

공압 방식에 의한 다지점 요골 맥파 검출 장치

이종진*(광주과학기술원), 정민석(한마음 한의원), 황성하(한마음 한의원), 이종현(광주과학기술원), 이선규(광주과학기술원)

Multi-Point Radial Artery Pulse Wave Transducer using Pneumatic System

Jong-jin Lee (K-JIST)*, Min-suk Jeong(Han-Ma-Um Oriental Hospital), Sung-ha Hwang(Han-Ma-Um Oriental Hospital), Jong-Hyun Lee (K-JIST), Sun-Kyu Lee (K-JIST)

* Dept. of Mechatronics, K-JIST, 1 Oryong-dong, Puk-gu, Kwangju 500-712, Korea

E-mail : skyec@kjist.ac.kr

ABSTRACT

A radial artery pulse wave is well known as a good means to diagnose human body condition in the field of Chinese medical science. Information about constitution as well as organs can be obtained by detecting the artery pulse wave. Recently, the information about the human body constitution may be utilized in accelerating the recovery process of the patient on the basis of comprehensive diagnosis. A radial artery pulse wave is considered as one of promising means in examining the human body constitution. Since the examination has been conducted by the feeling of finger, the diagnosis may occasionally have uncertainty or fatal error. In this paper, a new measuring system is suggested and developed to examine the pattern of a pulse wave correctly. The system is composed of four pressure vessels, pressure sensors and air supplying pumps. One of them is utilized for appropriately pressing the radial artery, three of them for detecting pressure change in several mmHg level. The detected data is shown and discussed.

Key Words :Radial artery pulse wave (요골맥파), Principle of Tonometry, Pressure transducer(압력 변환기)

1. 서론

한의학 분야에서 요골맥파는 피검자의 신체상태를 알 수 있는 중요한 정보로 사용 된다. 전통적인 진단 방법인 한의사의 촉각에 의한 정보는 다분히 한의사의 감정상태, 신체상태, 가압하는 손가락의 악력 상태 등에 의해 큰 오차를 갖게 된다. 이를 해결하기 위해 신뢰성 있는 객관적인 데이터의 확보를 위해 요골 맥파 검출장치들이 개발 되고 있다. 하지만 맥파 검출장치(맥진기)에 대한 설계기준이 마련 되어 있지 않은 상태에서 각각 서로 다른 측정원리를 기반으로 한 맥진장치들이 객관성 있는 데이터를 검출하는지에 대한 의문이 제기 된다.

본 논문에서는 요골 맥파 검출장치의 기본원리로 적용되는 토노메트리(Tonometry)원리를 전통적인 맥진법에 적용시키기 위해 파스칼의 정리(Pascal's Theory)에 입각한 공압 시스템 도입 했다. 이로써 전통 맥진법인 균일 압력에 의한 3 점(Chon 촌, Kwan 판, Chuck 척) 가압을 실현 했고, 원초적인 오

차의 원인이 될 수 있는 측정시 가압력의 변화에 따른 맥파의 변화를 관찰하고,신뢰성 있는 맥파검출을 위한 적정 가압력의 범위를 찾았다.

Fig. 1 은 촌, 관 척의 위치를 보여 주고 있다.

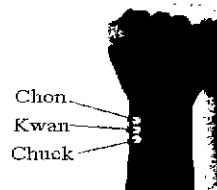


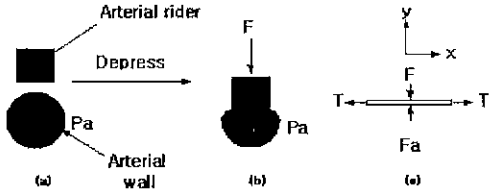
Fig. 1 Chon, Kwan, Chuck

또한 맥파 측정시 사용되는 압력센서의 분해능을 높이기 위해서 미세 차압센서와 게이지 압력 센서를 이용한 방법과 가압력 조절을 위해 공기 압축기, 솔레노이드 개폐장치, PWM(Pulse Width Modulation) 제어기, 압력센서로 구성된 압력 조절 장치 등이 제시 된다.

2. 공압 시스템의 적용과 검토

2.1 토노메트리 원리(Principle of Tonometry)

Fig. 2 은 맥진기의 기본 원리인 토노메트리의 원리를 보여주고 있다.



