

論文98-35D-12-11

## Depressed index type과 Step index type 광섬유에서의 경사진 브래그격자 특성과 응용

(The characteristics of tilted grating in depressed- and  
step- index fiber and its application)

權 瑞 遠 \* , 李 相 培 \* , 崔 相 三 \* , 朴 鎮 雨 \*\*

(Seo won Kwon, Sang Bae Lee, Sang Sam Choi, and Jin Woo Park)

### 요 약

광섬유 코어로 입사된 빛이 임의의 경사 각도를 가지는 광섬유 브래그 격자를 만나면 광섬유 코어로 반사되는 주모드 외에 클래딩으로 결합되는 사이드모드가 발생한다. 이러한 사이드 모드는 클래딩 모드와 커플링되어 특정 파장의 빛을 제거하여 없애는 장주기 광섬유 격자와 동일한 특성을 지닌다. 본 논문에서는 게르마늄이 많이 첨가된 depressed index type 광섬유와 수소처리된 하여 광민감성을 매우 높인 step index type 일반통신용 광섬유 등 두 가지 광섬유에 대해 광섬유 브래그 격자의 정렬 각도에 따른 사이드 모드의 특성을 관찰하였다. 또한, 0.02°의 정밀도를 가진 회전판에 설치된 위상 마스크로 경사각도가 다른 각각의 광섬유 격자를 동일한 광섬유에 일렬로 새겨서 전체 손실 스펙트럼의 선평과 피크값을 조절할 수 있었으며, 이를 이용하여 광섬유 광 증폭기의 ASE 대역 제거 필터 구성 실험을 수행하였다.

### Abstract

Fiber Bragg grating which has a blazed angle to the plane of incident wave generates a side-mode as well as main-mode. The side-mode has an identical characteristics with a long period grating that couples with a cladding mode, so rejects the special wavelength. We experimented on the side-mode characteristics with two fibers which Ge doped depressed index fiber and very high photosensitive H<sub>2</sub> loaded step index fiber according to the tilted angle. Also, using a phase mask equipped with rotation plate which has 0.02° resolution, we can control the bandwidth and the peak value of a total loss spectrum by aligned tilted grating in a fiber and using this, tried to compose the ASE band rejection filter of the Erbium doped fiber amplifier.

### I. 서 론

광섬유 브래그 격자에 대한 연구는 1978년 K. O.

\* 正會員, 韓國科學技術研究院 光技術研究中心  
(Photonics Research Center, Korea Institute of  
Science and Technology)

\*\* 正會員, 高麗大學校 電子工學科  
(Department of Electronics Engineering, Korea  
University)

接受日字:1998年8月6日, 수정완료일:1998年10月2日

Hill<sup>[1]</sup>이 488nm 파장의 아르곤(Ar<sup>+</sup>) 레이저를 이용하여 광섬유 코어내에 정상파를 형성하여 만드는 방법을 제시한 이후, 1989년 G. Meltz<sup>[2]</sup>가 광섬유 측면에 엑시머 레이저를 조사하여 광섬유의 특정 부위에 원하는 파장에 대한 반사 특성을 보이는 브래그 격자를 새김으로써 본격적인 연구가 시작되었다. 1993년 발표된 위상 마스크를 이용한 브래그 격자 제조 방법<sup>[3,4]</sup>은 광섬유 격자에 대한 연구를 가속화 시켰으며, 대량 생산도 가능하게 되었다.

248nm의 UV빛을 게르마늄이 첨가 되어있는 광섬

유에 조사하면, 광섬유 코어의 굴절률이 증가한다. 굴절률의 변화량은 UV빛의 세기의 제곱에 비례하며, 굴절률 변화의 원인은 아직 정확하게 설명되고 있지 않다. 광섬유 코어에 주기적인 굴절률의 변화를 주면 브래그 조건을 만족시키는 특정 파장을 반사시키는 광섬유 소자가 되는데, 이러한 광섬유 브래그 격자는 삽입 손실이 작고 파장 선택도가 높으며 편광에 무관한 특성을 보이므로 현재 전세계적으로 광섬유 센서와 광통신용 소자로 매우 활발하게 연구되고 있다. 경사진 광섬유 격자의 광투과 스펙트럼은 또 다른 특성을 보이기 때문에, 모드 커플링 특성에 바탕을 둔 모드 변환을 이용한 소자<sup>[5,6,7]</sup> 등의 새로운 실험에 이용되고 있다.

일반적인 광섬유 브래그 격자에서는 광섬유 격자의 정렬 각도가 입사된 빛에 대해 0°이므로 광반사 파장은 식(1)로 결정되며, 이러한 광섬유 격자에 광폭 스펙트럼을 갖는 광원을 입사시킬 경우 그림 1과 같이 광투과 스펙트럼에서 주모드만이 관찰된다.

$$\lambda_B = 2n_{eff}A \quad (1)$$

여기서

$\lambda_B$ 는 브래그 파장,  $n_{eff}$ 는 유효 굴절률,  $A$ 는 광섬유 코어에 새겨진 격자의 주기를 나타낸다.

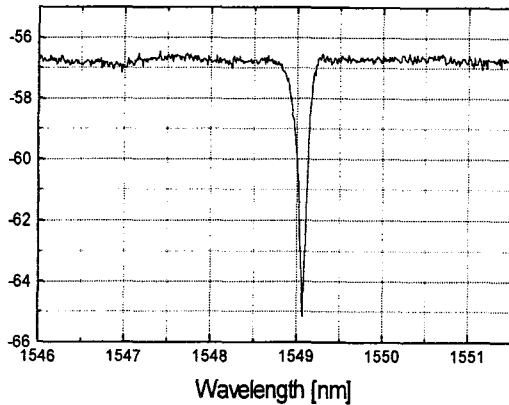


그림 1. 광섬유 브래그 격자의 투과 스펙트럼 (격자 경사각도 0°일 때)

Fig. 1. The transmission spectrum of fiber Bragg grating (tilted angle  $\theta = 0^\circ$ ).

