FBG 센서를 활용한 가공 전차선의 스트레인 모니터링
Strain monitoring of overhead contact line with FBG sensors

최원석* 고기한* 이경복** 박영*** 조용현***
Choi, Won Seok* Ko, Ki-Han* Lee, Kyung-Bok** Park, Young*** Cho, Yong Hyeon***

ABSTRACT

This paper reports on measurement method for the fiber optic strain monitoring of overhead contact line systems of trains. We used fiber Bragg grating (FBG) sensors to measure the strain variation of overhead contact line. FBG sensors were attached on the contact line and connected to the monitering system with optical fibers. The monitering system with FBG sensors showed very good sensitivity to measuring strain variation and this system could be applied to the overhead contact line of KTX.

1. 서 론

고속철도를 비롯한 현대의 철도는 전기철도가 주류이며, 현재 국내 철도는 고속철도 개통과 더불어 본격적인 전기철도 시대가 도래되고 정부 계획에 따라 전철화구간이 2006년에 약 50%의 전철화 율을 2020년에 92%까지 끌어올린다는 계획을 가지고 있다. 전기철도에 있어서 전차선로의 유지보수를 위한 검측 시스템 개발은 유지보수를위한 지속적인 구축과 고속철도의 단계별 계통 후 전차선 검측 자료의 체계화, 과학화 및 자료 구축을 위해 절실히 요구된다. 또한 집전성능 향상과 속도향상의 시현을 위하여 체계적이고 과학적인 전차선로 검측 시스템이 시급히 필요하다. 특히 전차선로 유지 보수를 위한 전차선의 마모, 높이, 편위 등의 전차선로 검측은 안정적인 전기철도를 위한 필수조건이며 전차선로 검측항목별 적합성과 측정방법을 일원화하여 검측장비를 개발하고, 특이개소 및 기술수요처의 요구사항에 적합한 시스템이 절실하다[1-3]. 그러나 국내 전차선로 검측의 경우 특이구간 및 전차선의 선종에 따라 측정 시스템을 적용하기가 어렵고 실용적인 유지보수를 위해 시스템개발이 요구되어지고 있다[4].

FBG (Fiber Bragg Grating) 센서는 스트레인 변화 (또는 온도)를 민감하게 측정할 수 있는 센서로 측정 시 광섬유의 격자변화에 따른 반사파의 파장변화로 스트레인의 변화 정도를 측정할 수 있다[5]. FBG 센서가 가지는 장점인 높은 민감도로 인해 교량, 고층건물, 터널, 송유관 등의 설비의 변형을 감시하는데 활용되고 있으며, 항공기의 날개, 배의 선체, 기차선로 등의 변형을 측정하는 목적으로도 활용되고 있다. FBG 센서는 측정된 결과를 모니터링 하는 장치에 연결하기위해 광섬유를 사용하며 이로 인해 측정대상으로부터 장거리 측정이 가능하다는 장점을 가진다.

현재 전기철도는 가공 전차선과 팬터그래프의 직접 접촉을 통한 전원공급방식을 사용하고 있으며, 고속철 운행에 따른 열차속도의 증가로 운행의 안정성 확보를 위해 전차선로의 실시간 검측이 요구된다. 전차선로에 발생할 수 있는 오동작 또는 사고는 FBG (Fiber Bragg Grating) 온도, 스트레인 센서와 같은 스마트센서를 활용하여 전차선 또는 조가선을 넓은 범위에서 민감하게 검측이 가능하다.

* 한밭대학교, 전기공학과, 정회원
E-mail : wschoi@hanbat.ac.kr
TEL : (042)821-1754 FAX : (042)821-1088
** 대전광역시도시철도공사, 차량운영팀, 정회원
*** 한국철도기술연구원, 전기신호연구본부, 정회원

따라서 본 연구에서는 FBG 센서를 가공 전차선에 활용하기 위한 사전실험으로 모형의 전차선 환경 속에 발생되는 스트레인 변화와 온도변화를 전차선에 부착한 FBG 센서를 활용하여 실시간 측정하였다.

