

# 격자형 구조물의 외부 진동 주파수 탐지를 위한 분포형 광섬유 센서 설계 및 실험

## Detection of Excited Vibration frequency on the Latticed Fence Structure Using a Distributed Fiber Optic Sensor

이종길\*  
Jongkil Lee

**Key Words** : fiber optic sensor(광섬유 센서), excited vibration frequency(가진 주파수), Sagnac interferometer(Sagnac 간섭계)  
latticed fence structure(격자형 구조물), frequency spectrum(주파수 스펙트럼)

### ABSTRACT

To detect external vibration signals on the latticed fence structure, distributed fiber optic sensor using Sagnac interferometer was fabricated and tested. The latticed structure fabricated with dimension of 170cm in width and 180cm in height, the optical fiber, 50m in length, distributed and fixed on the latticed structure. It was verified the sensitivity of the Sagnac interferometer using the PZT phase modulator. Fiber optic external vibration signal applied to the latticed fence structure from 100Hz to several kHz. The interferometric fiber optic sensor detected the excited vibration signal very effectively without any signal processing. The detected optical signals were compared and analyzed to the detected acclerometer signals.

### 1. 서 론

광섬유 센서(optical fiber sensor) 기술은 최근  
에 신호처리 및 다중화 기술의 발전으로 음향·진  
동계측, 기계, 항공분야에 활발히 응용이 되고 있  
다. 이는 높은 정밀도와 분포계측 가능성, 소형 및  
내구성 때문에 NRL, Litton, Ferranti Thomson,  
DRA, Plessey, Okki, TMS, Whitehead 등에서도  
광섬유를 이용한 각종 음압 감지 센서를 연구하고  
있다<sup>(1~3)</sup>.

광섬유 센서는 주로 간섭계를 이용하여 신호를  
획득하며, 이러한 간섭계에는 주로 Mach-Zehnder,  
Sagnac, Michelson, Fabry-Perot등이 이용된다. 각  
각의 간섭계는 사용 목적에 따라 다르게 적용되나  
Mach-Zehnder형이나 Sagnac형이 비교적 쉽게 구  
성할 수 있어 간단한 실험에 널리 이용된다.

Sagnac 간섭계의 원리는 입사광을 둘로 쪼개고, 서  
로 반대방향으로 광폐회로를 통과시킨 후, 간섭시키  
는 것으로서, 이의 구성도를 Fig. 1에 보였다. 그림에  
서와 같이 레이저에서 나온 빛은 2×2 coupler  
(beam splitter)를 거쳐 광섬유 루프를 서로 반대방  
향으로 진행하게 된다. 각 방향으로 진행되는 레이저  
광은 측정하고자 하는 물리량에 의해 광섬유에 가해  
지는 변화에 상응하는 광경로의 변화를 겪은 후  
beam splitter에서 다시 합쳐져 광검출기로 검출된다.  
이때 각각의 광경로 차이에 비례하는 위상차가 발생  
하여 검출광의 세기에 변화가 일어나고 이를 측정함  
으로서 광섬유 센서에 가해진 피측정량의 크기를 검  
출하게 된다.

Fig. 1과 같이 폐회로의 반경이 R이고, 각속도가  
 $\Omega$ , 접선속도가 v, 파장이  $\lambda$ , 광속도가 c인 간섭계에  
대하여 빛이 회전방향으로 통과하여 나오면 위상변  
화를 일으키며 이는 다음의 식으로 표시된다.

$$\Delta\phi = m \frac{8\pi A}{c\lambda} \Omega = \frac{4\pi LR}{\lambda c} \Omega \quad (1)$$

따라서, 식 (1)에서와 같이 음압의 변동에 따른

\* 안동대학교 기계교육과  
E-mail : jlee@andong.ac.kr  
Tel : (054820-5487, Fax : (054823-1766

위상변화는 광섬유 폐회로의 길이  $L$ 에 비례하므로 광섬유 센서의 감도를 증대시키기 위하여 길이  $L$ 을 되도록 크게 하는 것이 좋다.

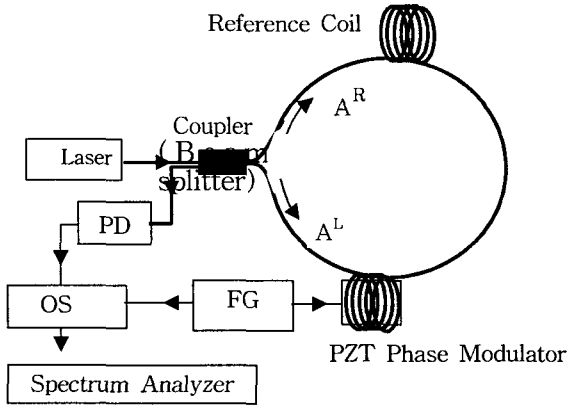


Fig. 1 Sagnac interferometer with PZT phase modulator

광섬유 센서로는 일반적으로 감도가 좋은 맨드릴(mandrel)형 센서를 이용한다. 그러나, 맨드릴형은 탐지할 면적이 넓은 구조물, 즉 격자형 혹은 펜스와 같은 구조물에는 적합하지 않다. 격자형 구조물의 진동을 효과적으로 감지할 수 있는 것이 분포형 광섬유 센서이다. 이는 구조물에 광섬유를 단순 부착함으로써 별도의 메카니즘 없이 분포형 센서를 제작할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 격자형 구조물의 외부 진동을 탐지하기 위하여 Sagnac 간섭계를 이용하였다. 상용 광섬유를 격자형 구조물 상에 분포시켜 분포형 센서를 구현하고 이를 실험하였다.

