

광파이버 브래그 격자형 무게 센서에 관한 연구

이종윤^{1*}, 정진호¹

A Study on a FBG Weight Sensor

Jong-Jong Lee^{1*} and Jin-Ho Jung¹

요약 무게 센서를 기본으로 한 광파이버는 무게에 민감한 파이버 브래그 격자를 이용한 구조로 되어있다. FBG 본래의 특성을 이용한 센싱과 광파이버 브래그 격자를 통하여 스트레인 효과를 기본으로 하였다. 무게 레벨의 직접적인 표시는 센싱 물질의 팽창으로 말미암아 브래그 파장의 천이에 의하여 알 수 있다. FBG의 동작은 스트레인과 온도에 매우 민감하게 만들기 위해서 본래의 특성에 의한 것으로 특별한 필터와 같다. 이러한 센싱 원리는 무게를 인가한 것으로 FBG를 통해서 스트레인 효과를 기본으로 한 것이다. 실험 구성은 센서의 무게 응답 특성을 초기 연구를 통해 이용하였다. 센서로부터 투과된 신호는 0.4nm의 분해능 대역폭을 가지며 광 스펙트럼 분석기를 이용하여 관찰하였다. 본 논문에서는 무게에 따른 광파이버 브래그 격자의 중심 파장이 변화하는 것을 이용하는 동시에 작은 격자 부분에 무게로 영향을 주어 FBG의 스펙트럼 특성과 형태를 나타내었으며, 광파이버의 내구성이 사라졌을 때 파장과 스트레인 변화가 제거됨을 알 수 있었다. 즉, 무게에 의해 광파이버가 파괴되면 물리적인 손상을 입게 된다.

Abstract A fiber optic based weight sensor has fabricated using a fiber Bragg grating with a weight sensitive. The sensing concept exploits the inherent characteristics of the FBG and is based on the strain effect induced in the fiber Bragg grating through. A direct indication of the weight level is given by the shift of the Bragg wavelength caused by the expansion of the sensing material. A FBG behaves like a spectral filter which has inherent characteristics that render it very sensitive to strain and temperature. The sensing principle is also based on the strain effect induced in the FBG through the caused by the weight. The experimental setup used for the initial investigation to characterize the mass response of the sensor. The transmitted signal from the sensor was monitored using an optical spectrum analyzer with a resolution bandwidth of 0.4nm. In this paper, we presented the spectral characterization and shaping of FBG by scanning a mass element that affects a small grating fraction at a time, without permanent effects on the optical fiber when the various wavelength and strain is removed. That is, destruction when the optical fiber for weight is physically damaged.

Key Words : Fiber Bragg Grating, Weight Sensor, Strain

1. 서론

현재 광파이버를 통해 활발히 응용 및 연구되고 있는 분야가 광통신과 광센서 기술이다[1]. 광파이버 브래그 격자(fiber Bragg grating, FBG)는 온도에 의한 의존 특성이 매우 크며, 생산성이 낮은 단점을 가지고 있는 반면에, 광파이버 센서의 중요한 장점으로는 전기적으로 수동의 동작, 전자파간섭 내성, 고감도 그리고 다중화 능력, 소형화, 경량화, 광대역 대용량화 등의 특징을 가지고 있다[2, 3]. 또한 광파이버 격자형 센서는 파장을 달리한 광파

이버 격자를 이용하여 다중점(multi-point) 센서로의 확장이 용이하다. 광파이버를 이용한 센서로는 스트레인, 온도, 압력, 거리, 변위 등이 있으며, 이를 응용하여 지능형 도로구조물용 고속계중 시스템, 사면감시 및 단락감지 시스템, 침입감지 시스템, 교량 및 건축물의 사전 감시 시스템 등에 이용할 수 있다[4, 5]. 이에, 광파이버를 이용한 무게 센서는 빛의 신호를 전송 또는 반사하기 때문에 주위에 따른 전자파 간섭의 영향이 없으므로 잡음의 내성이 강하며, 재질이 소형 및 경량인 점 등으로 무게 센서로서 사용하기에 적합하다. 또한, 광파이버 브래그 격자는 한 가닥의 광파이버에 여러 개의 격자를 직렬로 형성할 수 있으므로 동시에 여러 부분의 스트레인 및 무게 측정이

¹호서대학교 전자공학과

*교신저자: 이종윤(fbg2006@naver.com)

가능하다[6]. 특히 무게를 증가함으로써 변화하는 부분이 광파이버 브래그 격자 길이에 제한되어 있으므로 광범위한 다중점 무게 측정에 적합하다. 그러므로 일정한 무게 변화에 따라 광파이버 브래그 격자는 반사파장이 거의 선형적으로 변화하므로 이동한 파장의 값을 측정하여 무게에 따른 파장의 값을 읽어 낼 수 있다[7, 8, 9]. 이에, 본 논문에서는 광파이버 브래그 격자를 이용하여 무게를 5kg 단위로 일정하게 하여 약 1시간 후에 측정된 실험 데이터 값으로 무게에 따라 파장의 변화를 측정함으로써 광브래그 격자를 이용한 무게 측정 센서에 대해 연구 고찰하였다.

