

## 철근 콘크리트 구조물에 매설된 다중화 광섬유 압력 센서

이경진, 이호일\*, 박재희\*\*, 김명규\*\*\*, 강신원\*\*\*\*

### Multiplexed Fiber Optic Pressure Sensor Embedded in a Reinforced Concrete Structure

Kyung-Jin Lee, Ho-Il Lee\*, Jae-Hee Park\*\*, Myung-Gyoo Kim\*\*\* and Shin-Won Kang\*\*\*\*

#### 요 약

페브리-페롯 간섭계 원리를 이용한 광섬유 센서를 철근 콘크리트 구조물에 매설하고 구조물에 압력을 가했을 때 위상변화와 스트레인과의 특성 관계를 조사하였다. 단일모드 광섬유 (SMF) 내에  $\text{TiO}_2$  유전체 박막을 용융 접합하여 공극의 길이가 10 mm인 광섬유 페브리-페롯 간섭계를 제작하였다. 제작한 페브리-페롯 간섭계와 6 mm의 철근을  $100 \times 100 \times 500 \text{ mm}^3$  크기의 철근 콘크리트 구조물에 매설하였다. 광섬유 간섭계 및 광섬유 리드선은 접착제로 광섬유를 보호하였으며, 여러 지점에서 구조물이 받는 압력의 크기를 측정하기 위해 TDM 방식의 다중화 방법을 이용하였다. 제작한 광섬유 간섭계 센서의 광출력 특성은 인가한 하중에 따라 선형적으로 변화하였으며, 제작된 센서의 감도는 각각  $1.03 \text{ }^\circ/\text{kg}$ 와  $0.76 \text{ }^\circ/\text{kg}$ 이었다.

#### Abstract

Single mode fiber optic interferometers using the Fabry-Perot configuration were embedded in a reinforced concrete structure. These interferometers investigated the character of phase shift and strain for internal loads. The 10 mm length of FFPI in the continuous length of single mode fiber (SMF) were produced with two pieces of SMF coated with  $\text{TiO}_2$  dielectric film utilizing the fusion splicing technique. The fabricated fiber optic Fabry-Perot interferometer (FFPI) and the 6 mm length of steel bar were buried with specimen ( $100 \times 100 \times 50 \text{ mm}$ ) which was made of concrete structure. The resin protects FFPI and fiber leads from squeezed concrete. Sensors at different point in the structure were multiplexed by TDM (Time Division Multiplexing) method and the deformation to the external loads at each point could be monitored simultaneously. The output signals were proportional to the external loads applied to the structure and the sensitivity of the sensors were  $1.03 \text{ }^\circ/\text{kg}$  and  $0.76 \text{ }^\circ/\text{kg}$  respectively.

경북대학교 센서공학과 (Dept. of Sensor Eng.,  
Kyungpook Nat'l Univ.),

\* ㈜ 노우 전자 (No Woo Electronics Inc.),

\*\* 계명대학교 컴퓨터·전자공학부 (Dept. of  
Computer & Electronics, Keimyung Univ.),

\*\*\* ㈜ 빛과 전자 (Lightron Fiber-Optic Devices Inc.),

\*\*\*\* 경북대학교 센서기술연구소 (Sensor Technology  
Research Center, Kyungpook Nat'l Univ.)

< 접수일자 : 1999년 1월 30일 >

#### 1. 서 론

교량, 댐, 빌딩 등의 구조물들은 위험에 대비하여 각종 안전 시설을 갖추고 있어야 한다. 이런 시설물에 대한 안전도 검사에 응용되는 기술로는 X-ray 또는 초음파를 이용한 AE (Acoustic Emission) 등의 비파괴 검사가 이용된다<sup>1)</sup>. 그러나 비파괴 검사는 숙련된 작업자들의 많은 경험을 요구하며, 작업자의 손길이 미치

