광섬유격자센서의 콘크리트구조물에의 고정과 압축 및 인장 변형의 측정

Measurement of compressive and tensile strain in concrete structure with FBG sensor fixture

김 기 수* 김 영 진** 문 대 중*** 김 성 운****

Kim, Ki Soo Kim, Young Jin Moon, Dae Jung Kim, Seong Woon

ABSTRACT

FBG sensor system is applied to the concrete lining structure in Taegu subway. Near the structure, the power cable tunnel construction started. We wanted to measure the deformation of the structure due to the construction by the FBG sensor. The applied sensor has the gauge length of 1 meter to overcome the inhomogeneity of the concrete material with enough length. In order to fix tightly to the structure, the partially stripped parts of the sensor glued to the package and slip phenomenon between fiber and acrylate jacket was prevented. Prestrain of the sensor was imposed by controlling the two fixed points with bolts and nuts in order to measure compressive strain as well as tensile strain. The behavior of subway lining structure could be monitored very well.

요 약

광섬유센서 계측시스템의 대표적인 방식인 광섬유격자센서(FBG센서)는 포인트 센서 개념의 센서로써 측정하고자 하는 지점에 설치되는 반영구적이며, 분해능이 우수한 센서이다. 광섬유센서는 유리섬유의 코어(Core)/클래딩(Cladding)부분과 유리섬유를 보호하기 위한 코팅(Coating)으로 구분된다. 이와 같이 구성된 광섬유에 외력이 작용할 경우 유리섬유부분과 코팅부분 사이에서 미끄러짐(Slip)현상이 쉽게 발생하는 단점이 있어 패키징을 한 후 데이터에 오류가 생기는 경우가 있었다. 두 재료 간에 발생하는 미끄러짐(Slip)현상을 방지하기 위해서 광섬유의 코팅을 부분적으로 박피한 후 유리섬유부분을 직접 특정한 고정구로 고정하는 방식을 적용하고 프리스트레인을 부가하여 외력에 의한 변형을 정밀하게 측정할 수 있게 하였다. 콘크리트의 변형률을 측정하기 위하여 1미터의 게이지길이를 갖는 광섬유격자센서를 고정하고 프리스트레인을 부가함으로서 광섬유센서의 장점을 더욱 높여 콘크리트구조물의 인장 및 압축 거동을 정밀하고도 장기간 지속적으로 측정할 수 있게 하였으며, 이를 이용하여 인근의 전력구 공사 기간 동안 지하철 콘크리트 라이닝구조물의 안전을 감시하였다.

* 정회원, 홍익대학교, 재료공학부, 교수
** 정회원, 대우건설 기술연구소, 수석연구원
*** 정회원, (주)이제이텍, 부설연구소, 수석연구원
**** 정회원, 대우건설 기술연구소, 상무

1. 광섬유의 구성 및 작동원리

광섬유의 구성은 3개로 나뉘며, 코어(Core)와 클래딩(Cladding) 그리고 코어와 클래딩을 보호하는 피복 자켓(Jacket)으로 구분하며 그림 1과 같으며, 표 1과 같은 구성 물질로 구성되어 있다.

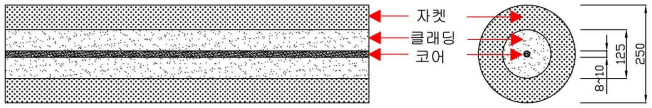

그림 1. 광섬유의 구성(단위 μm)

광섬유의 빛의 전달은 코어(Core)부와 클래딩(Cladding)부에서 이루어지며, 이를 구성하는 물질은 유리질이다. 빛(광)의 전송은 굴절률이 높은 유리질의 코어(Core)부를 통해 전달되며, 굴절률이 낮은 유리질의 클래딩(Cladding)부에서는 코어(Core)부로 전달되는 빛(광)의 손실을 막는 역할을 한다. 코어(Core)부와 클래딩(Cladding)부의 직경은 125μm의 크기로 매우 작으며, 외부에서 가해지는 충격에 약하기 때문에 폴리머(Polymer)또는 아크릴레이트(Acrylate)와 같은 피복 자켓(Jacket)을 이용하여 보호한다.

