

광섬유 브래그 격자 센서의 변형률 감지도 조사

Strain Sensitivity of Fiber Optic Bragg Grating Sensor

김민수*, 권일범, 최만용

한국표준과학연구원 산업측정표준부

minsoo@kriss.re.kr

1. 서론

최근 대형 구조물의 안전성 감시를 위한 센서로 개발되고 있는 광섬유 브래그 격자 센서를 구성하고 변형률을 측정할 수 있도록 하였다. 특히 반사 광파장 변화를 검출하여 FFP 필터를 사용하였다. 이렇게 검출된 광파장 변화로부터 변형률을 구하기 위한 2차 식을 유도하였다.

2. 이론적 배경

홀로그램이나 위상 마스크를 이용하여 게르마늄이 첨가된 광섬유의 코어에 자외선을 주사하면 주기적인 굴절률 변화를 갖는 브래그 격자를 형성할 수 있다. 이러한 브래그 격자는 협대역 파장 반사 필터로서 동작하게 된다. 이러한 브래그 격자에 광대역의 광파장을 입사하였을 경우 아래 수식과 같은 파장이 입사방향으로 반사된다.

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

여기에서 λ_B 는 반사되는 파장이고 n_e 는 브래그 격자의 유효굴절률이며, Λ 는 격자의 주기이다. 위와 같은 브래그 조건에 의해 결정된 파장을 제외한 나머지 파장은 광섬유를 통해 계속해서 진행하게 되므로 출력단에서는 반사파장이 제거된 스펙트럼을 얻게된다. 위 수식에서 알 수 있듯이 반사파장은 광섬유 코어의 브래그 격자 유효굴절률과 브래그 격자의 주기의 함수이기 때문에 광섬유 격자에 온도나 변형률 등에 의하여 외란이 가해지면 이들 값이 변하고 이에 따라 반사 파장도 달라진다. 이러한 파장의 변화를 검출함으로써 외부에서 가해진 변형률을 구할 수 있는 방법과 광섬유 Feby-Parot 필터를 이용하여 반사광을 스캐닝함으로써 기준 파장과 검출 파장 간의 시간축상의 거리로서도 변형률을 구할 수 있다.

본 연구에서는 구조물의 변형률 측정을 위하여 광섬유 브래그 격자 센서로부터 출력되는 광파장 변화를 광섬유 Feby-Parot 필터를 이용하여 검출하고 반사 파장의 시간축 상의 이동 거리와 변형률과의 관계를 조사하였다.

3. 실험 및 분석

광섬유 브래그 격자 센서를 변형률 센서와 함께 동일한 변형률을 받도록 위치를 선정하여 외팔보 시험체의 표면에 부착하여 광섬유의 특성에 대하여 고찰하였다. 본 실험을 위한 광섬유 브래그 격자 센서 시스템은 그림 1과 같으며 광섬유 브래그 격자 센서로부터의 신호는 광스펙트럼 분석기를 사용하지 광섬유 Feby-Parot 필터를 이용하여 반사 광파장의 이동 거리를 알아내어 인가된 변형률을 구하였다. 또한 광섬유 브래그 격자 센서와 동일한 위치에 붙여져 있는 전기저항형 변형률게이지로부터 정확한 변형률을 측정하여 광섬유 변형률과 비교할 수 있도록 하였다. 이러한 두 신호는 디지털 오실로스코프(TDS3034)로 취득하고 GPIB를 통해 PC에 데이터를 저장하였다. 외팔보에 변형이 가해지면 그림 2와 같이 기준 브래그 격자로부터 센서 브래그 격자의 정점이 이동함을 알 수 있다. 따라서 이 이동거리 $\Delta\lambda$ 즉, Δt 를 측정하여 변형률을 알 수 있게 된다.

