



광섬유 센서의 개요

김수길 <호서대학교 공과대학 디지털제어공학과 교수>

1. 광섬유

광섬유 분야는 지난 25년간에 걸쳐 굉장히 큰 성장과 진보를 이루었다. 초기에 광섬유는 의료 내시경 응용분야에서 빛과 영상을 전송하는 매개체로 인식되었지만 1960년대 중반에는 원거리 통신을 위한 정보전송 매개체로 사용할 수 있음을 알았다. 그 이후에 광섬유 기술은 오늘날 광통신 시스템이 방대한 데이터와 정보를 전송하는 가장 바람직한 방법이 되었다는 점에서 중요한 연구개발의 주제가 되었다. 광섬유가 매력적인 이유는 손실이 작고, 고대역폭을 가지고 있으며, EMI에 무관하고, 크기가 작으며, 안전성이 높고, 상대적으로 비용이 저렴하고, 유지보수비용이 낮기 때문이다.

이 기술의 중심에는 광섬유가 존재한다. 광섬유는 크게 단일모드(single mode)와 다중모드(multimode) 광섬유 두 가지로 분류할 수 있으며, 일반적인 광섬유의 구조는 그림 1 (a)와 같이 코어, 클래딩, 코팅 세 부분으로 구분할 수 있다. 광의 대부분이 지나가는 중앙부분은 코어(core)라고 부른다. 코어를 둘러싸고 있는 부분은 클래딩이며, 코어보다 낮은 굴절률을 가지고 있다. 그림 1 (b)에서 보는 바와 같이 광은 코어내에 가두어져서 클래딩과의 경계면에서 반사되면서 광섬유를 따라 진행한다. 이러한 효과를 전반사라고 부른다.

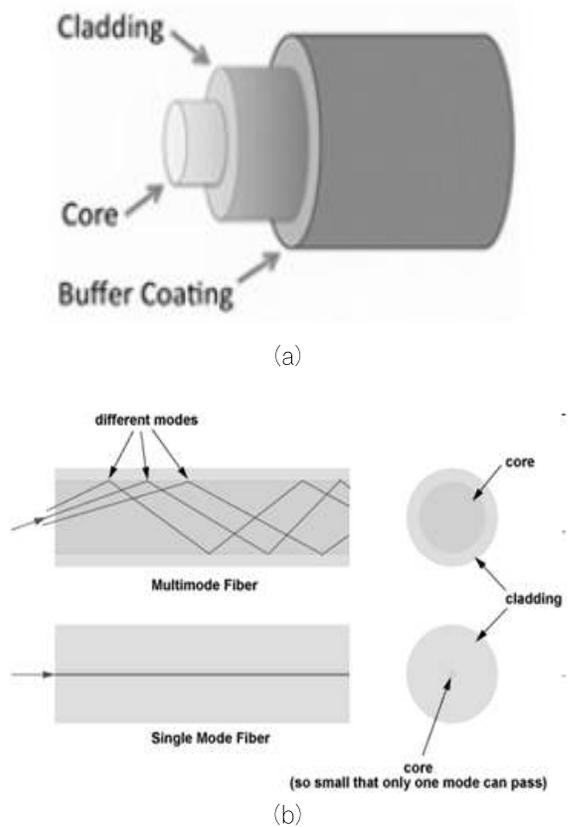


그림 1. 광섬유의 구조(1)

본 원고에서는 광섬유 센서의 기본적인 구조와 동작원리, 그리고 적용가능한 분야에 대하여 개괄적으로 이야기를 해 보고자 한다.

2. 광섬유 센서의 동작원리

광섬유는 감지, 제어 및 계측장비의 응용분야에서 매우 매력적이다. 이러한 분야에서 광섬유는 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 광섬유를 이용한 감지 시스템은 그림 2와 같이 기본적으로 광원, 광섬유-감지부 또는 변환기와 검출기로 구성된다. 측정원리는

그림에서처럼 광원에서 나온 빛이 광섬유를 통해서 측정대상 영역으로 진행하고 빛은 측정대상영역을 통과하면서 물리량의 변화를 반영한다. 이 변화가 포함된 빛을 검출기로 검출하고 분석함으로써 여러 가지의 물리량을 측정하는 것이 가능하다.