한편, 그림 2와 같이 입사된 빛의 수직 방향에 대해 광섬유 격자가 임의의 경사 각도를 가지게 되면 광섬유 코어에서 반사되는 주모드와 클래딩으로 결합되는 사이드 모드가 발생하며 식(2)로 표현할 수 있다.

$$\lambda_{vp} = \frac{A(n_{eff} + n_{cl})}{\cos \theta} \left[ 1 - \frac{A^2}{4 \cos^2 \theta} \left( \frac{b^2}{b^2} + \frac{\nu^2}{\pi^2 \gamma^2} \right) \right] \quad (2)$$

여기서  $\lambda_m$ 은 주모드의 반사파장,  $\lambda_{vp}$ 는 ( $\nu, p$ )-order coupled cladding mode에 해당하는 파장이고,  $n_{cl}$ ,  $b$ ,  $\gamma$ 는 각각 클래딩의 굴절률, 클래딩 반지름, 클래딩 링모드<sup>[8]</sup>의 반지름을 나타낸다. 위의 식 (2)에서 주모드와 사이드 모드가 발생하는 파장은 광섬유 격자의 경사 각도  $\theta$ 에 관계됨을 알 수 있으며, 광섬유 격자의 경사 각도에 따라 사이드모드의 커플링 손실이 발생하는 양, 손실 스펙트럼의 폭, 최대 손실이 발생하는 파장을 조절할 수 있다.

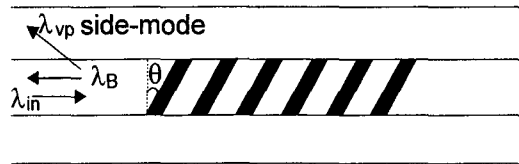


그림 2.  $\theta$ 의 경사 각도를 가진 광섬유 격자  
Fig. 2. A tilted Bragg grating (tilted angle  $\theta \neq 0^\circ$ ).

일반적인 장·단주기 광섬유 격자에서 광섬유 코어의 주기적인 굴절률의 변화는 코어모드들과의 커플링 뿐만 아니라 후방<sup>[9]</sup> 또는 전방<sup>[5]</sup>으로 진행되는 클래딩모드들과의 커플링도 발생시키며 격자의 주기는 진행되는 파가 전방 혹은 후방의 모드들을 발생시키는 것을 결정한다. 그리고 광섬유의 특성은 클래딩모드들의 공진파장의 세기와 위치를 결정짓는데 매우 중요한 역할을 한다. 뿐만 아니라 일정한 경사각도를 가지면 LP<sub>in</sub>모드 성분을 발생시키게 된다. 본 논문에서는 광섬유의 굴절률분포와 광섬유 격자의 경사각도에 따른 클래딩모드 공진 파장의 위치와 크기에 미치는 영향에 대해 조사하였다.

## II. 이 론

광섬유 브래그 격자가 있으면 유한한 클래딩을 가진 광섬유에서 전방으로 진행되는 코어의 기본모드(LP<sub>01</sub> mode)는 위상정합조건(Bragg phase-matching condition)을 만족하며 후방으로 진행되는 경계모드 또는, 후방으로 진행되는 불연속적인 클래딩모드와 특정 파장에서 파워 커플링을 일으킨다. 이러한 경사진 단주기 광섬유 격자에서 클래딩으로 커플링되는 파장

에 대해 이론적으로 분석해보면 다음과 같다.

먼저, 위상정합조건(phase matching condition)은

$$\vec{\beta}_{01} - \vec{\beta}^{cl} = \frac{2\pi}{\Lambda} \vec{k} \quad (3)$$

과 같으며,

여기서  $\vec{k} = \vec{z} \cos \theta - \vec{x} \sin \theta$  는 격자 위상 단위 벡터 이고,  $\vec{\beta}_{01} = \vec{z} 2\pi n_{eff} / \lambda$  는 입사된 파의 진행 벡터(LP<sub>01</sub> mode)이며,  $\vec{\beta}^{cl} = 2\pi n_{cl} / \lambda$  은 클래딩 커플링 모드 벡터로 원통형 좌표계( $\gamma, \varphi, z$ )로 표현하면 다음과 같다.

$$\vec{\beta}^{cl} = \vec{\gamma} \beta_{\gamma}^{cl} + \vec{\varphi} \beta_{\varphi}^{cl} + \vec{z} \beta_z^{cl} \quad (4)$$

$\beta_{\gamma}^{cl}, \beta_{\varphi}^{cl}, \beta_z^{cl}$  은 각각  $\gamma, \varphi, z$  방향으로의 전파 상수이며,  $\beta_{\gamma}^{cl}$  와  $\beta_{\varphi}^{cl}$  는 다음을 만족시킨다.

$$\int_0^b \beta_{\gamma}^{cl} d\gamma = p\pi \quad (p \text{는 정수}) \quad (5)$$

$$\int_0^{2\pi} \beta_{\varphi}^{cl} \gamma d\varphi = 2\nu\pi$$

그러므로,  $\beta_{\gamma}^{cl} \approx \frac{p\pi}{b}$ ,  $\beta_{\varphi}^{cl} \approx \frac{\nu}{r}$  (단,  $a < \gamma < b$ )로 근사하면 위상 정합 조건은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\Lambda^2}{\cos \theta} (n_{eff}^2 - n_{cl}^2) - 2n_{eff} \frac{\Lambda}{\cos \theta} \lambda_{\nu p} + [1 + \frac{1}{4} \frac{\Lambda^2}{\cos^2 \theta} (\frac{p^2}{b^2} + \frac{\nu^2}{\pi^2 r^2})] \lambda_{\nu p}^2 = 0 \quad (6)$$

$\lambda_{\nu p}$  는 ( $\nu, p$ )-order coupled cladding mode에 해당하는 파장이다.