2. 무게 측정 원리

FBG는 광파이버 코어 내에 UV 레이저를 이용하여 주기적인 굴절률 변화를 영구적으로 줌으로써 주어진 조건에 따라 특정 파장을 반사시키고, 그 이외의 다른 파장은 투과시키는 특성을 나타내는 소자이다. 따라서 필터를 설계하기에 매우 유용하며 시스템의 소형화, 경량화를 실현할 수 있는 장점이 있다[2]. 이러한 FBG의 해석을 위해서는 도파로를 통해 전송되는 광의 결합 현상을 해석하여야 한다[5].

그림 1에서처럼 FBG는 광파이버 코어 부분에 주기적으로 굴절률 변화를 만들므로써 구성할 수 있다. 따라서 광파이버 격자에 신호가 입력되면 코어 내에서 굴절률 차이로 인하여 광파이버 브래그 조건에 따라 설정된 격자에 의해 선택된 파장은 반사되어 돌아가고, 그렇지 않은 파장은 투과하는 특성을 가지므로 특정파장대의 신호만을 선택할 수 있다. 광파이버 브래그 조건에 의해 결정되는 광파이버 격자의 반사파장 λ_B 는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다[10, 11].

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

여기서, λ_B 는 반사되는 브래그 파장, Λ 는 광파이버 격자의 주기, n_{eff} 는 파이버 코어의 유효굴절률이다.

따라서, 본 논문에서는 광파이버 격자의 브래그 반사파장 식 1과 그림 1에서처럼 광파이버 브래그 격자 부분에 무게가 가해지면 무게가 인가된 특정한 부분에서 주기적인 무게가 발생하여 광파이버 브래그 격자가 형성되고, 가해진 무게가 제거되면 형성되었던 광파이버 브래그 격자도 제거되어 광파이버의 투과 스펙트럼 특성을 보여 주게 된다. 광파이버 브래그 격자 부분에 무게가 인가되

지 않았을 때는 광파이버에 조사된 신호는 출력측으로 모두 진행되고 광파이버 브래그 격자 부분에 무게를 가했을 때는 무게가 인가된 부분에 격자가 형성되어 위상정합 조건을 만족시키는 파장의 신호는 광파이버 클래딩 외부로 흡수 또는 산란되므로 나머지 신호만 출력측으로 진행하게 된다. 그러므로, 광파이버 브래그 격자 부분에 무게가 인가되었을 때 위상정합 조건을 만족하는 파장대역이 제거된 대역 제거 필터의 특성을 보임으로써 무게에 따른 파장의 변화가 나타남을 광 스펙트럼 특성을 통하여 알 수 있게 된다.

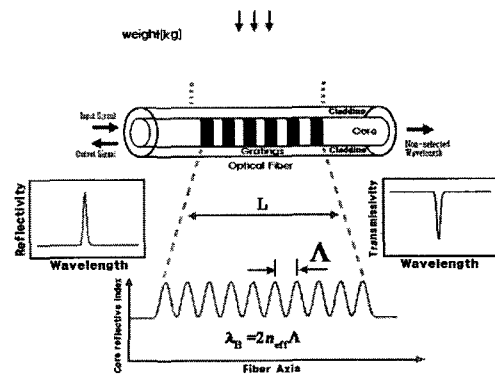


그림 1. 광파이버 브래그 격자
Fig. 1 The fiber Bragg grating.

