

Fabry-Perot 필터의 파장 스캐닝-로킹을 이용한 다중 Fiber Bragg Grating Strain 센서의 신호처리 시스템

정희원 이성은*, 한대우*, 이호준*, 김기수**

Signal Processing System of Multi-Fiber Bragg Grating Strain Sensor using Wavelength Scanning-Locking of a Fabry-Perot Tunable Filter

Seong-eun Lee*, Deawoo Han*, Hojoon Lee*, Ki-soo Kim** *Regular Members*

요 약

본 연구에서는 단일 Fabry-Perot 필터를 이용해 다중 FBG 센서에 대하여 파장 스캐닝과 로킹을 동시에 실현하여 기존의 스캐닝 방식의 단점을 보완한 다중 FBG 스트레인 센서 스캔-로킹 신호처리 방안을 제안하고, 이를 시스템으로 구성하여 스트레인 측정 실험을 하였다. 단일 센서에 대한 스트레인 측정에서는 3me 정도의 분해능이 측정되었고, 다중 센서 스트레인 측정의 경우에는 10me의 분해능을 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed and implemented multi-FBG strain sensor system which used both wavelength scanning and locking of Fabry-Perot filter for improve the performance of sensor system. The resolution of the sensor system is 3 and 10 μ strain for the single and multi-sensor system respectively.

I. 서 론

광섬유에 어븀이나 니오디뮴 등의 희토류 원소를 첨가 시켜 만든 희토류 첨가 광섬유는 광통신 시스템에서 전송 매질의 역할뿐만 아니라 다양한 응용 가능성을 가지고 있다. 이러한 희토류 첨가 광섬유의 센서 응용은 지난 10여년 동안 비약적인 발전을 이루어 왔으며, 그 기술은 이미 실용적인 단계에 이르게 되었다.

광섬유 센서의 특징은 손실이 적고, 전자기적 간섭에 강하며, 가볍고 쉽게 휘기 때문에 기하학적 응용성이 우수하다는 것이다. 또한 광섬유 센서는 광섬유 코팅에 의해 다양한 환경 노출로부터 보호되

어 안전하며, 높은 감도와 빠른 감지 속도를 가지고 있고, 신호 전송 역할을 겸하므로 센서 재질로 이용되는데 유용하다 할 수 있다.

현재 광섬유 센서로 응용하여 활발한 연구가 진행되고 있는 FBG(Fiber Bragg Grating)는 광섬유 레이저 및 필터, 펄스 압축(pulse compression) 등에 이용되고 있으며, FBG의 센서 응용에서의 장점은 단일 센서를 이용한 측정뿐만 아니라 단일 광섬유 안에 여러 개의 센서를 삽입하여 여러 지점의 물리적 변화량을 측정할 수 있다는 것이며, 센서에서 반사되어 되돌아온 파장을 측정하기가 용이하다는 것이다.^{[1][2]}

FBG는 광섬유 코어 안에 주기적인 굴절률을 만

* 호서대학교 정보통신공학부

** 쌍용양회 중앙연구소

논문번호 : 98259-0619, 접수일자 : 1998년 6월 19일

들어 제작하며^[3], 입사한 광원에 대해 브라그 파장(Bragg Wavelength)의 협대역 파장을 반사 시킨다. FBG로부터 반사되는 파장은 외부에서 인가되는 물리적 변화(온도, 스트레인, 진동)에 의하여 결정되며, 반사 파장은 인가되는 물리적 변화량 만큼 천이한다. 그러므로 파장 천이량을 검출한다면 물리적 변화량을 계산 할 수 있다. FBG센서에서 반사되는 파장을 검출할 수 있는 방안으로는 edge filtering, scanning filter, interferometric detection 등이 제안되었다.^[4]

본 연구에서는 지금까지 단일 Fabry-Perot 필터를 이용하여 단일 센서에 대해서만 파장 로킹(locking)이 가능하였고, 다중 센서에 대해서는 파장 스캐닝(scanning)만 하였던 것을^[5] 다중 센서에 대하여 파장 스캐닝과 로킹을 동시에 실현하므로 기존의 스캐닝 방식에 비해 센서 신호의 분해능을 증대시키며, 센서를 개별 선택하여 로킹시키므로 변화하는 파장 천이량을 검출할 수 있는 신호처리 방안을 제시하고, 이를 시스템으로 구성 및 제작하여 실험하였다. 또한 제작한 시스템의 신뢰성을 위하여 스트레인(strain) gauge 센서와 비교하는 실험을 병행하였다.