격자의 주기가  $\Lambda \sim \lambda / 2n_{eff}$  이면, 식 (3)으로부터

$$\beta_z^{cl} = -(\frac{2\pi \cos \theta}{\Lambda} - \frac{2\pi n_{eff}}{\lambda}) < 0 \text{가 된다.}$$

이는 커플링이 빛의 진행 방향에 역방향으로 이루어짐을 의미한다.

유도된 식 (6)으로부터 식 (2)에서와 같이 광섬유격자의 광손실 파장의 위치가 결정된다.

또한, 커플드모드 이론(coupled mode theory)에 의하면 대칭적인 입사계와 반사계의 두 불연속적인 모드들간의 커플링은 커플링계수에 좌우되고 공진에 의한 부분적인 반사파워 R은

$$R = \tanh^2(CL) \quad (7)$$

로 표현된다. 여기서 C는 커플링계수이며, L은 광섬유격자의 길이이다.

전방으로 진행하는 LP<sub>01</sub>모드와 후방으로 진행하는

LP<sub>0n</sub>, LP<sub>1n</sub> 모드들간의 공진 커플링(resonant coupling)을 살펴보면 다음과 같다.

1. [LP<sub>01</sub>-LP<sub>0n</sub> 모드 공진]

전방으로 진행하는 LP<sub>01</sub> 모드와 후방으로 진행하는 LP<sub>1n</sub>모드들이 방사형태로 균형을 이룬다고 하면 격자의 경사각도가 0°일 때도 이 두 모드들간의 커플링은 발생한다. 각각의 방사필드 분포를 F<sub>01</sub>(r), F<sub>0n</sub>(r)로 두면 커플링계수 C는 식(7)로부터

$$C = C_{01,0n} = \frac{k\delta n^2}{4n_{co}} \left| \int_0^{\rho} F_{01}(r) F_{0n}(r) J_0(\Omega r \sin \theta) r dr \right| \quad (8)$$

이다.

여기서,  $\Omega$ 는 grating wave number,  $\theta$ 는 유효 경사각도,  $J_0$ 는 0차 베셀 함수이고, 각 필드는  $\int_0^{\infty} F_{01}^2(r) r dr = \int_0^{\infty} F_{0n}^2(r) r dr = 1$  이다. 여기서  $\rho$ 는 코어의 반경이다.

2. [LP<sub>01</sub>-LP<sub>1n</sub> 모드의 공진]

경사진 광섬유 격자가 본래 가지는 비대칭성 때문에 전방으로 진행하는 대칭형 LP<sub>01</sub>모드가 후방으로 진행하는 LP<sub>0n</sub>모드들 뿐 아니라 후방으로 진행하는 LP<sub>1n</sub>모드들과도 파워 커플링을 겪는다.

위에서와 마찬가지로, 필드의 분포를 F<sub>1n</sub>(r)로 표시하면 식(7)로부터

$$C = C_{01,1n} = \frac{k\delta n^2}{4n_{co}} \left| \int_0^{\rho} F_{01}(r) F_{1n}(r) J_1(\Omega r \sin \theta) r dr \right| \quad (9)$$

이다. 여기서  $J_1$ 은 첫 번째 종류의 1차 베셀함수이고, 위에서와 마찬가지로 각 필드는  $\int_0^{\infty} F_{01}^2(r) r dr = \int_0^{\infty} F_{1n}^2(r) r dr = 1$  이다. 경사각도가 0°일 때 LP<sub>1n</sub>모드는 LP<sub>01</sub>모드와 grating profile에 대해 역으로 대칭이므로 식 (9)의 적분값이 0이다. 즉 경사 각도가 0°이면, 후방으로 진행하는 LP<sub>1n</sub> 모드는 파워 커플링이 일어나지 않는다.

III. 경사진 광섬유격자 제작방법

그림 3과 같은 실험장치로 경사진 광섬유 격자를 제작하였다. 본 실험에서는 KrF 엑시머 펄스 레이저(248 nm)를 격자 제작용 광원으로 하고 광섬유를 고정시킨 상태에서 NEWPORT사에서 만든 분해능이 0.02°인 회전판 위에 위상마스크를 설치하여 광섬유

격자를 제작하였다. 광섬유격자 제작 시에 광섬유에 광폭 스펙트럼인 LED를 연결하여 실시간으로 광섬유 격자의 성장을 분광분석기(optical spectrum analyzer)로 관찰하였다.

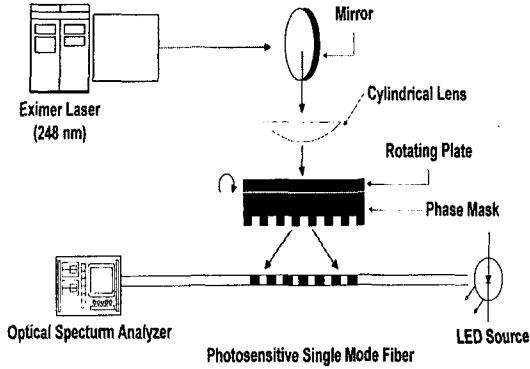


그림 3. 경사진 광섬유 격자 제작용 실험 장치도  
Fig. 3. The experimental setup for fabrication of tilted Bragg grating.

