

## Multimode 광섬유를 이용한 다점 압력 계측 system 설계 및 구현

### Design and Implementation of Multiplexing Pressure-measurement System using Multimode Optic Fiber

강 기호\*, 김 명식, 손 정영, 오 명환

한국 과학기술원      계측소 자연구실

#### 요 약 문

광섬유와 micro 변형기를 이용하여 다점 압력 계측 system을 구성하여 실험을 행하였다. 그 결과 pulse generator와 analog switch를 이용함으로써 100ns의 광 pulse를 쉽게 얻을 수 있었으며, 또한 3개의 광 pulse를 analog switch를 이용하여 쉽게 분리할 수 있었다.

한편 변형기에 가한 힘과 광 손실간의 상관관계를 이론치와 비교하여 조사한 결과 힘과 광손실간의 상관관계는 이론치와 실험치가 유사한 경향을 나타내는 것을 알 수 있었다.

#### 서론

발달된 광섬유 제조기술은 저손실 및 dispersion이 적은 광섬유의 개발을 가능하게하여 고속 데이터 전송용 광섬유 시스템 뿐 아니라, 정밀 계측용 광섬유 센서 시스템을 부분적이지만 가능하게하였다.[1]

광섬유 센서( fiber-optic sensor : FOS )는 광섬유에 유도되는 광을 이용하여 전자장, 속도, 변위, 온도, 압력 등의 양을 측정하는 기기로서, 이 것은 광섬유의 높은 계측 감도, 무 유도성, 넓은 계측 범위, 절연성, 안전방폭성, 저렴한 제작 비용 등의 장점을 살린 것이다.[2]

광원으로 부터 광섬유에 입사된 광은 광섬유 주위의 외력에 의해 변조되는데 보통 강도( intensity), 위상( phase ) 그리고 편광(polarization )의 변화로 나타난다.

본 과제에서는 multimode 광섬유를 이용한 광강도 변조형 압력센서 및 그것의 다점화 시스템을 설계 및 구현하였으며 압력센서로서는 microbending형 센서[3]를 제작하였다. 다점 광섬유 센서 시스템은 지금까지 몇가지의 제안이 있었으나 실제로 개발된 것은 현재까지 거의 없다. 본 연구에서는 비교적 구성이 간단하고 각 소자들의 신뢰성에 보다 민감하지않는 방법인 TDM( Time Division Multiplex ) array를 설계하고[4] 데이터의 처리 및 표시를 위해 컴퓨터와의 접속부를 설계 제작하였다.

#### 이론적 고찰

광섬유 센서는 광파이버가 싱글모드일 경우, 광섬유에 유도되는 광의 위상, 강도 및 편광을 모두 이용할 수 있으나, 멀티모드 광파이버는 강도 변화를 주로 이용한다. 강도 변화의 방법 중 광파이버에 microbending을 주면 광의 손실이 유도되는데 그 원리는 다음과 같다. D.Marcuse [3]의 유도식에 의하면 광섬유의 전달손실율, 즉 Transmission power loss TPL은 다음과 같이 표현된다.

$$TPL = \left( 1 - \frac{\text{power in bended fiber}}{\text{power in unbended fiber}} \right) \times 100 [\%]$$

$$= ( 1 - \exp (- \bar{\sigma} \cdot L) ) \times 100 [\%]$$

여기서  $\sigma$ 는 평균 광손실 계수, L은 microbending의 전체 길이이다.

$$\bar{\sigma} = \frac{k}{a^2} | F(\Delta\beta) |^2$$

a는 광섬유의 코어 반경, k는 광파이버의 재질에 의존하는 상수이며,  $F(\Delta\beta)$ 는 광파이버의 curvature 정도에 관계하는 함수로서  $\Delta\beta$ (근접 모드간의 전파상수들의 차)의 spectrum 함수다. 결국 광파이버의 curvature 정도가 광의 손실을 유도하는 것이다.

