심혈관계 시뮬레이터의 개발 동향

양태헌
한국표준과학연구원
질량힘센터 압력진공연구실

신상훈
상지대학교 보건과학대학
한방의료공학과

Ⅰ. 서 론

맥진은 손가락 감각을 이용하여 경맥의 박동상태를 관찰함으로써 장부와 경락의 상태를 판단하는, 한의학의 중요한 진단방법이다. 맥진은 수천 년 임상경험이 축적되고 체계화된 귀중한 유산으로서, 현대의학의 관점에서 본다면 혈관계 모니터링을 통한 내부장기 기능진단이라는 새로운 진료영역에 속한다. 임상적 효용성에도 불구하고 맥진이 세계화되지 못하는 이유는, 진단의 근거를 현대의 용어로 설명하지 못하기 때문이다[1].

맥진의 근거를 현대적으로 해석하기 위해서는 대규모 임상실험이 반드시 필요하다. 그러나 임상연구는 막대한 비용과 오랜 시간이 걸린다는 단점이 있다. 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션은 적은 비용으로 빠른 결과를 얻을 수 있지만, 실험조건이 까다로워 사용할 수 있는 범위가 매우 제한적이다. 시뮬레이터는 위의 문제점들을 해결해준다. 즉, 저렴한 비용으로 심혈관계의 다양한 특성을 구현할 수 있다[2].

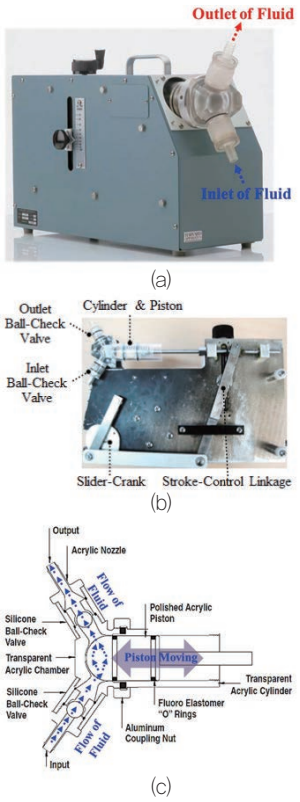
시뮬레이터(simulator)란 실제의 특성과 유사한 현상을 재현하도록 만들어진 장치를 뜻한다. 동일한 개념으로 모의 실험장치(mock simulatory system)라는 용어도 있으나, 본 논문에서는 시뮬레이터로 표기하기로 한다. 심혈관계의 구조적 특징은 심장, 혈관계, 그리고 혈액으로 구분되며, 기능적인 특징은 혈압과 혈류로 평가될 수 있다. 심장은 혈압을 생성하며, 혈관계는 인체의 각 부분에 혈류를 공급한다. 본 논문에서는 심장과 혈관계의 관점에서 지금까지 개발된 심혈관계 시뮬레이터를 고찰해보기로 한다.