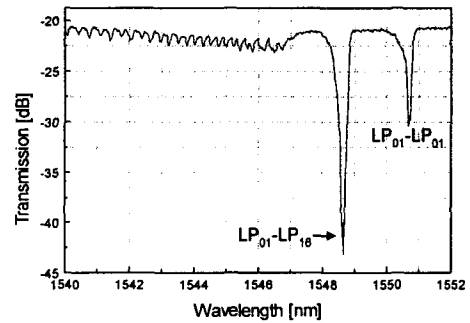
#### IV. 실험 및 결과

본 실험에는 게르마늄 18.5 mol%, 보론 22 mol%를 도핑하여 제작한 depressed index type의 광섬유(KIST-41104)와 일반 통신용 step index type의 광섬유를 사용하였다.

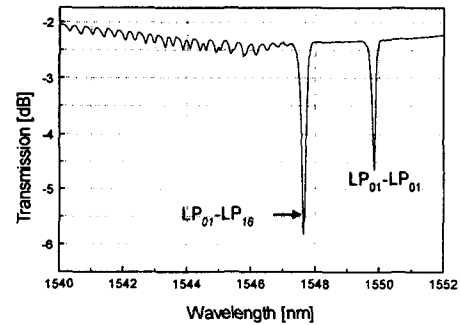
##### 1. Depressed index type 광섬유 (KIST-41104)

광민감성에 따른 광섬유 격자 성장 특성의 차이를 알아보기 위해 depressed index type의 광섬유에 동일한 경사각도를 갖는 격자를 새겨보았을 때, 그림 4와 같이 전체적인 스펙트럼의 유형은 비슷하고, 단지 주모드와 사이드모드들의 골의 깊이와 파장의 위치만 달라짐을 알 수 있었다. 수소 처리한 경우에 피크가 전체적으로 장파장쪽에 위치하는데 이것은 코어의 평균 굴절률 변화량이 수소처리를 하지 않은 경우에 비해 더 크기 때문이다. 광투과 스펙트럼에서 나타나는 골(dip)들은 중심부의 코어모드와 바깥쪽의 클래딩 모드<sup>[8]</sup>간의 모드 커플링으로 해석할 수 있다. 기본 브래그 반사파장(LP<sub>01</sub>-LP<sub>01</sub>)의 단파장쪽에서 관찰되는 조밀한 스펙트럼 분포는 전방으로 진행하는 LP<sub>01</sub>(HE<sub>11</sub>)모드와 후방으로 진행하는 불연속적인 클래딩 모드들 간의 파워 커플링에 의한 것이다. 특히, depressed index type의 광섬유에서는 LP<sub>01</sub>모드와 LP<sub>16</sub>모드간의 파워 커플링에 의한 피크(LP<sub>01</sub>-LP<sub>16</sub>)가

다른 사이드 모드들에 비해서 두드러지게 나타남을 알 수 있었다.<sup>[9]</sup> 이는 LP<sub>01</sub>-LP<sub>01</sub>와 LP<sub>01</sub>-LP<sub>16</sub>는 유사한 것으로 LP<sub>16</sub> 클래딩 모드는 상당한 양의 파워가 광섬유의 코어내에 집중되어 있어 LP<sub>01</sub>모드와 강한 커플링을 일으키기 때문이다. 즉, LP<sub>16</sub>모드는 상당한 양의 파워를 코어영역으로 운반하므로 LP<sub>11</sub> 코어모드로 매우 근사화하여 생각할 수 있다. 그러나, 이 격자에 의해 반사된 스펙트럼을 관찰하면 LP<sub>01</sub>-LP<sub>16</sub>에 의한 성분이 관찰되지 않으므로 '고스트 모드'라고 한다.<sup>[5,9]</sup> 고스트모드는 위상정합조건(phase matching condition)에 의해 전방 진행하는 기본모드(LP<sub>01</sub>)와 후방 진행하는 LP<sub>16</sub> 클래딩 모드간의 파워 커플링에 기인한다는 것을 확인할 수 있다. 고스트모드보다 단파장쪽에서 관찰되는 미세한 골(dip)들은 높은 치수의 클래딩모드 공진에 의한 것이다.



(a)



(b)

그림 4. depressed index type 광섬유에서의 투과 스펙트럼 ( $\theta=2^\circ$ ) (a) 수소처리한 경우 (2.5dB/div) (b) 수소처리하지 않은 경우 (0.5dB/div)  
Fig. 4. A transmission spectrum in a depressed index type fiber ( $\theta=2^\circ$ ). (a) With hydrogen loading process (2.5dB/div) (b) Without hydrogen loading process (0.5dB/div).

수소처리를 하지 않으면 광민감성이 낮으므로 고스트 모드보다 단파장쪽에서 나타나는 사이드모드들은 거의 무시할 수 있다. 본 논문에서는 수소처리하지 않은 depressed index type의 광섬유를 이용하여 격자의 경사각도에 따른 주모드와 고스트모드의 특성을 살펴보는 데 중점을 두었다.

