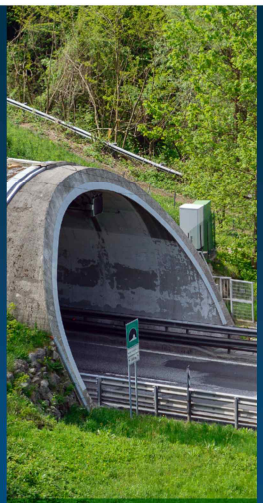
1992-2017
한국터널지하공간학회
창립 25 주년

MAGAZINE OF KOREAN TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE ASSOCIATION

ISSN 2233-7482



September 2017
Vol.19 / No.3

자연, 터널 그리고 지하공간

한국터널지하공간학회지

[특집 기술강좌: 쉴드터널의 굴진관리]
- 제6강 쉴드TBM 굴진관리(6) 측량 및 방향제어
  - 기계화시공위원회 쉴드TBM 공법연구그룹 -

[기술기사]
- 광센서를 이용한 철도터널 구조물의 안정성 관리방안
- 터널 공동구 및 배수구에 사용되는 콘크리트 덮개 적용 사례
- 『LH 도심형 터널설계요령』 발간내용 소개

[국제&회원기고]
- ITA WTC 2017 노르웨이 베르겐 학회 참가기

[프로젝트 소개]

[논문 소개]

사단법인 한국터널지하공간학회
Korean Tunnelling and Underground Space Association

광센서를 이용한 철도터널 구조물의 안정성 관리방안

이강문
(주)이제이텍
계측사업본부 전무

김성진
(주)이제이텍
계측사업본부 이사

고영득
(주)이제이텍
계측사업본부 이사

1. 개 요

최근 고속화되어가는 철도에 대한 안전관리가 대두되어가고 있으며, 현재 과학적이고, 체계적인 유지관리를 위해 표준 플랫폼을 활용한 계측 자동화시스템을 통합 구축하여 운영하는 사례가 늘어가고 있는 추세이다.

그러나, 이는 극히 한정되어 있는 구조물 단면에 대한 유지관리로써 열차 안전운행에 직접적인 영향을 주는 철도터널 및 레일에 대한 유지 관리는 그 실적이 극히 미비한 것이 국내 현실이다.

이러한 현실적인 문제를 고려한 방안으로써 하나의 FBG 기록계를 온도계, 변형률계, 가속도계, 진동계 등과 같은 여러 FBG 센서와 연결이 가능하고, 철도터널의 거동을 전체적으로 분석함으로써 추가적인 비용을 절감 할 수 있는 다기능 FBG 센서 시스템을 소개 하고자 한다.

2. FBG 센서 소개

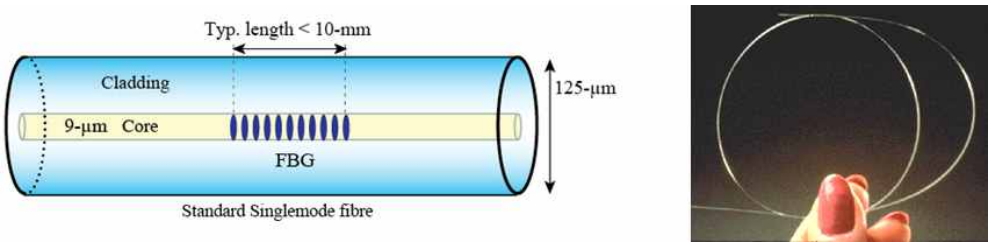
2.1 FBG 센서 정의

FBG(fiber Bragg grating)는 광섬유 내부 코어에 굴절율이 조금씩 다른 격자를 새겨 넣어 광섬유 내부를 도파하는 빛의 일부 파장을 반사시키는 역할을 하는 광섬유 수동소자이다(그림 1).