광섬유 센서는 그림 3에서와 같이 변환이 광섬유 내에서 직접 일어나는 경우와 변환이 외부 변환기에

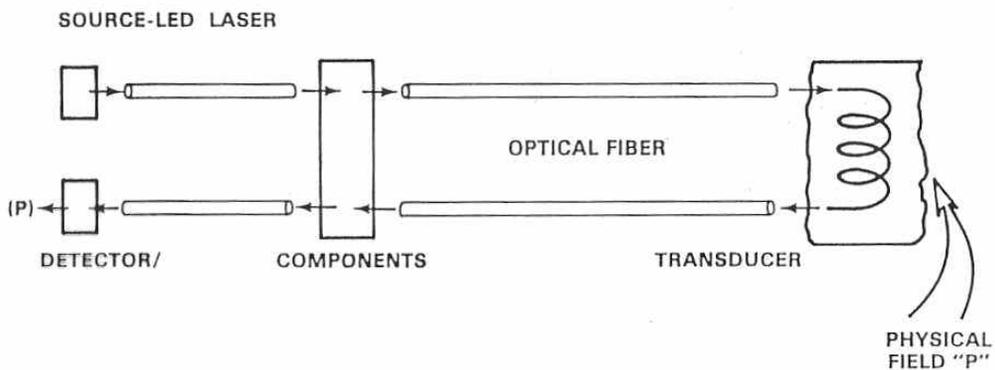


그림 2. 광섬유 감지 시스템의 기본 구성(2)

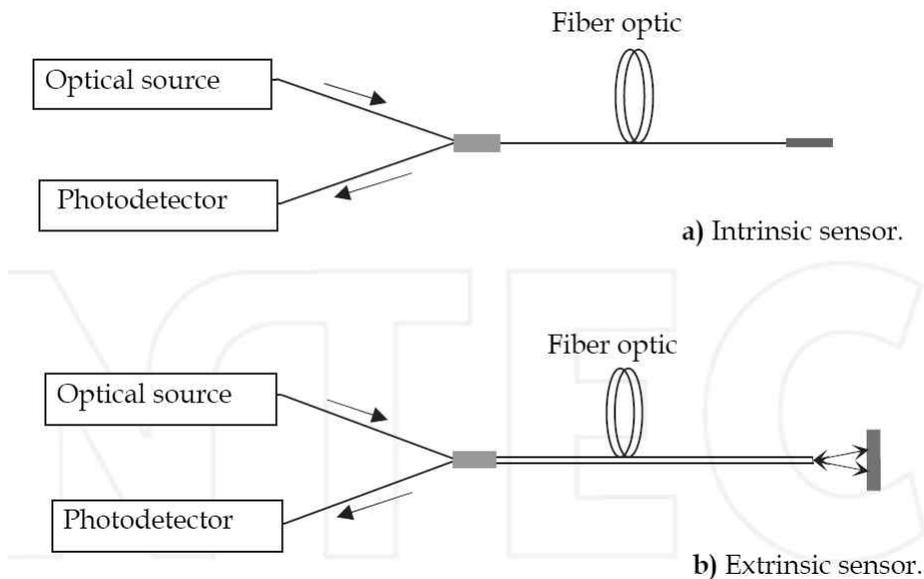


그림 3. 광섬유 센서의 분류(2)

의해 수행되는 두가지가 있으며, 또한, 이러한 두가지가 혼합된 하이브리드 타입이 있다.

광섬유 센서의 핵심적인 속성들은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 절대량의 측정
- EMI에 무관함.
- 뛰어난 해상도와 측정범위
- 수동적인 동작과 기본적으로 안전함.
- 방수성 및 내식성
- 강건하고 크기가 작고 경량
- 채널당 적절한 비용

3. 광섬유 브래그 격자 (Fiber Bragg Gratings)

광섬유 브래그 격자(FBG)는 지난 몇 년 동안에 파장분할 다중화를 위한 장거리 전송 산업, 분산 보상, 레이저 안정화, 그리고 어븀첨가 광증폭기의 이득평탄화에 널리 사용되어 왔다. 또한, FBG는 스트레인, 압력 및 온도감지 뿐만 아니라 토목구조물(고속도로, 다리, 건물, 댐 등), 원거리 감지(유전, 전력 케이블,

파이프라인, 우주 정거장 등), 스마트 구조물(비행기 날개, 선체, 건물, 스포츠 용품 등)의 모니터링을 포함한 다양한 분야에 걸쳐서 이용되고 있다. 물리량을 감지하는데 있어서 FBG의 주요한 장점은 광의 레벨, 커넥터 또는 광손실에 관계없이 감지된 변수를 광의 파장으로 직접적인 변환을 수행한다는 것이다.

