

렌즈형 레이저 막대들로 구성된 대칭형 Nd:YAG 레이저의 출력 특성 분석

김현수[†]

조선대학교, 광기술공학과
Ⓣ 501-759 광주광역시 동구 서석동 375번지

이성만 · 이용주

원자력연구소, 양자광학팀
Ⓣ 305-600대전광역시 유성구 우편사서함 105

(2005년 9월 13일 받음, 2006년 2월 16일 수정본 받음)

두개의 렌즈형 Nd:YAG 막대들로 구성된 두 종류의 대칭형 레이저 공진기에 대한 공진기 안정도, 빔질 특성(M²)과 레이저 출력 등을 비교 분석하였다. 실험은 두개의 레이저 막대를 서로 근접시킨 구조의 레이저와 레이저 막대가 레이저 거울에 각각 거의 밀착된 구조의 레이저를 이용하여 수행하였다. 또한복굴절 보상 소자를 두 종류의 공진기에 사용했을 때의 레이저 출력 특성도 비교 분석하고 수치 해석하였다.

주제어 : Nd:YAG, Thermal birefringence, Resonator, Stability, Mode volume.

I 서 론

산업용으로 많이 활용되는 고출력 Nd:YAG 레이저는 좋은 출력특성을 얻기 위해 많은 연구자에 의해 연구 개발되고 있다.^[1-4] 특히, 두 개의 레이저 막대를 이용한 레이저는 구조가 간단하고 제작이 용이하기 때문에 고출력 고체 레이저 공진기로 많은 연구가 이루어졌다.^[2,3] 이 레이저는 두 개의 Nd:YAG 막대를 공진기 내에서 대칭형으로 배열하면 빔질과 공진기의 안정도가 우수해진다고 알려져 있다.^[1,3] 이러한 특징 때문에 두 개의 Nd:YAG 막대를 이용한 고출력 레이저는 대칭형 공진기로 설계된 경우가 많다. 두 개의 레이저 막대로 구성된 대칭형 공진기는 레이저 막대들의 상대적 위치에 따라 빔질의 특성과 펄프광의 세기에 따른 공진기 안정영역에 대한 다른 특성을 가지고 있다. 평면거울로 이루어진 공진기의 경우 각각의 레이저 막대를 공진기 중심으로부터 공진기 길이의 1/4에 설치하면 펄프광의 세기에 따른 공진기 안정영역이 가장 넓게 된다.^[1,2] 그러나 이 구조에서는 안정영역이 넓은 대신 빔질은 다른 구조보다 좋지 않다. 반면에 두 개의 레이저 막대가 서로 맞대어 있는 경우와 완전히 분리되어 레이저 거울에 각각 맞대어 있는 경우는 펄프광의 세기에 따른 공진기 안정영역은 작지만 레이저 빔질이 좋은 것으로 알려져 있다.^[1,2] 레이저 빔질이 좋으면서 펄프광의 세기에 따른 공진기 안정영역을 넓이는 방법 중 한 가지는 두 개의 레이저 막대의 끝면들을 오목 렌즈 형태로 가공하여 서로 맞대게 하거나 완전히 분리하여 레이저 거울에 각각 맞대도록 하는 것이다.^[5] 이 두 공진기 구조는 기하광학적 관점에서 공액관

계가 있다. 따라서 광선전달행렬(ABCD 행렬) 또는 g-매개변수를 이용한 수치해석의 결과에 의하면 공액관계에 있는 두 공진기의 레이저의 출력 특성은 같다.^[1,2] 그러나 이론에 포함되지 않는 여러 가지 실험요소에 의해 수치해석 결과와 차이가 있을 것으로 예측되지만 구체적인 비교실험은 그동안 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 수치적으로 같은 빔질 특성을 갖는 대칭형 레이저 공진기 중에서 두 개의 레이저 막대가 서로 맞대어 있는 경우와 완전히 분리되어 레이저 거울에 각각 맞대어 있는 경우에 대해 실험적으로 비교하였고 수치해석 결과와 비교하였다. 또한 열복굴절 보상 소자로 이용되는 90° 석영 회전자를^[4] 레이저 공진기에 사용하여 앞의 경우와 같은 실험 수행하여 그 결과를 수치해석 결과와 비교하였다.

