

## FBG를 이용한 Optical Filter 구현

이종윤, 신희성, 손용환, 이창원, 정진호  
 호서대학교 전자공학과  
 전화 : 041-540-5663 / 핸드폰 : 016-777-4352

### Implementation of the Optical Filter Using FBG

Jong-Youn Lee, Hee-Sung Shin, Yong-Hwan Son, Chang-Won Lee, Jin-Ho Jung  
 Dept. of Electronic Engineering, Hoseo University  
 E-mail : jongyoun0523@hanmail.net

#### Abstract

In this paper, we propose the FBG design using coupled mode theory based on perturbation theory. FBG can be used to extract the specific wavelength channel from the transmission line when many wavelengths are coupled in a multiwavelength transmission line. To analyze output characteristics of FBG and get optimum design data, we simulate through computer and verify by experiment. From the results obtained by simulation and experimentation, the proposed FBG fits for DWDM(Dense WDM) system because of the tuning narrow linewidth.

있고 제작과정이 간단하여 저비용, 소형, 경량의 광통신 시스템의 구성이 가능하며, 전송되는 광 신호의 접속 손실을 감소시킬 수 있다. 본 논문에서는 결합모드 이론과 결합 파동방정식을 이용하여 광의 전파와 결합 현상을 해석함으로써, FBG의 특성을 고찰하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 최적의 설계값을 제시하였다. 또한, 최적의 설계값을 적용한 소자를 직접 제작하여, 실험을 통해 그 결과를 비교, 분석하고자 한다.

#### I. 서론

급변하는 산업화와 정보화에 따른 통신속도, 초고속 인터넷 서비스 등으로 인해 급증하는 통신량을 원활히 전송하기 위해서는 광신호를 사용하는 광통신 시스템에 대한 연구가 중요시되고 있다. WDM 광통신 기술은 이러한 초고속 정보통신망의 구성을 위해 필요한 기술 중의 하나로서, 여러 개의 채널을 다중화하여 전송하고 수신측에서 다시 채널을 분리하는 기술을 말한다. FBG는 광신호중 특정파장만을 반사시키는 특성을 가지고 있기 때문에 광필터로써 매우 유용한 소자이다. 또한, 광 파이버 내부에 이러한 소자를 내장할 수

#### II. FBG의 이론적 고찰

FBG는 광 파이버 코어 내에 UV 레이저를 이용하여 주기적인 굴절률 변화를 영구적으로 줌으로써 주어진 조건에 따라 특정 파장을 반사시키고, 그 이외의 다른 파장은 투과시키는 특성을 나타내는 소자이다. 따라서, 필터를 설계하기에 매우 유용하며, 광 파이버 내부에 소자를 내장할 수 있기 때문에 시스템의 소형화, 경량화를 실현할 수 있는 장점이 있다[1]. 이러한 FBG의 해석을 위해서는 도파로를 통해 전송되는 광의 결합 현상을 해석하여야 한다.

그림 1은 이러한 FBG의 동작원리를 나타낸 것으로, 신호가 입력되면 특정파장의 공진조건에 의해 설정된 격자에 의해 선택된 파장은 반사되어 돌아가고, 그렇지 않은 파장은 진행한다.

광 파이버 격자는 간단히 광학 회절 격자로서, 각  $\theta_1$

으로 격자에 입사한 광은 아래의 격자방정식으로 설명된다[2],[3].

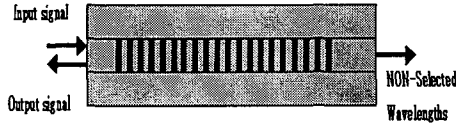


그림 1. 파이버 Bragg 격자의 동작원리  
Fig. 1. Principle of fiber Bragg grating.

$$n \sin \theta_2 = n \sin \theta_1 + m \frac{\lambda}{\Lambda} \quad (1)$$

여기서,  $\theta_2$ 는 회절된 파의 회절각이며,  $\Lambda$ 는 격자의 주기, 정수  $m$ 은 회절차수를 나타낸다. 두 모드가 동일하고 광 파이버 격자가 일반적으로 1차 회절에 의해 지배된다고 하면 Bragg 반사파장과 격자 주기와와의 관계는 다음 식으로 된다.

$$\lambda_B = 2 n_{eff} \Lambda \quad (2)$$

여기서,  $n_{eff} = n_1 \sin \theta_1$ 이며,  $n_1$ 은 코어의 굴절률이다.

이상과 같이 광 파이버 Bragg 격자에서 특정 파장의 빛이 반사되는 것을 수식적으로 고려하면 광섬유 내의 진행파와 반사파 사이에서 광의 결합이 일어남으로 인해 발생하는 현상으로 볼 수 있다[2],[4].

광 파이버 격자의 경우, 진행방향으로 진행하는 파와 격자에서 반사되어 되돌아오는 파가 포함되므로 광 필드는 아래 식의 형태로 표현된다.

$$E(z) = A(z) \exp(iqz) + B(z) \exp(-iqz) \quad (3)$$

여기서,  $A$ 와  $B$ 는 각각 진행하는 파와 격자에 의해 반사되는 파의 진폭을 나타내고,  $q$ 는 전파상수,  $z$ 는 진행방향을 나타낸다.

