

논문 2007-44SD-4-3

경사진 처프된 광섬유격자쌍에 기반을 둔 투과형 분산보상기

(A transmissive dispersion compensator based on tilted chirped fiber Bragg grating pairs)

이종훈*

(Jong-Hun Lee)

요약

본 논문에서는 서로 반대방향으로 진행되는 코어모드와 클래딩모드사이에서 모드결합이 일어나는 경사진 선형처프된 광섬유격자쌍을 이용한 새로운 투과형 분산보상기를 제안하였다. 제안된 투과형 분산보상기에서 모드결합이 최대로 일어나기 위한 위상정합조건과 최적의 경사각을 제시하였으며, 시뮬레이션을 통해서 제안된 투과형 분산보상기의 분산기울기와 분산보상 가능한 대역폭은 각각 3,068ps/nm와 0.45nm이고, 투과형 분산보상기로 동작함을 보여주었다.

Abstract

This paper presents a transmissive dispersion compensator based on tilted chirped fiber Bragg grating pairs which happen mode coupling between core mode and cladding mode. And, as a result of simulation, the phase matching condition and optimum tilted angle to maximize the mode-coupling in the dispersion compensator are shown and the dispersion slope and bandwidth in the proposed dispersion compensator is respectively 3,068ps/nm and 0.45nm.

Keywords : 선형처프된 광섬유격자, 분산보상기, 모드 결합, 클래딩 모드

I. 서론

광통신시스템에서 색분산을 보상하는 방법은 이미 여러 가지 기술들이 보고되고 있다^[1-3]. 분산보상용 광섬유(dispersion-compensated fiber, DCF)를 이용하는 경우^[4]와 광섬유격자를 이용하는 경우가 대표적인 방법이다. 분산보상용 광섬유를 이용하는 경우, 기존의 광전송선로에 추가로 사용하게 됨으로써 비용면이나 분산보상시스템의 제작 및 설치가 어렵고 비선형효과가 나타나는 데 비해서, 선형처프된 광섬유격자를 이용하는 경우, 광섬유격자의 자체특성인 분산보상과장에 대해서

과장선택성이 우수하다는 장점이외에도 이미 포설된 광섬유를 그대로 사용할 수 있으며, 제작 및 설치가 용이하다는 특징이 있다.

일반적으로 선형처프된 광섬유격자를 이용한 분산보상기는 반사모드로 동작하기 때문에 광서큘레이터와 같은 부가장치가 필요하여 분산보상시스템의 가격을 높이는 단점이 있다. 이에, 투과형 분산보상기에 관한 연구가 지속적으로 진행되고 있는 실정이다. Oullette^[5]은 군속도가 다르고 동일한 방향으로 진행하는 두 모드간의 모드결합을 이용한 투과형 분산보상기를 제안하였다. 하지만, 이런 투과형 분산보상기의 경우, 서로 다른 모드를 사용하기 때문에 장거리 광전송을 위해서는 기본모드(fundamental core mode)로의 모드변환이 필요하며 이로 인해서 광손실이 발생하는 단점이 있다. 그리고 반사형 광섬유격자를 이용한 투과형 분산보상기의 경우^[6], 분산보상값이 크다는 장점이 있으나, 분산보상대역폭이 매우 좁고, 입사된 광신

* 정회원, 대구경북과학기술연구원 IT연구부
(Department of IT, Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology)

※ 본 연구는 2007년 과학기술부/기관고유과제 연구지원사업의 일환으로 진행되었음
(과제번호 : 07CH-01)

