

굽힘 손실을 이용한 다중화 광섬유센서의 기초실험

Basic Experiment of Multiplexed Fiber Optic Sensor Using Fiber Bending Loss

유정애, 권일범,* 조재홍

한남대학교 물리학과, *한국표준과학연구원 스마트계측그룹
seaof4@hotmail.com

광섬유 OTDR 센서는 전자기 잡음이 없으며 원거리 가시 및 다중화가 가능한 유망한 센서이다. 광섬유 내부를 진행하는 빛은 광섬유의 밀도 변화에 따라 미소한 광산란이 연속적으로 발생하게 되는데 이러한 광산란을 레일리 (Rayleigh) 광산란이라고 한다. OTDR 센서는 펄스광을 광섬유에 입사한후 되돌아오는 레일리 산란광을 측정하면서 임의의 위치에 주어지는 외란의 영향을 후방 산란광의 감소로 알아내는 센서이다.⁽¹⁾ 광섬유 OTDR 센서에 관련한 연구는 다음과 같다. 1976년 Barnoski와 Jensen이 광섬유의 후방레일리 산란을 시간영역에서 해석함으로써 비파괴적으로 광섬유의 손실을 측정할 수 있는 방법을 발명하였다.⁽²⁾ 현재 이러한 OTDR 센서로 변형률을 측정하는 연구는 그렇게 많지 않지만 일본의 교와사 등에서 개발 연구를 하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 한 쌍의 커넥터의 양끝에서 반사되는 빛의 강도의 차이가 커넥터사이에서 발생한 변위에 의해서 달라지는 것을 OTDR 시스템으로 측정하여, 변위 센서를 만들고 이 센서 4개를 직렬형으로 배열하여 사용할 수 있도록 구상하였다.

광섬유의 광 손실을 검출함으로써 광섬유에 가해진 굽힘 정도를 알 수 있고, 굽힘으로부터 외부의 물리적인 양을 측정할 수 있다. 그림 1에서와 같이 광섬유를 접착한 물체의 두 고정축이 한 방향으로 이동하게 되면 광섬유에 굽힘에 따른 광손실이 발생한다. 두 고정축이 멀어지게 되면 광섬유의 굽힘이 작아지게 되어 광 손실이 적어지고, 두 고정축이 가까워지면 굽힘이 커지게 되어 광손실이 증가된다. 이러한 굽힘손실을 측정함으로써 광섬유가 부착된 물체사이의 변위를 알 수 있다. 광섬유의 굽힘 정도에 따른 광손실은 그림 1의 기준 커넥터와 감지 커넥터의 반사광의 차이로 알 수 있다. 그래서 광섬유에 굽힘을 가하면서 OTDR로 커넥터의 반사광을 측정하여 그림 2를 얻었다. 그림 2에서는 광섬유 변위 탐촉자의 변위가 증가함에 따라 감지 커넥터 신호가 선형적으로 감소함을 볼 수 있었고, 그 상관계수가 0.9954로써 선형성이 높음을 알 수 있다. 이와 같은 실험 결과를 바탕으로 변위센서 4개를 직렬형으로 배열하여 그림 3과 같이 다중센서 시스템을 구성하였다. 각 센서는 5m 길이의 광섬유끝단에 Return loss 37-38dB의 connector로 연결하여 제작하였으며, 각 센서 사이에는 200m길이의 광섬유를 그림 3과 같이 설치하였다. 50ns의 펄스광에 의하여 각 센서로부터의 기준반사광 신호와 감지반사광 신호를 얻은 것이 그림 4이다. 이러한 기준반사광 신호전압 (V_r)과 감지반사광 신호전압 (V_s)을 기준반사광 신호전압으로 정규화하여 변위 (δ)를 구하는 식은 아래와 같다.

$$\delta = C \left[\left(\frac{V_r - V_s}{V_r} \right) - \left(\frac{V_r - V_s}{V_r} \right)_0 \right]$$

여기서, C는 실험적으로 구하게 되는 비례상수이며, 정규화된 전압비는 초기값과 차이를 구하여 사용된다. 각 센서에 변위를 가하면서 비례상수를 구한 결과 Sensor#1(S1)은 62.042, Sensor#2(S2)는 29.257,

Sensor#3(S3)는 28.103, Sensor#4(S4)는 8.196으로 구해졌다.

