

# 특집

유지 관리 모니터링 최신 기술

## 광섬유 센서를 이용한 유지 관리 모니터링 기술 - Structural Health Monitoring System with Optical Fiber Sensors -



김기수\*



이호준\*\*



김종우\*\*\*

### 1. 서론

토목 및 건축 구조물에 대한 합리적이고 정확한 설계, 시공은 물론 구조물 시공 후의 안전 점검, 보수·보강 등의 적절한 유지 관리 업무는 구조물의 사용성을 항상 최적의 상태로 유지하고 구조물의 공용 수명을 연장시키는 데 있어 매우 중요하다.

일반적으로 사용 단계의 구조물은 시간이 경과함에 따라 초기의 설계, 시공상 오류에 의한 초기 결함, 반복 하중, 그리고 취약한 환경 등 외부 조건에 노출될 경우에는 구조물 본연의 성능을 점차 상실하게 되어 심지어는 인명과 재산을 위협하는 대형 붕괴 사고를 일으키기도 한다. 따라서 구조물의 사용성을 적정 수준 이상으로 유지하기 위해서는 정기적인 점검을 통해 잔존 수명을 미리 예측하여야 함은 물론, 최적의 보수 시기와 보수 방법을 알려줄 수 있는 시설물 유지 관리

계측 시스템이 요구되고 있다. 그러나, 현재 국내의 교량 구조물의 경우, 구조물의 유지 관리를 위하여 정기적으로 혹은 관리자의 판단에 의해 안전 진단등의 점검을 수행한 후에야 진단 결과에 의해 보수 및 보강 대책을 수립, 시행하고 있는 실정이다. 그런데 이러한 현행의 안전 진단 체계는 일회성에 그치므로 구조물을 상시 점검할 수 없고, 장기적으로 볼 때 매우 많은 인력과 비용이 소모되어 비경제적이라고 지적되고 있다. 현재의 안전 진단 체계에서 안고 있는 문제점을 극복하기 위해서는 교량 구조물을 상시 관리할 수 있는 장기 계측 유지 관리 시스템이 절실하다.

이러한 장기 계측 유지 관리 시스템에 대한 관심과 실제 연구 및 적용 사례가 최근에 활발해지고 있으나 아직 실제 구조물에 광범위하게 적용되지는 않고 있는데 그 장애 중의 하나가 계측 시스템 자체가 갖는 계측 결과의 신뢰도 문제와 비용 때문이라고 볼 수 있다.

일반적으로 유지 관리 계측 시스템은 하중부, 센서부 및 제어부로 이루어지게 되는데, 현재 센서부에 사용되는 센서로는 반도체 센서, 금속 박막 센서, 압전 센서, 광학 센서 등이 있다. 최근에는 작고 가벼울 뿐

\* 정회원, 호서대학교 벤처전문대학원 교수

\*\* 호서대학교 정보통신공학부 교수

\*\*\* 정회원, (주)ICES 개발팀장

만 아니라, 전자파에 의한 장애가 없고, 신호의 원거리 전송이 가능한 첨단 광섬유 센서를 사용한 시스템이 주목을 받기에 이르렀다. 이 분야는 Intelligent Materials와 Smart Structure System의 핵심 센서로서 이미 기술 선진국(유럽, 미국)에서는 1980년대 초반부터 토목, 건축 구조물로의 응용 계측 기술이 꾸준히 개발되어 왔으며, 실제 구조물에도 활발하게 적용되어 연구가 이루어지고 있는 실정이다.

그러나, 선진국의 많은 학자들은 대부분 복합 재료와 소형 구조물에 대해 연구가 편중되어 있고 시멘트 콘크리트 구조물등의 대형 구조물은 아주 초기 단계에 머물러 있는 실정이다. 대형 구조물에 대해서는 국내에서도 각종 비파괴 계측 장비와 이를 바탕으로 구조물의 안전도를 분석하는 이론과 시뮬레이션이 성행하고 있으나, 광섬유 센서를 이용한 시설물 유지 관리 시스템은 선진국의 일부에서 잠수함이나 항공기에 일부 시도되고 있는 실정이며, 국내에서는 최근 들어 광섬유 계측 기술에 대한 인식을 넓혀가고는 있지만 아직도 유지 관리 시스템을 전자식 또는 기계식 계측 시스템에 의존하고 있는 실정이다.

