

플래쉬 램프로 펌핑되는 어븀 글래스 레이저 공진기의 빔질 특성에 관한 연구

이종윤*, 정진호*
*호서대학교 전자공학과
e-mail:fg2004@nate.com

A Study on Beam Quality Characteristic in a Flash Lamp Pumped of Er:Glass Laser Resonator

Jong-Youn Lee*, Jin-Ho Jung*
*Dept. of Electronics, Hoseo University

요 약

본 논문에서는 Er:glass 레이저 매질에 제논 타입의 플래쉬 램프로 여기시켜 고출력, 고안정화 레이저 빔 특성을 실험적으로 분석 및 고찰하였다. 실험적 결과 완전한 형태의 선형적인 레이저 빔 특성을 얻을 수는 없었으나 레이저 특성인 거의 선형적인 모양의 그래프 특성이 나타남을 확인할 수 있었다.

1. 서론

보통의 레이저는 안정한 레이저라 부르며, 그 방식은 오목 거울을 사용하여, 빛의 왕복이 결국 중앙라인에 수렴되도록 만들고, 빛이 빠져나가는 방법은 오직 투과만 하도록 설계된 것이다. 레이저 출력의 특성을 결정짓는 많은 요소가 있다. 그 중 중요한 인자로는 레이저의 활성매질, 레이저 공진기 그리고 활성매질을 여기시키는 과정이라 할 수 있다. 레이저 활성매질은 가는 형광 선들과 강한 흡수밴드를 가지고 있어야 한다. 이러한 특성은 대부분 고체에서 나타나는데 이러한 고체중에서 Er:Glass[1-3]는 결정내에서 형광 수명이 길고 좁은 형광 선폭을 가지고 있으며 높은 레이저 이득과 좋은 역학적 성질을 가지고 있기 때문에 보편적인 고체 레이저의 활성매질로 사용되고 있다. 또한, 레이저 공진기는 출력 빔의 질을 결정하는데 중요한 역할을 한다. 따라서, 공진기는 크게 안정공진기와 불안정공진기로 나누는데, 안정공진기의 경우 TEM 모드가 거울 사이에 구속 되어 있다. 그래서 TEM 모드의 크기가 작고 출력 빔의 발산이 크며 이득이 클 경우 즉, 출력이 클 경우 빔은 높은 차수의 모드를 가진다. 출력 빔은 거울에 의한 회절로 인하여 여러 모드들이 중첩되어 있고 빔의 발산 정도가 크고 TEM₀₀ 모드의 빔의 직경이 작고 활성 매질의 효율이 적은 반면 비

안정 공진기는 회절에 의한 효과가 작고 빔의 발산 정도가 작으며 TEM₀₀ 모드의 빔의 직경과 레이저 이득이 크므로 활성매질의 효율이 크다. 또한 안정 공진기에 비해 모드들 간에 구별이 쉽다. 불안정 공진기는 광선이 반사경에 의해 공진기 축을 향해 빛이 반사되는 안정 공진기와는 달리 작은 볼록 거울을 사용해 광선이 공진기 축에서 광선이 공진기에서 벗어날 때까지 유지시킨다. 그럼으로써 빛을 옆으로 빠져나가게 만들어서 도넛형태의 큰 빔을 만들어내는 것이 목적이다. 불안정 공진기의 장점은 대개 이득 물질 안에 더 큰 광선 부피를 만들어 광선이 더 많은 분포 역전과 상호 작용할 수 있게 함으로써 더 많은 출력을 생성할 수 있다는 점이다. 주로 펄스 기체-고체 레이저에 사용된다. 레이저의 빔질과 공진기 안정도가 좋은 고출력 고체 레이저는 많은 연구자에 의해 개발되었다[4-6]. 특히 레이저 헤드를 공진기 내에서 대칭형으로 배열하면 공진기의 안정도가 우수해진다고 보고되었다[7-8]. 산업용 및 의료용으로 많이 이용되는 고출력 연속 발진 Er:Glass 고체 레이저 경우 대칭형 공진기로 설계된 경우가 많다.

