

RTOS(Real Time Operation System) 환경하의 Nd:YAG 레이저 Firmware 설계

김병균, 김희영\*, 박구렬, 문동성, 홍정환, 김희제, 조정수  
부산대학교, 동주대학<sup>5</sup>

Nd:YAG laser firmware Design under RTOS operation

B. G. Kim, W. Y Kim\*, G. R. Park, D. S Moon, J. H. Hong and H. J Kim, J. S Cho  
Pusan national Univ., Dong-Joo college<sup>5</sup>

**Abstract** - A pulsed Nd:YAG laser is used widely for materials processing and medical instrument. It's very important to control the laser energy density in those fields using 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 paper, the alternating charge and discharge system was designed to adjust a pulse repetition rate. This system is controlled by microprocessor and allows to replace an expensive condenser for high frequency to cheap one for low frequency. In addition, The microcontroller monitors the flow of cooling water, short circuit, and miss firing and so on. We designed Nd:YAG laser firmware with smart microcontroller, and want to explain general matters about the firmware from now.

을 낼 수 있어야 한다.

본 연구에서는 자체 설계 및 제작된 펄스형 Nd:YAG 레이저를 이용하여 안정되며 신뢰성 있는 레이저 기기 구축에 관한 사항을 개략적으로 서술하고자 한다. 시스템은 펄스형 Nd:YAG 레이저의 여기용 광원으로 Xe 플래쉬 램프를 채택하였고, 이 Xe 플래쉬 램프를 점등시키기 위한 전원 장치는 순차 충전·방전 방식으로 설계, 제작하였으며, 제어 장치는 80196KC microprocessor로 전 시스템을 제어, 감시하여 그 신뢰성을 높이도록 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.

1. 서 론

레이저는 간섭성(Coherence)을 갖는 광원으로 1960년에 처음 개발된 이후에 분광학, 레이저 가공, 계측, 광 정보통신, 의학, 가정 전기제품 등의 여러 분야에서 사용되었으며, 앞으로 더 많은 응용과 발전이 계속 될 것이다.[1]

희토류 원소인 Nd(Neodymium)의 3가 이온을 모재(Host)인 YAG(Yttrium Aluminum Garnet :  $Y_3Al_5O_{12}$ )결정에 도핑(Doping)시킨 Nd:YAG 레이저는 1064nm의 파장으로 작은 스폿 크기(spot size)를 가져 미세 가공에 적합하며 CW(Continuous Wave)로 동작시 수백 W의 출력을 얻을 수 있고, 반복 Q-Switch 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 펌핑(Pumping)되는 펄스형 Nd:YAG 레이저는 펄스당 수 줄(Joule)의 에너지로서 매 초당 수십 회 이상의 반복 속도를 얻을 수 있다.[2]-[5] 열전도율이 높으며, 기계적, 광학적으로 안정되며 CO<sub>2</sub> 레이저에 비해 파장이 짧으므로 보다 작은 점으로 집광시킬 수 있다. 또한 소형, 저 가격, 사용의 편리성, 광 여기 방식이므로 유지 및 보수의 용이함, 절강 산업 등에 응용되고 첨단 가공 기술로서 습득해야 할 필수적인 가공기술이다.[7-8] 의료분야에서는 초점기법과 탈초점기법을 사용하여 치석제거용, 제모용, 문신제거 및 각종 의료 장비에서 실용화가 이루어지고 있다. 하지만 의료용 레이저 장비는 신뢰성 있는 동작 및 지속적으로 안정한 출력을

2. 본 론

2.1 레이저 시스템

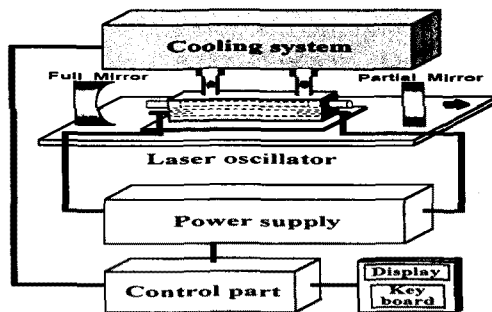


그림 1. Nd:YAG 레이저 시스템 개략도  
Fig. 1 The schematic diagram of Nd:YAG laser system

레이저 시스템은 레이저 헤드(Laser Head)와 고온에 따른 캐비티(Cavity)를 냉각시키기 위한 냉각 장치, 플래쉬 램프를 점등시키기 위한 전원 장치와 전 시스템의 제어 및 감시를 위한 제어 장치로 구성하였다. 그림 1은 자체 설계, 제작된 펄스형 Nd:YAG 레이저 시스템의 개략도를 나타낸다.

2.1.1 레이저 헤드 및 냉각장치

레이저 헤드는 캐비티와 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 코팅으로 반사경을 처리하였다. 양쪽의 밀러는 전 반사경(Full Mirror)과 부분 반사경(Partial mirror)인데, 전 반사경은 99.5% 이상의 반사율과 곡률반경(Radius of curvature) 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 구성하였다.

