

광섬유 커플러 ADM의 연산자 분리 시영역 해석 및 설계

강 준 환

광운대학교 전자통신공학과/전자공학부

Split-Step Time-Domain Analysis and Design of Fiber-optical Coupler ADM

Joon-Hwan Kang

Dept. of Electronic Communications Eng., School of Electronics Eng., Kwangwoon University

Abstract - 연산자 분리 시영역 모델을 이용하여 광섬유 커플러 ADM(add-drop multiplexer)의 필터링 효과를 분석하였다. 이 모델은 방향성 결합기나 브래그 격자를 포함하는 소자의 해석에 유용하다. 본 논문에서는 비대칭 구조를 고려했으며 결합계수, 코어의 반경, 개구수, 굴절을 변조 등의 파라미터를 이용하여 최적의 필터링 효과를 얻기 위한 구조를 설계하였다.

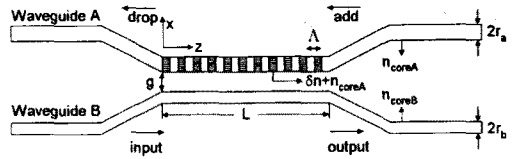


그림1. 비대칭 결합기 Add/Drop 필터

1. 서 론

WDM(wavelength-division multiplexing) 광통신 시스템을 이루는 핵심기술중의 하나는 add-drop multiplexer의 구현에 있다. 이중 가장 간단한 형태의 소자는, 4개의 단자(input port, output port, add port, drop port)를 가지고 있는 필터이며 그 중에서도 비대칭 결합기와 광섬유 격자를 이용한 구조는, 간섭계 구조가 아니기 때문에 제작이 용이하고 보다 안정된 특성을 보일 것으로 기대되어 많은 관심을 갖게 하고 있다 [1]. 본 논문에서는 시변결합 파동 방정식을 연산자 분리 시영역 모델을 이용하여 각 출력단에서의 파장특성을 구하는 방법을 이용하였다 [2].

$x_b = 0 \text{ cm}^{-1}$, $x_r = 7 \text{ cm}^{-1}$, $x_f^{ab} = x_f^{ba} = 5.236 \text{ cm}^{-1}$ 이고, 필터의 길이 L이 5mm일때의 전산모사 실험 결과, 유효굴절률 차이가 클수록 return loss가 작아지는 현상을 보이고 있다.

2. 본 론

2.1 비대칭구조 Add/Drop 필터의 원리

비대칭 결합기 Add/Drop 필터는 비대칭의 방향성 결합기의 한쪽 코어 영역에만 브래그 격자가 새겨진 구조를 갖고 있다. 이러한 구조의 경우, 두 광도파로의 코어 반경이나 굴절률 분포가 서로 다르기 때문에, 일반적으로 광파의 전이가 일어나지 않는다. 그러나 브래그 격자의 반사조건을 만족하는 파장성분의 경우 input port에서 drop port로 반사되어 나오고, 그 외의 파장성분은 output port로 나오게 되어 drop 기능을 수행하게 된다. 비슷한 원리로 add port에서 output port로의 add기능도 수행된다.

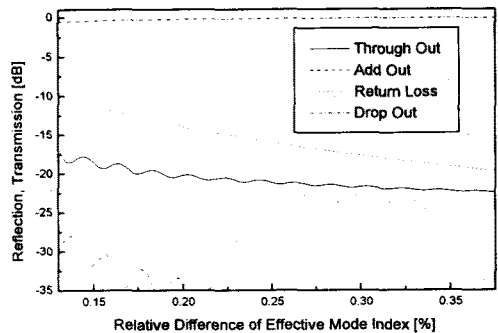


그림2. 유효굴절률의 상대차에 대한 필터 특성 ($\lambda = 1550 \text{ nm}$ 일때)

2.2 전산모사 실험

연산자 분리 시영역 모델을 이용하여 비대칭구조에서의 파장응답 특성을 해석하였다. 또한 최적화를 위한 조건을 알아 보고, 소자 설계에 필요한 파라미터를 정의하여 최적설계에 필요한 파라미터를 구한다.

