

광섬유를 이용한 고감도 압력센서 개발

Development of high sensitivity pressure sensor using optical fiber

이 권 현(동신대 공대), 조 경 재, 김 현 철(동신대 대학원)
 Kwon-Hyun LEE(Dongshin Univ),
 Kyeng-Jai CHO, Hyun-Cheol KIM(Dongshin Graduate School, Dongshin Univ)

ABSTRACT

This paper presents the system demonstrator for an optical fiber sensor system developed as a technological evaluator suitable for generic sensing applications. The new type of fiber-optic sensor employed a diaphragm displacement transforms pressure into optical intensity. From this sensing technique, we can know the variation of source intensity, the loss of a optical fiber, and the reflectivity of the diaphragm surface. Experimental results are applied to the low-pressure transducer suitable for measuring miniature pressure.

Key Words : Optical fiber(광파이버), Diaphragm(진동판), Multi-mode fiber(멀티모드 파이버), Fiber-optic sensor(광파이버 센서), Miniature pressure(미소압력)

1. 서 론

최근에 광파이버 센싱 기술은 재래의 센싱 기술에 비해 센서 크기가 작고, 완전한 전기 절연성은 물론 폭발 위험이 있는 환경과 고온에서도 사용이 가능하며, 높은 전계나 자장의 영향을 받지 않는 장점 때문에 많은 연구가 진행되어지고 있으며 산업 응용에 있어서 광파이버 센싱 기술이 관심을 모으고 있다.

압력 측정에 있어서는 주로 진동판(Diaphragm)이 사용되고 많은 광파이버 센서가 다이어프램의 변화 부분에 초점을 맞춰 연구되고 있다. 이 방법의 대부분은 진동판 표면으로부터 발생하는 광 강도의 변화에 의존한다. 특별히 광파이버 센서들은 다이어프램의 중심 부분에 반사된 빛의 변화를 이용해서 개발되고 있으며 센서의 재질이 가지고 있는 원래의 감도에 의존한다. 이 장치들은 절대적으로 광의 강도에 의해 측정되기 때문에 출력 신호가 광원의 강도의 변화로부터 나오는 광원의 감소와 마이크로밴드 손실등에 의해 영향을 받는다.^{[1], [2], [3]}

본 연구에서는 광섬유를 이용하여 미세한 압력이나 모멘트 등의 순시적인 물리적 변화량을 신속하고 정밀하게 측정이 가능한 센서의 개발과 그의 제특성 실험을 실시하고자 한다.

2. 과제설정 및 고려사항

본 연구에서 개발하고자 하는 압력센서의 중요설계 요소는 측정범위 -50~500 mbar, 주파수 범위 1~10 Hz 및 센서의 크기는 가능한 소형화 및 시차 폼 제작이 용이하도록 하였다.

그림 1은 센서의 입출력 관계를 나타낸 Blockbox 로써, 센서의 측정결과(출력단의 크기)는 특수한 장애요소 및 제한요소가 존재하는데 이들 factor를 충분히 고려한 설계정수를 찾는 일이 최적 설계요소라 하겠다.

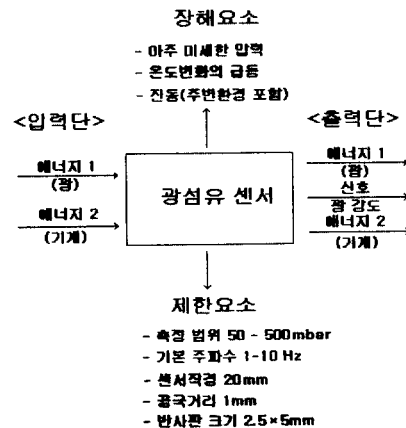


그림 1. 광섬유 센서의 입·출력 블럭도

3. 압력 측정 시스템

압력측정 시스템의 기본 구성도는 그림 2와 같다.

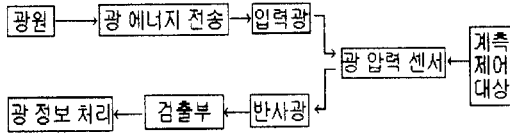


그림 2. 압력 측정 시스템 구성도

여기서 광파이버를 이용한 압력측정 기술의 원리는 다이어프램에 의한 반사강도의 변화를 이용하고 이 반사광을 데이터 처리해서 압력을 측정한다

그림 3은 본 실험에 사용한 압력 측정 장치이다.

