

## 펄스형 Nd:YAG 레이저의 출력 에너지 및 펄스 반복률 제어에 관한 연구

### A Study on the control of output power and pulse repetition rate in pulsed Nd:YAG laser

박 구 렬\*, 김 병 균, 문 동 성, 홍 정 환, 김 휘 영, 강 옥<sup>1)</sup>, 김 희 제, 조 정 수  
부산대학교 전기공학과, 한국전기연구소<sup>1)</sup>

K.R. Park\*, B.G. Kim, D.S. Moon, J.H. Hong, W.Y. Kim, U. Kang<sup>1)</sup>, H.J. Kim, J.S. Cho.  
Dept. of Electrical Eng. Pusan National Univ. Korea Electrotechnology Research Institute<sup>1)</sup>.

#### Abstract

A pulsed Nd:YAG laser has been used in a wide variety of fields : measuring, material processing and so on. In a material processing, it is very important to control the laser energy density. 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, pulsed Nd:YAG laser system was designed and manufactured to control the laser output usefully and easily. This system adopted the sequential charge and discharge circuit is controlled by 80196 micro-processor. As a result, it is found that laser output is controlled minutely by changing laser input and pulse repetition rate, and usefully by using 80196 microprocessor.

#### 1. 서 론

레이저는 간섭성을 갖는 광원으로 1960년에 처음 개발된 이후에 분광학, 레이저 가공, 계측, 광정보통신, 의학, 가정 전기제품 등의 여러 분야에서 사용되었으며, 앞으로 더 많은 응용과 발전이 계속 될 것이다. [1]

1064nm의 파장으로 작은 스폿 크기(spot size)를 가져 미세 가공에 적합한 Nd:YAG 레이저는 CW로 동작시 수백 W의 출력을 얻을 수 있고, 반복 Q-스위칭 동작이 가능하며, 그 펄스 작용 시간은 약  $10^{-8}$ 초 정도로써 수 MW의 첨두출력과 반복률은 매 초당 수천 회 이상도 가능하다. 플래쉬 램프(flashlamp)로 펌핑하는 펄스형 Nd:YAG 레이저는 펄스당 수 줄(Joule)의 에너지로서 매 초당 수십 회 이상의 반복 속도를 얻을 수 있다. [2]-[5]

레이저 가공 기술은 기존의 가공 기술로는 해결할 수 없었던 정밀 가공을 할 수 있으며, 자동차, 항공, 미세 가공, 전자, 철강 산업 등에 응용되고 첨단 가공 기술로서 습득해야 할 필수적인 가공기술이다. 이러한 레이저 가공에 있어서는 가공 목적에 따라 출력 에너지 밀도를 제어하는 것이 매우 중요하다. 이러한 출력 에너지 밀도의 제어에는 레이저 출력의 펄스화에 의한 펄스 지속 시간 제어와 펄스 반복률 제어가 주로 사용된다. [6]

본 연구에서는 자체 설계 및 제작된 펄스형 Nd:YAG 레이저 시스템의 출력을 제어하기 위한 목적으로 펄스형 Nd:YAG 레이저의 여기용 광원으로 Xe 플래쉬 램프를 채택하였고, 이 Xe 플래쉬 램프를 점등시키기 위한 전원 장치는 순차 충·방전 방식으로 설계, 제작하였으며, 제어 장치는 80196 microprocessor로 전 시스템을 제어, 감시하도록 하였다. 이렇게 설계된 레이저 시스템은 그 입력에너지를 제어 하므로써 매 펄스당 출력 에너지를 가변 할 수 있도록 하였고, 또 펄스 반복률을 가변 할 수 있도록 하여 에너지 밀도를 제어 할 수 있도록 하였다. 그 결과, 펄스형 Nd:YAG 레이저의 출력을 보다 쉽고, 편리하게 제어할 수 있었으므로 이를 간단히 서술하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 레이저 시스템

레이저 시스템은 레이저 헤드와 두 개의 밀러로 구성된 레이저 발진기, 레이저 헤드를 냉각시키기 위한 냉각 장치, 플래쉬 램프를 점등시키기 위한 전원 장치와 전 시스템의 제어 및 감시를 위한 제어 장치로 구성하였다.

그림 1.은 자체 설계, 제작된 펄스형 Nd:YAG 레이저 시스템의 개략도를 나타낸다.

