

편광유지 광섬유 장주기 격자쌍을 이용한 온도와 장력변화의 동시 측정

Simultaneous measurement of strain and temperature using cascaded long-period grating written on polarization-maintaining fiber

한재훈, 노숙영, 윤일용, 이병호

서울대학교 전기공학부

byoungho@snu.ac.kr

광섬유를 이용한 센서는 구조가 간단하고 높은 감도(sensitivity)를 가지고 있어서 그 활용도가 높다. 특히 광섬유 장주기 격자와 같은 경우에는 주변 환경 변화에 매우 민감하게 반응하기 때문에 센서로서의 활용도가 높다. 광섬유 장주기 격자 센서는 스펙트럼상의 딥(dip)의 파장 변화를 측정하여 센싱(sensing)을 하는데 FWHM(full-width at half-maximum)값이 크기 때문에 정확한 측정을 하는데 어려움이 있다. 본 논문에서는 좀더 좁은 선폭(linewidth)을 가지고 편광 상태에 따라 딥 변화를 보이도록 장주기 격자 쌍을 편광 유지 광섬유에 기록하여 좀더 정밀한 센싱을 할 수 있는 구조를 제안한다.

동일한 스펙트럼을 가지는 두개의 장주기 격자 광섬유를 나란히 연결한 경우에 첫 번째 격자를 지나면서 특정 파장의 빛의 일부가 코어에서 클래딩으로 커플링(coupling)된다. 이 빛이 두 번째 격자를 만나면서 다시 클래딩에서 코어로 커플링 된다. 이때 코어로만 진행해 가던 빛과 클래딩에서 코어로 다시 들어온 빛의 광 경로 차이에 의한 간섭이 생기게 되고, 이에 의해 아래 그림 1과 같은 스펙트럼을 가지게 된다. 그림 1은 3dB의 딥과, 15nm FWHM를 가지는 장주기 격자 두개를 나란히 연결한 것으로 딥의 크기가 10~16dB, 선폭은 0.5nm의 커플링 결과를 보여준다.

편광 유지 광섬유는 편광상태에 따라서 빛이 느끼는 index값이 다르므로 장주기 격자를 기록하게 될 경우 빛이 편광 상태에 따라 다른 파장대에서 코어에서 클래딩으로 커플링 된다. 결과적으로 동일한 장주기 격자를 편광 유지 광섬유에 기록한 후 나란히 연결할 경우에 편광상태에 따라 다른 파장대에서 커플링 되는 효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 이를 이용하여 좀더 정밀한 센싱을 하고자 한다.

수소 처리된 편광 유지 광섬유에 각각 길이 4cm, 주기 480um인 장주기 격자를 기록해, 그 중심을 20cm 이격해서 나란히 연결했다. 편광판과 편광조절기를 이용하여 아래 그림 1의 (a) 0° 편광에 대한 스펙트럼, (b) 90° 편광에 대한 스펙트럼을 얻을 수 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 각각의 편광의 딥 A와 B의 간격이 4nm이다. 이는 두 장주기 격자가 편광 상태에 따라 다른 파장대역에서 커플링 되고 있음을 보여준다.

그림 2,3은 편광 0°, 90°에 따른 딥 'A', 'B'를 이용하여 온도와 strain을 동시에 변화시켜서 측정된 파장 변화를 도표화 한 것이다. 실험 결과에서 볼 수 있듯이 딥 'A', 'B'는 온도와 strain에 대하여 선형적인 변화를 보인다. 딥 'A', 'B'의 파장 변화를 온도 변화와 strain 변화에 대한 행렬⁽¹⁾⁻⁽²⁾로 나타내 보면

$$\begin{bmatrix} \Delta\lambda_{dipA} \\ \Delta\lambda_{dipB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta T \\ \Delta\epsilon \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \Delta T \\ \Delta\epsilon \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta\lambda_{dipA} \\ \Delta\lambda_{dipB} \end{bmatrix}$$

의 형태가 되고, 실험값을 이용하여 A, B, C, D를 구하면 A= 34.85 pm/°C. B= - 1.96 pm/με. C= -16.57 pm/°C, D= 0.7 pm/με의 값을 가진다.

본 논문에서는 편광 유지 광섬유의 복굴절 특성 및 그에 새겨진 장주기 격자 쌍을 이용해서 온도와 strain변화를 동시에 측정하였다. 기존의 연구⁽³⁾에 비하여 좁은 선폭 및 다른 경향성을 가지는 딥 두개를 이용하여 더 정밀하게 측정을 할 수 있었다.