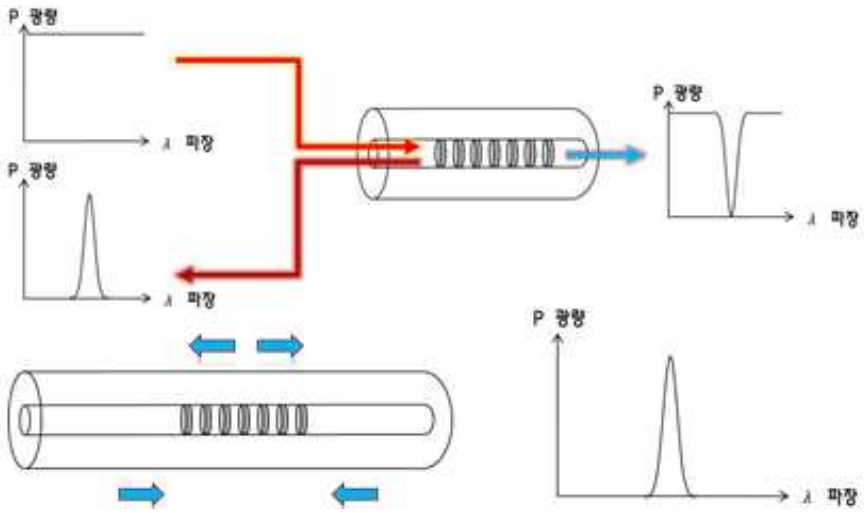
2.2 FBG 센서 기본원리

FBG 센서는 유리 섬유가 온도 또는 장력으로 내부 격자간의 거리가 변화하게 되고, 이로 인해 반사하는 빛의 파장의 변화량을 측정하여, 최종 변화량을 측정하는 센서이며, 온도계를 제외한 모든 센서가 프리스트레인을 가해준 상태에서 제작된다(그림 2).

따라서, 인장이나 압축을 받게 되면 광섬유의 길이가



〈그림 1〉 FBG 센서 개요도



〈그림 2〉 FBG 센서 기본원리

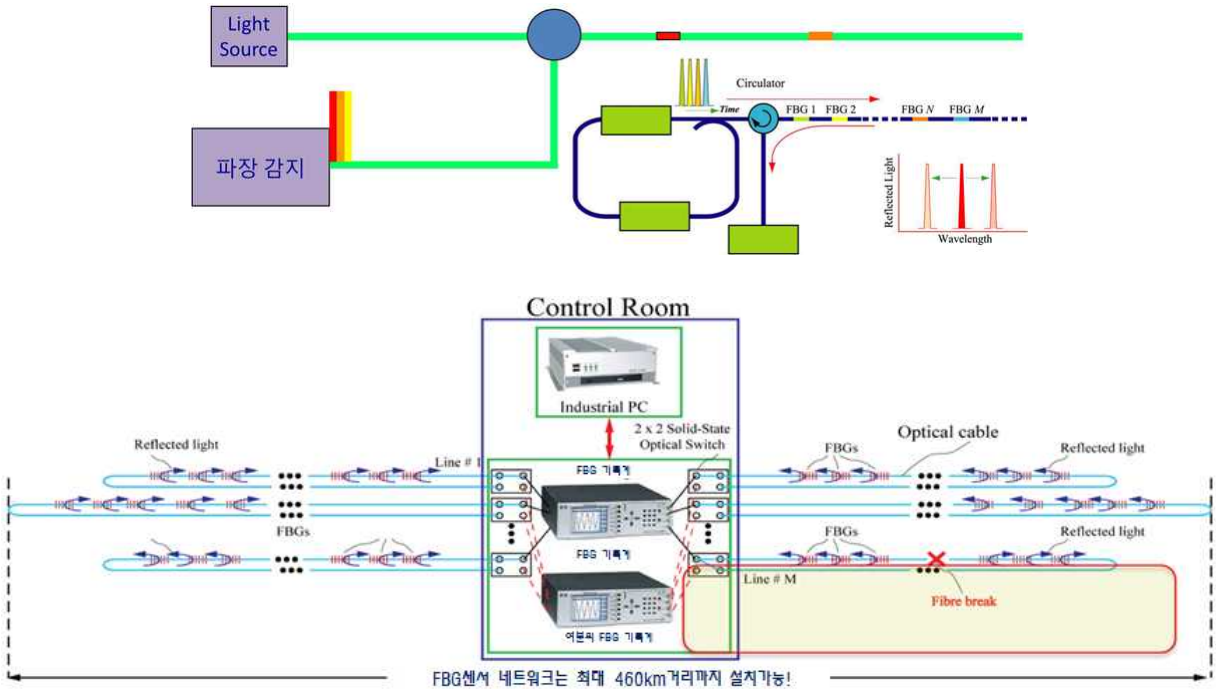
늘어나거나 줄어들게 되면서, 격자간의 거리도 늘거나 줄어들게 된다. 이로 인해 반사되는 빛의 파장이 장파장 또는 단파장으로 이동하게 된다.

