

FBG를 이용한 광 써큘레이터에 관한 연구

김기중*, 손용환, 정진호
 호서대학교 전자공학과
 E-mail : mikika@hanmail.net

The Optical Circulator Using FBG

Kee-Joong Kim, Yong-Hwan Son, Jin-Ho Jung
 Dept. of Electronic Engineering, Hoseo University

Abstract

In this paper, we propose the optical circulator using OADM(optical add-drop multiplexer) and consider its output characteristics by computer simulation. The results obtained by computer simulation, show that the proposed optical circulator operates in WDM wavelength ranges (1530nm -1560nm) well.

Key words : OADM, Circulator,

I. 서론

광파이버 격자(FBG : fiber Bragg grating)와 광 Add/Drop 멀티플렉서(OADM : Optical Add/Drop multiplexer)는 초고속 정보전송 기술의 기반이 되는 WDM(wavelength division multiplexing) 광통신 기술에 필수적인 소자로서 그 중요성이 크게 부각되고 있다. 기존의 써큘레이터는 서로 다른 특성과 성질을 갖는 소자로 구성되어있다. 즉, 로테이터(rotator), 반사경 등으로 되어있기 때문에 이들을 이용하여 써큘레이터를 제작할 경우 부품의 제작 허용차가 매우 크고 극도로 정확한 위치에 적소하여야 하며 전체적인 사이즈가 커지게 되므로 상대적으로 제작비용이 비싸진다. 이에 반해 본 논문에서 제시한 FBG와 OADM을 이용한 써큘레이터는 광파이버로만 제작이 가능하기 때문에, 제품의 소형

화를 이룰 수 있고 제작비용이 현저히 감소되는 장점이 있다. 따라서, 본 논문에서는 초고속 광통신망을 구성하는데 있어서 원활하고 빠른 가입자간의 정보전송을 위한 디바이스로써 FBG를 이용한 OADM으로 광 써큘레이터를 구성하고, 그 특성에 대해 연구 고찰하고자 한다.

II. 광 Add/Drop 멀티플렉서

II-1 광파이버 브래그 격자

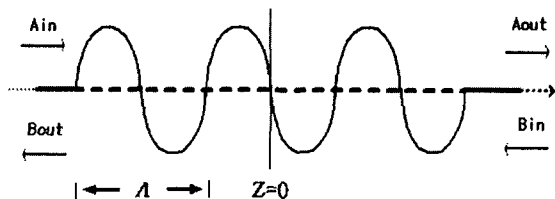


그림 1. 광파이버 브래그 격자에서 입력과 출력
 Fig. 1 Input and output FBG.

그림 1은 브래그 격자에서의 입력과 출력을 나타낸 것이다.

여기서, A_{in}, B_m 은 입력, A_{out}, B_{out} 은 출력이다.

이때, 입력과 출력의 전송 매트릭스는 다음과 같이 나타낼 수 있다[1].

$$\begin{bmatrix} A_{out} \\ B_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_m \\ B_m \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, S매트릭스는, 광파이버 Bragg 격자의 특성을 나타내는 전달 매트릭스이고 결합모드 이론을 이용하면 매트릭스의 성분은 아래 식과 같이 된다 [2].

$$S_{11} = \cosh(\alpha L) - \frac{i\zeta \sinh(\alpha L)}{\alpha} \quad (2)$$

$$S_{22} = \cosh(\alpha L) + \frac{i\zeta \sinh(\alpha L)}{\alpha} \quad (3)$$

$$S_{12} = -\frac{i\kappa \sinh(\alpha L)}{\alpha} \quad (4)$$

$$S_{21} = \frac{i\kappa \sinh(\alpha L)}{\alpha} \quad (5)$$

여기서, L 은 격자길이, κ 는 결합계수, ζ 는 반사계수이다. 또한, 경계조건 $B_{out} = 0$ 에 의해 투과계수(T)와 반사계수(R)는 다음 식과 같다[3].

$$T = (1 - R) = \left| \frac{A_{out}}{A_{in}} \right|^2 = \left| S_{11} - \frac{S_{12}S_{21}}{S_{22}} \right|^2 = \left| \frac{1}{S_{11}} \right|^2 \quad (6)$$

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

II-2. 광 Add / Drop 멀티플렉서 (OADM)

그림 2와 같이 OADM은 마흐젠더 간섭계(MZI : Mach-Zehnder interferometer)의 구조에서 두 광파이버 경로에 FBG를 새겨 구성될 수 있다.

