원통형 마이크로 렌즈를 사용한 레이저 형상 보정

Compensation of laser beam shape using cylindric microlens

김만호[1], 김규태*[2], Boris Fursa[1]
부천대학교 광전자 연구소[1], (주)에어넷[2]
mhkim@hangil.bucheon.ac.kr

레이저 다이오드로부터 방사되는 빔의 단면은 발광부의 단면적이 대단히 좁기 때문에 회절에 의한 발산이 커져서 타원형 모양을 하고 있다. 이 빔을 그대로 전송하는 경우, 전송 및 수신부는 원형을 하고 있기 때문에 빔파워의 유실이 커진다. 이를 막기 위해서 레이저 빔의 형상을 원형에 가깝게 보정하는 기술이 필요하다.

일반적으로 두개의 왜곡 프리즘을 이용하여 보정하는 방법이 사용되나, 레이저 빔의 시준과 후전송을 위해 비구면 렌즈가 추가되는 등 장치가 복잡하게 되어 제작비용이 비싸진다. 본 논문에서는 간단히 1개의 마이크로렌즈를 레이저 다이오드에 부착하여 레이저 빔 형상을 보정하는 방법에 대해 이론적으로 알아본다.

레이저 다이오드에서 방사되는 빔은 한 축이 다른 축보다 더 발산하므로 빔 단면이 타원 형상으로 그림 1과 같이 빠르게 발산한다. 광통신과 같은 레이저 다이오드의 적용분야에서는 고출력을 위해서 원형의 빔 단면이 필요하므로, 원형의 빔 단면을 얻기 위해 다양한 광학적인 설계방법이 존재하게 된다. 레이저 다이오드의 빔을 원형으로 보정하기 위한 전형적인 광학적 설계 방법은 왜곡(Anamorphic) 프리즘 쌍을 사용하는 것으로 모습은 그림 2와 같으며, 광케이블에 마이크로 렌즈를 붙이는 등 많은 방법이 연구되었다. 본 논문에는 시준과 후전송을 위한 비구면 렌즈등 추가 장치를 줄이기 위해서 간단한 1개의 원통형 마이크로 렌즈를 레이저 다이오드에 부착하는 그림 3과 같은 모습을 제안한다.

레이저 다이오드에서 방사되는 빔의 Fast축과 Slow축에 대한 발산각과 마이크로 렌즈를 통한 후 발산되는 발산각은 다음과 같이 계산 가능하다.

$$\alpha_2 = \sin^{-1}\left(\frac{\sin\alpha_0}{n^2}\right) \qquad \text{(식 1)}$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}(n\sin\theta_1) = \sin^{-1}(\sin\theta_0) = \theta_0$$

단, 여기서 α는 Fast축에 대한 각도이고, θ는 Slow축에 대한 각도를 의미한다.

원통형 렌즈를 사용하기 때문에 Fast축에 대한 각도α는 보정되고, Slow축에 대한 각도 θ는 보정이 되지 않으므로 위 두 식을 이용해서 Fast축과 Slow축에 대한 발산각을 원형에 가깝게 조절해 줄 수 있다. Fast축과 Slow축에 대한 발산각의 보정에 의해 초점거리의 변동이 생기게되며, 초점거리의 차이는 다음과 같이 계산 가능하다.

$$d_{diff} = d_S - d_F = R\left(1+n-\frac{(n+1)\cos\theta_0}{n\sqrt{n^2-\sin^2\theta_0}}\right) \qquad \text{(식 2)}$$

단, $d_S > 0$이고, $d_F < 0$이다.

즉, 위 식에 의해서 초점 거리의 변화는 Slow축의 입사각과 관련이 있으며, 초점거리는 R에 비례하는 것을 알 수 있다. 위 식에서 Slow축에 입사하는 각이 커질수록 $Cos\theta_0$의 값이 작아지므로, 초점거리는 렌즈의 크기와 굴절율에 의해 결정됨을 알 수 있다. 이 때 식 1에 의해서 렌즈의 굴절율을 선택하게 되므로, 초점거리는 렌즈의 반경 R에 의해 계산 될 수 있으며, R값이 상대적으로 작은 마이크로 렌즈를 사용하므로 초점거리의 차이를 최소화할 수 있다.

