

마이크로밴딩 광섬유 격자에서 선형 복굴절에 의한 편광 특성

Polarization Characteristics in Microbend Fiber Grating with Linear birefringence

손경락, 김광택*, 송재원**

한국해양대학교 전자정보통신학부, *호남대학교 광전자공학과, **경북대학교 전자전기컴퓨터학부

e-mail: krsohn@bada.hhu.ac.kr

광소자의 편광의존성은 소자의 동작 특성에 중대한 영향을 미치는 요인이다. 광통신 네트워크에서 다중화기/역다중화기로서의 AWG 라우터는 정확한 파장분리를 보장하기 위한 편광의존 특성의 보상이 요구된다.⁽¹⁾ 색분산을 보상하기 위하여 사용된 처핑된 단주기 광섬유 격자는 광통신망에 적용되어졌을 때는 편광모드 분산을 보임으로서 성능을 저하시킬 수 있다.⁽²⁾ 그러나 편광 효과는 광섬유형 편광기와 같은 편광 기반 소자를 구현하는데 사용되기도 한다. 장주기 광섬유 소자의 경우 광통신용 소자 또는 광섬유 센서로서 폭 넓게 연구되고 있으며 편광의존특성 또한 매우 중요하게 분석되어지고 있다.⁽³⁾ UV 조사에 의해 형성되는 장주기 광섬유 격자의 경우 광섬유의 한쪽 측면으로 빛이 조사됨에 따른 편광의존 광 손실을 해석하고 이를 보상하기 위한 많은 연구결과들이 보고되고 있다.⁽⁴⁾

한편 그림 1과 같이 광섬유의 길이방향에 대하여 수직으로 입력을 가하여 격자를 형성하는 마이크로밴딩 장주기 격자의 경우, 비대칭적인 구조로 인하여 선형 복굴절이 발생하고 동일 모드에서 공진파장의 편광분리가 일어난다. 복굴절이 없는 이상적인 장주기격자의 경우 공진파장은 $\lambda_0 = \Lambda(n_{01}^{co} - n_{mm}^{cl}) = \Lambda(\Delta n)$ 로 주어진다. 여기서 Λ 는 격자주기, n_{01}^{co} 는 LP₀₁ 코어모드의 유효굴절률, n_{mm}^{cl} 은 LP_{mm} 클래딩모드의 유효굴절률이다. 동일모드에서 모든 입력 가능한 편광상태(State of polarization: SOP)에 대하여 진행모드에 대한 최소 및 최대 유효 굴절률을 각각 Δn^{\min} , Δn^{\max} 라 두면 최소 공진파장은 $\lambda_0^{\min} = \Lambda(\Delta n^{\min})$, 최대 공진파장은 $\lambda_0^{\max} = \Lambda(\Delta n^{\max})$ 이다. 이때의 공진파장의 최대 분리도는 $\Delta\lambda_0 = \lambda_0^{\max} - \lambda_0^{\min} = \Lambda(\Delta n^{\max} - \Delta n^{\min})$ 으로 주어진다.

일반적으로 선형 압력이 원형봉 구조에 수직으로 가해지면 응력이 원형봉 내부에 발생하게 되는데, 원형봉의 축상에서 가해진 힘과 같은 방향에 대하여 $6f_x/\pi d$ 크기의 압축력을 받게 되고 가해진 힘과 수직 방향으로로는 $2f_x/\pi d$ 크기의 신장력을 받게 된다.⁽⁵⁾ 여기서 d 는 광섬유의 직경이다. 압축력과 신장력은 광섬유의 직경에 대하여 $d/10$ 으로 둘러싸여지는 축 주위의 영역 내에 96%정도 존재하게 된다. 광섬유 클래딩의 직경이 125 μ m이고 코어의 직경이 10 μ m라면 주기적인 격자압력의 대부분은 코어 영역에서 나타난다고 근사화시킬 수 있다. 클래딩의 직경이 코어의 직경보다 훨씬 크므로 클래딩의 복굴절 효과는 무시할 수 있으며 공진파장의 분리는 $\Delta\lambda_0 = \Lambda(n_{01}^{\max} - n_{01}^{\min})$ 로 주어진다. 여기서 n_{01}^{\max} , n_{01}^{\min} 은 각각 모든 입력편광에 대하여 LP₀₁ 코어 모드에 대한 최대, 최소 유효 굴절률을 의미한다. 그러므로 마이크로밴딩 장주기 격자에서 압력에 따라 나타나는 복굴절을 측정할 수 있다.

그림 2는 570 μ m의 주기로 배열된 250 μ m 직경의 금속선 격자 블록을 단일모드 광섬유의 상부에서 설치하고 6.8N/cm의 압력을 가했을 때 나타나는 두 직교편광에 대한 투과 스펙트럼이다. 4nm 정도의 편광분리도를 보이고 있으며 투과 스펙트럼으로부터 계산되어진 최대 편광의존 손실은 7.5dB 정도를 보이고 있다. 여기서 만약 광섬유에 가해지는 압력의 변화에 대하여 편광특성이 어떻게 달라지는지 알 수 있다면, 마이크로밴딩 격자구조에서 수직 및 수평 방향에 대한 굴절률 변화를 계산해 낼 수 있으므로 압력에 따른 복굴절을 얻을 수 있다.

