

Multi-discharge방식을 이용한 long-pulse 고체 레이저 개발에 관한 연구

홍정환, 송금영, 노기경, 김희영*, 강욱**, 김희재
 부산대학교 전기공학과, 동주대학*, 한국전기연구원**

A study on long-pulse solid-state laser development using Multi_discharge method

Jung-Hwan Hong, Kum-Young Song, Ki-Kyung Rho, Whi-Young Kim*, Uk Kang**, Hee-Je Kim
 Pusan national Univ., Dong-Joo college*, KERI**

Abstract - 펄스형 Nd:YAG 레이저는 연속형에 비해 효율이 높고 높은 첨두 출력(peak power)이 가능하므로 가공에 있어서 여러 가지 장점이 있다. 더구나 레이저 펄스 모양을 가변시키는 기능은 펄스형 Nd:YAG 레이저로 가공하기 힘든 특수분야에까지 가공을 가능하게 하였다.

본 연구에서는 3개의 플래쉬램프를 순차 점등시키는 MD(multi-discharge)방식의 레이저 시스템을 설계 및 제작하여, 램프 점등 시간의 변화에 따른 레이저 빔의 펄스폭과 펄스 세기(펄스 크기)를 조사하였다. 즉, PIC One-Chip microprocessor를 이용하여 실시간으로 3개의 플래쉬램프를 순차적으로 점등시켜 보다 다양한 펄스 모양을 만드는 기술을 개발하였다.

위 방식의 장점은 램프의 점등 지연시간을 0~10ms 까지 다양하게 변화시킬 수 있고, 외부의 키보드로 실시간 제어가 가능하므로 보다 편리하게 펄스 모양을 변화시킬 수 있다. 또한 긴 펄스를 만들 수 있어 산업용 가공이나 의료용으로 널리 사용될 수 있을 것이다.<

1. 서 론

최근 레이저를 이용한 응용분야는 재료가공, 산업계측, 의료용 기기 등 다양한 분야에서 각광을 받고 있다.

재료가공 분야에서 레이저를 이용한 가공기술은 산업 현장에서 섬세하고 정밀한 가공이 요구됨에 따라 그 응용범위가 더욱더 확대되고 있다. 재료가공에 널리 쓰이는 레이저의 종류로는 Nd:YAG, CO₂, Excimer 레이저 등이 있으며 출력 형태로는 펄스형(pulse), 연속형(CW), Q-switching 형 등이 있다. 이들 레이저는 각각의 특성에 따라 독자적인 응용분야를 가지고 있다.^{1,2)}

펄스형 Nd:YAG 레이저는 연속형에 비해 효율이 높고 높은 첨두 출력(peak power)이 가능하므로 가공에 있어서 여러 가지 장점이 있다. 더구나 레이저 펄스 모양을 가변시키는 기능은 펄스형 Nd:YAG 레이저로 가공하기 힘든 특수분야에까지 가공을 가능하게 하였다.

고전적인 레이저 출력 펄스 모양은 출력의 세기와 출력 펄스의 폭을 두 개의 축으로 하는 이차원적 구조에서 보통 직사각형 형태를 하고 있다. 이 때 펄스모양의 가변이란 출력의 세기(펄스의 크기) 및 출력 펄스의 폭(길이)을 단일 출력 펄스 내에서 가변하는 것을 말한다. 따라서 출력 펄스의 모양은 직사각형 형태가 아닌, 용도에 따라 매우 복잡한 형태를 띄게 된다.^{3,4)}

레이저 출력 펄스 가변에는 출력의 세기(펄스의 크기), 펄스폭(길이) 등의 두 가지 변수가 있다. 레이저를 가공물에 집광시켜 조사하면 가공물은 레이저 빛을 흡수하여 국부적으로 온도가 상승하게 된다. 이때 상승온도는 조사한 레이저의 세기와 가공물의 재료의 특성에 따라 달라지며 가공과정에 따라 요구되는 온도상승이 다르다. 따라서 출력펄스의 세기를 조절하여 상승온도를 적절하게 조절함으로써 보다 섬세하게 가공 할 수가 있다. 또한 레이저 출력 펄스 폭의 가변은 레이저 용접의 경우

충분히 용접이 될 수 있도록 긴 펄스(약 2~20msec)가 필요하고, 구멍가공의 경우 0.1~3msec 정도가 필요하다. 이와 같이 가공의 종류마다 요구되는 펄스의 세기와 폭이 달라지므로 기존의 직사각형 형태의 레이저 펄스 모양으로는 다양한 가공을 처리하는데 있어 한계가 있다. 따라서 레이저 출력의 세기와 펄스폭을 자유자재로 변화시킬 수 있다면 직사각형 펄스모양에 의한 가공 한계를 극복할 수 있다.^{5,6)}