식 (3)에 의해서 식 (4a), (4b)와 같은 결합 파동방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{dA}{dz} = i\delta A + ikB \quad (4a)$$

$$\frac{dB}{dz} = -i\delta B - ik^* A \quad (4b)$$

여기서,  $\delta$ 는 Bragg 파장에서 모드의 동조이탈계수이고,  $k$ 는 결합계수이다.

결합 파동방정식을 통해 각 진행파와 반사파가 격자를  $z$  방향으로  $L$  만큼 진행했을 때의 파와 격자의 입력 단에서의 파와의 관계를 알 수 있다. 이 결합 파동방정식을 풀고 매트릭스 해석법을 이용하여, 그 해를 매트릭스 형태로 정리하면 다음 식으로 된다[5].

$$\begin{bmatrix} A_{out} \\ B_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{in} \\ B_{in} \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서,  $S$  매트릭스는 광 파이버 Bragg 격자의 특성을 나타내는 전달 매트릭스이고, 결합모드 이론을 이용하면 각각의  $S$  매트릭스의 성분을 얻을 수 있다 [5],[6].

이때, 광 파이버 Bragg 격자를 투과하는 파와 반사되어 나오는 파의 세기는 경계조건  $B_{out} = 0$ 에 의해 다음과 같이 주어진다[1],[3].

$$T = \left| \frac{A_{out}}{A_{in}} \right|^2 = \left| S_{11} - \frac{S_{12} S_{21}}{S_{22}} \right|^2 \quad (6)$$

$$R = \left| \frac{B_{in}}{A_{in}} \right|^2 = \left| \frac{S_{21}}{S_{22}} \right|^2 \quad (7)$$

여기서  $T$ 는 투과율,  $R$ 은 반사율을 나타낸다.

### III. 시뮬레이션 수치해석

본 장에서는 최적 설계데이터를 얻기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 제시한 FBG의 출력특성을 고찰한다.

중심파장이 1548nm일 때의 굴절률 차와 격자의 길이의 조절에 따른 선폭과 사이드로브의 변화를 시뮬레이션 하였다.

그림 2, 3의 결과에서 굴절률차를  $2 \times 10^{-4}$ , 격자의 길이를 10mm로 할 경우, 선폭이 좁아지고 사이드로브값도 작아 인접 채널간의 누화에 의한 잡음이 적어져 DWDM 시스템에서도 적합함을 알 수 있었다. 또한, 식 (6), (7)을 이용하여 반사파장을 1548nm로 설정한 후, FBG 특성을 시뮬레이션 한 결과가 그림 4에 나타나 있으며, 이로부터 중심파장이 1548nm인 파장은 반

사되고, 그 이외의 다른 파장은 출력단에 나타남을 알 수 있다.

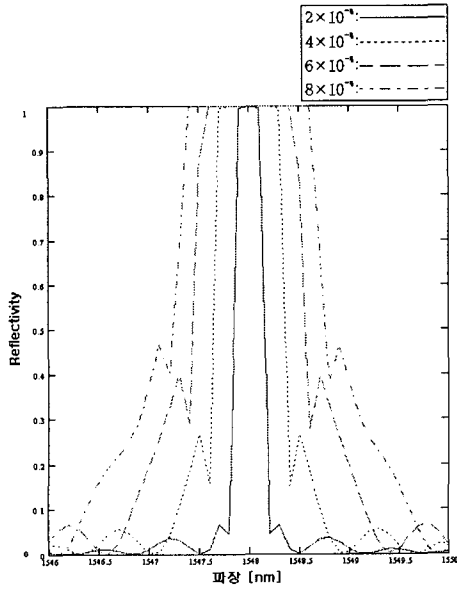


그림 2. 굴절률차에 따른 반사 스펙트럼  
Fig. 2. Reflection spectrums in various refractive

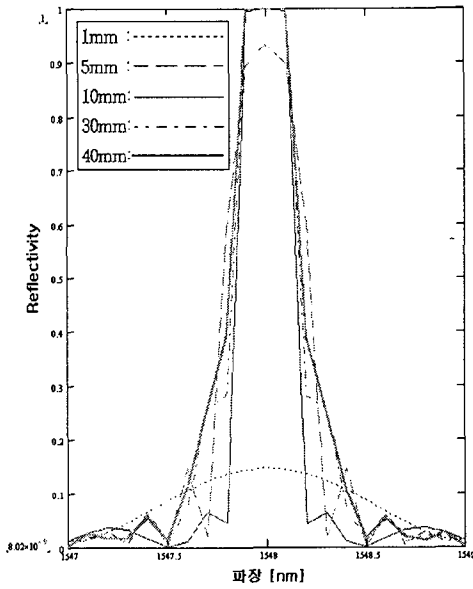


그림 3. 격자길이에 따른 반사 스펙트럼  
Fig. 3. Reflection spectrums in various

grating lengths.

