

파장가변이 가능한 완전 광섬유형 궤환 레이저 구현 및 응용 손 경 략†

(원고접수일 : 2009년 5월 8일, 원고수정일 : 2009년 8월 28일, 심사완료일 : 2009년 8월 28일)

Fabrication of tunable all-fiber feedback laser and its application

Kyung Rak Sohn†

요 약 : 본 논문에서는 사냥 루프 필터와 광섬유 격자 기반의 파장가변 궤환 레이저를 제안하고 있다. 다중파장을 제공하기 위하여 복굴절을 이용한 사냥 루프를 적용하였고 0.33nm의 인접 채널간격을 가지도록 제작하였다. 광섬유 격자의 열 광학 효과에 의한 파장가변을 유도하기 위하여 니크롬선을 격자위에 감았다. 파장가변과 분리에 대한 특성을 측정하기 위하여 길이가 다른 니크롬선으로 두 종류의 광섬유 격자 소자를 제작하였으며, 열 저항으로 파장가변이 되게 하였다. 광섬유격자의 반사파장이 사냥루프 다중파장의 특정 파장과 일치하면 모드 잠김현상에 의해서 공진하고 발진하게 된다. 공진파장의 이동도는 1.75pm/mW이다. 이 시스템은 전력 시스템의 전력 변동을 모니터링하는 분야에 적용할 수 있다.

주제어 : 사냥 루프필터, 광섬유 브래그 격자, 궤환 광섬유 레이저, 전력감시, 편광유지 광섬유

Abstract: In this paper, a tunable fiber feedback laser based on the use of Sagnac loop filter and fiber Bragg grating (FBG) is proposed. The Sagnac loop filter using a high birefringence fiber provides precise 0.33-nm channel spacing as a multi-wavelength grid filter. Ni-Cr wire wound on the FBG is useful to induce the thermo-optic effect of the fiber. Two types of FBG structures, which have a different length of wire, are demonstrated to show the wavelength shift and separation. To tune FBG by resistant heat, some current is supplied into the wire. When the wavelength matched with one of the cavity modes of Sagnac loop filter, the mode-locked lasing is occurred. The electrical power sensitivity of the resonant wavelength is measured to 1.75pm/mW. This laser configuration can be applied the electrical power system for monitoring the power fluctuation.

Key words: Sagnac loop filters, Fiber Bragg gratings, Feedback fiber lasers, Electrical power monitoring, Polarization maintaining fibers

1. 서 론

사냥 루프필터 (Sagnac loop filter)는 광통신 또는 센서 시스템에서 넓은 대역의 파장선택성을 제공하는 빔살필터로서 중요한 역할을 한다[1-3]. 모두 광섬유로 구성이 되므로 경제적이고 효과적인 다채널 광원을 위한 다중 채널 필터로 사용이 가능하여 파장분할 다중화 시스템에서 효율적으로 시스

템을 설계할 수 있게 한다. 그러나 파장가변 레이저를 구성할 경우에는 어븀 첨가 광섬유 (Erbium-doped fiber: EDF)를 이용한 링 형 공진기 구조에 벌크형의 파장가변 필터를 사용하였다. 벌크형 파장가변 필터의 경우 페브리 페롯(Fabry- Perot)형 이 일반적이지만 고가이므로 고속의 파장가변 레이저를 구현하는 경우가 아니라면 시스템 설계

† 교신저자(한국해양대학교 전자통신공학과, E-mail:krsohn@hhu.ac.kr, Tel:051-410-4312)

관점에서 비용문제로 사용하기가 쉽지 않다.

