

센서변환기를 이용한 맥진 장치의 개발

정회원 윤 달 환*

Developments of pulse diagnostic apparatus with sensor transducer

Dal-Hwan Yoon* *Regular Member*

요 약

맥진의 정확한 맥상을 검출하기 위하여 3채널 센서변환기를 가진 맥진 시스템을 개발하였다. 압력이 가해지는 조건하에서 보다 정확한 맥상을 검출하기 위해 센서 구동부를 유연하게 동작하도록 프로그램화 하였다. 이는 맥진 정보를 받아들이는 촌(寸)·관(關)·척(尺) 헤드부의 정확한 동작이 맥진시스템의 성능을 향상시키는 역할을 하며, 임상판정의 정확성을 기할 수 있도록 한다.

ABSTRACT

In this paper, we develop the pulse diagnostic apparatus with 3-channel sensor transducer which detects the precise pulsatory motion of a pulse wave. On a pressure condition, this system has the faculties of smoothing motor and the driving part of non-switch, improves the function of pulse diagnosis and support the clinical decision. The applications of an apparatus has an important significance in ensuring the objectivity of clinical information and in promoting the reproductivity and stability through the qualification and quantization.

I. 서 론

현재 국내의 맥상(脈象) 형성 기전과 맥동(脈動)의 검출 방식 및 해석방법, 생리적 영향 인자에 대한 연구, 맥상의 공학적 신호해석 및 임상과의 상호 연계성 등 동일 선상에서 수행되는 체계적인 연구가 빈약한 상태이다. 따라서 맥진(脈診)의 객관화는 적절한 맥동 검출 시스템 개발이 필요하고, 맥동의 신뢰성 및 재현성을 재고하여야 한다. 또한 맥파(脈波)해석의 정확성을 위해 검출신호의 디지털화도 필요하다. 현재 요골동맥에서 검출된 압력 맥파는 맥진(脈診)의 객관화 문제를 모두 해결할 수 없지만, 맥상(脈象)의 특성과 그 표현방식에서 보다 심도있는 연구가 진행될 필요가 있다^[1].

맥진(脈診) 분야는 동양 3국뿐만 아니라 서양에서도 한의학에 관심있는 학자들에 의해 연구되고

있다^[2]. 맥상의 발생기전^[3]과 검출방식^[4,5], 임상적 응용방법^[6,7] 등 다양한 각도에서 연구가 수행되고 있다.

중국에서는 맥상(脈象)에 영향을 주는 생리적인 인자뿐만 아니라 정상적인 맥상과 임상과의 연계성에 대해서 심도있게 연구되고 있으며^[8,9], 장부의 연계를 통한 새로운 검출 방법 및 타당성이 검토되고 있다.

국내의 경우, 맥상의 형성 기전과 맥상의 검출 및 해석방법, 생리적 영향 인자에 대한 연구뿐만 아니라 동서의학간의 상호 연계성과 의공학적인 신호해석에서 매우 취약한 실정이다. 특히, 국내에서 개발된 맥진기들은 검출 신호의 정확한 재현성, 측정 방법의 안정성, 인식 알고리즘의 신뢰성, 임상적 효용성 등에 문제점을 내포하고 있다.

* 세명대학교 전자공학과(yoon1308@chollian.net)

논문번호 : 99038-0128, 접수일자 : 1999년 1월 28일

국내 제품의 임상적인 연구는 70년대 후반부터 급성위염^[10], 비만증^[11], 임신중 환자의 맥파^[12] 관찰이 보고되고 있다. 침자극 전후의 맥파변화^[13] 패턴과 특정 파라미터에 대한 연구가 보고되었으나, 한의 및 의공학 연계에서의 임상적인 연구는 초보단계에 있다.

맥진(脈診)은 수지(手脂)감각을 이용하여 경맥(經脈)의 박동상태를 관찰함으로써 장부와 경락(經絡)의 상태를 판단하는 진찰수단이며, 수 천년 동안 풍부한 이론과 경험이 축적된 귀중한 자료이다^[14].

