

전자 맥진기 시스템 개발을 위한 맥파분석 알고리즘과 디지털 필터 설계

김상호¹, 임덕규^{2*}

¹(주)엠플롭, ²강원대학교 전자정보통신공학부

Pulse Diagnosis Algorithm and Digital Filter Design for Development of Digital Biomedical System

Sang-Ho Kim¹ and Duk-Gyu Lim^{2*}

¹Mprop co., ²School of Electronic, Information & Communication Engineering, Kangwon Univ.

요약 한방의학에서 절진에 속하는 맥진은 28가지의 맥상 분석 방식을 기존의 아날로그 시스템에 적용하여 사용하였다. 그러나 아날로그 시스템은 ECG (Electrocardiogram)와 같은 특징점 추출방법을 이용해 맥파를 분석하는데 특징점 추출방법과 입력 신호의 과도한 증폭으로 맥파의 Clipping 현상이 발생되어 맥파의 모양을 정확하게 분석할 수 없는 문제점들이 발생되었다.

본 논문에서는 이러한 아날로그 맥진기 시스템에 문제점을 보완하기 위한 방안의 하나로 전자 맥진기 시스템의 중요한 부분이라 할 수 있는 디지털 필터를 설계하기 위하여 신호의 특징점 추출을 위한 C-spline 보간법을 이용하고, signal modeling에 Prony's method로 디지털 필터를 설계하는 방법을 제안 하였다. 또한 기존의 아날로그 시스템에 맥파 분석 방법의 문제점을 보완하기 위한 전자 맥진기 시스템을 구성하여 새로운 맥파 분석 알고리즘과 아날로그 시스템에서 분석이 어려웠던 맥파의 모양 분석 알고리즘을 제안하였다. 증폭 단 이후 제안된 필터 설계방법을 이용하여 구성된 전자 맥진기 시스템의 출력 값이 아날로그 맥진기의 출력 파형과 아주 유사하면서 파형이 깨끗한 신호를 얻을 수 있어 설계방법의 적합성을 확인 하였고, 제안된 알고리즘에 의한 맥파 분석 결과가 아날로그 시스템의 맥파 분석 보다 정확한 맥파를 분석할 수 있었음을 확인할 수가 있었다.

Abstract The examination of pulse, which is a typical palpation technique in the oriental medicine, has been used conventional analog system for discrimination of 28 pulses. However, the clipping phenomenon in the pulses, which used same feature extraction technique with ECG signals, has been occurred in analog system due to feature extraction method and over amplification from the input signals. It caused inaccurate to analyze the pulse signals.

In this paper, we propose a digital filter design technique based on Prony's method for signal modeling and C-spline interpolation for feature extraction from pulse signal to compensate analog pulse detection system. In addition, we suggest a compensated electronic pulse detection system comprising new pulse analyzing algorithm and shape analysis technique for pulses, which were difficult to use in analog system.

The feasibility for new proposed system has been confirmed comparing output signals between electronic pulse detection system having proposed filter design techniques with pulse analyzing algorithm and conventional analog system.

Key Words : Typical Palpation Technique, Feature Extraction Method, Prony's method, C-spline interpolation

1. 서론

한의학의 진찰 방법에는 사진법(四診法)이 있는데 이

것은 망진(望診), 문진(聞診), 문진(問診), 절진(切診)이 있으며, 이 중에서 맥진(脈診)은 절진에 속하는 진료방법으로서 환자의 손목에 흐르는 동맥에 진찰자의 시지(示指),

* 교신저자 : 임덕규(limdg@kangwon.ac.kr)

접수일 10년 08월 26일

수정일 10년 09월 28일

게재확정일 10년 11월 19일

중지(中指), 약지(藥指)를 이용해 촌(寸), 관(關), 척(尺)의 3혈을 집어 압력을 손목에 가해 손 끝에 촉지되는 맥상을 인식하여 병의 증상을 진단하는 것이다[1]. 이러한 방법은 진찰자의 주관성과 주위의 환경조건에 의해서 맥상의 느낌이 달라질 수 있으며, 객관성이 부족하면 오진 할 수도 있으므로 진찰자가 객관성을 가지기 위해서는 오랜 경험을 가진 진찰자와의 학습이 필요하다. 이러한 점을 해결하기 위해서 맥상을 기계적인 방법으로 검출하고 가시화 하는 연구가 필요하고, 또한 검출한 맥파로 부터 필요한 정보를 추출하여 맥진을 객관화하여야 한다[2,3].

맥파분석 시스템 구성을 위하여 센서단에서 입력되는 맥파 신호를 입력 받아 잡음을 제거하고 사진법 중 절진에 속하는 맥진을 분석하는 방법들이 연구되어 시스템화되었고 그것이 현재 사용되고 있는 아날로그 맥진기 시스템이다. 기존의 맥파 분석 시스템들은 가시화적인 데이터를 만들어 상용화하고 특이맥 28맥을 구분하여 여러 가지 병을 진단 및 처방을 하였으며, 맥파는 그대로의 기울기 또는 미분을 하여 분석하거나[4], 경계선 검출자(Edge detector)에 의한 연산자법을 이용하거나, ECG(Electrocardiogram)에 사용된 특징점 분석방법을 이용해 시스템이 구성되었다[5,6]. 여기서 기울기 값만을 가지고 맥파를 분석하기에는 충분한 분석이 이루어 질 수 없으며, 맥파를 미분하면 신호의 본 특성을 잃어버릴 수 있는 문제점들이 있다. 다음으로 경계선 검출자에 의한 연산자법은 ECG신호분석 방식을 맥파에 적용하여 분석하는 하나의 방식으로 신호를 검출하는 목적과 위치가 다르기 때문에 정확한 맥파 분석을 위해 적용하는데 문제점들이 나타났다. 그리고 특징점 분석방법을 이용하여 맥파를 분석할 경우 맥파의 특징점 만을 추출하여 분석이 이루어지므로 정확한 분석을 위하여 보완이 요구된다. 그리고 아날로그 맥진기는 데이터를 단지 갈바노메타를 이용해 기록지에 표현만이 가능하여 데이터 저장은 물론 정확한 처리는 곤란하게 되었다[7].

