

반도체 레이저의 타원빔을 원형빔으로 변환하는 광학계의 설계에 관한 연구

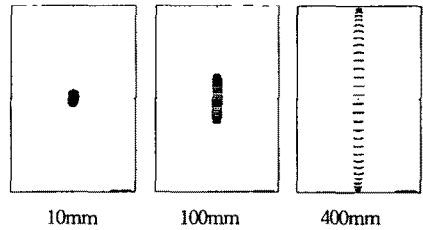
오두석¹, 황선덕, 김호성
 중앙대학교 전자전기공학부

Design of lens system for converting elliptical beam to circular beam of diode laser

Dooseok Oh¹, Seon Deok Hwang, Hoseong Kim
 School of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University

Abstract - 최근 다이오드 레이저의 파워가 높아짐에 따라 다이오드 레이저를 이용한 레이저 가공 공정이 많은 분야에서 응용 되고 있다. 그러나 고출력 다이오드 레이저의 출력은 타원형의 빔이므로 정밀 공정이 어려워 원형의 빔으로 변환하여야 한다. 본 논문에서는 여러 가지 렌즈를 사용하여 설계를 시도하였으며 최적의 설계로서 anamorphic prism pair를 이용하여 타원형의 빔을 원형의 빔으로 바꾸는 광학계를 설계하였으며 원형빔의 크기를 축소하기 위해 beam size reducer를 설계하였다.

cylindrical lens를 사용하여 x 방향의 빔을 굴절시켜 평행한 원형 빔이 되도록 설계하고 결과를 simulation 하였다.



10mm 100mm 400mm
 <그림 1. cylindrical lens의 grid mode 출력>

그림 1의 결과와 같이 광학계를 통과한 후의 짧은 거리는 거의 원형이었지만 그 이후에는 타원빔의 모양을 보이고 있다. 이는 구면 수차와 x-y 방향의 대각선 성분 비보정되지 않았기 때문이다.

1. 서 론

최근 여러 가지 산업 분야에서 제품의 미세가공이 요구됨에 따라 레이저를 이용한 가공 산업이 활발해지고 있다. 그런데 레이저 가공 기술에서 사용되는 기존의 고출력 레이저는 효율이 낮아 소모되는 파워가 크고 cooling system과 같이 부가적인 장비가 필요하여 설치 및 동작에 많은 제약이 있었다.

그러나 최근들어 반도체 레이저 기술의 발달로 레이저 가공에 필요한 파워를 충족시키면서 값이 싸고 이용이 편리한 고출력 다이오드 레이저가 많이 사용 되고 있다.

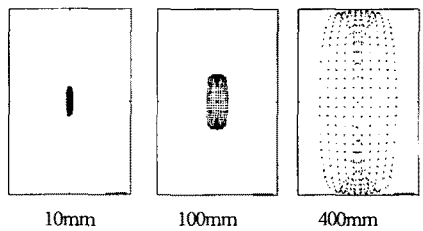
고출력 다이오드 레이저는 그 출력 빔이 타원형의 빔이기 때문에 정밀한 가공이 힘들고 가공 과정이 복잡해진다. 이러한 단점을 줄이기 위해 원형빔의 출력이 필요하다.

본 논문에서는 고출력 다이오드 레이저의 타원형의 빔을 광학계를 사용하여 원형의 빔으로 만드는 방법에 대해 연구하였고 원형빔의 크기를 줄이기 위해 beam size reducer를 설계하였다.

2.2.2 GRIN lens를 사용한 광학계

우선 레이저의 출력을 평행하게 할 수 있으면서 구면수차를 줄이기 위해 GRIN lens를 사용하여 그 결과를 확인하였다.

그림 2와 같이 GRIN lens를 사용하였을 경우 빔이 평행하게 진행되지만 10mm 이후에서는 수차에 의해 왜곡된 출력을 갖게 된다.



10mm 100mm 400mm
 <그림 2. GRIN lens의 grid mode 출력>

2. 본 론

2.1 광학계의 설계 및 simulation 결과

타원형 빔을 원형의 빔으로 바꾸기 위해 여러 가지 lens를 이용한 simulation을 하였다. 원형의 빔을 유지하기 위해서는 구면수차에 의한 빔의 왜곡현상을 줄여야 한다.

이를 위해 여러 가지 렌즈를 사용하여 설계를 시도하였고 최적의 설계로서 anamorphic prism pair를 이용하여 타원형의 빔을 원형의 빔으로 바꾸는 광학계를 설계하였다. 또 원하는 빔의 크기를 만들기 위해 beam size reducer를 설계하였다.

