

구조물 유지관리를 위한 간섭형 광섬유 센서

Interferometric Optical Fiber Sensors for Health Monitoring Systems of Structures

김 기 수

Ki-Soo Kim

쌍용양회공업(주) 중앙연구소

Abstract

In this paper, the possibility of interferometric optical fiber sensors for health monitoring system was investigated. Fiber optic Fabry-Perot interferometer shows very good linearity to the strain. Fiber optic sensors have various merits for health monitoring systems. They are very small in diameter. So, they don't give any disturbance in strength to the structures.

Optical fiber sensors are inert to the electro-magnetic field. Therefore, fiber optic sensors give us a good solution to the maintenance systems of the structures, which are exposed to the electric fields, such as bridges, dams and buildings.

1. 서 론

구조물의 유지관리시스템은 구조물에 센서를 부착또는 매설하고, control 시스템에서 센서에서부터 오는 data를 관리하는 형식으로 이루어지며 여기에 사용되는 센서가 이 시스템의 핵이라고 할 수 있다. 현재까지 스트레인 게이지나 Thermocouple 등을 사용하는 연구 [1,2]와 광섬유 센서를 사용하는 연구 [3,4,5]등이 이루어져 왔는데 이중에서도 본 고에서는 특히 광섬유 센서를 사용하여 교량 및 건축구조물에 사용 가능성을 검토하고자 하였다.

2. 구조물 유지관리 시스템 구성의 예

광섬유 센서를 교량에 적용하여 시스템을 구성하면 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 센서부, 하중부, 광원 및 modulator Detector 및 신호처리장치, 제어부등으로 구성되어지게

된다. 전기신호를 광원에서 광으로 바꾸고 그 신호는 광섬유를 타고 센서로 들어가게 되고 센서에서 strain 또는 온도등에 의해 그 신호가 변형이 되고, 그렇게 변형된 광신호가 detector에서 전기적 신호로 바뀌어 signal processor에서 computer가 읽을 수 있도록 가공이 된다. 이 신호를 제어부에 있는 computer가 읽어서 여러가지 알고리즘에 의해 분석하여 안전도를 판명하게 된다.

3. 간섭형 광섬유 센서

간섭형 광섬유센서에는 Fig. 2에서 보이는 것과 같이 마크젠더 방식과 마이켈슨 방식 그리고 패브리 페로방식의 3가지 종류가 있는데 이러한 방식들의 광섬유센서는 sensitivity가 아주 좋아서 10cm 이내의 작은 게이지 길이의 스트레인 센서로 사용이 가능하고 분해능도 상당히 양호하여 국부스트레인 측정에 아주 적합하다. 그러나 온도

변화의 영향을 배제할 수 없으며[3,4] output 신호가 직선적으로 변화하지 않고 싸인커브와 비슷한 모양을 그리는 경향이 있고 스트레인에는 6개의 성분이 있는데 이중 4개의 성분의 스트레인에 영향을 받게 된다[3,5]. 제작하기에는 어렵지만 사용하기 편하며 reference가 따로 필요가 없는 패브리페로 센서의 경우에 graphite-epoxy 복합재료에 매설을 한 후 스트레인을 스트레인게이지로 측정을 하고 모델을 세워 광 output의 변화를 본 결과는 Fig. 3과 같다. 여기서 입증 하듯이 여러 스트레인의 성분이 모두 광 output에 영향을 준다.

Isotropic material에 광섬유가 embed 되었을 경우 다음과 같은 간단한 식으로 광 output의 크기 I^R 가 표시될 수 있다.

$$I^R = I^0 \left[R_a + R_b + 2\sqrt{R_a R_b} \cos(k_1 + k_2 e_1 + k_3 e_h + k_4 \Delta T) \times \cos(k_5 e_s) \right]$$

