

Line-Focusing Optical System for Laser Beams Using Folding Mirrors

Jeong-Hyeon Lee^{1,a} and Dong-Hee Lee^{2,b,*}

¹Dept. of Energy IT Engineering, Graduate School of Far East University, Student, EumSeong 27601, Korea

²Dept. of Visual Optics, Far East University, Professor, EumSeong 27601, Korea

(Received September 8, 2022; Revised September 20, 2022; Accepted September 21, 2022)

Purpose: This study aimed to develop a laser beam line-focusing optical system with improved uniformity of the focusing line beam using a folding mirror in the line-focusing optical system configuration that generates a one-line beam by combining two laser diode (LD) stacks. **Methods:** We inserted a folding mirror that can adjust the folding angle between the focusing optical system composed of two LD stacks and the cylinder lenses to adjust the angle of the folding mirror. Hence, we could use the reflection angle of the folding mirror as an optimization variable to improve the uniformity of the focusing line beam according to the working distance. **Results:** In the newly designed optical system, the size of the laser beam line-focused by combining beams from the emission areas of the two LD stacks was 1 mm × 40 mm ($\pm 10\%$), and the irradiance uniformity of the focused laser beam line at a working distance of 280±10 mm was within approximately $\pm 15\%$. **Conclusions:** Using a folding mirror, it was possible to design a new laser beam line-focusing optical system that combines two LD stacks to generate a single line beam. This optical system could become a laser beam line-focusing optical system with improved irradiance uniformity within the working distance range compared to the existing optical system using a reverse biprism.

Key words: Folding mirror, LD stack, Emitting area, Irradiance uniformity, Line focusing optical system

서 론

레이저를 활용한 산업현장에서 고출력 에너지 무기나, 군사용 레이저, 용접, 열처리 등을 위해서는 필연적으로 고출력을 요구하게 된다. 안경 산업계에서도 안경테 제작, 특히 티탄테의 재료인 티탄합금의 열처리에도 고출력 레이저의 빔 라인이 사용되고 있다. 레이저 빔 라인에 의한 열처리는 순간적으로 좁은 영역을 고온 처리할 수 있고 이 좁은 영역을 지나고 나면 공랭시킬 수 있는 장점이 있어서 많이 사용되고 있는 추세이다.^[1]

그런데 이러한 고온의 열처리 장치는 고출력의 레이저가 필요하게 된다. 여기에 대응하여 MCCP(multi channel cooled package)^[2,3] 기술(Fig. 1)을 사용한 LD 더미 레이저가 사용되는데 일반적으로 고출력을 가지는 1개의 LD 더미에 비해 출력이 1/2인 LD 더미 2개를 사용하는 것이 훨씬 경제적이다. 이에 따라 출력이 1/2인 LD 더미 2개를 사용하여 구성되는 레이저 빔 라인 집속 광학계가 국내에서 발표되었었다.^[4] 이 논문에서는 역바이프리즘을 레이저 빔 라인 집속 광학계에 적용하였었는데, 이 광학계는 구성된

광학 부품들이 고정되어 구성되었기 때문에 작업거리(working distance)가 변경될 경우 집속된 레이저 빔 라인의 방사조도 균일도가 편차가 크게 됨^[4]을 확인할 수 있었다.

이에 본 논문에서는 2개의 LD 더미를 결합하여 하나의 라인 빔을 발생시키는 라인 집속 광학계 구성에 폴딩 미

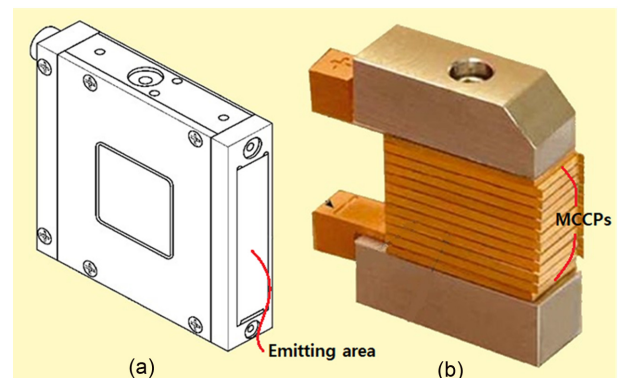


Fig. 1. View of the LD stack of DILAS Diode Laser, Inc. with a light emitting area of 10 mm x 40 mm (a), and the inner parts of the LD stack (b). This figure was revised and cited from reference 2 & 3.

*Corresponding author: Dong-Hee Lee, TEL: +82-043-880-3808, E-mail: dhlee99@hanafos.com
Authors ORCID: ^ahttps://orcid.org/0000-0001-9259-9687, ^bhttps://orcid.org/0000-0001-7655-0058

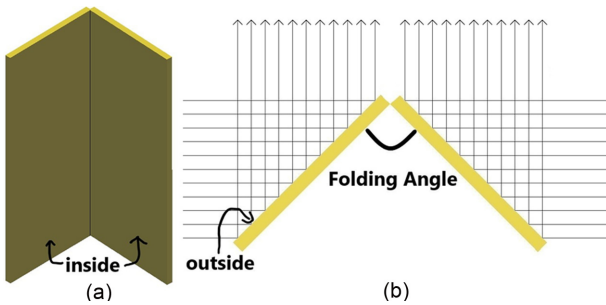


Fig. 2. Structure of a folding mirror with an outside reflective surface (a) and folding angle (b).

를 사용함으로써, 작업거리(working distance)가 변경되어도 기존 발표된 광학계^[4]보다 훨씬 향상된 집속 라인 빔의 균일도를 가지는 레이저 빔 라인 집속 광학계를 개발하고자 한다.

