

논문 98-7-3-07

조합형 광섬유 트랜스듀서에 의한 요골맥파의 검출

박승환*, 홍승홍**

Detection of Radial Pulse by Combinational Fiber-optic Transducer

Park Seung-Hwan*, Hong Seung-Hong**

요 약

맥파신호는 심장과 심혈관계에 관련된 중요한 정보를 포함하고 있는 중요한 생체신호이다. 본 연구에서는 맥파신호를 비관혈적으로 검출하기 위해 기존의 기계적 변환방식의 개념에 근거하여 광섬유를 이용하는 맥파 검출용 트랜스듀서를 새로이 개발하여 사용하였다.

기계적 변환방식에서 발생될 수 있는 맥동전달 효율을 개선시키기 위해 본 연구에서는 맥동하는 피부와 접촉하여 센서에 전달하는 검출부(detecting part)와, 전달받은 변위운동을 광 출력 변화에 따른 전기 신호로 변환하는 감지부(sensing part)의 두 부분이 조합된 구조를 갖는 설계방식을 제안하였다.

우리는 이러한 조합형 구조의 설계방식을 이용한 결과로 기존의 트랜스듀서로 검출이 어려운 맥파의 C점(질혼)과 T파를 검출할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

The human pulse wave is a vital biosignal that includes the diagnostic data related with the heart and the cardiovascular system of human body.

Based on the mechanical transducing method, a pulse detection transducer using optical fiber was developed to acquire the pulses non-invasively.

To improve the detection efficiency, we proposed a new design that consists of two combinational parts; detecting part, which is in contact with the pulsating skin and transmits the displacement motion of the pulsating skin to the sensing part, and sensing part, which converts the physical quantity transmitted from the detecting part to electronic signal.

By using the new method, we confirmed that the proposed transducer can detect the C point(incisura) and the T wave(tidal wave) which is not easily detected by existing transducers.

1. 서 론

심장질환에 대한 진단법으로서 촉지에 의한 맥진법(脈診法)과 심음에 의한 청진법(聽診法)이 있었던 과거

방법과 달리 최근 전자 공학을 위시한 과학 기술의 바탕에 힘입어 심장에 관한 연구와 기술이 크게 발전하였다.

* 서울보건전문대학 의공학과(Dept. of Biomedical Eng., Seoul Health Junior College)

** 인하대학교 전자공학과(Dept. of Electronics, Inha University)

<접수일자 : 1997년 6월 12일>

심장에 대한 검사 방법으로 널리 사용되는 심전도에 의한 검사법외에 혈압 측정에 의한 검사법이 있다[1,2].

혈압을 측정하는 방법은 크게 직접적인 방법과 간접적인 방법으로 나뉘어진다[3,4]. 직접적인 방법에는 인

체 내외(內外)에 혈압 측정용 트랜스듀서를 혈관과 직접 연결하여 측정하는 관혈적(灌血的) 방법[5,6]이 있으며, 간접적 방법에 비해 혈압의 시간적 변화를 지속적으로 관측하는 것이 가능하다. 그러나, 측정시 피검자(被檢者)에게 고통과 부담을 수반하게 한다는 어려움이 있다. 간접적인 방법으로는 수은 혈압계 등을 이용하여 인체 외부에서 비관혈적(非灌血的)으로 혈압을 비교적 간단하게 측정할 수 있는 방법이 있다. 그러나 연속적인 혈압 측정은 불가능하며, 순시적(瞬時的) 측정[7,8]으로 대부분 한정된다.

최근에 와서 시간에 따른 혈압변화로 형성되는 맥파를 비관혈적 측정방법이면서 연속적으로 검출하는 방법[9-13]이 가능하게 되었다. 이 방법은 피검자에게 고통과 부담을 주지 않는 측정 방법으로 측정된 데이터에는 맥의 혈관진과 경로에 따른 혈관계(血管系)의 정보를 포함하고 있기 때문에 이의 유효성에 대한 인식이 커지고 있다[13].

연속적 검출이 가능한 비관혈적 측정방법으로는 혈관내 혈액과 혈관벽의 변화를 투과성 광 또는 파를 이용하여 측정[9]하거나, 일정 압력으로 피부와 접촉되어 있는 센서를 이용하여 피부에서 발현되는 맥동의 변화를 기계적 변위로서 검출하도록 하는 방식이 있다. 전자를 광학적 검출방식이라 하고 후자는 기계적 변환 방식이라고 하는데 특히 후자는 한의학의 맥진 검출에 많이 활용되고 있는 방식이다.

