

외부 재킷 변화에 의한 광섬유 브래그 격자소자의 온도 민감도에 대한 연구

Sensitivity of Fiber Bragg Grating Device by a Outer Jacket Variation

박창섭¹, 석근녕², 강신원^{1,2}, 김학린^{1,2,*}

¹경북대학교 센서 및 디스플레이공학과, ^{2*} 경북대학교 전자전기컴퓨터학부

pcseobi@naver.com

1. 서론

광섬유 격자 센서는 광섬유 코어 내부에 주기적인 격자를 만들어 빛이 코어 내부로 지나갈 때 브래그 반사 조건에 의해서 특정파장이 브래그 반사되는 것을 이용한 센서이다¹⁾. 광섬유 격자 센서는 전자기적 영향과 환경적 변화에 영향이 없고 매우 빠르게 실시간 처리가 가능하다는 장점을 가지고 있어 센서로 많이 활용되고 있다. 하지만 광섬유는 외부 물리량의 변화는 매우 빠르나 상대적으로 자체의 변화량이 매우 작기 때문에²⁾ 온도 센서로서 이용하기 위해서는 특수한 방법이 필요하다. 이에 최근 이러한 온도 변화량에 매우 높은 민감성을 가지는 금속 물질을 코팅하는 방법 등 다양한 방법이 제시되고는 있으나, 외부 재킷 조건의 온도 변화량에 의한 영향을 규명하여 최적화된 모델링을 제시한 결과는 없었다.

이에, 본 논문은 외부의 온도변화에 대한 팽창력을 높이기 위해서 열 팽창율이 높고 소자 제작에 용이한 고분자 PDMS(Polydimethylsiloxane) 구조체내에 광섬유 격자 소자를 형성하여 고감도 FBG 온도 센서를 제작 하였으며, 광섬유와 고분자 재료간의 열팽창율과 탄성률차이에 의해 나타나는 변화를 수치적으로 모델링하여 실험치와 비교분석하여 최적화하였다.

2. 원리

FBG 센서는 광섬유 격자 내의 코어영역에 형성된 주기적 굴절률 변조에 따른 격자주기에 의해

특정 파장 대역이 선택적으로 반사되도록 제작된 광센서이다. 특정한 물리적 변화에 의해 광섬유가 압축되거나 팽창을 한다면, 코어 내의 굴절률과 격자 주기가 변화가 일어나며, 이는 공진 모드의 변화로 나타난다. PDMS 구조체가 FBG 외부에 형성된 제안된 구조의 경우, 온도에 따른 공진 파장 변화는 다음과 같이 기술된다.

$$\Delta \lambda_B = \lambda_B(x_A + x_f + x_p)\Delta T \quad (1)$$

여기서 x_A 는 열광학계수($8.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)이고, x_p , x_f 는 각각 광섬유($0.55 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)와 PDMS($310 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)의 열팽창계수이다.

이 때, 온도 변화에 의해 각각에 작용하는 힘으로부터 광섬유축 방향으로 늘어난 길이 변위량을 x 로 동일하게 놓았을 때, PDMS와 광섬유의 탄성력 차이에 의해 각각에 작용하는 힘은 Young's modulus 공식을 이용하여 나타내면 다음과 같다.

$$k_p(x_p - x) = k_f(x - x_f) = F \quad (2)$$

$$\frac{E_p \cdot S_p \cdot (x_p - x)}{\lambda_B} = \frac{E_f \cdot S_f \cdot (x - x_f)}{\lambda_B} \quad (3)$$

(단, 여기서 E_p , S_p , x_p , E_f , S_f , x_f 는 각각 PDMS와 광섬유의 영률, 단면적, 길이 열팽창률을 나타냄)

이 때, PDMS의 열팽창율은 광섬유의 열팽창율에 비해 매우 크므로($x_p \gg x_f$), 식(3)은 다음과 같이 정리되어 온도에 따른 광섬유의 변위량은 PDMS의 열팽창률, 영률, 단면적 및 광섬유의 영

를, 단면적에 대한 함수 x 로 표현되며, 이를 온도에 대한 공진파장으로 다시 표현하면 다음과 같이 기술된다.

$$\Delta \lambda_B = \lambda_B \left(x_A + \frac{x_p}{1 + \frac{E_f}{E_p} \cdot \frac{S_f}{S_p}} \right) \Delta T \quad (5)$$

3. 실험 및 결과

그림 1은 FBG에 PDMS구조체를 코팅하기 위한 제작 도식도이다. PDMS 구조체의 FBG센서 제작의 단계로 재킷이 제거된 광섬유에 PDMS구조체를 조성하기 위해서 크기가 다른 틀을 제작하였고, PDMS 혼자서는 고체화되지 않기 때문에 crosslinking을 하기 위한 경화제를 10:1 비율로 혼합하고 제작한 FBG센서를 틀 중앙에 고정시키고 80 °C에서 1시간동안 경화시켜서 4 cm², 1 cm², 0.25 cm² 단면적을 가지는 PDMS구조체가 코팅된 FBG센서를 제작하였다.

