

FBG를 이용한 온도 및 스트레인의 영향에 따른 전광필터 특성에 관한연구

장우순

호서대학교 광파통신연구소

A Study on the Characteristics of All-Optic Tunable Filter in various temperature and strain Using Fiber Bragg Grating

WOO-SOON JANG

Department of Electronic Engineering, The Graduate School Hoseo University Asan Korea

Abstract - 현재 광통신 분야는 보다 많은 정보를 동시에 전송하기 위해 다양한 다중화 방식들을 요구 받고 있다. 광섬유 Bragg 격자 소자를 이용한 모든 광 분기/결합 장치는 분기/결합할 수 있는 신호가 광섬유 격자 소자의 Bragg파장에 의해 정해지므로 하나의 광섬유 격자 소자는 고정된 한 채널만을 분기, 결합할 수 있다는 단점을 지니고 있다. 그러나 광섬유 격자에 온도와 스트레인 (strain) 같은 외부 물리량을 가하게 되면 광섬유 격자의 주기가 변하게 되어 반사파장이 고정되지 않고 파장을 가변 할 수 있는 장점을 가지게 된다.

이에 본 논문에서는 광섬유 격자 소자에 가해진 온도, 스트레인에 의해 Bragg파장이 변화하는 성질을 이용하여 파장 가변형 Bragg 격자를 제작 및 실험을 통하여 전광필터 특성에 대하여 제시하였다.

I. 서론

현대는 정보의 활용 및 가치의 중요성으로 인하여 모바일통신 및 초고속정보통신망인 인터넷 사용자의 폭발적인 증가에 따라 정보의 전송 형태도 이미지와 동영상과 같은 대용량의 정보들이 요구되고 있는 현실에서 정보전송의 모든 분야에 있어서 통신의 수요가 기하급수적으로 증가하고 있으며, 이를 대처하기 위한 초고속통신 기술에 대한 연구와 통신망의 광 대역화가 시급히 해결되어야 할 문제점으로 대두되고 있다[1].

이에 현재 광통신 분야는 보다 많은 정보를 동시에 전송하기 위해 다중화 방식이 절실히 요구되고 있다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 광을 매개로 한 파장분할 다중화기술이 이용한 광통신 기술이 지속적으로 연구되어 광 통신망의 보급이 빠르게 진행되고 있다[2,3].

본 논문에서는 광섬유 격자 소자에 인가되는 온도와 스트레인에 의해 Bragg파장이 변화하는 성질을 이용하여 다양한 채널을 선택할 수 있는 파장가변형 광 필터를 제작하고 실험하였다.

II. 온도 및 스트레인 영향에 따른 파장 가변형 광 필터 이론

광섬유 격자에 의해 반사되는 빛의 중심파장은 Bragg 조건에 의해서 결정된다. 이 Bragg 조건에 의하면 반사되는 빛의 중심파장은 광섬유 격자의 유효굴절률과 격자주기에 비례하는 값을 갖는다. 광섬유 격자의 온도가 변하게 되면 열팽창 (thermooptic) 효과에 의해서 유효굴절률이 변하고 열팽창 (thermal expansion) 효과에 의해서 격자주기가 변하게 되어 Bragg 조건이 바뀌기 때문에 반사되는 빛의 중심파장도 변화하게 된다.

① 온도영향에 따른 반사 중심파장의 변화 식은 다음과 같다 [4,5].

$$\Delta\lambda_{BT} = \lambda_B \left(\frac{1}{n_{eff}} \frac{\partial n_{eff}}{\partial T} + \frac{1}{\Lambda} \frac{\partial \Lambda}{\partial T} \right) \Delta T \quad (2-1)$$

여기서 ΔT 는 온도변화량이다.

