

特輯

광섬유센서패키지 개발과 이를 이용한 교량구조 계측

김기수*, 조성규**

Monitoring of Bridge Structure using Fiber Bragg Grating Sensors

Ki-Soo Kim*, Seong-Kyu Cho**

요 약

지금까지 광섬유센서를 활용한 구조물의 안전진단이 다양하게 연구되어지고 있다. 그러나 현재 광섬유센서는 다루기 어렵다는 문제점을 가지고 있어 실제 현장에 적용하는데 많은 어려움을 겪고 있다. 이에 본 논문에서는 이와 같은 광섬유 격자 센서의 설치의 어려움을 보완하고, 기타 여러 가지 장치로 광섬유 센서의 활용을 극대화할 수 있는 패키지를 개발하여, 광섬유 격자 센서를 구조물의 교량의 구조계측에 적극 활용할 수 있게 하였다.

Abstract

Recently structural monitoring using fiber optic sensors became popular, but the fiber sensors are very difficult to apply to the real structure due to thin and fragile shape of the fiber. In this research, we developed the fiber sensor packages easy to attach or fasten to the structures and apply to the real bridge structure for measuring the strains and shape changes. The applied fiber optics sensors show the behavior of the bridge girders which have several cracks in the structure.

1. 서 론

사회가 고도화되고, 산업기반시설물들이 대형화가 됨에 따라 교량, 댐, 터널, 대형 건물 등의 안전성을 효과적으로 판단하고, 적절한 유지 보수를 위한 영구 계측 시스템이 날로 증가되고 있다. 현재는 주로 기존의 전기적인 변형률(strain) 게이지들을 이용한 구조물 계측이 이루어지고 있으나, 여러 지점을 동시에 계측하기 어렵고, 시공성이 떨어지며, 센서 설치 시 많은 시간이 소모된다. 또한 주위의 전기적인 잡음들에 의해 정확한 계측이 어렵고, 각 센서마다 라인이 나오므로 라인이 복잡하며, 케이블 길이에 따른 부수적인 문제점도 많다.

이에 광섬유 센서는 주위의 전기적인 잡음이나 노이즈에 손실이 적고, 가늘며 쉽게 휘기 때문에 기하학적 응용성이 우수하고, 녹이 슬지 않고 부식이 잘 안되므로 외부 노출에 보호될 수 있다. 또한 하나의 광섬유에 여러 개의 광섬유 센서를 장착할 수 있으며, 높은 감도와 빠른 감지 속도를 가지고 있으므로 센서로의 이용 가치가 매우 높기 때문에 여러 분야로 연구가 진행 중이다.

이와 같이 광섬유 격자 센서는 많은 장점을 가지고 있으나 실제 현장에 적용하는 데는 아직 많은 어려움이 있다. 이는 광섬유센서는 유리섬유로 이루어져있기 때문에 다루기가 어렵고, 구조물에 부착하기에도 많은 어려움이 있다.

* 홍익대학교 재료공학부 교수, 교신저자(E-mail:kisookim55@paran.com)

** (주)아이세스 책임연구원

본 논문은 이와 같은 광섬유 격자 센서의 설치의 어려움을 보완하고, 기타 여러 가지 장치로 광섬유 센서의 활용을 극대화할 수 있는 패키지를 개발함으로써 광섬유 격자 센서를 구조물의 안전진단에 적극 활용할 수 있게 하는데 그 목적이 있다.

2. 광섬유센서 패키지 개발

2.1 광섬유 센서 패키징시 고정방법개발

광섬유는 일반적으로 8~10 μm 의 코어부와 굴절률이 다른 125 μm 정도의 클래딩으로 이루어진 유리섬유이다. 광 FBG 센서는 이런 광섬유에 특수한 방법으로 격자를 새겨 센서로 사용한다. 격자는 코어와 클래딩부분에 형성하게 된다. 또한 유리섬유는 자체적 파손의 위험 때문에 245~250 μm 정도로 아크릴 코팅되어있다.

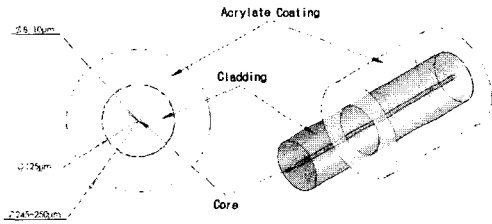


Fig. 1 광섬유의 구조.

