

논문 2007-44SC-4-12

의료용 플라스틱 광섬유 센서 매트

(Sensor Mat using POF for Medical Application)

최 규 남*

(Kyoo Nam Choi)

요 약

의료용으로 사용되는 새로운 개념의 환자감시용 센서 매트와 그 신호처리방식을 제시하였다. 제시된 센서 매트는 플라스틱 광섬유를 교차시켜 배치한 구조를 갖는 내부 센서층을 갖는 구조로 제작하였다. 플라스틱 광섬유의 대구경 특성을 이용하여 불필요한 외부환경 요인에 의하여 발생하는 잡음요소들을 평균화하여 신호성분만을 통과시키는 대역통과필터를 구현하였다. 센서 출력단에 신호처리부를 부가하여 추가로 불필요한 성분들을 제거하여 잡음제거 능력을 향상시켰고 지능형 알고리즘을 사용하여 신뢰성 있는 환자호흡감지방식을 구현하였다. 신호와 주변잡음 모두에게 고감도를 보이는 기존의 기계적인 방식을 사용하는 감지방식과는 달리 본 연구에서 제시된 방식은 신뢰성 있는 호흡 감지가 가능함을 보여주었다.

Abstract

Novel concept of sensor mat and its signal processing method is proposed for patient monitoring in medical application. Proposed sensor mat structure has sensing inner layer which has cross-linked arrangement using plastic optical fiber(POF). Large core diameter of plastic optical fiber behaved as band pass filter by averaging the noise component caused by unwanted environmental factors. Signal processor followed by sensor output added noise immune performance by filtering out unwanted component. Fail-proof patient breath monitoring scheme was realized by using intelligent decision algorithm. Unlike the conventional approach by using mechanical sensor, which have high sensitivity both to signal and to environmental noise, our approach provided reliable breath motion detection.

Keywords : Plastic Optical Fiber, Optical Sensor, Fiber Sensor, Patient Monitoring, Medical Mat

I. 서 론

국내외의 노인인구 증가에 따른 노인 건강관리 필요성은 증대되었으나 노인들을 직접 집으로 방문하여 관리 하는 데는 시간상/거리상 제약과 프라이버시 문제 등으로 한계가 있었다. 또한 국민소득의 향상으로 노년 인구 비중의 증가와 그와 반비례하는 노인관리 인구의 감소로 노인들의 급작스러운 건강상태의 변화에 대한 적시 대처가 필요하였다^[1].

기존의 호흡감지방식은 노인들의 몸에 센서를 직접 부착하여 감지^[2-3]하거나 OTDR 방식^[4]을 사용하여 시스템이 복잡해져 편의성이 떨어져 자연스러운 간접 접

촉 방법으로 감지하는 방식이 선호되었다. 또한 통신 네트워크를 이용한 종합건강관리 시스템^[5]을 활용하여 다수의 노인들의 건강상태를 원격 감시할 필요가 있었다. 이러한 모니터링 방식은 주변의 전자파 및 전자장의 영향을 받지 않는 방식의 개발 필요성이 대두되었고 응급상황에 대처할 수 있도록 노인들의 호흡률을 간접적으로 모니터링 하는 방법의 필요성이 증대되었다. 전자파의 영향을 받지 않는 방식으로는 레이저와 같은 광을 이용하여 센싱하는 방법이 바람직하다. 레이저를 사용하여 압력 또는 스트레인을 감지하는 방식은 스펙클 패턴을 이용하는 방식^[6], 광의 코히런스를 이용하여 감지하는 방식^[7-8], 광의 강도를 이용하는 방식 등이 있다.

따라서 본 논문에서는 주변 전자파의 영향을 받지 않는 광 신호를 이용하며, 외부 중앙관리센터와 네트워크를 형성 통신할 수 있도록 하며, 노인들의 호흡률을 감지할

* 정희원, 인천전문대학
(Incheon City College)

접수일자: 2007년4월27일, 수정완료일: 2007년6월4일

수 있도록 초저주파 감지능력을 갖도록 하여, 노인들의 침상에 설치하여 간접적으로 노인들의 호흡률 등 생존상태를 감지할 수 있는 센서 방식에 대하여 연구하였다.