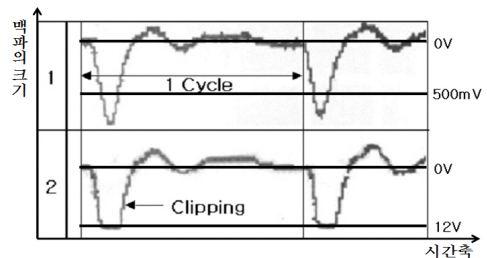
본 논문에서는 아날로그 맥진기 시스템에 문제점을 보완하기 위한 방안의 하나로 전자 맥진기 시스템의 중요한 부분이라 할 수 있는 디지털 필터를 설계하기 위하여 신호의 특징점 추출을 위한 C-spline 보간법을 이용하고 [8], signal modeling에 Prony's method로 디지털 필터를 설계하는 방법을 제안 하였다. 또한, 증폭 단 이후 입력신호의 과도한 증폭으로 맥파의 Clipping현상이 발생되어 맥파의 모양을 정확하게 분석할 수 없는 문제점을 해결하고[9][10], 기존의 아날로그 시스템에서 보상되지 않은 특징점을 구하여 맥파를 분석함으로써 정확성이 떨어진 점을 보완하기 위하여 시스템에 입력된 맥파 그대로를 분석할 수 있는 전자 맥진기 시스템과 새로운 맥파 분석

알고리즘을 제안하였다. 제안된 필터 설계방법과 알고리즘을 적용할 수 있는 전자 맥진기 시스템의 출력 파형이 아날로그 맥진기의 출력 파형과 비교하여 아주 유사하면 서 파형이 깨끗하고, 분석이 어려웠던 맥파를 분석할 수 있음을 확인하였다.

2. 시스템 구성

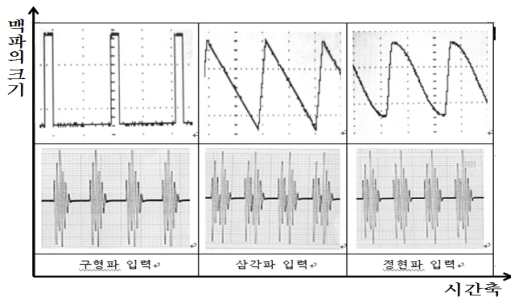
2.1 아날로그 시스템의 구성과 문제점

기존의 아날로그 시스템의 입력부분에는 Piezo Sensor를 사용하였으며 디지털 시스템도 같은 센서를 사용하였다. Analog Board는 Op-Amp를 가지고 미분 시스템을 구성하였으며, 출력 부분은 Galvanometer를 이용하였다. Galvanometer는 열전식 프린터를 말하는데, 히터 펜에 전기를 가하여 열을 발생하여 기록지에 맥파의 모양을 기록하는 장치이다. 그러나 이러한 아날로그 시스템은 맥파를 처리하는데 몇 가지의 문제점을 가지고 있다. 첫 번째로 그림 1을 보면 1번은 증폭되기 전의 신호이고 2번은 증폭된 후의 신호이다. 이 두 신호를 비교해 보면 그림 2번이 Clipping현상이 발생한 것을 알 수가 있다. 이는 입력신호가 크면 클수록 구형파에 가까운 모양을 갖게 된다.



[그림 1] 맥파의 Clipping현상

두 번째로 그림 2는 아날로그 시스템에 각각 구형파와 삼각파, 정현파를 입력시켰을 때의 Galvanometer 출력이 다. 이 그림을 보면 삼각파와 정현파가 다른 모양의 입력에도 불구하고 출력은 같은 모양의 출력 파형이 나오는 것을 알 수가 있는데, 이것은 삼각파와 정현파가 높은 증폭과 Clipping에 의해 같은 파형으로 인식을 한다는 것과, 맥파의 모양을 구분할 수가 없다는 것을 알 수가 있다. 맥파의 분석 부분에서도 육각맥의 기본이 되는 부(浮),침(沈),지(遲),삭(數)에 대해서는 정확한 분석이 이루어져 있으나 활(滑),삼(澁)인 맥의 모양에 대해서는 뚜렷하게 구분이 되어있지 않다.

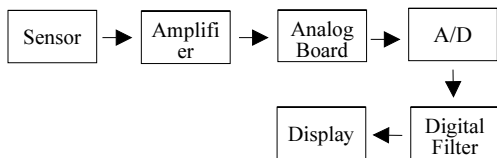


[그림 2] Galvanometer의 축력

세 번째 문제점에는 한방의학의 28맥 분석방식인 맥의 크기, 맥의 모양 등을 무시하고 ECG의 신호 분석과 같은 특징점을 맥파에서 추출하여 신호를 분석하였다는 것이다. ECG 즉 심전도는 심방과 심실로 파급되는 전기적인 변화를 나타내고 있다. 즉 SA NODE (Sinoatrial Node)에서 생체 전기 현상을 통하여 전기 임펄스를 발생 시키는데 특히 이것은 스스로 흥분하는 능력이 있어 SA NODE가 펄스를 방사하면 심방에 흐르는 전류에 의해 심방을 수축하도록 한다[2]. 한방의학에서 맥파는 심방의 이러한 과정에 의해 나타난 P, QRS complex, T, U의 심전도 특징점을 가지고 맥파를 분석하는 것이 아니라 맥의 혈류량과 맥박 수, 맥의 힘을 가지고 분석을 한 것이다.

2.2 디지털 시스템의 구성

디지털 맥진기를 구성하기 위하여 아날로그 맥진기 회로내의 각 소자들에 잡음 등이 실려 있는 신호를 그대로 수식 화하여 디지털로 구성한다는 것은 문제가 있다. 따라서 기존의 아날로그 보드부분을 그대로 사용하고 아날로그 보드에서 갈바노메타에 들어가는 신호를 가지고 연산을 거쳐 원하는 신호를 만들게 되었다.



[그림 3] 디지털 맥진기의 구성

그리고 신호의 특징점 추출에 문제점을 보완하기 위한 방법의 하나로 Prony's method 방법으로 디지털 필터를 설계하여 그림 3과 같이 디지털 맥진기의 시스템을 구성하였다. 또한, 앞서 언급된 아날로그 시스템의 3가지 문제점인 증폭 단 이후 입력신호의 과도한 증폭으로 맥파

의 Clipping현상이 발생되어 맥파의 모양을 정확하게 분석할 수 없는 점과 맥파의 모양, 크기 등을 정확하게 분석할 수 없는 문제점들을 해결하고, 기존의 아날로그 시스템에서 보상되지 않은 특징점을 구하여 맥파를 분석하므로써 정확성이 떨어진 점을 보완하기 위하여, 시스템에 입력된 맥파 그대로를 분석할 수 있는 전자 맥진기 시스템과 새로운 맥파 분석 알고리즘을 제안하였다.

