

전류 조절로 파장 튜닝 가능한 편광상이 배치구조 기반 광섬유 빗살 필터

(Current-Controlled Wavelength-Tunable Fiber Comb Filter based on
Polarization-Diversity Loop Configuration)

최대호* · 이용욱**

(Dae-Ho Choi · Yong-Wook Lee)

Abstract

In this paper, we have demonstrated absolute wavelength tuning in an optical fiber comb filter based on a polarization-diversity loop configuration by controlling the current injected into enameled wires wound on polarization-maintaining fibers (PMF's), that is, adjusting Joule heat generated from enameled wires. The proposed fiber comb filter consists of a polarization beam splitter, a half-wave plate, a quarter-wave plate, and PMF's. And we observed wavelength change of spectral dips in transmission spectra of the fabricated filter by varying an input current applied to enameled wires. The absolute wavelength of the filter could be controlled in proportional to the square of the input current with good linearity, and the rate of the wavelength shift with respect to the input current was measured as $36.79[\text{nm}/\text{A}^2]$.

Key Words : Polarization-Diversity Loop Configuration, Polarization-Maintaining Fiber, Enameled Wire, Polarization Beam Splitter

1. 서 론

광통신 시스템에서 다파장 광원(multiwavelength light sources) 또는 전광섬유 파장 선택성 필터(all-fiber wavelength-selective filters)들은 늘어나는 대

역폭(bandwidth) 요구량을 만족시키기 위한 주요 소자로 많은 관심을 받아왔다. 이러한 소자 중 광섬유 필터는 파장 분할 다중화(wavelength-division-multiplexing: 이하 WDM) 네트워크에서 파장 분기(wavelength routing)를 위한 핵심 요소로 사용되는데, 필터의 파장 간격(wavelength spacing)을 유지하면서 WDM ITU-grid 규격의 파장으로 절대 파장(absolute wavelength) 위치를 정밀하게 조정하는 것은 중요한 의미를 갖는다[1-2]. 특히 광섬유 빗살 필터(fiber comb filter)들은 설계 및 사용의 편의성 때문에 많은 연구가 이루어져 왔다. 이러한 빗살 필터

* 주저자 : 부경대학교 전기공학과
** 교신저자 : 부경대학교 전기공학과 조교수
Tel : 051-629-6323, Fax : 051-629-6305
E-mail : yongwook@pknu.ac.kr
접수일자 : 2010년 9월 17일
1차심사 : 2010년 10월 1일
심사완료 : 2010년 10월 22일

들의 절대 파장을 제어하려면 기계적 또는 열적 (mechanical or thermal) 기법이 요구된다[3]. 또한 장주기 광섬유 격자(long-period fiber grating) 기반 필터의 파장 튜닝(wavelength tuning)을 위해서 코일형 히터(coil-type heater)를 사용하여 전압으로 파장을 제어하는 기법도 제시되었다[4-5].

본 논문에서는 이러한 코일형 히터를 사용하여 전류 조절로 파장 튜닝이 가능한 편광상이 배치구조 (polarization-diversity loop configuration: 이하 PDLC) 기반 광섬유 빗살 필터를 제안한다. 제안된 필터에서는 편광유지 광섬유(polarization-maintaining fiber: 이하 PMF)의 피복을 벗긴 후 에나멜선을 감고, 전류원으로 에나멜선에 전류를 주입하면서 도선에 발생하는 줄열(Joule heat)을 이용하여 PMF 주위의 온도를 변화시켰고, 이를 통해서 필터 투과 스펙트럼 (transmission spectrum)의 파장 변화를 유도하였다. 제안된 필터는 기계적 파장 제어 방식에 비해 필터의 내구성 저하를 막을 수 있었고, 판형 히터(plate heater)를 사용하는 방식에 비해 균일한 열전달을 통해 선형적인 파장 튜닝을 구현할 수 있었다. 그리고 제안된 필터는 편광 빔 분배기(polarization beam splitter: 이하 PBS), 1/2 파장판(half-wave plate: 이하 HWP), 1/4 파장판(quarter-wave plate: 이하 QWP), 그리고 PMF를 이용하여 제작되었다. 제작된 필터의 절대 파장은 입력 전류의 제곱에 비례하여 선형적으로 조절이 가능하였으며, 입력 전류에 대한 파장 이동 비율은 $36.79[\text{nm}/\text{A}^2]$ 이었다.