II. 렌즈형 레이저 막대로 구성된 Nd:YAG 레이저 공진기 분석

실험에 사용된 렌즈형 레이저 막대로 구성된 대칭형 Nd:YAG 레이저는 그림 1과 같다. 그림 1(a)는 열복굴절 보상 소자로 사용되는 90° 석영 회전자를 공진기에 사용하지 않는 구조이고 그림 1(b)는 90° 석영 회전자를 공진기에 삽입한 구조이다. 광학 소자간의 물리적 접촉을 피하기 위해 실험에서는 1.5 또는 3 cm 정도의 간격을 두었다. 실험에 사용된 레이저 막대의 직경은 3 mm이고 길이가 50 mm이며 레이저 막대는 레이저 다이오드에 의해 3면에서 공진기 광축에 수직하게 펄프되도록 되어 있다. 그리고 실험에 사용된 레이저의 막대의 끝면은 구면으로 가공해 고출력 펄프 광세기에서 고품질의 레이저빔이 발진하도록 설계되었다.^[5] 레이저 막대

[†] E-mail: hskim21@chosun.ac.kr

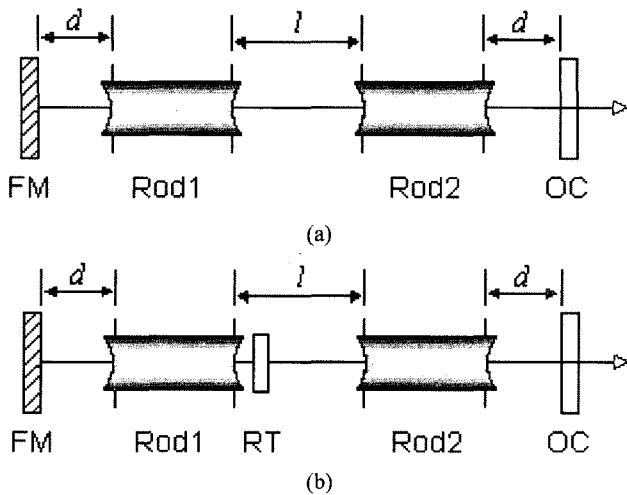


그림 1. 두 개의 렌즈형 레이저 막대로 구성된 대칭형 공진기 구조도 (a) 열복굴절 보상 소자가 없는 경우, (b) 열복굴절 보상을 위한 90도 석영 회전자를 삽입한 경우. FM: Full Mirror, RT: 90o-Rotator, OC: Output Coupler.

의 끝면의 곡률 반경(R_{curv})은 50 cm가 되도록 오목하게 가공되어 있다. Nd의 도핑비율은 0.6 wt%로 되어 있다. 레이저 다이오드(LD)의 펌프파워와 레이저 막대의 끝면에서 초점위치까지의 거리(f_{mas})는 그림 2와 같다. 레이저 막대의 끝면이 곡률이 없는 평면인 경우 Nd:YAG 막대의 중심과 레이저 막대 가장자리와의 온도차(ΔT)와 Nd:YAG 막대의 열초점거리($f_{r,\phi}$)는 다음의 관계식을 만족한다.^[6]

$$\Delta T = \left(\frac{5.16 \times 10^4 (r)}{7.07 \times 10^4 (\phi)} \right) \frac{R_0^2}{l_r} \cdot \frac{1}{f_{r,\phi}} \quad (1)$$

여기서, R_0 는 레이저 막대의 반경, l_r 는 펌핑된 레이저 막대의 길이이다. 열초점거리를 r 편광과 ϕ 편광에 대해 분리한 이유는 레이저 막대가 펌핑광을 흡수한 후 발생한 열에 의한 스트레스가 r 방향과 ϕ 방향에서 각기 다르기 때문이다. 이로 인해 r 편광과 ϕ 편광에 대한 굴절률이 각각 달라 각 편광에 대한 열초점거리가 다르게 된다.