2. FBG 센서를 사용한 전차선 모니터링 시스템

2.1 FBG 센서의 동작원리

그림 1은 FBG 센서의 동작원리를 나타낸 개략도이다. FBG 센서는 보통 1550 nm 근처의 파장(λ) 값으로 grating 되어 있으며 그 값은 센서마다 조금씩 다르다. 그림 1-(a)에 정리된 것처럼 레이저에 의해 입사된 파는 FBG 센서를 통과시 센서에 grating 된 파장의 값이 반사된다. 외부에서 가해진 스트레인과 온도의 영향이 센서에 가해진 경우 그림 1-(b)에 정리된 것처럼 센서의 격자간격이 바뀌며 반사파의 파장의 변화(△λ)가 발생한다. 이러한 반사파의 변화를 측정하여 전차선에 가해진 스트레인(△ε) 또는 온도(△T)를 식 (1)과 (2)를 사용하여 계산할 수 있다[6].

$$\Delta\varepsilon = \frac{1}{(1-P_e)}\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} \quad \text{.....식 (1)}$$

$$\Delta T = \frac{1}{(\alpha+\xi)}\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} \quad \text{.....식 (2)}$$

여기에서 P_e는 광섬유의 광탄성계수 (photoelastic constant), α는 확장 선형계수 (linear coefficient of expansion), ξ는 열광계수 (thermooptical coefficient)이다.

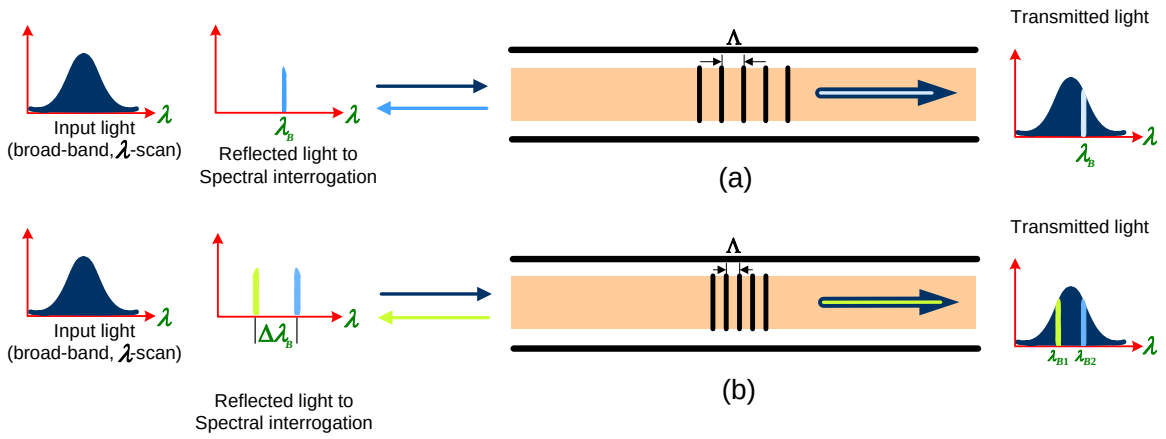

그림 1. 스트레인과 온도의 변화에 따른 FBG 센서의 동작

2.2 FBG 센서를 활용한 전차선 모니터링 시스템의 구성

그림 2에 FBG 센서를 활용한 전차선 모니터링 시스템의 개략도를 나타내었다. FBG 센서는 측정이 요구되는 전차선에 에폭시를 이용해 직접 부착할 수 있으며, 측정이 요구되는 부위에 원하는 만큼의 센서를 직렬 또는 병렬로 설치할 수 있다. 설치된 FBG 센서는 차량 운행시 팬터그래프와 전차선의 접촉으로 발생하는 스트레인과 온도의 변화를 실시간으로 측정할 수 있다. 그림과 같이 전차선 윗부분에 FBG 센서들을 설치하였고 센서부로 레이저를 전송하고 반사된 파장을 측정하는 FBGI (Fiber bragg grating interrogation; Fiberpro co., IS7000) 시스템을 센서부에 연결하여 측정된 결과를 PC로 모니터링 할 수 있다. FBG 센서들은 각각 고유의 grating 파장대를 가지고 있기에 외부 환경의 영향으로 발생하는 스트레인과 온도의 변화에 따라 각각의 센서를 통해 수집된 정보를 FBGI 시스템을 사용 PC를 통해 실시간 모니터링이 가능하다.