2. 제안된 필터의 설계

그림 1은 실험 구성도를 나타내고 있다. 광대역 광원(broadband source: 이하 BBS)은 PBS의 T 단자로 입력되며, R 단자로 출력되는 광의 스펙트럼은 광 스펙트럼 분석기(optical spectrum analyzer: 이하 OSA)를 통해 분석하였다. 제안된 필터는 PBS(OZ Optics), HWP(OZ Optics), QWP(OZ Optics), 그리고 PMF(Fibercore)로 구성되었다. PMF는 피복을 벗기고 직경이 $0.07[\text{mm}]$ 인 에나멜선을 감아 코일형 히터를 형성하였고, 에나멜선 양단에 전류원(KEITHLEY 2410)

을 연결하고 전류를 흘려 PMF 주위의 온도를 조절하였다. 일반적으로 에나멜선은 피막이 얇으면서도 절연성이 높고, 녹는점이 $1,000[^\circ\text{C}]$ 정도로 높아 열에 강한 특성을 갖는다. PMF 주변의 온도는 열전쌍(thermocouple)을 이용해 측정하였다. 필터에 사용된 PMF의 길이는 $250[\text{mm}]$ 이었고, 벗겨진 피복에 에나멜선이 감겨진 부분은 $50[\text{mm}]$ 이었으며, 에나멜선은 $1.25[\text{mm}]$ 간격으로 40회를 감았다. 그리고 빗살(간섭) 스펙트럼의 가시도(visibility)를 조절하기 위해서 편광 조절기(polarization controller: 이하 PC)를 사용하였으며, PC로는 회전이 가능한 HWP와 QWP를 각각 사용하였다. 또한 측정 시 외란에 의한 광섬유에서의 편광상태 변화를 최소화하기 위하여 모든 광소자들을 테이프로 고정시켰다.

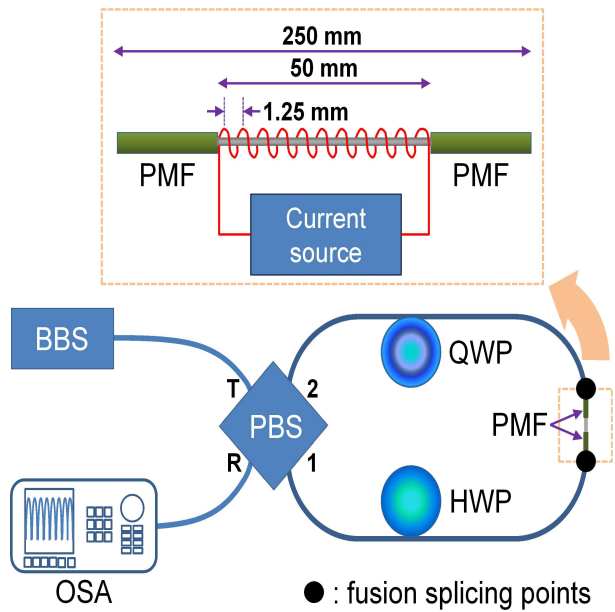


그림 1. 실험 구성도 (●: PMF와 단일모드 광섬유의 용착접속 지점)

Fig. 1. Experimental setup (●: fusion splicing points between the PMF and single-mode fiber)

3. 실험 결과 및 고찰

그림 2 (a)는 OSA를 통해 측정된 광섬유 빗살 필터의 투과 스펙트럼들을 나타내고 있다. OSA의 해상도

(resolution bandwidth)는 0.07[nm]이었고, 필터의 투과 스펙트럼은 1,550~1,590[nm]의 파장영역에서 관측되었다. 그림 2 (b)는 필터 내 PMF의 주위에 설치된 열전쌍에서 측정된 전류 증가에 따른 온도 변화 양상을 보여주고 있다. 전류가 증가함에 따라 에나멜선에 발생하는 줄열이 증가하여 그림처럼 PMF 주위 온도가 증가함을 알 수 있다.

