

편광상이 고리를 이용한 2차 Solc형 광섬유 편광 간섭 필터의 유연 스위칭 특성 연구

박경수*, 이용욱***

부경대 의생명기계전기융합공학협동과정*, 부경대 전기공학과**

Study on flexible switching characteristics of second-order Solc-type fiber polarization interference filter using polarization-diversity loop

Kyoungsoo Park*, Yong Wook Lee***

Interdisciplinary Program of Biomedical, Mechanical & Electrical Engineering, Pukyong National University*,
School of Electrical Engineering, Pukyong National University**

Abstract - 본 논문에서는 PDL 기반 인터리빙 가능한 2차 Solc형 광섬유 편광 간섭 필터를 제안하며, 출력되는 투과 스펙트럼들을 이론적으로 분석 및 실험적으로 측정하였다. 제안된 필터에서 각각의 구성요소는 편광 빔 분배기, 반파장판, 그리고 복굴절이 큰 광섬유로 이루어진다. 이전의 Solc형 2차 광섬유 필터에서 복굴절이 큰 광섬유들은 특정한 각도로 용착 결합되어 편광 제어에 한계가 있었지만, 제안된 구조에서는 복굴절이 큰 광섬유 사이 반파장판을 삽입하여 주축의 각도 및 편광 제어를 유연하게 설정하여 출력 투과 스펙트럼들의 스위칭 특성을 유도하였다.

빛은 시계 방향 (Clockwise: 이하 CW) 과 반시계 방향 (Counter-Clockwise: 이하 CCW) 으로 각각 수평 편광과 수직 편광으로 나뉘어 필터 내부를 순환한다. CW 방향으로 순환하는 빛은 순서대로 HWP 1, HBF 1, HWP 2, HBF 2, HWP 3, HBF 3, HWP 4를 거쳐 PBS의 OUT 단자로 출력되고, CCW 방향으로 순환하는 빛은 HWP 4, HBF 3, HWP 3, HBF 2, HWP 2, HBF 1, HWP 1을 순차적으로 거친 뒤 PBS의 OUT 단자로 출력된다. 결과적으로, CW 및 CCW 방향으로 순환되어 출력된 빛은 각각의 편광이 서로 직교하기 때문에, PBS의 OUT 단자에서 간섭 (Interference) 되지 않고 중첩 (Superposition) 된다. 필터 내부를 진행하는 빛은 HBF의 복굴절에 의해 주축에 해당하는 선형 편광 성분 간에 위상차 (Phase Difference) 가 발생하고, HWP는 HBF들의 주축 간 각도를 조절해주거나 HBF에서 출력되는 편광 성분들의 편광을 조절하는 역할을 할 수 있다. 따라서 네 HWP들의 방위각을 적절히 조절함으로써 세 HBF들을 Solc형 복굴절 조합으로 만들어 평탄대역 및 협대역 모드의 스펙트럼을 나타낼 수 있으며, 또한 HWP 조절을 통해 Solc형 복굴절 조합을 Fan 또는 Folded 방식으로 전환함으로써 각각의 모드에서 인터리빙된 스펙트럼도 얻을 수 있다.

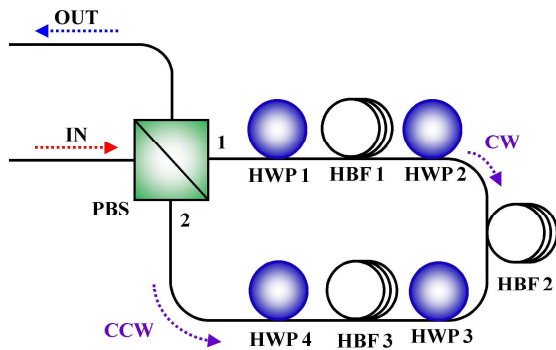
1. 서 론

편광 빔 분배기 (Polarization Beam Splitter: 이하 PBS) 를 이용하여 편광상이 고리 (Polarization-Diversity Loop : 이하 PDL) 형태로 간섭계 (Interferometer) 를 구성한 광섬유 필터 (Optical Fiber Filter) 들은 구조의 단순성, 사용의 편리성, 입력 편광 (Input Polarization) 무관성 외에도 기존의 사냐 (Sagnac) 간섭계 형태의 광섬유 필터에 비해 파장 스위칭 (Wavelength Switching)이 자유롭다는 장점을 갖는다. 이러한 PDLS 기반 필터들은 출력 함수를 다양하게 하기 위해 복굴절이 큰 광섬유 (High-Birefringence Fiber: 이하 HBF) 를 여러 개 사용하여 각 HBF 길이를 다르게 하거나, 이웃하는 HBF들의 주축 (Principal Axis) 각도를 다르게 연결하여 Lyot 또는 Solc형 필터를 구현할 수 있다[1-3]. 기존의 PDLS 기반 2차 Solc형 광섬유 필터의 경우, 동일한 길이를 가진 인접한 세 개의 HBF들을 주축 간에 30°와 60°씩 차이가 나도록 순차적으로 용착 접속 (Fusion Splicing) 시켜 평탄대역 (Flat-top Band) 및 협대역 (Narrowband) 모드의 고차 투과 스펙트럼 (Transmission Spectrum) 을 구현하였다[1]. 그러나, 평탄대역 및 협대역 모드 각각에서 인터리빙 (Interleaving) 동작은 구현되지 못하였다.