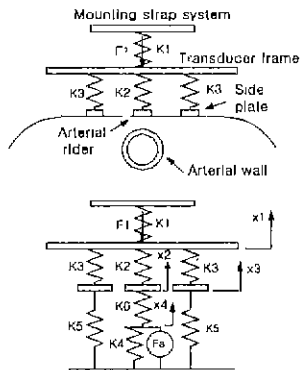
F: Depressing Force, A: Contact area, Pa: Pressure inside artery, $F=Pa \cdot A$, T: Tensile force

Fig. 2 Principle of Tonometry.

혈관이 접촉점에서 평평한 면을 가진 Arterial Rider와 만나게 되면 평평하게 눌린 면에서는 혈관의 장력(T)은 수직방향의 힘 평행 방향식에는 영향을 미치지않게 된다. 따라서 Arterial Rider의 접촉면적을 일정유지 하면 혈관내의 압력은 전달되는힘 Fa를 면적 A로 나눈 값이 된다¹.

2.2 트랜스듀서와 요골동맥의 모델링

토노메트리 원리에 입각한 트랜스듀서(압력 변환기)의 압력 전달부와 프레임, 가압벨트 부분과 요골 동맥 주위의 모델링은 Fig. 3 과 같다.



Spring constant:

k1: Mounling Strap System, k2: Transducer, k3: Frame(Supporter), k4: Artery, k5: Radius, Tendon, k6: Tissue

Fa: Resultant Force

Fig. 3 Mechanical modeling of a transducer and an artery¹.

Fig. 3 에 제시된 트랜스듀서가 맥파를 정확히 감지하기 위해서는 다음의 조건들이 만족 되어야 한다.

- 1) 프레임 지지부의 강성은 무한대이다¹.
- 2) 가압력은 일정하게 유지 되어야 한다¹. 측정시 Arterial Rider와 혈관의 접촉면적은 일정하게 유지 되어야 한다¹.
- 3) 프레임 지지부는 혈관주위의 요골(Radius bone)과 건(Tendon)에 단단히 지지 되어야 한다².

이상의 조건을 만족하고, $K_2 \gg K_4$, $K_1 = 0$ 이라고 가정하면 Fig. 3의 Modeling은

$$\delta = \frac{F_a}{k_4 + (A + B)} = \frac{BF_1}{k_4 + (A + B)k_2} \quad (1)$$

$$\delta = x_2 - x_3, A = 1 + \frac{k_4}{k_6}, B = \frac{k_4}{2k_6}$$

여기서 k_4 는 Fig. 2에서 알 수 있듯이 Arterial Rider에 의해서 혈관이 평평하게 눌리게 되면 수직 방향으로의 힘 방향식에는 영향을 미치지 않게 된다. 따라서 식(1)은

$$\delta = \frac{F_a}{k_2} \quad (2)$$

와 같이 된다. 즉 k_2 와 δ 값을 측정하면 F_a 를 알 수 있다. 하지만 본 논문에서는 또 다른 얇은 막(Thin membrane)으로 제작된 측정용 압력용기(Measuring cavity)를 이용하여 전달되는 힘 F_a 를 다시 압력으로 변환하고 압력센서를 이용하여 측정하게 된다. 즉 요골 동맥으로부터 전달되는 맥파를 중간의 Arterial Rider를 매개로 또 다른 Cavity로 직접 전달 하는 것이다.

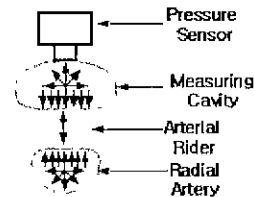


Fig. 4 Direct pressure sensing using measuring cavity

이때 측정용 압력용기 내부의 매질은 공기이고, 장력에 의한 영향을 배제하기 위해서 Arterial Rider에 의해서 평평하게 눌러야 한다.

2.3 공압 액츄에이터

맥파 검출장치의 가압용 액츄에이터는 Fig. 3 의 가압력을 일정하게 유지하는 기능을 수행함과 동시에 3 점(촌, 관, 척)에서 같은 힘으로 요골동맥(Radial artery)을 가압해야 한다.

