

# DWDM용 FBG 필터의 스펙트럼 해석에 관한 연구

## Spectral Analysis of the Fiber Bragg Grating Filter for the Dense Wavelength Division Multiplexing

鄭琮來\*, 張眞賢\*\*, 孫榕皖\*\*\*, 李昌遠\*\*\*, 鄭鎮豪\*\*\*

( Jong-Rae Jung\*, Jin-Hyeon Jang\*\*, Yong-Hwan Son\*\*\*, Chang-Won Lee\*\*\*, and Jin-Ho Jung\*\*\* )

### 요 약

기존의 광통신 시스템을 DWDM에 사용할 경우, 인접 채널사이의 간격이 좁아 심한 간섭이 발생한다. FBG 필터를 사용하여 DWDM에서의 이러한 인접 채널간 간섭은 줄일 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 균일한 경우, 가우시안 apodized 경우, 상승-코사인 apodized 경우의 세가지 굴절률 변화에 대한 반사 스펙트럼을 구하였다. 본 논문에서 얻어진 결과로 부터, 균일한 FBG는 적합하지 않고, 최대 굴절률 변화량  $\sigma$  가 작을수록, 상승-코사인 apodized FBG 인 경우 변수  $C$  가 클수록, 가우시안 apodized FBG 인 경우 변수  $G$  가 클수록 DWDM용 협대역 필터에 적합함을 알 수 있었다.

또한, 상승-코사인 apodized FBG는 더 좁은 반사 스펙트럼 대역과 더 낮은 사이드로브를 갖기 때문에 가우시안 apodized FBG보다 더 우수한 특성을 갖음을 알 수 있었다.

### Abstract

When the current optical communication system is used for the DWDM, it raise the serious interference because an interval between the adjacent channels is narrow. The FBG filter for the DWDM is able to reduce the interferences between the adjacent channels. In this paper, therefore, we find the reflection spectrums for the three types of induced index changes, that is, uniform, Gaussian apodized, and raised-cosine apodized.

From the obtained results in this paper, we can see that uniform FBG does not fit, and that the smaller the maximum induced index change  $\sigma$  is and the larger the value of parameter  $C$  in the raised-cosine apodized FBG and  $G$  in the Gaussian apodized FBG are, the fitter they are on the narrow filter for DWDM.

But, we can also see that the raised-cosine apodized FBG has more excellent property than the Gaussian apodized FBG because it has the narrower maximum reflection spectrum band and the lower sidelobes than the other.

Keyword : DWDM, coupling coefficient, induced- index change, apodization, sidelobe.

\* 씨아이네트(株) (CI NET)

\*\* 建國大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering, Konkuk University)

\*\*\* 湖西大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering, Hoseo University)

接受日: 1999年4月1日, 修正完了日: 1999年7月5日

I. 서 론

오늘날 급증하는 정보량을 원활히 전송시키기 위해서는 정보전송 속도를 급격히 향상시킬 필요가 있으며, 이를 위해 선진국에서는 Tbps급 광통신 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 분야의 연구 일환으로 최근에 자외선 영역의 엑시머 레이저를 광섬유에 조사하여 주기적인 굴절을 변화가 일어나게 함<sup>[1][2][3][4]</sup>으로써 생성된 광섬유 브래그 격자는 전송되는 광신호의 접속손실을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 광섬유가 가지고 있는 장점인 저손실 및 광대역 특성에 의해 초고속 대용량 정보처리가 가능하며, 이에 대한 개발이 급속도로 진전되고 있다.

광섬유 브래그 격자는 광섬유를 도파하는 빛 중 특정 파장만을 반사시키는 특성을 가지고 있으므로 필터를 설계하기에 유용하다.

