# 고속철도차량 모니터링을 위한 FBG 센서의 응용
# Application of FBG Sensors to the Monitoring of High Speed Trains


은종필* 최성훈** 박춘수** 강동훈*** 송성진**** 김기환*****

**Eun, Jong-Pil Choi, Sunghoon Park, Choonsoo Kang, Dong-Hoon Song, Sung-Jin Kim, Ki-Hwan**


---


**ABSTRACT**

Typically electronic resistance type sensors have been used for measurement system of high-speed trains. But due to a large number of measurement quantities, we had difficulties in installing and maintaining the cables that connect sensors and measuring devices. Furthermore, signals obtained from the electronic resistance type sensors are often distorted because the sensors and cables are vulnerable to electro-magnetic interference (EMI). In this paper the characteristic of FBG sensors are compared with those of electronic resistance type sensors in application for the measurement system of high-speed trains. FBG sensors have advantages because of their multiplexing characteristic and robustness to EMI environment.


---

## 1. 서 론

기존의 고속철도차량 계측시스템에는 온도, 변형률, 가속도 등과 같은 물리량의 변화를 측정하기 위한 방법으로 전기저항식 센서를 주로 사용하고 있는데, 계측하고자 하는 물리량의 수가 많기 때문에 그 만큼 이들 센서와 계측장비를 연결하는 케이블의 수가 많아져서 설치 및 유지관리에 어려움을 격어왔다. 또한 전기저항식 센서와 계측장비는 기본 설계 및 구조 특성상 전자기파 간섭(electro-magnetic interference, EMI)에 영향을 많이 받기 때문에 계측 신호의 왜곡이 발생 할 가능성이 있으므로 계측 데이터의 신뢰도에도 영향을 주며, 외부 환경에 의한 부식으로 인해 내구성을 감소시킬 수 있는 단점을 가지고 있다.

이러한 문제들을 개선하기 위한 방법으로 최근 구조건전성 모니터링 분야에서 사용 중인 광섬유 센서가 있다. 광섬유 센서는 측정방식에 따라 광강도 센서, 간섭형 센서, 광섬유 브래그 격자 센서(Fiber Gragg Grating : FBG) 가 있으며, 그 중에서 FBG 센서는 광섬유 코어 부분에 빛을 노출시켜 굴절률 변화를 유도해 Grating의 주기에 의해 결정 되는 특정 파장의 빛을 반사시키는 광섬유 격자 소자이다. FBG 센서는 다중형 센서로 광섬유 자체가 센싱 소자로의 기능과 신호 전송기능을 동시에 수행할 수 있어서 기존의 전기저항식 센서와 계측장비를 연결하던 케이블들을 하나의 광섬유로 대체 할 수 있는 다중화(multiplexing)가 가능하다는 장점을 가지고 있으며, 전기저항식 센서에 비해 내구성이 좋


* 비회원, 성균관대학교 기계공학과 대학원/한국철도기술연구원 차세대고속철도기술개발사업단
E-mail : jpeun@krri.re.kr
TEL : (031)460-5608 FAX : (031)460-5649
** 한국철도기술연구원 차세대고속철도기술개발사업단
*** 한국철도기술연구원 철도산업발전연구실
**** 성균관대학교 기계공학부 교수
***** 한국철도기술연구원 차세대고속철도기술개발사업단

으며 화학적으로 안정하여 부식에 강하다. 또한 광섬유가 절연체로 구성되어 있어 고전압 환경인 고속철도차량에서 전자기파 간섭의 영향이 미치지 않는 특성을 지니고 있으므로 계측데이터의 왜곡 현상을 방지하여 높은 신뢰도의 결과를 기대 할 수 있다.

본 연구에서는 주로 구조물의 건전성 모니터링에 사용되는 FBG 센서를 극한 환경인 고속철도차량에 적용하여 앞으로의 전기저항식 센서를 대체 할 수 있는지에 대한 적용 가능성을 확인해 보고자 한다.