이는 광섬유나 광섬유 센서를 보호한다는 장점이 있으나, 광섬유 센서를 직접 실험체에 부착할 때 코팅과 클래딩사이의 Slip 현상이 발생하여 정확한 스트레인 측정에 어려움이 발생하게 된다.

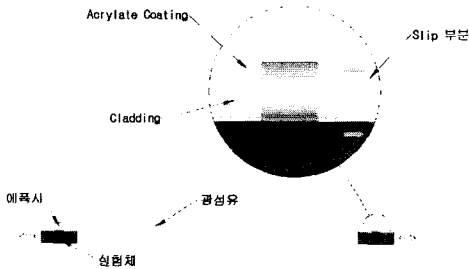


Fig. 2 광섬유 센서에서 발생하는 Slip 현상.

따라서, 정확한 스트레인(변형(變形)) 측정을 위해서는 실험체와 광섬유 센서의 클래딩 부분을 부착시켜야 하며 이를 위해서 부착지점 광섬유의 아크릴코팅을 탈피시켜야 한다.

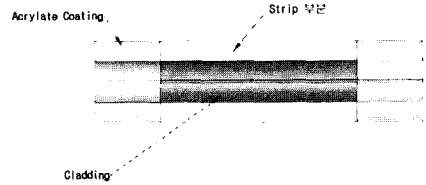


Fig. 2 광섬유 센서에서 발생하는 Slip 현상.

하지만, 여기서 문제점이 발생되는데 Strip 된 부분의 광섬유는 다른 부분의 광섬유보다 강도가 떨어지게 되며, 스트레인(변형(變形))이 발생할 경우 쉽게 끊어지거나 패키징시 다루기가 어려워진다.

이를 보완하기 위해 다음과 같이 금속으로 된 고정자(Fixture) 고안하게 되었다.

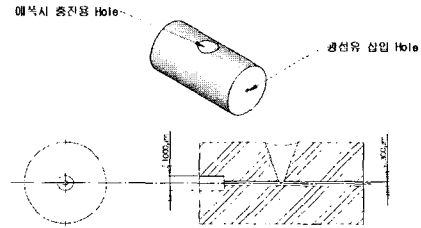


Fig. 4 광섬유 센서 부착용 고정자.

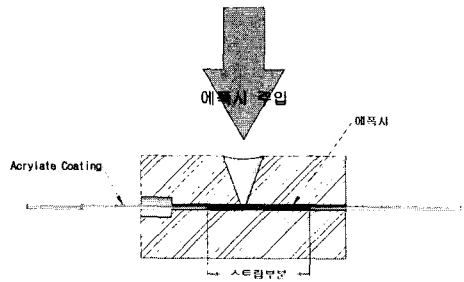


Fig. 5 광섬유 센서의 고정자에 부착방법.

고정자의 모양이나 크기는 패키지의 형태/부착방법이나 실험체의 표면모양/용도에 따라 다양하게 만들 수 있다.

2.2 광섬유 센서 패키징시 고정자를 사용하여 고정하는 방법의 장점

- 금속 하우징에 광섬유 센서를 고정 할 때 광섬유 센서의 표면 코팅 부분이 스트레인(변형(變形))을 받아 Slip 현상을 방지할수 있다.
- 광섬유 센서의 표면 코팅 부분 중 부착할 부분을 Strip

하면 Strip을 한 부분만 급격히 강도가 떨어져 끊어질 위험이 크나 고정 장치인 고정자를 사용하면 Strip 한 부분을 보호하는 역할을 할 수 있다.

- 고정 장치인 고정자에 예폭시 충진용 Hole를 두어 주입의 용이하게 하였다.
- 고정 장치인 고정자를 다양한 형태로 제작하여 센서 패키지 종류에 상관없이 모든 센서 패키지의 금속 하우징과 광섬유 센서를 고정할 수 있다.
- 광섬유 센서를 직접 금속 하우징에 붙이면 센서 패키지의 금속 하우징이 망실되었을 때 광섬유 센서의 사용이 불가능하지만, 고정 장치인 고정자를 사용하여 금속 하우징에 광섬유 센서를 고정하면 재사용이 가능하다.