기존 광통신 시스템은 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)에 이용할 경우 채널 사이 간격이 좁아 간섭이 발생할 여지가 있다. 따라서, 이 DWDM(1530~1565nm)영역내에서 간섭을 일으키지 않는 협대역 투과 필터의 설계가 필요하며, 이를 위해 본 논문에서는 코어의 굴절율은 1.458 이고 클래딩의 굴절율은 1.45로 비굴절율 차가 낮으며, 코어의 반경은 2.625 μm, 클래딩의 반경은 62.5 μm인 단일모드 계단형 광섬유를 이용하여 격자의 주기는 0.5335 μm, 격자의 길이는 25cm인 경우에 대해 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 반사 스펙트럼을 분석하였다.

광섬유 격자는 격자에 형성된 굴절을 포락선 분포에 따라 균일(uniform)한 형태, 가우시안(Gaussian) apodized 형태, dc 레벨이 0인 상승-코사인 apodized(raised-cosine apodized with zero dc) 형태에 대해 고찰하였다.

II. 광섬유 격자에 대한 이론적 고찰

2.1 광섬유 격자 형성과 굴절율 분포

이 절에서는 광섬유 격자 형성 방법과 광섬유의 코어

에 새겨진 격자의 굴절을 분포에 대해 고찰한다. 광섬유에 격자를 새기는 방법에는 간접계를 이용한 방법과 위상 마스크 방법을 이용한 방법이 있으며, 그림 1의 위상 마스크를 이용한 제작방법은 간접계를 이용한 방법에 비해 간단하고 기계적으로 안정하며 낮은 코히어런스 레이저 광을 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다<sup>[5]</sup>.

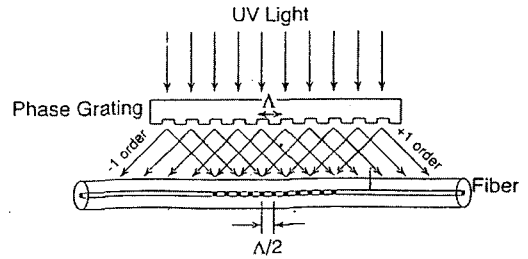


그림 1. 위상마스크를 이용한 방법

Fig. 1. Phase-Mask Method

이때, 광섬유 굴절을 분포에 관한 식은 다음 식과 같이 된다<sup>[2]</sup>.

$$n(r, z) = \begin{cases} n_1(z), & r \leq a_1 \\ n_2, & a_1 < r \leq a_2 \end{cases} \quad (1)$$

여기서,  $n_1(z) = n_1 \left\{ 1 + \sigma(z) \left[ 1 + \cos\left(\frac{-2\pi}{\Lambda} z\right) \right] \right\}$  이다. 식 (1)에서,  $n_1(z)$  는 z 방향으로 따라 굴절율 분포를 나타내며,  $n_1$  은 섭동이 없는 코어 굴절율(unperturbed core index)이고,  $\Lambda$  는 광 파이버 코어에 새겨진 격자 주기,  $a_1$  은 코어의 반경,  $a_2$  는 클래딩의 반경을 나타낸다. 또한,  $\sigma(z)$  는 느리게 변화하는 격자의 포락선으로 그림 2에 포락선의 형태에 따른 광섬유 격자의 굴절율 분포를 도시하였다.

그림 2(a)는 격자의 굴절율 포락선 분포가 균일한 형태, 그림 2(b)는 가우시안 apodized 형태, 그림 2(c)는 dc 레벨이 0인 상승-코사인 apodized 형태이다<sup>[6]</sup>.

그림 2(a)는 균일한 굴절율 포락선 분포로서  $\sigma(z)$  는 최대값인  $\sigma$  값을 가지는 균일한 형태이다.

