

중첩다단 메쉬회로를 적용한 펄스형 Nd:YAG 레이저의 2차 고조파 변환효율에 관한 특성연구

(A characteristics study on the Second-harmonic generation conversion efficiency of Pulsed Nd:YAG Laser adopted Superposition multiple Mesh Networks)

김 휘 영*

(Whi-Young Kim)

요 약

최근 고체 레이저 출력측에 비선형 광학재료를 설치하여 적외선에서 자외선에 이르기까지 넓은 대역의 파장을 가진 레이저광이 요구된다. 비선형 광학소자는 고조파발생기와 파라미터 발생기와 같은 레이저원을 이용한 주파수 전 영역까지 확장 할 수가 있다. 주파수 변환은 고전력 레이저를 이용한 확장기술에 많이 이용하고 있다. 새로운 각 주파수 대역에서 광학 매개체의 비선형 광학의 응답 등을 이용할 수가 있다. 이러한 과정들은 자외선영역에서 적외선까지 고전력 방사발생을 이용할 수가 있다. 광학 파라미터발생기와 증폭기는 저주파수에서 2가지 파장 등을 발생한다. 싱글 주파수원으로부터 발생하여 몇몇의 경우에는 가시광선 영역에서 거의 자외선 영역까지 이용할 수가 있다. 결과적으로 녹색광을 얻기 위해서, 펄스형Nd:YAG 레이저는 다단펄스 포밍 회로를 이용하였고 비선형광학(KTP)소자를 채택하여 적용하였다. 따라서 본 연구에서는 펄스 중첩법을 이용하여 기본파로서 직접 설계 제작 후 SHG 장치를 장착하여 녹색광을 얻고 각 중첩 메쉬에 같은 에너지를 인가했을 때의 레이저 출력과 녹색광 출력간의 상관관계와 메쉬 수에 따른 변환효율을 조사하였다.

ABSTRACT

At the most recent years, laser medical instruments, laser applications and laser nuclear fusion need strong visible light and ultraviolet rays. Nonlinear optical devices, such as harmonic generators and parametric oscillators, provide a means of extending the frequency range of available laser sources. Frequency conversion is a useful technique for extending the utility of high-power lasers. It utilizes the nonlinear optical response of an optical medium in intense radiation fields to generate new frequencies. These progresses have been used to generate high-power radiation in all spectral regions, from the ultraviolet to the far infrared. Optical parametric oscillators and amplifiers generate two waves of lower frequency. They are capable of generating a range of wavelengths from a single frequency source, in some cases spanning the entire visible and near infrared regions. Consequently, in order to obtain the green light, the pulsed Nd:YAG laser using multiple-mesh PPN(Pulsed Forming Network) method with Nonlinear optical device was adopted. We compared the current pulseshapes with the laser output energy, and conversion efficiency.

* 종신회원 : 동주대학 컴퓨터정보통신계열 전임강사

논문접수 : 2001. 5. 11.

심사완료 : 2001. 5. 31.

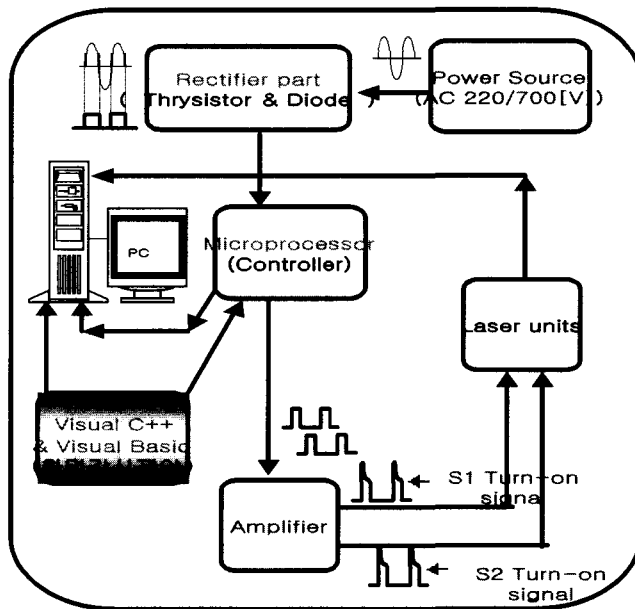
1. 서론

최근 레이저를 이용한 응용분야는 재료가공, 산업 계측, 의료용 기기 등의 다양한 분야에서 각광을 받고 있다. 그리고 레이저의 출력 측에 비선형 광학 재료를 설치하여 넓은 대역의 파장을 가진 레이저광을 얻을 수 있게 되어 보다 응용범위가 확대되고 있다. [1,2,3] 특히, 레이저광에 의한 가공은 비접촉식이고, 스폿크 크기(spot size)가 아주 작으므로 미세한 가공을 할 수 있다. 그리고 레이저광에 의한 계측은 종래의 계측기로 측정할 수 없는 범위까지 측정할 수 있으므로 과학기술의 발달에 크게 기여하고 있다.[4]