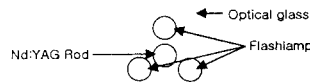
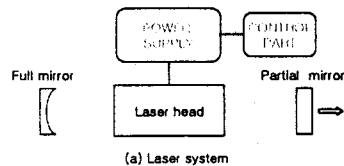
기존의 펄스 가변 방식은 커패시턴스(capacitance) 또는 인덕턴스(inductance)를 가변시키는 방식과 스위칭 소자(IGBT, SCR, FET 등)의 스위칭 시간을 변화시켜 펄스모양을 가변시키는 방식이 주로 사용되고 있다. 이러한 방식은 펄스 모양과 펄스폭의 가변이 제한되어 있고, 스위칭소자를 제어하는 제어시스템이 복잡하고 제어하기가 어렵다.

따라서 본 연구에서는 플래쉬램프의 순차적인 점등에 따라 펄스폭을 가변시킬 수 있는 새로운 방식인 MDM(multi-discharge method)를 제안한다.

위 방식은 실시간(Real time) One-Chip 마이컴을 이용하여 1μm 까지 정밀하게 플래쉬램프를 순차적으로 점등시킴으로써 보다 다양한 펄스 형상, 펄스세기, 긴 펄스(long pulse) 등을 만들 수 있어 특수한 가공 뿐만 아니라 의료기기 등 보다 많은 응용에 사용될 수가 있다.

2. 본 론

2.1 레이저 시스템



Full mirror(radius of curvature: +2m, R> 99.5%)
 Partial mirror(flat, R=85%)
 Nd:YAG rod(concentration of Nd atoms: 1.1%,
 length: 101.6mm, diameter: 6mm)
 Xe Flashlamp(arc length: 101.6mm, diameter: 6mm)

그림 1. 레이저 시스템 개략도
 Fig. 1 The schematic of laser system

그림 1은 레이저 시스템의 개략도이다. 발전기 중앙에 원형의 레이저 헤드와 있고, 그 양측에 레이저 발진을 위한 두 개의 거울, 즉 전반사경(반사율 99.5% 이상, 곡률반경 2m인 오목거울) 및 부분 반사경(반사율 85%의 평면거울)으로 안정형 공진기를 구성하였다. 광여기에 의한 레이저 cavity는 램프에서 방사되는 빛을 효과적으로 로드에서 전달시키기 위하여 반반사를 일으키는 optical glass를 사용하여 원형으로 제작하였다. 레이저 헤드는 원형 cavity의 중앙에 로드, 그 주변에 120°각격으로 3개의 플래쉬램프로 구성되어 있다.

2.2 전원회로 및 제어회로

2.2.1 MD방식의 레이저 전원회로

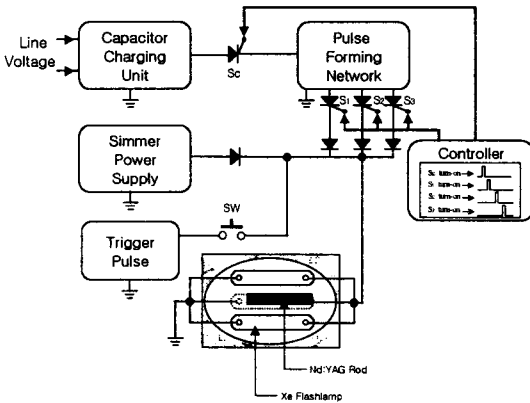


그림 3. MD방식의 펄스형 레이저 전원회로
Fig. 2 Pulsed laser circuit of MD method

그림 2는 PFN를 이용한 multi-discharge방식의 레이저 전원장치이다. 레이저 출력 펄스를 직사각형으로 만들기 위하여 6단 메쉬로 구성하였다. 실험에서 커패시턴스 C값, 인덕턴스 L값, 커패시턴스의 충전전압을 각각 1000 μ F, 1000 μ H, 600V로 하였다. 이 때 입력에너지, FWHM은 식 1, 2에 의하여 125J, 4ms이다.

$$E_0 = \frac{1}{2} C V_0^2 \quad \text{-----(1)}$$

$$t_d = 2\sqrt{LC} \quad \text{-----(2)}$$

위 회로의 동작원리는 다음과 같다.

1. Simmer power supply로 플래쉬램프의 양단에 DC 1(kV)를 인가한 후 Trigger pulse 회로의 스위치(SW)를 턴-온하게 되면 플래쉬램프에 스트리머 방전이 유지된다.
2. SCRC가 턴-온되면 PFN의 커패시턴스에 에너지가 충전된 후 SCR1, SCR2, SCR3가 순차적으로 턴-온되어 PFN의 커패시턴스에 저장된 에너지가 플래쉬램프로 전달되어 램프가 점등되게 된다.

