

Taper형 결합계수분포를 갖는 GACC 광필터의 해석

정희원 최원석*, 정찬권*, 김선엽*, 노신래**, 손동희***, 강영진*

An Analysis of GACC Optical Filter with Tapered Coupling Coefficient Distribution

Won-Suk Choi*, Chan-gwoun Jeoung*, Sun-Youb Kim*, Shin-rae Rho**, Dong-Hee Shon***,
Young-jin Kang* *Regular Members*

요 약

많은 광통신 시스템의 응용들에서는 이웃한 채널과의 누화를 피하기 위해 side-lobe의 억제가 절실히 필요하다. 일반적인 균일형 광필터에서 큰 side-lobe는 급격한 구형파형의 coupling coefficient distribution $x(z)$ 으로 부터 발생된다. 그러므로 coupling coefficient distribution $x(z)$ 을 어떻게든지 변화시키면 상당한 양의 side-lobe의 감소가 예상된다. 따라서 본 논문에서는 다양한 형태의 coupling coefficient를 갖는 격자도움형 광필터에 관하여 연구를 수행하였다.

컴퓨터 시뮬레이션을 통해 균일형 GACC 광필터의 SSR은 1-stage의 경우 대략 -9dB, 2-stage의 경우는 대략 -18dB 이었고, 또한 테이퍼형 GACC 광필터는 1-stage의 경우 대략 -22dB, 2-stage의 경우는 -45dB정도이었다. 시뮬레이션 결과 균일형 GACC 광필터의 SSR(1-stage의 경우 대략 -9dB, 2-stage의 경우 -18dB)에 비해 본 논문에서 제안한 테이퍼 함수를 이용한 테이퍼형 GACC 광필터는 1-stage의 경우 대략 -22dB, 2-stage의 경우 대략 -45dB의 SSR을 얻을 수 있었다.

시뮬레이션 결과 본 논문에서 제안한 테이퍼 함수를 이용한 테이퍼형 GACC 필터가 기존의 균일형 GACC 광필터에 비해 27dB정도의 SSR의 향상이 있었다.

ABSTRACT

In many applications of optical communication systems, much lower levels of side-lobes are required so that cross-talk between adjacent channels can be avoided. In general uniform type optical filter, the important cause of the high side-lobes comes from the abrupt square coupling coefficient $x(z)$. Hence, If we can somehow change the shape it, the side-lobes should be significantly reduced. In this paper, we have theoretically investigated the performance of grating-assisted coupler optical filters with various coupling coefficient distributions.

From the computer simulation, the SSRs of the 1-stage and 2-stage uniform type GACC optical filters are about -9dB and -18dB, respectively, also the SSRs of the tapered GACC optical filters are about -22dB and -45dB, respectively.

I. 서론

최근 정보통신량의 급증추세에 따라 광통신의 중요성이 날로 더해지고 있다. 그러한 추세중 광통신

시스템은 소형화, 집적화를 통해 시스템의 전반적인 성능을 향상시키려는 연구가 활발히 진행되고 있고, 또한 광 통신망의 경제적 구성과 다양한 서비스를 할 수 있도록 레이저 다이오드, 증폭기, 격자 소자

* 원광대학교 전자공학과

** 정인대학 정보통신계열

*** 군장대학 전기전자통신학부

논문번호: 00388-1011, 접수일자: 2000년 10월 11일

* 본 논문은 1999년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 연구되었습니다.

들의 소자로 구성되는 광 집적회로가 광통신 그리고 광신호 처리 시스템을 위한 응용을 위해 폭 넓게 연구되고 있다.^[1] 그러한 소자들 가운데 파장 가변형 광필터는 전송 채널을 통해 입력되는 다양한 파장을 갖는 신호 중에서 원하는 신호만을 선택 가능케 하는 소자로서 현대의 광통신 시스템에서 그 중요성이 나날이 더해지고 있다.

현재는 다양한 형태와 구조를 갖는 많은 종류의 필터들이 연구되고 있는데, 그림 1과 같이 한 도파로에 입력된 광신호 중, 식 (1)의 위상정합조건을 만족하는 신호만 다른 도파로로 결합하여 출력이 된다는 동작원리를 갖는 격자도움형 방향성 결합기형(Grating-Assisted Codirectional Coupler) 필터^[2]에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

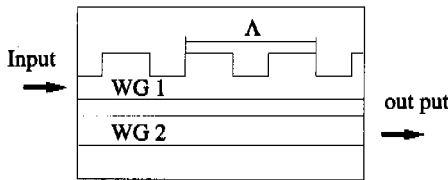


그림 1. GACC 필터의 개략도

$$\beta_1 - \beta_2 = \frac{2\pi}{\Lambda} \quad (1)$$

광통신 시스템에 사용하기 위한 광필터는 지나야 할 몇 가지 특성이 있는데, 그것은 바로 TE/TM 편광독립성, 넓은 파장 가변성, 좁은 파장 대역폭 그리고 낮은 레벨의 side-lobe이다.

광통신 시스템에서 이용되고 있는 많은 응용들에서는 이웃한 채널과의 누화를 피하기 위해 보다 낮은 레벨의 side-lobe가 요구되고 있고, 특히 광필터의 경우에는 side-lobe의 억제가 더욱 질실히 필요하다.