본 논문에서는 기존의 2차 Solc형 광섬유 필터에서 용착 접속되어 고정되었던 세 HBF의 주축 간 각도 차를 자유롭게 조절할 수 있도록 HBF 사이에 반파장판 (Half-Wave Plate: 이하 HWP) 을 삽입하여, 평탄대역 및 협대역 모드의 스펙트럼 각각에서 인터리빙된 스펙트럼을 얻을 수 있는 유연 필터를 제안하였다.

2. 본 론

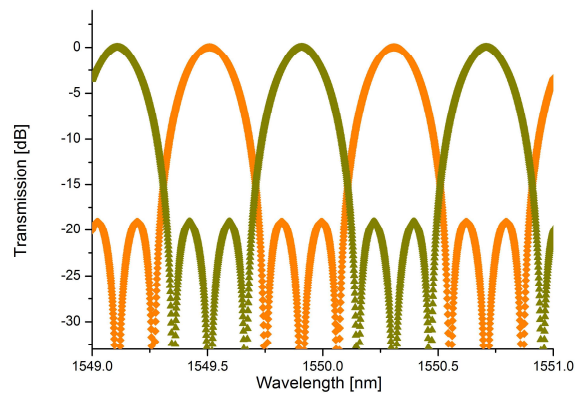
2.1 제안된 필터의 동작원리



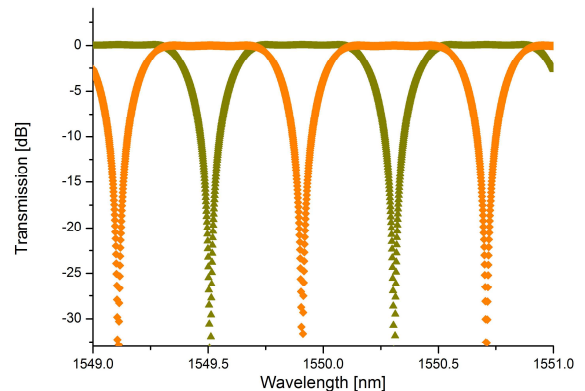
〈그림 1〉 PDL 기반 인터리빙 2차 Solc형 광섬유 필터의 모식도

그림 1은 제안된 PDL 기반 2차 Solc형 광섬유 필터의 모식도를 보여주고 있다. 광대역 광원 (Broadband Source) 으로부터 PBS로 입사된