2.2.1 원-칩 마이크로프로세서를 이용한 지연시간 제어회로

그림 3은 PIC One-Chip 마이크로프로세서로 구성된 SCR의 턴-온(turn-on) 지연 시간 제어 회로를 나타낸다. 이 제어 회로는 크게 4부분으로 구성되어 있다. 동작시킬 지연 시간을 입력하는 키보드, 입력받은 지연 시간을 표시하는 FND (Multisegmented LED Displays) 디스플레이(display), 이 제어 회로에서 가장 핵심 부분인 PIC 마이크로프로세서, SCR를 턴-온

시키기 위한 증폭회로로 구성되어 있다.

이 제어 회로의 동작은 먼저 지연 시간 정보가 키보드를 통하여 입력되면, 이는 PIC에 전달되고, PIC는 정해진 프로그램(program)에 의해 네 가지의 다른 신호를 출력시킨다. 이 신호로는 SCR를 턴-온시키기 미약하므로 고속 스위칭용 트랜지스터를 사용하여 전류 및 전압을 증폭시켰다. 이 증폭된 신호는 SCRC를 먼저 턴-온시킨 후 SCR1~SCR3를 1 μ m까지 정밀하게 순차적으로 턴-온시킨다.

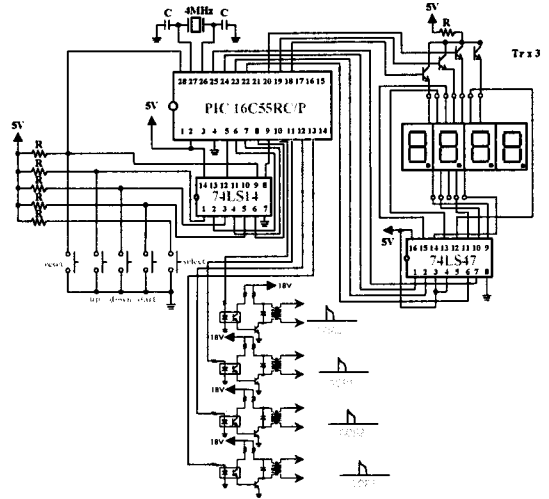


그림 3. 원-칩 마이크로프로세서를 이용한 지연시간 제어회로

Fig. 3 Delay time control circuit using one-chip microprocessor

2.2 실험결과

그림 4는 SCRC ~ SCR3의 게이트 트리거 파형이다. 파형 1은 SCRC가 트리거된 후 파형 2, 3, 4는 10 μ s씩 일정한 주기로 트리거되어 SCR이 순차적으로 턴-온 된다.

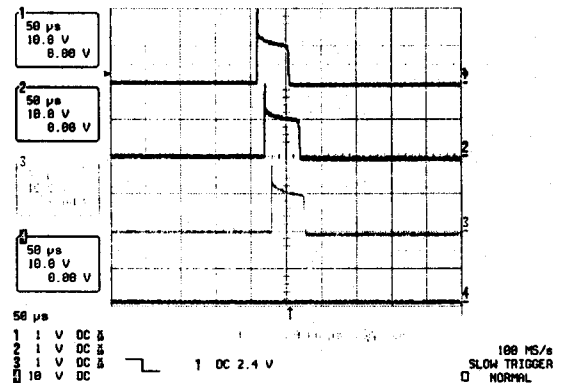


그림 4. SCR 게이트 트리거 파형
Fig. 4 SCR gate trigger waveform

그림 5는 3개의 플래쉬램프가 각각 점등되었을 때의 레이저 빔 프로파일을 나타낸다. 이 때의 FWHM은

약 4ms로 나타낸다

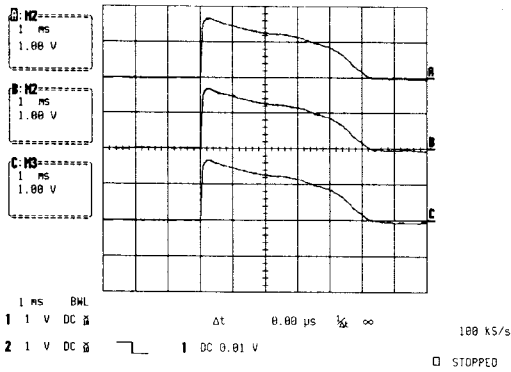


그림 5. 플래쉬램프가 각각 점등되었을 때의 레이저 빔 프로파일
Fig. 5 Laser beam profiles as each flashlamp was lighted