그림 2(b)는 격자에 형성된 굴절율 포락선 분포가

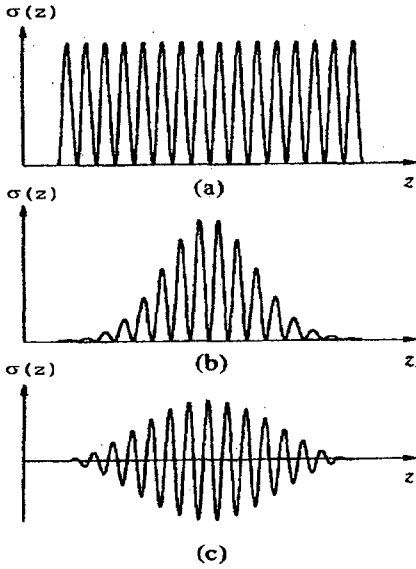


그림 2. 굴절을 포락선 분포의 여러 가지 유형  
 Fig. 2. Several types of induced-index change

가우시안 apodized한 경우를 갖는 광섬유 격자이다. 이때, 가우시안 분포는 다음 식과 같다.

$$\sigma(z) = \sigma \exp\left[-G\left(\frac{z}{L}\right)^2\right] \quad (2)$$

여기서,  $\sigma$ 는  $\sigma(z)$ 의 최대값,  $L$ 은 광섬유 격자소자의 전체 길이로 광섬유 격자소자의 시작점은  $z = -L/2$ 인 지점이고 끝점은  $z = L/2$ 인 지점이다.  $G$ 는 가우시안 윈도우 파라미터(Gaussian window parameter)로써, 이 값이 클수록 광섬유 격자소자의 시작점과 중심점의 굴절을 변화량의 차이가 커지게 되어 apodization 정도가 커지게 된다.

그림 2(c)는 격자에 형성된 굴절을 포락선 분포가 dc 레벨이 0인 상승-코사인 apodized한 경우를 갖는 광섬유 격자로 함수의 형태는 다음 식과 같다.

$$\sigma(z) = \sigma \frac{1}{C} \left[ 1 + \cos\left(\frac{\pi z}{L}\right) \right] \quad (3)$$

여기서,  $C$ 는 상승-코사인 파라미터로써 가우시안 윈도우 파라미터와 마찬가지로 이 파라미터가 클수록 apodization 정도가 커지게 되고 나머지 변수 값들은 가우시안의 변수 값과 동일하다.

2.2 광 파이버 격자에서 전자파 전파

광 파이버를 통해 전파되는 광 필드는 맥스웰 방정식에 의해 결정된다. 광 파이버에서 빛의 전파를 설명하기 위해 맥스웰 방정식으로부터 파동방정식이 얻어지며, 아래의 파동방정식으로부터 광 파이버 내에서 광의 전파에 대해 알 수 있게 된다.

$$\nabla^2 \mathbf{E} + n^2(\omega) \frac{\omega^2}{c^2} \mathbf{E} = 0 \quad (4)$$

2.3 모드에 따른 유효굴절율과 전파상수

이 절에서는 계단형 굴절을 분포를 가지며 코어-클래딩 굴절율 차가 낮은 단일모드 광섬유에서 전파 모드에 따른 유효굴절율과 전파상수에 대해 고찰하고자 한다.

광섬유의 파라미터로써  $n_1$ 은 코어의 굴절율,  $n_2$ 는 클래딩의 굴절율,  $n_3$ 는 클래딩 밖의 굴절율이고,  $a_1, a_2$ 는 각각 코어와 클래딩의 반경을 나타낸다. 일반적으로, 격자를 형성시킬 때는 피복을 벗기어 코어와 클래딩에 자외선을 조사하므로,  $n_3$ 의 굴절율은 공기로써 그 값은 1이다.

광섬유내에 가이드된 모드에 대해 정규화된 주파수에 따른 정규화된 전파상수가 그림 3에 나타나 있다<sup>[7]</sup>. 본 논문에서는 단일모드 광섬유에 대해 고려하므로  $V$ 가 2.405보다 작아야 하고, 저차모드인  $LP_{01}$ 만을 가지므로  $LP_{01}$  모드에 대한 정규화된 전파상수는 다음의 관계식으로 부터 구해진다<sup>[8]</sup>.

$$W\sqrt{1-b} \frac{J_1(W\sqrt{1-b})}{J_0(W\sqrt{1-b})} = W\sqrt{b} \frac{K_1(W\sqrt{b})}{K_0(W\sqrt{b})} \quad (5)$$

여기서,  $J$ 는 1종 베셀함수이고,  $K$ 는 변형된 2종

베셀함수이다. 정규화된 주파수  $V$ 는  $(\frac{2\pi}{\lambda})a_1\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

이고, 정규화된 전파상수  $b$ 는  $\frac{n_{eff}^2 - n_2^2}{n_1^2 - n_2^2}$  이다.

