

빔셰이퍼 마스크를 이용한 레이저 빔의 강도 분포 제어

오재용*, 박덕수**, 신보성^{✉*}

*부산대학교 정밀정형및금형가공연구소, **부산대학교 바이오피지오센서연구소

Control of Intensity Distribution Profile of Laser Beam using Beam Shaping Mask with Random Array Slits

Jaeyong Oh*, Deogsu Park**, Bosung Shin*

*ERC/NSDM, Pusan National University, **Institute of Bio-Physio Sensor Technology, Pusan National University

Abstract

In this paper, we have made a proposal concerning the beam shaping mask(BSM) using random-array slits to control intensity distribution profile of laser beam and demonstrated its proprieties experimentally. When a lot of slits are set out irregularly, diffraction patterns of light does not appear but granularity patterns as a bundle of fibers appear.

Intensity distribution profile is controlled by densities distribution of circular slits arrayed randomly because the number of slits and its area means amount of light energy through BSM. Namely as the number of slits in high intensity area is increased and that in low intensity area decreased, amount of light energy is same over all local parts. So gaussian intensity distribution could be changed to flat-top.

Keywords: Beam Shaping Mask(빔셰이퍼 마스크), Flat-top(플랫탑), Random Array Slits(불규칙 배열 슬릿), Intensity Distribution(강도 분포)

1. 서론

일반적인 레이저 빔의 에너지 프로파일은 가우시안(gaussian) 분포로써 중앙부에 에너지가 높고 반경 방향으로 갈수록 에너지는 작아진다. 레이저 가공시 가우시안 분포와 펄스에 의한 높은 침투 출력은 가공성을 향상시키지만¹ 프로젝터, 스테레오리소그래피(stereolithography) 혹은 마이크로 스케일의 복잡한 형상 가공 등에는 에너지 분포가 균일한플랫탑(flat-top) 레이저 빔이 필요하다. 빔셰이퍼(beam shaper)는 이러한 가우시안 빔을 일정한 에너지 분포를 가지는 빔으로 변환시키는 역할을 한다. 이러한 빔셰이퍼는 비구면 렌즈, MDT(monoclinic double tungstate)², DOE(diffractive optical elements)³, 대기의 난류⁴, 그레이팅 빔스플릿트⁵ 등을 이용한 다양한 연구가 있으며, 광학적 설계에 관한 연구도 이루어져 왔

다.⁶ 본 연구에서 빔셰이퍼의 새로운 원리를 제안하였다. 불규칙적으로 배열된 원형 슬릿을 통과하는 빛의 양을 조절하여 레이저 빔의 에너지 프로파일을 제어하는 빔셰이퍼로서, 설계, 제작, 평가를 통하여 타당성을 입증하였다.

2. 이론적 배경

2.1 불규칙 배열의 회절 현상

Fig. 1은 빛이 슬릿을 통과할 때 회절 현상을 나타낸 것이다. Fig. 1(a)처럼 두 개의 슬릿을 통과하는 빛 사이에는 간섭현상이 일어나게 되어 회절무늬가 나타나며 많은 슬릿이 규칙적으로 배열된 경우 또한 규칙적인 회절무늬를 볼 수 있다. 하지만 많은 슬릿이 불규칙적으로 배열된다면 회절무늬는 나타나지 않고 Fig. 1(b)처럼 섬유 다발의 단면과 같은 입상(granularity) 구조가 나타나게 된다. 이러한 현상은 통계적인 측면에서 분석이 이루어진다. 슬릿의 수가 작을수록 회절

