빔 성형기 설계

Design beam shaper

이오테크닉스 기술연구소
레이저응용연구그룹
김태영, 박정래, 한유희

Ⅰ. 서론

1960년대 초 레이저가 만들어진 후 많은 과학자들은 효과적으로 gaussian laser beam을 균일한 intensity profile로 만들기 위한 많은 방법들을 연구하기 시작하였다. 가우시안 빔은 많은 정밀 레이저 응용에서 적당하지만, 균일한 intensity를 갖는 빔을 photolithography, material processing , cutting 과 drilling 등과 같은 특정한 응용에 적용하면 가우시안 빔 보다 더 좋은 결과를 얻을 수 있었기 때문에 1990년대 초부터 beam shaping 기술은 실제 산업용 레이저 시스템에 응용되어 사용되기 시작하였다.

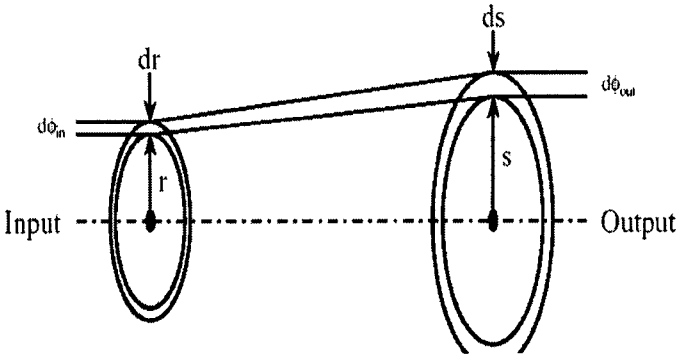
초기 빔 성형 방법은 빔을 확대, 중심의 강도를 broad하게 하여 , 빔의 일부분을 선택하여 사용하는 방법, 비구면 렌즈를 이용하는 방법 등을 이용하였다. 이러한 초기의 방법은 간단하고 가격적인 면에서의 이점이 있었으나 레이저 빔의 유용한 에너지의 상당한 부분을 렌즈를 통과하면서 잃어버리게 되는 문제점을 가지고 있었다. 이러한 문제는 회절광학소자(diffractive optical element)를 사용하여 해결할 수 있었으며, 회절 광학 소자는 단일 렌즈를 사용하여 최소 power 손실을 갖을 수 있는 beam shaping 소자로서 각광을 받고 있다.

본 논문에서는 비구면을 이용하여 convertor 역할을 하는beam shaper와 회절광학소자를 이용하여 상면에 균일한 빔을 focusing해주는 빔 성형기를 설계하고 설계 평가는 광학 설계 프로그램인 Code-V를 이용하여 수행하였다.

Ⅱ. 본론

그림 1에서는 가우시안 빔을 균일한 빔으로 전환하기 위한 물리적인 개념을 나타내었다. 광학계는 입사동과 출사동으로 표현할 수 있으며, 출사동 이후에 균일한 빔을 얻기 위해서는 빔속(flux) 또는 에너지 보존법칙을 사용하여 입사동으로 들어오는 빔이 가지는 가우시안 intensity 와 출사동으로 나오는 빔의 intensity가 보존된다는 개념을 이용하여 설계할 수 있다. 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{matrix} d\phi_{\in} = d\phi_{out} \\ I_{\in} dArea_{\in} = I_{out} dArea_{out} \end{matrix} \quad \cdots \text{ 식 (1)}$$



[그림 1] physical concept for beam shaping

식 (1)을 r과 s에 대해 미분하고, 입사동쪽의 intensity 분포와 출사동의 intensity 분포를 대입하여 표현하면 식 (2)와 같다.