전자 통신 분야에서도 광섬유를 이용한 통신 케이블로 점차 전환되고 있듯이, 구조물 유지 관리 분야에서도 중국에는 재래적인 전자식 또는 기계식 유지 관리 계측 시스템으로부터 광섬유 센서를 이용한 유지 관리 계측 시스템으로 바뀌게 될 것이라고 예측되고 있다. 그러나, 이 광섬유 계측 기술 분야가 선진국에서조차도 워낙 최근에 생겨난 분야이기 때문에 전세계적으로 볼 때 태동기라고 할 수 있다. 따라서 이 분야의 연구 개발에 집중적으로 투자할 경우 그 기대 효과는 실로 막대할 것으로 예상된다. 국내 건설 시장 개방에 따른 국제화 추세에 부응하여 경쟁력 있는 첨단 광섬유 센서를 이용한 구조물 안전 진단 및 유지 관리를 위한 스마트 시스템을 개발하고 이 분야에 과감하게 투자를 하고 선진국에도 뒤지지 않는 기술을 확보

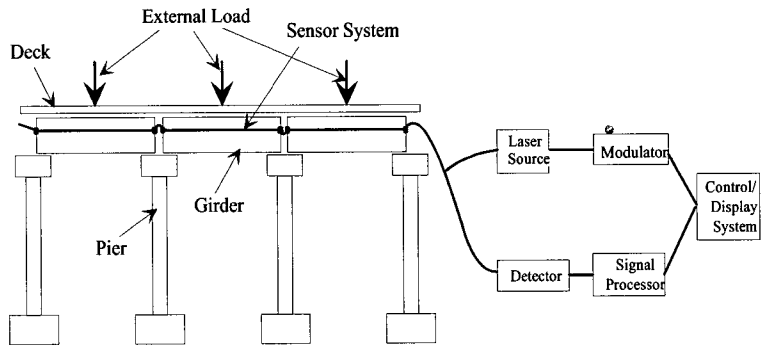


그림 1. 광 섬유를 이용한 교량 유지 관리 시스템

표 1. 기존 센서와 광섬유 센서의 비교

기존 센서	광섬유 센서
전자파에 의한 노이즈 발생(스트레인 게이지의 오차 요인)	전자파 장애 없음.
센서 매설시 결합 → 콘크리트 균열 발생	100 $\mu$ m 정도의 광섬유 사용으로 결합 요인 없음.
내구성 결여 및 리드선 납땜 처리 문제	내구성 견고
여러 개의 센서 매설 필요	한 개의 라인으로 여러 개의 센서 역할
리드선에서의 전자파 장애로 원거리 신호 전달 곤란으로 많은 수의 서브 시스템 필요	원거리 신호 전달 용이하며 서브 시스템 갯수를 줄일 수 있음.
리드선의 굵기 및 무게 때문에 매설 센서 갯수의 제한	센서의 갯수가 많아져도 부피가 별로 커지지 않음.

하여 이 시스템을 채용한 시설물들이 국제 건설 시장에서 경쟁력 있는 상품이 될 수 있도록 연구 개발에 주력하여야 할 것이다.

<그림 1>은 일반적인 광섬유 센서를 이용한 전형적인 교량의 유지 관리 계측 시스템을 보여주고 있다. 국내에서는 구조물 유지 관리 시스템이 전무한 상태이고 선진국에서는 일부 기존의 센서를 이용한 유지 관리 시스템이 있다. 그러나, 광섬유 센서는 기존의 전자식 또는 기계식 센서에 비해 다음과 같은 장점이 있어 최첨단의 유지 관리 시스템의 구성이 가능하다. <표 1>은 광섬유 센서가 갖는 일반적인 장점을 요약하고 있다.

## 2. 국내외의 기술 동향

1978년 C. D. Butter와 G. B. Hocker가 간섭형 광섬유 센서의 스트레인 측정에 관한 체계적인 이론을 제시한 이후 많은 사람들이 간섭형 광섬유 센서에 관심을 가져왔다. 1980년대 후반에 이르러 제조 공정이 간단하고 공정 온도가 200~400  $^{\circ}$ C 정도로

비교적 낮으며 광섬유와 비슷한 크기의 섬유가 상당히 많이 들어가 있는 복합 재료에 이 광섬유 센서를 매설하는 연구가 많이 진행되기 시작하였다. 이들 중 대표적인 연구팀은 캐나다 토론토 대학의 R. Measure 그룹으로 그들에 의해 광섬유 센서의 스트레인 측정이 최초로 시도되었고 Virginia Polytech 대학의 Fiber Optic 그룹에 의해 OTDR 센서로 스트레인을 측정하는 연구가 진행되었다.

1990년대 초반에 들어서는 좀더 정확하고 안정성 있는 센서로 Texas A&M 대학에서 개발되어 온도 센서로 적용 중인 내부 Fabry-Perot 간섭형 센서를 복합 재료 구조물에의 적용이 Stanford 대학의 복합 재료연구실에서 시도되었으며 구조물 계측용 Bragg Grating 센서의 개발이 United Technology의 광섬유 센서 연구팀에 의해서 이루어졌으며 아직도 이 센서의 구조물에의 적용에 대한 연구가 진행되고 있다.

Stanford 대학에서 개발한 Fabry-Perot 광섬유 센서의 매설에 관한 기본 이론을 바탕으로 미국의 항공사인 MacDonnel Douglas사에서 복합 재료 잠수함의 유지 관리 시스템을 구성 중에 있으며 United Technology에서 개발한 Bragg Grating 센서는 3M 사로 기술이 이전되어 단순한 센서만이 아닌 광 필터 등의 부품등으로 사용 가능하도록 용도를 다양화하여 상품화가 이루어져 현재 대량 생산하여 판매 중에 있다.

