

## 미래병사 생체환경센서 시스템 설계에 관한 연구

### A Study on Designing the System of Vital and Environmental Sensor for Future Soldier System

김 현 준\*      채 제 욱\*      최 의 중\*  
Hyun-Jun Kim      Je-Wook Chae      Eui-Jung Choe

#### ABSTRACT

This paper includes the algorithm of eliminating noise, the processing technique of sensor and the results of designing vital and environmental sensor, one of the survivability subsystem of Future Soldier System. In this paper, we propose the adaptive filtering, moving noise removal in order to detect signals stabilized. And these help that we get bio-signals the ECG calculating methods such as search back and ensemble method. It is made up the vital and environmental sensor including the flexible sensor. In that sense, this study can be applied when it is planned the modular type Future Soldier System.

Keywords : Future Soldier(미래병사), ECG(심전도), Noise(신호잡음), Vital & Environmental Sensor(생체환경센서)

#### 1. 서론

미래병사체계의 생존보호시스템은 교전상태에서 임무를 수행하면서, 화기로부터의 위협과 여러 가지 다양한 전장 환경조건에서 자신을 보호하는 병사체계 시스템을 말한다. 병사의 생존보호를 위협하는 인자로는 탄도, 화염 및 열기, 화학적·생물학적, 직접에너지, 감시 및 환경적인 요인의 위협 등이 있으며 이에 대한 방어용 시스템을 통합하여 병사를 최대한 안전하게 보호하는 시스템이 바로 생존보호체계이다<sup>1)</sup>. 미래병사 생체환경센서 중 생체센서는 생존보호체계의 중요한 인자로서 전술적 상황하에서 병사가 임무를 수행하면

서 발생하는 여러 위협에 대한 병사의 무자각적인 대응방안중의 하나이다. 즉 병사가 움직임이 불가능한 상황하에서 병사에게 위급한 상황(피탄)이 발생했을 때 분대장 혹은 지휘소에서 대처하는 시스템이다. 이는 병사가 위급한 상황에 처해있거나 각종 불안정한 상황에 처했을 때 분대장 혹은 지휘소에서 병사의 전술적 재배치 혹은 후송 등의 역할을 수행하게 해주는 시스템이다. 또한 환경센서는 병사가 생화학적 상황에 노출되었을 때 병사 자신이 센서가 되어 생화학 상황을 지휘소 혹은 분대장에 전송하여 아군의 피해를 최소화 하는 역할을 수행할 수 있다.

본 논문의 미래병사 생체환경센서 시스템 설계에 대한 연구는 이러한 생체환경센서를 구성할 때 생체분야에서는 민간분야에서 사용하고 있는 기술과는 달리 야전운용환경을 고려한 환경하에서 적응필터를 이용한 잡음제거, 각종 잡음하에서 심전도로부터 안정적인 심

† 2013년 2월 4일 접수~2013년 5월 17일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 김현준(hyunjuns@empal.com)

박수 계산 알고리즘, 동잡음 제거기술이 적용된 생체 센서 알고리즘에 대한 연구내용을 포함하고 있으며, 환경센서 분야에서는 유연기관 기반의 환경센서 설계하여 생체환경센서로 통합 구성하여 병사의 상태를 모니터링하며 생존보호능력을 향상시킨 기술에 대한 것이다.

## 2. 연구범위

본 연구는 미래병사체계 생체환경센서에 포함되는 주요 알고리즘 및 환경센서의 소형화에 대한 연구로 야전운용환경하에서 병사가 휴대가능한 생체환경센서를 가지고 각개전투, 사격을 수행하는 동안에도 안정적으로 생체신호를 계측하기 위한 신호제어기법에 대해 연구를 진행하였다. 그러나 피탄되지 않은 상태에서 병사가 야전에서 임무를 수행하는 동작하까지 안정적 측정 뿐 아니라, 추후에는 실제 병사가 실제 피탄되거나 부상을 입었을 때의 심전도 신호파형 분석 및 위급상황에 대한 분석 및 판단이 추가적으로 필요하며, 신경가스 인식물질에 대한 연구와 센서 소형화 연구가 결합해야 하는 문제가 있어 이에 대한 연구는 연구범위에 포함하지 않았다.

생체신호에는 체온, 맥박을 비롯하여 수십가지의 다양한 신호가 존재하지만 병사의 상황을 아는 중요한 신호로는 맥박, 호흡, 체온, 혈압으로서 그 중에서도 심전도는 많은 정보를 내포하고 있으며 바이탈 사인으로 가장 중요하다<sup>[2]</sup>. 또한 심전도로부터 추출된 심박수는 가장 중요하면서도 기본적인 요소로서 본 연구에서는 심전도 신호에 대한 내용을 다룰 것이다.