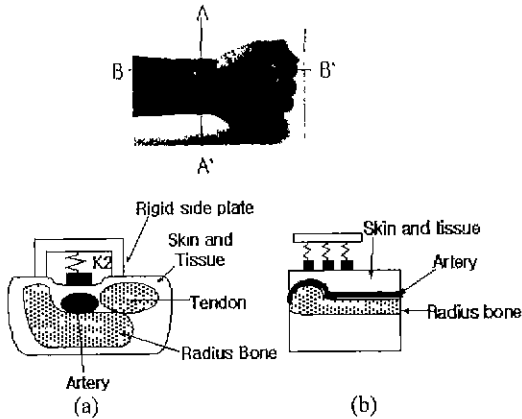


Fig. 5 Sectional view of a wrist

Fig. 5 는 트랜스듀서가 손목에 고정 되었을 때의 단면도를 나타낸다. 횡단면 Fig. 5(a)는 2.2 절에 명시된 조건을 만족한 지지 모습이다. 종단면 Fig 5(b)는 3 개의 트랜스듀서의 지지 모습이다. 요골동맥의 아래쪽의 요골(Radius)의 굴곡에 의해서 트랜스듀서의 Arterial Rider 와의 거리가 모두 다르게 된다. 이는 검출맥파의 주요한 오차 요인이된다². 이는 특히 3 지점에서의 맥파의 강약을 비교하는 한의학의 맥진 분야에서는 특히 중요한 문제점이 된다. 일반적으로 요골 동맥에서 거리가 멀어질수록 맥파의 진폭은 작아지게 된다. 이를 해결하기 위해 Pascal 의 정리에 기본적인 공압 액츄에이터가 설계 되었다. 이는 3 개의 측정 지점에 각각 위치해 있고 가압과 동시에 측정을 수행하는 트랜스듀서의 측정용 압력 용기와, 트랜스듀서 프레임의 지지부를 요골과 견에 일정한 힘으로 지지 시키는 가압용 압력 용기으로써 압력 조절장치에 의해서 가압력이 조절된다. 이때 압력조절 장치에서 발생된 압축공기는 다 배기관(Manifold)에 의해서 3 지점에 동시에 공급되므로 Pascal 의 정리에 따라서 3 지점은 같은 압력 상태가 유지 되고, Arterial Rider 의 변칙은 일정하므로 결국 3 지점에서 가압력은 자동적으로 같아 지게 된다. 또한 혈관 주위의 세포들의 포아송 비율(Poisson's ratio)은 0.2~0.49³ 로서 반 유동체의 성질을 띄게 된다. 따라서 가압부 아래의 혈관주위의 압력분포가 어느 정도 균일 분포를 나타낸다.

Fig. 6 은 가압용 용기(Depressing cavity)로 요골 동

맥 위를 가압할 경우 압력 분포를 나타낸다.

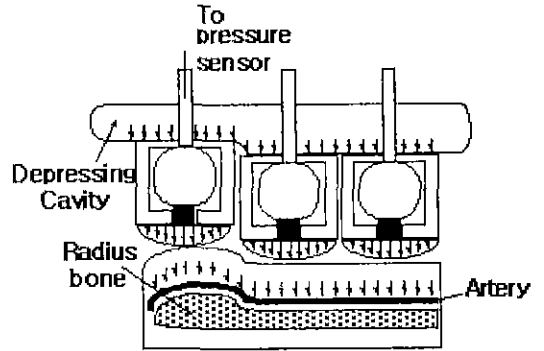


Fig.6 Transducers for three points measurement and pressure distribution

Fig. 7 은 전체 시스템의 압력을 제어하는 시스템이다.

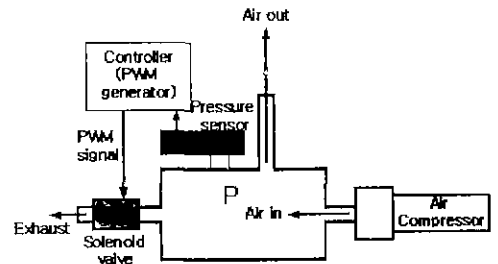


Fig. 7 Configuration of the pressure regulator using PWM signal

압력 조절장치는 공기 압축기, 공기 저장기, 압력 센서, 솔레노이드 밸브, PWM 신호 제어기 등으로 구성된다. 본 장치의 기본 원리 Fig.8 에서 보여 주고 있다. 시스템의 시정수를 이용, 연속적인 솔레노이드 밸브의 Duty ratio 를 PWM 신호 제어기로 제어 하여 압력조절을 유도 하는 것이다.

