

광탄성 효과를 이용한 광섬유 압력센서에 관한 연구

正會員 金永洙*, 曹洪根**, 鄭成鍾***, 金堯喜*

A Study on fiber-Optic Pressure Sensor Based on Photoelastic Effect

Young Soo Kim*, Hong Keun Cho**, Seong Jong Chung***, Yo Hee Kim* Regular Members

要 約

광탄성 효과를 갖는 glass를 이용하여 광섬유 압력 센서를 제작하였다. Jones 행렬을 이용 센서에서 일어나는 광강도 변조식을 유도하였다. 광섬유를 따라서 유입되는 외부 섭동의 영향을 제거하기 위하여 기준신호 광원으로 870nm LED를 변조신호용 광원으로 660nm LED를 이용하는 새로운 광강도 referencing 방법을 제안하였다. 제작한 광섬유 압력 센서 시스템으로 1~5Kg/cm²의 압력 범위에서 선형적으로 압력 측정이 가능하였다. 또 측정 데이터를 분석하여 실험에 사용한 광탄성 소자의 Brewster 계수는 $3.96 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{kgf}$ 로 계산되었다.

ABSTRACT

A fiber-optic pressure sensor is fabricated with a photoelastic glass material. The optical intensity modulation equation is derived with the Jones matrix of optical functional components which are used in optical pressure sensor system. To remove the influence of external perturbation along the optical fiber, a new referencing technique using two light sources is proposed. LED with 870nm wavelength is used as light source for reference signal, and LED with 660nm wavelength is used as light source for modulation signal. The fiber-optic pressure sensor system shows good linearity within the pressure range of 0 to 5kg/cm². The Brewster coefficient of the photoelastic glass material is calculated to be $3.96 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{kgf}$.

*韓國電氣研究所 光應用시스템 研究팀
Applied Optical Research Team, Korea
Electrotechnology Research Institute

**韓國電力公社 電力研究院 光應用 研究팀
Korea Electric Power Research Institute

***全北大學校 컴퓨터工學科
Dept. of Computer Engineering, Chonbuk
National Univ.

論文番號 : 95260-0804

接受日字 : 1995年 8月 4日

I. 서론

고성능 광섬유 제조기술의 개발과 coherent 반도체 레이저, 고감도 수광소자의 성능 향상으로 광섬유 응용 센서 및 계측 기술이 빠른 속도로 발전하고 있다. 광센서 시스템은 전원이 필요치 않는 수동소자를 센서로 사용하기 때문에 센서 시스템의 신뢰도가 높고 유지보수 또한 간편해진다. 광섬유 케이블의 경우 가격이 기존 금속케이블 보다 저렴하고 전송손실이 적기 때문에 원격센싱에 특히 유리한 장점을 갖고 있다. 이러한 광섬유 센서는 전력 계통과 석유, 화학, 항공등 각종 플랜트의 대규모화, 고도화에 따른 고품위의 계측 제어 시스템에 필수적인 요소기술로 기대가 모아지고 있다.⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾

본 논문에서는 새로운 referencing 기술을 적용한 광탄성 효과형 압력 센서를 제안하였다. 광학 glass나 플라스틱 등과 같이 투명한 탄성체에 외부로부터 일정한 방향으로 압력을 가하면 광학적으로 이방체가 되어 입의의 방향으로 굴절율이 변한다. 인가한 압력을 제거하면 다시 원래의 상태로 되돌아 간다. 따라서 레이저 광을 센싱부에 송신하고 편광자와 1/4 파장판으로 광학적인 바이어스를 준 후 광탄성 소자에 압력을 가하면 압력의 변화에 의하여 광강도 변조가 가능하게 된다. 외부에서 인가한 압력의 크기에 따라서 복굴절량이 다르게 되므로 물질 내부를 통과하는 광의 편광상태도 다르게 변한다. 이러한 물질로서는 석영, 광학 glass, LiNbO₃,

Y₃Al₅O₁₂ 등이 있다.

센서 모듈을 제작한 후 광섬유에 유입되는 외부 섭동의 영향을 제거하기 위하여 기준 신호 광원과 변조 신호 광원을 사용하여 referencing을 하였다. 필름 편광자는 차단 파장이 700nm 가까이 있으므로 차단파장 근처인 660nm에서는 편광자의 기능을 하지만, 차단 파장에서 멀리 떨어진 870nm에서는 편광자로서의 기능을 못한다. 따라서 압력 변화를 감지할 수 없어 출력 파위는 항상 일정한 값을 갖는다. 그러나 광섬유가 뒤틀리거나 마이크로 벤딩등에 의한 손실등은 두가지의 광원에서 똑같은 비율로 발생하기 때문에 변조 신호 출력을 기준 신호 출력으로 나누는 방식을 채택하여 referencing 회로를 구성하였다. 센서 시스템 제작 후, 각각의 광원에 대한 센서 소자의 압력 의존성을 조사하였다. 변조 신호 출력을 기준신호 출력으로 나누는 referencing회로를 적용한 압력 측정 실험을 하였다. 마지막으로 측정 값으로부터 센서 소자의 Brewster계수를 구하였다.