표 1. 광섬유의 구성 재료 및 물성

구분	구성 재료	직경(μm)	비고
코어(Core)	SiO_2와 GeO_2	8~10	굴절률 높은 유리질
클래딩(Cladding)	SiO_2	125	굴절률 낮은 유리질
자켓(Jacket)	Polymer, Acrylate	250	코어 및 클래딩 보호

2. 광섬유센서 고정방법 및 패키징 방법

2.1 부분탈피 후 광섬유격자센서의 고정방법

고정하기 위해 탈피(Strip)된 광섬유는 탈피하지 않은 광섬유에 비하여 강도가 떨어지기 때문에 변형이 발생하게 되면 쉽게 끊어질 수 있으며, 광섬유격자센서의 다양한 목적으로 사용하기 위한 패키지(Package) 제작할 때 다루기가 매우 어려워진다. 본 연구에서는 이를 보안하기 위해 다음의 그림 2와 같은 부분 탈피된 광섬유 보호용 고정자(Fixture)를 사용하게 되었다. 고정자의 모양이나 크기는 패키지의 형태 및 부착방법이나 실험체의 표면모양 및 용도에 따라 다양하게 제작하여 광섬유를 보호할 수 있다. 이러한 고정자를 사용하는 가장 큰 장점은 고정자에 광섬유격자센서를 고정할 때 광섬유격자센서의 표면 코팅(Coating) 부분이 스트레인을 받아 미끄러짐(Slip) 현상을 방지할 수 있다.

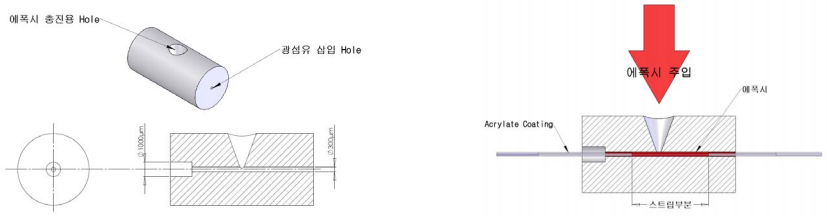

그림 2. 광섬유의 탈피 및 고정자(Fixture)에 접착

2.2 광섬유 센서의 프리스트레인 가변형 패키징 방법

광섬유의 피복 재킷을 부분 탈피하여 고정자(Fixture)에 접착하게 되면, 접착부에서의 미끄러짐(Slip)현상은 더 이상 발생하지 않게 된다. 설계된 치수에 맞도록 부분탈피한 후 광섬유격자센서를 고정자에 접착하여 그림 3과 같은 광섬유격자센서를 이용한 변형률계를 제작하였다. 고정자(Fixture)를 이용하여 광섬유를 고정한 후 고정자의 이동이 발생하지 않도록 볼트를 이용하여 고정한다. 센서패키지 고정장치의 앞뒤에 있는 Strain 조절 너트의 이동에 따라 스트레인 조절 볼트가 이동하게 되면서 변형이 발생하게 되는 원리이다.

그림 3. 부분탈피하여 고정한 프리스트레인 가변형 광섬유격자센서 패키지

지하구조물의 계측에 있어서 대부분의 경우 압축을 받게 되므로 프리스트레인의 적용이 필수적이고, 이에 따라 압축에 의해 발생하는 변위 계측이 가능한 패키지를 제작하여야 하는데 상기의 패키지가 이를 가능하게 해 주고 있다. 지하구조물뿐만이 아니라 모든 계측 분야에서 인장과 압축이 발생하는 것이 일반적이다. 결론적으로 정확한 측정을 위해서는 설치된 계측기의 설치된 지점의 변동이 발생하지 않아야 하며, 압축 거동을 측정하기 위해 프리스트레인의 방법을 통해 미리 인장을 시켜 놓은 후 압축은 프리스트레인의 범위에서, 인장은 프리스트레인이 부가된 시점으로부터 최대 인장 범위까지 발생되는 스트레인을 측정할 수 있도록 패키지를 설계하고 제작하였으며, 그림 3은 이의 세부형상을 표현하고 있다.