레이저 가공에 있어서는 가공재질에 따라 같은 입력에너지가 인가되더라도, 열-물리적 상호작용의 관계로 인해 레이저광의 펄스형상이 가공성능에 크게 영향을 미치고 있다고 보고되고 있다.[5,6] 또한, 산업계측 및 의료용 기기 등에는 주로 파장가변 레이저가 주로 사용된다. 종래의 파장가변 레이저인 액체 레이저는 수명이 짧고, 비교적 대형이므로 의료용 기기, 광정보처리 디스플레이, 광 계측 분야에 사용하기에 부적합하다. 그러나 최근에 소형, 장수명인 고

체 레이저(주로 Nd:YAG 레이저)의 출력측에 비선형 광학 결정을 설치하여 가시광에서 자외선까지 넓은 대역의 파장을 가진 레이저광을 얻을 수 있게 되었다.[7]

비선형 광학 결정인 KDP, LAP 등은 아주 큰 크기까지 성장시킬 수 있어 대형 레이저 시스템에 이용되고 있고, BBO, LBP 등은 고출력, 고반복이 요구되는 레이저에 이용되고 있고, KTP는 저출력 레이저에 주로 이용되고 있다. 결정 KTP는 1 μ m 근처에서 발진하는 Nd:YAG 레이저의 제 2 고조파 발생(Second Harmonic Generation : SHG)에 널리 사용되고 있는 특별한 비선형 광학 결정이다.[8] 따라서, 본 연구에서는 펄스증첩법을 이용하여 치과용 의료 기기 및 가시광을 필요로 하는 레이저 응용분야에 사용하기 위해서 직접 설계·제작한 Nd:YAG 레이저 출력측에 SHG 장치를 장착하여 원하는 펄스모양의 녹색광 및 변환효율을 얻고자 한다. 그림 1은 Nd:YAG 레이저 시스템 개략도를 나타내고 있다.

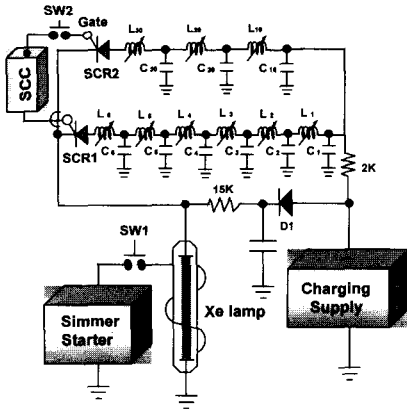


[그림 1] Nd:YAG 레이저 시스템 개략도

[Fig. 1] The schematic diagram of Nd:YAG laser system

2. 본론

2.1 실험장치



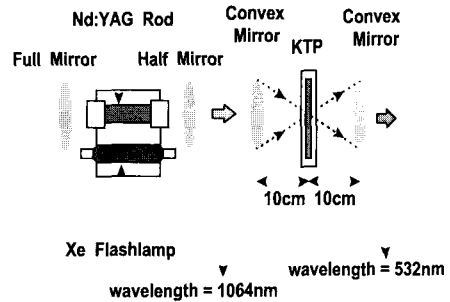
[그림 2] 두 펄스 중첩회로의 개략도
[Fig. 2] The schematic diagram of two-pulse superposition network

[그림 2]는 본 연구에서 사용한 펄스형 Nd:YAG 레이저의 전원장치의 개략도이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 전원장치는 크게 크세논(Xe) 플래쉬램프를 예비점등시키기 위한 시머회로(simmer circuit), 시머시동기(simmer starter), 충전전원(charging power supply), 6단메쉬 회로망으로 구성된 주 회로, 3단메쉬 회로망으로 구성된 중첩회로 및 중첩펄스의 지연시간을 자유자재로 제어할 수 있는 펄스중첩 제어회로로 구성되어 있다. 여기서 SCC는 Superposition Control Circuit의 약자이고, 인덕턴스 L은 큰 펄스전류가 흐를 때 자기포화를 방지하기 위해 공심 솔레노이드로 제작하여 가변될 수 있도록 하였다. 트리거 방식은 플래쉬램프의 수명 연장, 램프 상태의 제어, 효율 상승 및 인가 전압의 저전압화 등 많은 이점을 가지는 시머(simmer)방식을 이용하였다.