II. Fiber Bragg Grating의 원리

FBG는 Ge가 첨가된 광섬유 코어에 자외선 영역의 레이저를 주기적으로 조사함으로써 굴절률 변화를 유도시켜 격자(grating)의 주기에 의해 결정되는 특정 파장의 빛을 반사시키는 광섬유 소자이다. 그림1은 이러한 FBG의 구조를 나타낸다.^[6]

그림1과 같이 광대역의 스펙트럼을 광섬유에 입사시킬 경우, 아래에 주어진 식(1)과 같은 Bragg 조건에 의해서 결정된 파장 성분이 광섬유 격자 부위에서 반사되며 나머지 파장 성분은 그대로 통과하여 광 스펙트럼 분석기에 나타난다.

$$\lambda_B = 2n\Lambda \quad (1)$$

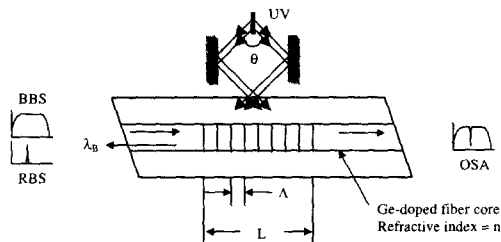


그림 1. FBG 구조

위의 식에서 n은 광섬유 코어의 유효 굴절률(effective refractive index)이며 Λ는 격자와 격자사이의 간격(grating period)이다. 따라서 격자에서 반사되는 Bragg 파장은 유효 굴절률과 격자 간격의 함수로 나타낼 수 있다. 격자의 간격은 격자를 형성하기 위하여 광섬유 코어에 자외선을 조사할 때 자외선의 발광 파장과 조사 각의 관계로 표현된다.

$$\Lambda = \frac{\lambda_i}{2} \sin \theta \quad (2)$$

여기서, i는 격자를 생성하기 위해 사용된 자외선의 발광 파장이며 q는 조사하는 자외선 빛의 반각(half angle)이다. 그러므로 자외선의 발광 파장 i와 조사 각 q를 조절하여 격자의 간격에 의한 Bragg 파장을 선택하여 얻을 수 있다. 일반적인 격자의 길이는 1.5 ~ 15mm 범위의 격자를 이용하며, 격자의 길이가 길어질수록 좁은 스펙트럼 폭을 갖는다.^[7]

격자에서 반사되는 Bragg 파장(λ_B)은 식(1)과 같이 유효 굴절률과 격자 간격의 함수로 표현되며, Bragg 파장의 변화량(Δλ_B)은 식(3)과 같이 유효 굴절률과 격자 간격의 변화량으로 나타낼 수 있다. 유효 굴절률과 격자 간격의 변화량은 외부로부터 FBG에 가해지는 물리량 즉, 스트레인이나 온도의 변화량으로 아래와 같이 유도할 수 있다.

$$\frac{\delta\lambda_B}{\lambda_B} = \frac{\delta n}{n} + \frac{\delta\Lambda}{\Lambda} \quad (3)$$

$$= (1 - p_e)\epsilon + (a + \xi)\Delta T \quad (4)$$

여기서, 스트레인 변화에 대한 Bragg 중심 파장 B의 변화량 B는

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B(1 - p_e)\epsilon \quad (5)$$

$$= (1 - p_e)\epsilon + (a + \xi)\Delta T \quad (6)$$

이며, 위의 p_e는 광탄성 상수(photo-elastic constant)로 게르마늄 실리카 유리(germano-silicate glass)의 경우 대략 0.22의 값을 가지며, e은 광섬유 격자에 가해진 스트레인이다.^[7] 또한 온도 변화(T)에 대한 Bragg 중심 파장 B의 변화량 B는

