

압력 조절식 맥진 센서의 개발

윤영준 · 조정현 · 심현민 · 신학수 · 소광섭

서울대학교 사범대학 물리교육과
(1999년 6월 7일 접수, 1999년 8월 4일 채택)

Contrivance of a Radial Pulse Measuring System with Variable Contact Pressure

Y.Z. Yoon, J.H. Joh, H.M. Johng, H.S. Shin, K.S. Soh

*Department of Physic Education, Seoul National University

(Received June 7, 1999. Accepted August 4, 1999)

요 약 : 편편내 맥검출 센서인 MPX2300DT1을 요골동맥상에서 무침습적으로 맥파를 검출할 수 있도록 실리콘 고무를 부착하여 맥진 센서로 활용하였다. 또한 추의 무게에 의해 압력을 조절하여 그것에 따른 맥파의 변화를 볼 수 있는 맥진 시스템을 제작하였다. 맥진 센서의 압력에 따른 출력전압의 선형성을 확인하였으며 추의 무게에 따른 맥파의 진폭과 주기 변화를 조사하였다.

Abstract : We contrived a noninvasive radial pulse wave measuring system. For this purpose we modified the pressure sensor MPX2300DT1 which is originally made for the fluid pressure measurement inside the fluid by adhering silicon rubber to the sensing side of the sensor. We confirmed the linear output voltage response in proportion to the pressure applied on our modified sensor.

In order to vary the pressure of the sensor on the skin we used weights which are 20g copper disks. We can use these weights to investigate the dependence of the amplitude and the period on the varying pressure on the radial artery.

서 론

한의학 진맥방법 중에는 요골동맥상의 촌·관·척 부분을 촉진하여 진단하는 촌·관·척 6부위 비교맥법과, 인명맥과 촌구맥을 비교하여 판단하는 인명·촌구 대비 맥법 등 여러가지 맥진법이 있는데[1], 이러한 맥진법은 여러가지 맥상을 진단자의 주관적 판단에 의하기 때문에 객관성이 결여된 부분이 있

다. 손가락에 느껴지는 강도가 진단시 기분과 환경적인 요인에 의해 다르게 되어 맥상판별에 있어서 차이를 발생시키고 이것이 오진의 한 원인이 되기도 한다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 맥진을 객관화 할 수 있는 장치가 여러 종류 개발되어 왔는데 아직도 많은 개선의 여지가 있다[2],[3]. 근래에 실용화 되어 널리 쓰이고 있는 맥파검출 방식은 압전소자를 이용하는 방식과[4],[5],[6] 광학식 검출 방식으로 초음파의 도플러 효과를 이용하는 방식[7], Tahmoush 등의 용적변화에 기인한 혈액의 광도변화를 측정하는 방식, 마이크로웨이브의 도플러 효과를 이용하는 방식[8] 등이 있다. 그리고 최근 새로운 형태의 맥진 검출용 광파이버 트랜스듀서로 맥파를 검출하는 장치가 개발되었다[9].

압전소자를 이용해서 나온 한 맥진기는 맥진시 센서가 진단 부위를 누르는 강한 압력 때문에 대상자를 고통스럽게 하는 심과 인체에 닿는 센서부분이 급속인 점, 그리고 센서에서 촉관적의 위치를 고정시켜 사람마다 촉관적의 위치가 차이남을 간

이 논문은 1999년 한국학술진흥재단의 학술연구비(1999-015-D00054)와 서울대학교 이론물리센터(한국과학재단)의 지원을 받았음
세명대학교 한의학연구소 정찬길, 소경순 교수의 협력에 감사드립니다.
서울대학교 심민기추심 정의정씨의 도움에 감사드립니다.
통신지사: 윤영준 (151-742) 서울시 관악구 신림동 56 1
서울대학교 사범대학 물리교육과 한의학 물리연구소
Tel. (02)880-7750, Fax. (02)873-7881
E-mail: dr94@kmc.snu.ac.kr

과한 점이 단점이다[15]. 한편 임신소자의 이용한 아날로그 방식의 맥진기는 판부 하나만 측정하는 점과 센서의 고정방법이 순복 진자에 압력을 주는 기프 가압적인 점이 특징이다[16]. 빛이나 초음파의 투과특성을 이용한 방식은 빛의 생체조직 및 혈액의 투과특성 문제로 인해 개인차에 따른 정확도가 어렵다.