최근, 캐나다의 한 건설업체가 토론토 대학 R. Measure 그룹의 도움을 받아 composite에 광섬유 센서를 매설하여 텐던을 제작하고 이 텐던을 사용한 PSC 거더를 제작 교량을 가설한 사례가 있다. 광섬유 센서가 비록 graphite epoxy composite 내에 매설되긴 했지만 결과적으로 교량 구조물 내에 매설된 상태로 광섬유 센서가 교량 구조물의 유지 관리 시스템을 위해 응용된 최초의 시범적 사례로서 의미가 있다.

미국 Rutgers 대학의 토목구조연구실에서도 최근 United Technology의 광섬유 센서 개발 멤버였던 Rutgers 대학 재료공학과 Snitzer 교수의 도움을 받아 bar형의 콘크리트 구조물 외부에 광섬유 센서를 부착하여 3 point bending에 의한 sensor response를 검토한 바 있다.

1990년대 후반에 들어서는 수 작업에 의해 제작되어져야만 하는 간섭형 광섬유 센서보다는 대량 생산이

가능한 Bragg Grating 센서가 주도적으로 사용되고 있으며 white ray interferometer 방식에 의한 static measurement가 스위스의 한 업체의 주도하에 이루어지고 있다.

국내에서는 아직 광섬유 센서를 실제 구조물의 유지 관리를 위한 시스템으로 적용한 사례는 없으나 이에 대한 기초 연구는 활발히 이루어지고 있다. 쌍용중앙연구소에서는 광섬유 센서의 자체 기술 개발을 위해 연구를 해 왔고 스트레인에 노출된 광섬유 센서의 거동에 대해 계속 연구를 진행하였다. 최근에는 콘크리트 구조물에 직접 매설을 시도하여 20 cm × 20 cm × 150 cm의 시판에 동박(銅薄) 스트레인 게이지와 함께 매설하여 실험을 한 바 있고, 4 point bending 재하 시험에 의한 구조 시험체의 스트레인 게이지 데이터와 광섬유 센서 데이터를 비교 분석하였는데 아주 좋은 직선성을 보이고 있고  $2\pi$ 의 위상 차에 따라 나타난 스트레인 변화도 계산치와 아주 흡사하였으며, 성산대교 정밀 안전 진단시 광섬유 센서를 부착하여 40톤 트럭을 속도를 달리하여 재하 시험을 한 바 있다.

과학기술원 항공공학과 복합재료연구실에서도 복합 재료에 외부 Fabry-Perot 간섭형 센서를 적용하여 테스트하였고, Bragg Grating 광섬유 센서를 복합 재료 구조물 내에 내장시켜 유지 관리 시스템을 구성하는 연구를 수행한 실적이 있다. 표준과학연구원에서도 광섬유 센서를 적용한 유지 관리 시스템에 대하여 활발한 연구를 하고 있으며 토목 구조물에 광섬유 센서를 적용하는 연구를 고려대학교 토목과, 서울대학교 토목과, 현대건설 등에서 최근에 시작하여 다양한 결과를 얻고 있다.

### 3. 광섬유 센서의 기본 원리

#### 3.1 Fiber Bragg Grating의 원리

Fiber Bragg Grating(이하, FBG)은 Ge가 첨가된 광섬유 코어에 자외선 영역의 레이저를 주기적으로 조사함으로써 굴절을 변화시킬 유도하여 grating의 주기에 의해 결정되는 특정 파장의 빛을 반사시키는 광섬유 격자 소자이다. <그림 2>는 FBG의 구조를 나타낸다. <그림 2>와 같이 광대역의 스펙트럼을 광섬유에 입사시킬 경우, 다음에 주어진 식(1)과 같은 Bragg 조건식에 만족하는 파장 성분이 광섬유 grating에서 반

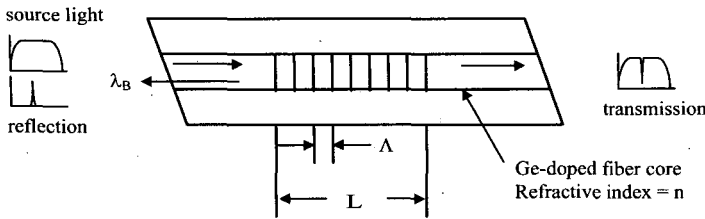


그림 2 Fiber Bragg Grating 구조

사되며, 나머지 파장 성분은 그대로 통과하여 광 스펙트럼 분석기에 나타났습니다.

$$\lambda_B = 2n\Lambda \quad (1)$$

위의 식에서 n은 광섬유 코어의 유효 굴절률 (effective refractive index)이며,  $\Lambda$ 는 grating과 grating 사이의 간격 (grating period)이다.

