

논문 2012-49SC-2-6

# 연속 가압방식의 맥파 측정방법을 위한 시작점 검출 알고리즘 개발

( Novel Detection Algorithm of The Upstroke of Pulse Waveform for  
Continuously Varying Contact Pressure Method )

배 장 한\*, 전 영 주\*, 김 종 열\*, 김 재 욱\*\*

( Jang-Han Bae, Young Ju Jeon, Jong Yeol Kim, and Jaeuk U. Kim )

## 요 약

본 논문에서는 연속 가압방식으로 측정된 맥파 신호의 분석에 적합한 시작점 검출 알고리즘을 제안한다. 연속 가압방식은 가압의 크기를 조금씩 증가시키면서 맥파 신호를 측정하는 방식인데 이를 이용하면 가압크기에 대응하는 맥파 신호의 분해능이 크게 향상되기 때문에 현재 상용맥진기의 맥파 측정방식인 단계별 가압방식의 정확성과 신뢰성 문제를 해결할 수 있다. 시작점 검출을 위해서 고속 푸리에 변환을 이용한 주기계산, Center-to-edges 방법의 피크 검출, 기저선 보정, 접선 교점 방법에 의한 시작점 검출, 분석 구간 설정을 순차적으로 적용한 알고리즘을 개발하였다. 30명의 피험자를 대상으로 실험한 결과 제안된 알고리즘의 정확도는 99.46%, 민감도는 99.51%로 나타났는데 이는 기존 알고리즘보다 정확도 4.82%, 민감도 2.46%가 향상된 결과이다. 본 연구에서 제안한 연속 가압방식의 맥파 측정방법과 맥파 시작점 검출 알고리즘을 사용한다면 맥파 특징점의 정확한 검출은 물론 허실맥이나 부침맥 등의 맥상 판별 정확성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

## Abstract

We propose a continuously varying contact pressure(CVCP)-adaptive feature extraction algorithm for pulse diagnostic analysis. The CVCP method measures the pulse waveform with continuously increasing contact pressure(CP). This method offer a high resolution signal of the pulse waveform amplitude(PWA) as a function of the contact pressure. Therefore it enables us to overcome the limitation of commercially available pulse-taking devices whose analysis rely on a few number of PWA-CP pairs. We show that an efficient feature extraction algorithm which covers the features of the CVCP-method can be developed by sequentially applying Fast Fourier Transform, peak detection by center-to-edges method, baseline drift removal, detection of the percussion wave upstroke by intersecting tangent method and detection of the analysis region. Finally, by a clinical study with 30 subjects, we show that our CVCP-adaptive feature extraction algorithm detected the upstroke with accuracy of 99.46% and sensitivity of 99.51%, which were about 4.82% and 2.46% increases respectively, compared to a conventional feature extraction method. The proposed CVCP method and the CVCP-adaptive feature extraction algorithm are expected to improve the accuracy in the pulse diagnostic algorithms such as floating/sunken pulse qualities and deficient/excess pulse qualities.

**Keywords :** 맥진, 맥파, 연속 가압방식, 시작점 검출 알고리즘

## I. 서 론

\* 정희원, \*\* 정희원-교신저자, 한국한의학연구원  
(Korea Institute of Oriental Medicine)

※ 본 연구는 2011년도 한국한의학연구원 기관고유사업(K11070)과 지식경제부 과제(10028438)의 지원을 받았습니니다.

접수일자: 2011년11월23일, 수정완료일: 2012년1월31일

맥진은 한의학에서 사용하는 대표적인 진단방법으로 요골동맥의 촌, 관, 척 세 부위에서 측정되는 맥파의 특징을 분석해 환자를 진단하는 방법이다. 맥진은 한의사의 주관적인 감각이나 경험에 의존하는데 이를 객관화,

정량화 하기 위한 맥진 센서들이 개발되어 왔고 맥파 신호 측정의 가장 적합한 위치를 찾는 기기도 연구되어 왔다<sup>[1]</sup>. 하지만 지금까지는 맥파 신호를 더 정확하고 편리하게 측정하기 위한 센서나 기기 개발, 기기 검증 자체에 초점이 맞춰져 있었으며, 측정 방식이나 맥파 신호 분석을 위한 알고리즘에 대한 연구는 미비한 실정이다<sup>[2~4]</sup>. 한의사가 맥진을 할 때는 손가락을 눌러 힘의 강약을 조절하면서 환자의 맥을 진단하기 때문에 이와 유사한 측정 방식이 필요하고, 측정된 맥파 신호의 정확한 분석 역시 요구된다.