2.2.1 유효굴절률 상대차에 대한 필터특성

그림 1은 비대칭 결합기 Add/Drop 필터의 해석을 위해 사용한 굴절률분포 및 좌표계를 나타내고 있다. δn 은 광도파로 A에 격자를 형성시키기 위해서 UV-빔을 조사하여 생긴 변조량이다. 광도파로 A, B내에서 진행되는 역방향 파동사이의 결합계수를 $x_{a,b}$, 두 도파로를 진행되는 역방향 파동사이의 결합계수를 x_r , 두 도파로 A 및 B내에서 같은 방향으로 진행되는 두 파동사이의 결합계수를 각각 x_f^{ab} , x_f^{ba} 라 할때 $x_a = 20 \text{ cm}^{-1}$,

2.2.2 결합계수의 계산과정

그림 2에서 유효 굴절률의 상대차가 클수록 우수한 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 조건을 만족하는 소자를 설계하기 위해 코어의 반경, 두 코어간의 간격, 개구수, 굴절을 변조 등의 파라미터를 도입하여 결합계수를 구한다. 두 광도파로의 간격에 따른 결합계수의 변화를 알아보기 위해서 다음과 같은 LP_{01} 모드의 전개분포를 가정한다.

$$E_x^a = A_a \exp\left(-\frac{(x-r_a-\frac{\delta}{2})^2 + y^2}{w_a^2}\right) \exp(-i\beta_0^a z) \quad (1a)$$

$$E_x^b = A_b \exp\left(-\frac{(x+r_b+\frac{\delta}{2})^2 + y^2}{w_b^2}\right) \exp(-i\beta_0^b z) \quad (1b)$$

$\beta_0^{a,b}$ 는 LP_{01} 모드일 때 광도파로 A, B에서의 전파상수이고, $w_{a,b}$ 는 전계의 반경으로서 spot size에 해당하며

$$\frac{w}{r} \cong 0.65 + 1.619 V^{-3/2} + 2.879 V^{-6} \quad (2)$$

를 이용하여 구할 수 있다. 여기서 r 은 광섬유의 반경이다. V 는 정규화 주파수(normalized frequency)이고 정규화상수 $A_{a,b}$ 는 정규화 조건

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi_{a,b}^2 ds = 1$$

$$\text{where, } \Psi_{a,b} = A_{a,b} \exp\left(-\frac{(x \mp r_{a,b} \mp \frac{r}{2})^2 + y^2}{w_{a,b}^2}\right) \quad (3)$$

을 도입하여 구할 수 있다. 또한 유효굴절율은 정규화 전파상수파라미터인 b 와 유효굴절율간의 관계식

$$n_{eff} \cong n_{clad} + b(n_{core} - n_{clad}) \quad (4)$$

을 이용하여 구할 수 있다. 이때 b 와 V 의 관계는 LP_{01} 모드일 때 근사적으로 다음과 같다.

$$b \cong (1.1428 - 0.9960/V)^2 \quad (5)$$

식 (4), (5)를 이용해서 클래드의 굴절율이 1.445일 때, 유효굴절율의 상대차가 약 0.3%이고 단일모드 특성을 만족하는 광도파로의 반경과 개구수를 구할 수 있으며, 그에 상응하는 spot size, 정규화 주파수, 정규화 전파상수등을 구할 수 있다. 결합계수는 다음과 같이 정의된다[3].

$$x_a = \frac{\omega \epsilon_0}{4\pi} \int_{S_a} (n_m^2 - n_{coreA}^2) \psi_a^2 ds \quad (6a)$$

$$x_b = \frac{\omega \epsilon_0}{4\pi} \int_{S_b} (n_m^2 - n_{coreA}^2) \psi_b^2 ds \quad (6b)$$

$$x_f^{ab} = \frac{\omega \epsilon_0}{4} \int_{S_a} (n_{avg}^2 - n_{clad}^2) \psi_a \psi_b ds \quad (6c)$$

$$x_f^{ba} = \frac{\omega \epsilon_0}{4} \int_{S_b} (n_{coreB}^2 - n_{clad}^2) \psi_a \psi_b ds \quad (6d)$$

$$x_r^{ab} = x_r^{ba} = \frac{\omega \epsilon_0}{4\pi} \int_{S_a} (n_m^2 - n_{coreA}^2) \psi_a \psi_b ds \quad (6e)$$

$$\text{where, } \psi_{a,b} = \sqrt{\frac{2\omega \mu}{\beta_{0,a,b}}} \Psi_{a,b} \quad (6f)$$

식 6에서 n_{avg} 는 코어 A의 굴절율 n_{coreA} 와, 변조된 굴절율 $n_m (= \delta n + n_{coreA})$ 의 평균값을 의미한다. δn 은 광도파로 A에 격자를 형성시키기 위해서 UV-빔을 조사하여 생긴 변조량이다[4].