II. 광섬유 압력 센서의 원리

광섬유 압력센서의 구성도를 그림 1에 나타낸다. 투명한 광탄성 효과를 갖는 센싱소자는 편광자와 검광자 사이에 위치하고 있다. 편광자와 광탄성 효과 소자 사이에는 λ/4판이 위치하고 있다. λ/4판을 통과한 후의 편광상태는 원형 편광으로 된다. 검광자의 광축은 인가압

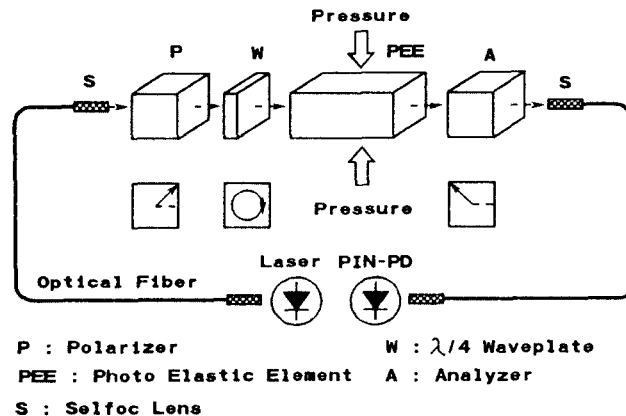


그림 1. 광섬유 압력 센서의 구성
Fig. 1. Configuration of fiber-optic pressure sensor

력의 방향과 45°의 각도를 이룬다. 센서 소자로서는 광탄성 효과를 가지는 광학 glass가 사용된다. 초기에 압력이 인가하지 않았을때 편광상태는 원형편광 상태에 있다. 이때 센서에 압력을 인가하면 복굴절이 발생하고 이 때문에 광탄성 소자를 통과한 후 광의 편광상태는 타원 편광으로 된다. 이 타원 편광이 검광자를 통과하면 타원의 정도에 따라 광의 강도가 변하는 광강도 변조 신호가 출력된다. 입력측의 마이크로 렌즈는 빔의 평행을 유지하기 위해 사용되고 출력측의 마이크로 렌즈는 빔을 광섬유내로 유도하기 위한 집광렌즈로 사용된다.

Jones 행렬을 이용하면 센서를 통과한 후의 광파위를 계산할 수 있다. 광파위가 1인 편광범이 X축에서 45°각을 이루고 있을 경우 X축 및 Y축 성분의 Jones 벡터는 $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ 이 된다.

한편 위상변조 소자인 광탄성 소자의 fast축과 slow축을 각각 X축과 y축이라 하고 외부로부터 압력이 광탄성 소자의 y축 방향으로 인가된 경우를 생각하자. 위상판의 fast축과 광탄성 소자의 x축 사이의 각을 0°로 했을때 광탄성 소자의 Jones 행렬은 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} e^{j\rho/2} & 0 \\ 0 & e^{-j\rho/2} \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서 ρ는 광탄성 소자의 fast축과 slow축 사이에 발생하는 위상 차이량으로 외부 인가 압력에 의한 위상 차이량은 아래와 같다.

$$\rho = \frac{1}{\lambda} (2\pi C_0 PL) \quad (2)$$

여기서, λ : 광원의 파장 (nm)

P : 외부 인가압력 (kgf/cm²)

L : 광탄성 소자의 길이(cm)

C₀ : Brewster 계수 (cm²/kgf)

한편, λ/4판의 fast축과 광탄성 소자의 x축과 이루는 각을 θ로 두고 π/2(λ/4)위상판의 Jones 행렬을 표현하면 아래식(3)과 같다.

$$\begin{pmatrix} \cos^2\theta e^{j\pi/4} + \sin^2\theta e^{-j\pi/4} & \\ & j2 \cos\theta \sin\theta \sin \frac{\pi}{4} \end{pmatrix}$$

$$\left. \begin{matrix} j2 \cos\theta \sin\theta \sin \frac{\pi}{4} \\ \cos^2\theta e^{j\pi/4} + \sin^2\theta e^{-j\pi/4} \end{matrix} \right\} \quad (3)$$

여기서 θ는 λ/4판의 fast축과 광탄성 소자의 x축과 이루는 각이다.

따라서 편광자와 광탄성 소자와 λ/4판, 광탄성 소자의 x축에 대하여 135°인 검광자 통과후의 최종Jones 행렬식은 아래식(4)와 같이 된다.

$$\frac{1}{4} \begin{pmatrix} e^{j\pi} [1 + j(\cos 2\theta - \sin 2\theta)] & \\ & + j(\cos 2\theta + \sin 2\theta) - 1 \\ -e^{j\pi} [1 + j(\cos 2\theta - \sin 2\theta)] & \\ & - j(\cos 2\theta + \sin 2\theta) + 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

여기서 인가 압력의 변화에 따른 출력 광강도의 변화를 표현하는 광강도 변조식을 유도하기 위하여 $P = 2 |A|^2$ (여기서 A는 벡터식(9)의 module)의 관계를 이용하면 검광자 통과후 출력 광파위를 예측할 수 있는 광강도 변조식을 구할 수 있다. 식(5)는 계산된 일반형의 광강도 변조식을 나타낸다.