2.3 FBG 센서의 특징

FBG 센서의 특징은 다음과 같다(그림 3).

▶ 장 점

1. 광섬유 센서를 직렬방식으로 연결할 경우, 한 개 채널에 최대 10개 이상의 센서를 연결하여 볼 수 있다.
2. ▸광섬유 센서는 유리 재질이기 때문에, 부식에 강하다.
   ▸광섬유 센서는 외부의 전자기파의 방해를 전혀 받지 않는다.
3. ▸FBG 센서는 최대 460km거리까지 장거리 측정이 가능함.
   ▸파이프라인현장 등과 같은 장거리 자원 이송망 파이프라인의 계측 모니터링에 매우 유용함.
   ▸광섬유 센서는 별도의 전원공급이 필요치않다.
   ▸각 FBG 센서에서 측정된 데이터는 기록계를 통해 자동으로 저장이 되고 비상시를 대비하여 여분의 기록계에 모든 데이터가 저장되며 이를 통해 계측 시스템의 신뢰성을 향상시키게 됨.



〈그림 3〉 FBG 센서의 특징

3. FBG 센서 적용사례

3.1 해외사례

2006년 홍콩 East 철도의 진동 모니터링을 위한 FBG 센서 구축시스템으로서 24KM 거리에 약 50개소의 FBG 센서를 구축하였다(그림 4).

2006년부터 수백만 개의 열차에 대한 진동거동을 모니터링 하였으며, 약 30개소 이상의 열차에 대해 과잉 진동의 영향을 확인하였다.