본 연구에서는 이러한 기존 맥진기의 단점을 보완하기 위하여 먼저 센서의 피부에 접촉하는 부위를 실리콘 고무로 하였다. 또한 압력은 국소적인 부분만 주고 압력을 변화시키면서 측정하기 위하여 추의 무게에 의한 압력 조절방식을 채택하였다. 요골 동맥상의 맥파를 왜곡이 없게 검출함을 확인하기 위하여 센서의 출력전압과 압력의 선형성을 검증하였다. 센서에서 나온 미소한 신호는 증폭기를 사용하여 증폭한 후 아날로그 저역 통과 필터를 거치고 A/D 변환기에 의해 컴퓨터에 입력한 후 다시 디지털 저역 통과 필터를 거쳐 맥파신호를 검출할 수 있도록 하였다. 압력의 조절에 따른 신호의 특성을 조사하였으며, 이는 맥진 진단의 기본 자료로 쓰일 수 있다.

맥진 시스템의 구조

요골동맥상에서 맥파를 검출하여 생체에서 데이터로 처리하기까지의 과정으로 구성된 맥진시스템을 제작하였다. 맥진기는 센서부, 신호처리부, PC부로 구성되었으며, 센서부는 요골동맥상에서 피부와 직접 맞닿아 맥파를 검출하는 반도체 센서부와 일정한 압을 피부에 가압적으로 줄 수 있는 압력 조절부분으로 구성되었다. 신호 처리부는 센서에서 나온 아날로그 신호를 적절한 배율로 증폭하는 부분과 노이즈를 제거하는 필터부, 그리고 A/D 변환부로 되었다. 우리 맥진시스템의 전체적인 구성은 [그림 1]과 같다.

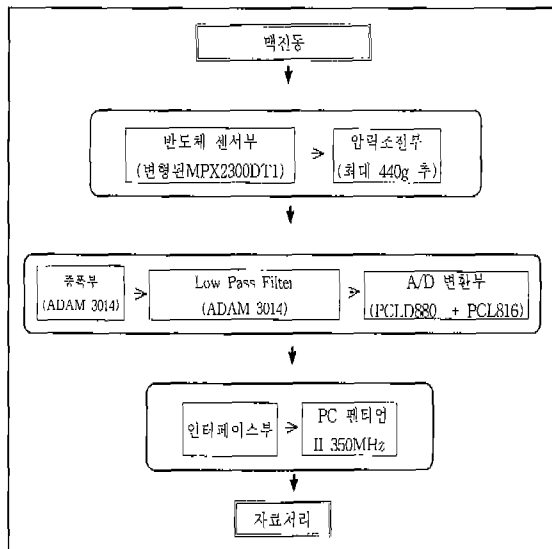


그림 1. 맥진 시스템 구성도(센서부 → 신호처리부 → PC부)
Fig. 1. Block diagram of radial pulse measuring system(sensing→ Signal acquisition →PC)

1. 센서부

반도체 센서부

혈압측정용으로 제작된 [MPX2300DT10] 반도체압력센서의 외상을 맥파 검출을 위해 적절한 형태로 개선하였다. 원래 압력 감지부분은 실리콘 튜브를 자입하여 혈액의 흐름에 의한 압력변화를 직접 검출하기 위해 개시되었다. 혈액과 같은 액체가 감지부의 실리콘 겔에 닿았을 경우에는 흘러내리지 않으나 피부와 같은 고체가 직접 접촉하였을 경우 압력을 전달하는 실리콘 겔이 침상에 의해 피부에 묻어나오는 경우가 발생하였다. 이러한 문제점을 막고 또한 피부에 접촉하는 부위를 넓게하여 안정적으로 맥파를 검출하기 위해 압력 감지부위에 실리콘 막을 씌웠다. 따라서 실리콘막과 피부 사이에 공기층이 밀폐되면 요골동맥의 맥파가 공기층의 압력을 변화시키고 그 압력변화를 실리콘 겔이 반도체 센서에 전달하면 신호가 검출된다.