또한 전송채널인 광섬유를 통해서 전달되는 광신호는 랜덤한 편광상태를 지니므로 광통신 시스템에 사용되는 광필터는 입력 광의 편광상태에 상관없이 항상 일정한 중심파장과 파장대역폭을 유지해야하고 그러기 위해서는 TE/TM 편광독립성을 가져야 한다.

그림 1의 필터는 uniform coupling coefficient distribution κ 를 갖는 GACC 필터이다. 결합 강도와 필터의 응답은 간단한 푸리에 변환 관계를 통해 확인 할 수 있는데, 이러한 uniform형 필터는 격자주기 Λ 가 일정하기 때문에, coupling strength가 구형파 형태를 갖게되고, 그 응답에 side-lobe가 상당히 많이 존재하게 된다. 그러므로 필터의 coupling

strength를 Gaussian 함수 형태를 갖도록 하면 필터의 응답에 side-lobe가 줄어들게 될 것이다. 현재 많은 연구자들이 테이퍼형 결합계기 분포를 얻기 위한 방법이 많이 보고되고 있다.^{[3][4][5]}

본 연구에서는 먼저, 테이퍼형 결합계기 분포를 얻기 위한 격자구조와 격자구조에 적용하기 위한 다양한 형태의 taper function에 관하여 고찰하고 이러한 taper function을 양자화하는 순서를 제안하였다. 그리고 도파로 격자의 duty ratio를 조절하여 일반적인 uniform형 GACC 필터가 갖는 side-lobe 특성보다 훨씬 억제된 side-lobe 특성을 얻을 수 있음을 확인하였다.

II. Uniform Coupling Strength 분포를 갖는 GACC 필터의 응답

그림 2에 uniform coupling strength distribution을 갖는 GACC filter의 구조가 개략적으로 보이고 있다. 여기서 uniform이란 의미는 격자주기가 일정하다는 의미이다.

그림 2와 같은 perturbation을 갖는 도파로에서 섭동을 갖는 전계 $\vec{E}(x, y, z)$ 은 비섭동 전계 $\vec{e}(x, y)$ 를 이용하여 전개하면 식(2)와 같이 쓸 수 있다.^{[9][12]}

$$\vec{E}(x, y, z) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n(z) \exp(-j\beta_n z) \vec{e}(x, y) \quad (2)$$

여기서, β_n 는 unperturbed 전파상수

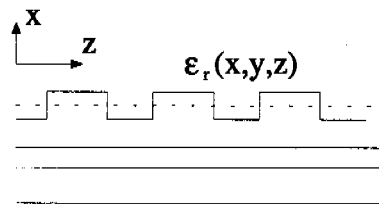


그림 2. 격자 섭동을 갖는 광 도파로

윗 식에서 모든 방사모드를 무시하면, 식 (2)는 식(3)과 같이 더욱 간략하게 쓸 수 있다.

$$\vec{E}(x, y, z) = A_1(z) \exp(-j\beta_1 z) \vec{e}_1(x, y) + A_2(z) \exp(-j\beta_2 z) \vec{e}_2(x, y) \quad (3)$$

섭동이 없는 상태에서의 비유전율을 $\epsilon_0^0(x, y, z)$ 이라고 가정하면, 시스템이 섭동을 갖게되면 비유전율

은 ϵ_r^o 에서 $\epsilon_r^o + \Delta\epsilon_r(x, y, z)$ 으로 변하게 된다. 여기서, $\Delta\epsilon_r(x, y, z)$ 은 식 (4)와 같이 주어진다.

$$\Delta\epsilon_r = \begin{cases} n \Delta n & -g/2 \leq x \leq 0, 0 \leq z \leq \Lambda/2 \\ -n \Delta n & 0 \leq x \leq g/2, \Lambda/2 \leq z \leq \Lambda \end{cases} \quad (4)$$

여기서, g 와 Λ 는 격자의 두께와 격자의 주기이고, $n = \frac{(n_{gra} + n_{cld})}{2}$, $\Delta n = n_{gra} - n_{cld}$ 이다. $\Delta\epsilon_r(x, y, z)$ 이 z 방향으로 주기성을 갖기 때문에, Fourier 급수로 전개하면 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta\epsilon_r(z) = \sum_{m=-\infty, \pm 3}^{\infty} j \frac{2n\Delta n}{\pi} \frac{1}{m} \exp\left(-jm \frac{2\pi}{\Lambda} z\right) \quad (5)$$

식 (3)과 (5)를 perturbation을 갖는 경우의 파동 방정식 식(6)에 대입하고, orthogonality property를 적용하면, 식 (7)의 두 개의 coupled mode equation을 얻을 수 있다.

$$\nabla^2 \vec{E} + \omega \mu \epsilon_0 [\epsilon_r^o + \Delta\epsilon_r] \vec{E} = 0 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dz} A_1(z) &= -j\kappa A_2(z) \exp(j\Delta\beta z) \\ \frac{d}{dz} A_2(z) &= -j\kappa^* A_1(z) \exp(j\Delta\beta z) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{여기서, } \Delta\beta(\lambda) = \beta_1(\lambda) - \beta_2(\lambda) - \frac{2\pi}{\Lambda} m,$$

$$\kappa = \frac{\omega}{4} \int_{\text{grating}} \vec{e}(x, y) \epsilon_o \epsilon_m \vec{e}(x, y) dx dy$$