KIST에서 제작한 depressed index type의 광섬유로 광섬유격자의 경사 각도에 따른 주모드와 고스트모드의 특성을 관찰한 결과 그림 5와 같이 격자의 경사 각도가 커짐에 따라 둘다 장파장쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있었다. 단, 이때 UV빛을 조사한 시간은 동일하지 않고 최대 1분의 차이가 있다. 그러나, 파장의 움직임을 관찰하는데는 문제가 없었다.

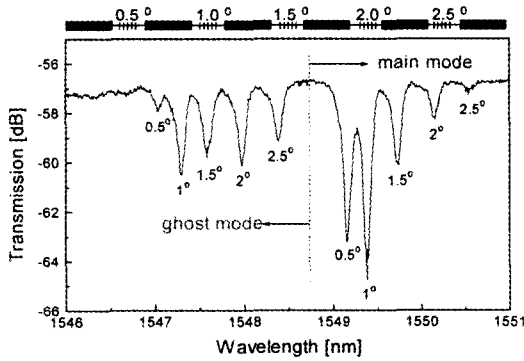
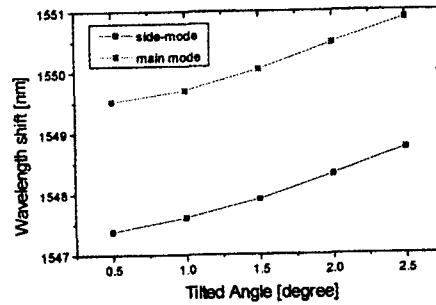


그림 5. 격자 경사 각도에 따른 주모드와 고스트 모드의 변화특성

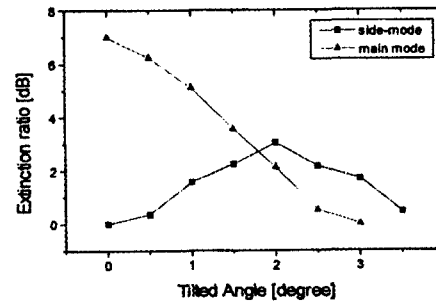
Fig. 5. The characteristics of main mode and ghost mode according to a tilted angle.

모든 제작 조건을 동일(450mJ/pulse, 반복 주기 5Hz로 3분간)하게 하여 실험한 격자의 경사 각도에 따른 파장과 피크값은 그림 6과 같다.

고스트모드는 LP<sub>01</sub>-LP<sub>01</sub>에 의한 브래그 반사파장의 세기를 감소시키며, 장파장쪽으로 이동(red-shift)되었다. 고스트모드는 처음에 대략 2.2 nm만큼 주모드와 분리되어있는데 경사 각도가 커지면 점점 그 크기가 커진다. 이 경우, 주모드는 격자 경사 각도가 커짐에 따라 선형적으로 감소 하는 것을 볼 수 있지만 고스트모드는 경사 각도가 2° 일 때 가장 크고 점차 다시 감소함을 알 수 있다. 또한 제작된 경사진 광섬유 격자의 주모드와 고스트모드간의 파장 간격은 온도와 스트레인에 대해서 항상 일정한 간격을 유지함이 관찰되었다. 이를 이용하여 경사진 광섬유 격자를 센서의 디모듈레이터로 응용한 실험<sup>[10]</sup>도 수행되었다.



(a)



(b)

그림 6. 동일 조건하에서 제작된 경사진 광섬유격자의 주모드와 고스트모드 분석

Fig. 6. The analysis of main mode and ghost mode under the same fabrication condition.

다섯 개의 서로 다른 경사 각도(1.5° ~ 1.9°)를 갖는 광섬유 격자를 동일한 광섬유에 이웃하게 새겨서 그림 7과 같이 고스트모드의 중첩에 의해 9dB이상의 피크값을 갖는 손실 스펙트럼을 얻을 수 있었다. 필요로 하는 광손실 스펙트럼을 얻으려면 원하는 만큼의 선폭과 피크값을 조절할 수 있어야 하며 본 실험을 통하여 이 두 가지 값을 조절할 수 있음을 알았다. 광손실 스펙트럼의 선폭은 광섬유 격자가 새겨지는 길이를 조절하거나 서로 다른 경사각도를 갖는 광섬유 격자를 이웃하게 새기면서 실시간으로 분광분석기(optical spectrum analyzer)를 보며 조절이 가능하고, 피크값은 레이저에 노출되는 시간을 다르게 하거나 동일한 경사각도를 갖는 격자를 이웃하게 새겨 조절이 가능함을 알았다. 본 실험에서 광섬유 격자가 새겨지는 길이는 0.8 cm로 동일하게 제작하였기 때문에 광손실 스펙트럼의 선폭은 서로 다른 경사 각도를 갖는 광섬유 격자를 이웃하게 새겨서 조절하였다. 그러나, 이때 넓은 선폭을 얻으려고 하면 새겨지는 격자의 수가 많아지고 길이가 길어져서 다루기가 어렵기 때문에 선폭의

조절능력은 수 nm 이내로 제한을 받는다. 그러므로 특별히 요구되는 좁은 대역의 광손실 필터로 사용될 수 있지만 EDFA 광증폭기에서 1530nm 대역의 ASE를 제거하기 위한 목적으로 depressed index type 광섬유는 효과적이지 못하다.

