

병렬 매쉬 및 교번 충·방전 방식에 의한 펄스형 Nd:YAG 레이저의 고반복 동작특성에 관한 연구

박구열*, 김병균, 홍정환, 김휘영, 김희제, 조정수.
부산대학교 전기공학과.

The high repetition operating characteristics of pulsed Nd:YAG laser by parallel mesh and alternating charge-discharge system

K.R. Park*, B.G. Kim, J.H. Hong, W.Y. Kim, H.J. Kim, J.S. Cho.
Dept. of Electrical Eng. Pusan National Univ.

Abstract - Pulsed Nd:YAG laser is used widely for materials processing and instrumentation. It is very important to control the laser energy density in materials processing by a pulsed Nd:YAG laser. A pulse repetition rate and a pulse width are regarded as the most dominant factors to control the energy density of laser beam. In this study, the alternating charge-discharge system was designed to adjust a pulse repetition rate. And the parallel mesh is added to increase laser output power. This system is controlled by one chip microprocessor and allows to replace an expensive condenser for high frequency to a cheap condenser for low frequency. In addition, we have investigated the current pulse shape of flashlamp and the operating characteristics of a pulsed Nd:YAG laser. As a result, it is found that the laser output of the power supply using the parallel mesh and the alternating charge-discharge system is not less than that of typical power supply. As the pulse repetition rate rises from 10pps to 110pps by the step of 20pps at 1000V and 1200V, it is found that the laser efficiency decreases but the laser output power increases about 5W at each step.

반복률을 변화시키는 방법이 주로 사용된다. [6] 본 연구에서는 펄스 반복률을 변화시켜 에너지 밀도를 제어하기 위하여 기존의 전원 장치 보다 훨씬 컴팩트하고, 경제적인 교번 충·방전 방식의 레이저 전원 장치를 설계 및 제작하였으며, 여기에 높은 레이저 출력을 얻기 위해 병렬 다단 매쉬를 추가하였다. 그리고, one chip microprocessor를 접목시켜 회로의 동작을 안정하게 제어할 수 있도록 하였다. 이러한 전원 장치 및 제어부로 레이저 시스템을 구동시켰으며, 그 때의 플래쉬 램프의 전류 펄스 파형과 펄스 반복율에 따른 레이저 동작 및 출력 특성에 관하여 연구하였다.

2. 본 론

2.1 레이저 시스템의 구성

레이저 시스템은 레이저 발진기와 냉각장치 및 전원장치 등으로 구성된다.

그림 1은 Nd:YAG 레이저 시스템의 개략도를 나타낸다. 전원 장치는 플래쉬 램프를 구동시키기 위하여 교번 충·방전 방식과 병렬 다단 매쉬를 이용하여 설계 및 제작되었고, 제어부는 one chip microprocessor가 안정된 시스템 동작을 위하여 사용되었다.

1. 서 론

최근 재료 가공, 산업 계측, 의료용 기기 등의 다양한 분야에서 레이저의 이용이 급격히 증가하고 있다. 특히, 레이저 가공에 있어서는 고출력 레이저가 개발되어 경제성이나 정밀도 면에서 재래의 가공 기술보다 널리 활용되고 있다. [1-3]

희토류 원소인 Nd(Neodymium)의 3가 이온을 YAG(Yttrium Aluminum Garnet : $Y_3Al_5O_{12}$) 결정에 첨가시킨 Nd:YAG 레이저는 현재 고체 레이저의 주류를 이루고 있다. [6] 이러한 Nd:YAG 레이저는 그 파장이 짧은 이유로 스폿크 크기(spot size)가 아주 작아 미세한 가공을 할 수 있다. 즉, 열에 예민한 가공물의 국소 부분에 순간 가열을 함으로써 다른 부분에 손상을 주지 않고 가공할 수 있고 가공 후 정밀하고 섬세한 가공면을 얻을 수 있다는 큰 장점을 가지고 있다. [1-3]

