

# 광섬유 센서를 이용한 암반사면 계측시스템 구축 기술



백 용  
한국건설기술연구원지반연구실 책임연구원

## 서론

지반 분야의 중요성은 단순한 지반의 처리에 국한되지 않고 토목구조물 전체에 상당한 파급효과를 가져옴으로 인하여 더욱 대두되고 있다. 기존의 기술을 보면, 건설분야에서는 설계, 시공에만 중점을 두고 이루어지는 시대에 최근에는 구조물의 효율적인 유지관리에 대한 개념으로 바뀌고 있는 상황이다. 지구온난화와 더불어 이상기후와 집중호우의 빈번한 발생은 노출된 지반구조물 중 사면의 경우는 더욱 민감하게 반응하게 된다. 사면의 경우, 안전율을 확보한 안정화 대책이 우선이지만 시간의 흐름과 더불어 안전율은 낮아지게 되고 급기야 사면의 붕괴가 발생하게 되는 메카니즘을 가지고 있다. 따라서, 사면은 유지관리가 무엇보다도 중요한 지반구조물로 평가받게 되고 계측기술의 발달이 두드러지는 현상이다. 계측분야에서도 상시 모니터링 시스템 구축 관련 기술과 계측센서의 개발에 관한 연구가 주류를 이루고 있다. 본 고에서는 한

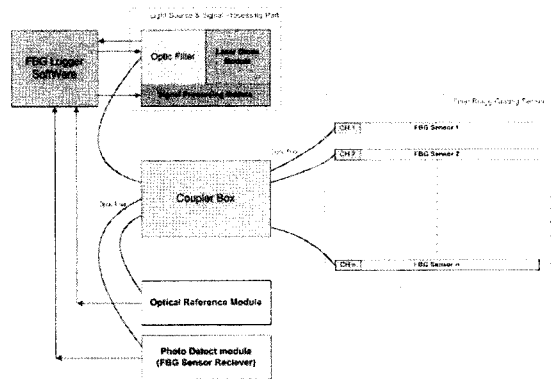
국건설기술연구원이 독자적으로 개발하여 시범설치한 광섬유센서 계측시스템에 대하여 소개하고자 한다. 광섬유를 이용한 사면 계측의 장점은 많으나, 장기적인 시스템 운용 측면에서 내구성이 우수한 점이 특징이라 할 수 있다. 본 연구는 암반사면의 균열부에 설치하여 미세한 거동을 측정할 수 있는 광섬유 정밀 계측 시스템을 개발하고, 실제 사면 현장에 시범 구축한 사례를 요약한 것이다. 테스트 베드로 설정한 암반사면 현장은 영동고속도로 원주지사 관내에 있는 암반사면을 선정하였다. 암반사면에 총 6개의 센서를 설치하고 변위의 추이를 관찰하고 있다. 본 연구에서 개발된 시스템은 계측데이터의 수집과 전송을 위하여 사면 하단부에 컨트롤박스를 설치하고 데이터로거, 운용시스템, 유선네트워크 시스템으로 구성되어 있다. 설정된 주기별로 취득되는 계측데이터는 우선적으로 현장에서 저장되고, 사무실에서도 원격으로 제어할 수 있는 시스템을 시범적으로 구축하여 운용 중에 있다. 향후 계측 시스템의 센서부, 데이터로거, 운용프로그램 등을

추가 연구를 통하여 개선하고 현장에 반영하는 과정을 반복함으로써 사면 시설물의 유지관리에 최적의 시스템을 개발 및 구축하는 것이 본 연구의 최종적인 목표이다.

### 1. 암반 균열감지 정밀 계측시스템

광섬유 브래그(Bragg)격자 배열형 센서(FBG)는, 한 가닥의 광섬유에 여러 개의 광섬유 브래그 격자를 일정한 길이에 따라 새긴 후, 온도나 강도 등의 외부의 조건 변화에 따라 각 격자에서 반사되는 빛의 파장이 달라지는 특성을 이용한 센서이다. 일반적으로 광섬유 코어에는 클래딩보다 굴절률을 높이기 위하여 보통 게르마늄(Ge) 물질이 첨가되는데, 이 물질이 실리카 유리에 안착하는 과정에서 구조 결함이 생길 수 있다. 이 경우 광섬유 코어에 강한 자외선을 조사하면, 게르마늄의 결합 구조가 변형되면서 광섬유의 굴절률이 변화하게 된다. 광섬유 브래그 격자는 이러한 현상을 이용하여 광섬유 코어의 굴절률을 주기적으로 변화시킨 것을 의미한다. 이 격자는 브래그 조건을 만족하는 파장만을 반사하고, 그 외의 파장은 그대로 투과시키는 특징을 가진다. 격자의 주변 온도가 바뀌거나 격자에 인장이 가해지면, 광섬유의 굴절률이나 길이가 변화되므로 반사되는 빛의 파장이 변화된다. 따라서 광섬유 브래그 격자에서 반사되는 빛의 파장을 측정함으로써 절토사면의 암반 균열부 변형률이나 변위 등을 감지할 수 있다.