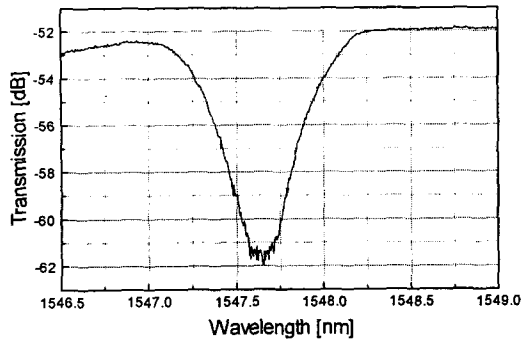


그림 7. 서로 다른 경사 각도(1.5°~1.9°)를 갖는 광섬유 격자의 연결 스펙트럼  
 Fig. 7. The overlapped transmission spectrum of different tilted Bragg gratings. ( $\theta=1.5^\circ \sim 1.9^\circ$ )

2. 일반 통신용 step index type 광섬유

실험에 사용된 광섬유는 수소가스가 들어있는 용기 안에서 90기압, 80°C상태로 48시간동안 저장하여 광민감성을 높였다. 수소처리를 하여 광민감성이 높였으므로, 큰 굴절률 변조를 얻을 수 있어서 그림 8에서 보듯이 주모드보다 단파장 쪽에서 나타나는 LP<sub>01</sub>-LP<sub>0n</sub>, LP<sub>01</sub>-LP<sub>1n</sub> 모드들 간의 커플링에 의한 광손실 스펙트럼들을 분명히 관찰할 수 있었다. 즉, depressed index type 광섬유에서와 마찬가지로 후방 진행하는 LP<sub>0n</sub>, LP<sub>1n</sub>모드들과의 파워 커플링이 일어날 수 있다.

수소 처리한 step index type 광섬유의 경우는 그림 8에서 보는 것처럼 depressed index type의 광섬유에서와 달리 단파장쪽에 넓게 분포하는 사이드모드들의 골(dip)이 두드러지게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이때 실험 조건은 410mJ/pulse, 반복 주기 2Hz로 70초간 제작하였으며 광섬유 격자가 형성된 길이는 0.8cm 이다. 격자의 경사각도를 크게 하면 점점 이러한 현상이 두드러지고 고스트모드는 관찰되지 않으며 최대 광손실이 발생하는 파장도 변하게 된다. Step index type의 광섬유에서는 클래딩 모드들의 많은 양의 파워가 코어의 바깥쪽으로 진행하므로 고스트모드가 두드러지게 나타나는 것을 막는 것이다.

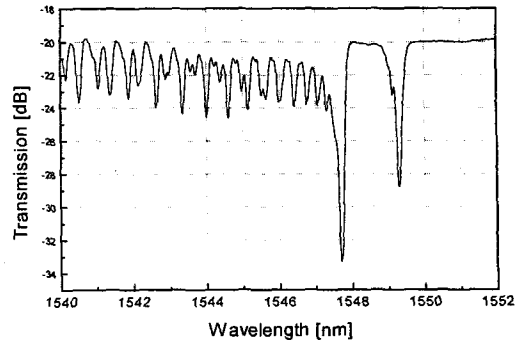


그림 8. 수소처리한 step index type 광섬유에서의 투과 스펙트럼 ( $\theta=2^\circ$ )  
 Fig. 8. A transmission spectrum in a Hydrogen loaded step index type fiber ( $\theta=2^\circ$ ).

광섬유 격자의 경사 각도에 따라 광손실 스펙트럼이 분포하는 파장의 범위와 그 양이 다르다. 그림 9는 격자의 경사 각도를 0.5°~4.5°까지 변화시키며 주모드 부분은 관측 범위에서 제외시킨 상태로 사이드모드를 관찰한 결과이다. 격자의 경사 각도가 커짐에 따라 가장 장파장쪽에 나타나는 모드의 피크는 점차 증가하다가 감소하여 4.5°가 되면 매우 작아지고, 전체적인 사이드모드의 스펙트럼 분포는 넓어지면서 단파장쪽으로 이동함<sup>[11]</sup>을 알 수 있다.

앞에서 살펴본 depressed index type의 광섬유에서와는 달리 수소 처리하여 광민감성을 크게한 일반 통신용 step index type의 광섬유에서는 이러한 사이드모드의 특성을 이용하여 장주기 격자처럼 광 증폭기의 ASE 대역 제거에 사용할 수 있다.

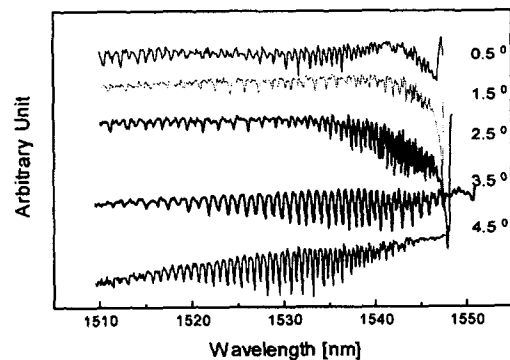


그림 9. 수소처리한 step index type 광섬유의 격자 경사 각도에 따른 사이드 모드의 특성  
 Fig. 9. The characteristics of sidemodes according to a tilted angle (hydrogen loaded step index fiber).

단주기 광섬유 격자는 100°C의 온도 변화에 대해 1nm의 파장 변화를 가져오므로 장주기 격자에 비해 온도 민감도가 1/10배 정도 낮은 온도 안정성을 얻을 수 있다. 이를 토대로 실제 광섬유 증폭기의 출력단에서 서로 다른 네 개의 광섬유 격자(4.5°~4.8°)를 동일한 광섬유 위에 이웃하게 형성시켜 실험하였다. 여기서 4.5°~4.8°의 광섬유 격자를 사용한 이유는 주 모드에 의한 반사 성분이 없고 그림 9에서 보면 1530nm대역에서 최대 광손실을 가지기 때문이다. 네 개의 격자로 제작한 광손실 필터의 스펙트럼은 그림 10과 같으며, 이때 격자에 굴절을 정합 기름을 도포하여 클래딩모드를 제거한 깨끗한 스펙트럼을 얻을 수 있었다.