특히, 펄스형 Nd:YAG 레이저는 CO₂ 레이저와 함께 레이저 가공에 널리 사용되는 레이저로서 절단, 구멍 뚫기, 용접, 표면 개질, 열처리, 혹은 트리밍, 스크라이빙, 마킹, 리페어링 등의 미세한 재료 가공 등에 있어 많은 실용화가 이루어져 있다. [4-5]

레이저 가공의 기본은 그 자체의 높은 가공력, 즉 높은 에너지 밀도에 있고, 가공 목적에 따라 에너지 밀도를 제어하는 것이 매우 중요하다. 에너지 밀도의 제어는 레이저 출력의 펄스화에 의한 작용 시간 제어 및 펄스

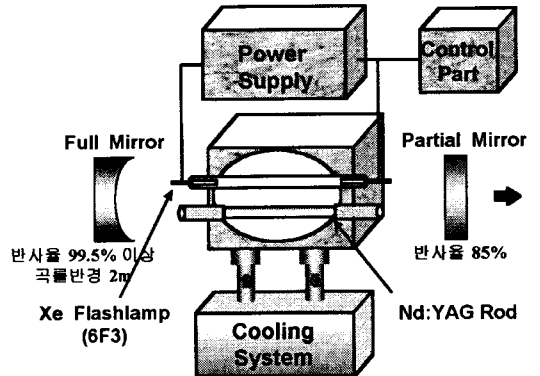


그림 1. Nd:YAG 레이저 시스템의 개략도
Fig. 1 The schematic diagram of Nd:YAG laser system

레이저 발진기는 기존의 타원형 구조의 레이저 헤드 대신 제작이 용이한 원형의 레이저 헤드를 사용하였으며, 레이저 헤드 내부에 금박 코팅의 반사경을 처리하였다. 이 레이저 헤드는 발진기의 중앙에 놓이며, 그 양가에 레이저 발진을 유도하기 위한 두 개의 거울, 즉 전 반사경(반사율 99.5% 이상, 곡률 반경 2m인 오목거울) 및 부분 반사경(반사율 85%, 평면거울)이 있다. 냉각 효율을 증대시키고자 수냉식의 냉각장치를 사용하여 로드 및 램프, 레이저 헤드를 냉각시켜 안정된 레이저 동작을 유지시킬 수 있다.

2.2 전원장치 및 제어부의 회로

병렬 다단 메쉬를 부가한 교변 충·방전 방식을 이용한 펄스형 Nd:YAG 레이저 전원 장치의 회로는 그림 2에 나타난 바와 같다. 전원 회로는 주 회로와 트리거 회로로 구성된다.