위의 관계식에 의해 얻어진 정규화된 전파상수로부터  $LP_{01}$  모드에 대한 유효굴절율은 아래 식으로 된다.

$$n_{eff} = \sqrt{n_2^2 + b(n_1^2 - n_2^2)} \tag{6}$$

여기서, 유효굴절율은  $n_2 < n_{eff} < n_1$ 의 범위를 가지며,  $LP_{01}$  모드에 대한 전파상수는 다음 식으로 주어진다.

$$\beta_{01} = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)n_{eff} \tag{7}$$

선형 분극 (LP) 근사는 광섬유 코어에 가이드된 모드를 설명하기에 충분하므로 식 (5)의 관계식에 의해 정규화된 전파상수를 구하고, 식 (6)으로부터 유효굴절율을 얻고 식 (7)에 의해 전파상수  $\beta$ 를 얻을 수

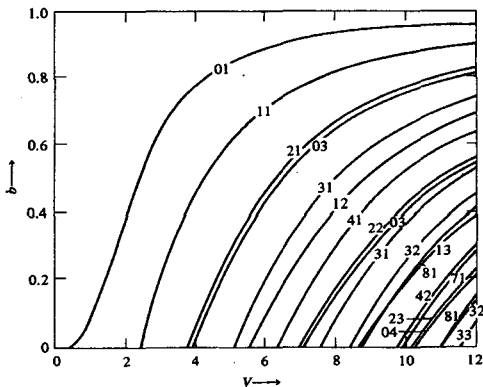


그림 3. 광섬유의 가이드된 모드에서 정규화된 주파수  $V$ 에 대한 정규화된 전파상수  $b$

Fig. 3. Normalized propagation constant  $b$  versus normalized frequency  $V$  for the guided modes of optical fiber

있다.

2.4 브래그 격자에서의 결합모드 이론

일반적으로 광섬유 브래그 격자는 단주기 광섬유 격자라 하며, 이 경우 코어에서 광섬유 축을 따라 가이드되는 모드 중에서 진행 방향으로 진행하는 모드와 반대방향으로 진행하는 모드사이에서 결합이 일어나게 되며, 광섬유 브래그 격자에서 코어간 결합이 그림 4에 나타나 있다.

그림 4에서  $\theta_1$ 은 광섬유 축을 따라 진행하는  $LP_{01}$  모드의 각이며,  $\theta_2$ 는 이 모드와 반대방향으로 진행하는 모드의 각을 나타낸다.

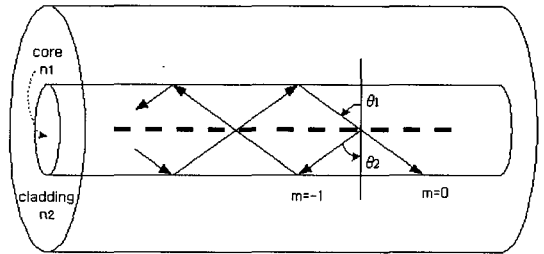


그림 4. 광섬유 브래그 격자에서 코어 모드간 결합  
Fig. 4. Coupling between core-modes in a fiber Bragg grating

광섬유 격자의 경우, 전진파와 후진파가 포함되므로 식(4)의 해 전개  $\mathbf{E}$ 는 아래의 형태로 표현된다.

$$\mathbf{E}(r) = F(x, y) [ \mathbf{A}_f \exp(i\beta_g z) + \mathbf{A}_b \exp(-i\beta_g z) ] \tag{8}$$

반대방향으로 전파하는 두 전자파의 횡방향 변화는 동일한 모드 분포(modal distribution)  $F(x, y)$ 를 가지고,  $\beta_g = m\pi/\Lambda$ 는 격자 파수를 나타내며, 여기서  $m$ 은 정수이다.

