

## 맥파검출용 트랜스듀서의 개발

한성현, 권오상, 박승환\*, 홍승홍  
인하대학교 전자공학과, 서울보건전문대학 의공학과\*

## Development of P-5 Transducer for Detection of the Pulse Wave

S. H. Han, O. S. Kwon, S. H. Park\*, and S. H. Hong

Department of Electronics, Inha Univ.

Department of Biomedical Engineering, Seoul Health Junior College\*

### ABSTRACT

Human pulse represents the physical characteristics of heart and cardiovascular system. Therefore, malfunctions and errors of heart and cardiovascular system can be determined by using an automatic diagnosis system that can detect the pulse signal.

Not only will the computerised system preclude the possibilities of observational errors by giving an accurate measurement with great stability, but minimize the possibilities of misinterpretation by using an automated diagnostic logic.

A new combinational fiber-optic sensor, which has a detecting part and a transmitting part was used to acquire radial pulse signal noninvasively. The development of P-5 transducer makes it possible to obtain more effective detection and obvious display of pulse signals in the aspect of reliability.

Using P-5 transducer in the field of plethysmography and MAC-JIN, one of four diagnoses in Korean traditional medicine, it is expected that we can obtain quantitative and valuable information for the diagnosis of human pulses.

### 서론

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.

최근에 와서 시간에 따른 혈압변화로 형성되는 맥파를 비관혈적 측정방법이면서 연속적으로 검출하는 방법이 가능하게 되었다. 이 방법은 피검자에게 고통과 부담을 주지 않는 측정 방법으로 검출센서에 따라 광학적 검출 방식과 기계적 변환 방식으로 분류된다.

광학적 검출방식은 투과성 빔을 이용하는 방식으로 1968년에 Steyall가 초음파의 도플러 효과를 이용한 측정법을 발표했고,<sup>1,2,3)</sup> 1975년에 Tahmoush 등은 광원으로부터 발생한 광선이 조직을 통과하게 하고 광전변환기(photosensor)를 이용하여 용적 변화에 기인한 혈액의 변화를 광도(光度)변화로 측정했다. 1985년에는 초음파보다 강력한 투과특성을 갖는 마이크로웨이브의 도플러 효과를 이용해 피부 속 깊이 위치한 상완(上腕) 동맥의 맥파도 LEE, LIN에 의해 측정되었다.<sup>4,5)</sup>

빛의 투과 특성을 이용한 측정방법은 용이하고 간단할 뿐만 아니라 연속파의 관측이 가능하므로 혈류학적 접근이 시도되었고 일본에서는 심혈관계의 정보를 얻기 위한 혈류학적 파형분석이 행해졌다.<sup>8)</sup>

현재까지 실용화된 무침습적 맥파검출 방법에서 전자는 빔의 광도변화에 따른 감지능력은 우수하나 빔의 생체조직 및 혈액의 투과특성이 문제가 되어 개인차에 따른 정량화를 어렵게 만드는 반면에, 후자는 맥압(脈壓)의 정량화는 가능하나 트랜스듀서의 피부접촉에 따른 맥동(脈動)을 감지할 때 전달 과정에서 변환손실이 예상된다.

맥파는 맥파검출 부위에 따라 경동(頸動) 맥파, 요골(橈骨) 맥파, 지점 맥파 등으로 분류되는데 특히 본 연구에서 맥파를 측정할 요골동맥(radial artery)은 혈관이 요골위의 평탄한 부분에 놓여 있어 트랜스듀서내(內) 맥검자의 맥동전달이 용이한 곳으로 맥파검출면에서 기계적 변환방식을 쓰기에 가장 용이한 부위이다.

이러한 요골동맥파의 측정은 혈류학적 의미와 한의학적 의미의 두가지 관점이 있으며, 두 관점에서 진단이 가능하다. 심혈관계의 혈류학적 접근 외에 최근 한의학적 접근이 시도되고 있다. 요골맥파에 대한 한의학적 진단법은 요골상의 3부위(寸, 關, 尺)의 맥의 강약 정도와 감지부를 이용하여 동맥부위에 압박하는 정도를 측정한다.<sup>38)</sup> 그러나 아직 한의학적 개념은 주관적이며 그 기준이 모호하여 정량적 접근의 정립이 아직 이루어져 있지 않은 상태이다. 국내에도 맥진기가 개발되어 사용되고는 있으나 검출된 파형이 압전소자나, 마이크로폰을 이용한 미분맥파 또는 맥파의 파동음(波動音)