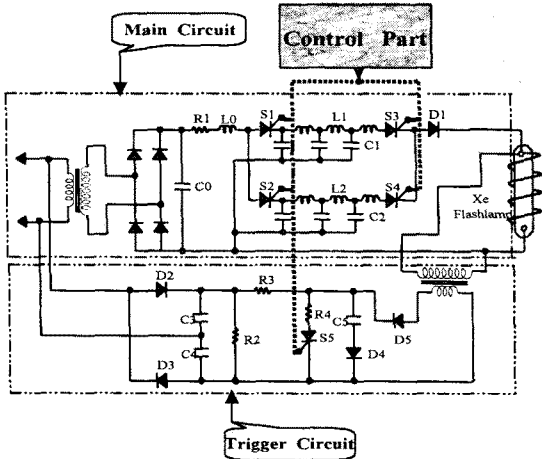


그림 2. 레이저 전원장치 회로
Fig. 2 The circuit of laser power supply

주 회로는 각 단의 콘덴서가 지정된 펄스 반복률을 2등분하여 동작하도록 되어 있다. 만약 지정 펄스 반복률이 100pps(pulse per second)이라면 실제로 C1, C2는 펄스 반복률 50pps씩 동작한다. 그러므로, 단일 콘덴서로 구동할 때 보다 더 많은 충전 시간을 확보할 수 있어 콘덴서에 더 많은 에너지를 저장할 수 있게 되어 고출력을 얻을 수 있다. 여기에 병렬 다단 메쉬를 부가하여 플래쉬 램프의 전류 펄스폭을 넓게 하므로써 높은 레이저 출력을 얻을 수 있다. 병렬 다단 메쉬에서 메쉬의 단수를 늘이거나 감소시킬 때 메쉬의 총 캐패시턴스와 총 인덕턴스의 값은 변하지 않도록 설계하였다. 많은 실험에서 전류 펄스폭이 500[μs]이하에서는 3단이 가장 좋은 단수라는 결과를 얻었다. 따라서, 이 연구에서는 병렬 메쉬의 단수를 3단으로 구성하여 실험하였다.

이러한 시스템은 기존의 고주파용 콘덴서를 교변 충·방전 방식을 사용함으로써 상용 주파용 콘덴서로 대체할 수 있어 전원 장치의 경제성을 확보할 수 있다.

회로의 동작은 각 SCR의 동작 순서에 따른다.

- 1) S2, S3가 ON되면 C1에 충전된 에너지가 플래쉬 램프로 방전되고, 동시에 C2에 충전이 시작된다.
- 2) S1, S4가 ON되면 C2에 충전된 에너지가 플래쉬 램프로 방전되고, 동시에 C1에 충전이 시작된다.

이와 같은 순서는 각 SCR의 게이트 신호를 제어하여 동작시킨다.

본 연구에서 설계된 교변 충·방전 방식에서 각각의 콘덴서에 충·방전시키는 순서는 몇 가지 있으나, 여기서는 [First - charge, Last - discharge] 형식으로 충·방전 동작을 실시하도록 제어부를 설계하였다.

사용된 제어부는 one chip microprocessor를 이용하여 SCR의 턴-온 시간의 동기를 맞추어 각 SCR의 게이트에 트리거 펄스를 인가하도록 하였다.

이러한 각 SCR 게이트 트리거 펄스 파형을 그림 3에 나타낸다. 그림 3은 펄스 반복률 80pps 일 때의 파형이며, 파형 A는 S5의, 파형 B는 S2, S3, 파형 C는 S1, S4의 게이트 트리거 펄스 파형이다. 파형 A가 SCR을 턴-온 시킬 때 파형 B, 파형 C가 각각 동기를

맞추어 교변하면서 각 SCR을 턴-온 시킨다.

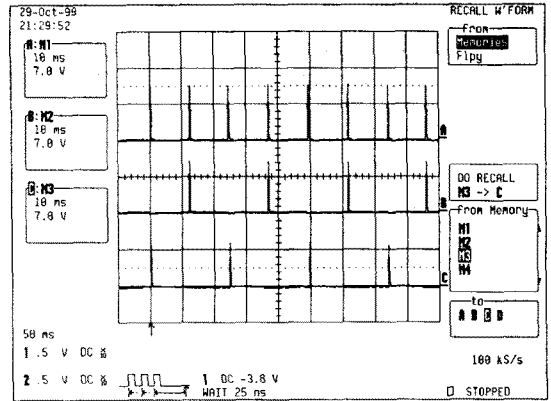


그림 3. 게이트 트리거 펄스 파형
Fig. 3 The waveform of gate trigger pulse

그림 4는 one chip microprocessor를 사용한 제어부의 회로도를 나타낸다. 제어부는 전원 장치와 레이저 출력을 총괄적으로 제어하며 동시에 입력/출력의 감시와 외부 processor와의 interface를 하고 있으며 전체적인 동작에 필요한 레이저 beam, 포적 조명, monitoring system, 주변 부품과의 interlock 등도 동시에 처리하도록 설계되어 있다