식 (4)에 식(8)를 대입함으로써 결합모드 방정식

(coupled mode equation)은 다음 식과 같이 된다.

$$\frac{\partial \mathbf{A}_f}{\partial z} = i\delta\beta \mathbf{A}_f + ix \mathbf{A}_b \quad (9a)$$

$$-\frac{\partial \mathbf{A}_b}{\partial z} = i\delta\beta \mathbf{A}_b + ix \mathbf{A}_f \quad (9b)$$

여기서,  $\delta\beta = \beta(\omega) - \beta_g$ 는  $\omega$ 에 대한 동조(detuning)이며, 결합계수(coupling coefficient)는 다음 식과 같이 된다.

$$\kappa = \frac{k_0 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \sigma(z) |F(x, y)|^2 dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |F(x, y)|^2 dx dy} \quad (10)$$

일반적으로, 결합계수  $\kappa$ 는 광에 의해 형성된 굴절을 변화가 코어영역에서 균일하지 않을 때 발생하는 굴절을 포락선 분포  $\sigma(z)$ 를 포함한다. 따라서, 격자에 형성된 굴절을 포락선 분포가 균일한 경우에는 상수  $\sigma$ 와  $k_0 = 2\pi/\lambda$ 를 사용하면  $\kappa = 2\pi\sigma/\lambda$ 로 된다. 또한, apodized된 형태의 굴절을 포락선 분포를 갖는 격자는 식 (1)에 나타나 있다.

광섬유 격자의 반사도는 경계조건을 사용함으로써 결정되는데, 길이  $L$ 인 격자에 입사파가  $z=0$ 에 위치한다고 가정하면, 반사계수는 아래 식으로 된다.

$$r_g = \frac{\mathbf{A}_b(0)}{\mathbf{A}_f(0)} = \frac{ix \sin(qL)}{q \cos(qL) - i\delta\beta \sin(qL)} \quad (11)$$

여기서,  $q$ 는 다음 식으로 표현된다.

$$q = \pm [(\delta\beta)^2 - \kappa^2]^{1/2} \quad \text{이다.} \quad (12)$$

식 (11)의 반사계수에 의해 반사도를 1로 정규화를 시키면, 반사도는 다음 식으로 구해진다.

$$R = \left| \frac{ix \sin(qL)}{q \cos(qL) - i\delta\beta \sin(qL)} \right|^2 \quad (13)$$

한편, 스펙트럼 경계조건  $A_f(0)=0$ ,  $A_f(L)=1$ 에 의해 전송도는 다음 식으로 얻어진다.

$$T = \left| \frac{q}{q \cos(qL) - i\delta\beta \sin(qL)} \right|^2 \quad (14)$$

### III. 시뮬레이션 결과 및 고찰

이 장에서는 DWDM용 협대역 필터를 설계하기 위해 광섬유 브래그 격자의 설계조건을 표 1처럼 설정하였으며, 식 (13)을 이용하여 반사 스펙트럼을 고찰한다.

표 1. 시뮬레이션을 위한 FBG 변수들

Table 1. The FBG parameters for simulation.

설계 변수	설계 값
코어 반경	2.625 $\mu\text{m}$
클래딩 반경	62.5 $\mu\text{m}$
코어 굴절율	1.458
클래딩 굴절율	1.45
비굴절율 차	0.0055
격자 길이	25 mm
격자 주기	0.5335 $\mu\text{m}$

#### 3.1 격자의 굴절을 포락선 분포가 균일한 경우

이 절에서는 광섬유 코어내 격자의 굴절을 포락선 분포가 균일한 경우에 대한 스펙트럼을 구하였다. 이를 위해 식 (13)을 dB의 값으로 시뮬레이션하였으며, 그 결과가 그림 5에 나타나 있다.