II. 실험

1. 동작원리

일반적인 통신용으로 사용되는 광섬유는 크래딩이라고 불리우는 코어보다 상대적으로 낮은 굴절률을 갖는 실린더 형태의 실리카 유리에 둘러싸인 실제적으로 광이 도파되는 코어라고 불리우는 보다 높은 굴절률을 갖는 실린더 형태의 실리카 유리로 만들어진 광도파로 구성되어 있는데, 이러한 광섬유가 외부 요인에 의하여 당겨지거나 굽혀지거나, 온도가 변화되면 코어 내부에서 도파되는 광의 위상, 손실, 극성 등에 변화가 생기게 된다. 따라서 우리는 이러한 외부변량에 대한 센서로서 광섬유를 사용할 수 있게 된다. 광섬유에 압력이 가해지게 되면 다음 식 (1)과 같이 굴절률에 변화가 생기게 된다. 그러나 실제 측정된 결과에 따르면 이러한 외부 압력에 대한 굴절률의 변화는 4 Kbars 정도의 압력까지는 $9.2 \times 10^{-4} / \text{Kbar}$ 의 기울기로 비례하지만 그 이상에서는 다른 특성을 보이게 된다^[9]. 여기서 n 는 굴절률을, ρ 는 물체의 밀도를, A_o 는 스트레인 극성 파라미터를 각각 의미한다.

$$\left(\rho \frac{dn}{d\rho}\right)_{observed} = \frac{(n^2 - 1)(n^2 + 2)}{6n} (1 - A_o) \quad (1)$$

그러나 PMMA 소재 플라스틱 광섬유^[10]의 경우에는 압력에 의해 굴절률이 변화되기 보다는 광도파로 자체가 압력에 의해 변형이 되기 때문에 이러한 압력에 의한 변형정도가 식 (2)와 같은 코어 내부를 도파하는 광속의 전송손실 특성에 영향을 주게 된다.

$$I = I_o \exp(\tau y) \Phi(t) \quad (2)$$

$$\tau = \pi \int_0^\pi (V_V + V_H + H_V + H_H) \sin\theta \cdot d\theta$$

여기서 I 는 I_o 세기의 광이 y 거리를 통과한 후 산란에 의해 감소된 광의 세기를 나타내고, τ 는 산란에 의해 감소되는 정도를 나타내는 흐림도를 나타내고, V 와 H 는 각각 수직방향편광과 수평방향편광을 나타내고, θ 는 입사광에 대한 산란각을 나타내고, $\Phi(t)$ 는 외부압력에 의해 도파로에 변형이 일어나 발생하는 손실 정도를

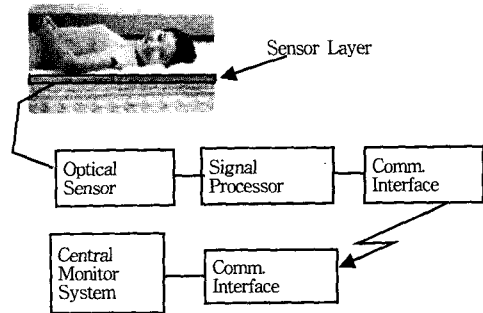


그림 1 의료용 센서 매트 개념도

Fig. 1. Concept of sensor mat for medical application.

나타내는 함수를 나타낸다.

즉 실리카 재질의 광섬유가 외부압력에 대해 굴절률 등에 변화가 일어나므로 외부요인에 의한 장애가 일어날 확률이 많은 반면에 플라스틱 광섬유는 직접적으로 광섬유 도파로에 변형을 주는 경우에만 감지가 가능하므로 외부요인을 영향을 상대적으로 덜 받게 된다.

