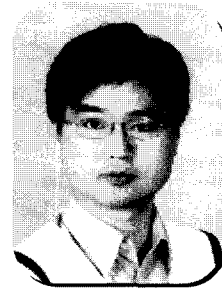


광섬유 센서 기술 동향



김왕기
한국광기술원
선임연구원



류우찬
한국광기술원
연구원

1. 서론

광섬유가 개발되기 전부터 빛을 이용해서 물리량을 측정하는 방법이 많이 개발되었지만, 대용량의 정보처리 능력과 빠른 속도를 요구하는 현대 사회에서 빛의 역할은 그 어느 때보다 중요하다. 1970년 Corning에서 비교적 손실이 적은 광섬유 개발에 성공한 이후 광섬유를 센서로 사용하는 연구가 많이 이루어져 왔다. 광섬유 센서는 전자기 간섭(Electromagnetic interference; EMI)에 영향을 받지 않고, 고속측정, 유연성, 다중점, 고 신뢰도 측정 및 데이터 전송이 가능하다. 뿐만 아니라 가격대가 낮고 소형 경량이며 설치가 쉽기 때문에 보통의 다른 센서가 사용될 수 없는 특수한 장소나 높은 감도를 요구하는 특수 목적에 효과적으로 사용할 수 있다.

선진국에서도 광센서의 응용 개발이 일부에 한정되어 있고 아직까지 잠재된 수요 시장이 무수히 많다. 특히 광전자소자(Opto-electronics)의 발전에 의해 광소자가 공업용이나 가전용 전자기기 속에 깊이 연관되어 있다. 광섬유 센서는 기존 센서로는 측정이 불가능하거나 시스템의 성능과 안전성이 필요한 군수사업, 항공산업, 의료용 및 자원탐사에 이용할 수 있다. 이 분야에서 실제로 적용되고 있는 것은 자이

로스코프, 수중음향 센서, 내시경 등이 대표적이다. 또한 광섬유 센서는 빌딩 교량, 화재 감시 및 파이프라인 누설 감지 등 광범위한 분포측정에도 효율적으로 쓰이기도 한다. 이는 도시 가스, 상수도관 등 주요 시설의 이상 유무를 쉽게 판별할 수 있다.

이러한 장점에도 불구하고 광섬유 센서는 아직 일반화되지 못하고 있는데, 이는 일부 고기능 시스템의 가격이 비싸고, 기술적인 신뢰성이 확보되지 못했기 때문이다. 광섬유 센서의 상용화는 현재, 통신시장으로 집중된 기술과 자본이 광섬유 센서 개발로 이전되어지면 광섬유 센서는 한 개의 광학구성으로 다수의 센서를 동시에 구동할 수 있어 비싼 센서 시스템에 대한 보안이 이루어지고 이에 따라 광범위한 광섬유 센서 시장이 창출될 것으로 보인다.

2. 광섬유 센서의 개념과 원리

2.1 광섬유 센서의 개념

광섬유 센서는 광섬유 자체의 물리적 변화에 기초하여 센서에 가해진 물리량을 측정하기 때문에 한 가지 형태의 물리량을 측정하는 기존의 전기저항식 센서에 비하여 적용 및 응용기법에 따라 다양한 물리량의 측정이 가능하다는 장점이 있다. 또한



광섬유 자체가 전송선의 역할을 담당하기 때문에 응용방법에 따라 하나의 단일 광섬유를 이용하여 여러 부위에서의 측정이 가능하며, 이 광섬유는 전자기 간섭이나 온도와 같은 외부환경에 영향을 받지 않는다.

광섬유 센서는 종래의 전기식 센서의 개념과는 다소 다르며 단순히 센싱 소자로서의 기능뿐 아니라 그대로 계측신호의 정보전송로 기능과 광에서 전기, 전기에서 광신호 등으로 신호변환 기능을 가지고 있으므로 오히려 광섬유 응용계측 장치라고 해야 할 것이다. 이와 같은 광섬유 센서는 광 및 광섬유가 가지는 무유도성, 절연성, 안전방폭성 등의 특성을 가진 계측기를 구성할 수 있고 마이컴, 미니컴으로 대표되는 전자기술과의 적합성에도 우수하다.

그림 1에 이상적인 전광계측 제어 시스템의 개념도를 나타낸다. 장래에는 광 A/D변환, 광공간 병렬처리 등의 기능을 가진 광정보 처리 기술을 시작으로 광정보 저장 (광메모리), 광에너지 전송, 광액추에이터 기술 등이 개발되어 이미 광화가 진행되고 있는 광계측, 광전송 기술과 더불어 전광계측 시스템이 실현될 것으로 기대한다.

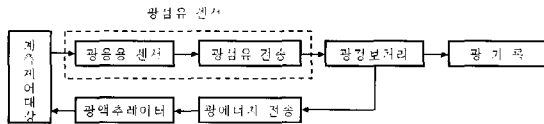


그림 1. 광응용 계측제어 시스템의 개념.