대상 및 방법

1. 폴딩 미러와 레이저 빔 라인 집속 광학계의 구성

폴딩 미러는 Fig. 2(a)와 같이 전면 반사 미러(front reflection mirror) 2개를 폴딩 각이 $2 \times 45^\circ$ 가 되도록 구성되어 있는데, 폴딩 각도는 두 폴딩 미러를 지지하는 지지부, 스텝핑모터(steping motor) 및 감속기어 등에 의해 $2 \times 45^\circ$ 에서 줄어드는 방향으로 제어되도록 하고 있다. Fig. 2(b)에서 보면 전면 반사 미러 코팅은 폴딩 미러의 바깥쪽(outside)에 이루어져야 함을 알 수 있다.

이 폴딩 각도 가변 폴딩 미러를 이용하여 작업거리에 따른 폴딩 각도를 조절하도록 하여 각각의 주어진 작업거리에서 최적의 방사조도 균일도를 갖도록 하고자 한다. 이러한 보다 향상된 집속 라인 빔의 균일도를 갖는 광학계의 설계는 다음과 같은 순서로 설계를 진행하였다.

- 2개의 x축 실린더 렌즈에 의한 포커싱 광학계 설계
- 2개의 y축 실린더 렌즈에 의한 횡배율이 2배인 결상 광학계 설계
- 폴딩 미러 도입에 의한 레이저 빔 라인 집속 광학계 최적화 설계

위 3단계 설계과정에 사용한 S/W는 광학계 구성과 최적화에서는 Oslo를, 폴딩 미러 도입에 의한 집속 라인 빔의 균일도 최적화에서는 LightTools를 사용하였다.^[5,6]

2. 2개의 x축 실린더 렌즈에 의한 포커싱 광학계 설계

사용자가 요구한 광학계 구성 조건은 Table 1에 나와 있다. LD 더미의 출력 빔의 파장은 975 nm, 작업거리는 280 mm(± 10 mm), 1개의 LD 더미의 발광영역은 10 mm \times 40 mm^[7], 그리고 작업거리에서 원하는 라인 빔의 크기가

Table 1. Design specifications of the line-focusing optical system for the LD stacks demanded by users

LD wavelength	975 nm	
Emitting area per one LD stack	10 mm \times 40 mm	
Power per one LD stack	2.5 kW	
Divergence angle	Fast axis	< 8 mrad
	Slow axis	< 8 deg
Working distance	\approx 280 mm (± 10 mm)	
Wanted dimension of line beam ($\pm 10\%$)	\approx 1 mm(FWHM) \times 40 mm	
Uniformity tolerance for long axis direction of line beam	< $\pm 20\%$ @ WD 280 mm ± 10 mm	
	< $\pm 10\%$ @ WD 280 mm	
Number of LD stacks used for equipment manufacturing	2ea	

Notes: By using FAC lens for fast-axis collimation, the divergence angle of fast-axis is less than 8mrad.

40 mm \times 1 mm로 되어 있다. Fig. 1(a)에는 사용자가 제공한 2.5 KW 출력의 LD 더미를 보여주고 있는데 그림의 오른쪽에 나타나 있는 발광영역은 가로 10 mm \times 세로 40 mm를 갖는다. 이를 x축 방향으로 나란히 2개 나열하여 본 설계의 광학계를 이용하여 주어진 작업거리에서 40 mm \times 1 mm의 영역을 가지는 집속 라인 빔을 만들어야 한다. 이렇게 하기 위해서는 y축에서는 40 mm폭의 빔이 1 mm로 집광되어야 하고, x축에서는 10 mm의 빔 폭이 약 20 mm로 확대되는 광학계를 설계하여 LD 더미 2개에 의한 합성된 빔의 폭이 약 40 mm가 되게 하여야 한다.

이렇게 하기 위해 본 논문에서는 우선 5개의 렌즈로 구성되는 광학계를 설정하였다. 앞의 2개는 y축 방향의 포커싱 광학계, 즉 2개의 x축 실린더 렌즈에 의한 포커싱 광학계 설계를 위한 설계 요소로 사용하고, 그 다음 2개의 렌즈는 2개의 y축 실린더 렌즈에 의한 횡배율이 2배인 결상 광학계 설계를 위한 설계 요소로 사용하고, 마지막 1개의 렌즈는 본 광학계를 보호하기 위한 프로텍팅 윈도우(protecting window)로 사용하고자 한다.

광학계 설계는 먼저 왼쪽의 실린더 렌즈 2개를 사용하여 y축 방향의 입사빔이 40 mm일 때 결상면에서 출력된 빔의 크기가 1 mm이내가 되도록 하였다. 즉 광학계의 y축 방향은 실린더 축이 x방향인 실린더 렌즈 2개를 사용하여 입사된 40 mm의 빔을 작업거리에서 1 mm로 집속하도록 하는 설계를 진행하였다.

구성 렌즈의 초자는 Fused silica^[8]를 사용하여 고출력의 레이저 빔의 높은 출력에 손상을 입지 않고 잘 견디도록 하였다. 그리고 광학계 설계에 사용한 빔의 파장은 975 \pm 2 nm로 하여 온도 등에 따른 레이저 발진 파장의 이동(shift)을 고려하였다.