이고 맥파에 대한 특징점 인식이 불명확하여 많은 오차발생의 우려를 안고 있다. 따라서 그 기기의 개발의 완성도가 낮아 현재의 맥진기는 한의학적 개념을 모두 수용할 수 있는 측정법을 효과적으로 개발시킬 수 있는 단계에 있지 못하다. 또한, 맥파 전용의 센서가 개발되지 못한 상태에서 범용의 압력센서를 사용하여 측정함으로써 맥검출 부위인 요골과 그 부위의 주변 조건이 고려되지 않아 맥파 측정의 재현성과 신뢰성면에서 어려움을 안고 있다.

이러한 문제점들을 극복하기 위해 본 논문에서는 현재까지 주로 연구된 트랜스듀서 자체(自體)의 문제를 다루었다. 또한 맥파신호가 검출되는 요골동맥 부위의 조건도 함께 연구하여 맥파계(脈波計)에 의한 맥파 검출법도 제안하였다.

## 본 론

### 가. P-5형 트랜스듀서의 동작 원리

트랜스듀서를 감지부와 검출부의 두 부분으로 구성하여 맥파를 검출하는 방식이며, 맥파 센싱방법의 기계적·광학적 개념을 모두 도입한 새로운 형태의 조합형 맥파 검출 트랜스듀서를 제시했다. 맥동전달구조를 검토하고 맥의 혈류흐름을 차단하지 않은 요골 부위의 조건을 고려해 검출부를 설계함으로써 맥검자를 통해 검출한 맥동(脈動)변화를 감지부에 전달하여 맥동전달 손실을 최소화시켰으며, 감지부는 맥검자의 유동변화에 대한 감지능력을 향상시키기 위해 비교적 감도가 높은 광학적 방식을 이용함으로써 맥동에 의한 변위(displacement)를 광도변화로 출력하도록 했다.

P-5형의 트랜스듀서는 맥파계에 부착되어 사용되는 고정용으로 그림 1은 트랜스듀서의 구성도이다. P-5형 트랜스듀서의 설계는 다음과 같은 단계를 극복하기 위해 고안되었다.

지금까지 개발된 P-1형, P-3형의 경우에는 감지부의 광섬유와 반사막의 배열 형태에서 비교적 큰 광손실과 반사막의 특성이 출력 특성에 영향을 미쳤다. P-5형은 이점을 감안하여 광손실로 인한 감도 저하를 막고, 반사막의 특성이 출력 특성에 미치는 영향을 배제시키기 위해 설계되었다.

P-5형에서는 맥동은 바로 맥검자를 통해 맥검자에 부착된 광차단기(beam-shutter)를 상하로 움직여 맥동에 의한 변위가 광차단 효과를 가져오도록 구성하였다. 투광파이버에서 나온 광은 평행한 수광파이버로 전달되는데, 이때 광차단기가 수직 이동하여 수광파이버의 수광도(受光度)를 변화시킨다. 변화된 광출력은 광전 변환되어 파형을 기록하게 된다.

또한, 트랜스듀서의 감압(感壓) 범위를 조정할 수 있는 구조로 되어 있다. 요골맥파의 경우, 사람마다 다른 혈관 주변의 건(腱)과 피부 조건들에 의해 실제 압력보다 큰 압력을 필요로 할 경우가 있다. 이때 지정한 수압 범위를 30mmHg ~ 350mmHg로 변화시켜 광감도와 변위(displacement)정도를 조정하는 것이 가능하도록 하였다.

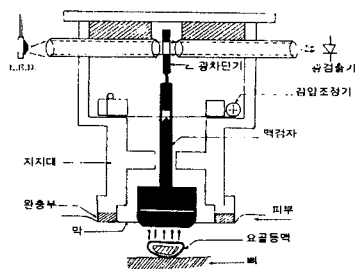


그림 1. P-5형 트랜스듀서의 구성.  
Fig. 1. Constitution of P-5 transducer for pulse.

### 나. P-5형 트랜스듀서의 출력 특성

일반적으로 감도를 높이기 위해 투·수광파이버를 같은 광차단 조건을 갖도록 쌍으로 배치한다. 그러나 이러한 방식은 감도를 2배로 증가시킬 수 있으나 파이버가 수광시의 노이즈도 두배로 같이 증가하게 된다. 이러한 단점을 해결하고 드리프트를 제거하기 위해 본 연구에서 새로운 광차단 방식을 도입하였다. P-5형 트랜스듀서의 감지부는 투광파이버와 수광파이버가 한 조로 A, B조의 두쌍으로 배치되어 있는 형태이다. 광차단기가 상하로 움직이면 A, B조는 상반된 광특성을 보이도록 설계되어 있다. 광차단기의 이동 변위에 대한 A, B조의 광강도(光強度)변화의 특성을 그림 2에 나타내었다.