이러한 기계적 변환 방식의 예로는, 1967년에 Pressman[10]은 맥검자를 갖는 스트레인게이지를 이용해 맥파를 검출해 냈으며, 뒤이어 1973년에는 Bahr, Petzke[11]는 반도체 압력 센서로 발전시켰고, 1978년에는 압전소자에 의한 맥파 측정용 센서가 개발되었다[13], 마이크로폰에 의한 감지방법도 LEE에[12] 의해 소개되었다. 이밖에 롯셀럼 응용 센서등에 의한 방법도 맥파센서로서 가능한 압력센서들의 예가 된다.

현재까지 실용화된 기계적 변환 방식에서, 맥검출의 신뢰성과 유효성의 정도는 센서의 피부접촉에 따른 맥동(脈動)을 감지할 때 맥동이 센서에 전달되는 과정에서 발생하는 변환손실에 의해 좌우된다. 국내에서도 맥동전달의 효율을 개선시키고 맥검출을 용이하게 하기 위해 중요한 맥동전달기능과 함께 감지기능을 강화시킬 목적으로 이미 P1~P3형의 트랜스듀서가 개발되어 맥파검출의 유효성을 보였다[14,15].

P1~P3형의 트랜스듀서를 보면 맥동 변환부를 갖는

광섬유 센서로서 조합형 구조(combinational structure)로 되어 있다. 즉 맥동 검출과 전달이 이루어지는 맥동 검출부와 전달된 물리량 변화를 감지하는 감지부의 두 부분으로 구성되며 두 기능이 연계되어 동시적으로 수행되는 형태이다. 이는 지금까지의 타 연구결과[11-13]를 통해 명확하게 구분하여 제시되지 못했던 맥동 전달 과정에서 수행되는 두 기능을 검출부와 감지부로서 새로이 정의하여 설계된 것이다.

본 연구는 이미 발표된 P1~P3형의 트랜스듀서의 설계의 개념을 토대로 맥동검출부의 형태변화와 함께 특히 감지부의 경우 P1~P3형에서 취했던 광반사식을 광차단식으로 설계한 P5형 트랜스듀서에 관한 것이다. 광반사식의 반사손실과 반사막 특성이 센서의 광출력에 영향을 미치는 점을 배제하기 위해 설계된 P-5형 트랜스듀서에 의한 맥파검출방식을 소개할 것이며, 제작된 트랜스듀서의 맥파 검출결과를 보이겠다.

II 트랜스듀서의 구성과 동작

1. 트랜스듀서의 구성

P-5형 트랜스듀서는 검출부와 감지부의 두 부분으로 구성되어 있으며 그림 1에 트랜스듀서의 구성도를 보였다.

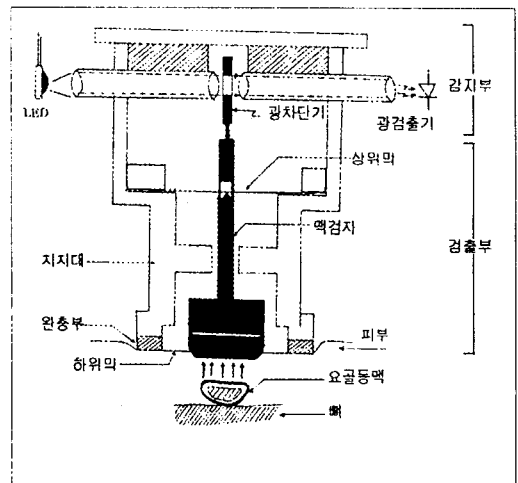


그림 1. P-5형 트랜스듀서의 구성.

Fig. 1. Constitution of P-5 transducer for pulse detection.

검출부의 기능은 맥검출 부위와 접촉하여 기계적으로 상하운동을 하는 맥검자에 의해 감지부에 전달하는 것이다. 이때 트랜스듀서의 검출부의 형태는 맥검출부위의 혈관과 피부의 조건을 고려하여 혈관과 맥검자사이의 피부저항을 감소시키도록 설계된다.