그림 5의 결과로부터 실선인  $\sigma$ 가  $1 \times 10^{-3}$ 일 때 최대 반사스펙트럼은 1548.6~1550.7 [nm], 점선인  $\sigma$ 가  $7.5 \times 10^{-4}$  일 때 1548.9~1550.4 [nm]의 파장영역에서 최대 반사스펙트럼을 갖고, 일점쇄선인  $\sigma$ 가  $5 \times 10^{-4}$  일 때 최대 반사스펙트럼은

1549.2~1550.1 [nm]의 파장영역에서 측정됨을 알 수 있다. 각각의 세 가지 결과들로부터 이 절에서는 의한 광섬유 브래그 격자는 DWDM용 협대역 필터로써는 부적합하고 사이드로브(sidelobe)도 높은 값을 가짐을 볼 수 있다.

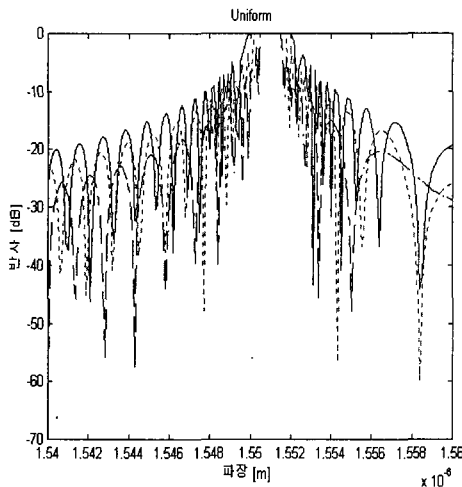


그림 5. 균일한 경우의 반사 스펙트럼  
Fig. 5. Reflection spectrum of gratings with Uniform Induced index change

3.2 격자의 굴절을 포락선 분포가 가우시안 apodized 한 경우

이 절에서는 광섬유 코어내 격자의 굴절을 포락선 분포가 가우시안 apodized한 경우에 대한 스펙트럼을 시뮬레이션 하였다. 가우시안 apodized한 경우 격자에 형성된 굴절을 변화식 (2)을 이용하였으며, 가우시안 파라미터  $G$ 를 10으로 설정하였을 때,  $\sigma$ 에 따른 시뮬레이션 결과가 그림 6에 나타나 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 DWDM 용 필터에 적합하다고 사료된다. 그러나,  $\sigma$ 값을  $5 \times 10^{-4}$ 로 하였을 경우 최대 반사 스펙트럼이 99.89%로 낮아짐을 알 수 있다.

$G$ 값을 크게 하여 apodized한 정도를 높여 최대 반사대역을 좁히고 사이드로브의 값을 낮출 수 있지만,  $\sigma$ 값이  $5 \times 10^{-4}$ 이고 가우시안 파라미터인  $G$ 값을

10 이상으로 하였을 경우는 최대 반사 스펙트럼이 100%에 도달하지 못하므로  $G$ 값과  $\sigma$ 값을 적절히 선택하여야 DWDM에 적합한 협대역 필터를 설계할 수 있을 것이다.

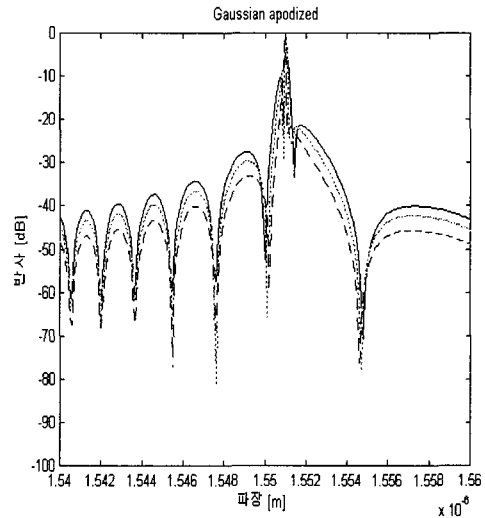


그림 6.  $G=10$ 으로 가우시안 apodized한 경우의 반사 스펙트럼  
Fig. 6. Reflection spectrum of gratings with Gaussian apodized Induced index change,  $G=10$