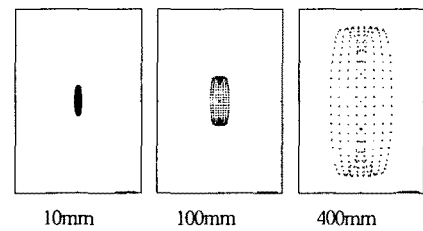
2.2.1 cylindrical lens를 사용한 광학계

우선 원형의 평행한 빔을 만들기 위해 cylindrical lens 2개를 사용하는 방법을 생각하였다.

타원형의 빔의 짧은 방향을 x라고 하고 긴 방향을 y라고 했을 때 cylindrical lens를 이용하여 y 방향을 굴절시켜 평행하게 만들고 x 방향은 계속 퍼지게 하여 일정 거리에서 원형 빔이 되도록 한다. 그 다음 또 하나의

2.2.2 Doublet lens(Achromatic lens)를 사용한 광학계

다음으로 구면 수차를 줄이기 위한 또 다른 방안으로 achromatic doublet lens를 사용하는 광학계를 설계하고 결과를 simulation 해 보았다.



10mm 100mm 400mm
 <그림 3. doublet lens의 grid mode 출력>

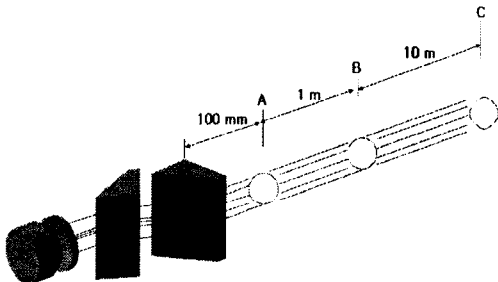
그 결과 그림 3과 같이 GRIN lens를 이용한 경우보다 같은 거리에서의 수차에 의한 왜곡현상은 줄었으나 여전히 수차에 의한 빔의 왜곡현상이 발생하였다.

2.2.3 Anamorphic prism pair를 사용한 광학계

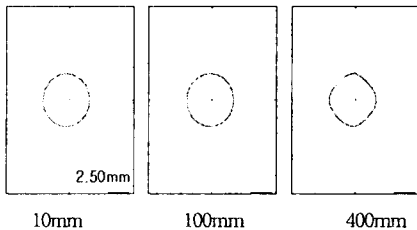
여러 가지 lens에서 구면 수차에 의한 왜곡현상을 줄일 수 없었다. 그 다음으로 프리즘 두 개를 이용하여 원형빔을 만드는 광학계를 구상하여 simulation하였다.

실제로 사용할 다이오드 레이저의 퍼짐각은 40도이므로 NA는 $\sin 20^\circ$ 이고 f-number는 $1/(2NA)$ 이므로 약 1.46이다. f-number가 매우 작으므로 앞선 simulation에서 사용한 cylindrical lens, GRIN lens 그리고 achromatic lens는 사용할 수 없다. 그러므로 작은 f-number의 문제를 해결함과 동시에 평행광을 만들기 위해 여러개의 lens로 구성된 Melles Griot 사의 diode laser collimating lens, GLC002를 선택하였다.

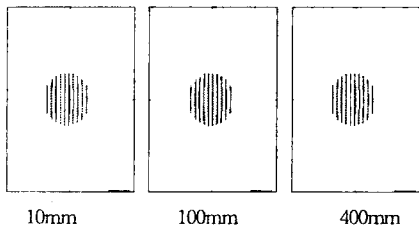
두 번째 단계로 GLC 002를 통과한 평행한 타원형의 빔을 원형으로 변형하기 위해 프리즘 2개를 비스듬하게 기울인 anamorphic prism(AP)을 사용하였다.(그림 4(a)) 그림 4(b)에서 보듯이 출력은 6.6mm의 원형빔이고 평행하며 diffraction의 영향이 거의 없음을 확인하였다. 그림 4(c)와 같이 비교적 먼 거리에서도 빔의 왜곡 현상도 거의 없음을 확인하였다.



(a) collimating 렌즈와 AP를 이용한 광학계



(b) boundary mode 출력



(c) grid mode 출력

< 그림 4. GLC002 + AP 광학계 및 출력 >

2.2.4 Beam size reducer

GLC002와 AP를 사용한 광학계의 출력이 6.6mm의 원형빔이므로 최종적으로 약 2.5mm의 원형빔을 만들기 위해 배율을 조정된 변형된 beam size reducer를 설계하고 최종적 결과를 얻는 simulation을 하였다.

모든 렌즈는 수차계수가 존재하게 되고 렌즈의 정방향으로 빛이 입사되는 경우와 역방향으로 입사되는 경우 그 계수가 다르며 수차계수에 따른 3차 구면 수차가 발

생한다.