현재 상용되고 있는 맥진기의 맥파 측정 방식은 특정 가압 값으로 요골동맥을 누르는 방식이다. 이때 가압을 약한가압, 중간가압, 강한가압 등으로 나누어 힘의 세기를 변화시켜 측정한다. 3-D MAC((주)대요메디, 한국)은 대표적인 맥파 측정 장치이다. 압저항 센서와 가압 조절 로봇을 이용해 5단계의 가압을 각각 5초 동안 요골동맥에 가하여 맥파 신호를 측정한다. 이렇게 측정된 맥파 신호에서 특징점을 검출하고 각 단계별로 5초간의 평균 파형을 생성한다. 그 후 이 5개의 데이터를 이용해 PH-curve를 생성하고 맥파분석을 한다. PH-curve는 한의학에서 거·심·안진맥추세도(擧·尋·按診脈趨勢圖)라는 이름으로 등장한 개념이며 가로축이 가압력, 세로축이 압맥파로 이루어진 그래프이다<sup>[5]</sup>. 이를 이용해 한의학의 대표 맥상들, 예를 들어 허실맥, 부침맥 등을 판단할 수 있다<sup>[6~7]</sup>. 이러한 단계별 가압방식은 각 가압 단계에서 5초간의 안정된 맥파를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 하지만 단계별 가압방식에서는 최종적으로 특정 가압과 짝을 이루는 한 개의 맥파 데이터를 얻게 되는데 이 개수가 제한적이어서 맥진 분석의 정확성에 문제가 있다. 또한 이 데이터들의 값은 보간(interpolation)하는 방법에 의존적으로 변하게 된다. 예를 들어 허실맥을 판단하기 위해 각 단계별 최대 압맥파로 PH-curve를 생성한다면 5개의 데이터만으로 보간을 해야 하기 때문에 허실이나 부침과 같은 맥상의 판단이 잘못될 수 있다<sup>[8~9]</sup>. 가압 단계를 더 많이 늘려서 측정하면 정확성이 향상될 수 있지만 이에 비례하여 측정 시간이 길어지게 되어 맥진 받는 환자의 피로도도 증가한다.

본 논문에서는 이러한 기존의 문제점을 해결하기 위해 연속 가압방식으로 맥파 신호를 측정하는 방법을 제안한다. 이 방법은 가압 단계를 나누어 특정 가압으로 측정하는 것이 아닌 가압의 크기를 조금씩 연속적으로

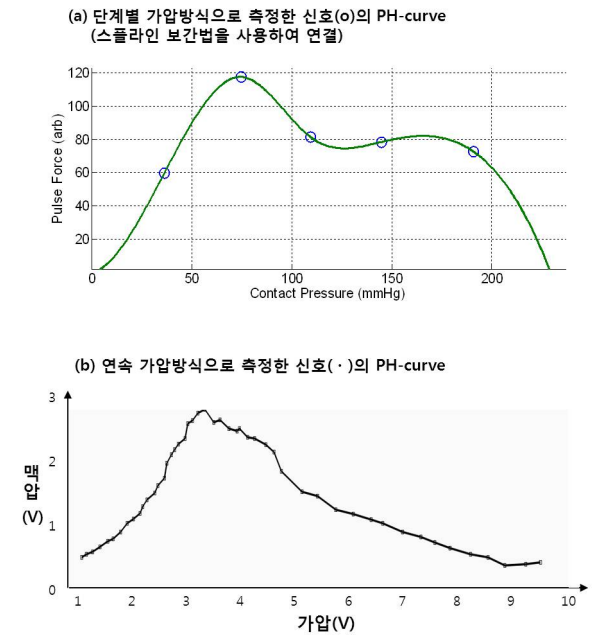


그림 1. (a)단계별 가압방식과 (b)연속 가압방식으로 측정된 신호의 PH-curve  
 Fig. 1. PH-curve obtained by (a) a commercial method and (b) the proposed method.

증가시키는 방법이다. 약한 가압부터 강한 가압까지의 맥파 신호를 한 번에 측정할 수 있는데, 가압의 크기가 증가될수록 맥파 신호가 점점 커지고 특정 가압 이상이 가해지면 맥파 신호가 다시 작아진다. 이 방법은 연속적으로 증가하는 모든 가압 값에 맥파 신호가 존재하게 되므로 가압크기 증가에 따른 맥파 신호의 변화를 연속적으로 살펴볼 수 있다. 또한 맥파 획득시간이 충분해 데이터의 분해능이 크게 향상되므로 PH-curve를 생성할 때 보간을 통한 데이터 보정을 하지 않아도 된다. 데이터 수가 많을수록 PH-curve의 신뢰도가 향상되므로 허실맥이나 부침맥 판별의 정확성을 더 높일 수 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 5단계 가압방식을 사용한 기존 상용맥진기의 PH-curve에 비해 연속 가압방식을 사용한 맥파 신호의 PH-curve는 분해능이 크게 향상됨을 알 수 있다.

측정된 맥파 신호의 분석을 위해서는 맥파의 여러가지 특징점들을 정확히 검출해내는 것이 중요하다. 맥파의 특정 높이와 너비, 시계열 분석을 통해 맥동의 주파수와 리듬, 강약, 허실과 맥상의 형태 등의 특징을 이해할 수 있기 때문이다. 예를 들어 각 맥파 최대 크기의 값은 좌심실 심박출량이 강하고 대동맥의 탄력성이 좋은 상태에서는 크게 나타나는 특징이 있다<sup>[5]</sup>. 맥파 신호

의 특징점 중 검출해야할 중요한 부분은 시작점이다. 시작점을 정확하게 검출해야 맥파의 높이와 너비, 시간 수치 등을 정확하게 파악할 수 있다. 연속 가압방식의 맥파 측정방법은 여러 장점이 있지만 신호 분석에 필요한 시작점 검출을 위해서는 기존의 단계별 가압방식에서 쓰이던 방법과는 다른 알고리즘의 개발이 요구된다.

본 논문에서는 (1) 연속 가압방식으로 맥파 신호를 수집하고, (2) 수집된 맥파 신호를 분석할 수 있는 시작점 검출 알고리즘을 제안하며, (3) 기존 알고리즘과의 비교분석을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 검증하고자 한다.

## II. 본 론

### 1. 측정 방법

연속 가압방식으로 맥파 신호를 측정하기 위해 한국한의학연구원에서 자체 개발 중인 맥파 측정 장치를 사용하였다. 이 측정 장치는 피험자의 팔을 거치할 수 있는 본체 부분과 맥파 측정을 위한 센서가 부착된 원통형의 액츄에이터로 구성되어있다. 맥진 센서는 압저항반도체 소자를 이용한 FDB(Face Down Bonding) 방식으로 개발되었으며, 선형성이 검증된 7채널 센서이다<sup>[10]</sup>.