3.3 격자의 굴절을 포락선 분포가 상승-코사인 apodized 한 경우

이 절에서는 광섬유 코어내 격자의 굴절을 포락선 분포가 상승-코사인 apodized한 경우에 대한 스펙트럼을 시뮬레이션 하였다. 이 경우는 식 (3)를 이용하여 반사 스펙트럼을 고찰하였으며 그 결과가 그림 7에 나타나 있다. 아래의 그림도 가우시안 apodized한 경우와 비슷하나 더 좋은 특성을 보이고 있다. 여기서도 마찬가지로  $\sigma$ 가  $5 \times 10^{-4}$ 이고  $C$ 가 10일 경우는 최대 반사 스펙트럼이 100%에 이르지 못하고 99.36%로 낮아짐을 알 수 있었으며, 이는 파라미터  $C$ 를 적절히 선택하여 협대역 필터를 설계하여야 된다는 것을 보여준다.

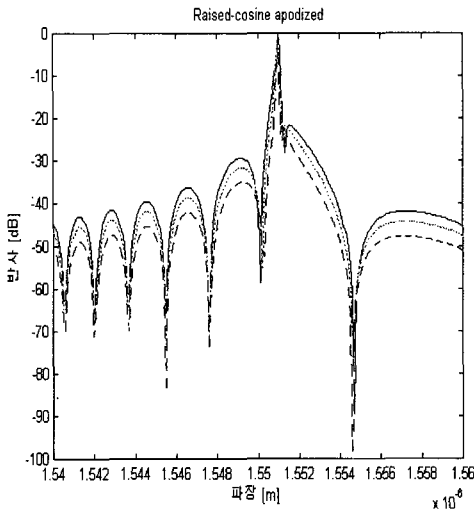


그림 7.  $C=10$  로 상승-코사인 apodized한 경우의 반사 스펙트럼

Fig. 7. Reflection spectrum of gratings with Raised-cosin apodized Induced index change,  $C=10$

IV. 결 론

본 논문에서는 각기 형태가 다른 굴절을 포락선 분포를 갖는 광섬유 격자에 대해 반사 스펙트럼을 시뮬레이션하여 고찰하였다. 여러가지  $\sigma$ 값과 파라미터  $G$ 와  $C$ 값을 변화시킴으로써 그림 5~7에서 보듯이 사용자가 원하는 형태의 필터를 제작할 수 있음을 알 수 있다. 먼저, 필터를 설계하려면 반사대역의 중심 파장을 알아야 하며, 인접 채널간 누화에 의한 잡음을 줄이고자 한다면 사이드로브가 작은 반사 스펙트럼을 얻을 수 있어야 한다.

시뮬레이션 결과로부터 굴절을 포락선 분포가 균일한 격자에서  $\sigma$ 값을 변화시  $\sigma$ 값이 작을수록 반사대역의 스펙트럼은 좁아지고 사이드로브도 작아짐을 알 수 있었고, DWDM용 협대역 필터로 부적합함을 알 수 있다. 가우시안 형태의 함수를 갖는 격자에서  $\sigma$ 값과 가우시안 원도우 파라미터  $G$  값을 변화하여 반사 스펙트럼을 고찰한 결과  $\sigma$ 값은 작을수록  $G$ 값은 클수록 최대반사 대역이 좁아

지며 사이드로브도 작아지는 장점을 가지므로, 이 방법은 DWDM용 협대역 필터를 설계하는데 적합하다고 사료된다.