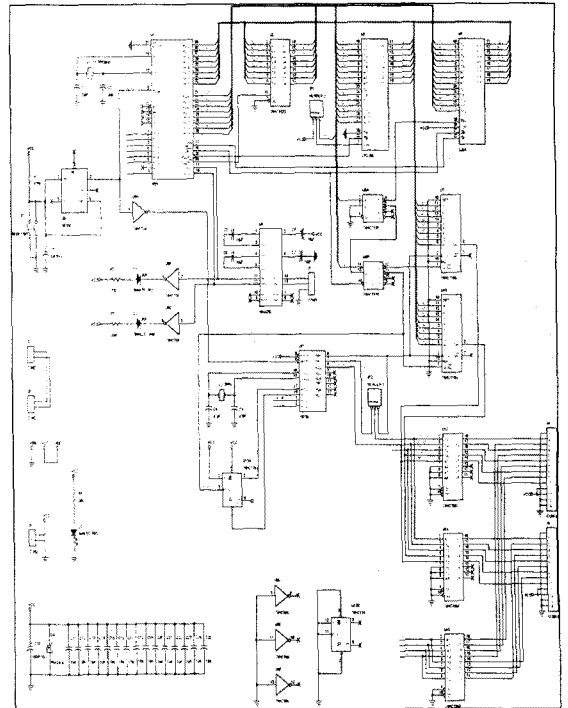


그림 4.원 칩 마이크로프로세서를 이용한 제어회로
Fig. 4 Control circuit using one chip microprocessor

게이트 트리거 펄스가 각 SCR의 턴-오프 시간에 미치는 영향을 최소로 줄임과 동시에 목표로 하는 최대 펄스 반복률을 얻고자 구형파인 모든 게이트 트리거 펄스를 미분 회로를 거쳐 펄스폭이 짧은 파형으로 변환시켰다. 또한, 이 변환된 펄스를 Tr을 이용하여 SCR 게이트 구동 전류로 충분하도록 증폭하였다.

2.3 실험 결과 및 검토

실험은 펄스 반복률을 증가시키면서 출력을 측정하였으며, 1000V 일 때와 1200V 일 때 두 번으로 실험을 진행하였다. 이 때의 1000V, 1200V의 전압은 콘덴서에 충전된 전압을 나타내며, 에너지 전달에 투입되는 ΔV 는 아니다.

또, pps의 조절은 자체적으로 설계, 제작한 키보드를 제어부에 설치하여, 원하는 pps를 입력할 수 있도록 하였다. 레이저 출력은 레이저 파워 미터(모델명 : TPM-300)를 이용하여 측정하였다.

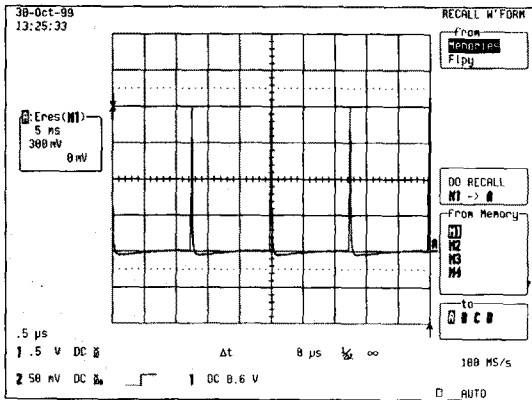


그림 5. 펄스 반복률 80(pps)에서의 플래쉬 램프의 전류 파형
Fig. 5 Current waveform of flashlamp in the pulse repetition 80(pps)

그림 5는 C0의 충전 전압을 1200V로 하고 펄스 반복률을 80pps로 하였을 때의 플래쉬 램프의 전류 파형을 나타낸다.

그림 6은 콘덴서의 충전 전압이 1200V일 때의 플래쉬 램프의 전류 파형을 나타낸다. 이 플래쉬 램프의 전류를 측정하는데 사용된 펄스 변류기는 1000A/V의 응답 특성을 가지고 있다. 따라서, 충전 전압 1200V 일 때의 플래쉬 램프의 전류의 최대치는 약 1200A에 달하고 있다. 또한, 3단의 병렬 매쉬에 의하여 늘어난 펄스 폭은 약 200[μs]이다.