맥진의 능숙한 활용을 위해서는 충분한 이론 숙지가 필요하고, 맥상(脈象)과 관련된 다양한 경험들이 요구된다. 진찰방법에서도 주관적인 촉각을 이용하기 때문에 맥진을 습득하는 데는 많은 어려움이 따른다. 또한 맥상에 대한 서술과 해석, 주관적인 병증(病症)이 일정하지 않으며, 맥상의 분류방법에서도 학자에 따라 주장하는 이론이 다르다.

따라서 국내외의 한의학계에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 전통적인 맥진 알고리즘의 과학적인 방법을 통하여 맥상을 계량화하고, 데이터베이스화함으로써 진찰과정을 현대화하려는 노력들이 시도되고 있다. 그 중에서도 맥진(脈診)은 한의학계뿐 아니라 의공학계에서도 많은 관심을 갖고 계량화 연구가 활발히 진행되고 있는 한 분야이다^[4,5,6,7,10].

맥진의 계량화는 전통적 맥상에 대한 일단의 물리적인 개념해석이 선행되고, 이차적으로 맥상을 정확히 검출할 수 있는 적절한 변환기와 관련 하드웨어 개발이 중요하다. 또한 검출된 신호와 임상과의 상관성도 체계적으로 검출되어야 한다. 이 과정에서 의공학과 한의학이 동시에 병행되어 연구되어야 한다. 맥진기를 개발하는 과정에서도 맥파의 응용가치는 임상과정에서 계속적으로 검토되어야 하고, 검토된 내용은 지속적인 보완 과정을 통해 맥진기의 효용성을 향상시켜 나가야 한다. 특히 임상을 통한 맥진기의 성능 검토가 병행되어야 한다.

본 논문에서는 맥진의 정확한 맥상을 검출하기 위하여 3채널 센서변환기를 가진 맥진 시스템을 개발하였다. 압력이 가해지는 조건하에서 보다 정확한 맥상을 검출하기 위해 기존시스템(A社 제품)에서 on-off스위치 기능을 제거하고, 센서 구동부를 유연하게 동작하도록 프로그램화하였다. 이는 맥진정보를 받아들이는 촌(寸)·관(關)·척(尺) 부의 정확한 동작이 맥진시스템의 성능을 향상시키는 역할을 하

며, 이는 임상관정의 정확성을 기할 수 있도록 한다.

II. 맥파검출장치

1. 맥검출장치의 전체 구성도

본 논문에서 제작한 맥파검출기의 전체 구성도는 그림 1과 같다. 사용자가 현재 맥진기 상태를 PC 모니터 상에서 감시하거나, 구동기를 제어하는 명령을 보내며, 작업 상태를 저장하는 기능을 수행한다. 프로그램 환경은 GUI(graphic user interface) 형태로 사용자와 컴퓨터간에 대화형으로 명령을 수행할 수 있도록 제작되었다. 시스템개발은 인터페이스 카드형태로 사용자 환경에서 필요한 정보를 센서가 부착된 헤드로부터는 측정된 데이터를 받아 처리하는 역할을 수행한다. 이때 구동기의 제어 소프트웨어는 어셈블러를 이용하여 작성하였다

하드웨어는 CPU부를 포함하여 센서의 입력을 전기신호로 바꾸는 센서부, 미약한 센싱신호(sensing signal)를 증폭 및 필터링 시키는 신호처리부, 센싱신호를 보여주는 표시부, 신호를 디지털화하는 신호변환부 및 전체 시스템에 전원을 공급하는 전원부로 나뉘지며 양면 PCB로 단위모듈을 구현하였다.

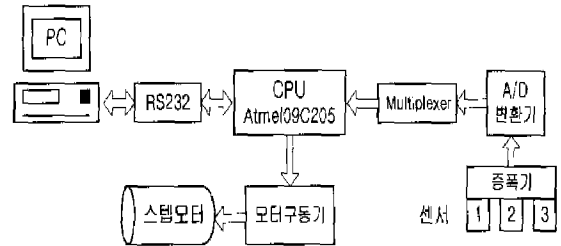


그림 1. 맥파검출기의 전체 구성도

또한, 스텝 모터와 구동력을 이용하여 센서헤드를 상하로 이동시키는 볼스쿠류부 및 감지모듈로 구성한다. 시스템 끝단에는 압력센서를 장착하여 접촉 및 토크를 감지할 수 있게 하였고, 이송부분의 양쪽 끝단에는 온·오프 감지용 센서를 장착하여 위치제어를 할 수 있다.