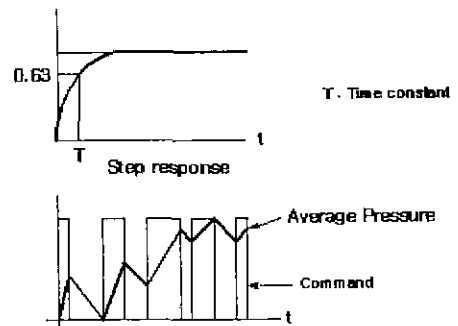


Fig. 8 Pressure change due to duty ratio

2.4 공압 측정 시스템

일반적으로 측정시스템에 요구되는 응답 특성은 측정하고자 하는 시스템의 응답속도보다 10 배 이상은 빨라야 한다. 따라서 공기를 매개로 한 측정 원리는 일반 시스템에는 부적합하다. 하지만 맥진기의 경우 맥파의 주파수 범위가 20Hz⁵ 이하이므로 제한적인 범위내에서 공기를 매개로한 측정 시스템이 가능하다.

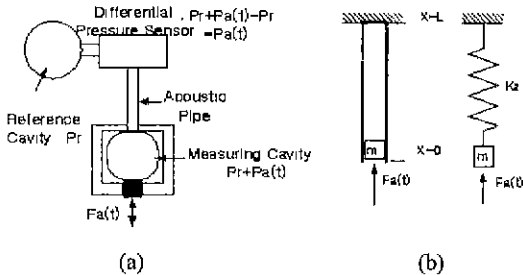


Fig. 9 A Mechanical modeling of an acoustic pipe. m: mass of Rider, C: Damping constant k2: Acoustic Spring constant of air in pipe, L: length of pipe

Fig. 9 (a)는 혈관에서 전달되는 힘 $F_a(t)$ 를 다시 측정용 압력용기에서 압력으로 변환하고, 이를 차압 센서가 전체 가압압력으로 일정하게 유지되는 기준 압력 용기(Reference cavity)내 압력과의 차이를 전기 신호로 바꿔주는 공압 측정시스템을 보여 주고 있다. 전체 가압력은 게이지 압력 센서가, 그리고 차압 센서는 용기내의 압력 변화량 즉, 맥파(Pressure Pulse Wave)만을 측정하게 되어 측정 시스템의 분해능을 높일 수 있게 된다. 이는 조미동 이송장치(Coarse and Fine Positioning)과 흡사한 개념이다.

Fig. 9 (b)는 (a)를 모델링 한것이다. 여기서 스프링 계수는 식(3)

$$k_2 = \frac{\rho c^2}{V} S^2 \quad (3)$$

V : volume of pipe [m³] c : speed of sound [340m/s]
 ρ : air density 1.2 [Kg/m³] S : pipe area [m²]

로 계산된다. 파이프의 직경 6 mm, 길이 20 mm 이고, Rider 의 질량이 0.1 g 일때 이 시스템의 공진 주파수는 식(4)

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4)$$

에 의해 223 Hz 가 된다. 공기에 의한 감쇄는 10 kHz 미만에서는 무시 될 수 있으므로⁴ (맥파의 경우는

20 Hz 미만이다⁵) 이 시스템의 저주파 통과 주파수 대역은 공진주파수 근처인 223 Hz 가 된다. 따라서 공기를 매개로 한 측정 시스템은 측정 대상체의 주파수 20 Hz 보다 10 배 이상이 크므로 타당하다고 볼 수 있다.

Fig. 9 의 1 차원 Acoustic Pipe 내에서는 1 차 모드의 정수배의 주파수를 갖는 Sine 파들이 각 각 서로 다른 계수를 갖고 복잡하게 중첩되는 현상을 볼 수 있다.⁴.