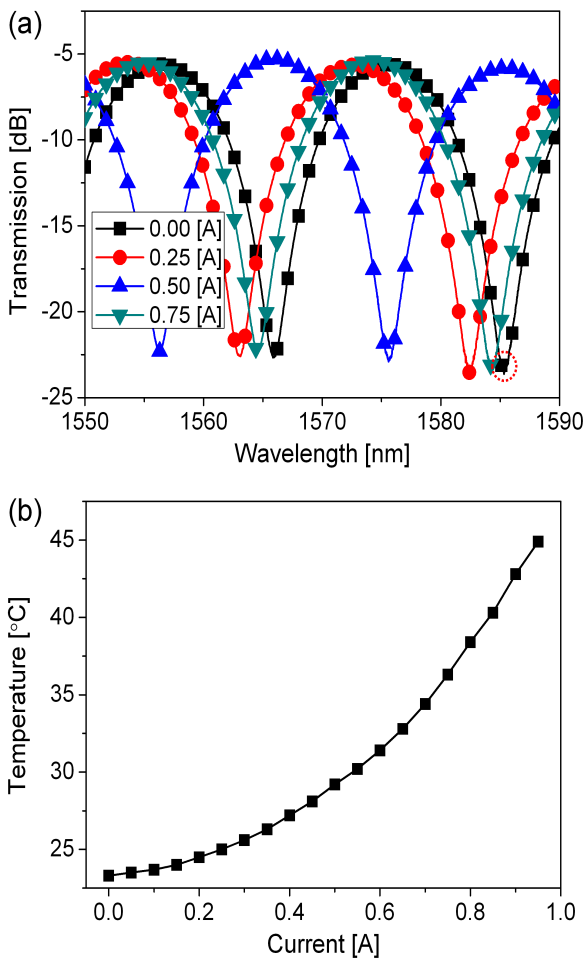


그림 2. (a) 제안된 필터에서 측정된 전류 증가에 따른 투과 스펙트럼의 변화와 (b) 전류 증가에 따른 필터 내 PMF 주위 온도의 변화

Fig. 2. (a) Measured variation of transmission spectra of the proposed filter according to current increase and (b) variation of surrounding temperature of the PMF within the filter according to current increase

그림 2 (a)에서 전류가 증가할수록 골(dip)의 위치는 단파장 쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있는데, 이러한 단파장 천이(blue shift)는 간섭 스펙트럼의 파장 간격(주기)이 감소하였다는 것을 의미한다. 필터 제작에 사용된 PMF의 길이와 복굴절(birefringence)을 고려하면 파장 간격은 복굴절에 거의 반비례하는 양이므로, 이는 전류 증가로 발생한 열에 의해 PMF의 복굴절이 증가했다는 것을 의미한다. 그림 2 (a)에서 입력 전류가 0[A]에서 0.75[A]로 변화되는 동안 투과 스펙트럼은 약 한 주기를 이동하였으며, 제안된 필터의 주기는 약 19.36[nm]로 측정되었다. 즉 전류 조절로 PMF 주변 온도를 변화시켜 온도에 민감한 PMF의 복굴절을 제어함으로써 필터의 채널(channel) 파장 튜닝이 가능하다.

그림 3 (a)는 제안된 필터에서 측정된 입력 전류 증가에 따른 투과 스펙트럼 상 골(그림 2 (a)의 점선 원 표시 부분)의 파장 이동 특성을 나타내고 있으며, 그림 3 (b)는 입력 전류의 제공에 대하여 특정 파장을 기준으로 파장 이동량(wavelength detuning)을 보여주고 있다. 여기서 그림 3 (b)는 입력 전류의 제공과 골의 파장 사이의 선형적인 관계를 살펴보기 위해, 0[A]에서의 골의 파장 1,585.32[nm]를 기준으로 각 입력 전류 제공 값에서 얻어지는 골의 파장이 기준파장에서 벗어나 이동된 양을 변역(y축)에 나타내었다. 그림 3 (b)에서 알 수 있듯이 골의 파장 이동량은 입력 전류의 제공과 거의 정비례관계인 것을 확인할 수 있으며, 이것은 발생하는 줄열(온도)이 입력 전류의 제공에 비례하기 때문으로 볼 수 있다. 그림 3 (b)에서 입력 전류에 대한 파장 이동 비율은 $\sim 36.79[\text{nm}/\text{A}^2]$ 으로 계산되며, 1[A]의 주입 전류에 의해 필터 스펙트럼의 한 주기인 19.36[nm]의 약 1.9배 정도의 파장 변화가 발생한다.