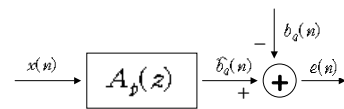
3. 맥 진단용 디지털필터 설계

디지털 필터를 구성하는데 많은 방법들이 있다. Prony's method, Shank's method, Steiglitz-Mcbride 등 이러한 방법들 중에 계수의 수가 많아도 오차율이 가장 작은 방식을 찾아 써야한다. 그 이유는 사람의 병을 진단하는 의용기계이므로 그 만큼 정밀도를 가지고 있어야 하기 때문이다[11].

실험 결과 계수의 수는 많지만 오차율이 가장 작은 Prony's method가 가장 적합하여 본 논문에서는 이 방법을 이용하여 디지털 맥진기를 구성하였다.

3.1 Prony's method

입력 $x(n)$ 이 $n < 0$ 일 때 $x(n)=0$ 이고 $n \geq 0$ 일 때 $x(n)$ 의 값을 알고 있다고 가정하자 이 값으로 $a_p(k)$ 와 $b_q(k)$ 의 필터 계수를 구할 수가 있으며, $x(n)$ 의 최소화 가능성을 확실히 할 수 있다.



[그림 4] Prony's modeling 의 System 해석

그림 4 는 시간영역에서의 error $e(n)$ 을 나타낸 것이며, 다음과 같이 $b_q(n)$ 과 필터 신호 $\hat{b}_q(n) = a_p(n) * x(n)$ 의 차로 식(1)로 표현 할 수 있다.

$$e(n) = a_p(n) * x(n) - b_q(n) = \hat{b}_q(n) - b_{q(n)} \quad (1)$$

여기서 $n > q$ 일 때 $b_q(n) = 0$ 이라면 각 n 값에 대한 error는 식(2)와 같이 쓸 수 있다.

$$e(n) = \begin{cases} x(n) + \sum_{l=0}^p a_p(l)x(n-l) - b_q(n); n=0,1,\dots,q \\ x(n) + \sum_{l=1}^p a_p(l)x(n-l); n > q \end{cases} \quad (2)$$

Prony's method를 이용하여 최소에러 계수 $\epsilon_{p,q}$ 는 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$\epsilon_{p,q} = \sum_{n=q+1}^{\infty} |e(n)|^2 = \sum_{n=q+1}^{\infty} |x(n) + \sum_{l=0}^p a_p(l)x(n-l)|^2 \quad (3)$$

여기서 $\epsilon_{p,q}$ 는 $a_p(k)$ 계수에 의해 결정되며, $a_p^*(k)$ 에 대해 식(4)와 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \epsilon_{p,q}}{\partial a_p^*(k)} &= \sum_{n=q+1}^{\infty} \frac{\partial [e(n)e^*(n)]}{\partial a_p^*(k)} = \sum_{n=q+1}^{\infty} e(n) \frac{\partial e^*(n)}{\partial a_p^*(k)} \\ &= \sum_{n=q+1}^{\infty} e(n)x^*(n-k) = 0; k=1,2,\dots,p \end{aligned} \quad (4)$$

그리고 matrix를 이용하여 간단하게 식(5)로 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} r_x(k,l) &= - \sum_{n=q+1}^{\infty} x(n-l)x^*(n-k) \\ \sum_{l=1}^p a_p(l)r_x(k,l) &= -r_x(k,0); k=1,2,\dots,p \end{aligned} \quad (5)$$

이 식을 matrix로 표현하면 식(6)과 같고

$$\begin{bmatrix} r_x(1,1)r_x(1,2)r_x(1,3)\dots\dots r_x(1,p) \\ r_x(2,1)r_x(2,2)r_x(2,3)\dots\dots r_x(2,p) \\ r_x(3,1)r_x(3,2)r_x(3,3)\dots\dots r_x(3,p) \\ \vdots \\ r_x(p,1)r_x(p,2)r_x(p,3)\dots\dots r_x(p,p) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_p(1) \\ a_p(2) \\ a_p(3) \\ \vdots \\ a_p(p) \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} r_x(1,0) \\ r_x(2,0) \\ r_x(3,0) \\ \vdots \\ r_x(p,0) \end{bmatrix} \quad (6)$$

다음과 식(7)같이 표현 된다.

$$R_x \overline{a_p} = -r_x \quad (7)$$

R_x 는 autocorrelation의 $p \times p$ Hermitian matrix 이며 r_x 는 수직 벡터이다

$$r_x = [r_x(1,0), r_x(2,0), \dots, r_x(p,0)]^T \quad (8)$$

이때 prony's method를 이용하면 R_x 와 r_x 는 식(9)와 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} R_x &= X_q^H X_q \\ r_x &= X_q^H x_{q+1} \end{aligned} \quad (9)$$

단, 여기서 X_q 는

$$X_q = \begin{bmatrix} x(q)x(q-1)\dots x(q-p+1) \\ x(q)x(q-1)\dots x(q-p+1) \\ x(q)x(q-1)\dots x(q-p+1) \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (10)$$

이며, $x_{q+1} = [x(q+1), x(q+2), x(q+3), \dots]^T$ 이다. 그리고 prony 방정식을 이용하여 식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$(X_q^H X_q) \overline{a_p} = -X_q^H x_{q+1} \quad (11)$$

여기서 R_x 가 nonsingular라면 $\overline{a_p} = -R_x^{-1}r_x$ 이다.

그리고 $\epsilon_{p,q}$ 의 최소값은 식(12)와 같이 쓸 수 있다.

$$\epsilon_{p,q} = \sum_{n=q+1}^{\infty} e(n)x^*(n) = \sum_{n=q+1}^{\infty} \left[x(n) + \sum_{k=1}^p a_p(k)x(n-k) \right] x^*(n)$$

또는

$$\epsilon_{p,q} = r_x(0,0) + \sum_{k=0}^p a_p(k)r_x(0,k) \quad (12)$$

그리고 식(6)을 이용하여 계수 $a_p(k)$ 는 식(13)과 같이 구할 수 있으며,

$$\begin{bmatrix} r_x(0,0)r_x(0,1)r_x(0,2)r_x(0,3)\dots\dots r_x(0,p) \\ r_x(1,0)r_x(1,1)r_x(1,2)r_x(1,3)\dots\dots r_x(1,p) \\ r_x(2,0)r_x(2,1)r_x(2,2)r_x(2,3)\dots\dots r_x(2,p) \\ \vdots \\ r_x(p,0)r_x(p,1)r_x(p,2)r_x(p,3)\dots\dots r_x(p,p) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ a_p(1) \\ a_p(2) \\ \vdots \\ a_p(p) \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \epsilon_{p,q} \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

간단하게 식(14)로 표현 된다.

$$R_x a_p = \epsilon_{p,q} u_1 \quad (14)$$

여기서 R_x 는 Hermitian matrix이고 p+1 행과 p+1의 열을 가지고 있으며, u_1 은 단위벡터 $u_1 = [1, 0, \dots, 0]^T$ 이고, $a_p = [1, a_p(1), \dots, a_p(p)]^T$ 는 filter계수 $a_p(k)$ 의 벡터이다.