2. Er:Glass 레이저의 이론적 고찰

레이저 동작에 유리한 조건을 가지고 있는 Erbium Glass laser는 고체 레이저에 가장 일반적으로 사용되는 레이저 물질이다. 어븀은 매우 단단하고 광학적 질이 우수하며 열전도도가 매우 좋다. 또한, 어븀의 결정은 좁은 형광 선폭을 가지고 있기 때문에 결과적으로 이득이 높고 레이저 작용을 위한 임계값이 낮다. 또한, 어븀은 저온에서부터 용해점까지 안정된 구조를 유지하고 변형이 일어나지 않는다. 이러한 Er:Glass의 중요한 성질을 표 1에 제시하였다.

[표 1] Er:Glass 레이저의 물리적 성질

QX/Er:Glass 레이저의 성질	QX/Er:Glass
최대 레이저 파장	1535nm
방출 단면적	$0.8 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$
흡수 단면적($\times 10^{-20} \text{ cm}^2$)	$1.7 \times 10^{-20} \text{ cm}^2 @ 977 \text{ nm}$
형광 수명	7900 μs
형광 선폭FWHM	55.0nm
굴절률	1.532 n_D
Abbe 수	63.7
굴절률(레이저 라인)	1.521
dn/dt (20-40 °C)	$-21 \times 10^{-7} / ^\circ \text{C}$
복굴절률의 열적응력 계수	$9.1 \times 10^{-7} / ^\circ \text{C}$
열광학 계수(70 °C 일 때)	$41 \times 10^{-7} / ^\circ \text{C}$
(30 °C 일 때)	$33 \times 10^{-7} / ^\circ \text{C}$
변환 온도	470 °C
변형 온도	502 °C
열확장 계수	
(20-40 °C일 때)	$76 \times 10^{-7} / ^\circ \text{C}$
(20-100 °C일 때)	$88 \times 10^{-7} / ^\circ \text{C}$
(20-300 °C일 때)	$99 \times 10^{-7} / ^\circ \text{C}$
밀도	2.93(g/cc)
열 전도도	0.85(W/mK)
영률	$67 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$
포아송 비	0.24
응력 광학 계수	$2.3 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{N}$
응력 열광학 계수	$5.1 \times 10^{-6} / \text{K}$
Knoop 경도	435 kgf/mm ²
열적 부하 제한(TLL)	
(unstrengthened)	>150(watts/inch)
LAMP PUMPED	
(strengthened)	5 × 80mrod > 450
LAMP PUMPED	
(strengthened)	10 × 150mrod > 250

열충격 저항 T_{SH} 는 인장 항복 응력에서 온도 차이(ΔT). 이러한 등방성 물질은 다음 식으로 표현된다[9].

$$T_{SH} = \frac{\sigma_f (1 - \mu)k}{\alpha E} \quad (1)$$

여기서, 각각의 인자 σ_f 는 파괴 응력이며 μ 는 물질들의 포아송 비, k 는 열전도도, E 는 영률이고 α 는 열확장 선형계수이다. 물질의 에너지양을 측정하는 성능지수(FOM)는 Krupke의 조사되어 졌으며 다음식과 같이 표현된다[10].

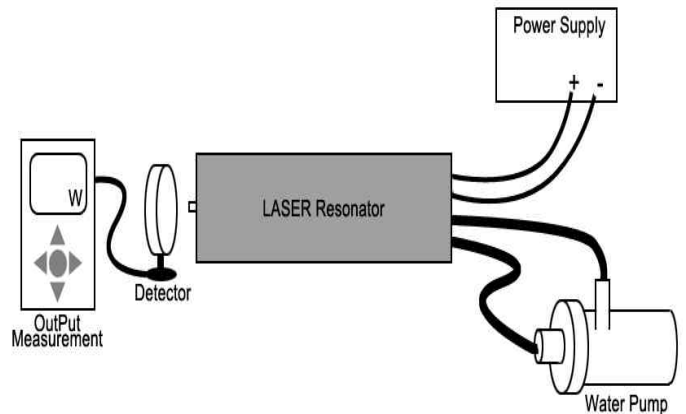
$$(1 - \mu)k/\alpha E \quad (2)$$

물질 표면의 물리적인 조건에 따라 파괴응력은 정확한 값을 얻기 위해 서로 다른 값을 갖는다. 포아송 비, 열전도도 그리고 영률은 글래스 성분을 표시하는 것으로써 변화하지 않는다. 그러므로, 열충격 저항은 열확장 계수에 의해 매우 중요하다. 일반적으로 열확장 계수는 매우 낮고 열충격 저항은 매우 높다.

