

# 광섬유진동센서를 이용한 도로 평탄성 모니터링

## Pavement Roughness Monitoring using Fiber Optic Vibration Sensors

김기수\* · 유인균\*\* · 김제원\*\*\*  
Kim, Ki-Soo · Yoo, In-Koon · Kim, Je-Won

### 요약

고속도로에서 주행속도가 높아지게 되면, 도로의 노면 상태에 따라 차량의 안전과 쾌적한 운전자의 환경이 변화될 수 있다. 이처럼 도로의 노면 상태를 결정하는 주된 인자는 도로의 평탄성과 소성변형에 의한 노면의 요철이라고 할 수 있다. 평탄하지 못한 도로를 자동차가 고속으로 주행하게 되면, 자동차의 속도에 의한 도로와의 마찰이 발생하여 자동차에는 매우 큰 흔들림이 발생하게 된다. 또한, 도로의 경우에도 자동차의 차축과 도로면에서 발생하는 충격에 의해 미세한 진동이 발생하게 된다. 그리고 광섬유 브래그 격자(FBG)센서는 외부에서 작용하는 매우 미세한 물리량에 의한 변화의 측정이 가능한 매우 우수한 계측 센서로 사용이 가능하기 때문에 온도보상형 광섬유진동센서를 제작하였고, 이를 고속도로 포장면의 평탄성 모니터링에 활용하고자 하였다.

**keywords** : 도로포장, 평탄성 모니터링, 광섬유격자센서, 온도보상형, 광섬유진동센서

### 1. 서론

광섬유 브래그 격자(FBG)센서는 광섬유 격자의 광 반사파장의 선폴이 좁기 때문에  $1\mu\epsilon$ 의 분해능을 갖는다. 이는 결과적으로 광섬유 브래그 격자(FBG)센서는 외부에서 작용하는 매우 미세한 물리량에 의한 변화의 측정이 가능한 매우 우수한 계측 센서로 사용이 가능하다. 고속도로에서 주행속도가 높아지게 되면, 도로의 노면 상태에 따라 차량의 안전과 쾌적한 운전자의 환경이 변화될 수 있다. 이처럼 도로의 노면 상태를 결정하는 주된 인자는 도로의 평탄성과 소성변형에 의한 노면의 요철이라고 할 수 있다. 평탄하지 못한 도로를 자동차가 고속으로 주행하게 되면, 자동차의 속도에 의한 도로와의 마찰이 발생하여 자동차에는 매우 큰 흔들림이 발생하게 된다. 또한, 도로의 경우에도 자동차의 차축과 도로면에서 발생하는 충격에 의해 미세한 진동이 발생하게 된다. 그림 1과 같이 분해능이 매우 우수한 광섬유 브래그 격자(FBG)센서를 통해 발생한 진동을 매우 높은 취득횟수를 통해 정밀한 계측이 이루어진다.

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

\*\* 한국건설기술연구원 도로연구실 책임연구원

\*\*\* 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원

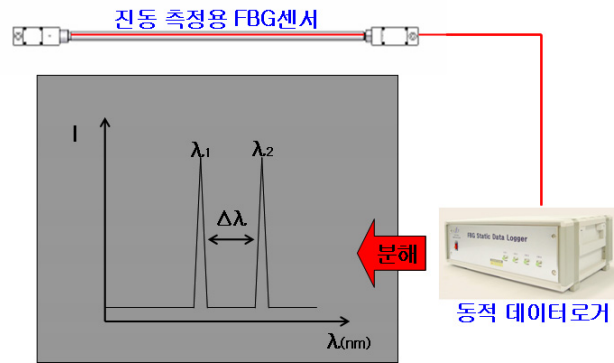


그림 1 진동 발생에 따른 동적 데이터 로거에서의 파장 변화 측정

광섬유 브래그 격자(FBG)센서는 외부에서 발생하는 물리량에 의한 파장의 변화를 측정하는 계측 방법이다. 부식이 없고, 전자기파에 의한 간섭이 없으며, 내구성이 양호한 광섬유 브래그 격자(FBG)센서를 통해 측정된 진동으로 발생된 파장 변화가 그림 2과 같이 나타나며, 이와 같은 변화를 동적 데이터로거로 저장하여 도로의 평탄성을 평가할 수 있다.

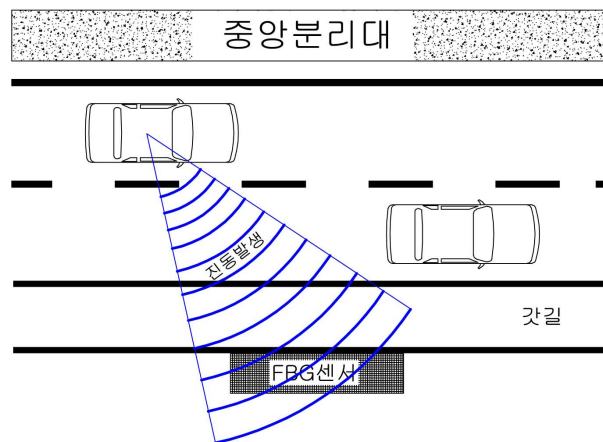


그림 2 고속도로의 노면 상태에 따른 진동 발생

## 2. FBG센서를 이용한 평탄성 측정 진동센서 설계

진동센서를 도로에 설치하려면, 도로에 부착을 하던지 도로의 콘크리트를 깨고, 매립을 하는 것이 가장 좋은 방법이다. 그러나 신설도로의 경우에는 조금 다를 수도 있지만 도로를 훼손하는 것은 좋은 접근이 아닌 것으로 보여진다. 현재에서 가장 좋은 방법은 줄눈형태의 얇은 공간을 확보하여 매설하는 방법이다. 갓길의 차선에 근접한 곳에 줄눈형태의 커팅을 만들어 이용하고, 그 속에 내장이 가능하도록 얇은 두께를 갖도록 그림 9와 같이 광섬유 진동센서를 초기 디자인 하였다.