맥파 측정을 위해 피험자는 편한 자세로 맥파 측정 장치 본체에 오른팔을 올려 놓고, 측정자는 피험자의 관 부위를 향해 액츄에이터를 조절한다. 이 때 측정자

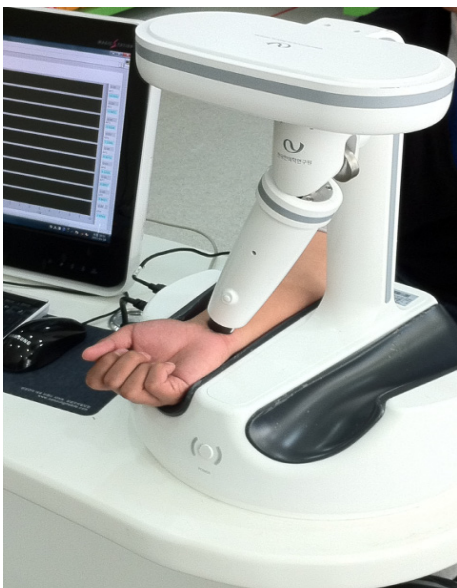


그림 2. 맥파 신호의 획득  
Fig. 2. Measurement of pulse wave signal.

는 맥파 신호를 실시간으로 모니터로 확인하면서 맥파 신호가 잘 보이도록 센서의 위치와 높낮이를 조절한다. 맥파 신호는 7채널 중 가장 중앙에 위치한 채널의 신호를 기준으로 확인한다. 맥파 신호가 보이기 시작하면 데이터 저장을 시작한다. 신호를 저장할 때 모터는 자동으로 아래로 내려오면서 가압이 된다. 이때 모터는 약 0.09mm/s의 충분히 느린 속도로 내려오기 때문에 한 맥동 주기에서의 가압량 변화는 무시할 수 있다. 가압이 세지면서 맥파 신호는 커지고 특정가압 이상이 되면 맥파가 다시 작아지는데 이때 데이터 저장을 중단하도록 한다. 전체 측정시간은 피험자마다 맥의 특성이 다르기 때문에 차이가 있지만 일반적으로 40~50초 정도의 시간이 소요되었다. 이는 맥파 신호가 약하게 보이기 시작할 때부터 모터가 3.6~4.5mm 정도 아래로 내려온 것이며 혈관의 두께를 평균 3mm로 고려했을 때 적절한 시간이었다. 데이터 저장 시 샘플링 주파수는 200Hz로 설정하였다. 그림 2는 맥파 측정 장치를 사용하여 맥파 신호를 획득하는 모습이다.

연속 가압방식으로 측정된 맥파 신호는 그림 3과 같다. 가로는 시간(s), 세로는 진폭(V)이고 선형적으로 증가하는 직선 신호는 가압 그래프, 파형을 나타내는 신호는 맥압 그래프를 나타낸다. 이를 통해 시간에 따른 즉, 가압력 증가에 따른 맥파 크기의 변화를 살펴볼 수 있다. 일반적으로 측정 초기에는 작은 맥파 신호가 보이다가 가압이 커질수록 맥파 신호가 커진다. 그 후 특정 가압 이상이 가해지면 맥파 신호가 다시 작아지는데 이는 요골동맥의 혈관이 닫히기 때문이다. 가압이 더 커지면 작아진 신호에서 맥파의 파형이 사라지고 잡음 신호가 측정된다.

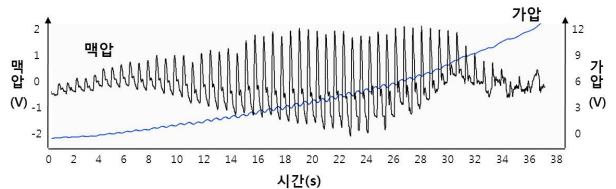


그림 3. 연속 가압방식으로 측정된 맥파 신호  
Fig. 3. Pulse wave signal measured by continuously varying contact pressure method.

### 2. 기존의 맥파 신호 시작점 검출 알고리즘

맥파 신호를 분석하기 위해서는 맥파의 여러가지 특징점들을 정확히 검출해내는 것이 중요한데 그 중 시작

점검출을 통해 맥파의 높이와 너비, 시간수치 등을 파악할 수 있다. 시작점 검출을 위한 방법에는 맥파의 최저점, 1차미분의 최고점, 2차 미분의 최고점을 이용하는 방법과 접선 교점 방법(intersecting tangent method)의 4가지 방법이 대표적이다. 이 중 접선 교점 방법이 시작점 검출을 위해 가장 많이 쓰이는 방법이며 그 성능도 우수하다고 알려져 있다. 이 방법은 먼저 문턱치를 맥파 크기의 30%로 설정하고, 그 아래 범위에서 음의 기울기를 보이다가 양의 기울기로 바뀌는 지점을 최저점으로 검출한다. 검출된 각 최저점은 서로 270~1500ms의 범위 내에 존재하여야 하며 이 조건이 만족하지 않으면 문턱치를 변화시켜 위의 과정을 반복한다. 그 후 각 맥파 신호의 1차 미분 최고점을 중심으로 접선을 만든다. 이 접선과 각 맥파의 최저점을 지나는 수평선과의 교점을 찾고 그 교점의 인덱스를 찾는다. 최종적으로 각 맥파신호에서 이 인덱스에 해당하는 점을 시작점으로 결정한다<sup>[11~12]</sup>.

