

# 남해대교에 광섬유 센서적용, 변화 측정



洪昌善

〈한국과학기술원 항공우주공학전공 교수〉

과학기술이 급속히 발전하면서 정보화 기술은 우리의 생활 패턴을 많이 바꾸어 놓고 있다. 이러한 기술의 발전은 인간생활 뿐 아니라 생명이 없는 기계구조물도 생명체처럼 느끼고 말할 수 있도록 하는 기술로 발전하고 있다. 이른바 스마트 테크놀로지라는 것이 앞으로 우리 생활에 밀접한 여러가지 구조물에 적용되는 날이 멀지 않았다. 사람은 다치거나 어디가 아프면 진찰을 받고 처방을 하여 생명을 연장하기도 한다.

일반 구조물은 사용 중에 손상을 입거나 균열이 가도 알 수가 없어 완전히 파괴되어 재난과 큰 인명 손실을 입게 된다. 우리나라에서도 교량 및 건물 붕괴와 같은 대형 토목 구조물에

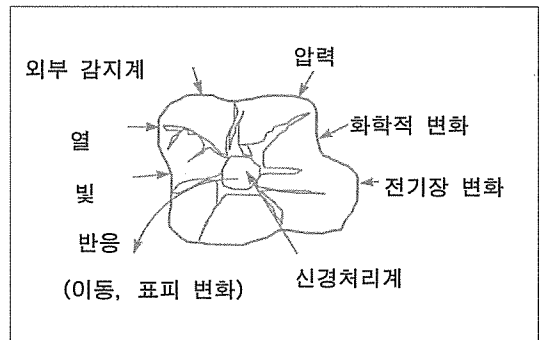
붕괴 사고가 발생함에 따라 구조물의 안전성 확보를 위한 실시간 모니터링의 필요성이 증대하고 있다. 이러한 구조물에 생명체처럼 감지하고 말할 수 있는 센서를 신경망처럼 삽입하거나 부착하여 과도한 하중을 받거나 균열이 발생하여 위험한 수준에 이르게 되면 사전에 경고할 수 있으면 미리 조치를 하여 사고를 예방할 수 있을 것이다. 구미에서는 20년 이상 된 교량의 보수 등과 관련하여 실시간 모니터링 기술에 대한 연구를 활발하게 수행하고 있다.

## 교량 균열상태 등 사전 탐지

구조물의 안전진단을 위하여 구조물과 센서를 일체형으로 제작하여 구조물의 각 부분의 이상상태를 검출할 수 있도록 하는 스마트 구조기술(smart structure technology)의 사용이 요구된다. 이러한 기술은 대형 구조물이나 항공기, 원자력 발전소와 같이 한번 사고로 큰 재난을 입게되는 구조물에 특히 매력적이다. 스마트 구

조물은 〈그림 1〉과 같이 단세포 동물이 외부의 환경 변화를 감지하고 신호처리를 하여 행동하는 것과 같이 구조물 외부에서 주어지는 변화인 습도, 온도, 압력, 힘 등의 영향을 감지함과 동시에 구조물 내부의 변화도 감지하여 구조 상태를 파악하는 기능을 갖는 구조물을 말한다.

특히 항공기를 비롯하여 대형 토목 구조물에 사용해 온 전통적인 비파괴 검사방법을 보완하기 위하여 광섬유 센서에 의하여 실시간으로 구조물의 건전성을 감시하도록 하는 연구가 국내외에서 활발히 진행 중이다. 광섬유 센서 기술은 여러가지 장점을 갖고 있어 스마트 구조기술에의 적용이 기대되고 있다. 광섬유는 전자기 간섭을



〈그림 1〉 스마트 구조물과 유사한 단세포 동물의 특성

**스마트 구조기술이란 교량이나 건물 등 구조물에  
생명체처럼 감지하고 말할 수 있는 센서를 삽입하거나  
부착하여 과도한 하중이나 균열 등 이상상태를 검출, 대형사고를 예방하는 기술이다.  
우리나라에서는 남해대교에 광섬유 센서를 적용하여 차량이동에 따른  
교량의 동적 변형률을 이미 측정하고 있으며 지반변형을 방지하기 위한  
강철파일에 광섬유 센서를 부착하여 지반변형을 모니터링하는 연구도 계속되고 있다.**

