

광섬유 브래그 격자를 이용한 촉감 감지용 단위 온도 센서 설계 및 평가

허진석* (한국과학기술원 기계공학과), 이정주 (한국과학기술원 기계공학과)

Design and Evaluation of Temperature Taxel for Tactile Sensation Using Fiber Bragg Grating

J. S. Heo(Mechanical Eng. Dept., KAIST), J. J. Lee(Mechanical Eng. Dept., KAIST)

ABSTRACT

Abstract should be written in English using Times New Roman 9pt. Write English abstract here. Write English abstract here.

Key Words : Tactile Sensor (촉각센서), Temperature taxel (단위 온도 센서), Fiber Bragg grating sensor (광섬유 브래그 격자 센서)

1. 서론

최근에 인간의 오감을 지능로봇에 접목을 시키려는 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 특히 촉감과 같은 복합적인 감각을 지능로봇에 적용하기 위하여 많은 연구 결과가 소개되고 있다[1, 2]. 하지만 대부분의 경우 분포 압력 또는 힘 측정에 기반을 둔 센서 배열 기술로 하나의 물리량 이상을 측정하지 못하는 단점을 가지고 있다. 이러한 센서들은 대부분 미소기전시스템 기술을 기반으로 제작되어 여러 종류의 물리량을 측정하기 위해서는 많은 배선이 요구되는 단점을 가지게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 광섬유 브래그 격자를 이용한 온도 감지용 촉감 감지 단위 센서를 설계하고 이를 검증하고자 한다.

2. 광섬유 브래그 격자 온도 센서 제작

광섬유 브래그 격자(fiber Bragg grating, FBG) 센서는 광섬유 내에 새겨진 브래그 격자에서 반사되는 파장 - 브래그 파장(Bragg wavelength)이 외부의 환경의 변화에 따라 변화되는 것을 이용한 센서이다. 식 (1)은 광섬유 내에서의 브래그 격자와 반사파장과의 관계식을 나타낸다.

$$\lambda_b = 2n_e \Lambda \quad (1)$$

여기에서 λ_b 는 브래그 격자에 반사된 광의 파장을 나타내는 브래그 파장(Bragg wavelength)이며, n_e 는 광섬유 격자의 유효 굴절률(effective refractive index), Λ 는 광섬유 코어에 새겨진 격자의 간격을

나타낸다. 따라서 격자에서 반사되는 브래그 파장은 유효 굴절률과 격자 간격의 함수이며 광섬유 격자에 온도나 변형률 등의 외란이 가해지면 이들 값이 변하여 브래그 파장은 달라진다. 광섬유 격자에 가해진 온도나 변형률 등의 물리량을 식 (2)와 식 (3)을 통하여 계산할 수 있으며, 여기서 p_e 는 광탄성 상수이고 germanosilicate glass의 경우 약 0.22의 값을 가진다[3]. p_{11} 과 p_{12} 는 변형률 광학 텐서(strain-optic tensor) 성분이며 n 은 광섬유 코어의 굴절률, ν 는 광섬유의 프와송 비이다. α 는 광섬유의 열팽창 계수(thermal expansion coefficient)이고 ξ 는 온도변화에 따른 광섬유의 굴절률 변화를 나타내는 열광학 계수(thermo-optic coefficient)이다.

$$\Delta\lambda_b = \lambda_b [(\alpha + \xi)\Delta T + (1 - p_e)\Delta\varepsilon] \quad (2)$$

$$p_e = \left(\frac{n^2}{2} \right) [p_{12} - \nu(p_{11} - p_{12})] \quad (3)$$

변형률이나 온도 변화로 인해 격자 간격이 변하게 되면 수광부의 브래그 파장이 그에 비례하여 변하게 된다. 외부의 하중에 따른 변형률 $\varepsilon = 0$ 으로 가정하면 브래그 파장 이동은 온도 영향으로 인한 격자의 굴절률 변화는 식 (4)로 표시할 수 있다.

$$\frac{\Delta\lambda_b}{\lambda_b} = \xi\Delta T + (1 - p_e) \cdot (\alpha_m \Delta T) \quad (4)$$

식 (4)에서 α_s 는 구조물의 열팽창 계수이며, $\alpha_s \Delta T$ 항은 측정하고자 하는 구조물의 열변형률 $\varepsilon_{thermal}$ 이며 이를 0이라고 가정하면 브래그 파장의 변화에 나타나는 외부 온도의 변화는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta T = \frac{1}{(\alpha + \xi)} \left(\frac{\Delta \lambda_s}{\lambda_s} \right) \quad (6)$$

이렇게 부착된 센서가 부착된 구조물의 온도의 변화에 따른 영향을 배제하기 위하여 Fig. 1과 같이 유연한 튜브형태의 구조물 내에 2mm 격자 길이를 가지는 브래그 격자를 배치하였다.