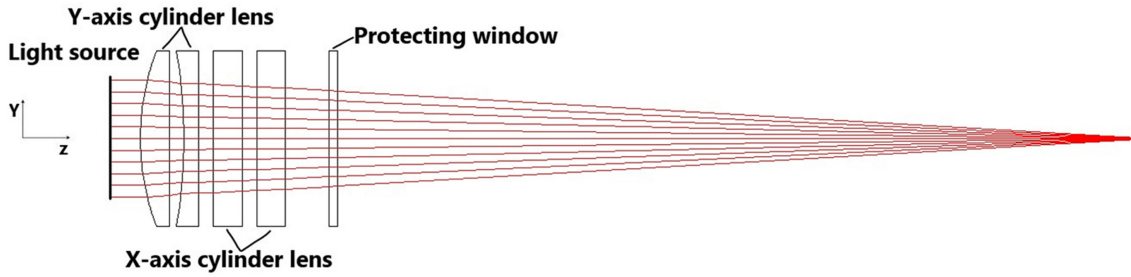


Fig. 3. Ray tracing of the optimized line-focusing optical system shown on the y-z plane.

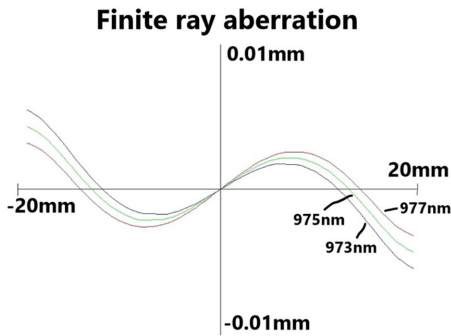


Fig. 4. Finite ray aberration in the y-axis direction of the optimized line-focusing optical system.

이렇게 해서 최적화 설계된 y축 방향의 포커싱 광학계의 광선추적도와 유한광선수차가 각각 Fig. 3과 4에 제시되어 있다. 여기서 보면, Fig. 1의 LD 더미 수직방향 발광 폭 40 mm가 주어진 작업거리에서 포커싱되어 잘 집속되어 있음을 Fig. 3에서 확인할 수 있다. 설계된 광학계에 대한 유한광선수차를 보여주는 Fig. 4에서 보면 LD 더미의 y축 발광 폭 40 mm가 집속되어 ± 0.01 mm 이내로 충분히 잘 제어되고 있음을 알 수 있다. 이는 Table 1의 사용자가

요구하는 광학계 구성요건을 충분히 만족하고 있음을 나타낸다.

3. 2개의 y축 실린더 렌즈에 의한 횡배율이 2배인 결상 광학계 설계

Table 1을 보면 작업거리에서 원하는 라인 빔의 크기가 10 mm×40 mm($\pm 10\%$)이기 때문에 x축 발광 폭이 10 mm인 두 LD 더미로부터의 빔을 결합시켜 작업거리에서 40 mm의 빔 폭을 만들면 된다. 따라서 5개의 렌즈로 구성되는 광학계에서 2개 렌즈를 y축 실린더 렌즈로 하여 x축 방향의 횡배율이 2배가 되게 설계하면 된다. Table 1을 보면 같은 기능의 이전에 개발된 광학계^[4]에 비해 이번의 개발 요구 광학계는 더욱 향상된 빔 균일도를 요구하고 있다. 이전 광학계^[4]에서는 빔 균일도를 작업거리 280 mm에서는 $\pm 10\%$ 이내, 작업거리 280 mm ± 10 mm에서는 $\pm 25\%$ 이내를 요구했었고, 이를 달성하기 위해 양볼록 실린더 렌즈와 역바이프리즘을 사용하였었다. 또한 이전 광학계^[4]의 양볼록 실린더 렌즈 1장을 이번 설계에서 2장의 평볼록 실린더 렌즈로 분해하여 설계를 진행하였는데 이는 양볼록

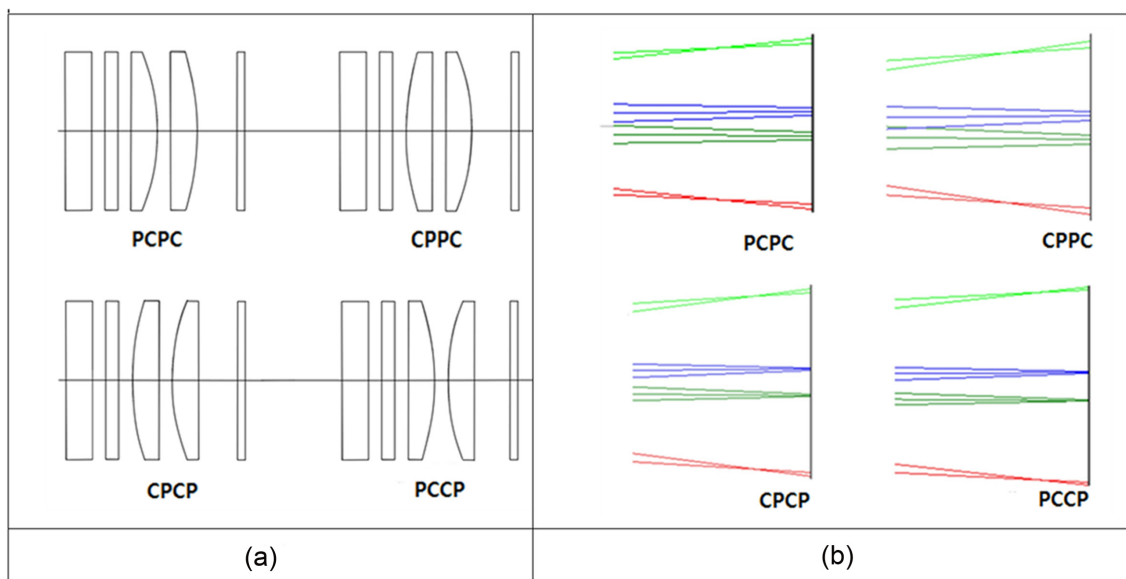


Fig. 5. Comparison of four types of cylinder lens arrangements along the x-axis direction of the line-focusing optical system (a), and the ray tracing diagram on each imaging plane (b).