지 못하는 경우도 있으며, 또한 전기적 잡음이 포함된다. 이런 단점들을 보완하기 위해 구조물의 변형 상태나 파손여부를 감지하고 능동적으로 대처할 수 있는 기능을 구조물 자체에 부여하는 연구가 필요하게 되었다. 그 중에서도 광섬유 센서는 광섬유 자체가 광 신호에 대한 전송 역할뿐 아니라 전기적 방식의 센서에 비해 외부의 전자파에 의한 영향을 받지 않으며, 빠른 응답 특성, 광섬유 자체의 저 손실 특성과 원거리 감시뿐 아니라 다중화 능력을 지니고 있다. 그리고 감지 및 전송 신호가 광이기 때문에 전기적 센서가 사용되기 어렵고 안정성이 요구되며, 폭발, 화재의 위험이 있는 열악한 환경에서도 안전하게 사용할 수 있기 때문에 기존의 센서에 비하여 고가임에도 그 필요성이 증가하고 있다. 그 대표적인 예로써, Davies 와 Kingsley<sup>[2]</sup> 등은 단일 모드와 다중모드 광섬유에 대한 위상변조 방법을 이용한 광섬유에 대한 연구로 광섬유 센서를 개발하였고, 또한 Kersey<sup>[3]</sup> 등은 EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier)를 사용하여 센서를 제작 실험하였다. 이러한 센서들은 광의 세기, 위상, 편광, 파장 등의 현상<sup>[4-7]</sup>을 이용한 것으로 각종 구조물에 매설되면 지능형 구조물이 되어 매설된 센서가 원거리에서도 구조물의 상태를 파악할 수 있을 것이다. 광섬유 센서가 구조물에 사용될 경우, 국부적인 장소 뿐만 아니라 여러 부분에서 일어나는 변형을 감지해야 하므로 N개의 물리량을 읽으려면 N개의 센서가 필요로 한다. 따라서 많은 수의 광원, 광 검출기, 광섬유 결합기 등이 필요하게 되므로 이들의 수를 줄여 다른 지점에서도 변형된 구조물의 상태를 측정할 수 있는 TDM(Time division Multiplexing), FDM(Frequency division Multiplexing), WDM(Wavelength division Multiplexing), 및 CM(Coherence Multiplexing) 등의 방법들이 사용되고 있다.

본 연구에서는  $\text{TiO}_2$  광반사막이 증착된 광섬유를 용융 접합하여 제조된 광섬유 Fabry-Perot 간섭계를 특성 측정용으로 제작된 콘크리트 구조물에 매설함으로써 구조물의 변형을 측정할 수 있는 광섬유 스트레인 센서를 제작하여 응답특성을 조사하였다. 또한, TDM 방식의 다중화 방법을 이용하여 서로 다른 두 지점에서의 구조물의 변형정도를 측정할 수 있는 다중화 센서에 대해서도 조사하였다.

## II. 광섬유 Fabry-Perot 간섭계

### 1. 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 원리

광섬유를 이용한 Fabry-Perot 간섭계(FFPI) 센서는 그림 1에서와 같이 광섬유에 일정한 간격을 두고 두 개의 반사막을 단일모드 광섬유 내에 나란히 배치하여 용융 접합시켜 제작하였다. 광섬유 선로 내에 두 개의 반사막으로 사용된  $\text{TiO}_2$ 는 가시광 및 적외선 영역에서 높은 광 투과율, 높은 굴절율을 가지며 광 손실이 적고 광 투과도가 크다. 또한 광섬유 단면에 증착 될 때 광섬유와의 부착성이 좋으며, 광섬유 용융 접합시 굴절률의 조절이 가능하므로 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 반사막으로서 사용<sup>[9]</sup>되었다. 첫 번째 반사막에서 반사되는 광과 첫 번째 반사막을 투과하여 두 번째 반사막에서 반사되는 광 사이의 경로차가 발생하고, 발생된 경로차에 의해서 반사되는 광의 간섭현상이 생기게 된다.

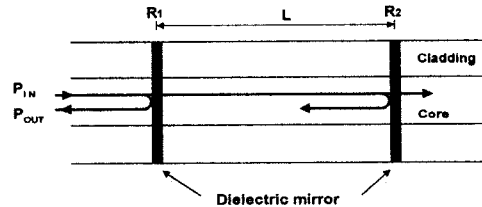


그림 1. 두 개의 반사막을 갖는 광섬유 Fabry-Perot 간섭계

Fig. 1. Fiber optic Fabry-Perot interferometer with two internal mirrors.