감지부는 맥검자를 매개로 발생하는 광차단기의 변위를 광강도에 의한 신호로 변환하는 부분이다. 맥동이 맥검자를 통해 맥검자에 부착된 광차단기(beam-shutter)를 수직으로 움직이면 맥동에 의한 변위가 광차단 효과를 가져오도록 투광 광섬유, 광차단기 그리고 수광 광섬유의 순으로 배치된다.

2. 트랜스듀서의 동작 원리

트랜스듀서가 요골 동맥상에 부착되면, 검출부의 상위막은 탄성을 갖는 고무막으로 맥검자가 혈관을 적당한 힘으로 눌러 주는 역할을 한다. 하위막은 맥검자를 감싸 받쳐주는 역할과 함께 상위막의 탄성을 유지시켜 주는 역할을 한다. 피부에 접촉해 있는 맥검자가 상위막에 의해 혈관을 압축하면 혈관의 유동은 피부를 통해 맥검자에 전해지고, 맥검자는 감지부의 광차단기에 연결되어 동작한다.

감지부에서 투광 광섬유에서 나온 광은 평행한 수광 광섬유로 전달되는데, 이때 광차단기가 수직 이동하여 수광 광섬유의 수광도(受光度)를 변화시킨다. 즉, 맥검자의 상하운동에 따라 맥검자에 연결된 광차단기의 변위가 발생하고 LED광이 투광 광섬유를 통하여 수광 광섬유로 전달되는 과정에서 광량의 도달 정도인 수광도가 변화된다. 이와 같이 광차단기의 차단 정도의 변화가 광의 전달량을 좌우하며 이에 따른 수광도 변화가 광전 변환 소자에 의해 전기적 신호로 바뀌게 되는 것이다. 변화된 광출력은 광전변환기를 통해 전기신호로 변환되어 파형을 기록하게 된다.

3. 출력 특성

P-5형 트랜스듀서의 감지부는 투광 광섬유와 수광섬유가 한 조로 A, B조의 두쌍으로 배치되어 있는 형태이다. 광차단기는 그림 2에 보인 것과 같이 광섬유 A, B에 대하여 차단기의 개폐(開閉)가 상반적으로 동작하게 되도록 광차단기가 대칭적으로 직사각형의 광(光)통과 슬릿이 배치되어 있다. 따라서, A,B의 상반적인 광강도(光強度)의 변화에 의한 두 광출력은 광전변환기를 거쳐 차등증폭기의 입력단에 직접 입력될 수 있다.

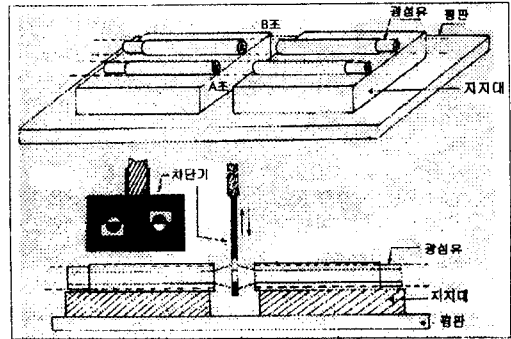


그림 2. P-5형 트랜스듀서의 감지부.
Fig. 2. Sensing part of P-5 transducer.

그림 3의 a)는 광차단기 동작에 의한 변위 x 와 그에 따른 광출력을 차단기 개(開)상태의 최대광출력에 대하여 정규화하여 나타낸 상대 특성곡선이며, 광강도(光強度)는 최대광출력과 변위 x 에 따른 광출력의 비로서 ϕ 로 나타낸다. 그림3의 b)는 광섬유의 횡단면을 차단기가 화살표 방향으로 동작하는 경우 단면의 개폐상태와 변위 x 의 관계를 보인 그림이다. x_0 는 차단기가 광섬유직경의 반에 도달했을 때의 변위지점이다.