그림 1과 같이 광파이버에 힘을 가했을 때,

$$| F(\Delta\beta) |^2 = \left| \frac{1}{L^{1/2}} \int_0^L \frac{df(z)}{dz} \exp(-i\Delta\beta \cdot z) dz \right|^2$$

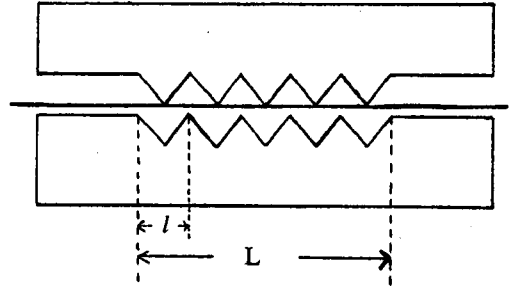
$$= 1/L ( A^2 + B^2 )$$

where

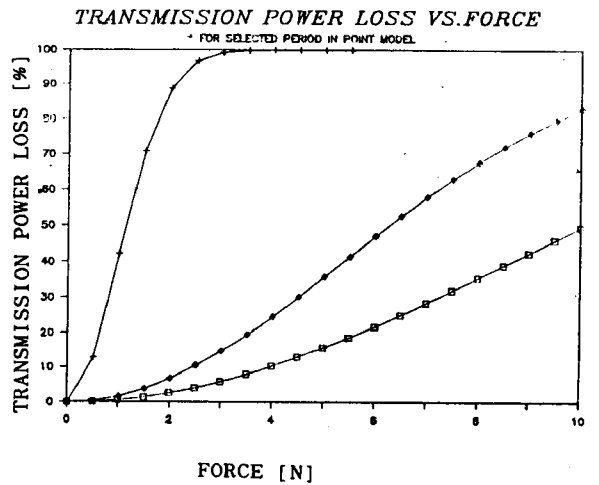
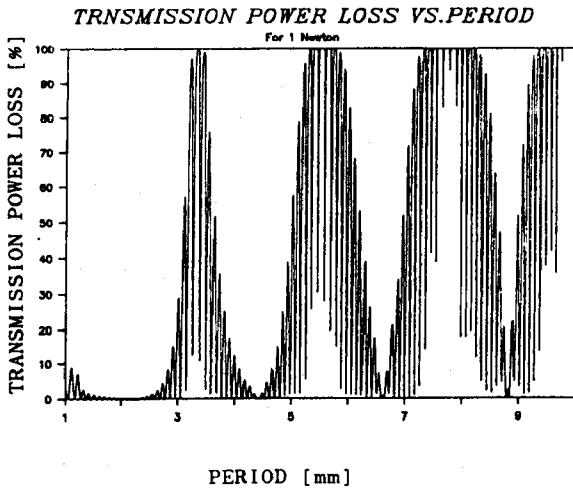
$$A = \sum_{N=1}^{N/2} \left( \frac{df(z)}{dz} \right)_{(N-1)l} \cos(\Delta\beta \cdot z) dz$$

$$B = \sum_{N=1}^{N/2} \left( \frac{df(z)}{dz} \right)_{(N-1)l} \cos(\Delta\beta \cdot z) dz$$

위 식을 이용하여 bending 주기( l )와 외부 힘( F )의 변화에 따른 광 손실을 computer로 구해 본 결과 그림 2와 같다.

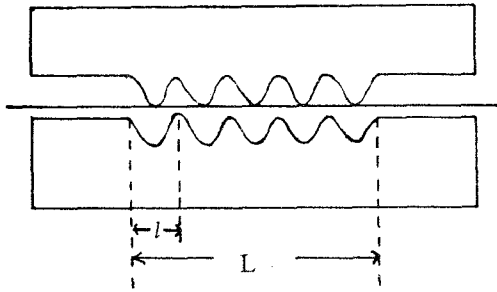


[그림 1] Computer simulation을 위한 micro 변형기



□ l=5.0 [mm]    + l=5.5 [mm]    ◆ l=6.0 [mm]

[그림 2] 변형기의 bending 주기와 외부 힘의 변화에 따른 광손실



[그림 6] 실제 사용된 micro 변형기의 단면도

## 결과 및 고찰

### 1. 전자 회로 구성

그림 7은 LD driver단의  $10\Omega$  양단에 걸리는 전압 파형과 APD 출력 파형을 판측한 사진으로서 LD에 흐르는 전류는  $100\text{mA} \times 200\text{ns}$ 의 pulse 이지만 APD의 출력 pulse는  $100\text{ns}$  이하인 pulse를 나타내고 있다.