FBG는 광섬유의 코어 내부에 주기적인 굴절률 구조를 가진 파장의존 필터/반사기이다. 광대역 스펙트럼을 가진 빛이 격자에 들어가면 그림 4에서처럼 어떤 파장의 빛은 격자를 투과하고 어떤 파장의 빛은 반사된다. 반사된 광신호는 폭이 매우 좁고 중심파장이 격자의 간격 Λ 의 2배에 대응하는 Bragg 파장이다.

스트레인이나 온도변화에 의해 생기는 광섬유 격자의 간격에 생기는 변화는 그림 5와 같이 Bragg 중심 파장의 천이로 나타나게 된다. 그림에서 보는 바와 같이 스트레인이 가해지지 않은 경우에 반사스펙트럼은 그린계열이 주된 파장이고, 스트레인이 가해져서 격자의 주기가 커지게 되면 격자에서 반사되는 파장은 장파장쪽으로 이동하게 된다. 그림에서는 그린보다 장파장인 레드계열의 빛이 반사스펙트럼의 주된 파장을 알 수 있다.

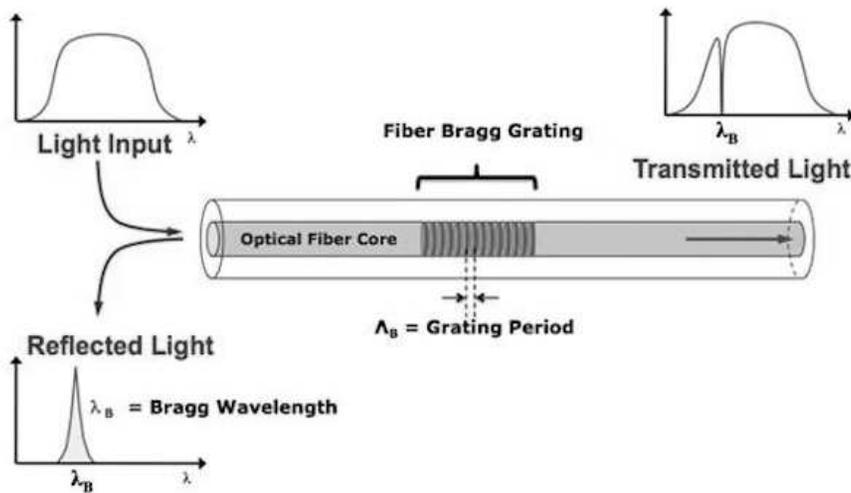


그림 4. 광섬유 Bragg 격자의 투과 및 반사 스펙트럼[3]

스트레인은 FBG 센서를 대상물체에 설치하거나 내장함으로써 측정할 수 있다. 이 기술의 장점중의 하나는 검출된 신호가 스펙트럼으로 암호화되기 때문에 광섬유에서의 투과손실은 문제가 되지 않는다.

FBG 제작을 위한 전형적인 방법들은 그림 6과 같다. 위상 마스크를 이용하여 만들 경우에는 레이저 빔을 위상 마스크를 통하여 광섬유를 조명한다. 이 마스크는 톱니모양의 이진 격자이고 대부분의 입사 UV 레이저 에너지가 ±1차회절 성분으로 회절되도

록 최적화되어 있다. 0차와 고차 회절되는 부분의 에너지는 최소화하도록 만들어져 있다. ±1차회절 차수의 빛의 간섭이 코어에서의 굴절률 변화를 일으켜 격자를 만들게 된다. 홀로그래피 기술을 이용하는 경우에는 UV레이저 광을 두 개의 광으로 분리시켜 이 두 개의 광이 광섬유의 코어쪽에 초점이 맺히도록 한다. 그러면 두 광의 간섭에 의해 싱글모드 광섬유 코어내에서 굴절률의 변화가 일어나고 격자가 생성이 된다.

