

다중화된 굽힘 손실형 광섬유 변위 센서

Multiplexed Bend Loss-based Fiber Optic Displacement Sensors

유정애, 권일범,* 조재홍

한남대학교 물리학과, *한국표준과학연구원 스마트계측그룹

seaof4@hotmail.com

광섬유와 레이저 광원을 이용하는 광섬유 센서는 기존의 전자소자 대신에 빛을 이용하여 측정하므로 전자기 잡음이 발생하지 않는 장점이 있다. 또한 우수한 민감도와 분해능을 가지고 있으며, 그 크기가 작고 유연해서 측정하고자 하는 대상물 특히 구조물에 쉽게 부착하거나 삽입이 가능한 장점을 보유하고 있다. 1980년대 지능형 구조물(smart structure)의 개념이 소개되었으며, 광섬유 센서는 이러한 많은 장점으로 인하여 지능형 구조물의 측정에 적합한 센서로써 주목 받게 되었다. 또한 현재 항공우주분야, 의료기기분야, 토목 구조물 등에 적용되어지고 있다.[1] 굽힘으로 인한 광 모드결합 효과에 대한 이론은 Marcus와 Gloge 등의 연구자들에 의해 체계화 되었다.[2] 광섬유 굽힘 광 손실이 센서 분야에서 유용한 효과로 인식되고 있으며, 이를 이용하여 다양한 물리 현상을 측정하기 위해서 많은 혁신적인 기법들이 도입 되어왔다. 특히 미소 굽힘형 광섬유 센서는 작동방식과 신호처리 등이 간편하기 때문에 다양한 적용분야에서 널리 활용되고 있다.

본 연구에서는 한 쌍의 광커넥터의 양끝에서 반사되는 빛의 신호차이가 커넥터 사이에서 발생한 굽힘 변위에 의해 달라지는 것을 OTDR로 측정하여 변위센서를 만들 수 있음을 보였다. 그리고 수 mm에서 수 cm의 변위를 일으키는 토목 구조물의 변위를 측정하기 위하여 센서 4개를 직렬로 배열하여 사용할 수 있는 다중화된 굽힘 손실형 단일모드 광섬유 변위센서에 의한 변위측정을 제안하고 이를 구현하고자 한다.

그림 1은 굽힘 손실을 이용한 광섬유 센서의 측정 원리를 보여준다. 광섬유의 특정 부분에 일정한 반사율을 갖는 광 커넥터 두 개를 이용하여 광섬유를 연결시키고, 광섬유 끝단에서 펄스 광을 입사한 후에 커넥터에서 반사되는 광 파워를 OTDR 기법을 적용하여 시간 영역에서 탐지하면 두 개의 반사광 신호를 얻게 된다. 광섬유의 굽힘이 가해지는 부분은 두 커넥터 사이에 위치하게 되며, 펄스 광이 입사되는 지점을 기준으로 앞에 위치하는 커넥터를 기준 커넥터(reference connector), 뒤에 위치하는 커넥터를 감지 커넥터(sensing connector)라 한다. 광섬유의 굽힘으로 인한 광 손실은 감지 커넥터의 반사광 파워에만 영향을 주게 되며, 입사 된 펄스 광의 파워 변화가 있을 경우를 고려하여 기준 커넥터의 반사광 신호에 대한 감지 커넥터의 반사 광 신호를 탐지하면 굽힘에 의한 반사 광 파워의 변화 값을 얻을 수 있다. 실험에 사용된 광섬유는 단일모드 계단형 굴절률 광섬유이며, 코어 반경은 $4.15 \mu\text{m}$, 코어 및 클래딩 굴절률은 1.467 및 1.465인 DSF(Dispersion Shifted single mode Fiber)이었다. 본 연구를 위해 제작된 OTDR은, 파장 $1475 \mu\text{m}$ 이고, 100 mW 이상의 출력을 내는 펄스형 반도체 레이저(Altera, EPF10K40RC208-4)를 사용하였다. 광섬유 변위센서를 제작하기에 앞서, 광섬유 굽힘 직경에 따른 광 손실 변화를 측정한 결과, 직경이 8 mm ~ 12 mm인 영역에서 광 손실의 변화율이 가장 크고 또 가장 선형적인 변화를 보였다. 이를 기준으로 하여, 광섬유 굽힘은 초기 직경 12 mm로 하였으며, 변위는 최대