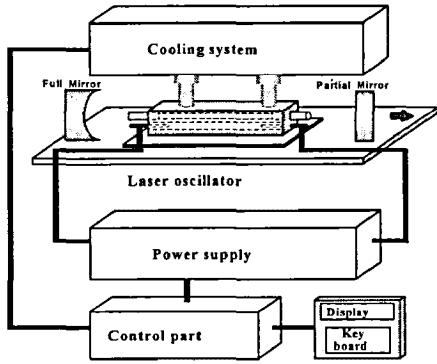


그림 1. Nd:YAG 레이저 시스템 개략도  
 Fig. 1 The schematic diagram of Nd:YAG laser system

2.1.1 레이저 발진기 및 냉각 장치

레이저 발진기는 레이저 헤드와 그 양 쪽에 두 개의 밀러로 구성된다. Nd:YAG 로드(rod)와 플래쉬 램프를 포함하는 레이저 헤드는 타원형 구조로 설계, 제작하였고, 그 내부는 반사율이 높은 금박 코팅 반사경을 처리하였다. 양쪽의 밀러는 전 반사경과 부분 반사경인데, 전 반사경은 99.5% 이상의 반사율과 곡률 반경 2m인 오목 거울이며, 부분 반사경은 85%의 반사율과 곡률 반경 ∞인 평면 거울이다.

냉각 장치는 냉각 효율이 큰 수냉식 냉각 방식을 채택하였고, 레이저 헤드와 그 속의 로드 및 플래쉬 램프를 동시에 냉각시켜 안정된 레이저 출력을 유지시킬 수 있게 하였다. 냉각수는

냉각수 탱크 ⇒ 레이저 헤드 ⇒ 열 교환기 ⇒ 필터 ⇒ 냉각수 탱크

의 폐루프를 구성하여 흐르도록 하였다.

2.1.2 전원 장치 및 제어 장치

그림 2는 펄스형 Nd:YAG 레이저의 플래쉬 램프를 점등시키기 위한 전원 장치의 회로도이다.

이 전원 장치는 크게 주 회로와 Simmer 회로 그리고 Simmer trigger 회로로 구성된다. Simmer 회로는 플래쉬 램프에 낮은 방전 전류를 계속해서 흘려, 가는 실방전이 플래쉬 램프에 계속 유지될 수 있도록 하여 플래쉬 램프를 낮은 전압으로 좀 더 쉽게 점등시킬 수 있게 해준다. 또, 이

Simmer 방식은 플래쉬 램프의 수명을 연장시킬 뿐만 아니라 효율 개선의 효과가 있는 것으로 보고 되었다. Simmer trigger 회로는 Simmer 회로가 플래쉬 램프에 방전을 유지하도록 플래쉬 램프의 최초의 방전을 일으켜 주는 회로이다.

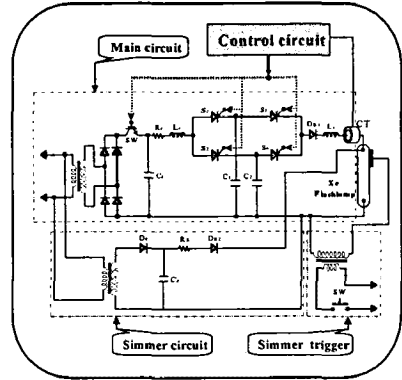


그림 2. 레이저 전원 장치 회로  
 Fig. 2 The circuit of laser power supply

주 회로는 정류 회로와 교번 충·방전 회로로 구성된다. 정류 회로에는 변압기에 의해 승압된 전압을 브리지 정류 회로를 통하여 전파 정류한 뒤 평활용 전해콘덴서에 IGBT의 스위칭에 의해 전달한다. IGBT는 플래쉬 램프의 점등 주파수에 따른 각 부하에 맞게 그 스위칭의 통류율을 가변하여 평활용 콘덴서 Cr에 원하는 전압을 충전시킨다.

교번 충·방전 회로는 플래쉬 램프에 에너지를 전달할 LC회로를 두 단으로 구성하여 각 단의 콘덴서가 플래쉬 램프의 점등 주파수를 2등분하여 동작하도록 되어 있다. 만약 플래쉬 램프의 지정된 점등 주파수가 100Hz라면 실제 C1, C2는 각각 50 Hz씩 동작 하도록 되어 있다. 따라서, 한 단으로 구성된 단일 콘덴서로 구동할 때 보다 더 많은 충전 시간을 확보할 수 있고, 그로 인해 콘덴서에 더 많은 에너지를 저장하여 플래쉬 램프로 전달할 수 있다. 이러한 회로의 동작은 각 단의 SCR을 교차하여 턴-온 시키므로써 구현할 수 있다. 즉, C1은 충전 되어 있고, C2는 방전 되어 있는 상태를 가질 때 회로의 동작은 다음과 같다.