여기에서는 광섬유 센서를 광송신기, 광섬유전송로, 광수신기로 구분한다. 센서의 원리는 광송신기로부터 광을 광섬유를 통하여 전송하고 계측대상으로부터 여러 종류의 외력(물리량)에 의하여 전송된 광을 변조하며 변조된 광신호를 광수신기에서 전기신호로 변환하여 계측신호를 얻는 것이다.

2.2 광섬유 센서의 원리 및 구성

광신호를 전달하는 역할을 하는 광섬유는 광섬유의 구조를 나타낸 그림 2에서 광섬유 코어(Core)의 직경에 따라 단일모드 광섬유(Single-mode fiber,

SMF)와 다중모드 광섬유(Multi-mode fiber, MMF)의 두 가지로 분류할 수 있다.

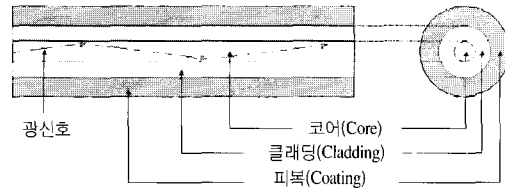


그림 1. 광섬유의 구조.

보통 광신호를 먼 거리까지 전송이 가능하고 넓은 대역폭(bandwidth)의 시스템에 사용하는 단일모드 광섬유(SMF)의 경우는 그 직경이 8~10 μm 이며, 근거리에서 사용하는 다중모드 광섬유(MMF)의 경우는 직경이 50 μm 이상이다.

코어의 겉을 감싸고 있는 클래딩(Cladding)의 직경은 125 μm 정도이며 코어 안에 광신호를 유지하면서 외부의 빛이 코어 안으로 들어오는 것을 방지하는 역할을 한다. 코어와 클래딩은 구성이 비슷한 유리로 되어 있으나 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 조금 크게 하여 일정한 입사각 이상에서 전반사가 일어나도록 약간의 차이를 두고 있다. 가장 바깥쪽의 층인 코팅(Coating)은 안 쪽의 유리를 보호하는 역할을 하며 그 성분은 보통 세라믹(Ceramic)이나 플라스틱(Plastic)이다. 광섬유 센서는 광섬유 이용법에 따라 계측기술의 원리와 구성 등을 표 1과 2에서와 같이 분류 할 수 있다.

3. 광섬유 센서의 기술 흐름

광섬유 센서는 외부에서 발생하는 물리적, 화학적, 생물적, 생화학적 또는 이와 비슷한 영향요소에 의한 변화를 광섬유 내의 빛의 신호로 전달하여 그 변화를 측정하는 것이라 할 수 있다. 광섬유 센서는 크게 세기형(intensimetric)센서와 간섭형(interferometric)센서로 나눌 수 있는데 세기형 센서는 광섬유가 끊어져 신호가 멈추는 위치를 추정하여 영향을 측정하는 단

표 1. 광섬유 계측기술의 원리와 분류.

분류	전송로형 센서(a)	픽업 프로브형 센서(b)	기능형 센서(c)
계측원리	<ul style="list-style-type: none"> • 광탄성 효과 • 전기광학 효과 • 자기광학 효과 • 광흡수 · 반사체 • 광로차단 	<ul style="list-style-type: none"> • 레이저 도플러 효과 • 발열체의 반사 • 이미지 광섬유 	<ul style="list-style-type: none"> • 간섭현상 • 마하젠더 간섭계 • 마이켈슨 간섭계 • 사그낙 간섭계 • 마이크로 밴드 손실
광의변조	광 강도	광 주파수 · 광 강도	광 위상 (광 강도)
구성예	<p>AlGaAs-LED, BS, SI, InGaAsP LED, Ge-APD, GaAs 광흡수체, 신호 처리기, SI멀티모드 광섬유, 광섬유 온도계</p>	<p>가스 레이저, 반도체 레이저, BS, GI 광섬유, APD, 신호 처리기, 조사광, 참조광, 산란광, 물체, V</p> <p>광섬유레이저 도플러속도계</p>	<p>반도체 레이저, BS, APD, 단일 모드 광섬유 루프, CW, CCW</p> <p>광섬유레이저 자이로</p>
센서재료	개별 광부품	광섬유	광섬유
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 구조가 간단 • 고 신뢰성 	<ul style="list-style-type: none"> • 비접촉 • 고감도 	<ul style="list-style-type: none"> • 초고감도

순한 방식이며 현재 많이 사용하지 않고 있다. 간섭형 센서는 일반적으로 단일모드 광섬유를 일반 게이지보다 높은 정밀도의 측정이 필요한 음향(Acoustic) 센서나 자기장(Magnetic field) 센서 등에 사용하기 위해서 개발되었다. 간섭형 센서는 마하젠더(Mach-Zehnder)형, 마이켈슨(Michelson)형, 패브리페로(Fabry-Perot)형 센서 등 그 종류가 많다.