[그림 2]는 변형된 센서의 구조인데 압력 감지부의 뒤쪽에 강화플라스틱판으로 막은 것은 원래 센서를 사용자의 요구에 맞추어 제조회사가 개방시켜놓은 것으로 절대압을 측정하기 위해서는 막아야만 하는 부분이다. [그림 3]은 요골동맥의 맥파를 측정하는 센서의 단면을 나타낸 것이다.

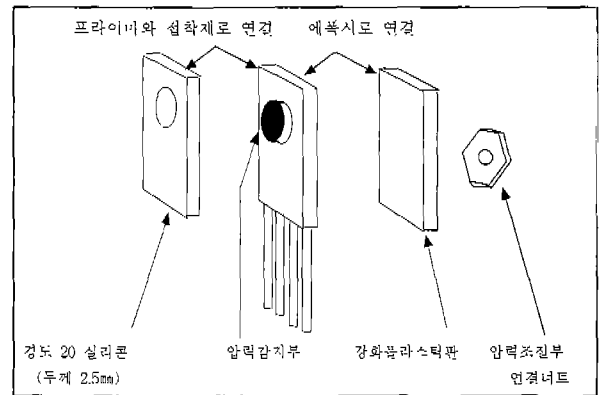


그림 2. 변형센서의 구조
Fig. 2. Structure of the modified sensor

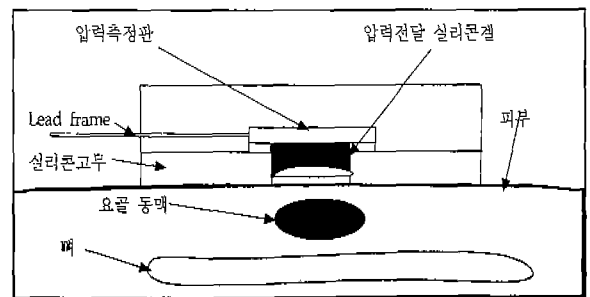


그림 3. 맥파검출부의 단면
Fig. 3. Cross section of the radial pulse detector

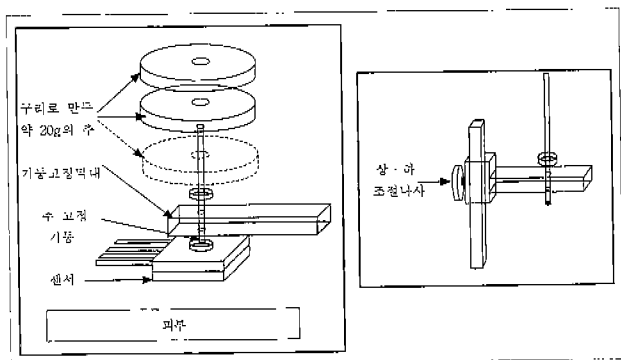


그림 4. 압력 조절부 구성도
Fig. 4. Structure of contact pressure control

압력조절부

한의학의 가압 백진법인 거(擣), 안(按), 심(尋)의 방법을 응용하기 위해서 맥파를 측정할 때 센서와 피부사이에 압을 변화시키는 것을 고안하였다. 보다 직관적으로 압력변화를 주기 위하여 센서 위에 추를 올려놓아 부하를 변화시키는 방법을 사용하였다. 압력조절부는 [그림 4]와 같이 구리로 만든 추세대의 추를 고정시키는 부분으로 구성되어 있다.