$$P = \frac{1}{2} (1 + \sin\rho \cos 2\theta - \cos\rho \sin^2 2\theta) \quad (5)$$

여기서 ρ는 인가압력에 따른 위상 차이량이고, θ는 λ/4 위상판의 fast축과 X축 사이의 각을 나타낸다. 따라서 λ/4 위상판의 fast축과 X축을 적절하게 선택하면 식(5)를 간략화 할 수 있다. 식(5)에서 λ/4 위상판의 fast축이 광탄성 소자의 X축 방향(θ = 0)과 일치할 경우 변조식은 식(6)과 같이 된다.

$$P_w = \frac{1}{2} (1 + \sin\rho) \quad (6)$$

λ/4 위상판의 fast축이 광탄성 소자의 y축 방향(θ = π/2)과 일치할 경우 변조식은 식(7)과 같이 된다.

$$P_w = \frac{1}{2} (1 - \sin\rho) \quad (7)$$

한편, λ/4 위상판의 fast축이 광탄성 소자의 x축과 y축으로부터 45°(θ = π/4)의 방위를 가질 경우 출력 광파위는 식(8)과 같이 된다.

$$P_w = \frac{1}{2} (1 - \cos\rho) \quad (8)$$

인가 압력대 출력 광파위의 관계를 알아보기 위하여 식(6)과 식(8)에서 의 값을 0에서 2까지 변화시키면서

패적을 도시하여 그림 2에 나타내었다. 두 그림에서 큰 차이점은 인가 압력이 0일때 출력값의 시작점이 다르다는 것이다. 따라서 피측정 압력의 dynamic range가 크지 않고 고정도의 계측이 요구되는 곳에서는 식(6)과 같은 변조 시스템이 이용되고, dynamic range가 큰 시스템에서는 식(8)의 변조 시스템을 이용하는 것이 유리하다.

대부분의 위상 변조형 광섬유 센서 설계시에는 식(6)의 관계를 이용한다. 주된 이유는 압력이 0인 부근에서 직선성이 가장 좋기 때문이다. 만일 피측정 압력의 범위가 $\rho < \frac{\pi}{25}$ 라면 출력 광파워는 $P_w = \frac{1}{2}(1+\rho)$ 로 근사화가 가능하게 되고, 이때 비선형 오차가 0.27%를 초과하지 않아 고정도 계측 시스템 설계가 가능하게 된다. 둘째 이유는 센싱 감도에 있다. 압력이 0인 부근에서 두 수식의 센싱 감도를 알아보기 위하여 식(6)과 식(8)을 1차 미분하고 $\rho = 0$ 를 대입하면 식(6)에서는 $P_w = 0.5$ 이고 식(13)에서는 $P_w = 0$ 이 된다. 따라서 식(6)에서의 감도가 식(8)보다 큼을 알 수 있다. 따라서 ρ 의 위치를 적절히 선택함으로써 감도 및 dynamic range를 변화시킬 수 있다.

III. 센서 제작 및 실험

제작한 광섬유 압력센서의 모듈을 그림 3에 도시하였다. 두께가 1mm인 고무 개스킷(2)은 일종의 diaphragm으로 사용하였으며 한쪽면을 광탄성 효과소

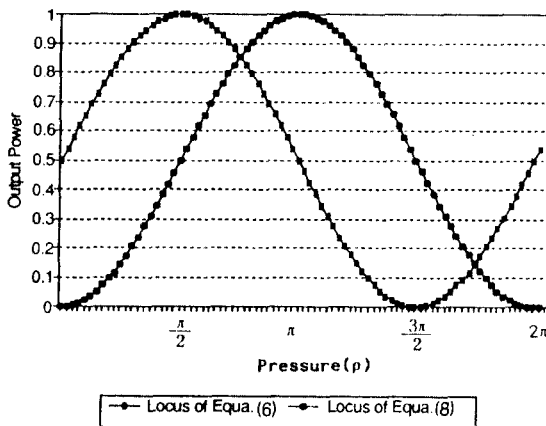


그림 2. ρ 의 변화에 따른 센서의 입출력 특성
Fig. 2. Input-output characteristics of sensor due to change of ρ

자(PEE:Photoelastic Effect Element)에 직접 부착하였다. 반대쪽 면은 금속 구조물(3)에 부착하였다. 양면에 위치한 두개의 구조물(3)은 실린더(4)로 고정한다. 구조물(3)과 실린더(4)에는 FC-receptacle을 고정하기 위한 스크류와 두개의 홀이 있다. 외부로부터 압력을 가하기 위한 노즐(5)은 고무파이프를 쉽게 끼울 수 있는 구조이며, 높은 압력하에서도 견딜 수 있도록 견고하게 제작되었다. 파이프(6)을 통하여 외부로부터 PEE에 피측정 압력을 인가하게 된다. 실린더의 양끝 부분에는 광커넥터와 collimation 렌즈를 고정하였다. 편광자(P)와 검광자(A) 그리고 /4 파장판은 PEE에 직접 고정하였다. PEE의 두께가 너무 얇으면 개스킷을 통하여 PEE에 압력을 가할수 있도록 일정량의 초기 압력이 필요하다. PEE가 너무 두꺼우면 PEE에는 residual 스트레인이 존재하게 된다. 고정도 압력센서를 설계하기 위해서는 PEE에 residual 스트레인이 존재하지 않도록 배설해주는 것이 중요하다.

