

논문 2010-47SC-3-6

심초음파용 실시간 심전도 QRS 검출 모듈에 관한 연구

(A Design of Real-Time QRS Detection in Physio-Module for Echocardiography)

장원석*, 김남현**, 김응석***, 전대근***

(Won-Seuk Jang, Nam-Hyun Kim, Eong-Sok Kim, and Dae-Keun Jeon)

요약

본 연구는 심초음파에서 사용되는 실시간 심전도 QRS 검출성능 및 심전도 trigger 시간 지연 등의 생체신호측정모듈의 성능 개선을 확인하고자 하였다. 심초음파에서 사용되는 생체신호측정모듈의 심전도 QRS 검출에 대한 성능 평가 중에서 심전도 QRS 크기와 폭에 따른 검출성능, Tall T-wave 제거성능, 부정맥이 있는 심전도의 QRS 검출성능 및 Pacer pulse 검출성능은 심전도 국제 규격인 EC-13을 기준으로 성능을 비교 평가하였으며, QRS의 trigger 신호 지연 시간 및 기저선 복귀시간은 기존에 상용화되어 심초음파에 사용되고 있는 생체신호측정모듈의 성능과 비교 평가하였다. 본 연구에서는 위 4가지 항목은 국제규격인 EC-13 기준을 크게 만족하였으며, QRS의 trigger 신호 지연 시간은 심박수에 따라 17m~21ms 빠른 검출 결과를 보였으며 심전도 기저선 복귀시간도 1 beat 이상 빠른 결과를 보였다.

Abstract

In this study, we investigated the performance of real-time QRS complex detection algorithm in physio-module for echocardiography. The performance of QRS detection module in echocardiography was evaluated according to international standard, EC-13 and we compared with commercialized physio-module with QRS complex detection. In this study, we can get performance of QRS complex detection, pacer pulse detection, Tall t-wave rejection and arrhythmia detection within EC-13's criteria and we can get improved QRS trigger delay time and baseline wondering rejection times in compared with commercialized physio-module.

Keywords : 생체측정모듈(Physio Module), 심전도(ECG), 심초음파(Echo-Cardiography), 부정맥(Arrhythmia)

I. 서론

생체신호측정모듈은 심전도 등의 생체 신호를 측정하여 심초음파 장비에 보내는 장치로써 심초음파 영상을 진단하는데 시간에 대한 기준 또는 흉곽의 움직임 상태를 알려 줄 수 있는 장치이다. 초음파 장비는 초음

파 영상을 출력하면서 동시에 생체신호측정모듈에서 전송되어 온 신호를 영상과 동기화하여 화면에 출력하게 된다.

그림 1은 심초음파에서 생체신호측정모듈의 심전도 신호를 받아 초음파영상과 함께 보여 주는 예이다.

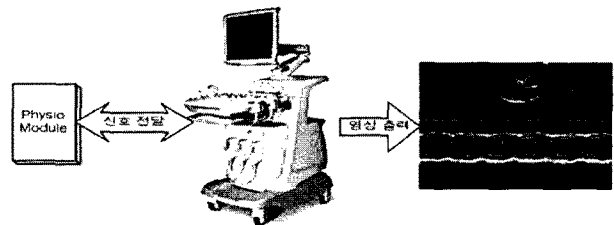


그림 1. 심초음파에서 생체신호측정모듈의 사용 예
Fig. 1. Physio-module in Echocardiography.

* 정희원, 연세대학교 대학원 생체공학협동과정
(Department of Biomedical Engineering, Graduate School, Yonsei University)

** 정희원, 연세대학교 의과대학 의학공학교실
(Department of Medical Engineering, College of Medicine, Yonsei University)

*** 정희원, (주)메디아나 기업부설연구소
(R&D Center, MEDIANA Co. Ltd.)

접수일자: 2010년3월29일, 수정완료일: 2010년4월26일

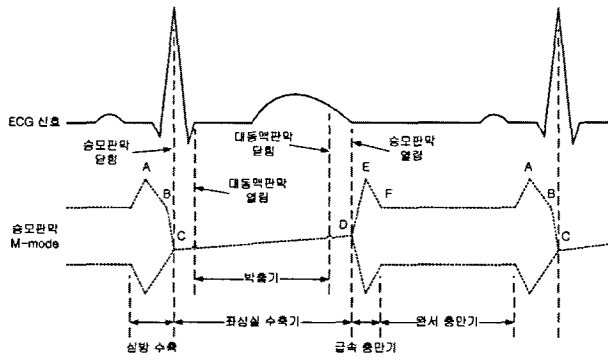


그림 2. 심전도와 승모판막 M-mode 영상 관계
Fig. 2. ECG and Heart's M-mode image.

특히, 심초음파의 M-mode 영상에서 심실 근육의 두께 변화를 측정할 때, 심실 수축의 시작 시점을 심전도의 QRS 신호의 발생 시점으로 하기 때문에 심초음파 영상 진단에서 심전도 QRS 신호는 매우 중요한 파라미터이며, 실시간 QRS 검출 정확도 및 QRS trigger 지연 시간의 최소화 기술이 필요하다.