광섬유 브래그(Bragg)격자 배열형 센서(FBG)의 장점은, 전자 유도의 영향이 없어 잡음이 없고, 신뢰성과 계측 정밀도의 향상이 가능하다. 한 개의 센서로 화재 감지(온도 센서), 침입자 감지, 구조물의 건전성 감시 등 여러 기능을 동시에 수행할 수 있고, 한 가닥의 광섬유 케이블에 최대 10개 정도의 센서를 종속 접속할 수 있으며, 광섬유 센서 방식은 전기식에 비해 측정 거리를 10배 이상으로 연장할 수 있다. 또한 녹슬거나 부식이 없고, 내구성이 높으며, 발화의 위험이 없어 석유 화학 등의 중요 플랜트에서도 안전하게 사용할 수 있고, 기본적으로 방폭 성능을 구비하고 있다는 점들을 들 수 있다.



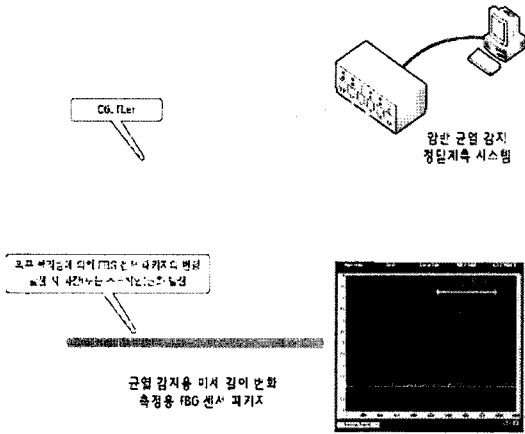
〈그림 1〉 암반 균열감지 정밀계측 센서 시제품 구성도

암반 균열감지 정밀계측 시스템의 구성은 Light Source로 SLD를 사용하고, Coupler Box, Optical Reference, FBG Receiver 그리고 계측 소프트웨어 등으로 구성된다. 이렇게 개발된 시스템은 4채널에 30개 이상의 센서를 측정할 수 있어 구조물의 상태를 진단하는 smart structure 시스템에 적용될 수 있으며, 특히 암반 사면의 많은 개소를 한꺼번에 측정할 수 있어 암반 절토사면의 안전 계측 시스템으로 아주 적합하다.

### 2. 암반 균열감지 정밀 계측시스템 개발 및 제작

설계된 회로도를 바탕으로 시작품 전용 PCB를 제작, 시스템 케이스 및 앞, 뒷 패널 디자인 설계를 확정하여 시작품을 제작하였다. 현재 구동 프로그램 동작 시 PC에서 사용되는 시스템 리소스를 줄이기 위한 프로그램의 내부 알고리즘을 수정하고 테스트를 수행하였다.

FBG 광섬유 센서는 고유의 파장값을 가지고 있으며, 균열 감지용 미세 길이 변화 측정용 FBG 센서 패키지가 정상적인 상태에서는 FBG 광섬유 센서의 고유 파장값은 변하지 않으며, 계측 시스템은 이 값을 측정한다. 균열 감지용 미세 길이 변화 측정용 FBG 센서 패키지가 외부 물리량의 변화에 의해서, 영향을 받으면, FBG 광섬유 센서의 고유 파장값이 변하게 되며, 계측 시스템은 변경된 FBG 센서의 파장값을 측정하게 된다.



〈그림 2〉 암반 균열감지 정밀계측 시스템의 개요도



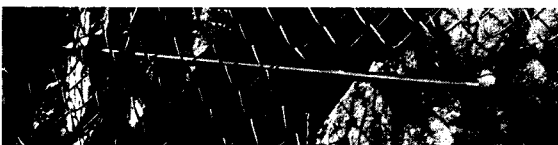
〈그림 3〉 암반 균열감지 정밀계측용 센서

### 3. 암반 균열 감지 정밀 계측시스템 시범구축 사례

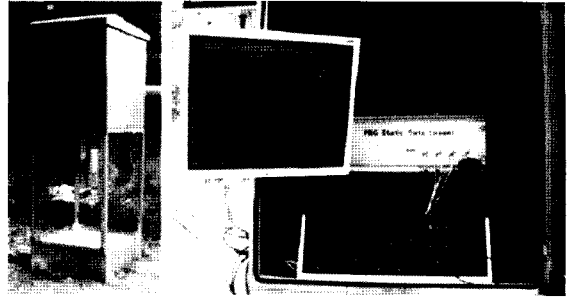
개발한 암반 균열감지 정밀 계측시스템의 현장 적용성 검토를 위하여 실제 사면현장에 시범구축을 하였다. 대상 사면은 영동고속도로내의 암반 절토사면을 선정하였다. 기초 사면 현황조사를 통하여 암반구간 중 변위 발생 가능성이 높다고 판단되는 균열부 6개소를 선정하였다. 30m 이상의 높이를 갖는 고각의 암반사면 중상단부에 센서를 설치하기 위하여 암벽등반 전문팀의 도움을 받아 설치하였다.