환자가 의료용 센싱 매트를 자신이 사용하는 요 또는 매트리스 위에 깔고 누워있을 때 환자의 움직임은 직접적으로 감지하되 미세한 주변의 움직임에는 영향을 받지 않는 소재와 작동 개념을 도입하여 센싱 매트를 설계하였다. 일반적으로 통신용으로 사용되는 광섬유는 NA가 작아 민감한 감도를 보이나 주변의 잡음에도 민감하게 반응하여 의료용 매트에 적용하는 데는 한계가 있었다. 따라서 개구수(NA)가 큰 플라스틱광섬유(POF)를 기반으로 센서를 구성하였다. 환자가 센싱 매트 위에 누워서 움직임을 발생시키면 센싱 매트 내에 매입된 POF 내를 통과하는 광속에 변화를 유기하며 이 변화를 신호처리 회로가 감지하여 신호를 발생시키게 하는 원리를 사용하였다.

2. 구조

그림 2와 같은 구조에서 센서 층의 배치는 그림 4에 나타낸 것과 같이 센서로 사용하는 패드 위에 POF를 지그재그 형태로 균일하게 배열하여 환자가 매트위에서

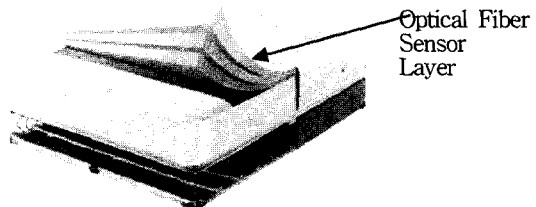


그림 2 의료용 센서 매트 구조도

Fig. 2. Structure of sensor mat for medical application.

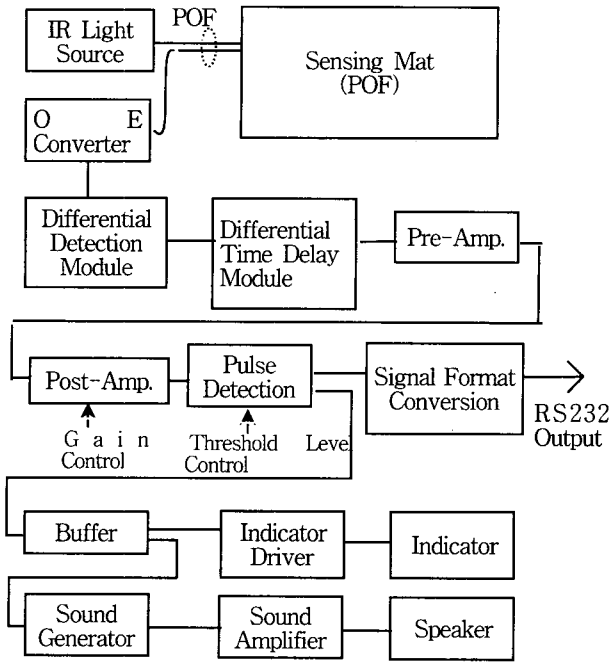


그림 3. 의료용 센서 매트 센서부 블록도
Fig. 3. Sensing part block diagram of sensor mat for medical application.

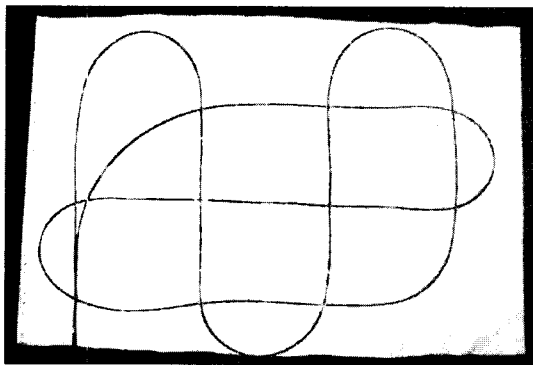


그림 4. 의료용 센서 매트 센서층 배치도
Fig. 4. Sensing layer arrangement of sensor mat for medical application.