접수일자: 2006년10월20일, 수정완료일: 2007년4월4일

호가 광섬유격자에 의해서 대부분 반사되어 적은 양의 광신호만이 투과되는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해서, Stegall^[7]과 Das^[8]에 의해서 장주기 광섬유격자를 이용한 투과형 분산보상기가 제안되었다. Stegall^[7]은 두 개의 긴 선형처프된 장주기 광섬유격자를 서로 연속적으로 연결함으로써 투과형 분산보상기를 구현할 수 있었다. 하지만, 이러한 투과형 분산보상기는 성능이 우수한 분산보상기로 동작하기 위해서는 코어모드와 고차 클래딩모드사이의 모드결합이 필요하며, 모드결합된 고차 클래딩모드는 광섬유의 밴딩에 민감하게 반응하여 밴딩손실을 일으키는 단점이 있다. 이런 문제점을 보완하기 위해서 Das^[8]는 비굴절률차 Δ 가 큰 광섬유에 연결 제작된 두 개의 선형처프된 장주기 광섬유격자를 이용한 투과형 분산보상기를 제안하였다. 이런 투과형 분산보상기의 경우, 비굴절률차 Δ 값이 작은 일반 광통신용 광섬유와의 광접속에서 상당한 광접속손실이 발생하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존 분산보상기의 이러한 단점들을 극복하기 위해서 서로 반대방향으로 진행되는 코어모드와 클래딩모드사이의 모드결합에 기반을 둔 경사진 선형처프된 광섬유격자쌍을 이용한 투과형 분산보상기를 제안한다.

본 논문의 II장에서는 경사진 선형처프된 광섬유격자의 모드결합이론에 관해서 살펴보고, III장에서는 경사진 선형처프된 광섬유격자쌍을 이용한 투과형 분산보상기의 분산보상원리에 관해서 기술하고, IV장에서 간단한 광선이론과 모드결합(coupled-mode) 이론에 기반을 둔 경사진 선형처프된 광섬유격자쌍을 이용한 투과형 분산보상기의 분산보상특성을 살펴본다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺고자 한다.

II. 경사진 선형처프된 광섬유격자의 모드결합 이론

일반적으로 경사지지 않은 일반 광섬유격자와 경사진 광섬유격자에서 모드결합축면에서 차이점을 살펴보면, 경사지지 않은 일반 광섬유격자는 LP_{01} 코어모드와 azimuthal order number $l=1$ 인 클래딩모드사이에서만 모드결합이 일어나는데 반해, 경사진 광섬유격자는 LP_{01} 코어모드와 임의 azimuthal order number l 을 가진 클래딩모드사이에서 모드결합이 일어난다^[9-10].

그림 1은 경사진 선형처프된 광섬유격자의 구조를

나타내고 있다. 이때, Λ_g 는 광섬유격자의 실제 주기를 나타내며, Λ 는 광섬유격자에서 광섬유의 축방향에 대한 격자주기를 나타내고 있다. 그리고 경사진 광섬유격자는 크게 x-경사진 광섬유격자와 y-경사진 광섬유격자로 나눌 수 있다. x-경사진 광섬유격자는 격자평면이 y축을 중심으로 x축으로부터 시계방향으로 각 θ 만큼 경사진 광섬유격자이며, y-경사진 광섬유격자는 x축을 중심으로 y축으로부터 시계방향으로 각 θ 만큼 경사진 광섬유격자이다. 경사진 선형처프된 광섬유격자에서 유전율 섭동(dielectric perturbation) $\Delta\epsilon$ 은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다^[10].

$$\Delta\epsilon(x, y, z, \theta) = 2\epsilon_0 n_1 \Delta n_1(x, y, z, \theta) \quad (1)$$

여기서, Δn_1 은 광섬유격자에서 굴절률변화를 나타내며, $n_1 \sigma(z') [1 + \nu \cos(2K_g z' (1 + Cz'))]$ 와 같다. 그리고, ν 는 광섬유격자의 굴절률변조지수이며, C 는 광섬유격자의 처핑량이다. z' 은 x-경사진 광섬유격자의 경우, $z \cos \theta - x \sin \theta$ 이며, y-경사진 광섬유격자의 경우, $z \cos \theta - y \sin \theta$ 이다. $\sigma(z')$ 는 광섬유격자의 아포다이저션(apodization) 함수를 나타낸다. $2K_g (= 2\pi/\Lambda_g)$ 는 경사진 광섬유격자의 파수(wave number)로써, 광섬유격자의 파벡터(wave-vector)의 광섬유 축방향 성분 $2K (= 2\pi/\Lambda)$ 과 $2K = 2K_g \cos \theta$ 인 관계가 있다.