여기서 I^0 는 센서로 입사광의 크기이고 R_a 와 R_b 는 Fabry-Perot 센서의 두거울의 반사율이고 K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 는 탄성계수와 탄성광학계수들로 이루어진 상수들이며 e_1 은 광섬유 방향의 스트레인이고 e_h 는 광섬유 단면 방향의 hydrostatic strain이며 e_s 는 광섬유 단면 방향의 shear strain이고 ΔT 는 온도변화이다. $e_1, e_h, e_s, \Delta T$ 는 스트레인 게이지와 온도계로 측정할 수 있으며 광섬유 센서의 output과 스트레인 게이지 data로 부터 모델에 의해 계산화 data와 비교한 값은 Fig. 3과 같다[3,6]

4. 광섬유에 의한 스트레인의 측정

복잡한 형성에 복잡한 힘이 가해진다면 스트레인을 예측하기는 어려우나 캔틸레바 빔과 같이 간단한 형상이고 항상 일정한 방향으로 힘이 가해진다면 스트레인의 측정이 가능하다. 3 point bending test에서 오직 bending force만 가해진다고 가정하여 fringe counting 방법에 의해 계산된 data는 Fig 4와 같다[5].

5. 교량에의 광섬유 센서의 적용 가능성

장대교량에는 거의 예외없이 송전선이 지나가게 되고 특히 고속철도상의 교량에는 차량 구동을 위한 고압선이 지나가게 된다. 이 경우 일반 전기식 센서는 유도전류에 의한 오동작의 우려가 많아서 사용하기 어렵다. 만일 유지관리 시스템과 교통신호 시스템이 연결이 되어 사용이 되고 있다고 가정을 하고, 유지관리 시스템중 센서의 오동작으로 적신호가 들어와 차량이 통제되고 점검반이 투입된다면 이로인한 교통혼잡 및 예산의 낭비가 적지 않을 것이다. 광섬유 센서를 사용하면 이런 문제점은 전혀 없을 것이나 그 이전에 몇가지 해결해야 할 점이 있다.

교량에서의 스트레인은 진동과 섞여 오히려 복잡하기는 하나 차량의 하중 및 진동에서부터 오는 것이므로 나머지 성분은 보통 길이 방향의 주성분 스트레인의 종속변수가 된다. 따라서 얻어지는 data의 분석에는 크게 어려움은 없을 것이지만 광 신호가 스트레인에 대해 선형성을 가지지 않아서 이를 반드시 변환하여 선형성을 갖도록 환산해야 하며, 또 하나는 광섬유 센서를 콘크리트 구조물에 매설하였을 경우 강한 알칼리성에 의해 광섬유가 부식된다는 점이다. 이 두가지만 해결이 된다면 광섬유의 구조물에의 적용에는 크게 문제점이 없다.

전자는 여러가지 signal processing 방식에 의해 후자는 coating에 의해 해결이 가능한 것으로 보여지고 있으므로 빠른 시일내에 광섬유 센서 구조물 유지관리 시스템이 출현할 것으로 보여진다.

6. 참고문헌

1. Kim, K. S., M. Breslauer and G. S. Springer, 1992. " The Effect of Embedded Sensors on the Strength of Composite Laminates " J. of Reinforced Plast. and Comp. Vol. 2, pp949-958
2. Kim, K.S., A.Segall and G.S. Springer, 1993 " The Use of Strain

Measurements for Detecting Delaminations in Composite Laminates ", Composite Structures Vol. 23, pp75-84.

3. Kim, K.S. 1993 " A Model of Embedded Fiber Optic Fabry-Perot Temperature and Strain Sensors " Ph. D. thesis, Stanford University.

4. Kim, K.S., L.Kollar and G.S. Springer 1993. " A Model of Embedded Fiber Optic Fabry-Perot Temperature and strain Sensors" J. of Composite Materials Vol. 27, pp 1618~1662

5. Kim, K.S. Y.Ismail and G.S. Springer. 1993. " Measurement of Strain and Temperature with Embedded Intrinsic Fabry-Perot Optical Fiber Sensors", J. of Composite Materials Vol. 27, pp1663-1677

6. 조동원, 김기수, 1994 " 변형 및 온도 변화 존재시 단결정에서의 빛의 거동 " 한국 결정 및 결정 성장 학회지 Vol 5. pp 7~13