3. 무게 측정 실험 및 결과 고찰

3.1 FBG 무게 측정 실험

본 절에서는 무게에 따른 FBG를 통해 출력 단자로 출력되는 광파의 파장 변화를 실험하고 그 결과를 고찰한다. 그림 2는 광파이버 브래그 격자의 무게에 따른 파장 변화의 측정 센서 실험을 위한 구성도이며, FBG 부분에 무게를 증가시킴으로써 변화하는 FBG 브래그 파장의 값을 측정하기 위하여 실험에 사용된 장비는 입력 광원으로 광통신용 파장인 900nm-1750nm 광대역 광원(Anritsu사)을 사용하였고, 출력 단자에서의 출력 스펙트럼은 광스펙트럼 분석기(Anritsu사 모델명 MS9710C)로 측정하였다. 그림 2에서 정확한 실험 데이터 값을 고려하여 평형성 및 안정성을 유지하기 위한 것으로 밑바닥 부분에 5mm의 두께와 가로, 세로의 길이가 각각 200mm, 250mm의 고무판을 놓고 고정시켰다. 그리고 광파이버를 고무판 위에 구부러지거나 파괴되지 않도록 안착시켰다. 또한 정확하고 안정된 실험을 하기 위한 것으로 광파이버 브래그 격자 부분에 20mm 정도의 두께와 가로, 세로

길이를 각각 100mm로 한 스폰지를 움직이지 않도록 안착시켰다. 스폰지를 사용한 이유는 고무판 위에 놓여 있는 광파이버에 직접적으로 무게를 가했을 경우 광파이버 브래그 격자 부분이 손상되거나 파괴되는 현상을 방지하기 위한 것이며, 더불어 무게에 의한 완충 작용을 스폰지가 흡수하기 때문이다. 따라서 스폰지 위에 일정한 단위의 무게 kg를 광파이버 브래그 격자 부분에 정밀하고 안정되게 고정시킨 후, 5kg부터 50kg까지 1시간 단위로 5kg씩 증가시켜 출력단자의 출력 스펙트럼 특성을 측정하였다.

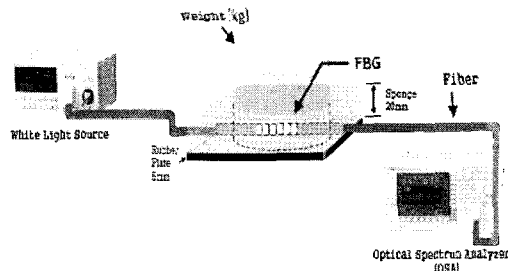


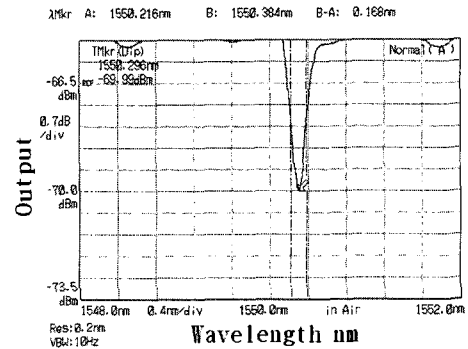
그림 2. 무게 측정을 위한 실험 구성도
Fig. 2 Experimental setup for weight measurement.

그림 2에서 광 스펙트럼 분석기의 분해능은 0.2nm로 설정하였으며, 감쇄는 0.7dB/div이며, 비디오 대역폭 (Video Bandwidth : VBW)은 10Hz이다. 실제로 실험에 사용된 전체 파장의 범위는 1544nm부터 1550nm로 설정하였으며, 대역폭은 0.4nm/div이고 투과 스펙트럼의 감쇄 범위는 -66.5dBm부터 -73.5dBm으로 하였다. 또한, 파장의 범위는 1548nm부터 1552nm으로 설정하여 무게에 따른 FBG 부분에서 파장의 변화를 실험 측정하였다.

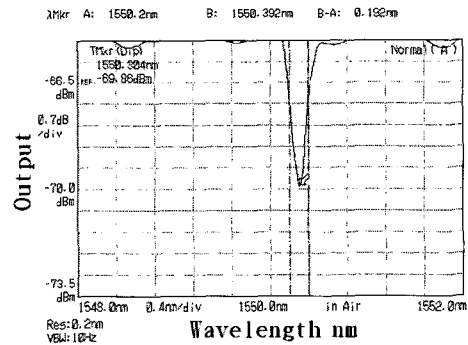
3.2 실험 결과 및 고찰

그림 2에서 입력 단자에 백색 광원을 연결하고 출력 단자에 광 스펙트럼 분석기를 연결하여 측정한 스펙트럼 특성 결과가 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)에서 알 수 있듯이 FBG의 초기치 출력 파형의 중심 파장, 즉 무게를 가하지 않은 상태에서 측정하였을 때 1550.296nm이었으며, 그림 3(b)의 5kg 무게를 가한 상태에서 측정하였을 때는 중심 파장이 1550.304nm임을 스펙트럼을 통해서 알 수 있다. 따라서 초기치 즉, 무게를 가하지 않았을 때와 5kg으로 가했을 때의 측정된 두 스펙트럼 간의 파장차는 0.008nm이므로 파장의 변화가 발생하였음을 알 수 있다. 그림 3(c)에서는 25kg의 무게로 측정하였을 때 출력 단자의 스펙트럼 특성을 나타낸 것이다. 그림 3(c)의 스펙트럼 결과로부터 25kg을 광파이버 브래그 격자에 올