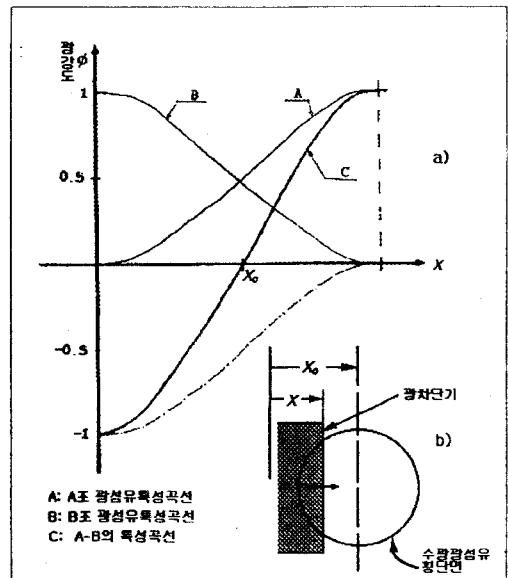


그림 3. P-5형 트랜스듀서(감지부)의 광출력 특성.
Fig. 3. Optical Characteristics of the P-5 transducer (sensing part)

G.F. Marshall은 광투사기, 수광량 검출기(detector)와 광차단기를 평행하게 위치시키고 차단기의 형태별로 정규화된 광출력 특성을 차단변위에 따라 밝혔다 [16]. 이중에서 나이프 엣지(knife-edge)형 차단방식이 한쌍의 평행한 투광, 수광 섬유와 차단기의 구조에 의한 광차단방식에 적용될 수 있으며, 그림 3의 B의 특성곡선과 같이 된다. B조의 광섬유차단기가 개상태에서 폐상태로 이동할 경우 B특성곡선이 만들어지며, 이와 상반적인 차단기의 동작에 따른 A조 광섬유의 A특성곡선은 B의 그것과 y축의 x_0 점에 대하여 대칭으로 위치한다. A, B조의 광출력을 차동증폭기에 입력시켰을 때 결과로서 결합특성 $C=(A-B)$ 가 감지부의 광출력 특성 곡선으로 얻어진다.

C의 광특성에서 변위에 대한 광출력의 선형성을 고려하면 센서의 변위 검출범위를 정규화된 광출력의 $\phi=0.1$ 에서 $\phi=0.9$ 영역으로 한정해 유효변위를 설정할 수 있다.

4.트랜스듀서의 제작

실험에서 사용된 조합형 P-5형 광섬유 트랜스듀서의 외관을 사진 1에 보였다.

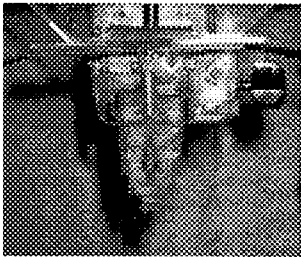


사진 1. P-5형의 외관.

Photo 1. External appearance of P-5 transducer.

광섬유로 내경 0.8mm, 외경 1.8mm, 빔 퍼짐각도가 20° 인 다중모드의 플라스틱 광섬유를 사용하였으며, 길이는 1m로 구성하였다. 차단기는 슬릿의 크기가 3mm×3mm×0.05mm의 박막 스테인레스로 제작하고, 파이버와 차단기 사이의 거리는 1mm, 외형재질은 아크릴로 성형가공하였다. 맥검자를 지지하는 상, 하위막은 각각 고무막, 셀룰로이드막으로 구성하였다. 하위막의 경우 단순히 맥검자를 받쳐주는 역할만을 하므로 센서 특성에 미치는 영향은 무시할 수 있다. 그러나 상

위막은 맥검자와 함께 맥동을 센서에 전달하는 역할을 하므로 상위막과 맥검자는 실험을 통하여 센서의 주파수 특성에 영향을 주지 않는 범위의 재료를 선택하여 사용하였다.

또한 센서 자체가 차폐된 구조를 갖고 있고 평행으로 광의 송수신이 이루어지므로 파장에 따른 외란의 영향은 무시될 수 있으며 실험시의 동작 확인을 위하여 적색 LED 광원($\lambda=650nm$)을 사용하였다.

III. 맥파 측정 시스템의 구성과 측정결과

맥파는 맥파의 검출부위에 따라 경동맥파, 지침(指尖)맥파 요골맥파(桡骨脈,radial artery)등으로 나뉘어진다. 본 연구에서는 맥파의 검출 부위를 요골동맥이 위치하는 손목상의 체표면으로 정하고 설계제작된 맥파를 이용하여 피검자의 요골동맥에서 맥파를 비관혈적으로 검출·측정한다. 검출된 맥파와 심전도를 CRT화면에 표시하고, 레코더로 기록한다. 특징점 자동인식과 맥진단 파라미터를 측정하기 위해 맥파와 심전도를 PC에 저장한다. 그림 4에 맥진기, 심전도, CRT 모니터, 레코더, PC로 이루어진 시스템의 구성을 보였다.