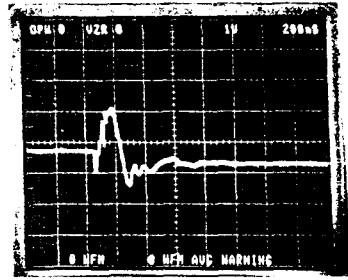
실제 LD에 흐르는 전류에 대해 LD가 방출하는 광량은 exponential로 증가하기 때문에  $100\text{mA}$  근방의 전류에 대해서만 LD가 구동한다고 보아도 무방할 것이다.

따라서 LD에 흐르는 전류 pulse 폭이  $200\text{ns}$ 이지만 실제 LD가 방출하는 광 pulse는  $100\text{ns}$  이하가 될 것이다.

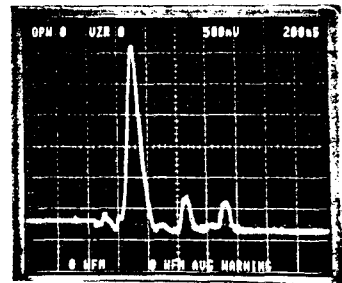
또한 APD 출력 파형에  $200\text{ns}$  간격으로 3개의 pulse가 존재하는 것을 알 수 있는데 이는 기준부와 2개의 sensor의 광로차에 의해 나타나는 현상으로 기준부에 비해 2개의 sensor를 통하는 광 pulse의 크기가 현저히 감소되는 것을 알 수 있다.

이는 coupler 및 splicing loss가 비교적 크기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

한편 switching 회로를 통해 각 pulse를 분리한 후 각 pulse를 판측한 사진을 그림 8에 나타내었다. 그림 8(a)는 기준부를 통하는 광 pulse에 대한 출력이며, 8(b)와 8(c)는 각각 sensor I과 sensor II를 통하는 광 pulse의 출력이다.



(a) LD에 흐르는 전류 파형



(b) APD 출력 파형

[그림 7] LD에 흐르는 전류파형 및 APD 출력 파형

이와 같이 analog switch를 이용하면 3개의 pulse를 쉽게 분리할 수 있음을 알 수 있다.

### 2. 압력 계측

변형기에 인가하는 힘 F에 따른 광 손실을 측정하여 나타낸 그림 9에서 보는 바와 같이  $l = 5, 5.5, 6$  [mm] 일 경우 모두 앞에서 살펴본 이론치와 변화 양상이 유사한 것을 알 수 있으며 또한  $l = 5.5$  [mm]에서 가장 감도가 우수한 것도 앞의 이론치와 일치하는 것을 알 수 있다.

그러나 힘 F에 따른 광 손실의 감도가 실제 이론치에 비해 현저히 감소되는 것을 볼 수 있는데 이와 같은 결과는 micro 변형기의 구조 차이에서 비롯된 것으로 사료된다. 즉, 이론적인 계산에서는 변형기의 구조가 그림 1과 같이 한 점에 힘이 가해질 경우이지만 실제 변형기의 구조는 광섬유의 손상을 방지하기 위해 변형기의 끝부분을 곡선으로 제작함으로써 생긴 오차로 사료된다.

## 결 론

1. pulse generator와 analog switch를 이용하여 Laser Diode를 구동한 결과 100ns의 광 pulse를 쉽게 만들 수 있었다.
2. APD 출력에서 나오는 3개의 pulse를 analog switch를 이용함으로써 쉽게 분리할 수 있었다.
3. 변형기에 가한 힘과 광 손실간의 상관관계는 실제 이론치와 유사한 경향을 나타내지만 감도면에서는 다소의 차이가 나타나는 것을 알 수 있는데 이는 변형기의 구조 차이에서 오는 결과로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] T.G. Giallorenzi et al., "Optic Fiber Sensor Technology." IEEE J. of QE, vol. QE-18, no. 4, April (1982)
- [2] 최상삼, "광 센서", 전자과학 1988. 5
- [3] D. Marcuse, "Losses and Impulse Response of a Parabolic Index Fiber with Random Bends." B.S.T.J. vol. 52, No. 8, Oct. (1973)
- [4] J.P. Dakin, "Multiplexed and Distributed Optical Fiber Sensor System." J. Phys. E. Sci., Instrum. 20 (1987)