투고일 : 2012년 6월 7일 심사완료일 : 2012년 6월 15일

계재승인일 : 2012년 6월 26일

교신저자 : 신보성 ✉ bosung@pusan.ac.kr

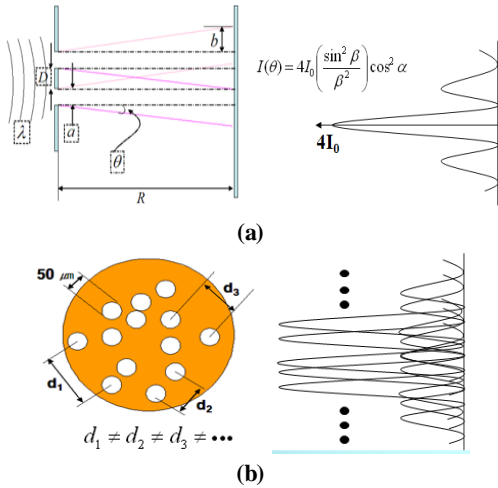


Fig. 1 Diffraction, (a) two slits, (b) N slits with random array.

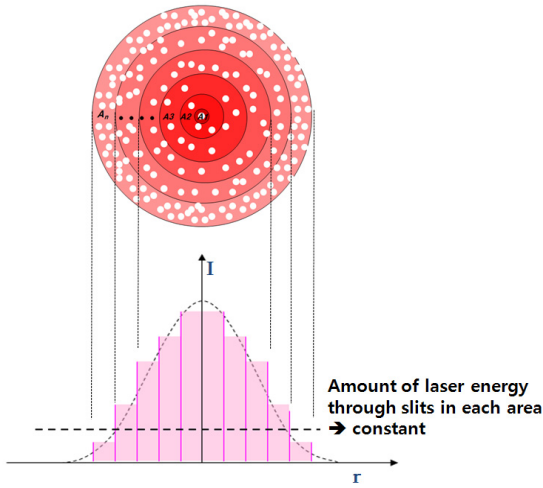


Fig. 2 Laser beam energy profile conversion of Gaussian distribution to Flat-top distribution by the beam shaper.

무늬는 점점 뚜렷하게 나타날 것이다. 하지만 간격이 불규칙적인 많은 수의 슬릿은 많은 수의 서로 다른 회절스크린을 야기하며, 이것이 서로 겹치면 회절 무늬는 거의 나타나지 않을 것이다.

일반적으로 불규칙적인 N개의 동일 슬릿을 사용하면 하나의 구멍이 만드는 무늬와 유사하고 선속 밀도는 N배 밝은 반점의 조도분포를 얻을 수 있다. 빛은 단색광이어야 하지만 완전한 단색광이나 또는 엄밀하게 겹치지 않게 불규칙적으로 배열된 회절물체는 존재하지 않는다. 하지만 준단색성이며 거의 평면파인 입사광선과 N개의 불규칙적인 구멍을 사용한다면 이론적인 결과와 거의 비슷한 결과를 얻을 수 있다.⁷ 레이저는 준단색광이며 거의 평면파이기 때문에 이러한 현상을 적용시킬 수 있다.

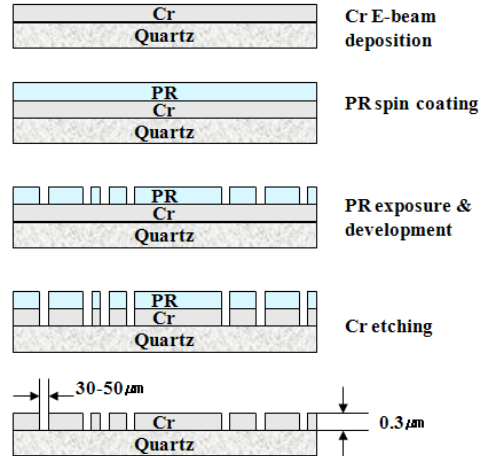


Fig. 3 Fabrication process of beam shaper mask.