특히, 맥검출기의 센서부는 촌·관·척의 세 개가 하나로 결합된 기존 형태를 그대로 구성하였고, 센서는 압전효과를 이용한 물리적 변화를 전기적 신호로 바꾸어 주는 압전센서를 사용한다. 이러한 압

전센서는 맥동을 감지하기 용이하도록 사람의 손가락 굵기를 가진 직경 8.5 mm의 형상을 갖고 있다.

센서는 형태에 따라 여러 가지로 나뉘질 수 있으나 본 과제에서는 기본적으로 일정한 유전체의 성질을 이용한 압전센서로 채택하였다. 압전센서의 전기적 성질을 고려하면 평판 콘덴서로 모형화시켜 생각할 수 있으며, 변환기에 유입되어 생성된 총 전하는 인가된 힘(압력)에 비례된다^[17,18,19]. 그림 2의 센서입력에서 신호를 유도하면 다음과 같다.

$$C \frac{dv_0}{dt} = i_i - i_r = K \frac{dx}{dt} - \frac{v_0}{R} \quad (1)$$

$$S_0 = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{j\omega K_x}{1+j\omega R} X(j\omega) \right]^2 dt} \quad (2)$$

식(1)에서 전류 i_i 와 i_r 은 센서를 등가화 하였을 때 계산된 값이고, K 는 비례상수이다. 이때 등가회로에서 센서신호의 실효치(S_0)는 식(2)와 같다. 이때 식(2)로부터 압전센서에 미치는 결과에 따라 맥상을 모니터에 나타낼 수 있다. 센서의 물리적 변화는 그림 2의 미분기가 속한 증폭부를 거치게 된다. 첫 번째 단에서 다하고, 출력을 v_{01} 이라 하자. Laplace 변환을 이용하여 입력측과 레환측관계에서 출력측 전압 이오드를 거친 증폭기의 입력신호를 v_i 라 가정 v_{01} 을 계산하면 다음과 같다.

$$\frac{v_{01}}{v_i} = \frac{s^2 C_4 C_5 R_4 + s(2C_4 R_4 R_5 + sC_5 R_6 R_5) + R_5}{(1 + sC_4 R_6)(sC_5 + R_5)} \quad (3)$$

식(3)에서 커패시터 C_4 와 저항 R_6 를 통하여 입력측 차단주파수는 $f_{c1} = \frac{1}{2\pi R_6 C_4}$ 로 계산되며, 입력주파수 f 가 $f < f_{c1}$ 일 때 미분회로로 동작한다. 또한 신호의 시정수 $\tau_1 = R_4 C_4$ 로 결정된다. 두 번째 단의 적분기 회로에서 저항 R_2 는 신호보상용으로 사용하고 저주파에 대한 적분회로로 동작한다. 출력 전압을 v_{02} 라하면, 식(4)와 같다.

$$v_{02} = -\frac{1}{RC_2} \int v_{01}' dt \quad (4)$$

식(4)의 R 은 $R_3 // R_1$ 으로 계산되며, 시정수

$\tau_2 = R_1 C_2$ 로 동작된다.

차단주파수 $f_{c2} = \frac{1}{2\pi R_1 C_2}$ 보다 입력 주파수 f 가 클 때 적분기로 동작한다. 이때 이득 G_2 를 구하면 다음과 같다.

$$G_2 = \frac{sR_1 C_3}{(1 + sC_2 R_1)(1 + sC_3 R_3)} \quad (5)$$

이처럼 인체의 요골동맥에서 일어나는 맥동은 전기적인 신호로 변환시키는 센서의 신호가 미약하여 증폭기를 통해 증폭된 뒤 A/D변환된다. 이 동작은 한의사가 수지(手指)를 이용하여 처음에는 강하게 압력을 가하다가 서서히 약하게 압력을 가해 손끝에 촉지되는 맥파를 인식(認識)함으로써 진찰(診察)하는 동작과 같다.

