

## 광 세기 변조 다중화 된 브래그 격자 센서

### Intensity-modulated Multiplexing of FBG Sensors

서정민, 이정주, 권일범\*

한국과학기술원 기계공학과 기계공학전공, \*한국표준과학연구원 비파괴계측그룹  
ibkwon@kriss.re.kr

광섬유 브래그 격자 센서(Fiber Bragg Grating Sensor : FBG Sensor)는 여타 광섬유 센서와 같이 가볍고 저렴하며 주위의 전자기적 잡음에 무관한 장점과 더불어 측정대상이 반사광의 파장변화이므로, 광섬유 연결부나 실험장치들에 의해 생기는 광 손실이나 잡음에 대해서 강인한 측정을 할 수 있다<sup>(1)</sup>. 그리고 파장변화가 변형률이나 온도변화에 선형적으로 나타나므로, 센서로서 많은 연구가 진행되고 있다. 특히, 구조물의 내부에 삽입하여 구조물 스스로 외부의 환경변화를 감지하여 필요한 동작을 수행하는 지능형 구조물(Smart Structure)에 적합한데, 이를 위해선 구조물의 여러 지점을 측정해야 하므로, 브래그 격자 여러개를 한 시스템에서 사용하는 다중화(Multiplexing)가 필수적이다. 따라서, 본 논문에서는 기존의 방법보다 더 큰 신호대 잡음비를 유지하며 간단한 방법을 사용하는 브래그 격자 센서의 광 세기 변조 다중화법에 대해 설명하고자 한다. 브래그 격자 센서는 구조적으로 파장 분할 다중화(WDM : Wavelength Division Multiplexing)의 가능성을 내재하고 있다. 각 FBG가 고유한 브래그 파장을 가지고 있으므로 광대역한 광원을 입사하고, 다른 브래그 파장을 가진 FBG들을 연결하면, 각 파장대의 반사광의 변화를 관찰함으로써 준 분포형 센서의 구현이 가능하다. 하지만, 광대역 광원의 사용가능한 파장대역의 폭은 한계가 있으며, 변형률에 의해 각 FBG가 움직이는 폭을 감안하면, WDM만으로 가능한 FBG의 수는 그리 많지 않다<sup>(2)</sup>. 따라서, 같은 브래그 파장을 가진 FBG들을 구분해내는 기법이 필요해지게 되며, 이를 WDM과 혼용하여 더 많은 FBG를 한 시스템에서 운용할 수 있게 된다. 광 세기 변조 다중화 법은 입사광을 삼각형 형태로 세기변조를 하여 각 신호를 복조 해 내는 다중화 기법이다. EOM (Electro-Optic Modulator)를 사용하여 광원을 삼각파 형태로 변조하였다. 이렇게 변조된 광원을 지연광섬유로 구분 되어있는 같은 브래그 파장을 갖는 FBG들에 입사하면, 각 FBG에서 반사된 신호들은 여러 개의 삼각파형 신호가 지연된 시간에 따라 겹쳐지는 형태가 된다. 주어진 FBG가 3개이고 각 FBG 사이에 같은 길이의 지연 광섬유가 설치되어 있고, 입력 광원을 가장 먼저 만나는 FBG1에서 신호의 산이 만날 때 FBG3에서 신호의 골이 만나도록 변조한 경우를 생각해 보자. 각 신호의 골이 위치하는 시간을  $t_i(i=1,2,3)$ 이라고 하고 그때의 각 FBG의 신호들을  $I_i(i=1,2,3)$ , 세 FBG가 합쳐진 전체신호를  $T_i(i=1,2,3)$ 이라고 했을 때, 각 신호들의 각각의 크기가 전체신호에 얼마나 기여하는 지를 미리 측정하여 알 수 있으므로, 이를 토대로 하여 식 (1)과 같이 합쳐진 전체신호  $T_i$ 에서 개별 FBG 신호  $I_i$ 를 구분해 낼 수 있게 된다. 이것은 각 FBG의 반사파장과 입사광의 파장이 같을 경우의 일이다. 결국, 같은 브래그 파장을 갖는 센서들을 복수로 사용했을 때, 각 신호를 개별적으로 분리할 수 있는 방법이며, 각 FBG들의 중심파장이 온도변화나 변형률에 의해 이동했을 경우, 입사광의 파장을 변화시켜 가며 각 FBG들의 반사광의 크기를 측정하여 가장 큰 크기를 갖는 파장이 그 FBG의 중심파장이 되는 것이다.

