

1200 μm 이상의 긴 작동거리를 갖는 렌즈형 대구경 광자결정광섬유

Large mode area photonic crystal fiber lens with a more than 1200 μm working distance

최해룡, 김진채, 임주은, 백운출, 이병하
광주과학기술원, 정보통신공학과
chy4745@gist.ac.kr

Laser diode와 광섬유 간의 용이한 광 결합이나 광소자와 광섬유 간의 자유공간을 통한 효율적인 광결합에 대한 연구는 광통신 시스템의 효율적 활용을 위하여 필수적이라 할 수 있다. 최근 장주기 광섬유격자쌍을 이용하여 광소자와 광섬유 간의 결합손실을 줄이기 위한 시도가 진행되어 왔으며,⁽¹⁾ 자유공간에서의 원활한 광결합과 용이한 광정렬을 위하여 필요한 긴 작동거리(working distance)를 갖는 여러 가지 형태의 광섬유 렌즈들이 보고되고 있다.⁽²⁾ 또한 최근 활발히 연구되고 있는 광자결정 광섬유를 이용하여 구현한 간단한 형태의 광섬유렌즈 제조 방법이 제안되었다.⁽³⁾ 렌즈형 광자결정 광섬유의 제작은 복잡한 공정 없이 통상적인 광섬유 용착기의 전기방전만을 이용하여 빔 확장 구간과 렌즈를 동시에 손쉽게 구현할 수 있어 저 손실 렌즈형 광섬유를 제조하는데 용이하다.

렌즈형 광자결정 광섬유의 제조에는 광자결정 광섬유를 따라 길이 방향으로 형성되어 있는 다수의 공기 구멍들을 전기방전으로 인한 열로 일정 거리만 용착(collapsing)시켜 없애어 빔이 확장할 수 있는 구간을 만들어 준 후, 그 끝단에 다시 전기방전을 가하여 렌즈를 형성하여 주는 방법을 사용한다. 그러나 대구경 광섬유의 경우에는 광섬유의 직경이 일반 광섬유보다 두 배 가량 크며, 또한 일반 광섬유 용착기를 이용하여 충분한 전기 방전량을 얻기 어렵기 때문에 빔 확장 구간을 효과적으로 생성하기 어렵다는 문제점이 있다. 본 연구에서는 이를 극복하기 위해서 도핑된 코어가 없는 고순도 실리카 광섬유를 이용하여 빔 확장 영역을 조절하여 줌으로서 다양한 작동거리(working distance)를 가지는 광자결정 광섬유 렌즈를 제작하였고 이의 결합 효율을 측정하여 보았다.

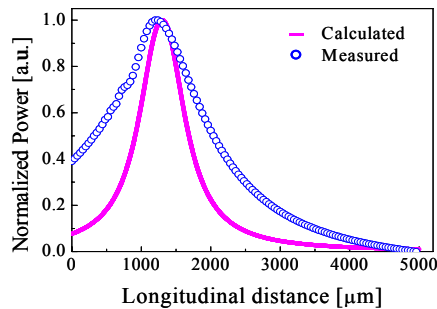
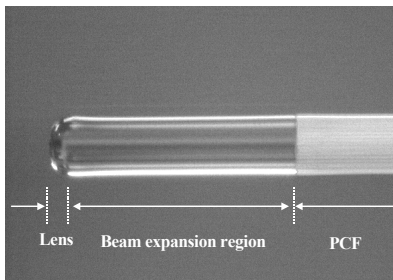


그림 1. 제작된 렌즈형 광섬유의 측면모습. 그림 2. 제작된 렌즈의 길이방향에 따른 자기 결합 비.

