

장주기 광섬유격자의 파장가변 특성

함정우, 이종훈, 이경식

성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부

Wavelength selective long-period fiber gratings.

JoungWoo Ham, JongHun Lee, KyungShik Lee

School of Electrical & Computer Engineering, Sungkyunkwan University.

Abstract - 본 논문에서는 주기적으로 홈을 새긴 V자 홈과 평판 사이에 광섬유를 놓고 압력을 인가함으로써 유도되는 파장가변 가능한 장주기 광섬유격자의 제작 및 특성에 대해서 살펴 보았다. 이러한 방식으로 제작된 장주기 광섬유격자의 투과특성 및 모드결합 특성은 기존의 장주기 광섬유격자와 유사한 특성을 보이면서도 모드결합이 일어나는 중심파장을 거의 180nm 이상으로 가변할 수 있었다.

1. 서 론

장주기 광섬유격자는 넓은 대역폭과 저손실, 우수한 파장 선택성 등의 장점으로 이득평탄기, 광대역파장 필터, 파장추가 추출기(ADM), 분산 보상기 등의 용도로 널리 쓰이고 있다. 기존의 장주기 광섬유격자 제작방법은 고출력의 UV빔을 광원으로 Mask를 이용하여 격자를 새기는 방법과 광섬유에 전기 아크를 가하여 주기적인 미세구부림을 형성하여 제작하는 방식이었다. 이러한 방식은 제작공정이 복잡하고 고가이며, 장시간이 소요된다는 단점을 가진다. 본 논문에서는 이러한 단점들을 극복할 제작 방법에 대해 연구하여 장주기 광섬유격자를 제작해 보았으며 특히, 기존의 제작 방식에서 문제가 되었던 투과필터의 중심파장을 가변할 수 있는 방법 및 투과특성에 대해 연구해 보았다.

2. 장주기 광섬유격자의 설계

장주기 광섬유격자는 일반 광섬유격자의 확장된 개념으로 격자 주기가 수백 μm 에 이르는 광섬유격자를 말한다. 일반 광섬유격자는 코어로 입사된 LP_{01} 모드가 격자에 의해 브래그 조건에 해당하는 파장만을 반대방향의 코어 모드로 결합시키는 반면, 장주기 광섬유격자는 진행하는 LP_{01} 모드의 빛을 특정 파장에서 진행 방향의 클래딩 모드와 결합시키는 원리를 이용한 것이다. 그러므로 광섬유격자의 주기를 적절히 설계하면 원하는 파장에서 모드결합을 일어나

게 할 수 있다. 이러한 모드결합이 일어나는 파장은 식(1)의 위상정합조건(Phase matching condition)에 의해서 결정된다.

$$\lambda_{lm} = (n_{co}^{0l} - n_{cl}^{lm})\Lambda \quad (1)$$

여기서, n_{co}^{0l} 와 n_{cl}^{lm} 은 각각 LP_{01} 코어모드와 hybrid lm 클래딩모드의 유효 굴절률을 나타낸다. 그림 1은 LP_{01} 모드와 클래딩 모드와의 결합이 일어나는 파장과 격자주기 사이의 관계를 나타낸다.

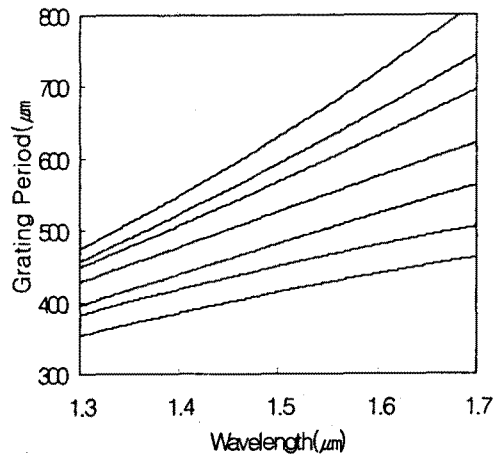


그림 1. 격자주기와 공진파장 특성

이러한 특성은 식(1)의 Phase matching condition에 의해서 계산되는데, 각각의 클래딩 모드의 유효 굴절률은 eigenvalue equation에 의해 계산된 클래딩 모드의 전파상수들(propagation constants)을 통해 구해진다. 구해진 클래딩 모드의 유효 굴절률은 파장이 증가함에 따라 선형적으로 감소하는 형태를 보인다. 즉, 파장이 증가함에 따라 결합되는

각각의 클래딩 모드의 결합에 필요한 격자주기는 선형적으로 증가하는 형태를 보이게 된다. 표시된 여러 선들은 LP_{01} 코어모드와 결합되는 각각의 hybrid lm 클래딩모드를 나타낸다. 즉, 원하는 파장에서 모드결합이 일어나는 격자의 주기를 결정할 수 있다. 또한 격자주기의 선택으로 모드결합이 일어나는 두 클래딩 모드들 사이의 파장 간격을 조정할 수 있다. 예를들어, 1550nm에서 결합되는 클래딩 모드와 다른 클래딩 모드의 파장간격을 100nm 이상으로 할려면 격자간격을 $460\mu\text{m}$ 로 사용해야 하고 50nm 이하로 설계하려면 $670\mu\text{m}$ 를 격자주기로 선택해야 한다.