### 2.1.2 전원장치 및 제어장치

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

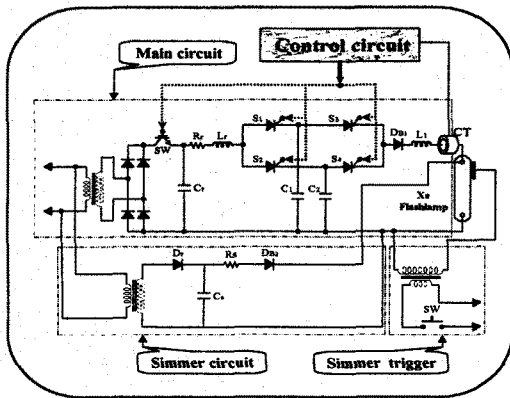


그림 2. 레이저 전원 장치 회로  
Fig. 2 The circuit of laser power supply

전원 장치는 크게 주(Main) 회로와 Simmer 회로 그리고 Simmer trigger 회로로 구성된다. Simmer 회로는 플래쉬 램프의 비선형 임피던스를 낮추어 초기 방전 전류를 계속해서 흘려, 가는 실방전이 플래쉬 램프에서 계속 유지될 수 있도록 하여 플래쉬 램프의 방전개시전압(breakdown voltage)을 저하시켜 정격전압 이하에서도 좀 더 쉽게 방전시킬 수 있게 하여 Sputtering 억제 효과와 여기원(Pumping Source)의 기계적 파손(Tube Failure)을 감시할 수 있게 해준다. 또, 이 Simmer 방식은 플래쉬 램프 점화펄스(Flashlamp Igniter Pulse)에 의한 고주파 방사 잡음(Radio Frequency Radiation Noise)을 경감시킬 뿐만 아니라 광효율(Pumping Efficiency) 개선의 효과가 있는 것으로 보고 되었다. Simmer trigger 회로는 Simmer 회로가 플래쉬 램프의 방전을 지속적으로 유지하도록 플래쉬 램프의 최초의 방전을 유도하는 회로이다.

주 회로는 정류 회로와 교번 충·방전 회로로 구성된다. 정류 회로에는 변압기에 의해 송압된 전압을 브리지 정류 회로를 통하여 전파 정류한 뒤 PWM(Pulse Width Modulation)을 기반으로 하여 평활용 전해콘덴서(Filtering Capacitor)에 IGBT(Insulated-Gate Bipolar transistor)의 스위칭에 의해 전달한다. IGBT는 플래쉬 램프의 점등 주파수에 따른 각 부하에 맞게 그 스위칭의 통류율(Duty Ratio)을 가변하여 평활용 콘덴서 Cr에 설정된 전압을 충전시킨다.

교번 충·방전 회로는 비선형 램프에 에너지를 전달할 PFM(Pulse Forming Network)을 두 단으로 구성하여 각 단의 콘덴서가 플래쉬 램프의 점등 주파수를 2분

주하여 동작하도록 되어 있다. 만약 플래쉬 램프의 설정된 동작 주파수가 100Hz라면 실제 C1, C2는 각각 50Hz씩 동작 하도록 되어 있다. 따라서, 한 단으로 구성된 단일 콘덴서로 구동할 때 보다 더 많은 충전 시정수를 확보할 수 있고, 그로 인해 콘덴서에 더 많은 에너지를 저장하여 플래쉬 램프로 전달할 수 있다. 이러한 회로의 동작은 각 단의 SCR을 교차하여 턴-온(Turn-On) 시키므로써 구현할 수 있다. 즉, C1은 충전 되어 있고, C2는 방전 되어 있는 상태를 가정할 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 ⇒

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

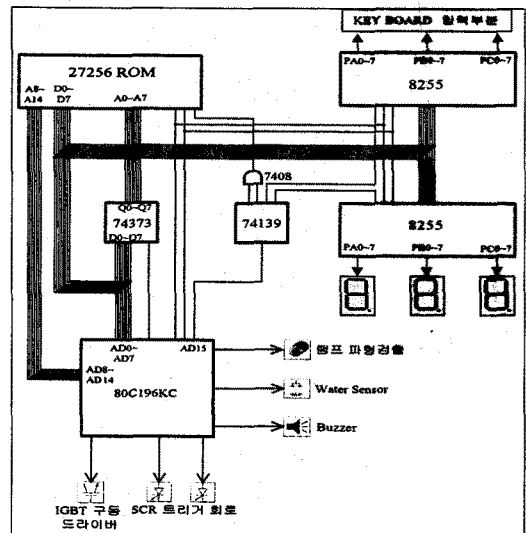


그림 3. 80196 microprocessor에 의한 제어부의 개략도  
Fig. 3 The schematic diagram of control system with 80196 microprocessor

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

그림 4는 통류율 85% 일 때의, 80196KC로 부터의 IGBT 구동 signal과 TF1205 게이트 drive 모듈의 구동 signal을 나타낸다. SCR의 게이트 트리거 펄스는 미분회로(Differentiating Circuit)를 거쳐 펄스폭을 좁게 하고, 이 펄스를 Tr을 이용하여 SCR 게이트 구동에 충분하도록 증폭하였다.

