

# 사각형 구조를 갖는 광자결정 광섬유의 광학적 특성 연구

## Optical Properties of Square-lattice Photonic Crystal Fibers

임주은\*, 김진채, 백운출, 이병하  
 광주과학기술원 정보통신공학과

Tel: 062-970-3153, Fax: 062-970-2204, E-mail: jeimetal@gist.ac.kr

광자결정 광섬유는 광이 전파되는 축을 따라 2차원의 규칙적인 공기구멍 배열 구조를 가지는 클래딩으로 구성되어 있다. 광자결정 광섬유의 전파 이론에는 구멍으로 인한 평균 굴절률의 저하로 기존의 단일모드 광섬유에서와 같이 코어와 클래딩 간에 굴절률 차가 발생하고 이에 따라 전반사가 일어난다는 유효굴절률 이론과 주기적인 공기구멍 배열이 광밴드갭을 형성하여 금지구역 내에 전파모드가 형성된다는 광밴드갭 이론이 있다<sup>(1)</sup>. 광자결정 광섬유의 광학적 특성들은 일반적으로 클래딩의 구조에 큰 영향을 받는데 지금까지의 연구는 주로 삼각형 또는 벌집 모양의 클래딩 구조에 대하여 이루어져 왔다. 최근 사각형 구조를 가지는 광자결정 광섬유의 군속도 분산에 대한 연구<sup>(2)</sup>가 보고된 바 있다. 본 논문에서는 Galerkin 방법<sup>(3)</sup>을 이용한 수치적 모델링을 통하여, 사각형 구조를 가지는 광자결정 광섬유의 전파 특성 및 광학적 특성들 즉, 군속도 분산과 유효 모드 면적 등을 계산하였고, 이를 삼각형 구조를 가지는 광자결정 광섬유의 경우와 비교하여 보았다.

본 논문에서는 Sine 함수를 기저로 하는 Galerkin 방법을 사용하여 가로X세로가 13X13인 사각형 구조의 광자결정광섬유를 분석하였다. 각 축당 15개의 기저 함수를 사용하여 횡방향의 모드필드를 나타내었고 이를 벡터 파동 방정식에 대입하여 행렬 고유 방정식 형태로 바꿔서 계산하였다. 그림 1은 공기구멍들 사이의 간격(pitch,  $\Lambda$ )이 3  $\mu\text{m}$  이고, air-filling fraction ( $d/\Lambda$ )이 0.55 인 조건에서 계산한 사각형 구조의 광자결정 광섬유의 세기 분포 모습이다. 그림 2는 같은 조건하에서 계산한 삼각형 구조의 광자결정 광섬유의 세기 분포 모습인데 두 구조 모두에서 전기장의 세기 분포는 첫 번째 공기층 안에 잘 모아지는 것을 볼 수 있다. 구멍들 사이의 간격이 커질수록, 즉  $d/\Lambda$  값이 커질수록 중심으로 세기 분포가 집중되는 모습이 더욱 확실하게 되었다.

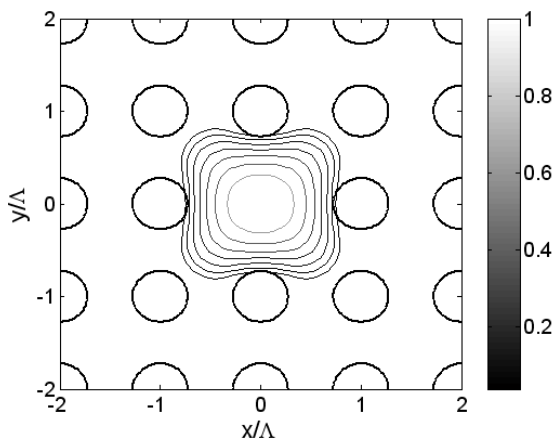


그림 1 구멍사이 거리가 3  $\mu\text{m}$ 이고,  $d/\Lambda$ 는 0.55인 사각구조 광자결정 광섬유.

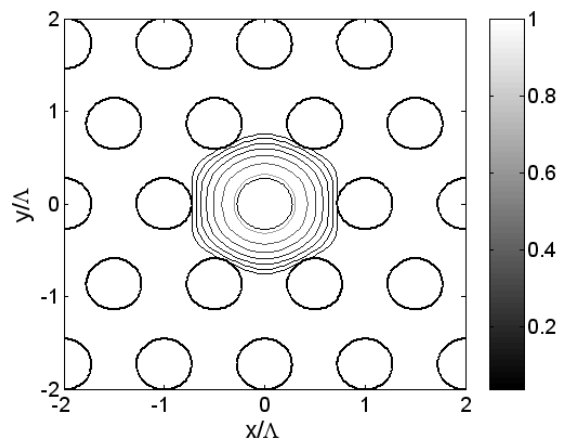


그림 2 구멍사이 거리가 3  $\mu\text{m}$ 이고,  $d/\Lambda$ 는 0.55인 삼각구조 광자결정 광섬유.