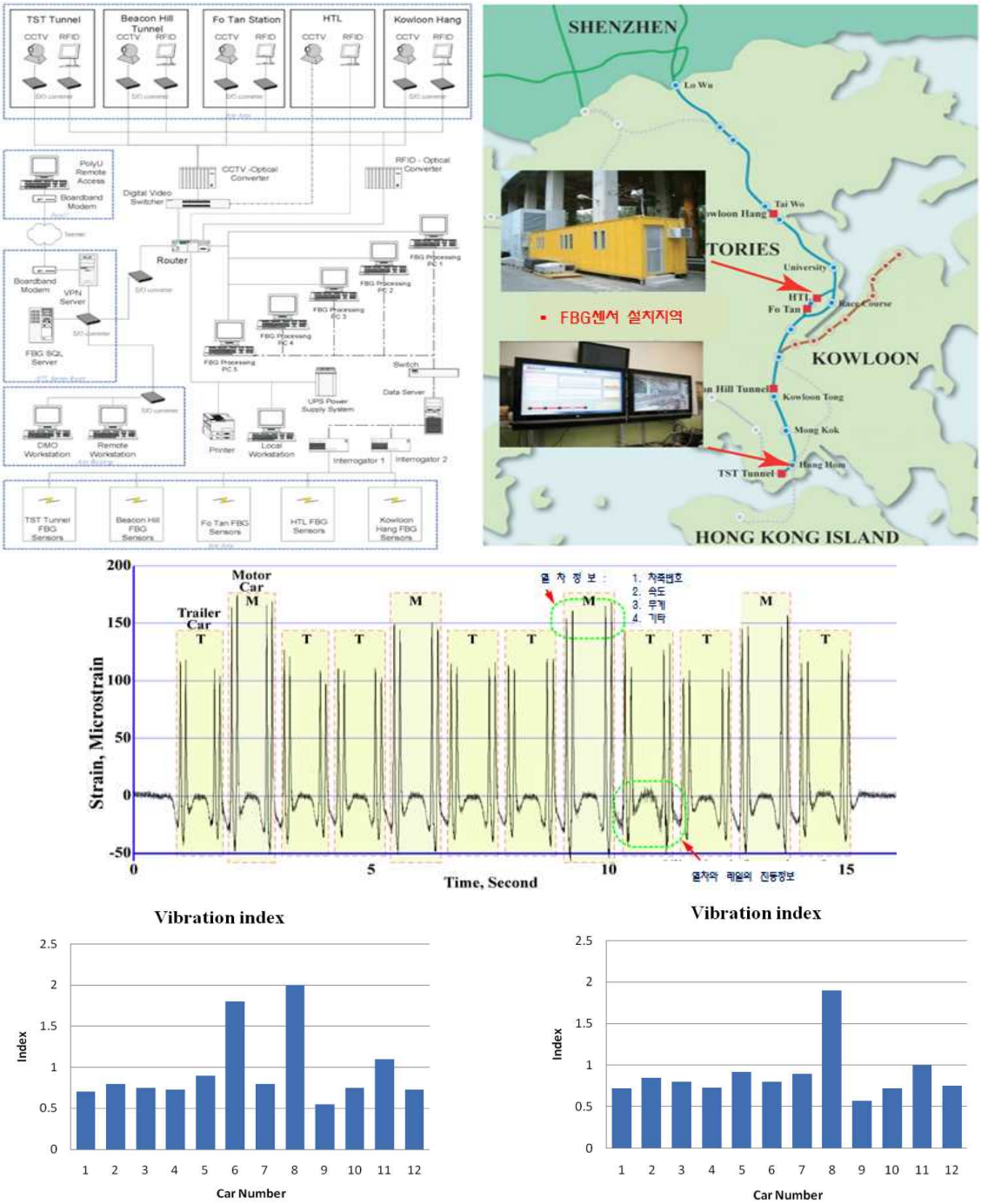
2020년 완공될 예정인 베이징과 상하이를 연결하는 고속철도구간에 진동계, 변형률계, 온도계등의 FBG센서가 설치되었다. 이 고속철도는 최대속도 약 350km/hr로 운행될 예정이며, 기존 10시간이 걸리는 여행시간을 4시간으로 단축시킬 것으로 예상된다(그림 5).

열차가 300km/hr 속도로 달릴 때 고속철도 연결부의 거동을 평가하기 위해 FBG 센서 약 200개소이상 설치되었다. FBG 센서는 외부 광케이블을 이용하여 원거리 기록계에 연결된다.

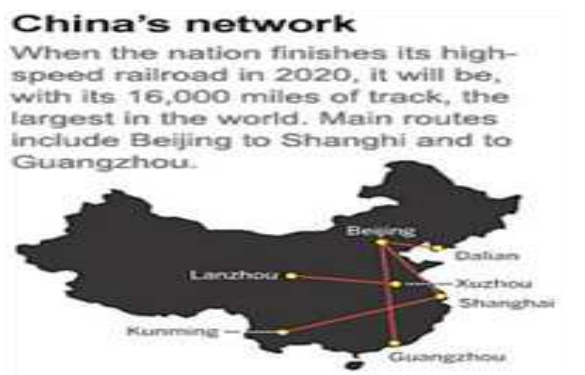
3.2 국내사례

현재까지 국내현장에 적용된 FBG 광센서는 여러 분야의 건설현장에서 많이 사용되고 있다. 특히 유지관리 시에 많이 적용되는 FBG광센서는 국내 지하철 및 철도터널 구간에 설치되어 우수한 성능을 인정받고 있으며, 주요 설치구간 및 설치된 센서는 아래 표 1, 표 2, 표 3과 같다.