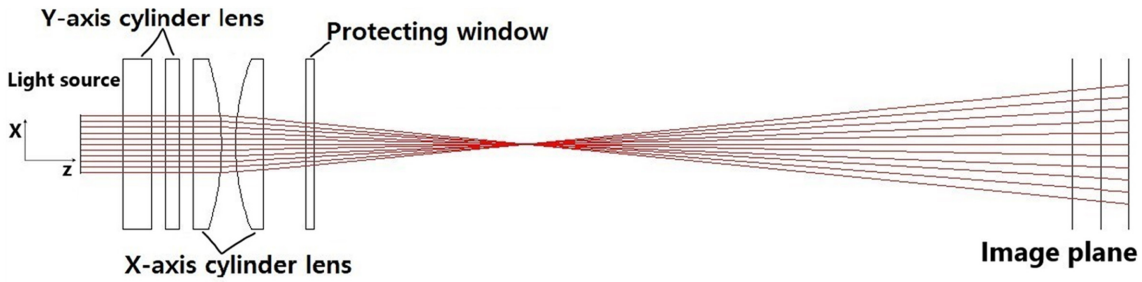


Fig. 6. Ray tracing of the optimized line-focusing optical system shown on the x-z plane.

실린더렌즈는 양볼록 실린더 면의 두 광축을 나란하게 가공하는 공정이 필요하게 함으로써 제작단가를 훨씬 높게 하여 경제적이지 못하다는 사용자의 설명을 반영하여 설계 진행에 반영한 결과이다.

그렇지만 Fig. 5에서와 같이 2장의 평볼록 실린더 렌즈를 사용하기 위해서는 실린더구면의 배치가 중요한 결정 사항이 된다. Fig. 5(a)에는 가공 단가가 높은 양볼록 실린더 렌즈를 가공 단가가 낮은 2장의 평볼록 실린더 렌즈로 분해하되 실린더구면의 배치를 다르게 한 4가지 배치의 조합을 보여 준다. 평면은 P, 실린더 면은 C라 하여, Fig. 5(a)의 3번 4번 렌즈의 면의 분포를 왼쪽에서 연속하여 표현하면 Fig. 5(a)의 왼쪽 상단의 구성은 PCPC로 표현할 수 있다. Fig. 5(b)에는 두 LD더미가 x축 방향으로 3.5 mm 간극(gap)을 유지 할 때 각각의 LD 더미의 slow-axis의 발산각 8로 빔이 광학계를 지나서 결상면(WD=280 mm)에서 보여지는 광선추적도를 나타내고 있다. 여기서 보면 PCCP 구성의 광선들이 결상면에서 보다 잘 집속되고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 3번 4번 렌즈의 면의 분포를 PCCP로 해서 설계를 진행하기로 하였다.

Fig. 6에는 이렇게 결정된 3번 4번 렌즈의 면의 분포를

유지한 상태에서 최적화된 상태의 광선 추적도와 렌즈의 구성을 보여주고 있다. 여기에서는 입사광선의 20+3.5 mm 빔폭이 최종 결상면(WD=280 mm)에서 약 47.0 mm가 되게 하여 횡배율^[9,10]가 되게 하였다.

4. 폴딩 미러 도입에 의한 레이저 빔 라인 집속 광학계 최적화 설계

Table 2에는 지금까지 설계된 내용을 보여주고 있다. Fig. 7(a),(b)는 이 설계 데이터를 이용한 광학계의 x-z 및 y-z면에서의 단면도와 광선 추적을 보여주고 있다. Fig. 7(a)(x-z면)에서는 두 LD 더미가 x축 위아래에서 서로의 폴딩 각이 2×45°를 가지는 폴딩 미러에 반사되어 z광축으로 광학계를 지나고 있음을 보여주고 있다. Fig. 7(b)(y-z면)에서는 LD 더미 발광면의 장축(40mm 폭)방향에서의 빔이 광학계에 입사하여 결상면(WD=280mm)에서의 잘 집속된 결상상태를 보여주고 있다. 그러나 현재 상태에서는 x-z면의 결상면에서의 빔의 분포는 두 LD 더미 발광면의 단축과 그 사이의 간극 3.5mm가 그대로 확대되어 빔폭은 약 20mm+20mm를 가지지만 두 빔 사이에 레이저 빔이 입사하지 않는 간극 7.0mm를 가지기 때문에 사용자가

Table 2. Optimized design data of the line-focusing optical system, in which the folding angle of the folding mirrors is 2 × 45°

Surface #	Surface Name	Y Radius	X Radius	Thickness	Glass	Y Semi-Apert	X Semi-Apert
Object		Infinity	Infinity	121.15			
1	Y	85.3179	Infinity	10.00	SILICA	30.00	30.00
2		Infinity	Infinity	5.00		30.00	30.00
3	Y	-176.4013	Infinity	5.00	SILICA	30.00	30.00
4		Infinity	Infinity	5.00		30.00	30.00
Stop	X	Infinity	Infinity	10.00	SILICA	30.00	30.00
6		Infinity	-98.9065	5.00		30.00	30.00
7	X	Infinity	84.5143	10.00	SILICA	30.00	30.00
8		Infinity	Infinity	15.00		30.00	30.00
9	Window	Infinity	Infinity	3.00	SILICA	30.00	30.00
10	270 mm	Infinity	Infinity	270.00		30.00	30.00
11	280 mm	Infinity	Infinity	10.00	SILICA	30.00	30.00
Image	290 mm	Infinity	Infinity	10.00		30.00	30.00

