

선박적용을 위한 장주기 광섬유 격자 압력센서의 기초연구

손경락⁺·최영길⁺⁺·장세인⁺⁺·최재윤⁺⁺

Basic Study on The Long-period Fiber Grating Pressure Sensor for applying the Vessels

Kyung Rak Sohn⁺, Young Gil Choi⁺⁺, Se In Jang⁺⁺, and Jae Yun Choi⁺⁺

Abstract : we present a pressure sensor based on the mechanically formed long-period fiber gratings. The attenuation properties of an output power as a function of an external pressure is able to apply to the in-line fiber pressure sensors for the vessels.

Key words : fiber optic sensors, Long-period fiber gratings, Pressure sensors, Strain-induced gratings

1. 서론

광섬유 격자는 광섬유형 센서 또는 광통신 소자를 효과적으로 구현할 수 있는 획기적인 방법이다^[1]. 광을 제어하는 도파로로 통신용 단일모드 광섬유를 사용하며 광섬유의 코어 또는 클래딩에 주기적인 굴절률 변화를 유도하여 필터특성을 얻는 것을 기본 원리로 하고 있다. 격자주기에 따라 단주기 광섬유 격자와 장주기 광섬유 격자로 구분되는데 단주기 광섬유 격자는 수백 nm의 주기를 가지며, 일반적으로 UV 레이저 빔과 위상 마스크를 이용하여 제작하게 된다.

한편, 장주기 광섬유 격자는 격자 주기가 수백 μm 이다. 격자주기가 넓기 때문에 제작 방법도 다양해 질 수 있다. UV 레이저와 진폭 마스크를 사용하여 광섬유의 코어에 격자를 제작할 수 있을 뿐만 아니라 광섬유의 클래딩에 주기적인 외부 섭동을 가하여 제작할 수도 있다. 장주기 광섬유 격자는 압력, 온도, 응력, 굴절률 등의 가공 물리량 또는 화학적인 변화를 측정할 수 있는 다양한 센서의 기본 동작 소자로도 응용 될 수 있다. 또한 특정파장 제거 또는 투과 필터, 초고속 광 전송 시스템에서의 색분산 보상을 위한 분산 보상 소자, ASE 필터, 어븀 첨가 광섬유 증폭기의 이득 평탄화 필터 등의 응용을 위하여 많은 연구가 되고 있다^[3].

2000년 스텐포드 대학의 S. Savin 등이 V-groove를 이용하여 기계적 압력에 의해서 장주기 격자를 형성하는 방법을 발표하였다^[2]. 국내에서도 유사한 방법으로 장주기 격자를 형성하는 연구를 진행하고 있다^[3]. 이 방법은 광섬유에 주기적인 압력이 가해짐으로서 생기는 광탄성 효과를 이용하는 것으로 비교적 간단한 방법으로 구현이 가능하고 중심파장의 가변도 가능하다.

본 연구에서는 금속선을 이용한 기계적으로 형성된 장주기 격자형 압력센서를 소개하고자 한다. 그리고 선박의 압력 센서 적용에 대한 가능성을 검토하고자 한다.

2. 소자설계 및 제작

그림 1은 제안된 장주기 광섬유 격자 압력 센서의 개략도이다. 광섬유 클래딩에 주기적인 굴절률 변조를 유도하기 위하여 250 μm 직경의 금속선을 이용하였다. 격자의 주기보다 작은 직경의 금속선을 주기적으로 배열하기 위하여 520 μm 로 일정하게 주름진 꼴이 새겨진 고정 지그를 사용하였다. 먼저 적당한 길이로 잘라낸 금속선을 지그의 꼴에 배열한다. 배열된 금속선이 움직이지 못하게 평판을 이용하여 지그상부에서 눌러준다. 이 상태에서 금속선의 양 끝에 평판 유리를 상하로 겹쳐 붙인다.

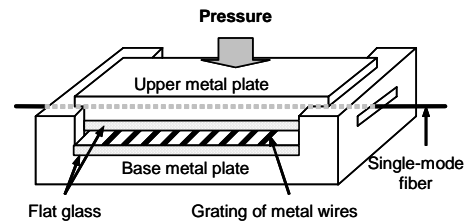


Fig. 1 Schematic of the proposed LPFG pressure sensor.