광원의 출력 파워 변동 및 외부의 섭동에 의한 오차발생의 가능성을 제거하기 위하여 여러가지 보정 방안이 적용될 수 있다. 본 연구에서는 두개의 파장을 사용하는 방법을 제시하였다. 임의의 파장대에서는 편광자와 검광자가 PEE 센서소자의 위상 변화를 감지할 수 있지만, 다른 파장대에서는 편광자와 검광자가 PEE 센서소자에서 발생하는 위상 변화량을 감지할 수 없다. 따라서 감지 가능한 파장대의 LED를 변조신호용 광원으로, 감지 불가능한 파장대의 LED를 기준신호용 광원으로 사용하여 나눔으로써 광강도 referencing이 가능해진다.

본 연구에 사용한 필름 편광자는 차단 파장이 700nm 가까이 있으므로 차단파장 근처인 660nm 파장대에서는 편광자의 기능을 하지만, 차단파장 부근에서 멀리 떨어진 870nm 파장대에서는 편광자로서의 기능을 못한다. 이러한 현상의 물리적 원리는 광흡수에 기초한 것으로서, 편광자 필름의 편광면이 필름의 길다란 분자방향에 대하여 수직인 방향에 존재한다. 따라서 분자방향에 평행한 편광파는 미약한 흡수특성을 가지고 통과하지만, 수직인 편광파는 흡수되어 대부분이 열에너지로 소멸되므로 통과하지 못한다. 따라서 660nm의 LED를 변조신호용 광원으로, 870nm의 LED를 기준신호용 광원으로 사용하였다. 이 경우 660nm의 광출력 PW는 인가된 압력이 변화하게 되면 센서를 통과한 후 출력 광파워도 변하지만, 870nm의 광출력 Pr은 인가된 압력이 변

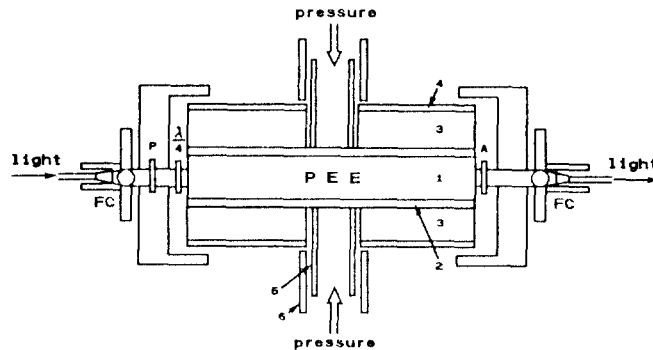


그림 3. 광섬유 압력센서 모듈의 구조
 Fig. 3. Structure of designed fiber-optic pressure sensor module

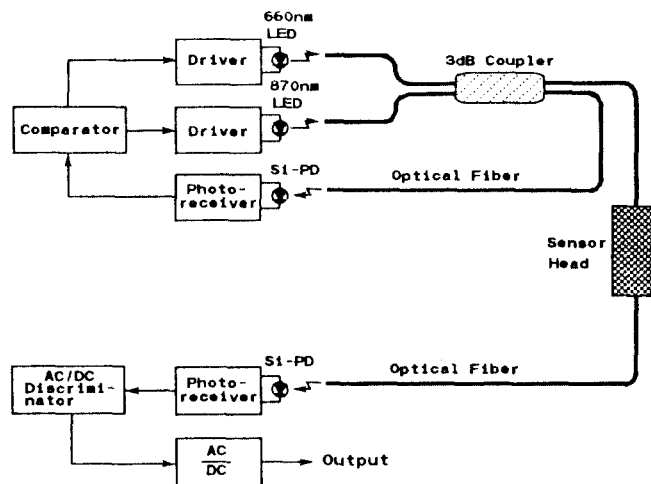


그림 4. 광섬유 압력 센서 시스템 전체 구성도
 Fig. 4. Overall construction of fiber-optic pressure sensor system

화하여도 필름 편광자가 이 파장대에서는 편,검광자의 기능을 하지 못하므로 출력 광파워는 항상 일정한 값을 가지고 있다.

단지 외부 섭동이나 광원의 출력변동에 의한 변화만 있을 뿐이다. 따라서 변조신호의 출력 광파워(P_w)를 기준신호의 출력 광파워(P_r)로 나눔(P_w/P_r)으로써 외부 섭동 및 광원의 출력변동에 의한 영향은 받지않고 단지 PEE센서에 인가된 압력에 의해서만 영향을 받는 센

서구현이 가능하게 된다.