식 (6), (7)로부터 식(8)의 이계 미분방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{dz^2} A_1 - j\Delta\beta \frac{d}{dz} A_1 + \kappa\kappa^* A_1 &= 0 \\ \frac{d^2}{dz^2} A_2 - j\Delta\beta \frac{d}{dz} A_2 + \kappa\kappa^* A_2 &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)의 일반해는 식(9)와 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} A_1(z) &= [C_1 \sin(sz) + C_2 \cos(sz)] \exp\left(j \frac{\Delta\beta}{2} z\right) \\ A_2(z) &= [C_3 \sin(sz) + C_4 \cos(sz)] \exp\left(-j \frac{\Delta\beta}{2} z\right) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서,

$$s = \kappa^* \kappa + \left(\frac{\Delta\beta}{2}\right)^2,$$

C : 경계조건을 통해 주어지는 상수

GACC filter 의 어떤 점 z 에서의 모드 크기를 식 (10)과 같이 정의하면, z 에서의 compound mode

의 크기는 식 (11)과 같이 쓸 수 있다.

$$a_i(z) = A_i(z) \exp(-j\beta z) \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} a_1(z) \\ a_2(z) \end{bmatrix} = \exp\left(-j \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} z\right) T \begin{bmatrix} a_1(0) \\ a_2(0) \end{bmatrix} \quad (11)$$

여기서,

$$T_{11} = \left[\cos(sz) - j \frac{\Delta\beta}{2s} \sin(sz) \right] \exp\left(-j \frac{\pi}{\Lambda} mz\right)$$

$$T_{12} = -j \frac{\kappa}{s} \sin(sz) \exp\left(-j \frac{\pi}{\Lambda} mz\right)$$

$$T_{21} = -j \kappa^* \sin(sz) \exp\left(j \frac{\pi}{\Lambda} mz\right)$$

$$T_{22} = \left[\cos(sz) + j \frac{\Delta\beta}{2s} \sin(sz) \right] \exp\left(j \frac{\pi}{\Lambda} mz\right)$$

이 때 $a_1(0) = 1$ 그리고 $a_2(0) = 0$ 이라고 하면, $z=L$ 에서 bottom guide의 mode amplitude는 식(12)와 같이 쓸 수 있다.

$$|a_2(L)|^2 = \frac{\kappa^* \kappa}{\kappa^* \kappa + \left(\frac{\Delta\beta}{2}\right)^2} \sin^2\left(\sqrt{\kappa^* \kappa + \left(\frac{\Delta\beta}{2}\right)^2} L\right) \quad (12)$$

위의 식으로부터 길이 L 을 갖는 uniform 형 GACC 필터의 응답 $R(L, \lambda)$ 를 나타낼 수 있다.

$$R(L, \lambda) = \frac{1}{1 + \sigma^2(\lambda)} \sin^2(|x(\lambda)| L \sqrt{1 + \sigma^2(\lambda)}) \quad (13)$$

$$\text{여기서, } \sigma(\lambda) = \frac{\beta_1(\lambda) - \beta_2(\lambda) - \frac{2\pi}{\Lambda} m}{2|x(\lambda)|} \quad (14)$$

만약, 중심파장 $\lambda = \lambda_c$ 에서 top 도파로에서 bottom 도파로로 광이 전송되는 필터의 경우에는 식 (13)으로부터 식 (15)와 (16)을 만족할 때 100%의 광전송이 일어난다.

$$\sigma(\lambda_c) = 0 \quad (15)$$

$$|x(\lambda_c)|L = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \dots \quad (16)$$

실제로 필터를 설계하는 경우에는, 필터의 크기가 최소화되어야 하므로 일반적으로 필터의 길이 L 은 식 (17)을 만족하는 경우를 선택한다.^[11]

$$|x(\lambda_c)|L = \frac{\pi}{2} \quad (17)$$

식 (14)와 (15)를 이용하면, 식 (18)의 관계를 얻을 수 있는데 이 식은 (1)식에서 설명한 위상정합조

전이다.

$$\beta_1(\lambda) - \beta_2(\lambda) - \frac{2\pi}{\Lambda} m = 0 \quad (18)$$

필터의 층 구조는 식 (17)을 만족하도록 결정해야 한다. 층 구조가 결정된 후에는, 식 (18)을 만족하는 범위 내에서 격자주기를 결정한다.

두 도파로의 전파상수 β_1 과 β_2 를 구한 후에는 필터의 FWHM(Full-Width Half-maximum)을 식 (13)과 (14)를 이용하여 식 (19)처럼 구할 수 있다.

$$\Delta\lambda_{1/2} \cong 0.8 \frac{\lambda_c}{L[n_{g1}(\lambda_c) - n_{g2}(\lambda_c)]} \quad (19)$$

여기서 n_{gi} 는 식 (20)처럼 주어지는 compound mode의 그룹 굴절율이다.

$$n_{gi} = n_i - \lambda \frac{\partial n_i}{\partial \lambda} \quad (20)$$

여기서 n_i 는 유효굴절율이다.