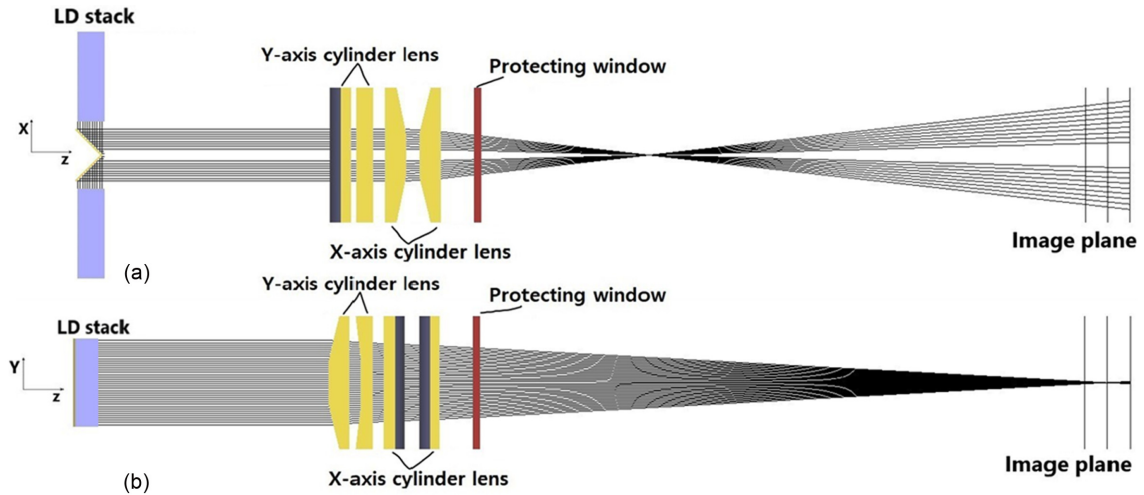


Fig. 7. Ray tracings of the optimized line-focusing optical system with a $2 \times 45^\circ$ folding angle of the folding mirrors shown on the x - z (a) and y - z planes(b).

요구하는 균일한 빔폭 40 mm는 가지지 못한다. 이러한 상황을 Fig. 8에서도 확인할 수 있다. Fig. 8은 두 LD 더미가 x 축 위아래에서 서로의 폴딩 각을 $2 \times 45^\circ$ 유지할 때의 결상면(WD=280 mm)에서의 방사조도(irradiance)의 분포를 보여주는데 결상면에서 두 LD 더미의 빔이 라인 집속되어 있으나 그 간극이 약 7.0 mm를 유지하고 있음을 보여준다.

따라서 이러한 간극을 없애고 사용자가 요구하는 WD ($280 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$)에서의 균일한 빔폭 $40 \text{ mm} (\pm 10\%)$ 를 유지할 수 있도록 하는 과정이 필요한데, 이를 본 논문에서는 LightTools이라는 S/W를 통하여 이행하였다. 즉 WD 270 mm, 280 mm, 290 mm에 각각 리시버(receiver)를 설정하고 두

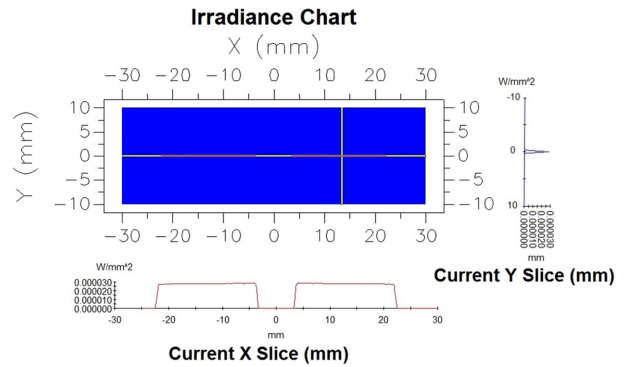


Fig. 8. Irradiance chart at the 280 mm WD of the optimized line-focusing optical system, in which the folding angle of the folding mirrors is $2 \times 45^\circ$.

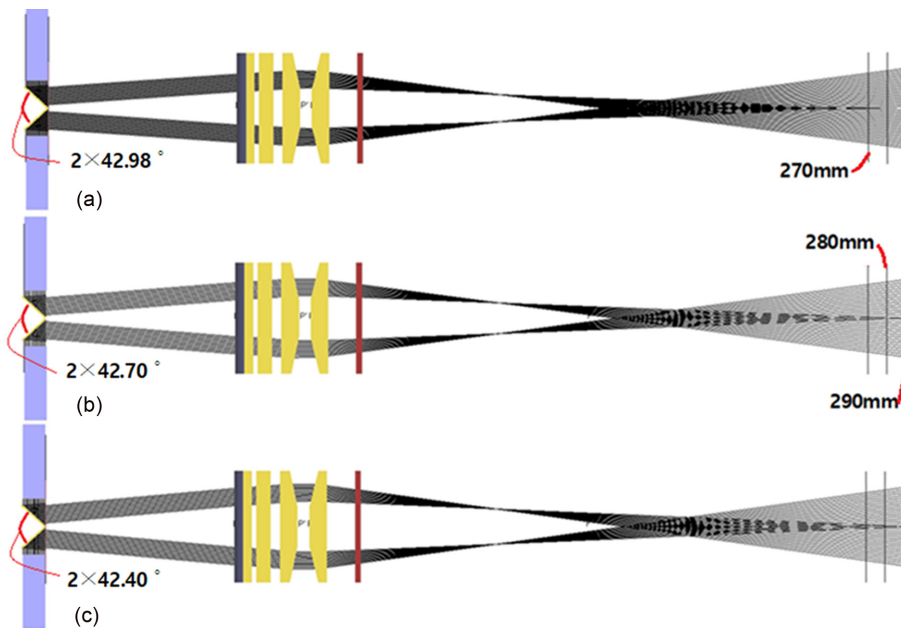


Fig. 9. Ray tracings of the line-focusing optical systems with folding mirror angles optimized by LightTools at working distances of 270 mm, 280 mm, and 290 mm.