경사진 광섬유격자에서 전파상수 β_μ, β_ν 와 전계 분포 E_μ, E_ν 을 갖는 두 모드 μ 와 ν 사이의 결합계수 $k_{\nu\mu}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다^[10].

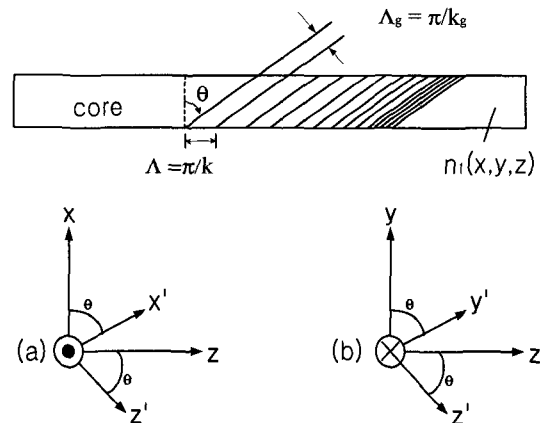


그림 1. 경사진 선형처프된 광섬유격자의 구조: (a) x-경사진 광섬유격자, (b) y-경사진 광섬유격자
Fig. 1. Inner structure of a tilted chirped fiber grating: (a) x-tilted fiber grating, (b) y-tilted fiber grating.

$$k_{\nu\mu}(z) = (\omega/4) \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\infty} r dr \Delta\epsilon(r, \phi, z, \theta) E_{\nu}(r, \phi) E_{\mu}^*(r, \phi) \quad (2)$$

위 결합계수 식으로부터 광섬유격자의 주기적인 섭동에 의해서 두 모드간의 에너지 교환정도는 두 모드의 전계가 서로 얼마나 효과적으로 겹치는지에 의해서 결정된다는 사실을 알 수 있다. 그리고 일반적으로 서로 같은 azimuthal order number를 가진 두 모드사이의 모드결합의 경우, 경사지지 않은 일반 광섬유격자에서 두 모드의 전계분포가 서로 같기 때문에 두 모드사이의 모드결합이 최대로 일어난다. 한편, LP_{01} 코어모드와 hybrid $1m$ 클래딩모드 사이의 모드결합의 경우, 서로 다른 azimuthal order number를 가진 두 모드의 전계분포가 서로 다르기 때문에 다음과 같은 식의 경사각을 가진 광섬유격자를 사용함으로써 LP_{01} 코어모드와 hybrid $1m$ ($l \neq 1$) 클래딩모드사이의 모드결합을 최대로 할 수 있다^[10].

$$\theta_{opt} = \tan^{-1} \left[\frac{(n_1^2 - n_{eff}^{01})^{1/2}}{(n_{eff}^{01} + n_{eff}^{cl})} \right] \quad (3)$$

이때, n_1 은 코어의 굴절률이고, n_{eff}^{01} 과 n_{eff}^{cl} 은 각각 LP_{01} 코어모드와 hybrid $1m$ ($l \neq 1$) 클래딩 모드의 유효