광섬유 압력 센서의 전체 구성도를 그림 4에 나타낸다. 변조신호용 660nm LED와 기준신호용 870nm LED가 각각의 구동회로에 의해 구동된다. 수신단에서 두 신호를 쉽게 분리하기 위해서 660nm LED는 duty cycle이 50% 이고 주파수가 270Hz인 펄스로 구동하고, 870nm LED는 직류로 구동하였다. 이들 두 LED에서 나온 광은 광커플러(2:2)에 의해 합해진 후 다시

두개로 나뉘어진다. 이들중 하나는 feedback되어 광 수신회로를 거친 후 비교기에서 기준전압과 비교, LED가 항상 일정한 광출력을 내도록 한다. 다른 하나는 센서를 통과하고 광 수신회로를 거친 후 수광회로에 의해 광신호가 전기 신호로 변환된다. 이 신호에는 압력의 영향을 받는 660nm LED의 펄스전압과 영향을 받지 않는 870nm LED의 직류전압이 합쳐져 있으므로 교류/직류 변별기로 이들 두 신호를 분리한다. 이후에 교류신호를 직류 신호로 나누어 광강도 referencing을 행한 후 출력한다.

그림 5는 광섬유 압력 센서 시스템의 prototype을 나타낸 것이다. 두개의 LED를 구동해주는 LED 구동회로가 있다. 바로 우측으로 광커플러가 있고 광커플러의 출력중 하나는 코어/클래드 경이 100/140 μm 인 다중모드 광섬유를 통하여 압력센서를 통과한 후 신호처리회로의 입력단인 수광소자에 이른다. 다른 하나는 LED의 출력을 안정화 시키기 위하여 LED 구동부의 수광소자로 feedback 된다.

압력 측정 실험에 앞서 변조 신호용 LED의 압력의 존재성을 측정한다. 변조 신호용 광원은 중심 파장이

660nm인 표면 발광다이오드를 사용한다. 이 파장대에서는 일반 편광필름을 사용할 수 있다. 인가 압력이 증가하면 수광소자 Si-PD를 출력 신호의 레벨은 증가한다. 수광소자 Si-PD의 신호는 광섬유 압력센서의 전자회로를 이용하여 측정할 수 있다. 그이후 기준 신호용 광원의 압력의존성을 측정한다. 기준신호의 광원은 중심 파장이 850nm인 LED를 사용한다. 인가압력이 변화여도 기준 파장에 대한 Si-PD의 출력 신호는 변화하지 않아야 한다. 만일 기준 파장에 대한 Si-PD의 출력 신호가 변하면 편광자 필름의 차단 파장보다 더 긴 파장대의 LED로 교체한 후 반복하여 측정한다. 이러한 과정에 의하여 시스템의 설계가 마무리 되고 실제 압력 측정 실험을 행하였다.

광섬유의 섭동의 영향을 알아보기 위하여 입력광의 레벨을 일정하게 유지하고 광섬유의 중간에 가변형 광감쇄기를 삽입하였다. 센서에 압력을 0-5기압까지 변화를 주고 각각의 압력에서 광감쇄기를 0 dB로 했을때와 -3dB로 했을때 기준 신호의 출력과 변조 신호의 출력 그리고 변조 신호를 기준 신호로 나눈 결과를 비교하는 방식으로 시스템의 평가를 하였다. 그 결과물 표 1과 표

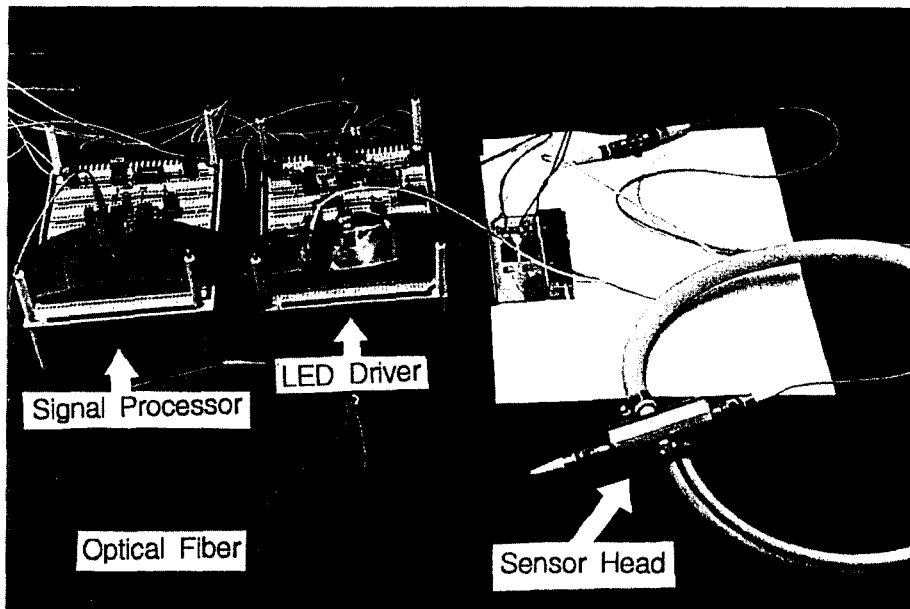


그림 5. 광섬유 압력 센서 시스템 prototype
Fig. 5. Prototype of fiber-optic pressure sensor system

표 1. 압력변화에 대한 센서 출력 전압 (Vr=883mV)
Table 1. Sensor output voltage due to pressure change(Vr=883mV)

압력 (kgf/cm ²)	기준신호 출력(Vr)	변조신호 출력(Vm)	출력의 비(Vm/Vr)
0	0.883	0.0875	0.099
1	0.883	0.1	0.113
2	0.883	0.113	0.128
3	0.883	0.125	0.142
4	0.883	0.138	0.156
5	0.883	0.15	0.17

2에 나타내었다. 표 1은 직류 레벨이 883 mV의 경우, 표 2는 직류 레벨이 441mV의 경우 센서에 압력을 0기압에서 5기압까지 인가했을때 기준 신호용 광원(850nm)의 출력(Vr)과 변조 신호용 광원(660nm)의 출력(Vm), 그리고 변조 신호 출력과 기준 신호 출력의 비(Vm/Vr)를 측정된 값이다.