그림 3은 수직방향으로 가해지는 압력에 대한 두 직교 편광의 투과 스펙트럼을 보여준다. 수평편광 (SOP_y)에 대한 투과스펙트럼의 경우 (그림 3(a)) 압력에 변화에 대하여 공진파장의 변화가 거의 없으며, 감쇄정도는 압력이 증가함에 따라 증가하다가 광섬유의 탄성효과가 한계에 다다르면 다시 감소하는 경향을 보인다. 그러나 수

직편광(SOP_x)에 대하여 상부 압력을 증가시키면 그림 3(b) 와 같이 공진파장이 단파장 쪽으로 선형적으로 이동함을 볼 수 있다. 이것은 압력이 가해지는 방향인 수직편광에 대해서는 압력에 비례하는 복굴절이 발생하지만 수평방향의 편광에 대해서는 압력에 따른 굴절률의 변화가 매우 미약하게 나타나는 것으로 해석할 수 있다. 그림 3(c)는 가해진 압력의 변화에 대한 공진파장의 분리정도를 보여주고 있으며, 공진파장의 분리도와 복굴절과의 관계로부터 압력변화에 따른 복굴절의 변화 정도를 알 수 있다. 공진파장의 분리도 $\Delta\lambda_0 = \lambda(n_{01}^{\max} - n_{01}^{\min})$ 에서 $B = n_{01}^{\max} - n_{01}^{\min}$ 로서 수직 압력에 의한 마이크로밴딩 광섬유 격자의 선형 복굴절을 의미하므로 압력의 변화 Δf_x 에 의한 복굴절 변화는 $\Delta B = 8.38 \times 10^{-7} \Delta f_x$ 의 관계가 있음을 찾아내었다.

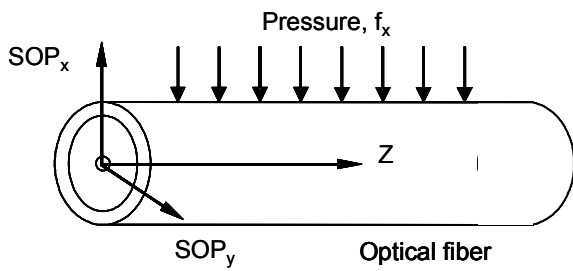


그림 1. 마이크로밴딩 광섬유 격자의 개략도

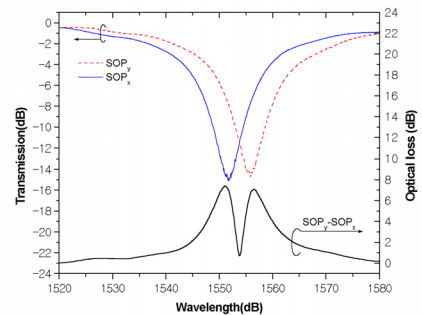
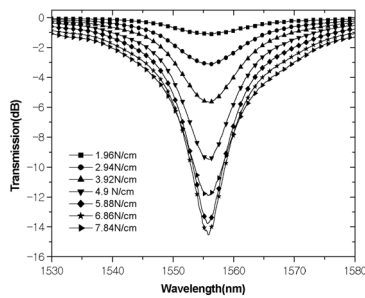
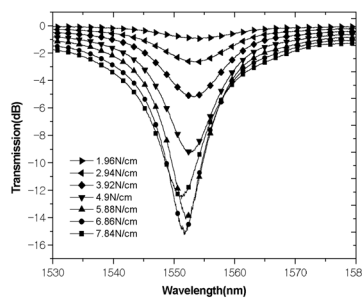


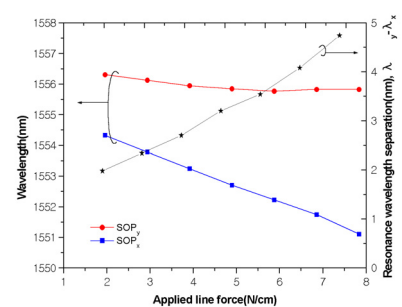
그림 2. 두 직교 편광에 대한 투과 스펙트럼과 편광의 손실



(a)



(b)



(c)

그림 3. 수직 방향으로 가해지는 압력에 대한 두 직교 편광의 투과스펙트럼

(a) 수평편광(SOP_y), (b) 수직편광(SOP_x), (C) 압력에 따른 편광분리정도

참고문헌

1. Y. Hibino, "Recent advances in high-density and large-scale AWG multi/demultiplexers with higher index-contrast silica based PLCs," IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 8, 1090-1101, (2002).
2. M. Rochette, S. LaRochelle, P. Y. Cortes, M. Guy, and J. Lauzon, "Polarization mode dispersion compensation of chirped bragg gratings used as chromatic dispersion compensators," Electron. Lett. 36, 342-343, (2000).
3. B. L. Bachim and T. K. Gaylord, "Polarization-dependent loss and birefringence in long-period fiber gratings," Appl. Opt., 42, 6816-6823, (2003).
4. S. T. Oh, W. T. Han, U. C. Paek, and Y. Chung, "Reduction of birefringence and polarization-dependent loss of long-period fiber grating fabricated with a KrF excimer laser," Opt. Express, 11, 3087-3092, (2003).
5. A. M. Smith, "Single mode fiber pressure sensitivity," Electron. Lett., 16, 773-774, (1980)