여기서 식(13)과 식(14)을 이용하여 두 번째 prony's method의 numerator 계수를 찾을 수 있으며, 다음 같이 $b_q(k)$ 계수를 구할 수 있다.

$$e(n) = a_p(n) * x(n) - b_q(n)$$

$$b_q(n) = x(n) + \sum_{k=1}^p a_p(k) x(n-k) \quad (15)$$

이와 같이 prony's method를 이용하여 필터를 설계하기 위한 계수 $a_p(k)$ 와 $b_q(k)$ 를 각각 구할 수 있다.

4. 맥파의 분석

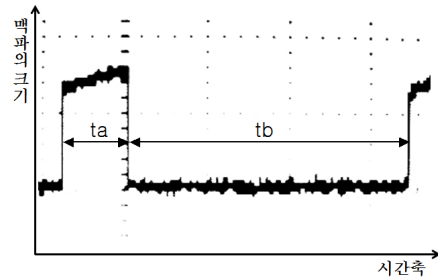
맥파는 혈류량 변화의 정도를 측정하는 것으로서 맥박이 일본에 몇 번 정도를 박동하고, 그 강도는 어느 정도 인가하는 양적인 변화보다는 둥근 모양, 매끄러운 모양, 거친 모양 등, 한번의 박동에서 어떠한 모양을 형성하고 있는가를 분석하는 것이다. 이러한 분석에 의해 부맥, 규맥, 활맥, 실맥, 현맥, 긴맥, 흥맥, 미맥, 침맥, 완맥, 색맥, 지맥, 복맥, 유맥, 약맥, 장맥, 단맥, 허맥, 축맥, 결맥, 대맥, 노맥, 동맥, 세맥, 삭맥, 대맥, 산맥으로 나뉘어지며 이러한 맥들을 객관화하는 과정이 필요한 것이다[12].

4.1 입력신호의 기준과 출력

맥박의 빠르기는 정상인이 일반적으로 일본에 약 60회에서 90회 정도이다. 기존의 아날로그 맥진기의 기록지 출력 속도는 24mm/sec로 조정이 되어있다. 다시 말해 맥박이 한번 뛰고 다음 박동까지의 거리가 24mm면 일본에 정확히 60회 박동했음을 나타내고, 15mm이면 96회 박동했음을 의미한다. 이러한 이론을 바탕으로 그림 5와 같이 한방에서 구분하는 맥을 정리 할 수 있다[13].

15	24 mm
삭맥(數脈) < 완맥(緩脈) < 지맥(遲脈)	

[그림 5] 맥의 구분

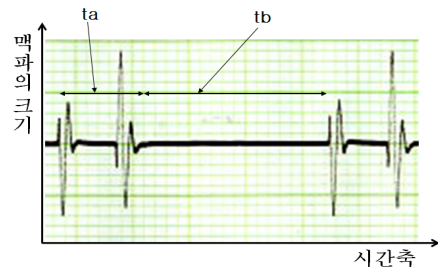


[그림 6] 아날로그 맥진기의 기본입력파

여기서 삭맥(數脈)이란 정상적인 맥파 보다 빠른 맥을 말하며, 완맥(緩脈)이란 정상적인 맥을 말하고, 지맥(遲脈)은 정상적인 맥보다 느린 맥을 말한다.

기존의 아날로그 맥진기 파형을 기준으로 디지털 맥진기의 기본입력 파형을 구성하였다. 그림 6은 아날로그 맥진기를 분석하기 위하여 사용하였던 기본 입력 파형의 모양이며, 이 파형은 맥진학의 이론을 바탕으로 구성하였고 그 내용은 다음과 같다. 기본 입력 파형인 그림 6을 보면 시간이 ta 와 tb 둘로 나뉘어져 있으며, 시간 ta는 약 200ms정도이고, tb는 약 850ms정도의 시간 간격을 가지고 있다. 여기서 ta를 200ms로 정한 이유는 갈바노메타에 입력 파형이 상승했을 때와 하강했을 때 출력 파형의 모양을 분석하기 위해서 만들었다.

정상인의 맥의 간격은 15mm - 24mm 이므로 이것은 tb의 간격에 의해 알 수가 있다. 이 맥의 간격에 의해 한방이론에서의 지맥(遲脈:느린 맥)과 삭맥(數脈:빠른 맥)을 구분할 수 있다. 그림 5를 보면 맥동 후 다음 맥동까지의 간격이 15mm이하이면 삭맥(數脈)이고, 24mm이상이면 지맥(遲脈)이며, 맥의 간격이 15mm - 24mm 사이에 있으면 정상인의 상태이므로 무시 할 수 있다.



[그림 7] 아날로그 맥진기의 출력 파형

그림 7은 아날로그 맥진기의 최종 출력 파형을 갈바노메타로부터 얻은 것이며, 이 파형은 그림 6 기본 입력 파형에 대한 출력 파형이다. 그림 7의 출력 파형으로부터 아날로그 맥진기에 입력되는 기본파의 상승과 하강에 따른 갈바노메타의 출력 파형을 분석 할 수 있으며, 여기서 수의 길이가 17mm로 출력이 되었으므로 이것은 완맥(緩脈) 길이에 속한다는 것을 알 수 있다.