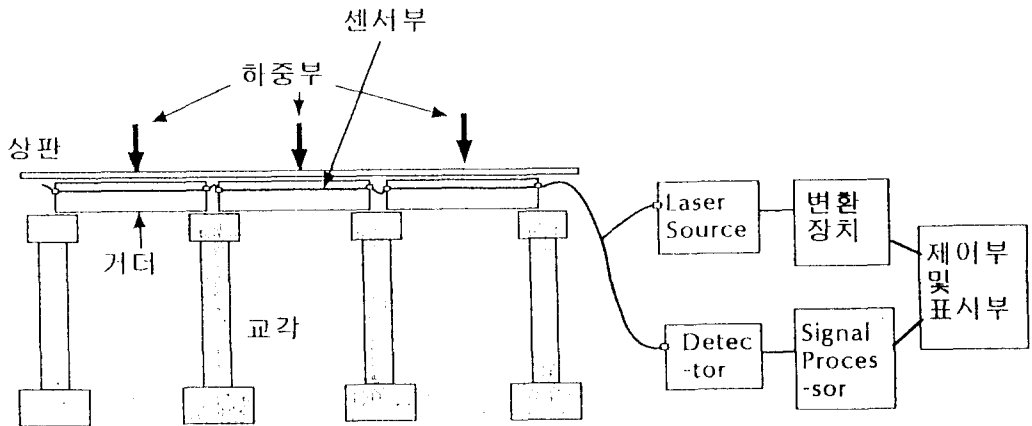
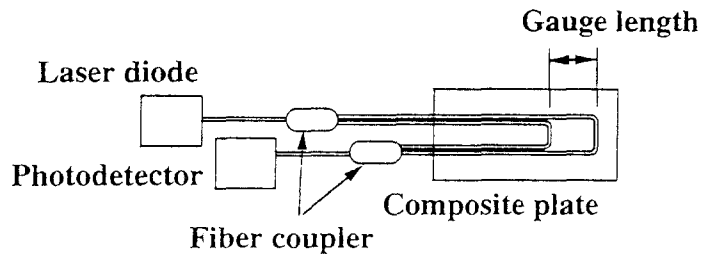
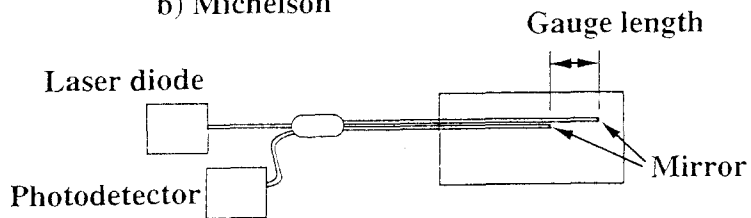


Figure 1. Optical fiber health monitoring system for bridge structures.

a) Mach - Zehnder



b) Michelson



c) Fabry-Perot

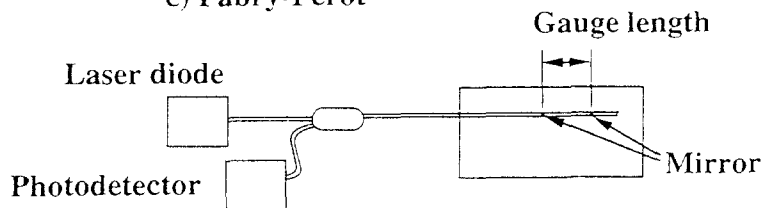


Figure 2. Interferometric optical fiber sensors.