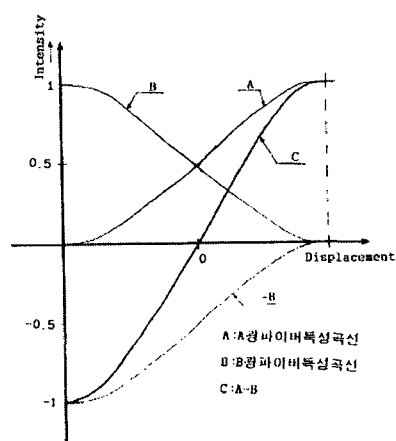


그림 2. P-5형 트랜스듀서의 광감도 특성.  
Fig. 2. Characteristics of beam intensity vs displacement.(P-5)

### 다. 맥파의 검출 시험

심장의 박동에 의해서 혈관은 맥동을 이루며, 맥파는 생체내(生體內)를 전파한다. 손목 상의 요골동맥은 체표에 가장 가깝게 위치하는 부위중의 하나

로서 혈관 뒤에 바로 손목뼈가 위치하고 있으므로, 제작된 광맥파센서를 이용해서 맥파를 검출하는 부위로서는 가장 적당한 부위이다. 또한, 시술자 역시 피검자로부터 가장 용이하게 맥동을 감지할 수 있는 부위이기 때문에 맥파의 검출 부위를 요골동맥이 위치하는 손목상의 체표면으로 하였다. 그림 3에 제작된 P-5형 트랜스듀서의 외관을 보였다.

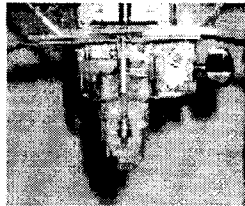


그림 3. P-5형 트랜스듀서의 외관.  
Fig. 3. External appearance of P-5 transducer.

라. 맥파의 검출 성능 평가

그림 4는 남35세의 맥파 파형으로서 P-5형 트랜스듀서에 의해 지속적인 검출을 시도하였다. P-5형은 기존의 센서에 비해 매우 정도 높은 감도를 갖음을 확인했다. 센서의 감도가 증가하면 미소한 광의 변화에 대해서도 잡음의 영향없이 관찰이 가능해져 센서의 감압범위를 높일 수 있는 효과를 가져 온다.

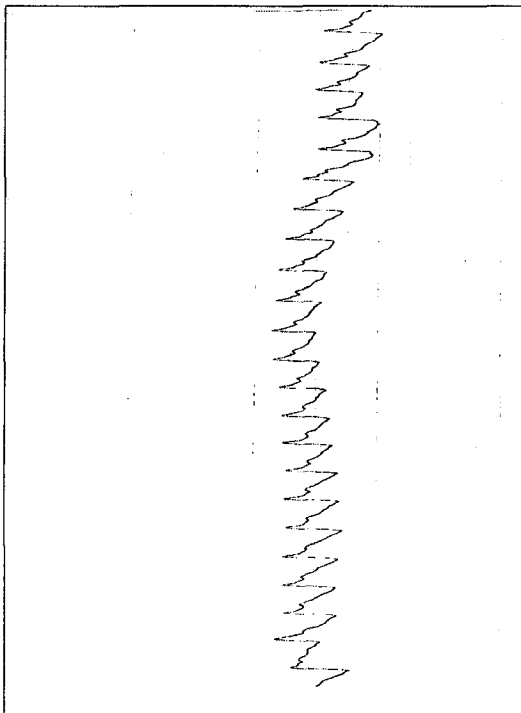


그림 4. 남,35의 맥파파형(P-5형 트랜스듀서, time=50ms, amp.=1v/div)  
Fig. 4. Pulsewave detected by P-5 transducer. (man 35.)

마. ECG, 맥파의 2 채널 표현

그림 5는 P-5형 트랜스듀서에 의해 검출된 맥파이며 2채널로 검출 가능함을 보인 그림이다. 그림 5에 2채널로 표시한 맥파와 ECG를 검출기능을 이용하면 ECG와 맥파는 중요한 상관관계를 갖고 있다. 이러한 심장박동에 따른 요골 동맥에서의 맥동과 ECG의 변화를 그림 5를 통해 관찰할 수 있었다.