또한 환경센서의 저가화 및 소형화를 위해 유연기관을 기반으로 환경센서를 모의하여 소형화하여 생체센서와 융합하는 연구를 수행하였다.

## 3. 생체센서 잡음제거 알고리즘

### 가. 적응필터를 이용한 잡음제거

전원 잡음 및 동잡음은 움직임이 많은 환경하에서 심전도를 포함한 생체 전위를 측정하는데 있어서 주된 노이즈 원이다. 심전도를 측정하는데 있어, 전원 간섭을 최소화하기 위하여 높은 입력 임피던스, 높은 CMRR(Common Mode Rejection Ratio)을 갖는 증폭기,

DRL 회로, 신호와 전원과의 분리 등이 사용되지만, 전원 노이즈, potential divider effect, 능동 및 수동 소자들의 비 이상적인 특성 때문에 여전히 많은 잡음이 존재하게 된다. 이를 제거하기위해 인체에 추가적으로 별도의 부궤환(Negative Feedback)을 걸어주게 되면 공통성분을 제거하게 되어 효율적으로 전원 잡음 및 동잡음을 제거할 수 있다. 그러나 부궤환을 걸어주어도 능동 및 수동소자의 비 이상적인 특성으로 인하여 여전히 잡음이 존재하게 된다.

이러한 잡음을 제거하기 위하여 본 연구에서는 부궤환의 신호를 잡음 신호로 보고 측정된 심전도 신호에 존재하게 되는 잡음 신호를 적응필터를 사용하여 잡음을 제거하였다. 적응 필터는 잡음이 포함되어 측정된 신호( $s_k + n_k$ )가 존재하고, 그 잡음 성분의 특징을 동일하게 가지는 신호  $x_k$ 가 있을 때,  $x_k$ 를  $n_k$ 과 유사한  $\hat{n}_k$ 로 바꾸어 순수한  $s_k$ 에 가까운 신호를 얻어내는 방법으로서 이 방법에서는 앞의 궤환 회로의 출력 성분으로부터 원래의 잡음성분에 가까운  $x_k$ 를 얻어내고 이를 이용하여  $n_k$ 을 제거하여 양질의 심전도  $s_k$ 를 얻을 수 있다. 적응 필터 처리 과정의 블록도는 Fig. 1과 같으며, 본 방법을 이용하여 잡음이 일정하게 존재하는 경우와 잡음이 급격하게 변화하는 상황 각각에 대하여 실험한 결과를 Fig. 1, 2에 보여주고 있으며, 본 알고리즘은 두 상황에 대하여 안정적으로 적용됨을 알 수 있다.

