

## 측면 연마된 광섬유를 이용한 광섬유형 마흐-젠더 간섭계 센서 제작

김준형, 신은수\*, 김광택\*, 이현용  
 전남대학교, 호남대학교\*

### The Fabrications of Fiber Optical Mach-Zehnder Interferometer Sensor Using Side Polished Fiber

Jun-Hyong Kim, Eun-Soo Shin\*, Kwang-Taek Kim\*, Hyun-Yong Lee  
 Chonnam Univ., Honam Univ.\*

**Abstract :** 광-바이오센서로 이용하기 위해 광섬유 형태의 마흐-젠더 간섭계와 측면 연마된 광섬유를 결합한 구조를 제안하였고, 이를 제작 및 특성 평가하였다. 마흐-젠더 간섭계 구성은 1310nm와 1550nm 파장에서 광 파워 분기비가 50:50인 2×2 광커플러 2개를 제작하여 구성하였으며, 센서부로는 측면 연마한 광섬유를 이용하였다. 제작된 광섬유 형태의 마흐-젠더 간섭계 센서의 센서부 표면에 다양한 굴절을 용액에 이용하여 광학적 특성을 평가하였다.

**Key Words :** 광-바이오센서(Optical-biosensor), 마흐-젠더 간섭계(Mach-Zehnder Interferometer), 측면 연마 광섬유(Side Polished Fiber), 광커플러(Optical Coupler)

### 1. 서론

광섬유 센서는 광섬유에 가해지는 외부 물리량의 변화에 의해 광섬유 속을 진행하는 빛에 유도되는 여러 가지 특성 변화를 측정하게 된다. 이때 외부에서 가해지는 물리적인 신호는 온도, 압력, 전기장, 자기장, 회전, 화학물질의 농도, 기계적인 움직임 등이 해당된다. 마흐-젠더 간섭계 원리를 이용한 센서는 도파로 표면의 굴절을 변화를 측정하는데 매우 높은 감도를 갖는다. 마흐-젠더 간섭계(Mach-Zehnder Interferometer) 센서의 제작 방법으로는 평판형 도파로 형태와 광섬유 형태로 크게 나눌 수 있다.

평판형 도파로 형태의 마흐-젠더 간섭계 센서는 소형화와 집적화가 가능하고 대량 양산성에 유리한 반면, 제작 공정이 난해하며 제조 설비 부문에서 초기 투자가 많이 소요되는 단점이 있다.

광섬유 형태의 마흐-젠더 간섭계 센서는 광커플러(Optical Coupler)를 다단 접속해야 하고, 소자의 크기가 상대적으로 크며, 환경특성에 대해 검증이 되지 않아 이를 보완하는 연구가 진행되고 있다. 그러나 생산설비, 부품 구성면에서 유리하고 가격 경쟁력과 공정이 간단하며, 광섬유만으로 제작이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 광섬유를 이용하여 마흐-젠더 간섭계를 구성하고, 센서부에는 측면 연마된 광섬유(Side Polished Fiber)를 적용하여 광-바이오센서(Optical-biosensor)로 사용하기 위한 마흐-젠더 간섭계 구조를 제안하였다. 그리고 제안한 구조의 마흐-젠더 간섭계 센서를 제작하고, 특성을 평가하였다.

### 2. 실험

마흐-젠더 간섭계 센서의 구성은 그림 1과 같이 광커플러 2개와 측면 연마된 광섬유, 그리고 광원과 광 검출기로 구성하였다.

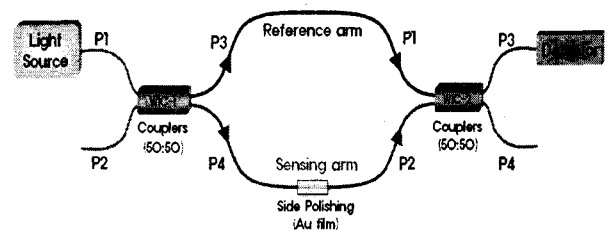


그림 1. 마흐-젠더 간섭계 센서의 구성도.

각각의 구성 소자를 살펴보면 광원으로는 백색광원(White Light Source)을 광 검출기로는 광 스펙트럼 분석기(Optical Spectrum Analyzer)를 이용하였다.

광커플러는 광섬유를 용융 인장하여 1310nm와 1550nm 파장에서 광 파워 분기비가 50:50인 파장에 무의존하는 광커플러를 제작하였다. 그림 2에는 제작된 광커플러의 입력부와 출력부에 따른 광학적 특성을 나타내었다.

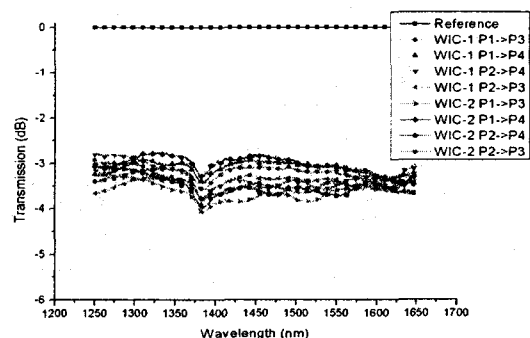


그림 2. 광커플러의 광학적 특성.

센서부로 이용하기 위한 측면 연마된 광섬유는 25cm 곡률반경을 갖도록 퀴츠 블록에 홈을 내고, 그 홈에 광섬유를 에폭시 수지로 정착한 후 연마하였다. 그림 3은 여러 가지 굴절을 용액에 따른 측면 연마된 광섬유 소자의 광

학적 특성을 측정된 그래프이다.