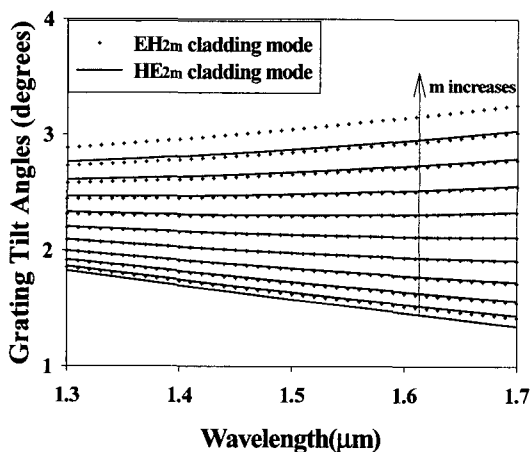


그림 2. 경사진 선형처프된 광섬유격자에서 LP_{01} 코어모드-hybrid 2m 클래딩모드사이의 모드결합을 최대로 하기 위한 최적의 경사각

Fig. 2. Optimun tilted angles for maximizing mode coupling between LP_{01} core mode and hybrid 2m cladding mode in a tilted chirped fiber grating.

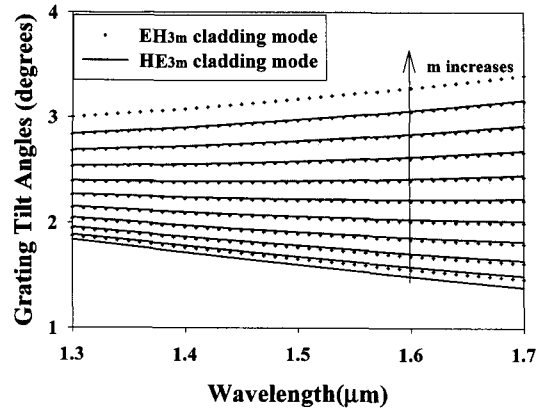


그림 3. 경사진 선형처프된 광섬유격자에서 LP_{01} 코어모드-hybrid 3m 클래딩모드사이의 모드결합을 최대로 하기 위한 최적의 경사각

Fig. 3. Optimun tilted angle for maximizing mode coupling between LP_{01} core mode and hybrid 3m cladding mode in a tilted chirped fiber grating.

굴절률을 나타내고 있다.

그림 2와 3은 각각 경사진 선형처프된 광섬유격자에서 LP_{01} 코어모드-hybrid 2m 클래딩 모드사이의 모드결합과 LP_{01} 코어모드-hybrid 3m 클래딩 모드사이의 모드결합을 최대로 하기 위한 최적의 경사각을 나타낸 그림이다. 이때, 사용된 광섬유 파라미터 값들은 코어 반경 $a_1 = 2.5[\mu m]$, 클래딩 반경 $a_2 = 62.5[\mu m]$, 클래딩 굴절률 $n_2 = 1.45$, 비굴절률 차 $\Delta = 0.005$, $n_3 = 1.0$ 이다. 실선과 점은 각각 LP_{01} 코어모드와 HE_{2m} 클래딩모드사이의 모드결합과 LP_{01} 코어모드와 EH_{2m} 클래딩모드사이의 모드결합을 나타낸다. 그림 2와 3에서 볼 수 있듯이, 경사진 선형처프된 광섬유격자에서 LP_{01} 코어모드와 hybrid $1m$ ($l \neq 1$) 클래딩 모드사이의 모드결합은 대략 $2^\circ \sim 3^\circ$ 의 경사각을 가져야 효과적으로 일어남을 알 수 있다.

III. 경사진 선형처프된 광섬유격자쌍을 이용한 투과형 분산보상기의 분산보상원리

경사진 선형처프된 광섬유격자는 서로 반대방향으로 진행되는 LP_{01} 코어모드와 임의의 azimuthal order number l 을 가진 클래딩모드 사이의 모드결합이 일어나며, 격자의 위치에 따라서 서로 다른 특정파장을 반