표 1과 표 2의 출력을 비교해 보면 센서에 인가한 압력이 변화여도 기준신호의 출력은 일정한 값이 출력됨을 알 수 있다. 그러나 변조 신호의 출력은 외부 섭동에 의하여 기준 신호 출력 레벨이 3dB 정도 감소했을 경우 같은 인가 압력에 대하여 변조 신호의 출력 레벨이 비례적으로 감소함을 알 수 있다. 이것은 광강도 referenc-ing을 하지 않았을 경우 시스템이 어느정도 불안정한가를 보여주는 예이다. 따라서 두 출력 신호의 비를 취하면 표에서 보여주는 바와 같이 기준 신호의 출력 레벨에 관계없이 인가 압력에서 항상 같은 값을 출력한다. 따라서 광섬유 외부섭동의 영향을 받지않는 안정된 센서 시스템 설계가 가능하게 된다.

그림 6은 센서의 출력 파형을 보여주는 것으로 그림의 (a)는 기준 신호의 레벨을 883mV로 했을 경우 압력을 0기압에서 5기압까지 변화시키면서 출력되는 파형을 보여주는 것이다. 그림 (b)는 상기와 같은 조건에서 기준 신호의 레벨을 441mV로 했을 경우 출력되는 파형을 나타낸 것이다. 압력이 0기압에서 5기압까지 변화할때 변조 신호 출력의 최대치와 최소치의 차는 각각 31.6mV와 62.5mV로 측정되어 기준 신호레벨이 3dB 감소하면 출력신호 레벨도 3dB 감소함을 알 수 있다.

그림 7은 기준 신호의 출력 레벨이 883mV와

표 2. 압력변화에 대한 센서 출력 전압 (Vr=441mV)
Table 2. Sensor output voltage due to pressure change(Vr=441mV)

압력 (kgf/cm ²)	기준신호 출력(Vr)	변조신호 출력(Vm)	출력의 비(Vm/Vr)
0	0.441	0.0438	0.099
1	0.441	0.05	0.113
2	0.441	0.0565	0.128
3	0.441	0.0625	0.142
4	0.441	0.069	0.156
5	0.441	0.0751	0.17

441mV일 경우에 대하여 referencing을 하지 않았을 경우 변조 신호의 출력을 도시한 것이다. 기준 신호의 광파위가 3dB 감소하면 변조 신호광의 출력도 반으로 감소함을 알 수 있다. 따라서 광섬유 전송로를 따라서 발생할 수 있는 외부 섭동의 영향을 받지 않는 시스템 설계를 위해서 기준 신호의 출력과 변조 신호의 출력을 각각 검출하여 기준 신호 출력으로 변조 신호 출력을 나누는 방식을 이용하여 광강도 referencing을 하였다.

그림 8은 변조 신호의 출력을 기준신호의 출력으로 나누는 결과를 동일 지면에 겹쳐 도시한 것이다. 기준 신호의 광파위가 변동하여도 referencing후 변조 신호의 출력은 변동이 없음을 보여주고 있다. 그림에서 약간 차이를 보이는 부분은 compressor 압력계의 눈금 오차에 기인한 것으로 판단된다.

광섬유 압력 센서의 최종 광출력은 센서에 인가한 압력에 의해 발생하는 위상천이에 관한 식(2)를 광변조 특성을 나타내는 식(6)에 대입함으로써 구할 수 있다.

$$P_w = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \sin \frac{2\pi C_0 PL}{\lambda} \right\} \quad (9)$$

여기서, λ : 변조 신호용 LED 파장 (660nm)

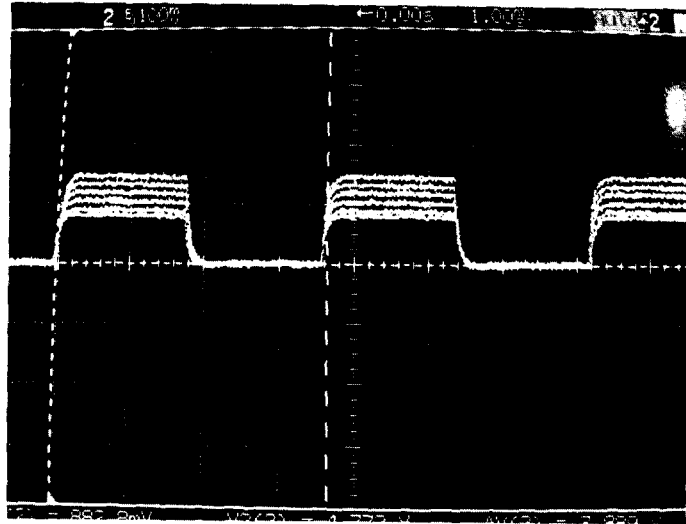
P : 피측정 압력 (kgf/cm²)

