

金永深°

金堯喜

V. E. Strigalev

한국전기연구소

한국전기연구소

St. Petersburg state university

Design and characteristics of a fiber-optic pressure sensor

Young-Soo Kim

Yo-Hee Kim

V. E. Strigalev

KERI

KERI

St. Petersburg state university

Abstract

A fiber-optic pressure sensor is fabricated with a photoelastic glass material. To remove the influence of external perturbation along the optical fiber, a new referencing technique is proposed by using two light sources. 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 5 kg/cm².

1. 서론

본 논문에서는 새로운 Referencing 기술을 적용한 광탄성 효과형 압력 센서를 제안한다. 광학 Glass나 플라스틱 등과 같이 투명한 탄성체에 외부로부터 일정한 방향으로 압력을 가하면 광학적으로 이방체가 되어 임의의 방향으로 굴절율이 변한다. 인가한 압력을 제거하면 다시 원래의 상태로 되돌아 간다. 따라서 레이저 광을 센싱부에 송신하고 편광자와 1/4 파장판으로 광학적인 바이어를 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 편광 상태도 다르게 변한다. 이러한 물질로서는 석영, 광학 glass, LiNbO₃, Y₃Al₅O₁₂ 등이 있다. 광압력 센서를 제작하고, 광섬유에 유입되는 외부 섭동의 영향을 제거하기 위하여 기준 신호 광원과 변조 신호 광원을 사용하여 Referencing을 하였다. 광압력 센서 및 신호처리부를 연결하여, 각각의 광원에 대한 센서 소자의 압력 의존성을 조사하였다. 변조 신호 출력을 기준 신호 출력으로 나누는 Referencing회로를 적용 압력 측정 실험을 하였다.

II. 광압력 센서의 원리

광압력 센서의 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 인가압력의 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 이때문에 광탄성 소자를 통과한 후 광의 편광상태는 타원편광으로 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.

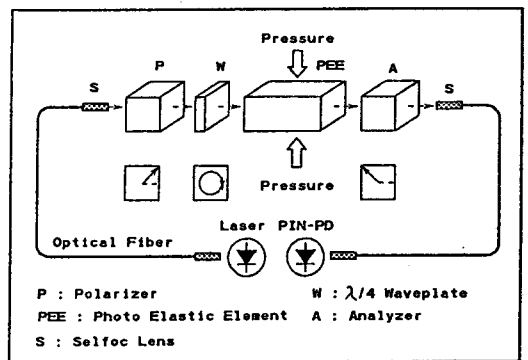


그림 1. 광압력 센서의 구성

광압력 센서의 광강도 변조식의 최종식은 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

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

여기서 ρ 는 인가압력에 따른 위상 차이량이고, θ 는 $\lambda/4$ 위상판의 Fast축과 X축 사이의 각을 나타낸다. $\lambda/4$ 판의 Fast축이 광탄성 소자의 X축 방향($\theta = 0$)과 일치할 경우 변조식은 식(2)과 같이 된다.

$$P_w = \frac{1}{2}(1 + \sin\rho) \quad (\theta = 0) \quad (2)$$

$$P_w = \frac{1}{2}(1 - \cos\rho) \quad (\theta = \frac{\pi}{2}) \quad (3)$$

식(2)와 식(3)에서의 큰 차이점은 인가 압력이 0일 때 출력값의 시작점이 다르다는 것이다. 대부분의 위상 변조형 광센서 설계시 식(2)의 관계를 이용한다. 주된 이유는 압력이 0인 부근에서 직선성이 가장 좋기 때문이다. 둘째 이유는 센싱 감도에 있다. 압력이 0인 부근에서 두 수식의 센싱 감도를 알아보기 위하여 식(2)와 식(3)을 1차 미분하고 $\rho = 0$ 를 대입하면 식(2)에서는 $P_w = 0.5$ 이고 식(3)에서는 $P_w = 0$ 이 된다. 따라서 식(2)에서의 감도가 식(3)보다 큼을 알 수 있다. 따라서 ρ 의 시작점 위치를 적절히 선택함으로써 감도 향상 및 Dynamic range를 증가시킬 수 있다.

III. 전체 시스템 구성 및 실험

광압력 센서의 전체 구성도를 그림 2에 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 전기신호로 변환된다. 이 신호에는 압력의 영향을 받는 660nm LED의 펄스전압과 영향을

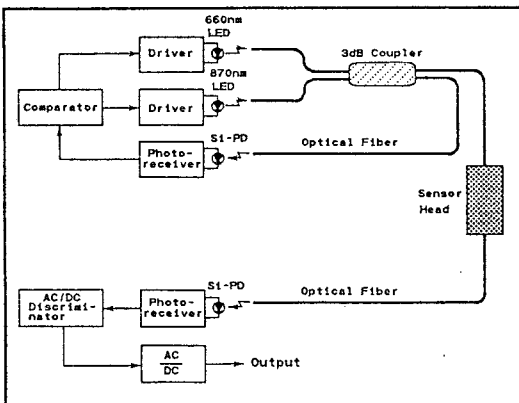


그림 2. 광압력 센서, 시스템 전체 구성도

받지 않는 870nm LED의 직류전압이 합쳐져 있으므로 교류/직류 변별기로 이들 두 신호를 분리한다. 이후에 교류 신호를 직류 신호로 나누어 광강도 Referencing을 행한 후 출력한다.