Ⅱ. 본 론

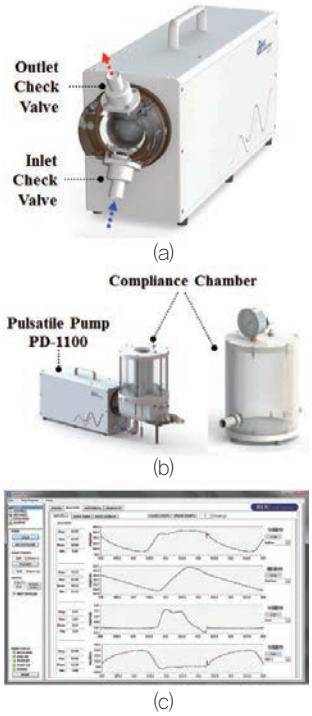
1. 심장기능의 구현

본 장에선 심장의 기능을 구현할 수 있는 맥동 유동(Pulsatile Flow) 발생장치의 개발 및 연구동향에 대해 살펴보고자 한다. 맥동 유동을 발생시키는 가장 대표적인 장치는 〈그림 1(a)〉의 Harvard Apparatus사의 심장 모사 펌프인 Pulsatile Blood Pumps이다[3]. 〈그림 1(b)〉와 〈그림 1(c)〉에서 볼 수 있는 것과 같이, 내장된 모터가 회전운동을 할 때, Slider-Crank가 회전하며 피스톤이 선형 왕복운동을 하도록 개발되었다. 이 선형 왕복운동에 따라 Inlet과 Outlet에 내장된 볼체크 밸브가 열리고 닫히는 것을 교번하여, 피스톤의 운동에 따라 유체가 들어오고 나가는 것을 반복하게 된다. 볼체크 밸브는 실리콘으로 코팅되어 있고, 피스톤과 실린더 시스템도 실리콘 고무, 아크릴 및 테플론 재질로 되어있어 심장과 비슷한 부드러운 유동을 발생시킬 수 있도록 개발되었다. 또한, 〈그림 1(b)〉의 Stroke-Control Linkage를 조작하여 박출량(Stroke Volume)을 조절할 수 있도록 개발되었는데, 피스톤/실린더의 변위와 부피에 따라 4가지 종류의 개발품을 판매하고 있다. 이 중 Large Animal용으로 개발된 Model 1423의 경우, 1회 박출량을 15 ml에서 100 ml 까지 조절가능하고, 피스톤의 왕복속도를 10 mm/min에서 100 mm/min까지 조절할 수 있도록 개발되었다.

좀 더 발전된 형태를 갖는 Slider-Crank구조를 이용한 Pulsatile Blood Pumps가 BDC Laboratories사에 의해 〈그림 2(a)〉와 같이 개발되었다[4]. BDC Laboratories사의 Pulsatile Blood Pumps PD-1100는 1회 박출량을 0 ml 에서 300 ml 까지 조절가능하고, 피스톤의 왕복속도를 2 bpm에서 240 bpm까지 조절할 수 있도록 개발되었다. 또한, PD-1100은 심장의 생리학적인 점탄성특성을 반영하고 조절할 수 있도록 〈그림 2(b)〉와 같이 출력단에 Compliance Chamber를 추가적으로 장착할 수 있도



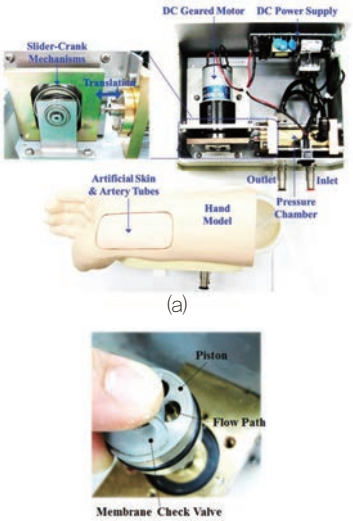
〈그림 1〉 Harvard Apparatus사 맥동 유동 발생장치: (a) Pulsatile Blood Pumps, (b) 피스톤, 실린더, 체크밸브로 구성된 좌심실 모사부, (c) Three Link-Bar를 이용한 작동메커니즘



〈그림 2〉 BDC Laboratories 사의 맥동 유동 발생 시스템: (a) Pulsatile Blood Pumps PD-1100, (b) Compliance Chamber, (c) Statys® PD software program

록 개발되었다. 그리고 PD-1100은 〈그림 3(c)〉과 같이 Statys® PD software program를 제공하는데, 사인웨이브 및 임의의 출력 파형제어가 가능하고, 실시간 Data Capturing과 Charting이 가능하고, 여러 개의 압력트랜스듀서를 동시에 모니터링 할 수 있도록 지원해주는 특징을 가지고 있어, 효율적인 맥동 발생과 측정이 가능하도록 개발되었다. 하지만, Slider-Crank 메커니즘을 채용함으로 피스톤의 변위 및 위상을 독립적으로 제어할 수 없고 초기 Dynamics를 확보하기 어려워, 심혈관계 질환에 따른 다양한 급가속 파형을 생성하기엔 여전히 한계가 있다.

