

SOA를 광원으로 사용하는 광섬유 센서 어레이의 출력 안정화

(Stabilization of optical fiber sensor array using a semiconductor optical amplifier source)

박형준* · 김현진 · 송민호

(Hyoung-Jun Park* · Hyun-Jin Kim · Minho Song)

Abstract

We developed a fiber-optic Bragg grating sensor system using a SOA fiber laser for over heat detection in power systems. To compensate the nonlinear wavelength tuning of the fiber laser, we used fixed passband wavelengths from Fabry-Perot ITU filter as reference wavelengths. Gaussian line-fitting algorithm was also used to reduce the FBG peak detection error. Compared with a highest-peak-detection and a polynomial-fitting method, the proposed Gaussian fitting algorithm could drastically reduce the measurement errors. Also the SOA fiber laser made it possible to enhance the signal-to-noise-ratio even with several kilometers of lead fiber.

1. 서 론

최근, 광통신에 주로 사용되는 광섬유는 전자기장의 영향에 둔감하고, 광손실(0.2 dB/1 Km)이 적으며, 이를 센서로 적용 시에는 휴대 가능한 시스템 개발이 용이하다는 장점이 있다[1]. 광섬유 센서 소자로 사용되는 광섬유 격자(fiber Bragg grating)는 격자에 가해지는 물리량을 파장으로 변환하는 구조로 되어 있고, 파장변화 정도가 수십 pm~수 nm에 불과해, 매우 정밀한 계측을 가능케 한다[2]. 특히, 하나의 광섬유 라인에 여러 개의 광섬유 격자를 직렬로 연결하여, 동시에 다중점 측정이 가능한 분배형 센서의 구현이 가능한 장점을 가지고 있다. 단에 적합한 센서 시스템으로 주목받아왔다[3-6]. 본 논문에서는 SOA(Semiconductor optical amplifier)와 파장가변 필터를 이용하여, 파장가변 광섬유 레이저를 구성하여 광원으로 사용하였고, 광섬유격자센서를 수 Km에 이르는 원거리 측정이 가능한 센서어레이 시스템을 개발 하였다. 높은 광 출력을 위하여, 파장가변 광섬유 레이저를 이용하였고, 광섬유 격자 센서 스캔 시 발생하는 비선형성을 보상하기 위해 FPI(Fabry-Perot ITU filter)를 사용하였다[7][8]. 실험을 위해 총 15개의 광섬유 격자 센서어레이를 구성하였고, 기준 광섬유격자를 따로 두어 온도측정 정밀도를 향상시켰다. 광섬유 격자 센서의 반사파장을 가우시안 라인피팅을 하여, 피크 검출시에 발생하는 파장검출의 오차를 줄이고자 하였으며, 최대값 검출방식과 다항식 피팅 알고리즘과 비교하여 크게 개선되었음을 실험을 통해 확인 할 수 있었다.

2. 서 론

2.1. 광섬유 격자 센서

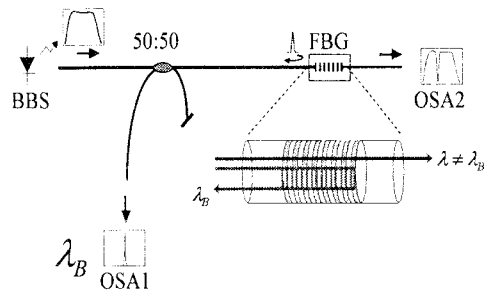


그림 1. 광섬유 격자 반사특성
Fig. 1. Reflection of fiber Bragg grating
(BBS: broadband source, OSA: optical spectrum analyzer)

그림1은 광섬유 격자의 동작원리를 도시하였다. 광폭 광원(broadband source, 이하 BBS)의 출력이 광섬유 커플러를 통해 광섬유 격자에 입사하는 경우, 위상조건을 만족하는 파장은 반사되고 나머지 파장성분은 투과하는 동작특성을 보여준다. 위상조건을 만족하여 광섬유 격자에서 반사되는 파장은 다음 식 (1)에 의해 결정된다.