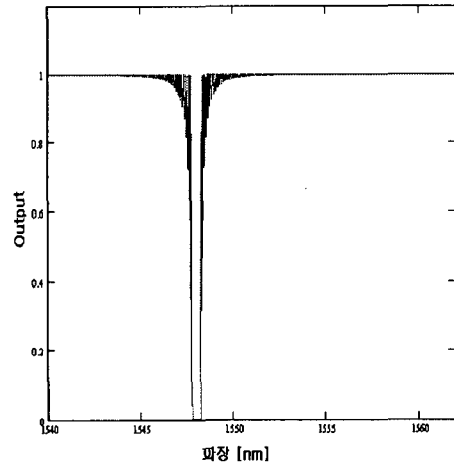


그림 4. FBG의 반사특성  
Fig. 4. Reflection spectrums of FBG

#### IV. FBG의 특성 실험 및 결과 고찰

본 절에서는 앞 장에서 제시한 설계 변수를 바탕으로 FBG 출력 스펙트럼을 측정함으로써 출력 특성을 고찰한다.

FBG의 특성 실험을 위해 그림 5과 같이 구성하여 측정하였다. 제작한 FBG 측정 결과를 그림 6에 나타내었으며 설계 파라미터는 표1 과 같다.

결과에 따른 출력특성은 1548nm의 파장이 약 26dB 까지 감쇠되어 반사가 이루어진 것을 볼 수 있으며, 따라서 시뮬레이션의 결과와 동일한 특성을 나타냄을 알 수 있다.

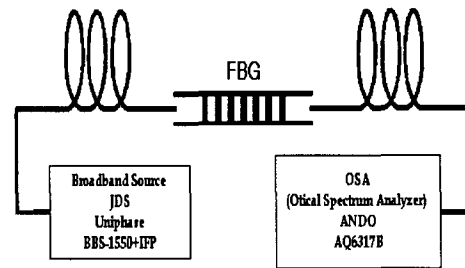


그림 5. FBG의 특성 실험도  
Fig. 5. Experiment setup for measuring of the

FBG characteristics.

설계변수	설계값
중심파장	1548nm
굴절률 차	$2 \times 10^{-4}$
격자길이	10mm
선폭	0.3nm
유효굴절률	1.44

표 1. 실험을 위한 설계 변수  
Table 1. Design Parameter for experimentation

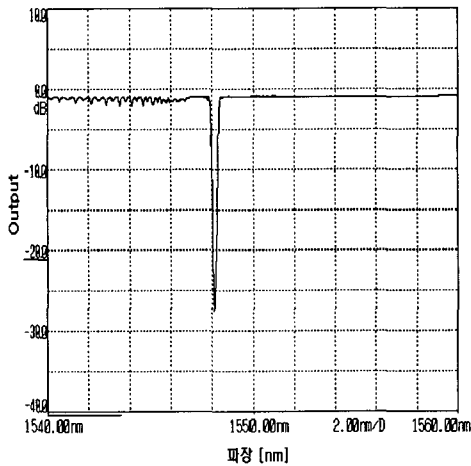


그림 6. FBG의 특성 실험도  
Fig. 6. Experiment setup for measuring of the FBG characteristics.

### V. 결론

본 논문에서는 FBG를 설계하고 구현하기 위해 결합 모드이론과 결합 파동방정식을 이용하여 FBG의 특성을 고찰하였고, 제시한 FBG의 최적 설계값을 도출하기 위해 이를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 최적의 설계값을 제시하였다.

실험 측정결과, 접속 손실 등으로 인한 손실을 제외하면, 그 특성이 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과와 동일함을 알 수 있었다. 따라서 본 논문의 결과 데이터들은 FBG filter의 설계와 구현에서 유용한 데이터로 이용될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

[1] 손용환, 신희성, 허주옥, 장우순, 정진호, "FBG를

이용한 DWDM용 광 Add-Drop 다중화기에 관한 연구", 대한전자공학회 하계학술대회 논문집, 제24권, 제 1호, pp. 237-240, 2001.

[2] M. Born and E. Wolf, Principles of Optics. New York, Pergamon, sec. 8.6.1, 1987.  
 [3] T. Erdogan and J. E. Sipe, "Tilted fiber phase gratings," J. Opt. Soc. Amer. A, Opt. Image Sci., vol. 13, no. 2, pp. 296-313, Feb. 1996.  
 [4] Raman Kashyap, Fiber Bragg Gratings. ACADEMIC PRESS, 1999, CH. 4.  
 [5] M. Yamada and K. Sakuda, "Analysis of almost periodic distributed feedback slab waveguides via a fundamental matrix approach," Appl. Opt., vol. 26, pp. 3474-3478, 1978.  
 [6] Govind P. Agrawal, and Andrew H. Bobeck, "Modeling of istributed Feedback Semiconductor Lasers with Axially Varying Parameters", J. of Quantum Electronics, vol. 24, No. 12, pp. 2407-2414, 1988.