편광상이 고리 구조 기반 1차 Lyot형 광섬유 빗살 필터의 출력 편광 연구

조송현*, 이용욱*,**
부경대 의생명기계전기융합공학협동과정*, 부경대 전기공학과**

Research on Output Polarization of Lyot-type Fiber Comb Filter based on Polarization-diversity Loop Structure

Songhyun Jo*, Yong Wook Lee*,**
Interdisciplinary Program of Biomedical, Mechanical & Electrical Engineering, Pukyong National University*,
School of Electrical Engineering, Pukyong National University**

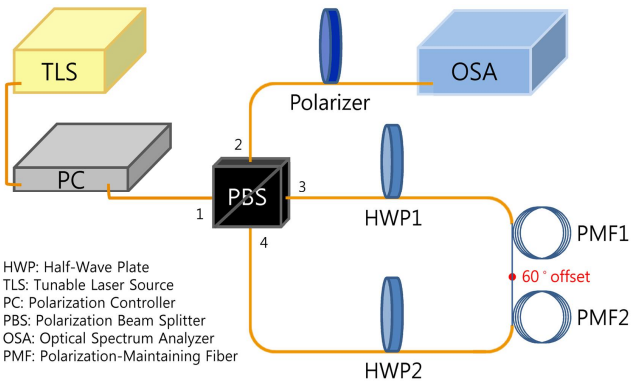
Abstract - 본 논문에서는 평탄 대역 모드와 손실형 평탄 대역 모드의 투과 스펙트럼을 가지는 PDLS 기반 Lyot형 광섬유 빗살 필터에서 출력되는 편광 상태를 이론적으로 분석하였다. 분석을 위해 파장 가변 레이저, 편광 조절기, 그리고 편광자를 사용하였다. 필터에 배치된 두 개의 반파장판을 적절히 조절하여 평탄 대역 모드와 손실형 평탄 대역 모드를 선택할 수 있다. 편광 조절기를 적절히 조절하면 파장 가변 레이저로부터 나오는 빛의 편광을 원하는 것으로 선택 가능하고 한 채널 내에서 필터의 투과 대역을 미세하게 조절할 수 있다. 그리고 편광자를 통해 출력되는 스펙트럼으로 출력 스펙트럼의 파장별 편광 상태를 알 수 있다.

1. 서 론

사냑 간섭계 (Sagnac Interferometer) 의 다파장 (Multiwavelength) 출력 특성을 구현할 수 있는 편광 빔 분배기 (Polarization Beam Splitter) 기반의 편광 상이 고리 구조 (Polarization-Diversity Loop Structure) 는 입력 편광 (Input Polarization) 에 무관하고, WDM (Wavelength-Division Multiplexing) 기반 광통신 (Optical Communication) 분야에서 다파장 (Multiwavelength) 필터로서 이용가능하며, 다파장 채널 (Channel) 을 스위칭 (Switching) 또는 튜닝 (Tuning) 할 수 있는 광섬유 필터 (Optical Fiber Filter) 의 구현에 사용될 수 있다[1-3]. 편광 상이 고리 구조 기반 광섬유 빗살 필터 (Fiber Comb Filter) 는 1개 이상의 PMF (Polarization-Maintaining Fiber) 와 편광 조절기 (Polarization Controller) 로 사냑 고리가 구성된다[2]. 최근 편광 상이 고리 구조를 기반으로 Lyot형 광섬유 다파장 필터가 제안되었으며, 제안된 필터는 평탄 대역 모드 (Flat-top Band Mode) 와 손실형 평탄 대역 모드 (Lossy Flat-top Band Mode) 등의 평탄한 통과 대역 (Pass Band) 을 갖는 고차 (High-Order) 필터 스펙트럼 (Spectrum) 의 출력 특성을 보였다[4]. 하지만, 이러한 Lyot형 다파장 필터와 연결되는 다른 광학 소자들이 입력 편광 의존성을 가질 경우, Lyot형 필터의 출력 편광이 파장에 따라 달라지면 다른 광학 소자들의 투과 (Transmission) 및 반사 (Reflection) 특성이 영향을 받을 수 있다. 따라서, Lyot형 다파장 필터와 같은 고차 필터들의 출력 편광에 대한 분석이 필요하며, 본 논문에서는 평탄 대역 모드와 손실형 평탄 대역 모드의 투과 스펙트럼을 갖는 Lyot형 필터의 출력 편광 특성을 이론적으로 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 Lyot형 필터의 편광 특성 분석 구조