식 (2-1)을 다시 표현하면 식 (2-2)과 같다.

$$\Delta\lambda_{BT} = \lambda_B (\alpha_1 + \alpha_n) \Delta T \quad (2-2)$$

여기서,

$$\alpha_1 = \frac{1}{\Lambda} \frac{\partial \Lambda}{\partial T}, \quad \alpha_n = \frac{1}{n_{eff}} \frac{\partial n_{eff}}{\partial T}$$

이며, $\Delta\lambda_{BT}$ 는 반사 중심파장 변화량, α_1 는 광섬유의 온도에 따른 열팽창계수로 실리카 광섬유에 대해 $0.55 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, α_n 은 온도에 의한 광섬유의 굴절률 변화를 나타내는 열 광학계수 (thermal-optic coefficient)로서 $2.4 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$ 의 게르마늄 도핑 실리카 광섬유에서 약 $8.3 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 이다. 위와 같이 온도에 의한 Bragg 중심파장의 변화는 열팽창계수와 열광학계수 값의 합에 비례하여 변하는 것을 알 수 있으며, 굴절률 변화에 기인함을 알 수 있다[6,7].

따라서 온도 변화를 가하게 되면 결합에 의해 야기된 굴절률 변화량이 점점 줄어들게 된다. 광섬유 격자에서의 반사율은 격자의 굴절률 차에 의해서 결정되며 식 (2-3)으로 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{\sinh^2 \sqrt{(\kappa L)^2 - (\zeta^+ L)^2}}{-\frac{\zeta^+}{\kappa^2} + \cosh^2 \sqrt{(\kappa L)^2 - (\zeta^+ L)^2}} \quad (2-3)$$

② 스트레인 영향에 따른 반사 중심파장의 변화 식은 다음과 같다[4,5].

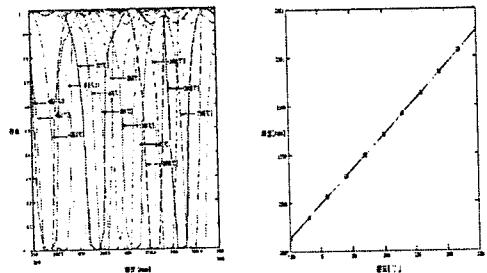


그림 2-1. 온도영향에 따른 그림 2-2. 온도에 따른 전송스펙트럼 파장의 변화

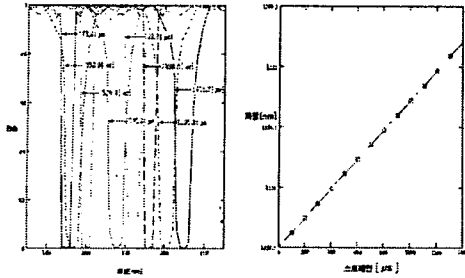


그림 2-3. 스트레인 영향에 따른 전송스펙트럼 그림 2-4. 스트레인에 따른 파장의 변화

$$\Delta\lambda_{BS} = \lambda_B \left(\frac{1}{n_{eff}} \frac{\partial n_{eff}}{\partial l} + \frac{1}{\Lambda} \frac{\partial \Lambda}{\partial l} \right) \Delta l \quad (2-4)$$

스트레인에 있어서 스트레인 변화에 가해지는 종 방향 스트레인 $\Delta\epsilon$ 에 대하여, 광섬유 격자의 파장 이동 $\Delta\lambda_{BS}$ 는 식(2-5)과 같이 표현된다[4,5].

$$\Delta\lambda_{BS} = \lambda_B(1 - \rho_e)\Delta\epsilon \quad (2-5)$$

여기서, $\Delta\epsilon$ 는 종 방향 스트레인을 의미한다. 광섬유의 광탄성 계수 ρ_e 는 식(2-6)과 같다.

$$\rho_e = n_{\rho_{12}}^2 - \nu(\rho_{11} - \rho_{12}) / 2e_{eff} \quad (2-6)$$

여기서 ρ_{11} , ρ_{12} 는 스트레인 광학 텐서(strain optics tensor)의 성분이며, n_{eff} 은 광섬유 코어의 굴절률이고 ν 는 Poisson's ratio이다.

II-1. 온도와 스트레인 영향에 따른 광섬유 Bragg 격자의 특성

온도의 변화에 따른 전송과 반사파장의 변화를 고찰하기 위해 식(2-3)과 온도변화에 대한 결과 식(2-1)을 Mathcad 2000 프로그램으로 시뮬레이션하여 가해진 온도 즉, 27°C를 기준으로 -50°C에서부터 230°C까지 온도를 변화시킨 후 이에 따른 결과 전송스펙트럼 파장이동을 그림 2-1에 나타내었다.