### 3. 연속 가압방식으로 측정한 맥파 신호의 시작점 검출 알고리즘

위에서 살펴본 기존의 알고리즘들은 일정한 가압 하에서 측정한 맥파 신호의 시작점을 검출하기 위한 것으로 이 알고리즘을 연속 가압방식으로 측정한 맥파 신호에 그대로 적용하는 것은 적합하지 않다. 기존 알고리즘을 사용하면 5초간의 파형을 평균하여 하나의 가압에 하나의 대표 맥 파형을 나타낼 수 있으나 연속 가압일 경우 이러한 과정을 적용할 수 없다. 그리고 접선 교점 방법에서는 최저점을 찾을 때 맥파 크기의 30%를 문턱치로 미리 설정해야 하는데, 연속 가압방식에서는 맥파의 크기가 작았다가 커지고 다시 작아지는 형태로 나타나기 때문에 문턱치를 하나의 값으로 미리 정해서 분석할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 연속 가압방식으로 측정한 맥파 신호에 적합한 시작점 검출 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘의 순서도는 그림 4에 나타내었다.

#### 가. 고속 푸리에 변환을 이용한 주기 계산

먼저, 측정한 맥파 신호에 대역통과필터(band-pass filter, 0.005~30Hz)를 통과시켜 잡음을 최소화 한다. 그리고 맥파 신호의 주기를 계산하기 위해 고속 푸리에 변환(FFT)을 수행한다. 연속 가압방식으로 획득한 신호는 약 40~50초의 상대적으로 긴 시간 데이터이므로

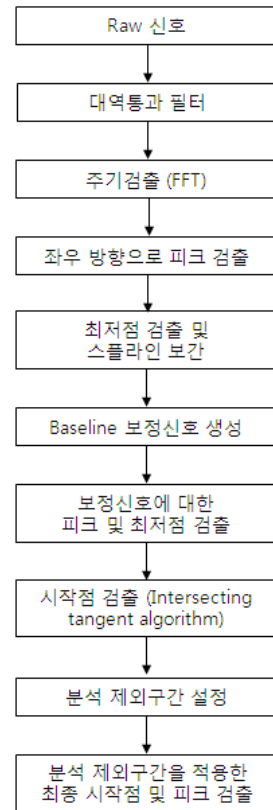


그림 4. 연속 가압방식으로 측정한 맥파 신호의 특징점 검출을 위해 제안된 알고리즘

Fig. 4. Proposed algorithm for detecting feature points of pulse wave measured by continuously varying contact pressure method.

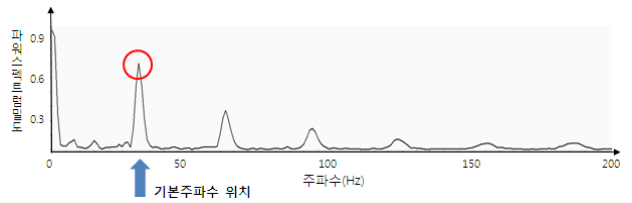


그림 5. 맥파 신호의 고속 푸리에 변환 결과  
Fig. 5. FFT result of pulse wave signal.

단계별 가압방식으로 획득한 짧은 신호보다 맥파의 주기를 더 정확하게 계산할 수 있다. 그림 5에 고속 푸리에 변환을 수행한 그래프의 예를 나타내었다. 그래프에서 볼 수 있듯이 파워스펙트럼밀도(power spectral density)의 최대값을 쉽게 찾을 수 있으며 이는 기본 주파수에 대응된다. 주파수의 역수를 취해 주기를 계산할 수 있으며 주기를 이용해 다음 단계에서 정확한 시작점을 찾을 수 있다.

나. Center-to-edges 방법의 피크 검출

연속 가압방식의 특성상 측정 시작부분에서는 아주 작은 크기의 맥파가 측정되거나 불필요한 노이즈가 측정될 수 있기 때문에 시작점 검출이 어려울 수 있다. 만약 앞 신호부터 차례대로 시작점을 검출하려 한다면 이러한 영향으로 인해 시작점을 잘못 찾게 될 경우가 발생한다. 이 경우 연속적으로 시작점을 잘못 찾을 수 있기 때문에 본 연구에서는 “Center-to-edges” 방법을 제안한다. 이는 전체 신호에서 맥파가 가장 크게 나오는 점을 먼저 검출 한 후 측정 시작점 방향과 끝 방향, 즉 신호의 왼쪽과 오른쪽 방향으로 점진적으로 이동하면서 시작점을 검출하는 방법이다. 일반적으로 전체 신호 중 맥의 크기가 가장 크게 나타나는 가운데 부분에서 최대값이 검출되었다. 이 최대값 인덱스를 기준으로 왼쪽 방향과 오른쪽 방향으로 피크를 찾아간다. 이 때 하나의 맥 파형은 일반적으로 피크가 왼쪽으로 치우쳐져 있는 것에 착안하여 각 방향의 검색범위를 설정한다. 고속 푸리에 변환으로 계산한 맥파 신호의 주기를 T라 하면, 왼쪽 방향의 피크 검색범위는 최대값 인덱스를 기준으로 했을 때 왼쪽으로 0.5T~1.3T의 위치로 설정하였다. 즉 최대값 인덱스에서 왼쪽 방향으로 0.5T 만큼의 위치와 1.3T 만큼의 위치 사이에서 최대값을 검색하여 피크로 설정하고 이 피크를 기준으로 다시 왼쪽 방향으로 다음 피크를 검출한다. 같은 방법으로 오른쪽 방향의 피크 검색범위는 오른쪽으로 0.7T~1.5T의 위치로 설정하였다. 그림 6에 Center-to-edges 방법으로 피크를 검출하는 방법을 나타내었다.