그림 2의 OADM 입력단으로 여러 파장의 신호가 입력되면, 그 신호는 3dB 결합기를 지나 양쪽 경로로 나누어져 진행된다. FBG의 특성에 의해 특정 파장만 반사되어 drop 단자로 분리되고 나머지 파장은 다음 단의 3dB 결합기를 통과하여 output 단자로 출력된다. MZI의 특성에 의해 add 단자로 출력되지 않으며, add 단자로 입력된 특정파장은 FBG

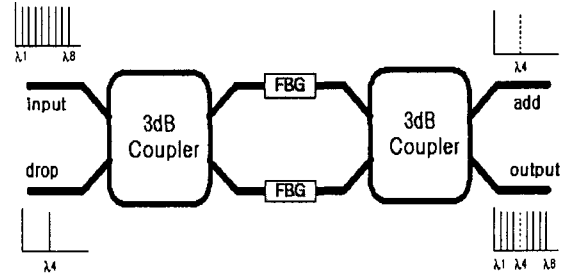


그림 2. OADM의 구성

Fig. 2 Schematic of OADM device.

에 반사되어 다시 output 단자로 출력되어, 초기 입력신호와 더해지는 기능을 하게 된다. FBG와 MZI의 특성에 의해, OADM 각 단에서의 출력특성을 수식적으로 나타내면 다음 식으로 된다[3,4].

$$Output = \left| \frac{e^{i(\phi_A + \phi_C)} + e^{i(\phi_B + \phi_D)}}{S_{22}} \times \frac{1}{2} \right|^2 \quad (8)$$

$$Add = \left| \frac{e^{i(\phi_A + \phi_C)} + e^{i(\phi_B + \phi_D)}}{S_{22}} \times \frac{1}{2} \right|^2 \quad (9)$$

$$Drop = \left| \frac{S_{21}}{S_{22}} \times (e^{i\phi_A} + e^{i\phi_B}) \times \frac{1}{2} \right|^2 \quad (10)$$

여기서, S_{mn} 은 FBG의 전달 매트릭스 성분이며, S 매트릭스의 각 성분은 식 (2)~(5)에 나타나 있다. 또한, $\phi_A, \phi_B, \phi_C, \phi_D$ 는 FBG의 전단과 후단에서의 양쪽의 경로차이에 의한 위상변화이다.

III. Optical Circulator

III.1 Optical Circulator의 동작원리

그림 3은 3 Port circulator를 나타낸 것이다.

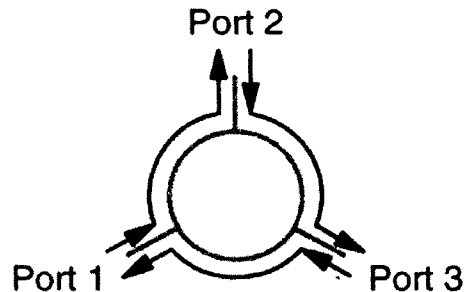


그림 3. 3 Port circulator
Fig. 3 Three port circulator

그림 3으로부터 port 1에 광이 입사하면 port 2로 출력되고 다른 port로는 출력되지 않으며, port 2로 입사하면 port 3으로, port 3으로 입사하면 포트 1로 출력된다. 즉, 이 장치는 대칭적으로 동작한다. 전송되는 광은 분극기에서 Faraday rotator에 의해 특별한 방향으로 회전하게 된다. 따라서, 광이 정반대의 방향으로 Faraday rotator에 입사하면 그것의 정반대 방향으로 회전하게 되어 circulator로 동작하게 된다.

III.2 OADM을 이용한 Optical Circulator

본 논문에서는 그림 4와 같이 광파이버만을 이용하여 써큘레이터를 구성하였다.