광섬유 사이의 내장된 두 반사막의 반사율이 같고 반사된 두 빔 사이의 공간 거리 차가 레이저의 가간섭 길이보다 작다고 가정을 하였을 때 광 반사막을 통하여 되돌아 나온 광 출력은 아래 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{OUT} = P_{IN} \cdot 2R(1 + \cos \phi) \quad (1)$$

그러므로 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 광 출력은 광 경로 차이의 여현파 형태를 가진다(단, 반사막  $R_1, R_2 \ll 1$ ,  $R_1 = R_2$ 라 할 때). 여기서  $P_{IN}$ 은 광 입력이며,  $n$ 은 광섬유 유효 굴절율,  $L$ 은 반사막 사이의 길이이며,  $\lambda$ 은 파장이다. 그리고  $\phi$ 는 간섭계에서의 왕복 광 위상

차이며, 다음과 같이 표현을 할 수 있다.

$$\phi = \frac{4\pi nL\nu}{c} \quad (2)$$

여기서,  $n$ 은 간섭계의 유효 굴절율,  $L$ 는 광 주파수이며,  $c$ 는 자유공간에서 빛의 속도로  $3 \times 10^8$  m/sec이다. 따라서 위 식 (2)에서  $\phi$ 의 인자 중 광섬유에 하중을 가할 때 광섬유가 변형을 일으키면 굴절율과 길이의 변화로 인하여 빛의 위상차로 광 출력 변화<sup>[10]</sup>가 일어난다. 이때의 위상차는 물리적인 요소인 온도와 굴절율의 변화는 간섭계의 길이 변화에 비하여 급격한 변화가 없어 무시할 수 있고<sup>[11]</sup>, 광 주파수가 일정하다고 가정하면 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta\phi = \frac{4\pi\nu}{c} (n\Delta L + L\Delta n) \approx 0.78 \frac{4\pi\nu}{c} (n\Delta L) \quad (3)$$

### III. 실험

#### 1. 다중화 FFPI 실험 장치

제작한 FFPI를 이용한 다중화 실험 장치를 그림 2에 나타내었다. 실험에 사용된 광원으로는 출력 파장이 1.3  $\mu\text{m}$ 이고 상온에서의 문턱전류가 약 33 mA이고 주위의 온도 의존성을 보상하기 위한 서미스터 및 열전냉각기가 있으며 단일모드 광섬유와 피그테일(pigtail) 되어 있는 레이저 다이오드(QLM 3S855-002, Lasertron Co., USA) 모듈이다. 검출 부분은 광섬유가 피그테일된 광검출기(PIN, PCO, RTZ-565-395, USA)를 사용하였다. 또한 광섬유를 3-dB 광섬유 결합기의 한쪽에 연결시키고 다른 한쪽 아암(arm)에는 제작된 광섬유 센서인 FFPI를 연결하였다. 입사광은 3-dB 광섬유 결합기를 거쳐 통과한 광이 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 두 반사면에서 반사되어 광결합기로 되돌아 나와서 광검출기에서 측정된다. 이때 간섭계로부터 나오는 출력 파형은 레이저를 변조 구동시킬 때 발생하는 레이저의 발진 주파수 이동 현상인 처핑(chirping)<sup>[12]</sup>현상에 의해 펄스 폭 기간 동안 외부의 물리적인 양에 의해 변화하며, 감지 아암으로부터 출력 파형의 변화량인, 위상 변화를 통하여 간섭계에서 광경로차를 감지할 수 있게 된다. 측정시 주위온도 및 진동 등에 의한 원하지 않는 위상변화는 고려되지 않았으며, 단일모드 광섬유의 미소벤딩(micro-bending) 효과를 줄이기 위해 감지 아암

및 주위 광섬유를 제한된 감지부외에는 단단히 고정시킨 상태에서 측정하였다.

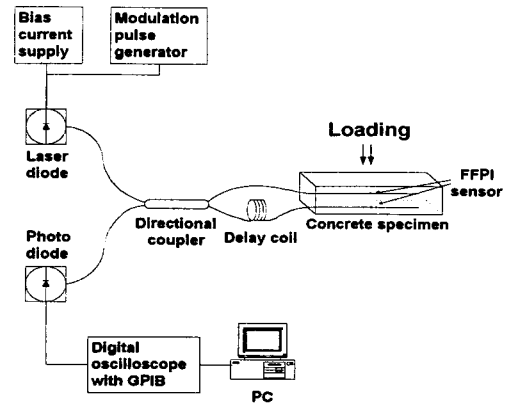


그림 2. 다중화 실험장치

Fig. 2. Experimental setup for multiplexing.