이와 다른 형태로 최근 각광을 받고 있는 새로운 광센서가 개발되었는데, 광섬유격자(Fiber Bragg Grating; FBG)를 이용한 FBG 센서가 그것이다. 광섬유격자 센서에서 광섬유격자는 센서 헤드 혹은 센서 헤드로부터 반사된 파장을 읽어 정보를 추출하는 시스템(복조기: Demodulator)에 사용된다. 광섬유격자를 사용하는 센서 헤드의 대부분은 광섬유 브래그 격자를 사용한다. 광섬유 브래그 격자는 광섬유 코어의 굴절률을 주기적으로 변조하여 특정 파장(브래그 파장)의 빛을 반사시키는 광섬유 소자이다. 광섬유 브래그 격자의 종류와 스펙트럼을 그

림 3에 나타내었다.

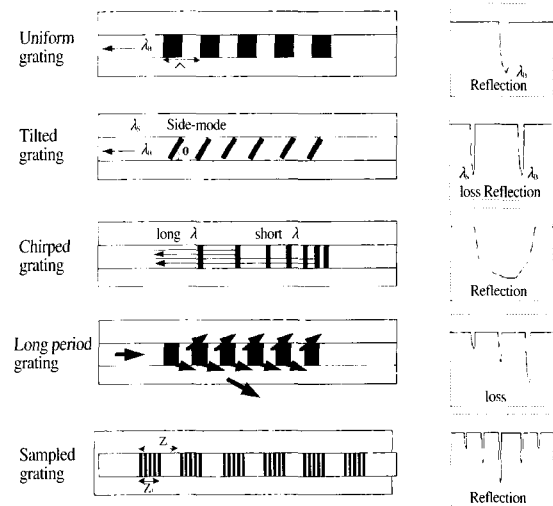


그림 3. 광섬유 격자 종류와 스펙트럼.



표 2. 광섬유 계측기술의 원리.

계측물리량	광의 변조	광 학 현 상	분류 ¹⁾	광섬유 ²⁾
전류 · 자계	편 위 광 상	패러데이 효과 간섭현상(자기 일그러짐)	a, c c	S, M S
전압 · 전계	편 위 광 상	포켈스 효과 간섭현상(전기 일그러짐 효과)	a c	M S
온 도	광 강 도	가림판에 의한 광로 차단	a	M
	광 강 도	반도체의 투과율 변화	a	M
	·스펙트럼	형광의 강도비	b	M
	편 광	발열체의 방사 복굴절 변화	b a	M M
각 속 도	위 상	사그낙 효과	c	S
속도 · 유속	주 파 수	도플러 효과	b	S, M
진 동 가 속 압 력	광 강 도	마이크로 밴드 손실 가림판에 의한 광로차단 다이어프램에 의한 반사강도 변화	c a a	M M M
	편 위 광 상	광탄성 효과 간섭현상 (광탄성 효과)	a c	M S
	주 파 수	도플러 효과	b	S, M

- 1) 분류는 표1의 a, b, c를 나타냄.
- 2) S는 단일모드 광섬유, M은 다중모드 광섬유.

3.1 간섭계를 이용한 광섬유 센서

구조물의 변형률을 측정하는데 광섬유 센서를 이용한 연구는 역사가 오래되지 않고 1970년대 말에 시작하여 1980년 중반부터 연구가 급속히 진행되고 있다. 마흐-젠더 간섭계는 감지선의 길이가 긴 장점이 있으나 기준선이 구조물 외부에 위치하고 감지선 전체가 구조물 내부에 삽입되므로 기준선에서 외란의 영향을 배제하기 어렵고 국부적인 변형률 측정이 어려운 단점을 가지고 있다. 마흐-젠더 간섭계의 국부적인 측정이 어려운 단점을 보완하기 위하여 광섬유 마이켈슨 간섭계가 개발되어 센서 시스템에 적용되어 광섬유 일방향 게이지 길이와 하중상태에 따른 감지도가 측정되었다. 광섬유 마이켈슨 센서는 마흐-젠더 간섭계에 비해 국부적인 변형률을 측정할 수 있는 장점이 있으나 마하젠더 간섭계와 마찬가지로 기준선과 감지선이 게이지 길이 이외에서도 외란의 영향을 받으므로 신호의 표류(drifting)현상이 발생하여 변형률 측정 시 오차를 수반할 가능성이 매우 높은 단점이 있다.

3.2 패브리-페로센서

80년대 후반에는 이와 같은 단점을 극복할 수 있는 패브리-페로 간섭계를 사용한 연구가 수행되어 광섬유에 내부 반사면을 갖는 패브리-페로 간섭계(IFPI)를 사용하여 변형률 및 온도를 측정할 수 있었다. 복합재료 내에 3개의 IFPI를 사용하여 로제트(rosette)를 구성하여 복합재 내부의 변형률을 측정하고 내부 반사면 연결 부분의 취약점을 보완하기 위하여 광섬유의 코어 부분에만 거울을 증착시키는 방법을 사용하였다. 그 이후 IFPI의 내부 부분반사 거울 부분 연결의 기계적 취약성을 보완하는 외부 패브리-페로 간섭계(EFPI)가 개발되었다. EFPI는 센서의 기계적 강도가 IFPI에 비해 우수하고 감지 부분의 광 매질이 광섬유가 아닌 공기이므로 센서의 변형 시 신호의 맥놀이(beatting) 현상이 없다. 또한 EFPI를 이용하여 온도, 압력 등 여러 물리량을 측정할 수 있는 센서 형태가 제안되기도 하였다. 그러나 이러한 패브리-페로를 이용한 광섬유 센서는 변형에 따른 빛의 위상차를 이용하여 변형률을 측

정하므로 감지 시점과 종점까지의 모든 데이터를 저장해야 하므로 실시간 모니터링에는 부적합하고 또한 동시에 여러 개의 센서를 사용하는 다중화(multiplexing) 구현의 어려움 등 많은 단점을 가지고 있다.