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

위 식에서 n_{eff} 는 광섬유 격자의 유효굴절률이고 Λ 는 격자의 간격이다. 광섬유 격자의 반사파장은 굴절률과

격자간격에 따라 변화하게 된다. 일반적으로 광섬유의 주원료인 실리카(silica glass, SiO₂)는 온도의 변화에 따라 굴절률이 변화하며 광섬유 격자의 반사파장도 따라서 같이 변화하게 된다. 1550 nm 파장대역에서 광섬유 격자의 온도에 따른 반사파장 변화는 대략 10~20 pm/CENTIGRADE 정도의 범위를 가진다 [4][5].

2. 2. 파장가변 필터

외부 물리량에 따른 광섬유격자 반사파장을 읽어 내기 위해서, 광학적 패스밴드필터인 FP 필터를 이용하여 파장복조를 하였다. SOA와 파장가변 FP필터를 이용하여, 파장가변 광섬유를 레이저를 구현하였고, FP필터에는 램프신호를 가하여, 일정한 파장범위의 광섬유격자 반사파장을 주기적으로 스캔하여 얻은 광 신호는 PD(photo diode)에서 전기신호로 변환된다. 그림 2(a)는 광섬유 레이저의 파장 변주에 따라, 15개의 광섬유 격자 센서 어레이와 기준광섬유 격자 반사파장을 광파분석기(optical spectrum analyzer, OSA)를 이용하여 측정된 것이고, 그림 2(b)는 광섬유 격자에서 반사된 광신호를 PD에서 전기신호로 변환하여 검출된 출력 파형이다. 한 쪽 끝단에 위치한 기준 광섬유 격자 반사파장에 의한 신호이며, 기준 광섬유 격자는 그 파장이 변하지 않음을 가정하여, 시간 축 상에 위치한 각 피크들의 절대 값 기준파장으로 동작한다. 그림 2(c)는 FPIF의 투과 스펙트럼을 나타내었으며, 1개의 기준 광섬유 격자와 FPIF를 이용하여, 파장가변필터의 의 동작주파수나, 구동 전압이 변하는 경우에 발생하는 비선형 동작 특성을 보상하였다. 실험에 사용된 FPIF 필터의 제원은 표 1과 같다.

표 1. FP ITU 필터의 특성

Channel spacing (GHz)	100
Wavelength Range (nm)	1525~1620
Finesse	75
Insertion Loss (dB)	< 3.0
Center channel accuracy (GHz)	≤ ±1.25

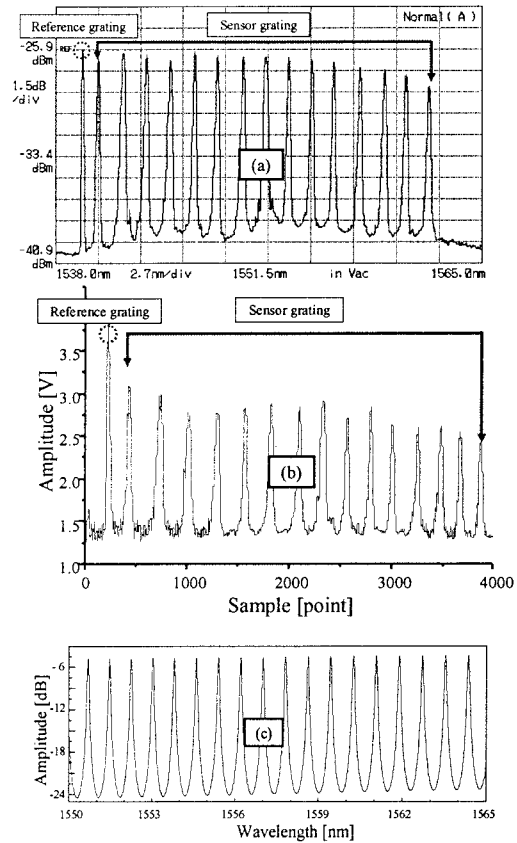


그림 2. 광섬유 센서 어레이와 FPIF의 스펙트럼
Fig. 2. Spectrum of fiber array sensor and FPIF

2. 3. 실험 및 결과

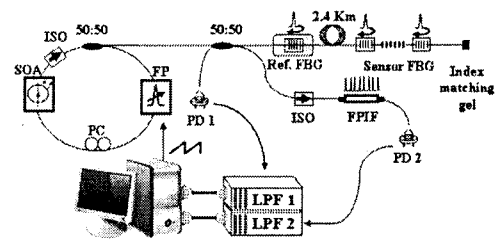


그림 3. 광섬유 어레이 센서 구성도
Fig. 3. Schematic of fiber array sensor
(SOA: semiconductor optical amplifier, ISO: isolator, FP: Fabry-Perot filter, PC: polarization controller, LPF: low pass filter, FPIF: Fabry-Perot ITU filter, PD: photo diode)