광원의 출력 파워 변동 및 외부의 섭동에 의한 오차 발생의 가능성을 제거하기 위하여 여러가지 보정 방안이 적용될 수 있다. 본 논문에서는 두개의 파장을 사용하는 방법을 채택하였다. 어느 파장대에서는 편광자와 검광자가 광압력 센서소자의 위상 변화를 감지할 수 있지만, 다른 파장대에서는 센서소자에서 발생하는 위상 변화량을 감지하지 못한다. 따라서 감지 가능한 파장대의 LED를 변조신호용 광원으로, 감지 불가 파장대의 LED를 기준신호용 광원으로 사용 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 받지않는 센서구현이 가능하게 된다.

광섬유의 섭동의 영향을 조사하기 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.

그림 3은 기준 신호의 출력 레벨이 883mV와 441mV일 경우에 대하여 변조 신호의 출력율을 도시한 것이다. 기준 신호의 광파워가 3dB 감소하면 변조 신호광의 출력도 반으로 감소함을 알 수 있다.

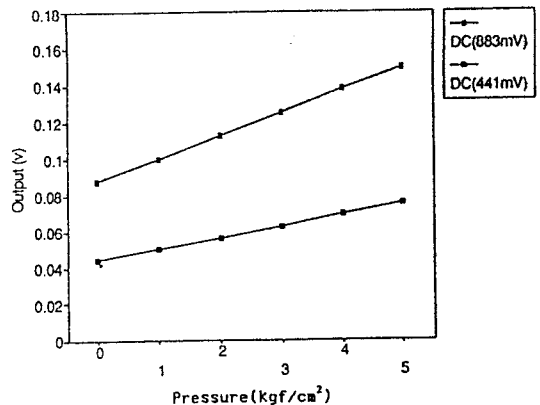


그림 3. 센서의 출력 특성

광섬유 압력 센서의 최종 광출력은 센서에 인가한 압력에 의해 발생하는 위상차이에 관한 식(2)를 광변조 특성을 나타내는 식(4)에 대입함으로써 구할 수 있다.

$$P_w = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \sin \frac{2\pi C_o P L}{\lambda} \right\} \quad (4)$$

여기서, λ : 변조 신호용 LED 파장 (660nm)
 P : 피측정 압력 (kgf/cm²)
 L : 광탄성 효과소자의 길이(cm)
 C_0 : Brewster 계수 (cm²/kgf)

[4] W.B.Spillman, "Multimode fiber-optic pressure sensor based on the photoelastic effect," OPTICS LETTER Vol. 7, No. 8 p. 388, 1982.

식(4)에서 피측정 압력(P)을 제외한 나머지 계수는 일정하므로 이 값들을 대입하고 실험에서 얻어진 출력력을 정규화하면 그림 4와 같은 입출력 특성을 얻을 수 있다.

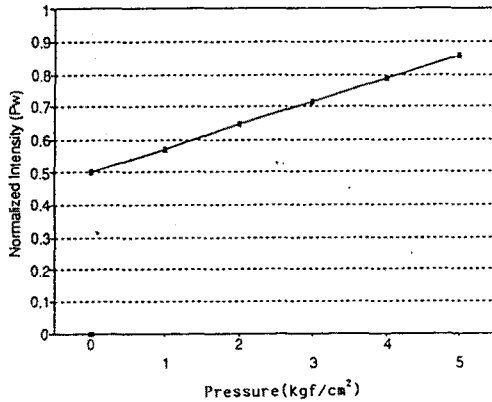


그림 4. 광압력 센서의 입출력 특성

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

IV. 결 론

광압력 센서를 제작하고 기준 신호 광원과 변조 신호 광원을 사용하여 구동회로 및 광수신 회로를 제작하였다. 광섬유 외부 섭동의 영향을 조사하였다. 그 결과 기준 광원의 출력은 인가 압력에 대하여 변화가 없었지만 변조 광원의 출력은 선형적으로 변화하였다. 기준 신호의 출력과 변조 신호의 출력 그리고 변조 신호를 기준 신호로 나눈 결과를 분석한 결과 제안한 Referencing 방법이 외부 섭동이나 외란의 영향을 받지 않음을 확인하였다. 1 - 5kgf/cm²의 압력에서 선형적인 특성을 보였다.

참 고 문 헌

- [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] G. B. Hocker, "Fiber-optic sensing of pressure and temperature," Appl. Opt., Vol. 18, p. 1445, 1979.