2.2 이론적 스펙트럼 특성



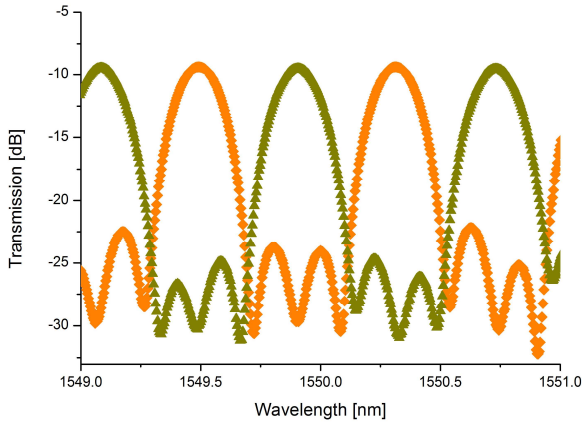
〈그림 2〉 이론적으로 계산된 협대역 모드의 스펙트럼



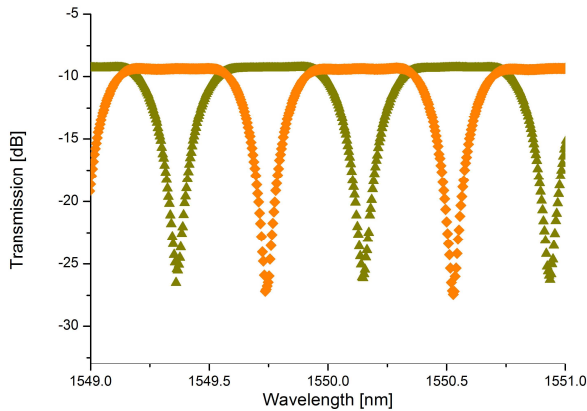
〈그림 3〉 이론적으로 계산된 평탄대역 모드의 스펙트럼

그림 2와 3은 이론적으로 계산된 협대역 및 평탄 대역 모드의 스펙트럼들을 보여주고 있다. 각각의 경우에서 삼각형 심볼과 마름모 심볼은 서로 인터리빙 관계에 있는 스펙트럼들을 나타낸다. 그림 2의 이론적 협대역 스펙트럼을 보면 양쪽으로 보조 모드가 발생되었으며, 보조 모드까지의 소거율은 ~19 dB로 나타났다. HBF의 복굴절은 이론적인 계산으로 4.58×10^{-4} 로 설정하였고, 길이는 1550 nm의 중심파장에서 채널 간격이 ~0.8 nm로 나타내기 위해 6.55 m로 설정하였다. 또한, 필터 구성요소들의 삽입 손실 및 HWP의 파장의존성은 고려하지 않았다.

2.3 실험적 스펙트럼 특성



<그림 4> 실험적으로 측정된 협대역 모드의 스펙트럼



<그림 5> 실험적으로 측정된 평탄 대역 모드의 스펙트럼

<표 1> 제안된 필터의 동작 모드에 따른 측정된 삽입손실 및 소거율

	삽입 손실 (dB)	소거율 (dB)
협대역 모드	~9.52	~20.92
평탄 대역 모드	~9.41	~18.02

그림 4와 5는 제안된 필터에서 광 스펙트럼 분석기 (Optical Spectrum Analyzer) 를 이용하여 측정된 협대역 및 평탄 대역 모드의 스펙트럼들을 보여주고 있으며, 필터 내부의 네 HWP들의 방위각을 조절하면서 얻은 결과이다. 그림 4에서 삼각형 심볼과 마름모 심볼로 표시된 스펙트럼들은 서로 인터리빙 관계에 있는 두 스펙트럼들을 보여주고 있으며, 이러한 인터리빙 동작도 필터 내부의 네 HWP들을 조절하여 구현되었다. 표 1은 각 모드에서의 삽입 손실 및 소거율을 보여주고 있다. 그림 4에서 협대역 모드의 삽입 손실 및 소거율은 각각 ~9.52 dB 및 ~20.92 dB로서 나타났으며, 협대역 모드에서 발생한 보조 모드까지의 소거율은 ~14.51 dB로 측정되었다. 그림 5의 평탄 대역 모드에서 측정된 삽입 손실과 소거율은 각각 ~9.41 dB, ~18.02 dB로 측정되었다. 측정된 스펙트럼들의 소거율은 이론적 스펙트럼에 비해 저하되었는데, 이는 필터를 구성하는 단일 모드 광섬유 (Single-Mode Fiber: 이하 SMF) 에 존재하는 복굴절에 의한 영향과 세 HBF 길이의 재단 오차로서 발생한 것으로 추정된다. 또한, 측정된 삽입 손실도 이론적 삽입 손실에 비해 많이 증가하였고, 이론적 스펙트럼에서 고려하지 않았던 필터를 구성

하는 PBS 및 HWP의 삽입손실, SMF 간 융착 결합 손실 및 SMF와 HBF간의 융착 결합 손실 등에 의해 발생한 것으로 사료된다.

3. 결 론

본 논문에서는 PDL 기반 인터리빙 가능한 2차 Solc형 광섬유 간섭 필터를 제안한다. 필터를 구성하는 각각의 HBF 사이에 삽입된 HWP들은 HBF들의 주축 간 각도 조절 및 HBF의 출력 편광을 손쉽게 제어할 수 있게 제작하여, 1550 nm의 중심파장에서 ~0.8 nm의 채널 간격을 갖는 협대역 및 평탄 대역 모드를 이론적으로 분석하고 실험적으로 증명했다. 또한, 제안된 Solc형 광섬유 필터는 이전의 2차 Solc형 필터에서 구현하지 못한 특성인 파장 인터리빙 특성을 도출할 수 있었다. 결과적으로, 제안된 필터는 2차 평탄 대역 및 협대역 모드의 스펙트럼들을 나타냈으며, HWP들을 조절함으로써 각각의 모드에서 인터리빙 가능한 다파장 필터를 구현할 수 있었다.

[감사의 글]

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

[참 고 문 헌]

- [1] Y. W. Lee, H.-T. Kim, and Y. W. Lee, "Second-order all-fiber comb filter based on polarization-diversity loop configuration," *Optics Express*, vol. 16, pp. 3871-3876, 2008.
- [2] Y. W. Lee, J. Jung, and B. Lee, "Wavelength-switchable flat-top fiber comb filter based on Solc type birefringence combination," *Optics Express*, vol. 13, pp. 1039-1048, 2005.
- [3] C. S. Kim, and J. U. Kang, "Multiwavelength switching of Roman fiber ring laser incorporating composite polarization-maintaining fiber Lyot-Sagnac filter," *Applied Optics*, vol. 43, pp. 3151-3157, 2004.