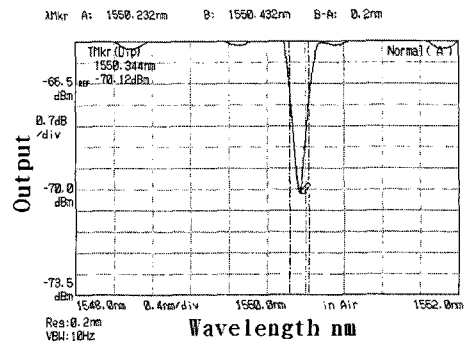
려놓고 측정한 결과 중심 파장이 1550.344nm 이동되었음을 나타내고 있으며, 출력 단자의 출력 스펙트럼의 결과로부터 초기치와 25kg으로 측정한 결과 두 파장의 차이가 0.048nm 정도 나타난 것을 그림 3(c)의 결과로부터 알 수 있다. 그림 3(d)에서는 FBG 부분에 50kg의 무게를 올려놓고 측정하였을 때, 중심파장이 1550.392nm 변화하였으며 초기치 파장과는 0.096nm 만큼 나타난 것을 그림 3(d)의 스펙트럼 특성으로부터 알 수 있다.



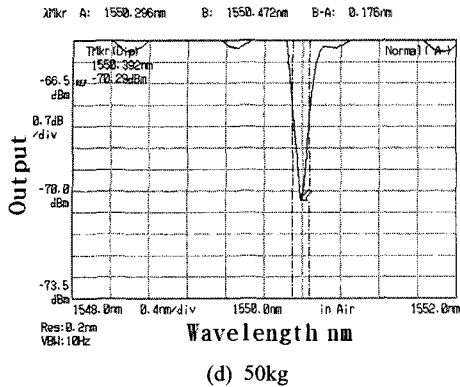
(a) 초기치



(b) 5kg



(c) 25kg



(d) 50kg

그림 3. FBG 전송 스펙트럼
Fig. 3 Transmission spectrum of FBG.

광파이버 브래그 격자의 파장 범위는 1548nm부터 1552nm이며, 중심파장은 1550nm이고 FBG 부분에 무게를 가하지 않은 상태의 초기치 중심 파장은 1550.296nm으로 그림 4의 결과 그래프에서 보이는 바와 같이 측정됨을 알 수 있다. 또한, 50kg의 무게를 가했을 때 중심 파장은 1550.392nm로 초기치와 비교하면 0.096nm의 중심 파장이 선형적으로 천이되었음을 그림 4의 그래프를 통하여 알 수 있다. 그러나, 15kg과 20kg 사이에 그래프 특성을 보면 약간의 비선형적인 특성을 볼 수 있는데, 이는 광파이버 브래그 격자에 가해진 무게가 점차 증가함에 따른 파이버 재질의 특성이라 판단된다. 따라서, 그림 3과 그림 4의 광 스펙트럼 분석기로 측정 및 분석한 특성 결과로부터 파이버 브래그 격자 부분에 인가한 무게가 증가함에 따라 광파이버에 가해지는 압력이 증가하게 된다. 따라서 코어 모드와 클래딩 모드 간에 더욱 강한 모드 결합 현상이 발생하게 되므로 압력 및 무게가 증가할수록 더 많은 광이 클래딩 모드와 결합됨을 알 수 있다.

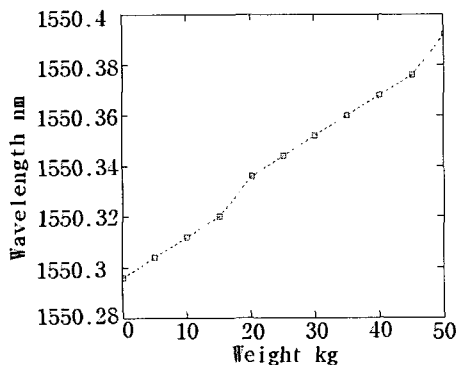


그림 4. 인가된 무게에 따른 FBG의 중심 파장
Fig. 4 Center wavelength from the fiber Bragg grating under applied weight.