식 (1)을 이용하여 레이저 막대 끝면이 곡률이 가질 경우에 대한 레이저 끝면에서 측정된 초점위치까지의 거리(f_{mas})는 다음과 같은 식으로 유도된다.

$$\frac{1}{f_{mas}} = \frac{\left(1 - \frac{h}{f_{eff}}\right) \left\{ \left(1 - \frac{h}{f_{eff}}\right) \frac{1}{f_{r,\phi}} + \frac{2}{f_{eff}} \right\}}{\left(1 - \frac{h}{f_{eff}}\right) \left(1 - \frac{h}{f_{r,\phi}}\right) - \frac{h}{f_{eff}}} \quad (2)$$

여기서, f_{eff} 는 레이저 막대 끝면의 곡률에 의한 유효 초점거리이고 h 는 레이저 끝면에서 레이저 막대 주평면까지의 거리이다. 식 (2)에 식 (1)을 대입하면 식 (2)은 ΔT 의 비선형 방정식 형태로 된다. 그러나 실험에 사용한 Nd:YAG 막대에 대해서는 ΔT 가 40도까지는 비선형 항 값이 작아 근사적으

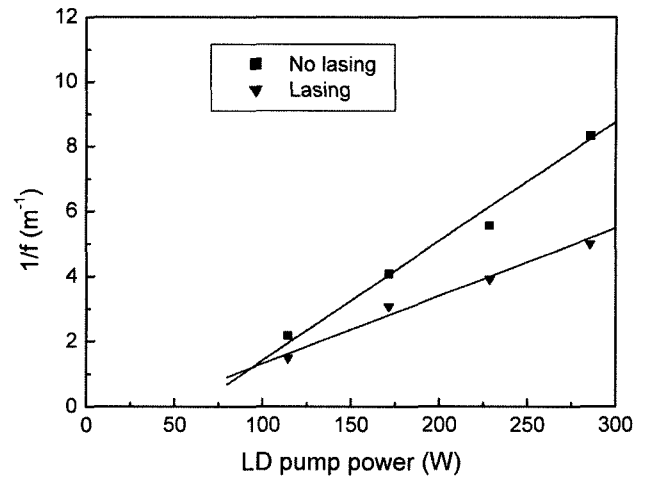


그림 2. 측정된 Nd:YAG 열초점거리. -■- 공진기 구성없이 실험한 경우, -▼- 공진기가 구성되어 발진하는 경우.

로 선형관계를 가지고 있다. 그림 2에서도 측정된 열 초점거리의 역수와 LD 펌프파워는 서로 비례함을 알 수 있다. 열 초점 거리 측정 실험은 두 가지 경우에 대해 실험 하였다. 레이저의 발진이 없이 레이저 막대가 펌핑만 된 경우와 레이저 거울을 이용해 레이저가 발진 상태에 있을 경우에 대해서이다. 레이저가 발진되지 않을 경우 펌핑 에너지가 열로 많이 가기 때문에 레이저의 열 초점 거리가 레이저가 발진한 경우 보다 짧음을 알 수 있다. 실제 실험에서 레이저가 발진된 상태이기 때문에 레이저 발진상태에서 레이저의 열 초점거리 측정값은 실험결과 분석에 유용하다. 공진기내의 최대 M^2 값과 공진기 안정도는 ABCD 광선 전달 행렬을 이용하여 계산할 수 있으며, 분석을 하기위해 광선이 공진기 내를 한번 왕복했을 때 광선이 지나간 각 광학소자의 ABCD를 행렬을 곱해서 구한 최종 행렬을 이용했다. 대부분의 광학소자의 ABCD 행렬은 잘 알려져 있다. 다만 레이저 막대에 대한 광선 전달행렬은 온도의 함수로 형태가 복잡한 함수로 되어있다. 보통 레이저 막대의 끝면이 평평한 레이저 막대의 경우 ABCD 광선 전달 행렬($M_{r,\phi}$)는 다음과 같다.^[7]