2.3 고정자를 사용한 광섬유센서 패키지 제작

광섬유 센서는 변형을 측정센서로 알려져 있다. 하지만, 구조적으로 압축에 대한 변형율을 측정하기 어려우므로 기존에는 현장에서 부착시 광섬유에 Pre-Strain을 가해서 측정시 발생하는 압축변형율을 측정하였다. 하지만 현장에서는 일정한 Pre-Strain을 주기가 힘들고, 이 때문에 센서에 무리한 힘을 가해서 센서의 파손을 유발하기도 한다. 이와 같은 문제점을 보완하기 위해 고정자를 이용한 센서 부착방법을 응용하여 그림 과 같은 광섬유 센서 패키지를 고안하였다.

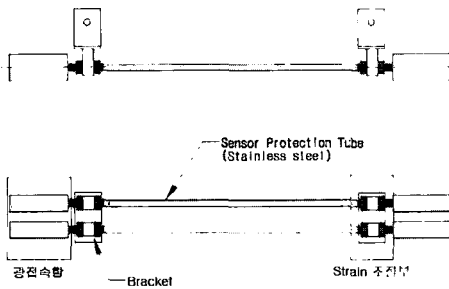


Fig. 6 광섬유 센서 패키지 구성도.



Fig. 7 완성된 광섬유 센서 패키지.

이 패키지는 센서를 보호하는 스테인리스 관과 Pre-Strain을 주기위한 Strain 조절부, 센서와 연장 케이블을 접속부를 보호하기위한 광전속합, 구조물에 부착을 용이하게 하기 위한 Bracket으로 구성되어진다.

이 패키지에서의 센서 길이는 100mm~2000mm로 다양하게 제작할 수 있으며, Pre-Strain은 ~10000 μ Strain까지 줄 수 있게 고안되어졌다. 또한 Bracket은 부착할 구조물에 따라 형태를 변경할 수 있으며, 부착은 Anchor Bolt나 용접으로 고정할 수 있다.

3. 광섬유센서 패키지의 현장 적용

개발된 센서 패키지의 현장 적용성 평가를 위해 사회기반 시설물 평가 중점 연구단에서 실시한 교량(쌍계1교) 재하시험에 참여하여 센서를 부착하여 실험 하였다.

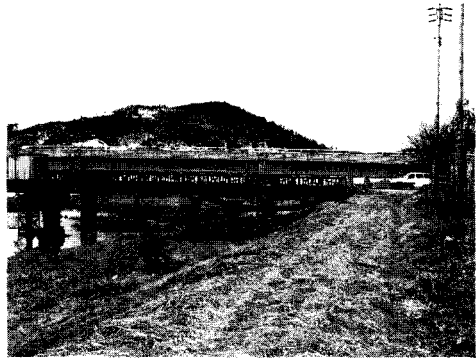


Fig. 8 광섬유 센서부착 시험 교량.

센서는 다음 그림과 같이 교량의 거더 밑면에 설치하였고 센서는 Gauge Length 500mm 변형율계이다.

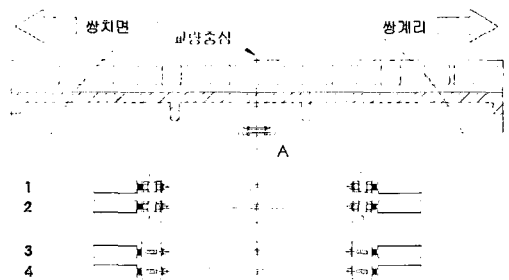


Fig. 9 광섬유센서 설치 위치도.

센서의 부착은 Anchor Bolt를 이용하여 거더 측면에는 평-Bracket을 거더 밑면에는 T형-Bracket을 사용하여 고정 하였다.

교량의 변형율과 휨방향을 측정하기 위하여 2열 배치형태로 센서를 부착하여 실험하였다.

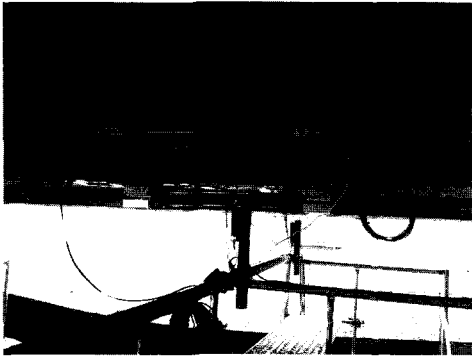


Fig. 10 교량거더에 설치된 광섬유센서.

