

# ECG를 이용한 심박수 자동측정기기 개발에 관한 실험적 연구

차 샘\*, 조 은 석\*\*, 이 기 영\*\*\*

## Experimental Research for Auto Measuring Machine of Heart Rate from ECG

Sam Cha\*, Eun Seuk Cho\*\*, Ki Young Lee\*\*\*

### 요 약

본 연구에서는 ECG를 통하여 심박수를 R-R 간격을 이용한 방법으로 자동 추출하는 방법에 관하여 연구하였다. 육안으로 측정된 심박수를 기준으로, 2차 미분을 이용하여 심박수를 추출하는 방법, 자기상관함수를 이용하여 심박수를 추출하는 방법을 비교하여 고찰하였다. 실험 데이터는 MIT/BIH database를 이용하였다. 이를 바탕으로 직접 ECG 측정기를 제작하여 심박수를 자동 측정하여 보고 기존의 환자감시장치(ICU)와 비교하여 보았다.

### ABSTRACT

In this study, heart rate through ECG R-R intervals using the methods about how to automatically extract studied. Heart rate as measured by the naked eye, using the 2-order differential equations to extract heart rate, using self-correlation function to extract the heart rate was compared contemplate. To verify its efficacy and validity in practical applications, these method has been applied to MIT/BIH database.

Based on this, making a ECG meter automatic heart rate measurements, and our ECG meter was compared with the existing ICU.

Keywords: ECG, Autocorrelation coefficient, MIT/BIH database, Heart Rate, ICU

### 1. 서 론

인간의 심장은 생리학적 관점에서 바라볼 때 끊임없이 전기적 신호가 발생하고 전도된다. ECG

(Electrocardiogram)란 심장전기도의 약칭으로 심근이 흥분을 하게 되면 이 흥분을 임의의 두 점에서 전류계(심전계)에 유도하여 심장의 활동전류를 그래프로 묘사한 것이다.

\* 교신저자 관동대학교 대학원 전자통신공학과 (ssam@kd.ac.kr)

\*\* 관동대학교 대학원 전자통신공학과 (eunseuk017@hanmail.net)

\*\*\* 관동대학교 의료공학과 (kylee@kd.ac.kr)

접수일자: 2009년 12월 24일, 수정일자: 2010년 1월 22일, 심사완료일자: 2010년 2월 19일

이것을 ECG라고 한다. 전극(Electrode)을 인체 표면에 부착하여 기록할 수 있다.[1]

ECG를 이용하여 1분동안의 심장박동을 가리키는 심박수를 유추해 낼 수 있다. 성인 남성의 경우 1분 동안 60~80회가 정상 수치이다. 심박수가 정상보다 적으면 서맥, 많으면 빈맥이라 하며 이 경우 여러 가지 질병에 걸릴 수 있으며 상황에 따라 사망에 이르기까지도 한다. 따라서 심박수는 건강상태를 알아볼 수 있는 최적의 지표라고 할 수 있다.

본 연구에서는 ECG로부터 심박수를 자동 추출하는 기존의 방법에 관하여 연구하였다. 육안으로 측정된 심박수를 기준으로 QRS 파형을 2차 미분을 이용하여 특징값을 구하여 심박수를 추출하는 방법과 자기상관함수를 이용하여 심박수를 추출한 방법으로 구한 심박수를 비교하여 고찰하였다. 실험 데이터는 MIT/BIH Database를 이용하였다.

이 실험 결과를 바탕으로 ECG추정기를 자체 제작하여 기존의 ICU와 성능을 비교하여 보았다.

## II. 심박수 측정 방법

### 2-1 QRS 파형

ECG에서 가장 중요한 부분은 심장 박동과 함께 나타나는 QRS파형이다. 그림 1은 심장의 움직임과 ECG파형의 상관관계에 대해 나타내었다. R파는 맥박이 촉진되기 때문에 가장 큰 수치를 나타내어 구분이 가장 간단하다. 보통 R파 1번에 심박수 1번이라 칭하며 R-R 간격을 이용하여 심박수를 측정할 수 있는데 측정 방법은 심박수의 기본 측정시간인 60초에 R-R간격의 시간을 나누어 주면 된다. 예를 들어, R-R간격의 시간이 0.8초라하면  $[60 / 0.8 = 75]$  가 되어 심박수는 75회가 된다.