그림 2는 심전도 신호와 승모판막의 M-mode 영상에 대한 움직임 관계를 보여 준다.

승모판막의 M-mode 영상을 중심으로 설명하면 다음과 같다. A 시점은 심방의 수축으로, 좌심방의 혈액이 좌심실로 한꺼번에 흐른다. 그때 이미 열려 있던 승모판막이 더 열리게 된다. 심전도에서는 PR segment에 해당한다. B 시점은 A에서 C의 도중에 선이 구부러지는 특징을 보인다. 심전도 상에서는 QRS의 시작 부분이다. C 시점은 좌심실이 수축하기 시작하며, 승모판막은 닫힌다. 이때가 대체로 QRS의 R peak에 해당한다. D 시점은 수축기가 끝나고 승모판막은 열린다. 이때 심실의 이완이 끝나는 시점으로 T 파의 끝 부분이 된다. E 시점은 확장기의 처음이다. 좌심방내의 혈액이 붓물 터지듯 좌심실로 흘러 들어온다. 승모판막도 활짝 열린다. F 시점은 Rapid ventricular filling phase(Fill)가 한 단락 마무리되는 지점에서 선은 평평해 진다. E와 F 시점에서의 심전도는 특이점이 없으며, 대체로 기저선을 유지한다.

이를 한 주기로 심장에 의한 심전도 신호와 혈액의 움직임, 심근의 두께 변화, 심장 판막의 움직임 등을 관찰할 수 있으며, 생체신호측정모듈의 측정 신호와 초음파 영상의 동기화된 모습을 볼 수 있다.

II. 실험 방법

본론에서는 생체신호측정모듈에서 요구하는 심전도 신호에 대한 기능에 대한 기능을 설명하고, 기능 구현을 위한 방법에 대하여 설명하도록 한다.

1. 개발된 심전도 신호 측정

심전도 신호는 3 wire cable을 사용하여 RA, LA, LL 에 전극을 부착하여 측정하는 Einthoven 이론을 적용하였다.^[1]

측정 신호는 lead I, II, III를 선택하여 하나의 채널을 측정하게 되며, 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} I &= E_{LA} - E_{RA} \\ II &= E_{LL} - E_{RA} \\ III &= E_{LL} - E_{LA} \end{aligned} \quad (1)$$

여기에서, E_{LA} , E_{RA} 와 E_{LL} 은 각각 왼쪽과 오른쪽 팔 그리고 왼쪽 다리의 전위값이다. 각 lead를 측정할 때 사용하지 않는 전극은 회로와 피검자의 기준 전위를 설정하는데 사용하며, 이를 위해 driven 회로를 구성하여 공통성분 잡음을 줄이는 동시에 환자 누설 전류를 줄이는 효과를 갖도록 한다.^[2]

심전도 신호의 주파수 특성은 0.2~30Hz로 설정하였다. 진단용 심전계는 보통 0.05~150Hz, 모니터용 심전계는 보통 0.5~40Hz이지만, 생체신호측정모듈은 QRS를 검출하는 것을 목적으로 하기 때문이다. 심전도의 입력 범위는 $\pm 7mV$ 이고, 입력 신호의 유동 범위는 $\pm 400mV$ 로 설정하였다. Pacer pulse detection 기능이 있으며, 이를 이용하여 pacer pulse 신호를 제거한 후 QRS를 검출할 수 있도록 한다. 전극의 부착 여부를 감지하여 심전도를 측정할 수 있는 상태인지 아닌지를 자동으로 판단할 수 있도록 한다. 또한, 전극 착탈 시 발생하는 offset에 의해 심전도 신호 측정이 지연되는 현상을 고려하여, 심전도 신호가 기저선으로 빠르게 복귀할 수 있도록 high pass filter의 주파수를 변경할 수 있는 방법을 구성하였다.

피검자의 몸에 전기회로를 직접 연결하는 것이기 때문에 의료기기 안전에 관한 국제 규격을 따른다. 심전도 측정을 위한 회로는 일반 전원과 4000VAC의 내전압을 유지하도록 설계 하였으며, 환자 누설 전류도 CF 등급으로 설계하였다.^[3]

또는 심장 제세동기를 사용할 수 있는 상황을 대비하

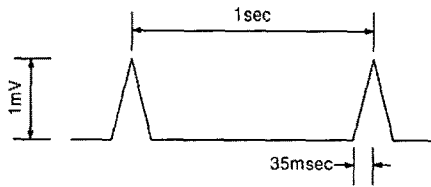


그림 3. 심전도 신호의 test pattern
Fig. 3. ECG's test pattern.

여 심장 제세동기의 높은 전압과 에너지로부터 심전도 측정 회로가 보호되도록 설계하였다.