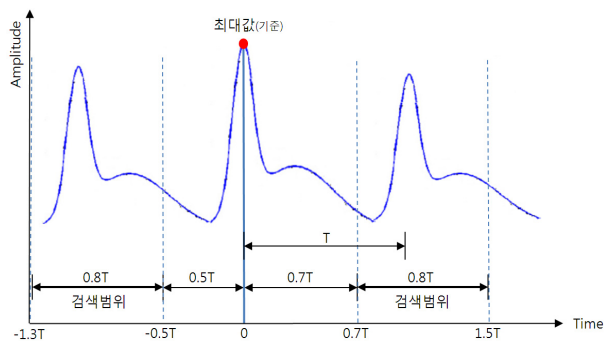


그림 6. Center-to-edges 방법의 피크 검출 방법  
Fig. 6. Center-to-edges method for peak detection.

다. 최저점 검출 및 기저선 보정 신호 생성

Center-to-edges 방법으로 검출한 각 맥파의 피크 인덱스 사이에서 최저점을 찾는다. 그리고 이 각각의

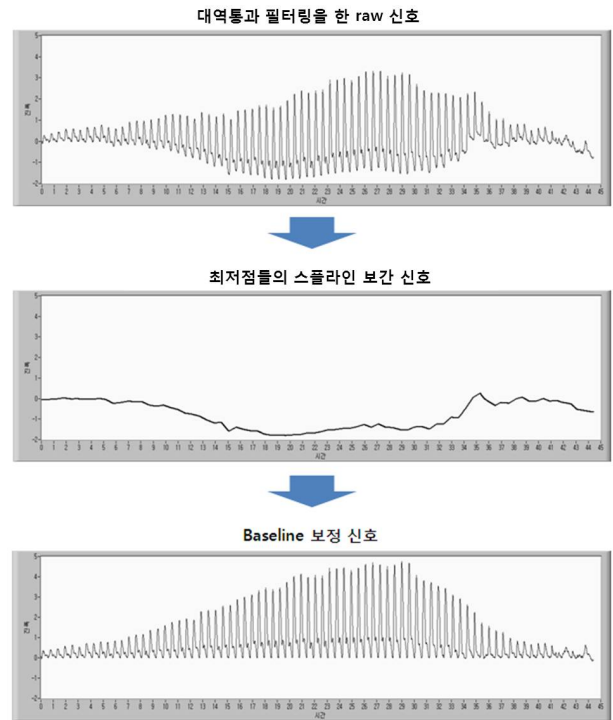


그림 7. 기저선 보정 과정 (단위는 그림3과 동일)  
Fig. 7. Process of baseline drift removal.

최저점들을 이용해 3차 다항식 스플라인 보간을 한다. 스플라인 보간(spline interpolation)은 일반적인 다항식 보간(polynomial interpolation)에 비해 낮은 차수에서도 추정 정확도가 좋아서 널리 쓰이고 있으며, 효율성 대비 정확도 면에서 3차 다항식 스플라인(cubic spline)을 많이 사용한다<sup>[13]</sup>. 그 후 대역통과필터를 통과시킨 초기 측정 신호에서 보간된 신호를 빼는 방법으로 기저선(baseline) 보정신호를 생성한다. 이는 40~50초 정도의 연속 데이터에 호흡, 근육 긴장, 움직임 등 외부요인의 영향으로 기저선 변동(baseline drift)이 생길 수 있는데 이러한 외부 요인들을 제거하고 순수한 맥파 신호만을 분석하기 위함이다<sup>[14]</sup>. 그림 7은 기저선을 보정하는 과정이다.

라. 시작점 검출 및 분석 제외구간 설정

생성된 보정신호를 대상으로 피크와 최저점을 다시 검출한다. 검출된 최저점을 이용해 접선 교점 방법으로 시작점을 검출한다. 이렇게 검출된 각 맥파 신호의 시작점들 중 우리가 분석에 필요한 부분만을 최종적으로 선별해야 할 필요가 있다. 처음과 끝 부분의 신호는 측정 잡음이 포함되어 있을 수 있으며, 특히 끝 부분은 신호의 크기가 급격히 줄어들면서 센서에 잡음 신호가 측

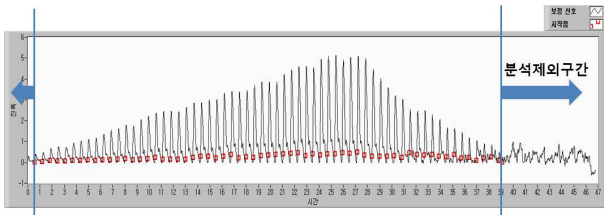


그림 8. 분석 제외구간을 설정한 맥파 신호 (단위는 그림3과 동일)

Fig. 8. Pulse signal applied analysis exception.