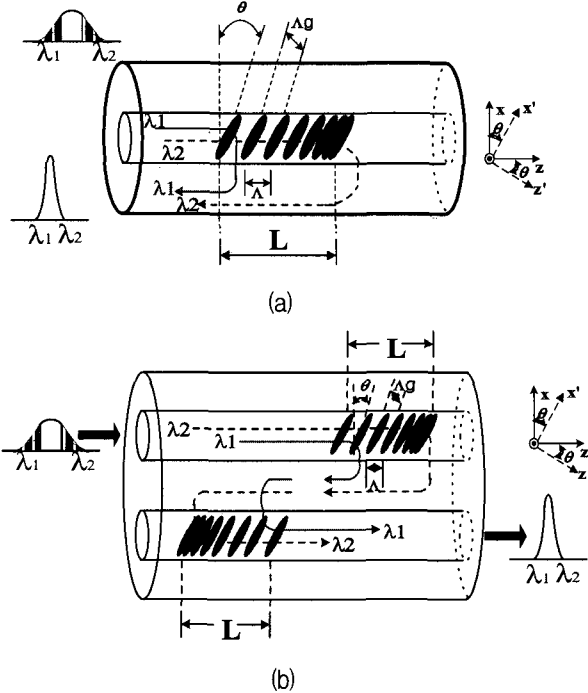


그림 4. 경사진 선형처프된 광섬유격자쌍을 이용한 투과형 분산보상기의 분산보상원리: (a) 반사형 분산보상기술, (b) 투과형 분산보상기술

Fig. 4. Principle of dispersion compensation in a transmissive dispersion compensator based on tilted chirped grating pairs: (a) dispersion compensation method in a reflective mode (b) dispersion compensation method in a transmissive mode.

사시키는 특징이 있다. 이러한 경사진 선형처프된 광섬유격자쌍을 이용함으로써 광 서클레이터와 같은 부가장치가 필요 없는 투과형 분산보상기를 제안한다.

그림 4는 본 논문에서 제안하는 투과형 분산보상기의 분산보상원리를 개념적으로 설명하는 그림이다. 초고속 전송선로를 통해서 전송되어 온 여러 파장성분들로 구성된 광펄스는 광섬유의 분산특성에 의해서 단파장 성분(blue-shifted component)이 장파장 성분(red-shifted component)에 비해서 빠르게 전송되어 색분산이 야기된다. 이렇게 색분산이 야기된 광펄스는 경사진 선형처프된 광섬유격자에 입사된 후, 광펄스를 구성하는 여러 파장 성분들 중에서 전송속도가 느린 장파장 성분 λ_1 을 경사진 광섬유격자의 앞단에서 코어모드에서 클래딩모드로 모드결합하여 반사시키고 전송속도가 빠른 단파장 성분 λ_2 을 경사진 광섬유격자의 뒷단에서 코어모드에서 클래딩모드로 모드결합하여 반사시킨다. 그리고 다시 동일한 경사진 선형처프된 광섬유격자에 의해서 이미 모드결합되어 클래딩모드로 전송되는

광펄스를 코어모드로 다시 모드결합하여 반사시킴으로써 전송도중 퍼진 광펄스를 압축시켜 원래의 광펄스로 복원시키는 투과형 분산보상기로 동작하게 된다.

IV. 경사진 선형처프된 광섬유격자쌍을 이용한 투과형 분산보상기의 분산보상특성 분석

경사진 선형처프된 광섬유격자쌍을 이용한 투과형 분산보상기의 분산보상값을 간단히 광선이론(ray-optic theory)을 적용하여 수치적으로 유도한다. 그림 4(a)에서 볼 수 있듯이, 전송 도중 퍼진 광펄스는 두 개의 파장성분 즉, 가장 느리게 진행되는 장파장 성분 λ_1 과 가장 빠르게 진행되는 단파장 성분 λ_2 으로 크게 나누어 생각할 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이, 경사진 선형처프된 광섬유격자에서 장파장 성분 λ_1 은 격자의 앞단에서 코어모드에서 클래딩모드로 모드결합하여 반사되고, 단파장 성분 λ_2 은 뒷단에서 코어모드에서 클래딩모드로 모드결합하여 반사된다. 이때, 광펄스의 두 파장성분이 경사진 선형처프된 광섬유격자를 통해서 경험하는 상대적인 시간지연 $\Delta\tau_g$ 은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\Delta\tau_g = \frac{L}{V_g^{01}} + \frac{L}{V_g^{cl}} = \left(\frac{1}{V_g^{01}} + \frac{1}{V_g^{cl}} \right) L \quad (4)$$