2.2 레이저 빔 에너지 프로파일 제어

Fig. 2는 가우시안 에너지 분포가 빔셰이퍼 마스크(BSM)에 의해 플랫폼 에너지 분포로 변환되는 개략도이다. 에너지 프로파일 제어는 BSM 내부에 불규칙 배열된 원형 슬릿 개수의 밀도 분포에 의해 이루어진다. 반경에 따라 여러 구간으로 나누어져 있으며 각 구간에서 슬릿 개수의 밀도에 따라 BSM을 통과하는 에너지의 양이 달라진다. 플랫폼 에너지 프로파일은 단위 면적당 에너지가 일정하므로 각 구간은 식 (1)을 만족하여야 한다.

$$P_{n,out} = P_{n,in} \times A_{slit} \times N_n / A_n$$

$$= P_{n,in} \times A_{slit} \times \rho_n = const \tag{1}$$

$P_{n, out}$: n 구간에서 마스크 통과후 출사되는 단위면적당 평균 에너지(W/cm²)

$P_{n, in}$: n 구간에 조사되는 단위면적당 평균에너지(W/cm²)

A_{slit} : 단일 슬릿의 면적(cm²)

N_n : n 구간에서 슬릿의 개수(unit)

A_n : n 구간의 면적(cm²)

ρ_n : n 구간의 단위면적당 슬릿 밀도(unit /cm²)

3. 실험 및 고찰

3.1 빔셰이퍼 마스크 제작

Fig. 3은 BSM의 제작 공정이다. BSM은 직경 1.05 cm의 원 내부에 30-70 μm의 원형 슬릿을

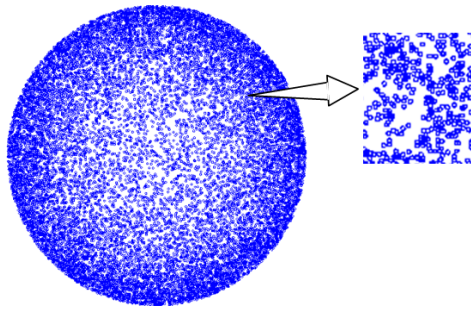


Fig. 4 CAD drawing of circular random-array slits.

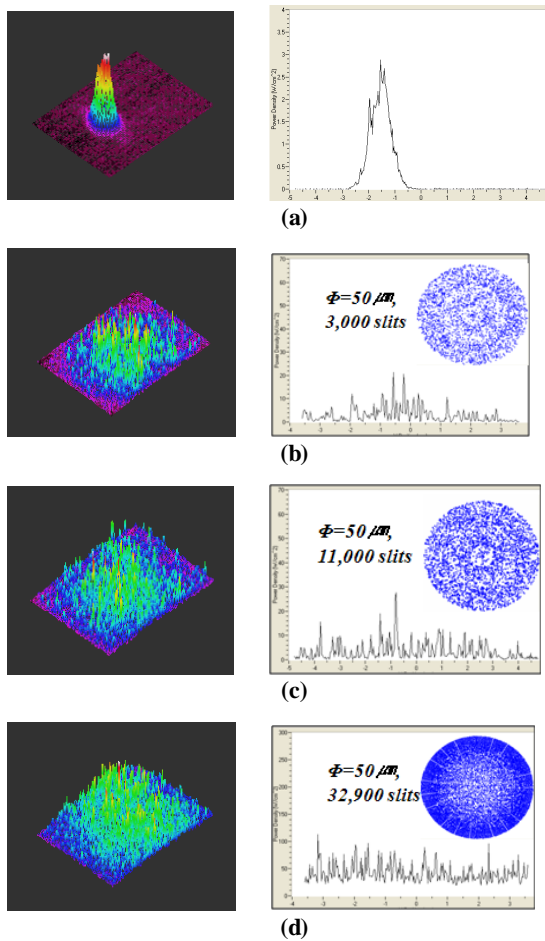


Fig. 5 Beam profiles according to the number of slits with 50 μm diameter. (a) Profile of incidence beam into BSM, 3D view and cross-section view, (b) at 3000 slits, (c) 11000 slits and (d) at 32900 slits.