그림 2는 실험을 위해 제작한 광섬유 어레이 센서의 구성도이다. 광원은 SOA와 파장가변필터를 이용하여, 광섬유 레이저를 구성하여 이용하였다. 광섬유 레이저의 광 출력은 50:50의 분리 비를 가지는 광섬유 커플러를 거쳐서 기준광섬유 격자와 2.4 Km의 광섬유 스플을 거친 뒤, 광섬유 격자 센서어레이로 입사하며, 기준 광

섬유 격자와 센서어레이에서 반사된 광 신호는 다시 커플러를 거쳐 PD1(photodetector)에서 전기신호를 발생시킨다. 센서 어레이의 끝단에는 index matching gel을 발라서 절단면에서 반사되는 광노이를 제거하였다. PD2에서는 파장가변필터의 비선형성을 보상하기 위해 FPIF의 투과 스펙트럼을 읽어 들었다. FPIF의 채널 간격은 100 GHz이고, 파장 범위는 1525~1620 nm이다. FPIF는 파장변화의 상대적인 기준이면, 기준 광섬유 격자는 환경변화와 무관하게 동일한 파장을 반사시키기 위해 온도보상과 스트레인 보상을 위해 보호 패키징을 하였다. 광섬유 격자의 반사스펙트럼은 가우시안(Gaussian)과 근사한 파형을 이루며, 좌우 대칭의 형태를 가진다. 그러나 물리적인 변화인 압력이나 스트레인을 받는 경우 광섬유 격자 반사파형의 형태가 불규칙하게 변형되고, 측정 시스템의 해상도의 저하시키는 요인으로 작용하게 된다. 광섬유 격자의 파장의 변형에 따른, 측정 오차를 줄이기 위해, PD로 검출한 광섬유 격자의 반사파형을 가우시안 형태로 가정하고 라인 피팅을 하여 계산된 파형의 중심값을 광섬유 격자 센서의 출력으로 설정하였다[9].

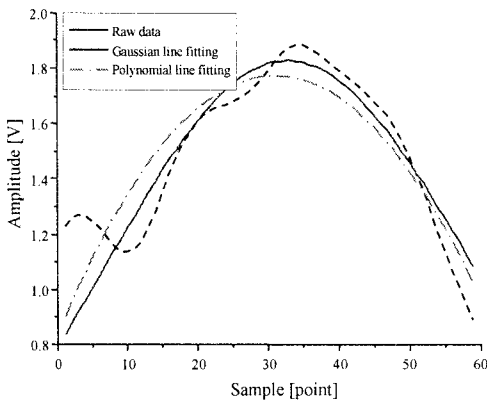


그림 4. 가우시안과 다항식 라인 피팅
Fig. 4. Gaussian and polynomial line-fitting

그림 4는 외부 환경적 요인 의해서 변형된 광섬유 격자의 반사스펙트럼과 이를 가우시안 라인 피팅과 비교 실험을 위한 4차 다항식 피팅 파형이다. PD의 출력이 계산된 파형의 최대값과 일치하지 않음을 확인할 수 있는데, 샘플링과정의 양자화오차, 필터링에서의 파형왜곡, 또는 광섬유격자에 가해지는 외부압력에 의한 스펙트럼 왜곡 등에 의해서 그 최대값의 위치가 불규칙하게 변화하였기 때문이다.