R파를 기준으로 R파와 상반되는 움직임을 보이는 Q파와 S파를 한데 묶어 QRS파형 이라 한다.[2]

### 2-2 심전도의 R-R간격

#### 2-2-1 육안에 의한 R-R간격

심박수 추출 조장기의 방법으로 ECG를 보고 직접

눈으로 심박수를 측정하는 방법이다. 별다른 장비나 계산장치 없이도 가능한 방법이나, 직접 눈으로 보고 판단해야 하기에 측정시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 즉, 육안으로의 추출방법이란 바로 P파 ~ QRS파 ~ T파를 1분 동안의 횟수를 측정하는 방법이다.

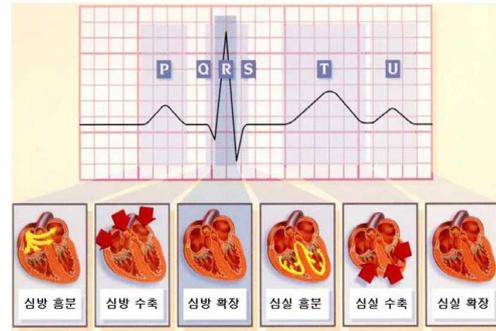


그림 1. ECG 신호의 발생과정  
Fig. 1 ECG signal during the occurrence

#### 2-2-2 2차 미분을 이용한 R-R간격

ECG의 R파를 검출 하기위해 심전도 신호  $x(t)$  를 시간  $t$ 로 2차 미분한 것의 절대값  $|x''(t)|$  중에서 최대값을 검출함으로써 R파의 위치를 구한다. 이 방법으로 심전도로부터 R-R 간격을 자동으로 구한다.[3]

#### 2-2-3 자기상관함수를 이용한 R-R간격

자기상관함수는 어떤 시간에서의 신호값과 다른 시간에서의 신호값과의 상관성을 나타내는 것으로 자기상관함수  $R_{xx}(\tau)$ 는 시간  $t$ 에서의 신호값  $x(t)$ 와 만큼의 시간지연이 있을 때 즉, 시간  $(t+\tau)$  에서의 신호값  $x(t+\tau)$ 의 곱에 대한 평균으로 다음과 같이 정의된다

$$R_{xx}(\tau) = \overline{x(t) \cdot x(t+\tau)} \quad (1)$$

$$= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t+\tau)dt$$

자기상관함수는 항상 실수값을 갖는 우함수이며  $\tau = 0$ 에서 최댓값을 갖는다. 이를 수식으로 나타

내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_{xx}(-\tau) &= R_{xx}(\tau) \\ R_{xx}(0) &\geq |R_{xx}(\tau)|, \text{ for all } \tau \end{aligned} \quad (2)$$

이와 같이 자기상관함수를 이용하여 최댓값을 구한 후 최댓값의 1/3을 취하여 이 수치보다 큰 값들만을 추출하여 심박수를 측정하는 방법이다.

### III. 실험 및 고찰

MIT/BIH database 자료를 가지고 측정하였으며 측정방법은 육안과 2차미분, 자기상관함수를 이용한 방법이다. 심박수 추출 방법은 visual studio C++로 제작한 프로그램으로 수행하였다.

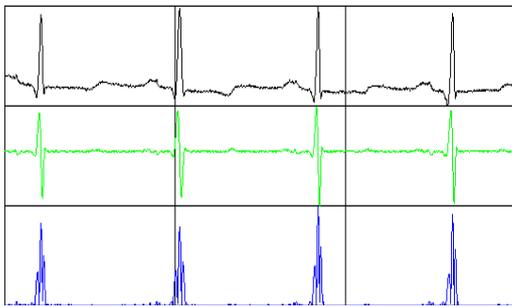


그림 2. 심전도 신호 2차 미분의 절대값  
Fig 2. The 2nd derivative of the absolute value of ECG signals