신호 sampling은 1,000samples/sec로 하여 QRS 검출 시간 지연을 최소화 할 수 있도록 하였고, AD 변환기의 resolution은 12bit를 사용하였다.

회로의 정상 동작 여부를 확인하기 위해 test pattern 신호를 생성하여 측정이 가능하다. test pattern 신호는 duty cycle이 10%인 1Hz 주기의 구형파를 발생시킨 후 이를 적분기 회로로 삼각파를 만든 후 크기를 조정한다. 그림 3은 심전도 신호의 test pattern을 보여 준다

2. 개발된 QRS 검출 알고리즘

생체신호측정모듈은 측정된 심전도 신호의 QRS tigger 시간 지연을 최소화하여 심초음파 장비에 전달하여야 한다. 특히 심전도의 QRS 검출 결과는 초음파 영상 진단에 필요한 시간 기준으로 사용되기 때문에 시간 지연이 없는 것이 가장 이상적이지만, 현실적으로 발생하는 측정 시스템에서의 시간 지연을 최소화하는 것이 바람직하다.

QRS의 검출은 Q 파의 시작점을 검출하는 것이 가장 좋지만, Q 파는 파형의 크기가 작아 실시간으로 검출이 어렵고, 심박동 주기가 여러 가지 원인으로 변하기 때문에 정확히 Q 파의 발생 시간을 예측하기도 어렵다.

변화의 폭이 가장 큰 R 파 또는 S파를 검출하는 최소 시간 지연으로 찾는 것이 현재 기술 수준이다.

시간 지연을 최소화하기 위해서는 단순한 신호처리 후 가변 threshold를 사용하는 방법을 사용하였다.^[4-5] 실시간으로 QRS를 검출하면서 신호처리 동안 시간 지연이 적은 방법들의 공통점은 pass filter를 사용하여, 가변 QRS 검출 threshold를 사용하는 방법을 사용하는 것을 채택하였다.

실시간 QRS 검출 방법에서 사용하는 신호처리는 bandpass filter, differentiation, squaring 함수 또는 절대값 함수를 순서대로 작용한다. 신호처리 결과 신호에서 설정된 threshold 보다 큰 신호를 QRS로 간주한다.



그림 4. QRS 검출 신호처리 예 (a) 신호처리 전의 심전도 (b) bandpass filter 출력 신호 (c) bandpass filter 출력을 differentiation과 squaring 처리 결과
Fig. 4. QRS detection (a) original ECG (b) signal applied bandpass filter (c) differentiation & squaring signal applied bandpass filter.

그림 4는 신호처리에 의해서 심전도 신호가 어떻게 변하는지를 보여주는 예이다.

Threshold는 최대값에 대해 1보다 작은 값의 비율로 정하게 되는데, 몇 개의 검출 결과를 평균하여 사용하는 경우도 있다.^[6]

본 연구에서는 bandpass filter와 differentiation, 절대값 함수를 이용하여 신호처리를 실시하였다.

QRS 검출을 최대한 빨리하기 위해서는 QRS의 threshold를 낮게 잡아야 되지만, 이는 근전도 잡음을 신호로 검출하거나, T wave가 클 경우 이를 검출하는 오류를 유발한다.

근전도 잡음의 오류를 줄이려면, threshold를 높여야 하지만, 이는 부정맥을 검출하지 못하게 되는 문제가 있다. 개발된 장비는 EC13에서 요구하는 수준의 QRS 검출 성능을 발휘하기 위해서, 낮은 QRS threshold를 갖도록 설계하였으며, tall T wave를 제거하기 위해서 QRS 검출 이후의 일정 구간 동안은 threshold가 높은 값이 되도록 가변 threshold를 적용하였다.

III. 실험 및 결과

모듈의 기능 검사를 위해서 초음파 장비를 대신할 수 있도록 PC에서 LabView 8.5를 이용하여 테스트 프로그램 구성하였으며, 이를 이용하여 측정 신호를 출력하고 검출 결과를 확인하였다.

생체신호측정모듈에 대한 성능 평가 실험 방법 중 심

전도는 환자 모니터 장비에 대한 국제 규격 중의 하나인 EC-13을 기준으로 시험하였다. 생체신호측정모듈의 심전도는 환자 모니터 장비와 특성이 유사하며, 국제적으로 적용되는 또 다른 규격인 IEC60601-2-27의 내용과 대부분의 내용이 일치하기 때문이다. 규격 EC-13에서는 심전도 실험을 위한 자세한 방법이 제공되고 있으며 이를 적용할 수 있는 사항을 선택적으로 실험하였다.^[7]

또한 이미 상용화되어 기존의 생체신호측정모듈과 비교 실험하여 QRS 검출 성능 및 검출 지연 시간을 비교하였다. 비교 대상은 N사에서 제조한 생체신호측정모듈이다.