그림 2-1의 결과로부터 온도의 변화에 따라 주기적으로 전송스펙트럼의 파장이 변하는 것을 알 수 있다. 또한 온도의 영향에 따른 중심파장의 변화를 고찰하기 위해 온도변화에 따른 중심파장 변화를 수치해석 하여 그림 2-2에 나타내었다.

스트레인변화에 따른 전송과 반사파장의 변화를 고찰하기 식(2-3)과 스트레인변화에 대한 결과 식(2-4)을 Mathcad 2000 프로그램으로 시뮬레이션하여 가해진 스트레인 즉, 0[$\mu\epsilon$]에서부터 1411.7[$\mu\epsilon$]까지에 따른 전송스펙트럼의 이동을 그림 2-3에 나타내었다.

그림 4-3의 결과로부터 스트레인변화에 따라 주기적으로 전송스펙트럼의 파장이 변화하는 것을 알 수 있다.

또한 스트레인의 영향에 따른 중심반사파장의 변화를 고찰하기 위해 스트레인변화에 따른 중심파장 변화를 수치해석 하여 그림 2-4에 나타내었다. 그림의 결과에서처럼 광섬유 Bragg 격자에 0[$\mu\epsilon$]부터 1411.7[$\mu\epsilon$]까지 스트레인변화를 주었을 때 파장의 변화는 1553.500nm 에서부터 1555.230nm 까지 약 1.730nm 정도 파장이 선형적으로 이동함을 알 수 있다.

III-1. 실험 측정 장치의 구성

본 논문에서 제시한 파장가변형 광섬유 Bragg 격자의 온도와 스트레인에 따른 파장가변 특성을 측정하기 위한 실험 측정 장치의 구성은 그림 3-1과 같다. 본 실험에 있어서 광섬유 Bragg 격자는 광감성 파이버에 아르곤 레이저를 조사하여 격자를 새기는 위상마스크 방법에 의하여 제작 하였으며, 특정 파장의 광신호만을 추출할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그림 3-2는 실험에 사용한 광섬유 Bragg 격자의 구성으로 중심파장 1558.340nm, 격자길이 25mm, 격자주기 0.53 μm , 코어의 반경 2.625 μm , 클래딩의 반경 62.5 μm 이다.

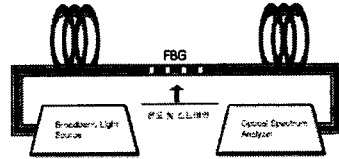


그림 3-1. 전체 실험 측정 장치 구성도

본 논문에는 온도 및 스트레인의 변화에 따른 중심파장의 이동변화를 보다 정확한 데이터를 측정하기 위해 온도 및 스트레인에서의 파장범위를 각각 달리하여 실험하였다. 온도에 따른 파장가변을 시키기 위해 파장범위 1558.340nm에서 1560.560nm으로 선폭은 약 2.3nm이고, 반사도는 약 -30dB이며, 스트레인에 따른 파장가변을 시키기 위해 파장범위 1553.500nm에서 1556.460nm으로 선폭은 0.7nm이고, 반사도는 약 -28dB를 각각 사용하였다.

III-2. 광섬유 Bragg 격자의 초기 특성

그림 3-2와 3-3은 온도 및 스트레인 변화에 따른 파장이동을 측정하기 위하여 실제 제작한 광섬유 Bragg 격자의 초기 특성을 측정 한 것으로 온도 27°C에서 Bragg 반사 파장은 1558.340nm이며, 선폭은 약 2.3nm이고 반사도는 약 -30dB이고 스트레인이 0[$\mu\epsilon$]에서 Bragg 반사 파장은 1553.500nm이며, 선폭은 약 0.7nm이고 반사도는 약 -28dB로 측정되었다.