3.3 광섬유 브래그 격자 센서

앞에서 설명한 간섭계를 이용한 광섬유 센서의 단점들이 광섬유 브래그격자 소자를 센서로 활용하는 기술이 개발되면서 극복되었다. 광섬유격자 소자 기술은 구조물의 변형률 측정에 이용되었는데 광섬유격자 소자의 제작방법 개발과 함께 변형률 센서로 사용하기 위한 센서 시스템 개발에 관한 연구가 시작되었다. 광섬유 브래그격자 센서의 중심 파장의 변이를 감지하기 위하여 초창기에는 분광계(Spectrometer)와 같은 기구가 사용되었으나 이것이 상당히 큰 부피를 차지하고 충격과 진동 등에 매우 약하여 실제 현장에서 구조물의 측정에 부적합하고 신호 감지 속도가 매우 느린 단점이 있다. 그 이후 분광계가 가지는 단점들을 극복하고 광섬유 브래그 격자 센서의 출력 신호를 복조하기 위한 연구가 진행되었다. 광대역 광원(Broadband source)이 브래그 격자 센서들에 입사하여 각각의 중심파장에 따라 반사되어 돌아온 신호를 패브리-페로 필터로 복조하는 이 방법은 복조 속도가 빠르며 다점 측정이 가능한 센서 시스템의 초기 개발 모델이 되었다. 그러나 이 방법은 해상도가 낮은 단점이 있다.

그 이후로 마흐-젠더 간섭계를 이용하여 중심파장의 변이를 복조하여 복조 속도가 빠르고 해상도가 매우 높은 방법이 개발되었으나 이 방법을 다점 측정에 사용하기에는 복잡한 신호처리 과정이 필요한 단점이 있다. 또한 광섬유 브래그격자 자체를 필터로 이용하는 방법이 시도되었고, 음향광학 필터(Acousto-optic filter)를 이용하여 복조시스템을 구성하는 방법도 개발되었다. 광섬유 브래그격자 센서를 변형률 등의 측정에 이용할 수 있도록 개발한 이러한 방법들은 공통적으로 광원인 광대역 스펙트럼에서 브래그격자 센서의 중심 파장에 반사된 매우 좁은 스펙트럼만을 이용하기 때문에 출력 신호의 세기가 매우 낮은 단점이 있다. 또한 마흐-젠더 간

섭계를 이용하는 방법을 제외하고는 모두 매우 낮은 해상도를 갖기 때문에 적절한 변형률의 묘사를 할 수 없는 단점도 가지고 있다.

최근에 개발된 파장 이동 광섬유 레이저(Wavelength Swept Fiber Laser, WSFL)를 사용한 센서 시스템은 이러한 단점들을 모두 극복하였다. WSFL은 출력 파장을 이동시키기 위하여 고리형 공진기 안에 패브리-페로 필터를 사용한 것으로 가변 파장 영역이 20~40 nm에 달한다. 가변 파장 영역이 불과 수 nm에 불과한 브래그격자로 변조하는 광섬유 레이저 또는 전류와 온도로 튜닝(tuning)하는 다이오드(Diode) 레이저에 비해 매우 넓은 파장 영역을 가진다. 이러한 WSFL로 구성된 센서 시스템은 좁은 파장 영역에 모든 광 세기가 출력되므로 출력 신호의 세기가 매우 높으며 동시에 매우 높은 해상도를 갖는다.

3.4 파장 및 시분할 광섬유 센서

고전적인 광섬유 센서는 대체적으로 신호 대 잡음지수가 낮으며, 특정 지점을 측정하기 위해서는 광섬유를 절단하여 코팅한다든지 기타 특수 처리된 광섬유 센서를 사용해야 한다는 문제가 있었다. 그러나 1984년 영국의 Southampton 대학의 D. N. Payne 그룹에서 처음으로 희토류 금속(Nd, Er 등)을 첨가한 광섬유가 개발된 이래 특정 파장(1.06 μ m, 1.55 μ m 대역)에서 자유롭게 광을 증폭할 수 있게 되어 광섬유 센서에서 신호 대 잡음비를 높게 개선할 수 있었고, 여러 지점의 물리량을 동시에 측정할 수 있는 시분할(time division multiplexing; TDM), 파장 분할(wavelength division multiplexing; WDM) 시스템의 연구에도 많은 진전을 이루었다.