본 논문에서는 저가격의 광섬유 브래그 격자 (Fiber Bragg gratings)를 이용하여 파장가변이 가능한 광섬유형 케환 레이저를 제안하고 전력변동 감시 소자로서의 응용을 보이고자 한다. 광섬유 브래그 격자 주위를 저항선으로 감아 전류를 흘려 줌으로서 열이 발생하여 격자의 굴절률 변화를 유도하면 브래그 파장을 이동시킬 수 있다. 이것은 광섬유 센서를 이용하여 원거리 전력 모니터링 [4-5]에 적용할 수 있음을 보여준다. 원거리 모니터링에서 파장 가변소자의 중심파장 안정성은 신뢰성에 직접적인 영향을 미친다. 사냥 루프의 경우 편광 유지 광섬유의 두 축에 대한 위상차를 이용하여 다중 간섭이 일어나도록 한 원리가 응용되었는데 이는 다중파장 필터를 제공한다. 광섬유 브래그 파장과 모드가 일치하는 파장에서 발진하므로 위와 같은 문제점을 해결할 수 있다. 또한 제안된 레이저는 벌크형의 마이크로 광학소자를 완전히 배제하고 있으며 광섬유로만 만들어진 소자를 이용하고 있어서 완전 광섬유형 시스템 구현을 가능하게 한다. 본 연구에서는 두 가지 유형의 광섬유 브래그 격자형 파장가변 소자를 제안하여 실험결과를 비교하였고, 발진파장의 이동과 발진파장의 분리를 전력 변동 감시를 위한 응용원리로 적용할 수 있음을 보였다.

2. 동작원리와 구성

2.1 사냥 루프필터

Figure 1은 사냥 루프 필터의 개략적인 구조를 보여준다. 입력광은 3-dB 결합기를 통해 분리되어 편광유지 광섬유 (Polarization maintaining fiber: PMF)내에서 서로 반대 방향으로 진행한 후, 다시 3-dB 결합기에서 만나면서 간섭을 하게 된다. 편광유지 광섬유의 빠른 광축과 느린 광축을 따라 진행되는 두 편광 성분 사이의 위상차 δ 는 식 (1)로 주어진다.

$$\delta = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) BL \quad (1)$$

여기서 λ 는 광원의 파장, B 는 광섬유의 복굴절률,

L 은 편광유지 광섬유의 길이이다. 위상차 δ 는 파장에 의존하기 때문에 사냥 루프 특성은 주기적인 반사와 투과 스펙트럼을 보이는 빗살필터와 동일하다. 투과대역간 간격은 $\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{BL}$ 로 주어진다. 여기서 투과 함수는 식 (2)와 같다.

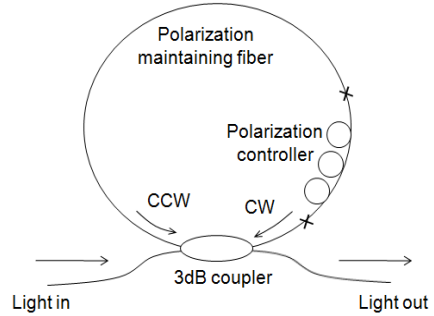


Figure 1: Schematic diagram of Sagnac loop filter (CW: Clockwise, CCW: Count-clockwise)

$$T(\lambda) = \sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right) \quad (2)$$

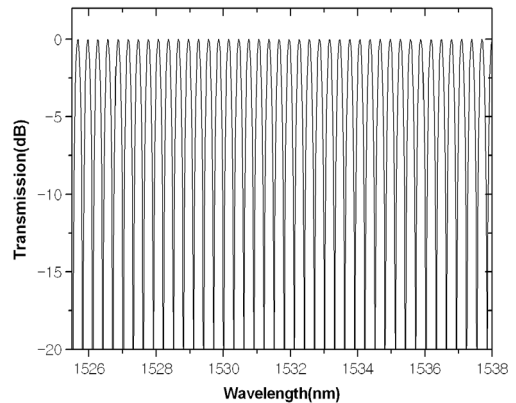


Figure 2: Calculated transmission spectrum of Sagnac loop filter

Figure 2는 식 (2)를 이용하여 계산한 사냥 루프 필터의 투과 스펙트럼이다. 계산에 사용된 편광유지 광섬유의 길이 (L)는 20m이며 복굴절률 (B)은 $\sim 3.4 \times 10^{-4}$ 이다. 계산된 투과대역의 인접 채널간 간격은 관심파장영역에서 0.33nm로 일정하며, 투과 스펙트럼은 빗살필터 특성을 보인다.

