

비틀림 교란이 이중모드 광자결정 광섬유 음향광학 소자의 투과 스펙트럼에 미치는 영향

Twist effect on spectral properties of two-mode photonic crystal fiber acousto-optic filter

임선도, 박현철, 김병윤
한국과학기술원 물리학과
dukelim@kaist.ac.kr

전 광섬유 음향광학 파장가변 필터는 다른 소자들과 비교하여 삽입손실이 매우 작은 장점이 있다. 이 소자는 음파에 의한 광학 모드 사이의 결합 원리를 바탕으로 동작하는데 이중모드 광섬유 음향광학 소자는 LP_{01} 모드와 LP_{11} 모드 사이의 결합을 이용한다. 실험에 사용된 이중모드 광자결정 광섬유는 LP_{01} 모드와 두 개의 LP_{11} 모드 그룹(even and odd LP_{11} mode)을 진행시킨다. 이 광섬유를 이용한 음향광학 소자에 비틀림 교란을 가하면 비틀림 정도에 따라서 LP_{11} 모드의 결합을 나타내는 스펙트럼 상의 두 개의 픽이 각각 나뉘어져 전체 4개의 픽으로 갈라지는 현상을 볼 수 있다. 이를 이용하면 하나의 음파로 여러 파장을 선택적으로 제거할 수 있는 필터를 만들 수 있다. 본 연구에서는 비틀림 교란이 이중모드 광자결정 광섬유 음향광학 소자의 투과 스펙트럼에 미치는 영향을 이론적으로 분석하였다.

아래의 그림 1은 본 연구의 실험 구성을 보여준다.

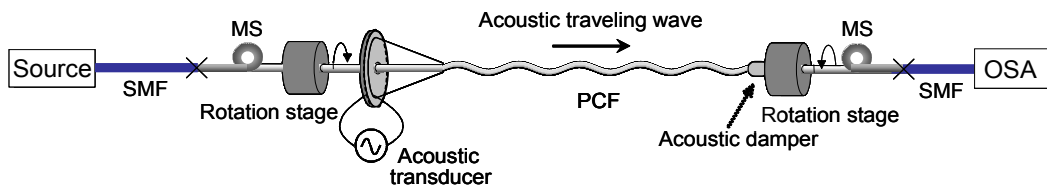


그림 1. 실험 구성도 (MS: mode stripper, PCF: photonic crystal fiber, SMF: single mode fiber, OSA: optical spectrum analyzer)

광섬유를 따라 진행하는 굴곡 음파는 미세 구부림을 형성한다. 진행하는 LP_{01} 모드는 구부림에 의한 인장광학 효과에 의하여 위상정합 조건을 만족하는 파장에서 비대칭 모드인 LP_{11} 모드로 결합한다. 이 결합된 LP_{11} 모드를 제거함으로써 이 소자는 파장 필터의 역할을 하게 된다. 본 실험에서 광원으로는 1280 nm의 중심 파장을 갖는 LED를 사용하였고 3.24 MHz의 음파를 인가하였다. 음향광학 결합 길이는 26 cm 이다.

실험에 사용한 광자결정 광섬유는 결정 구조의 미세한 불균일성으로 인하여 첫 번째 고차모드인 LP_{11} 모드가 lobe 방향이 수직인 두 개의 모드 그룹(even and odd LP_{11} modes)으로 분리된다⁽¹⁾. 이 광섬유를 이용한 음향광학 소자의 투과 스펙트럼은 비틀림 교란이 없을 때 각각의 고차모드로 결합을 나타내는 두 개의 픽을 보이게 된다. 하지만 이 광섬유에 비틀림 교란을 주게 되면 이

