

# 타원형 공동을 갖는 새로운 고복굴절 광섬유의 설계

## Novel design of highly-birefringent fiber with elliptical hollow

황인각\*<sup>1</sup>, 이용희<sup>1</sup>, 오경환<sup>2</sup>, David N. Payne<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술원 물리학과

<sup>2</sup>광주과학기술원 정보통신학과

<sup>3</sup>Optoelectronic Research Centre, University of Southampton

e-mail: ikhwang@kaist.ac.kr

**Abstract:** We propose and analyze a novel high-birefringence fiber incorporating an elliptical air hole in the core. Compared to solid elliptical core fibers, several times higher birefringence is achieved with a sub-wavelength-sized hole.

고복굴절 혹은 편광 유지 광섬유에서는 일반적으로 타원형 코어를 사용하거나 코어 주위에 강한 스트레스를 가함으로써 특정한 방향으로 강한 복굴절을 유도하게 된다. 본 논문에서는 광섬유 코어 중앙에 타원형의 공동을 갖는 새로운 구조의 고복굴절 광섬유를 제안한다.[1] 파장 크기 이하의 공동을 삽입함으로써 기존의 타원형 코어 광섬유보다 수 배나 더 큰 복굴절을 만들어 낼 수 있으며, 이는 광손실을 줄이고 모드 직경을 크게 하는데 유리하게 작용한다.

제안된 광섬유의 구조를 그림 1에 나타내었다. 공동의 타원율은 고복굴절을 만드는데 매우 중요한 변수이나, 코어의 타원율이 끼치는 영향은 상대적으로 작다. 본 연구에서는 공동과 코어의 타원율을 모두 0.5로 고정하였다. 공동이 코어의 중앙에 삽입됨으로써, 코어를 진행하는 빛은 코어와 공기의 큰 굴절율 차( $\sim 1.5$ )를 경험하게 되며, 이는 일반적인 타원형 코어 광섬유가 갖는 코어와 클래딩 간의 굴절율 차( $< 0.05$ )보다 수십배 큰 값이다. 이렇게 큰 굴절율 차가 비대칭적인(타원형의) 구조로 존재할 때 여기서 큰 복굴절이 유도된다. 본 광섬유의 복굴절을 수치적으로 계산하기 위해 평면파 전개 방법[2]을 이용하였고, 코어의 크기( $a_{core}$ ), 공동의 크기( $a_{hole}$ ), 코어와 클래딩의 굴절율 차( $\Delta n$ ) 등을 최적화 하여 최대의 복굴절을 얻고자 하였다.

그림 2는 계산된 복굴절값( $n_x - n_y$ )을 여러 가지 공동의 크기에 대해 규격 주파수  $V$ 의 함수로 나타낸 것이다. 이때  $\Delta n = 0.01$  이었다.  $a_{hole}$ 을 최적화하면, 일반적인 타원형 코어 광섬유에 해당하는  $a_{hole} = 0$ 의 경우에 비해 복굴절이 7배 가량 커지는 것이 확인되었다. 또한, 최적의  $a_{hole}$ 은  $\Delta n$ 에 무관하였으며, 그 값은  $a_{hole} = 0.18 \lambda$ 로서 파장에 비례함을 발견하였다. 최적의  $a_{core}$ 는 최대의 복굴절을 갖는  $V$  값( $\sim 2$ )로부터 구할 수 있다.

$\Delta n$ 을 바꾸어 가면서, 각 경우에서의 최적의  $a_{core}$ ,  $a_{hole}$ 을 사용하여 복굴절을 구한 결과를 그림 3에 A로 나타내었다. B는 공동을 삽입하지 않은 경우, 즉  $a_{hole} = 0$ 에 해당하는 값이다. 따라서 B는 코어와 클래딩의 경계 효과에 의한 복굴절을 의미하며, A-B는 순수하게 코어와 공동의 경계 효과에 의한 복굴절을 의미하게 된다. B는  $(\Delta n)^2$ 에 비례했으며, 이는 타원형 코어 광섬유의 특성으로 알려져 있다.[3] 한편 공동으로 인해 유도된 복굴절은  $\Delta n$ 에 비례했으며, 이는 -앞의 효과에 비해 훨씬 크게 나타났다. 공동의 효과가 코어와 타원의 굴절율 차에 비례한다는 점은 다음과 같이 이해될 수 있다.  $\Delta n$ 이 크면 같은  $V$  값을 유지하기 위해 코어의 크기가 작아지며 따라서 빛은 코어의 중앙에 더 많이 집중된다. 그리고 코어와 공동의 경계에서 발생하는 복굴절은 그 경계에 존재하는 빛의 세기가 클수록 더 크게 나타나는 것이다.