식 (19)는 필터길이 L 이 식 (17)을 만족하는 경우에 대해 고려하였으므로, 필터를 2-stage로 직렬로 연결하면 필터의 응답은 식 (13)에서 정의된 필터의 응답의 지승이 된다. 이를 통해 side-lobe가 절반으로 낮아지고, FWHM은 식 (21)처럼 더욱 더 줄어든다.^{[13][14]}

$$\Delta\lambda_{1/2} \cong 0.58 \frac{\lambda_c^2}{L[n_{g1}(\lambda_c) - n_{g2}(\lambda_c)]} \quad (21)$$

III. GACC filter의 tapered coupling coefficient distribution

1. Tapered coupling coefficient

식 (14)의 σ 는 변동폭이 매우 작기 때문에, 필터의 응답 $R(L, \lambda)$ 와 $|x(z)|$ 은 그림 3과 같은 Fourier Transform 관계로 표현할 수 있다.

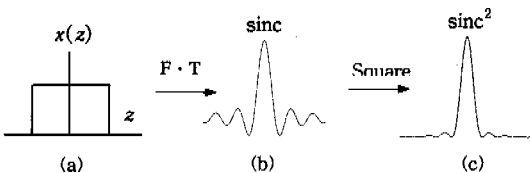


그림 3. 구형 coupling coefficient와 응답사이의 F·T관계

그림 3의 coupling coefficient의 모양을 그림 4와

같이 Gaussian function의 형태로 바꾸면 side-lobe는 급격하게 감소된다^{[6][7][18]}.

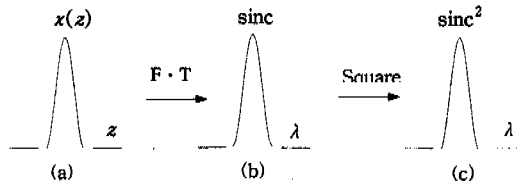


그림 4. Gaussian형 coupling coefficient와 응답사이의 F·T 관계

그림 4의 (a)와 같은 tapering coupling coefficient를 얻기 위한 방법은 여러 가지가 그림 5와 같이 여러 가지방법이 있는데, 그림 5의 방법들은 실제 도파로제작 공정에 적용하기 어렵다는 단점을 가지고 있다.

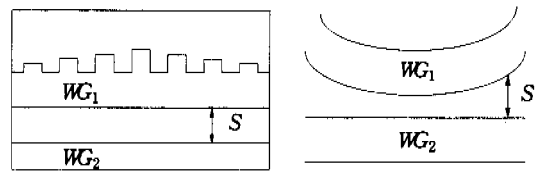


그림 5. 격자의 높이와 거리의 변화 시킨 구조

이에 본 연구에서는 그림 6과 같이 grating의 듀티비를 변화시키는 방법을 통해 tapered coupling coefficient를 얻었다^[3].

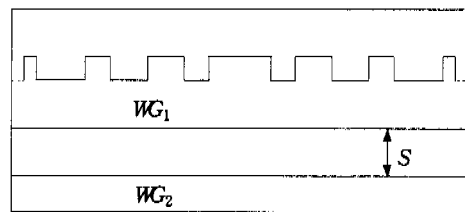


그림 6. 격자의 듀티비를 변화시킨 결합기 구조

그림 6과 같이 듀티비가 50%로부터 변화하게 되면, x 가 식 (22)와 같이 수정된다.

$$x = j \left[\frac{(n_{clad}^2 - n_{guide}^2)}{\lambda_c \sqrt{n_1^2 - n_2^2}} \frac{1}{m} \int_{grating} \vec{e}_1 \cdot \vec{e}_2 dx dy \right] \sin\left(\frac{\pi w}{\Lambda}\right) \quad (22)$$

식 (22)에서 나타난 것처럼, x 는 $\sin(\pi w/\Lambda)$ 에 비례하므로, w/Λ 를 변화시킴으로써 x 를 변화시킬 수 있다.

2. Taper function

식 (11)에서 푸리에 변환 관계를 통해 보다 우수한 SSR을 얻기 위해서는 taper function을 사용해야 함을 제안하였다. λ-영역에서 푸리에 변환된 함수의 SSR은 z-영역에서 함수가 필터의 끝 부분에서 점진적으로 감소될 때 더욱 더 줄어든다.

본 연구에서 side-lobe를 억제하기 위하여 사용된 tapering function은 다음과 같고, 그림 7에 나타나 있다^[10].

● Truncated Gaussian:

$$f(z) = 2.267 \exp\left[-\left(\frac{4z}{L}\right)^2\right] \quad -L/2 \leq z \leq L/2 \quad (23)$$

● Hamming :

$$f(z) = 1 + 0.852 \cos\left(\frac{2\pi}{L} z\right) \quad -L/2 \leq z \leq L/2 \quad (24)$$

● Little :

$$f(z) = \frac{2}{\pi} \sum_{j=1}^9 c_j \cos\left[\frac{(2j-1)\pi}{L} z\right] \quad -L/2 \leq z \leq L/2 \quad (25)$$

여기서,

$$c = \begin{bmatrix} 2.8824 \\ 1.4336 \\ -0.34817 \\ 5.484 \times 10^{-2} \\ 1.166 \times 10^{-2} \\ 2.622 \times 10^{-3} \\ 5.504 \times 10^{-4} \\ 1.3462 \times 10^{-4} \\ 2.22 \times 10^{-5} \end{bmatrix}$$