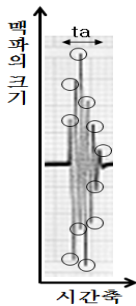
4.2 디지털 맥진기의 기본 파형 구성

출력 파형에 위상 각의 크기(꼭지점의 수)가 크다는 것은 맥파의 변화가 빠르다는 것을 의미하며, 위상 각이 작다는 것은 맥파의 변화가 느리다는 것을 의미하는 것이다. 아날로그 맥진기는 이러한 변화를 육안으로 보기 쉽게 표현을 했다. 즉 꼭지점이 1개인 신호가 입력이 되면 출력은 꼭지점이 5개인 신호로 출력이 되며, 꼭지점이 2개인 입력신호는 꼭지점이 11개인 출력신호를 나타내는 특성을 가지고 있다. 여기서 꼭지점이 1개인 신호는 맥파의 변화가 한 번 상승과 하강을 하여 완성된 신호이고, 꼭지점이 2개인 신호는 맥파의 변화가 1회전 완성되었다는 것을 의미한다. 즉, 출력 파형의 꼭지점에 숫자가 5개에서 11개 사이일 때을 완맥(緩脈)이라 정하고, 그 이하를 지맥(遲脈), 이상을 삭맥(數脈)이라 하여 맥파의 오행 성질을 꼭지점의 개수에 따라 다음 그림 8와 같이 맥의 성질을 구분한다.

꼭지점의 개수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
맥파의 성질	수의 방향 ←					→ 화의 방향									

[그림 8] 꼭지점에 의한 맥파의 구분

이와 같은 정리를 이용하여 출력의 꼭지점에 숫자가 11개가 되도록 그림 6과 같이 2개의 꼭지점을 갖는 구형파를 입력신호의 기준 파형으로 하였으며, 이 입력에 의한 그림 7과 같은 출력 파형을 얻을 수 있었다.



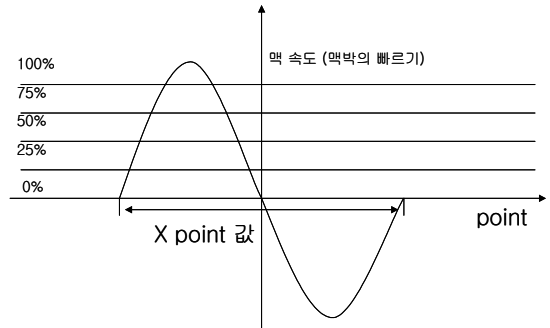
[그림 9] 출력 파형의 꼭지점에 의한 분석

그림 9는 그림 7의 출력 파형을 디지털 맥진기를 구성하기 위한 기본 맥파로 이용하기 위하여 꼭지점의 수를 11개로 조정하여 출력한 맥파이다. 이 출력된 맥파를 기본으로 하여 디지털 맥진기를 구성 할 것이다. 즉, 이 신호를 디지털 데이터로 변환하고, 변환된 데이터와의 Convolution을 통해 원하는 신호를 얻게 된다. 이 과정은 아주 간단하나 데이터의 량을 적절한 값으로 조정하여야 함으로 많은 시행오차가 따를 것이다.

5. 맥파 분석을 위한 알고리즘

한방의학의 28가지의 맥상 분석 방법과 기존의 맥파의 분석 방법을 이용해 알고리즘 분석하고 기존의 아날로그 시스템의 맥파 분석 방법과 디지털 시스템의 맥파 분석 방법을 분석하였다. 또한 기존의 아날로그 시스템에서 분석이 불가능 하였던 맥파의 모양을 분석할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 먼저 기존의 5가지의 분석 방법을 디지털 시스템에 적용하여 분석하였다.

첫 번째로 맥박 수를 가지고 맥파를 분석한 것인데, 디지털 시스템에서는 맥파의 한 주기 데이터 Point수를 가지고 분당 맥박 수를 구하였으며 방법을 식 (16)과 그림 10에 나타내었다.



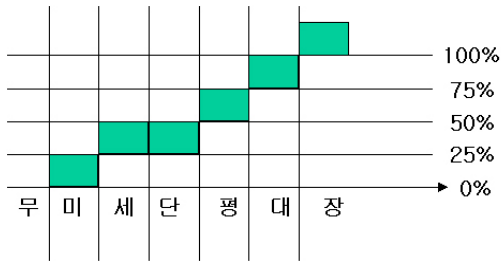
[그림 10] 맥박 빠르기 측정방법

$$\frac{60}{X \times (5 \times 10^{-3})} = Y \tag{16}$$

X: 맥파의 한 주기 길이
Y: 맥박 수

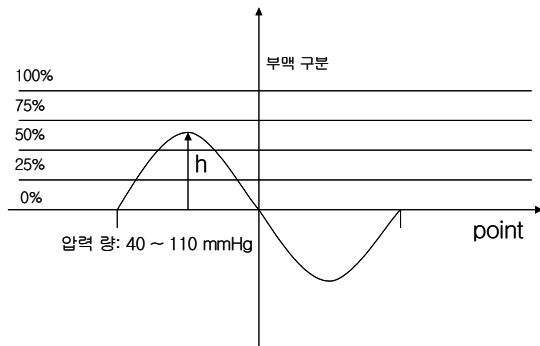
두 번째로 맥파의 혈류량 즉 맥파의 크기에 의한 구분이다. 디지털 시스템에서는 진폭의 구별을 다음 그림 11와 같으며, 디지털 시스템에서는 맥을 %의 단위로 구분

을 하여 놓았으며, 각 25%당 0.8V씩 증가하고 포인트는 20포인트씩 증가하는 것을 알 수 가 있다.



[그림 11] 디지털 시스템의 진폭 구별

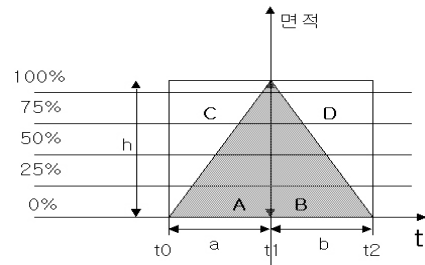
세 번째는 맥박의 유효 값에 의한 맥파 구분이다. 여기서 말하는 유효 값이란 진맥을 할 때 압력을 주입하게 되는데 이렇게 주입된 압력에 따라 맥이 사라지기 전까지의 값이다. 이 값을 가지고 부맥(浮脈)과 침맥(沈脈)을 구분한다. 그림 12는 부맥(浮脈)을 측정하는 방법을 나타내었다.



[그림 12] 디지털 시스템의 부맥(浮脈) 구분

네 번째로 아날로그 시스템은 위상각의 크기를 가지고 맥파를 구별하였다. 위상각의 크기는 맥파를 미분하여 분석된 특징점의 개수를 말하는데, 아날로그 시스템에서는 이 꼭지점의 개수에 의해 맥박 수가 빠른 맥과 맥박 수가 느린 맥을 구분하였다.

다섯번째로 맥파의 모양 분석은 디지털 시스템에서 크기와 넓이, 면적 값, 시간차의 데이터를 실시간으로 구해 맥파의 모양을 분석할 수 있는 알고리즘을 제안하여 맥파가 삼맥(滲脈)인지, 활맥(滑脈)인지 아니면 가는 맥(脈)인지, 둥근 맥(脈)인지를 구분하였다.