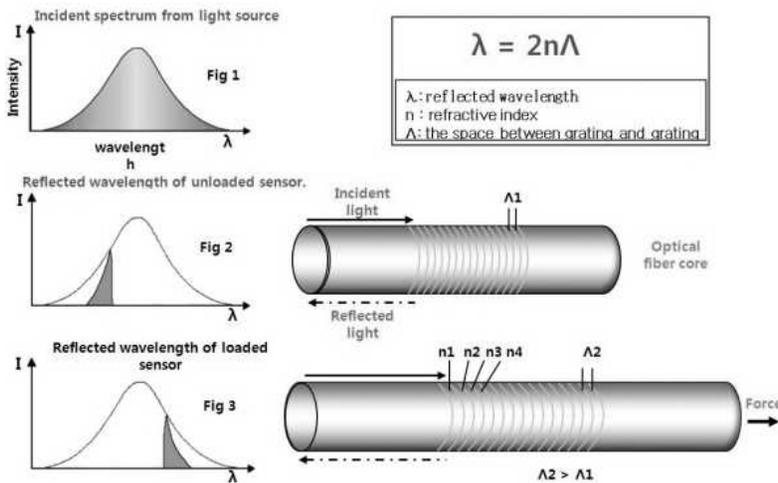


그림 5. 스트레인의 변화로 생기는 반사스펙트럼의 중심파장 이동(4)

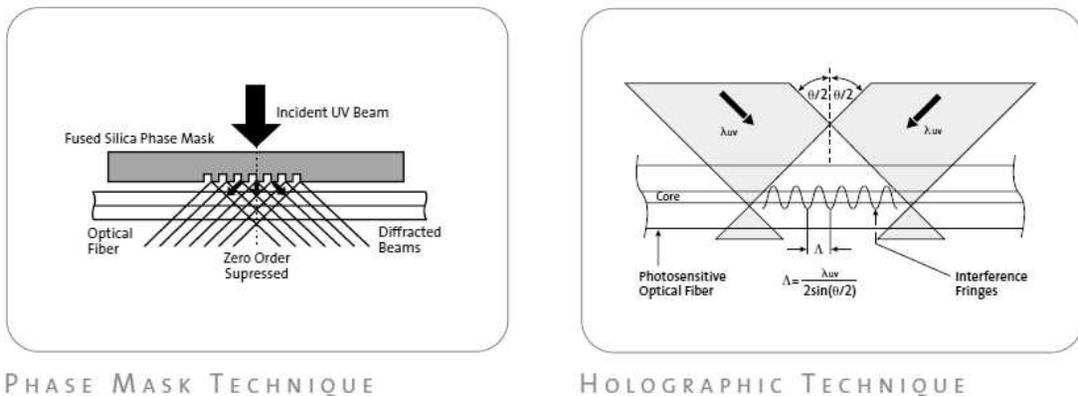


그림 6. FBG의 제작방법(5)

3.1 파장분할 다중화(WDM)

FBG 소자는 격자가 특정파장에서 기록되기 때문에 다중화 네트워크에 이상적으로 적합한데, 각 출력 신호는 파장으로 부호화되기 때문에 FBG 소자는 파장분할 다중화 기술에 적합하다.

그림 7에서 입력 스펙트럼이 각 격자에서 반사되는데, 각 격자는 특정파장을 반사시키도록 되어 있기 때문에 반사되는 파장의 천이정도를 측정하면 측정위치

에서의 물리량을 측정하는 것이 가능하다.

3.2 시간분할다중화(TDM)

정보를 얻을 수 있는 광섬유당 센서의 개수를 더 증가시키기 위해서는 WDM과 결합하여 시간분할 다중화를 사용함으로써 가능하다. 이러한 구조는 그림 8과 같다.

이 접근법에서 광원의 스펙트럼은 시간적으로

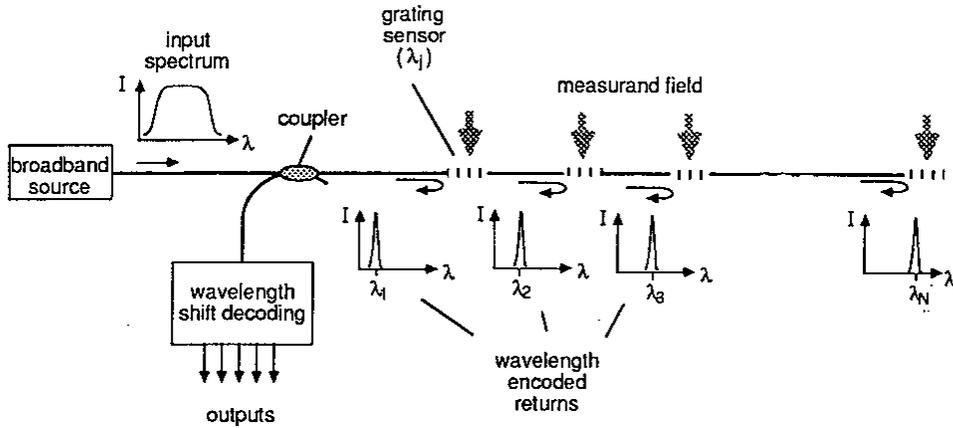


그림 7. FBG 어레이를 이용한 WDM[2]