## 2. 광섬유 센서의 연구 동향

### 2.1 연구 동향

Butter and Hocker (1978)[1]에 의해 간섭형 광섬유 센서를 이용한 측정 기술에 관한 이론을 제시한 이후 1980년대 후반에 FBG 센서의 개발과 함께 이에 대한 연구가 현재까지 진행되고 있다. 1990년대 전후로는 광섬유 센서의 특성에 관한 연구가 진행되어 왔으며 하나의 개별적인 센서를 사용하던 것을 90년대 이후 센서 다중화 기술의 발달로 인하여 하나의 광섬유에 여러 개의 센서를 설치 할 수 있었다. 시스템의 경량화나 구조물 내부에 삽입 할 수 있는 장점으로 인하여 구조물 계측에 많이 사용되고 있다.

### 2.2 적용 사례

(1) 광섬유 격자 안전진단 시스템의 상용화 기술 개발[2]

광섬유 센서를 교량의 하단부에 설치하여 정적재하시험 및 동적재하시험을 통해 변형률과 가속도를 측정하였으며 광섬유 센서 모니터링 시스템을 현장에 적용하여 전기저항식 센서와 비교하였다. 그 결과 FBG 센서는 반영구적이며 신호대 잡음비의 우수성과 실제 산업에 적용할 수 있도록 산업기술의 표준을 제시하였다.

(2) 철도교량 모니터링을 위한 FBG 센서의 응용[3]

FBG 센서를 교량의 수평방향으로 다중화 하여 변형률을 측정하였고 측정된 곡률의 함수를 찾아 교량의 수직 처짐을 결정하였다. 처짐 유추법과 LVDT로 직접 계측한 결과가 우수한 상관관계를 보였으며 향후 전자기파가 심하거나 처짐계의 직접적인 설치가 어려운 철도교량의 모니터링에 적용 될 수 있는 방법을 제시하였다.

(3) 홍콩 철도[4]

홍콩의 KCR에서는 FBG 센서를 지하터널의 화재감지 및 지하철 역사의 차량 감지 시스템에 적용하였으며 대차의 온도 측정을 위해 20여개의 FBG 센서를 대차 중요부분에 적용하여 차량 운행중에 기관사에게 잠재적인 고장 가능성을 인지 할 수 있는 모니터링 시스템을 구축하였다. 또한 차체 표면에 전기저항식 변형률계와 FBG 센서를 적용하여 신호의 잡음 특성 및 FBG 센서의 다중화(multiplexing) 특성에 대한 우수성을 검증하였다.

(4) 베이징 올림픽 주경기장[5]

2008 베이징 올림픽 경기장 새둥지를 형상화한 냐오차오(주경기장)는 일반설계 방식에 비해 철강재가 5배인 4만 2천톤이 투입 되었으며 용접 길이가 30여만 미터에 달한다. I빔을 옆으로 뉘어져 휘어져 있는 구조로 기존의 설계 방식이 아닌 새로운 개념의 건축물로서 구조물의 안전성을 실시간으로 모니터링하기 위하여 약 300여개의 FBG 센서로 이루어진 모니터링 시스템을 적용하고 있다.

## 3. 시험 및 분석

한국형고속열차의 TT2와 TT3 사이의 차간 공간에 전기저항식 스트레인게이지와 FBG 센서를 그림 5와 같이 수직방향과 진행방향으로 부착하고 이를 측정하였다. 전기저항식 센서를 이용한 측정은 National Instruments사의 SCXI-1000 섀시와 입력모듈인 SCXI-1520, 입력모듈 앞부분에 부착하는 터미널 블록 SCXI-1314를 이용하여 구성하였고 Signal express 프로그램을 이용하여 데이터를 계측하였다. FBG 전용 데이터 처리기와 IS7000 프로그램을 이용하여 계측하고 이를 계측 컴퓨터에 텍스트파일로 저장하였다.