3차 구면 수차는 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$\text{longitudinal spherical aberration(3rd order)} = \frac{kf}{f/\#^2} \quad (1)$$

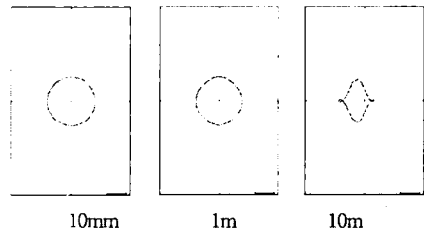
k는 수차계수, f는 초점거리 그리고 f/#은 f-number이다. 두 개의 렌즈를 사용한 경우 3차 구면수차는

$$\text{LSA(longitudinal spherical aberration)} = \frac{k_1 f_1}{f/\#^2} + \frac{k_2 f_2}{f/\#^2} \quad (2)$$

이다.[1]

그러므로 수차에 의한 왜곡이 작은 beam size reducer를 설계하기 위해 LSA가 최소가 되도록 적절한 렌즈를 선택하고 입사되는 렌즈의 방향을 결정하여야 한다.

우선 일반적으로 사용되는 Keplerian 방식으로 설계하였으며 이 경우 두 개의 plano-convex lens는 초점거리의 합만큼 떨어져 있게 되고 입사된 빔의 초점을 맞추는 것이 아니라 빔의 크기를 바꾸는 것이기 때문에 각각의 렌즈의 f-number가 같아야 하며 구면 수차에 의한 영향을 줄이기 위해 achromatic lens를 사용하여 구면 수차를 줄이고자 하였다.



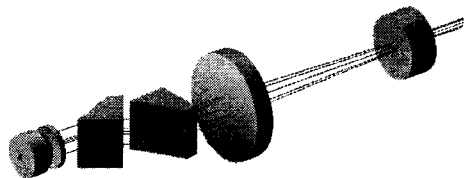
<그림 5. Keplerian beam reducer의 출력>

그 결과 그림 5와 같이 achromatic lens를 사용함에도 불구하고 구면 수차에 의한 왜곡현상이 발생하였다.

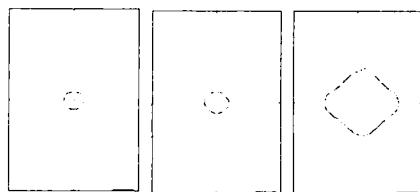
이는 GLC002와 AP를 통과한 빔이 완벽하게 평행하지 않기 때문에 발생하는 것으로 예상된다.

여러 가지 조합을 simulation 한 결과 Keplerian 방식이 아닌 plano-convex와 plano-concave를 조합한 Galilean 방식을 채택하였다.

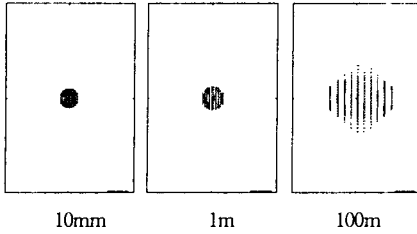
AP를 통과한 빔이 완벽하게 평행하지 않기 때문에 발생하는 구면수차의 문제를 해결함과 동시에 원하는 배율과 f-number를 고려하여 초점거리 75mm인 precision laser-grade optimized achromats LAL015와 초점거리 25mm인 plano-convex precision-grade glass LLP007을 사용하였다. beam reducer를 구성하는 두 렌즈사이의 거리는 43.4 ± 0.1 mm이며 광학계의 총 크기는 106mm이다.(그림 6(a)) 그 결과 그림 6(b)와 같이 simulation 결과를 얻을 수 있었다.



(a) GLC002와 AP 및 beam size reducer를 이용한 광학계



(b) boundary mode 출력



10mm 1m 100m
 (c) grid mode 출력
 < 그림 6. Galilean beam reducer의 출력 >

그림 6(c)에서 보듯이 100m에서는 빔의 divergence angle에 의해 왜곡된 출력을 갖기는 하지만 그 이전의 어느 정도 거리에서는 원형빔을 유지하고 있다.

광학계의 최종 출력은 divergence angle이 0.3mrad인 2.35mm의 평행한 원형빔이다.

3. 결 론

본 논문에서는 타원형의 빔을 원형의 빔으로 바꾸는 광학계를 설계하였다.

Cylindrical lens, doublet lens, 그리고 GRIN lens 등을 이용한 광학계를 simulation 하고 그 출력을 알아보았다. 그 결과 다이오드 레이저의 출력광의 퍼짐각이 40도로 너무 커서 평행광을 만들기 위한 렌즈의 f-number가 1.46으로 너무 작아지며 따라서 위의 렌즈로는 광학계의 설계가 불가능함을 확인하였다.

이를 고려하여 타원형의 빔을 원형의 빔으로 만들기 위해 diode laser collimating lens GLC002와 anamorphic prsim pair를 사용한 광학계를 설계하였다. 또, 원형빔의 크기를 줄이기 위해 beam size reducer를 설계하였다.

그 결과 divergence angle이 0.3mrad인 2.35mm의 평행한 원형빔의 출력을 얻을 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Melles Griot 사, basic optics, 2004