1. 규격 EC 13에 따른 QRS 검출 평가

가. QRS 크기 및 폭에 따른 검출 성능

이 실험은 EC13의 “4.2.6.1 Range of QRS wave amplitude and duration” 내용으로 여러 크기와 폭을 가진 QRS를 대상으로 검출 성능을 평가하는 항목이다. 실험 결과는 표 1과 같으며, 모든 검출 사항에서 성능을 만족하였다.

표 1. QRS 크기 및 폭에 따른 검출 성능 평가 결과
Table 1. Results for QRS's amplitude and width.

QRS Signal	BPM						Acceptance Criteria	Result
	30	80	120	200	250	300		
0.15mV 100ms	29	79	119	199	249	299	Within ±3BPM	Pass
0.15mV 40ms	29	79	119	199	249	299		Pass
0.15mV 70ms	29	79	119	199	249	299		Pass
0.15mV 80ms	29	79	119	199	249	299		Pass
0.15mV 120ms	29	79	119	199	249	299		Pass
0.5mV 100ms	29	79	119	199	249	299		Pass
0.5mV 40ms	29	79	119	199	249	299		Pass
0.5mV 70ms	29	79	119	199	249	299		Pass
0.5mV 80ms	29	79	119	199	249	299		Pass
0.5mV 120ms	29	79	119	199	249	299		Pass
1mV 100ms	29	79	119	199	249	299		Pass
1mV 40ms	29	79	119	199	249	299		Pass
1mV 70ms	29	79	119	199	249	299		Pass
1mV 80ms	29	79	119	199	249	299		Pass
1mV 120ms	29	79	119	199	249	299		Pass
5mV 100ms	29	79	119	199	249	299		Pass
5mV 40ms	29	79	119	199	249	299		Pass
5mV 70ms	29	79	119	199	249	299		Pass
5mV 80ms	29	79	119	199	249	299		Pass
5mV 120ms	29	79	119	199	249	299		Pass

나. Tall T-wave 제거 성능

EC13의 “4.1.2.1 Disclosure of performance

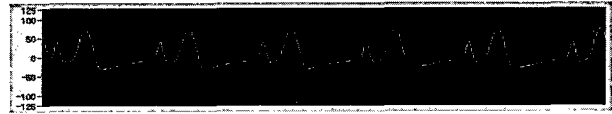


그림 5. 1.6mV의 T 파를 실험한 경우 예

Fig. 5. T-wave with 1.6mV amplitude.

표 2. Tall T-wave 제거 성능 평가 결과
Table 2. Result for T-wave rejection.

T-wave	HR (bpm)	Acceptance Criteria	Result
0.2mV /100ms / 80bpm	79	Until 1.2mV within 80±8Bpm	Pass
1.2mV /100ms / 80bpm	79		
1.6mV /100ms / 80bpm	79		

specifications, c) Tall T-wave rejection capability” 내용을 실험하는 것으로 T wave의 크기가 큰 상황에서 QRS로 오인하는 경우가 있는지를 평가하는 실험이다. 그림 5는 T 파가 1.6mV인 경우에서 실험한 결과의 예이다.

실험 결과는 표 2와 같다. 규격에서 요구하는 성능은 QRS 파가 1mV일 때, T 파가 1.2mV 이하의 경우에서 오류가 없어야 한다. 실험 결과 T 파가 1.6mV의 경우에서도 오류가 없어서 규격에 만족한다.

다. 부정맥이 있는 심전도 신호의 QRS 검출 성능

EC13의 “4.1.2.1 Disclosure of performance specifications, e) Heart rate meter accuracy and response to irregular rhythm” 내용을 실험하는 것이다. 이 실험은 QRS의 모양과 크기가 변하는 부정맥 상황에서 QRS의 검출 성능을 평가하는 것으로써, 실험 파형은 규격에서 제시하는 4종류의 부정맥 파형으로 그림 6, 7, 8, 9와 같다. 이는 QRS를 검출하는 성능을 평가하기에는 충분한 부정맥의 경우를 포함하고 있다고 할 수 있다.

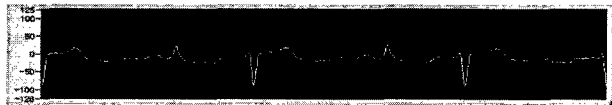


그림 6. “3a Ventricular bigeminy” 실험

Fig. 6. “3a Ventricular bigeminy”.

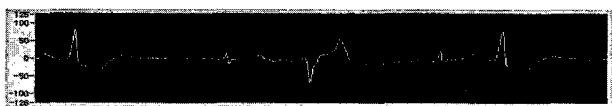


그림 7. Slow alternating ventricular bigeminy 실험

Fig. 7. Slow alternating ventricular bigeminy.

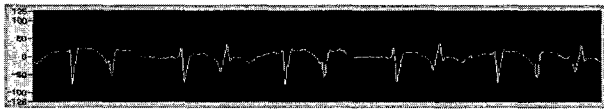


그림 8. “3c Rapid alternating ventricular bigeminy” 실험
Fig. 8. “3c Rapid alternating ventricular bigeminy”.