[그림 13] 맥파의 면적

$$\frac{(h \times (a + b))}{2} = X \tag{17}$$

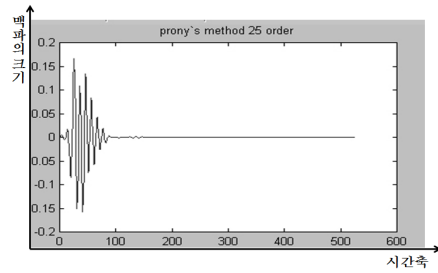
X: 전체면적

6. 실험 및 검토

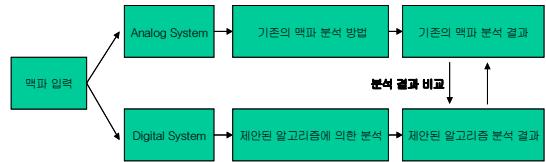
그림 7의 디지털 맥진기 시스템에서 맥진기에 맞는 디지털 필터를 설계하기 위한 계수 값을 구하기 위해 기본 맥파로 그림 9의 출력 파형에서 보여준 것과 같은 11개의 꼭지점을 가진 아날로그 출력이 필요하다. 여기서 11개의 꼭지점 값들을 얻을 수 있으나 이렇게 얻어진 값들은 사이에 빈 데이터를 가지고 있으므로 이 부분에 C-spline 보간법을 이용하여 데이터 값을 넣어 주었다. 이렇게 만들어진 신호를 가지고 함수를 만들기 위해서 signal modeling에서 오차 값이 가장 작은 값을 가진 method를 이용하였다. Mc-brige modeling은 13개의 계수를 가지고 유사한 신호를 추출할 수 있으나 그림 14에서 보면 신호의 끝부분에 약간의 발산이 이루어져 의료신호로 사용하기에는 부적절한 것으로 나타났으며, error율은 0.0275이다. Shank's method와 Prony's method는 51개의 같은 계수를 가지고 있으나 error율에서 Prony's method의 error율은 8.0146e-007이고, Shank's method의 error율은 2.5823e-006이다. 그리고 그림 14에서 보면 Shank's method와 Prony's method가 거의 같은 파형으로 보이지만 표 1에서 보면 계수 값이 31, 35, 41, 46, 50, 51에서 Shank's method의 값이 Prony's method 값 보다 더 큰 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 3가지의 signal method중에서 error율이 가장 작은 Prony's method를 이용하여 디지털 필터를 설계하게 되었다. 각 method의 계수의 값은 표 1과 같으며, Matlab를 이용하여 계수 값과 error율을 구하였다.

[표 1] 각 Signal method의 계수 값

계수 의수	Prony's Method		Shank's Method		Mc-brige Method	
	A	B	A	B	A	B
1	1.0000	0	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
2	-1.9434	0.0042	-1.9434	0.0042	-7.8084	0.0057
3	1.2135	-0.0025	1.2135	-0.0025	28.6901	-0.0416
4	-0.1349	-0.0009	-0.1349	-0.0009	-66.3042	0.1450
5	0.1049	-0.0005	0.1049	-0.0005	109.4660	-0.3228
6	0.2619	0.0002	0.2619	0.0002	-139.8097	0.5172
7	-0.8093	0.0016	-0.8093	0.0016	145.4414	-0.6374
8	0.4003	-0.0012	0.4003	-0.0012	-125.3933	0.6344
9	0.0754	-0.0007	0.0754	-0.0007	87.6879	-0.5303
10	0.0017	0.0004	0.0017	0.0004	-47.1838	0.3752
11	-0.2482	0.0018	-0.2482	0.0018	18.0662	-0.2116
12	0.4185	0.0019	0.4185	0.0018	-4.3439	0.0815
13	-0.3126	0.0019	-0.3126	0.0019	0.4919	-0.0153
14	0.0222	-0.0005	0.0222	-0.0005		
15	-0.0235	-0.0030	-0.0235	-0.0030		
16	0.1784	-0.0066	0.1784	-0.0066		
17	-0.2336	-0.0093	-0.2336	-0.0093		
18	0.2027	-0.0077	0.2027	-0.0077		
19	-0.0569	-0.0044	-0.0569	-0.0044		
20	-0.0187	-0.0006	-0.0187	-0.0006		
21	-0.1287	0.0059	-0.1287	0.0059		
22	0.2444	0.0129	0.2444	0.0129		
23	-0.1276	0.0120	-0.1276	0.0120		
24	0.0356	0.0106	0.0356	0.0106		
25	-0.0411	0.0087	-0.0411	0.0087		
26	0.0368	0.0030	0.0368	0.0030		
27	-0.0126	-0.0052	-0.0126	-0.0052		
28	0.0130	-0.0032	0.0130	-0.0032		
29	-0.0636	-0.0033	-0.0636	-0.0033		
30	0.0604	-0.0042	0.0604	-0.0042		
31	0.0963	-0.0020	0.0963	-0.0022		
32	-0.2322	0.0032	-0.2322	0.0032		
33	0.1178	-0.0009	0.1178	-0.0009		
34	0.0235	-0.0020	0.0235	-0.0020		
35	0.0323	-0.0026	0.0323	-0.0028		
36	-0.1233	-0.0047	-0.1233	-0.0047		
37	0.1633	-0.0093	0.1633	-0.0093		
38	-0.1424	-0.0074	-0.1424	-0.0074		
39	0.0695	-0.0069	0.0695	-0.0069		
40	-0.0284	-0.0053	-0.0284	-0.0053		
41	0.0723	-0.0023	0.0723	-0.0025		
42	-0.0713	0.0023	-0.0713	0.0023		
43	0.0485	0.0035	0.0485	0.0035		
44	-0.0699	0.0050	-0.0699	0.0050		
45	0.0013	0.0054	0.0013	0.0054		
46	0.1207	0.0052	0.1207	0.0055		
47	-0.1511	0.0045	-0.1511	0.0045		
48	0.1080	0.0035	0.1080	0.0035		
49	-0.0605	0.0027	-0.0605	0.0027		
50	0.0103	0.0016	0.0103	0.0015		
51	0.0113	0.0007	0.0113	0.0010		