그림5의 a)는 27세인 남자의 맥파 파형으로서 P-5형 트랜스듀서를 이용하여 검출된 파형이다. 그림에서 진단에 있어서 가장 중요한 특징점들인 C(절흔, incisura)점과 T(tidal wave)파가 명확하게 검출되었음을 확인할 수 있다. 이는 기존 스트레인게이지나 압전소자 방식 등의 검출방법으로는 검출이 어려운 맥파의 특징점인 C점과 T파를 명확하게 검출함으로써 진

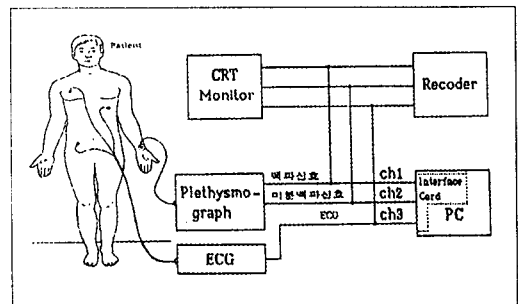


그림 4. 맥파를 측정하기위한 맥파 계측 시스템의 구성.

Fig. 4. Constitution of instrumentation system for measuring pulse wave.

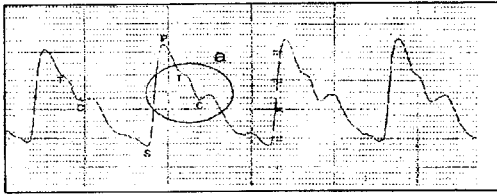


그림 5. P-5형트랜스듀서에 의해 검출된 맥파의 기록.
(남, 27세, time=50ms/div, amp.=0.1v/div)
Fig. 5. Record of pulse wave detected by P-5 transducer. (man, 27, time=50ms/div, amp.=0.1v/div)

단에 중요한 특징점 검출 방법으로서의 유효성을 확인할 수 있다.

심전도와 맥파의 동시검출을 시도하여 2채널로 측정된 결과를 그림6에 보였다.

기존의 맥진기에는 없는 기능으로 이러한 검출기능을 이용하면 심전도와 맥파는 중요한 상관관계를 갖고 있다. 이 두 생체신호를 비교함으로써 심전도를 통해 심장에 관계되는 전기적 전도 현상과 맥파를 통해 심혈관계의 물리적 특성변화를 알 수 있다

P-5형의 경우 OP Amp로 구성된 광-전 변환기를 사용하고 맥파신호의 최대진폭(S-P)을 측정된 결과, 회환저항 R_f 가 1 M Ω 일때 광전변환기의 출력은 10mV~20mV로 측정되었다

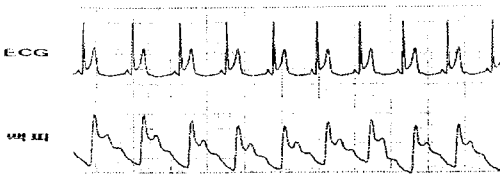


그림 6. 심전도와 맥파의 2채널 기록.(남, 27세, time=50ms/div, amp.=0.1v/div)
Fig. 6. Record of two channel for ECG and pulse. (man, 27, time=50ms/div, amp.=0.1v/div)

IV. 결 론

본 연구에서는 맥파 신호를 비관혈적으로 검출하기 위하여 기존의 기계적 변환방식과는 다른 광섬유를 이

용한 맥파 검출용 트랜스듀서를 새로이 개발하였다.

맥동전달 효율을 개선시키기 위해 본 연구에서는 검출 방법면에서 맥동의 검출과 전달기능을 하는 맥동 검출부를 두고, 감지부와 연계동작시키는 조합형 설계 방식을 제안하였다.

변위검출을 위한 광섬유센서의 감지 형태에서도 광차단기의 형태가 상반적 개폐(開閉)구조를 갖도록 하여 광-전변환이 차동동작으로 이루어지도록 고안하여 설계함으로써 그 검출신호가 차동증폭기에 직접 연결되어 출력될 수 있었다.