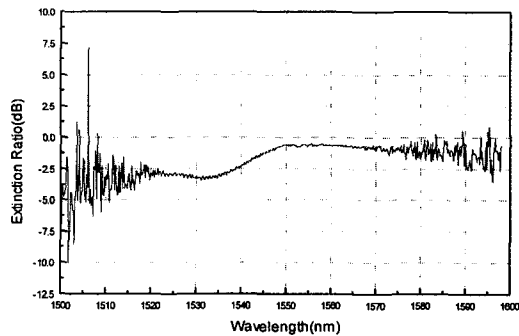


그림 10. 4.5°~4.8° 격자의 광손실 스펙트럼 중첩 결과  
 Fig. 10. The overlapped loss spectrum of sidemodes ( $\theta = 4.5^\circ \sim 4.8^\circ$ ).

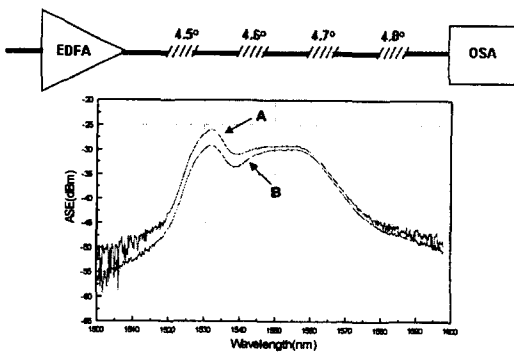


그림 11. 광 증폭기에 응용(ASE 제거)  
 Fig. 11. The application to the EDFA.

그림 11은 그림 10과 같이 제작된 광손실 필터를 실제 광섬유 광증폭기에 적용한 결과이다. 그림 11의 A 스펙트럼은 광섬유 광증폭기의 원래 ASE에 해당하고 B 스펙트럼은 여러 개의 사이드모드를 중첩하여

제작된 광손실 필터를 A에 적용하여 얻은 결과이다. 실험에서 사용한 일반 통신용 step index type의 광섬유는 1545nm까지 소량의 광손실 대역이 존재하였다. 그러나 이러한 사이드모드의 분포 범위와 최대손실 파장이 발생하는 위치는 광섬유의 코어, 클래딩의 직경이나 굴절률차이와 굴절률형태 등에 따라 다르게 분포하므로 삼각형 모양의 코어를 가진 DSF나 다중 클래딩을 가진 분산 보상용 광섬유 등의 여러 형태의 코어와 클래딩 굴절률을 가진 광섬유를 사용하여 실험을 수행함으로써 개선할 수 있을 것으로 본다.

실험결과, 1530nm대역의 ASE 스펙트럼은 -26dB에서 -29.5dB로 제거 되어 1530nm 대역과 1550nm 대역의 ASE 차이는 3.2dB에서 0.34dB로 1530nm 대역과 1540nm 대역의 차이는 5.1dB에서 3.42dB로 각각 줄어들었다.

앞으로의 연구는 여러 가지 서로 다른 특성의 광섬유에 대한 격자 경사 각도에 따른 사이드 모드의 특성 분석과 이를 이용한 광 증폭기의 효과적인 ASE 제거 및 다른 광소자의 활용에 관한 방향으로 진행할 계획이다.

## V. 토 의

실험에서 두가지 서로 다른 굴절률 형태를 가진 depressed index type과 step index type의 광섬유를 이용하여 광섬유 격자의 경사 각도에 따른 주 모드와 사이드모드의 특성을 살펴보았다. depressed index type 광섬유(KIST-41104)의 경우에는 입사방향으로 진행되는 기본 모드인 LP<sub>01</sub>과 LP<sub>16</sub>모드 간의 많은 양의 파워 커플링에 의해 매우 분명한 고스트모드가 관찰되나, 일반 통신용 step index type의 광섬유에서는 입사 방향의 반대 방향으로 진행되는 LP<sub>0n</sub>과 LP<sub>1n</sub>들이 거의 대부분 클래딩 부분이나 경계에 존재하기 때문에 입사방향으로 진행되는 기본모드 LP<sub>01</sub>과 매우 작은양의 커플링을 일으키는 것을 관찰할 수 있었다. 반면에 depressed index type 광섬유의 광투과 스펙트럼에서 나타나는 LP<sub>16</sub>는 상당한 양의 파워를 코어영역으로 운반하므로 LP<sub>11</sub> 코어모드와 매우 유사하게 볼 수 있다. 광섬유 격자의 경사 각도를 조절함으로써 손실이 발생하는 파장을 결정할 수 있었고, 광섬유 자체의 굴절률 형태에 따라서 사이드 모드가 나타나는 양상이 달랐다. KIST에서 제작한 depressed