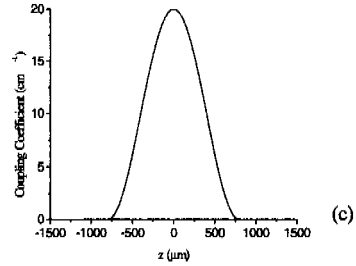
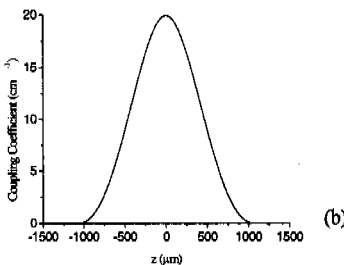
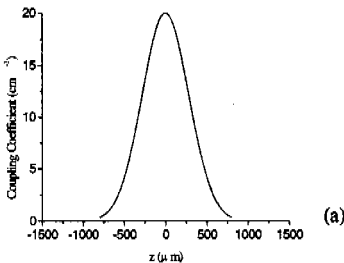


그림 7. 이상적인 taper 함수 (a) 절단 가우시안 (b) Hamming (c) Little

$\pi L = \pi/2$ 대신에 z방향에 의존하는 coupling coefficient를 갖는 GACC filter에서 power의 완전 전송을 위해 필요한 조건은 식 (26)과 같이 된다.

$$\int_{-L/2}^{L/2} x(z) dz = \pi/2 \quad (26)$$

여기서,

L : 필터의 길이

위의 taper function들이 식 (26)처럼 이미 정규화 되었으므로 tapered 결합 계수는 식 (27)처럼 된다.^[7]

$$x(z) = \frac{\pi}{2L} f(z) \quad (27)$$

3. Taper 함수의 양자화

앞에서 살펴본 연속적인 tapering function을 실제로 적용하기 위해서는 양자화가 필요하다. 양자화 시에 셀들의 수를 제한하는 요소는 다음의 세 가지가 있다. 첫 번째는 electron beam exposure system의 해상도이다. 만약 시스템의 해상도가 0.1 μm 라 하면 격자 주기 Λ는 0.1 μm의 정수배가 되어야 한다. 두 번째는 duty ratio는 격자주기가 최소 한 번 변환 후에 변화되어야 한다. 마지막으로 세 번째는 grating의 폭 w가 대략 1 μm가 되어야 한다는 것이다. 이것은 다음의 그림에서 보이는 것처럼 최소의 결합계수를 얻기 위한 것이다.

그림 (8)에 Gaussian taper function의 이상적인 그림과 양자화된 그림이 보이고 있다. 양자화 단계는 다음과 같다.

- i. 듀티비는 두 격자 주기마다 변화한다. 즉, Λ가 18 μm 라면 양자화간격은 36 μm가 된다.
- ii. 각 양자화 단계에서 양자화된 결합계수 $x_{quantized}$ 는 식(28)처럼 주어진다.

$$\int_{L_n}^{L_{n+1}} x(z) dz = x_{\text{quantized}}(L_{n+1} - L_n) \quad (28)$$

여기서, L_n 은 n번째 단계의 z 좌표이다.

iii. 양자화된 함수는 minimum feature size에 의해 설정된 최소의 결합계수에 도달하면 절단한다.

그림 8은 위에서 살펴본 과정을 통해 가우시안 함수를 양자와 한 그림이다.

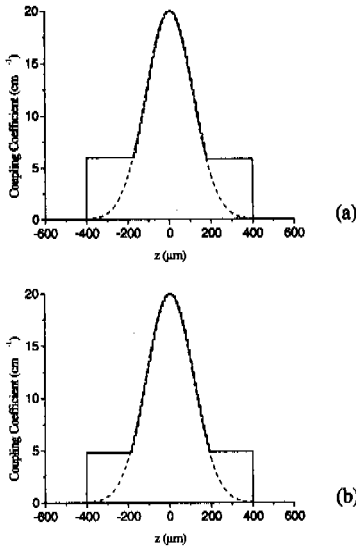


그림 8. 절단된 가우시안 taper 함수 (a) 2 μm feature size (b) 1.5 μm feature size

(4) 전송행렬

양자화된 taper function이 결정되면, 전송행렬을 이용하여 필터의 응답을 계산할 수 있다.

x 가 uniform인 coupler의 영역에서, 출력의 크기 $\vec{a}(L_{n+1})$ 는 전송행렬에 의해 입력 $\vec{a}(L_n)$ 과 식 (29)의 관계를 갖는다.

$$\vec{a}(L_{n+1}) = \Phi_n \vec{T}_n \vec{a}(L_n) \quad (29)$$

여기서, \vec{T}_n 은 식 (30)~(33)으로 주어지는 2x2 행렬이다.

$$T_{n11} = \left[\cos(sz_n) - j \frac{\Delta\beta}{2s} \sin(sz_n) \right] \exp\left(-j \frac{\pi}{\Lambda} m z_n\right) \quad (30)$$

$$T_{n12} = -j \frac{x}{s} \sin(sz_n) \exp\left(-j \frac{\pi}{\Lambda} m z_n\right) \quad (31)$$

$$T_{n22} = -j \frac{x^*}{s} \sin(sz_n) \exp\left(j \frac{\pi}{\Lambda} m z_n\right) \quad (32)$$

$$T_{n21} = \left[\cos(sz_n) + j \frac{\Delta\beta}{2s} \sin(sz_n) \right] \exp\left(j \frac{\pi}{\Lambda} m z_n\right) \quad (33)$$