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B(1 - P_e)\epsilon \quad (7)$$

$$= 8.8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C} \Delta T \quad (8)$$

이며, 여기서 a는 광섬유의 온도에 따른 팽창 계수 (thermal expansion coefficient)로 실리카(silica) 유리의 경우 약 $0.5510^{-6}/^\circ\text{C}$ 이며, x는 온도에 의한 광섬유의 굴절률 변화를 나타내는 열 광학 계수 (thermo-optic coefficient)로서 약 $8.310^{-6}/^\circ\text{C}$ 이다.

위의 식(5)과 (7)에서 알 수 있듯이 FBG에 스트레인이거나 온도를 가할 경우 광섬유 코어의 굴절률과 격자의 주기가 변화되어 반사되는 Bragg 파장(λ_B)이 달라진다. 그러므로 반사되는 Bragg 파장의 변화를 정밀하게 측정한다면 FBG에 가해진 미지의 스트레인과 온도를 구할 수 있다.

III. Fiber Bragg Grating 스트레인 센서 시스템

본 연구에서의 전체적인 시스템 구성도는 그림 2와 같다. 시스템 구성은 먼저 광원인 ELED (Edge-emitting LED)를 구동하기 위한 LED 구동부, 외부의 스트레인이거나 온도 등의 물리적 변화를 감지하는 광섬유 센서부, 센서에서 반사되어 돌아온 신호를 Fabry-Perot 필터를 이용하여 검출하는 신호 검출부, 그리고 검출된 신호를 CPU를 이용하여 처리하는 신호 처리부로 구성된다.

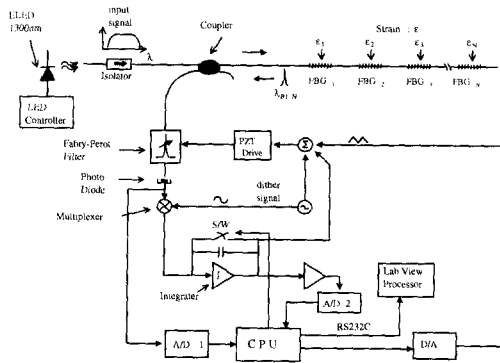


그림 2. 다중 FBG 센서 시스템 구성도

본 시스템에 사용한 광원은 ELED로써 넓은 선 폭과 높은 출력을 얻을 수 있으며, 낮은 동작 전류와 온도 변화에 대한 높은 안정성, 그리고 저렴한 가격 등의 특징이 있다. 이러한 광원을 구동하기 위하여 일정한 양의 전류를 흘려줄 수 있는 구동회로

를 사용하며, 구동회로를 이용하여 ELED를 전류 제어한다. ELED에서 발생된 광은 광섬유 결합기(2×2 coupler)를 통하여 FBG에 전달한다.

FBG로부터 반사된 신호는 광 결합기를 통하여 Fabry-Perot 필터에 이른다. 센서에서 반사되어 돌아온 신호는 스트레인의 양에 따라 파장이 변화하며 Fabry-Perot 필터의 PZT(piezo-electric ceramic transducer) 전압을 조절하여 변화된 파장을 측정한다. 필터를 통과한 센서의 반사 파장은 광 검파기를 거쳐 두개의 신호로 나뉘어지며, 이중 한 개의 신호는 믹서(Mixer)를 통과하고, 다른 신호는 A/D 변환기를 거쳐 CPU에 전달된다. 필터를 통과한 센서의 반사 신호와 디더링 신호(dithering signal)가 믹서에서 혼합되어지며, 적분기를 통과한 신호와 디더링 신호가 가산기에서 더하여져 PZT를 구동하기 위해 출력된다.¹⁹⁾

CPU는 A/D 변환기에서 변환된 신호가 문턱치(threshold) 이상 일 때 적분기의 analog switch를 개방하며, 이때의 값을 저장하여 D/A 변환기를 거쳐 PZT 구동회로에 인가한다. 적분기의 analog switch가 개방되면 필터의 중심 파장과 FBG 센서에서 반사되는 신호의 중심 파장이 로킹 되도록 PZT 구동회로가 동작된다.