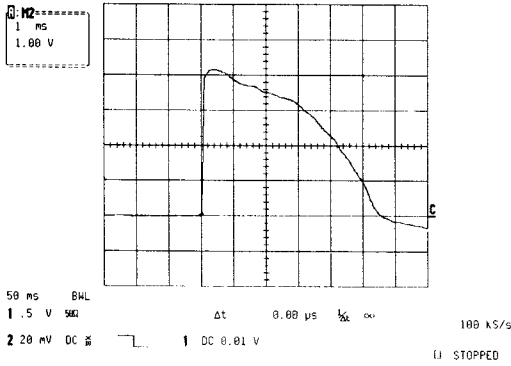


그림 6. 지연시간 $0\mu s$ 일 때의 레이저 빔 프로파일
Fig. 6 Laser beam profile as delay time $0\mu s$

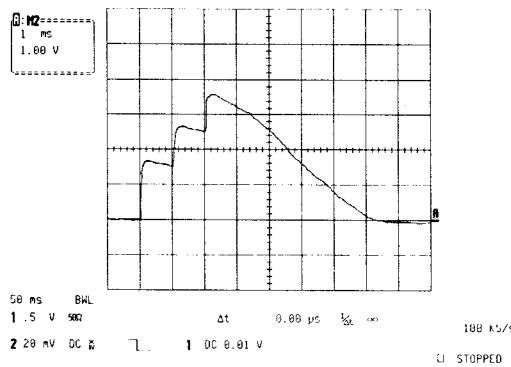


그림 7. 지연시간 1ms일 때의 레이저 빔 프로파일
Fig. 7 Laser beam profile as delay time 1ms

그림 6은 지연시간이 $0\mu s$ 일 때(램프가 동시에 점등되었을 때)의 레이저 빔 프로파일을 나타낸다. 이 때의 FWHM은 약 4ms이고 피크치는 플래쉬램프 1개만 점등되었을 때 보다 약 2.7배 높았다.

그림 7은 램프3개가 지연시간 1ms 간격으로 점등되었을 때의 레이저 빔 프로파일을 나타낸다. 이 때의 FWHM은 약 5ms이고 피크치는 플래쉬램프 1개만 점등되었을 때 보다 약 2배 높았다.

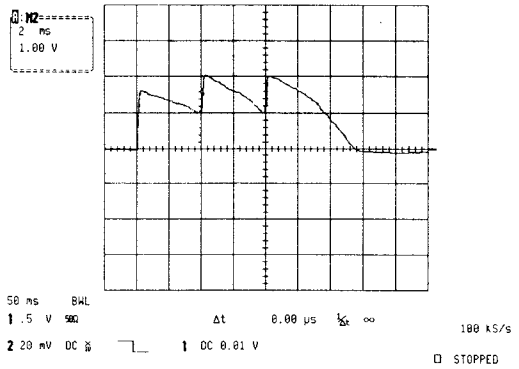


그림 8. 지연시간 2ms일 때의 레이저 빔 프로파일
Fig. 8 Laser beam profile as delay time 2ms

그림 8은 지연시간 2ms일 때의 레이저 빔 프로파일을 나타낸다. 이 때의 FWHM은 약 8ms이다.

3. 결 론

본 연구에서는 플래쉬램프를 순차적으로 점등시키는 새로운 방식인 MDM(multi-discharge method)를 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기존의 LC 가변방식과 스위칭소자(IGBT, SCR, FET 등)의 스위칭시간 제어방식이 가지고 있는 단점인 제한된 펄스형상을 다양하게 할 수 있고, 긴 펄스를 만들 수 있는 장점이 있다.
- (2) PIC One-Chip 마이컴을 이용하여 $1\mu m$ 까지 정밀하게 플래쉬램프를 순차적으로 점등시킴으로서 정밀하게 펄스형상을 제어할 수 있고, 실시간 제어 가능하므로 보다 편리하게 펄스 모양을 가변할 수 있다.
- (3) 본 연구는 MDM방식을 이용한 기초 실험이다. 따라서 향후 보다 체계적으로 실험하여 다양하고 정밀한 펄스형상 및 긴 펄스를 만들 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Kenichi Iga et al., "Fundamentals Laser Optics", Plenum Press, New York and London, pp. 13-15 (1994).
- [2] Yasutomo Fujimori, "Laser Material Processing in Electric Industries", Proceeding of Lamp '92, Nagaoka, pp. 981-986, (1992).
- [3] Albright, C. "Laser Welding, Machining and Materials Processing", IFS Publication, pp.8-12, (1996).
- [4] 田辛敏治 外 7人, "レーザーハンドブック", 朝倉書店, pp. 691-703, (1982).
- [5] Orazio Svelto, "Principles of Lasers", Plenum Press, New York, Chap. 9, (1982).
- [6] A. L. Petrov et al. "New Advances in Industry Application of YAG Pulse Lasers", Proceeding of Lamp '92, Nagaoka, pp. 993-997, (1992).