

편광유지 광섬유 루프 미러를 이용한 광섬유 격자 센서의 응용

정승환, 이병호
서울대학교 전기공학부

An Application of the Fiber Bragg Grating Sensor System Using a Polarization Maintaining Fiber Loop Mirror

Seunghwan Chung and ByoungHo Lee
School of electrical engineering, Seoul National University

Abstract - 본 논문은 편광유지 광섬유 루프 미러를 이용한 센서 시스템의 제작과 이의 응용에 대한 것이다. 수동 검출법을 통하여 비교적 간편한 신호처리 방식을 갖는 센서 시스템을 제작하였고, Fabry-Perot 필터를 스캔하여 다중점 측정에 이용하였다. 또한 루프 미러의 온도 의존성을 이용하여 온도 센서로의 응용 가능성도 제시하였다.

1. 서 론

광섬유 브래그 격자를 이용한 파장 변이 측정법 중 많이 사용되는 방법은 Fabry-Perot 필터를 스캔하여 파장 성분을 능동적으로 검출하는 방식이다[1]. 이러한 방식을 이용하면 매우 정밀한 측정을 할 수 있고, 비교적 용이하게 다중점 측정을 할 수 있다는 장점이 있지만 상대적으로 신호처리 과정이 복잡하다는 단점이 있다. 이에 반해 수동 검출법은 비교적 저가의 실험 장비와 간단한 구성, 그리고 간편한 신호처리 방식을 장점으로 갖는다. 본 논문은 편광유지 광섬유 루프 미러를 이용한, 수동 검출법을 통한 센서 시스템의 제작과 이의 응용에 대한 것이다. 또한 보통의 기존의 수동 검출법[2,3]은 한 채널의 센서에만 적용한데 반해 Fabry-Perot filter의 스캔을 통해 다중점 측정 센서로 확장시켰으며, 루프 미러의 온도 의존성을 이용하여 온도 센서로의 응용 가능성도 제시하였다.

2. 본 론

그림 1은 제안된 센서 시스템에 사용된 실험 구성을 나타내고 있다. 광대역 광원 (broadband source)으로 EDFA를 사용하였고, 5m의 편광유지 광섬유와 편광 조절기(polarization controller)로 루프 미러를 구성하였다. 원리는 다음과 같다. 광섬유 브래그 격자를 통해 반사되어 나온 빛은 2x2 커플러를 통해 시계 방향으로 진행하는 빛과 시계 반대 방향으로 진행하는 빛으로 나뉘게 된다. 광섬유 루프 안의 편광 조절기는 편광 상태 회전기(polarization state rotator)의 역할을 한다. 각 방향으로 진행하던 빛은 같은 경로를 이동하다가 커플러에서 다시 만나게 된다. 편광유지 광섬유의 길이에 비례하여 위상 지연이 생기게 되므로 커플러에서 간섭이 일어나게 된다. 따라서, 루프 미러는 마하 켄더 간섭계와 같은 필터 특성을 가지게 되는 빗살 무늬 필터(comb-like filter) 역할을 하며, 주기는 다음과 같다 [4].

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{(n_s - n_f)L}$$

여기에서, L은 편광유지 광섬유의 길이이고, n_s 와 n_f 은 각각 진행하는 빛의 slow 축과 fast 축의 굴절률이다. 그림 2는 루프 미러의 투과와 반사 스펙트럼을 나타낸다. 투과와 반사 스펙트럼의 빛 강도 패턴은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$I_t = 2 R_t \sin^2\left(\frac{1}{2}\Gamma\right) = 2 R_t \sin^2\left[\frac{\pi(n_s - n_f)L}{\lambda}\right] = R_t(1 - \cos\Gamma)(2)$$

$$I_r = 2 R_r \cos^2\left(\frac{1}{2}\Gamma\right) = 2 R_r \cos^2\left[\frac{\pi(n_s - n_f)L}{\lambda}\right] = R_r(1 + \cos\Gamma)(3)$$

여기에서, 위상 지연은 다음의 식으로 표현되며, $\Gamma = 2\pi(n_s - n_f)L / \lambda$. R_t 와 R_r 은 각각 투과 상수와 반사 상수이다. I_t 와 I_r 의 합은 감쇠기(attenuator)를 이용하여 R_t 와 R_r 을 일정하게 하면, 상수 값을 갖는다. 그림 2의 선형 구간에서 2개의 검출기 값의 차와 합의 비는 λ 의 작은 변화에 비례하게 되므로 브래그 파장을 측정할 수 있으며, 광섬유 브래그 격자 스트레인 센서 복조기로 활용할 수 있다. 여기에서 2개의 검출기 값의 차만으로도 λ 의 작은 변화를 측정할 수 있지만, 빛의 강도 변화(intensity variation)를 제거하기 위해 차를 합으로 나누었다. 간단한 신호처리를 위해 실험에서는 샘플링 비율이 1.25MS/s인 데이터 획득기(data acquisition board)를 사용하였다. 그림 3 (a)는 50 Hz의 스트레인을 인가하고 데이터 획득기로 측정된 결과이고, 그림 3 (b)는 동적 스트레인의 최소 측정 스트레인을 구하기 위한 FFT 결과를 나타낸 그림이다. 신호 대 잡음비는 56.25 dB 이었다. 그림 4는 편광유지 광섬유 루프 미러의 온도 의존성을 나타내고 있다. 온도를 1°C씩 높임에 따라 투과 파형의 이동을 나타내었다.