금속선은 10 Ω/m 의 저항을 가지는 황동선이며 직진성이 우수하여 장주기 격자를 형성하는데 적합하였다. 금속선의 양 끝단이 고정된 다음 지그를 제거하게 되면 지그가 제거된 부분은 광섬유에 기계적인 격자를 형성하기 위한 부분으로 이용된다. 금속 격자위에 광섬유를 두고 상부에서 평판 덮개로 덮은 뒤 적당한 압력으로 누르게 되면 금속선과 광섬유가 맞는 부분에 기계적인 응력이 가해지고 광섬유의 클래딩에 주기적인 굴절률 변화가 유도된다. 본 연구에서 사용한 금속선은 기존에 발표된 방법에 비하여 몇 가지 장점을 가진다. 기계적으로 유도된 장주기 광섬유 격자는 상부에서 누르는 압력과 광섬유와의 기계적인 접촉에 의하여 마모되거나 손상될 우려가 있다. 그러나 금속선은 내구성이 우수하고 견고하므로 반 연구적으로 사용할 수 있다. 또한 광섬유보다 강도가 높음에 따라 압력에 의한 광섬유 클래딩의 굴절률 변조가 쉽게 일어나며 금속선의 변형이 발생하지 않는다.

기계적으로 형성된 장주기 광섬유 격자는 클래딩의 외부에서 가해지는 주기적인 응력에 의해서 굴절률 변조가 유도된다. 이때 광섬유 코어의 LP_{01} 모드는 클래딩의 특정모드 LP_{0m} 와 광결합을 하게 되는데 위상 정합 조건은 다음과 같이 주어진다.

$$\lambda_m = (n_{co}^{01} - n_d^{0m})\Lambda \quad (1)$$

여기서, Λ 는 격자주기, n_{co}^{01} 과 n_d^{0m} 은 각각 LP_{01} 코어모드와 LP_{0m} 클래딩 모드의 유효 굴절률을 나타낸다.

코어와 클래딩 모드의 유효 굴절률은 전파 파장과 광섬유의 구조에 대한 함수로 주어진다. 계단형 굴절률 분포를 가지는 단일모드 광섬유에 대한 코어와 클래딩의 모드의 모드 굴절률을 산출할 때 기하 광학적 근사법은 유용하게 사용되어진다.

+ 손경락(한국해양대학교 전파정보통신공학부), E-mail: krsohn@bada.hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4312

++ 최영길, 장세인, 최재윤(구미기능대학 정보통신시스템과)

단일모드 광섬유에 대하여 LP_{01} 모드가 지원되므로 m 차 클래딩 모드에 대한 모드 방정식은 다음과 같이 주어진다^[4].

$$\left(\frac{2\pi}{\lambda_m}\right)d_d((n_d)^2 - (n_d^{0m})^2)^{1/2} - \left(m - \frac{3}{4}\right)2\pi = 2\cos^{-1}\left(\frac{(n_d)^2 - (n_d^{0m})^2}{(n_d)^2 - (n_{sur})^2}\right)^{1/2} \quad (2)$$

여기서 d_d 은 클래딩의 직경이며, n_{sur} 은 클래딩 주위의 굴절률이다. 식 (2)의 양변을 그래픽적 방법으로 좌변의 함수로 나타내면 그림 2와 같다. 두 곡선의 교차점은 주어진 n_{sur} 에 대한 모드별 공진파장이다.

n_{sur} 이 광섬유의 굴절률보다 높은 일반적인 광섬유 조건에서 계산된 투과 스펙트럼은 그림 3과 같다. 이때 격자의 굴절률 변화는 외부에서 가해지는 압력의 함수가 된다. 그림 3에서 격자의 굴절률이 증가함에 따라 각 모드별 공진파장에서 대역제거 깊이가 깊어짐을 알 수 있다.

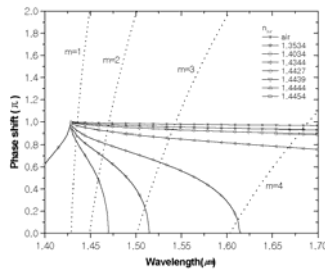


Fig. 2. Graphic method for obtaining the resonance wavelengths.