grating에서 반사되는 Bragg 파장은 식(1)과 같이 유효 굴절률과 grating 간격의 함수이며, FBG에 온도나 압력 등의 외부 물리량을 인가할 경우 Bragg 파장이 달라진다. 그러므로 Bragg 파장의 변화를 측정한다면 FBG에 인가된 물리량을 구할 수 있다. 먼저 온도 변화 ( $\Delta T$ )에 대한 Bragg 중심 파장  $\lambda_B$ 의 변화량  $\Delta \lambda_B$ 는

$$\Delta \lambda_B = \lambda_B (\alpha + \xi) \Delta T \quad (2)$$

이며, 여기서  $\alpha$ 는 광섬유의 온도에 따른 팽창 계수 (thermal expansion coefficient)로 실리카 (silica) 유리의 경우 약  $0.55 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 이며,  $\xi$ 는 온도에 의한 광섬유의 굴절률 변화를 나타내는 열광학 계수 (thermal-optic coefficient)로서 약  $8.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 이다. 위와 같이 온도에 의한 Bragg 파장의 변화는 굴절률 변화에 기인함을 알 수 있다. 또한 스트레인 변화에 대한 Bragg 중심 파장의 변화는 아래의 식 (3)과 같으며,

$$\Delta \lambda_B = \lambda_B (1 - P_e) \epsilon \quad (3)$$

여기서  $P_e$ 는 광탄성 상수 (photo-elastic constant)로 게르마늄 실리카 유리 (germano-silicate glass)의 경우 대략 0.22의 값을 가지며,  $\epsilon$ 은 광섬유 grating에 가해진 스트레인이다. 그러므로 위의 식 (2)와 (3)에 의하여 FBG의 중심 파장 변화는 온도와 압력에 의해서 변화함을 알

수 있다.

### 3.2 Fabry-Perot 간섭형 광섬유 센서의 원리

〈그림 3〉에 Fabry-Perot 광섬유 간섭형 센서의 구조를 나타냈다. 〈그림 3〉과 같이 광섬유 내에 두 개의 평면 반사경을 일정한 간격으로 평행하게 맞추어 놓으면, 특정 주파수의 전자파가 공진하게 되는데 이것을 Fabry-Perot 에타론 또는 Fabry-Perot 공진기라 한다.

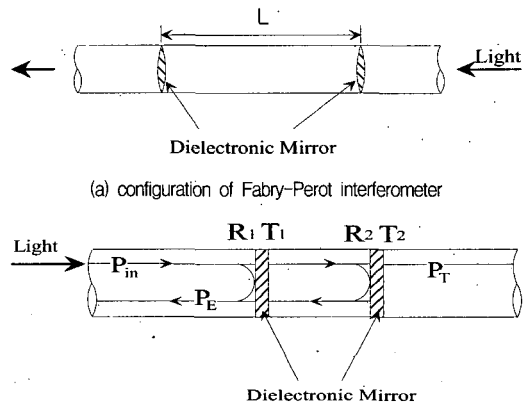


그림 3. Fabry-Perot 광섬유 센서의 구조

〈그림 3〉과 같이 반사면의 반사율이 각각 R1, R2인 간섭계에서, 반사율이 1보다 훨씬 작고 두 반사면의 거리가 수 cm 이내로 작은 경우, 반사율은 다음과 같이 간략하게 나타낼 수 있다.

$$R = R1 + R2 + 2\sqrt{R1 \cdot R2} \cdot \cos \phi$$

여기서, 간섭계의 광위상 차  $\phi$  는

$$\phi = \frac{4\pi CDOTn \cdot L}{\lambda} = \frac{4\pi \cdot n \cdot L \cdot v}{c}$$

- 여기서,  $n$  : 간섭계의 유효 굴절률
- $L$  : 두 반사면 사이의 거리
- $v$  : 팽주파수
- $c$  : 자유 공간에서의 빛의 속도  
(약  $3 \times 10^8$  m/sec)

이러한 광섬유 Fabry-Perot 간섭계를 센서로 응용할 경우 광위상 차  $\phi$  의 인자  $n, L, v$  의 변화를 이용하여 온도, 압력 및 응력 등의 물리적 변화량을 감지할 수 있다.

#### 4. 신호 처리 시스템의 구성

##### 4.1 Bragg-Grating 센서

Fiber Bragg Grating Sensor System의 구성도는 다음 <그림 4>와 같다. 시스템 구성은 먼저 광원인

ELED(Edge-Emitting LED)를 구동하기 위한 LED 구동부, 외부의 온도나 스트레인 등의 물리적 변화를 감지하는 광섬유 센서부, 센서에서 반사되어 돌아온 신호를 Fabry-Perot 필터를 이용하여 검출하는 신호 검출부, 그리고 검출된 신호를 CPU를 이용하여 처리하는 신호 처리부로 구성된다.