그림 3 은 공기구멍들 사이의 간격이 도파광의 파장과 비슷한  $1 \mu\text{m}$  일 때, 두 구조에 대한 군속도 분산 (GVD) 값을 비교해 본 것이다. 먼저,  $d/\Lambda$  이 0.5으로 비교적 작을 때, 950 nm 이하의 단파장 영역에서는 사각형 구조의 광자결정 광섬유의 군속도 분산 값이 더 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 반면, 공기구멍의 크기가 커지면 ( $d/\Lambda = 0.9$ ), 1250 nm까지의 단파장 영역에서는 사각 구조의 광자결정 광섬유가, 그 이상의 파장영역에서는 삼각형 구조의 광자결정 광섬유의 군속도 분산 값이 작았다. 사각형 구조의 광자결정 광섬유는 일반적인 삼각형 구조와 비슷한 성향의 군분산 속도 값을 가지며, 공기 구멍들 사이의 간격이  $7 \mu\text{m}$  이상이 되면,  $d/\Lambda$  의 값과 무관하게 일정한 군속도 분산 형태를 띠게 된다.

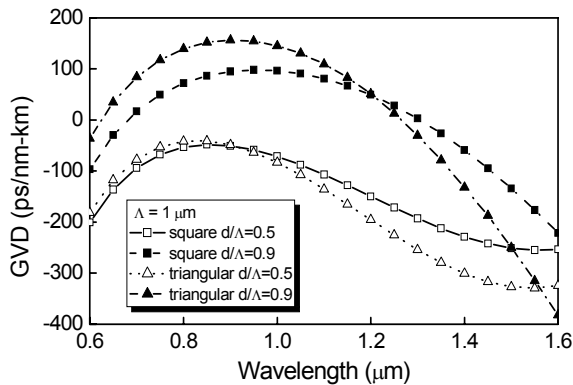


그림 3 파장 600 ~ 1600 nm 영역까지 군속도 분산 공기구멍들 사이의 간격은  $1 \mu\text{m}$ ,  $d/\Lambda$ 는 0.5 와 0.9 일 때, 사각형 구조와 삼각형 구조의 광자결정 광섬유를 비교.

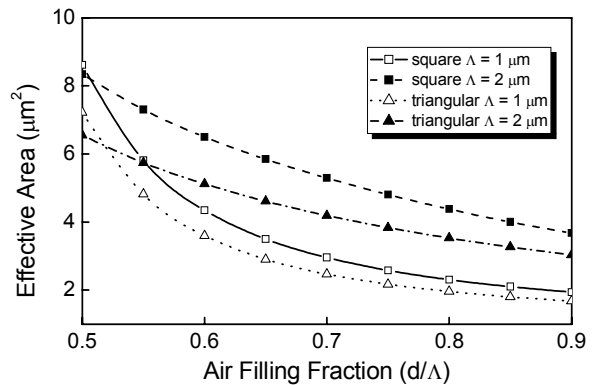


그림 4 파장 1550 nm 에서 공기구멍 사이의 간격이 각각  $1 \mu\text{m}$ ,  $2 \mu\text{m}$  일 때, 사각형 구조와 삼각형 구조의 광자결정 광섬유의  $d/\Lambda$  에 대한 유효면적 비교.

그림 4 는 측정 파장 1550 nm 에서  $d/\Lambda$  값을 0.5 부터 0.9 까지 변화시켜 보았을 때 유효 면적의 변화를 계산한 결과이다. 공기구멍들 사이의 간격이  $1 \mu\text{m}$  일 때, 삼각형 구조를 갖는 광자 결정 광섬유의 유효 면적이 사각 구조를 가지는 광자결정 광섬유의 경우보다 더 작게 나타남을 보여주고 있다. 공기 구멍들 사이의 간격이 작을수록,  $d/\Lambda$  값이 클수록 각각의 구조에서 유효면적은 점점 작아짐을 보여 준다. 이는 공기구멍의 직경이 작고 또한 구멍들이 밀집되어 있는 클래딩 구조를 가질 경우에 빛이 구조의 중심에 더 잘 모아져 전파되는 것으로 볼 수 있다.

지금까지 사각 구조를 갖는 광자결정 광섬유의 광학적 특성, 군분산 속도와 유효 면적, 전파 특성을 Galerkin 방법을 이용하여 600~1600 nm의 파장 영역에서 계산하였고, 그 결과를 삼각형 구조의 광자결정 광섬유의 경우와 비교하여 보았다. 1550 nm 파장에서 사각형 구조의 광자결정 광섬유는 삼각형 구조에서보다 군분산 속도가 조금 더 크고 유효 면적도 좀더 크다는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 광주과학기술원의 ERC, BK-21, 한이태리 사업의 일부 지원금에 의한 것입니다.

1. J. C. Knight et al, Science, **296**, 276-277, (2002).
2. A. H. Bouk et al, Opt. Exp. **22**(5), 452-459, (2004).
3. J. Kim, et al, OFC 01, WDD86, (2001).