$$M_{r,\phi} = \begin{bmatrix} \cos \Gamma_{r,\phi} l_r & (n_0 \Gamma_{r,\phi})^{-1} \sin \Gamma_{r,\phi} l_r \\ -(n_0 \Gamma_{r,\phi}) \sin \Gamma_{r,\phi} l_r & \cos \Gamma_{r,\phi} l_r \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서, $\Gamma_{r,\phi} \equiv (\Delta n_{r,\phi} / n_0)^{1/2}$ 이며 $\Delta n_{r,\phi}$ 는 다음과 같이 된다.

$$\Delta n_{r,\phi} = n_0 \frac{4 \Delta T}{R_0^2} \left(\frac{1}{2n_0} \frac{dn}{dT} + n_0^2 \alpha C_{r,\phi} \right) \quad (4)$$

여기서, n_0 는 중심의 굴절률, dn/dT 는 굴절율의 온도 변화 계수, α 는 열팽창계수, $C_{r,\phi}$ 는 r 편광과 ϕ 편광에 대한 광탄성 효과를 나타내는 계수이다. 식 (3)은 레이저 막대의 끝면 효과가 미소하기 때문에 끝면 효과를 무시하고 유도한 식이다.^[6] 본 연구에서 분석하고자 하는 공진기는 레이저 막대의 끝면에 오목 렌즈로 가공된 경우이므로 끝면의 효과를 고려

해야한다. 레이저 막대의 끝면은 유효곡률을 갖는 오목-평면 렌즈로 가정할 수 있고 끝면에 대한 ABCD행렬은 다음과 같이 주어진다.^[5]

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -(n_0 - 1)/R_{eff} & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서, 레이저 끝면의 유효곡률은 다음과 같이 주어진다.

$$R_{eff} \approx \frac{R_0^2}{\alpha \Delta T + \frac{R_0^2}{R_{curv}}} \quad (6)$$

분석에 사용된 공진기의 안정도를 구하기 위해서는 광선이 공진기를 한번 왕복했을 때의 ABCD 행렬을 구해야 된다. 행렬의 형태는 다음과 같이 주어진다.

$$M_{tot} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \\ = [d][F][M_{r,\phi}][F][l][F][M_{r,\phi}][F][2d][F][M_{r,\phi}][F][l][F][M_{r,\phi}][F][d] \quad (7)$$

여기서 $[l]$ 과 $[d]$ 는 거리 l 과 d 에 대한 ABCD 행렬이다. 행렬 곱 M_{tot} 을 이용하여 공진기 안정 조건과 빔질을 구할 수 있다. 90° 석영 회전자를 삽입한 공진기에 대해서는 회전 효과를 주기 위해 식 (7)에서 7번째와 11번째 행렬($M_{r,\phi}$)을 행렬 ($M_{\phi,r}$)로 변환하면 된다. 그리고 이 경우 90° 회전자의 두께에 의한 광로정의 차는 작다고 가정한다. 식 (7)을 이용한 공진기의 안정조건(S)은 다음과 같이 주어진다.^[8]

$$-1 \leq S \left(= \frac{A+D}{2} \right) \leq 1 \quad (8)$$

그리고, 공진기에서 발생할 수 있는 빔의 최대 전파 인자(M^2)는 다음과 같은 간단한 식으로 구할 수 있다.^[8]