그림 2는 각각의 PDMS구조체가 코팅된 FBG의 온도변화에 따른 민감도와 위에서 도출한 수식을 토대로 simulation 결과와의 비교이다. 실험 결과 각각의 FBG센서의 온도 민감도는 0.042 nm/°C(4 cm²), 0.033 nm/°C(1 cm²), 0.028 nm/°C(0.25 cm²)로서 PDMS 구조체가 코팅된 FBG는 simulation 결과와 거의 동일한 결과를 나타내고 있다. 그러나 0.25 cm² 단면적을 가지는 경우에는 PDMS구조체의 bending에 의한 영향으로 이론치보다 큰 온도 변화폭을 나타낸 것으로 보여진다. 이 결과를 토대로 여타 고분자 재료를 이용한 고

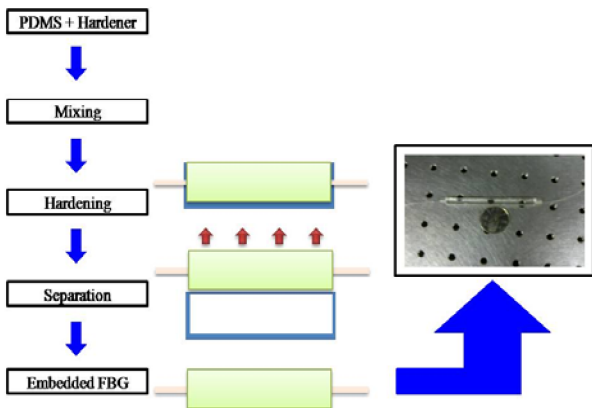


그림1. PDMS구조체가 코팅된 FBG의 제작 도식도

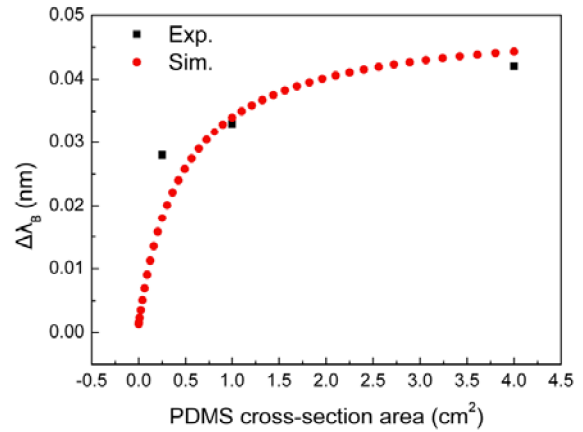


그림 2. 각각의 PDMS구조체의 온도 변화 측정결과(■)와 simulation 결과(●) 비교

민감도 광센서 소자 제작 및 광센서 성능 제어에도 응용될 수 있으리라 기대된다.

4. 결론

온도에 따른 열팽창률이 큰 고분자 구조체를 FBG 외부에 형성함으로써 일반 FBG 센서 대비 온도 민감도가 2.8 ~ 4.2배 정도의 개선된 광센서를 구현하였다. 또한, 제안된 구조에서 온도에 따른 공진 모드 변화를 광섬유와 코팅된 고분자 구조체의 물성 및 구조에 따른 격자간격의 변화로써 모델링하였다. 실험 결과 및 이론적 모델링 결과를 통해, 고분자 구조체의 단면적이 클수록, 열팽창계수가 클수록, 그리고 탄성 계수가 적을수록 온도 민감도는 더욱 향상될 수 있음을 알 수 있었으며, 이는 여타 고분자 재료를 이용한 고민감도 광센서 소자 제작 및 광센서 성능 제어에도 응용될 수 있으리라 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업 (R04-03-01)에 의해 지원되어 수행되었음.

참고문헌

1. Turan Erdogan, "Fiber Grating Spectra", *J. Lightwave Technol.*, 15, 8, 1277-1294, 1997.
2. Lin Gang-Chih, Wang Likarn, Yang C. C, Shih M. C, and Chuang. T. J, "Thermal performance of metal-clad fiber bragg grating sensors," *IEEE Photon. Technol. Lett.* 10, 3, 406-408, 1998.