여기서, $V_g^{01}(=c/n_{eff}^{01})$ 과 $V_g^{cl}(=c/n_{eff}^{cl})$ 은 각각 LP_{01} 코어모드와 클래딩모드의 군속도이며, n_{eff}^{01} 과 n_{eff}^{cl} 은 각각 LP_{01} 코어모드와 클래딩모드의 유효굴절률을 의미한다. 그리고 L 과 c 는 경사진 선형처프된 광섬유격자의 전체길이와 진공중에서 빛의 속도를 나타낸다. 식(4)로부터, 그림 4(a)의 경사진 선형처프된 광섬유격자의 분산값 D_g 은 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$D_g = \frac{d\tau_g}{d\lambda} \approx \frac{\Delta\tau_g}{\Delta\lambda} = \frac{L(n_{eff}^{01} + n_{eff}^{cl})}{c\Delta\lambda} \quad (5)$$

결국, 제안한 투과형 분산보상기(그림 4 b)참조)의 분산값 D 은 다음과 같이 얻어진다.

$$D = \frac{2L(n_{eff}^{01} + n_{eff}^{cl})}{c\Delta\lambda} \quad (6)$$

다음은, 제안된 투과형 분산보상기에서 서로 반대방향으로 진행되는 LP_{01} 코어모드와 hybrid $lm(l \neq 1)$ 인 클래딩모드 사이의 모드결합이 경사진 선형처프된 광섬

표 1. 경사진 선형처프된 격자쌍의 길이 2L의 변화에 따른 투과형 분산보상기 특성

Table 1. Characteristics of the proposed transmissive dispersion compensator along the length 2L of grating pairs.

2L[mm]	Bandwidth (nm)	Dispersion (ps/nm) by coupled-mode theory	Dispersion (ps/nm) by ray-optics approach
100	0.5	-1,898	-1,946
200	0.5	-3,931	-3,891

표 2. 경사진 선형처프된 격자쌍의 처핑양의 변화에 따른 투과형 분산보상기 특성

Table 2. Characteristics of the proposed transmissive dispersion compensator along the chirp rate C of grating pairs.

C[nm]	Bandwidth (nm)	Dispersion (ps/nm) by coupled-mode theory	Dispersion (ps/nm) by ray-optics approach
0.4	1.0	-1,746	-1,965
0.6	1.4	-1,167	-1,351

유격자의 위치에 따라서 다른 특정파장에서 일어나기 위한 위상정합조건은 다음 식(7)과 같이 된다.

$$\beta_{01}^{co} + \beta_{lm}^{cl} = 2\pi/\Lambda(z) \tag{7}$$

여기서, β_{01}^{co} 와 β_{lm}^{cl} 는 각각 LP_{01} 코어모드와 hybrid lm 클래딩모드의 전파상수를 나타내고, $\Lambda(z)$ 는 경사진 선형처프된 광섬유격자쌍에서 광섬유 축방향에 대한 격자의 파벡터(wave-vector)성분이며 격자위치에 따라서 서로 다른 파장을 반사시키기 위해서 격자주기 $\Lambda(z)$ 을 $\Lambda_0 + Cz$ 으로 변화시킨다. 이때, Λ_0 는 임의의 특정파장 λ_0 에서 위상정합조건을 만족시키는 경사진 광섬유격자의 광섬유 축방향에 대한 격자주기이며, C는 광섬유격자의 처핑량을 의미한다.