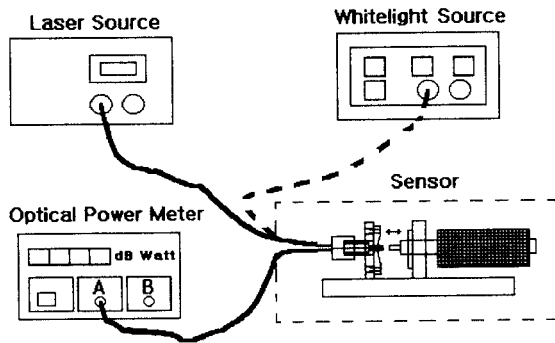


그림 3. 압력 측정 장치

여기서 사용한 Fiber는 단순히 다이어프램에 의한 반사강도 변조 신호광의 전송로로서 사용되며 우수한 기하학적 구조로 접속 손실이 최소이고 1310nm에 최적화된 62.5/125 μ m의 Graded Index형의 Multimode Fiber를 사용했다.

광송수신기의 광원, 송광소자로서는 각각 Pabry-Perot Laser(Central Wavelength 1310 \pm 20nm, Spectrum Bandwidth <2.5nm rms, Oupt Power >0 dBm)와 수광소자로는 InGaAs계의 Power Meter(Wavelength Range 800 \pm 1700nm, Power range +3 to -90dBm)를 사용했고 Main frame은 Lightwave Multimeter를 사용했다.

4. 센서 설계

센서에는 입력용, 출력용 광파이버 끝에 각종 광기능 재료(예:다이어프램, 반사판)와 기계적 변화에 의한 광학식 센서를^{[4], [5], [6]} 장착하는 구성을 취한다.

압력센서 헤드 부분은 그림 4와 같다.

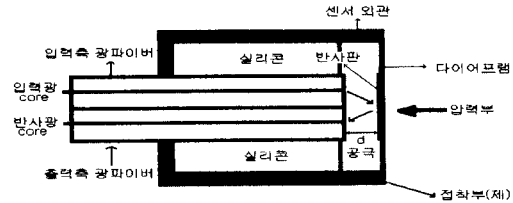


그림 4. 센서 헤드부

압력 센서의 다이어프램 부분은 고무(직경 : 20mm, 두께 : 0.1~0.15mm)를 사용 하고 센싱 공극부 d는 Multi-mode Fiber의 코어머리와 매우 얇은 고무 진동판의 표면 유리판(두께 : 0.13~0.16mm 넓이 : 5 \times 2.5mm) 사이에 형성한다. 공극 거리 d는 1mm의 범위 안에서 세트 되고 시스템에서 빛을 발하기 위한 광원으로는 Pabry-Perot Laser를 사용한다. 이 공극은 파이버 코어의 직경보다 크고 입력측 광파이버 끝부분으로 부터 반사되는 빔과 진동판 표면 반사판으로 부터 반사되는 빔의 작은 부분이 출력측 신호에 기인할 것이다.

5. 실험 결과

미소압력 측정은 센서 진동판 부분에 압력이 가해질 때 압력의 변화에 따른 출력광의 변화량(nW)를 측정하므로써 이뤄진다. 이 때 동일한 광원이라 할지라도 반사판 재질에 따라서 반사특성에 많은 차이를 나타낸다. 그림 5는 Laser 광원을 사용하여 공극거리(압력 변화량) 변화에 의한 알루미늄포일 및 유리 재질의 반사특성을 나타낸다.

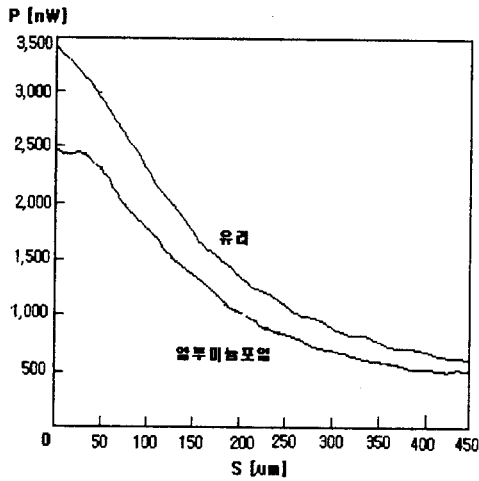


그림 5. Laser를 사용한 반사판 재질의 반사 특성곡선

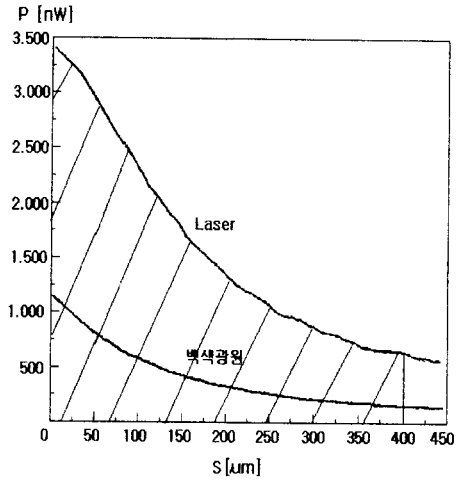


그림 7. Laser와 백색광원의 공극거리 변화에 의한 유리 반사판 재질의 반사 특성곡선

그림 6은 백색광원을 사용했을때의 반사판 재질에 따른 반사 특성곡선을 나타내고 있다.