본 실험에서 제작된 광섬유 변형센서는 감지부를 두 곳으로 두어 간단히 시분할 다중화 방법으로 측정하였다. 여기서 한 개 지점 이상에서의 출력신호를 시분할적으로 검출하기 위해서는 시간 지연이 필요하며, 따라서 각각의 센서에서 출력되는 신호의 시간 간격을 정확히 계산해야 한다. 센서에 연결되어있는 광섬유 지연코일의 길이( $L_d$ )의 관계와 지연코일에 의한 왕복 지연시간( $T_d$ ) 관계는 다음과 같이 정의된다.

$$T_d = \frac{2nL_d}{c} \quad (4)$$

여기서,  $n$ 은 광섬유 코어의 굴절율,  $c$ 는 진공에서의 빛의 속도이다. 입력 변조 펄스폭을 가할 때 시분할 다중화를 위해 필요한 광섬유 결합기의 광섬유 지연코일의 길이는 위 식 (4)에 의해 본 실험에서는 약 100 m/ $\mu\text{s}$ 였다. 또한 광섬유 센서의 광출력 파형들은 디지털 오실로스코프와 GPIB 카드를 통해 PC로 데이터를 저장하여 그 결과들을 측정 및 분석하였다.

#### 3. 철근 콘크리트 구조물 제작

인가되는 하중 변화에 따라 광 신호 변화를 검출할 수 있도록 하기 위해 FFPI 센서를 그림 3(a)와 같은  $100 \times 100 \times 500$  mm<sup>3</sup> 크기를 갖는 철근 콘크리트 구조물에 매설하였다. 제작된 콘크리트 구조물은 일정 비율로 자갈, 모래를 물과 배합하여, 지름 6 mm의 철근을 삽입

하여 제작하였다. 제작한 구조물에 대한 하중 실험을 하기 위해 10 ton 용량의 유압식 재료 시험기(UTM : Universal Testing Machine)를 50 kg 마다 압력 변화로 광출력 변화와 스트레인 변화 관찰에 사용하였다.

철근 콘크리트 시편에 수직으로 가해지는 하중에 따른 출력 특성을 관찰하기 위하여 상부에서 80 mm 아래이며, 콘크리트 시편 가운데 위치한 철근 주위에 FFPI 센서를 매설하였다. 또한 광섬유 센서와 같은 위치에서의 변형률을 비교하기 위해 스트레인 게이지를 부착하여 광섬유 센서의 광 출력과 비교할 수 있게 하였다. 실험에 사용된 3개의 철근 중 중앙에 위치한 철근의 가운데 부분에 FFPI 센서를 접착제로 철근에 부착하였다. 또한 그림 3(b)는 그림 3(a)에서 사용된 FFPI와 스트레인 게이지가 철근에 부착된 원형 부분의 상세한 그림이다. FFPI 센서는 외부 충격에 약하므로 그림에서와 같이 접착제를 이용하여 보호막을 만들었고 콘크리트 경화 시 압착에 의한 FFPI 센서의 손상 방지와 광 경로를 보호하기 위한 방법으로 매설되는 광섬유 전체에 대해서도 접착제로 보호막을 약 2 mm의 두께로 형성시켰다.

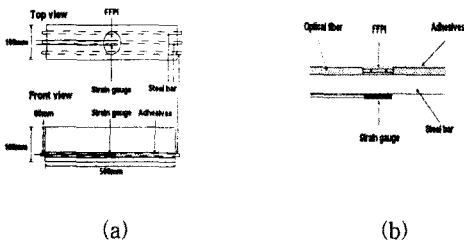


그림 3. (a) FFPI 센서와 스트레인 게이지가 매설된 콘크리트 시편, (b) 철근에 부착된 FFPI 센서와 스트레인 게이지

Fig. 3. (a) Concrete specimen with a FFPI sensor and strain gauge. (b) FFPI sensor and strain gauge with steel bar.