3. Er:Glass 레이저의 실험적 고찰

본 절에서는 Er:glass 레이저 공진기를 이용한 출력 전력을 측정하기 위한 실험 구성도이다. 실험 장비로는 전력공급기, 수중 펌프, 검출기 그리고 출력측의 전력을 측정하기 위한 오실로스코프로 구성되어 있다.

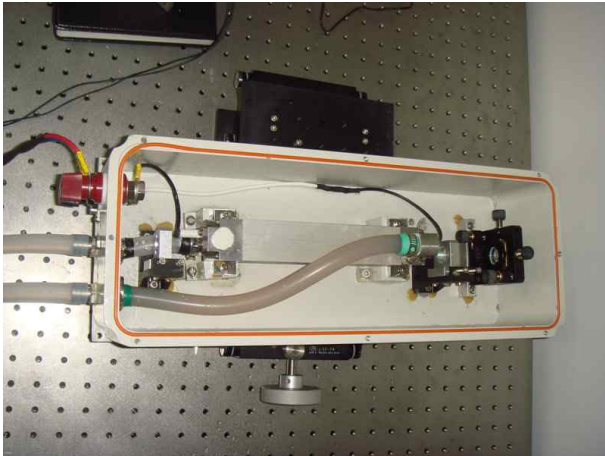
3.1 Er:Glass 레이저의 기본 구조



[그림 1] Er:Glass 레이저 실험 구성도

그림 1에서 전력 공급기로 전압을 200에서 400[V]로 조정한다. 그리고 수중 펌프로 레이저 공진기 내

에 있는 레이저 붕과 플래쉬 램프에 열적 손상으로 인한 파괴 현상이 발생되지 않게 하기 위하여 냉각 시켜 주는 역할을 하므로 필수적이라 할 수 있다. 공진기내의 구조는 마이크로 레이저 공진기 구조를 사용하였으며, 여기광원으로는 플래쉬램프를 사용하였다. 이렇게 펌핑된 레이저 빔은 검출기를 통해 출력측의 오실로스코프에 의해 출력전력이 측정되어진다.



[그림 2] 챔버 내부 구성도

그림 2는 본 연구에 사용된 챔버 내부 구성도이다. 챔버 내부에는 마이크로 렌즈 2개가 설치되어 있으며, 입력측 렌즈는 5° 경사진 99% 오목 반사경을 사용하였으며, 출력측은 90% 정도 반사할 수 있는 반투명 반사경을 사용하였다. 또한, 공진기 내부에는 레이저 붕과 여기 광원으로 사용되는 제논 플래쉬 램프를 삽입하였다.



[그림 3] 실험 장치 구성도

그림 3은 본 실험에 적용된 전체 실험 구성도를 제

작하였다. 그림에서 보여지는 것과 같이 레이저 시스템의 고출력 및 고안정화를 위해서는 10,000 μF 의 대용량 캐패시터 4개가 사용되어 졌으며 이를 이용하여 전압을 가변하는데 용이하게 사용되어 진다.

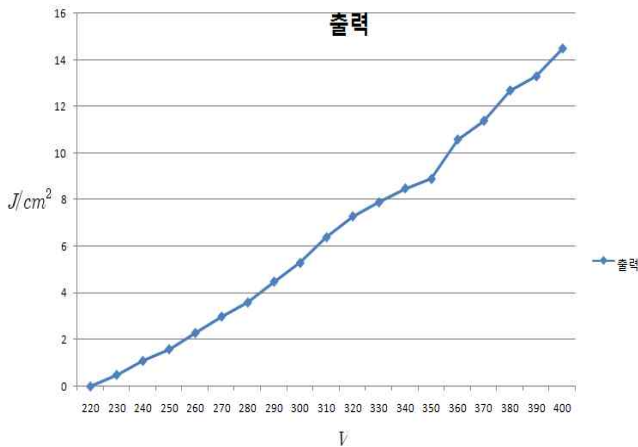
3.2 Er:Glass 레이저의 실험에 의한 출력 전력 특성

본 절에서는 그림 3을 통해 나타난 전압에 따른 출력측의 레이저 빔 특성을 표 2와 그림 4에 나타내었다.