$$M^2 = \frac{R_0^2}{\omega_R^2} \quad (9)$$

여기서 ω_R 는 레이저 매질 내에서 기본 모드의 최대 반경이다. 식 (8)과 식 (9)을 이용해 렌즈형태로 가공된 레이저 막대들로 이루어진 레이저 공진기의 안정도와 빔질 특성 결과를 분석하였다. 그림 3은 공진기 길이가 40 cm인 Nd:YAG 레이저에서 형성될 수 있는 최대 M^2 값과 공진기 안정 영역을 식 (8)과 식 (9)을 이용한 수치 결과를 보여주고 있다. 수치해석 결과는 빔질을 나타내는 M^2 값과 안정영역을 ΔT 와 l 의 함수로 등고선 형태로 그린 것이다. 그림에서 회색 영역이 레이저가 발진하지 않는 불안정 영역이다. 그림 3(a)는 회전자 삽입 되지 않은 경우이고 그림 3(b)는 회전자를 두 레이저 막대 사이에 삽입한 경우이다. r 편광과 ϕ 편광의 열 초점거리는 서로 미소하게 차이 나기 때문에 r 편광과 ϕ 편광에 대한 물리적 특성이 크게 나지 않는다. 따라서 수치계산에서는 r 편광에 대해서만 수행하였다. 회전자를 공진기에

삽입함으로 안전영역의 중심부에 불안정 영역이 나타남을 그림 3(b)에서 볼 수 있다. 이 영역은 회전자를 삽입 않는 공진기에서 안정도(S)가 -1인 영역이며 레이저 공진기 해석에 많이 사용되는 g-그림(diagram)의 원점에 해당한다. 회전자를 삽입하면 공진기 내의 레이저빔의 편광이 회전자를 지나면서 편광이 90° 회전하게 되고 이로 인해 공진기의 대칭성이 깨지게 된다. ΔT 가 증가할 때, 이 비대칭성은 g-그림에서 원점이 아닌 2사분면 혹은 4사분면을 지나가게 해서 일시적인 불안정 영역이 형성되게 한다. 그림 3(a)의 계산 결과는 레이저 막대가 균일하게 펌핑 되었다고 가정한 경우이기 때문에 실제 레이저 공진기에서는 90° 석영 회전자를 공진기에 삽입하지 않아도 S가 -1인 근방 영역에서 불안정 영역이 된다. 그림 3의 두 결과를 비교하면 회전자를 삽입한 경우 레이저의 빔질이 약간 향상된 것으로 보인다. 그리고 레이저 막대가 서로 맞대어 있거나 레이저 막대가 레이저 거울에 맞대어 있을 때 레이저의 빔질이 다른 대칭형 구조의 공진기보다 우수함을 알 수 있다.

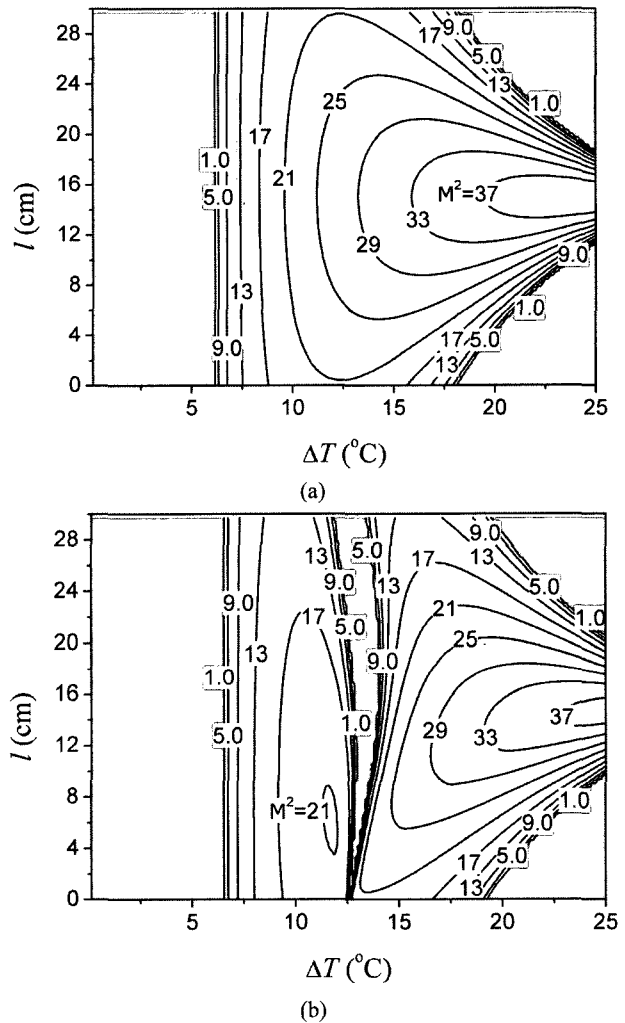


그림 3. 계산된 공진기의 M^2 값. (a) 열복굴절 보상 소자가 없는 경우, (b) 열복굴절 보상을 위한 90° 석영 회전자를 삽입한 경우.

