

광섬유 스트레인 센서를 위한 도파로 어레이 격자 반사파장 측정 시스템

Wavelength interrogation system using an arrayed waveguide grating for optical strain sensors

서준규, 김경조, 오민철, 이상민*, 김영제*, 김명현*
부산대학교 전자공학과, *부산대학교 조선해양공학과
sjk1675@pusan.ac.kr

광섬유 브래그 격자 (fiber Bragg grating: FBG) 센서는 광섬유 격자에 가해진 외부 물리량에 의해 발생하는 브래그 격자 파장의 변화를 측정하여 가해진 물리량에 대한 정보를 알아내는데 이용하는 소자이다.^(1, 2) 인가된 외부 물리량에 의해 광섬유 격자의 주기나 굴절률의 변화가 발생되면 브래그 반사 파장의 변화가 일어난다. 브래그 반사파장의 변화는 광섬유 격자에 가해진 물리량에 선형적으로 비례하므로 반사파장의 변화를 측정하면 가해진 물리량의 정보를 계산해 낼 수 있다.

FBG 에서 반사되는 브래그 반사파장을 측정하기 위한 도파로 어레이 격자 (arrayed waveguide grating: AWG) 를 이용한 측정 시스템은 그림 1과 같이 구성된다. 광원으로 1500 nm 부터 1600 nm 파장의 발광대역을 가진 superluminescent light emitting diode (SLED) 를 사용하였다. 광섬유 브래그 격자에 입사된 빛 중에서 브래그 반사되어 돌아온 빛은 circulator를 통과하여 AWG 로 입력된다. AWG 는 빛의 파장에 따라 출력 채널이 결정되어 지는데 FBG 에서 반사된 빛은 파장과 대역폭에 따라 몇 개의 출력 채널로만 국한되어 나오게 된다. 브래그 반사 대역폭이 측정 결과에 미치는 영향을 고려하여 반사 대역폭이 5.4 nm 인 chirped FBG 를 사용하였다. AWG 는 16개의 출력 채널을 가지며 채널 간격이 0.8 nm 이고 균일도가 2.1 dB이며 동작파장 대역이 1548-1561 nm 인 특성을 가진다. AWG의 출력은 DAQ (data acquisition) 장비를 사용하여 출력 단 각 채널의 광 파워 변화를 실시간으로 측정된다. AWG의 출력단에 광 검출기를 연결하면 각 채널의 출력을 전기적인 신호로 변환할 수 있으며 빠른 신호의 변화도 측정이 가능하다. 각 채널에서 측정된 값들을 이용하여 아래의 식과 같이 centroid 값을 구하게 된다.⁽³⁾

$$Centroid = \frac{\sum (i \times V_i)}{\sum V_i}$$

이때 i 는 출력 채널의 번호이며 V_i 는 i 번째 출력 채널에서 측정된 전압을 의미한다. 브래그 반사된 광이 여러 개의 AWG 채널을 통하여 출력될 때 centroid 값을 구하면 반사파장 피크의 위치를 알 수 있다. 이렇게 구해진 반사파장 값으로부터 초기값과의 변화를 계산하면 인가된 스트레인을 구할 수 있다.

광섬유에 반복적으로 동일한 스트레인을 인가해 주기 위하여 그림 1의 sensing part 에서 보이고 있는 외팔보 (cantilever) 형태의 구조물에 FBG 를 부착하였다. 외팔보에 수직으로 변위를 d 만큼 인가하게 되면 이에 비례하여 FBG에 힘이 가해져서 스트레인이 발생한다. 외팔보에 0 mm부터 5 mm 간격으로 45 mm까지 수직방향으로 변위를 인가 하였을 때 브래그 반사 파장이 장파장 쪽으로 이동하며, 반사파장이 나오는 AWG 의 출력채널도 이동하게 된다. 비교측정을 위하여 기존의 저항측정 방식의 스트레인 게이지를 외팔보에 함께 부착하여 측정하였으며 그림 2에서 보인 바와 같이 두 종류의 센서를 이용한 측정값이 거의 정확하게 일치함을 볼 수 있었다.

