

# 광섬유 비대칭 커플러 Add-drop Filter의 해석 및 설계

## Analysis and Design of Fiber-optic Asymmetric Coupler Add-drop Filter

강 준 환\*, 김 병 성, 정 영 철  
 광운대학교 전자통신공학과/전자공학부  
 kjh@opto.kwangwoon.ac.kr

WDM(wavelength-division multiplexing) 광통신 네트워크를 이루는 핵심기술중의 하나는 ADF(Add-drop Filter)의 구현에 있다. 광섬유격자와 여러형태의 구조를 이용한 ADF들 중에서도 비대칭 결합기와 광섬유 격자를 이용한 구조는, 간접계 구조가 아니기 때문에 제작이 용이하고 보다 안정된 특성을 보일 것으로 기대되어 많은 관심을 갖게 하고 있다<sup>(1)</sup>. 비대칭 결합기 구조의 경우, 두 광도파로의 코어 반경이나 굴절을 분포가 서로 다르기 때문에, 일반적으로 광파의 결합이 일어나지 않는다. 그러나 브래그 격자의 반사조건을 만족하는 파장성분의 경우 입력단(input port)에서 드롭단(drop port)으로 반사되어 나오고, 그 외의 파장성분은 출력단(output port)으로 나오게 되어 드롭 기능을 수행하게 된다. 비슷한 원리로 add port에서 출력단으로의 add 기능도 수행된다. 본 논문에서는 연산자 분리 시영역 모델<sup>(2)</sup>을 이용하여 비대칭구조에서의 파장응답 특성을 해석하였다. 또한 최적화를 위한 조건을 알아 보고, 소자 설계에 필요한 파라미터를 정의하여 최적설계에 필요한 파라미터를 구하였다.

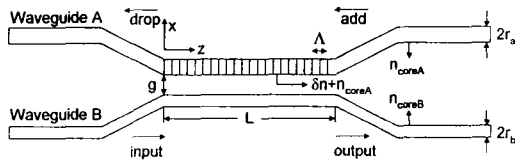


그림 1. 비대칭 결합기 Add/Drop 필터

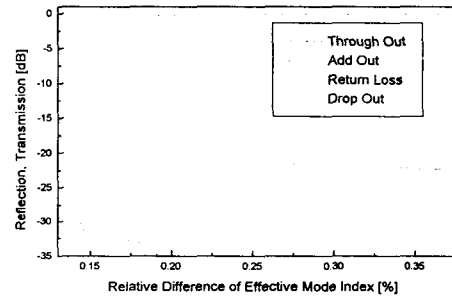


그림 2. 두 광도파로의 간격에 대한 필터 특성

그림 1에서  $\delta n$ 은 광도파로 A에 격자를 형성시키기 위해서 UV-빔을 조사하여 생긴 변조량이다. 광도파로 A, B내에서 진행되는 역방향 파동사이의 결합계수를  $\chi_{a,b}$ , 두 도파로를 진행하는 역방향 파동사이의 결합계수를  $\chi_r$ 이라 하고, 두 도파로 A 및 B내에서 같은 방향으로 진행되는 두 파동 사이의 결합계수들을 각각  $\chi_f^{ab}$ ,  $\chi_f^{ba}$ 라고 정의할 때,  $\chi_a = 20 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\chi_b = 0 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\chi_r = 7 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\chi_f^{ab} \cong \chi_f^{ba} = 5.236 \text{ cm}^{-1}$ 이고, 중심파장( $\lambda = 1550 \text{ nm}$ )에서 필터의 길이 L이 5mm일때의 시뮬레이션 결과, 그림 2에 보이는 바와 같이 유효굴절률 차이가 클수록 return loss가 작아지는 현상을 보이고 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 같이  $LP_{01}$  모드의 전개분포를 가우시안으로 가정한다.

$$E_x^a = \Psi_a(x, y)e^{-i\beta_0^a z} = A_a e^{-\frac{(x-r_a-\frac{g}{2})^2 + y^2}{w_a^2}} e^{-i\beta_0^a z} \quad (1a) \quad E_x^b = \Psi_b(x, y)e^{-i\beta_0^b z} = A_b e^{-\frac{(x+r_b+\frac{g}{2})^2 + y^2}{w_b^2}} e^{-i\beta_0^b z} \quad (1b)$$

$\beta_0^{a,b}$ 는 광도파로 A, B에서의 전파상수이고,  $w_{a,b}$ 는 모드 크기에 해당한다. 또한 비대칭 광섬유 커플러 격자에서 발생하는 각종 결합계수는 다음과 같이 정의된다.