따라서 맥상을 제량화하기 위해 변환기는 촌(寸)·관(關)·척(尺) 접촉공간에서 압력과 체형의 주기적인 변형을 감지한다. 이는 의사가 손가락 세 개로 요골동맥상의 촌·관·척부를 맥진하듯이 맥진한 뒤, 컴퓨터의 프로그램을 이용해서 3개의 센서 봉을 스텝핑모터로 구동시켜 자동적으로 3단계의 압력에 의한 맥파를 검출하는 것과 같다.

2. 센서변환기 하드웨어

그림 2는 3채널 맥파 검출기의 센서변환기 회로도를 나타낸다. 그림에서 맥파검출센서는 주문 제작한 압전소자로서 물리적인 맥파를 전기적인 신호로 변환시키는 동작을 하며, 압전센서는 FET와 저항이 센서 케이스(8.5φ 크기) 내에 들어 있는 형태이다. 전기적으로 구동되는 스텝핑모터, 직류전원공급장치, 스위치상태의 데이터를 중앙컴퓨터로 보내는 데이터 변환 제어회로가 IC1칩이다.

반대로 센서헤드를 구동시키기 위한 스텝핑모터 구동회로의 구동신호를 중앙컴퓨터(IC3)로부터 받는 구동버퍼회로는 IC2이고, 맥파검출용 장치의 모든 데이터를 주고받는 입출력슬롯은 IC8255가 담당한다. 따라서 외부 처리장비는 상기 데이터를 분석처리 제어하는 중앙컴퓨터(IC3), 입출력데이터의 결과를 인쇄하는 프린터, 모니터 키보드등이 있다.

프로그램 제어에 의해 중앙컴퓨터(IC3)에서 스텝핑모터 구동버퍼회로(IC2)의 데이터 버스를 선택하여 연속적으로 펄스를 공급하면 연결된 트랜지스터가 활성화되어 스텝핑모터를 구동시킨다. 이때 맥파

검출센서 표면의 압전소자가 미소진동을 감지한 신호를 FET1, FET2, FET3 등을 통해서 각각 증폭하여 3채널 맥파관측용 컴퓨터인터페이스회로에 입력시킨다.

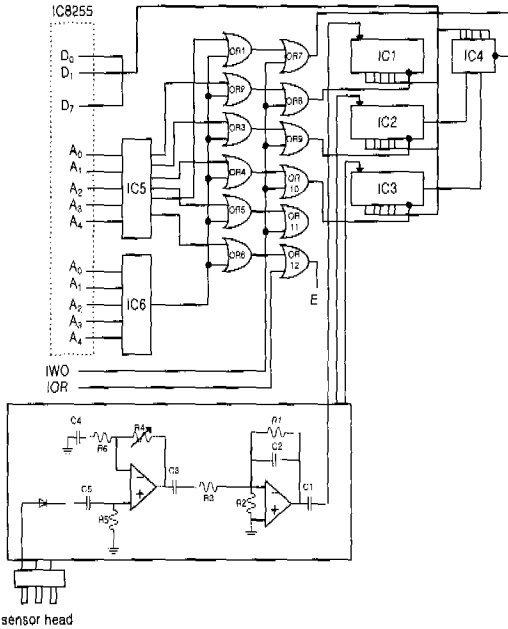


그림 2. 센서부 회로

맥파신호계에서 얻어지는 아날로그전기신호는 디지털 신호로 변환시켜 IC8255를 통해 PC의 CPU에 인가되며, 주변장치인 프린터나 모니터에 손쉽게 정확하게 데이터를 기록하고 나타낼 수 있도록 한다.