한편, KYOTO KAGAKU사는 요골동맥 카테터 교육이라는 실용적인 응용에 맞추어, 소형화된 Slider-Crank 구조를 채용한 맥동 유동 발생장치를 개발하였다. 〈그림 3〉은 개발된 Arterial Puncture Training Wrist를 보여준다[5]. 내부의 구조는 〈그림 3(a)〉와 같이 DC Geared Motor와 Slider-Crank구조로 되어, 피스톤을 Pressure Chamber내부에서 선형 왕복 시키도록 개발되었다. 〈그림 3(b)〉와 같이, 피스톤 헤드에 Membrane Check Valve와 Flow Path가 형성되어 있어, 유체는 한 방향으로 순환을 하게 되고, Artificial Skin 아래를 통과하는 Artery tube로 흐르는 유체의 움직임을 사용자는 느끼게 된다. 유체환류식 시스템을 소형으로 잘 개발되었지만, 다양한 맥동 파형을 발생시키기에 한계를 가지고 있다.



〈그림 3〉 KYOTO KAGAKU사의 맥동 유동 발생장치: (a) Arterial Puncture Training Wrist, (b)체크 밸브형 피스톤 구조

더욱 개선된 맥동 유동을 발생시킬 수 있는 장치로, ViVitro Labs 사의 SuperPump 시스템이 있다[6]. (〈그림 4〉) 〈그림 4(a)〉는 AC Servo Motor와 볼스크류로 구성된 Linear Motion 발생부와 실린더 및 피스톤으로 구성된 SuperPump를 보여준다. SuperPump는 1회 박출량을 0 ml 에서 180 ml 까지 조절가능하고, 피스톤의 왕복속도를 3 bpm에서 200 bpm까지 조절할 수 있도록 개발되었다. SuperPump도 심장의 생리학적인 점탄성특성을 반영하고 조절할 수 있도록 〈그림 4(b)〉와 같이 출력단에 2개의 Compliance Chamber로 구성된 Viscoelastic Impedance Adapter와 Pump Head (Membrane 형 Input/Output Check Valve 포함)를 추가적으로 장착할 수 있도록 개발되었다. 〈그림 4(c)〉의 Controller와 Test Software를 이용하여 5개까지의 복잡한 임의의

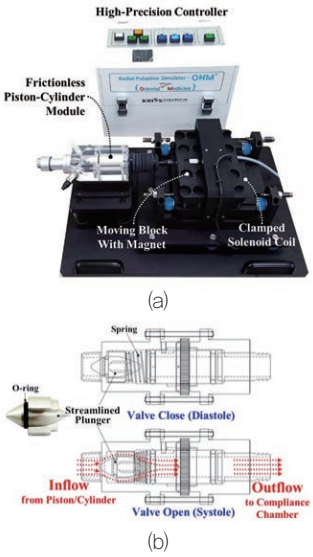
〈그림 4〉 ViVitro Labs Inc. 사의 맥동유동 발생시스템: (a) ViVitro SuperPump, (b) Viscoelastic Impedance Adapter & Pump Head, (c) Controller & Test Software

Waveform을 저장하여 SuperPump를 구동시킬 수도 있고, Function generator 등의 외부입력을 이용하여서도 구동시킬 수 있어 이전 시스템에 비해 상당히 다양한 맥동 유동을 발생시킬 수 있도록 개발되었다.

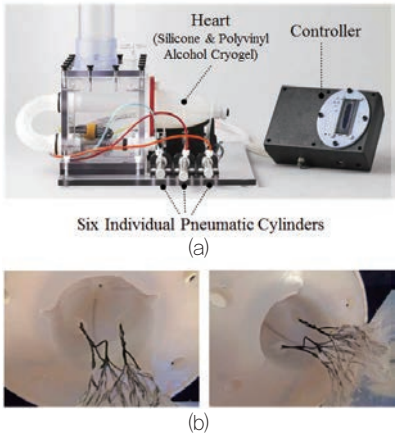
AC Servo Motor와 볼스크류 기반의 Linear Motion 발생시스템은 상당히 발전된 성능을 보여줄 수 있지만, 회전식 모터를 사용하는 것의 한계를 여전히 존재한다. 급가속 구동 시 소음과 진동이 발생하고, 정지 상태에서 급가속 시 가속력의 한계와 정밀한 위치 및 속도 제어가 어려운 한계를 가진다. 그래서 한국표준과학연구원과 한국한의학연구원에서는 리니어모터 기반의 고정밀 맥동 유동 펌프를 개발하였다[7]. 〈그림 5(a)〉의 개발된 리니어 모터는 방진 베이스에 솔레노이드 코일이 고정되어 있고, 영구자석이 장착된 Moving Block이 리니어 가이드를 따라 왕복이동 할 수 있도록 구성되었다. High-Precision Controller에서 솔레노이드 코일에 인가되는 전류를 제어하여, 상기의 Moving Block이 최대 5g의 가속도로 수 마이크로 단위의 위치제어가 가능한 성능을 보인다. Moving Block에 피스톤이 직접 연결되어, 피스톤은 실린더 내부를 Moving Block을 따라 최대 40 mm의 stroke로 이동할 수 있도록 개발되었다. 리니어모터의 급가속 구동에 따라 유체가 실린더 밖으로 압력 손실 없이 박출 될 수 있도록, 〈그림 5(a)〉와 같이 세라믹 기반의 Frictionless Piston/Cylinder을 개발하여 장착하였고, 〈그림 5(b)〉와 같이 방출체크밸브의 내부에 유선형의 플런저(Streamlined Plunger)를 장착하여 실린더에서 방출되는 유체에서의 난류발생을 최소화하였다.