큰 복굴절을 얻기 위해서는 필연적으로 코어와 클래딩간의 굴절율 차를 증가시켜야 하는데, 타원형 공동을 삽입한 경우에는 그림 3에 나타난 바와 같이 작은 굴절율 차를 가지고도 큰 복굴절을 만들어 낼 수 있다. 코어와 클래딩의 굴절율 차를 줄이게 되면, 코어의 Ge 도핑량이 줄어들어 빛의 전파 손실이 작아지며, 또한 모드

직경이 커져 단일모드 광섬유와의 결합 손실도 줄어든다. 게다가 코어와 클래딩 모드 간의 모드 겹침 정도도 커지기 때문에 코어와 클래딩 간의 모드 결합을 필요로 하는 장주기 광섬유 격자나 클래딩으로 펴뿔되는 광섬유 레이저에서 유용하게 사용될 수 있으리라 예상된다.

결론으로서, 본 논문에서는 광섬유의 코어 중앙에 타원형 공동을 삽입함으로써 큰 복굴절을 유도할 수 있음을 보였다. 복굴절을 최대화하기 위해 광섬유의 여러 가지 변수들을 최적화하였으며, 이로써 기존의 타원형 코어 광섬유보다 수 배나 더 큰 복굴절을 갖는 새로운 구조의 고복굴절 광섬유를 설계하였다.

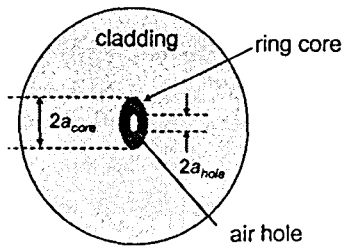


그림 1. 타원형 공동 광섬유

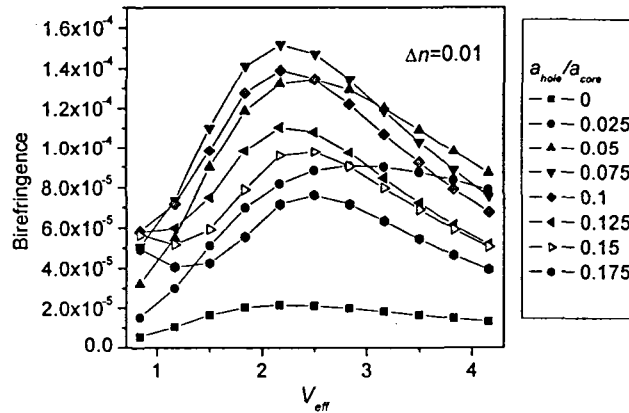


그림 2. 각 공동 크기에 대해  $V$ 의 함수로 나타낸 복굴절의 크기 ( $\Delta n=0.01$ )

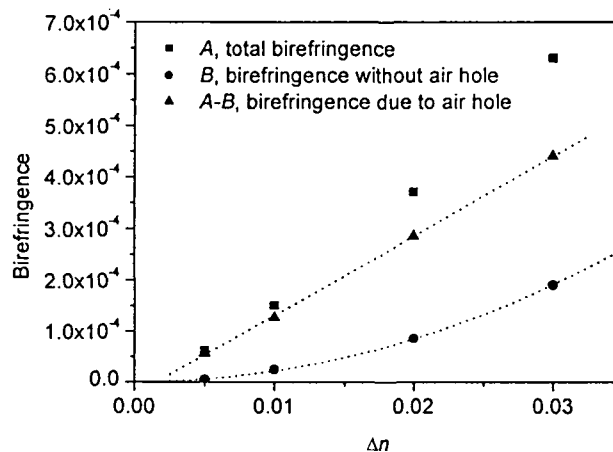


그림 3.  $\Delta n$ 에 따른 복굴절의 크기

참고문헌

1. S. Choi, K. Oh, W. Shin, C. S. Park, U. C. Paek, K. J. Park, Y. C. Chung, G. Y. Kim and Y. G. Lee, "Novel mode converter based on hollow optical fiber for gigabit LAN communication," *IEEE Photon. Tech. Lett.* **14**, 248-250 (2002).
2. S. G. Johnson and J. D. Joannopoulos, frequency-domain methods for Maxwell's equations in a planewave basis," *Opt. Express* **8**, 173-190 (2001).
3. R. B. Dyott, J. R. Cozens, and D. G. Morris, "Preservation of polarization in optical-fiber waveguides with elliptical cores," *Electron. Lett.* **15**, 380-382 (1979).