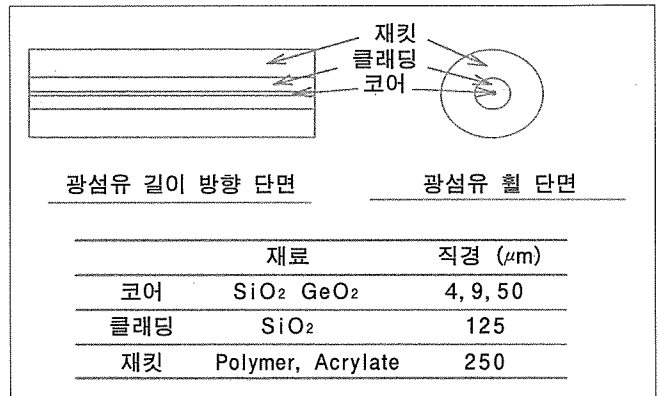
받지 않으며 온도, 압력, 전기장의 강도, 자기장의 강도, 응력, 변형률, 성형상태 등을 감지할 수 있게 제작할 수 있어서 스마트 구조기술 개발에 관련하여 많은 주목을 받고 있다. 또한 광섬유는 미세한 특성에 따라 복합재료 구조를 성형 시에 삽입하기 용이하다. 이 센서들은 단일점 감지 뿐만 아니라 여러 물리량을 동시에 측정할 수도 있다. 또한 여러 지점 및 측정하고자 하는 여러 정보를 한 가닥의 광섬유로 신호를 받을 수 있다. 우리는 광통신의 발달로 하나의 광섬유에 수많은 사람들의 통화내용이 빠르게 전달되는 것을 알고 있다. 우리나라는 광통신을 위하여 광섬유 생산을 하고 있으며 이러한 광섬유를 이용하여 센서를 만들면 부가가치는 엄청나게 높아진다. 이와 같이 비슷한 광기술을 확장하여 광센서를 구조물에 적용하면 구조물이 자체적으로 느끼고 위험상태를 사전에 경고신호로 보낼 수 있게 된다.

### 광섬유 국내서 생산

광섬유 센서는 광 응용방식에 따라 강도형, 간섭형, 파장형 등의 여러 가

지가 있으나 구조 안전 모니터링을 위하여 많이 개발되는 가장 주목받고 있는 세가지 형태의 센서는 광섬유 외부 패브리-패로 간섭 센서, 광섬유 브래그-그레이팅 센서 및 긴 게이지 길이 광섬유 센서이다. 패브리-패로와 브래그 그레이팅 센서는 단일점 센서로 제작할 수 있고 여러 광학적 다중화 기법의 적용이 가능하여 준·분포된 시스템 구성이 가능하다. 중간 정도 게이지 길이의 변형을 감지는 이 두 형태의 센서로 감지가 가능하다. 기본적으로 광섬유 센서는 스마트 구조 적용 영역에서 필요한 모든 파라미터를 감지할 수 있도록 제작이 가능하다.

스마트 광섬유 센서를 위한 광섬유의 구조는 일반적으로 <그림 2>와 같이 코어(core), 클래딩(cladding), 재킷(jacket) 부분으로 이루어져 있다.



<그림 2> 광섬유의 구조

코어와 클래딩의 주성분은 유리로 구성되어 있으며 재킷은 주구조인 코어와 클래딩을 보호하기 위하여 폴리머나 아크릴을 사용하여 클래딩 표면을 외부 손상으로부터 보호한다. 빛은 광섬유의 코어 부분으로 전파되게 되는데 광손실 없이 가장 효율적으로 전파되도록 하려면 코어 부분으로부터 클래딩 부분으로 전반사가 이루어지면서 전파되도록 하여야 광 손실이 가장 적게 된다. 빛은 굴절률이 높은데서 낮은데로 전파되어야 전반사가 발생하므로 단일모드 광섬유의 경우 광섬유 코어의 굴절률을 클래딩의 굴절률보다 약 0.1%에서 0.2% 정도 크게하고 다중모드 광섬유인 경우는 광섬유 코어

의 굴절률을 클래딩의 굴절률보다 1%에서 2% 정도 크게 하여 광섬유를 제작하게 된다.

광섬유 센서에 의한 구조 안전 모니터링을 위한 여러 사례가 있으나 대표적인 예로 대형 건설 구조물과 항공기 복합재 구조물에 응용사례가 있다. 스마트 대형 구조물의 모니터링을 위한 광섬유 센서의 응용은 두 가지 장점을 이용하는 경우가 많다. 첫째로는 매우 넓은 영역에서 집적된 감지 가능성을 갖고 있는 것이 매우 큰 장점이다. 둘째로는 광섬유라는 전파 매체가 극히 작은 손실 특성을 갖고 있어서 별다른 증폭장치 없이 신호처리 전기장치를 먼 거리에 둘 수 있게 하는 것이다.