<그림 1> Lyot형 필터의 편광 특성 연구를 위한 모식도

그림 1은 PDLS 기반 Lyot형 광섬유 빗살 필터의 편광 특성 연구를 위한 모식도를 보여주고 있다. 필터의 출력 편광 특성 연구를 위해 기존 필터의 PBS 입출력 단자 (단자 1, 2) 에 편광 조절기 (Polarization Controller: 이하 PC) 와 편광자를 삽입하고, 광원으로 파장 가변 레이저 (Tunable Laser Source: 이하 TLS) 를 사용하였다. 편광 상이 루프 내에 배치한 두 개의 반파장판 (Half-Wave Plate: 이하 HWP)을 조절하여 분석하고자 하는 평탄 대역 모드와 손실형 평탄 대역 모드의 선택이 가능하다. TLS로부터 출력되는 빛을 PC를 이용하여 원하는 입력 편광으로 만들고, 편광자를 이용하여 출력 스펙트럼의 변화를 통해 출력 편광 특성을 연구 할 수 있다. 입력 편광은 45° 선형 편광 (Linear Polarization: 이하 LP), LP 135°, 우원 편광 (Right Circular Polarization: 이하 RCP), 그리고 좌원 편광 (Left Circular polarization: 이하 LCP) 을 사용하였고, 편광자는 편광 빔 분배기 출력 단자의 수평면과 45°의 각을 이루도록 위치시켰다.