III. 두 개의 레이저 헤드가 서로 맞대어 있는 경우와 레이저 거울에 각각 맞대어 있는 경우에 대한 대칭형 Nd:YAG 레이저 공진기 비교 실험

비교 실험을 위해 먼저 회전자를 사용하지 않는 경우에 대해 실험하였다. 공진기 길이는 40 cm로 하여 계산 결과와 비교하였다. 두개의 레이저 막대를 서로 근접시킨 경우는 물리적 접촉에 의한 파손을 피하기 위해 두 레이저 막대 사이를 약 3 cm 정도로 유지하여 실험하였다. 레이저 막대가 공진기 거울에 맞대어 있을 경우는 공진기 거울과 레이저 막대 사이가 약 1.5 cm 정도로 유지하였다. 실험 결과는 그림 4와 같다. 실험결과는 레이저 출력이 레이저 막대가 공진기 거울에 맞대어 있을 경우가 좋았지만 레이저의 빔질은 레이저 막대를 서로 근접시킨 경우가 약간 좋았다. 펌프 파워가 약 340 W에서 레이저 출력이 최대가 되었고 약 450 W에서는 레이저가 거의 동작하지 않았다. 식 (1), 식 (2)와 그림 2의 결과를 이용하면 펌프 파워 450 W는 11도의 ΔT 에 해당한다. ΔT 가 12도(펌프 파워 510 W에 해당)인 영역은 공진기 안정도(S)가 -1인 영역이다. 실제에 있어서 레이저 막대가 이상적으로 펌핑되고 두 개의 레이저 막대가 완벽히 동일하다고 할 수 없다. 즉 불균일한 펌프광의 분포에 의한 수차나 레이저 막대들의 물리상수의 작은 차이에 의한 비대칭, 각 광학 소자의 회절효과 등에 의해 미소한 물리적 변화에 민감한 안정영역경계 부근 혹은 공진기 안정도(S)가 ± 1 영역 부근에서는 수치 계산 결과와는 차이가 있을 수 있다. 이러한 요인에 의해 펌프광 세기가 450 W(ΔT 가 11도) 영역에서 수치적으로는 레이저가 발진해야 되지만 실험에서는 레이저 다이오드 파워가 380 W에서부터 레이저 출력이 감소하기 시작하여 450 W에서부터 레이저가 거의 발진하지 않았을 것으로 추정된다.

ABCD를 이용한 수치분석(그림 3(a))에서는 레이저 막대를

근접시킨 경우와 분리한 경우는 서로 같은 구조지만 실험에서는 그림 4와 같이 약간 다른 결과를 얻었다. 실험결과에서 레이저 다이오드의 파워가 340 W에서 M^2 값이 레이저 막대를 근접시킨 경우보다 레이저 막대가 공진기 거울에 맞대어 있을 경우가 더 컸다. 이 결과는 레이저 막대가 공진기 거울에 맞대어 있을 경우에는 레이저의 고차모드성분들이 많이 있음을 의미한다. 그 이유는 레이저 막대를 통과한 레이저빔이 레이저 거울에 의해 곧바로 다시 레이저 막대로 입사되어 증폭되기 때문에 고차모드의 발산에 의한 손실이 상대적으로 레이저 막대를 근접시킨 경우보다 적기 때문일 것으로 추정된다.