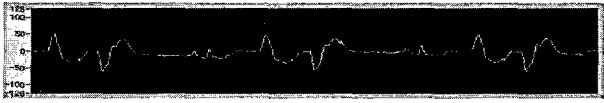


그림 9. “3d Bidirectional systoles” 실험
Fig. 9. “3d Bidirectional systoles”.

표 3. 부정맥이 있는 심전도 신호의 QRS 검출 성능 평가 결과

Table 3. Results for QRS detection in ECG with arrhythmia.

irregular rhythm	HR(bpm)	Acceptance Criteria	Result
3a Ventricular bigeminy	77~82	80±8Bpm	Pass
3b Slow alternating ventricular bigeminy	63~68	60±6Bpm	Pass
3c Rapid alternating ventricular bigeminy	118~120	120±12Bpm	Pass
3d Bidirectional systoles	82~94	90±9Bpm	Pass

실험 결과는 모든 부정맥의 QRS를 검출하여 규격에서 제시하는 심박수를 표시하였으며, 실험 결과는 표 3과 같다.

라. Pacer pulse 제거 성능

EC13의 “4.1.4.1 Pacemaker pulse rejection without overshoot” 내용을 실험하는 것이다. 이 실험은 pacer pulse 검출 기능을 사용할 때와 사용하지 않을 때, QRS

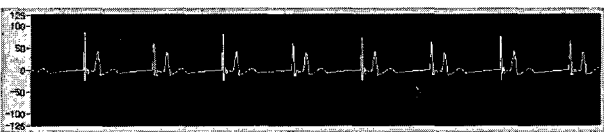


그림 10. Pacer pulse와 QRS가 동시에 존재하는 심전도 파형에서 Pacer pulse 검출 기능을 사용하지 않은 경우의 QRS 검출 결과
Fig. 10. QRS detection without Pacer pulse detection.

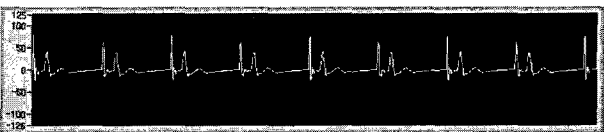


그림 11. Pacer pulse와 QRS가 동시에 존재하는 심전도 파형에서 Pacer pulse 검출 기능을 사용한 경우의 QRS 검출 결과
Fig. 11. QRS detection with Pacer pulse detection.

검출 결과를 평가하는 것으로써, Pacer pulse 검출 기능을 사용할 때는 pacer pulse를 QRS로 검출하면 안된다. Pacer pulse는 QRS와 마찬가지로 매우 파형이 크고 특

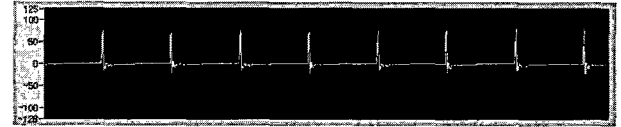


그림 12. Pacer pulse 만 존재하는 심전도 파형에서 Pacer pulse 검출 기능을 사용하지 않은 경우의 QRS 검출 결과
Fig. 12. QRS detection without Pacer pulse detection in signal with no QRS.

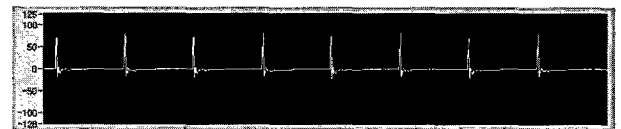


그림 13. Pacer pulse 만 존재하는 심전도 파형에서 Pacer pulse 검출 기능을 사용하지 않은 경우의 QRS 검출 결과
Fig. 13. QRS detection with pacer pulse detection in signal with no QRS.

표 4. Pacer pulse와 QRS가 동시에 존재하는 심전도 파형에서 pacer pulse 제거 성능 평가 결과

Table 4. Results for QRS detection in ECG with QRS and pacer pulse.

Interval	Pacer Pulse		Pacer Detect		Result
	Duration	Amplitude	OFF	ON	
40ms	0.1ms	+/- 2 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 10 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 100 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 200 mV	Pacer	QRS	Pass
	2ms	+/- 2 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 10 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 100 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 200 mV	Pacer	QRS	Pass
150ms	0.1ms	+/- 2 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 10 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 100 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 200 mV	Pacer	QRS	Pass
	2ms	+/- 2 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 10 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 100 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 200 mV	Pacer	QRS	Pass
250ms	0.1ms	+/- 2 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 10 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 100 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 200 mV	Pacer	QRS	Pass
	2ms	+/- 2 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 10 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 100 mV	Pacer	QRS	Pass
		+/- 200 mV	Pacer	QRS	Pass

표 5. Pacer pulse 만 존재하는 심전도 파형에서 pacer pulse 제거 성능 평가 결과

Table 5. Results for pacer pulse detection in ECG with only pacer pulse.