움직이는 것을 감지하는 크기의 패드를 구성하였다. POF는 플라스틱을 소재로 만들어졌기 때문에 환자가 움직여도 부러지지 않는 내구성을 가져 이러한 용도에 적합하였다. 패드는 부드러워 환자가 이물감을 느끼지 않도록 하며 POF를 지지할 수 있는 강도와 두께를 갖도록 하였다. 평가용 샘플에서는 두께 2mm의 발포형 소재를 사용하였다.

평가용 샘플은 표면이 환자에게 부드러운 느낌을 주어야 하므로 면을 소재로 한 시트를 사용하였으며 센싱 매트 Pad Base를 완전히 커버하는 구조를 사용하였다. 그림 4에서와 같이 Pad 한쪽 귀퉁이에 신호를 외부로 내보내는 POF 광섬유가 하측 좌단에 보이고 있다. 환

자의 움직임은 주로 머리에서 엉덩이까지의 상체에서 발생하므로 패드의 크기는 이러한 상체의 움직임을 커버하는 크기로 제작하였다.

3. 평가

제작된 센서를 사용하여 성능 평가를 하였다. 그림 5는 그림 3에 나타난 블록도에 따라 제작된 센서 수신부의 외관을 보이고 있다.

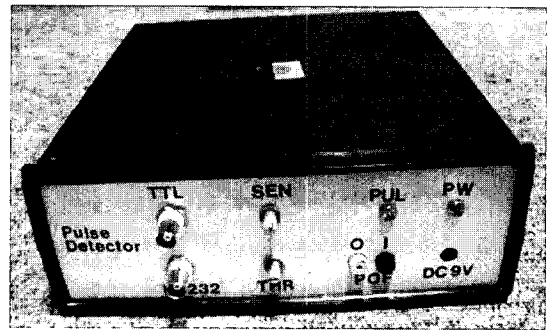


그림 5. 센서 수신부의 외관도
Fig. 5. Outside appearance of sensor receiver.

가. 압력감지 평가

센서의 최소 감도를 측정하기 위하여 하중 자유낙하 실험을 하였다. 50g 금속 추를 10cm에서 자유낙하 할 때의 센서의 반응을 아래 그림 6과 같이 측정하였다.

측정결과는 10msec의 분해능을 가지고 있음을 알 수 있다. 아래 그림들에서 공히 상부 trace는 TTL 신호 출력을 측정한 것이고 하부 trace는 RS232 신호출력을 측정한 것이다.

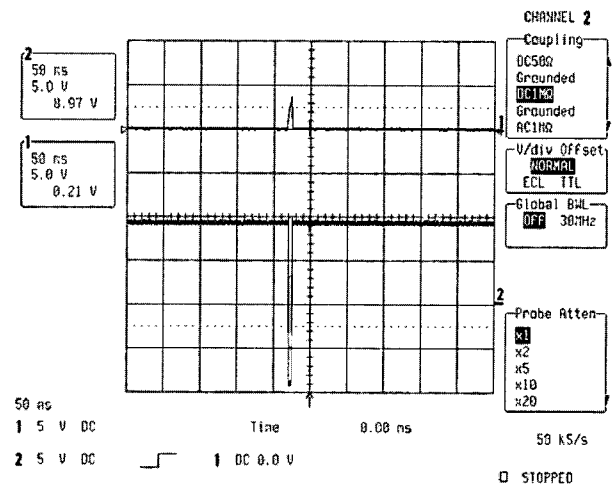


그림 6. 50g 금속추를 10cm에서 자유낙하시의 신호출력
Fig. 6. Response to free fall of 50g weight metal at 10cm height.