많은 과학자들이 레이저의 빔질을 향상시키기 위해 레이저 공진기에 90° 석영 회전자를 삽입한 경우가 있다.^[1-4] 본 연구에서 공진기 내부에 90° 석영 회전자를 삽입한 경우에 대해서도 앞의 비교실험을 수행하였다. 실험 결과는 그림 5와 같다. 계산결과(그림 3(b))에서는 레이저 막대가 분리되었을 때와 분리되지 않을 때의 빔질의 차이가 났지만 실험에서는 반대로 크게 차이가 나지 않았다. 계산과 실험의 차이를 몇 가지 경우로 설명할 수 있다. 첫째, 계산상의 M^2 값은 주어진 공진기 구조에서 최대로 얻을 수 있는 M^2 값이다. 그러나 실제의 경우 모드들 간의 경쟁에 의해 계산 값보다 M^2 값이 적게 나온다. 그림 3(b)과 그림 5를 비교하면 측정된 M^2 값은 수치계산 결과보다 적음을 알 수 있다. 따라서 측정된 M^2 값에 영향을 미칠 수 있는 것은 공진기 구조에 의한 고차 모드 손실의 정도에 의존한다고 생각되어진다. 앞의 90° 석영 회전자가 없는 공진기에서와 같이 레이저 막대가 레이저 거울에 가까이 있는 경우는 레이저 막대를 근접시킨 경우보다 고차모드 손실이 작아 M^2 값이 상대적으로 약간 높게 측정된 것으로 분석되어진다. 그러나 레이저 막대가 레이저 거울에 가까이 있는 경우가 수치 계산에서 예측했던 것과 같이 불안전 영역으로 갈수록 M^2 값이 막대를 근접시킨 경우보다

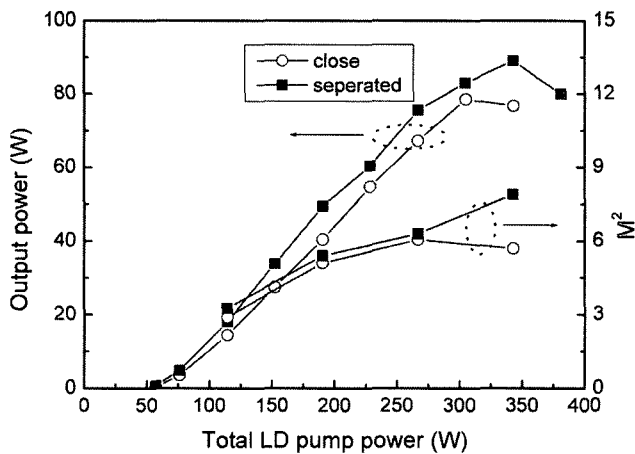


그림 4. 열복굴절 보상 소자가 없는 경우의 공진기에 대한 레이저 출력과 측정된 M^2 값. -○- 레이저 막대가 서로 맞대어 있는 경우, -■- 레이저 막대가 분리되어 레이저 거울에 근처에 설치된 경우.

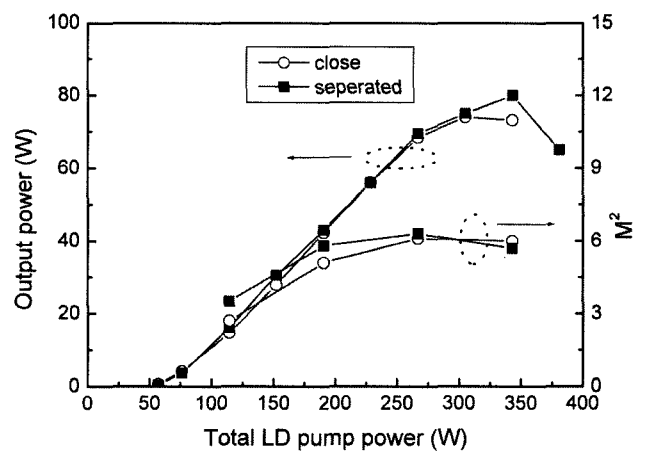


그림 5. 열복굴절 보상을 위한 90도 석영 회전자를 삽입한 경우의 공진기에 대한 레이저 출력과 측정된 M^2 값. -○- 레이저 막대가 서로 맞대어 있는 경우, -■- 레이저 막대가 분리되어 레이저 거울에 근처에 설치된 경우.