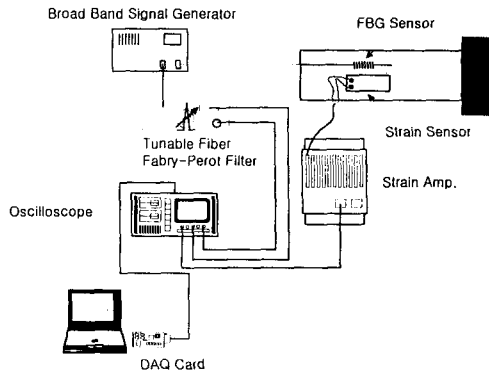


그림 1. 광섬유 브래그 격자 센서 시스템 구성도

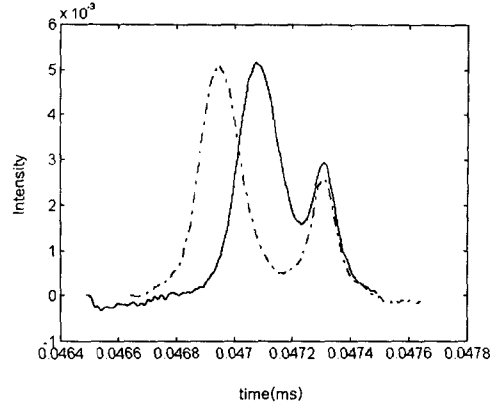


그림 2. 광섬유 브래그 격자 센서에 의한 반사광 그래프

변형률 게이지로부터 얻어진 정확한 변형률과 광섬유 브래그 격자 센서로부터 얻어진 시간축 상의 이동거리 Δt 를 비교하여 그림 3과 4를 얻었다. 그림 3은 인장 변형을 가했을 때 얻어진 결과이고 그림 4는 압축 변형을 가했을 때 얻어진 결과로 약간의 비선형성을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 비선형성은 시험체가 굽혀지면서 변형이 가해지기 때문에 발생하는 것으로 사료된다.

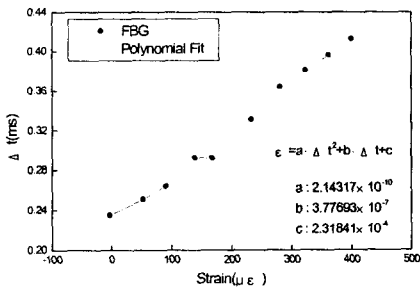
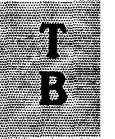


그림 3. 인장 변형률에 대한 curve fitting

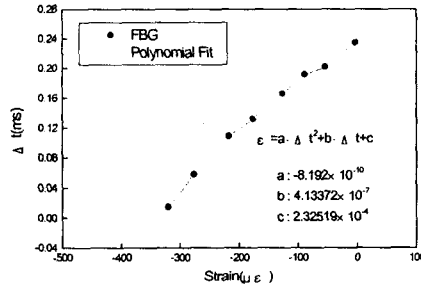


그림 4. 압축 변형률에 대한 curve fitting

인장 변형률과 압축 변형률에 대한 2차 회귀의 결과는 다음과 같다.

$$\epsilon = a \cdot (\Delta t)^2 + b \cdot \Delta t + c$$

표 1. 2차 회귀식의 계수

	인장 변형률의 경우	압축 변형률의 경우
a	2.143×10^{-10}	-8.192×10^{-10}
b	3.777×10^{-7}	4.134×10^{-7}
c	2.318×10^{-4}	2.325×10^{-4}

4. 결론 및 향후 계획

광섬유 브래그 격자 센서의 인장 및 압축 변형 상태에서의 변형률 감지 특성을 고찰하였다. 광섬유 브래그 격자 센서는 인장 변형률에 대해서는 선형에 가까운 특성을 보였으며 압축 변형률에 대하여는 약간의 비선형 특성이 있음을 확인하였다. 향후 보다 넓은 대역의 변형률에 대한 정량화 과정을 수행하여야 하며 또한 서로 다른 반사 광파장을 갖는 여러 브래그 격자를 하나의 광섬유에 연결하여 분포형 변형률을 측정하는 광섬유 브래그 센서에 대한 연구도 수행할 계획이다.