2.2 파장가변 광섬유 브래그 격자

Figure 3은 광섬유 브래그 격자의 단면을 보여 준다. 일반적으로 브래그 격자는 단일모드 광섬유의 코어에 형성시키는데 248nm KrF 레이저와 위상 마스크를 이용한 빛의 간섭원리로 제작한다. 보강간섭에 해당하는 부분은 코어의 굴절률을 Δn 만큼 높인다. 상쇄간섭에 해당하는 부분은 굴절률 변화가 없다. 브래그 파장 λ_B 는 식 (3)과 같다.

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda \tag{3}$$

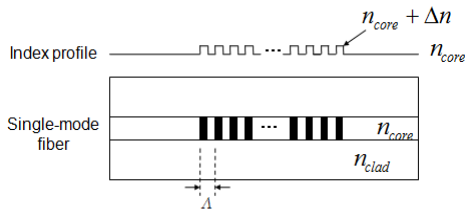


Figure 3: Cross section view of fiber Bragg grating and its index profile

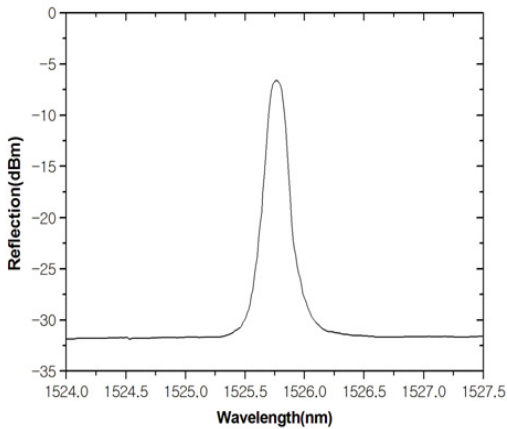


Figure 4: MEasured reflection spectrum of FBG centered at 1528.5nm

여기서 n_{eff} 는 광섬유 코어의 유효굴절률, Λ 는 격자주기이다. 본 연구에서는 1528.5nm의 중심파장을 가지는 광섬유 브래그 격자를 사용하였으며 Figure 4에 측정된 반사 스펙트럼을 보였다. 반치폭은 0.5nm, 반사도는 25dB 이상이므로 실험 목적에 부합하고 있다.

2.3 완전 광섬유형 궤환 레이저

Figure 5는 파장가변이 가능한 완전 광섬유형 궤환 레이저의 개략도이다. 사냥 루프필터와 광섬유 브래그 격자는 발진을 위한 공진기를 형성하기 위하여 어븀첨가 광섬유 양쪽 끝에 위치하고 있으며, 공진기 내부이득은 980nm 펌핑 광원에 의해 여기 되는 어븀 첨가 광섬유가 제공한다. 파장가변을 위하여 광섬유 브래그 격자의 굴절률 (n_{eff})을 조절할 수 있도록 직경 200 μm , 단위 길이당 저항이 153 Ω/m 인 니켈-크롬선을 브래그 격자가 형성된 광섬유 외부에 감았다. 유형 A는 니켈-크롬선이 완전하게 격자 부분을 감싸고 있는 소자이며, 유형 B는 격자의 절반만 니켈-크롬선이 감겨진 소자이다. 니켈-크롬선에 전류를 인가하게 되면 저항열이 발생하게 되고 이것은 광섬유 열팽창효과를 유발하여 브래그 파장을 이동시킨다. 온도변화 (ΔT)에 대한 브래그 파장 변화정도($\Delta\lambda_B$)는 식 (4)로 주어진다.

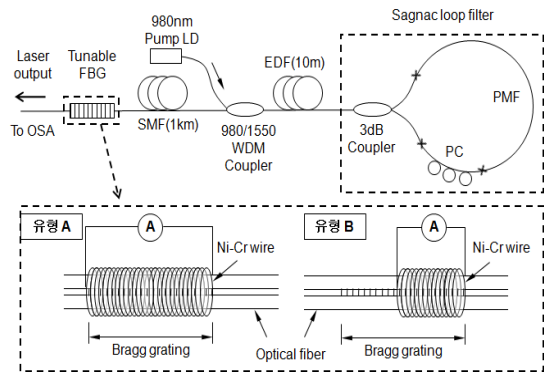


Figure 5: Experimental set-up using proposed all-fiber feedback laser

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B(\alpha + \zeta)\Delta T \tag{4}$$

여기서 α 는 실리카의 열 팽창계수, ζ 는 광섬유의 열광학 효과를 나타낸다.