Pacer Pulse		Pacer Detect		Result
Duration	Amplitude	OFF	ON	
0.1ms	+/-2 mV	Pacer	No indication	Pass
	+/-10 mV	Pacer	No indication	Pass
	+/-100 mV	Pacer	No indication	Pass
	+/-200 mV	Pacer	No indication	Pass
2ms	+/-2 mV	Pacer	No indication	Pass
	+/-10 mV	Pacer	No indication	Pass
	+/-100 mV	Pacer	No indication	Pass
	+/-200 mV	Pacer	No indication	Pass

특한 특성을 갖고 있어 QRS와 구분하기 어렵다.

이 실험은 pacer pulse에 의해서 동기화된 QRS가 발생하는 정상 기능 상태와 pacer pulse는 발생하지만 QRS는 발생하지 않는 비정상 기능 상태를 구분하여 평가한다.

그림 10은 pacer pulse와 QRS가 동시에 존재하는 심전도 파형에서 pacer pulse 검출 기능을 사용하지 않은 경우이며, QRS 검출 결과는 QRS가 아닌 pacer pulse 임을 알 수 있다. 그림 11은 pacer pulse 검출 기능을 사용한 경우이며, QRS 검출 결과는 pacer pulse가 아니고 QRS 임을 알 수 있다.

그림 12는 QRS가 없이 Pacer pulse 만 존재하는 심전도 파형에서 pacer pulse 검출 기능을 사용하지 않은 경우이며, QRS 검출 결과는 pacer pulse를 검출하고 있음을 알 수 있다. 그림 13은 pacer pulse 검출 기능을 사용한 경우이며, QRS 검출 결과는 pacer pulse를 검출하지 않고 asystole 상태임을 알 수 있다.

이 실험의 평가 결과는 표 4와 표 5와 같다. 모든 결과는 규격을 만족하고 있다.

2. 기존 생체신호측정모듈과 QRS 검출 비교 평가

가. QRS trigger 지연시간 측정 및 비교

이 실험은 EC 13에 있는 항목은 아니지만, QRS trigger 신호가 초음파 영상의 동기 신호로 중요한 의미를 갖고 있으므로 중요한 요소 중의 하나이다.^[8]

심전도 신호는 측정 회로를 지나는 동안 신호의 위상 변화와 디지털 신호처리 시간 등으로 신호의 지연이 생기며, 검출에 필요한 상황 판단 또한 시간 지연을 초래한다. QRS trigger 신호는 입력 신호를 기준으로 하였

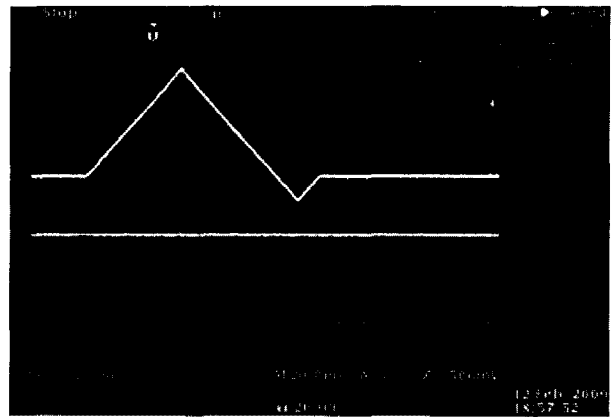


그림 14. 심박수 80일 때, QRS trigger 지연 시간 비교
Fig. 14. In case 80 bpm, QRS trigger delay time.

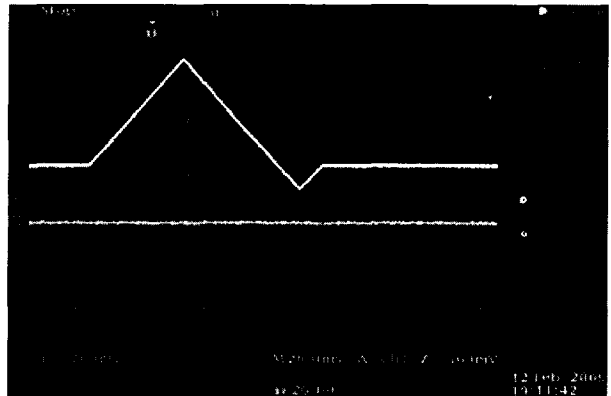


그림 15. 심박수 150일 때, QRS trigger 지연 시간 비교
Fig. 15. In case 150 bpm, QRS trigger delay time.

표 6. 심박수에 따른 QRS trigger 지연 시간 평가 결과

Table 6. Results for QRS trigger delay time.

심박수(bpm)	result(ms)		심박수(bpm)	result(ms)	
	개발제품	비교제품		개발제품	비교제품
60	-3.2	-30.3	200	10.1	8.0
120	-1.2	-14.4	300	10.2	8.1
150	2.2	24.7	350	11.2	22.1
200	4.5	26.9	400	11.3	25.4
280	4.6	28.2	500	11.3	25.4

으며, 입력 신호를 1000:1 감쇄회로를 통하여 모듈에 공급하여 trigger 결과를 측정하였다.