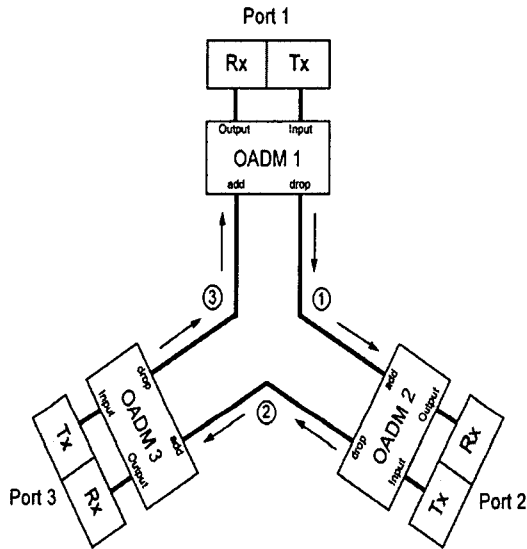


그림 4. OADM을 이용한 써큘레이터
Fig. 4 The circulator using OADM.

그림 4의 써큘레이터는 포트 1의 송신 Tx 단자로 광신호가 입력되면 OADM1의 input 단자로 광신호가 들어가게 된다. OADM의 동작 특성에 따라 input 단자로 들어간 광신호중에서 OADM내의 FBG 파장과 일치한 파장은 drop 단자로 나오게 된다. 광파이버를 통해 ①의 경로를 따라 전파된 광신호는 OADM2의 add 단자로 들어가게 된다. OADM의 특성에 따라 add 단자로 들어간 광은 output 단자로 나오게 되므로 OADM2의 output 단자로 나오게 된다. OADM2의 output 단자에 Rx 수신부를 연결해 놓았다.

결국, 포트 1의 송신부를 들어간 광신호는 포트 2의 수신부로 전송되게 된다. 이상과 같은 동작 원리에 의해 포트 2의 송신부로 들어간 광신호는 포트

3의 Rx로 전송되고, 포트 3의 Tx로 전송된 광신호는 포트 1의 Rx로 전송된다. 따라서, 광신호를 1→2, 2→3, 3→1으로 전송하는 특성을 보여준다. 이러한 특성은 앞 절에서 설명한 써큘레이터의 특징과 같다.

포트 1로 광신호 입력되었을 때, 각 포트에서의 출력특성은 다음 식으로 구해진다.

$$\frac{Output1}{Input1} = \frac{OADM_{output}}{OADM_{input}} \quad (11)$$

$$\frac{Output2}{Input1} = \left(\frac{OADM_{drop}}{OADM_{input}} \right)^2 \quad (12)$$

$$\frac{Output3}{Input1} = \left(\frac{OADM_{drop}}{OADM_{input}} \right) \times \left(\frac{OADM_{output}}{OADM_{input}} \right) \quad (13)$$

IV. 수치해석

현재 WDM시스템에서는 1530nm~1560nm의 파장 대를 사용하고 있으므로, 본 논문에서 제시한 써큘레이터가 이 파장 영역에서 사용될 수 있도록 설계하였다. FBG 반사특성에 의해, 격자길이는 10mm, 굴절률 차는 178×10^{-4} , 중심파장은 1545nm, 선폭은 30nm로 설정하고, 식(6)과 (7)을 이용하여 반사특성을 구하였으며, 그 결과가 그림 5에 나타나 있다.

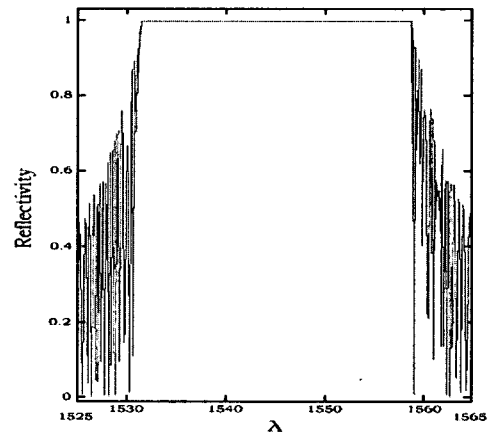


그림 5. 굴절률 차에 따른 반사 스펙트럼
Fig. 5 Reflective spectrum in FBG

본 논문에서는 이러한 조건의 FBG와 OADM으로 써큘레이터를 구성하여 수치해석하였다.

식 (8)-(10)과 식 (11)-(13)을 이용하여 포트 1로 광신호가 입력되었을 때, 각 포트의 Rx 단자에서의

출력특성이 그림6과 그림 7 그리고 그림 8에 각각 나타나 있다.