맥동 유동의 정밀도를 높이는 연구와는 다르게, 실제 심장과 유사한 구조 및 재질을 개발하여 맥동 유동을 발생시키고, 인공 판막 등을 평가하는데 활용하기 위해 개발도 진행되고 있다. Shelley Medical Imaging Technologies 사의 Dynamic Left Ventricle with Functional Mitral & Aortic Valves Phantom이 대표적인 장치이다[8]. 이 장치는 〈그림 6(a)〉와 같이 6개의 독립 구동되는 유압 실린더 액추에이터를 이용하여, Silicone과 Polyvinyl Alcohol Cryogel로 제작된 인공심장을 압축하여 좌심실의 수축 패턴, 수축률 및 박출률을 제어할 수 있도록 개발되었다. 또한, 인공 심장 내부에 인체와 흡사한 대동맥 판막과 왼방실막판(〈그림 6(b)〉)이 내부에 장착되어 있고, 밸브의 모션 패턴과 박출률을 실제와 동일하게 구현하도록 개발되었다.

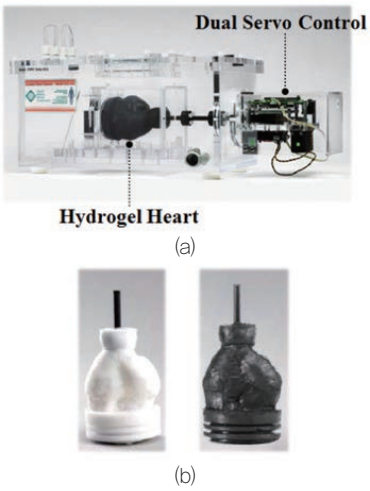
실제 심장과 유사한 구동 구조를 갖는 장치로, Shelley Medical Imaging Technologies 사의 Dynamic Multi-Modality Heart Phantoms을 들 수 있다[9]. (〈그림 7(a)〉) 이 Heart Phantoms은 심장 모션의 분석과 유효



〈그림 5〉 한국표준과학연구원/한국한의학연구원의 초정밀 맥동 유동 발생장치: (a)High-Precision Linear Pump, (b) 대동맥판막 체크밸브(Aortic Check Valve)의 구조



〈그림 6〉 Shelley Medical Imaging Technologies 사의 심혈관계 시뮬레이터: (a) Dynamic Left Ventricle with Functional Mitral & Aortic Valves Phantom, (b) Built-in Artificial Mitral Valve



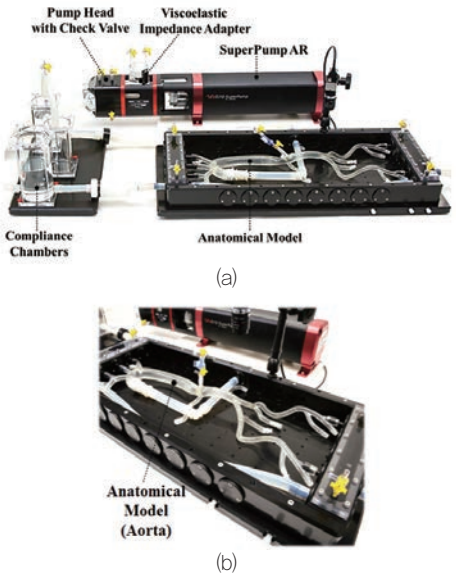
〈그림 7〉 Shelley Medical Imaging Technologies 사의 Heart Phantom: (a) Dynamic Multi-Modality Heart Phantoms, (b) Hydrogel heart