파장 분할 다중화 기법에 근거한 광섬유 브래그 격자 센서 시스템은 기존의 간섭계를 이용한 센서 시스템보다 매우 월등한 장점을 지닌다. 그런데 현재까지는 광섬유 브래그격자 센서 자체의 개발과 신호 처리 기법에 대한 연구가 주로 이루어졌고 실제 다양한 구조물에 적용하기 위한 여러 가지 문제점, 특히 복합재 구조물의 변형상태 및 건전성을 감시하는 연구는 아직 미흡한 실정이다. 분할 다중화 기법에 근거하여 패브리-페로 에탈론을 신호 처리



한 방법은 지금까지 개발된 광섬유 브래그격자 센서 시스템에서 향상된 센서 시스템이다. 또한 패브리-페로 에탈론을 갖대로 사용하여 실제 변형률 측정 시 오차의 원인을 없애는 방법도 개발되었고 실제 복합재 구조물에 광섬유 브래그격자 센서를 적용하여 변형률 측정 시 센서의 적용조건에 따른 신호 특성을 고찰할 수 있다. 여러 개의 광섬유 브래그격자 센서를 사용하여 다양한 하중 조건에 있는 복합재 구조물에 광섬유 브래그격자 센서로 구성된 센서 시스템으로 구조물의 내부 변형상태 및 거동등을 실시간으로 동시 다점 측정이 가능한 감시 기술이 개발되었다.

또한 근래에는 환경 모니터링 기술에 광섬유 기술을 응용하여 오염농도의 실시간 다중점 측정 기술이 개발되고 있다. 현장 오염부지에서 시료채취가 필요 없고, 크기가 작으며, 빠른 시간 내에 실시간으로 측정이 가능하다는 장점으로 인해 광섬유 센서가 반도체공정, 화학공정, 지하수 혹은 토양환경 감시에 많이 적용되고 있다.

4. 광섬유 센서 핵심기술 및 전망

광섬유 센서 기술의 적용분야는 광전자 및 통신 분야로 확대됨에 따라 통신 강국인 우리나라의 경우 이 분야 상품의 적용 및 활용도가 증가하여 향후 더욱 확대 및 발전되어 해당 상품에 대한 국제적인 경쟁력 확보가 필수적이다. 광섬유 센서는 높은 민감도와 우수한 특성을 가지고 시분할 및 기간접성 다중송신이 가능하기 때문에 지능형 구조물에도 적용이 가능한 센서로 주목받고 있다. 광섬유 센서는 빛을 사용하므로 번개, 전파탐지기, 무선송신기 등에 의한 전자기파에 의해 영향을 받지 않는 장점을 가지고 있고 계측의 안정성이 높다. 최근에는 민감도를 향상시키거나 다중 외란을 동시에 측정할 수 있는 광섬유 센서에 대한 연구가 활발히 이뤄지고 있으며 우주선이나 구조물 센서 분야까지 확대되어 국내외에서 이들 분야를 중심으로 많은 연구 결과와 특허가 발표되고 있다.

현재 우리나라에서는 학계를 중심으로 광섬유 센서에 관한 연구가 이뤄지고 있고 KIST, KAIST,

KJIST, 서울대, KRISS 등이 광섬유를 이용한 센서 연구에 매진하고 있으며, 높은 기술력을 보유하고 있다. KIST는 광섬유 격자 센서 분야에서 많은 연구 업적 및 특허를 보유하고 있고, 실제 응용적 측면에서도 다양한 연구 결과 및 경험을 보유하고 있다. KAIST는 자이로스코프에 대해 오랜 연구 경험과 지식을 바탕으로 많은 연구 결과를 발표하였다. KJIST의 경우는 특수 광섬유를 제조하여 광섬유 격자에 응용함으로써 높은 민감도를 갖는 광섬유 센서를 제조하여 학계에 발표하는 등 활발한 활동을 수행하고 있고, KRISS는 붕괴 감시 및 구조안전 감시용 센서, 화재 감지 광섬유 센서 등 성능이 우수한 광섬유 센서를 제작하고 있다. 따라서 국내에서도 상당한 기술력을 보유하고 있으며, 산업계와 연계하여 연구를 수행한다면 국제적 수준의 성능이 우수한 광섬유 센서를 제조할 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 기술력을 바탕으로 하는 광섬유 센서들에 적용할 수 있는 핵심기술을 알아보고 그 전망을 예측하고자 한다.

4.1 변위센서 기술

(Displacement Sensor)

광섬유 변위센서는 물체의 변위차에 의해 유도되는 파장 차이를 이용한 광섬유 센서로 외부의 압력이나 인장력 변화에 따른 광섬유의 특성 변화를 감지하여 정밀한 측정이 가능하고 광 스펙트럼을 전기적인 신호로 변환하여 사용하기 때문에 비교적 가격이 저렴하다. 또한 전자파장애 등의 문제를 해결할 수 있고 주위환경에 대한 내구성이 뛰어나 기초공사 변위 감지용 센서, 고감도 센서, 최대 응력 측정용 센서, 미세 선을 기준으로 하는 편위측정 장치 등에 적용되고 있다. 핵심요소기술로는 격자제작 기술과 변위차에 의한 파장차이 감지이며, 주변 기술은 물체의 변위를 고감도 광섬유 특성 변화로 나타나는 기술이다.