그림 4 (a)는 빗살 필터에 감은 에나멜선에 0.4[A]를 인가한 후 3분 간격으로 30분간 관찰한 투과 스펙트럼 들이고, 그림 4 (b)는 그림 4 (a)에서 점선 표시된 골의 파장 변화 및 PMF 주변 온도 변화 특성을 나타내었다. 골의 파장은 30분 동안 약 0.49[nm]가 변화하였고, 이것은 필터 파장 간격의 2.53[%] 정도에 해당하였다. 이러한 골의 파장 이탈(deviation)은 외란에 의한 미세

한 주위 온도의 변화로 PMF 주변의 평형 온도가 약간씩 변화되어 발생한 것으로 유추된다. 이러한 PMF 주변의 온도 변화를 고려하면, 온도 변화량을 최소화할 경우 파장 이탈을 파장 간격 대비 1[%] 이하로 유지할 수 있을 것으로 기대된다.

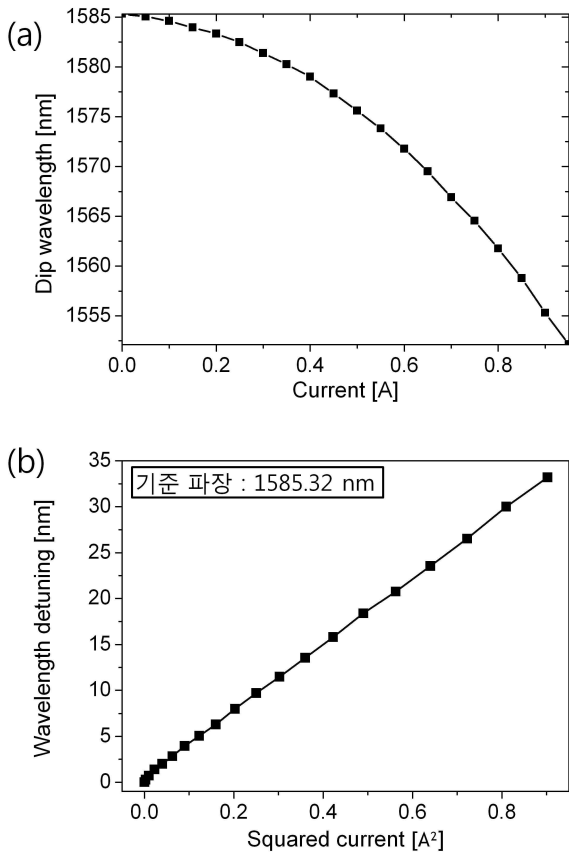


그림 3. (a) 전류 증가에 따른 골의 파장 이동 (b) 전류 제곱과 골의 파장 이동과의 관계
Fig. 3. (a) Dip wavelength shift with respect to current increase and (b) relationship between squared current and dip wavelength detuning

4. 결 론

본 논문에서는 PDLC 기반의 광섬유 빗살 필터에서 파장 튜닝을 구현하기 위하여 에나멜선을 PMF에 감고 에나멜선의 양단에 흘려주는 전류를 조절함으로써

도선에 발생하는 줄열을 제어하였다. 입력 전류를 제어하여 필터의 절대 파장을 선형적으로 조절 가능하였으며, 입력 전류에 대한 파장 이동 비율은 $36.79 \text{ [nm/A}^2\text{]}$ 를 얻을 수 있었다.