Figure 6은 파장가변 완전 광섬유형 궤환 레이저의 동작원리를 보여준다. 사냥 루프 필터는 (a)와 같이 인접 채널간격이 0.33nm인 다중파장필터를 제공하고 광섬유 브래그 격자는 니켈-크롬선에

인가되는 전류량에 따라 (b)와 같은 파장 가변되는 필터특성을 제공한다. 공진기의 양 끝단에 위치하는 두 필터의 통과대역 파장이 일치하게 되면 모드가 일치하여 발진이 일어나고 (c)와 같은 레이저 출력 스펙트럼이 얻어진다. 광섬유 브래그 파장의 이동은 레이저 발진파장의 가변으로 나타나므로 전류로 제어할 수 있는 파장가변이 가능한 광섬유형 레이저 구현이 가능해진다.

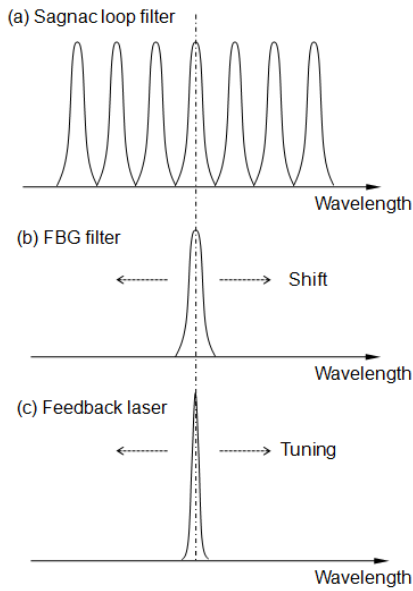


Figure 6: Schematic diagram illustrating the resonant wavelength-locking mechanism. (a) Comb filter spectrum of Sagnac loop, (b) Refraction spectrum of FBGs, (c) Resonant wavelength generation of the feedback laser.

3. 실험결과 및 토의

Figure 7은 Figure 5의 레이저 구성도에서 유형 A의 광섬유 브래그 격자를 이용한 경우의 실험 결과를 보여준다. 열 광학 효과에 의한 광섬유 브래그 격자의 온도 민감도는 $\sim 6.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 이므로 니켈-크롬선에서 발생하는 전류에 의한 저항열은 식 (3)의 n_{eff} 를 증가시켜 브래그 파장이 장파장으로 이동하게 한다. Figure 7(a)는 전류를 210mA 까지 변화시켰을 때의 단일발진 파장의 이동 스펙트럼을 나타내었다. 신호대 잡음비가 30dB

이상으로 우수한 발진 특성을 보였다. 니켈-크롬선에 소비되는 전력 대비 발진파장의 가변 정도는 Figure 7(b)에서 볼 수 있다. 소비전력에 대한 발진파장의 민감도는 $1.75\text{pm}/\text{mW}$ 로 매우 선형적인 관계를 보인다. 이 결과로부터 제안된 레이저 구조가 전류 또는 전력 변동 모니터링 센서로 응용할 수 있음을 보여준다. Figure 8은 유형 B의 광섬유 브래그 격자를 이용한 경우의 실험결과를 보여준다. 광섬유 브래그 격자의 절반은 Ni-Cr선에 가해지는 전류에 의하여 브래그 파장 가변이 가능한 구조이며 나머지 절반은 전류의 영향을 받지 않

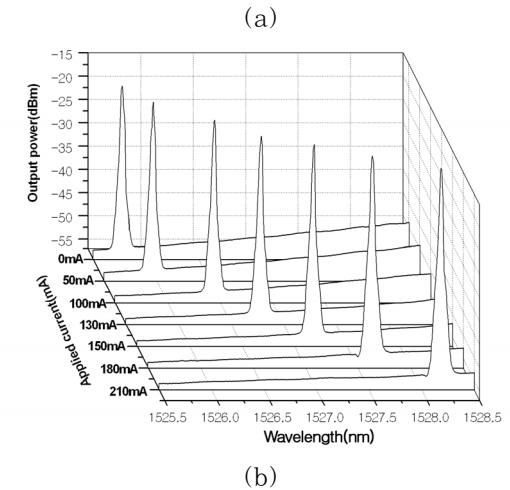


Figure 7: Measured optical responses of the single-wavelength feedback laser using type A FBG. (a) Tunable lasing wavelength by current change, (b) Shift in resonant wavelength versus electrical power.