##### (가) 송신부

본 시스템의 송신부는 다음과 같이 구성된다. FBG 센서의 압력을 측정하기 위한 송신부의 Broadband LED는 1,300 nm의 파장을 갖는 pigtail된 반도체를 사용하며 드라이버 의해 구동된다. LED로부터의 광은 WDM coupler를 거쳐 다중 모드 광섬유를 통과한 후, 하나의 FBG 센서에 물리량을 가지지 않을 경우 수신부에 1,310 nm가 검파된다. 물리량, 즉 압력을 가할 경우는 FBG 센서의 중심 주파수는 천이를 일으키고, 수신부에서 Fabry-Perot Filter 간섭 기술과 신호 처리 시스템으로 파장 변이에 관한 데이터를 얻을 수 있다.

##### (나) Interferometer Technology

WDM 결합기를 통과한 시분할된 한 개의 데이터와 원 신호, 즉 파장 천이된 주파수와 원 신호는 대역 통과 필터에서 한 개의 원하는 파장을 선택하게 된다. 검출된 파장 천이된 주파수를 고분해능으로 분석하고, 소형이며 광섬유와 연결하여 사용할 수 있고 높은 finesse를 얻을 수 있으며 기계적으로 안정성이 있는 Fabry-Perot Filter를 사용한다.

##### (다) 신호처리부

광 검출기에서는 검출된 광 신호를 전기적인 신호로 변환하여 FBG 센서에 가한 압력, 즉 데이터를 분석한다. 파장 변화 추적기에서는 레이저 다이오드

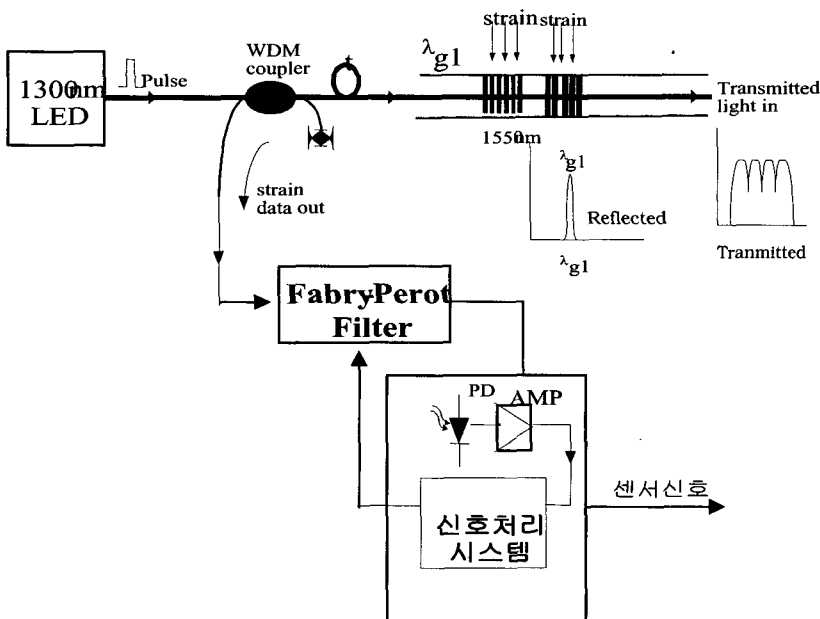


그림 4. Fiber Bragg Grating Sensor System 전체 블록도

의 파장 변화를 감지하는 기능을 한다. 파장 천이 선택기에서 중요한 점은 레이저 파장의 증가 또는 감소의 방향, 즉 압력의 감소, 증가를 알아내고, 신호 처리부에서는 파장 천이된 압력의 변화량을 고속의 분해능을 갖고 빠른 시간 내에 처리하기 위해서 최근에는 32 비트 프로세서를 사용함으로써 신호의 분해능을 향상시키고 신호 처리의 속도를 향상한다.

### 4.2 Fabry-Perot 간섭형 광섬유 센서

TDM 방식은 기본적으로 짧은 광 펄스를 사용하는 것으로서 광 펄스를 입력 광섬유에 입사시키면 감지부에 있는 각 센서에서 반사된 신호가 신호 처리 장치까지 도달하는 데 걸리는 시간이 서로 다른 점을 이용하여 특정 센서의 신호를 분리해 내는 방식으로 가장 많이 이용된다.