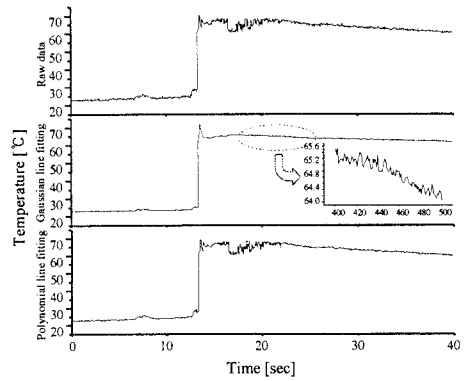


그림 5. 피팅에 따른 온도 변화
Fig. 5. Temperature variation according to fitting methods

그림 5는 본 논문에서 제안한 가우시안 라인 피팅의 알고리즘의 효율성을 입증하기 위해서 단순 피크검색과 4차 다항식 라인 피팅 방법을 비교 실험한 결과이다. TEC(thermo-electric cooler)소자 위에 15개의 센서 격자중 6번 광섬유 격자(1552.93 nm)를 고정하고, 일정한 전압을 가하면서, 온도 변화 추이를 관찰하였다. 온도변화를 가하지 않았을 경우, 단순 피크검색과 다항식 라인 피팅 방법은 1.5°C 온도 변화를 보였으며, 광섬유 격자 센서에 온도변화를 가한 경우에는 최대, 5~7 °C의 온도진폭을 보였으나, 가우시안 라인피팅의 경우에는 약 0.4 °C로 매우 안정적으로 동작하고 있음을 확인하였다.

3. 결 론

SOA와 파장가변 필터를 이용하여 파장가변 광섬유 레이저를 구현하였으며, 이를 이용하여, 원거리 측정이 가능한 광섬유 분배 센서시스템을 개발하였다. 광섬유 센서 어레이는 15개의 광섬유 격자와 1개의 기준격자를 이용하였다. 또한, 파장가변필터에 동작전압이나 주파수의 변화에 따른, 파장가변 레이저의 비선형 동작 특성을 보상하기 위해 FPIF를 4차 다항식 피팅을 하였다. 광섬유 격자의 반사파장에 의한 PD 출력신호를 가우시안 라인피팅한 후 최대값을 검출함으로써 전기적인 노이즈와 샘플링에 의한 양자화 오차를 최소화 하였으며, 단순 피크 검출과 다항식 비교하여 최대 10배 정도 향상된 0.4°C 범위의 정밀도를 얻을 수 있었다. 후속 연구로 실용화가 이루어 질 경우, 고전압, 대전류를 취급하는 전력설비나 원전시설 같은 위험시설물의 원거리 조기경보 및 상시 감시시스템의 개발로 효율적인 운용과 보수가 이루어 질것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson, and B. S. Kawasaki, "Photosensitivity in optical fiber waveguides: Application to reflection filter fabrication," *Applied Physics Lett.*, 32, 647-649, 1978.
- [2] W. W. Morey, G. Meltz, W. H. Glenn, "Fibre optic Bragg grating sensors," *Proc. SPIE*, 1169, 98-107, 1994.
- [3] W. W. Morey, G. Meltz, W. H. Glenn, "Bragg-grating temperature and strain sensors," *Proc. OFS*, 526, 1989.
- [4] R. J. Campbell and R. Kashyap, "Spectral profile and multiplexing of Bragg gratings in photosensitive fiber," *Opt. Lett.*, 16, 898-900, 1991
- [5] A. D. Kersey, M. A. Davis, H. J. Patrick, M. LeBlanc, K. P. Koo, C. G. Askins, M. A. Putnam, and E. J. Friebele, "Fiber Grating Sensors," *J. Lightwave Technol.*, 15, 1442-1462, 1997.
- [6] A. D. Kersey, T. A. Berkoff, and W. W. Morey, "Multiplexed fiber Bragg grating strain-sensor system with a fiber Fabry-Perot wavelength filter," *Opt. Lett.*, 18, 1370-1372, 1993.
- [7] S. H. Yun, D. J. Richardson, and B. Y. Kim, "Interrogation of fiber grating sensor arrays with a wavelength-swept fiber laser," *Opt. Lett.*, 23, 843-845, 1998.
- [8] C.C. Chan, W. Jin, H.L. Ho, D.N. Wang, and Y. Wang, "Improvement of measurement accuracy of fibre Bragg grating sensor systems by use of gas absorption lines as multi-wavelength reference," *Electron. Lett.*, 37, 742-743, 2001.
- [9] H. Lee, Z. Jin and M. song, "Investigation of fiber Bragg grating temperature sensor for applications in electric power systems," *Proc. SPIE*, 5634, 579-584, 2004.