IV. 결과 및 고찰

그림 4는 광원인 레이저 다이오드에 펄스 입력 구동시킨 후 제작한 FFPI 센서를 철근 콘크리트 구조물 80 mm 아래 위치에 매입하였을 때 수직으로 하중을 가하면서 광 출력 파형의 변화를 나타낸 것이다. 이때 그림 4(a)는 FFPI 센서 출력 파형이 0° 인 경우는 구조물에 하중을 가하지 않았을 때 위상을 나타낸 것이며, 136

kg의 하중을 가할 때는 140° 위상 변화를 나타내었다(4(b)). 그리고 233 kg의 하중이 가해졌을 경우에는 약 240°의 위상 변화를 나타내었으며(4(c)), 마지막으로 345 kg 하중을 주었을 때는 약 355°의 위상변화를 갖는 광 출력 특성을 얻을 수 있었다(4(d)). 결과적으로 약 350 kg의 무게를 가할 때 한 주기 위상 변화가 일어나는 것을 알 수 있다.

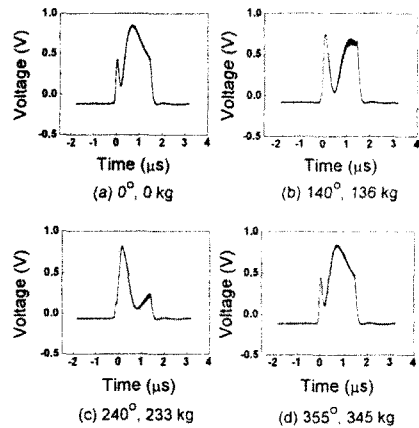


그림 4. 하중에 따른 광섬유 센서의 출력 변화  
Fig. 4. Output waveform of FFPI on Pressure.

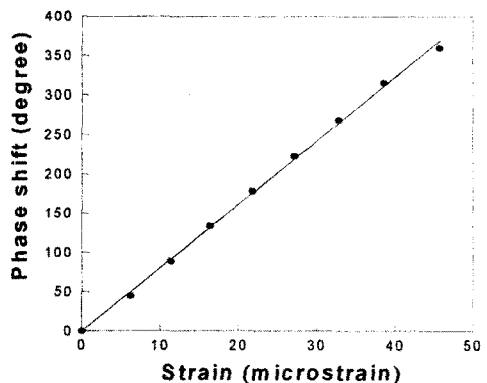


그림 5. 스트레인 변화에 따른 위상변화  
Fig. 5. Phase shift on strain change.

그림 5는 콘크리트 구조물에 하중을 증가시키면서 구조물에 매설된 FFPI 센서와 같은 위치에 매설된 스

트레인 게이지(TDS302: 동경계측연구소, Japan)의 값을 측정하여 스트레인에 대한 FFPI 센서의 변형특성을 위상변화량으로 나타낸 것이다. 출력특성은 직선적으로 나타냄을 알 수 있다. 그림 6은 그림 2와 같이 시분할 다중화를 위해 콘크리트 구조물에서 수직방향으로 80 mm 아래 부분에 있는 FFPI(FFPI 1:Embedded)와 바닥 부분에 또 다른 FFPI(FFPI 2:Attached)를 붙여 두 개의 광출력 파형들을 측정하여 나타낸 것이다. 즉, FFPI 1의 출력 파형은 철근 콘크리트 구조물 내부에 매설된 광섬유 센서의 출력 신호이며, FFPI 2의 출력 파형은 철근 콘크리트 구조물 맨 밑바닥 바깥 쪽에 광섬유 센서를 접착제로 부착시켰을 때의 출력 신호이다. 이러한 광출력 신호는 구조물에 가해진 하중에 의해 구조물에 변형을 일으키게 되고 결국, 이러한 구조물의 변형은 구조물에 부착된 FFPI에 전달되어 FFPI의 변형을 가져오게 된다. 따라서 구조물 변형은 FFPI 변형에 의한 광신호의 위상변화를 가져옴을 알 수 있다.

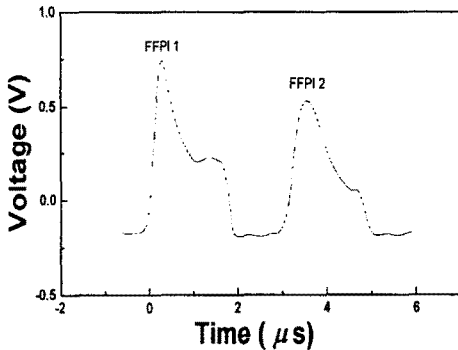


그림 6. 다중화 FFPI의 출력 신호

Fig. 6. Output signal of FFPI for multiplexing.