표 1과 표2는 각각 경사진 선형처프된 격자쌍의 길이 2L과 처핑양 C의 변화에 따라서 분산보상값 D를 요약 정리한 것이다. 이때, 표1에서는 전체 처핑양 C를 0.19nm로, 표2는 격자쌍의 길이 2L을 200mm로 일정한 것을 제외하고 경사진 선형처프된 격자쌍의 나머지 파라미터는 경사각 $\theta=3^\circ$ 이고 굴절률 변화의 진폭 Δn 이 2×10^{-4} 이며 LP_{01} 코어모드와 $HE_{2,1}$ 클래딩모드사이

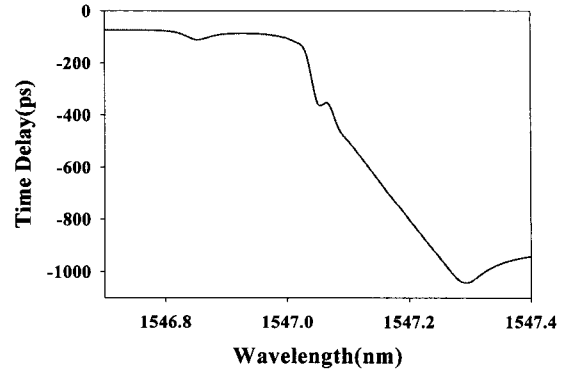


그림 5. 경사진 선형처프된 광섬유격자쌍을 이용한 투과형 분산보상기의 시간지연스펙트럼

Fig. 5. Time delay spectrum in the proposed transmissive dispersion compensator.

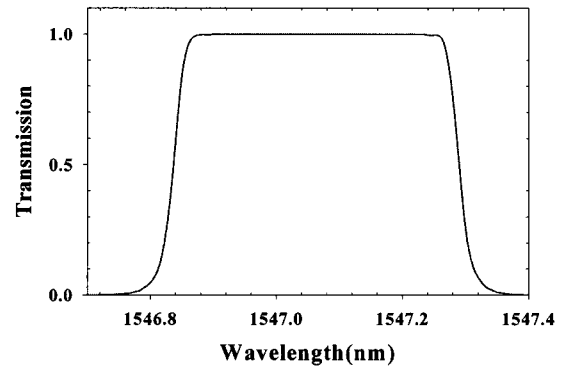


그림 6. 경사진 선형처프된 광섬유격자쌍을 이용한 투과형 분산보상기의 출력스펙트럼

Fig. 6. Transmission spectrum in the proposed transmissive dispersion compensator.

에서 모드결합이 일어나도록 가정한다. 그리고 모드결합방정식으로부터 투과형 분산보상기의 분산보상대역폭과 모드결합 효율 및 분산보상값을 수치해석적으로 구할 수 있으며, 광선이론에 기반을 둔 분산보상식 (6)으로부터 투과형 분산보상기의 분산보상값을 구할 수 있다.

그리고 제안한 투과형 분산보상기의 시간지연스펙트럼 및 투과스펙트럼특성에 대해서 살펴본다. 모드 결합 이론(Coupled mode theory)에 의한 S-matrix 방식과 모드결합계수 식(2)을 이용함으로써 투과형 분산보상기의 스펙트럼특성을 시뮬레이션할 수 있다.

그림 5와 6은 경사각이 3° 이고 길이 L이 50mm인 경사진 선형처프된 광섬유격자쌍을 이용한 투과형 분산보상기의 분산특성과 출력특성을 보여주고 있는 그림이다. 이

때, 광섬유격자는 시간지연스펙트럼과 출력 스펙트럼상에서 존재하는 리플을 제거하기 위해서 식(5)에서 $\alpha = 4, \beta = 3$ 인 \tanh 함수로 apodization^[11]을 하였으며, 전체 처핑량은 대략 0.12nm로 하고, 경사진 선형처프된 광섬유격자의 중심과장에서 LP_{01} 코어모드와 HE_{2,1} 클래딩모드사이에서 모드결합이 일어나도록 하였다. 그림 5와 그림 6에서 볼 수 있듯이, 제안된 투과형 분산보상기의 분산기울기와 분산보상 가능한 대역폭은 각각 3,068ps/nm와 0.45nm이었다. 이러한 투과형 분산보상기를 사용하여, 색분산이 17ps/nm·km인 이미 포설된 광섬유를 통해서 초고속 광전송을 할 경우, 광펄스를 분산없이 최대 180km이상까지 전송할 수 있겠다.