이상에서 제안하는 마이크로 렌즈를 레이저 다이오드의 발산각도 조절장치로 사용했을 경우 렌즈 시스템을 간단하게 꾸밀 수 있어 가격도 저렴하고, 렌즈 크기가 작으므로 최소한의 초점거리 차이로, 마이크로렌즈의 굴절률을 이용해서 발산 각도를 조절할 수 있으므로, 자유공간상의 광전송장치와 같이 고에너지 효율이 필요한 분야에 사용하였을 경우에 사용된 레이저 다이오드 특성에 맞게 렌즈를 디자인할 수 있다.

[참고문헌]
[1] V. A. Panov, Optics-Mechanics designer reference book(Leningrad, Mashinostroevie, 1980), pp 101~102
[2] 김병태, 레이저공학 (상학당, 서울, 1999) pp. 148~158
[3] H. L. An, Optics Communication 181(2000) pp. 89~95
[4] 김만호, Boris Fursa, 빔 셰이핑 광학 처리장치, 특허출원 제 10-17938호 (대한민국 특허청, 2001년 4월)

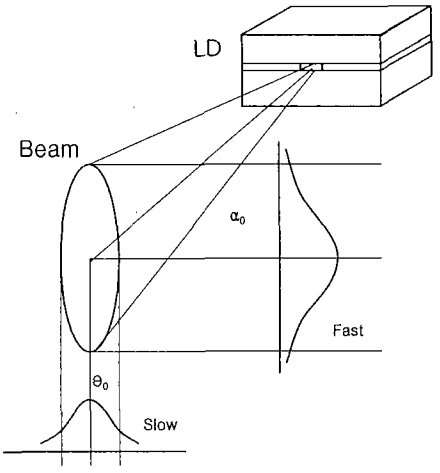

그림 1. 레이저 다이오드의 발산 모양

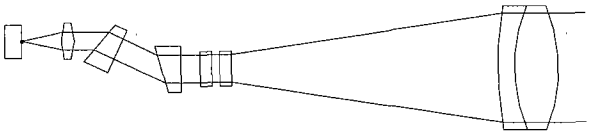

그림 2. 전형적인 광학 설계 방식

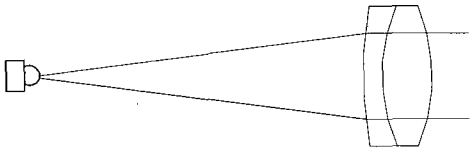

그림 3. 본 논문에서 제안된 광학 설계 방식

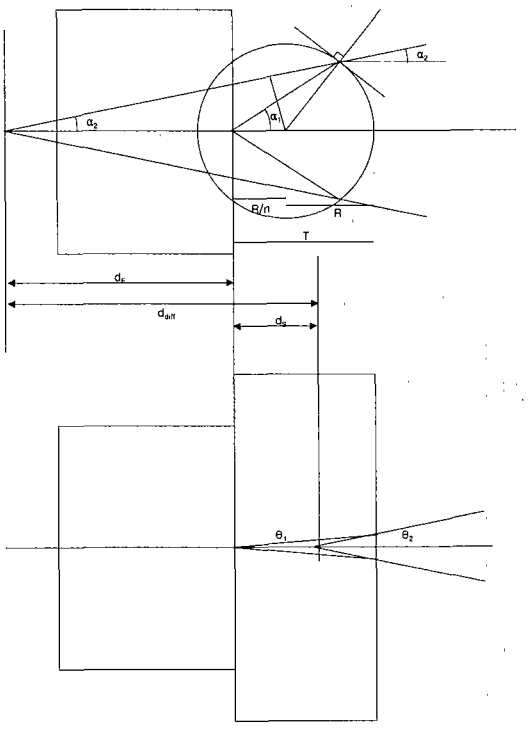

그림 4. Fast축과 Slow축에서 본 광의 전송모습