

Multi-discharge방식의 long-pulse 고체 레이저의 출력특성에 대한 연구

송금영, 객수영, 홍정환, 노기경, 김희제
부산대학교 전기공학과

A study on the output characteristics of long-pulse Nd:YAG laser of sequential discharge of method

K. Y. Song, S. Y. Kwak, J. H. Hong, K. K. Noh, H. J. Kim
Dept. of Electrical Eng. Pusan National Univ.

Abstract - In this study, a solid-state laser system adopting a sequential discharge method in which three flashlamps are turned on sequently was designed and fabricated to examine the pulse width and the pulse shape of the laser beams depending upon the changes in the lamp turn-on time. That is, this study shows a technology that makes it possible to make various pulse shapes by turning on three flashlamps sequently with the aid of a PIC one-chip microprocessor.

With this technique, the lamp turn-on delay time can be varied more diversely from 0 to 10ms and the real-time control is possible with an external keyboard, enabling various pulse shapes. In addition, longer pulses can be more widely used for industrial processing and lots of medical purposes.

1. 서 론

최근, 레이저응용은 재료가공 등의 산업분야와 의료분야에서 폭넓게 사용되고 있다.

재료가공분야에서, 레이저 가공기술은 더욱더 정교하게 사용되고, 정확한 가공기술은 많은 산업분야에서 필요로 하고 있다. 산업계와 의료용으로 사용되는 레이저의 종류로는 Nd:YAG, CO₂, Excimer 레이저 등이 있다. 출력형태로는 펄스형, 연속형, Q-스위칭형 등이 있다. 이들 레이저는 각각의 특성에 따라 독자적인 응용분야를 가지고 있다.

펄스형 Nd:YAG레이저는 연속형에 비해 높은 효율과 높은 침투 출력이 가능하므로 여러 가지 장점이 있다. 더욱이 레이저 출력 펄스 형상 제어가 가능함에 따라 기존의 펄스형상으로 하기 힘든 특수재료에까지 가공이 가능하게 되었다.

기존의 레이저 출력펄스는 출력의 세기와 출력 펄스폭의 이차원구조의 구형과 형태를 가진다. 이때, 펄스모양의 변화는 단일출력펄스에서 출력의 세기와 출력 펄스폭이 변화한 것이다. 그러므로 출력펄스의 모양은 구형과 대신에, 가공물질에 따라 매우 복잡한 모양을 가진다.

레이저 출력펄스 변화는 출력의 세기와 펄스폭이라는 2가지 변수를 가진다. 레이저 빔을 가공물에 집광시켜 조사하면 가공재료는 레이저 빔의 에너지를 흡수하여 국부적으로 온도가 상승하게 된다. 이때, 상승온도는 조사된 레이저의 출력 강도, 가공재료의 특성 및 가공과정에 따라 요구되는 온도상승이 다르다. 따라서, 출력펄스 강

도를 적절하게 조절하면 보다 섬세한 가공이 가능하다.

레이저 용접(welding)의 경우에는 충분히 용접이 될 수 있도록 레이저 출력 펄스폭이 약 2~20(ms)가 요구되며, 구멍가공(drilling)의 경우 약 0.1~3(ms)의 펄스폭이 적당하다. 따라서, 펄스세기와 폭은 물질가공의 종류에 따라 변하므로, 전형적인 구형과 펄스형태는 다양한 가공이 요구되는 곳에서는 제한적이다. 구형과 펄스의 이러한 제한은 레이저 출력세기와 펄스폭을 자유롭게 조절할 수 있다면 극복될 수 있다.

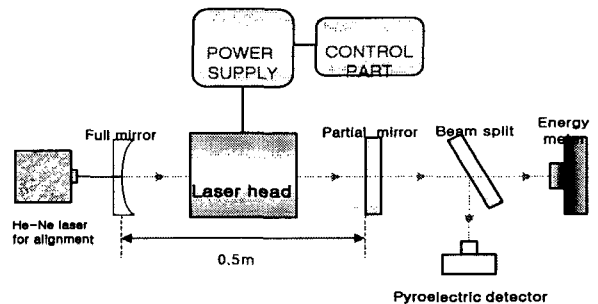
두 가지의 일반적인 펄스 변형방법이 있다. 커패시터나 인덕터를 변화시키는 방법과 스위칭소자(IGBT, SCR, FET, etc.)의 스위칭 시간의 변화이다. 이 방법들은 펄스형상과 폭의 변화가 제한적이고, 스위칭 소자의 제어 시스템이 복잡하고, 동작도 어렵다.