4.2 온도센서 기술

(Temperature Sensor)

광섬유 온도센서의 핵심기술은 격자 응용기술로 온도에 따른 빛의 세기나 파장전이 정도를 이용한

기술이고 주변기술로는 분포형 온도센서, 다중 외란센서, 광섬유 센서 헤드, 광전변환 및 신호처리 기술이다. 어븀 첨가 광섬유 등 기능성 광섬유 및 다양한 구조의 특수 광섬유를 이용한 센서가 개발 중에 있으며 온도센서 2천개를 설치해야 얻을 수 있는 효과를 한 가닥의 광섬유 센서로 가능한 연구도 진행 중이다. 온도센서 기술은 건물, 현수교, 우주선 등 높은 민감도와 안정도를 요구하는 다양한 분야에서 사용하고 있는데 광섬유를 센서 및 데이터 전송로로 쓰기 때문에 종전 시스템이 안고 있는 전자파장애 문제를 걱정하지 않아도 된다. 또한 광섬유 끝단에 각종 감지부를 집적하는 비접촉식 기술과 극한 환경에서의 안정성 및 $-50\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 온도에서도 1°C 내 편차에서 측정할 수 있는 광섬유 온도센서가 2005년에는 등장할 것으로 전망된다.

4.3 광섬유격자 센서(Grating Sensor)

광섬유격자 센서는 외부 환경에 대한 브래그 파장의 정확한 변형을 해석이 필수적이다. 브래그격자의 변형률은 외부환경에 민감하게 반응하며, 성능에 있어서 고정밀 고분해능 측정이 가능하다. 현재 개발되고 있는 격자 센서로는 브래그격자의 신호처리를 위해 빛의 위상간섭 특성을 이용한 간섭계 방식, 광섬유 페브리 페로 센서를 이용한 방식, 그리고 두 개의 브래그격자 센서를 이용한 방식이 주로 개발되고 있으며 교량, 건물, 도로 등 여러 분야에서 고해상도의 동적 변형률 계측장비로 활용하고 있다. 핵심기술로는 격자제작 기술과 공명파장 또는 공명세기의 변화를 이용한 광섬유 센서 기술이며, 주변기술은 여러 개의 브래그격자를 이용하여 다중화시킴으로써 고분해능 센서 기술과 실시간 모니터링 신호처리 기술이다.

4.4 패브리-페로 센서 (Fabry-Perot Sensor)

광섬유 패브리-페로 센서 기술은 패브리-페로 또는 에탈론이라 불리는 필터 소자의 투과특성을 이용한 광센서 기술이다. 이는 광섬유 격자를 이용함으로써, 마하젠더 간섭계를 이용한 복조기술에 비하여 매우 안정적인 성능을 발휘할 수 있을 뿐만

아니라, homodyne 변조방법을 이용한 동적 스트레인의 측정에도 이용 가능하며, 고해상도의 고속 측정이 장점인 기술이다. 정밀도 보장을 위한 온도보상기술 및 출력신호를 위상으로 변화시키는 복조(Interferometric Demodulation) 기술이 핵심기술이며 고해상도의 고속 측정을 위한 광전변환 및 보정(O/E Converting and Calibration)기술 그리고 모니터링 기술이 주변기술이다. 패브리-페로 센서 기술은 1990년대 후반부터 활발하게 연구되어 원천기술은 주로 미국이 가지고 있고, 일본, 유럽, 중국은 이제 개발하고 있어, 국내에서도 본격적인 투자와 국제협력 추진체계가 확보되면, 단시간 내에 핵심 기술 확보가 가능하다.

4.5 화학용 센서 (Chemical Sensor)

화학용 센서는 화학물질의 고유의 굴절률 변화에 따른 광섬유 레이저의 흡광이나 형광의 변화를 측정하는 기술이며 광섬유 센서를 다중으로 분포시켜 다중 지점 화학물질 검출을 위한 분포 형광 센서 기술이 실용적 측면에서 필요하다. 화학용 센서 기술은 화학 작용제 또는 대기오염물을 근거리는 물론 수 km의 원거리에서 시료의 수집 과정 없이 실시간으로 원격탐지 및 경보할 수 있는 센서기술이다. 환경오염 감시 또는 대기 환경 분석용 센서 개발에 사용가능하며, 그 밖에 차량 및 반도체 공정산업 등의 공업용뿐만 아니라 포도당 테스트 등의 의료진료, 화학전을 대비한 군사적 목적에서도 그 응용범위를 넓히고 있다. 핵심요소기술은 격자기술 및 화학물질에 따른 광섬유 레이저의 변화 감지이며, 주변기술은 분포 형광 섬유 센서 기술과 진동판 형광 섬유 가속도 센서 기술이다. 80년대 초반부터 꾸준히 연구개발을 진행한 일본과 미국 등은 90년대 중반 이후 연구개발의 선택과 집중으로 최근 질적 향상의 성과를 이루고 있으며 특히 일본은 화학센서의 중추국으로서 전 세계 화학센서 시장을 석권하고 있다. 민수분야의 경우 상용화 되었으며, 90년대 후반에 미국의 Design & Prototypes사, AIL Systems사 등에서 기상, 유독가스 탐지, 광산분출 가스분석 등 환경 모니터링 제품을 출시하였고, 미국의 On-Line Technologies사에서도 in-situ 측정을 위한 가스 셀



표 2. 광섬유 센서의 특허출원 현황.