L : 광탄성 효과소자의 길이(cm)

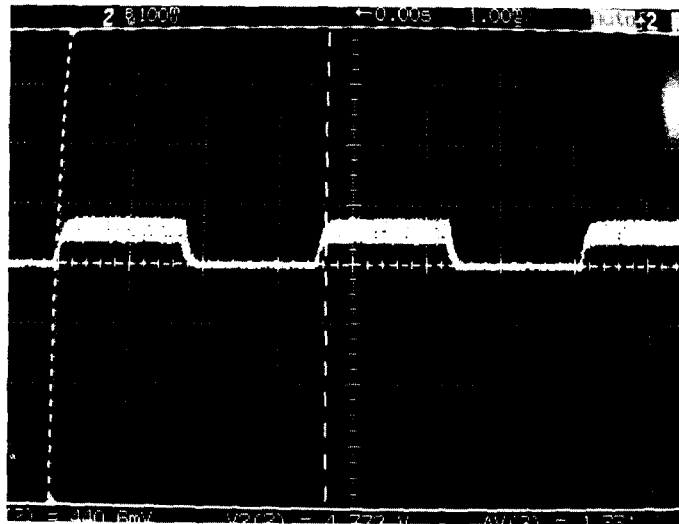
C_0 : Brewster 계수 (cm²/kgf)

P_w : PD로 측정된 변조 신호의 출력 광파워 (W)

식 (9)에서 피측정 압력(P)을 제외한 나머지 계수는 일정하므로 이 값을 대입하고 실험에서 얻어진 출력을



(a)



(b)

그림 6. 광섬유 압력 센서의 출력파형 (X축:1ms/Div., Y축:100mV/Div.)

(a) 기준신호 레벨이 883mV일 경우

(b) 기준신호 레벨이 441mV일 경우

Fig. 6. Output waveform of fiber-optic pressure sensor(X axis:1ms/Div., Y axis:100mV/Div.)

(a) Reference signal level is 883mV

(b) Reference signal level is 441mV

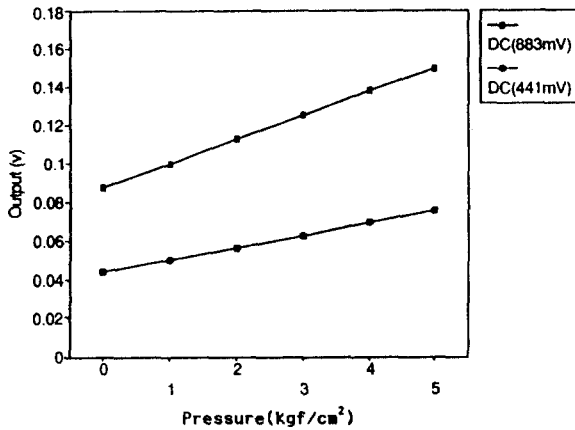


그림 7. Referencing 회로가 없는 센서의 출력 특성
Fig. 7. Output characteristics of sensor without referencing circuit

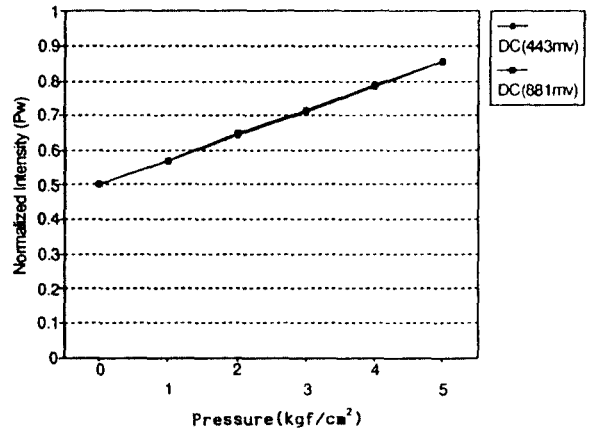


그림 8. Referencing 회로가 있는 센서의 출력 특성
Fig. 8. Output characteristics sensor with referencing circuit

정규화하여 출력 광파워를 구한 결과 그림 9와 같은 입출력 특성이 얻어졌다.

인가 압력이 증가하면 출력 광파워는 최대치인 1이 되고, 인가 압력을 이보다 더 크게하면 다시 출력은 감소하게 된다. 따라서 앞에서 언급한 바와같이 피측정 압력의 범위와 허용 오차를 어느정도까지 설정하느냐에 따라 시스템의 최적 바이어스점이 결정되어야 한다.

실험에서 얻어진 결과로부터 PEE의 Brewster 계수를 구하기 식(9)에 각 상수를 대입하고, 인가압력에 대응하는 출력값을 적용한 후, 660nm 파장대에서 광탄성 소자의 Brewster 계수(C_0)를 계산하였다. 그 결과 PEE 소자의 Brewster 계수는 $3.96 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{kgf}$ 였다.