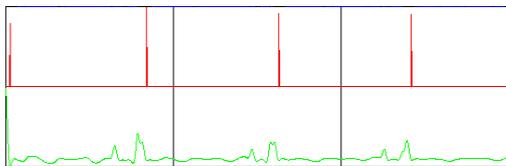


그림 3. 심전도 신호의 자기상관함수  
Fig 3. Self-correlation function of the ECG signal

그림 2, 3은 자체 제작한 심박수 측정프로그램의 그림으로 그림 2의 가장 위쪽의 파형은 ECG파형이며, 두 번째 파형은 ECG의 1차 미분, 세 번째 파형은 ECG를 2차미분한 후의 절대값을 보이고

있다. 그림 3의 첫 파형은 자기상관함수를 이용하여 검출한 R-파, 세 번째 파형은 ECG의 자기상관함수 파형을 나타내고 있다.[4]

#### 3-1 심박수의 측정 및 고찰

표 1. 측정된 심박수의 비교  
Table 1. Comparison of measured heart rate

No.	육안 측정	2차미분 측정	자기상관함수 측정
100	73	73	73
101	67	67	67
102	72	72	72
103	68	68	70
104	74	74	74
107	70	69	70
109	88	88	87
111	68	69	68
112	86	86	86
113	56	56	57
115	61	60	62
116	77	77	78
117	49	49	48
118	71	71	71
119	64	65	69
121	58	58	59
121	62	62	61
122	87	87	87
123	51	50	50
128	49	49	49

육안으로 측정된 심박수와 2차미분을 이용하여 구한 심박수와 자기상관함수를 이용하여 구한 심박수를 비교해 보았다.

육안측정 방법은 일분동안의 QRS파형을 일일이 눈으로 세었으며 2차미분 방법과 자기상관함수 측정 방법은 1초간격으로 화면에 나타나있는 QRS파형을 기준으로 계산하여 심박수를 나타내었으며 이 과정을 1분 동안 측정 즉, 60번의 계산값을 구한 후 평균을 나타낸 값이다.

본 연구에서는 비교적 정확한 육안에 의해 검출한 심박수를 기준으로 하였다. 표 1은 본 연구에서 이용한 세 가지 방법에 의한 심박수를 비교하였다. 육안으로 측정된 값을 기준으로 하여 육안과 2차미분을 이용하였을 때 심박수의 값이 일치하는 경우는 총 20번 중에 14번으로 약 70%의 일치율을

보였다. 육안 측정값과 자기상관함수를 이용한 측정값은 10번으로 일치율이 50%로 나타났다.

실험의 기준으로 삼은 육안으로의 추출방법은 실시간으로 추출할 수 없으며 시간이 오래 걸린다는 단점이 있었다. 그러나 자동 추출방법인 2차 미분을 이용한 방법은 심전도 신호를 2차미분한 다음 절대값을 이용하기 때문에 2차 미분하여 절대값을 취한 신호를 모니터링 하였을 때 육안으로도 비교가 용이할 뿐만 아니라 실시간으로 자동추출이 가능함을 확인하였다. 또한 육안에 의한 심박수와 의 오차가 자기상관함수에 의한 방법보다 정확하였다. 자기상관함수에 의한 심박수 자동추출방법을 모니터링 하였을 때 육안으로의 구분이 2차 미분방법보다 어려웠다. 또한 계산 량으로 비교하였을 때 자기상관함수를 사용하여 심박수를 측정하는 방법은 데이터 수보다 많은 곱셈을 필요로 하지만 2차 미분방법에서는 곱셈이 필요하지 않다. 따라서 계산 량도 2차 미분방법이 자기상관함수 방법보다 적어 프로그램 작성 및 실행시간에서 유리함을 알 수 있었다.

### 3-2 ECG 측정기기 제작

위와 같은 실험결과를 바탕으로 2차미분과 자기상관함수 방법을 통한 측정방법을 적용한 ECG 측정 및 심박수 자동추출 기기를 제작해 보았다.