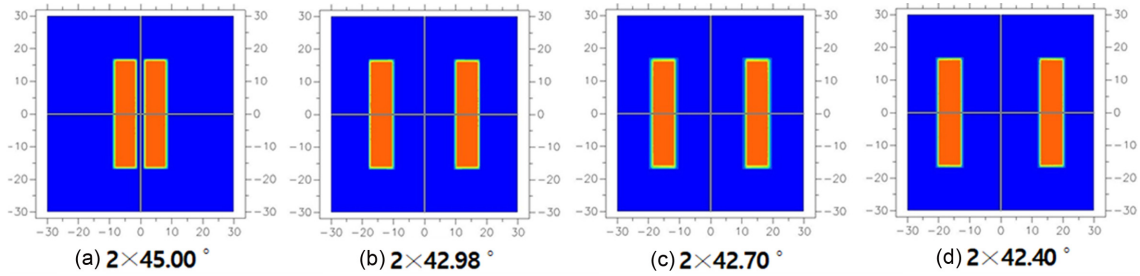


Fig. 10. Figures showing the distributions of the laser beam on the protection window in the case of the $2 \times 45^\circ$ folding angle (a), and the cases of the three folding mirror angles optimized at working distances of 270 mm (b), 280 mm (c) and 290 mm (d).

폴딩 미러의 폴딩 각을 변수로 하여 270 mm, 280 mm 및 290 mm에서의 최적 빔 균일도를 유지하는 폴딩 각을 산출하도록 하였다.

이렇게 진행한 결과를 Fig. 9에서 볼 수 있는데 각각의 최적 폴딩 각은 WD 270mm에서는 $2 \times 42.98^\circ$, WD 280 mm에서는 $2 \times 42.70^\circ$, WD 290 mm에서는 $2 \times 42.40^\circ$ 가 되었다. 또한 Fig. 9는 이들 각각 광학계의 광선추적도를 보여준다. Fig. 10에서는 LightTools에 의한 폴딩 각 최적화 전후 상태의 두 LD터미로부터의 레이저 빔이 프로텍팅 윈도우를 통과하는 상태를 보여주고 있는데, Fig. 10(a)는 최적화 전 즉 WD 280mm이고 폴딩 각 $2 \times 45.00^\circ$ 일 때, Fig. 10(b)~(d)는 각각 WD 270 mm, 280 mm, 290 mm에서 LightTools에 의해 최적화된 폴딩 각을 가질 때의 프로텍팅 윈도우 상에서의 레이저 빔 분포를 보여주고 있는데, 폴딩 각의 변화에 따라 프로텍팅 윈도우 상에서의 두 LD터미로부터의 레이저 빔 분포의 간격이 점점 멀어지고 있음을 확인할 수 있다.

결과 및 고찰

폴딩 각 가변이 가능한 폴딩 미러를 적용한 2개의 LD 터미의 레이저 출력을 하나의 라인 빔으로 합성하여 출력할 수 있는 레이저 빔 라인 집속 광학계를 Oslo와 LightTools을 사용하여 최적화 설계를 할 수 있었는데 결상면에서의 방사조도(irradiance)의 분포는 LightTools의 시뮬레이션으로 나타나는 Fig. 11~13과 같은 방사조도 차트로 확인할 수 있다.

Fig. 11은 폴딩 미러의 폴딩 각이 $2 \times 42.98^\circ$ 이고 WD 270 mm에서 집속된 라인 빔의 분포를 보여주고 있는데 x축에서는 ± 19.0 mm 정도, y축에서는 FWHM으로 ± 0.50 mm를 유지하고 있음을 알 수 있다. 이는 공차($\pm 10\%$)를 고려하면 사용자의 요구조건인 Table 1의 조건을 충족하고 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 12는 폴딩 미러의 폴딩 각이 $2 \times 42.70^\circ$ 이고 WD 280 mm에서 집속된 라인 빔의 분포를 보여주고 있는데 x

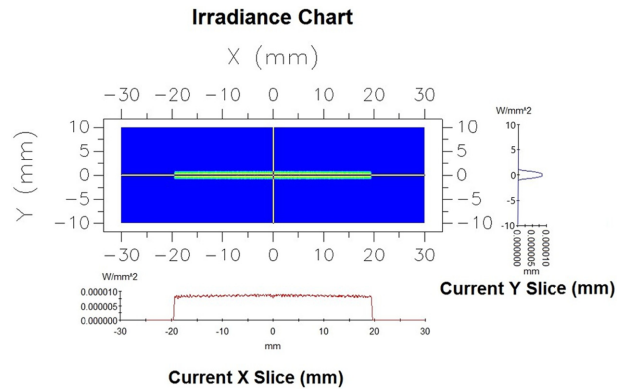


Fig. 11. Irradiance chart at the 270 mm WD of the optimized line-focusing optical system, in which the folding angle of the folding mirrors is $2 \times 42.98^\circ$.