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

$$x_f^{ab} = x_f^{ba} = \frac{\omega\epsilon_0}{4} \int_{S_a} (n_{avg}^2 - n_{clad}^2) \psi_a \psi_b ds \quad (2c) \quad x_r^{ab} = x_r^{ba} = \frac{\omega\epsilon_0}{4\pi} \int_{S_a} (n_m^2 - n_{coreA}^2) \psi_a \psi_b ds \quad (2d)$$

$$\text{where, } \psi_{a,b} = \sqrt{\frac{2\omega\mu}{\beta_0^{a,b}}} \Psi_{a,b} \quad (2e)$$

(2)에서  $n_{avg}$ 는 코어 A의 굴절을  $n_{coreA}$ 와, 변조된 굴절을  $n_m (= \delta n + n_{coreA})$ 의 평균값을 의미한다. 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 0.3%가 된다. 유효굴절율의 상대차가 0.3%일 때, 두 광도파로의 간격에 따른 결합계수를 구하여 그림 3과 같은 결과를 얻을 수 있다.

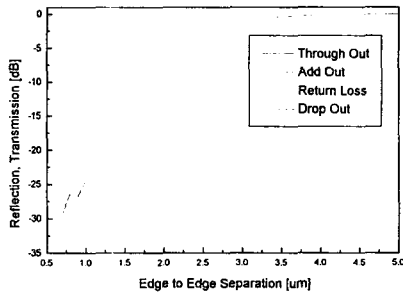


그림 3. 두 광도파로의 간격에 대한 필터 특성 ( $L=5 \text{ mm}$ ,  $\lambda=1550 \text{ nm}$ 인 경우)

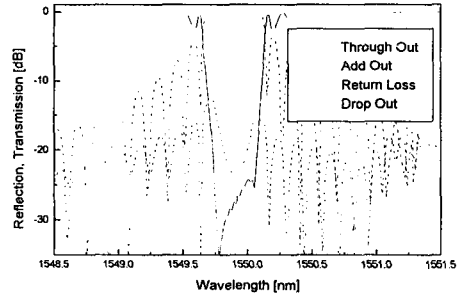


그림 4. 파장에 대한 필터 특성 ( $L=5 \text{ mm}$ ,  $g=1 \mu m$ , 유효굴절율의 상대차가 0.3%일 때)

그림 3은 중심파장에서 두 광도파로의 간격  $g$ 에 따른 각 출력 단자에서의 반사, 투과 특성을 나타내고 있다. 두 광도파로의 간격이  $0.5 \sim 1.75 \mu m$ 일 때 입사광의 대부분이 드롭단으로 반사되며,  $g$ 값이 커질수록 광결합 현상이 감소하여 코어간의 간격이  $3 \mu m$  이상이 되면 대부분의 파워가 통과단(through port)으로 빠져나가고 있다. 이상과 같은 결과로부터 적절한 두 광섬유의 간격을 정할 수 있으며, 본 논문에서는 간격이  $1 \mu m$ 인 경우를 고려한다. 그림 4에서는 설계된 소자의 각 출력 단자에서의 파장 특성을 보이고 있다. 즉 클래딩의 굴절율이 1.445, 광섬유 A의 NA가 0.18, 코어반경이  $3.28 \mu m$ 이고, 광섬유 B의 NA가 0.16, 코어반경이  $2.11 \mu m$ 이고 광섬유 간격은  $1 \mu m$ 인 경우의 파장에 따른 필터 특성을 연산자분리 시영역 모델<sup>(2)</sup>을 이용하여 계산한 결과이다.

<참고문헌>

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", IEE Electronics Letters, vol. 1, pp. 84-85, (1999).