3. 제작된 센서 패키지의 성능평가

부분탈피 고정방식을 이용한 프리스트레인 가변형 광섬유격자센서의 지하구조물 변위 모니터링 시스템에 관한 신청기술의 현장 적용성을 평가하기 위하여 대구지하철 1호선 현충로역 구간에 적용되었다. 현재 운영 중인 대구지하철 1호선 현충로역 부근에 한국 전력 공동구 설치를 위한 터파기 공사가 진행되면서 지하철 지하구조물에 영향을 줄 수 있기 때문에, 내구성이 우수하고 뛰어난 분

해성능을 보이는 광섬유격자센서를 이용하여 지하철 지하구조물의 안전을 감시하였다.

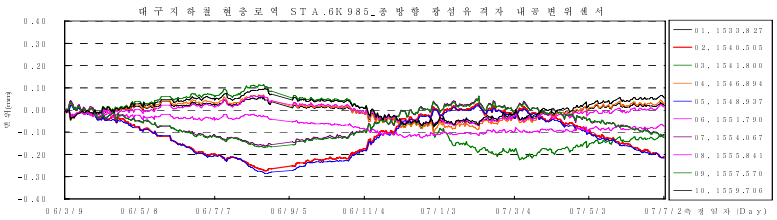

그림 4. 대구지하철 현충로역 STA. 6K985단면 종방향 계측 결과

4. 결론

본 신기술은 탈피하여 고정하고 프리스트레인을 부가한 광섬유격자센서 패키지를 제작하여 설치하였으며, 현장시험을 통하여 지하구조물 현장의 시공 중 계측 및 시공 후 유지관리 계측이 가능한 기술임을 보여 주었다.

광섬유 케이블의 유리섬유부분(코어와 클래딩)을 보호하는 재킷과 코팅(Coating)을 탈피하여 광섬유의 클래딩 부분을 별도의 고정구에 직접 부착하는 방식으로 고정하여, 변형발생시 광케이블을 구성하는 재료들 사이에서 발생하는 미끄러짐(Slip)현상을 방지하고, 외력에 의해 발생하는 변형을 정확하게 측정이 가능하도록 함과 광섬유격자센서의 자체적으로는 압축변형을 측정이 불가능한 점을 개선하기위해 임의에 초기긴장(Pre-Strain)상태를 유지하기위한 프리스트레인 가변이 가능한 광섬유격자센서 패키지를 제작하였으며, 지하구조물 내공에 발생되는 인장/압축변형 측정을 가능하게 하였다.

광섬유격자센서에 Strain을 자유롭게 조절할 수 있는 이러한 패키징 방법은 일반적으로 사용되는 센서에서 측정이 매우 어려운 압축에 대한 거동을 정밀한 측정이 가능하여 지하구조물의 시공 중 계측뿐만 아니라 유지관리 계측할 경우에 신뢰성이 우수한 측정 데이터의 확보가 가능하며, 실내실험과 대구지하철 현장 시험을 통해 이를 입증하였다.

감사의 글

본 연구는 과학재단 우수연구센터인 “스마트사회기반 시설연구센터”와 건설교통부 과제인 “사회기반시설물 평가 중점연구단”과 “국가시설물 안전관리 네트워크 연구단”의 부분적인 지원에 의하여 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

[1] 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, pp. 1618-1662, (1993)

[2] 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, pp. 516-518, (1992)

[3] Kim. K. S., M. Breslauer and G. S. Springer, "The Effect of Embedded Sensor on the Strength of Composite Laminates" J. of Reinforced Plast and Comp, Vol. 2, pp. 949-958, (1992)