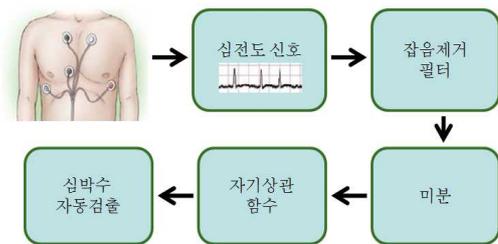


그림 4. 기기 작동 순서도  
Fig. 4 Machine operation flowchart

그림 4는 제작 블록도를 나타내고 있다. 전극을 이용하여 심전도신호를 추출해 내고 잡음제거 필터를 거친 신호를 2차미분하여 나온 값을 다시 자기상관함수로 계산해 내어 특징점을 추출하여 심

박수를 측정해 내었다.

여러 가지 필터들을 조합하여 잡음제거 필터를 제작하였으며, P-spice를 이용하여 증폭기 및 필터를 설계하여 시뮬레이션 한 후 기판에 옮겨 제작하였다. 그림 5는 P-spice를 사용하여 설계한 고역 통과필터와 저역통과필터를 나타내고 있다.

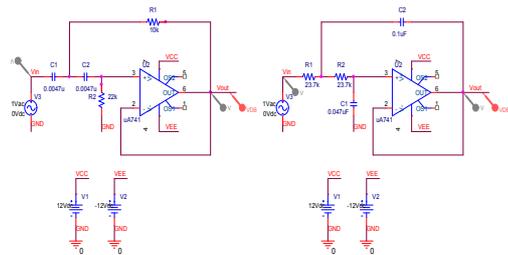


그림 5. 고역통과 및 저역통과 필터  
Fig. 5 High pass filter and low pass filter

ECG 측정기에 전극을 통하여 심전도를 입력하면 그 입력된 신호를 오실로스코프에 연결하여 심전도 파형을 볼 수 있게 제작하였다. 또한 이 파형을 PC와 의 직렬통신으로 연결하여 C언어로 제작한 프로그램으로 심박수를 추출해 내는 기기를 제작하였다. 그림 6에서 그 과정을 보여주고 있다.

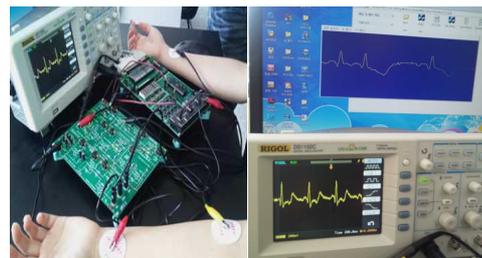


그림 6. 심전도 측정 과정  
Fig. 6 ECG measurement process

그림 7은 오실로스코프에서 PC로 전송한 후 나타난 ECG 신호파형과 심박수이고 그림 8은 기존의 ICU에서 측정된 ECG신호와 잡음제거필터, 2차미분 자기상관함수를 거친 파형을 나타내고 있다. 그림 7의 ECG파형과 그림 8의 가장 위의 ECG 파형이 비슷함을 보아 제작한 기기가 정상적으로 작동함을 알 수 있다.

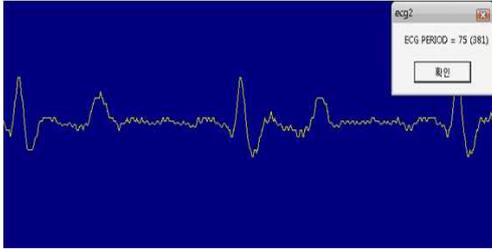


그림 7. PC로 전송된 심전도 파형  
Fig. 7 ECG waveforms are sent to PC

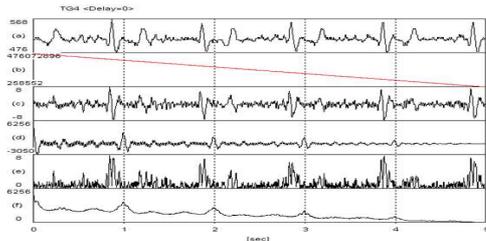


그림 8. 기존의 기기로 측정된 파형  
Fig. 8 Waveform measured by conventional mechanical

표 2. 기존측정방법과 성능비교  
Table 2. Existing measurement methods and performance comparison