필자의 연구를 통해 얻어진 Fabry-Perot 광섬유 센서 시스템은 <그림 5>와 같이 광원과 광섬유로 구성된 광섬유 센서부와 신호 처리부 및 데이터 디스플레이

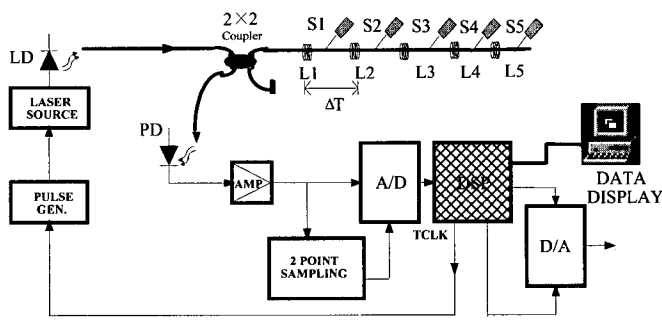


그림 5. Fabry-Perot 다중 광섬유 센서 시스템의 블록도

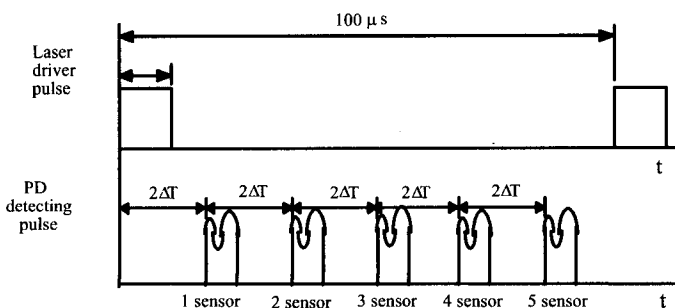


그림 6. 레이저 구동 펄스와 검출파형

이부로 구분된다.

Fabry-Perot 광섬유 센서는 간단하고 시스템화하기에 용이한 TDM 방식으로 다중 접속하여 여러 부분의 압력을 시분할하여 측정한다. S1, S2, S3, S4, S5의 다섯 개의 Fabry-Perot 광섬유 센서에 광 펄스를 입사시키고 각 광섬유 센서로부터 시간에 따라 되돌아오는 신호들은 광 검출기에서 전기 신호로 변환 후 각 센서의 변위를 DSP 칩을 이용하여 검출한다. 신속한 정보 획득을 위해 각각의 데이터를 DSP 보드와 IBM-PC을 연계, PC상에 육안 검증을 위한 데이터를 디스플레이한다.

#### (가) Laser 구동 회로

광 센서들의 압력을 시분할로 측정하기 위하여 레이저가 펄스로 구동하여야 한다. <그림 6>에서 1.55 m의 파장을 갖는 pigtail된 반도체를 사용하며, LD drive에 의해 펄스로 변조된다. 펄스 폭, 즉 이 펄스 기간 동안 frequency chirping이 발생된다. LD로부터의 광 펄스는 22 결합기를 거쳐 단일 모드 광섬유에 다중 연결된 Fabry-Perot 센서에서 물리적인 변화량을 따라 반사되며, 이 반사광의 세기는 센서의 외부 요인(압력)에 의존한다. 센서 S1, S2, S3, S4, S5를 통해 반사되는 펄스간의 중첩을 피하기 위하여 반사된 펄스의 간격 2T가 펄스 폭 보다 더 크도록 센서 사이에 지연 coil을 사용한다. 2T가 2s가 되기 위한 센서 사이의 광섬유의 길이는 100 m이다. 광 펄스는 DSP(Digital Signal Processor)의 timer에서 발생되어 LD 구동 회로로 입력되며 펄스 폭과 펄스 간격의 조절이 가능하다.

#### (나) 광 수신기

광 검출기는 S1, S2, S3, S4, S5의 센서들에서 반사된 광 신호를 연속적인 전기 신호로 변화하여, 각 센서의 신호를 분리한다. 이 과정은 LD의 펄스 변조 기간 동안 frequency chirping의 변화와 압력 변동에 의해 <그림 7>과 같이 나타난다.

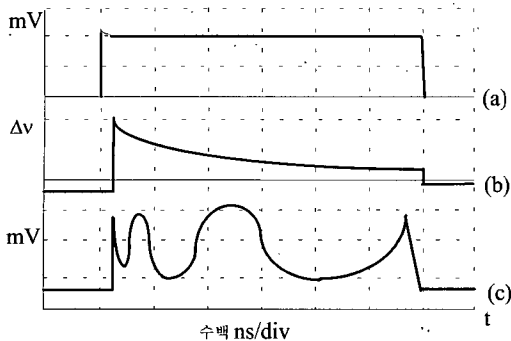


그림 7. LD의 펄스변 조파형, 광주파수 변조파형, 센서의 출력파형 X

(다) 신호처리부

광 검출기에서 변환된 전기 신호는 수 mV이므로 전기적인 신호 처리가 가능하도록 Low Noise Amplifier를 통하여 충분히 증폭한다. 증폭된 신호에서 변동된 물리량을 측정하기 위해, LD 구동 펄스 폭 동안의 레이저 주파수 변조에 의한 출력을 측정하여 기준으로 정하고, 다중 광섬유 센서 시스템의 신호 처리를 위하여 3 point 샘플링에 의한 새로운 신호 처리 방법을 사용하여 샘플 데이터의 상대적인 크기를 비교하여 압력의 크기를 계산한다.