성을 정교하게 평가하기 위해, 〈그림 7(b)〉에서 보는 것과 같이 심장과 유사한 재질인 하이드로젤로 제작되었다. 좌심실의 사이즈는 76 ml, 우심실의 사이즈는 66 ml로 인체와 유사한 사이즈로 개발되었고, MRI, CT 및 X-ray 검사에 문제가 없도록 개발되어 다양한 목적으로 활용이 가능하다.

2. 혈관계 기능의 구현

기존에 개발되었던 심혈관계 시뮬레이터들은 주로 인공장기를 평가하기 위하여 제작되었다. 즉 개발된 인공심장이나 인공판막이 인체의 다양한 조건에서 정상적으로 작동하는 가를 평가하기 위하여, 생리적 또는 병리적 조건을 만들어줄 수 있는 시뮬레이터가 필요하였던 것이다. 관심의 대상이 심장에 있었으므로, 혈관특성에 대한 관심은 매우 낮았다. 그러므로 기존의 심혈관계 시뮬레이터에서는 혈관의 형상 특성만을 강조하여, 혈관을 압력탱크로 단순화하고 있다. 심혈관계 시뮬레이터를 한의학적 관점에서 살펴본다면, 혈관특성의 중요도는 심장특성에 비하여 결코 뒤지지 않는다. 특히 맥관의 탄성도에 따른 맥파 전달 특성은 맥파의 형상을 결정하는 매우 중요한 요소이다[10]. 본 장에선, 이러한 복합적인 유체 현상을 인체와 유사하게 재현해내기 위한 인공혈관 개발 동향에 대해 살펴보고자 한다.

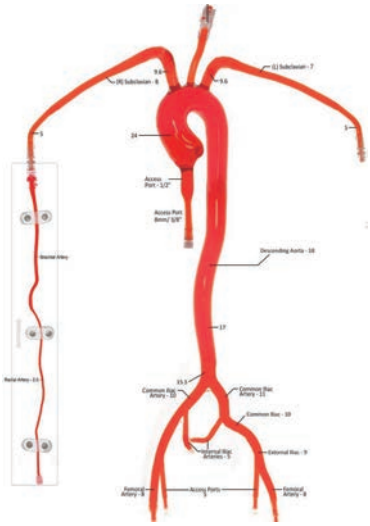
〈그림 8〉의 ViVitro Labs 사에서 개발한



〈그림 8〉 ViVitro Labs Inc.의 심혈관계 시뮬레이터: (a) Endovascular Simulator, (b) Anatomical Model

Endovascular Simulator 가 대표적인 예이다[11]. 본 시뮬레이터에서는 〈그림 4〉에서 소개되었던 SuperPump가 맥동 유동을 발생시키고, 발생된 맥동 유동은 Viscoelastic Impedance Adapter, Pump Head 및 Compliance Chamber를 지나 〈그림 8(b)〉의 대동맥 Anatomical Model로 흘러가도록 인체 유사 시뮬레이터가 개발된 것이 특징이다. 개발된 시뮬레이터는 의사의 임상훈련 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

대동맥의 구조가 맥동 유동의 반사파 형성에 중요한 영향을 끼치기 때문에, CT 데이터 등을 기준으로 인체와 동일한 형상의 인공 대동맥이 개발되고 있다. 〈그림 9〉의 UNITEDBIOLOGICS사의 실리콘기반 Aorta with Radial Access가 대표적인 예가 될 수 있다[12]. 이 대동맥 혈관 모델은 혈관촬영 및 CT 데이터를 기본으로 제작되었으며, 흉부대동맥, 복부대동맥, 장골동맥, 대퇴동맥, 쇄골하동맥 및 요골동맥을 포함하도록 개발되었다. Shore A 37~39의 경도를 갖도록 개발되었고, Elongation은 340%, Elastic Modulus는 450~500 psi를 갖도록 개발되었다. 형상은 인체와 동일하게 개발되었지만, 인체의 흉부대동맥이 약 80 psi의 탄성률을 갖는 것을 고려할 때, UNITED BIOLOGICS사의 실리콘 대동맥의 탄성률이 훨씬 높아, 인체와 유사한 반사파 양상이