4개의 변위센서 각각에 약 2mm의 변위를 S1만 가한 경우, S1 S2만 가한 경우, S1 S2 S3만 가한 경우, S1 S2 S3 S4 모두에 가한 경우를 실험한 결과 그림 5를 얻었다. 그림 5에서 각 센서들에 가해진 변위를 확인할 수 있으며, 변위가 주어지지 않은 센서는 변위가 0임을 확인할 수 있었다. 따라서 다중화 변위 측정이 가능함을 보였다. 센서로부터 얻은 변위는 주어진 변위에 대해서 0.12mm의 오차를 만들고 있다. 이러한 오차는 최대 변위 2mm에 대하여 약 5%로 정밀한 측정은 불가능하나, 토목계측에는 사용이 가능하다. 향후 센서의 정확도와 분해능향상을 위한 연구를 지속적으 수행할 예정이다.

본 연구는 과학재단 우수연구센터 사업인 스마트 사회기반시설 연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Erlend Ronnekleiv and Kjell Blotekjar, "Distributed fiber sensor for location of disturbances," 9th Optical Fiber Sensors Conference.
2. Duwayne R. Anderson, Florian G. Bell, 'Optical Time-Domain Reflectometry,' Tektronix Inc. pp. 1-10.

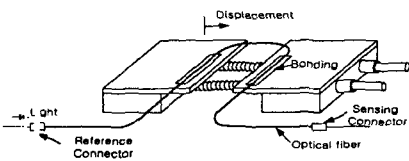


그림 1. 광섬유 변위 탐측자.

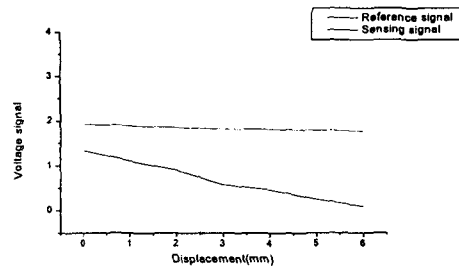


그림 2. 변위에 대한 기준신호와 감지신호.

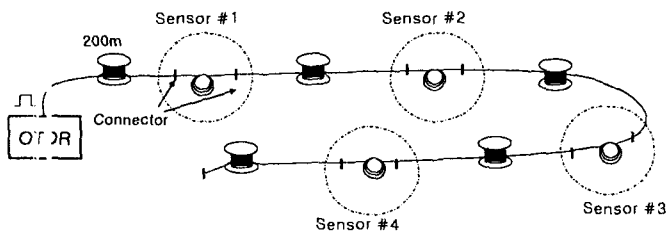


그림 3. 변위센서 4개를 직렬형으로 배열한 실험 장치도.

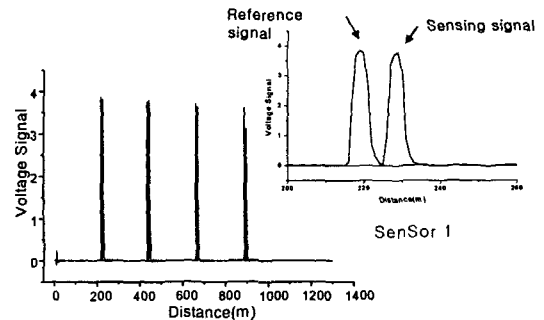


그림 4. 각 센서로부터의 반사광 신호.

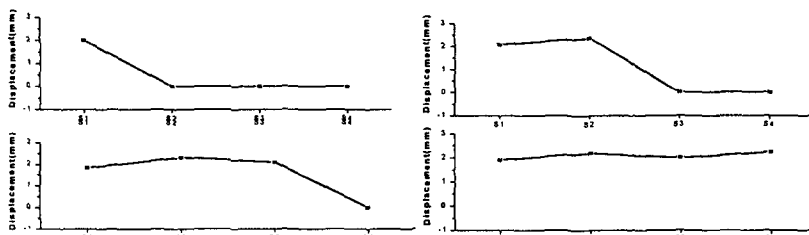


그림 5. 광섬유 변위센서로부터 구해진 변위