〈그림 4〉 고속도로 시범지구 계측기 설치 대상 사면 전경



〈그림 5〉 암반 균열감지 정밀계측 센서가 설치된 모습

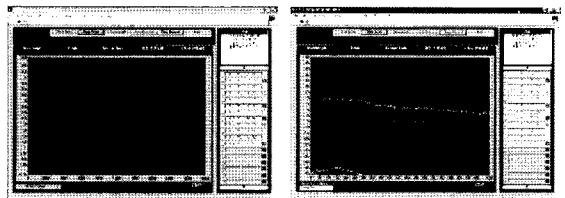


〈그림 6〉 현장에 설치된 데이터로거 등 운용시스템 모습

### 4. 계측시스템 운용 현황

2008년 9월 현장 시범구축이 완료된 후 현재까지 수개월에 걸쳐 6개의 계측 센서로부터 데이터를 수집하고 있다. 각각의 센서로부터 파장값, 변형률 및 온도 데이터가 설정된 주기별로 현장시스템에 저장된다. 현장의 시스템은 유선 네트워크로 연결되어 사무실에서 원격으로 제어 및 데이터 백업이 가능하도록 하였다. 암반 균열감지 정밀 계측 센서부에서 측정되어 데이터로거를 통하여 컴퓨터에 저장되는 데이터를 실제로 운용하는 사용자 프로그램을 개발하였다. 운용 프로그램의 간단한 개요를 살펴보면 다음과 같다.

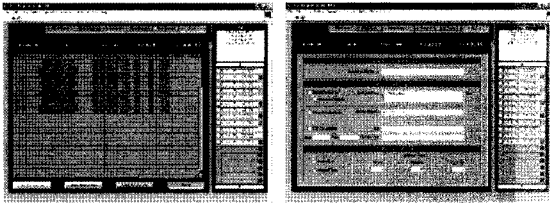
아래의 그림 7의 좌측 그림은 각 채널로부터 들어오는 센서의 파장 값을 그래프로 표시해 주는 화면이다. 그래프를 통하여 현재 센서의 파장 값을 쉽게 알아 볼 수 있으며, 그래프의 모양을 통해서 센서의 변위를 확인 할 수 있다. 그림 7의 우측 그림은 각 채널로부터 계측되고 있는 센서의 변형률의 추이를 그래프로 살펴볼 수 있는 화면이다.



〈그림 7〉 운용시스템에서 확인되는 계측데이터의 시간에 대한 파장 및 변형률 그래프

아래의 그림 8의 좌측 그림은 계측기의 채널에 부착된 센서로부터 들어오는 각종 데이터 값을 테이블로 표시해 주는 화면이고, 우측 그림은 센서로부터 계측된 데이터 값

을 저장하기 위한 각종 옵션을 설정하는 화면으로 데이터의 저장위치와 저장 주기 등을 설정 또는 변경할 수 있다. FBG 계측 시스템의 구동에 필요한 시스템 이니셜 파일과 DAQ 디바이스 설정 그리고 제품의 SN을 설정할 수 있는 초기값에 대한 환경을 설정하는 화면 등도 본 운용 프로그램에 구현되어 있다.



〈그림 8〉 운용시스템 데이터 테이블 및 환경설정 기능창

### 맺음말

본 고는 광섬유센서를 이용한 암반사면 균열부 정밀 계측시스템을 개발하고 현장에 적용한 사례를 소개한 것이

다. 본 센서시스템은 암반의 국부적인 변형과 균열의 장기 간 미세변위 모니터링이 가능하도록 제작하였다. 본 광섬유 계측 센서는 기존의 다른 센서에 비하여 전기장이나 습기에 영향이 없으며, 부식이 되지 않아 장기 안정성이 우수한 암반 균열감지 센서이다. 또한 본 센서는 별도의 전원 공급이 필요하지 않아 설치가 용이하며, 현장에 센서를 부착시키고 광케이블로 연결하여 모든 시스템을 설치할 수 있으며 자동화 유지관리 계측에 매우 유리하다. 또한 센서로부터 취득되는 데이터를 사용자가 쉽게 관찰할 수 있도록 운용 시스템용 프로그램을 개발하였다.

### 참고문헌

본 연구는 건설교통부 2006년도 건설핵심기술연구개발사업 연구과제인 "도로시설물 안전관리 네트워크 구축 기술 개발" 과 관련하여 수행되었으며, 이에 협조해주신 분들께 감사드립니다.