그러므로, 본 연구에서는 새로운 순차방전방식을 사용한 펄스폭 변화를 자유롭게 하는 방법을 제안한다. 이 방법은 3개의 플래쉬램프를 순차적으로 켜는 것이다. 실시간 one-chip microcomputer를 사용하며, 1μs까지 정확히 플래쉬램프를 순차 방전시키고, 다양한 펄스형상과 펄스세기를 만들 수 있으며, 또한 long 펄스를 만들 수 있다. 그러므로, 이 방법은 특수한 가공이 필요한 곳과 의료용 등의 다양한 분야에서 응용된다.

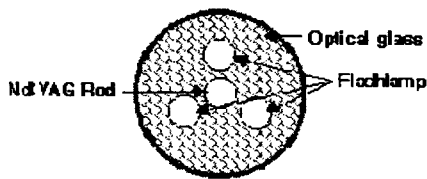
2. 설계

2.1 Laser system unit

그림 1은 레이저 시스템의 개략도를 나타낸다. 발전기의 중앙에 원형의 레이저 헤드와 있고, 그 양측에 레이저 발진을 위한 두개의 거울이 있다. 즉, 전반사경(99.5%이상의 반사율과 곡률반경 2m의 오목거울) 및 부분 반사경(85%의 반사율을 가진 평판 반사경)으로 안정한 공진기를 구성하였다.



(a)



(b)

그림1 (a) 레이저 시스템 개략도

(b) 순차방전 방식의 레이저 헤드

광 펄핑을 위한 레이저 공진기는 램프에서 방사된 빛을 효과적으로 로드(rod)에 전달하도록 레이저 cavity는 확산반사를 일으키도록 optical glass를 사용한 원통형으로 제작되었다. 원형 cavity의 중앙에 로드를 위치시키고, 120°의 간격으로 세 개의 플래쉬램프를 놓는다.

2.2 Power supply

그림 2는 PFN방식을 사용한 새로운 순차방전방식의 레이저 전원장치이다. 그것은 6단 메쉬로 구성되며, 레이저출력펄스를 구형파로 만든다. 이 실험에서, 커패시터 C, 인덕터 L과 커패시터의 충전전압은 1080uF, 960uH, 600V에 정해진다. 이때, 입력에너지는 식(1)과 (2)로부터 약 2ms, 194J로 계산되었다. 그리고 damping 계수 α 는 식(3)~(5)로부터 0.7로 계산된다. 그리고, 램프(ILC 6F3)는 임계감쇠한다.

$$E_0 = 1/2 CV_0^2 \quad (1) \quad t_d = 2\sqrt{LC} \quad (2)$$

$$K_0 = 1.33 \iota / d \quad (3) \quad Z_0 = \sqrt{L_T / C_T} \quad (4)$$

$$\alpha = K_0 \sqrt{V_0 Z_0} \quad (5)$$

E_0 : 커패시터에 저장된 에너지

t_p : 펄스폭 K_0 : 임피던스 파라메타

ι : 아크 길이 d : 직경 Z_0 : 특성 임피던스

α : damping 파라메타

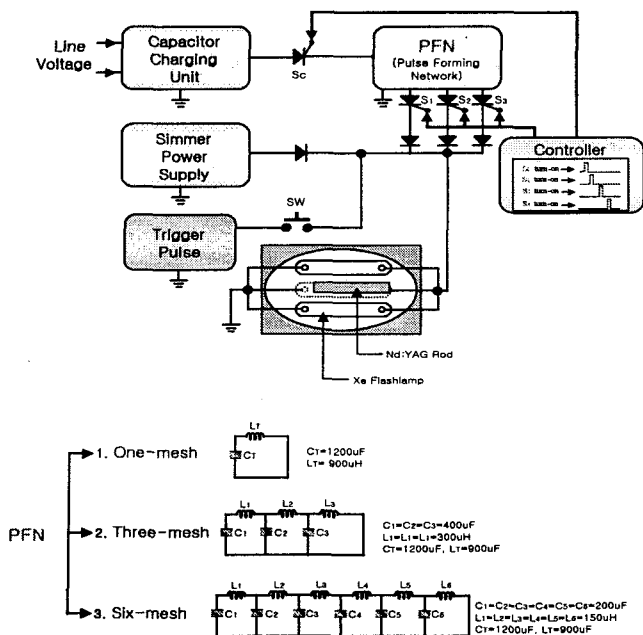


그림2 순차 방전방식의 레이저 전원회로

(1) simmer power supply로 플래쉬램프의 양단에 직류전압 1[KV]를 인가하고, 트리거 펄스회로(peak voltage=15[KV]의 스위치를 turn-on하게 되면, 스트리머 방전이 플래쉬램프에서 유기된다.

(2) SCR Sc가 턴온되면 PFN의 커패시터에 에너지가 충전되고, 그다음에 SCR S1, S2, S3가 순차적으로 켜진다. 이때, PFN의 커패시터에 저장된 에너지가 플래쉬램프로 전달되어 램프가 점등된다.