인터페이스회로는 인입되는 맥동을 선택하기 위한 입력신호 선택스위칭부와 인체신호가 인입되게 하는 릴레이구동부, 저주파아날로그 신호를 디지털 화할 수 있는 값으로 증폭하기 위한 신호증폭부, 신호증폭부로부터 증폭된 신호를 통상의 컴퓨터 본체 내부 CPU의 명령에 의해 디지털 신호로 변환시키는 A/D변환부가 순차적으로 접속된다. 신호 증폭부와 A/D변환부 사이에 입력신호 레벨표시부 LED가 각각 병렬로 접속되며, 컴퓨터시스템의 I/O슬롯(slot)에 있는 어드레스버스를 통하여 디코우더(IC4)가 CPU에 접속된다. 디코우더(IC4)와 A/D변환부 사이에 버퍼가 있으며, A/D변환부와 버퍼는 I/O슬롯의 데이터버스를 통하여 공통으로 CPU에 접속된다. 이때 전원 스위칭부는 각 회로부에 필요한 전원이 인가되도록 연결된다.

맥파검출 시스템의 세부 사양에서 제어부는 ATMEL사의 28핀 89C2051 마이크로프로세서를 이용하였다. 이것은 MCS-51 완전호환, 2K Byte 내장 Flash Memory, 2.7V-6V 전원범위에서 동작하며, 24 MHz 수정발진자, 2단계 프로그램 메모리 보호 잠금 장치, 15개의 프로그래머블 I/O장치, 5개 인터럽트, 직렬 232통신 장치 내장, 직접 LED구동, 내장된 아날로그 컨버터 기능 등이 있다. 신호처리는 LM3914N을 사용하고, 임피던스와 커패시턴스가 결합된 미분회로를 구성한다. A/D신호변환부는 National Semiconductor A/D변환기를 사용하였다^[17]. 이는 19.2 kbps의 8 bits 통신사양을 지원하며, 135nsec의 변환시간, CPU와 접속이 용이하고, 차분(differential) 아날로그 전압입력, MOS, TTL 형태의 입출력 사양, 저전압 동작(2.5V), 내장클럭발생기, 전압 인가시 0-5V전압 분해능 보유, 병렬데이터 접속 방식 등을 사용한다.

3. 소프트웨어 구성

프로그램의 소프트웨어는 MCS51계의 어셈블러를 이용하여 구현하였다. 전체 구성은 그림 3과 같으며, 각각의 기능은 표 1에 정리한다.

프로그램에서 메시지 패킷의 Command 형식은 1byte 혹은 2byte + CR 형태이다. 스케줄러의 제어 신호에 따라 선택되는 파라미터 A는 연속 동작 및 센서와 구동기의 연계동작을 수행하고, 파라미터 B는 물체를 감지할 때까지 동작하며, 파라미터 F는 경보음을 발생한다.

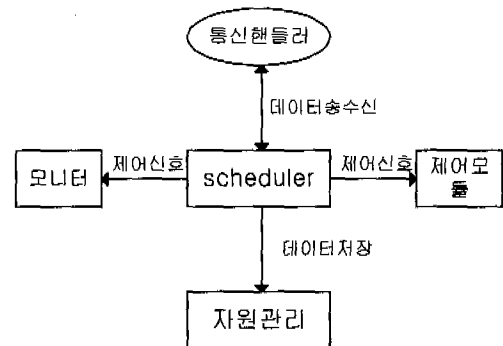


그림 3. 소프트웨어 구성

회신 형식은 C + 'x'+ 'y'+ 'z'+ CR형태로, x는 1번 압력센서값, y는 2번 압력센서값 및 z는 3번 압력센서값을 나타낸다. 통신핸들러에서 통신사양은

19.2kbps, 8 bit, No parity, 2 stop bit 및 No control을 사용한다.

표 1. GUI의 전체 기능

| 구성 | 동작 |
|-----------|---|
| 통신핸들러 | <ul style="list-style-type: none"> 송수신데이터처리 오류검출 RS232직렬통신 |
| scheduler | <ul style="list-style-type: none"> 전체모듈을 제어 제어기 지령과 센서 값을 계측하여 PC로 송신 |
| 제어모듈 | <ul style="list-style-type: none"> 스테핑 모터 구동 위상필살생 및 경보기능 |
| 모니터링 핸들러 | <ul style="list-style-type: none"> 센서값 계측과 정제 |
| 자원관리 | <ul style="list-style-type: none"> 시스템 설치 정보를 보관 |

III. 연구결과 및 검토

3채널 맥파 검출 장치는 온라인 사용자 인터페이스 형태이다. 각 센서의 정보를 수집하고 기기를 제어할 수 있도록 설계하였다.