3. 결 론

본 논문에서 우리는 편광유지 광섬유 루프 미러를 이용한 브래그 격자 센서의 새로운 응용 분야를 제안하였다. 기존의 수동 검출법에서와는 달리 Fabry-Perot 필터를 이용한 다중점 측정이 가능하고 루프 미러의 온도 의존성을 이용할 때 온도 센서로의 이용도 가능하다. 하나의 채널만을 측정할 때, 측정 가능 최소 정적 스트레인은 2.12 $\mu\epsilon$ 이고, 측정 가능 최소 동적 스트레인은 50 Hz의 동적 스트레인을 인가했을 때, 77 n ϵ (rms)/ \sqrt{Hz} 이었다. 하나의 채널만을 이용할 때는 빛의 강도 변화를 상쇄할 수 있지만, 여러 채널을 측정할 때는 온도에 의한 빛의 강도 변화를 상쇄할 수 없으므로 안정도가 떨어지는 단점이 있다. 따라서 이에 대한 연구가 더 수행되어야 하며, 다중점 측정을 위한 센서로 사용할 때는 온도 보상 혹은 패키징을 해줘야 한다.

[참 고 문 헌]

[1] A. D. Kersey, T. A. Berkoff, and W. W. Morey, "Fiber Fabry-Perot demodulator for Bragg grating strain-sensors", *Proc. OFS*, May 1993, p. 39.

- [2] S. M. Melle, K. Liu, and R. M. Measures, "A passive wavelength demodulation system for guided-wave Bragg grating sensors", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 4, no. 5, pp. 516-518, 1992.
- [3] M. A. Davis and A. D. Kersey, "All-fibre Bragg grating strain-sensor demodulation technique using a wavelength division coupler", *Electron. Lett.*, vol. 30, no. 1, pp. 75-77, 1994.
- [4] X. P. Dong, S. Li, K.S. Chiang, M.N. Ng, and B.C.B. Chu, "Multiwavelength erbium-doped fiber laser with a high-birefringence fiber loop mirror", *CLEO 2000*, p. 547.

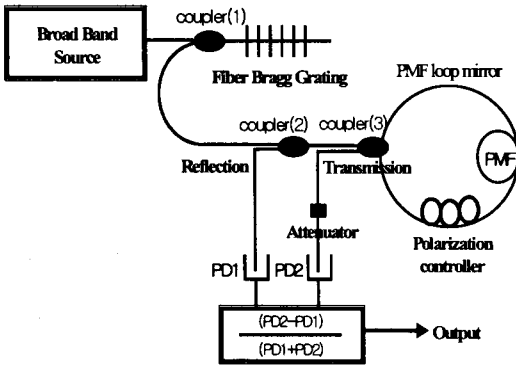


그림 1. 실험 구성도

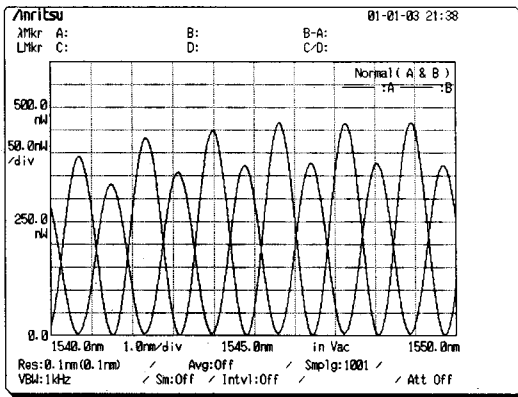


그림 2. 루프 미러의 투과 스펙트럼과 반사 스펙트럼

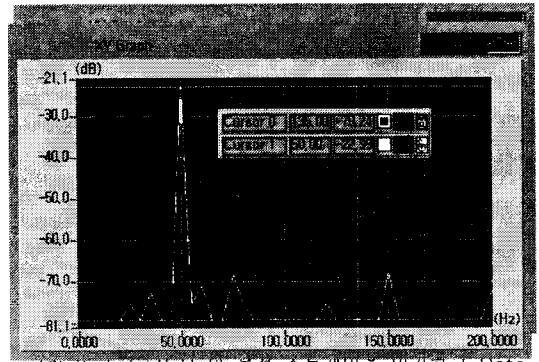


그림 3. (a) 50 Hz의 응력 스트레인을 인가하고 Data Acquisition 한 결과
그림 3. (b) Acquisition 한 데이터의 FFT 결과

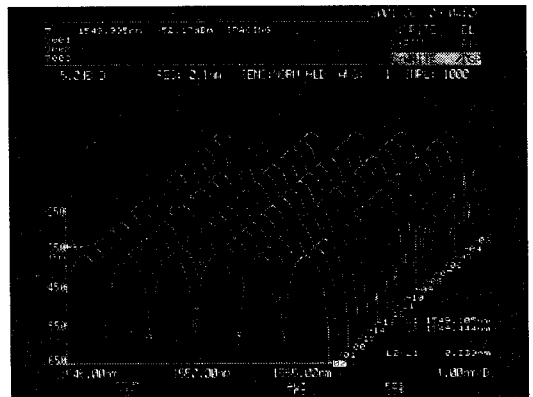


그림 4. 투과 파형의 온도 의존성