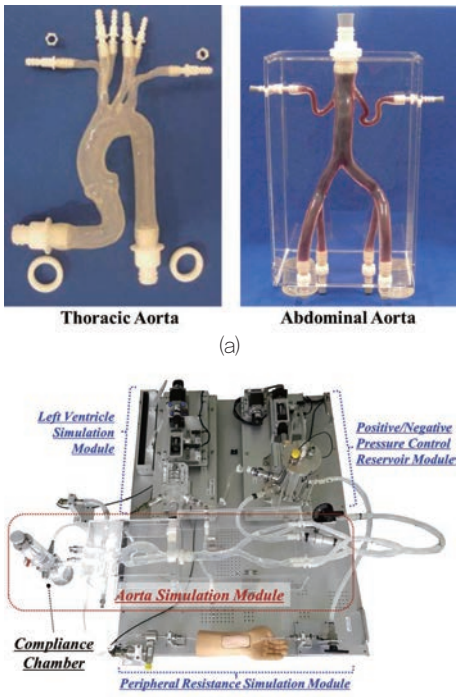


〈그림 9〉 UNITEDBIOLOGICS 사의 Aorta with Radial Access

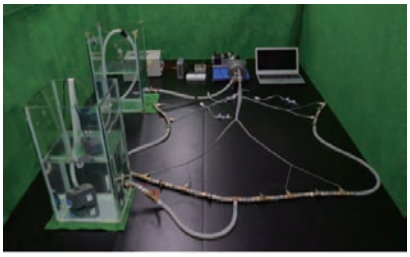
나오는 것은 기대하기 어려울 것으로 판단된다.

인체와 동일한 형상의 인공 대동맥은 ELASTRAT Sari 사의 제품도 대표적이라고 할 수 있다. 〈그림 10(a)〉는 ELASTRAT Sari 사의 흉부 및 복부 대동맥 실리콘 모델을 보여준다[13]. ELASTRAT Sari 사의 흉부대동맥은 대동맥궁, 경동맥 및 왼쪽/오른쪽 쇄골하동맥을 포함하도록 개발되었다. ELASTRAT Sari 사의 복부대동맥은 복부대동맥 분기점, 장골동맥 및 대퇴동맥을 포함하도록 개발되었다. 이 제품은 카테터나 스텐트 등의 Pre-surgery Training에 활용될 수 있도록 개발되었다. ELASTRAT Sari 사의 제품 역시 탄성률이 실제의 대동맥보다 훨씬 높아 심혈관계 시뮬레이터에 바로 적용하는 것은 어려움이 있다. 그래서 한국표준과학연구원과 한의학연구원에서 개발한 심혈관계 시뮬레이터에서는 〈그림 10(b)〉에서 보는 바와 같이, 탄성률이 높은 단단한 실리콘 대동맥에 Compliance Chamber를 장착하여 탄성률을 맞추었다[7]. 그리고 좌심실 모듈에서 유체를 흉부대동맥으로 박출하고, 이 유체가 팔과 Reservoir로 전달되도록 시뮬레이터가 개발되었다. 그 결과 인체와 유사한 반사파 형상을 갖는 요골동맥 압력 파형이 출력될 수 있는 성능을 보인다.

〈그림 11〉은 상지대학에서 개발한 심혈관계 시뮬레이터이다[14]. 컴퓨터 프로그램을 이용하여 다양한 심장패턴을 구현할 수 있다. 수작업으로 제작된 동맥계는 인체와 유사한 혈관 탄성계수와 기하학적 특성을 구현하였다. 개



〈그림 10〉 ELASTRAT Sari 사의 Silicon Aorta와 시뮬레이터 적용: (a) Thoracic and Abdominal soft silicon model, (b) Soft silicon model 기반 한국표준과학연구원/한의학연구원의 심혈관계 시뮬레이터



〈그림 11〉 상지대학교의 Cardiovascular Simulator

발된 시뮬레이터는 인체의 맥파 전달특성을 잘 구현하고 있으며, 이를 바탕으로 맥상의 기전을 혈류역학적으로 해석하는 연구를 진행하고 있다.

