

High power 전송을 위한 Tapered Fiber 제작

Fabrication of the Tapered Optical Fiber for a high power transmission

김택중, 이만섭*

*한국정보통신대학교

albertkim69@gmail.com

박준호, 이상만, 정정용**

**(주) 포코

최근 반도체 제조기술 발달로 수십 watt의 높은 출력을 가진 LD가 생산되고 있으며, 산업용, 군사용, 그리고 의료용 등에서 사용이 증가하고 있다. 그러나 LD 기본 특성상 타원형태의 출력을 가지므로 매질을 통과할 때 분산의 영향을 크게 받기 때문에 beam 특성이 나빠지거나 출력이 감소한다. 연구논문에서는 NA(numerical aperture)가 큰 다중모드 광섬유를 사용하여 광 결합효율을 높이고 출력쪽에서는 광원에서 나온 빛의 spot size를 줄이고 광출력 손실 없이 광소자와 결합효율을 최대가 되도록 광섬유를 tapering하였다. Tapered 광섬유는 etching¹, arc 방전², 그리고 연마방법³ 등으로 간단히 제작할 수 있으며, 실험에서는 기계적으로 연마(polishing)를 했는데, 공차(offset)가 적으며, 환경오염이 없이 경제적으로 제작할 수 있다.

광섬유를 통해 출력되는 빛이 공기와 큰 굴절률 차를 겪으면서 발산각과 손실이 커지므로 광학 lens나 광소자와 결합효율이 떨어진다. 뿐만 아니라 사용된 광섬유 특성상 일반 lens 광섬유 형태로 가공하면 core와 공기가 직접 결합되므로 산란손실과 spot size가 커지며, 평행광이 되지 않아 광소자와 결합효율이 떨어진다. 이러한 단점을 해결하기 위해서 tapered 면에서 내부 전반사가 일어나도록 가공하였다. 즉, 내부 전반사($n_i > n_o$)조건을 만족할 때 입사각(θ_i)이 임계각(θ_c)보다 크거나 같아지면 입사각에 따라 반사성분은 증가하고 투과성분이 감소한다. Snell의 법칙⁴을 이용하면 tapered 면에서

$$\sin\theta_i = \frac{n_o}{n_i} \sin\theta_o$$

[θ_i : Tapered 면에서 입사각($\theta_i = \theta_{LD} + 2\theta_{taper}$), θ_o : 공기 중으로 발산되는 각]

와 같게 되며, $n_o/n_i < 1$ 인 경우는 $\theta_o > \theta_i$ 가 된다. 따라서 θ_i 가 커질수록 투과광선은 경계면의 접선에 접근함에 따라 많은 에너지가 반사하게 되므로, 입사하는 모든 에너지는 내부 전반사(total internal reflection)를 한다. 그러나 광섬유의 수광각(acceptance angle) 때문에 입사각을 임의로 조절할 수 없으므로 광섬유를 진행하는 빛과 광섬유 가공 면이 임계각을 이루도록 tapering하였다. 그림 1은 임계각으로 광섬유를 tapering한 다음, 단면을 평탄하게 잘랐다. 접선 면에서는 전반사가 일어나기 때문에 빛은 투과되지 않고, 절삭(cutting)된 면에서 평행광이 출력된다. 실험에 사용된 광섬유는 core가 300 μm , cladding은 30 μm 이며, core, cladding의 굴절률은 1.457 그리고 1.404인 step-index 구조로 되어있다. NA는 0.39이며 허용 최대 광 파워는 CW의 경우 0.5 kW이고 pulse의 경우 2.3 MW까지이다. 그림 2 (a)는 광섬유 끝단을 tapering하지 않았을 때 (b)는 광섬유 core와 공기사이의 임계각을 기준으로 한 tapered angle은 $10 \pm 1^\circ$ 이고, 단면은 100 μm 가 되도록 절삭하여 lens 시스템에 결상 시켰을 때, 스크린

에 비추어진 spot size를 CCD 카메라로 측정한 결과이다. 측정 결과 9 mm×9 mm에서 3 mm×3 mm까지 spot size를 줄일 수 있었으며, tapered된 접선 면에서 투과광은 관찰되지 않았다. 이러한 광섬유는 고출력 레이저를 적용할 경우 beam size를 줄이기 위한 소자를 사용하지 않아도 되므로 결합효율이 높고 광학계를 간단히 할 수 있다는 장점이 있다.

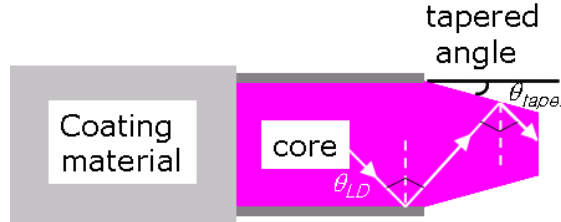


그림 1. Tapered 광섬유에서 빛의 진행과정

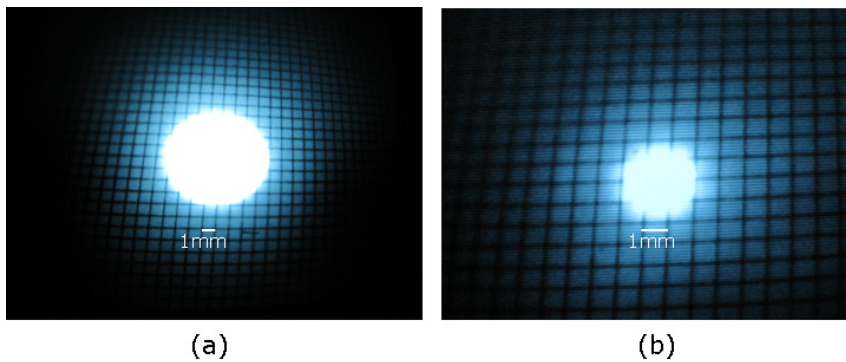


그림 2. CCD 카메라 촬영결과

(a) No tapering : 9 mm × 9 mm, (b) tapering : 3 mm × 3 mm

참고문헌

1. Chris W. Barnard, John W.Y. Lit, "Single-mode fiber microlens with controllable spot size", *Applied Optics*, **30**, pp. 1958-1962(1991)
2. Eun-Hyun Park, Moon-Jung Kim, and Young-Se Kwon, "Microlens for Efficient Coupling Between LED and Optical Fiber", *IEEE Photonics Technol. Letts.*, **11**, pp. 439-441(1999)
3. Szu-Ming Yeh, Sun-Yuan Huang, Wood-Hi Cheng, "A New Scheme of Conical-Wedge Shaped Fiber Endface for Coupling Between High-Power Laser Diodes and Single-Mode Fibers", *J of Lighrwave Technol.*, **23**, pp. 1781-1786(2005)
4. HECHT, Optics 2nd, Addison-Welsey press, pp104-105