[표 2] 입력 전압에 따른 출력 전력 변화값

입력[V]	출력 빔[J/cm ²]
220	0
230	0.5
240	1.1
250	1.6
260	2.3
270	3
280	3.6
290	4.5
300	5.3
310	6.4
320	7.3
330	7.9
340	8.5
350	8.9
360	10.6
370	11.4
380	12.7
390	13.3
400	14.5

표 2에서 보이는 바와 같이 제논 타입의 플래쉬 램프에 의해 여기된 광원을 220에서 400V까지 펌핑하여 10V의 일정한 전압을 증가시킴으로써 출력측의 레이저 빔 또한 거의 선형적으로 증가됨을 확인할 수 있다.



[그림 4] 전압에 따른 출력층의 레이저 빔 특성

4. 결론

본 연구에서는 오목-평면 거울로 이루어진 공진기의 레이저 빔 특성을 실험을 통하여 관찰하였다. 또한, 저차모드로 높은 출력을 얻기 위해서는 레이저 매질의 모드 부피가 커야한다. 이러한 조건을 만족할 수 있는 공진기 구조는 레이저 헤드가 오목 거울 근방에 위치해 있어야 한다. 그리고 레이저 펌핑광의 빔 세기를 최적으로 증가시켜 온도 변화량의 경계 부근에서 동작시킬 때, 출력층 레이저 빔을 얻을 수 있었다. 이러한 빔의 특성을 얻기 위해서 220에서 400[V]까지 펌핑된 전압을 10[V]씩 일정하게 증가함으로써, 산업용 및 의료용으로 적용할 수 있는 데이터 값을 얻을 수 있었다. 그러나 그림 4에서 보이는 바와 같이 완전한 선형적인 레이저의 그래프 특성을 얻지 못하였으나 실험적으로 조금 더 안정화 되어진다면 좋은 레이저 빔 특성을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] T.Yanagisawa, K.Asaka, K.Hamazu, and Y. Hirano, "11-mJ, 15-Hz single frequency diode-pumped Q-switched Er, Yb:phosphate glass laser," Opt. Lett. 26, 1262-1264, 2001.

[2] H. Qi, X. Hou, Y. Li, Y. Sun, "Co²⁺:LaMgAl₁₀O₉ saturable absorber Q-switch for a flash lamp pumped 1.54μm Er:glass laser," Opt Express., 15, 3195-3200, 2007.

[3] R. Rabinovici, A. Ishaaya, I. Peer, L. Shimshi, N. Davidson, and A. Friesem, "Increasing

output energy from a passively Q-switched Er:glass laser," Appl. Opt. 46, 7426-7431, 2007.

[4] S. Konno, T. Kijima, S. Fujikawa, and K. Yasui, "stabilization of a high-power diode-side-pumped intracavityfrequency-doubled CW Nd:YAG laser by compensating for thermal lensing of a KTP crystal and Nd:YAG rods," Opt. Lett. Vol. 25, pp. 105-107, 2000.

[5] J. R. Park, J. Y. Lee, H. S. Kim, K. Y. Um, and H. J. Kong, "Characteristics of a birefringence compensation scheme in Nd³⁺:YAG rods using a polarization rotator and an imaging optics," Opt. Re., vol. 4(1B), pp. 170-175, 1997

[6] W. Koechner, Solid-state Laser Engineering 4th ed., Springer-Verlag, Berlin, 1996.

[7] N. Hodgson and H. Weber, Optical resonators (Springer-Verlag, London, UK,1997), pp. 367-443.

[8] K.P. driedger, R. M. Infflander, and H. Weber, "Multirod resonators for High-power Solid-state lasers with improved beam quality," IEEE J. Quantum Electron., Vol. 24, pp. 665-674, 1988.

[9] W.D. Kingery et al., Introduction to Ceramics (Wiley, New York, 1975) pp. 823.

[10] W.F. Krupke, Insulator Materials in High Power Lasers for Inertial Fusion: Present and Future, UCRL-89439, 1983.