3. 장주기 광섬유격자 제작

본 논문에서는 광섬유에 수직방향으로 압력을 인가함에 따라 광탄성 효과(Photo-elastic effect)에 의해서 굴절률 변화가 나타나는 특성을 이용하여 광섬유에 주기적인 간격으로 압력을 인가하여 장주기 광섬유격자를 제작할 수 있음을 알았다. 장주기 광섬유격자는 격자 간격이 수백 μm 이기 때문에 물리적으로 광섬유에 압력을 가하는 장치의 설계가 가능하였다. 장주기 광섬유격자 제작은 V홈을 새긴 판과 평평한 판 사이에 광섬유를 놓고 압력을 인가하는 방법으로 제작하였다. V홈의 깊이는 $125\mu\text{m}$ 이고, V홈의 주기는 $580\mu\text{m}$ 로 설계하였다. 광원은 광대역 광원인 LED 또는 백색광을 사용하였으며 장주기 광섬유격자의 스펙트럼 특성은 광스펙트럼 분석기를 사용하여 분석을 하였다. 광섬유는 일반 통신용 단일모드 광섬유를 사용했으며, 실험은 보호층(Jacket)이 있는 것과 보호층이 없는 광섬유 두 경우에 대해 실험을 하였다. 보호층이 없는 광섬유의 경우 투과 스펙트럼상에서 공진파장의 중첩 및 물리적 압력에 매우 약한 특성을 보였다. 보호층이 있는 광섬유의 경우 이러한 점들이 사라지고 원하는 투과스펙트럼을 얻을 수 있었으며, 어느정도의 재연성을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

4. 장주기 광섬유격자 특성

4.1 파장가변 특성

기존의 방식으로 제작된 장주기 광섬유격자는 결합되는 모드의 중심파장을 제어하기 어렵고 제작후 수정이 불가능 하다. 이에 본 논문에서는 중심파장을 가변할 수 있는 장주기 광섬유격자 제작을 위해 식(1)의 위상정합조건(Phase matching condition)으로 부터

LP_{01} 코어모드와 결합되는 hybrid lm 클래딩 모드의 공진파장(resonant wavelength)은 격자간격에 비례한다는 점을 이용하였다. 즉, 격자간격을 변화시킴에 따라 결합되는 모드의 공진파장을 가변할 수 있다. 그림 2는 격자간격의 변환에 따른 공진파장의 가변특성을 보여준다.

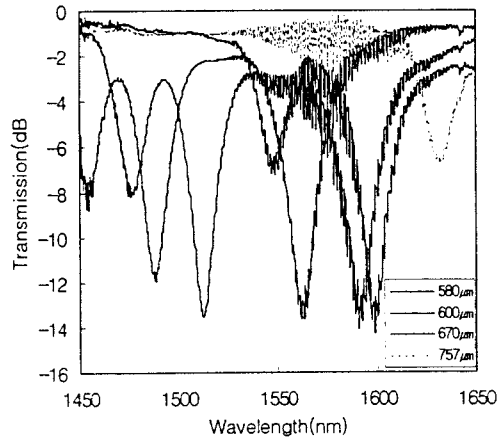


그림 2. 격자간격 변환에 따른 파장특성

그림 2의 투과 스펙트럼은 광섬유 격자의 길이는 거의 2cm로 유지한 채, 격자의 간격을 $757\mu\text{m}$ 까지 증가시켰을 때의 특성을 나타낸다. 격자 간격이 증가함에 따라 LP_{01} 코어모드와 결합되는 hybrid lm 클래딩 모드의 공진파장이 위상 정합조건에 의해 장파장 쪽으로 이동된다. 즉, 격자 간격을 변화시킴에 따라 결합되는 각 클래딩 모드들의 중심파장들을 적어도 180nm 이상 가변할 수 있다는 특성을 알 수 있었다.

4.2 압력에 따른 특성

광섬유에 인가되는 압력을 변화 시킴에 따라 유도되는 투과특성에 대해 알아 보았다. 식(1)의 위상정합 조건에 의해 코어모드에서 hybrid 클래딩 모드로 결합이 일어나는 공진파장에서 투과량은 식(2)에 의해서 결정된다.

$$T = \cos^2(kL/2) \quad (2)$$

여기서, L은 광섬유격자의 길이이며, k는 코어와 클래딩 모드들의 중첩적분과 격자의 굴절률 변화량에 비례하는 결합계수(coupling coefficient)이다. 굴절률 변화는 광섬유에 인가되는 압력에 비례한다.