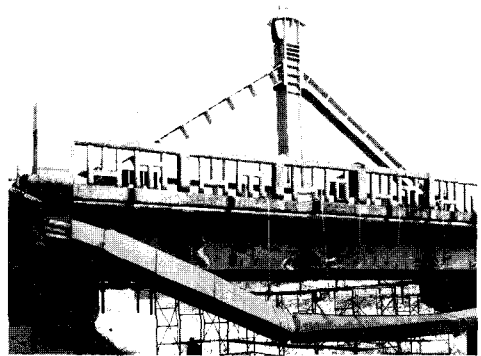


Fig. 13 교량의 Proof Load 시험.

거더 밑면에 부착된 2열 센서는 다음과 같이 교량에 휨이 발생하면, Bracket을 통해 센서에 변형이 전달되며, 부착면에서 멀리 떨어진 센서일수록 변형의 정도가 커지게 되므로 교량의 단순 변형뿐만 아니라 변형의 방향도 알수있게 된다.

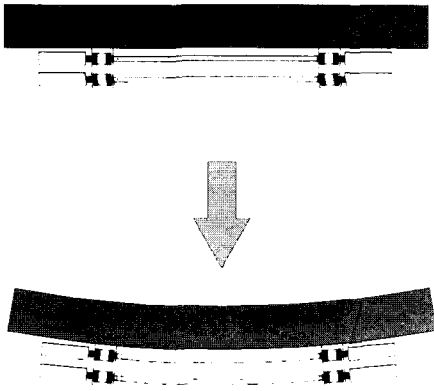


Fig. 11 교량 거동에 따른 센서 동작 모식도.



Fig. 12 차량을 이용한 정재하 시험.

4. 시험 결과

시험은 차량을 이용한 정재하 시험과 Proof Load를 이용한 재하시험을 하였다.

재하시험의 결과를 그래프로 나타내면 다음과 같다.

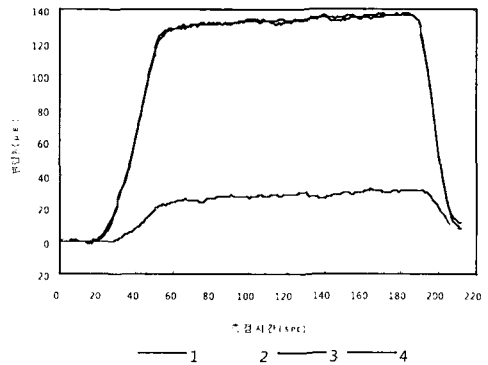


Fig. 14 차량재하시험 결과.

위 그래프는 교량 중앙에 차량 2대를 위치시키고 측정할 결과이다. 범례에 순서는 센서 부착위치도에서 위에서부터 아래로의 순서이다.

아래 그래프는 Proof Load를 이용하여 교량에 160ton 정도 가력하였을 때의 결과이며, 센서의 순서는 차량재하시험과 동일하다.

아래와 같은 결과로 센서의 부착위치에 따라 변형율의 차이가 발생되며, 교량의 휨방향 및 변형율을 측정할 수 있음이 잘 나타나고 있다.

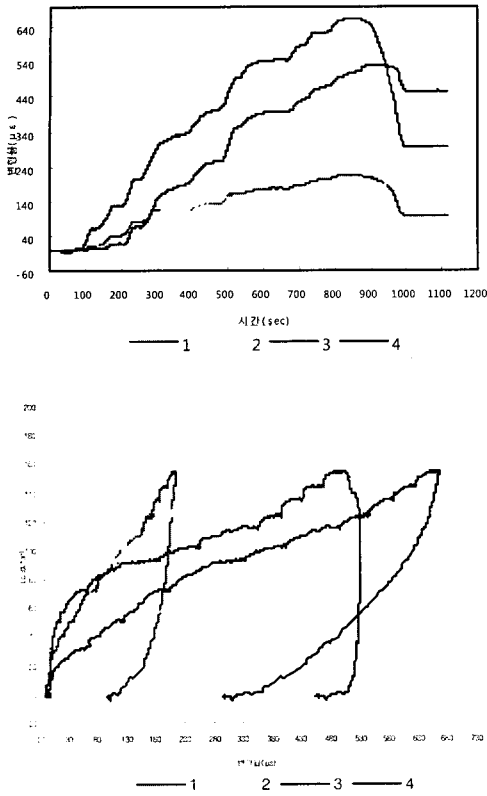


Fig. 15 Proof Load 시험 결과.