IV. 결 론

광탄성 소자를 이용하여 광섬유 압력센서를 제작하고, Jones행렬을 이용 광강도 변조식을 유도하였다. 센서 모듈을 제작하고 870nm 파장의 기준 신호 광원과 660nm 파장의 변조 신호광원 사용하여 구동회로 및 광수신 회로를 설계하였다. 광섬유에 유입되는 외부 섭동의 영향을 알아보기 위하여 기준 광원의 출력을 3dB 차이를 갖는 두가지의 경우로 구동하고 각각의 광출력에

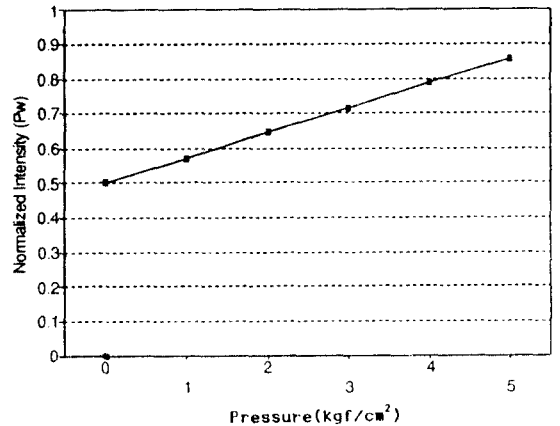


그림 9. 광섬유 압력센서의 정규화 입출력 특성
Fig. 9. Normalized input-output characteristics of fiber-optic pressure sensor

대한 광탄성 소자의 압력 의존성을 조사하였다. 그 결과 referencing을 하지 않았을때 변조 신호 출력은 3dB 차를 가지고 변화했지만 referencing을 한 후에는 변화가 없음을 확인하였다. 또 기준 광원의 출력은 인가 압력에 대하여 변화가 없었지만 변조 광원의 출력은 선형적으로 변화하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 referencing방법이 외부 섭동이나 외란의 영향을 받지 않

는 광섬유 센서 설계에 적용될 수 있음을 입증하였다. 압력 측정실험 결과 1 - 5kgf/cm²의 피측정 압력 범위에서 선형적인 압력 측정이 가능하였다. 또 측정 결과 데이터로부터 광탄성 소자의 Brewster 계수는 3.96 × 10⁻⁷cm²/kgf임을 알 수 있었다.

참고문헌

1. T.G. Giallorenzi, "Optical fiber sensor technology," Journ. of Quantum Electron., Vol. QE-18, p.626, 1982.
2. E.W.Saaski, et al., "Multimode fiber optic pressure sensor with extended range," SPIE Vol. 838, Fiber Optic and Laser Sensors V, p.46, 1987.
3. Diogenes Angelidis, et al., "Optical microma-

chined pressure sensor for aerospace applications," OPTICAL ENGINEERING, Vol. 31, NO. 8, p.1638, 1992.

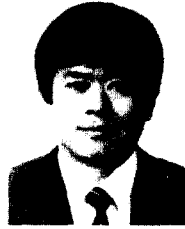
4. M. Farchadiroushan, et al., "High Birefringence Optical Fibre Pressure Sensor," SPIE Vol. 949, Fiber Optics p.162, 1988.
5. G. B. Hocker, "Fiber-optic sensing of pressure and temperature," Appl. Opt., Vol. 18, p.1445, 1979.
6. W.B.Spillman, "Multimode fiber-optic pressure sensor based on the photoelastic effect," OPTICS LETTER Vol. 7, No. 8 p.388, 1982.
7. C.M.Lawson, et al., "Fiber-optic diaphragm-curvature pressure transducer," OPTICS LETTER, Vol. 8, No. 5, p.286, 1983.



金永洙(Young Soo Kim) 정회원

1959年 1月 4日生
 1982年 2月 : 전북대학교 전자공학과(공학사)
 1984年 2月 : 전북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1994年 2月 : 전북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1984年 3月~현재 : 한국전기연구소 선임연구원
 ※주관심 분야 : 광전자 응용, 광네트워, 광센서 다중화, 광변조기, 광신호처리



洪根(Hong Keun Cho) 정회원

1952년 10월 3일생
 1975년 2월 : 항공대학교 통신공학과(공학사)
 1993년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1995년 8월 : 전북대학교 대학원 컴퓨터 공학과 박사 수료

1979년 8월~현재 : 전력연구원(KEPRI) 선임연구원
 ※주관심 분야 : 광전자 응용, 컴퓨터 네트워크, WDM 네트워크



鄭成鍾(Seong Jong Chung) 정회원

1975년 2월 : 한양대학교 전기공학과(공학사)
 1979년~1982년 : Houston 대학교 전자공학과(공학석사)

1982년~1984년 : Houston 대학교 전자공학과 박사과정 수료
 1986년~1989년 : 충남대학교 전자계산기공학과(공학박사)
 1991년~1992년 : Pennsylvania State University Post Doctor
 1985년~현재 : 전북대학교 공대 컴퓨터공학과 부교수
 ※주관심 분야 : 그래픽스, 문자인식, 컴퓨터 응용



金堯喜(Yo Hee Kim) 정회원

1944年 10月 2日生
 1992年 : 경희대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
 1964年~1981年 : 한국전력공사 계통운용부, 전자계산소, 기술연구원

1981년~현재 : 한국전기연구소 전력전자연구부장(책임연구원)
 ※주관심 분야 : 광전자 응용, 광섬유 센서