S2, S3 턴-온 ⇒ C1 방전, C2 충전 ⇒  
 S1, S4 턴-온 ⇒ C1 충전, C2 방전 ⇒  
 S2, S3 턴-온 ⇒

이 때, S1~S4의 SCR은 턴-온된 뒤 자려 전류를

계 회로를 설계하였다.

이러한 교변 충·방전 방식의 사용으로 기존 사용하던 고주파용 콘덴서를 상용 주파수용 콘덴서로 대체 할 수 있게 하여 전원 장치의 경제성을 확보할 수 있게 하였다.

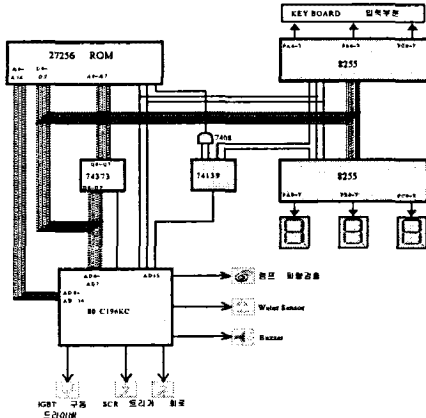


그림 3. 80196 microprocessor에 의한 제어부의 개략도

Fig. 3 The schematic diagram of control system with 80196 microprocessor

제어부는 전 시스템을 80196 microprocessor를 사용하여 총괄적으로 제어 및 감시하며 시스템의 각 부품과의 interlock 기능을 수행하도록 설계하였다. 그림 3.은 이러한 제어부의 개략도를 나타낸다. 이 제어부는 자체적으로 설계, 제작된 key board로 펄스당 출력 에너지 및 펄스 반복률의 선택을 입력받아 그에 해당하는 IGBT 스위칭의 통류율과 SCR의 게이트 트리거 신호를 주 회로에 전송한다. IGBT는 TF1205(toshiba) 게이트 drive 모듈로 구동시켰으며, 그 스위칭 주파수는 1kHz로 하였다.

그림 4.는 통류율 85% 일 때의, 80196으로 부터의 IGBT 구동 signal과 TF1205 게이트 drive 모듈의 구동 signal을 나타낸다. SCR의 게이트 트리거 펄스는 미분회로를 거쳐 펄스폭을 짧게 하고, 이 펄스를 Tr을 이용하여 SCR 게이트 구동 전류를 충분하도록 증폭하였다.

그림 5.는 펄스 반복률 100pps 일 때의 IGBT 구동 signal과 각 단의 게이트 트리거 펄스 파형을 동시에 나타낸 것이다. 파형 B는 S<sub>1</sub>과 S<sub>3</sub>의, 파형 C는 S<sub>2</sub>와 S<sub>4</sub>의 게이트 트리거 신호이다.

또, 제어부는 water 센서로서 냉각수의 순환을 감시하며, CT를 통해 입력받은 출력펄스를 감시하

여 시스템의 정상동작을 buzzer를 통하여 외부에 알리고, 그 때의 출력에너지를 display한다.