빠르게 작아지고 있음을 알 수 있다. 90° 석영 회전자를 삽입을 한 경우와 하지 않는 경우의 실험 결과는 레이저 막대를 근접시킨 공진기에 대해서 큰 차이를 보이지 않았지만 레이저 막대가 분리된 공진기에 대해서는 90° 석영 회전자를 삽입하면 빔질이 많이 개선됨을 알 수 있었다.

IV. 결 론

고품질 고효율 레이저로 활용되는 두 개의 렌즈형 레이저 막대들로 구성된 대칭형 레이저 공진기의 출력 특성을 분석하였다. 분석은 레이저 막대가 서로 맞대어 있는 경우와 레이저 막대가 레이저 거울에 근접해 있는 경우에 대해 비교 실험을 통해 이루어졌다. 실험 결과 열복굴절이 보상되지 않는 공진기에서는 레이저 막대가 서로 맞대어 있는 경우에서 레이저 막대가 레이저 거울에 근접해 있는 경우보다 빔질이 우수 했고 레이저 출력은 반대로 레이저 막대가 레이저 거울에 근접해 있는 경우가 우수했다. 90° 석영 회전자를 이용한 공진기에서는 앞의 두 가지에 경우에 대한 출력 특성들이 서로 큰 차이를 보이지 않았다. 다만 레이저 막대가 분리된 공진기에 대해서는 90° 석영 회전자를 삽입하면 빔질이 많이 개선됨을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] N. Hodgson and H. Weber, *Optical resonators* (Springer-Verlag, London, UK, 1997).
- [2] 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.
- [3] Y. Hirano, Y. Koyata, S. Yamamoto, K. Kasahara, and T. Tajime, "208-W TEM00 operation of a diode-pumped Nd:YAG rod laser," *Opt. Lett.*, Vol. 24, pp. 679-681, 1999.
- [4] J. Y. Lee, H. S. Kim, K. Y. Um, J. R. Park, and H. J. Kong, "Compensation of polarization distortion of a laser beam in a four-pass Nd:glass amplifier by using a Faraday rotator," *Trends Opt. Photon.* vol. 1, pp. 216-221, 1996.
- [5] 김현수, "두 개의 렌즈형 레이저 막대들로 구성된 대칭형 공진기의 안정도 및 빔질의 수치적 해석," *한국광학회지*, 제 15권 6호, pp. 575-581, 2004.
- [6] W. Koechner, *Solid-state Laser Engineering 4th ed.* (Springer-Verlag, Berlin, 1996).
- [7] 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. Rev.*, vol. 4(1B), pp. 170-175, 1997.
- [8] H. S. Kim, S. Lee, D-K. Ko, and B. H. Cha, "Dependence of the stability and the beam quality on the distance between two rods in a double laser-head resonator," *Opt. Commun.* vol. 15, pp. 381-389, 2002.

Output characteristic analysis of the symmetric Nd:YAG laser consisted of two laser rods with rod-end curvatures

Hyun Su Kim[†]

Dept. of Photonic Engineering, Chosun University, 375 Seosuk-dong, Dong-gu, Gwangju, 501-759, Republic of KOREA

[†]*E-mail: hskim21@chosun.ac.kr*

Sungman Lee and Youngjoo Rhee

Laboratory for Quantum Optics, Korea Atomic Energy Research Institute, P. O. Box 105 Yusong, Taejeon 305-600, Republic of KOREA

(Received September 13, 2005, Revised manuscript February 16, 2006)

Resonator stability condition, M^2 beam quality factor, and laser output power are analyzed for two types of two-rod Nd:YAG lasers with rod-end curvatures. Two laser rods with rod-end curvatures are positioned closely to each other or placed separately near each resonator mirror. Experimentally, the output powers and M^2 beam quality factors of those lasers are measured with and without thermal birefringence compensation, and compared to numerical analyses.

OCIS Codes : 140.3530, 140.4780, 140.6810.