

## CO<sub>2</sub> laser를 이용한 장주기 광섬유 격자 제작에 대한 광섬유 표면의 열전달 모델링

### Modeling of heat transfer on the fiber surface for fabrication of long-period fiber gratings using CO<sub>2</sub> laser

김현민<sup>1</sup>, 전경원<sup>1</sup>, 김희운<sup>1</sup>, 정영주<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> 광주과학기술원 정보기전공학부 <sup>2</sup> 광과학기술대학학부

\*ychung@gist.ac.kr

CO<sub>2</sub> 레이저를 이용하여 장주기 광섬유 격자를 제작하면 UV 빔을 이용할 때보다 제작이 용이하고 제작 시간이 매우 짧다. 하지만 동일한 전송 특성을 갖는 장주기 광섬유 격자를 제작하기는 쉽지 않다. 이러한 제작 변이성을 줄이기 위해서는 제작 메커니즘에 대한 충분히 이해가 필요하다<sup>(1)</sup>. 본 논문에서는 레이저 빔이 광섬유에 노출되었을 때 광섬유 표면이 어떻게 변형되는지 열전달 모델링<sup>(2)</sup>을 통해서 알아보았다. 이 때 사용한 모델은 회전 방법을 이용하여 제작한 대칭형 장주기 광섬유 격자<sup>(3)</sup>이다.

[그림 1]은 CO<sub>2</sub> 레이저를 이용한 장주기 광섬유 격자 제작 과정을 보여준다<sup>(3)</sup>. CO<sub>2</sub> 레이저와 초점 거리가 38 mm인 렌즈를 사용하여 광섬유 표면에 초점을 맞춘 빔을 조사하였고 마이크로미터를 이용하여 렌즈와 광섬유의 간격을 조절하였다. 이 간격은 [그림 2]에 나타난 초점을 맞춘 빔이 광섬유 표면에 조사되는 폭, 2w를 결정하게 된다. 초점을 맞춘 빔은 광섬유가 한 바퀴 회전하는 동안 노출시키고 원하는 주기만큼 광섬유를 이동시키면서 대칭형 장주기 광섬유 격자를 제작하게 된다. 본 논문에서는, 초점을 맞춘 빔이 조사되는 부분 중에서 [그림 2]에 나타난 것과 같이 극미량에 대해서 열전달 모델링을 하고 열전달 법칙과 에너지 보존 법칙을 이용하여 빔이 조사된 광섬유 표면에서의 온도 구배를 구하였다. 그리고 온도 구배를 통해 광섬유 표면이 어떻게 변형되는지 알아보았다.

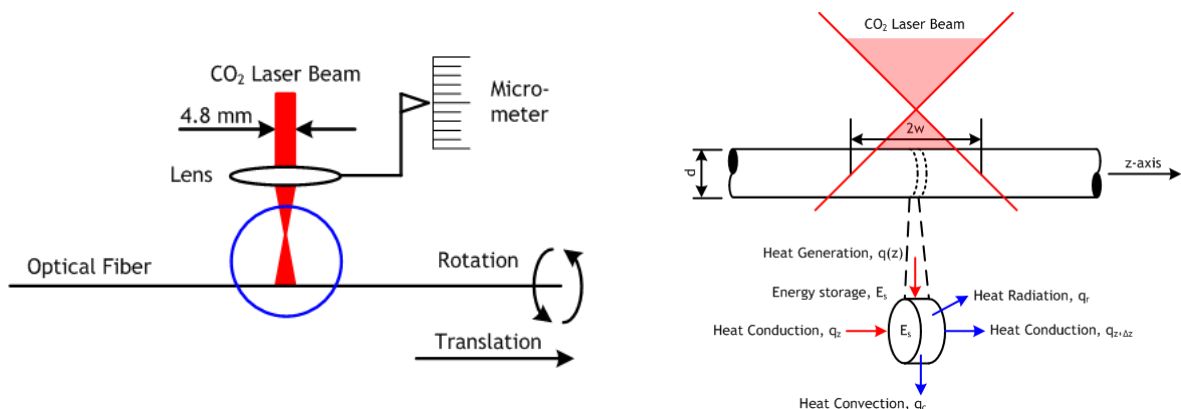


그림 1. CO<sub>2</sub> 레이저를 이용한 장주기 광섬유 격자 제작

그림 2. 광섬유 표면의 열전달 모델링

열전달 모델링은 초점을 맞춘 빔이 입사 방향으로 모든 면에 고르게 조사된다고 가정하였다. 이는 회전 방법을 이용하여 장주기 광섬유 격자를 제작하므로 적합한 가정이라고 볼 수 있다. [그림 2]의 노트에서