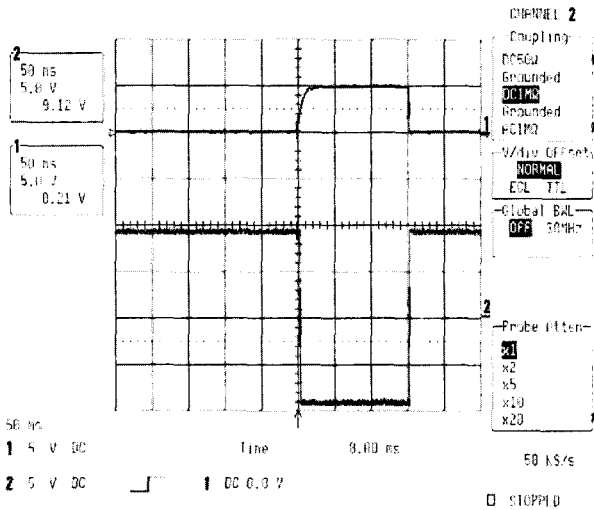


그림 7 손을 움직였을 때의 신호출력 파형
Fig. 7. Response to human arm moving on the mat.

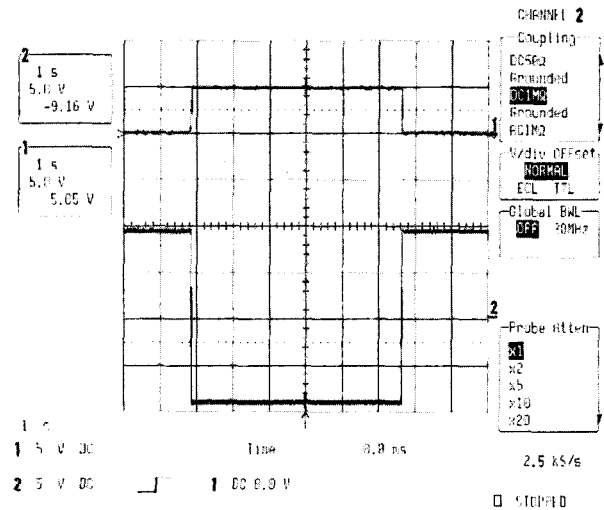


그림 9. 지속적인 압력에 대한 신호출력 파형
Fig. 9. Response to the pressure for long duration.

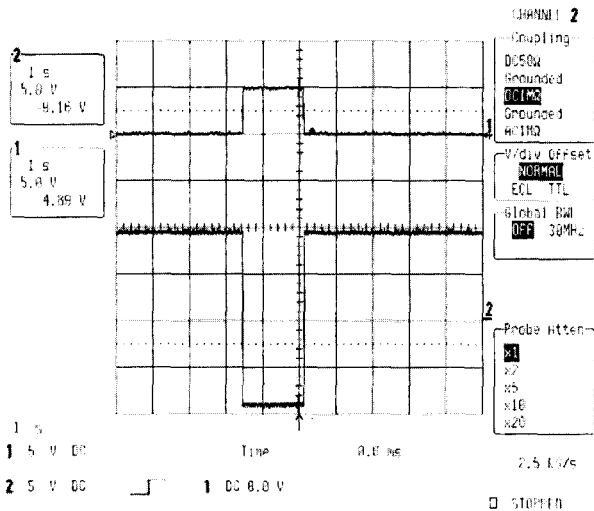


그림 8 일반적인 호흡할 때의 신호출력 파형
Fig. 8. Response to breath motion on the mat.

그림 7에서와 같이 취침 중 경미한 신체움직임의 영향을 측정하기 위하여 손을 매트위에서 움직이는데 대한 반응도 실험을 하였다. 경미한 움직임에도 약 150msec 동안 안정적으로 센서가 반응함을 위 그림에서 볼 수 있다. 또한 환자가 취침 시 호흡할 때의 신체의 움직임에 의한 센서의 신호출력 파형을 그림 8과 같이 측정하였다. 약 1.6sec 동안 신호출력이 안정적으로 출력됨을 알 수 있다.

