

단일타원 펄스형 Nd:YAG 레이저의 최적 동작에 관한 연구

곽 병 구*, 김 동 현, 정 중 한, 조 정 수, 김 희 제
부산대학교 전기공학과

Optimal operating characteristics of single -elliptical Nd:YAG laser

Byung-Goo Kwak*, Dong-Hyun Kim, Jong-Han Jung,
Jung-Soo Cho, Hee-Je Kim
Dep. of Electrical Eng., Pusan National Univ.

ABSTRACT

In order to optimize the operational characteristics of single elliptical pulsed Nd:YAG laser designed and fabricated compactly, it is very important to design the resonator shape and the PFN(Pulse Forming Network) suitably. We have been shown that the EMTP(Electro-Magnetic Transient Program) simulation was used effectively in designing PFN. And Next, we have been compared current pulse width, laser beam profile and damping parameter with laser output energy. In this paper, we have suggested the optimization of PFN design and the best operational condition.

1. 서 론

1964년 벨 연구소의 Geusic에 의하여 최초로 발명된 Nd:YAG 레이저는 루비 레이저와 함께 고체 레이저의 주류를 형성하고 있다.[1] 또, 상온에서 연속발진은 물론 노멀펄스, Q스위치 및 모드 동기 발진까지 다양한 발진형태가 가능하여 가공용, 의료용, 측정용, 에너지 개발, 물리화학에의 연구용 등 기존의 고체 레이저 중에서 가장 응용 범위가 폭넓은 레이저로서 각광을 받고 있다.[2-4]

단일타원형 공진기로 구성된 펄스형 Nd:YAG 레이저의 컴팩트화 및 동작특성의 최적화를 이루기 위해서는 단일타원 공진기 구동전원의 설계에 있어 최적화를 기하는 것이 가장 중요하다.

본 논문에서는 효율 1% 이상인 정밀 측정용에 사용할 컴팩트 단일타원 레이저헤드 및 안정형 공진기를 채용한 펄스형 Nd:YAG 레이저의 동작특성을 최적화 하기 위한 공진기 치수, 인덕턴스 L값, 전류 펄스파형, 레이저 출력펄스 프로파일, α 값 등과 레이저 빔출력과 상관관계를 비교 분석하여 목표 출력에 대한 PFN 최적 설계 및 최적 동작조건을 제시하였다.

2. 단일타원 펄스형 Nd:YAG 레이저 설계 및 제작

2-1. 전원 및 PFN 구성

그림1은 전원장치와 펄스형회로의 개략적 구성을 나타낸다. 실험에서 커패시턴스 C값은 80-200 μ F로 가변될 수 있도록 구성하

였고, 인덕턴스 L값은 공심솔레노이드로 제작하여 최대 200 μ H까지 가변될 수 있도록 하였다. 입력에너지는 40J로하여 L, C 및 충전전압 V_0 를 변화시켜 감쇠정수 α 를 0.43-1.43, 전류파형 펄스폭 t_p 를 80-600 μ s로 가변시켜 가면서 레이저 빔출력과 상관관계를 비교 고찰하였다.

2-2. 단일타원형 펄스형 Nd:YAG 레이저 공진기 구성

그림2는 본 연구에서 설계, 제작한 레이저 공진기의 구성도를 나타낸다. 공진기 중앙에 단일 타원 구조의 반사경이 있고 그 양기에 레이저 발진을 유도해 내기 위한 두 개의 거울 즉, 전면반사경(반사율 99.9%이상, 곡률반경 2m인 오목 거울) 및 부분 반사경 (반사율 40%의 평면 거울)로 구성된다. 광여기 시스템은 Nd:YAG 로드를 광으로 여기시키는 플래시램프, 램프에서 반사되는 빛을 효과적으로 로드에서 전달시키는 펌프공동(pump cavity) 그리고, 레이저 빔을 발생시키는 활성매질인 Nd:YAG 로드로 구성된다.