그림 5는 펄스 반복률 100pps 일 때의 IGBT 구동 signal과 각 단의 게이트 트리거 펄스 파형을 동시에 나타낸 것이다. 파형 B는 S1과 S3의, 파형 C는 S2와 S4의 게이트 트리거 신호이다.

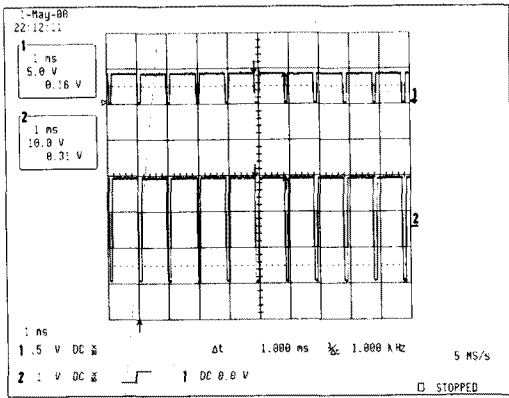


그림 4. 통류율 85% 일 때의 IGBT 게이트 구동 전압 파형

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

또, 제어부는 Water Sensor로 냉각수의 순환을 감시하며, CT를 통해 입력받은 출력펄스를 감시하여 단락여부 및 시스템의 정상동작을 buzzer를 통하여 외부에 알리고, 그 때의 출력에너지를 display한다.

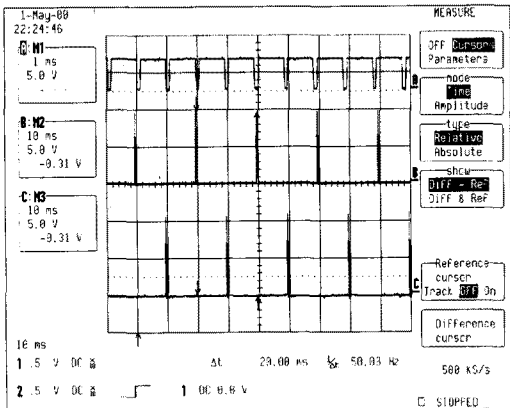


그림 5. IGBT 게이트 구동 신호 및 SCR 게이트 트리거 펄스 파형

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

## 2.2 실험결과 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 6은 IGBT의 각 스위칭 통류율에서 펄스 반복률에 따른 출력 에너지 그래프를 나타낸다. 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 클수록 빨리 포화됨을 보인다. 이러한 부하들에 대하여 IGBT의 스위칭 통류

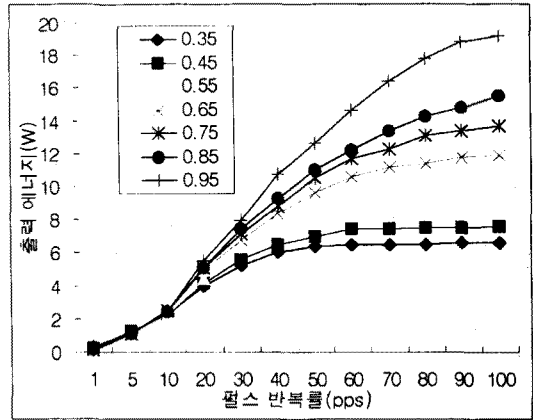


그림 6. 각 통류율에서의 펄스 반복률에 따른 출력 에너지

Fig. 6 The output power as a function of pps for different duty ratios  
출력을 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 신뢰성 있고, 정밀하게 제어하기 위하여, 펄스형 Nd:YAG 레이저 Firmware 시스템을 설계, 제작하였다. 레이저 출력 에너지는 80196KC microprocessor를 사용한 제어 장치로써 편리하게 key board로 제어할 수 있도록 하였다. 레이저 시스템은 IGBT의 스위칭 통류율 가변에 따른 입력 에너지를 제어하므로써 펄스당 에너지를 변화시킬 수 있게 하였고, 펄스 반복률을 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 제어할 수 있었으며, 또한 microprocessor를 사용한 제어부에 의해 편리하게 시스템을 제어, 감시할 수 있었다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 山中千代衛 외 "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 외 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] オプトロニクス社, "最先端レーザテクノロジー集成", 1990.
- [7] Orazio Svelto, "Principles of Lasers", Plenum Press, New York, Chap. 9, (1982).
- [8] 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