한국에서 대형 건설 구조물에 적용된 예는 남해대교에 광섬유 센서를 적용하여 차량 이동에 따른 교량의 동적 변형률을 측정할 예가 있으며 지반 변형을 방지하기 위한 강철 파일에 광섬유 센서를 부착하여 지반 변형을 모니

터링 하는 연구가 수행되고 있다.

광섬유 센서는 작기 때문에 항공기용 복합재 구조물의 구조 특성 변화 없이 구조물에 삽입할 수 있어서 구조물의 집적된 안전 감시를 할 수 있다. 집적된 광섬유 센서는 복합재 제작 중에 내부에 삽입되고 외부의 적용은 복합재 구조물 제작 후 외부에 부착하게 된다. 항공기 사용 중에 발생하는 외부로부터의 충격이나 과대 하중에 의한 구조 상태를 조종사에게 안내하여 실시간으로 대처할 수 있도록 한다.

〈그림 3〉은 항공기 구조에 광섬유 브래그 격자 센서를 이용하여 항공기 운항 중 실시간으로 구조물의 상태를 모니터링하는 개념도를 보여준다.

### 광섬유 센서 시장 계속 확대

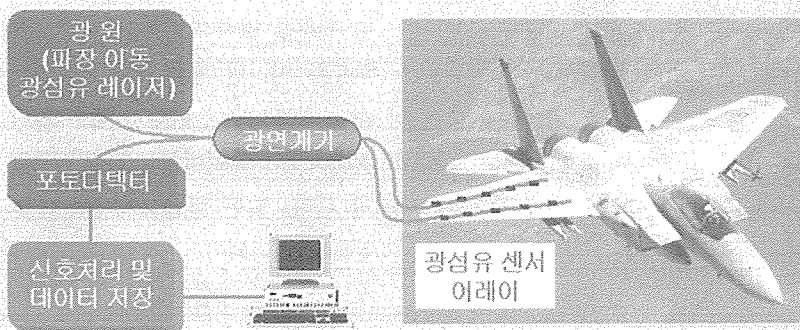
광섬유는 광통신 선로로 그 사용이 날이 증대되고 있으며 그에 따라 부품 가격도 저렴해지고 있는 추세이다. 따라서 광섬유 센서는 대형 구조물인

항공기를 비롯하여 교량, 터널, 빌딩 뿐만 아니라 각 가정의 자동화(home automation)를 위한 센서로 사용될 가능성이 커서 광섬유 센서 시장도 대단히 커질 것으로 전망된다. 광섬유 센서 원리에 대한 많은 기본적인 연구를 전자 또는 물리학과에서 진행시켰으나 이러한 센서 원리를 구조 안전 진단 뿐만 아니라 대형기계 분야에 응용할 수 있도록 적합하게 보완하는 기계, 토목, 항공우주 분야 등과의 학제적 연구가 향후 필요하다.

광섬유 센서에 의한 구조 모니터링 연구는 그동안 구조물 안에 여러 형태의 광섬유 센서를 삽입하는 연구가 수행되어 왔다. 이러한 연구는 실험실에서 감지 가능성을 보이기 위한 기초연구로서 수행되어 왔으며 실제 적용을 위한 많은 연구가 필요하다. 아직 실용화가 부진한 것은 센서 시스템을 구조물의 일부분에 사용하기 위한 실제적인 적용 방법을 개발하기 위하여 광섬유 센서 전문가와 사용자측인 기계 분야나 건설분야 엔지니어와의 교류가 부족하고 실용화를 위한 주의를 기울이지 않았기 때문이다.

따라서 향후 광섬유 센서에 의한 구조 안전 진단 기술을 실용화하기 위해서는 광섬유센서 개발자와 구조 엔지니어와의 기술교류가 좀 더 활발해야 한다. 광섬유 센서 기본 기술의 개발 뿐만 아니라 매설용 탐촉자의 개발, 부착용 탐촉자의 개발, 탐촉자로부터 광센서 시스템 본체까지의 광섬유 케이블 연결, 센서 어레이 구성, 구조물 보수 후의 센서 사용 가능성 등의 문제를 해결하도록 연구를 지속해야 할 것이다. ㉞

### 광섬유 브래그 격자 센서를 이용한 구조물의 안전성 모니터링 시스템



〈그림 3〉 광섬유 센서의 항공기 구조 안전 모니터링 응용 예