2.3 최적화 설계

클래딩의 굴절율이 1.445, 광섬유 A의 NA가 0.18, 코어반경이 $3.28 \mu m$ 이고, 광섬유 B의 NA가 0.16, 코어반경이 $2.11 \mu m$ 일 때 유효 굴절율의 상대차는 약 0.3016%가 된다. 유효굴절율의 상대차가 0.3016%일 때, 두 광도파로의 간격에 따른 결합계수를 구하여 그림 3의 결과를 얻을 수 있다. 그림 3은 중심파장에서 두 광도파로의 간격 g 에 따른 각 출력 단에서의 반사, 투과 특성을 나타내고 있다. 두 광도파로의 간격이 $0.5 \sim 1.75 \mu m$ 일 때 입사광의 대부분이 Drop Output으로 반사되며, g 값이 커질수록 광결합 현상이 감소하여 코어 간의 간격이 $3 \mu m$ 이상이 되면 대부분의 파워가

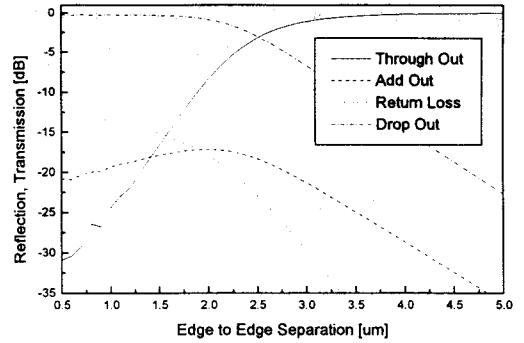


그림3. 두 광도파로의 간격에 대한 필터 특성 ($L=5 \text{ mm}$, $\lambda=1550 \text{ nm}$ 인 경우)

Through Output으로 빠져나가고 있다. 위 결과를 이용하여 적절한 두 광도파로의 간격을 정할 수 있다.

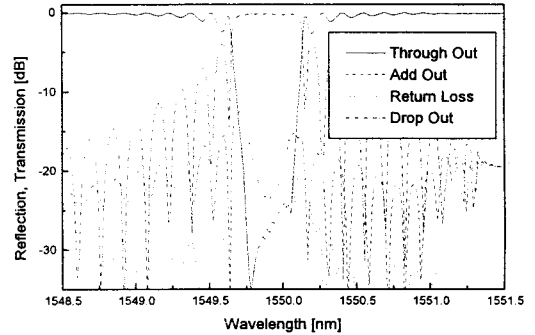


그림4. 파장에 대한 필터특성 ($L=5 \text{ mm}$, $g=1 \mu m$, 유효굴절율의 상대차가 0.3016%일 때)

그림 4에서는 설계된 소자의 각 출력 단에서의 파장 특성을 보이고 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 연산자 분리 시영역 모델을 이용하여 비대칭 결합기 Add/Drop 필터를 해석하고 설계하였다. 유효 굴절율의 상대차가 클수록 return loss가 줄어들고 있음을 보였으며, 결합계수등의 파라미터를 도입하여 단일 모드특성을 만족하는 범위내에서 최적 설계를 하였다. 본 연구의 결과는 방향성 결합기와 격자구조를 포함하는 다양한 형태의 Add/Drop Filter를 설계하고 해석하는데 유용하게 적용할 수 있을 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] Turan Erdogan, "Optical add-drop multiplexer based on asymmetric Bragg coupler", 157, 249-264, 1998
- [2] B. S. Kim, "Numerical Solution of Time-dependent Coupled-wave Equations Using Split-Step Algorithm", IEEE Electronics Letters, vol. 1, pp. 84-85, 1999
- [3] Giora Griffel, et al., "Coupled Mode Formulation for Directional Couplers with Longitudinal Perturbation", IEEE J. Quantum Electron., Vol. 27, pp. 985-994, 1991
- [4] Wen-Tao He, et al., "Novel Liquid Crystal Grating with a Relief Structure by a Simple UV Irradiation Process", Jpn.J.Appl.Phys. Vol. 37, pp. 4066-4069, 1998