추는 비교적 반도가 큰 구리로 된 20g 정도의 원판모양이고 가운데 구멍이 뚫려있다. 추의 지름은 3cm이고 두께는 3.3mm이고 구멍의 지름은 2mm이다. 추를 센서 위에 고정시키기 위해 금속막대를 센서후면에 연결하여 세울 수 있도록 하였다. 기둥의 끝에 수나사부분을 절삭하여 센서후면의 너트부분과 연결하여 기둥과 센서의 연결을 고정시켰다. 금속기둥이 흔들리지 않도록 지지해 줄 수 있도록 하기 위하여 기둥 밑쪽을 기둥 고정막대로 잡아 주었다.

고정막대에 의해 마찰점이 생겨 추의 무게가 전달이 감소되는 것을 막기 위해 기둥이 고정막대사이를 위아래로 부드럽게 움직일 수 있도록 하였다. 측정시마다 기둥막대의 위치에 따른 마찰점의 변화를 막기 위해 센서에서 같은 높이의 지점에 놓고 측정하였다. 기둥의 중간쯤에 추를 지지할 수 있는 지지대를 만들어 추에 의한 압력이 1:1대로 센서에 전달될 수 있도록 하였다. 높이 조절은 수동식으로 조절나사에 의해 위아래로 고정막대가 이동할 수 있도록 하였다.

2. 신호처리부

증폭부

Advantech 사의 ADAM 301411를 사용하였다. 입력범위는 최대 110V이고 최소 ±10mV단위까지이다. 맥파검출시 증폭비는 500배로 하였다.

아날로그 필터부

ADAM 301411에서 제공하는 Low Pass Filter가 사용되어 입력 범위가 2.4kHz까지이다.



그림 5. 맥파 측정 모습
Fig. 5. Photograph showing radial pulse measuring sensor

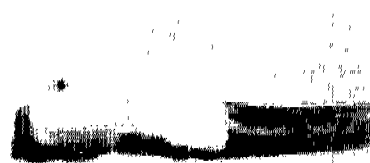


그림 6. 맥진 센서
Fig. 6. Photograph of the radial pulse measuring sensor

ADC

컨버터는 Advantech사의 PCL-81612를 썼다. 16채널의 방식이고 16bit의 분해능을 가졌으며 데이터 변환시간이 8.5μs이다. 데이터 변환 방식은 CPU를 작동시키지 않고 바로 컨버터에서 PC 시스템으로 데이터를 전달시킬수 있어 고속으로도 데이터를 받아들일 수 있는 DMA방식을 사용하였고, Sampling rate는 700Hz로 하였다.

노이즈 처리와 디지털 필터부

ADAM 3014는 입력신호를 보호하기 위하여 Isolation을 1000Vdc로 하고 있다. 신호선의 노이즈 간섭을 최소화하기 위해 차폐선을 사용하여 접지 시켰다. 맥파의 유효 주파수 성분은 20Hz정도까지이므로 60Hz 노이즈등 이타 노이즈의 신호왜곡은 디지털 필터인 Butterworth 필터의 low-pass filter를 사용하여 제거하였다. Order는 4, Cut off frequency 35Hz이다.

센서의 신호 특성

1. 실리콘 고무 경도와 출력전압

이상적인 센서는 요란동맥의 맥상신호를 왜곡없이 검출해야

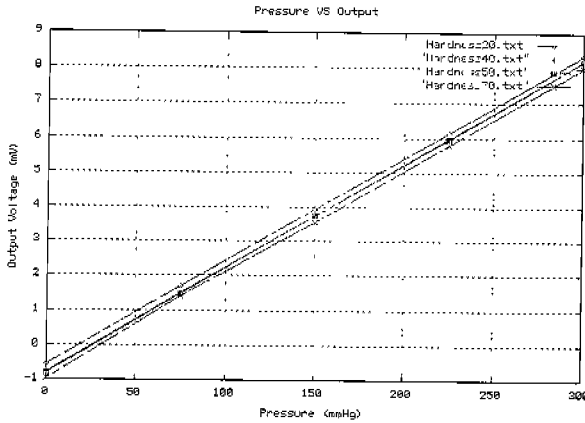


그림 7. 경도에 따른 압력 대 출력 그래프
Fig. 7. Pressure vs output with respect to harness

하지만 실제 센서에 있어서는 신호의 왜곡현상이 나타날 수 있다. 본 실험은 제작된 센서의 입력과 출력신호간의 선형성을 조사하고 적절한 실리콘 경도를 결정하는 것이다.

