

논문 2009-461E-2-4

## 광섬유의 굴절율 특성

### (Refractive Index Characteristics of Optical Fiber)

육재호\*

(Jae Ho YUK)

#### 요약

에칭법을 이용하여 광섬유 굴절율 센서를 제작하였으며 그의 굴절율 특성을 연구하였다. 굴절율 1.453-1.46 영역에서 우수한 감도를 나타내었으며 측정파장에 의해 동작점이 이동되었다. 클래딩 두께가 감소할 수록 센서의 감도가 증가하였으며, 감도는 열에 안정된 특성을 나타내었다. 그리고 굴절율의 증감에 따른 히스테리시스가 거의 나타나지 않았다.

#### Abstract

The optical fiber refractive index sensors were fabricated using etching method and their refractive index characteristics have been investigated. Good sensitivity was shown at the region of 1.452-1.46 refractive index and operating point was shifted by wavelength. The sensitivity of sensor increased with decreasing cladding thickness and was stable with heat treatment. The hysteresis under cyclic refractive index changes was negligible.

**Keywords:** Optical fiber, Refractive index sensor, Sensitivity, Hysteresis

#### I. 서론

광섬유 센서란 광섬유에 가해지는 외부 물리량에 따라 광섬유 속을 진행하는 빛의 세기, 위상, 편광 등의 변화를 이용하여 외부 물리량의 변화를 측정하는 소자이다. 광섬유는 지름이 백-수백  $\mu\text{m}$  정도의 실리카 또는 플라스틱으로 만들어지며 광섬유 속으로 들어간 빛은 전반사 원리에 의해 밖으로 빠져나오지 않고 광섬유를 따라 진행한다. 그리고 전송속도가 빠르고 신호의 간섭을 받지 않아 노이즈가 적다. 외부 물리량에는 전계, 자계, 온도, 습도, 압력, 회전, 화학물질의 농도, 수위, 기계적 움직임 등 거의 모든 종류의 물리량이 포함된다. 광섬유 센서가 다른 센서들에 비해 갖는 장점들은 먼저 광섬유는 실리카 또는 플라스틱으로 만들어 지기 때문에 전도체가 포함되어 있지 않다. 따라서 전자파

장애에 의한 잡음이 없고 전기적인 접지, 누전, 감전 등의 염려가 없다. 그리고 크기가 작고 가벼워 초소형화가 가능하며 광 손실이 거의 없고 신호의 전송속도가 빨라 수십 km 떨어진 원격 측정이 가능하다. 이러한 장점들로 인하여 여러 분야에 널리 이용되고 있다. 예를 들어 전자파 장애가 많은 발전소, 변전소, 원격조정이 필요한 핵발전소, 초소형, 초경량이 필요한 항공, 의학, 화학분야 등에 쓰인다. 광섬유를 이용한 센서에는 굴절율 센서, 온도센서, 습도센서, 전계센서, 액체레벨센서 등 여러 센서가 있다.

굴절율 센서란 굴절율의 변화를 전기적 신호로 변환하는 소자로서 물질의 밀도, PH, 산도(Acidity), 농도 등을 측정하며 산업현장의 생산 공정, 품질 관리 등에 널리 쓰인다.<sup>[1]</sup> 특히 광섬유를 이용한 굴절율 센서는 전자파 영향을 받지 않고 원격조정이 가능하여 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 광섬유를 이용하여 굴절율 센서를 제작하였으며 굴절율 변화에 따른 광전력 전송의 변화 특성을 연구하였

\* 정회원, 유한대학

(Yuhan University)

접수일자: 2009년4월20일, 수정완료일: 2009년6월10일

다. 센서 감지부는 광섬유 클래딩(cladding)의 일부를 얇게 하여 만들었다. 그간 폴리싱에 의해 클래딩을 깎아내는 방식에 의해 센서를 제작한 몇몇의 연구가 발표되었다.<sup>[2-4]</sup> 그러나 제작 방법이 까다롭고 정밀도가 떨어졌다. 본 연구에서는 위의 단점을 극복할 수 있는 에칭방법을 이용하였고 에칭이 용이한 클래딩 단면이 D의 형태를 지닌 광섬유를 이용하였다.

## II. 본 론

### 1. 굴절율에 따른 광전력 전송 특성

측정 파장에 따른 굴절율에 대한 광전력 전송 특성을 그림 1에 나타내었다. 광섬유 코아의 굴절율( $n_{co}$ )은 클래딩 굴절율( $n_{cl}$ )보다 크다. 그리고 코아의 유효 굴절율( $n_{eff}$ )은  $n_{co}$ 와  $n_{cl}$ 의 사이에 있다. 외부 물질의 굴절율( $n_{ext}$ )가 유효 굴절율( $n_{eff}$ )과 같거나 클 때 광섬유를 통과하는 빛은 코아 밖으로 방출하게 된다. 광전력 전송( $T_p$ )은 다음과 같이 나타낸다. 여기서  $P_{in}$ 은 입력,  $P_{out}$ 은 출력을 나타낸다.

$$T_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (1)$$

그리고 센서의 감도(resolution)  $\Delta n$ 은 다음과 같이 나타낸다.

$$\Delta n = \Delta T_p \left( \frac{\partial T_p}{\partial n_s} \right)^{-1} \quad (2)$$

여기서  $\Delta T_p$ 는  $T_p$ 의 측정오차를 나타낸다.