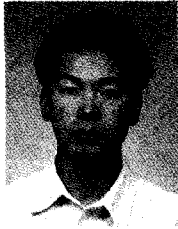
index type의 광섬유는 LP<sub>01</sub>-LP<sub>16</sub>가 항상 가장 큰 피크값을 가졌으며, 일반 통신용 step index type 광섬유를 수소 처리하여 같은 실험을 하였을 때 사이드모드가 넓은 파장 대역에 걸쳐서 최대 손실이 나타나는 파장이 변하며 분포하였다. 이러한 광섬유 격자의 경사 각도에 따라 다르게 나타나는 사이드모드의 특성을 이용하여, 사이드모드들의 중첩을 이용한 광섬유 광증폭기의 ASE 제거를 시도 해 보았다. 실험 결과 1530nm대역에서 효과적인 ASE제거를 얻을 수 있었다. 한편, 1540nm대역에 존재하는 광손실 문제는 앞으로 여러 종류의 광섬유를 가지고 실험함으로써 광섬유 격자의 경사 각도에 따른 사이드 모드 스펙트럼의 분포와 최대 피크값에 대한 결과를 얻어서 해결함으로써 광섬유 광증폭기의 ASE를 보다 효과적으로 제거할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- [ 1 ] K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson, and B. S. Kawasaki, "Photosensitivity in optical fiber waveguides: application to reflection filter fabrication," *Appl. Phys. Lett.* **32**, 647-649 (1978).
- [ 2 ] G. Meltz, W. W. Morey, and W. H. Glenn, "Formation of Bragg gratings in optical fiber by a transverse holographic method," *Opt. Lett.* **14**, 823-825 (1989).
- [ 3 ] K. O. Hill, B. Malo, F. Bilodeau, D. C. Johnson, and J. Albert, "Bragg gratings fabricated in monomode photosensitive optical fiber by UV exposure through a phase mask," *Appl. Phys. Lett.* **62**, 1035-1037 (1993).
- [ 4 ] D. Z. Anderson, V. Mizrahi, T. Erdogan, and A. E. White, "Production of in-fibre gratings using a diffractive optical element," *Electron. Lett.* **29**, 566-568 (1993).
- [ 5 ] W. W. Morey, G. Meltz, J. D. Love and S. J. Hewlett, "Mode-coupling characteristics of UV-written Bragg gratings in depressed-cladding fibre," *Electron. Lett.* **30**, 730-732 (1994).
- [ 6 ] T. A. Strasser, J. R. Pedrazzani, M. J. Andrejco, "Reflective-mode conversion with UV-induced phase gratings in two-mode fiber," *Optical Fiber Communication Conference*, vol. 6 of 1997 OSA Technical Digest Series, paper FB3. 348-349 (1997).
- [ 7 ] Dietma Johlen, Peter Klose, Hagen Renner, "*Optical Fiber Communication Conference*, vol. 2 of 1998 OSA Technical Digest Series, paper FA5. (1998).
- [ 8 ] P.L. FRANCOIS and C. VASSALLO, *Appl. Opt.* **22**, 3109 (1983).
- [ 9 ] S. J. HEWLETT, J. D. LOVE, G. MELTZ, T. J. BAILEY and W. W. MOREY, "Cladding-mode coupling characteristics of Bragg gratings in depressed-cladding fibre," *Electron. Lett.* **31**, 820 (1995).
- [ 10 ] S. C. Kang, S. Y. Kim, S. B. Lee, S. S. Choi and B. H. Lee, "Temperature-independent demodulation technique for fiber Bragg grating strain sensors using a tilted fiber Bragg grating," *CLEO '98*, San Francisco, Technical Digest CThB6, May, (1998).
- [ 11 ] T. ERDOGAN and J. E. SIPE, "Radiation-mode coupling loss in tilted fiber phase gratings," *J. Opt. Soc. Am. A*, **13**, 296 (1996).



저 자 소 개



權 瑞 遠(正會員)

1974년 2월생. 1997년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사). 현재 고려대학교 전자공학과 석사과정, 한국과학기술연구원(KIST) 광기술연구센터 학생연구원. 주관심분야는 광섬유 격자 제작, 광섬유 격자 소자를 이

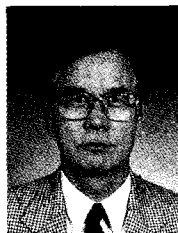
용한 광통신용 소자 등



李 相 培(正會員)

1956년 8월생. 1983년 2월 서강대학교 물리학과 졸업(이학사). 1985년 2월 동대학원 졸업(이학석사). 1993년 8월 동대학원 졸업(이학박사). 1985년 7월 ~ 현재 한국과학기술연구원(KIST) 정보전자부 근무(선임연구

원). 주관심분야는 특수 광섬유 개발, 광섬유 레이저, 광섬유 격자 소자, 광섬유 격자 소자 센서 등



崔 相 三(正會員)

1940년 5월생. 1966년 Univ. of North Carolina 물리학과 졸업(B.S.). 1968년 Michigan State Univ., East Lansing, 물리학과 졸업(M.S.). 1971년 The Ohio State Univ., 물리학과 졸업(Ph.D.). 1971

년 ~ 1974년 Research Associate at U.V. Photoelectron Analysis Lab., Dept. of Chemistry, Univ. of North Carolina. 1974년 9월 ~ 1975년 8월 Visiting Research Scientist at Group des Transitions de Phases, CNRS, Grenoble, France. 1996년 1월 ~ 1997년 12월 STEPI 연구기획단장. 1974년 ~ 현재 한국과학기술연구원(KIST) 정보전자부 근무(책임연구원). 주관심분야는 광통신, 레이저 광학, 광도파로, 상온 초전도체, 광전자 Spectroscopy 등



朴 鎭 雨(正會員)

1955년 7월생. 1979년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1980년 ~ 1981년 한국통신기술연구소 연구원. 1983년 8월 클렘슨 대학교 전기전자공학과 졸업(공학석사). 1987년 11월 버지니아 주립 공과대학교 졸업

(공학박사). 1988년 ~ 1989년 명지대학교 전자공학과 전임강사. 1995년 NHK기술연구소 방문연구원. 1989년 ~ 현재 고려대학교 전자공학과 부교수