본 논문에서는 충격하중을 받는 LNG (Liquefied Natural Gas) 단열재에 FBG 를 설치하여 내부 변형률을

측정하는 방법을 연구하였다. LNG 단열재는 극 저온 (-163°C) 에서 단열 및 기밀성을 유지하기 위해 2개의 폴리우레탄폼 (Poly-Urethane Foam: PUF) 으로 이루어져 있다. 이러한 단열재는 LNG 용액을 채우고 비우는 반복적인 과정에서 따라 수축과 팽창이 반복적으로 일어나게 되어 균열이 발생할 가능성이 생긴다. 또한 LNG 용액이 저장탱크의 일부분만을 채운 부분적재 상태에서, 용액의 출렁거림으로 인한 슬로싱 (sloshing) 현상으로 인해 단열재에 충격 하중이 발생하게 된다. 본 실험에서는 이러한 피로하중을 받는 단열재에 발생하는 변형률을 측정하기 위해 실제 사용되는 LNG 단열재 구조와 동일한 충격 시험편을 (340 mm x 340 mm x 278 mm) 사용하였으며, FBG 를 수직으로 삽입하여 충격하중에 의한 FBG 의 반사파장의 변화를 관찰하였다. 단열재에 4 mm 드릴로 구멍을 뚫은 후 FBG 를 하부 합판에서 70 mm 높이에 삽입하고 액체 단열 재료 주입하여 굳히는 방법으로 고정하였다. 공기 중 낙하장비를 사용하여 150 kg 중량물의 자유낙하를 통해 단열재의 상부 합판 전면에 충격하중을 인가하였으며, 충격하중은 자유낙하 하는 중량물의 낙하높이를 10 mm 에서 100 mm 로 조절하여 변화시켰다. 짧은 시간동안 변화하는 FBG 반사파장을 살펴보기 위하여 10 kHz 의 sampling rate 로 실시간 측정하였으며, 낙하 높이에 대한 변형률은 그림 3과 같이 관찰되었다. 낙하 높이가 커질수록 충격하중이 선형적으로 증가함을 확인하였으며 낙하 높이가 100 mm 이상의 경우 단열재의 경계면에서의 반사파에 의한 스트레인의 영향으로 짧은 시간동안 충격하중과 반대 방향의 충격량이 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. AWG interrogation system 을 통해 짧은 시간 동안 발생하는 LNG 선의 단열재의 충격하중에 의한 변화를 모니터링 할 수 있었고, 이는 향후 FBG 센서를 이용해 고부가가치 선박의 안전성 향상에 기여할 것으로 판단된다.

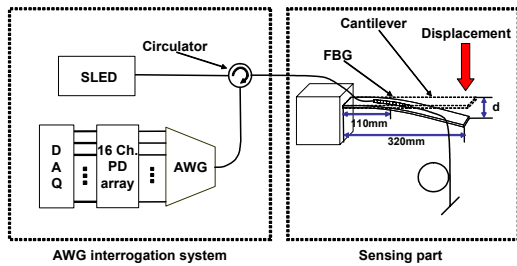


그림 1. FBG의 반사파장을 측정하기 위한 도파로 격자형 파장분석기의 구조도

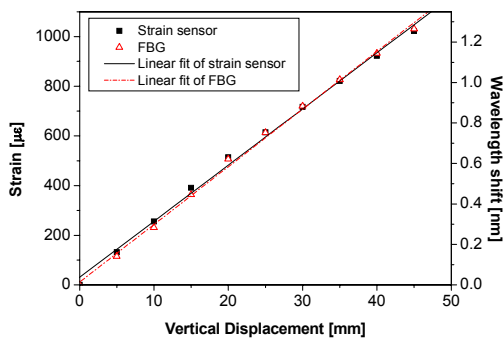


그림 2. FBG센서와 스트레인 게이지를 이용하여 측정한 스트레인 값의 비교 결과

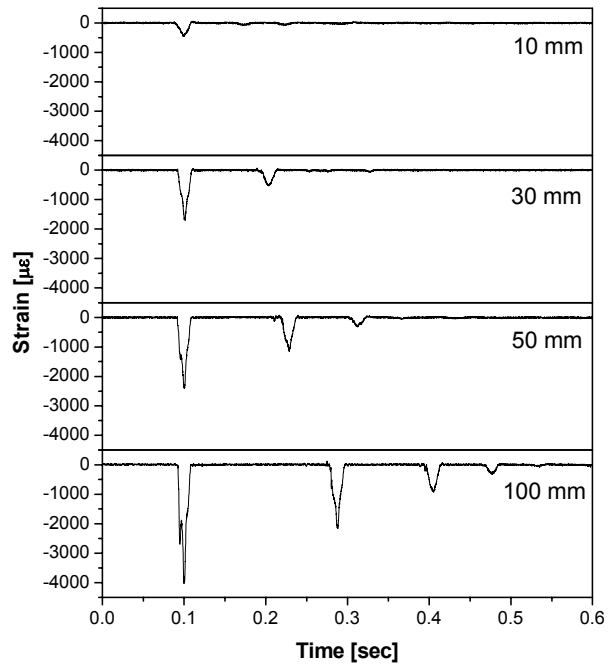


그림 3. 공기중 자유낙하 높이에 따른 압축 변형률 실시간 측정 결과

1. A. D. Kersey et al., "Fiber grating sensors," J. Lightwave Technol., 15, 1442-1463, (1997).
2. W. L. Schulz et al., "Advanced fiber grating strain sensor systems for bridges, structures, and highway," Proc. SPIE., 3325, 212-221, (1998).
3. D. C. C. Norman et al., "Interrogation of fiber Bragg grating sensors using an arrayed waveguide grating," Meas. Sci. Technol., 16, 691-698, (2005).