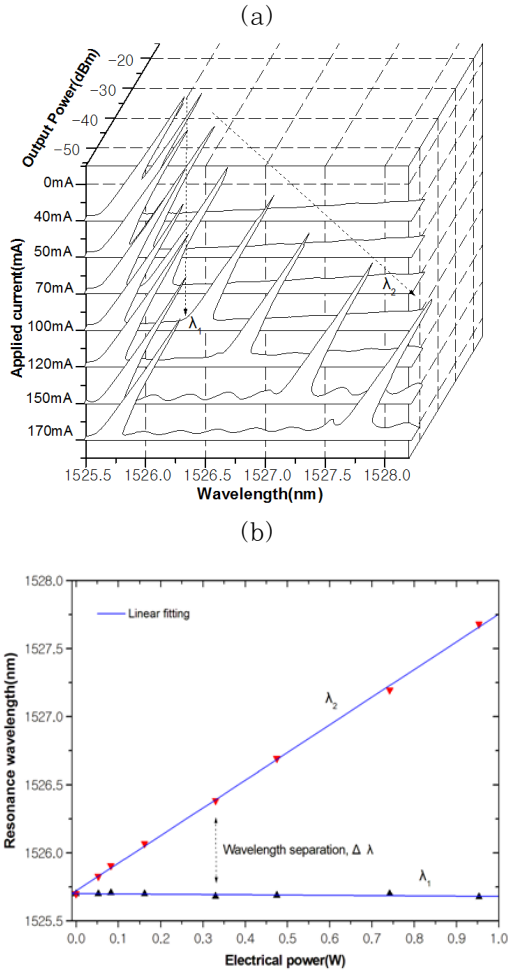


Figure 8: Optical responses of the dual-wavelength feedback laser using type b FBG. (a) Lasing wavelength separation by current change, (b) Shift in resonant wavelength versus electrical power.

는다. 그러므로 Ni-Cr선에 전류가 인가되면 저항 열에 의하여 한 개의 브래그 격자가 두 부분으로 나뉘어져 독립적인 브래그 격자가 직렬연결된 것과 같은 동작을 하게 된다. Figure 8(a)와 같이 Ni-Cr선으로 감겨진 부분은 전류가 증가함에 따라 광섬유의 유효 굴절률이 증가하여 장파장으로 브래그 파장(λ_2)이 이동하지만, 나머지의 부분은 전류와 무관하므로 초기상태의 브래그 파장(λ_1)을 유지한다. 즉 한 개의 브래그 파장을 가지는 격자가 두 개의 브래그 파장으로 분리되며 전류가 증가함에

따라 분리정도는 더 커진다. 실험결과는 유형 B의 브래그 격자 소자를 폐환형 레이저 구조에 적용함으로써 전류에 따라 파장변이 가능한 이중 발진 파장 광섬유형 레이저를 얻을 수 있음을 보여준다. Figure 8(b)는 저항열에 대한 두 발진 파장간의 분리정도를 보여준다. Ni-Cr선의 소비전력에 대하여 λ_2 는 선형적인 관계에 있다. 그러나 λ_1 은 거의 일정한 발진 파장을 유지하므로 소비전력에 대한 발진파장의 분리도 ($\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$)는 1.75pm/mW 정도로 유형 A의 레이저 발진파장의 이동도와 동일하다.