여기서,

Φ_n : phase term

z_n : n번째 section의 길이

$$s = \sqrt{|x(\lambda)|^2 + \left(\frac{\Delta\beta(\lambda)}{2}\right)^2} \quad (34)$$

$$\Delta\beta(\lambda) = \beta_1(\lambda) - \beta_2(\lambda) - \frac{2\pi}{\Lambda} m \quad (35)$$

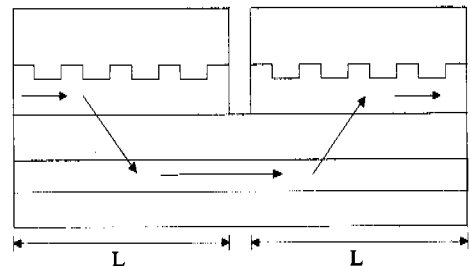
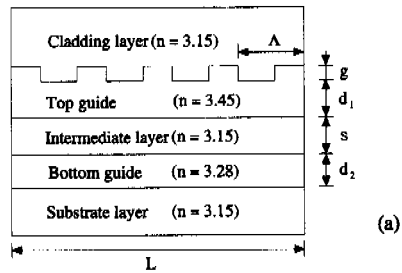
전체 전송행렬은 식 (36)처럼 모든 행렬을 곱함으로써 얻어진다.

$$\vec{T}_{\text{total}} = \vec{T}_n \vec{T}_{n-1} \cdots \vec{T}_1 \quad (36)$$

IV. 전산모의실험

1. 설계명세조건

본 연구한 GACC 필터의 2차원 개략도는 그림 9와 같다. (a)는 1-stage 필터의 경우이고, (b)는 2-stage의 경우이다.



(b)

그림 9. GACC 필터의 2차원 개략도 (a) 1-stage (b) 2-stage

그림 8의 필터의 각종 치수를 결정하는 설계명세 조건은 필터의 길이 L 을 고정한 경우에 대해 계산을 수행하는데, 계산 과정은 다음과 같다.

- i. 중심파장을 결정한다.
- ii. L 이 식 (17)로부터 결정되었으므로 $|x(\lambda_c)|$ 를 계산한다.
- iii. bottom 도파로의 두께 d_2 를 먼저 고정한 후, 원하는 top 도파로의 두께 d_1 을 선택한다. 그 후, 두 도파로의 간격 S 를 변화시켜 도파로 모드를 계산한다.
- iv. d_1 , d_2 그리고 S 가 결정되었으므로 $\beta_1(\lambda_c)$ 와 $\beta_2(\lambda_c)$ 를 계산한다. 그리고 원하는 격자주기는 식 (18)을 이용하여 계산하고, 또한 필터의 FWHM은 식 (19)와 (21)을 이용하여 계산한다.

그림 10은 1-stage 필터의 경우 길이 L 이 $800 \mu\text{m}$ 인 필터 길이에 대해 위의 과정을 통해 계산된 결과이다. 그리고 격자의 높이 g 는 350 \AA 이다. 모든 파라미터들은 서로 상관 관계를 가지고 있다. 예를 들어 1-stage 필터의 경우, d_1 과 d_2 를 각각 $0.28 \mu\text{m}$ 과 $0.3 \mu\text{m}$ 로 선택하면, $S = 1.04 \mu\text{m}$, $\Lambda = 16.2 \mu\text{m}$

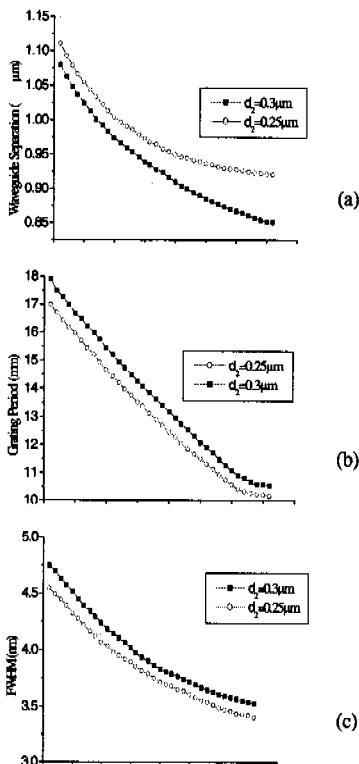


그림 10. GACC 필터의 설계 명세 (a) 도파로의 간격 S (b) 격자 주기 (c) 2-stage 필터의 FWHM

가 얻어지고, 필터의 FWHM은 2-stage의 경우 4.5 nm 가 얻어진다. 이것은 앞의 식(19)와 (21)에서 살펴본 바와 같이 좁은 FWHM을 얻기 위해서는 필터의 길이가 길어짐을 알 수 있다.