2.3 제어회로

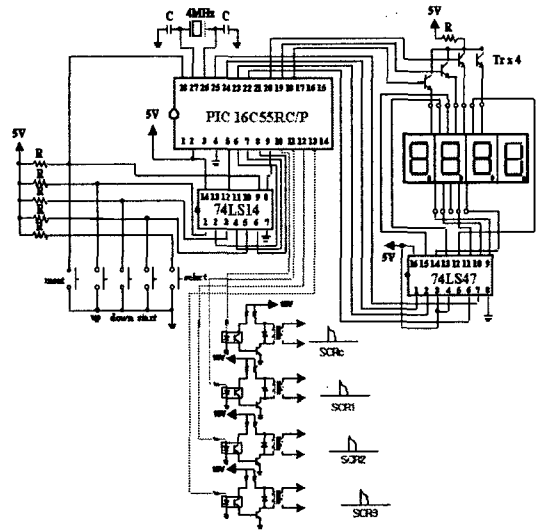


그림3 PIC one-chip 마이크로 프로세서로 구성된 SCR의 시간지연 제어회로

그림 3은 PIC one-chip 마이크로프로세서로 구성된 SCR의 시간지연 제어회로를 나타낸다. 이 제어회로는 4부분으로 구성되어 있다.

- ① 시간지연을 입력하는 키보드
- ② 입력받은 시간지연을 표시하는 FND 표시장치
- ③ 이 제어회로의 가장 핵심인 PIC 마이크로프로세서
- ④ SCR을 turn-on시키기 위한 증폭회로

이 제어회로동작은 먼저 시간 지연 정보가 키보드를 통해 입력되고, 이 신호는 PIC로 전달되며, PIC는 정해진 프로그램에 의해 4개의 다른 신호를 출력시킨다. 그러나 이 신호들은 SCR을 turn-on하기에 너무 약하므로, 고속 스위칭용 트랜지스터를 사용하여 전류와 전압을 증폭시켰다. 이 증폭된 신호는 먼저 SCR Sc를 turn-on시키고, 그 다음 SCR S1, S2, S3를 순차적으로 1us까지 정밀하게 turn-on시킨다.

그림 4는 3개의 플래쉬램프가 동시에 turn-on되었을 때의 레이저빔 프로파일을 보여준다. 이때, FWHM은 약 4ms이다. 이 파형은 266(J)의 입력에너지에서 얻어졌다. 그리고 레이저 출력에너지는 3(J)을 얻었다. 플래쉬램프의 레이저빔 프로파일은 거의 하나인 것처럼 보인다.

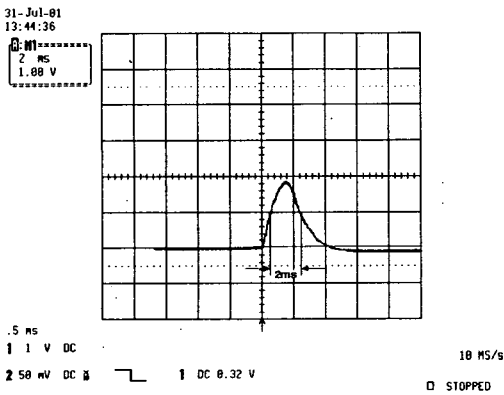
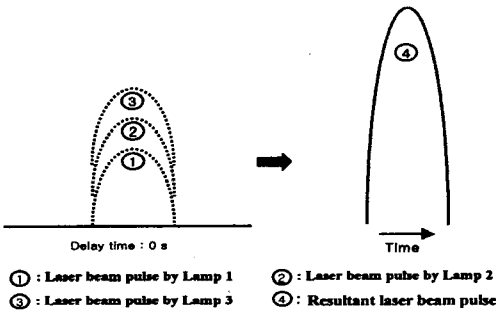
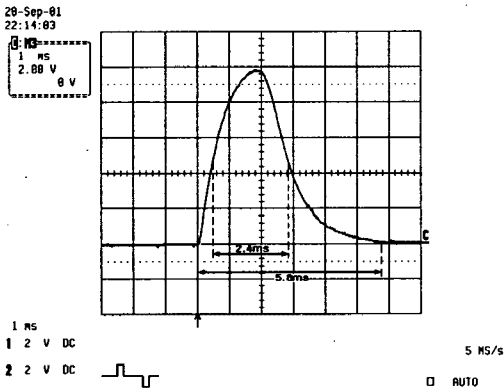


그림4 단일 플래쉬램프가 켜졌을 때의 레이저 광프로파일



(a)