그림 7에서 FFPI 1(Embedded)과 FFPI 2(Attached)의 위상변화와 하중에 대한 관계를 나타낸 것이다. 하중이 구조물에 인가되었을 때 약  $2\pi$  라디안에 해당하는 광 출력 위상변화가 각각 1.03 degree/kg 과 0.76 degree/kg일 때 변화하는 것을 확인할 수 있었고 하중의 변화에 따른 광출력에 대한 위상변화는 두 신호 모두 비교적 좋은 직선성을 나타냄을 알 수 있었다. 또한, FFPI가 매설되지 않고 접착제만을 가지고 구조물 맨 아래에 부착(FFPI 2)시켜도 철근 콘크리트 구조물에서 하중의 감지가 충분히 가능하였다.

이상의 결과로부터 알 수 있듯이, 구조물 내에 매설

된 경우에서의 변형감도는 구조물 바깥쪽에 부착된 변형감도에 비해 약 1.35배 증가하는 것으로 확인되었다. 상대적으로 구조물에 부착된 변형센서의 감도가 낮은 이유는 매설된 FFPI 1보다 약 20 mm 아래에 위치함으로 인하여 FFPI 1에 인가된 하중의 크기가 20 mm 아래로 내려오면서 구조물 자체가 하중을 감소시키는 완충층(buffer)으로 작용하기 때문인 것으로 생각된다.

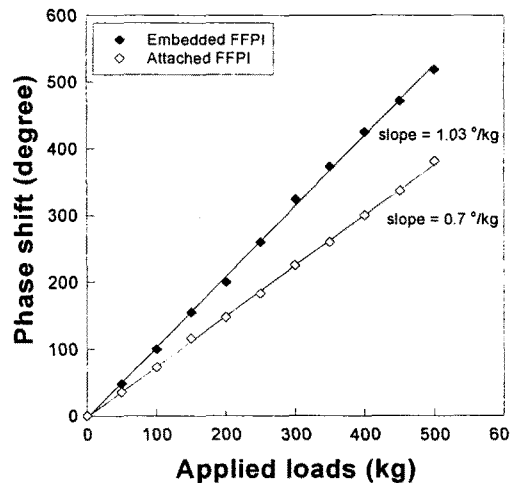


그림 7. 하중에 대한 다중화FFPI 위상 변화

Fig. 7. Phase shift of multiplexed FFPI to load.

## V. 결 론

단일모드 광섬유에 Fabry-Perot 간섭계 원리를 응용하여 단면에 반사막을 만든 후 용융 접합하여 원거리에서 각종 구조물 변형 정도를 감지할 수 있는 다중화 광섬유 Fabry-Perot 센서를 제작하였다. 광섬유 단면에 반사막을  $\text{TiO}_2$  유전체 물질로 만들었으며, 제작된 광섬유 센서는 우수한 광 간섭 출력 특성을 나타내었다. 실제  $100 \times 100 \times 500 \text{ mm}^3$  크기의 철근 콘크리트 구조물에 광섬유 간섭계를 매설하여 구조물에 가하는 하중의 변화에 따른 광섬유 센서의 스트레인 특성을 조사한 결과 구조물 내에 매설된 광섬유 압력 센서인 경우 약 350 kg일 때  $2\pi$ 의 위상변화를 가져왔으며, 하중이 증가함에 따라 선형적인 위상 변화를 나타내었다. 이때의 감도는 약 1.03 degree/kg 정도였다. 또한, 제작된 센서를 구조물 외벽에 부착시킬 경우도 약 0.76 degree/kg 정도의 감도로 굳이 FFPI를 매설시키지 않고 기존에 제작된 구조물에 부착 시켜도 양호한 출력

특성을 얻을 수 있었다. 더욱이 광섬유 한 가닥으로도 여러 지점을 감지할 수 있도록 신뢰성 있는 FFPI 제조 기술뿐 아니라 시간분할 다중화 및 주파수 분할 다중화와 같은 방법들이 좀더 보완된다면 국부적인 장소뿐 아니라 넓은 영역에서도 측정이 가능할 것이다. 실제 교량이나 빌딩, 댐 등과 같이 대형 구조물에 광섬유 센서가 매설되면, 구조물의 변형 및 균열 발생 시 매설된 광섬유 센서의 위상 변화의 감지로 원거리에서 실시간으로 구조물들을 감시할 수 있을 것이다.