2. uniform 형 GACC 필터의 응답

그림 10의 설계조건에 기초하여, 필터의 응답은 식 (19)를 이용하여 계산할 수 있는데, 그림 11은 $800 \mu\text{m}$ 의 길이를 갖는 필터의 응답이다. 그림 11 (a)는 선형 응답이고, (b)는 log 응답을 나타낸 것이다. 그리고 점선은 1-stage 필터의 응답이고, 실선은 2-stage 필터의 응답이다. 이용된 파라미터는 $d_1=0.28 \mu\text{m}$, $d_2=0.3 \mu\text{m}$, $S=1.04 \mu\text{m}$ 그리고 $\Lambda=16.2 \mu\text{m}$ 이다. 부대엽억제율(Side-lobe Suppression Ratio : SSR)은 1-stage의 경우 대략 9dB, 2-stage의 경우 18dB정도이다. 2-stage 필터의 SSR이 보다 우수함을 확인 할 수 있다.

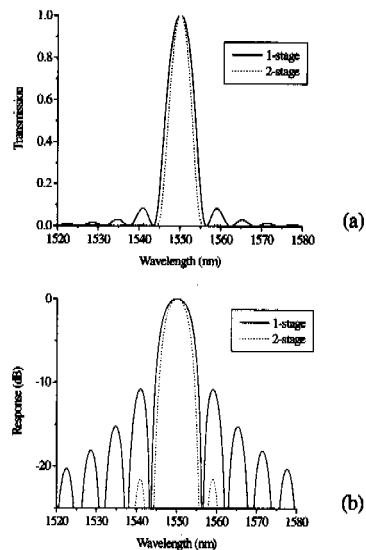


그림 11. Uniform형 GACC 필터의 응답 (a) 선형응답 (b) log 응답

3. taper형 GACC 필터의 응답

그림 11에 보이는 것처럼 uniform형 GACC 필터의 대략 1-stage의 경우 -9dB , 2-stage의 경우 -18dB 정도로 계산되었다. 그러나 많은 광통신응용들에서는 이웃한 채널과의 누화를 피하기 위해 보다 낮은 side-lobe가 요구된다. 이에 본 연구에서는 3장에서 살펴본 taper 구조를 이용하여 보다 낮은 side-lobe를 얻을 수 있음을 보였다. 표 1은 3-2절에서 살펴본 taper 함수중 Hamming 함수를 이용하여

격자주기와 duty ratio 그리고 격자의 수를 계산한 값이다. 이러한 격자의 값을 토대로 하여 taper형 GACC 필터의 응답을 계산하였다. 그림 12는 그림 8에서 보이는 양자화에 기초하여 필터의 응답을 계산한 것이다. 점선은 1-stage 필터의 응답이고, 실선은 2-stage 필터의 응답이다. 그림에서 보이는 바와 같이 필터의 SSR이 1-stage의 경우 22dB, 2-stage의 경우 45dB 정도로 그림 11의 uniform형 GACC 필터의 응답과 비교하여 SSR이 매우 많이 개선되었음을 확인할 수 있다.

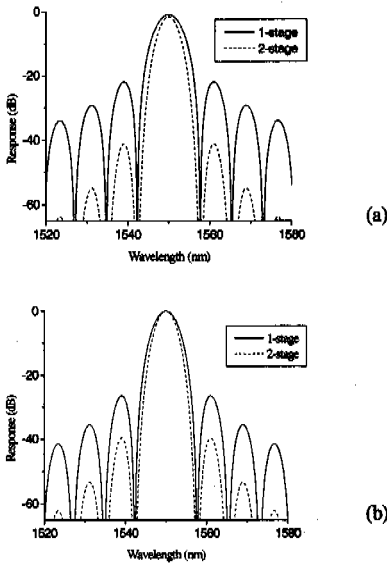


그림 12. 절단 가우시안 tapered GACC 필터의 응답
(a) 2 μm (b) 1.5 μm

그림 13과 14은 각각 Hamming과 Little function을 이용한 taper형 GACC 필터의 응답을 보이고 있다. 그림 12의 절단 가우시안 tapered GACC 필터의 응답과 비슷한 정도의 필터의 응답을 보이고 있다. 이러한 값은 현재 사용되고 있는 WDM 시스템에 충분히 적용할 수 있는 정도의 값이다.

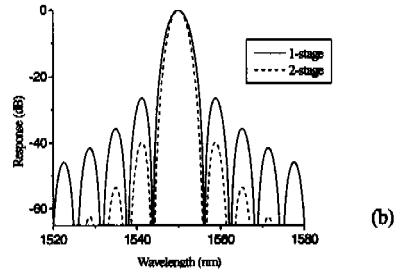
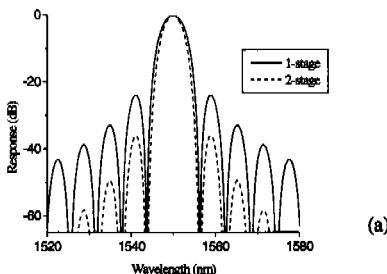