6 mm까지 측정하였다. 이러한 실험결과를 토대로 4개의 센서를 직렬로 배열하여 다중센서 시스템을 구성하였다. 각 센서는 모두 5m 길이의 광섬유 끝단에 반사를 일으키는 return loss 37~38 dB의 광커넥터로 연결하여 제작하였으며, 각 센서 사이에는 200m 길이의 광섬유를 설치하였다.[3] 구성된 센서 시스템을 이용해 토목구조물 및 지반의 변위 측정을 위해 설계된 변위계를 그림 2에 보여주고 있다. 최대 굽힘 변위 6mm를 갖는 광섬유를 이용해 수 cm 변위를 측정하기 위해 그림과 같이 측정 변위영역과 굽힘 변위영역의 비를 10:1로 하여 변위계를 제작하였다. 그림 3은 변위에 따른 정규화된 OTDR 신호를 보여준다. 실험결과 변위가 커짐에 따라 광손실이 많이 발생함을 볼 수 있다. 선형적인 변위값에 대해 광손실 신호의 오차값이 발생한 이유는 변위계 광섬유 부착의 정밀도가 떨어진 점과 광섬유 굽힘 영향을 받지 않은 광섬유의 단단한 성질을 원인으로 들 수 있겠다. 그러나 수십 cm 변위를 측정하고자하는 토목구조물의 변위센서로는 사용이 적합하다. 향후 굽힘 변위 센서의 정확도와 분해능향상을 위한 연구를 지속적으로 수행할 예정이다.

본 연구는 과학재단 우수연구센터사업인 스마트 사회기반시설 연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. ERIC UDD, *Fiber Optic Smart Structure* (John Wiley & Sons, Inc. New York USA, 1995) p.1-21
2. Dietrich Marcuse *Theory of Dielectric Optical Waveguides* (ACADEMIC PRESS, INC. Boston 1991)
3. 유정애, 권일범, 조재홍 “굽힘 손실을 이용한 다중화 광섬유 센서의 실험” 광학회 2003 하계학술대회
 “광섬유 센서 제작을 위한 단일모드 광섬유의 굽힘 손실 특성조사” 광학회 2004 동계학술대회

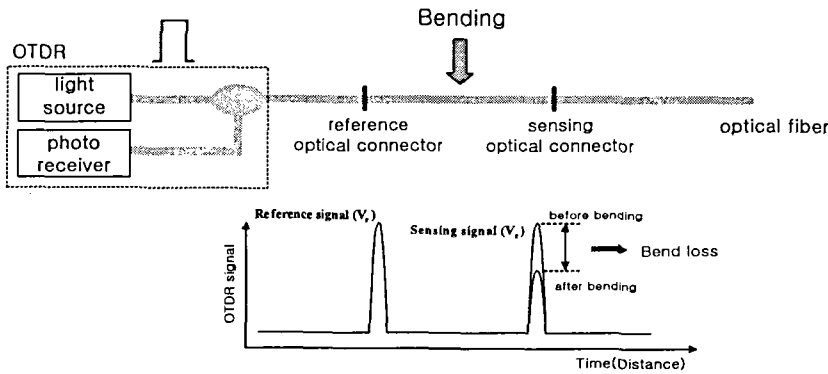


그림 1. 굽힘 손실을 이용한 광섬유센서의 원리

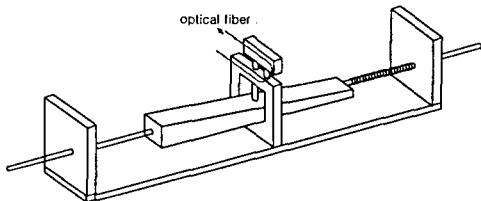


그림 2. 굽힘 손실형 광섬유 변위계

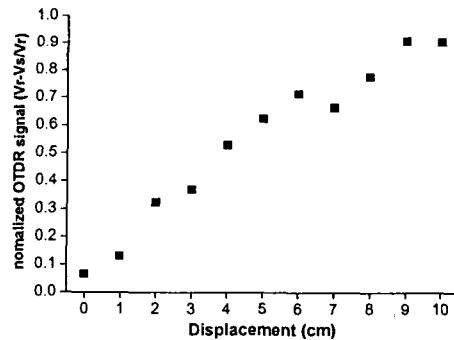


그림 3. 변위에 대한 OTDR 신호