두 개의 픽이 각각 갈라지는 현상이 보이게 된다. 이 광섬유를 충분히 비틀면 음파는 그 진동 방향을 유지하면서 광섬유를 진행하는 반면에 LP₁₁ 모드의 lobe의 방향 그 비틀림을 따라 돌아간다. 광섬유를 진행하는 음파는 그 진동 방향과 lobe의 방향이 일치할 때 결합을 유도하므로 선형적으로 광섬유를 비틀었다고 가정하면 두 LP₁₁ 모드의 lobe 방향으로 인가된 음파의 실질적인 세기는 사인 변조된 (sinusoidally modulated) 크기를 갖게 된다. 사인 변조된 음파는 주파수가 다른 두 개의 음파에 의한 맥놀이로 생성이 가능하므로 even 및 odd LP₁₁ 모드로의 결합에 이 두 개의 음파가 각각 인가된 것으로 볼 수 있다. 비틀림이 교란이 클수록 이 두 음파의 주파수 차이는 커지는데 이와 같은 광자결정 광섬유를 이용한 음향광학 소자에 비틀림 교란을 주면 비틀림 크기에 따라 변조가 가능한 4 개의 파장 대역을 제거할 수 필터를 구현할 수가 있게 된다. 아래의 그림 2는 비틀림의 크기에 따른 투과 스펙트럼을 보여준다.

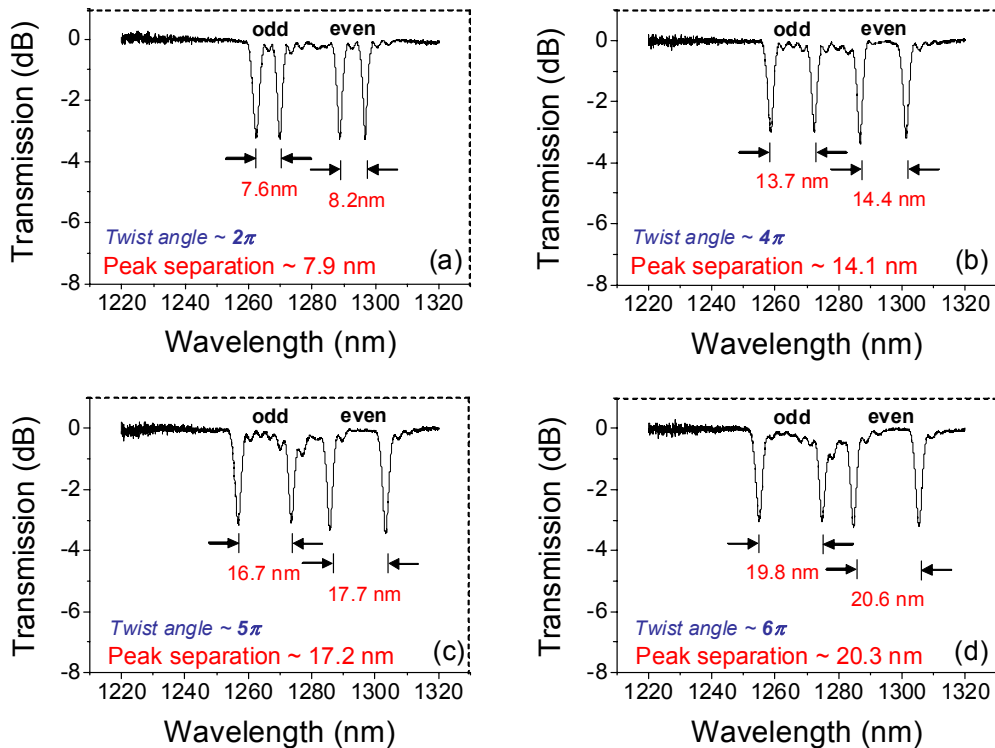


그림 2. 주어진 음향광학 결합 구간에서 비틀림 각((a) 2π , (b) 4π , (c) 5π , (d) 6π)에 따른 측정 투과 스펙트럼

이 그림은 음향광학 결합 길이에 대하여 비틀림 각이 2π , 4π , 5π , 6π 일 때 픽의 평균 벌어짐이 각각 7.9, 14.1, 17.2, 20.3 nm 임을 보여준다. 이 비틀림 각이 증가함에 따라서 픽의 갈라짐이 실험 범위 20 nm 내에서 선형적으로 커지는 것을 확인할 수 있었으며 이 비틀림 각의 크기와 픽의 갈라짐 비율은 약 1.1 nm/rad 이다.

참고문헌

1. Sun Do Lim, Hyun Chul Park, In Kag Hwang, and Byoung Yoon Kim, "Combined effects of optical and acoustic birefringence on acousto-optic mode coupling in photonic crystal fiber," Opt. Express **16**, 6125–6133 (2008)