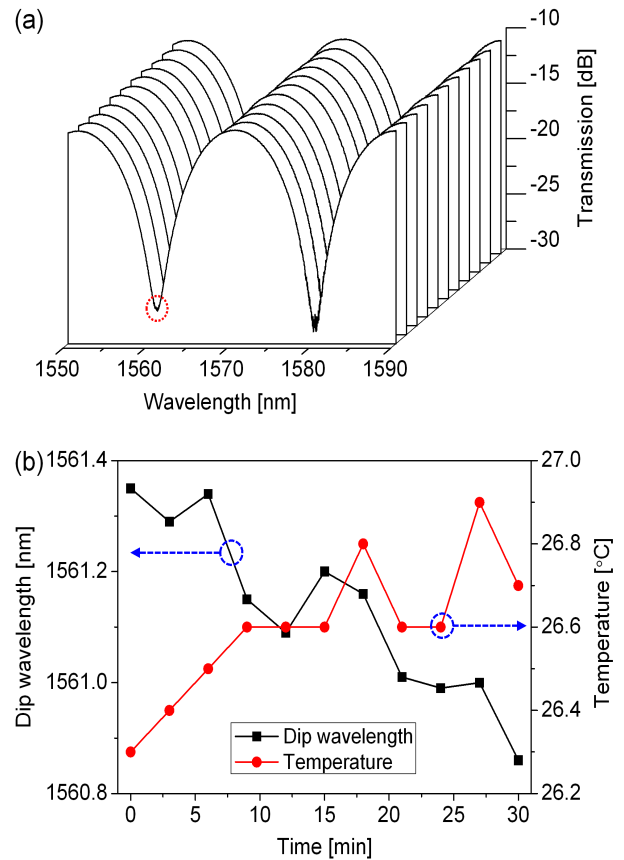


그림 4. (a) 주입 전류 0.4[A]에서 측정된 필터 투과 스펙트럼의 반복성 (b) (a)의 반복성 측정에서 시간에 따른 골의 파장 이동과 PMF 주변 온도 변화
Fig. 4. (a) Measured repeatability of transmission spectra of the proposed filter at an injection current of 0.4[A] and (b) temporal shift of dip wavelength and variation of ambient temperature of the PMF in (a)

감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(2010T100100277)

References

- [1] Y. W. Lee, K. J. Han, J. Jung, and B. Lee, "Polarization-independent tunable fiber comb filter," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 16, no. 9, pp. 2066-2068, 2004.
- [2] Y. W. Lee, "Polarization-independent multiwavelength-switchable filter based on polarization beam splitter and fiber coupler," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol. 4, no. 3, pp. 405-409, 2009.
- [3] Y. Shiquan, L. Zhahui, D. Xiaoyi, Y. Shuzhong, K. Guiyun, and Z. Qida, "Generation of wavelength-switched optical pulse from a fiber ring laser with an F-P semiconductor modulator and a HiBi fiber loop mirror," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 14, no. 6, pp. 774-776, 2002.
- [4] Y. Han, S. Choi, S. H. Kim, and S. B. Lee, "Voltage-controllable wavelength-selective optical switching based on multiply cascaded long-period fiber gratings," *Optics Letters*, vol. 28, no. 21, pp. 2034-2036, 2003.
- [5] Y. Han, S. H. Kim, and S. B. Lee, "Flexibly tunable multi-channel filter and bandpass filter based on long-period fiber gratings," *Optics Express*, vol. 12, no. 9, pp. 1902-1907, 2004.

◆ 저자소개 ◆



최대호(崔大浩)

1984년 9월 22일생. 2010년 2월 부경대학교 전기공학과 졸업. 2010년 3월 부경대학교 대학원 전기공학과 입학. 현재 부경대학교 전기공학과 대학원 재학(석사과정).



이용욱(李鎔旭)

1975년 4월 25일생. 1998년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 졸업. 2000년 서울대학교 대학원 전기컴퓨터공학부 졸업(석사). 2004년 서울대학교 대학원 전기컴퓨터공학부 졸업(박사). 현재 부경대학교 전기공학과 조교수.