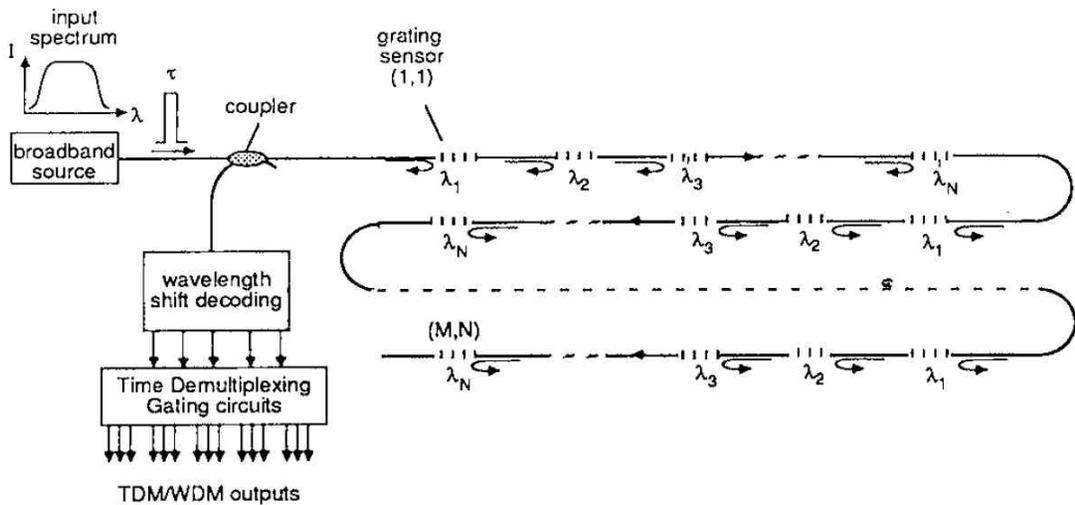


그림 8. FBG 어레이를 이용한 시간분할 WDM[2]

FBG의 분리된 그룹들을 스캔하기 위해서 다중화된 시간을 이용한다. 광대역 광원의 빛에서 짧은 주기의 펄스가 이 시스템으로 보내진다면 배열에 있는 모든 지점에 위치한 FBG에서의 반사는 검출기에서 FBG가 멀리 있는 정도에 따라 검출기로 오는 시간이 많이 걸리게 될 것이다. 거리에 따라 반사되는 파장의 천이 정도를 분석함으로써 물리량에 대한 계측을 하는 것이 가능하다.

FBG 센서는 내구성, 신뢰성, 방폭성이 우수하고, EMI에 무관하고 극저온이나 고온에서도 사용이 가능하므로 고압전력구내에서의 계측이나 거대 구조물의 계측, 고온이나 저온이나 습한 환경, 수중에서의 계측이 가능하다.

4. 결 론

광섬유를 이용한 광센서의 기본적인 구조와 동작원리에 대하여 설명하였다. 그리고 FBG의 제작방법과 FBG를 이용한 WDM과 TDM에 대한 구조와 동작 및 응용분야에 대하여 간단히 설명하였다. 이러한 광섬유 센서는 비접촉 및 접촉진단 분야에서의 광범위한 응용이 가능하리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] <http://www.sens-era.eu/moodle/mod/resource/view.php?id=26>
- [2] http://www.micronoptics.com/uploads/documents/Updated_Optical_Fiber_Sensors_Guide_130529.pdf
- [3] <http://www.edn.com/design/test-and-measurement/4400423/How-optical-sensing-solves-the-toughest-sensing-challenges>
- [4] <http://www.fbg.co.kr/eng/subs/sub0201.php>
- [5] <http://coherent.com/downloads/FBGBrochure.pdf>

◇ 저 자 소 개 ◇



김수길 (金秀吉)

1988년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1991년 2월 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 2월 서울대학교 대학원 전기공학부 졸업(박사). 1997년 4월~8월 공학연구소 특별연구원. 1997년~현재 호서대학교 공과대학 디지털 제어공학과 교수.

주관심분야 : 홀로그래픽 메모리, 3차원 디스플레이, 광센서