회로의 개략적인 동작은 다음과 같다. 충전전원 및 시머전원에 의해 플래쉬램프 양단에 약 1kV의 직류 바이어스전압이 인가된 상태에서 시머시동기를 트리거시키면 램프에 감겨있는 트리거링(trigger ring)에 의하여 램프에 약한 스트리머방전이 유지된다. 이 상태에서 SCR1의 게이트에 트리거신호를 가하면 주

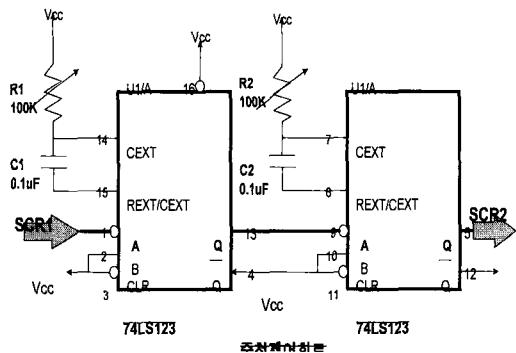
회로의 C에 저장된 충전에너지가 램프에 방전된다. SCR2의 턴온(turn on) 순간을 펄스중첩 제어회로에서 감지한 후, 임의의 지연시간 후에 SCR2의 게이트에 턴온신호를 보내게 된다.

즉, 중첩파형의 지연시간을 제어하여 임의의 지연시간 후에 중첩파형을 주파형위에 인가함으로써 원하는 형상의 계단형 펄스를 얻을 수 있다.

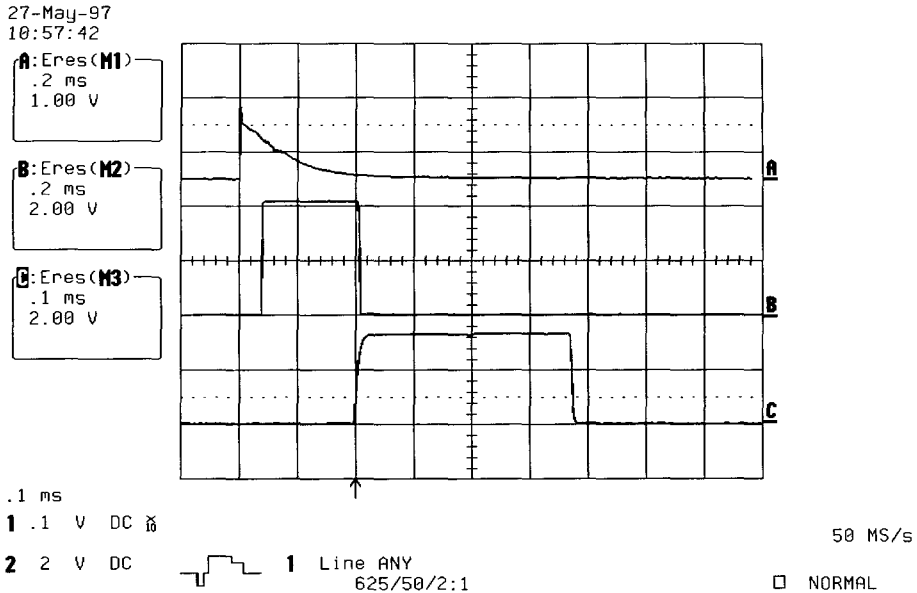


[그림 3] Nd:YAG 레이저의 녹색광 변환장치
[Fig. 3] Nd:YAG laser and green light conversion device

[그림 3]은 펄스형 Nd:YAG 레이저와 녹색광 변환장치이다. 레이저 빔이 정확하게 비선형 광학 결정에 정확하게 입사되도록 볼록렌즈를 설치하여 변환 효율을 높이도록 하였다. 이때 볼록렌즈의 초점거리가 100mm이므로 KTP결정을 정확한 위치에 놓이도록 조절하였다. 그림 4는 중첩제어회로를 원칩멀티바이브레이터 74LS123으로 구성하였고 그 파형은 [그림 5]에서 볼 수 있다.