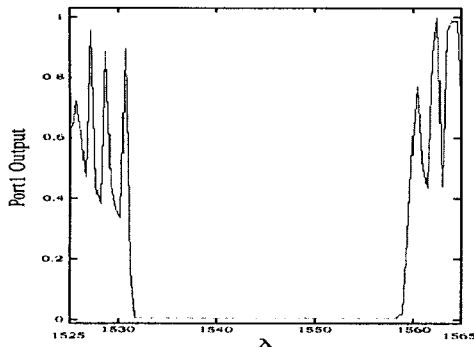


그림 6. 포트 1 Rx 단자에서의 출력 스펙트럼
Fig. 6 Output spectrum in Rx port of port 1.

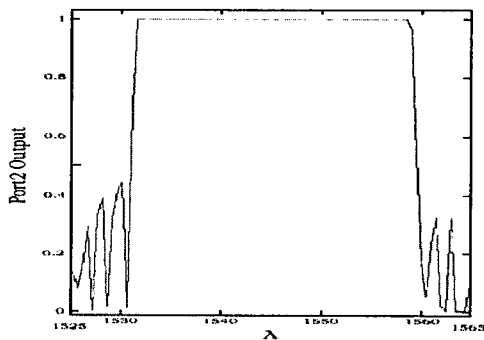


그림 7. 포트 2 Rx 단자에서의 출력 스펙트럼
Fig. 7 Output spectrum in Rx port of port 2.

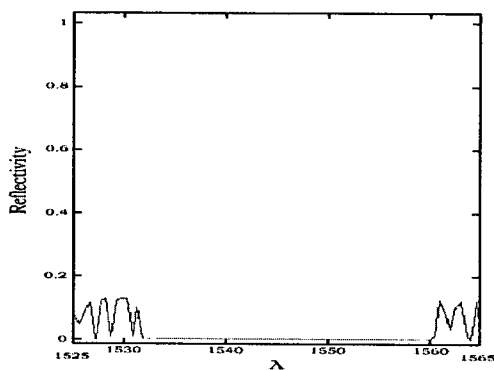


그림 8. 포트 3 Rx 단자에서의 출력 스펙트럼
Fig. 8 Output spectrum in Rx port of port 3.

V. 결 론

본 논문에서는 FBG와 OADM을 이용하여 광 써클레이터를 구성하였다. WDM에서 사용하고 있는 1530nm-1560nm 파장 대역에서 동작하기 위해서 선폭을 30nm 대로 구성하여 수치해석 한 결과를 보면, 포트 1의 Tx 단자로 입력 신호를 주면 포트 1 과 포트 3의 Rx 단자에서의 출력 스펙트럼 결과 파형인 그림 6과 8로부터 1530nm-1560nm대의 파장은 전송이 0, 즉 전송되지 않음을 확인 할 수 있고, 포트 2의 Rx 단자에서의 출력 스펙트럼 결과 파형인 그림 7로 부터 1530nm-1560nm 대의 파장은 전송이 1, 즉 모두 전송되었음을 알 수 있었다.

결과적으로 써클레이터의 동작 특성인 포트 1로 전송된 신호는 포트 2로만 전송되고 포트 1과 포트 3으로는 전송되지 않는 특성을 가지므로 본 논문에서 제안한 OADM을 이용한 광 써클레이터가 잘 동작되고 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] Govind P. Agrawal and N. K. Dutta, *semiconductor Laser*, New York, van Nostand Reinhold, chap. 7. 1993.
- [3] 손용환, 신희성, 허주옥, 장우순, 정진호, "FBG를 이용한 DWDM용 광 Add-Drop 다중화기에 관한 연구", 대한전자공학회 하계학술대회 논문집, 제24 권, 제 1호, pp. 237-240, 2001.
- [4] F. Bilodeau, D. C. Johnson, S. Theriault, B. Malo, J. Albert and K. O. Hill, "An All-Fiber Dense-Wavelength-Division-Multiplexor/Demultiplexor Using Photoimprinted Bragg Grating", *IEEE photon. Technol. Lett.*, vol. 7, No. 4, pp. 388-390, Apr. 1995