본 실험에서는 $230 \pm 5 \mu\text{m}$ 의 클래딩 구경을 갖는 광자결정광섬유(LMA-20, Crystal Fibre, $\Lambda : 14.03 \mu\text{m}$, $d/\Lambda : 0.44$)를 사용하였는데 구현된 렌즈형 광섬유의 측면 모습을 그림 1에 도시하였다. 이의 결합 효율을 보기 위하여 구현된 렌즈형 광섬유 앞에 반사거울을 설치하여 이로부터 반사된 빔이 렌즈형 광섬유로 다시 얼마만큼 결합되는지를 측정하였다. 즉 거울의 위치에 따른 결합효율인 자기결합비(self-coupling ratio)를 측정하여 그림 2에 나타내었다. 또한 얇은 렌즈 모델링을 통해 결합효율을 얻었고 이를 함께 도시하였다.⁽⁴⁾ 그림 2에서 보는 바와 같이 최대 광결합 효율을 가지는 거리에 대한 실험치와 이론치가 거의 일치하였고 1 dB의 추가 손실을 고려할 때 약 $1500 \mu\text{m}$ 의 긴 작동거리를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 최대 결합효율을 가지는 지점에서 멀어지면서 두 결과가 점점 차이가 나는 것을 볼 수 있는데, 이는 제작된 렌즈의 구면 수차와 측정을 위해 사용한 광원의 파장대역폭이 넓기 때문에 생기는 색수차 등에 주로 기인한 것으로 보인다.

그림 1에서와 같이 제작된 광자 결정 광섬유 렌즈는 빔을 전송 하는 광자결정 광섬유, 빔의 확장에 기여하는 코어 없는 광섬유, 확장된 빔을 모아주는 렌즈구간으로 구분할 수 있는데, 각 구간에서의 빔의 경로 변화를 잘 알려진 ABCD 행렬을 이용해서 구할 수 있다.⁽⁵⁾ 그림 3은 빔 확장 구간의 길이와 렌즈의 곡률 반경의 변화에 따른 작동거리의 변화를 실험적으로 측정하고 이를 ABCD 행렬방법을 이용해 구한 이론치와 비교한 결과를 보여준다. 이를 통해 빔 확장구간의 길이나 렌즈의 곡률반경의 조절로부터 다양한 작동거리를 얻을 수 있음을 확인하였다.

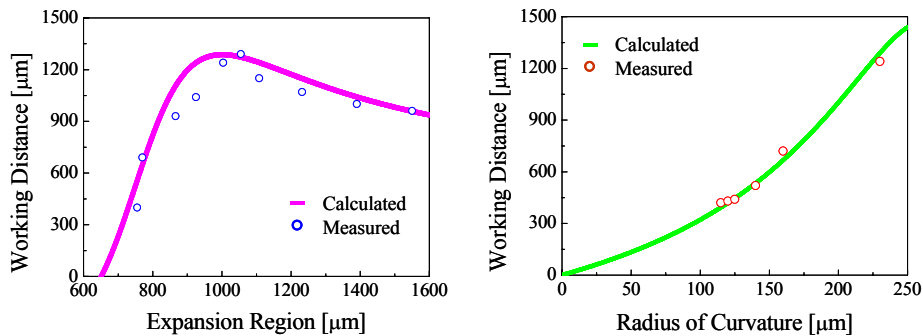


그림 3. 빔 확장 구간의 길이와 렌즈의 곡률 반경에 따른 작동거리의 변화

본 연구에서는 $230 \mu\text{m}$ 의 클래딩 구경을 갖는 대구경 광자결정광섬유를 이용한 렌즈형 광섬유를 제작, 분석하였다. 효율적인 빔 확장 구간을 형성하여 주기 위해서 코어가 없는 순수 유리 광섬유를 광자결정광섬유와 렌즈 사이에 삽입하는 방법을 사용하였다. 실험결과 $1200 \mu\text{m}$ 이상의 작동거리를 얻었으며 1 dB의 추가 손실을 고려하면 $1500 \mu\text{m}$ 이상의 긴 작동거리를 가질 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 한-이테리, 한-중 국제공동과제, 고등광기술연구소(APRI)에서 수행중인 극초단 광양자 이용기술 개발 사업의 일부지원으로 수행되었습니다.

[참고 문헌]

1. M. J. Kim, *et al.*, J. Lightwave Technol., **23**, 588 (2005).
2. J. Kim, *et al.*, CLEO/QELS 2004, CFH (2004).
3. G.-J. Kong, *et al.*, Opt. Lett., **31**, 894, (2006).
4. E. Li, Opt. Lett., **31**, 169 (2006).
5. H. Kogelnik, Appl. Opt., **4**, 1562 (1965).