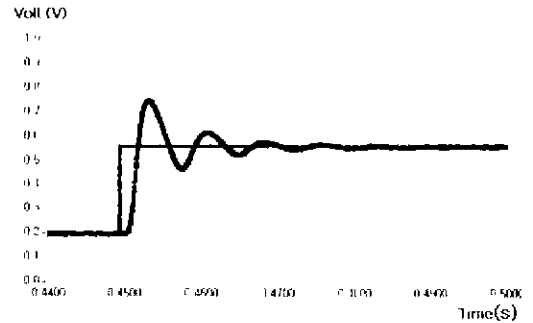


Fig. 10 Step response of pipe (Input pressure 28 mmHg [0.58V], L: 1m, D=2mm)

Fig. 10 은 1m 파이프의 입구에서 28mmHg 의 압력을 계단 입력으로 주고 파이프의 끝부분에서 압력 센서를 이용, 파이프 내의 압력 변화를 감지한 것이다. 실험 결과 이 파이프 내에서는 1 차모드가 가장 지배적인 것으로 나타났고 이는 이론과도 일치 한다⁴. 이 파이프 1 차모드 진동수의 이론값은 1067rad/s 이고 실험에 의한 1 차모드는 785 rad/s 였다. 이는 파이프의 경계조건이 완벽한 Rigid Boundary 의 조건을 만족 시키지 못했기 때문이다. 이러한 공기의 부수적인 Pipe 내에서의 진동은 맥파 신호에 잡음으로 작용하게 된다. 따라서 저역 통과 필터 설계시 Cutoff 주파수를 1 차 모드 이하로 설정 해야 한다.

3. 시스템 평가 및 신호검출

3.1 SDP(Systolic-Diastolic Pressure curve) algorithm

맥파 신호의 오차 요인은 가압력의 변화 외에 Arterial Rider 와 혈관과의 위치 정렬에도 기인하게 된다. 위치 정렬의 여부를 판단하기 위해서 Fig. 11 의 SDP 곡선이 소개 된다. SDP 알고리즘은 증가 되는 가압력이 혈관 위에서 정확히 작용할 경우 맥파의 진폭이 점점 줄어들어 결국 더 이상의 맥파가 나타나지 않는고 이때 점 D 가 존재하게 되고, 이를 이용 혈관과 Arterial Rider 의 위치를 정렬 시키는 것이다.

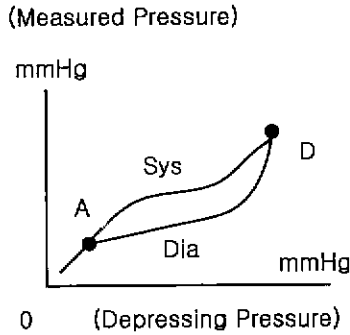


Fig. 11 SDP(Systolic-Diastolic Pressure) curve

본 연구에서 제작된 장치를 혈관에 최대한 정렬시킨후 측정된 SDP 곡선이 Fig. 12 에 나타나 있다.

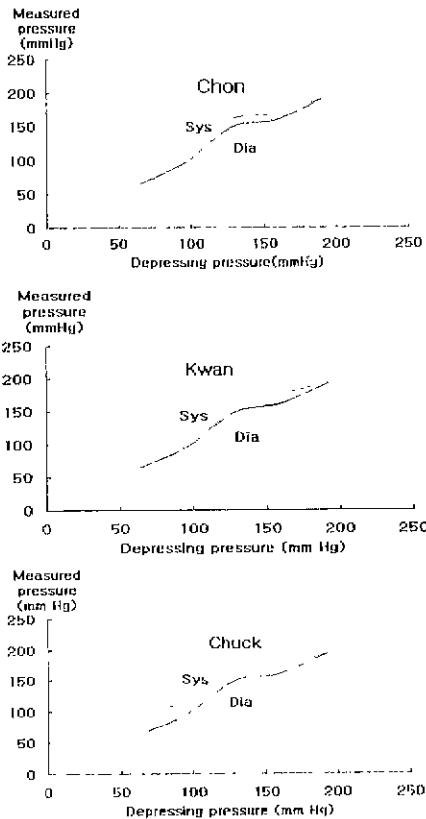


Fig. 12 SDP Curve at each point (Chon, Kwan, Chuck)

실험결과 촌, 관, 척 3 지점에서 모두 점 D 가 존재 했다.