No.	육안 측정	자체제작 기기
100	73	73
101	67	68
102	72	72
103	68	68
104	74	74
107	70	70
109	88	88
111	68	69
112	86	86
113	56	56
115	61	60
116	77	77
117	49	49
118	71	71
119	64	64
121	58	56
121	62	62
122	87	87
123	51	50
128	49	50

자체 제작한 ECG측정기로 계산한 심박수는 기존의 육안측정방법과 비교하여 20번의 샘플중 14번이 일치하여 70%의 확률을 보였다. 이는 제작한 측정기의 성능이 기존의 ICU와 비교하여 크게 떨어지지 않는다는 결론을 얻을 수 있었으며 기존의 ICU보다 더 저렴하게 제작할 수 있었다.

### V. 결론

본 연구에서는 ECG에서 심박수를 자동으로 추출하기 위하여 사용되는 방법들에 대하여 연구하였다. 실험을 위하여 MIT/BIH Database의 자료를 사용하였으며, Visual Studio C++ 로 제작한 프로그램으로 자동 추출하였다.

심박수의 기준으로 삼은 육안으로의 추출방안은 단지 모니터링만으로 측정할 수 있어 간편하였으나 시간이 오래 걸린다는 단점이 있었다. 그러나 자동 추출방법인 2차 미분을 이용한 방법에서는 심전도 신호를 2차미분한 절대값을 이용하기 때문에 육안으로도 비교가 용이할 뿐만 아니라 실시간으로 자동추출이 가능하였다. 또한 육안에 의한 심박수와의 오차가 자기상관함수에 의한 방법보다 정확하였다. 또한 자기상관함수를 사용하여 심박수를 측정하는 방법의 계산량은 데이터 수보다 많은 곱셈을 필요로 하기 때문에 2차 미분방법보다 많은 계산량이 필요하다. 또한 자기상관함수를 사용할 경우 2차 미분을 이용하였을 때와 비교하여 파형이 명확하지 않았다.

따라서 2차 미분을 이용한 심박수의 자동 추출 방법이 자기상관함수를 이용한 방법보다 용이하며 정확함을 확인하였다.

위와 같은 결과를 가지고 직접 ECG 측정기를 제작하여 보았으며, 그 결과 기존의 ICU보다 성능은 크게 떨어지지 않으면서 더욱 저렴한 기기를 제작할 수 있었다.

### 참고 문헌

[1] G. S. Wagner, Marriott's Practical Electrocardiography, William & Wilkins, 1994.

- [2] 김찬우, "Realtime detection of P, QRS, T, PVC wave in ECG signal", 석사학위논문, 명지대학교, 2002년.
- [3] 이기영, 김민규, 김정국, "기울기 추적과를 이용한 심전도의 P파 및 T파 검출 알고리즘", 대한 전자 공학회 정보 및 제어 학술대회, 35~37쪽, 2005년 10월.
- [4] 조은석, 차샘, 이상식, 이기영, "ECG 심박수의 자동 추출법에 관한 연구", 한국정보전자통신기술학회논문지, 2권, 3호, 2009년

이 기 영 (Ki Young Lee)

정회원



1992년 2월 명지대학교  
전자공학과 (공학박사)  
2008년 2월 성균관대학교  
생명공학과 박사수료  
1993년~현재 관동대학교  
의료공학과 교수

<관심분야> 의용전자 및 생체 신호처리,  
기계 요소학, 디지털 신호처리

---

저자약력

---

차 샘 (Sam Cha)

정회원



2008년 2월 관동대학교  
정보통신공학과 (공학사)  
2010년 2월 관동대학교 대학원  
전자통신공학과 (공학석사)

<관심분야> 정보통신, 의공전자

조 은 석 (Eun Seuk Cho)

정회원



2008년 2월 관동대학교  
정보통신공학과 (공학사)  
2010년 2월 관동대학교 대학원  
전자통신공학과 (공학석사)

<관심분야> 정보통신, 의공전자