## 2. PZT 위상변조기 이용 Sagnac 간섭계 검증

PZT 위상 변조기(Phase modulator)는 중공 원통형의 PZT 외부에 광섬유를 감은 것이다. PZT 위상 변조기는 구성된 간섭계형 광섬유 센서가 기지의 신호를 잘 감지하는지를 시험하기에 매우 적합한 시스템이다<sup>(4-5)</sup>. 본 연구에서 사용한 광섬유 Sagnac 간섭계를 Fig. 1과 같이 구성 후 PZT 변조기에 함수 발생기를 이용하여 신호입력 하였다.

간섭계는 Mach-Zehnder와 Sagnac이 있으나 구성이 비교적 쉬운 Sagnac 간섭계형을 선택하였다. 구성된 간섭계가 입력된 신호를 제대로 검출할 수

있는지를 Fig. 1과 같이 검증하였다.

실험에 사용된 광섬유는 코아(core)가  $9.3\mu\text{m}$ , 클래딩(cladding)이  $125\mu\text{m}$  이고, 아크릴 수지 보호피막을 포함한 전체 직경은  $245\mu\text{m}$  의 통신용 광섬유를 이용하였다. 광원은 중심파장이  $1550\text{nm}$  이고 출력이  $2\text{mW}$ 인 레이저(DFB)를 사용하였고, 광원에서 나온 빛은  $3\times 3$  광섬유 결합기를 통과하여, PZT 위상 변조기 위에 감은 광섬유로 들어간 후, 다시  $3\times 3$  광섬유 결합기에서 간섭을 일으켜 광검출기(photo detector)로 들어간다.

PZT 위상 변조기에 감겨 있는 광섬유의 길이는 약  $18\text{m}$  이며, 형상은 중공 원통형(cylinder)이고 외경 $\times$ 높이가  $38\text{mm}\times 38\text{mm}$ 이다. PZT에 전원을 인가하면 PZT의 진동 모우드는 반경방향으로 수축 및 확장 운동을 하기 때문에 PZT위에 감겨져 있는 광섬유도 수축 확장운동을 통하여 광섬유의 위상변화를 일으키는데 이를 이용하면 Sagnac 간섭계의 광섬유 센서의 감지 특성을 분석 할 수 있다.



Fig. 2 Photograph of the experimental system

Fig. 2에는 실제 구성된 격자형 구조물을 보였으며 Sagnac 간섭계의 구성을 위하여  $150\text{m}$ 의 광섬유를 이용하였다. 식 (1)에서와 같이 광섬유 센서의 감도는 폐회로의 총 길이에 비례하나 실험의 특성상  $150\text{m}$  정도로 선택하여 실험하였다. Sagnac 간섭계의 구성은 FC/PC형의 연결 콘넥터를 이용하기 때문에 접속 손실이 많이 생겨 광섬유의 총 길이를 많이 늘릴 수 없었다.

Sagnac 간섭계 구성 후 함수발생기를 이용하여 청현파를 PZT 위상변조기에 입력하여 모의 신호

로 활용하였다. Fig. 3에는 1kHz의 신호가 함수 발생기로부터 PZT 위상변조기에 인가되었을 때 구성된 광섬유 센서가 감지하는 출력과 함수발생기 신호를 오실로스코프 상에 보인 것이다. Fig. 3의 하단(bottom, ch#2)에 보인 입력신호와 광섬유 센서가 감지한 출력신호(upper, ch#1)를 비교할 수 있다.

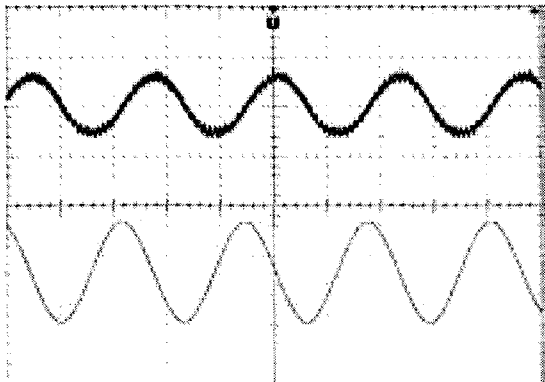


Fig. 3 Detected signal under the 1kHz phase modulator vibration Ch. #1(upper) : Fiber-optic signal, Ch. #2(bottom) : function generator signal

Fig. 3에서와 같이 구성된 Sagnac형 간섭계는 PZT 위상변조기의 변화에 따라 입력 신호를 잘 복원하며 이를 통하여 구성된 시스템이 잘 동작함을 확인하였다.