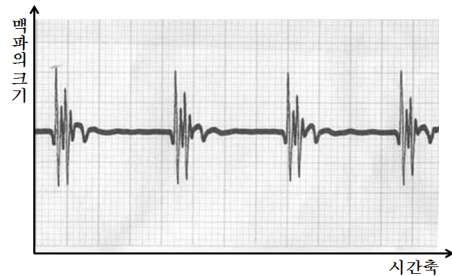
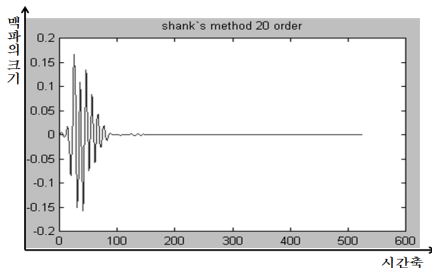
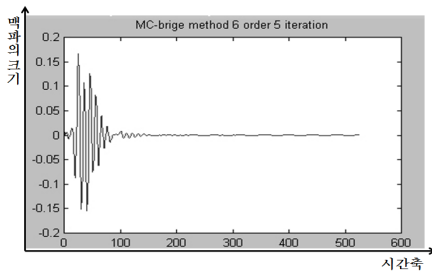
[그림 14] Signal method에서 추출한 계수를 이용하여 얻은 출력 신호



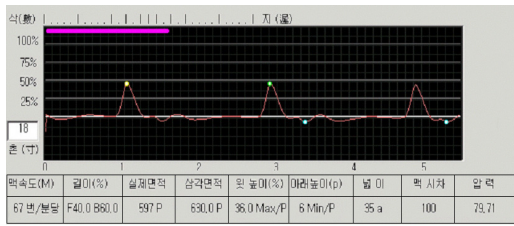
[그림 15] 맥파 분석 방법

제안한 알고리즘을 가지고 그림 15와 같은 방법으로 맥파를 분석하여 그 결과를 비교하였다. 먼저 아날로그 시스템과 디지털 시스템에 같은 맥파를 입력하였으며, 아날로그 시스템은 기존의 맥파 분석 방법을 이용해 맥파를 분석하였고, 디지털 시스템은 제안된 알고리즘을 가지고 맥파를 분석하였으며, 이러한 과정으로 환자 10명을 진맥하여 병을 진단하였다.

위와 같이 맥을 진맥하고 분석 결과를 비교하는데 있어서 제일 먼저 알아야 할 것이 있다. 그것은 맥의 유효 신호 값인데, 이 유효값에 따라 맥파를 분석하는 것이 다르기 때문이다. 여기서 말하는 유효 값이란 진맥을 할 때 압력을 주입하게 되는데 이렇게 주입된 압력에 따라 맥이 사라지기 전까지의 값이다. 이렇게 분석된 맥파들의 결과를 가지고 비교하여, 제안된 알고리즘 분석이 기존의 아날로그 시스템과 같은 결과를 포함하고, 또한 분석하지 못하였던 맥파의 모양을 분석할 수 있다는 것을 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

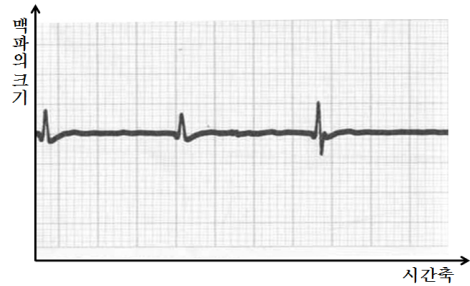


[그림 16] A환자의 아날로그 신호 출력

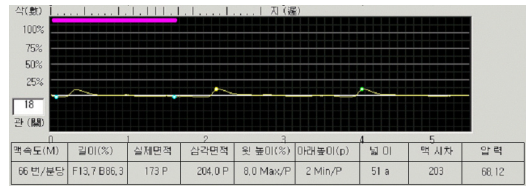


[그림 17] A환자의 디지털 신호 출력

그림 16과 그림 17은 키 167cm, 몸무게 70kg의 약간의 비만을 가지고 감기증상이 있으며, 약간의 미열이 있는 B환자의 촌구(寸口)혈 맥파를 기존의 아날로그 시스템과 디지털 시스템에 입력한 신호이다. 이 두 신호는 아주 다르게 출력이 되는데 그림 16은 아날로그 시스템이 맥파의 특징점을 출력한 그림이고, 그림 17은 디지털 시스템에서 출력되는 출력 신호이다. 그림 17를 보면 수치가 나타나 있는데 이 수치는 본 논문에서 제안한 알고리즘으로 분석한 결과이다. 맥파를 분석하기 전에 맥파의 유효 신호를 알아야 한다. 이유는 유효 신호의 값에 따라 맥의 실(實), 허(虛)를 구분할 수 있으며, 육각맥에 기본이 되는 맥상이 외의 맥을 구분할 수 있기 때문이다. A환자는 맥의 유효신호가 30 ~ 90mmHg으로 나타났으며 90mmHg이상의 압력을 주었을 때 맥이 사라지는 것을 알았다. 이러한 데이터를 기본으로 그림 16 아날로그 시스템의 출력을 분석하였다. 먼저 아날로그 시스템의 맥파 한 주기가 18mm이므로 완맥(緩脈)에 속하며, 맥파의 상단 높이는 10mm이고 하단의 높이는 8mm로 상단 높이가 크므로 부맥(浮脈)을 나타내며 맥의 크기는 10mm이므로 평맥을 나타낸다. 그림 17를 제안된 알고리즘을 적용하여 분석한 것은 다음과 같다. 맥 속도가 분당 67번이므로 완맥, 압력은 79.71mmHg이므로 부맥, 맥의 크기가 50%에 가까워 단맥(短脈)과 평맥의 크기를 가지고 있다. 이 부분까지는 아날로그 시스템의 분석 방법과 제안된 알고리즘의 분석 결과가 같게 나온 것을 알 수가 있다. 그러나 아날로그 시스템에서 분석이 어려웠던 맥파의 모양을 제안된 알고리즘을 이용하여 분석하면 다음과 같다. 그림 17에서 맥파의 모양은 실제 면적이 평균 면적보다 작으므로 가는 맥에 속한다. 그러나 맥파의 크기를 보면 단맥(短脈)을 가지고 있는 것을 알 수가 있다. 단맥은 둥근 맥을 말하므로 그림 17의 맥파는 모양을 나타내는 맥이 아니라고 할 수 있다. 다시 말해 맥의 유효 신호 값으로 구분할 수 있는 맥이다. 이 맥은 부맥(浮脈)류의 맥상을 가지고 있으나 허(虛)한 맥 즉 무력한 맥으로 유맥(濡脈)에 속한다.