그림3은 본 연구에서 사용한 펌프공동의 개략도를 나타낸다. 단일 타원형 반사경의 두 중심에 각각 플래시램프와 Nd:YAG 로드를 두는 구조로 구성하였고, 램프에서 나온 모든 광이 단일 타원의 내부 금막코팅 반사경에 의하여 로드로 조사하게 되어 있다. 단일 타원은 이심률(두 초점 사이의 길이/장축의 길이)이 0.46이 되도록 설계하였다

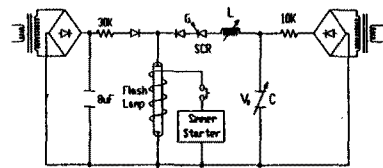


그림 1. 전원 및 PFN 구성

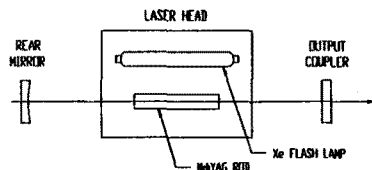


그림 2. 레이저 공진기의 구성

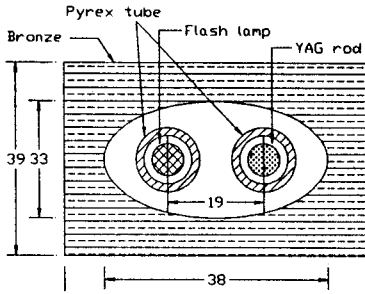


그림 3. 펌프공동의 개략도

3. 실험결과 및 검토

그림 4는 입력에너지가 40J일 때 C를 파라메타로 하여 L값을 변화시켜 측정한 레이저 출력능을 나타낸다. 그림에서 C=80 μ F 즉, C의 충전전압이 가장 높을 때가 출력에너지도 높은 경향을 보인다. L값의 변화에 따른 출력에너지는 L=30 μ H에서 가장 높게 나타남을 알 수 있는데, 이는 플래시램프 구동전류 파형의 최적 형상과 레이저 최적 동작조건을 결정하는 L값이 존재함을 예견할 수 있다. 80-200 μ F의 범위에서 C값에 관계없이 L=30 μ H일 때 최대 레이저출력이 얻어지는 원인을 알아내기 위해 입력에너지 E₀=40J, 커패시턴스 C=80 μ F, 충전전압 V₀=1000V일 경우의 L값 변화에 따른 전류펄스 형상을 관측하여 비교 고찰 하였다.

그림 5는 동일 조건에서 인덕턴스 L값만을 가변시켜 관측한 전류파형과 레이저 발파형이다. L값이 그림 (a)는 10 μ H, 그림 (b)는 30 μ H, (c)는 50 μ H, (d)는 100 μ H일 경우에 관측한 파형이다. 그림에서 A파형은 방전전류 파형, B는 레이저 출력빔의 프로파일, TH(Threshold)는 반전분포 형성 후 발진시작점을 나타낸다. 레이저 출력빔의 프로파일은 편형 포토 다이오드(Pin photo-diode 모델명 : Antel ARS-1)를 이용하여 측정하였다. L=10 μ H 및 L=30 μ H일 경우의 전류 적분파형에서 발진시작점을 기준으로 반전분포 형성 후 발진 시작점까지에 소모되는 에너지 E_m와 레이저 발출력에 기여하는 에너지 E₀을 계산한 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} L=10[\mu H] : E_m &= 22.1[J] & E_0 &= 17.9[J] \\ L=30[\mu H] : E_m &= 19.6[J] & E_0 &= 20.4[J] \end{aligned}$$

상기의 계산 결과를 비교하면, L=10 μ H인 경우 반전분포 형성 후 발진시작점은 L=30 μ H인 때보다 빠르지만 발진 시작점까지에 소모되는 에너지는 L=10 μ H에서는 22.1J L=30 μ H에서는 19.6J로 L=10 μ H인 경우가 더 크고, 입력 전기에너지 40J중 레이저 발출력에 기여하는 에너지는 L=10 μ H에서는 17.9J L=30 μ H에서는 20.4J로 L=30 μ H인 경우가 더 크므로 최대 레이저출력은 C=80 μ F인 경우 L=30 μ H에서 얻어지며 이 때, 전류파형의 펄스폭 t_p는 147 μ s, 감쇠정수 α 는 0.69이다.