5. 결론과 전망

본 논문에서는 광섬유센서를 보다 안전하게 구조물에 적용할 수 있게 광섬유센서 패키지와 부착방법, 고정방법들에 대해 연구 하였다. 실제로 현장실험에서 재하위치에 따라 센서를 여러번에 걸쳐 탈/부착하였고, 보다 안전하고, 편리하게 광섬유센서를 취급할 수 있음을 현장실험을 통해 검증할 수 있었다.

앞에서 언급했듯이 광섬유 센서는 많은 장점을 가지고 있고, 이로서 많은 연구 분야나 구조물 계측에 반영되고 있으나, 광섬유 센서 취급의 어려움이라는 근본적인 단점을 보완하지 못한다면 광섬유 센서의 활용도나 적용분야가 날로 좁아 질 수밖에 없을 것이다.

이런 점에서, 본 논문의 연구결과는 다양한 현장 적용과 광섬유 센서의 이동, 현장 설치의 용이성, FBG 센서 Package의 다양화를 가져올 수 있을 것이며, 전기식 센서를 포함한 모든 센서를 광섬유 센서로 접근할 수 있는 계기가 될 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 과학재단 우수연구센터인 “스마트사회기반시설 연구센터”의 지원과 건설교통부의 “사회기반시설평가 중점연구단”의 지원 그리고 2008학년도 “홍익대학교 학술연구진흥비”의 지원으로 이루어진 것입니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- 1) R. M. Measures, “Fiber optic sensor considerations and developments for smart structures,” *Proc. SPIE*, Vol. 1588, 1991, pp. 282.
- 2) W. W. Morey, J.R. Dunphy, and G. Meltz, “Multiplexing Fiber Bragg Grating Sensor,” *SPIE*, Vol. 1586, Paper #22, Boston, pp. 216-224.
- 3) K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson, and B.S. Kawasaki, “Photosensitivity in Optical Fiber Waveguides. Application to Reflection Filter Fabrication,” *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 32, No. 10, May 1978, pp. 647-649.
- 4) K. P. Koo and A. D. Kersey, “Bragg Grating-Based Laser Sensors Systems with Interferometric Interrogation and Wavelength Division Multiplexing,” *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 13, No. 7, July 1995, pp. 1243-1248.
- 5) A. D. Kersey, K. P. Koo and M. A. Davis, “Fiber Optic Bragg Grating Laser Sensors,” *SPIE*, Vol. 2292 Fiber Optic and Laser Sensors XII, 1994, pp. 102-112.
- 6) M. Melle, Kexing Liu, and Raymond M, “A Passive Wavelength Demodulation System for Guided-Wave Bragg Grating Sensors,” *IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS*, Vol. 4, No. 5, May 1992, pp. 516-518.
- 7) J. stone and L. W. Stulz, “Pigtailed high-finesse tunable fiber Fabry-Perot Interferometer with large, medium and small free spectral range,” *Elect. Lett.*, 23(15), 1987, pp. 781-783.
- 8) W. W. Morey, G. Meltz, and W. H. Glenn, “Fiber Optic Bragg Grating Sensors,” *SPIE*, Vol. 1169, 1989, pp. 98-106.
- 9) A. D. Kersey, T. A. Berkoff and W. W. Morey, “High-Resolution Fiber-Grating Based Strain Sensor with Interferometric Wavelength-Shift Detection,” *ELECTRONICS LETTERS*, 30th, Vol. 28, No. 3, January 1992, pp. 516-518.
- 10) Kim, K. S., L. Kollar and G. S. Springer, “A Model of Embedded Fiber Optic Fabry-Perot Temperature and Strain Sensors,” *J. of Composite Materials*, Vol. 27, 1993, pp. 1618-1662.
- 11) 김기수, 한인동 “광섬유 스마트 구조물의 개념을 이용한 교량상부 내진거동 측정,” 한국복합재료학회지 제19권 3호, 2006, pp. 43-49.