4. 결론

본 논문에서는 광파이버 브래그 격자 부분에 일정한 값의 무게를 증가시킴으로써, FBG의 브래그 반사에 파장 미치는 영향에 대하여 실험을 통하여 무게 센서로서의 동작성에 대해 고찰하였으며, 그림 4의 무게에 따른 파장의 스펙트럼 결과 특성 그래프에서 알 수 있듯이 비례적인 선형성을 보이고 있다. 이러한 스펙트럼의 파장 변화에 따른 결과로부터 무게의 변화를 줌으로써 출력측에서 파장의 변화를 감지하여 무게 센서로서 충분한 동작과 기능을 할 수 있음을 결과 값을 통하여 알 수 있다. 따라서, 무게 센서로서의 최적의 데이터 값을 얻기 위해 질량을 5kg부터 50kg까지 5kg 단위로 변화를 주어 실험하였으며, 일정한 시간 간격으로 투과 스펙트럼의 파장 변화를 통해 비교, 분석하였다. 그림 3과 그림 4의 실험 데이터 값으로부터 광통신 및 광센서 시스템의 원활한 정보를 전송할 수 있고 많은 광통신 분야에 응용될 것으로 사료되며, 위의 실험 결과 값을 이용하여 무게 센서로 제작하는데 활발한 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한, 광파이버 한 가닥에 직렬로 여러 브래그 격자를 새김으로써 동시 측정이 가능하다. 즉, 광파이버 브래그 격자의 어떤 위치에서도 무게에 따른 스펙트럼 투과 특성을 측정할 수 있으므로 교량센서 및 이동물체에 따른 정확한 무게 측정 센서로도 활용가능하다.

참고문헌

- [1] R. Kashyap, "Fiber Bragg Grating", San Diego, CA: Academic, 1999
- [2] Alan D. Kersey, Michael A. Davis, Heather J. Patrick, Michel LeBlanc, K. P. Koo, Member IEEE, C. G. Askins, M. A. Putnam, and E. Joseph Friebele, "Fiber Grating Sensors," *J. Lightwave Technology*, Vol 15, pp. 1442-1450, 1997.
- [3] Francis T. S. Yu, Shizhuo Yin, "Fiber Optic Sensors", Marcel Dekker, pp. 95-99, 2002.
- [4] A. Othonos and K. Kalli, "Fiber Bragg Gratings: Fundamentals and Applications in Telecommunications and Sensing", Artech House, pp. 449-485, 1999.
- [5] M. G. Xu et al., *Electron. Lett.*, 30(13), pp. 1085, 1994.
- [6] C. J. S. de Matos, Student Member, OSA, P. Torres, L. C. G. Valente, Member, OSA, W. Margulis, Member, OSA, and R. Stubbe, Member, OSA, "Fiber Bragg Grating Characterization and Shaping by

- Local Pressure", *J. Lightwave Technology*, Vol 19, No. 8, pp. 1206-1211, August 2001.
- [7] R. B. Wagreich, W. A. Atia, H. Singh, and J. S. Sirkis, "Effects of diametric load on Bragg gratings fabricated in low birefringent fiber," *Electron. Lett.*, vol. 32, pp. 1223-1224, June 20, 1996.
- [8] C. M. Lawrence, D. V. Nelson, and E. Udd, "Measurement of transverse strain with fiber Bragg grating," *Proc. SPIE*, vol. 3042, pp. 218-228, 1997.
- [9] M. LeBlanc, S. T. Vohra, T. E. Tsai, and E. J. Friebele, "Traverse load sensing by use of pi-phase-shifted fiber Bragg grating," *Opt. Lett.*, vol. 24, pp. 1091-1093, 1999.
- [10] Heather J. Patrick and Sandeep T. Vohra, "Fiber Bragg Grating with Long Period Fiber Grating Superstructure for Simultaneous Strain and Temperature Measurement", *SPIE*, Vol. 3483, pp.264-267, 1998.
- [11] K. T. V. Grattan and B. T. Meggitt, "Optical Fiber Sensor Technology", Chapman and Hall, pp.24-267, 1995.

이 종 윤(Jong-Youn Lee)

[정회원]



- 2001년 2월 : 호서대학교 전자공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 한국대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 ~ 현재 : 호서대학교 전자공학과 (박사과정)

<관심분야>

WDM 광통신, 광전자공학, 집적광학, 광센서공학

정 진 호(Jin-Ho Jung)

[정회원]



- 1980년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1989년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2003년 1월 ~ 2004년 1월 : 미테네시 주립대학교 방문교수
- 1987년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

광무선통신, WDM 광통신, 광전자공학, 집적광학, 광센서공학