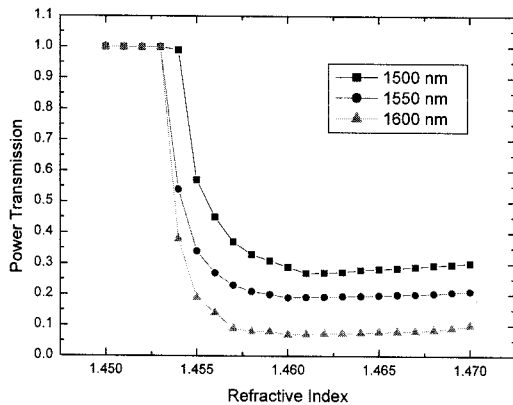


그림 1. 파장에 따른 굴절율에 대한 전력전송 특성  
Fig. 1. Power transmission vs. refractive index characteristics as a function of wavelength.

결과에서 보면 굴절율 1.453-1.46 영역에서 굴절율 변화에 따른 광전력 전송의 기울기가 급격히 변화하는 우수한 감도(resolution)를 나타내었다. 그리고 측정 파장이 증가함에 따라 동작 포인트가 좌측으로 이동함을 알 수 있다.

### 2. 클래딩 두께의 영향

그림 5의 클래딩 두께  $d$ 의 변화에 따른 광전력 전송-굴절율 특성을 그림 2에 나타내었다. 클래딩 두께가 감소함에 따라 굴절율 증가에 따른 광전력전송 변화의 기울기가 커짐을 알 수 있다. 즉, 클래딩 두께가 감소할수록 센서의 감도(resolution)가 좋아짐을 알 수 있다. 이는 클래딩 두께가 얇을수록 광섬유 속을 통과하는 빛의 손실이 커짐에 기인한다.<sup>[5]</sup>

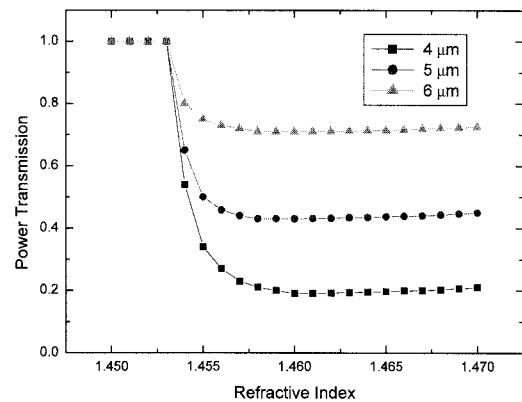


그림 2. 클래딩 두께에 따른 굴절율에 대한 전력 전송 특성  
Fig. 2. Power transmission vs. refractive index characteristics as a function of cladding thickness.

### 3. 열처리 영향 및 히스테리시스 특성

제작한 센서를 200°C에서 1시간 열처리 한 후 굴절율 변화에 따른 광전력전송 특성을 그림 3에 나타내었으며 굴절율의 증가 및 감소에 따른 광전력 전송 변화의 히스테리시스 특성을 그림 4에 나타내었다. 그림 3에서 보면 열처리에 따른 특성 변화가 거의 나타나지 않는 열에 안정된 특성을 나타내었다. 그리고 그림 4에서 굴절율 증감에 따른 광전력 전송의 히스테리시스가 거의 나타나지 않았다.

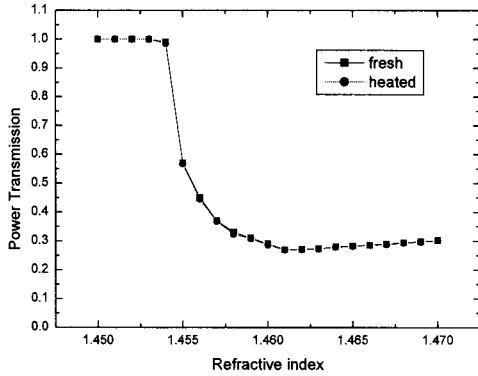


그림 3. 열처리 효과  
Fig. 3. Heat treatment effects.

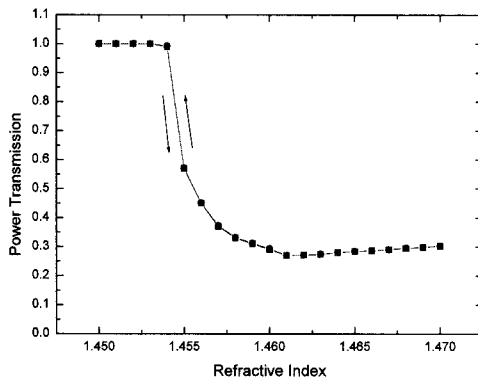


그림 4. 히스테리시스 특성  
Fig. 4. Hysteresis Characteristics.