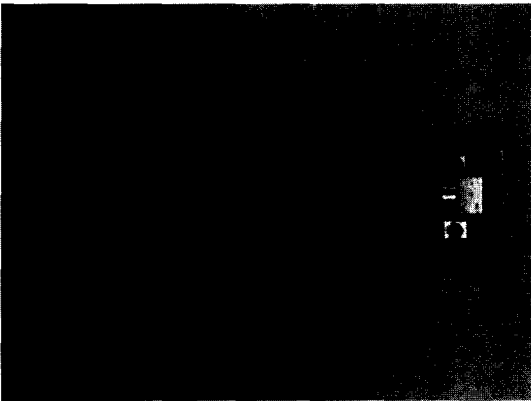
[그림 4] 중첩제어회로(74LS123)
[Fig. 4] Superposition control circuit



[그림 5] 원샷멀티바이브레이터의 동작파형

[Fig. 5] Waveform of one-shot multivibrator

2.2 실험 방법 및 결과 고찰



[그림 6] 실험장치

[Fig. 6] Experimental apparatus

본 실험은 [그림 3]에서 보는 바와 같이 1064nm의 파장을 가진 적외선 레이저 출력이 KTP를 통과한 후 532nm의 파장을 가진 녹색광원으로 변환된다. 그림 2에서 보여진 바와 같이 주회로에는 3단, 4단, 6단 메쉬를 구성하고 중첩회로에는 1단, 2단, 3단메쉬를 구성하였다. 즉 3단-1단(주회로-중첩회로), 4단-2단, 6단-3단을 가진 펄스 중첩 회로에 각각 같은 에너지를 인가해서 나오는 1064nm의 레이저 출력과 532nm의 녹색광으로 변환되어 나오는 에너지를 각각 측정하여 변환효율을 구하였다.

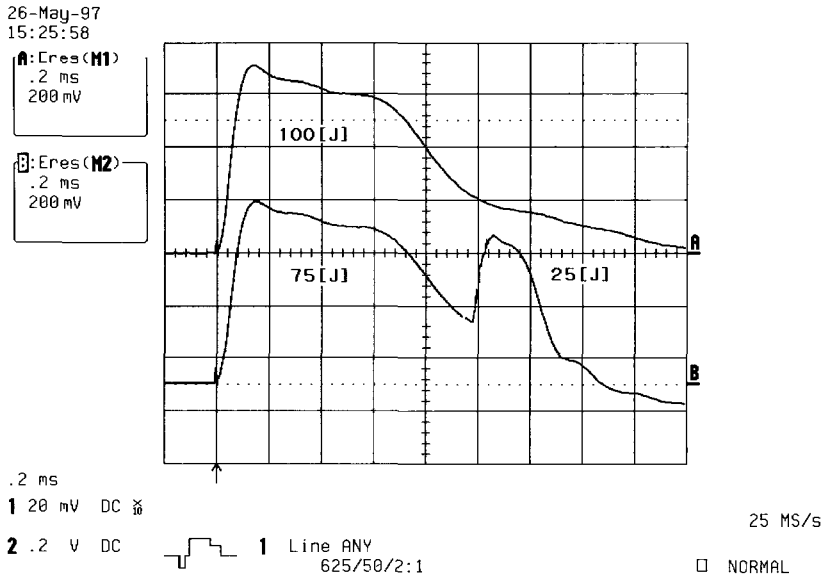


그림 7 레이저 빔 파형 (80uF/60uF)
[Fig. 7] Experimental waveform (80uF/60uF)