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & 1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{pmatrix} \quad (1)$$

광 변조 다중화된 브래그 격자 센서 시스템을 구성하여 그 성능을 평가하기 위해 5개의 FBG를 장착한 5채널 변형률 측정 센서 시스템을 구성하였다. 추후 실제 적용될 센서의 다중화도 향상을 위해 1555nm 대역과 1552nm 대역의 두 파장대역만 사용하였고, 직렬 연결과 병렬 연결을 모두 적용하여 실제 센서 시스템으로서의 가능성을 확인하였다. 광원으로는 ANDO사의 AQ4321D 파장 가변 레이저를 사용하였으며, 광 출력은 1 mW로 하였다. EOM은 JDS Uniphase사의 2.5Gb/s Bias Ready Modulator를 사용하였고, 신호발생기는 Tektronics사의 CFG280 11MHz 신호발생기를 사용하였다. 신호발생기에서 1MHz의 삼각파형을 EOM에 입력하여 광 변조를 수행하였다. 수광부의 광 검출기는 NewFocus사의 Model 1811을 사용하였으며, 신호발생기의 동기신호와 광 검출기의 출력신호는 Tektronics사의 TDS-360 디지털 오실로스코프를 통해 확인하였고, 컴퓨터의 GPIB 카드를 이용하여 신호 획득과 광원 및 오실로스코프의 제어를 수행하였다. 1555nm 대역에 FBG 1,2,3이 순서대로 배치된다. FBG 1이 커플러에 바로 연결되는데 비해서, FBG 2는 FBG 1과 병렬로 25m의 지연 광섬유를 지난 후에 연결되고, FBG 3는 FBG 1과 직렬로 50m 지연 광섬유를 지난 후에 연결된다. FBG 1은 중심파장이 1555.92nm이며, 반사율은 50%이다. FBG 2는 중심파장이 1555.74nm에 반사율은 99%이며, 인장-압축 변형률을 인가하기 위해 알루미늄 가로 보에 에폭시 수지를 이용한 탐촉자 형태로 제작하여 접착하였다. 전체 시스템을 그림 1에 나타내었다. 실험 결과, 두 대역의 파장대를 이용한 다섯채널의 FBG들은 독립적으로 신호 구분이 잘 되었으며, 변형률을 잘 반영하였다. -200  $\mu\epsilon$ 에서 200  $\mu\epsilon$ 까지의 인장-압축 변형률에 대해 최소 2.75  $\mu\epsilon$ 에서 최대 12.6 ~ 18.9  $\mu\epsilon$ 의 오차를 나타내었다.

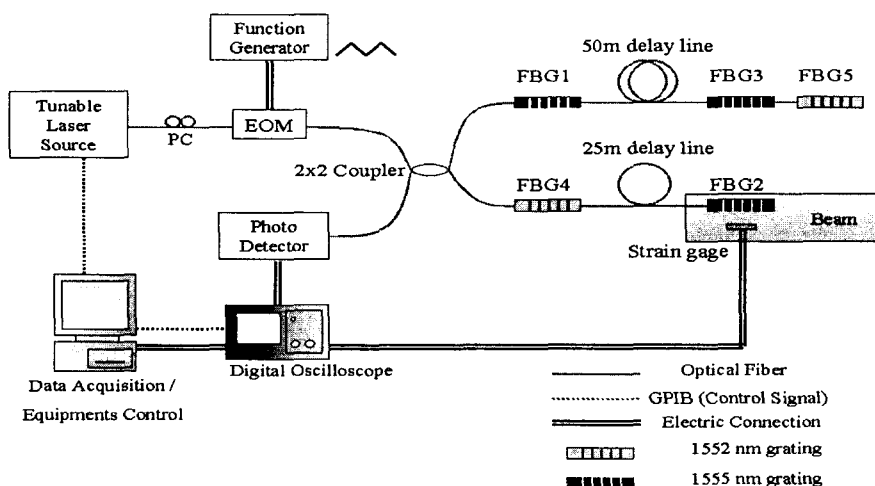


그림 1 광 변조 다중화 된 브래그 격자 센서

1. A. D. Kersey, et al., "Fiber Bragg Gratings," Journal Of Lightwave Technology, Vol. 15, No. 8, pp.1442-1463, August (1997).
2. A. D. Kersey, T. A. Berkoff, and W. W. Morey, "Multiplexed Fiber Bragg Grating Strain-sensor System with a Fiber Fabry-Perot Wavelength Filter," Optics Letters, Vol. 18, No. 16, pp.1370-1372, (1993).