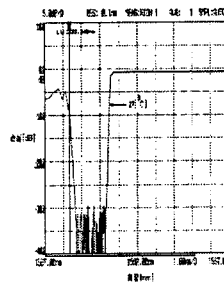


그림 3-2. 온도 27°C에서 초기 측정데이터

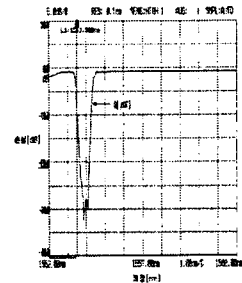


그림 3-3. 스트레인 0[$\mu\epsilon$]에서 초기 측정데이터

III-3. 파장가변형 광섬유 Bragg 격자의 특성 측정

III-3-1. 온도와 스트레인 변화에 따른 광섬유 Bragg 격자의 특성

그림 3-4와 3-5는 온도와 스트레인 변화에 따른 파장이동을 측정하기 위하여 실제 제작한 광섬유 Bragg 격자를 그림과 같이 구성하여 실험하였다.



그림 3-4. 온도변화에 따른 중심파장의 이동 측정 실험 구성도
 그림 3-5. 스트레인 변화에 따른 중심파장의 이동 측정 실험 구성도

그림 3-6 (a), (b)는 광섬유 Bragg격자에 온도를 가하였을 때 반사중심파장의 변화이동을 실험을 통하여 각 해당 온도에서 측정된 결과를 나타내었다. 그림 3-6 (a)는 온도변화를 -50°C 가하였을 때 중심파장은 1558.520nm 에서 1557.860nm 로 중심파장의 변화 차는 -0.660nm 로 변화되었으며, 선포는 약 1.5nm 이고, 반사도는 약 -30dB 이다.
 그림 3-6 (b)는 온도변화를 230°C 로 가하였을 때 중심파장으로 1558.340nm 에서 1560.560nm 로 중심파장의 변화 차는 2.220nm 로 이동하였고, 선포는 약 1.55nm 이고, 반사도는 약 -30dB 를 나타내었다.

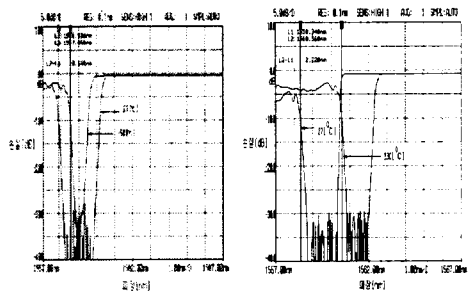


그림 3-6 (a) 27°C 와 -50°C 에서의 중심파장 변화
 그림 3-6 (b) 27°C 와 230°C 에서의 중심파장 변화

그림 3-7 (a), (b)는 광섬유 Bragg격자에 스트레인을 가하였을 때 반사중심파장의 변화이동을 실험을 통하여 각 해당 스트레인에서 측정된 결과를 나타내었다.
 그림 3-7 (a)는 스트레인 변화를 $0[\mu\epsilon]$ 과 $176.4[\mu\epsilon]$ 가하였을 때 중심파장은 1553.500nm 에서 1553.660nm 로 중심파장의 변화 차는 0.160nm 로 변화되었으며, 선포는 약 0.7nm 이고, 반사도는 약 -28dB 이다.

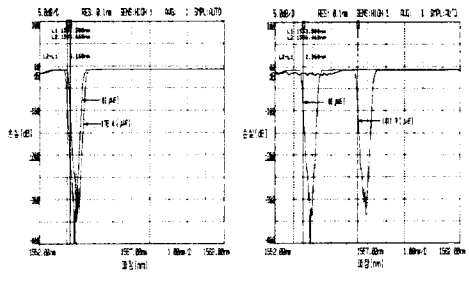


그림 3-7 (a) 스트레인이 $0[\mu\epsilon]$ 과 $176.4[\mu\epsilon]$ 인 경우 중심파장 변화
 그림 3-7 (b) 스트레인이 $0[\mu\epsilon]$ 과 $1411.7[\mu\epsilon]$ 인 경우 중심파장 변화

그림 3-7 (b)는 스트레인 변화를 $0[\mu\epsilon]$ 과 $1411.7[\mu\epsilon]$ 로 가하였을 때 중심파장으로 1553.500nm 에서 1566.460nm 로 중심파장의 변화 차는 2.960nm 로 이동하였고, 선포는 약 0.7nm 이고, 반사도는 약 -28dB 를 나타내었다.