[그림 7]은 센서에 실리콘 고무의 경도가 20, 40, 50, 70을 각각 부착한 센서에 정적인 압력을 가했을 때의 압력 대 출력 전압을 조사한 것이다. 압력을 75mmHg씩 300mmHg까지 증가될 때 -0.560mV에서 8.363mV범위까지 경도 20인 센서에 의한 신호가 출력되었다. 최대전압과 최소전압의 차이는 8.923mV이고 압력대 출력신호의 기울기는 0.0298mV/mmHg이다. 0mmHg일 때 -0.560mV는 센서 제작과정에서 센서의 후면을 막을 때 새어 들어간 공기가 반도체 센서의 뒷면에 압력을 가해서 나타나는 것으로 추정된다.

센서의 변형과정에서 들어가게 되는 (-)압력을 제외하면 실리콘 고무의 경도가 달라져도 센서의 신호특성은 거의 유사함을 알 수 있다. [표 1]은 센서에 의해 측정된 (최대전압-최소전압)과 출력전압/압력이다.

적절한 고무의 경도를 결정하는 기준은 접촉시 자극정도와 안정성이다. 고무의 경도에 따른 출력 전압 특성의 차이가 충분히 작으므로 맥진시 인체에 주는 자극이 적고 센서와 피부의 접촉 긴밀도를 높이고 안정시키기 위하여 경도 20인 고부를 선택하는 것이 적절하였다.

표 1. 경도별 출력 전압비

Table 1. Output voltage ratio with respect to hardness

실리콘경도 (H^s)	20	40	50	70
$V_{max} - V_{min}$ (mV)	8.923	8.967	8.982	8.983
기울기 (mV/mmHg)	0.0298	0.0299	0.0299	0.0299

맥진을 통해 알 수 있는 대부분의 정보는 20Hz이하의 낮은 주파수에 포함되어 있으므로 동적인 입력대 출력의 선형성은 정적인 입력대 출력의 선형성을 조사하는 것만으로도 충분하다. [그림 7]의 결과는 압력이 연속적으로 변하는 저주파 신호

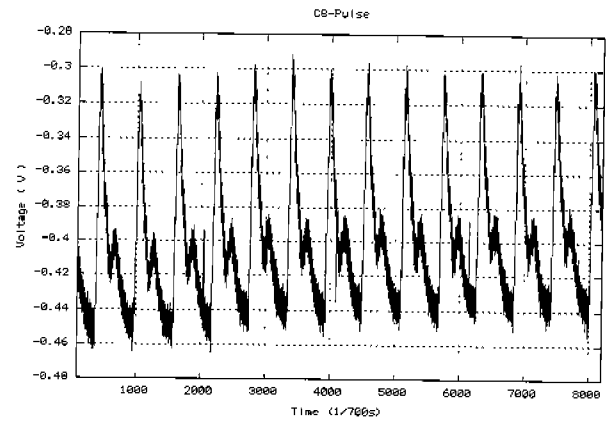


그림 8. 맥파그래프
Fig. 8. Radial pulse graph

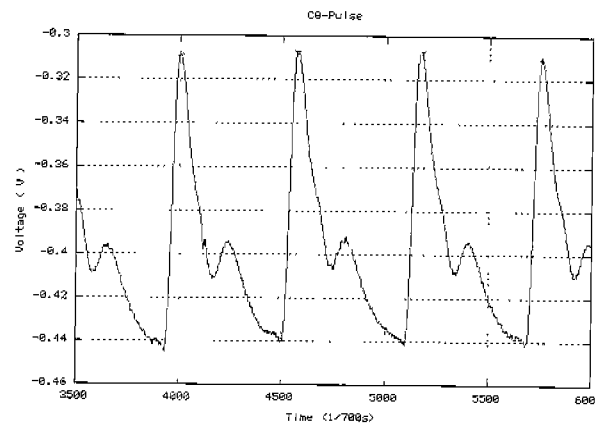


그림 9. 필터후 맥파와 최대값 그래프
Fig. 9. Filtered radial pulse and maximum value

를 거의 왜곡하지 않고 출력할 수 있음을 의미한다. 표와 그림에서 측정값의 표준편차는 무시할 수 있을 정도이므로 그래프에서 나타내지 않았다.