Fig. 12 은 가압력 변화에 따른 맥파를 각 지점에 대해서 표시 한 것이다

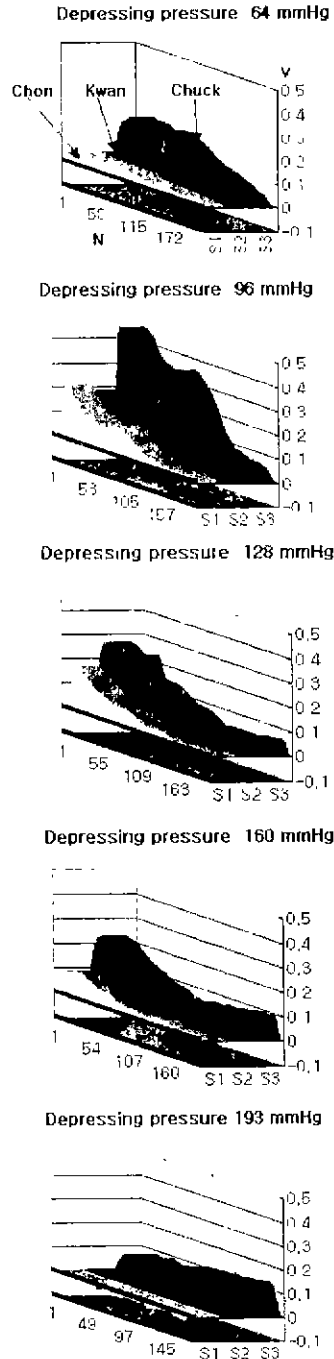


Fig. 12 Pulse wave form corresponding to depressing pressure. (N : Number of samples/sec S1: Chon S2:Kwan S3:Chuck)

측정자의 일반 혈압계에 의한 최고 혈압 측정치가 150 mmHg 이고, 실험결과는 이보다 높은 160mmHg 에서도 맥파가 검출 되는 것으로 보아 시

스텝의 Calibration 이 완벽 하지 않음을 의미한다. 하지만 193 mmHg 이상에서는 Systole 과 Diastole 이 나타나지 않고 있는 것으로 보아는 이때가 실질적인 최고 혈압점 150mmHg 근방으로 추측 할 수 있다. 가압력이 128 mmHg 와 160 mmHg 일때 맥파의 모양이 일정하게 나타나고 있다. 이는 맥파검출이 최고 혈압의 약 70~80%근처에서 가장 신뢰성 있는 데이터를 준다는 의미가 된다. 따라서 맥파검출시 가압력은 항상 최고 혈압의 70~80%를 유지 해야 한다.

analysis”, J. Biomechanics, Vol.16, No.2, 1983.

4. 결론

토노메트리 원리를 3 점 측정법에 적용하기위해 파스칼의 점리를 적용하였다. 이로써 3 지점에서 균일한 압력으로 요골동맥을 가압할 수 있게 되었고, 이때 가압력은 신뢰성 있는 데이터를 얻기 위해 최고혈압의 70~80%근처로 한다. 또한 SDP 알고리즘에 의한 혈관과 Arterial Rider 와의 위치 일치의 여부를 확인 할 수 있다. 시스템의 압력조절은 PWM 신호를 이용한 압력 조절 장치에 의해서 가능했다.

후 기

본 연구 수행을 위해 후원해 주신 광주 지방중 소기업청에 감사의 뜻을 표합니다

참고문헌

1. G.L Pressman and P.M Newgard, “A transducer for the continuous external measurement of arterial blood pressure,” IEEE Transactions on Bio-Medical Electronics, pp.73-82, April 1963
2. K Narimatsu and K Ohmori, “An Algorithm for Tonometric Absolute Blood Pressure Measurement,” IEEE, 1992
3. Cristina Cristalli, Michael R. Neuman and Mauro Urisino, “Studies on Soft Tissue Pressure Distribution in the Arm During Non-invasive Blood Pressure Measurement,” IEEE, 1994
4. Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B. Coppers, and James V. Sanders, “Fundamentals of Acoustics,” John Wiley & Sons Inc, 3rd editions Chap 9, 1982.
5. Naghwan Kim, Hyoungwoo Lee, and Seunghong Hong, “Contrivance of a Pulse Wave Diagnosis System using Semiconductor Pressure Sensor,” Sensors Conference 2000, pp.98-101, September 2000.
6. Gary M. Drzewiecki, Julius Melbin, and Abraham Noordergraaf, “Arterial Tonometry: review and