먼저 제작한 센서의 기능이 정상적으로 동작되는가를 시험한다. 그림 4는 센서가 부착된 하드웨어 모듈에 전원을 인가한 뒤, 센서가 정상적으로 신호를 받을 수 있는지 센서접촉부에서 측정된 신호파형이다.

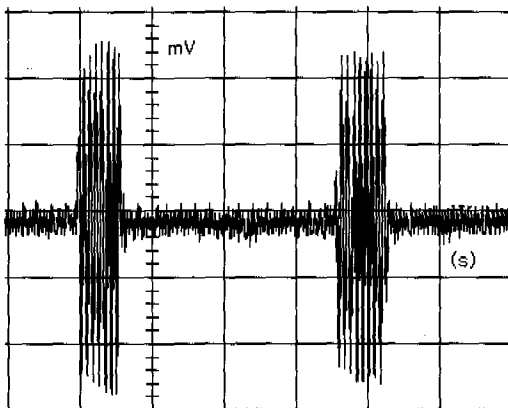


그림 4. 센서로부터 시험한 신호파형

표 2는 센서부에서 측정된 신호의 피크치, 실효값 및 분산치이다.

표 2. 센서신호의 측정치

| | 측정치(mV) | 신호분산 |
|-----------|---------|-------|
| V_{p-t} | 130.0 | 135.0 |
| 실효전압 | 13.56 | 24.02 |
| 진폭 | 129.2 | 134.4 |

3채널 맥진 검출기를 구동하는 스텝핑 모터는 1개의 전기 펄스가 가해질 때 한스텝만 회전하고 그 위치에서 일정한 토크로 정지하는 모터이다. 이들 성질은 디지털신호로서 피드백하는 기능을 필요로 하지 않으며, 개루프 제어를 한다.

그림 5는 3-채널 신호변환기를 통해 채널별로 측정된 요골동맥의 맥동 파형을 나타낸다. 이는 본 연구가 참조 모델로 하는 A社 맥파측정기 아날로그 회로의 측정 신호 파형과 거의 일치함을 확인하였다¹⁵⁾. 여기서 각 채널은 촌·관·척 3개의 맥파를 각 센서의 위치에서 개별적으로 측정된 신호이다.

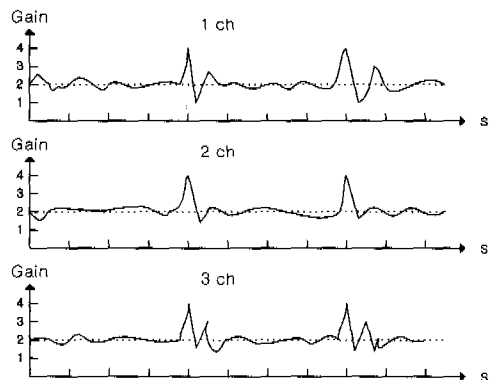


그림 5. 3채널의 검출파형

맥파 검출기를 개발하는 과정에서 이러한 맥파의 응용가치는 일부 제한된 임상과정에서 일부 연구 결과를 얻었지만, 계속적으로 검토되어야 한다.

IV. 결론

맥진의 정확한 맥상을 검출하기 위하여 3채널 센서변환기를 가진 맥진 시스템을 개발하였다. 압력이 가해지는 조건하에서 보다 정확한 맥상을 검출하기 위해 기존시스템에서 on-off스위치 기능을 제거하고, 센서 구동부를 유연하게 동작하도록 프로그래밍하였고, GUI형태로 맥진시스템을 구성하였다.