나. 움직임감지 평가

두 번째 성능 평가 항목인 얼마나 오랫동안 환자의 움직임을 감지하여 신호출력 할 수 있는가를 평가하기 위하여 지속적인 압력에 대한 출력 특성을 그림 9와 같이 측정하였다. 목표치인 0.2Hz(5sec) 동안 안정적인 출

력을 할 수 있는가에 대하여 실험적으로 측정된 결과 그림 9에서와 같이 약 5.6sec 동안 신호출력이 지속됨을 알 수 있어 목표가 달성되었다고 할 수 있다.

III. 결 론

플라스틱 광섬유를 이용한 의료용 센싱 매트와 이의 신호처리 방식에 대한 개념을 개발하였다. 센서의 최대 감도를 측정하기 위한 실험에서는 50g 금속 추를 10cm 위에서 자유낙하 할 때 10msec 의 분해능을 가지고 있음을 알 수 있었다. 취침 중 경미한 신체움직임의 영향을 측정하기 위한 반응도 실험에서는 약 150msec 동안 안정적으로 센서가 반응함을 알 수 있었으며 호흡할 때의 신체의 움직임에 대해서도 약 1.6sec 동안 신호출력이 안정적으로 출력됨을 알 수 있었다. 얼마나 오랫동안 환자의 움직임을 감지하여 신호출력 할 수 있는가를 평가하기 위한 지속적인 압력에 대한 평가에서도 목표치인 0.2Hz(5sec) 이상 안정적인 출력을 보여주었다.

아직까지 내구성을 가지며 세탁도 용이한 플라스틱 광섬유 방식을 사용한 의료용 매트는 개발된 적이 없으므로 향후 기술적 파급효과가 클 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] "Apnea monitors worldwide-A market strategy report", Global Information Inc., Jul. 2005.
[2] J. Buschmann, "SIDs detection apparatus and methods", US Patent 5241300, Aug. 1993.
[3] AAMI, "Apnea monitoring by means of thoracic

- impedance pneumography”, AAMI TIR4, 1993.
- [4] 坂井正善, “생체모니터장치”, 일본공개특허공보 特開2003-135432, 2003. 5.
- [5] E.J.Woo et al., “Development of a module-based bedside monitor for patient monitoring”, J. KOSOMBE, vol. 18, no. 2, pp. 133-146, 1997.
- [6] K. N. Choi, “Optical fiber speckle sensor for wire net fence application,” KSSP19, ICMIT2005, Sep. 20-23, 2005, Chongqing, China.
- [7] K. N. Choi and H. F. Taylor, “Spectrally stable Er-fiber laser for application in phase-sensitive optical time-domain reflectometry,” IEEE Photon. Tech. Lett., Vol.15, No.3, pp.386-388, Mar. 2003.
- [8] J. C. Juares, E. W. Maier, K. N. Choi and H. F. Taylor, “Distributed fiber-optic intrusion sensor system,” J. Lightwave Tech., Vol.23, No.6, pp.2081-2087, Jun. 2005.
- [9] K. Vedam, E. D. D. Schmidt and R. Roy, “Nonlinear variation of refractive index of vitreous silica with pressure to 7 Kbars,” J. Am. Ceram. Soc., Vol.49, pp.531-535, 1966.
- [10] 신부건, 박정호, 김장주, “플라스틱 광섬유의 광학 특성 분석,” 고분자과학과기술, 제3권, 2호, pp.217-225, 5월, 2002년.

 저 자 소 개



최 규 남(정회원)

1976년 서울대학교 공학사

1989년 Texas A&M University, Electrical Engineering, M.S.

1992년 Texas A&M University, Electrical Engineering, Ph.D.

1992년~1994년 LG전자기술원 연구실장

2000년~2002년 미국 CEMDAS연구소 연구원

1994년~현재 인천전문대학 정보통신과 교수

<주관심분야 : 광섬유센서, 광응용기기, RFID>