외부에서 인가한 스트레인에 의하여 센서의 중심 파장이 변화함으로써 Fabry-Perot 필터의 중심 파장과 검출된 FBG 센서의 중심 파장이 일치할 때의 PZT 인가 전압은 스트레인에 의해 변화한 양(ΔB)을 나타낸다.

본 연구에서는 다중 센서의 스캔-로킹 출력인 적분기 출력을 A/D2을 통해 CPU에서 읽어 들여 RS-232시리얼 포트(serial port)를 이용해 LabVIEW에 출력한다. LabVIEW는 RS-232시리얼 포트를 통해 들어온 데이터를 각 채널로 분리한 후 화면에 데이터를 표시 한다. FBG 로킹 시스템에서는 LabVIEW의 신호 처리 동기를 맞추기 위하여 동기 신호 byte를 포함해 각 채널 당 2byte, 모두 7byte로 한 프레임을 구성하여 RS-232시리얼 포트를 통해 데이터를 보내고, LabVIEW에서는 데이터를 1byte 단위로 읽어 들여 동기 신호를 검출하고, 동기 신호에 따라 동기 신호 뒤에 오는 6byte을 각 채널로 분리하여 화면에 표시한다.

IV. Fabry-Perot 필터의 파장 스캔-로킹 이론

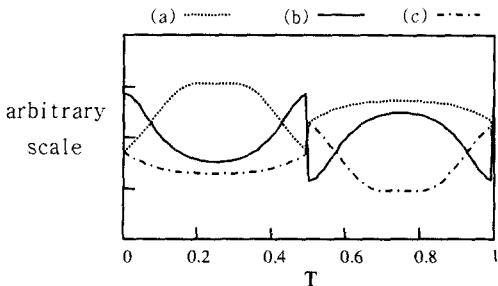
FBG 다중 센서 시스템에서 Fabry-Perot 필터의

이용은 여러 개의 반사되어 되돌아오는 센서 신호를 Fabry-Perot 필터의 PZT전압을 조절하여 특정 파장만을 투과 시켜 검출한다. [9]

다중 센서를 이용할 경우 브라그 파장을 찾기 위해 CPU의 D/A 값을 순차적으로 증가시켜 이 값을 필터에 인가하면 필터의 중심 파장이 변화한다. FBG센서에서 반사된 신호의 중심 파장과 Fabry-Perot 필터의 중심 파장이 같을 때 최대 출력이 나타난다. 이때 A/D 값이 최대가 되도록 적분기 출력 전압이 만들어지며(로킹), 이 전압은 D/A변환기의 전압(스캐닝)과 합하여 저서 PZT에 공급된다. 이러한 원리로 여러 개의 센서 신호에 대하여 CPU의 D/A 값을 점진적으로 증가 시켜 센서의 반사파장을 검출한다.

FBG 다중 센서의 스캐닝-로킹 동작에서는 CPU에 입력되는 센서의 A/DI 값을 기준 문턱치 값과 비교해 문턱치 보다 크면 파장 로킹을 실행하고, 센서에 대한 파장 로킹이 끝난 후에는 다시 다음 센서의 A/DI 값이 기준 문턱치 이상이 될 때까지 스캐닝 동작을 진행한다. 파장 로킹 시의 적분기 출력은 FBG 센서의 로킹 전압량으로 파장 변화량(스트레인 인가량)에 비례하여 나타난다.

