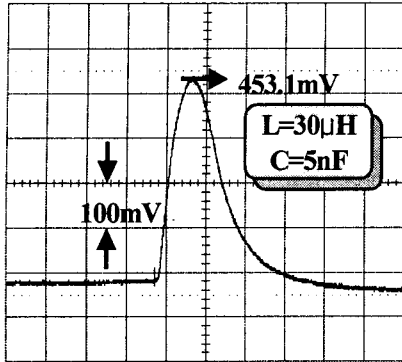


그림 3. 인덕턴스(L)에 따른 레이저 출력 펄스폭의 변화.

Fig. 3 Laser Output FWHM as the value of Inductance.

30-Apr-82
12:38:32

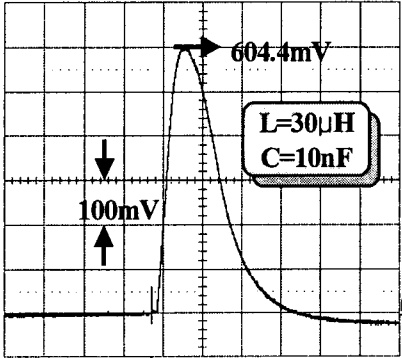
M1
.2 ms
100mV
453.1mV



.2 ms
1 .1 V DC
2 .1 V DC
3 .1 V AC
4 .1 V AC

30-Apr-82
12:53:03

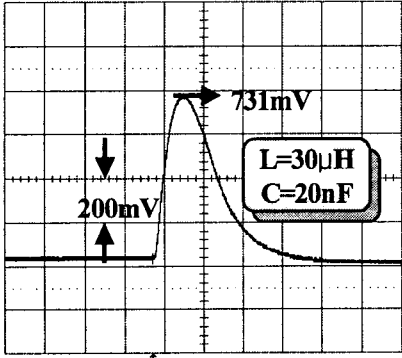
M1
.2 ms
100mV
604.4mV



.2 ms
1 .1 V DC
2 .1 V DC
3 .1 V AC
4 .1 V AC

30-Apr-82
11:32:58

M1
.2 ms
200mV
731mV



.2 ms
1 .1 V DC
2 .1 V DC
3 .1 V AC
4 .1 V AC

그림 4. 커패시턴스(C)에 따른 레이저 출력 빔의 변화.

Fig. 4 Laser Output Beam as the value of Capacitance.

이와 반대로 그림 4는 인덕턴스(L)의 값을 일정하게 둔 상태에서 누설 변압기 2차측의 커패시턴스(C)에 따른 레이저 출력 빔의 파형을 나타낸 것이다.

그림에서도 알 수 있듯이 커패시터(C)에 따라 레이저 출력 빔의 최고값(peak value)은 변화하였다.

하지만 출력 빔의 반치폭에는 별다른 영향을 끼치지 못했다.

레이저 출력 빔의 프로파일 측정은 파이로 일렉트릭 디텍터(Pyroelectric detector : Molelectron : P5-01)를 사용하였다.

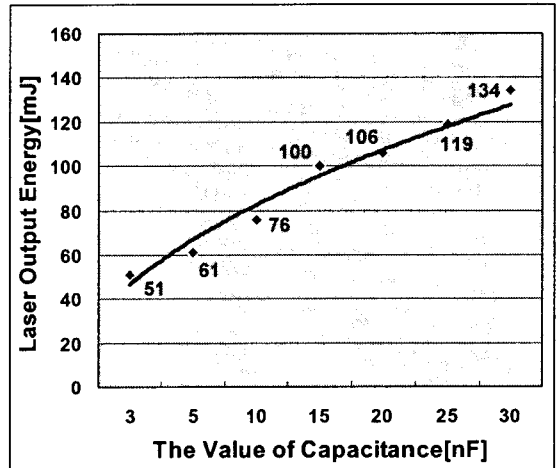


그림 5. 커패시턴스(C)에 따른 레이저 출력 에너지.