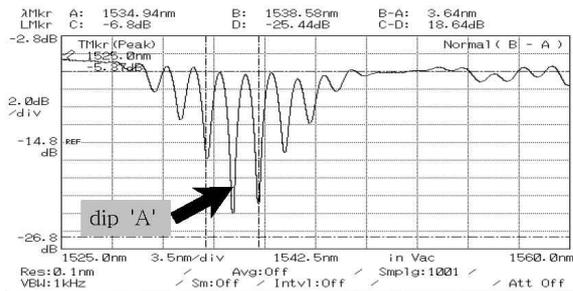


그림 1(a). 0°편광일 경우의 spectrum으로 linewidth(~0.5nm)

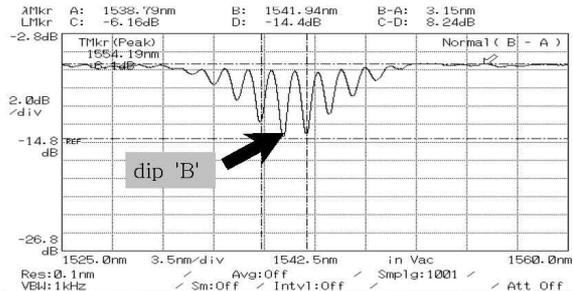


그림 1 (b). 90°편광일 경우의 spectrum으로 linewidth(~0.5nm)

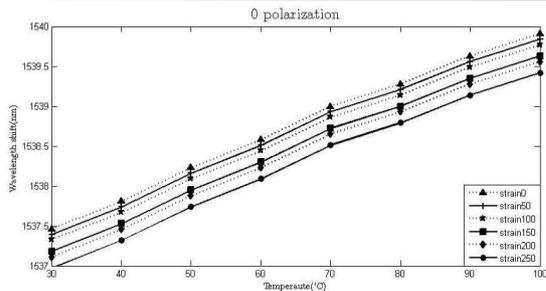


그림 2(a). 온도 변화에 따른 dip A 변화

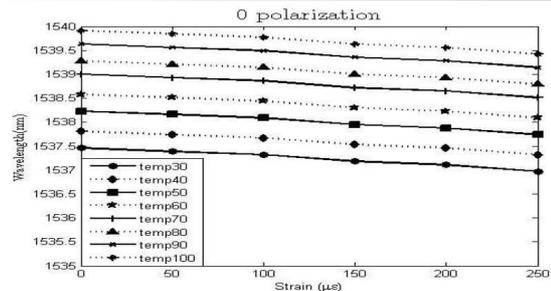


그림 2(b). Strain 변화에 따른 dip A 변화

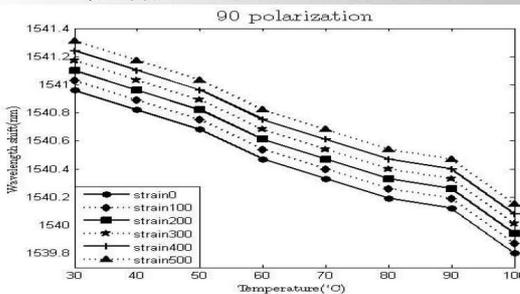


그림 3(a). 온도 변화에 따른 dip B 변화

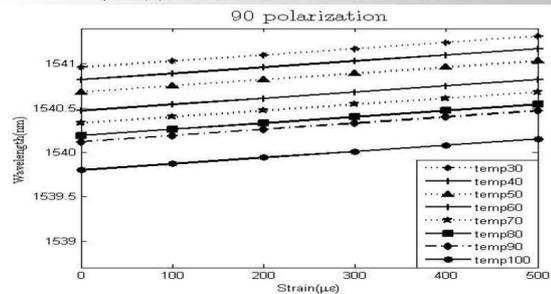


그림 3(b). Strain 변화에 따른 dip B 변화

1. K. J. Han, Y. W. Lee, J. Kwon, S. Roh, J. Jung, and B. Lee, "Simultaneous measurement of strain and temperature incorporating a long-period fiber grating inscribed on a polarization-maintaining fiber," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 16, no. 9, pp. 2114-2116, 2004.
2. Y. W. Lee, K. J. Han, J. Jung, B. Lee, B.-J. Kim, B.-G. Chae, and H.-T. Kim, "Polarization-insensitive discrimination of strain and temperature based on a long-period fiber grating inscribed on a high birefringent fiber ended with a Faraday rotator mirror," Japanese Journal of Applied Physics, vol. 45, no. 3, pp. L92-L95, 2006.
3. Y. Kim, Y. W. Lee, and B. Lee, "Simultaneous measurement of strain and temperature using phase-shifted long-period grating written on polarization-maintaining fiber," The 18th International Conference on Optical Fiber Sensors (OFS), Cancun, Mexico, paper TuE82, Oct. 2006.