센서 반사 파장과 필터의 중심 파장이 일치할 때 동기 검파기의 출력 파형을 그림3 (b)에 보였다. 비교하여 표시한 그림3 (a)는 센서 반사 파장이 필터의 중심 파장 보다 작을 때 나타나는 파형이고, 그림3 (c)는 반대로 센서 반사 파장이 필터의 중심 파장보다 클 때의 출력 파형을 나타낸다. 디더링에 의해 야기된 강도 변조의 결과는 선 스펙트럼의 한 측면의 위상과 동위상이고 다른 쪽과 위상이 반대이다. 광 필터의 중심 파장은 동기 검파기의 출력이 0인 곳으로 이동한다.



- a) 센서 반사파장 < 필터의 중심파장
- b) 센서 반사파장 = 필터의 중심파장
- c) 센서 반사파장 > 필터의 중심파장

그림 3. 동기검파기 출력신호

V. 실험 및 고찰

5.1 FBG 다중 센서부 구성

FBG 센서 시스템에 사용한 광원은 넓은 선폭과 높은 출력을 얻을 수 있는 ELED를 사용하였다. 실험에 이용한 ELED는 중심 파장이1280nm이고, 선폭은 30nm이며, 출력은 최대150mW에서 동작시켰다. 광원(ELED)으로부터 방출된 빛은 광 결합기를 통하여 광 센서인 FBG에 도달한다. 실험에 사용한 FBG 센서는 중심 파장이 각각1283.7, 1289.5, 1299nm이고, 대역폭은 0.816, 0.832, 1.080nm이며, 중심 파장의 반사율은 각각 73, 72, 70% 이다. 실험에서는 FBG에 스트레인을 인가하기 위하여 탄성이 좋은 glass epoxy 판에 센서를 UV 접착제로 접착을 시켜 실험을 하였다. 또한 glass epoxy 판에 부착된 센서에 일정한 양의 스트레인을 인가하기 위하여 회전 모터를 사용하였으며 스트레인은 밀리 조정자를 이용해 점진적으로 증가 시켜 인가하였다.

그림4는 FBG 고유의 반사 스펙트럼을 광 스펙트럼 어날라이저로 측정한 것이다. 측정된 센서의 중심 파장은 각각 1283.7, 1289.5, 1299 nm이고 선폭은 0.816, 0.832, 1.080nm이다. 실험에 이용한 FBG의 본래 반사 중심 파장은 1290, 1293, 1300nm이지만, 센서가 glass epoxy 판에 수축하면서 접착이 이루어지기 때문에 FBG의 중심 파장이 1283.7, 1289.5, 1299nm로 천이하였다.

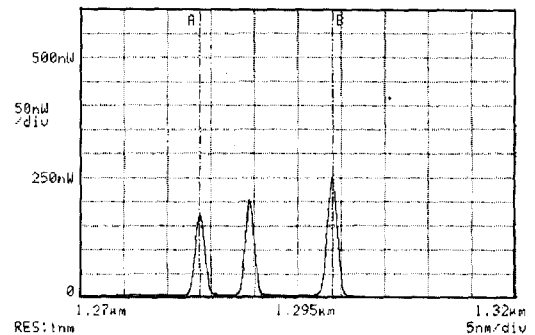


그림 4. FBG 센서의 반사 스펙트럼

5.2 Fabry-Perot 필터의 동작

본 연구에서 사용한 Fabry-Perot 필터는 중심파장이 1310nm이며, FSR(free spectral range)이 30nm, Finesse가 118인 것을 사용하였다. Fabry-Perot 필터는 PZT의 길이를 전압 조절하므로 공진기의 길

이를 변화시켜 필터의 파장을 변화 시킨다.

그림5(상)은 로킹 회로의 PZT 구동기로 Fabry-Perot 필터의 PZT에 인가한 전압을 나타내며, 그림 5(하)는 FBG센서에서 반사된 브라그 파장이 Fabry-Perot 필터를 통과한 후 광 검파기(photo detector)에 의하여 검출된 파형이다. FBG에서 반사되어 광 검파기에서 검출된 파형은 광 스펙트럼 분석기를 이용해 측정된 센서의 반사 파형(그림4)과 동일 함을 알 수 있다. Fabry-Perot 필터를 통과하는 FBG 센서의 신호는 그림5와 같이 PZT 전압이 증가함에 따라 순차적으로 신호가 검출되고, 전압이 감소하면 역으로 검출된다.

