

## Nd:YAG 레이저의 원고리형 출력에 의한 Bessel 빔 Bessel Beam of Annular Output with the Nd:YAG Laser

김현태, 김기식, 박대윤  
인하대학교 물리학과  
g9732521@inhavision.inha.ac.kr

J<sub>0</sub> Bessel 빔은 무회절 빔으로서 빔이 전파해 가면서 강도 분포의 변화가 없는 빔이다.<sup>[1]</sup> 이 베셀빔을 구현하기 위해서는 무한대의 크기를 갖는 수렴렌즈를 사용하여야 하기 때문에 완벽한 베셀빔을 구현할 수는 없다. 그러나 원고리형 슬릿<sup>[3]</sup>, Axicon 및 Computer-Generated Hologram(CGH)을 사용하여 근사적인 Bessel 빔을 만들 수 있다. 본 실험에서는 Negative Branch Unstable Resonator(NBUR) 고리형 Nd:YAG 공진기와 scraper 출력경을 사용하여 원고리형 출력광을 얻으며, 이에 의한 Bessel 빔을 구현 하기 위한 이론적인 배경과 이의 전산시뮬을 시도하고, 실험결과와의 비교, 분석하였다.

이제까지의 Bessel 빔의 강도분포를 얻기 위해서 많이 사용하는 방법인 원고리형 슬릿을 이용하는 경우에는 그 입사파면이 평면이고, 폭  $\Delta d$ 가 약 0.1mm정도로 그 슬릿의 간격이 작아 경사인자의 변화를 무시할 수 있는 경우에 일반적으로 사용하는 Fresnel-Kirchhoff 적분공식을 이용하여 왔다.<sup>[1,6]</sup> 슬릿의 간격이 클 경우에는 가장자리 회절파(boundary diffraction wave)인 산란파와 기하파동(geometrical wave)으로 알려진 1차파의 가로막히지 않은 부분의 합성이 회절 무늬를 형성하게 된다. 원고리형 슬릿에 레이저를 확대시킨 광원을 입사시켰을 때와 scraper 출력경에 의한 원고리형 출력의 회절이 같은 조건을 가지므로 NBUR 고리형 Nd:YAG 레이저 공진기에서는 슬릿대신에 두 개의 수렴 렌즈에 의한 뉴턴형 망원경을 자체 결상 조건에 만족되도록 설치하였고 그 수렴 렌즈의 초점거리 비율에 따라 scraper 반사경을 통하여 출력되는 원고리형 레이저 광의 폭을 변화시킬 수 있는 장점이 있다. 이러한 공진기에서 발생하는 원고리형 레이저광원이 초점거리  $f$ 에 놓인 Fresnel 변환렌즈를 통과하면서 무회절 영역을 구현하게 하였다.

전산시뮬을 통하여 원고리형 출력의 폭  $\Delta d$ 의 크기를 변화시켜 가며 그 광파의 강도분포 변화를 계산하였다. 무회절 광이 되기 위해서는  $z$ 축상의 한 평면에서 그 강도분포가 Bessel 함수의 곡선의 비와 일치함을 확인하거나,  $m=0$ 인 중앙극대점의 강도분포 세기가 일정하여야 한다. 원고리형 출력의 폭  $\Delta d = 1.25\text{mm}$ 인 경우와  $0.25\text{mm}$ 의 경우, 그림 1의 (a),(b)에서와 같은 계산 결과가 나왔으며, (a)인 경우  $z$ 축상의 한 평면에 분포하는 강도분포곡선이 Bessel 함수의 J<sub>0</sub> 곡선과 일치하지 않음을 확인할 수 있었으며, (b)인 경우에는 강도분포곡선이 Bessel 함수의 분포와 유사함을 확인할 수 있었다. 그러므로 본 실험에서 사용하는 scraper 출력경에 의하여 얻어지는 원고리형 출력광의 폭  $\Delta d$ 를 줄이기 위하여 그림 3에서와 같은 NBUR 레이저 공진기내에서 사용하는 망원경의 렌즈 초점거리를 각각 50cm, 55cm로 바꾸어 그 배율을 1.1배가 되도록 하여 내경  $d=2.5\text{mm}$   $\Delta d=0.125\text{mm}$ 가 되도록 하였다.

