

구조물 이상탐지용 광섬유 센서

Fiber Optic Sensor for the Detection of Abnormal Structural Signals from Various Constructions

이윤재¹⁾ · 서문웅²⁾ · 권일범³⁾ · 조재흥⁴⁾

Lee, Youn-Jae · Seomoon, Ung · Kwon, Il-Bum · Jo, Jae-Heung

국문 요약 >> 구조물 이상 탐지를 위해 외력에 의한 광섬유의 모드변환을 이용한 새로운 광섬유 센서를 고안하고 제작하였다. 이러한 광섬유 센서는 민감도가 매우 좋으며, 크기가 작고, 전자파에 매우 둔감한 장점이 있다. 이 센서는 적외선영역에서의 단일모드 광섬유와 635nm의 레이저 다이오드로 구성하였기 때문에 광섬유의 끝단에서의 횡모드는 가우시안 분포가 아닌 다른 형태의 횡모드 형태가 생긴다. 이 광섬유 중간을 구조물에 부착한 후, 구조물에 외력을 인가하면 광섬유 횡모드의 분포 변화가 생기고, 이를 감지함으로써 구조물 이상 유무를 판독할 수 있다. 본 논문에서는 광섬유 센서를 부착한 알루미늄 보를 변형시킴으로써 광섬유 센서의 횡모드 변화를 조사하였다. 이 실험결과 구조물의 이상 상태를 감지할 적당한 신호를 얻을 수 있었으며, 구조물의 이상유무를 측정할 수 있는 광섬유 센서로의 가능성을 확인할 수 있었다.

주요어 광섬유, 이상 탐지, 모드 변화

ABSTRACT >> We propose and fabricate a novel fiber optic sensor for the detection of abnormal structural signals from various constructions. It's advantages are highly sensitive, small in dimension and electro-magnetic immune. Since this sensor was simply constructed with a single-mode fiber at infra-red wavelength and a laser-diode with the wavelength of 625 nm, the modes in the end of the optical fiber were not show as Gaussian distributed. So, we used the change of the mode distribution to get the sensor output by the external abnormal effect of structures. We investigated the resonance by performing the bending test of an aluminum beam attached with the fiber sensor. In the test, we could obtained a feasible signal to sense the abnormal condition of structures.

Key words optical fiber, fiber sensor, anormal structural signals, longitudinal mode change

1. 서론

현대의 많은 토목구조물과 기계구조물은 시간이 지남에 따라 점차 대형화, 복잡해지고 있다. 이에 따라 과거에는 다소 소홀히 여겨졌던 구조물의 안정성에 대한 평가가 중요시 되고 있다. 이에 따라 구조물의 갑작스러운 손상이나 오랜 사용으로 인한 노후화에 대한 파손 가능성을 감시할 모니터링 시스템이 필요하다.

광섬유와 레이저 광원을 이용하는 광섬유 센서는 기존의 전자적인 센서 대신에 빛을 이용하여 측정하고 측정정보 전달도 빛으로 하므로 고압 전류, 번개 등에 의한 전자기 잡음이 발생하지 않는 장점을 있다. 또한 광섬유 한 선으로 광역의 물리량을 측정할 수 있고, 부식 환경에 강한 장점을 갖는다. 이러한 많은 장점으로 인하여 광섬유 센서는 지능형 구조물의 측정에 적합한 센서로서 주목 받고 있다. 따라서 현재 광섬유 센서에 대한 연구는 지능형 구조물을 바탕으로 진행되었으며 측정 및 감시에 이용되고 있다. 또한 이러한 광섬유 센서는 항공우주분야, 의료기기분야, 토목구조물 등에 적용되어지고 있다.⁽¹⁾

본 논문에서는 구조물의 이상 변화를 광섬유 센서로 탐지하기 위한 연구결과를 보고하고자 한다. 파장 635nm의 반도체 레이저를 1550nm 단일모드 광섬유에 입사시켰을 때의 횡모드 패턴과 외란의 증가에 따라 횡모드 패턴의 변화

¹⁾ 한남대학교 물리학과 석사과정

²⁾ 한국표준과학연구원 연구원

³⁾ 한국표준과학연구원 책임연구원

(대표저자: ibkwon@kriss.re.kr)

⁴⁾ 한남대학교 물리학과 교수

본 논문에 대한 토의를 2007년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

(논문접수일 : 2006. 10. 10 / 심사종료일 : 2006. 11. 28)

를 관찰하였다. 특히 횡모드 패턴의 가장자리 부분이 외란에 의해 민감하게 반응함을 관찰하였으며, 이를 센서로서 이용하고자 한다. 모든 실험은 이상상태를 모사하는 진동을 주었을 때 정상신호와 비교하고 변형률 게이지의 출력 신호 비교를 통해 신뢰성을 확인하였다.