그림의 전류파형에서 L=30 μ H와 50 μ H의 경우에 ³²를 비교해 보면 L=30 μ H일 때가 L=50 μ H의 경우보다 훨씬 큰 값을 나타낸다. 따라서 레이저 빔의 출력은 L값이 클수록 오히려 감소하는 결과를 가져온다. 이것은 PTN에 L값을 크게하여 전류 펄스폭을 늘린 경우 동일한 입력에너지에 대해 더 낮은 피크전류가 형성되므로 그 결과 레

이저출력에 기여하는 플래시램프 방사효율이 낮아지는 원인을 제공한다. 또한 L값이 30 μ H보다 더 크게 되면 전류펄스 지속시간이 자연 방출 시간보다 더 길어지고 행방손실이 일어남을 의미한다. 즉, 전류 펄스폭이 길어지면 레이저 상위준위에 여기된 일부의 원자들이 여기과정 중에 자연방출로 인하여 레이저 전이를 일으켜 버리므로 레이저출력은 감소하게 된다.

그림6은 C를 파라메타로 한 감쇠정수 α 값의 변화에 따른 레이저 출력에너지 특성이다. 그림에서 C=100 μ F일 경우 임계감쇠(critically damping : $\alpha=0.8$)조건 부근에서 최대 레이저 출력이 나타나며, C값이 작을수록 레이저 출력의 최대치가 나타나는 지점의 α 값도 작아지는 경향을 보인다. 레이저 출력에너지가 최대인 점은 C=80 μ F일 때, $\alpha=0.7$ 정도에서 나타난다. 일반적으로 PTN은 임계감쇠되도록 설계해야 한다고 되어 있으나, 실제로는 $\alpha=0.5$ 정도에서 5%이하의 역전류를 보일 뿐이며, α 값이 0.5이하에서도 전류역전이 PTN설계에 심각한 문제점을 야기하지 않는다고 이론 및 실험으로 설명하고 있다.[5]

4. 결 론

본 연구에서는 레이저빔 출력효율이 1% 이상으로서 목표출력이 약 500mJ인 정밀 측정용에 사용할 컴팩트한 단일타원 펄스형 Nd:YAG 레이저를 설계 제작하여 동작특성의 최적화를 도모하였다. 즉, PTN 설계 시에 인덕턴스 L값과 커패시턴스 C값을 크게 변화시켜 가며 감쇠정수 α , 전류 펄스폭 t_p, 레이저빔 파형 등이 실제의 레이저 발출력에 미치는 영향을 비교 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 입력에너지를 40J로 하여 L, C 및 충전전압 V₀를 변화시켜 레이저 출력에너지를 측정할 결과, L=30 μ H인 경우 반전분포 형성 후 발진 시작점까지에 소모되는 에너지는 L=10 μ H인 경우보다 작고, 입력 전기에너지 40J중 레이저 발출력에 기여하는 에너지는 L=10 μ H에서는 17.9J, L=30 μ H에서는 20.4J로 L=30 μ H인 경우가 더 크므로 최대 레이저출력은 C=80 μ F인 경우 L=30 μ H에서 얻어졌다.
- (2) L, C값 변화에 따른 감쇠정수 α 와 레이저 출력에너지의 관계를 측정할 결과, C값이 작을수록 레이저 출력의 최대치가 나타나는 지점의 α 값은 작아지는 경향을 보이며 레이저 출력에너지가 최대인 점은 C=80 μ F일 때 $\alpha=0.69$ 정도에서 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] 김희재 외 3인, "Nd:YAG 레이저 제작 및 응용기술" 전기학회지, 제 42권, 제 3호, 1993, PP 19-27
- [2] 오프트로닉스社, "레이저-테크놀로지-集成, 1990
- [3] 김희재 외 3인, "시뮬회로를 이용한 펄스형 Nd:YAG 레이저의 Q스위치 동작특성", 전기학회 논문지, 제 44권, 제 3호, 1995, pp 397-399
- [4] W. Koechner, "Solid-State Laser Engineering", Springer-Verlag, New York, Heidelberg, 1987
- [5] R. H. Dishington et al., "Flash Discharge and Laser Efficiency", Appl. Optics, Vol. 13, No. 10, 1974, pp 2300-2312
- [6] 김희재 외 3인, "플래시램프 두 개를 가진 펄스형 Nd:YAG 레이저의 적, 병렬 점등회로의 비교", 전기학회 논문지, 제 44권, 제 11호, 1995, pp 1517-1523