3. 맥진 시뮬레이터

맥진을 객관화하기 위한 연구는 측정을 객관화하는 맥진기 개발로 이어졌다. 1970년대부터 시작된 맥진기 연구는 로봇팔을 이용하여 전통적인 맥진방식을 구현하는 성숙단계로 진입하였다. 맥진기의 눈부신 발전과는 달리, 임상에서 맥진기의 사용은 보편화되어 있지 않으며, 대부분

의 의사들은 전통적인 방식으로 맥진을 하고 있다. 전통방식에서 맥진의 가장 큰 문제점은 진단결과가 의사의 주관적인 감각에 좌우된다는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 의사의 주관적인 감각을 표준화할 수 있는 맥진 시뮬레이터의 개발이 절실하게 필요하게 되었다[1].

상해 중의학대학의 탕위창 교수는 유압제어방식을 이용하여 맥진 시뮬레이터를 만들었다[15]. 유압밸브의 개방시간과 유압세기를 조절하여 맥파의 특성변수를 조절하였다. 또한, 텐진대학과 Tellyes Scientific사는 〈그림 12〉와 같이 한 대의 기기에서 모든 맥상(26종 맥상)이 재현될 수 있는 Pulse Training Simulator (Victor Pulse)를 개발하였다[16]. 유체를 순환시키면서 복수의 밸브를 개폐하여 원하는 파형을 만들어 내는 방식으로 작동되므로, 26종 맥상 자체가 아니라 각각의 맥상에서 출현할 개연성이 큰 맥파를 구현한 장치로 볼 수 있을 것이다. 이 기기는 촌, 관, 척 부위에 압력 센서가 있어 사용자의 진맥 압력과 가압 위치가 적절한지 판별할 수 있으며, LCD 모니터와 LED를 통해 적절한 맥진 조작이 이루어지고 있는지 여부와 현재의 맥파를 그래프로 확인할 수 있도록 개발되었다.

한국전기연구원은 맥파 구동을 위한 3개의 모터와 맥

(a)

(b)

〈그림 12〉 텐진대학과 Tellyes Scientific사의 Pulse Training Simulator (Victor Pulse)

〈그림 13〉 한국전기연구원의 촌/관/척 개별제어가 가능한 맥파재현장치

발생의 높낮이 제어를 위한 3개의 모터를 사용하여 촌/관/척 개별제어가 가능한 맥파 재현장치를 개발하였다[17]. 빠른 맥파 구동을 위해 Voice Coil Motor를 사용하여 빠른 주파수 특성을 지니고, 10대부터 70대까지 각 연령층에 대한 표준 맥파의 재현뿐만 아니라 사용자의 조작에 의해 다양한 맥파 생성이 가능하도록 개발되었다.

Ⅲ. 결 론

맥진을 현대적으로 해석 및 규명하기 위한 맥진시뮬레이터는 심혈관계를 포함한 내부 장기들의 상태와 맥진을 통해 얻는 정보 간의 상관관계를 규명해 줄 수 있도록 개발되어야 한다. 하지만, 현재까지의 맥진 시뮬레이터는 모터와 밸브들의 개폐 조절로 26종의 맥상파를 인위적으로 구현하는데 그쳤다. 이에 맥진의 현대적 과학화를 위해선, 앞장에서 다룬 심장 기능 구현을 위한 연구결과 및 혈관계 기능 구현을 위한 연구결과들이 더욱 고도화되어야 하며, 또한 적극적으로 맥진 시뮬레이터에 적용되어야 한다. 추가적으로, 맥진은 피부를 통해 혈관을 가압하여 이루어짐으로, 맥파가 노화 정도나 체질에 따라 다른 혈관 및 피부라는 매질을 통해 전달될 때 크기, 형상 및 위상 등이 달라지는 특성을 표준화하는 연구가 필요하며, 이러한 표준화연구의 결과가 맥진 시뮬레이터에 적용되는 것 또한 중요하다.