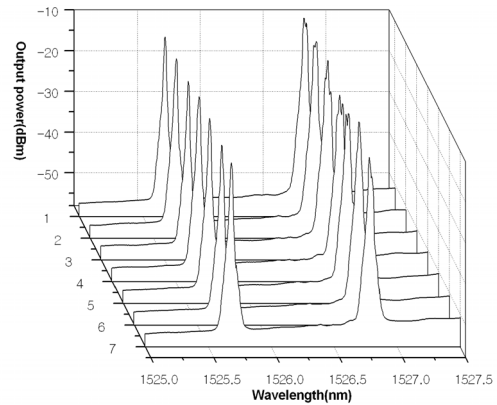


Figure 9: Stability of dual-wavelength laser at 500mW electrical power

제안된 레이저의 이중 발진 파장 구조에서 연속 발진은 시스템의 신뢰성에 있어서 매우 중요하다. Figure 9는 Figure 8(a)의 스펙트럼에서 Ni-Cr선에 500mW의 전력이 인가된 경우 이중 발진 파장에 대하여 10초 간격으로 7회 연속 스캔한 출력 스펙트럼이다. 두 발진 파장은 1nm 정도 분리되며 지속적으로 발진 상태를 유지하고 있다. 이러한 현상은 어븀첨가 광섬유의 이득이 두 밴드패스 파장에 대하여 연속 발진할 수 있게 충분한 이득을 제공하기 때문이다. 이때 Figure 5의 980nm 펌핑 레이저 다이오드에 공급된 전류는 180mA이다.

4. 결 론

본 연구에서는 사냥 루프필터와 광섬유 브래그

격자를 사용한 파장가변 궤환형 광섬유 레이저를 제안하고 실험하였다. 사냥 루프필터는 편광유지 광섬유를 이용하여 구현하였으며 다중파장이 발생하는 빔살필터를 제공하였다. 발진파장 가변은 광섬유 브래그 격자에 저항열선을 감아 전류를 제어함에 따라 광섬유의 열 광학 계수가 변하는 효과를 이용함으로써 브래그 파장이 천이될 수 있게 하였다. 브래그 파장의 이동은 레이저의 발진파장 가변으로 나타난다. 동일한 한 개의 광섬유 브래그 격자에 Ni-Cr선을 절반만 감아 두 개의 브래그 격자가 직렬연결된 것과 동일한 효과를 얻을 수 있음을 보였으며, 이를 이용하여 이중 발진파장 레이저의 파장 가변이 가능하였다. 인가된 전력에 대한 레이저 발진 파장분리 정도는 1.75pm/mW 였다. 제안된 레이저의 파장분리정도는 전력 변동을 측정하기 위한 센서 원리로 활용할 수 있다.

참고문헌

[1] N. J. C. Libatique and R. K. Jain, "A broadly tunable wavelength-selectable WDM source using a fiber Sagnac loop filter". *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 13, no. 12, pp. 1283-1285, 2001.

[2] X. Shu, S. Jiang, and D. Huang, "Fiber grating Sagnac loop and its multi-wavelength-laser application", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, no. 8, pp. 980-982, 2000.

[3] M.-Y. Jeon, H. K. Lee, K. H. Kim, E.-H. Lee, W.-Y. Oh, B. Y. Kim, H.-W. Lee, and Y. W. Koh, "Harmonically mode-locked laser with an acousto-optic modulator in a Sagnac loop and Faraday rotating mirror cavity", *Opt. Commun.*, vol. 149, pp. 312-316, 1998.

[4] L. Dziuda, G. Fusiek, P. Niewczas, G. M. Burt, and J. R. McDonald, "Laboratory evaluation of the hybrid fiber-optic current sensor", *Sens. Actuators A*, vol. 136, pp. 184-190,

2007.

[5] 손경락, 김형표, "단일모드 광섬유의 소산장을 이용한 전류센서", *대한전자공학회지*, 제41권, SD 제10호, pp. 57-62, 2004.

[6] 손경락, 심준환, 양규식, "어븀첨가 광섬유형 링레이저와 광섬유 격자기반 센서를 이용한 원거리의 온도 및 전류 측정", *한국마린엔지니어링학회*, 제32권 제8호, pp. 1257-1262, 2008.

저 자 소 개



손경락(孫慶洛)

1992년 경북대학교 전자공학과 졸업, 1995년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학 석사), 2002년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학박사), 2007년 1월~2008년 1월 University of New South Wales 연구교수, 2003년~현재 한국해양대학교 컴퓨터제어전자통신공학부 조교수