그림 14와 그림 15는 측정 결과의 예이다. 기준 신호는 노란색의 CH1, 본 연구에 의한 출력은 파란색의 CH2, 비교 제품의 출력은 자주색의 CH3로 측정하였다. QRS의 I 모양은 R 파가 0.5mV, S 파가 0.1mV이다. 그림 14는 심전도 파형은 심박수가 80이며, 이때는 비교 제품이 개발 제품보다 17ms 정도 빨리 QRS를 검출하

표 7. QRS trigger 지연 시간 평가 결과. 심박수 60
Table 7. Results for QRS trigger delay time (60bpm).

d(ms)	aR(mV)	aS(mV)	result(ms)		Acceptance Criteria	Result
			본 연구	비교제품		
70	0.5	0	-4.4	-5.2	Within ±50ms ~ ±0	Pass
70	5	0	-3.5	-18.0		Pass
70	0	0.5	-4.2	-4.8		Pass
70	0	5	-4.2	-17.6		Pass
120	0.5	0	-26.2	24.8		Pass
120	5	0	-26.1	-40.0		Pass
120	0	0.5	-25.6	24.8		Pass
120	0	5	-24.8	-40.8		Pass
40	0.5	0	5.7	4.4	Within ±30ms ~ ±0	Pass
40	5	0	4.4	-5.2		Pass
40	0	0.5	5.5	4.8		Pass
40	0	5	6.1	-5.2		Pass
70	0.25	0.25	7.9	30.4	Within ±50ms ~ ±0	Pass
70	2.5	2.5	9.2	-0.2		Pass
120	0.25	0.25	2.7	28.8		Pass
120	2.5	2.5	4.1	-9.6		Pass
40	0.4	0.1	7.9	8.4	Within ±30ms ~ ±0	Pass
40	4	1	8.1	-2.0		Pass

였다. 그림 15는 심박수가 150이며, 이때는 개발 제품이 비교 제품보다 22ms 정도 빨리 QRS를 검출하였다.

심박수에 따른 QRS trigger 신호를 QRS의 R peak를 기준으로 측정한 결과는 표 6과 같다. QRS duration이 100ms는 사람을 기준으로 한 실험 결과이고, QRS duration이 50ms의 경우는 소동물의 경우를 실험한 경우이다.

표 7은 다양한 조건의 QRS를 이용하여 trigger 지연 시간을 측정한 결과이며, 설계 기준으로 제시된 범위를 넘지 않았다.

표 6과 표 7을 분석해 보면 개발된 제품은 QRS 모양이 일정한 경우에 심박수나 QRS의 크기에 영향을 적게 받아 일정한 위치에서 검출하고 있으나, 비교 제품은 심박수가 낮고 파형이 클수록 빨리 검출하는 것을 알 수 있다.

나. 심전도 신호 기저선 복귀 시간 비교

심초음파를 사용하는 경우 운동 부하나 약물을 이용하여 심박수를 빠르게 만든 후 측정하는 경우가 있는데, 이 때 환자의 몸에서 전극을 떼었다가 붙이게 된다. 그러면서도 심박수가 높은 상태를 측정하기 위해서는 심전도가 빨리 제자리로 돌아오면서 측정되어야 하기 때문에 기저선 복귀 시간은 주요한 기능 중의 하나이다.

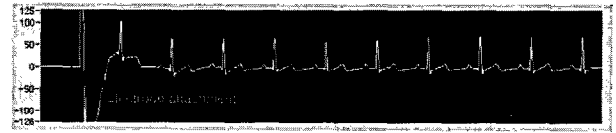


그림 16. 본 연구에서 설계된 제품의 전극 부착 후 기저선 복귀 시간

Fig. 16. Baseline wandering rejection time in proposed physio-module.

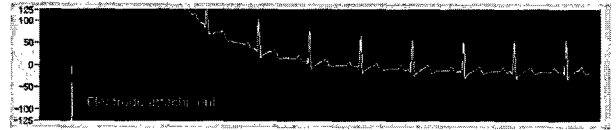


그림 17. 비교 제품의 전극 부착 후 기저선 복귀 시간

Fig. 17. Baseline wandering rejection time in commercialized physio-module.

이 기능을 본 연구결과와 비교 제품을 비교 하였다. 그림 16은 본 연구에서 설계된 제품의 기저선 복귀 시간을 보여 주고 있으며, 그림 17은 비교 제품의 기저선 복귀 시간을 보여 주고 있다.

실험 결과 개발 제품이 비교 제품보다 빠른 복귀를 보이며, 심박수 80을 기준으로 1 beat 정도 빠르게 QRS를 검출하고 있다.