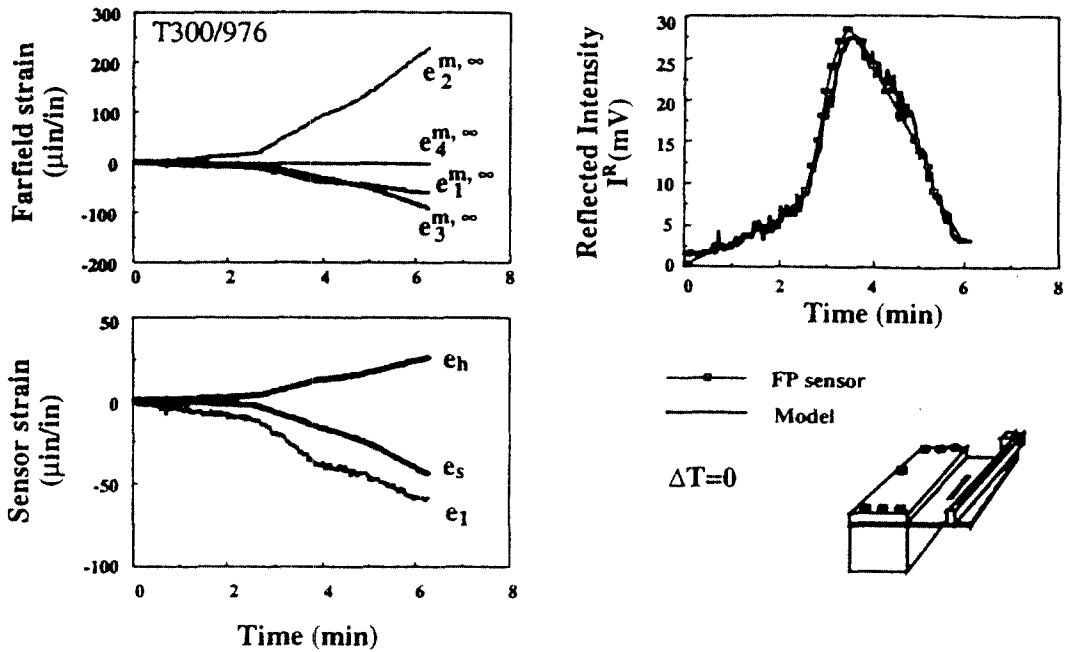


Figure 3. Strains and output light intensities calculated and measured.

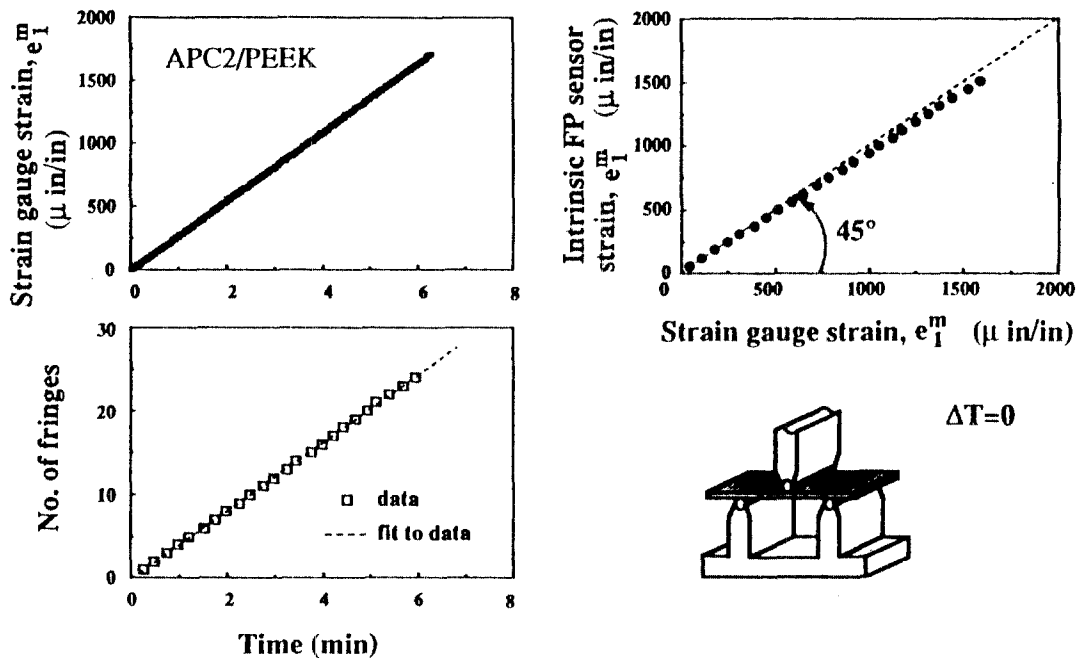


Figure 4. Comparison of strains between strain gauges and Fabry-Perot optical fiber interferometer.