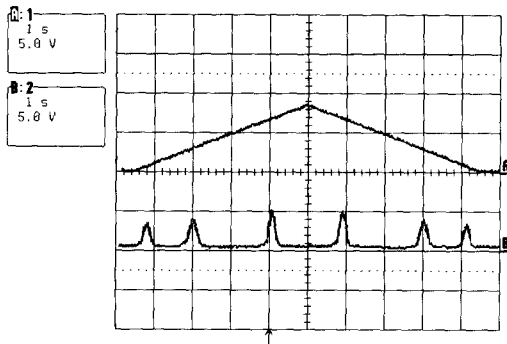


그림 5. PZT 전압과 광 검파기 파형

5.3 FBG 다중 센서의 파장 스캔-로킹 동작

FBG 다중 센서의 파장 선택 로킹 동작은 Fabry-Perot 필터의 PZT 전압 범위 내의 파장영역을 스캐닝 한 후 원하는 FBG 센서를 선택하여 로킹 시키는 것이다. 파장 로킹은 PZT 전압에 디더링 신호를 실어 변동하는 센서의 상대적 위치를 검출하는 것으로 실험에서는 디더링 신호를 200mV 진폭과 2kHz의 주파수로 하였고, PZT전압은 10V를 인가 하였다.

FBG 다중 센서의 파장 스캔-로킹 동작은 3개의 센서를 단일 광섬유 길이에 연결하여 연속적으로 FBG 센서의 반사 파장을 스캐닝하고, 또한 각각의 센서에 대하여 파장 로킹 시키는 것이다. 실험에서 측정된 각각의 센서에 대한 로킹 시간은 5ms이고, 3개의 센서를 한번 스캔-로킹 하는데 걸리는 시간은 40ms (25회/sec)이다. 전체 스캔-로킹 시간은 센서의 수와 인가되는 PZT전압에 따라 결정된다.

그림6(a)는 FBG 다중 센서의 파장 스캔-로킹 파형과 적분기의 출력 파형을 측정된 것이다. ㉑ 부분은 스캐닝 후에 측정된 데이터를 전송하는 시간이

며 경사가 심한 부분은 스캐닝에 의해 강제적으로 Fabry-Perot필터의 PZT 전압을 증가하다 센서 신호 부근에서 로킹 동작을 실행하여 센서 신호를 검출하며 이때는 파형 경사가 완만하다. 다른 센서에 대해서도 이러한 동작을 반복한다. 그림6(b)에서 적분기의 출력은 FBG 센서의 로킹 전압량으로 파장 변화량(스트레인 인가량)만큼 전압량이 선형적으로 증가함을 나타낸다. 겹쳐지는 두개의 그래프는 FBG3에 스트레인이 인가된 경우 ㉑와 인가되지 않았을 때 ㉒를 나타낸다. 이때 파형은 각 경우에 대해 반복되나 주기는 스트레인 인가시 로킹시간의 증가로 인해 증가된다. 또한 적분기의 출력은 A/D2를 통해 CPU에 전달되고, CPU에서는 RS-232를 통해 LabVIEW에 출력하여 전압 변화량(스트레인 인가량)을 표시한다.