영동선 철도이설공사 현장의 전단면 내공변위계의 전반적인 변위양상을 살펴보면 0.06~-0.17mm정도의 변위량을 나타내고 있으며, 이는 계절에 따른 터널구조물의 온도차이로 미세한 수축과 팽창을 보이는 것으로 확인되었다(그림 6, 그림 7, 그림 8).

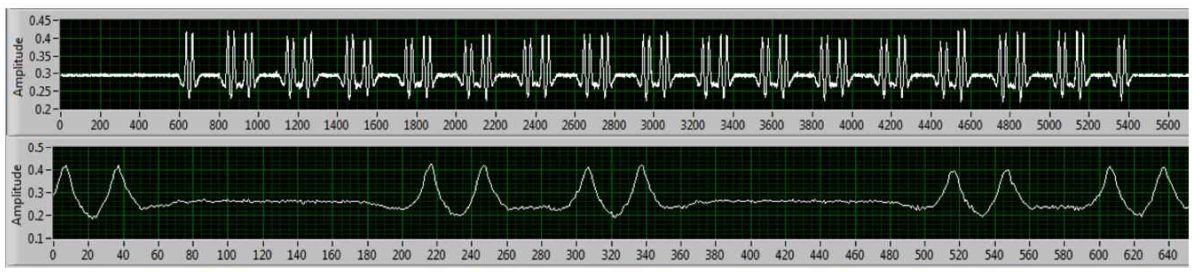


〈그림 4〉 홍콩 East 철도의 진동모니터링을 위한 FBG센서 구축 시스템(2006년)



FBG 센서를 이용한 고속철도트랙의 진동측정

고속철도(8개 차량)가 시속 300km/hr로 움직일때 철도트랙에서 발생한 변형률을 FBG센서로 측정한 결과데이터



고속철도(16개 차량)가 시속 300km/hr로 움직일때 철도트랙에서 발생한 변형률을 FBG센서로 측정한 결과데이터

〈그림 5〉 중국 철도구조물의 FBG센서 구축 시스템

〈표 1〉 FBG센서 적용 국내 터널현장 사례

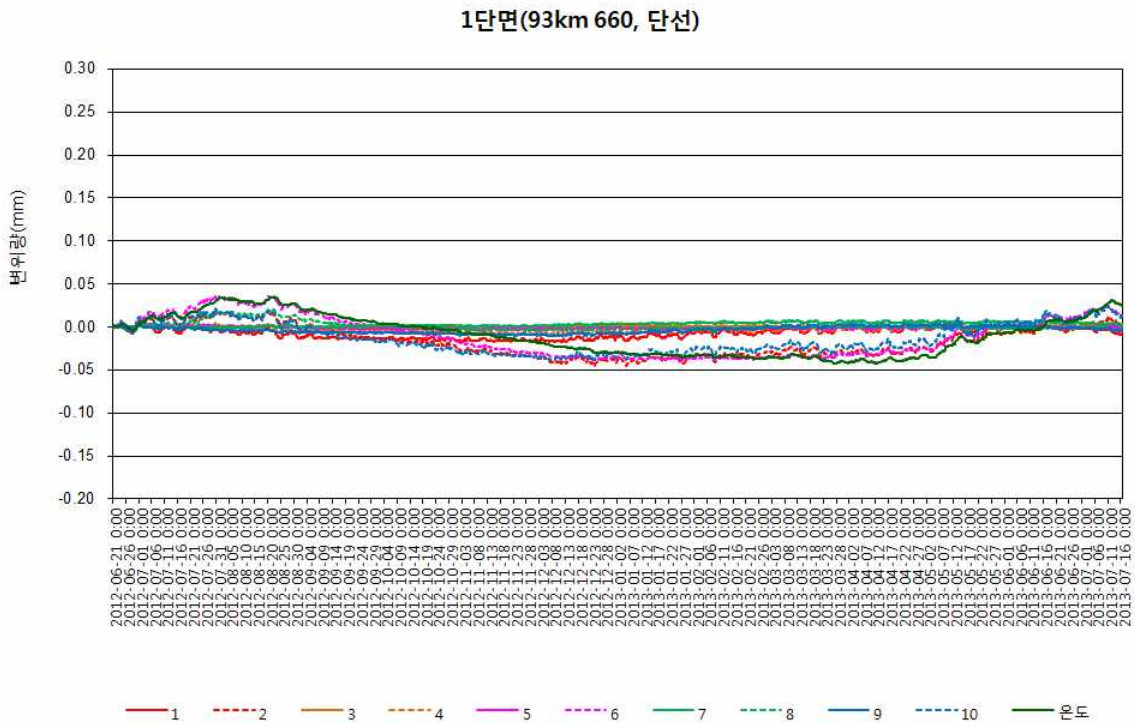
현장명	시공사	설치 단면 수	계측 종류
경부고속철도 KTX ○○공구 노반 신설 기타 건설공사 (○○터널)	○○건설	13단면	시공 중 및 유지관리
대구지하철 1호선 ○○○역 구간 정밀계측	○○건설	4단면	유지관리
대구지하철 1호선 ○○역 구간 정밀계측	○○건설	4단면	유지관리
영동선 철도이설공사 (○○터널)	○○건설	14단면	유지관리
경북 ○○ 철도 터널 정밀계측	○○건설	3단면	유지관리
○○철도 연계시설 확충공사	○○산업	1단면	유지관리
경주○○ 구조물성능감시계통	○○건설	20단면 이상	유지관리
신분당선 ○○공구 건설공사	○○건설	4단면	유지관리
김포도시철도 ○○공구 건설공사	○○건설	2단면	유지관리