그러나 스트레인 센서는 통상적으로 온도에 민감하기 때문에, 온도변화를 상쇄해 줄 수 있는 디자인이 되어야 하며, 이를 위하여 매스의 양쪽에 상하로 광섬유를 부착하여 상호 온도

보정을 해주고 분해능을 향상시켜 민감하게 측정할 수 있도록 디자인을 개선하였다. 상하의 진동을 민감하게 감지하고, 내구성이 좋아 장기간 사용이 가능하다면, 도로평탄성을 확인하기 위한 좋은 진동센서가 될 수 있다.

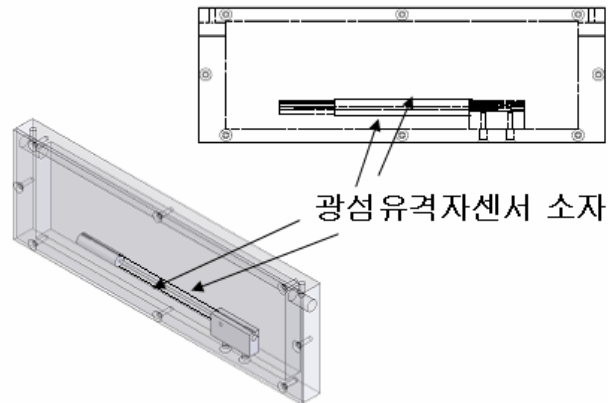


그림 3 광섬유격자센서를 매스의 상하로 접합시켜 상호온도보상하도록 설계된 시작품

### 3. 광섬유 진동계측기 시작품의 도로상에서의 시험

광섬유진동센서 시작품을 제작한 후 테스트를 위하여 큰길의 도로상에서 직접 실험을 하였다. 가능하면 충격을 유발하게 하기 위하여 단차가 있는 곳을 선택하였으며, 갓길에 센서와 시스템을 설치하여 측정하였는데 아래 그림에서 보듯이 차량이 지나갈 때의 진동이 잘 보여지고 있으며, 이 실험도 마찬가지로 분해능이 향상된 온도보상형 광섬유진동센서 시작품으로 수행하였다.



그림 4 주행시험을 시행한 도로에서의 차량통행시 모습

이 실험에서도 진동센서 시작품 내의 상부 FBG와 하부FBG의 데이터를 얻었으며 이를 합산하여 그림 5에 보이는 것과 같이 온도가 보상된 데이터를 계산하였다. 그리고 진동데이터의 피크부부를 확대하여 보면 그림6과 같다.

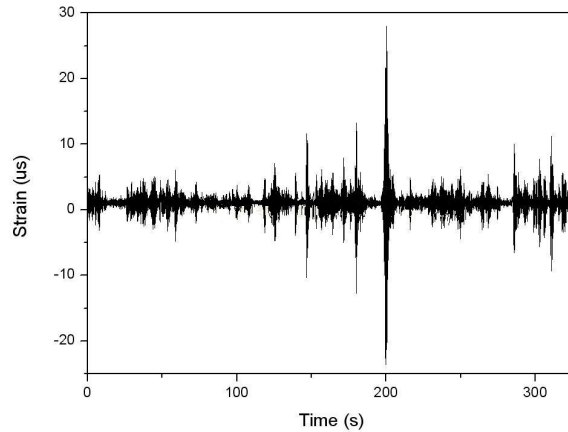


그림 5 도로 주행시험에서 온도보상된 광섬유진동센서의 응답

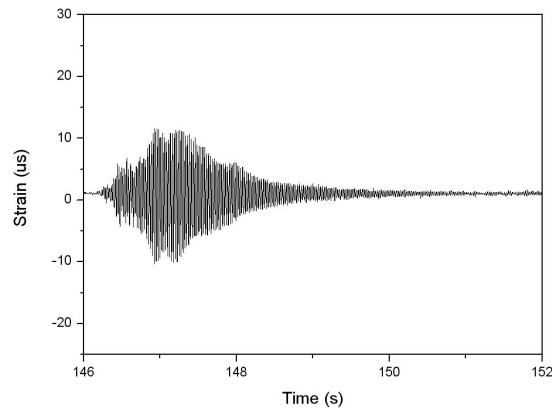


그림 6 주행시험의 146초 부근의 차량 진동을 확대하여 본 패턴

#### 4. 결 론

온도가 보상되고 분해능이 향상된 광섬유진동센서 시작품을 설계하고 제작하였다. 패키지 상부의 FBG에서부터 오는 데이터와 하부의 FBG에서부터 오는 데이터를 합산하여 온도보상된 데이터를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 테스트를 위하여 도로상에서 직접 실험을 하였으며, 차량이 지나감에 따라 진동 패턴을 명확하게 읽을 수 있었다. 다중 측정을 위한 신호처리 시스템의 완성과 큰 도로에서 정확한 무게를 알고 있는 대형 트럭에 의한 실험이 계속적으로 필요할 것으로 보여진다.

#### 참고문헌

1. Gordon, C. G. (1991), Generic Criterion for Vibration-Sensitive Equipment. Vibration Control in Microelectronics, Optic, and Metrology, SPIE Proceedings, Vol.1619, 71-85.
2. Institution of Swiss Highway Eng.s.(VSS) (1978). Vibration Effects on Structures. Swiss Standard SN 640312, secretariat Zurich.