Fig. 5 Laser Output Energy as the value of Capacitance.

그림 5에서는 인덕턴스(L)의 값을 일정하게 둔 상태에서 커패시턴스(C)에 따른 레이저 출력 에너지의 변화를 나타내었다.

커패시턴스(C) 용량이 증가할수록 레이저 출력 에너지도 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

레이저 광(光) 출력은 SCIENSTECH사의 모델명 ASTRAL AC2501 에너지 미터(energy meter)를 사용하였다.

3. 결 론

본 연구에서는, 단위 체적당 축적되는 에너지 밀도는 높고, 에너지 저장시간은 매우 짧은 특성을 가진 유도형 펄스 파워 전원장치를 CO₂ 레이저에 적용하여 그 동작 특성을 알아보았다.

그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

인덕턴스는 레이저 출력 에너지에는 큰 영향을 미치지 못했지만 레이저 펄스 폭(FWHM)을 가변 시켰다.

레이저 출력 에너지는 커패시턴스의 용량에 비례하여 거의 선형적으로 증가하였다.

향후 인덕턴스에 축적된 대전류를 고속 차단할 수 있는 오픈링 스위치(opening switch)를 사용하여 상승 시간(rising time) 빠르며, 펄스 폭이 짧은 대전력·고밀도의 레이저빔을 얻을 수 있도록 계속적인 실험을 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Ludwig R.; Bretchko P.; Makarov S., "Magnetic and eddy current effects in an open-loop pulsed hysteresis graph system for magnetization of rare-earth magnets", Magnetics: IEEE Transactions on; Volume: 38 Issue: 1 Part: 2, Page(s): 211 -220, Jan. 2002.
- [2] Samaranyake W.J.M.; Namihira E.; Katsuki S.; Miyahara Y.; Sakugawa T.; Hackam R.; Akiyama H., "Pulsed power production of ozone using nonthermal gas discharges", IEEE Electrical Insulation Magazine; Volume: 17 Issue: 4, Page(s): 17 -25, July-Aug. 2001.
- [3] Ross E.V., Domankevitz Y., Skrobal M., Anderson R.R., "Effects of CO₂ laser pulse duration in ablation and residual thermal damage: Implications for skin resurfacing", Lasers in Surgery and Medicine, 19, pp. 123-129, 1996.
- [4] Wilder-Smith P., Peavy G.M., Nielsen D., Arrastia-Jitosho A. M., "CO₂ laser treatment of traumatic pulpal exposures in dogs", Lasers in Surgery and Medicine, 21, pp.432-437, 1997.
- [5] P. K. Bhadani and R. G. Harrison, "Efficient long pulse TE-CO₂ laser using magnetic-spiker sustainer excitation", Rev. Sci. Instrum., 63(12), pp.5543-5545, 1992.
- [6] Stevenson P.; Gregory K.; Cliffe R.J.; Smith I.R., "Plasma sources for plasma opening switches", Pulsed Power 2001 (Ref. No. 2001/156): IEE Symposium, Page(s): 21/1 -21/4, 2001.
- [7] Marsh P.; Dolan J., "Compact multichannel 50kV 25ohm blumlein pulser with 2.5ns rise-time and 55ns FWHM", Pulsed Power 2001 (Ref. No. 2001/156): IEE Symposium, Page(s): 7/1 -7/4, 2001.
- [8] James P. O'Loughlin and Diana L. Loree, "Synthesized pulse forming networks for long pulse high duty cycle magnetron or other type loads Pulsed Power Conference", 1999. Digest of Technical Papers. 12th IEEE International, 1, pp.429-432, 1999.
- [9] Young A.J.; Novac B.M.; Smith I.R.; Lynn B.; Miller R.A., "Two-dimensional modelling of a double-spiral coil system for high electric field generation for biological applications", Pulsed Power 2001 (Ref. No. 2001/156): IEE Symposium, Page(s): 19/1 -19/4, 2001.
- [10] 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, pp.1167-1170, 1981.