〈표 2〉 FBG센서를 적용한 전단면 내공변위계

구분	사양	내공변위계
적용센서	부분탈피 고정형 FBG 광섬유센서	
측정범위	±3,000 με	
분해능	0.02% F.S	
정확도	±0.2% F.S	
동작온도	−20℃ ~ 80℃	

〈표 3〉 FBG센서를 적용한 간극수압계(터널주변 원지반 내 설치)

구분	사양	간극수압계
적용센서	부분탈피 고정형 FBG 광섬유센서	
측정범위	0~150 psi (≒ 0~1.03 MPa)	
분해능	0.02% F.S	
정확도	±0.2% F.S	
동작온도	−20℃ ~ 80℃	

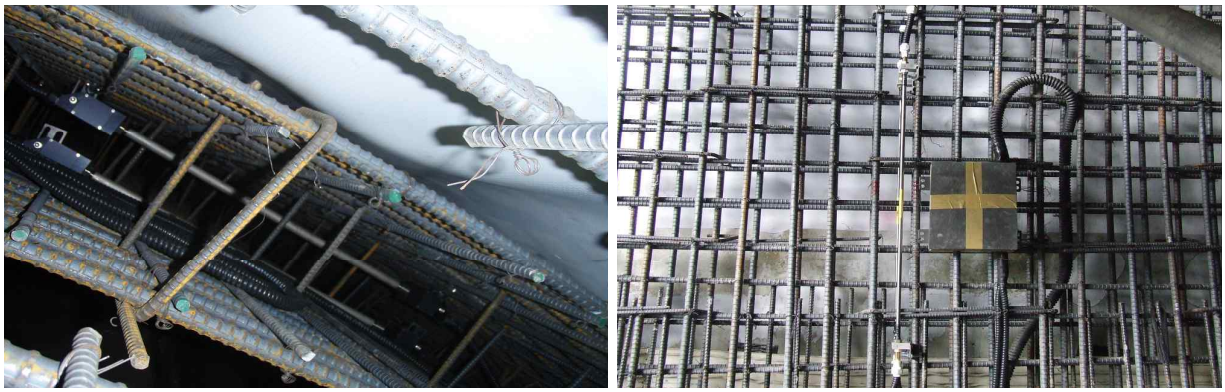


〈그림 6〉 내공변위 계측결과 사례(영동선 철도 이설공사)

(a) 경부고속철도 KTX ○○공구 노반 신설 기타 건설공사 (○○터널)

〈그림 7〉 내공변위계 설치 사진(계속)