맥상을 정확히 검출할 수 있는 적절한 변환기와 관련 하드웨어 개발이 중요함에 따라 맥파검출기를 새로이 구현함으로써 보다 효율적인 제어모듈을 갖게 되었고, 시스템 생산 단가를 절감할 수 있는 효과도 얻었다. 맥파 검출기를 개발하는 과정에서도 맥파의 응용가치는 임상과정에서 계속적으로 검토되어야 하고, 임상을 통한 맥진기의 성능검토가 병행되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] 박영배, “맥진기의 現況과 展望”, 大韓韓醫診斷學會, pp 86 - 94, 1997. 5.
 [2] Michael Broffman, C.A. Michael McCulloch, C. C., “Instrument-assisted Pulse Evaluation in the Acupuncture Preactice,” *Amer J Acupuncture*, 14(3) : 255-258, 1986
 [3] 李紹芝, 譚日強, 顏文明, “細脈者脈圖血液動力學參數的 初步觀測” *浙江中醫學誌* 8, 337-339, 1989
 [4] 박승환의 4인, “광파이버 트랜스듀거에 의한 맥파의 무침습적 검출”, *대한전자공학회지* 12(2), 312-315, 1989
 [5] 권오상의 4인, “광파이버 트랜스듀서를 위한 맥파용 디스플레이 시스템의 구현”, *대한 전자공학회지* 14(1), 410-413, 1991
 [6] 이호재의 4인, “人迎寸口對比脈 診斷法에 관한 연구”, *대한전자공학회지* 15(1), 424-428, 1992
 [7] 박영배의 2인, “人迎寸口對比脈 診斷法을 이용한 맥진단 시스템 구현” *의공학회지* 14(1), 73-80, 1993
 [8] 李紹芝, “弱脈者 脈圖參數和左心室舒縮功能的 初步研究” *浙江中醫學誌* 11, 512-514, 1990
 [9] 唐金元, 郭振球, “高血壓病 關脈多普勒血流圖與 辨證關係的 研究”, *浙江中醫學誌* 28(5), 232-233, 1993
 [10] 이봉교, “電子脈診計에 의한 急性胃炎患者의 脈波型과 鍼施術後 脈波型과의 比較 觀察”, *제 3차 세계 침구학회 논문집* 1971.
 [11] 박영배, 최용태, “肥滿症 患者의 脈波型 觀察”, *대한한의학회지*, 6(1), 112-116, 1985.
 [12] 박영배의 3인, “妊娠中 來院患者의 맥파형 관

찰”, *경희의학*(4), 145-150, 1986
 [13] 박영배, “鍼刺戟이 脈波에 미치는 影響”, *경희의학*(4), 131-133, 1986
 [14] 박영배 외 2인, “다정보 획득을 위한 맥진기 개발과 임상적 의의”, *대한한의학회지* 16(1), 499-504, 1995
 [15] 김수진, “컴퓨터 맥진시스템”, *Sord Medicom*, 1997
 [16] Gilmore, “*Microprocessors principles and applications*”, McGraw-Hill, 1995
 [17] W. J. Tompkins and J. G. Webster, “*Interfacing Sensors to the IBM PC*”, 1988
 [18] S. M. Sze, “*Semiconductor Sensors*”, John-Wiley & Sons. 1994
 [19] J. J. Carr, “*Sensors and Circuits*”, Prentice-Hall, 1993
 [20] R. F. Coughlin and F. F. Driscoll, “*Operational Amplifier & Linear Integrated Circuits*”, Prentice-Hall, 1977
 [21] 차영배, “IBM PC 인터페이스 응용”, 동일출판사, 1996년
 [22] L. Seungjik, S. Jaeho and N. Seiichi, “The Sensitivity of Finger due to Electrical Stimulus Pulse for a Tactile Vision Substitution System”, *IEICE Tran. Fundamentals*, Vol. E76-A, No. 7, pp 1204-1206, July, 1993

윤 달 환(Dal-Hwan Yoon),

정회원



1984년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업
 1986년 2월 : 한양대학교 전자공학과 석사
 1994년 2월 : 한양대학교 전자공학과 박사

1988년 7월~1993년 6월 : 육군사관학교 전자공학과 교수
 1995년 3월~현재 : 세명대학교 전자공학과 교수
 <주관심 분야> 신호처리, 전자교환통신, 이동통신, 위성통신