물론 국내에서 이미 한의학 분야에 맥진기가 사용되고는 있으나 주로 압전소자나 마이크로폰을 이용한 미분된 형태의 맥파 또는 파동음(波動音)에 의존하고 있다.

그러나, 제작된 트랜스듀서를 이용하여 맥파 신호를 검출한 결과, 미분된 형태의 맥파나 파동음이 아닌 원래의 맥파를 검출할 수 있었고, 기존의 스트레인게이지나 압전소자 방식으로는 검출이 어려운 맥파의 T파와 C점을 검출함으로써 진단에 중요한 특징점 검출 방법의 유효성을 확인할 수 있었다.

또한 제안된 광섬유 검출방식은 전자기적 외란이나 환자와 기기간의 전기적인 격리 등 일반적인 광섬유센서가 갖는 장점을 이용할 수 있으므로 본 연구의 트랜스듀서가 실용화된다면, 혈류학과 한방의 맥진분야에서 진단계량화에 요구되는 임상 데이터의 획득에 유용하게 활용될 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] R. F. Schmit and G. Thews, "Human Physiology," Springer-Verlag, Berlin, 1983.
- [2] 이봉교 遍述, "한방진단학", 경희대학교 한의과대학, 1985.
- [3] W. J. Tomkins and J. G. Webster, et al., "Design of Microcomputer Based Medical Instrumentation," Prentice Hall, 1981.
- [4] Richard Skalak and Shu Chien, "Handbook of Bioengineering," McGraw-Hill, Inc., 1987.
- [5] 小林健二 等, "カテ-テル先端型血壓計への光ファイバの應用に關する研究", 醫用電子と生體工學, Vol.15, No.7, pp. 465-472, Dec. 1977.
- [6] Lars H. Lindstorm, "Miniaturized Pressure Transducer Intended for Intravascular Use", IEEE

- Trans. Biomed. Eng., Vol. BME-17, pp. 207-219, 1970.
- [7] H. F. Stegall, M. B. Kardon, and W. T. Kemmerer, "Indirect measurement of arterial blood pressure by Doppler ultrasonic sphygmomanometer," J. Appl. Physiol., Vol.25, pp. 793-798, 1968.
- [8] K. Yamkoshi et al., "Indirect Measurement of Instantaneous Arterial Blood Pressure in the Human Finger by the Vascular Unloading Technique," IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol. BME-27, pp.150-155, 1980.
- [9] A. L. Lee., A. J. Tahmoush, and J. R. Jennings, "An LED-transister photoplethysmograph," IEEE Trans. Biomed. Eng., BME-22, pp. 243-250, 1975.
- [10] G. L. Pressman and P. M. Newgard, "A Transducer for the continuous External Measurement of Arterial Blood Pressure," IEEE Trans. Biomed. Electronics, pp. 73-81, 1963
- [11] D. E. Bahr, and J. Petzke, "The automatic arterial tonometer," Proc. Annu. Conf. Eng. Med, Bil., pp. 259, 1973
- [12] J. Y. Lee and J. C. Lin, "A Microprocessor-Based Noninvasive Arterial Pulse Wave Analyzer," IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol. BME-32, No.6, June, 1985.
- [13] 홍승홍, "맥파 검출과 이의 유효성", 전자공학회지, 제15권, 제1호, 1978.
- [14] 박승환, 홍승홍 외 "광파이버 트랜스듀서에 의한 맥파의 검출", 전자공학회 하계학술대회 논문집, pp481-483, 1989.
- [15] 박승환, 홍승홍 "새로운 맥파 인식알고리즘을 적용한 자동맥파시스템에 관한 연구" 의공학회지, 제17권, 제2호, pp. 241-245,1995.
- [16] Gerald F. Marshal, Optical Scanning, Marcel Dekker Inc., pp. 8-10, 1983.

 著 者 紹 介



박 승 환

1984년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1990년 2월 인하대학원 전자공학과 졸업(공학석사), 1996년 2월 인하대학원 전자 공학과 졸업(공학박사), 1995년 3월~현재 서울보건대학 의공학과 전임강

사. 관심분야 : 의용계측, 신호처리, 의용센서.

홍 승 홍

「센서학회지 제5권 제3호」 논문96-5-3-09, p.73 참조.
현재 인하대학교 전자공학과 교수.