### 3. 광섬유 격자시스템 구성 및 가진 실험

Fig. 2에는 본 연구에서 구현한 Sagnac형 간섭계 형태의 광섬유 격자형 시스템을 보였다. 격자형 구조물은 가로×세로가 180cm×180cm이며, 직경이 6mm인 철선으로 17×17 격자구조로 광섬유를 분포형으로 Fig. 2와 같이 격자에 고정시켰다. 광섬유 격자형 시스템에는 외부 접촉으로 인한 저주파 진동이 외부 가진 형태로 입력이 되며, 광섬유는 격자의 흔들림으로 인하여 위상변화가 발생하게 된다.

광섬유를 격자모양으로 설치하기 위하여 광섬유를 프레임에 부착하고 레이저 입력에서 나오는 광을 방향성 결합기(3×3 coupler)로 균등분배하고 이 중 광섬유 격자를 통해 발생한 위상 변화는 방

향성 결합기에서 간섭현상을 일으킨다.

외부 진동원으로 광섬유 격자 구조물의 중앙부에 가진기(B&K vibrator)를 설치하였고, 250Hz의 진동을 주었다. 가속도계(accelerometer)를 설치하여, 분포형 광섬유 센서의 감지 신호와 비교토록 하였다. Fig. 4에는 외부 진동을 광섬유 센서가 감지한 신호를 보였다. 그림의 상단(upper, ch#1)은 광섬유 센서 출력신호이며 하단(bottom, ch#2)은 B&K 가진기에 입력된 250Hz 신호이다.

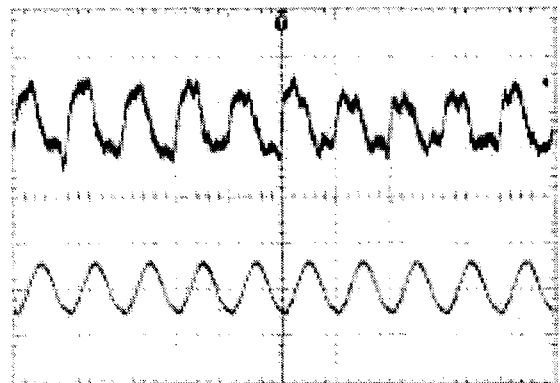


Fig. 4 Detected signal under the 250Hz vibration Ch. #1(upper) : Fiber-optic signal, Ch. #2(bottom) : function generator signal

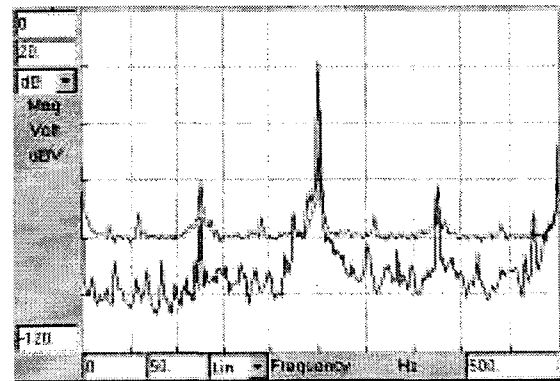


Fig. 5 Frequency spectrum of the detected signal under the 250Hz vibration Ch. #1(upper) : Fiber-optic signal, Ch. #2(bottom) : function generator signal

Fig. 4 및 Fig. 5에서와 같이 구성된 분포형 광섬유 센서는 외부 진동을 효과적으로 감지함을 알 수 있다. Fig. 5에서의 주파수 스펙트럼 상에 나타난 250Hz 이외의 주파수 성분은 실험시 발생된 진동이라 보여진다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 분포형 광섬유 센서를 설계·제작하여 이를 격자형 구조물에 적용하였다. 구성이 비교적 간단한 Sagnac 간섭계를 이용하였으며, PZT 위상 변조기에 1kHz의 모의 신호를 입력하여 구성된 간섭계가 신호를 잘 복원함을 증명하였다.

17×17형태의 격자형 구조물을 제작하여 통신용 광섬유를 분포형으로 설치하고 250Hz의 외부가진 실험을 통하여 제작된 광섬유 센서가 효과적으로 가진 신호를 감지함을 확인하였다.

본 시스템은 향후 외부진동이 주 입력원인 시설물의 안전 감시용에 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2002-000439-0)지원으로 수행되었음.

#### 참 고 문 헌

- (1) Jackson, D. A. and Jones, J. D. C., 1986, "Fiber optic sensors," OPTICA ACTA, vol. 33, no. 12, pp. 1469~1503.
- (2) Lyamshev, L. M. and Smirnov, Y. Y., 1983, "Fiber optic sensors(review)," Sov. Phys. Acoust., 29(3), pp. 169~180.
- (3) Grattan, K. and Meggitt, B., 1995, Optical Fiber Sensor Technology, Chapman & Hall, London.
- (4) 이종길 등, 2002, "광섬유 Sagnac 간섭계를 이용한 유중방진 신호검출," 대한전기학회지, 49C(11), pp. 622~626.
- (5) 이종길 등, 1997, "실험을 통한 간섭계형 광섬유 청음기의 음향신호 감지성능 연구," 한국소음진동공학회지, 제7권 제6호, pp. 931~936.