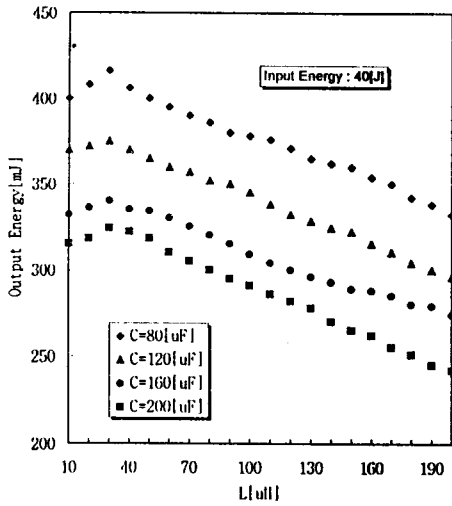
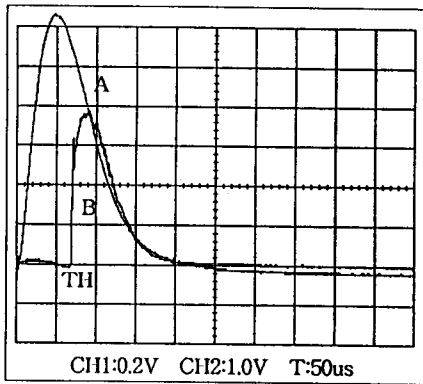
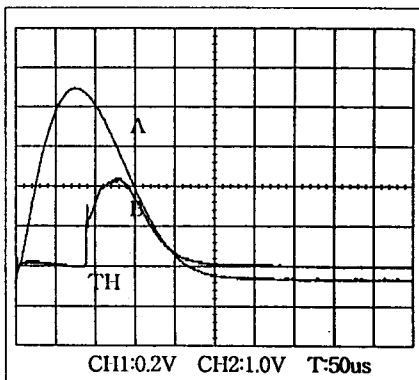


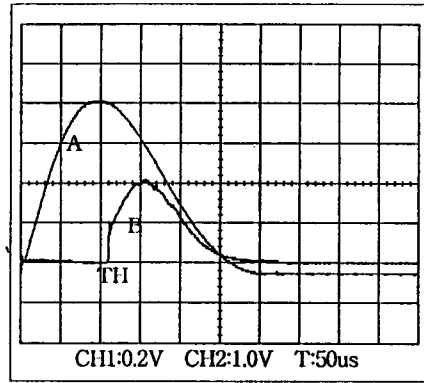
그림 4. 인덕턴스 L값 변화에 대한 레이저출력 특성



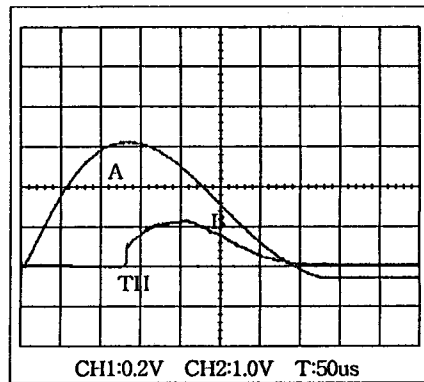
(a) C=80 μ F, L=10 μ H



(b) C=80 μ F, L=30 μ H



(c) C=80 μ F, L=50 μ H



(d) C=80 μ F, L=100 μ H

그림 5. 플레쉬캡트 전류파형 및 레이저빔 프로파일

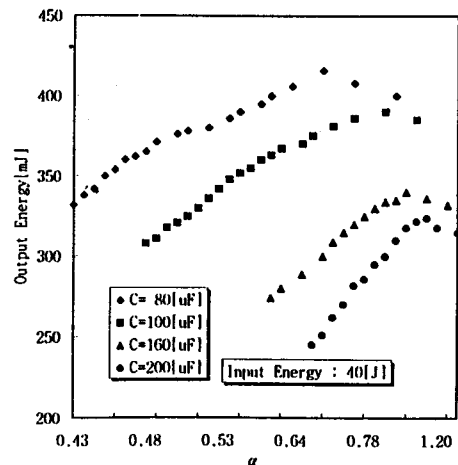


그림 6. 감쇠계수 α 값 변화에 대한 레이저출력 특성