V. 결 론

본 논문에서는 서로 반대방향으로 진행하는 코어모드와 클래딩모드사이에서 모드결합이 일어나는 경사진 선형처프된 광섬유격자쌍을 이용한 새로운 투과형 분산보상기를 제안하였다. 제안된 투과형 분산보상기에서 모드결합이 최대로 일어나기 위한 위상정합조건과 최적의 경사각을 제시하였으며, 시뮬레이션을 통해서 투과형 분산보상기로 동작함을 보여주었다.

참 고 문 헌

- [1] Yves Painchaud, Michel Poulin and Michel Morin "Grating Superposition Encoded into a phase mask for efficient fabrication of dispersion slope compensators", ECOC 2005 Proceedings Vol.3, pp.419-420, 2005.
- [2] Yves Painchaud, Michel Poulin, Michel Morin and Martin Guy, "Fiber Bragg grating based dispersion compensator slope-matched for LEAF fiber", OFC2006, OThE2, 2006.
- [3] JaeJoong Kwon, Sungchul Kim, Sookyoung Roh and Byoungho Lee, "Tunable Dispersion Slope Compensator using a chirped fiber Bragg grating tuned by a fan-shaped thin metallic heat channel," IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 18, No. 1, pp. 118-120, 2006.
- [4] L. Gruner-Nielsen, M. Wandel, P. Kristensen, C. Jorgensen, L. Vilbrad Jorgensen, B. Edvold, B. Palsdottir, and D. Jakobsen, "Dispersion-Compensating Fibers", Journal of Lightwave Technology, Vol. 23, No. 11, pp. 3566 - 3578, 2005.
- [5] B. J. Eggleton, T. Stephens, P.A. Krug, G. Dhosi, Z. Brodzeli, and F. Oullete, "Dispersion compensation using a fiber grating in transmission", Elect. Lett., Vol. 15, pp. 1610-1611, 1996.
- [6] R. Kashyap, P. F. McKee, R. J. Campbell and D. L. Williams, "A novel method of writing photo-induced chirped Bragg gratings in optical fibres," Elect. Lett., Vol. 12, pp.996-997, 1994.
- [7] D. B. Stegall and T. Erdogan. "Dispersion control with use of long-period fiber gratings," J. Opt. Soc. Am. A. Vol. 17, No. 2, pp. 304-312. February 2000.
- [8] M. Das, and K. Thyagarajan, "Dispersion compensation in transmission using uniform long period fiber gratings", Opt. Comm., Vol. 19, pp. 159 - 163, 2001.
- [9] Kyung Shik Lee and Turan Erdogan, "Fiber mode coupling in transmissive and reflective tilted gratings," Appl. Opt., Vol. 39, No. 9, pp.1394-1404, 2000.
- [10] Kyung Shik Lee, "Mode coupling in tilted planar waveguide gratings," Appl. Opt., Vol. 39, No. 30, pp.6144-6149, 2000.
- [11] D. Pastor, J. Capmany, D. Ortega, V. Tatay, and J. Marti, "Design of Apodized Linearly Chirped Fiber Gratings for Dispersion Compensation", Journal of Lightwave Technology, Vol. 14, No. 11, pp. 2581 - 2588, 1996.

저 자 소 개



이 종 훈(정회원)

1996년 2월 성균관대학교
전자공학과 공학사

1998년 2월 성균관대학교
전기전자 및 컴퓨터공학과
공학석사

2002년 2월 성균관대학교
전기전자 및 컴퓨터공학과
공학박사

2002년 1월~2005년 7월 삼성전자 통신연구소
책임연구원

2005년 7월~현재 대구경북과학기술연구원
(DGIST) 선임연구원

<주관심분야: Optical interconnection, lidar/
radar, 실내외 정밀 측위, UWB>