2. 압력 조절에 따른 신호의 특성

맥파 신호와 주기점 추출

[그림 8]은 20g의 추 8개를 센서 위에 올려놓고 측정된 맥파를 표시한 그림이다. 맥파 측정은 피검자를 눕혀놓고 10분간 안정을 취한 후 팔의 떨림을 최소화한 상태에서 측정하였다.

위에서 보인 맥파는 디지털 필터를 사용하지 않았을 경우의 신호이다. Butterworth 필터를 4th Order, cut-off frequency가 35Hz Lowpass Filter를 사용하였을 경우 맥파는 [그림 9]와 같다. 필터 후 맥파 신호는 맥파 파형을 분류하고 분석하는 데에 사용될 수 있다.

최대값 추출은 세로축의 경계치를 -0.34정도에 놓고 그 경계 값보다 낮은 값은 버리고 그 값보다 큰 연속된 50개 포인트를 이차 다항식으로 맞추는 다음 그 중 가운데에서 가장 큰 값을

추출하여 최대값을 결정하는 알고리즘을 사용하였다. 이러한 알고리즘의 사용으로 데이터에 포함된 노이즈에 의한 최대값의 변동을 최소화할 수 있었다. 맥파의 최대값 추출은 기본 진동

다음과 같다.

본래 용도인 혈관내 맥검출 센서를 부침습적으로 맥파를 검출할 수 있도록 실리콘 고무를 부착하였다. 센서의 실리콘 고무

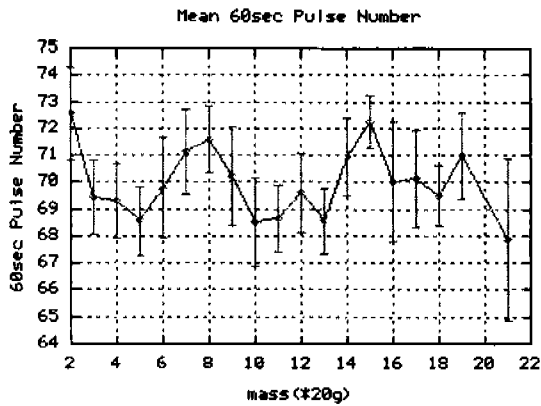


그림 10-1

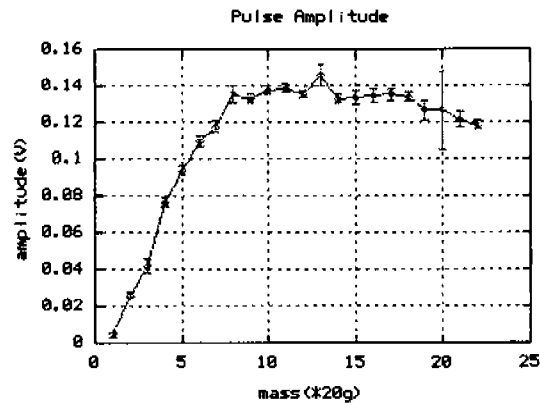


그림 10-2

그림 10. 추의 무게변 주기, 진폭의 변화

Fig. 10. Change of pulse period and Amplitude with respect to the mass

수와 파형을 분석할 때 사용된다.