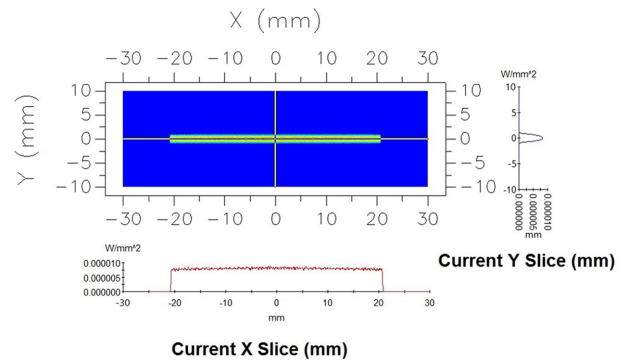


Fig. 12. Irradiance chart at the 280 mm WD of the optimized line-focusing optical system, in which the folding angle of the folding mirrors is $2 \times 42.70^\circ$.

축에서는 ± 20.5 mm 정도, y축에서는 FWHM으로 ± 0.50 mm를 유지하고 있음을 알 수 있다. 이는 공차($\pm 10\%$)를 고려하면 사용자의 요구조건인 Table 1의 조건을 충족하고 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 13는 폴딩 미러의 폴딩 각이 $2 \times 42.40^\circ$ 이고 WD 280 mm에서 집속된 라인 빔의 분포를 보여주고 있는데 x축에서는 ± 22.0 mm 정도, y축에서는 FWHM으로 ± 0.50 mm를 유지하고 있음을 알 수 있다. 이는 공차($\pm 10\%$)를 고려하면 사용자의 요구조건인 Table 1의 조건을 충족하고 있

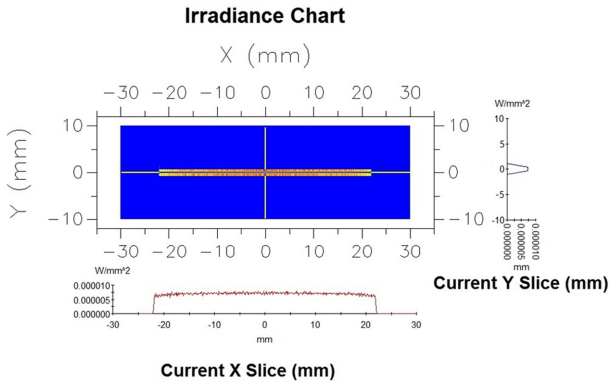


Fig. 13. Irradiance chart at the 290 mm WD of the optimized line-focusing optical system, in which the folding angle of the folding mirrors is $2 \times 42.40^\circ$.

음을 확인할 수 있다.

집속된 라인 빔의 균일도(uniformity)를 평가하기 위해 Fig. 11~13의 x축, y축 방사조도 수치 데이터를 분석하여 WD 270 mm, 280 mm, 290 mm에서의 전체 평균값, 각각의 WD에서의 최대값, 최소값, 이의 전체 평균값에서의 차이 등을 분석하여 Table 3에 제시하였다. 여기에서 보면 WD 270 mm에서는 집속된 빔 라인 균일도 범위가 총 평균값에서 $+13\% \sim -2\%$ 의 차이를 보이고 있고, WD 280 mm에서는 집속된 빔 라인 균일도 범위가 총 평균값에서 $+7\% \sim -5\%$ 의 차이를 보이고 있으며, WD 290 mm에서는 집속된 빔 라인 균일도 범위가 총 평균값에서 $+1\% \sim -15\%$ 의 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 본 광학계가 사용자의 라인 빔 집속 광학계의 균일도 요구조건(Table 1의 설계 스펙)을 만족하는 광학계임을 나타낸다.

기존 발표된 두 레이저에 의한 결상 빔 라인을 결합하는 광학계¹⁴⁾는 새로운 개념의 역바이프리즘을 사용하여 2개의 LD 더미의 집속된 빔 라인을 결합할 수 있도록 하는 최초의 고효율 열처리용 광학계 설계로 평가되었다. 그러나 두 개의 LD 더미로부터의 라인 빔을 역바이프리즘의 정각에 맞는 특정 위치(WD 280 mm)에서만 결합시켜 빔 균일도를 높일 수 있게 되어 있어 열처리를 하기 위한 작업거리(WD)가 변하게 되면 특정 위치(WD=280 mm)위치에서의 빔 균일도를 계속 유지하기 어렵다는 단점이 있

Table 3. Summary of the maximum, minimum, and average values of the irradiance numerical data along the vertical axis of the irradiance charts shown in Fig. 11~13 (units: $1.0 \times 10^{-6} \text{ W/mm}^2$)

Working distance	Average (a)	Maximum		Minimum	
		b	(b-a)/a	c	(c-a)/a
270	8.03	9.05	0.13	7.90	-0.02
280	8.03	8.63	0.07	7.63	-0.05
290	8.03	8.10	0.01	6.85	-0.15

었다. 이 단점으로 인해서 이 광학계는 WD=280 mm일 때에는 방사조도 균일도 범위가 $\pm 10\%$ 로 양호하였으나 WD=280 ± 10 mm에서는 방사조도 균일도 범위가 $\pm 25\%$ 에 이르게 되어 개선이 필요하다는 지적을 받게 되었다.