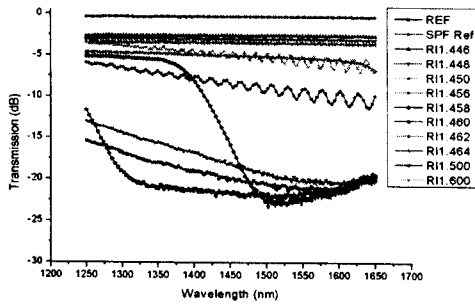


그림 3. 굴절을 용액에 따른 측면 연마 광섬유의 광학적 특성.

그림 4는 마흐-젠더 간섭계의 센싱부와 기준부의 두 경로 차에 의한 출력 신호의 변화를 측정된 결과이다.

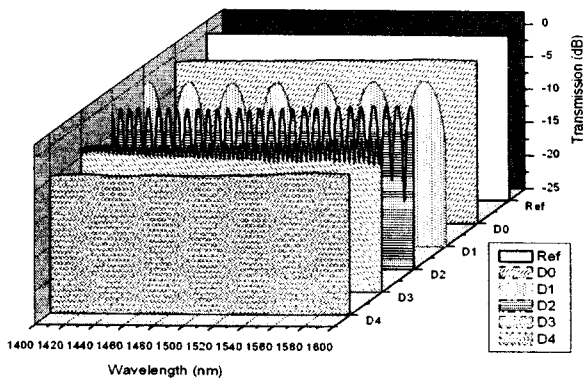


그림 4. 마흐-젠더 간섭계의 광경로차에 의한 광학적 특성.

### 3. 결과 및 고찰

마흐-젠더 간섭계 센서의 입력측에 입사된 광은 첫 번째 광커플러를 거치면서 50:50로 분기되어 각각 간섭계의 기준경로와 센싱을 위한 경로를 지난 후 합파되어 출력측 광섬유로 출력되는 구조를 갖는다. 마흐-젠더 간섭계의 센서부로 작용하는 한 경로는 광섬유의 측면을 연마하여 클래드를 제거하여 측정하고자 하는 물질을 접촉시켰을 때 굴절률과 같은 특성이 변하게 되면 이를 통해 전파하는 광은 다른 경로를 지나는 광과는 다른 위상 변화를 겪게 된다. 따라서 출력측 도파로에서 각각의 경로를 통한 광이 서로 간섭하게 되어 광의 세기는,

$$I \propto [1 + V \cos \Delta\Phi]$$

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} L \Delta n$$

가 되고, 이때  $\Delta\Phi$ 는 두 경로에서의 위상차,  $\lambda$ 는 빛의 파장,  $\Delta n$ 은 측정 물질에 따른 유효 굴절률의 변화,  $L$ 은 센서 부분의 길이를 의미한다. 따라서 마흐-젠더 간섭계를 통한 광을 측정함으로써, 측정하고자 하는 물질의 특성에 따른 유효 굴절률의 변화를 측정할 수 있다.

그림 5에서는 마흐-젠더 간섭계 센서에 다양한 굴절률

용액을 센서부에 떨어뜨렸을 때 굴절률 차이에 의한 측정 데이터를 나타내었다. 그 결과 굴절률의 변화에 따라 위상의 변화가 발생함을 알 수 있다.

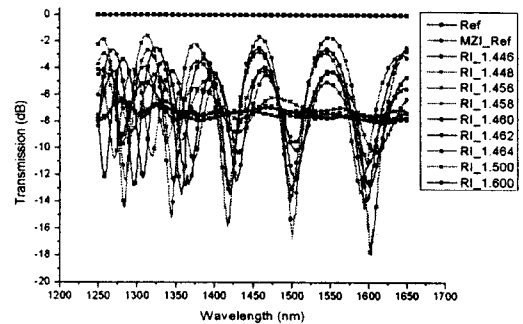


그림 5. 굴절을 용액의 변화에 따른 마흐-젠더 간섭계 센서의 광학적 특성.

단일모드 광섬유는 복굴절 재료인 실리카로 만들어지기 때문에 마흐-젠더 간섭계 센서가 주변 환경(온도 및 진동 등)에 매우 민감하므로 측정시 위상의 변화가 일어났다. 이러한 문제는 차후에 패키징의 보완이 필요하다.

### 4. 결론

본 연구에서는 광센서의 감도를 향상시키기 위한 광섬유로 구성된 마흐-젠더 간섭계와 측면 연마한 광섬유를 접촉시킨 센서의 구조를 제시하고, 이를 제작 및 특성 평가하였다. 제작된 마흐-젠더 간섭계 센서는 광이 센서부의 굴절을 용액에 따라 위상변화가 발생하여 광의 세기가 민감하게 변화함을 알 수 있었다. 그리고 마흐-젠더 간섭계 센서의 패키징을 잘 보완하면 고감도의 광-바이오센서로 응용이 가능할 것이라 생각된다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-03-03) 지원으로 수행되었음.

### 참고 문헌

- [1] Qian, Wang, Sailing He, "Optimal design of planar wavelength circuits based on Mach-Zehnder Interferometers and their cascaded forms", IEEE JNL, Vol. 23, No. 3, p. 1284, 2005.
- [2] Culshaw B, "Fiber optics in sensing and measurement", IEEE, Journal of selected topics in quantum electronics, Vol. 6, No. 6, p. 1014, 2000.
- [3] F. S. Ligler and C. A. Rowe Taitt, "Optical Biosensors: Present and Future", Elsevier, p. 207, 2002.
- [4] 김광택, 황보승, 강용철, "측면 연마 편광 유지 광섬유와 평면 도파로 사이의 소산장 결합을 이용한 광 센서", 센서학회지, 제13권 제3호, p. 207, 2004.