그림 13. Hamming taper형 GACC 필터의 응답
(a) 2 μm (b) 1.5 μm

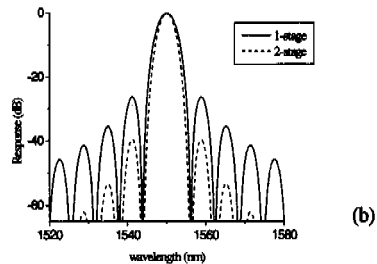
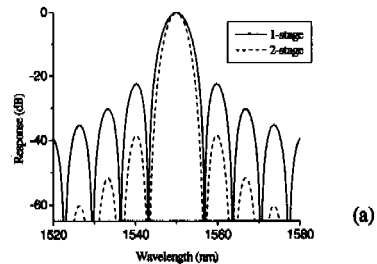


그림 14. Little taper형 GACC 필터의 응답
(a) 2 μm (b) 1.5 μm

V. 결론

본 논문에서는 실제의 WDM 시스템에서 발생할 수 있는 이웃한 채널과의 누화를 피하기 위해 GACC 광필터에 대해 연구를 수행하였다. 일반 uniform형 GACC 광필터의 구형파형태의 결합계수 분포로부터 발생하는 side-lobe를 억제하기 위해 본 논문에서는 다양한 형태의 taper 함수를 적용하여 side-lobe를 억제하는 방안에 대해 연구를 수행하였다.

또한 taper 함수를 실제의 도파로에 적용하기 위해 taper 함수를 양자화는 방법을 제안하였으면, 양자화된 taper 함수를 토대로 필터의 duty ratio를 조절함으로써 필터의 side-lobe를 보다 억제할 수 있었다.

시뮬레이션 결과 uniform형 GACC 필터의 SSR은 1-stage의 경우 9dB, 2-stage의 경우 18dB 정도를 보였으나, 본 논문에서 이용한 다양한 형태의 taper 함수를 적용한 taper형 GACC 필터의 SSR은 1-stage의 경우 대략 25dB, 2-stage의 경우 대략 45dB 이상의 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

따라서 실제의 WDM 시스템에 본 연구에서 제안한 taper형 GACC 필터를 적용하면, 이웃한 채널과의 누화를 효과적으로 피할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

[1] B. S. KIM "Split-step time domain analysis of optical waveguide devices composed of a directional coupler and gratings" optics letter vol. 25, no.8

[2] 김덕봉 "파장가변형 광필터의 설계와 제작" 부산대학교 박사학위논문 1998

[3] P. E. Green, Jr., "Fiber optics networks", Prentice Hall, New Jersey, 1993

[4] M. Horito "A tunable and narrow band optical add and drop multiplexer utilizing coupled semiconductor waveguides and a striped thin-film heater" 2nd Optoelectronics & Communications Conference (OECC'97) Technical Digest, July Seoul Korea, pp.4-5, 1997

[5] B. Broberg, "A novel integrated optics wavelength filter in InGaAsP-InP" IEEE J. Lightwave Tech. vol. 4, pp 196-203, 1986

[6] R. C. Alferness "Filter characteristics of codirectional coupled waveguides with weighted coupling" IEEE J. Quantum Electron., vol14 pp.843 1978

[7] R. C. Alferness "optical dicrectional coupling with weighted coupling" Appl. Phys. Lett., vol. 35, pp.260 1979

[8] H. Sakata "Sidelobe suppression in grating-assisted wavelength-selective coupler" Opt. Lett., vol. 17 1992

[9] A. Yariv, P. Yeh *Optical waves in Crystals* New York: Weley, 1984, pp 177-194

[10] A. V. Openheim *Digital Signal Processing*, Prentice-Hall, 1975

[11] B. E. Little "Synthesis of ideal window filter

response in grating assisted couplers" Opt Lett, vol. 21, 1996

[12] G. Griffel "Coupled mode formulation for directional coupler with longitudinal perturbation" IEEE J. Quantum Electron. vol. 27, pp. 985-994, 1991

[13] H. Sakata "Optimally designed layer formation for wavelength-selective photodetectors based on gratig-assisted coupling" Optical and Quantum Electron, vol. 28, pp. 1129-1138, 1996

[14] Q. Guo "Polarization-independent optical filters based on codirectional phase-shifted grating-assisted couplers : theory and designs" IEE Proc.-Optoelectron., vol 143, pp. 173-177 1996

최 원 석(Won-suk Choi) 정회원
1999년 2월 : 원광대학교 전자공학과 졸업
2000년3월~현재 : 원광대학교 전자공학과 석사과정
<주관심 분야> 광섬유, 광집적회로

정 찬 권(Chan-gwoun Jeong) 정회원
1996년 2월 : 원광대학교
전자공학과 졸업
1998년 2월 : 원광대학교
전자공학과 석사
1998년 3월~현재 : 원광대학교
전자공학과 박사과정



<주관심 분야> WDM통신방식 및 소자

노 신 래(Shin-rae Rho) 정회원
1990년 2월 : 원광대학교 전자공학과 졸업
1993년 2월 : 원광대학교 전자공학과 석사
1993년 8월~현재 : 원광대학교 전자공학과 박사과정
1997년 3월~현재 : 정인대학 정보통신계열 교수
<주관심 분야> WDM통신방식 및 소자

김 선 엽(Sun-youb Kim) 정회원
한국통신학회 논문집 제 22권 8호 참조

손 동 희(Dong-Hee Shon) 정회원
한국통신학회 논문집 제 22권 8호 참조

강 영 진(Young-jin Kwang) 정회원
한국통신학회 논문집 제 22권 8호 참조