두개의 레이저 헤드를 이용한 레이저 공진기에서의 안정조건과 빔질 요소(M^2) 분석

Charateristcs of a laser resonator with double Nd:YAG rods

김현수, 차용호, 이성만, 고도경, 임권, 차병헌
한국원자력연구소 양자광학팀
kimhs@kaeri.re.kr

고품질 고출력 고체 레이저는 산업계와 학계에 많이 이용되기 때문에 많은 과학자들이 연구 개발 중이다[1,2]. 고품질, 고출력 레이저 제작의 가장 큰 저해 요소는 흡수된 펌프광이 비 복사 방출하면서 발생하는 열에 의한 렌즈 효과와 열 복굴절 효과이다. 열 렌즈는 공진기의 안정 조건을 변화시키며 열 복굴절효과는 레이저 빔의 편광 왜곡과 이중 초점을 형성시켜 레이저 빔의 질을 저하시킨다.

편광 왜곡 보상과 이중 초점을 제거하기 위해 주로 사용되어지는 광소자는 Faraday 회전자, $\lambda/4$ 판, 석영 회전자 등이 사용되어진다.[3,4] 두 개의 레이저 헤드를 이용하여 열 복굴절 보상하는 경우는 주로 90° 석영 회전자를 이용된다. 두 개의 레이저 헤드를 이용한 레이저는 고품질의 빔을 얻기 위해 두 레이저 헤드 사이에 형성된 빔 허리에 구경을 두어 고차 모드를 제거하는 방식을 주로 사용하기 때문에 두 헤드간의 거리는 빔의 특성과 안정 조건을 결정하는 중요한 변수가 된다. 본 연구에서는 대칭구조에서 두 헤드간의 거리와 펌프 파워의 변화에 따른 레이저의 안정 조건과 빔질 요소(M^2)를 조사였다.

안정 조건과 빔질요소는 그림 1과 같은 레이저 구조에 대해 조사하였다. 레이저 로드의 직경은 ϕ3 mm 이라고 가정했다. 그리고 각 레이저 로드는 균일하게 펌핑된다고 가정했다. 레이저의 안정 조건을 구하기 위한 레이저 로드의 ABCD 광선 전달 행렬 ($M_{r,\phi}$)는 다음과 같다.

$$M_{r,\phi}=\begin{bmatrix} \cos\Gamma_{r,\phi}L & (n_0\Gamma_{r,\phi})^{-1}\sin\Gamma_{r,\phi}L \\ -(n_0\Gamma_{r,\phi})\sin\Gamma_{r,\phi}L & \cos\Gamma_{r,\phi}L \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, L는 레이저 로드의 길이, $\Gamma_{r,\phi}\equiv(\triangle n_{r,\phi}/n_0)^{1/2}$ 이며 $\triangle n_{r,\phi}$는 다음과 같이 가정하고 로드의 끝면의 효과는 무시했다.

$$\triangle n_{r,\phi}=n_0\frac{4\triangle T}{R^2}\left(\frac{1}{2n_0}\frac{dn}{dT}+n_0^2\alpha C_{r,\phi}\right) \quad (2)$$

여기서, n_0는 중심의 굴절률, dn/dT는 굴절율의 온도 변화 계수, α는 열 팽창계수, R는 레이저 로드의 반경, $C_{r,\phi}$는 r 편광과 ϕ 편광에 대한 광탄성 효과를 나타내는 계수이다. $\triangle T$는 레이저 로드의 중심과 가장자리와의 온도차이며 레이저 로드의 열 렌즈 초점거리를 측정함으로써 구할 수 있다. 식 (1)을 이용하여 레이저 공진기의 총 ABCD 광선 전달 행렬을 구하여 레이저의 안정조건과 빔질 요소(M^2)를 구할 수 있다[5,6]. 그림 2는 열복굴절 보상하지 않을 때의 안정조건과 빔질 요소을 레이저 로드의 온도 변화에 따라 구한 것이다. 반면에 그림 3은 그림 2와 같은 조건에서 열 복굴절 보상을 했을 때, 레이저 안정 조건과 빔질 요소를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 열 복굴절 보상하면 레이저의 빔 질은 전반적으로 좀 더 좋아짐을 이론적으로 보였

다. 또한 열 복굴절 보상 구조에서는 두 레이저가 레이저 거울에 가까이 위치할수록 빔질이 좋아짐을 보였다.

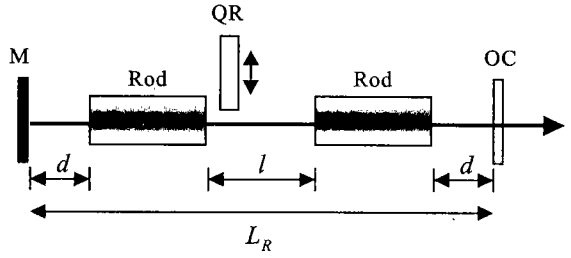
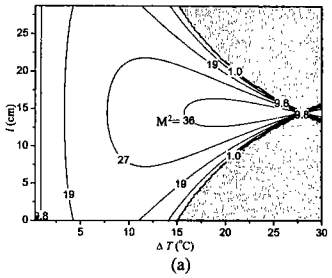


그림 1. 두 개의 레이저 헤드를 이용한 공진기



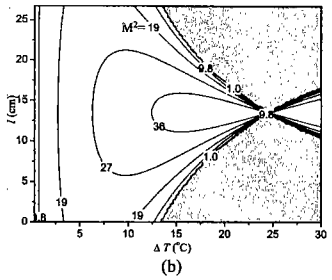
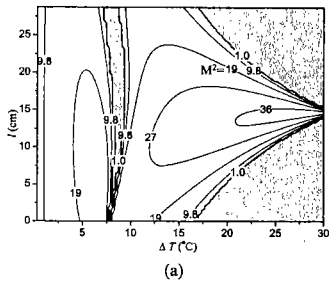


그림2. 열 복굴절 보상하지 않을 때의 안정 조건과 빔질 요소. (a) L_R=40 cm, L=5.5 cm; (b) L_R=40 cm, L=6.5 cm



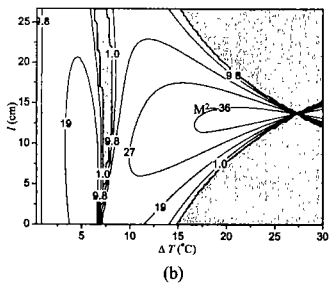


그림 3. 열 복굴절 보상 했을 때의 안정 조건과 빔질 요소. (a) L_R=40 cm, L=5.5 cm; (b) L_R=40 cm, L=6.5 cm

참고문헌

1. S. Konno, T. Kjima, S. Fujikawa, and K. Yasui, Opt. Lett. 25 (2000) 105.
2. S. Konno, T. kojima, S. Fujikawa, and K. Yasui, Opt. Lett. 25, 105-107 (2000).
3. Y. Hirano, Y. Koyata, S. Yamamoto, K. Kasahara, and T. Tajime, Opt. Lett. 24 (1999) 679
4 J. R. Park, J. Y. Lee, H. S. Kim, K. Y. Um, and H. J. Kong, Opt. Rev. 4 (1997) 170.
5 W. Koechner, *Solid-state Laser Engineering*, 4th ed., Splinger-Verlag, Berlin, 1996.
6 R. Inffländer, H. P. Kortz, and H. Weber, Opt. Commun. 29 (1979) 223.