본 논문에서는 이를 개선하기 위해 폴딩 각 가변이 가능한 폴딩 미러를 적용하였는데, 이렇게 개발된 광학계의 방사조도 균일도 범위가 WD=280 mm일 때에는 $\pm 7\%$ 이내이고, WD=280 ± 10 mm에서는 $\pm 15\%$ 이내에 이르게 되어, 한 2개의 LD 더미의 레이저 출력을 하나의 라인 빔으로 합성하여 출력할 수 있는 레이저 빔 라인 집속 광학계 설계 분야에서 보다 개선된 광학계를 설계할 수 있었다.

결론

본 연구에서는 LD 더미 2개를 결합하여 하나의 라인 빔을 발생시키는 라인 집속 광학계 구성에 폴딩 미러를 사용함으로써 이전에 개발된 역바이프리즘을 이용한 레이저 빔 라인 집속 광학계보다 방사조도 균일도가 더욱 향상된 열처리용 레이저 빔 라인 집속 광학계를 개발할 수 있었다.

그 결과 본 연구의 광학계는 집속된 라인빔의 크기가 $1 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} (\pm 10\%)$ 이 되며, 작업거리 280 ± 10 mm에서의 방사조도 균일도가 $\pm 15\%$ 이내의 값을 가지며, 작업거리 280 mm에서의 방사조도 균일도가 $\pm 7\%$ 이내의 값을 가지는 새로운 열처리용 레이저 빔 라인 집속 광학계가 되었다.

REFERENCES

- [1] CHOMDAN INTRODUCE(HelloT). [Technical Special]Material characteristics and the basis of processing of titanium alloys, 2020. [https://www.hellot.net/new_hellot/magazine/magazine_read.html?code=201&sub=002&idx=55505\(01 August 2022\)](https://www.hellot.net/new_hellot/magazine/magazine_read.html?code=201&sub=002&idx=55505(01 August 2022)).
- [2] SPIE. Direct-diode lasers: they've got the power, 2009. [https://optics.org/article/39372\(01 August 2022\)](https://optics.org/article/39372(01 August 2022)).
- [3] Paul B. Degradation and Surface Engineering: Process Overview, 2014. [https://shusuperblog.wordpress.com/process-overview/\(01 August 2022\)](https://shusuperblog.wordpress.com/process-overview/(01 August 2022)).
- [4] Lee DH. Line-focusing optical system of laser beam with reverse-biprism. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2021;26(1): 65-72. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2021.26.1.65>
- [5] Lambda Research Corporation. OSLO Optics Software, 2021. [https://lambdares.com/oslo/\(01 August 2022\)](https://lambdares.com/oslo/(01 August 2022)).
- [6] Synopsys, Inc. LightTools Illumination Design Software, 2019. [https://www.synopsys.com/optical-solutions/light-tools.html\(01 August 2022\)](https://www.synopsys.com/optical-solutions/light-tools.html(01 August 2022)).
- [7] Coherent. DILAS, 2020. [https://www.dilas.com/products/search\(01 January 2022\)](https://www.dilas.com/products/search(01 January 2022)).

- [8] Edmund Optics. UV vs. IR Grade Fused Silica, 2020. [https://www.edmundoptics.co.kr/knowledge-center/application-notes/optics/uv-vs-ir-grade-fused-silica/\(01 January 2022\)](https://www.edmundoptics.co.kr/knowledge-center/application-notes/optics/uv-vs-ir-grade-fused-silica/(01%20January%202022)).
 [9] Jenkins FA, White HE. Fundamentals of optics, 4th Ed. New York: McGRAW-HILL, 2001;64-65.
 [10] Smith WJ. Modern optical engineering, 4th Ed. New York: McGRAW-HILL, 2008;188-195.

폴딩 미러를 이용한 레이저 빔 라인 집속 광학계

이정현¹, 이동희^{2,*}

¹극동대학교 대학원 에너지IT학과, 학생, 음성 27601

²극동대학교 안경광학과, 교수, 음성 27601

투고일(2022년 9월 8일), 수정일(2022년 9월 20일), 게재확정일(2022년 9월 21일)

목적: LD 더미(stack) 2개를 결합하여 하나의 라인 빔을 발생시키는 라인 집속 광학계 구성에 폴딩 미러를 사용함으로써 보다 향상된 집속 라인 빔의 균일도를 가지는 레이저 빔 라인 집속 광학계를 개발하고자 한다. **방법:** 폴딩 각을 조절할 수 있는 폴딩 미러를 두 LD 더미와 실린더 렌즈로 구성된 집속 광학계 사이에 삽입하여 폴딩 미러의 각도를 조절하도록 하였다. 이렇게 함으로써 폴딩 미러의 반사 각도를 작업거리에 따른 집속 라인 빔의 균일도 향상에 최적화 변수로 사용할 수 있었다. **결과:** 새롭게 설계된 광학계에서 두 LD 더미의 발광영역의 빔을 결합하여 집속된 레이저 빔 라인의 크기는 1 mm×40 mm(±10%)이 되었으며, 집속된 레이저 빔 라인의 방사조도 균일도는 280±10 mm의 작업거리 영역에서 약 ±15% 이내에 이르게 되었다. **결론:** 폴딩 미러를 사용함으로써 두 LD 더미를 결합하여 하나의 라인 빔을 발생시키는 새로운 레이저 빔 라인 집속 광학계 설계할 수 있었다. 이 광학계는 기존의 역마이프리즘을 이용한 광학계에 비해 작업거리 범위 이내에서 방사조도 균일도가 향상된 레이저 빔 라인 집속 광학계가 될 수 있었다.

주제어: 폴딩 미러, LD 더미, 발광영역, 방사조도 균일도, 라인 집속 광학계