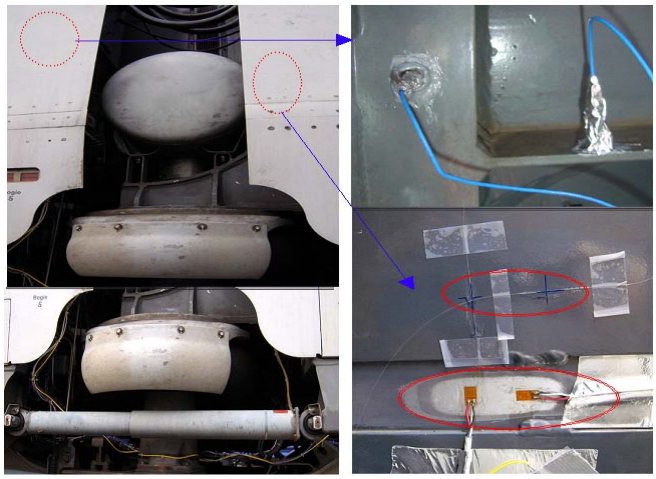

그림 5. 계측센서 설치

그림 6는 대구북연결선 남단을 지나서 고속선로에서 기존선로로 진입하는 선로분기기 구간에서 그림 7은 고속선로에서 절연구간에서 각각 측정한 차체의 변형률을 보여주고 있다. 측정한 변형률 변화의 원인을 분석하기 위해 그림 5와 같이 스트레인게이지 부착 위치 주변에 가속도계를 설치하였고 측정 데이터 분석 프로그램으로 후처리하여 이를 그림 6와 그림 7의 우측에 나타내었고 그림 8에서는 그림 7과 동일구간에서 FBG 센서로 측정한 데이터이다.