2. 본 론

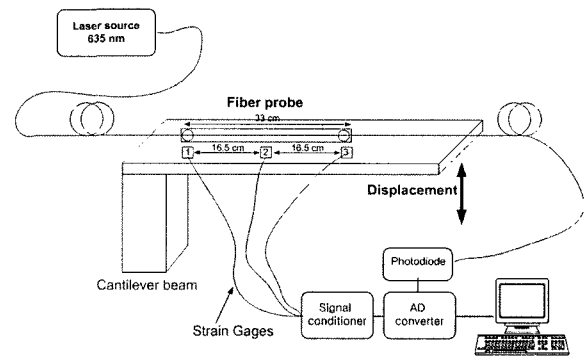
파장 635nm의 반도체 레이저를 1550nm 단일모드 광섬유에 입사시키면 그림 1(a)에서 보는 것과 같은 모드 패턴을 이룬다. 이러한 모드는 외부교란의 증가에 따라서 회전하듯이 변화한다. 그러한 외부교란이 일정하게 가해진 상태에서 하나의 모드 패턴을 보면 그림 1(b)와 같이 회전되는 것을 볼 수 있다. 특히 모드의 가장자리 부분에는 외란에 의해 민감하게 반응함을 관찰할 수 있었다. 즉, 광섬유 끝단에서 출력되는 빛의 일부분만 광검출기가 감지하도록 정렬하면 구조물의 이상에 따른 광섬유의 인장 또는 압축이 발생함에 따라 광세기가 변화한다.⁽²⁾

그림 2는 실험장치의 개요도이며, 광원은 파장 635nm의 가시광 반도체 레이저를 사용한다. 파장 1550nm의 단일모드 광섬유를 알루미늄 보에 부착한 뒤 수직 방향으로 일정한 변위를 주어 외부교란에 의한 이상신호를 검출되도록 하였다. 알루미늄 보의 변위에 의한 변화된 광은 광다이오드 앞에 작은 핀홀을 두어서 광섬유를 통과하여 나온 광의 가장자리 일부분만이 검출되도록 하였고, 이를 오실로스코프

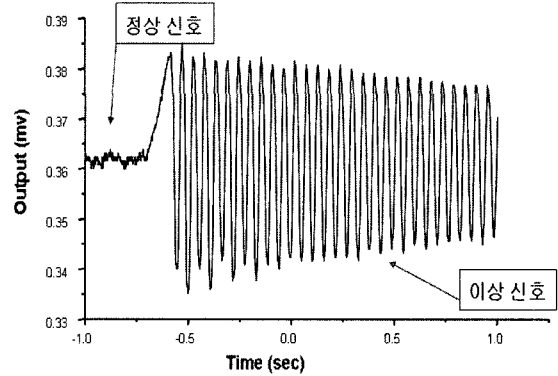
를 통하여 신호를 검출하였다. 또한 변형률 게이지를 알루미늄 보 3곳에 부착하여 광섬유 센서와의 출력 신호를 비교할 수 있도록 설치하였다.

알루미늄 보를 수직으로 이상상태를 모사하는 진동을 주었을 때 얻어진 센서의 출력을 정상신호와 비교한 결과, 그림 3과 같이 모의진동에 따른 이상신호는 정상신호보다 충분히 커지므로 보의 이상상태 검출에 센서의 출력이 적합함을 확인할 수 있었다.⁽³⁾

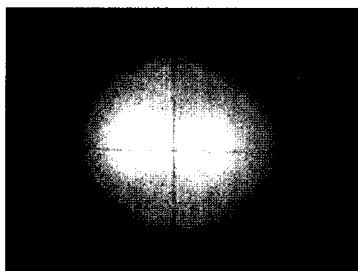
일정한 변위에 대한 출력신호 변화를 보기 위해 수직방향으로 2mm씩 일정하게 변위를 인가한 결과, 그림 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 20mm 구간까지는 보의 변위의 크