그림 4는 scraper 출력경으로부터 7cm 거리에서 단색광 필터(CVI F10-1064-4-2)를 장착한 사진기로 Kodak 사의 HSI(High Speed Infrared) 필름에 노광시킨 원고리형 레이저 출력의 사진이다. scraper 출력경으로부터 1m에 크기가 4" 인 렌즈를 설치하여 1.6m까지 무회절 영역이 나타나는 것을 확인하였으며, 초점거리를 7m로 변화시켰을 때 35m이상에서 무회절 됨을 확인하였다.

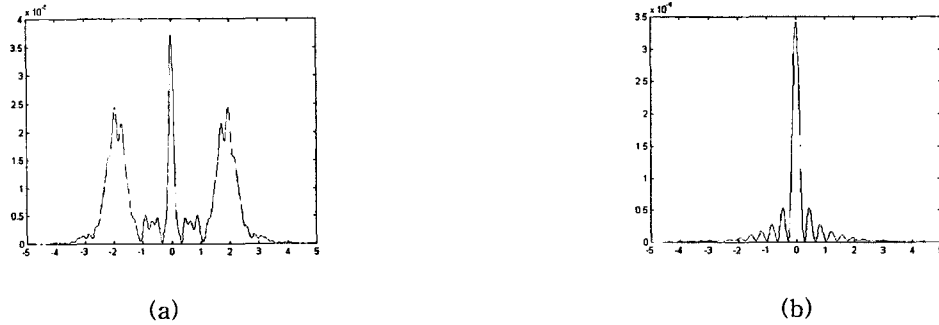


그림 1. 전산시뮬에 의한  $z=1m$ 에서의 강도 분포, (a)  $\Delta d=1.25mm$ , (b)  $\Delta d=0.25mm$

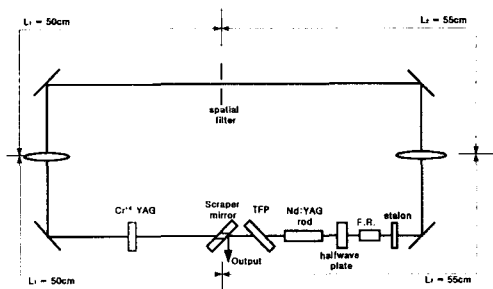


그림 2. NBUR Nd:YAG laser

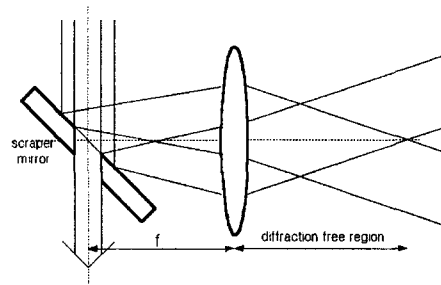


그림 3. scraper 출력경과 렌즈에 의한 무회절 영역



그림 4. scraper 출력경에 의한 원고리형 레이저 출력과 무회절 영역에서의 베셀빔

참고 문헌

- [1] J. Durnin, "Exact solutions for nondiffraction beams." J. Opt. Soc. Am. A 4, p 651(1987)
- [2] Zhiping Jiang, Qisheng Lu, and Zejin Liu, "Propagation of apertured Bessel beams" Applied Optics, Vol. 34, No. 31, p.7183 (1995)
- [3] Y. Lin, W. Seka, J. H. Ebery, H. Huang and D. L. Brown "Experimental investigation of Bessel beam characteristics" Applied Optics, Vol.31, No.15, p2708-2713 (1992)
- [4] A. E. Siegman, "Lasers" University Science Books, Mill Valley, p664-665 (1986)
- [5] Kisik Kim, Dae-yoon Park et al, "Diffraction-Free Beam with Gaussian Envelope", JKPS, 30, pp 402-406, Apr. 1997
- [6] 최승호, 김기식, 박대윤, 한국광학회지 제8권 제2호, p107-110 (1997)