기업명	광섬유 센서 주요 기술별 특허건수					기업별 특허건수
	변위센서	온도센서	격자센서	F-P센서	화학용센서	
FUJIKURA	12	13	2		9	36
HITACHI	12	5			5	22
Mitsubishi	6	7	2		11	26
NTT	6	6			11	23
SUMITOMO	6	12				18
Toshiba	6	4			5	15
SHIMADZU	5				8	13
OMRON	4					4
USA Navy	4		5		11	20
CiDra	1		8			9
Asahi		16			19	35
UNITED TEC		7	12			19
CHUBU		5				5
FURUKAWA		5				5
TAKAOKA		3				3
McDONNELL			4			4
Schlumberger			4	4		8
Blue Road Research			2	2		4
Physical Optics			2			2
ASEA AS				5		5
Trustees College				4		4
Nauchny				3		3
AGENCY				2	5	7
Innovative Center				2		2
Electric Power Research				2		2
Foster-Miller				2		2
OKI					13	13
LITTO					12	12
합계	62	83	41	26	109	

을 장착하여 기체성분 분석 등 반도체 공정 모니터링을 위한 제품을 개발하였다. 일본의 경우, 과거에 축적된 기술과 특허, 현재의 노력 등으로 미루어 볼 때 지속적인 화학센서 강국의 위치를 고수할 것으로 보이며, 특히 고성능 마이크로 화학센서와 신기능 센서재료 등의 개발을 가속화하고 센서와 컴퓨터의 결합을 본격적으로 시도하고 있다.

광섬유 센서에 대한 전체특허출원 추이를 살펴보

면, 광섬유 센서 기술의 특허출원은 점진적으로 증가하다가 1998년을 기점으로 점차 감소하고 있고, 2002년에는 광시장의 침체에 따라 급속히 감소하였지만, 이는 출원하였으나 아직 공개되지 않아 조사 및 분석 자료로 활용되지 못한 출원이 많기 때문으로 보인다. 광섬유 센서의 국가별 특허출원동향을 살펴보면, 화학용, 변위, 온도센서는 일본이 많고, 격자 및 F-P 센서는 미국이 압도적으로 많고 그 다음으로 프랑스, 중국, 캐나다 순이며, 다출원 3개국

의 점유 비율은 90% 이상을 차지하고 있어 이들 국가와 연계한 상품화 개발이 필요하다(표2).

변위 센서 기술에 대한 기업별 특허활동을 살펴보면, FUJIKURA, HITACHI, Mitsubishi 등 광전자, 통신, 반도체 회사의 활발한 개발 활동이 두드러진다. 온도 센서 기술에 대한 기업별 특허활동을 살펴보면 ASAHI, FUJIKURA, SUMITOMO 등 광전자, 통신, 반도체 회사를 주축으로 이뤄지고 있다. 광섬유 격자 및 F-P센서 기술에 대한 기업별 특허활동을 살펴보면, UNITED TEC, Cidra, NTT 등 광전자, 통신, 반도체, 광섬유 회사를 중심으로 연구 활동이 집중되어 있다. 화학용 센서 기술에 대한 기업별 특허활동을 살펴보면, ASAHI, OKI, LITTON 등 광전자, 통신, 반도체 회사를 중심으로 연구가 진행되고 있다. 국내 기업인 LG전선은 광섬유를 이용해 전선 등의 온도변화 위치를 감지, 화재 및 가스누출 등을 예방할 수 있는 계측시스템을 개발하고 있다.

광섬유 센서 생산은 현재 통신시장으로 집중된 기술과 자본이 유입되면 활발하게 생산 될 것으로 보이며 현재까지는 대규모 응용분야를 개척하지 못한 상태이다. 광섬유 소자들의 성능 향상과 가격인하 등이 이루어지면 광섬유 센서 시장 확대될 것이다. Intechno 보고서에 따르면 세계 광섬유 센서 시장은 1999년에 175만 달러였고, 2008년까지 350만 달러까지 성장할 전망이다.

끝으로 광섬유 센서를 실제 구조물 및 생활에 적용되기까지는 제작방법, 부품 수, 신호처리기법 등의 연구가 더 많이 요구되며, 기본 핵심 기술력을 보유하고 있는 미국, 일본, 등 선진국과 상품화에 필요한 공동 연구가 필수적이다.