$$I_0 \exp(-kr^2) 2rdr = I_{out} 2sds \quad \cdots \text{식(2)}$$

$$q = r^2,\ t = s^2,\ dq = 2rdr,\ dt = 2sds$$

$$I_0 \exp(-kq) dq = I_{out} dt \quad \cdots \text{식(3)}$$

식(3)을 적분하면

$$I_0 \exp(-kq)/(-k) + C = I_{out} t \quad \cdots \text{식(4)}$$

적분 상수 C 값을 구하면

$$q = 0 \rightarrow t = 0,\ C = I_0/k$$

$$I_0[1 - \exp(-kq)]/k = I_{out} t \quad \cdots \text{식(5)}$$

식(5)를 r 과 s 에 대해 다시 나타내면

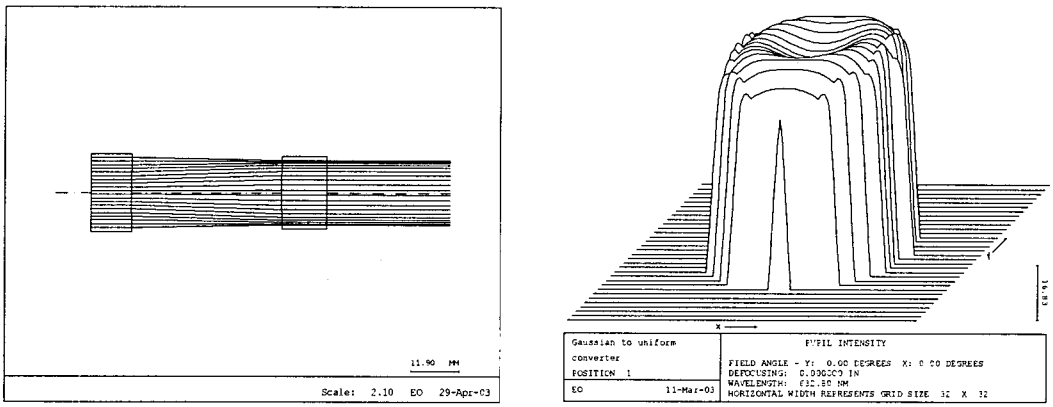
$$s = \sqrt{I_0[1 - \exp(-kr^2)]/[kI_{out}]} \quad \cdots \text{식(6)}$$

식 (6)을 이용하여 입사동에서의 y 축 좌표 r 에 대한 출사동에서의 각 point s를 구할 수 있다.

Ⅲ. 설계 및 평가

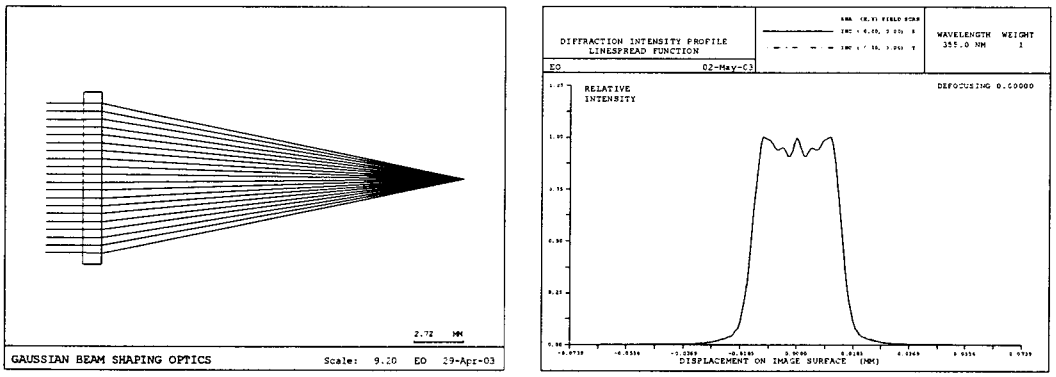
최적 설계는 Code-V를 이용하여 사용자 error function을 식(6)을 이용하여 작성하고 비구면 beam shaper 의 경우 변수로서 비구면 계수와 conic 상수를 주었으며 DOE beam shaper의 경우에는 위상계수를 주어 optimize 하였다.

위의 식을 이용하여 두 비구면으로 구성된 beam shaper를 설계한 렌즈 단면도와 출사동에서의 intensity plot을 그림 2에 제시하였다.



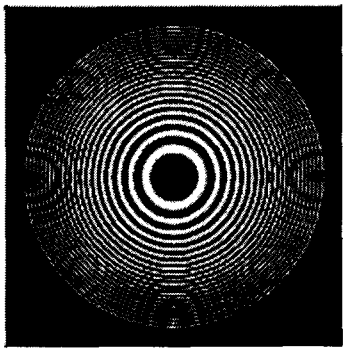
[그림 2] (a) 렌즈 단면도 (b) intensity plot

그림 2는 비구면 beam shaper는 9.4micron 파장 , 입사빔의 크기 15mm 에 대해 설계된 렌즈이며 그림 3은 355nm 파장, 입사빔 8mm 에 대해 DOE를 이용한 초점거리 50mm 의 beam shaper를 설계한 렌즈 단면도와 intensity profile을 제시하였다.



[그림 3] (a) 렌즈 단면도 (b) intensity profile plot

위의 DOE beam shaper 가 가지는 kinoform 형태의 photo mask를 그림 4에 제시하였다.



[그림 4] photo mask

Ⅳ. 결론

intensity를 convert 할 수 있는 비구면 beam shaper와 Focusing 역할을 할 수 있는 DOE beam shaper를 설계하기 위한 기하학적인 최적화 방법을 연구하여 실제 시스템에 적용할 수 있도록 하였다.

또한 convertor형식과 focusing 형식의 두 가지 방식의 beam shaper를 설계하여 여러 가지 응용에 적용할 수 있도록 하였다.

Ⅴ. 참고 문헌

1. Uniform Beam Converter - Optical Reseach Associates , Jan 1999
2. Laser Beam Shaping , Dickey·Holswade
3. Theory of Geometrical Method for Design of Laser Beam Shaping System , David L.shealy , SPIE 4095 ,