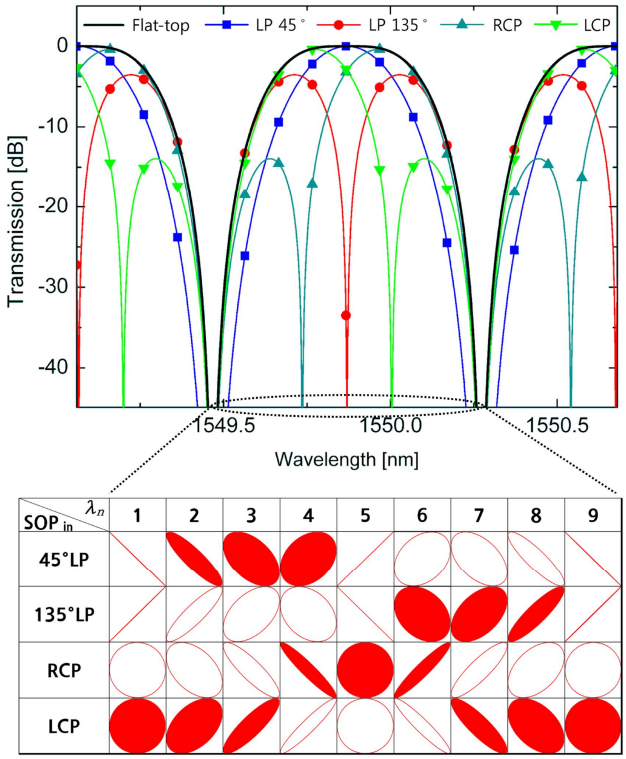
2.2 Lyot형 필터의 편광 특성 연구

그림 2와 3은 평탄 대역 모드와 손실형 평탄 대역 모드의 입력 편광에 따른 출력 스펙트럼과 한 주기의 편광 변화 과정을 나타낸 것이다. 각각 편광자를 통과한 후의 스펙트럼이며, 입력 편광에 따라 다른 스펙트럼을 얻었다. 검은색 스펙트럼은 PC와 편광자가 없는 기존 필터의 출력 스펙트럼을 나타내고, 나머지 스펙트럼은 그림 1의 구조에서 입력 편광이 LP 45°, LP 135°, RCP, 그리고 LCP일 때 얻은 출력 스펙트럼을 나타낸다. 그림2와 3을 통해 입력 편광에 따라 스펙트럼이 확연히 차이가 나는 것을 볼 수 있고, 0.8 nm 범위의 한 주기의 채널 내에서 대역이 소거되는 파장 패임 (Notch) 이 발생하는 것을 알 수 있다. 파장 패임들이 발생하는 이유는 각 파장에서 출력 편광 상태가 모두 다르기 때문이다. 출력단의 편광자가 45°를 유지하고 있고, LP 135°의 편광은 편광자를 통과할 수 없으므로 LP 135°의 편광인 파장에서 파장 패임이 발생한다. 파장 패임이 발생하는 파장의 이동 특성을 각각의 대역 모드에서 알아보면 다음과 같다.

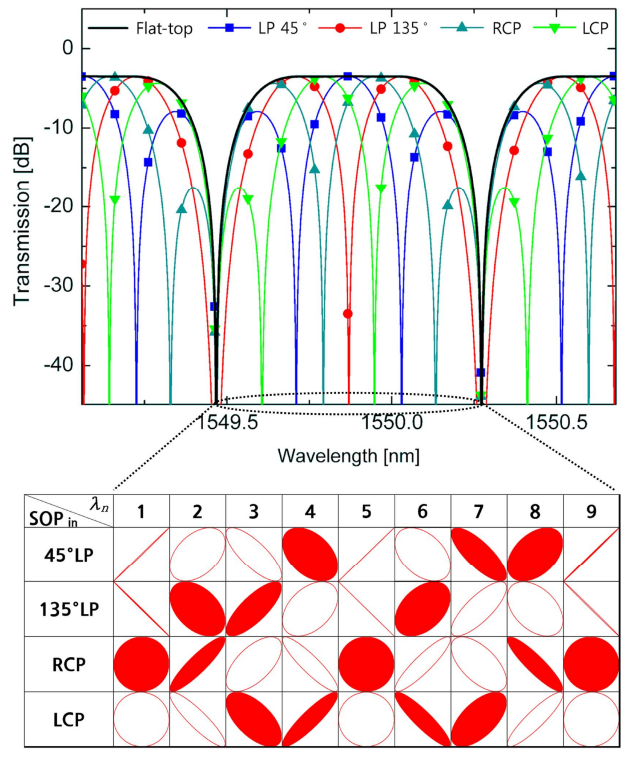
평탄 대역 모드인 그림 2의 경우, LP 45°의 입력 편광에서는 파장 패임이 존재하지 않고, LP 135°, RCP, 그리고 LPC의 입력 편광에서는 각각 다른 파장에서 파장 패임이 발생하였다. 또한, 기존 필터의 평탄 대역 모드의 스펙트럼보다 3 dB 손실을 가지는 파장은 출력 편광이 우원편광 또는 좌원 편광일 때의 경우에 발생한다. 이와 같이 스펙트럼을 통해 출력 편광 상태 (State of Polarization) 를 정리하면 그림 2의 표와 같이 나타낼 수 있다. 빨간색으로 색칠된 타원은 시계 방향으로 회전하는 편광 상태를 뜻하며, 비어있는 타원은 반시계 방향으로 회전하는 편광 상태를 뜻한다. 그리고 $\lambda_1 \sim \lambda_9$는 0.8 nm 범위의 한 채널을 동일한 간격으로 나눈 9개의 파장을 뜻하는 것이다. 각 파장에서 출력 편광 상태를 정리한 표를 통하여, 평탄 대역 모드의 출력 편광이 한 채널 간격 안에서 한 주기의 변화를 나타냈다. 정리한 표를 통해 출력 편광의 변화 경향을 살펴보면, 채널의 중심 파장에서는 입력 편광과 출력 편광이 같은 출력 편광 상태를 보이는 것을 알 수 있다. 출력 편광 상태는 스펙트럼 한 채널에서 한 주기의 변화를 나타내고, 파장 패임이 나타나는 파장은 LP 45°를 시작으로 RCP, LP 135°, 그리고 LCP를 거쳐 다시 LP 45°가 될 때까지 단파장에서 장파장으로 이동하는 경향을 보인다.