에너지가 보존된다는 가정하고 에너지 보존 법칙을 적용하여 열전달 모델링을 하였다 (수식 1).

$$q_z + \dot{E}_q = q_{z+\Delta z} + q_c + q_r + \dot{E}_s \quad (1)$$

그 다음 위의 식에 열전달률, 열발생률, 열저장률, 그리고 열대류률을 대입하면 온도에 대한 이차 편미분 방정식을 얻을 수 있다 (수식 2). 여기에 사용된 열전달 방정식은 2번째 참고논문의 식 (2)에서 식 (5)까지 나타나있고 광섬유의 특성을 나타내는 상수는 표 (1)에 나타나 있다.

$$\frac{\partial^2 T(z,t)}{\partial z^2} = \frac{4H}{dK} [T(z,t) - T_{amb}] + \frac{4\sigma\epsilon}{dK} [T^4(z,t) - T_{amb}^4] + \frac{\rho C}{K} \frac{\partial T(z,t)}{\partial t} - \frac{q(z)}{K} \quad (2)$$

입사되는 초점을 맞춘 빔은 가우시안 분포라고 가정하여 위의 식에 나타난  $q(z)$ 를 구하였다.  $q(z)$ 는 단위 시간과 단위 부피에 대한 광섬유에 흡수되는 에너지를 나타내며 두 번째 참고문헌의 식 (21)에 나타나있다.

광섬유 표면에서의 온도 구배를 구하기 위해서 implicit Crank-Nicolson finite difference method를 이용하여 수식 (2)를 풀었고 [그림 3]과 같이 CO<sub>2</sub> 레이저의 출력 크기와 광섬유의 지름 길이에 따른 광섬유 표면에서의 온도 분포를 얻을 수 있었다. 그리고 Silica (SiO<sub>2</sub>)의 연화점이 1660 °C인 점을 이용하여 [그림 4]와 같이 광섬유 표면이 어떻게 변형되는지 알 수 있었다. 이 때, 초점을 맞춘 빔의 지름은 400 μm이다.

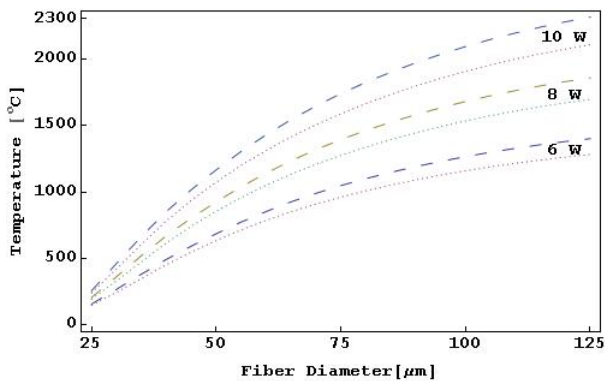


그림 3. CO<sub>2</sub> 레이저의 출력 크기와 지름 길이에 따른 광섬유 표면에서의 온도

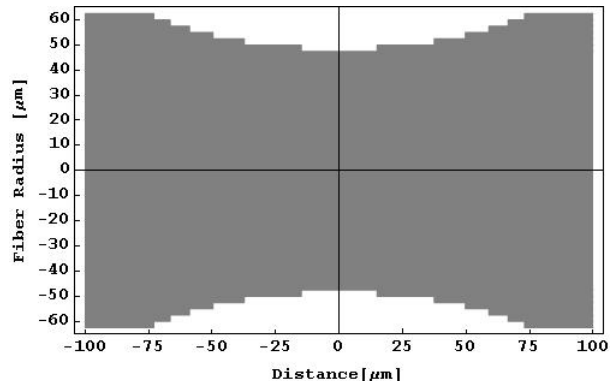


그림 4. 출력이 8 W에서의 온도 분포에 따른 광섬유 표면의 변형

본 연구를 통해서 초점을 맞춘 빔에 노출된 광섬유 표면에서의 온도 구배를 알아보았고, 이를 이용하여 광섬유 표면이 어떻게 변형되는지 알아보았다. 본 연구 결과를 이용하여 광섬유 단면에서의 굴절률 변화를 알아보고 장주기 광섬유 격자의 전송 특성을 예측할 수 있는 연구가 필요하다.

본 연구는 BK-21 사업, 광주과학기술원 Photonics 2020 TBP 사업, 정보통신부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업 (IITA-2007-C1090-0701-0014)의 일부 지원으로 수행되었습니다.

References

1. B. L. Bachim, Ph.D Thesis, Georgia Institute of Technology, 2006.
2. C. E. Chryssou, Opt. Eng., vol. 38, no. 10, pp. 1645-1649, 1999.
3. S. T. Oh et al., Microwave Opt. Technol. Lett., vol. 41, no. 3, pp. 188-190, 2004.