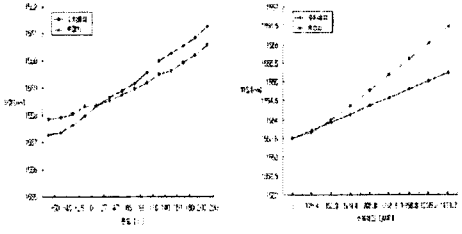


그림 3-8 (a) 시뮬레이션 및 실험을 통한 온도 변화에 따른 중심 파장의 변화
 그림 3-8 (b) 시뮬레이션 및 실험을 통한 스트레인 변화에 따른 중심파장 변화

그림 3-8(a)과 3-8(b)은 시뮬레이션 및 실험을 통한 각 해당 온도 및 스트레인을 가했을 때의 중심파장 변화와 그에 따른 중심파장의 변화 차, 선포, 반사도를 나타냈으며, 제시된 데이터에 준하여 시뮬레이션과 실험데이터에 대하여 비교분석하였다.

IV. 결론

광섬유 격자는 광섬유 코어에 형성된 굴절률 주기의 변화와 굴절률의 크기 변화에 의한 파장 선택도를 가지므로, 가해진 물리량에 의하여 굴절률의 크기와 주기의 변화가 있을 경우 그에 따른 Bragg 파장의 변화를 보인다. 가해진 물리량에 대한 Bragg 파장의 변화율은 선형적이며 광섬유에 새겨진 광섬유 Bragg 격자에 외부적으로 온도 및 스트레인 등의 물리적 에너지를 가하여 광섬유 격자소자의 Bragg 파장을 변화시켜 원하는 채널을 선택할 수 있는 채널 가변과 파장가변형 광 필터의 특성을 고찰하고 실험하였다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 온도의 변화($-50^{\circ}\text{C} \sim 230^{\circ}\text{C}$)에 있어서의 중심파장 변화 차는 2.220nm 로 나타났으며, 스트레인의 변화($0[\mu\epsilon] \sim 1411.7[\mu\epsilon]$)에 있어서의 중심파장 변화 차는 2.960nm 으로 나타났다. 온도와 스트레인을 통한 중심파장의 변화 차를 비교할 때 스트레인에 의한 변화가 더 많이 변화됨을 알 수 있다.

따라서 본 논문을 통한 온도와 스트레인 변화를 인가할 때 변화된 광섬유 Bragg 격자의 중심파장을 이용하여 파장가변형 광 필터를 활용할 경우 온도 보다는 스트레인에 의한 중심파장 변화 차를 이용한다면 보다 넓은 대역폭으로 다 채널을 확보할 수 있어 광통신 시스템 구축 시 매우 유용한 소자로서 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 장우순, "광대역통신망과 광통신기술" 도서출판 정일 pp 1-20, 326-331, 2002.
- [2] Jay N Damask and Hermann A Hause Wavelength Division Multiplexing using Channel Dropping Filters *J. Lightwave Technol.*, vol 11, No 3, pp 424-428, 1993.
- [3] 장우순, 정진호, "고밀도 파장분할 다중화 전송방식 (DWDM) 시스템을 위한 FBG 필터 설계에 관한 연구", 한국전자파학회, 제11권 제4호, pp 534-543, 2000.
- [4] Andreas Othonos Kyriacos Kalli "Fiber Bragg Gratings ARTECH HOUSE INC pp 98-99, pp194 2000.
- [5] M g xU "Discrimination between strain and temperature effects using dual wavelength fiber grating sensors Electron Lett vol 30, pp 1085-1087, 1994.
- [6] W W Morey et al "Fiber optic Bragg grating sensor Proc SPIE vol SPIE 1169 pp 98-107, 1989.
- [7] Y J Rao "Combined spatial and time division multiplexing scheme for fiber grating sensors with drift compensated phase sensitive detection Opt Lett vol 20, pp 2149-2151, 1995.