굴절을 포락선 분포가 상승-코사인 apodized한 격자에서  $\sigma$ 값과  $C$ 파라미터를 변화하여 얻은 결과들은 가우시안 형태와는 크게 다른 점은 없으나 가우시안 형태보다는 좀더 낮은 사이드로브를 얻을 수 있어 인접 채널간의 누화에 의한 잡음을 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

그림 5 - 7 에서 보듯이 최대 반사 스펙트럼을 만족하는 대역폭이 좁아짐을 볼 수 있었다. 그림 5-7에서의 파라미터 값들은  $\sigma$ 값을  $1 \times 10^{-3}$ ,  $G$ ,  $C$ 는 2로 하였을 경우에 시뮬레이션 해본 결과, 대역폭은 균일한 경우는 1548.6~1550.7 [nm], 가우시안 apodized한 경우는 1548.6~1550.7 [nm], 상승-코사인 apodized한 경우는 1548.6~1550.7 [nm]로 상승-코사인 apodized한 경우에서 DWDM용 필터에 적합한 것을 볼 수 있었다.

그러나, 파라미터  $G$ 와  $C$ 는 10이상으로 설정하였을 경우 최대 반사 스펙트럼이 100%에 이르지 못하는 것을 알 수 있었다.

광섬유 격자소자는 현재 개발되고 있는 파장분할 다중화 통신에서의 수요와 잘 일치하여 그 응용 분야가 더욱 확대되고 있다. 파장이 다른 광신호들을 합치거나 분리하거나, 다양한 파장의 광신호를 주어진 곳에 연결하기 위해서는 파장분리형 광섬유 격자 소자들이 필수적으로 사용되어야 하며, 파장분할 다중화 통신용 광원과 광섬유 증폭기에도 널리 응용되고 있다.

따라서, 본 논문의 결과는 초고속 광통신용 파장분할 다중화 통신방식에서 필수적인 광소자인 브래그 광섬유 격자용 광 필터 설계시 유용한 설계 데이터를 사용될 수 있는 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson, and B. S. Kawasaki, "Photosensitivity in optical fiber wave

-guides : Application to reflection filter fabrication", Appl. Phys. Lett. vol.32, pp.647, 1978

[2] D. K. Lam and B. K. Garside, "Characterization of single-mode optical fiber filters", Appl. Opt. vol.20, pp.440, 1981

[3] G. Meltz, W. W. Morey, and W. H. Glenn, "Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method", Opt. Lett. vol. 14, pp.823, 1989.

[4] D. L. Williams, S. T. Davey, R. Kashyap, J. R. Armitage, and B. J. Ainslie, "Direct observation of UV induced bleaching of 240nm absorption band in photosensitive germanosilicate glass fibers", Electron Lett. vol.28, pp.369, 1992.

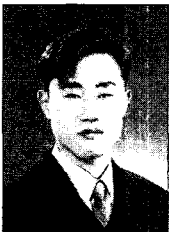
[5] M. G. Moharam and T. K. Gaylord, "Diffraction analysis of dielectric surface-relief gratings", J. Opt. Soc. Am., vol.72, pp.1385-1392, 1982.

[6] T. Erdogan, "Fiber Grating Spectra", J. Lightwave Tech, vol.15, no.8, Aug. 1997.

[7] A. Yariv, *Optical Electronics in Modern Communications*, Oxford University Press, New York, Chap.3, pp.95, 1997.

[8] T. Erdogan, "Cladding-mode resonances in short- and long-period fiber gratings filters", J. Opt. Soc. Am. A, vol.14, no.8, Aug. 1997.

— 저 자 소 개 —



鄭 琮 來 (會員申請中)  
 1999.5 현재 (주)씨아이네트 연구원. 주관심분야 : Integrated Optics, 광파통신.



李 昌 遠 (會員申請中)  
 1995.2~1999.5 현재 안성여자기능대학 전자공학과 교수. 1998.3~1999.5 현재 호서대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심분야 : Integrated Optics, 광파통신.

張 眞 賢 (正會員)  
 第 2卷 第 2號 論文 98-02-11 參照. 현재 건국대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 두일전자통신(주) 광소자 개발팀장.

鄭 鎮 豪 (正會員)  
 第 1卷 第 1號 論文 97-01-06 參照.  
 現在 湖西大學校 第 1 工學部 電子專攻 教授.



孫 裕 院 (會員申請中)  
 1999.3~1999.5 현재 호서대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심분야 : Integrated Optics, 광파통신.