[그림 18] B환자의 아날로그 시스템의 출력



[그림 19] B환자의 디지털 시스템의 출력

그림 18과 그림 19는 키 165cm, 몸무게 56kg의 성인 여자로서 약간의 감기 증상을 가지고 있으나 열은 없는 B환자의 맥파를 나타낸 것이다. B환자의 유효 값은 30 ~ 90mmHg이다. 먼저 아날로그 시스템의 출력 맥파를 분석하면 다음과 같다. 맥의 한 주기는 18mm이며 이것은 완맥(緩脈)에 속한다. 또한 상단면의 높이는 5mm이고 하단면의 높이는 2~4mm정도이다. 이것은 상단의 높이가 하단보다 높으므로 부맥(浮脈)을 나타낸다. 맥파의 크기가 5mm이므로 단맥(短脈)에 속한다.

그림 19인 제안된 알고리즘에 대한 분석은 다음과 같다. 맥 속도는 분당 66번이므로 완맥(緩脈)에 속하며, 압력은 68.12로 부맥(浮脈)이다.

제안된 알고리즘에 의해 추가 분석된 부분은 다음과 같다. 맥파의 모양은 평균 면적보다 실제 면적이 작게 나왔다. 그러므로 이 맥파는 가는 맥에 속한다. 또한 맥파의 크기는 25%이하 이므로 미맥(微脈)을 나타내며, 유효 신호 값이 작아 허(虛)한 맥상을 나타낸다.

이렇게 기존의 맥파 분석 방법과 제안된 알고리즘을 이용한 분석에서 제안된 알고리즘을 이용한 디지털 시스템의 분석률이 뛰어난 것을 알았으며, 또한 맥파를 그대로 분석하여 한방의학의 맥파 분석 방법을 그대로 적용하여 분석할 수 있다는 것을 알 수가 있다.

7. 결론

아날로그 맥진기 시스템은 ECG (Electrocardiogram)와

같은 특징점 추출방법을 이용해 맥파를 분석하는데 특징점 추출방법과 입력 신호의 과도한 증폭으로 맥파의 Clipping현상이 발생되어 맥파의 모양을 정확하게 분석할 수 없는 문제점들이 발생되었다.

본 논문에서는 이러한 아날로그 맥진기 시스템에 문제점을 보완하기 위하여 신호의 특징점 추출에서 C-spline 보간법과 에러율이 작은 Prony's method를 이용하여 디지털 필터를 설계하는 방법을 제안 하였다. 또한, 맥파 분석 방법에서 분석이 어려웠던 맥파의 모양을 정확하게 분석할 수 있는 새로운 맥파 분석 알고리즘을 제안하였다. 증폭 단 이후 제안된 필터 설계방법을 이용하여 전자 맥진기 시스템을 구성하고, 제안된 맥파 분석 알고리즘을 이용하여 맥파를 분석한 결과 아날로그 시스템에서 분석이 어려웠던 맥파를 그래픽 처리하여 더욱 정확하고 깨끗하게 분석할 수 있음을 확인할 수가 있었다.

옛 부터 진료자의 느낀점과 크기는 서로 달랐어도 표현 방법은 같아 이와 같은 맥파 분석 알고리즘 제안이 가능하게 되었으며, 제안된 알고리즘에 의한 맥파 분석 결과는 기존의 아날로그 방법에 의한 분석 방법보다 더욱 정확하고 효과적인 맥파 분석이 이루어 졌음을 실험을 통하여 확인하였다.

참고문헌

- [1] 김석하, 홍섭희, 정현정, 박원환, "電子脈診器의 과 의 諸脈體狀에 관한 연구(I)", 대한한의진단학회지, 제13 권 제1호, pp. 36 - 44, 2009.
- [2] 박상희 저, "생체신호처리 및 응용", 에드텍, pp. 303 - 307, 1999.
- [3] 李炳國 著, "脈이나 알고 針筒을 흔드는가 (脈診篇)", 한국의 침구, pp. 37 - 56, 2001.
- [4] 이호재, 허 응 외, "한방용 맥파 검출시스템", 대한 의용생체공학회 추계학술대회 논문집, 제14권 제1호, pp. 66 - 69, 1991.
- [5] 이호재, 허 응 외, "한방 맥진단에 관한 연구", 대한 의용생체공학회 추계학술대회 논문집, 제14권 제1호, pp. 71 - 74, 1992.
- [6] 황성철, 권혁제, 김태국, 이재준, 이명호, "변곡비에 의한 ECG 신호의 특성점 검출 및 QRS 패턴분류", 대한 전자공학회 하계학술대회 논문집 제14권 제1호, pp. 422 - 425, 1991.
- [7] 김규환, 박승환, 홍승홍, "맥파 신호의 특성점 검출 및 자동인식에 관한 연구", 대한전자공학회 추계학술 대회 논문집, 제15권 제2호, pp. 409 - 412, 1992.
- [8] 김상호, 임덕규, "Digital 맥진기 설계를 위한 Signal

Modeling" 대한한의학회 맥진학회지, 통권 제6호, pp.168-182, 2001.

- [9] 이진, 우영재, 전영주, 이유정, 김종열, "맥진기를 위한 동잡음 검출 시스템", 대한전자공학회 논문지, 제 45권 SC편 제5호, pp. 21 - 27, 2008.
- [10] 임덕규, "전자맥진기 시스템을 위한 디지털 필터 설계에 관한 연구" 삼척대학교 산업과학기술연구원 논문집 제8권 제1호, pp. 1 - 10, 2003.
- [11] Monson H. Hayes, "Statistical Digital Signal Processing and Modeling", John Wiley & Sons, 1996.
- [12] 한상모 외 집필, "東醫學 어떻게 배울 것인가", 여강, pp. 209 - 223, 1993.
- [13] 백광철 著, "알기 쉬운 맥진학", 논장, pp. 17 - 24, 1987.

김 상 호(Sang-Ho Kim)

[정회원]



- 2002년 2월 : 삼척대학교 산업대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2006년 2월 ~ 2009년 3월 : (주) 디지털티 연구원
- 2009년 4월 ~ 현재 : (주)엠플름

<관심분야>

디지털신호처리, 의용기기

임 덕 규(Duk-Gyu Lim)

[정회원]



- 1988년 2월 : 단국대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1986년 3월 ~ 2006년 2월 : 삼척대학교 전자공학과 교수
- 2006년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 교공학대학 전자정보통신공학부 교수

<관심분야>

디지털신호처리, 의용기기