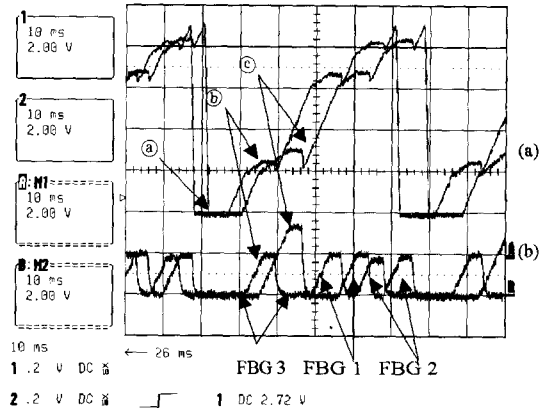


그림 6. FBG3에 strain을 인가하였을 경우 스캐닝-로킹 파형과 적분기 출력파형

5.4 FBG 다중 센서의 스트레인 측정

FBG다중 센서의 스트레인 측정 실험에서 이용한 센서는 중심파장이 1283.7, 1289.5, 1299 nm인 3개의 센서를 이용하였으나, PZT의 동작 특성에 따라 센서는 FBG3, FBG1, FBG2의 순서로 검출되었다.

그림7은 각 FBG의 스트레인 신호를 LabVIEW을 이용해 표시한 것이다. Channel 1은 FBG3, channel 2는 FBG1 이고, channel 3는 FBG2 신호이다. 본 스트레인 측정 실험에서는 FBG1에 일정한 스트레인을 주기적으로 인가하였으며, FBG3에는 스트레인을 점진적으로 증가 시켜 인가하였다. 위에서 측정된 FBG1 과 FBG3 의 스트레인 변화량을CPU에서 A/D2를 통해 읽어 들인 후 RS-232 시리얼 포트를 이용해 LabVIEW에 나타낸 것이다. LabVIEW에서

는 RS-232 시리얼 포트를 통해 들어온 데이터를 각 채널로 분리한 후 화면에 데이터를 표시한다. FBG3에 인가된 스트레인은 FBG1에 인가된 스트레인 보다 크므로 적분기의 출력 전압 변화량과 PZT의 전압 변화량이 FBG1에 비해 크게 변화하였다.

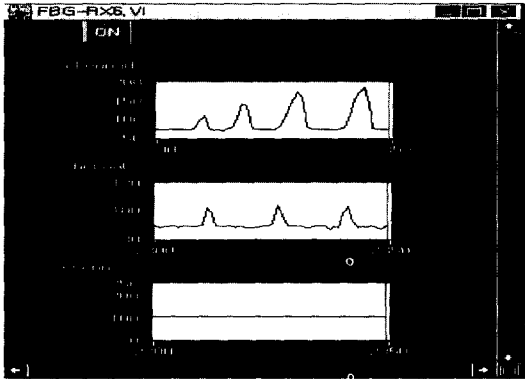


그림 7. LabVIEW를 이용한 strain 측정

본 연구에서는 FBG 센서의 출력 값을 비교 분석하기 위하여 기존의 산업현장에서 사용하고 있는 저항 스트레인 gauge 센서를 glass epoxy 판에 FBG와 평행하게 접착하여 실험을 하였다. 그림 8(a)는 스트레인 gauge 센서 신호와 (b)광섬유 센서 신호를 시간축에서 비교한 것으로 유사한 모습을 하고 있다.

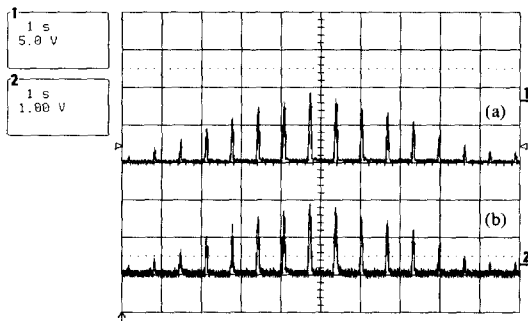


그림 8. Strain gauge 센서와 FBG 센서의 비교

스트레인 인가에 따른 변화량의 측정에서 스트레인 gauge 센서의 측정 값과 FBG 센서의 측정 값이 유사 함을 알 수 있다. 그러나 스트레인 gauge 센서는 스트레인을 일정하게 유지시켜 인가 하였을 때 저항 변화에 의하여 drift현상이 발생하며, 증가하는스트레인에 대해서도 미세 변동이 발생한다. 이에 비하여 FBG 센서는 스트레인 변화에 대하여 보

다 안정적이고, 미세한 측정이 가능함을 본 비교 실험을 통해 알 수 있다.