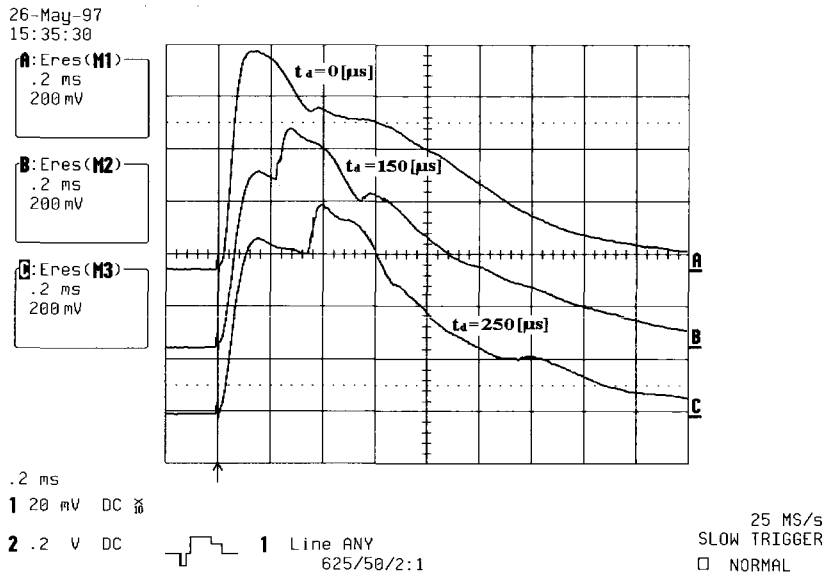
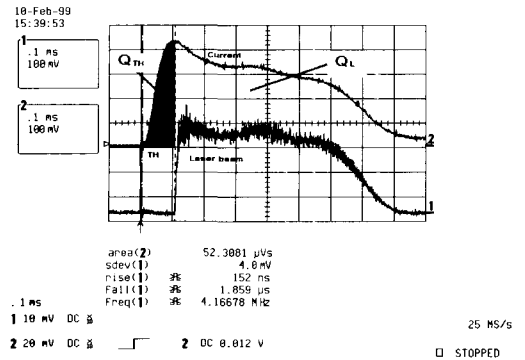
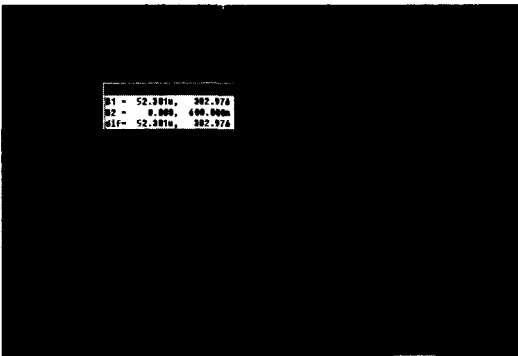


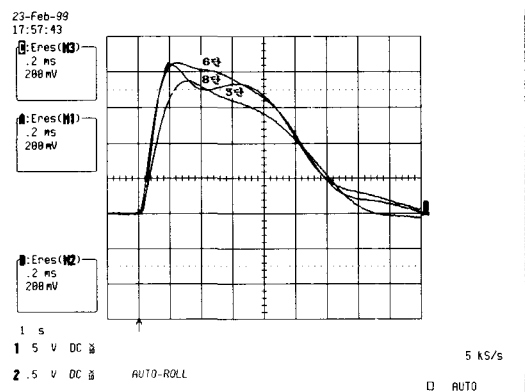
그림 8 레이저 빔 파형 (지연시간별)
[Fig. 8] Experimental waveform (delay time)



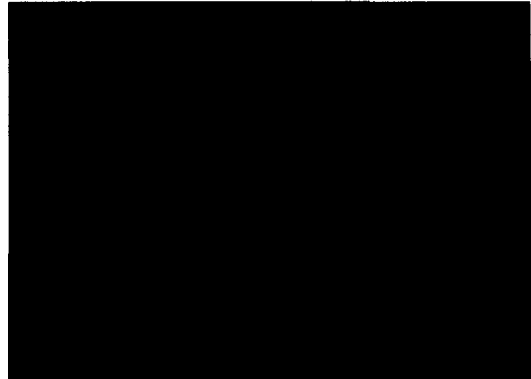
[그림 9] 레이저 빔 파형 (6단)
 [Fig. 9] Experimental waveform (6 step)



[그림 10] 실험 시뮬레이션 파형(6단)
 [Fig. 10] Experimental simulation waveform(6 step)



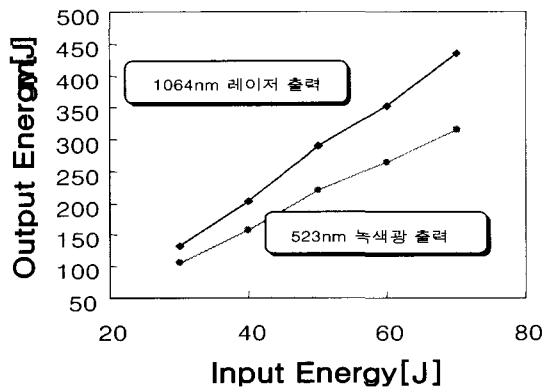
[그림 11] 레이저 빔 파형 (6,8,3단)
 [Fig. 11] Experimental waveform (6,8,3 step)