불규칙적으로 배열하여 제작되었으며, 1000 μm 두께의 수정(quartz) 위에 0.3 μm 크롬을 증착하여 제작하였다. Fig. 4는 슬릿 패턴을 위한 카드도면으로 슬릿들의 중심 좌표를 난수를 발생시키 입력하였으며 반경에 따라 구간을 나누어 슬릿들의 밀도를 조절하였다.

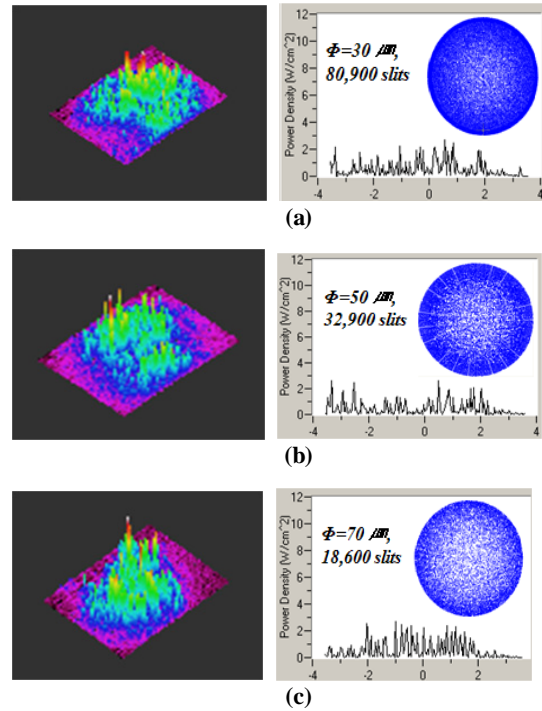


Fig. 6 Beam profiles at slits size (a) 30 μm , (b) 50 μm and (c) 70 μm .

BSM은 우선 슬릿의 크기를 50 μm 로 고정하여 슬릿의 개수에 따라 3,000개, 11,000개, 그리고 32,900개 세 가지 샘플을 만들어 개구율에 따른 특성을 실험하였다. 그리고 개구율을 20%로 일정하게 하고 슬릿의 크기를 30 μm , 50 μm , 그리고 70 μm 로 다르게 하여 샘플을 제작하여, 슬릿 크기의 영향을 분석하였다.

3.2 실험 결과

본 연구에서는 파장(wavelength) 355 nm, 직경 1.5 mm(1/e)인 레이저를 이용하였으며, 레이저 빔은 빔익스팬더를 통해 BSM의 크기인 1 cm 정도로 확대된 후 BSM로 입사되며 이후 빔프로파일 측정기에 의해 측정되어진다.

Fig. 5는 측정된 빔프로파일 형상이다. Fig. 5(a)는 레이저 발진기에서 나오는 빔으로 가우시안 분포이다. (b)는 3000개의 슬릿이 불규칙 배열된 BSM을 통과한 빔프로파일이며 (c)는 11000개의 슬릿에서 (d)는 32900개의 슬릿에서 빔 프로파일이다. BSM을 통과 후 측정된 출력은 각각 Fig. 5 (a) 1.4 W (b) 0.02 W, (c) 0.07 W, (d) 0.2 W이다. BSM을 통과한 레이저 빔은 광다발형상의 입상 구조이며 슬릿의 개수가 많아질수록