(라) 데이터 디스플레이부

압력의 증감 방향을 육안으로 결정하기 위해서 신호 처리한 데이터를 PC를 이용 디스플레이한다. DSP board의 데이터 포트와 IBM-PC 통신 포트를 연계하

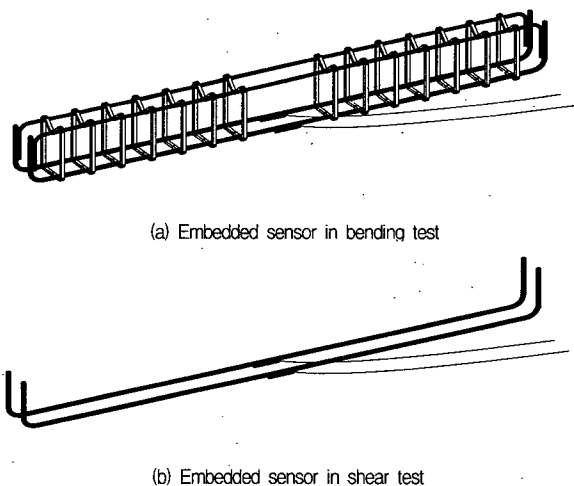


그림 8. 광섬유 센서를 내장시키기 위하여 철근에 부착시킨 모습

여 Fabry-Perot 광섬유 다중 센서(Multi-sensor)의 물리적인 변화량의 데이터를 신속하게 PC상에 디스플레이한다.

5. 간섭형 Fabry-Perot 센서의 보 구조물에서의 적용

간섭형 Fabry-Perot 광섬유 센서와 스트레인 게이지를 <그림 8>과 같은 20 cm × 20 cm × 150 cm 크기의 R.C.보에 매설, 제작하여 4 point bending 시험에 의해 광섬유 센서의 거동을 살펴보았다.

힘 시편의 경우 2회에 걸쳐 시험하였는데 그 결과는 <그림 9>와 같이 스트레인 게이지에서의 값과 좋은 선형성을 보여 주었다.

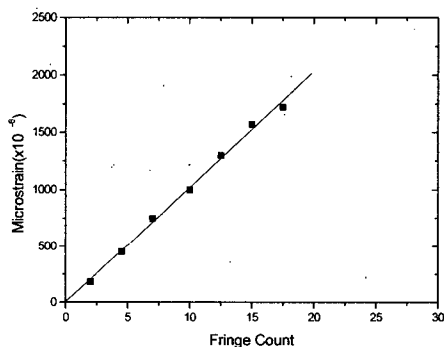


그림 9. 내장시킨 광섬유 센서와 스트레인 게이지 데이터의 상호 비교

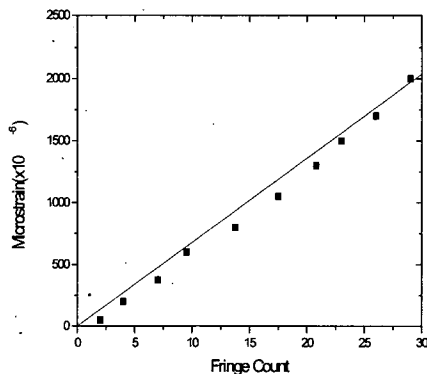


그림 9. 내장시킨 광섬유 센서와 스트레인 게이지 데이터의 상호 비교(계속)