[그림 12] 실험 시뮬레이션 파형(6,8,3단)
 [Fig. 12] Experimental simulation waveform(6,8,3 step)

[그림 6]은 본 연구에서 실험한 실험장치이며 [그림 7]은 입력에너지 $E = 100J$ 충전전압 $645V$ 이며 상단 파형은 $C1 \sim C6 = 80\mu F$ 이며 하단은 $C1 \sim C6 = 60\mu F$ 로 구성된 파형이다. [그림 8]은 지연시간 T_d 의 변화에 의한 실험으로 $A=0\mu S$, $B=150\mu S$, $C=250\mu S$ 로 지연 시 출력되는 파형을 나타내고 있다.

[그림 9]는 6단의 중첩 된 레이저 빔 파형을 나타내고 [그림 10]은 6단의 중첩을 목적으로 한 시뮬레이션 파형을 나타낸다. [그림 11]은 6, 8, 3단의 중첩 된 레이저 빔 파형을 나타내며 [그림 12]는 6, 8, 3단의 시뮬레이션 파형을 나타낸다.



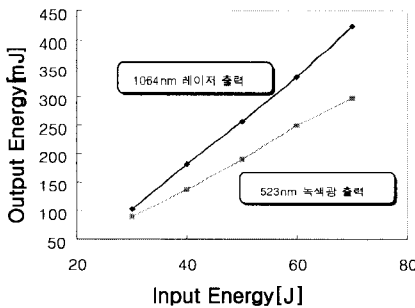
[그림 13] 3단 - 1단의 녹색광 변환
 [Fig. 13] The green light conversion characteristics of the three-mesh and one-mesh

2.2.1 3단-1단 메쉬에서의 녹색광 변환특성

[그림 13]은 주 회로에는 3단, 중첩회로에는 1단 메쉬를 구성하여 입력 에너지를 30[J]부터 70[J]까지 10[J]씩 증가시켰을 때 Nd:YAG 레이저 출력과 비선형 광학결정을 통과한 후의 녹색광의 출력을 측정하였다. 입력에너지가 증가할수록 녹색광 변환효율이 감소하였다.

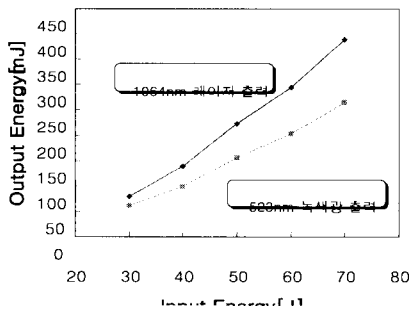
2.2.2 4단-2단 메쉬에서의 녹색광 변환특성

[그림 14]는 주회로에는 4단, 중첩회로에는 2단 메쉬를 구성하여 입력에너지를 각각 가변시켜가며 인가했을 때 레이저의 출력과 녹색광 출력을 측정하여 각각의 변환특성을 나타내었다. 입력에너지가 증가할수록 녹색광으로 변환하는 효율이 감소하였다.



[그림 14] 4단 - 2단의 녹색광 변환

[Fig. 14] The green light conversion characteristics of the four-mesh and two-mesh



[그림 15] 6단 - 3단의 녹색광 변환

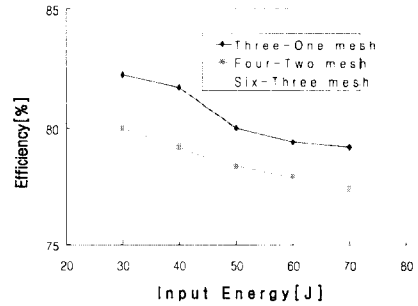
[Fig. 15] The green light conversion characteristics of the six-mesh and three-mesh

2.2.3 6단-3단 메쉬에서의 녹색광 변환특성

주회로에는 6단, 중첩회로에는 3단 메쉬를 구성하여 입력에너지를 각각 가변시켜가며 인가했을 때 레이저의 출력과 녹색광 출력을 측정하여 각각의 변환특성을 [그림 15]에 나타내었다. 입력에너지가 증가할수록 녹색광으로 변환하는 효율이 감소하였다.