프로파일은 플랫폼 형상에 가까워지고 입상 구조는 더욱 조밀해 진다. 출력이 저하되는 현상은 마스크의 개구율에 의한 것으로 사료된다. 개구율과 출력 저하는 선형적으로 나타났다. 하지만 단위 시간당 단위면적당 에너지 강도(W/cm^2)는 높아졌다. 발전기에서 나오는 레이저 강도는 $80 W/cm^2$ 이지만 Fig. 5(d)의 경우 평균 $100 W/cm^2$ 이며 최고 $300 W/cm^2$ 였다. 이 현상은 회절 무늬의 강도 분포식으로부터 유추된다. 슬릿 개수 N 개일 때 입사광의 강도가 I_0 이면 주요최대값 (principal peaks)은 $N^2 I_0$ 이다. 즉 불규칙 배열 슬릿은 불특정 다수의 슬릿에 의한 회절 스크린이 다른 슬릿들에 의한 회절 스크린과 서로 간섭을 하지 않고 중첩되어 나타나기 때문에 각각 $2^2 I_0 \sim n^2 I_0$ 의 주요최대값을 가지는 입상 구조로 나타난다. 따라서 전체적인 에너지는 손실되지만 부분적 단위시간당 단위면적당 에너지 강도는 증가함을 알 수 있었다.

Fig. 6은 슬릿의 크기에 따른 실험 결과이다. 모든 샘플에 대하여 개구율은 20 % 정도로 일정하게 하였다. 슬릿의 크기가 $30 \mu m$ 일 때와 $50 \mu m$ 일 때는 거의 차이가 없었지만 $70 \mu m$ 일 때는 중앙에서 강도가 조금 높게 측정되었다. 이는 슬릿의 개수가 작아졌기 때문으로 사료되며, BSM의 특성은 슬릿의 크기보다 슬릿의 개수에 영향을 받음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 불규칙 배열 슬릿을 이용한 빔프로파일 제어 및 BSM을 제안하였으며 실험적으로 타당성을 입증하였다. 슬릿들이 불규칙적으로 배열되면 빛의 회절 무늬는 나타나지 않고 입상 구조의 형태가 나타났다. 이러한 불규칙 배열 슬릿은 슬릿의 좌표를 난수를 발생시켜 CAD 도면으로 구현하였으며 이를 이용하여 포토마스크를 제작하여 MEMS 공정으로 BSM을 제작하였다. 가우시안 강도 분포는 불규칙 배열의 슬릿 개수가 증가할수록 플랫폼 프로파일 형상에 가까워졌으며 입상 구조가 조밀해지고 단위면적당 에너지 강도도 증가하였다. 그리고 플랫폼 프로파일 형상은 슬릿 크기보다는 개수의 영향을 더 많이 받았

다. 이후 제안된 빔셰이퍼를 이용한 가공성에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011-0027300)

References

- 1) B. Oh, D. Kim, "Numerical simulation of nano-second pulsed laser ablation in air", Journal of Korean Society of Laser Processing, Vol. 6, No. 3, pp. 37-45, 2003.
- 2) J. Hoffnagle, C. Jefferson, "Design and performance of a refractive optical system that converts a Gaussian to a flat-top beam", Applied Optics, Vol. 39, No. 30, pp. 5488-5499, 2000.
- 3) F. Shu, W. Zhang, R. Wu, X. Zhang, Y. Li, "Improved far-field laser-beam uniformity using the air turbulence disturbed light", Optics Communications, Vol. 268, No. 2, pp. 203-208, 2006.
- 4) H. Eyyuboglu, Y. Baykal, E. Sermutlu, "Convergence of general beams into Gaussian intensity profiles after propagation in turbulent atmosphere", Optics Communications, Vol. 265, pp. 399-405, 2006.
- 5) T. Kajava, A. Hakola, H. Elfstrom, J. Simonen, P. Paakkonen, J. Turunen, "Flat-top profile of an excimer-laser beam generated using beam-splitter gratings", Optics Communications, Vol. 268, No. 2, pp. 289-293, 2006.
- 6) E. Kana, S. Bollanti, P. Lazzaro, D. Murra, O. Bouba, M. Onana, "Laser beam homogenization: Modeling and comparison with experimental results", Optics Communications, Vol. 264, pp. 187-192, 2006.
- 7) Hecht, OPTICS 2nd edition, Addison Wesley, 1987.