압력 조절에 따른 신호 특성

신동적인 한의학의 맥진에서는 맥을 짚는 손가락의 압력을 변화시키면서 맥파의 특성을 조사하는 바, 이를 위한 기초자료로 본 연구에서는 가하는 압력을 추의 무게로 조절하면서 맥파의 기본 특성을 조사하였다. 이를 위해 센서 출력전압의 최저치와 출력전압의 폭(최대치와 최저치의 차)의 평균, 맥박수를 조사하였다. [그림 10]은 나이 25세의 어떤 남성의 압력대 주기, 그리고 압력대 진폭의 관계를 측정 한 것이다. 이러한 측정값은 성별, 나이, 신체상한, 측정조건 등에 의해 달라질 수 있다. 또한, 이러한 측정자료는 개인별 특성과 건강 상태의 판단에 중요한 자료로 쓰일 수 있을 것으로 예상된다.

[그림 10-1]는 무게에 따른 1분간 맥파 박동수의 평균과 표준편차를 그린 것이다. 맥박의 박동수는 무게가 증가에 관계없이 평균값 근방에서 무작위적으로 변하고 있다. 이것은 진맥작용이 심장의 활동에 거의 영향을 줄 수 없다는 점을 의미한다. [그림 10-2]은 무게에 따른 맥파의 진폭의 평균과 표준편차의 그래프이다. 맥파의 진폭은 무게가 증가함에 따라 지수함수적으로 증가하다가 160g중부터 0.14V에 접근한다.

토 의

본 연구에서는 기존의 혈관내 맥검출 센서를 변형하여 부침습적으로 맥파를 검출하고 압력에 따른 맥의 변화를 볼 수 있는 맥파 검출기를 제작하였다. 이 검출기의 특성을 요약하면

무와 피부사이에 공기층이 밀폐되면 요골동맥의 측맥파가 밀폐된 공기층의 압력을 변화시키고 그 압력변화를 실리콘 겔이 반도체 센서에 전달해서 신호가 검출된다. 센서와 피부의 밀착은 센서 위에 추를 놓아 그 무게로 이루어지며, 또한 추의 무게를 달리하여 한의학에서 말하는 힘 가감에 따른 진맥법을 객관화할 수 있도록 하였다. 맥파 검출 결과 무게에 따른 맥파의 진폭, 맥박수, 기저선의 변화등 기본 특성을 조사할 수 있었다.

기존 맥진기보다 개선된 점은 피부 접촉의 부드러움과 경량화된 압력조절이 가능해진 것이다. 동일한 방식으로 손·관·척 삼부위를 동시에 측정할 수 있는 장치의 개발도 가능하며, 압력 조절의 자동화와 인명맥을 검출할 수 있는 맥진기 개발 등이 요구된다.

현재의 검출기로 얻어진 데이터는 기본 파형분석과 푸리에 분석, 그리고 웨이블릿 분석, 나아가 비선형적인 방법으로 분석될 수 있다. 이러한 방법은 맥진의 물리적인 해석을 가능하게 하여 질병 진단의 기초자료로 이용될 수 있다.

참 고 문 헌

1. 이호세, 박영배, 허용 : 인영·춘구 대비법을 이용한 맥진단 시스템 구현, 대한 의용생체공학회지 14 (1) : 73~80, 1993
2. 박영배 : 맥진기의 현황과 전망, 대한한의진단학회지 1: 86~94, 1997
3. 이봉교, 박영배, 김태희 : 한방진단학 : 성보사, 1992
4. 경희대 학술부 : 한방진단의 실제적 접근 : 일중사, 173~199, 1997

5. SORD MEDICOM : 컴퓨터 백진시스템 사용자 설명서 : (주)소드
6. 백광철 : 諸脈體狀의 새로운 해석--회수식백진법이란-, 대한한의맥진학회지 3 : 5~17, 1998
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 : 793~798. 1968
8. J.Y.Lee and J.C.Lin, "A Microprocessor Based Noninvasive Arterial Pulse Wave Analyzer." IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 22, 1980 p.57
9. 한성원, 권오상, 박승환, 홍승홍 : 배과검출용 트랜스듀서의 개발, 대한 의용생체공학회 추계 학술대회: 1997.11
10. Motorola : Sensor Device Data/Handbook REV 3: Motorola
11. Advantech : ADAM 3014 User's Manual : Advantech
12. Advantech : PCL-816 User's Manual : Advantech