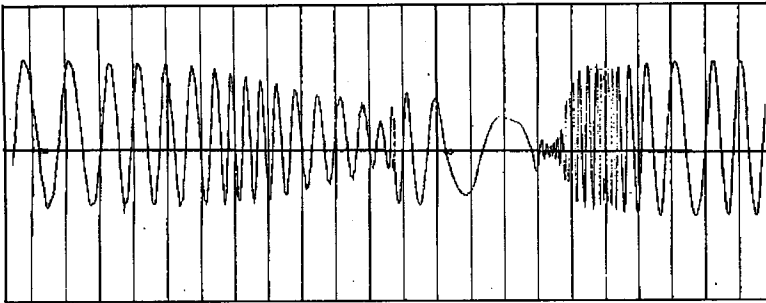


그림 10. 전단 시편에 내장시킨 광섬유 센서의 데이터

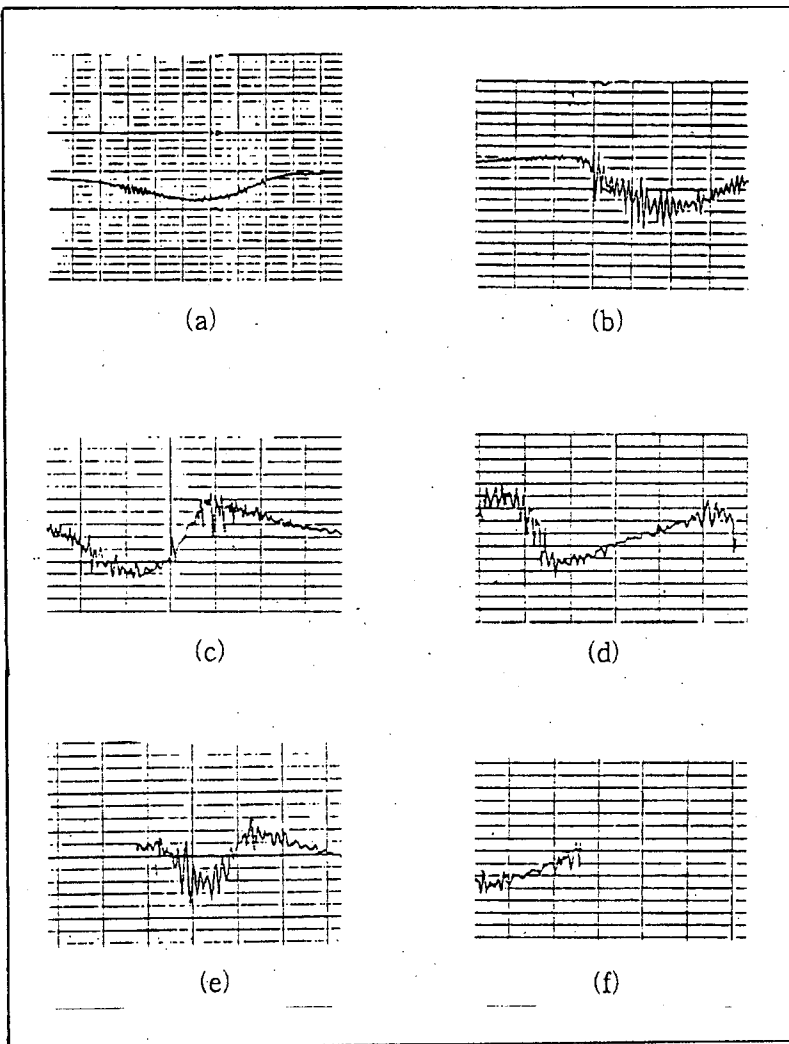
전단 시편의 경우, 광섬유 센서의 가공하지 않은 데이터를 살펴보면 <그림 10>과 같이 맥놀이 현상을 보이고 있는데 이는 전단 응력으로 인하여 생긴 편광 현상에 의한 것으로 보여진다.

### 6. 광섬유 센서의 성산대교 구조물예의 적용

광섬유 센서를 성산대교의 한 경간을 선정하여 거더의 중앙부에 부착시키고 모래를 적재하여 총 중량이 30톤이 되도록 한 차량을 10 km/h 부터 60 km/h로 속도를 변화시켜가며 측정하였는데, 그 결과 속도에 따라서 옆의 <그림 11>과 같은 스트레인 패턴을 얻었다.

### 7. 결 론

현재까지의 광섬유 센서의 국내외 연구 개발 동향과 광섬유 센서의 종류별 기술적 내용을 Review하여 이를 통해 모니터링 시스템의 향후 방향을 제시하였다. 그리고 실제 성산대교에 부착되어진 광섬유 센서의 거동을 예로 들어 광섬유 센서를 이용한 구조물 모니터링 시스템의 가능성을 보여 주었다. □



(a) 10Km/h (b) 20Km/h (c) 30Km/h  
(d) 40Km/h (e) 50Km/h (f) 60Km/h

그림 11. 성산대교에 부착시킨 광섬유 센서의 데이터



## 참고문헌

1. Kim, K. S., M. Breslauer and G. S. Springer, "The Effect of Embedded Sensors on the Strength of Composite Laminates" J. of Reinforced Plast. and Comp. Vol. 2, pp. 949~958, 1992.
2. Kim, K. S., A. Segall and G. S. Springer, "The Use of strain Measurements for Detecting Delaminations in Composite Laminates", Composite Structures Vol. 23, pp. 75~84, 1993.
3. Kim, K. S., Y. Ismail and G. S. Springer, "Measurement of strain and Temperature with Embedded Intrinsic Fabry-Perot Optical Fiber Sensors", J. of Composite Materials Vol. 27, pp. 1,663~1,667, 1993.
4. Kim, K. S., L. Kollar and G. S. Springer, "A Model of Embedded Fiber Optic Fabry-Perot Temperature and strain Sensors" J. of Composite Materials Vol. 27, pp. 1,618~1,662, 1993.
5. Kim, K. S., J. Ryu, S. J. Lee and L. Choi, "In-situ Monitoring of Sungsan Bridge in Han River with Optical Fiber Sensor System" Proceedings of SPIE Vol. 3043, pp. 72~76, 1997.
6. Kim, K. S., "Smart Concrete Structures with Optical Fiber Sensors" KCI Concrete Journal Vol. 11, pp. 109~114, 1999.
7. Lee, S. E., D. Han, H. Lee and K. S. Kim, "Signal Processing System of Multi-Fiber Bragg Grating strain Sensors using Wavelength Scanning-Locking of a Fabry-Perot Tunable Filter" 한국통신학회논문지 Vol. 24, pp. 1,472~1,479, 1999.