손실형 평탄 대역 모드인 그림 3의 경우, 평탄 대역 모드와 달리 한 채널의 중심 파장에서 입력 편광과 동일한 출력 편광을 가진다. 그리고 입력 편광과 동일한 출력 편광을 가지는 파장이 한 채널의 시작과 끝인 λ_1과 λ_9에서도 나타나는 것을 통해, 한 채널에서 두 번의 주기로 편광 변화가 발생하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 편광 변화 특성 때문에, 한 채널의 시작과 끝 지점 이외에서 출력 단의 45°로 고정된 편광자와 수직하는 LP 135°의 편광이 한번만 나타나는 입력편광 LP 135°의 경우에서 파장 패임은 하나만 생기고, 그 이외의 경우에서는 파장 패임이 두 번 나타난다. 파장 패임의 발생 위치의 변화는 평탄 대역 모드와 동일하

게 단파장에서 장파장으로 이동하는 경향을 볼 수 있다. 이와 같은 출력 편광 특성을 이용하면 입력 편광을 조절하여 한 채널 내에서 잡음이나 변조로 발생하는 부모드 (Side Mode) 와 같이 통과를 원하지 않는 스펙트럼 요소를 소거시킬 수 있다. 또한, 입력 편광을 조절하여 한 채널 내에서 필터의 부모드 소거율과 삽입 손실의 저하를 최소화하면서 투과 대역을 미세하게 조절할 수 있다.



<그림 2> 평탄 대역 모드의 입력 편광에 따른 출력 스펙트럼 변화와 편광 변화



<그림 3> 손실형 평탄 대역 모드의 입력 편광에 따른 출력 스펙트럼 변화와 편광 변화

3. 결 론

본 논문에서는 평탄 대역 모드와 손실형 평탄 대역 모드를 제공하는 PDLS 기반 광섬유 빗살 필터의 출력 스펙트럼을 통해 출력 편광 상태를 분석하였다. 제안된 구조에서 PC를 이용하여 원하는 입력 편광을 선택 가능하고, 한 채널 내에서 필터의 부모드 소거율과 삽입 손실의 저하를 줄이며 투과 대역을 미세하게 조절할 수 있다. 그리고 분석을 위해 LP 45°, LP 135°, RCP, 그리고 LCP의 입력 편광을 선택하였다. 출력단에 배치한 편광자를 배치함으로써 각각의 입력 편광에 따라 다른 출력 스펙트럼을 얻을 수 있도록 구현하였다. 각기 다른 출력 스펙트럼들은 파장 패임이 다른 파장에서 나타나며, 평탄 대역 모드와 손실형 평탄 대역 모드에 따라 파장 패임의 개수도 다르게 나타나는 결과를 얻었다.

[감사의 글]

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20131020400830).

[참 고 문 헌]

[1] X. Fang, H. Ji, C-T. Allen, K. Demarest, and L. Pelz, “A compound high-order polarization-independent birefringence filter using Sagnac interferometers,” IEEE Photonics Technology Letters, vol. 9, pp. 458-460, 1997.

[2] Y. W. Lee, K. J. Han, B. Lee, and J. Jung, “Polarization-independent all-fiber multiwavelength-switchable filter based on a polarization-diversity loop configuration,” Optics Express, vol. 11, pp. 3359-3364, 2003.

[3] T. Hasegawa, K. Inoue, and K. Oda, “Polarization independent frequency conversion by fiber four-wave mixing with a polarization-diversity technique,” IEEE Photonics Technology Letters, vol. 5, pp. 947-949, 1993.

[4] S. Jo and Y. W. Lee, “Lyot-type flat-top fibre multiwavelength filter based on polarization-diversity loop structure,” Micro & Nano Letters, vol. 9, pp. 858-861, 2014.