### III. 실험

광섬유를 지나는 빛은 내부의 전반사 원리에 의해 손실 없이 진행한다. 따라서 센서로 이용하기 위해서는 광섬유의 일부를 얇게 만들어 이 부분에 접촉하는 외부 물질에 의해 광전력 손실을 발생시켜야 한다. 보통 외부 물질의 굴절률( $n_{ext}$ )이 광섬유의 굴절률( $n_{eff}$ )보다 클 때 빛이 밖으로 새어나가 광전력 손실이 발생한다.

본 실험에서는 에칭방법을 이용하여 광섬유(205170-1550S, KVH)의 클래딩(Cladding)일부를 얇게 제작하여 센서 감지부를 제작하였다. 먼저 광섬유의 자켓(Jacket)을 1 cm 정도 벗겨내어 클래딩을 노출시킨다. 그 다음 이 부분을 아세톤에 20분 정도 담가 자켓과 클래딩 사이에 있는 윤활유를 세척한다. 그리고 10% Hydrogen Fluorine(HF) 용액에 3시간 담구어 클래딩을 에칭한다. 이때 자켓은 HF 영향을 받지 않아 노출된 클래딩만 에

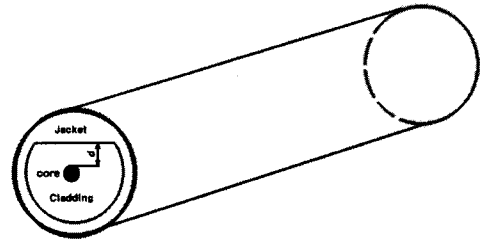


그림 5. D-광섬유의 구조  
Fig. 5. The Structure of D-Optical fiber.

칭되어 얇게 된다. 그 다음 에칭된 클래딩을 10분 정도 증류수에 담가 세척하였다. 이렇게 제작한 센서 감지부를 오일에 담구어 오일의 굴절률 변화에 따른 광전력 전송 특성을 측정하였다. 굴절률 변화는 오일의 온도를 변화시킴으로써 1.450 에서 1.50 까지 얻었다. 이때 사용된 오일은 25°C에서 굴절률  $1.4710 \pm 0.0005$ , 열광계수 (thermo-optic coefficient)  $-3.83 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$  의 값을 가진다. 오일온도에 따른 굴절률 변화는 아래 (3)식을 이용하여 계산하였다.

$$n(T) = n_{25} + A(T - 25^{\circ}\text{C}) \quad (3)$$

$n_{25}$ : 25°C에서 오일의 굴절률

A: 오일의 열광계수

광원인 레이저 소스는 Hewlett Packard(HP) 81612A를 이용하였고, 분광제어기(Polarization controller)는 HP 11896A를 이용하였다. 광전력 전송(Optic power transmission)은 HP 8164A를 이용하여 측정하였다.

### IV. 결론

광섬유 센서는 전자파에 영향을 받지 않고 신호 전송 손실이 거의 없어 원격조정이 가능한 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 클래딩의 단면이 D 형태를 지닌 광섬유 굴절률 센서를 제작하였으며 그의 굴절률 특성을 연구하였다. 센서의 감지부는 제작이 까다로운 폴리싱(Polishing)법을 대신해 10% HF 용액을 이용한 에칭법을 이용하였다. 굴절률 1.453-1.46 영역에서 우수한 감도를 나타내었으며 측정과장이 증가함에 따라 동작점이 좌측으로 이동되었다. 클래딩 두께가 감소할수록 굴절률에 대한 광전력 전송 변화의 기울기가 컸다. 즉, 클래딩 두께가 얇을수록 센서의 감도가 증가하며

이는 얇아진 클래딩 부분을 통해 빛이 쉽게 빠져나오기 때문이다. 열처리에도 굴절율 특성이 변하지 않는 열에 안정된 특성을 나타내며 굴절율의 증감에 히스테리시스가 거의 나타나지 않았다

### 참 고 문 헌

- [1] J. Villatoro, D. Monzon Hernandez, "Low-cost optical fiber refractive index sensor based on core diameter mismatch," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 24, no. 3, pp. 1409-1413, March 2006.
- [2] A. Alvarez-Herrero, "High Sensitivity Temperature Sensor Based on Overlay on Side-Polished Fibers," *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 12, No. 8, pp. 1043-1045, August 2000.
- [3] J. Senosiain, "High Sensitivity Temperature Sensor Based on Side-Polished Optical Fiber," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 50, No. 6, pp. 1656-1660, December 2001.
- [4] Shiao-Mim Tseng and Chin-Lin Chen, "Side-Polished Fibers," *Applied Optics*, Vol. 31, No. 18, pp.3438-3447, June 1992.
- [5] M. Sherif, L Bansal and J. Yuan, "Fiber Optic Sensors for Detection of Toxic and Biological Threats," *MDPI Sensors*, ISSN 1424-8220, No. 7, pp. 3100-3118, 2007.

### 저 자 소 개



육 재 호(정회원)

1985년 인하대학교 전기공학과  
학사 졸업

1989년 인하대학교 전기공학과  
석사 졸업

1993년 인하대학교 전기공학과  
박사 졸업

<주관심분야: 센서, 반도체>