정되기 때문에 이 부분에서의 특징점 검출은 의미가 없다. 이러한 문제를 피하기 위해 맥파 신호를 측정하고 신호의 처음과 끝 특정 시간을 임의로 삭제하는 방법을 생각해 볼 수 있다. 하지만 피험자마다 맥파의 모양과 분석에 필요한 신호의 길이는 다르게 나타난다. 또한 측정자는 맥파의 크기가 줄어드는 것을 눈으로 확인하고 측정을 멈추기 때문에 처음과 끝의 삭제할 시간을 어느 정도로 해야 가장 적합한 방법인지는 불명확할 수밖에 없다. 그러므로 제안한 알고리즘에서는 검출된 각 맥파의 시작점들 크기가 갑자기 크게 변하는 지점을 기준으로 분석 제외구간을 설정하였다. 먼저 맥파 신호가 최대로 측정되는 시간 인덱스를 찾고 그 인덱스를 기준으로 왼쪽 방향과 오른쪽 방향으로 시작점들을 연결한 선을 미분한다. 그리고 이 미분 값이 특정 기준 이상인 지점 즉, 기울기가 급격히 변하는 처음과 끝 지점은 노이즈가 포함된 신호로 간주해 분석에서 자동으로 제외되도록 하였다. 특정 기준의 값은 다수의 실험을 통한 경험적 값인 0.3으로 설정했으며 이 경우 거의 대부분의 피험자 신호에서 측정 잡음을 올바르게 구분하였다. 이렇게 설정된 좌우 분석 제외구간의 범위 이외의 구간에서 최종적으로 시작점과 피크를 검출한다. 그림 8은 분석 제외구간을 설정한 맥파 신호를 나타낸다.

### III. 실험 및 결과

본 연구에서 제안한 연속 가압방식과 시작점 검출 알고리즘의 성능을 확인하기 위해 60대 남자 피험자 30명을 선별하였다. 피험자의 오른손 관 부위 맥파 신호를 연속 가압방식으로 측정하고 제안한 시작점 검출 알고리즘과 기존의 접선 교점 방법을 비교 분석 하였다. 하지만 앞서 살펴본 대로 접선 교점 방법을 그대로 연속 가압방식으로 측정한 맥파 신호에 적용하기에는 제약이 있다. 그렇기 때문에 맥파 미분신호에서 피크를 찾고

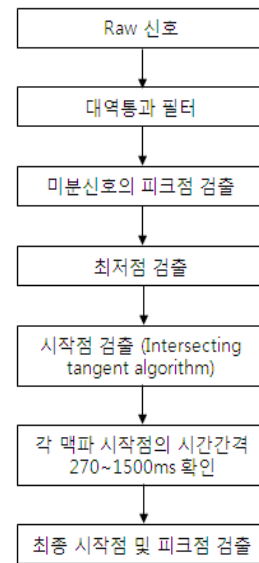


그림 9. 연속 가압방식으로 측정한 맥파 신호의 특징점 검출을 위한 기존 알고리즘

Fig. 9. Conventional algorithm for detecting feature points of pulse wave measured by continuously varying contact pressure method.

각 피크 사이의 구간에서 최저점을 검출한 후 시작점을 검출하는 방법으로 접선 교점 방법을 일부 수정하였다. 이 때 각 맥파 시작점들의 시간 간격이 270~1500ms 안에 포함되지 않는 점은 삭제하였으며 이렇게 수정된 기존 알고리즘의 순서도를 그림 9에 나타내었다.

기존 알고리즘과 새롭게 제안된 알고리즘의 검출 성능을 비교하기 위해 식(1)과 식(2)와 같이 정확도 (accuracy)와 민감도(sensitivity)를 계산하였다. 이는 신호의 특징점 검출에 대한 성능을 비교해 볼 수 있는 방법이며<sup>[15]</sup> 본 논문에서는 여러 특징점 중 시작점 검출 성능에 대해 비교하였다.

$$\text{정확도} : (1-(M+FD)/(TD+FD)) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{민감도} : TD/(TD+FD) \times 100 \quad (2)$$

여기서 TD(true detection)는 시작점을 정상적으로 검출한 경우, FD(false detection)는 시작점이 아님에도 검출한 경우, M(missing)은 시작점을 검출하지 못한 경우를 나타낸다. TD, FD와 M의 판단은 육안 판별을 기준으로 하였다.

피험자 30명의 맥파 신호를 기존 알고리즘을 사용하여 분석한 결과를 표 1에 나타냈다. 이때 분석범위는 제안된 알고리즘의 분석 범위와 동일하게 분석 제외구

표 1. 연속 가압방식으로 측정된 맥파 신호의 특징점 검출을 위한 기존 알고리즘 성능

Table 1. Accuracy and sensitivity of conventional algorithm.

피험자ID	TD(개)	FD(개)	M(개)	정확도(%)	민감도(%)
1	48	3	2	90.2	94.12
2	48	0	2	95.83	100
3	24	1	1	92	96
4	51	3	3	88.89	94.44
5	22	0	0	100	100
6	31	0	2	93.55	100
7	39	2	0	95.12	95.12
8	61	1	3	93.55	98.39
9	51	0	0	100	100
10	39	0	1	97.44	100
11	51	1	8	82.69	98.08
12	24	3	1	85.19	88.89
13	67	1	0	98.53	98.53
14	26	1	0	96.3	96.3
15	33	0	0	100	100
16	40	1	0	97.56	97.56
17	37	2	0	94.87	94.87
18	15	1	0	93.75	93.75
19	27	0	0	100	100
20	51	0	0	100	100
21	46	1	1	95.75	97.87
22	68	0	1	98.53	100
23	63	2	0	96.92	96.92
24	43	2	0	95.56	95.56
25	36	3	1	89.74	92.31
26	69	1	0	98.57	98.57
27	49	0	1	97.96	100
28	35	0	0	100	100
29	35	0	3	91.43	100
30	32	5	0	86.49	86.49
합계	1261	34	30	-	-
평균	-	-	-	94.88	97.13

간을 설정하였다. 분석 결과 시작점이 아님에도 검출한 경우가 34개, 시작점을 검출하지 못한 경우가 30개였고 정확도는 94.88%, 민감도는 97.13%로 나타났다.