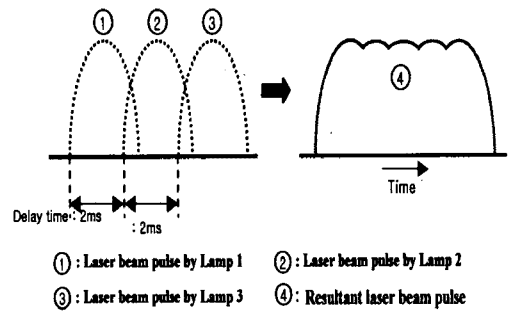


(b)

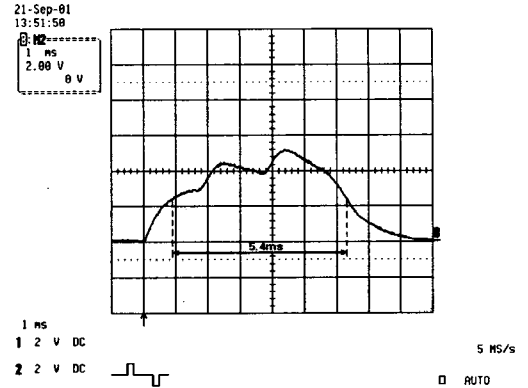
그림5 (a)개략도 (b)0us의 지연에서의 레이저광 프로파일

그림 5는 시간지연이 0일 때 레이저빔 프로파일을 나타낸다(램프가 동시에 켜졌을 때). 이때, FWHM은 약 4ms이고, 최고값은 단일 플래쉬램프의 FWHM보다 2.7배정도 더 크다. 이때 전형적인 레이저빔 프로파일은 2개의 펄스중첩 기술에서 나온 다중 펄스중첩에 의해 얻어진다.

그림 6은 3개의 램프가 1ms의 시간지연을 가지고 켜졌을때의 레이저빔 프로파일을 보여준다. 여기서, FWHM은 약 5ms이고, 최고값은 단일 플래쉬램프의 FWHM보다 2배 이상 크다. 전형적인 레이저빔 프로파일은 각 SCR의 지연 시간 조정으로 일반화된 계단파형이 발생된다.



(a)



(b)

그림6 (a)개략도 (b)2ms의 지연시간에서의 레이저광 프로파일

4. 결론

폭넓은 재료가공에서, 다양한 펄스성형은 가공효율을 증가시킬 수 있다. 많은 플래쉬램프를 순차적으로 켜는 새로운 순차방전(Sequential Discharge)방식의 도입에 의해 다양한 펄스성형이 가능해 졌다.

이 연구에서, PIC one-chip 마이크로프로세서에 의한 시간지연을 위해서 SCR을 순차적으로 켜는 방식을 채택한 long pulse 생성의 새로운 기술을 제안한다. 이 새로운 기술의 사용으로, 다양한 펄스 형상이 만들어질 수 있다. 특히 기존에는 적용되지 않았던 20ms길이의 긴 펄스성형이 정확히, 쉽게 만들어질 수 있다.

Reference

- [1] Orazio Svelto, 1982, *Principles of Lasers* (New York : Plenum), Chap. 9.
- [2] A. L. Petrov et al. 1992, *New Advances in Industry Application of YAG Pulse Lasers, Proceeding of Lamp '92, Nagaoka*, pp. 993-997.
- [3] H.N. Bransch, Sep., 1991, *Photonics Spectra*, 107.
- [4] Yasutomo Fujimori, 1992, *Laser Material Processing in Electric Industries, Proceeding of Lamp '92, Nagaoka*, pp. 981-986.
- [5] Kenichi Iga et al., 1994, *Fundamentals Laser Optics* (New York and London : Plenum), pp. 318-337.
- [6] J. E. Harry, 1974, *Industrial Laser and Their*

Application, McGraw-Hill, pp. 115-120.

[7] Kayukov S. V. et al., 1990, *The influence of Laser Radiation Pulse shape on the Spot weld Parameters*, Proc. Int. Conf. New Advance in Welding and Allied Processes, May, Beijing, China, pp. 187-191.

[8] W. Koechner, 1995, *Solid-State Laser Engineering*(New York, Heidelberg: Springer-Verlag), pp.318-337.

[9] Albright. C., 1996, *Laser Welding, Machining and Materials Processing* (IFS Publication), pp.8-12.

[10] Hee-Je Kim, Eun-Soo Kim, Dong-Hoon Lee, 1998. The development of a high repetitive and high power Nd:YAG laser by using a zero-current switching resonant converter. *Optics & Laser Technology* , 30, 199-203.

[11] Hee-Je Kim, et al., 1998. Active two-pulse superposition technique of a pulsed Nd:YAG laser. *Optical Engineering*, Vol 37, Issue 6, pp.1780-1784.

[12] Jung-Hwan Hong, et al, 1999. A new proposal of high repetitive Nd:YAG laser power supply adopted the sequential charge and discharge circuit. *Optics & Laser Technology*, 31, 397-400.