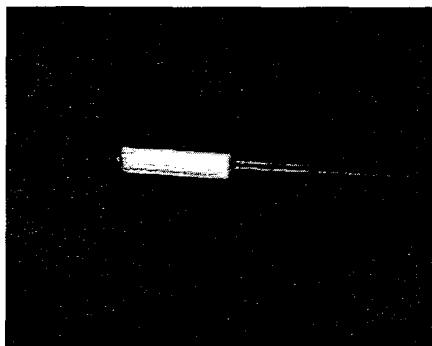


Fig. 1 The prototype of FBG temperature taxel for the tactile sensation.

3. 광섬유 브래그 격자 온도 센서 검증

제작된 센서를 이용하여 온도의 변화에 따른 브래그 파장의 변화를 측정하기 위하여 물 속에 제작된 단위 온도 검출 센서와 써모커플(thermocouple)을 함께 넣어 물을 가열하여 두 센서의 출력신호를 비교하였다.

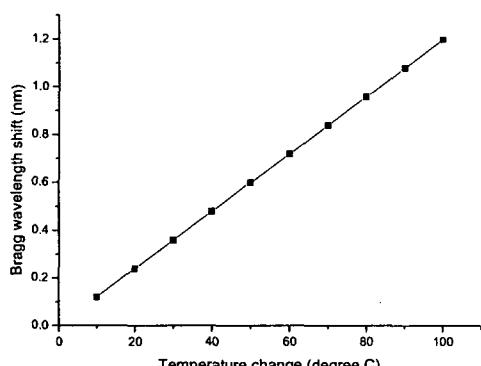


Fig. 2 The characteristics of Bragg wavelength shift by temperature change.

제작된 광섬유 브래그 격자 단위 온도 검출 센서의 온도의 변화에 따른 브래그 파장의 변화는 Fig. 2와 같이 선형적으로 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 센서의 감도는 약 12pm/°C이며, 선형성 오차는 약 0.2% 정도로 나타났다. 사용된 파장 측정 장치의 분해능 0.1pm를 감안했을 때 제작된 센서의 분해능은 약 0.1 도라고 할 수 있다.

4. 결론

제작된 측감 감지용 단위 온도 검출 센서가 우수한 성능을 가지고 있음을 실험적으로 증명을 하였으며, 제작된 센서는 광섬유를 이용하여 하나의 광섬유에 입력과 출력 신호를 빛을 이용하기 때문에 기존의 센서들에 비해서 배선을 현격하게 줄일 수 있으며, 습기가 있는 환경에서도 쉽게 적용 가능한 장점을 가지고 있다. 또한 이를 이용하여 분포 힘 및 압력을 측정할 수 있는 센서에 적용하였을 때 이들 센서의 온도 보상 역할을 수행할 수 있으며, 분포 온도를 측정할 수 있어 보다 우수한 측감 정보를 취득할 수 있는 센서로 기대된다.

후기

이 연구(논문)은 산업자원부 지원으로 수행하는 21 세기 프론티어 연구개발사업(인간기능 생활지원 지능로봇 기술개발 사업)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. M.J. Yoon, K.H. Yu, G.Y. Jeong, S.C. Lee and T.G. Kwon, "Development of a Distributed Flexible Tactile Sensor System", Journal of KSPE, vol. 19, no. 1, pp. 212~218, 2002.
2. T. Someya, T. Sekitani, S. Iba, Y. Kato, H. Kawaguchi, T. Sakurai, "A large-area, flexible pressure sensor matrix with organic field-effect transistors for artificial skin applications.", Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America , vol. 101 no. 27, pp. 9966-9970, 2004
3. Ryu, C. Y., Hong, C. S., Kim, C. G., Lee, S. B. and Choi, S. S., 1998, "Strain measurement of the laminated composite using attached fiber Bragg grating sensor", Proceeding of the 3rd optoelectronics and communications conference, pp272~273, 1998.