5. 결론

환경오염과 자원고갈이 없는 광섬유 센서는 아직 선진국에서도 광센서의 응용 개발이 아직 일부에 한정되어 있지만 전자기과의 영향이 없고, 소형, 경량, 고속다점 측정, 고 신뢰도 등 많은 장점이 있어

잠재적 수요 시장이 많다. 이러한 장점에도 불구하고 기존의 센서에 비해 가격 경쟁력에서 뒤지고 있어 일반화되지 못한 현실이다. 그러나 광섬유의 독특한 구조나 다중화 능력 그리고 기존의 센서로 대체가 불가능한 일부의 제한된 응용에서 이들 센서가 성능 및 가격 모두에서 기존의 센서를 능가하므로 지속적인 기술개발과 실용화를 위한 노력이 합쳐질 때 이들 센서가 일반화될 것으로 기대된다. 그리고 광섬유센서 시장에서 아직 한국이 차지하는 비율은 매우 미미하지만 정부에서 한국광산업진흥회 및 한국광기술원 출연 등을 통해 광섬유 센서 관련 산업에 지속적인 지원이 이루어지면 미래의 유망한 분야로 발돋움 할 수 있을 것이라 내다본다.

참고 문헌

- [1] 박승환 외 13명, '광섬유 기술 로드맵-산업자원부', 한국산업기술평가원, 2001.
- [2] 전자기술연구회, "광파이버와 센서" 지문사, 1999.
- [3] 이우상, "광센서 기술 및 시장 동향", 월간 전자부품 2001년 6월호 통권 160호 기획특집, p.46, 2001.
- [4] 한택상 외 15명, "광섬유 기술의 국제협력-산업자원부", 한국산업기술평가원, 2003.
- [5] 김병윤, 윤석현, 용재철, "광섬유를 이용한 센서 연구", 과학기술부(KIST 연구개발보고서), 1999.
- [6] 이상배, 김상혁, 문성욱, 황승상, "기능성 광섬유 격자 소자 기술연구", 과학기술부(KIST 연구개발보고서), 2002.
- [7] 구호본, 백 용, 三木博史, "광섬유 센서를 이용한 산사태 계측기법 개발", 한국건설기술연구원(건기연 2001-065 연구보고서), 2001.
- [8] 심환보, 이중환, "광섬유 센서를 이용한 분광분석 시스템의 응용", 공업화학 전망, 제2권 제4호, p.61, 1999.
- [9] 이우진, 이원제 외 5명, "광섬유 센서를 이용한 말뚝기초 거동분석기법 연구", 과학기술부(핵심공통 기반기술개발사업보고서), 2000.



- [10] 최상삼, Richard M De La Rue, “광섬유 그레이팅 기술개발”, 과학기술부(KIST 연구개발 보고서), 2000.
- [11] 최상삼, 이상배, 김동환 외 7명, “광섬유 Grating을 이용한 시설물 사전 감시시스템 개발”, 건설교통부(KIST 연구개발보고서), 1996.
- [12] Lee B. H., Kim Y.-J., Chang Y. Han W.-T. and Paek U.-C., “Fiber modal index measurements based on fiber gratings”, Fiber and Integrated Optics, Vol 20, No 5, p.443, 2001.
- [13] Lee B. and Jeong Y., “Interrogation techniques for fiber grating sensors and the theory of fiber grating-Fiber Optic Sensors”, p.295, 2002.
- [14] Othonos A. and Kalli, “Fiber Bragg Gratings-Fundamentals and Application in Telecommunications and Sensing”, ARTECH HOUSE, INC, 1999.
- [15] Raman K., “Fiber Bragg Gratings”, ACADEMIC PRESS 1999.
- [16] Francis T.S. Yu and Shizhun Yin, “Fiber Optic Sensors”, 2002.
- [17] Lopez-Higuera, “Handbook of Optical Fiber Sensing Technology”, Wiley & Sons, Ltd p.23, 2002.
- [18] Grattan K.T, V. and Meggitt B.T., “Optical Fiber Sensor Technology”, Chapman & Hall, p.45, 1995.
- [19] Grasdepot F. and Suski J., “Domestic gas sensor with micromachined optical tunable filter”, Sensors and Actuators B 35 p.337, 1996.
- [20] Eggins B. R., “Chemical sensors and biosensors”, John Wiley & Sons, Ltd p.186, 2002.

· 저 · 자 · 약 · 력 ·

성명 : 김왕기

◆ 학력

- 1985년 전남대 공대 화학공학과 공학사
- 1987년 전남대 대학원 공업화학공학과 공학석사
- 2000년 전남대 대학원 공업화학공학과 공학박사

◆ 경력

- 1991년-1995년
전남대 공대 부속공장 조교
- 1996년-1998년
전남대 공대 공업화학공학과 조교
- 2000년-2001년
전남대 광응용기술연구소 Post-Doc
- 2001년-현재
한국광기술원 선임연구원

성명 : 류우찬

◆ 학력

- 1997년 서울대 공대 전기공학부 공학사
- 1999년 서울대 공대 전기공학부 공학석사
- 2003년 광주과학기술원 정보통신공학과 공학박사

◆ 경력

- 2003년-현재
한국광기술원 연구원