(b) 대구지하철 1호선 ○○○역 구간 정밀계측



(c) 영동선 철도이설공사 (○○터널)

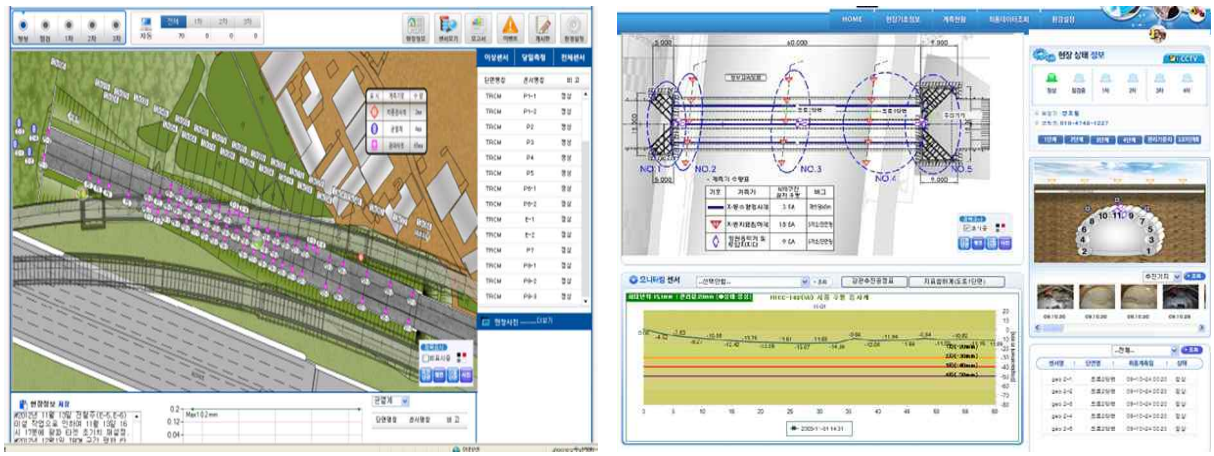
(d) 경북 ○○ 철도 터널 정밀계측

〈그림 7〉 내공변위계 설치 사진(계속)

(e) 신분당선 ○○공구 건설공사

(f) 김포도시철도 ○○공구 건설공사

〈그림 7〉 내공변위계 설치 사진



〈그림 8〉 계측관리 전산프로그램 예

4. 결 언

전국일일 생활권을 목표로 개발되어진 고속철도는 다중 이용 시설물로써 점점 더 그 중요성이 높아지는 추세이다.

다만, 점차 활용가치가 높아지는 고속철도 활용성에 비해 고속철도 시설물의 안전성을 확보하는 유지관리는 국내의 경우 특히 광섬유센서를 이용 시 극히 일부 제한된 곳에 한정되어 있어 전체 철도시설물에 대한 적용정도는 미비한 상태이다.

상기에 기술한 해외사례에서와 같이 광섬유센서를 이용한 철도 노선 전반에 걸친 철도터널 시설물의 온도, 변형, 풍속, 가속도, 진동 등을 관리하여 안전성과 이용객의 편의를 도모하듯이 향후 국내에서도 세계 최대, 최고의 가장 빠르고 기술력이 뛰어난 철도 시스템의 개발도 중요하지만 이에 못지않게 철도 시설물의 안전관리시스템을 과학적·체계적으로 표준 플랫폼을 개발하는 것이 급선무라 판단된다.

이렇게 개발된 표준플랫폼은 철도 인프라에 대한 전체적인 터널 유지관리 계측시스템에 반영하여 철도시설물에 내재되어 있는 위험요인을 사전에 조사·평가하고 전체적인 시설물의 안전성을 확보할 수 있으며 더 나아가 이용객의 안전과 편의를 증진시키는데 많은 도움이 될 것으로 확신한다.

감사의 글

이 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다[과제번호 R-20160216-002659, 3D 정보모델과 빅 데이터를 활용한 인프라 구조물의 설계/안전관리 솔루션 개발].