### 감사의 글

※ 본 연구는 1997년도 한국과학재단의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. Blitz and G. Simpson, *Ultrasonic Methods of Non-destructive Testing*, Chapman & Hall, pp. 204~215, 1996.
- [2] D. Davies and S. Kingsley, "Method of phase modulating signal in optical fibers: application to optical telemetry system," *Electronics Lett.*, vol. 11, pp. 21~22, 1974.
- [3] A. Kersey, "Multiplexed interferometric fiber sensor," *Proceedings of seventh international conference on optical fiber sensor*, Sydney, pp. 313~319, 1995.
- [4] Lagakos N., Litovitz T., Macedo P., Mohr R., and Meister R., "Multimode Optical Fiber Displacement Sensor," *Applied Optics*, vol. 20, no. 2, pp. 167~168, 1981.
- [5] S. C. Lin and T. G. Giallorenzi, "Sensitivity analysis of the Sagnac-effect Optical-Fiber Ring Interferometer," *Applied Optics*, vol. 18, no. 6, 1979.
- [6] X. Fang, A. Wang, R. G. May, K. A. Murphy, and R. O. Claus, "Reciprocal-Compensated Fiber Optic electric current sensor," *Tenth International Conference on optical Fiber Sensor, SPIE*, pp. 427~429, 1994.
- [7] Q. Zhang, T. F. Morose, L. Reinhart, and A. Kilian, "New Temperature Sensing Approach Based on Temperature Shift of Effective Cutoff Wavelength," *The International Society for Optical Engineering, SPIE*, vol.1797, pp. 125~129, 1992.
- [8] 김명규, 유양욱, 권대혁, 이정희, 김진섭, 박재희, 채용웅, 손병기, "유전체 박막을 이용한 다이아프램형 광섬유 Fabry-Perot 간섭계 압력 센서의 특성," *센서학회지*, 제7권 3호, pp147~153, 1998.
- [9] C. E. Lee, William N. Gibler, R. A. Atkins, and H. F. Taylor, "In-Line Fiber Fabry-Perot Interferometer with High-Reflectance Internal Mirrors," *IEEE J. of Lightwave Technology*, vol. 10, no. 10, pp 1376~1379, 1992.
- [10] H. S. Choi, H. F. Taylor, and C. E. Lee, "High-performance fiber-optic temperature sensor using low-coherence interferometry," *Optics Letters*, vol. 22, no. 23, pp. 1814~1816, 1997.
- [11] W. G Lee, "Railroad Bridge Monitoring Systems with Fiber Optic Sensors," Ph. D dissertation, Texas A&M University, p. 5, 1998.
- [12] Yunhae Y, "Development of fiber-optic interferometric temperature sensor system," *ph.D. Dissertation*, Texas A&M University, pp. 24~30, 1991.

---

 著 者 紹 介
 

---



## 이 경 진

1967년생. 1993년 경남대학교 전기공학과 졸업(공학사), 1996년 경남대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 1997년~현재 경북대학교 대학원 센서공학과 박사과정.

주관심 분야 : 광섬유 압력센서·온도센서, 광센서 시스템

## 김 명 규

『센서학회지 제4권 2호』 논문 95-4-2-04, p.28 참조.  
현재 (주) 빛과 전자 선임 연구원.

## 박 재 희

『센서학회지 제5권 제6호』 논문 96-5-6-01, p.6 참조.  
현재 계명대학교 컴퓨터 전자공학부 조교수.



## 이 호 일

1970년생. 1997년 경일대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1999년 경북대학교 대학원 센서공학과 졸업(공학석사), 현재 (주) 노우 전자(No Woo Electrics Inc.) 연구원

주관심 분야 : 광센서·제어 시스템,

## 강 신 원

『센서학회지 제4권 제1호』 논문 95-4-1-05, p. 34 참조. 현재 경북대학교 센서기술 연구소 조교수.