다음으로 본 논문에서 제안한 알고리즘을 사용하여 분석한 결과를 표 2에 나타냈다. 시작점이 아님에도 검출한 경우는 6개, 시작점을 검출하지 못한 경우는 1개로 나타났는데 이는 기존 알고리즘에 비해 각각 82.35%와 96.67% 향상된 수치이다. 또한 제안된 알고리즘의 정확도는 99.46%, 민감도는 99.51%로 나타났으며 이는 기존 알고리즘에 비해 각각 4.82%와 2.46% 향상된 수치이다.

그림 10에 29번째 피험자에 대한 검출 결과를 그래프로 나타내었다. 기존 알고리즘을 사용한 경우 신호의

표 2. 연속 가압방식으로 측정된 맥파 신호의 특징점 검출을 위한 제안된 알고리즘 성능

Table 2. Accuracy and sensitivity of proposed algorithm.

피험자ID	TD(개)	FD(개)	M(개)	정확도(%)	민감도(%)
1	50	0	0	100	100
2	50	0	0	100	100
3	25	0	0	100	100
4	54	0	0	100	100
5	22	0	0	100	100
6	33	0	0	100	100
7	39	1	0	97.5	97.5
8	63	1	1	96.88	98.44
9	51	0	0	100	100
10	40	0	0	100	100
11	59	0	0	100	100
12	25	0	0	100	100
13	67	0	0	100	100
14	26	1	0	96.3	96.3
15	33	0	0	100	100
16	40	0	0	100	100
17	37	1	0	97.37	97.37
18	15	0	0	100	100
19	27	0	0	100	100
20	51	0	0	100	100
21	47	0	0	100	100
22	69	0	0	100	100
23	63	1	0	98.44	98.44
24	43	0	0	100	100
25	37	1	0	97.37	97.37
26	69	0	0	100	100
27	50	0	0	100	100
28	35	0	0	100	100
29	38	0	0	100	100
30	32	0	0	100	100
합계	1290	6	1	-	-
평균	-	-	-	99.46	99.51

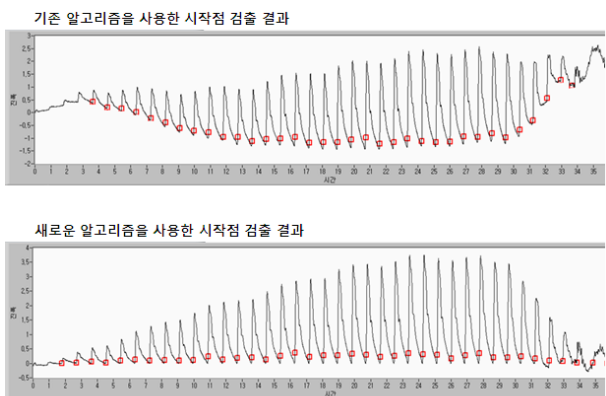


그림 10. 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 시작점 검출 결과 그래프 (단위는 그림3과 동일)

Fig. 10. Result graphs regard to upstroke detection of conventional and proposed algorithm.

처음과 끝 부분에서 시작점을 검출하지 못하였다. 반면 제안된 알고리즘을 사용한 경우 모든 맥파의 시작점을 올바르게 검출하는 것을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

맥진은 한의학에서 사용하는 대표적인 진단방법으로 맥파 신호를 측정하기 위해서 5개 내외의 특정 압력으로 요골동맥을 가압하는 방법을 사용해왔다. 하지만 이 방법은 PH-curve를 사용해 맥파 분석을 하기에는 데이터 수가 제한적이기 때문에 분석의 정교성과 신뢰성에 문제가 있다.

본 연구에서는 기존의 문제점을 해결하기 위해 연속 가압방식으로 맥파 신호를 측정하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 가압의 크기를 조금씩 연속적으로 증가시키는 방법으로 가압크기 증가에 따른 맥파 신호의 변화를 연속적으로 살펴볼 수 있고, 분해능이 크게 향상되므로 맥파 분석과 맥상 판별의 정확성을 높일 수 있다.

피험자 30명의 오른쪽 관 부위 맥파를 연속 가압방식으로 측정하고 이 맥파 신호의 시작점 검출을 위해 고속 푸리에 변환을 이용한 주기계산, Center-to-edges 방법의 피크 검출, 기저선 보정, 분석 제외구간 설정을 특징으로 하는 알고리즘을 개발하였다. 그 후 기존 알고리즘과의 시작점 검출 성능을 비교하였다.

비교 결과 기존 알고리즘의 정확도는 94.88%, 민감도는 97.13%로 나타났고 제안된 알고리즘의 정확도는 99.46%, 민감도는 99.51%로 나타났다. 이는 기존 알고리즘에 비해 제안된 알고리즘의 정확도가 4.82%, 민감도가 2.46% 향상된 수치이다. 따라서 기존 알고리즘보다 제안된 알고리즘이 연속 가압방식으로 측정한 맥파 신호의 시작점 검출을 위해 더 적합한 것으로 사료된다.