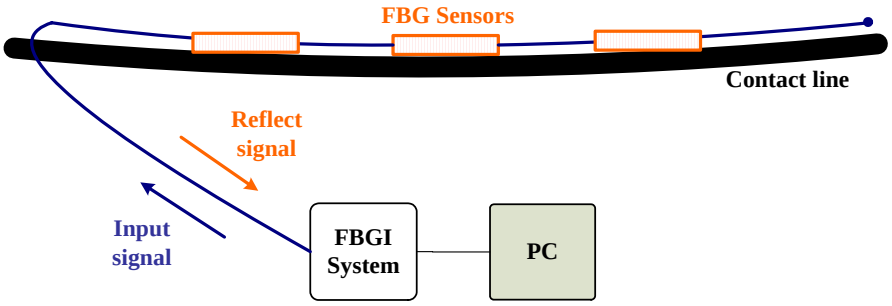

그림 2. FBG 센서를 활용한 전차선 모니터링 시스템의 개략도

3. FBG 센서를 활용한 모니터링

3.1 스트레인 변화 모니터링

그림 2와 같이 구성된 FBG 센서를 활용한 전차선 모니터링 시스템을 모형 전차선에 설치하여 스트레인과 온도변화에 따른 FBG 센서의 동작을 확인하였다. 가공 전차선 재질의 전선의 상단에 FBG 센서를 설치하고 광섬유를 이용 FBGI 시스템에 연결하여 PC를 사용하여 모니터링 하였다. 이러한 시스템을 활용하여 모형 팬터그래프가 가공 전차선에 강하게 접촉할 때 마다 발생하는 스트레인의 변화를 모니터링 시스템을 통해 실시간으로 정확하게 관찰할 수 있었다.

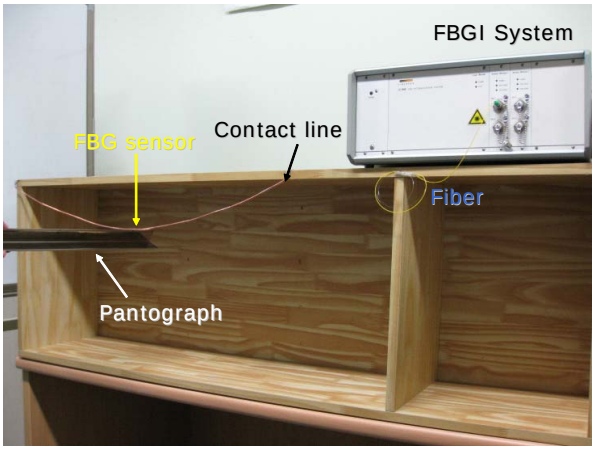

그림 3. 스트레인 변화 측정을 위한 모형 전차선 모니터링 시스템의 사진

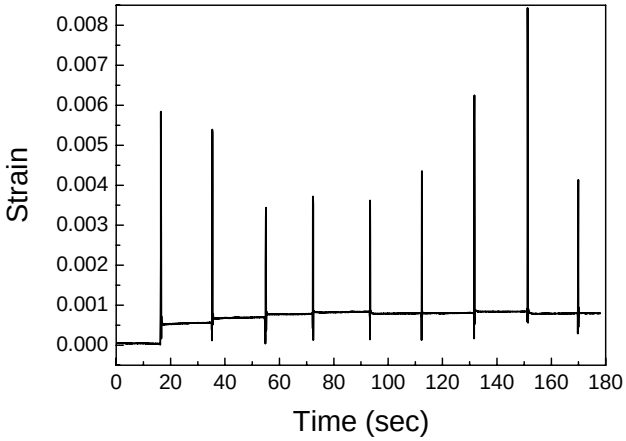

그림 4. FBG 센서를 활용한 모형 전차선 모니터링 시스템으로 측정한 스트레인의 변화

3.2 온도 변화 모니터링

가공 전차선의 온도변화를 측정하기 위하여 그림 5에 나타낸 방법으로 전차선을 2분간 가열하였다. 적외선 검온계 (Fluke co., 63 IR thermometer)를 통해 인가한 최고 온도가 70°C 임을 확인할 수 있었다. 실험을 통해 전차선의 온도변화는 가열시와 냉각시에 다른 형태를 나타냄을 확인 할 수 있었다. 즉 가열시엔 고온에서 느리게 온도가 증가하지만 냉각시엔 고온에서 급격히 온도가 하강하고 저온에선 서서히 냉각되는 것을 확인할 수 있었다.