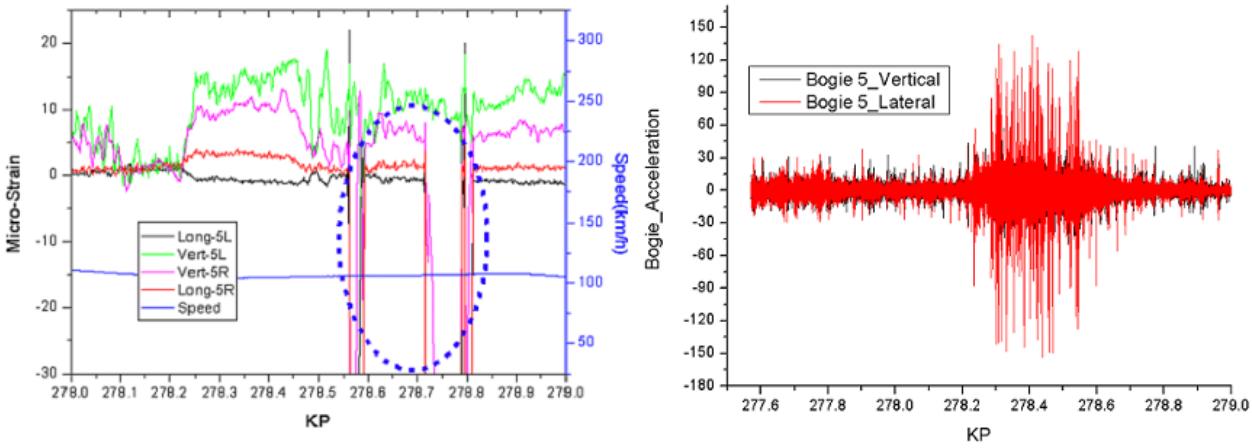


그림 6. 스트레인게이지 측정 및 가속도 신호

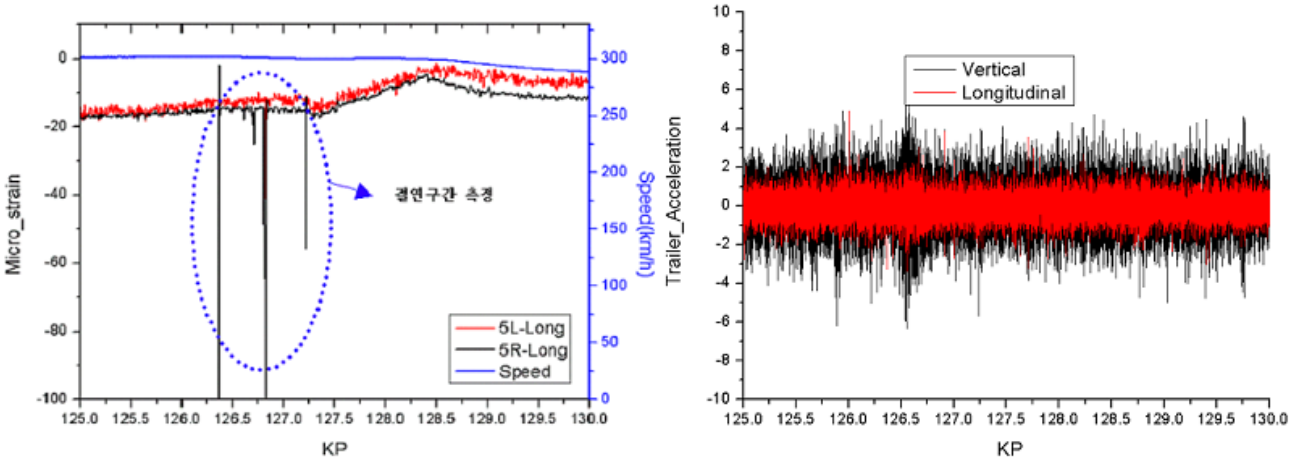


그림 7. 스트레인게이지 측정 및 가속도 신호

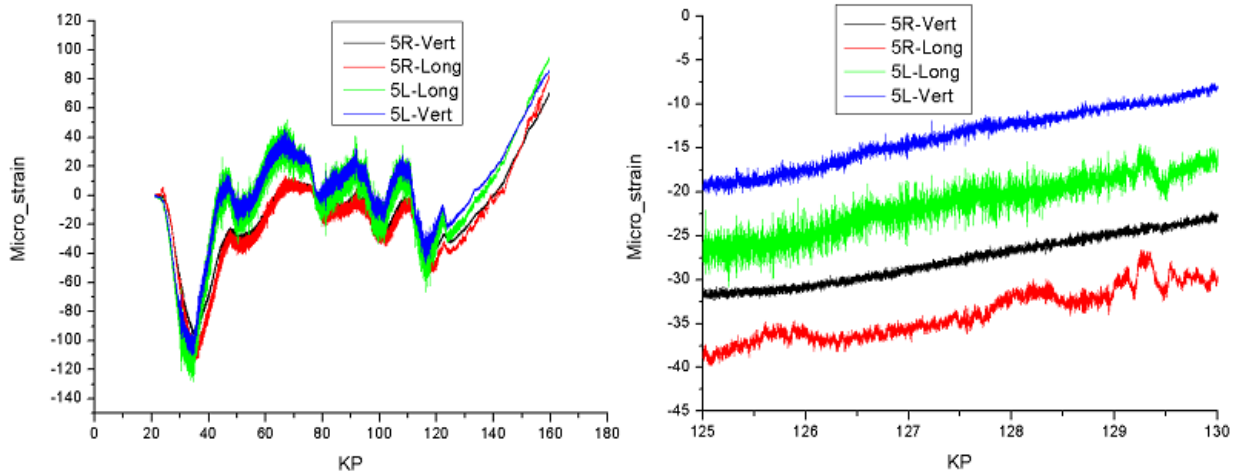


그림 8. FBG 센서 측정

## 4. 결론

본 연구에서 전기저항식 변형률게이지와 FBG 센서를 차체에 부착하여 전자기파 간섭이 영향을 미치는 절연구간에서 실제 외력에 의한 변형이 아니라 외부 전기장 변화가 계측시스템에 영향을 주어 발생하는 이상 신호임을 판단 할 수 있었으며 동일 구간에서의 FBG 센서는 전자기파의 영향 없이 좋은 응답특성을 가지고 있음을 확인하였다.

## 후기

본 연구는 차세대고속철도기술개발사업의 “분산형 고속철도 시스템엔지니어링 기술개발” 과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌


1. Butter, C. D. Hocker, G. B. (1978), "In Situ Laser Reflectance Measurement of Diffuse Surfaces", Applied optics, Vol.17 No.15
2. 이봉완, 등 (2005), “광섬유 격자 안전진단 시스템의 상용화 기술 개발”, 한국시설안전기술공단
3. 정원석, 강동훈, 최은수, 이준석 (2006), “철도교량 모니터링을 위한 FBG 센서의 응용”, 한국전산구조공학회 학술대회논문집, pp.10-14
4. Micron Optics, Inc (2008), "Optical Sensing for Railway Applications"
5. Micron Optics, Inc (2008), "Optical Sensing Bridges and Buildings"
6. 곽경헌 (2005), “광섬유 브래그 격자 센서를 이용한 데이터를 무선통신으로 전송하는 교량의 계측 시스템 개발”, 박사학위논문, 원광대학교