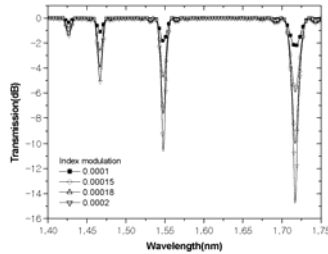
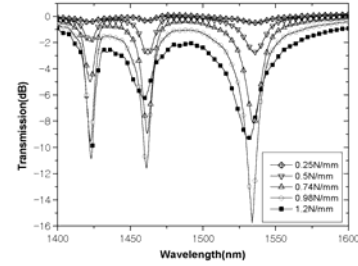


Fig. 3. Calculated transmission spectrum in terms of the index modulation of the fiber grating.

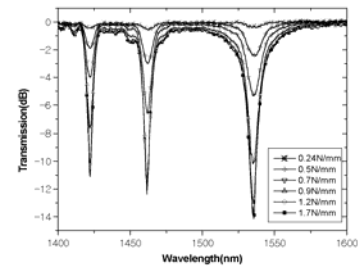
3. 실험결과 및 토의

그림 4 (a)는 플라스틱 코딩을 제거한 광섬유를 이용하여 격자 센서를 구성하였을 때의 투과 스펙트럼을 보여주고 있다. 플라스틱 코딩을 제거한 경우 금속선이 광섬유의 클래딩에 직접 접촉되고 가해진 압력이 클래딩에 직접적인 영향을 미치므로 압력의 변화에 민감하게 반응하고 있다. 16dB 정도의 감쇠를 얻기 위하여 약 1N/mm의 압력이 가해졌다. 그러나 1N/mm 이상의 압력이 가해지면 감쇠정도가 다시 줄어들고 있는데 이것은 금속선에 의한 압력이 일정범위를 넘어가게 되면 장주기 광섬유 격자의 투과 스펙트럼이 sinc^2 이 됨으로부터 설명되어진다. 그림 4 (b)는 플라스틱 코딩을 제거하지 않고 금속선에 압력을 인가하였을 때의 투과 스펙트럼이다. 금속선이 광섬유의 클래딩과 직접 접촉되지 않으므로 삽입손실은 1dB 이하로 나타

나고 있다. 그러나 플라스틱 코딩으로 인하여 클래딩에 가해지는 압력에 대한 감쇠 정도는 크게 저하되고 있다. 14dB 정도의 감쇠를 얻기 위하여 1.7N/mm 정도의 압력이 광섬유에 인가되어야 한다. 1.7N/mm 이상의 압력에서도 감쇠정도가 줄어들지 않고 포화 곡선의 경향을 보임을 알 수 있다. 이로부터 광섬유의 클래딩을 둘러싸고 있는 플라스틱 코딩이 일종의 버퍼층 역할을 하고 있으며 기계적으로 유도되는 장주기 격자의 외부압력 변화에 대해 민감도를 어느 정도 완화할 수 있음을 알 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 4. Measured transmission spectrum. (a) without and (b) with plastic jacket.

4. 결론

기계적으로 형성된 장주기 광섬유 격자 센서의 외부 압력에 대한 투과 스펙트럼 변화를 이론적으로 분석하였으며 실험결과와 잘 일치함을 보였다. 이러한 실험결과를 바탕으로 향후 선박용 압력 센서로 적용하기 위한 연구를 수행하고자 한다.

참고문헌

- [1] T. Erdogan, "Fiber grating spectra," J. Lightwave Technol., vol. 15, no. 8, pp. 1277-1294, 1997.
- [2] S. Savin, M. J. F. Digonnet, G. S. Kino, and H. J. Show, "Tunable mechanically induced long-period fiber gratings," Opt. Lett. vol. 25, no. 10, pp. 710-712, 2000.
- [3] K. R. Sohn and K. T. Kim, "Thermooptically tunable band-rejection filters using mechanically formed long-period fiber gratings," Opt. Lett., vol. 30, no. 20, pp. 2688-2690, 2005.
- [4] B. H. Lee, Y. Liu, S. B. Lee, S. S. Choi, and J. M. Jang, "Displacements of the resonant peaks of a long-period fiber grating induced by a change of ambient refractive index," Opt. Lett., vol. 22, no. 23, pp. 1769-1771, 1997.