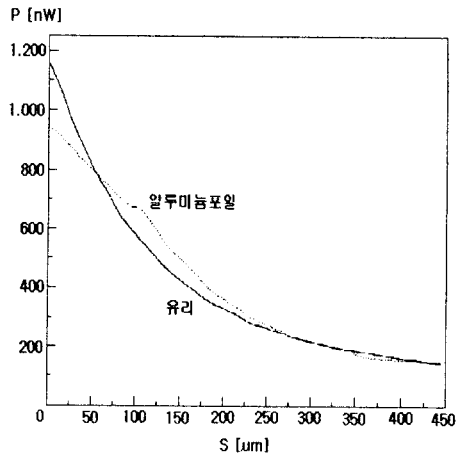


그림 6. 백색광원을 사용한 반사판 재질의 반사 특성곡선

센서의 반사판은 그림 5과 6에서 보는바와 같이 압력증가시 공극 거리 변화에 의한 반사판 재질의 반사특성이 알루미늄포일 보다는 미소거리 0~200μm에서 직진성의 변화를 갖는 유리가 좋은것으로 나타나 본 연구에서는 유리 재질을 사용했다.

그림 7은 유리 재질을 반사판으로 사용하고 광원의 변화(백색광원 및 Laser광원)에 따른 반사 특성곡선 이다.

그림 7에서의 같이 동일 반사재질을 사용했을 때 라도 Laser 광원을 사용하므로써 넓은 범위(0~200 μm)에서 직진성 변화의 이용이 가능함에 따라 센서로서 Laser 광원 및 유리 반사판의 사용이 최적의 측정 결과를 얻게 됨을 알 수 있었다.

그러나 좀더 넓은 영역(예:0~400μm)의 범위에 대한 특성곡선을 얻고자 한다면 그림 7의 측정결과를 이용한 수학적 보정 기술로서 직진성의 특성을 값을 산출 해낼 수 있다.

즉,

$$P_s = P_0 e^{-ks} + P_\infty$$

여기서

P_∞ : 특성곡선의 변화량이 일어나지 않는 영역인 400μm 이상거리

P_0 : 구간에 따른 출력 값

P_s : 출발시 출력 값(예 : 사선 부분중 0μm 값)

k : 진동 함수(진폭함수)

s : 출력시 거리 즉, 0μm

각 구간에 대한 출력량의 산정은

$$\int_{initial}^{final} P_0 e^{-ks} ds$$

식을 사용하여 최소 허용오차 범위 내에서 확대 구간에 대한 측정 결과를 예측해 볼 수 있다.

6. 결 론

실험결과 그림 5, 6, 7에서 나타난바와 같이 센서 압력부 압력이 변화할 때 센서의 공극 거리와 반사광 출력 변화로 미소 압력 측정이 가능함을 알 수 있었다.

특히 본 연구를 기초로 하여 공극거리 변화와 반사광 Power 변화를 이용, 테이타 처리 할 때 미세한 압력이나 모멘트 등의 순시적인 물리적 변화량을 신속하고 정밀하게 측정할 수 있고 시스템의 개발로 로봇용 센서등 메카트로닉스 분야나 맥박, 혈압 등의 의료공학등 넓은 영역에까지 응용될 수 있다.

앞으로 개선해야 할 사항은 무엇보다도 센서 압력부의 압력이 얼마만큼 가해 졌는가를 측정할 수 있는 시스템의 개발이나 대체할 수 있는 장치를 개발해서 정확한 압력을 측정 할 수 있도록 해야한다.

7. 참 고 문 헌

- [1] Y. J. Rao and D. A. Jackson, "Miniature Fibre-Optic-Based Interferometric Medical Pressure and Temperature Sensor System", SPIE vol. 2360 pp.67-70, 1994
- [2] S. Ramakrishnan and H. Hoefler, " Optical Fiber Micromechanical Pressure Sensor with very low Temperature Cross-sensitivity", SPIE vol. 2360 pp.392-395, 1994
- [3] Beverley T Meggitt, "Optical Fiber Pressure and Temperature Sensors for Minimal Invasive Diagnostics: Physical Use", SPIE vol. 2360 pp.62-66, 1994
- [4] Yunjiang Rao, "Prototype fiber-optic-based Fizeau temperature sensor using coherence reading and mechanical amplification for medical applications", SPIE vol. 2292 pp.397-406, 1994
- [5] Y. J Rao, " Temperature characteristics of an all-fiber optically addressed silicon microresonator sensor", Sensor and Actuators A. 32 pp.706-709, 1992
- [6] K. T. V. Grattan and B. T. Meggitt, "Optical Fiber Sensor Technology", CHAMPMAN & HALL pp.289-310, 1995