이 두 생체신호를 비교 함으로써 ECG를 통해 심장에 관계되는 전기적 전도 현상과 맥파를 통해 심혈관계의 물리적 특성변화를 알 수 있다.

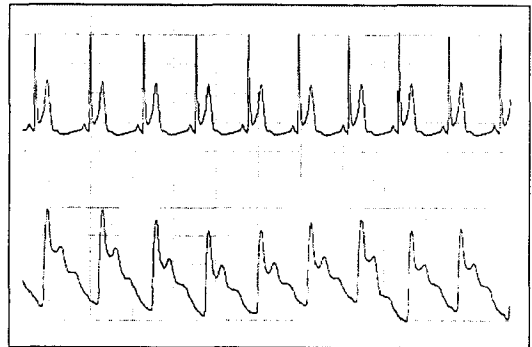


그림 5. ECG, 맥파의 2채널 기록  
Fig. 5. Record of two channel for ECG and pulse

결 론

본 연구에서는 새로운 형태의 맥파검출용 광파이버 트랜스듀서를 개발하여 맥파를 검출했으며 다음과 같은 특징과 장점을 갖는다.

본 연구의 트랜스듀서는 맥파 검출방식 중에서 검출부와 감지부라고 하는 두 부분으로 구성되는 조합형이다.

트랜스듀서의 감지부로 파이버옵틱 방식을 채택하여 시스템 내에 별도의 전기적 격리장치가 없이도 감도 높은 측정이 가능하도록 하였다. 또한, 검출부를 맥동전달 측면에서 요골동맥 부위와 그 전달매체의 맥동전달 구조를 비교, 연구하고 제작함으로써 맥동전달효율을 높일 수 있었다.

트랜스듀서의 감지부 경우, 평행한 2조의 광파이버 사이에 상반적 동작을 하도록 광차단기가 배치된 구조이다.

맥파신호의 변화에 따른 광차단기의 개폐(開閉) 정도가 서로 상반적으로 동작하도록 설계된 독특한 구조로서 이는 수광도(受光度)에 있어서 광전변환기의 입력에 차동효과를 가져 온다. 이러한 효과를 이용하여 명확하면서도 안정된 신호검출 특성, 전기신호와의 노이즈 및 간섭문제 해결, 재현성 면에서 많은 가능성을 예견할 수 있었다.

기존의 방식에 비해 구조 및 제작이 간단하고, 어레이형으로도 제작이 가능하며, 구조면에서 검출부와 감지부로 구분되어 있어 온도의 영향이 적다.

본 연구의 트랜스듀서를 통해 얻어진 맥파 데이터는 혈류학 분야 뿐만 아니라 한의학분야의 4진

중에 하나인 맥진분야에도 활용될 수 있어서 신체 전반에 걸친 병리적인 면과 질병의 예후에 대한 판단자료를 제공할 수 있으리라 기대된다.

앞으로, 다양한 맥파 검출방법을 수용할 수 있는 진단기를 위해 더 많은 연구가 필요하며, 다양하고 변화가 많은 맥파에 대해서도 적용이 가능한 연구가 이루어져야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 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.
2. D.E. Hokanson, D. Strandness, and C.W. Miller, "An echo-tracking system for recording arterial-wall motion," IEEE Trans. Sonics Ultrason., vol. SU-17, pp. 130-132, 1970.
3. C.F. Olsen, "Doppler ultrasound: A technique for obtaining arterial wall motion parameters," IEEE Trans. Sonics Ultrason., vol. SU-24, pp. 354-358, 1977.
4. 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.
5. S.S. Stuchly, A. Smith, M. Goldberg, A. Thansandote, and A. Menard, "A microwave device for arterial wall motion analysis," in Proc. 33rd Annu. Conf. Eng. Med. Biol., vol. 22, 1980, p.57
6. 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
7. Y. Wei and T. Winchester, "Electronic diagnosis of arterial pulse," Journal of Medical Engineering & Technology, volume, Mumber 4 (July/August 1985), pages 189-186.
8. 吉村正治, 三島好雄 外 "臨床 脈波", 醫學書院
9. S. Shina, "Differential Diagnosis of the Plethysmogram", Igaku Shuppan Co., 1970.