내부 장기의 상태에 따라 달라지는 맥파를 재현하고, 피부에 따라 전달 특성이 달라지는 맥파를 재현할 수 있는 맥진 시뮬레이터의 심도 있는 연구 개발은 맥진 즉, 혈관계 모니터링을 통한 내부 장기 기능진단이라는 새로운 진료영역을 과학화하고 개척하는데 필수적인 연구 분야라고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 한국한의학연구원 기관고유 '지능형 인공 맥상파 재현 시스템 개발' (K16024) 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

[1] 신상훈, 이주연. 심혈관계 시뮬레이터의 연구동향. 대한한의진단학회지. 2011; 15(1): 55-66.

[2] 이주연, 장민, 신상훈. 혈압파형에 초점을 맞춘 심혈관계 시뮬레이터의 개발. 대한의용생체공학회지. 2013; 34(1): 40-45

[3] Harvard Apparatus, Pulsatile Blood Pumps, http://www.harvardapparatus.com/pumps-liquid-handling/pulsatile-blood-pumps.html

[4] BDC Laboratories, Pulsatile Pumps, http://www.bdclabs.com/testing-equipment/pulsatile-pump-systems/

[5] KYOTO KAGAKU, Arterial Puncture Training Wrist, http://www.kyotokagaku.com/products/

[6] ViVitro Labs Inc., ViVitro Super Pump, http://vivitrolabs.com/product/superpump/

[7] Tae-Heon Yang, "Development of a cardiovascular simulator for evaluating correlation between central aortic and radial pressure waveforms", 대한마취약리학회 학술대회, pp. 61-68, 2016

[8] Shelley Medical Imaging Technologies, ynamic Left Ventricle with Funtional Mitral & Aortic Valves Phantom, http://www.simutec.com/Products /dynamicleftventrical.html

[9] Shelley Medical Imaging Technologies, Dynamic Multi-Modality Heart Phantoms, http://www.simutec.com/Products/dynamicmultimodality.html

[10] 이주연, 신상훈. 혈관계의 특성이 반영된 심혈관계 시뮬레이터의 개발. 대한한의진단학회지. 2012; 16(3): 33-40.

[11] ViVitro Labs Inc., Endovascular Simulator, http://vivitrolabs.com/product/endovascular-ev-simulator/

[12] UNITEDBIOLOGICS, Aorta with Radial Access, http://www.unitedbiologics.com/aorta-radial- access.html

[13] Elastrat Sàrl, Thoracic and Abdominal soft silicon model, http://www.elastrat.ch/models/

[14] Lee, J. Y., Jang, M., Lee, S. W., Kang, H. J., Shin, S. H., A Cardiovascular Simulator with Elastic Arterial Tree for Pulse Wave Studies. The Journal of Mechanics in Medicine and Biology. 2015; 15(6): 1540045.

[15] 汤伟昌, 孙汉钧, 徐建国, 李斌芳. 中医脉象模拟系统的研究, 中国中医基础医学杂志. 2000; 6: 62-65.

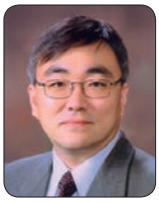
[16] Tellyes Scientific Co., Victor Pulse, http://tellyes.ecbay.xyz/product-medical-science/2524679/victor-pulse.html

[17] 김은근, 남기창, 허현, 허영, "모의 맥파 재현 장치를 이용한 부침맥 구현", 대한전자공학회 학술대회, pp.1170-1171, 2009

양태헌

- 2006년 2월 연세대학교 공학사(기계공학과)
- 2008년 2월 KAIST 공학석사(기계공학과)
- 2012년 2월 KAIST 공학박사(기계공학과)
- 2012년 3월~현재 한국표준과학연구원 선임연구원

〈관심분야〉
심혈관계시뮬레이터, 햅틱액추에이터 및 센서, 국가 압력진공 표준 확립



신상훈

- 1995년 2월 부산대학교 기계공학박사(기계공학과)
- 2006년 2월 경희대학교 한의학박사(한의학과)
- 1998년 2월~2006 2월 삼성종합기술원 수석연구원
- 2006년 3월~현재 상지대학교 한방의료공학과 교수

〈관심분야〉
심혈관계 시뮬레이터, 한방의료기기, ISO TC249