

포토닉 크리스탈 광섬유 특성 및 응용연구

Characteristics of Photonic Crystal Fiber and Their Applications

이상배*, 강희전**

*한국과학기술연구원 광기술연구센터, **(주)옵토 매직

sblee@kist.re.kr

광자결정 광섬유 (Photonic Crystal Fiber, PCF)는 1990년대 Phillip St. J. Russell에 의해 처음 제작되었으며 이후로 그 독특한 특성들이 밝혀지면서 다양한 응용 분야가 연구되는 등 폭발적인 관심을 받아오고 있다. 현재의 광학 연구 분야에 있어서 가장 활발한 연구 성과가 발표되는 분야 중의 하나인 PCF는 다양한 응용 분야에 맞춰서 다양한 디자인이 가능하도록 하는 디자인 자유도가 많기 때문에 앞으로도 새로운 응용분야가 끊임없이 발견될 것으로 보인다. 광자결정 광섬유는 간혹 **holey fiber** 또는 **hole-assisted fiber**, **microstructured fiber** 등으로 불려지는데, 작은 공기 홀 또는 다른 물질로 채워진 홀의 주기적인 배열을 클래딩 구조로 가지고 있는 광섬유를 의미한다. 일반적으로 모세관(**capillary tubes**) 들을 주기적으로 쌓아 인장함으로써 제작할 수 있고, 광섬유 모재를 천공을 함으로써 제작할 수도 있고, 연성유리(**soft glass**) 또는 플라스틱 재료를 이용한 압출(**extrusion**) 방식으로 제작하기도 한다. 가장 간단한 광자결정 광섬유는 삼각형 형태의 구조가 반복되는 클래딩 구조에 중앙의 한 홀이 채워진 구조이다. 이런 타입의 광자결정 광섬유는 채워진 홀이 클래딩 구조의 공기 홀들보다 굴절률이 높기 때문에 전반사를 통한 빛의 전파가 가능하다. 광자결정 광섬유의 또 다른 종류는 **Photonic Bandgap** 광섬유인데, 코어 부분이 보통 큰 공기 홀로 이루어져서 코어의 굴절률이 클래딩 굴절률보다 높은 것이 특징이다. 이 구조는 전반사를 통한 빛의 전파는 불가능하고, 대신 클래딩의 **photonic bandgap** 안에 속한 주파수의 빛이 클래딩으로 전파되지 못하고 코어에만 잡히는 원리를 이용하여 빛을 전송한다. 보통 100 nm에서 200 nm 정도의 파장 대역만을 전송할 수 있으며, 높은 비선형특성을 이용해 펄스 압축, **supercontinuum** 발생 등을 위해 사용되고, 또한 코어 부분의 공기 영역에서 빛을 전송함으로 매우 낮은 광 손실을 갖는 광섬유로 각광받고 있다. 광자결정 광섬유는 또한 기존의 광섬유들과 함께 사용될 수 있다. 예를 들어 광섬유 코어 영역의 크기가 비슷할 경우 PCF와 기존 광섬유의 두 끝을 융착 접속하여 연결하는 것이 가능하고, 기존의 광섬유 콘넥트, 패치 연결선, 빔 확장 장치 등도 호환 가능하도록 제작할 수 있다. 클래딩 구멍들의 패턴을 다양하게 변화시킴으로써 (기본 기하학적 배열의 변화를 주거나 상대적인 구멍 크기를 조절할 수도있고, 약간의 위치 이동 또한 가능하다.)

광자결정 광섬유는 다음과 같은 매우 독특한 특성들을 보여줄 수 있다.

1. 멀티모드 광자결정 광섬유 또는 이중 클래드 구조 광자결정 광섬유의 매우 큰 개구수 (0.6, 0.7)
2. 매우 넓은 파장영역에서의 싱글 모드 전송 (**endlessly single-mode fiber**: 매우 작은 홀 간격 대비 홀 크기 ($D=d/\lambda$)의 값을 갖는 광자결정 광섬유)
3. 매우 작은 굽힘 손실률
4. 매우 작거나 매우 큰 모드 면적 가능 (매우 작은 비선형성 또는 매우 큰 비선형성)
5. 구멍 코어를 통한 전송 가능 (HC-PCF)

한국광학회 제18회 정기총회 및 2007년도 동계학술발표회 (2007. 2. 8~9)

6. 구멍에 가스 또는 액체를 채울 수 있음. (센서로서 사용 가능성)
7. 편광 유지를 위한 매우 큰 비선형성
8. 스트레스 인가용 유리 등을 설계에 반영함으로써 편광의존 손실을 매우 크게 만들 수 있음
9. 기본 모드 차단을 가능하게 하여 단일 편광전송을 가능하게 하거나 라만 산란을 없앨 수 있음
10. 분산 특성의 디자인 가능 (한개 혹은 두개의 영분산 파장을 갖는 광자결정 광섬유 제작 가능)

이러한 다양하고 독특한 특성으로 인해 광자결정 광섬유는 다음과 같은 다양한 응용 분야를 가지고 있다.

1. 광섬유 레이저 또는 광섬유 증폭기
2. 비선형 소자 (supercontinuum 발생, 라만 변환, 파라메트릭 증폭, 또는 펄스 압축)
3. 광통신 소자 (분산 조절 광섬유, 필터링, 또는 스위칭 소자)
4. 광섬유 센서 (화학, 생화학 센서, 온도/스트레인 센서 등)
5. 양자 광학 (generation of correlated photon pair, electromagnetically induced transparency, guidance of cold atoms)

광자결정 광섬유는 개발된 지 십 수 년이 채 안되는 짧은 역사를 가지고 있기 때문에 앞으로도 더욱 다양한 응용 분야 들이 나타날 것으로 기대되며 앞으로의 광학 발전에 큰 역할 을 할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구실에서는 광자결정 광섬유를 모세관 적층법 과 광섬유 모재에 천공하는 법 제작하였으며, 본 발표를 통해 그간의 제작된 광섬유의 특성 및 응용에 관한 사례를 밝히고자 한다.