그림9는 glass epoxy판에 스트레인을 증가시켜 인가하였을 경우 FBG1 센서의 파장 변화량(DIB)을 측정한 것이다. 그림에서 보듯이 스트레인 증가(0 ~ 1000)에 따라서 파장 변화량(DIB)이 선형적으로 증가(0 ~ 1.1nm)함을 알 수 있다. 본 연구에서는 스트레인 변화에 대한 측정으로써 온도는 일정하게(24°C) 유지한 상태에서 실험하였다.

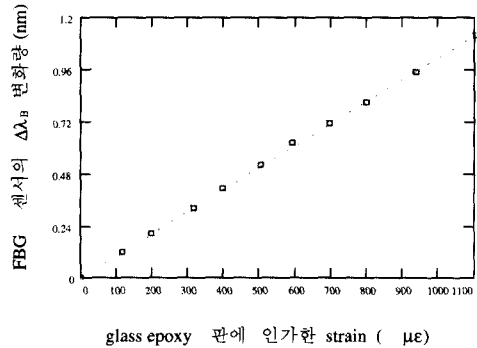


그림 9. 인가된 Strain에 대한 FBG1 센서의 $\Delta\lambda_B$

VI. 결론

본 연구에서는 단일 Fabry-Perot필터를 이용해 다중 센서에 대하여 파장 스캐닝과 로킹을 동시에 실현하므로 기존의 단일 센서 로킹 방식과 다중 센서 스캐닝 방식의 장점과 단점을 보완한 다중 FBG 압력 센서 스캔-로킹 시스템을 제안하였으며, 이를 설계 및 제작하여 실험을 하였다.

본 연구에서 설계한 시스템은 광원으로 ELED(중심파장이1310nm, 선폭 35nm)를 사용하였으며, Fabry - Perot 필터는 중심파장이 1310nm, FSR이 30nm인 것을 사용하였다. 또한 실험에서는 FBG센서를 중심파장이 각각 1283.7, 1289.5, 1299nm인 것을 이용하였다.

다중 FBG 스트레인 센서의 신호처리 시스템은 단일 센서에 대한 스트레인 측정 실험에서 대략3me 이하의 분해능을 보였고, 다중 센서스트레인 측정 실험에서도 대략 10me의 분해능을 보였다. 또한 기존의 산업 현장에서 일반적으로 사용하는 스트레인 gauge 센서와의 스트레인 비교 측정 실험에서는 FBG센서가 스트레인 gauge 센서에 비해 보다 정밀한 측정이 가능함을 알 수 있었으며, 실 시간적으로 변화하는 센서 신호를 안정적으로 검출할 수 있음

이 호 준(Ho Joon Lee)

정회원



1955년 8월 21일생

1978년 2월: 성균관대학교 전자
공학과(학사)

1980년 2월: 성균관대학교 전자
공학과(석사)

1987년 2월: 성균관대학교 전자
공학과(박사)

1982년 6월~1983년 6월: 육군사관학교 전자공학
과 전임강사

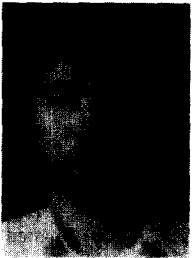
1987년 3월~현재: 호서대학교 정보통신공학부 교수

1991년 7월~1992년 6월: stanford university 교환
교수

<주관심 분야> 광통신시스템, 광센서, 광신호처리

김 기 수(Ki Soo Kim)

정회원



1955년 6월 24일생

1979년 2월: 서울대학교 요업공
학(학사)

1981년 2월: 서울대학교 요업공
학(석사)

1993년 2월: Standford Univer-
sity 재료공학(박사)

1984년 1월~현재: 쌍용양회 공업(주) 중앙연구소

<주관심 분야> 광센서, 광신호처리, 재료공학