그림 3은 격자주기 600 μm 에서 인가되는 압력에 따른 투과 스펙트럼을 보여준다.

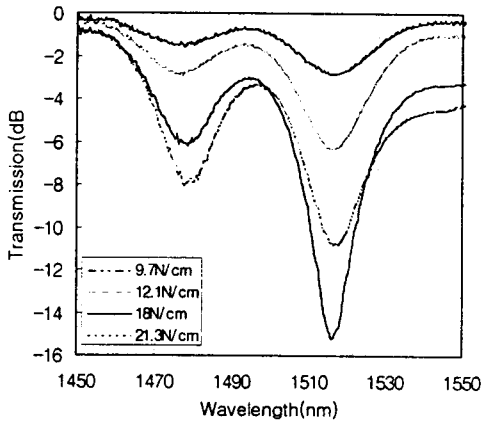


그림 3. Line force에 따른 투과 스펙트럼

그림 3의 투과 스펙트럼에서 1478nm에서 나타나는 투과손실은 광섬유에 인가되는 압력이 증가함에 따라 피크값이 계속 증가하는 경향을 보이며, 1517nm에서의 투과손실은 그와는 달리 어느정도의 압력 이상에서는 점차 감소하는 경향을 보인다. 이러한 경향은 식(2)에 의해 알 수 있다. 즉, 투과량은 격자의 길이와 결합 계수에 따라 \cos^2 의 특성을 보이기 때문이다. 일반적으로 이러한 특성들이 나타나는 파장에서의 모드결합은 압력을 증가시키기에 따라 대부분 더 강한 모드 결합이 일어남을 알 수 있다. 결합되는 m차 클래딩 모드와 최초 LP_{01} 모드와의 결합비는 Couple mode theory에 의해 유도되는데, 입사된 LP_{01} 코어모드와 결합되는 m차 클래딩 모드의 결합비는 식(3)과 같다.

$$\frac{P_{cl}^m(L)}{P_{01}(0)} = \frac{\sin^2 \left[x_g L \sqrt{1 + \left(\frac{\delta}{x_g} \right)^2} \right]}{1 + \left(\frac{\delta}{x_g} \right)^2} \quad (3)$$

여기서, $\delta = \frac{1}{2} \left\{ \beta_{01} - \beta_{cl}^m - \frac{2\pi}{\Lambda} \right\}$ 로 detuning parameter이고 x_g 는 결합상수이며 L은 격자의 길이이다. 결합상수 x_g 는 압력에 의해 유도되는 굴절률 변화에 비례하며 클래딩 모드로의 모드결합 강도를 최대로 만족시킬 때까지 증가한다. 결국, 굴절률 변화는 $x_g L = \pi/2$ 일 때까지 증가하게 된다. 만약 완전한 결합이 일어났다고 가정한다면 FWHM($\Delta\lambda$)은 식(4)와 같다.

$$\Delta\lambda = \frac{0.8\lambda_0^2}{L(n_{co}^{01} - n_{cl}^{lm})} \quad (4)$$

여기서, L은 격자길이이며, L=20.7mm일때 모드결합이 일어나는 각 파장에서 $\Delta\lambda \approx 29\text{nm}$ 로 그림 4에서 나타나는 값 20~30nm와 일치한다.

5. 결론

본 연구에서 광섬유에 인가된 압력에 따른 굴절률 변화로 유도된 장주기 광섬유 격자는 다른 형태의 장주기 광섬유 격자와 유사한 특성을 보여준다. 제작장비는 소형이며, LP_{01} 모드와 결합되는 각 클래딩 모드의 중심파장을 180nm이상 가변할 수 있으며, 더 작은 격자간격을 사용할 경우 파장가변 범위가 더 증가될 것으로 예상된다. 앞으로 결합되는 모드들에 대한 분석과 여러 특성들에 대한 연구를 할 예정이며, 이러한 특성분석으로 여러 유용한 응용 분야를 찾을 수 있을 것으로 기대된다.

“이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음”(KRF-2000-041-E00225)

(References)

- [1] J.W.Ham, J.H.Lee, K.S.Lee, Conference on Optoelectronics and Optical Communications, 191-192 (2001).
- [2] S.Savin, M.J.F Dignonnet, G.S.Kino and H.J.Shaw, Opt. Lett., 25, 710-712 (2000).
- [3] K.S.Lee, T.Erdogan, Appl. Opt., 39, 1394-1404 (2000).