2.2.4 메쉬수에 따른 녹색광 변환 효율 특성

[그림 16]은 메쉬수에 따른 녹색광의 변환효율을 나타낸다. 3단에 1단을 중첩했을 경우, SHG 장치를 통한 녹색광 출력 및 변환효율이 가장 높았다.



[그림 16] 메쉬수에 따른 녹색광 변환 효율특성

[Fig. 16] Green light conversion efficiency characteristics vs the number of meshes

3. 결론

본 연구에서는 펄스중첩법을 적용한 펄스형 Nd:YAG 레이저의 출력측에 SHG 장치를 장착하여 통과해 나오는 녹색광의 출력특성을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 가. 동일한 입력에너지를 인가했을 경우 녹색광 출력이 3단-1단(주회로-중첩회로)의 경우가 4단-2단의 경우보다 약 10%, 6단-3단의 경우보다 약 30% 높았다.
- 나. 입력에너지를 30[J]부터 70[J]까지, 10[J]씩 증가시킬수록 녹색광 변환 효율은 약 0.5% 씩 감소하였다.

※ 참고문헌

- [1] 田幸敏治, 大井みささほ, “レーザー入門”, 光學技術シリーズ12, 共立出版株式會社, p39~40, 1985年
- [2] Frank L. Pedrotti, S. J., Leno S. Pedrotti, “Introduction to optics”, Prentice-Hall Inc., p547~551, 1993
- [3] Walter Koechner, “Solid-state laser engineering”, Springer, chapter 8, 1999
- [4] 김휘영 외 2인 “SMPS 방식의 고반복 펄스형 CO2 레이저의 출력특성 최적화, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.2192-2194, 1999.07, 대한전기학회
- [5] W.Y. Kim “ A new proposal of high repetitive Nd:YAG laser power supply adopted the sequential charge and discharge cicuit, K-J Symposium on ED & HVE, 5권, pp.85-88, 1999.10, IEEJ and KIEE
- [6] Yasutomo Fujimori, “Laser Material Processing in Electric Industries”, Proceeding of Lamp '92, Nagaoka, pp. 981-986, (1992).
- [7] Albright. C. “Laser Welding, Machining and Materials Processing”, IFS Publication, pp.8-12, (1996).
- [8] 김휘영 “실시간 데이터 인터페이스처리를 이용한 고체레이저의 출력제어에 관한 연구” 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.80-82, 1998.12, 대한전기학회
- [9] Orazio Svelto, “Principles of Lasers”, Plenum Press, New York, Chap. 9, (1982).
- [10] A. L. Petrov et al. “New Advances in Industry Application of YAG Pulse Lasers”, Proceeding] of Lamp '92, Nagaoka, pp. 993-997, (1992).
- [11] Whi-Young Kim, Jung-Hwan Hong, Dong-Sung Moon, Hee-Je Kim, A simple pulsed Nd:YAG laser power supply adopted ZPC method, J-K Symposium on ED & HVE, pp.706-1~706-4, 2000.10, IEEJ and KIEE
- [12] Whi-Young Kim, Jung-Hwan Hong, Hyun-Joo Jung, Hee-Je Kim “The digital controlled implementation of the resonant DC-DC converter with high voltage, high frequency for pulsed Nd:YAG Laser J-K Symposium on ED & HVE, pp.144-148, 1998.10, IEEJ and KIEE
- [13] 김휘영의 4인 “다단메쉬 PFN방식 펄스형 Nd:YAG 레이저의 출력특성 비교, 대한전기학회 논문집, 제47권, 제5호, pp.685-690, 1998.3.20 대한전기학회(1998).
- [14] 김휘영의 3인 “ ZPS방식을 적용한 새로운 펄스형 Nd:YAG Laser전원장치 개발, 제4차 통신전자 학술대회 논문집, pp.3B: 53-57, 2000.09, 국방과학연구소

김휘영



1989 부경대학교 전자공학과
공학사
1992 동아대학교 전자공학과
공학석사
2001 부산대학교 전기공학과
공학박사
2000, 2~ 현재 동주대학
컴퓨터정보 통신계열 전임강사
관심분야 :
laser 설계 및 전자 의료기기,
광응용 시스템,
시스템 프로그래밍