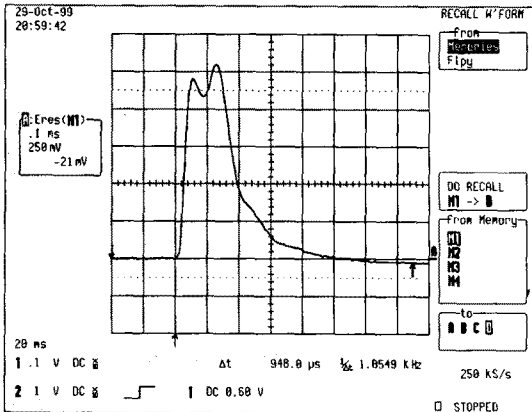


그림 6. 충전 전압 1200(V)에서의 플래쉬 램프의 전류 파형
Fig. 6 Current waveform of flashlamp in charging voltage 1200(V)

그림 7은 콘덴서의 충전 전압이 1000V, 1200V에서 펄스 반복률을 10pps~110pps의 범위에서 20pps씩

증가시킬 때의 레이저의 출력을 나타낸 것이다.

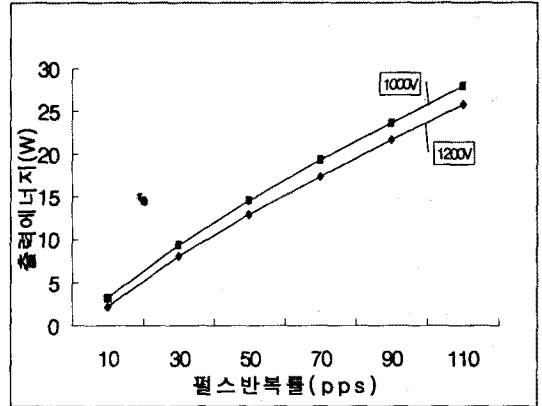


그림 7. 펄스 반복률에 따른 레이저 출력
Fig. 7 Laser output vs. repetition rate

그래프의 기울기에서 보듯이 펄스 반복률이 증가할수록 레이저의 출력 효율은 감소하는 반면 그 출력은 증가하는 경향을 보인다.

3. 결 론

본 연구에서는 병렬 다단 매쉬 및 교번 충·방전 방식을 이용한 전원 장치를 설계 및 제작하여 플래쉬 램프의 전류 파형과 레이저 출력 특성을 비교, 검토하였다.

그 결과, 교번 충·방전 방식을 레이저 전원 장치에 적용함으로써 기존의 고가의 고주파용 콘덴서를 사용하지 않고 시중에서 쉽게 구할 수 있는 저가의 상용 주파용 콘덴서로 대체할 수 있으므로 전원 회로의 경제성을 확보할 수 있다. 또한, 단일 콘덴서로 구동할 때 보다 더 많은 충전 시간을 확보할 수 있어 콘덴서에 더 많은 에너지를 저장할 수 있게 되어 고출력을 얻을 수 있었으며, 병렬 다단 매쉬에 의하여 플래쉬 램프의 전류 펄스 폭을 증가시켜 레이저 출력을 더욱 증가시킬 수 있었다. 그리고 one chip microprocessor를 제어부에 사용하여 레이저 시스템의 동작을 안정되게 제어할 수 있고, 원하는 출력을 내도록 하기 위한 pps의 조절이 원활할 수 있게 되었다.

콘덴서의 충전 전압이 1000V, 1200V에서 펄스 반복률을 10pps~110pps까지의 범위에서 20pps씩 증가시킬 때, 펄스 반복률이 증가함에 따라 레이저 출력 효율은 감소하는 반면에, 레이저 출력은 약 5(W)씩의 일정한 증가 특성을 보인다.

(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] 田幸敏治 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] Hee-Je Kim, Jon-Han Joung, Dong-Hoon Lee, and Dong-Hyun Kim, "Active two-pulse superposition technique of a pulsed Nd:YAG laser", Optical Engineering, Vol 37, Issue 6, pp. 1780-1784, June 1998