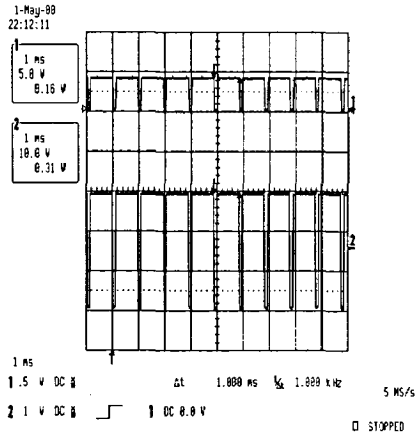


그림 4. 통류율 85% 일 때의 IGBT 게이트 구동 전압 파형

Fig. 4 The waveform of IGBT gate drive voltage at duty ratio 0.85

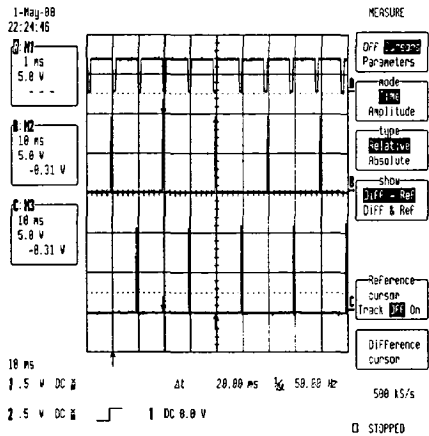


그림 5. IGBT 게이트 구동 신호 및 SCR 게이트 트리거 펄스 파형

Fig. 5 The waveform of IGBT gate drive signal and SCR gate trigger pulse

## 2.2 실험 결과 및 검토

실험은 IGBT 스위칭 통류율과 펄스 반복률의 가변에 따른 레이저 출력을 측정하여 진행하였다. 먼저, 펄스 반복률을 1pps에서 100pps까지 10pps씩

증가시켰으며, 이러한 각 부하에 대하여 IGBT의 스위칭 통류율을 35%에서 95%까지 10%씩 증가시키며 실험하였다. 레이저의 출력은 레이저 파워 미터(model : TPM-300, Gentec)로 측정하였다.

그림 6.은 IGBT의 각 스위칭 통류율에서 펄스 반복률에 따른 출력 에너지 그래프를 나타낸다.

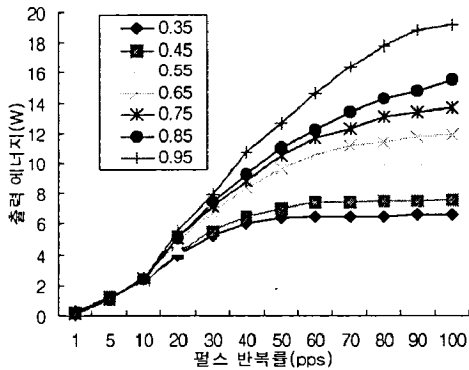


그림 6. 각 통류율에서의 펄스 반복률에 따른 출력 에너지

Fig. 6 The output power as a function of pps for different duty ratios

그래프에서 펄스 반복률에 따른 출력 에너지의 상승 기울기가 IGBT의 스위칭 통류율이 커짐에 따라 증가함을 알 수 있다. 또한, 입력 에너지에 비해 플래쉬 램프의 점등 주파수에 따른 부하가 클 때에는 펄스 반복률이 증가하여도 레이저 출력은 증가하지 않고 포화된다. 입력에너지와 부하의 차가 크면 쿨수록 빨리 포화됨을 보인다. 이러한 부하들에 대하여 IGBT의 스위칭 통류율을 제어하므로써, 또 각 입력에너지에 대하여 펄스 반복률을 제어하므로써 레이저 출력을 300mW에서 19.5W까지 정밀 가변할 수 있었다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 펄스형 Nd:YAG 레이저의 출력 에너지를 쉽게, 편리하게 제어하기 위하여, 펄스형 Nd:YAG 레이저 시스템을 설계, 제작하였다. 레이저 출력 에너지는 80196 microprocessor를 사용한 제어 장치로써 편리하게 key board로 제어 할 수 있도록 하였다. 레이저 시스템은 IGBT의 스위칭 통류율 가변에 따른 입력 에너지를 제어하므로써 펄스당 에너지를 변화시킬 수 있게 하였고, 펄스 반복율을 가변하여 에너지 밀도를 변화시키도록

하였다. 플래쉬 램프의 점등 주파수에 따른 각 부하에 따라 IGBT의 스위칭 통류율을 가변하며 실험한 결과 레이저 출력을 300mW에서 19.5W까지 정밀하게 제어 할 수 있었으며, 또한 microprocessor를 사용한 제어부에 의해 편리하게 시스템을 제어, 감시 할 수 있었다. 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 山中千代衛 外 “こんなところにも使われている レーザ 技術? 電學誌 113巻, 第 11號, 1993. pp. 903-927.
- [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] Kenichi Iga et al. “Fundamentals Laser Optics”, Plenum Press, New York and London, pp. 13-15, 1994
- [6] Orazio Svelto, “Principles of Lasers”, Plenum Press, New York, Chap. 9, 1982
- [7] 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
- [8] Jung-Hwan Hong and 6 others, “A new proposal of high repetitive Nd:YAG laser power supply adopted the sequential charge and discharge circuit”, Optics & Laser Technology, Vol 31, pp. 397-400, 1999