IV. 결 론

생체신호측정모듈은 심전도 등의 생체 신호를 측정하여 심초음파 장비에 보내는 장치로써 심초음파 영상을 진단하는데 시간에 대한 기준 또는 흉곽의 움직임 상태를 알려 줄 수 있는 장치로서, 심실 수축의 시작 시점을 심전도의 QRS 신호의 발생 시점으로 하기 때문에 심초음파 영상 진단에서 심전도 QRS 신호는 매우 중요한 파라미터이며, 실시간 QRS 검출 정확도 및 QRS trigger 지연 시간의 최소화에 대한 성능 개선이 필요하다. 본 연구에서는 개발된 생체신호측정모듈의 QRS 검출 성능 개선을 위한 알고리즘을 개발하여 심전도 QRS 크기와 폭에 따른 검출성능, Tall T-wave 제거성능, 부정맥이 있는 심전도의 QRS 검출성능 및 Pacer pulse 검출성능은 국제규격인 EC-13 기준으로 평가하였으며, 위 4가지 항목 모두 EC-13 규격을 크게 만족하고 있다.

또한 QRS의 trigger 신호 지연 시간은 기존의 생체신호측정모듈 제품과 비교해 본 결과 기존 상용화 제품에 비해 개선되었으며, 검출 위치는 심박수 또는 파형의 크기에 영향을 많이 받지 않는 특성을 보이고 있다.

심전도 신호의 기저선 복귀 시간은 기존 제품보다 우수한 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] P. W. Macfarlane, T. D. Veitch Lawrie. "Comprehensive Electrocardiology" volume 1, Pergamon Press, 1989.

[2] B. B. Winter and J. G. Webster, "Driven-Right-Leg Circuit Design", IEEE Trans. Biomedical Engineering, Vol. BME-30, no. 1, pp. 62-66, January 1983.

[3] International Electrotechnical Commission. "IEC 60601-1 Medical electrical equipment, Part 1 : General requirements for safety and essential performance" 3rd ed, 2000.

[4] G. M. Friesen, T. C. Jannett, M. A. Jadallah, S. L. Yates, S. R. Quint, H. T. Nagle, "A Comparison of the Noise Sensitivity of Nine QRS Detection Algorithms", IEEE Trans. Biomedical Engineering, Vol. 37, no. 1, pp. 85-98, January 1990.

[5] Bert-Uwe Kohler, Carsten Henning, Reinhold Orglmeister, "The principles of software QRS detection", IEEE Eng. Vol., 21, Issue: 1, Jan.-Feb. 2002.

[6] W. J. Tompkins ed. "Biomedical Digital Signal Processing" Printice-Hall International, Inc, 1993.

[7] Association for the Advancement of Medical Instrumentation. "Cardiac monitors, heart rate meters, and alarms", (ANSI/AAMI EC13:2002). Arlington, VA: AAMI; 2002.

[8] N. V. Thakor, "Reliable R-wave detection from ambulatory subjects", Biomed. Sci. Instrum. vol 14, pp. 67-72, 1978.

[9] Jae K. Oh, James B. Seward, A. Jamil Tajik, "The Echo Manual", Third Edition, 2008, Wolters Kluwer

저 자 소 개



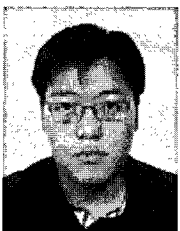
장 원 석(정회원)
1995년 연세대학교
의용전자공학과 학사
1997년 연세대학교
의용전자공학과 석사
2007년 연세대학교 생체공학
협동과정 박사과정

1997년~2002년 (주)바이오시스 연구소
2002년~2004년 한국보건산업진흥원
2004년~현재 지멘스(주), Siemens 메디칼연구소
<주관심분야 : 생체신호처리 및 자동진단알고리즘, 의료영상분야>



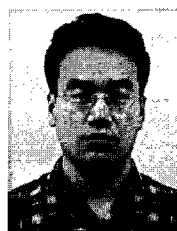
김 남 현(정회원)-교신저자
1977년 연세대학교
전기공학과 학사
1982년 연세대학교 대학원
전기공학과 석사
1987년 연세대학교 대학원
전기공학과 박사

1988년~2009년 현재 연세대학교 의과대학 의학
공학교실 전임강사, 조교수, 부교수, 교수
<주관심분야 : 가정용 의료기기, 의료정보시스템,
의료정보 표준>



김 응 석(정회원)
1996년 연세대학교
의용전자공학과 학사
1998년 연세대학교
의용전자공학과 석사
2008년 연세대학교
의공학과 박사

1997년~현재 (주)메디아나 연구소
<주관심분야 : 생체신호처리 및 분석 알고리즘>



전 대 근(정회원)
1995년 연세대학교
의용전자공학과 학사
1997년 연세대학교
의용전자공학과 석사
2004년 연세대학교
의공학과 박사

1997년~2002년 메디게이트(주) 연구소
2004년~2005년 한국보건산업진흥원
2005년~현재 (주)메디아나 연구소
<주관심분야 : 생체신호처리 및 분석 알고리즘>