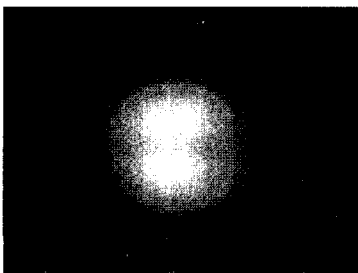
〈그림 2〉 실험장치 개요도



〈그림 3〉 광수신부의 출력 신호 대 잡음 변화

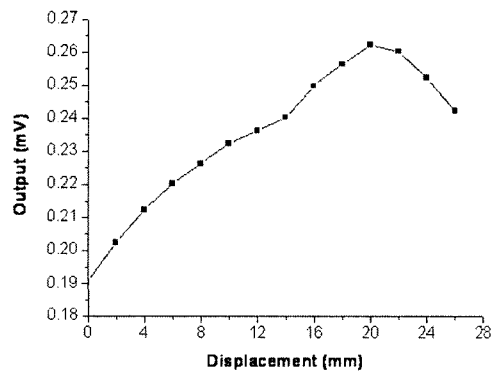


(a)외부교란 인가 전

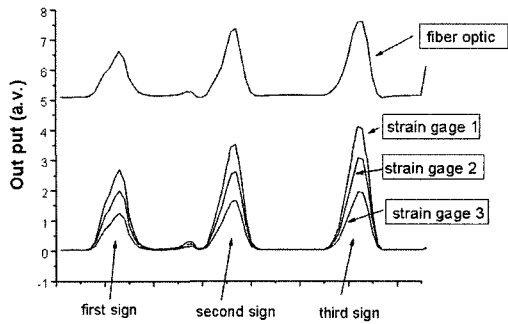


(b)외부교란 인가 후

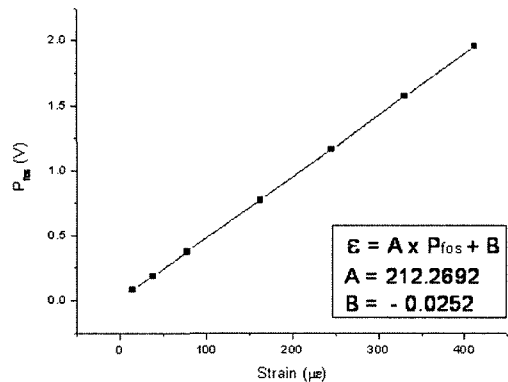
〈그림 1〉 외부 교란 인가 전 / 후의 사진



〈그림 4〉 일정한 변위에 대한 광수신부 출력 신호의 변화



〈그림 5〉 변형률 게이지와 광섬유 센서의 신호 비교



〈그림 6〉 광섬유 센서의 출력과 변형률의 관계

기에 따라 출력되는 신호가 증가했지만 그 이상의 크기로 변위를 인가하였을 때는 감소하였다. 따라서 이 결과를 통해 정량적인 분석을 하기는 어렵지만 보의 변위가 발생을 감지하여 구조물의 이상을 탐지할 수 있음을 확인 할 수 있었다.⁽⁴⁾

변형률 게이지 3개를 광섬유 센서 탐촉자 부분에 대응시킨 결과 그림 5와 같이 선형적으로 변화함을 확인하였다. 즉, 전자기적 센서와 광섬유 센서의 비교를 통하여 변형률이 외부 하중 변화에 따라 선형적으로 분포함을 확인할 수 있기 때문에, 이 광섬유 센서의 신뢰성을 확인할 수 있다.

이러한 변형률 게이지와 광섬유 센서의 출력신호 비교를 통해 변환 관계식의 계수를 결정한 결과 그림 6의 관계로 얻을 수 있었다.⁽⁵⁾

즉, 외부요인으로 주어지는 변형률(ϵ)은 신호크기 변화량

(P_{fos})과 다음과 같은 관계를 가짐을 알 수 있었다.

$$\epsilon = A \times P_{fos} + B$$

여기서, 민감도 $A = 212.27 \text{ } \mu\epsilon / V$ 이고, 절대값 $B = -0.025 \text{ } \mu\epsilon$ 이다.

3. 결론

본 논문에서는 광섬유 센서가 적용된 알루미늄 보에 변위를 인가하였을 때 광섬유 내부의 모드 패턴이 변화함을 발견하였고, 이를 이용할 경우 구조물의 이상탐지가 가능함을 확인하였다. 그리고 변형률 게이지와 광섬유 센서의 출력신호 비교를 통해 변환 관계식의 계수를 결정할 수 있었다. 따라서 구조물의 이상상태의 작은 진동을 감지할 수 있는 간단하고 저렴한 가격의 광섬유 센서를 제안할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 성장동력 기술 개발 사업의 구조물 모니터링을 위한 광섬유 센서 및 IC 개발의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 유정에 “Multiplexed Bend Loss Type Single-Mode Fiber-optic Displacement Sensor Using Reflection signals Generated at optical Connectors,” 한남대학교 석사학위논문, 2005, 51pp.
2. S. O. Kasap, *Optoelectronics and Photonics: Principles and Practices*, Prentice Hall, Canada, 2001, 340pp.
3. 유정에, 권일범, 조재홍, 서대철, “A multiplexed fiber optic sensor for measuring large displacement,” 한국 센서 학회지 Vol. 14, No. 3, 2005, pp. 169-179.
4. 권일범 “Structural Health Monitoring Using Fiber Optic Sensors,” 한국 비파괴검사 학회지, Vol. 25, No. 5, 2005, pp. 400-4004
5. John Dakin, Brian Culshaw, *Optical Fiber Sensors Volume Four Applications, Analysis, and Future Trends*, Artech House, Boston·London, 1997, 478pp.