본 논문에서 제안한 연속 가압방식과 알고리즘을 사용해 맥파 신호의 특징점을 자동으로 검출한다면 정확한 맥파 분석이 가능할 것으로 기대된다. 하지만 신호의 끝 부분에서 노이즈를 시작점으로 검출하는 경우가 가끔 발생했기 때문에 더 정확한 분석을 위해서는 분석 제외구간 설정에 대한 심화 연구가 필요하겠다. 또한 추후 PH-curve를 이용하여 허실맥이나 부침맥 판별의 정확성을 비교할 계획이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Chu-Chang Tyan, Shin-Hong Liu, Jan-Yow Chen, Jian-Jung Chen, and Wen-Miin Liang, "A Novel Noninvasive Measurement Technique for Analyzing the Pressure Pulse Waveform of the Radial Artery," *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING*, Vol. 55, no. 1, pp. 288-297, January 2008.
- [2] 이진, 우영재, 전영주, 이유정, 김종열, "맥진기를 위한 동잡음 검출 시스템," *전자공학회 논문지*, 제 45권, SC편, 제5호, 310-316쪽, 2008년 9월
- [3] 임재중, "전달함수를 이용한 대동맥 맥파 추정 및 증강점 검출 알고리즘 개선에 관한 연구", *전자공학회 논문지*, 제45권, SC편, 제3호, 194-205쪽, 2008년 5월
- [4] 이진, 이유정, 전영주, 우영재, 김종열, "맥진 가압 트레이닝 시스템 개발," *전자공학회 논문지*, 제45권, SC편, 제6호, 457-462쪽, 2008년 11월
- [5] 費兆馥, "중국맥진연구," 의성당, 1993.
- [6] Jaek U. Kim, Young Ju Jeon, Young-Min Kim, Hae Jung Lee, and Jong Yeol Kim, "Novel Diagnostic Model for the Deficient and Excess Pulse Qualities," *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, Vol. 2012, doi:10.1155/2012/563958, 11 pages, 2012.
- [7] Jaek U. Kim, Young Ju Jeon, Yu Jung Lee, Keun Ho Kim, and Jong Yeol Kim, "Novel Diagnostic Algorithm for the Floating and Sunken Pulse Qualities and Its Clinical Test," *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, Vol. 2011, doi:10.1155/2011/813427, 10 pages, 2011.
- [8] 김성훈, 김재욱, 전영주, 김근호, 김종열, "새로운 맥상 파라미터를 이용한 허실맥 판단 방법," *동의생리병리학회지*, 제24권, 제1호, 42-47쪽, 2010년
- [9] 김성훈, 김재욱, 이유정, 김근호, 김종열, "맥진기를 이용한 새로운 부침맥 판단 방법," *동의생리병리학회지*, 제23권, 제6호, 1221-1225쪽, 2009년
- [10] 전영주, 김재욱, 배장한, 이해정, 김근호, 김종열, "개별센서모듈을 이용한 7채널 맥진센서의 선형성 평가," *2011년 대한전기학회 의용시스템학술대회*, 84-86쪽, 2011년 2월
- [11] Y. Christopher Chiu, Patricia W. Arand, Sanjeev G. Shroff, Ted Feldman and John D. Carroll, "Determination of pulse wave velocities with computerized algorithms," *American Heart Journal*, Vol. 121, no. 5, pp. 1460-1469, May 1991.
- [12] 이낙범, 임재중, "맥파전달속도 계산을 위한 특징점 검출 알고리즘 개발," *Trans. KIEE*, 제57권,



제5호, 902-907쪽, 2008년 5월

[13] Nievergelt, Yves, "Splines in Single and Multivariable Calculus," COMAP, 1993.

[14] Lisheng Xu, Kuanquan Wang, David Zhang, Yingshun Li, Zhijie Wan and Jing Wang, "Objectifying Researches on Traditional Chinese Pulse Diagnosis," *Informatica Medica Slovenica*, Vol. 8, no. 1, pp. 56-63, 2003.

[15] 민철홍, 김태선, "심전도기반 u-Healthcare 시스템을 위한 파형추출 방법," *전자공학회 논문지*, 제46권, CI편, 제6호, 18-26쪽, 2009년 11월

— 저 자 소 개 —



**배 장 한**(정회원)  
 2007년 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 학사 졸업.  
 2009년 성균관대학교 생명공학과 석사 졸업.  
 현재 한국한의학연구원 연구원.

<주관심분야 : 생체신호계측, 생체신호처리, 의료공학>



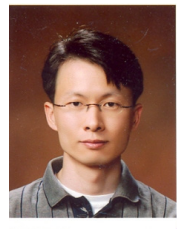
**전 영 주**(정회원)  
 1999년 인제대학교 의용공학과 학사 졸업.  
 2001년 전북대학교 의용생체공학과 석사 졸업.  
 2006년 전북대학교 메카트로닉스공학과 박사 졸업.

현재 한국한의학연구원 선임연구원.  
 <주관심분야 : 생체신호계측, 생체신호처리, 한방의료기기 개발>



**김 종 열**(정회원)  
 1983년 서울대학교 건축학과 학사 졸업.  
 1985년 한국과학기술원 토목공학과 석사 졸업.  
 1996년 경희대학교 한의학과 학사 졸업.

1998년 원광대학교 한의학과 석사 졸업.  
 2001년 원광대학교 한의학과 박사 졸업.  
 현재 한국한의학연구원 책임연구원.  
 <주관심분야 : 한방의료기기 개발, 데이터 마이닝, u-헬스 의료기기>



**김 재 욱**(정회원)  
 1998년 포항공과대학교 물리학과 학사 졸업.  
 2000년 Chalmers Univ. of Technology, Sweden 물리학과 석사 졸업.  
 2005년 Univ. of Gothenburg, Sweden 물리학과 박사 졸업.

현재 한국한의학연구원 선임연구원.  
 <주관심분야 : 맥진 원리규명 및 알고리즘 개발, 사상 체질 객관화 연구, 한의학 객관화 연구>