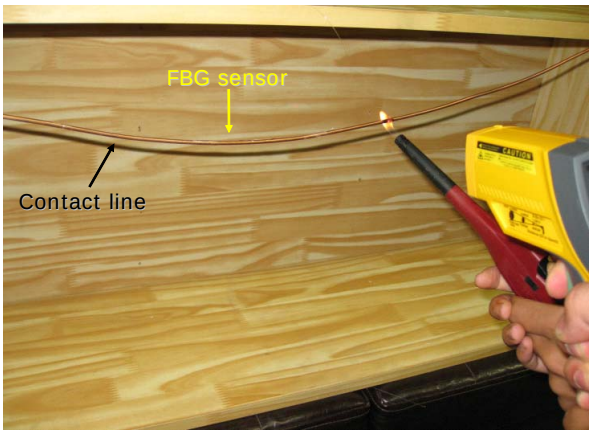

그림 5. 온도 변화 측정을 위한 모형 전차선 모니터링 시스템의 사진

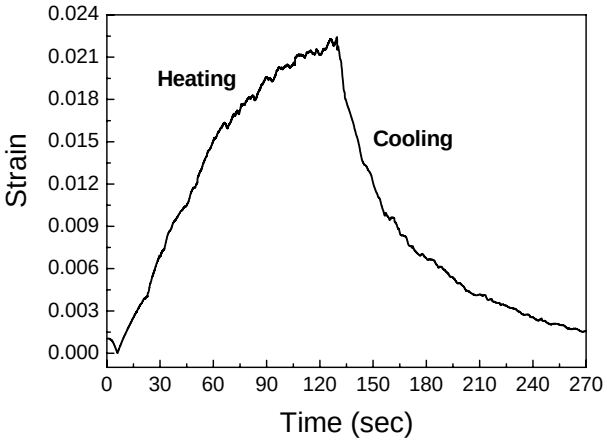

그림 6. FBG 센서를 활용한 모형 전차선 모니터링 시스템으로 측정한 온도의 변화

4. 결론

본 연구에서는 전차선로의 실시간 검측시스템 개발을 위해 구성한 FBG 센서를 활용한 모니터링 시스템에 관하여 기술하였다. FBG 센서는 손쉽게 전차선로에 직렬 또는 병렬로 부착이 가능하고 전기적으로 절연되어 있으며 센서로부터 수십 킬로미터의 거리에서 측정 가능한 센서이기에 고속 철도의 실시간 측정이 가능하다. 빠른 속도로 데이터가 처리 가능하며 측정범위가 광범위하기 때문에 실제 선로의 미세한 변화와 사고를 신속히 모니터링 가능하다는 장점을 가진다. 본 연구에서 FBG 센서는 스트레인의 변화와 온도변화에 민감하게 반응하였으며, 이러한 시스템은 향후 실제 고속철의 실시간 모니터링 시스템에 충분히 사용가능하리라 기대된다.

참고문헌

1. S. Borromeo and J. L. Aparicio, “Automatic system for wear measurement of contact wire in railways", IECON 02, Vol 4, p. 2700, 2002.
2. Friedrich Kiessling, Rainer Puschmann, Axel Schmieder, "Contact Lines for Electric Railways", Wiley-VCH, 2002.
3. R. Muller, “Contact wire wear measurement devices. A system comparison” WCRR′ 97, November. 1997
4. 서승일, 박춘수, 조용현, 목진용, 강부병, “고속전철 집전장치의 성능 계측 결과 및 분석”, 한국철도학회춘계학술대회 논문집, pp.574-579, 2003.
5. Alan D. Kersey, Michael A. Davis, Heather J. Patrick, Michel LeBlanc, K. P. Koo, "Fiber Grating Sensors", Journal of Lightwave Technology, Vol 15, p. 1442, 1997.
6. W. W. Morey, G. Meltz, and W. H. Glenn, “Fiber Bragg grating sensors”, in Proc. SPIE Fiber Optic & Laser Sensors VII, Vol. 1169, p. 98, 1989.