$$X_k = [x_k(0) x_k(1)]^T \tag{1}$$

$$W_k = [w_k(0) w_k(1)]^T \tag{2}$$

$$\hat{n}_k = W_k^T X_k = \hat{A} \cos(k\Omega_0 + \Phi) \tag{3}$$

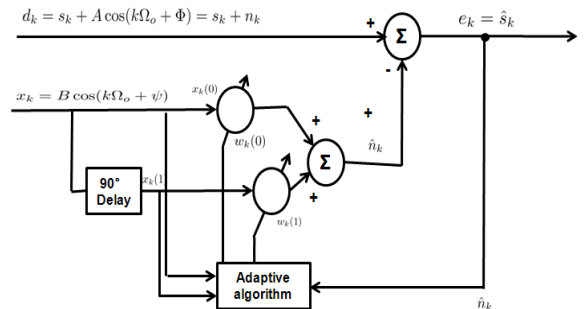


Fig. 1. Block diagram of adaptive filter

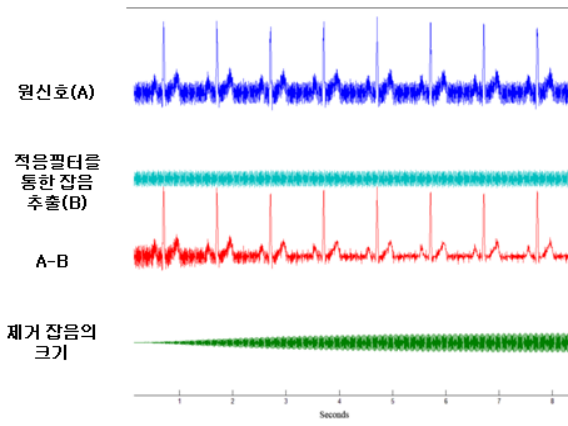


Fig. 2. The status of stable noise level

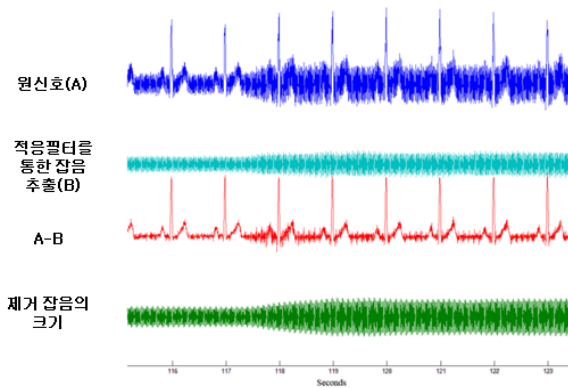


Fig. 3. The status of unstable noise level

나. 동잡음제거

생체신호중 심전도로부터 얻을 수 있는 정보는 많이 존재한다. 심박수뿐만 아니라 심장의 상해 정도를 신호를 분석하여 알 수 있으며, 특히 병사의 경우 신체의 일부가 손상을 입었을 경우, 일반적으로 혈관의 파열을 가져오게 되며, 심장도 이상 징후를 보이게 된다. 이러한 정보로는 보통 부정맥이라 하며 심장이 매우 빠르게 뛰는 경우, 느리게 뛰는 경우, 심장의 파형이 이상한 경우 등이다. 일반적인 필터링 기법을 사용할 경우 많은 정보가 사라지게 된다. 특히 동잡음은 낮은 주파수 영역에 존재하는데 이를 제거하기 위하여 고역 통과 필터를 적용할 경우 심근허혈의 정보를 가지는 심전도 신호의 ST 레벨의 값이 사라지게 된다. 이를 위해서는 별도의 동잡음 제거 기술이 요구된다.

Fig. 4는 동잡음이 많이 존재하는 신호를 보여주고 있다. Fig. 4에서 위쪽의 그림은 100초 동안의 심한 동

잡음이 존재하는 신호를 보여주고 있으며 특히 50~60초대의 신호는 동잡음이 많이 존재함을 알 수 있다. 아래 그림은 50~60초대의 신호를 확대하여 보여주고 있다. 이러한 동잡음을 고역통과필터를 이용하여 제거할 경우 심전도 신호의 일부 신호를 없애게 되어 심장의 상태를 알 수 없게 된다. 따라서 이러한 동잡음을 효율적으로 제거하기 위한 제안한 방법은 다음과 같다.

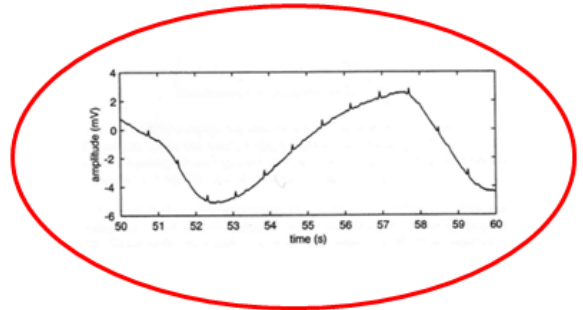
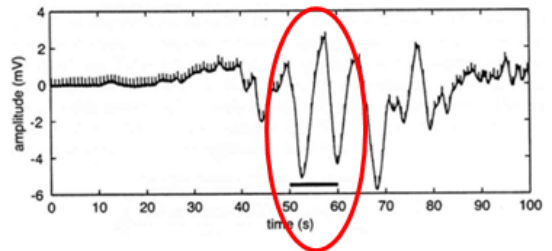


Fig. 4. Motion artifact of ECG

심전도 신호에서 가장 쉽게 얻을 수 있는 R피크 값을 기점으로 하여 좌측의 안정적인 신호대역인 등전위점(Iso-electric point)들을 심장이 한번 뛸 때마다 검출하여 이들을 Cubic Spline Curve로 연결하여 이 신호를 원 신호에서 빼주면 동잡음을 효율적으로 제거할 수 있다. 이러한 동잡음을 제거하는 상세한 알고리즘은 다음과 같다.

- (1) 각각의 Heartbeat을 대상으로 R 피크 이전의 PQ interval에서 가장 평탄한 영역으로 등전위점을 선택한다.
- (2) 만약에 R 피크로부터 등전위점을 찾지 못한다면 R 피크 포인트에서 sample을 108ms 까지 되돌아가면서 등전위점을 찾게 된다.
- (3) 108ms 까지 되돌아가면서 파형의 가장 평탄한 20ms 구간을 찾도록 한다.
- (4) 각각의 Heartbeat 마다 등전위점을 검출하여 Cubic

Spline Curve로 연결하여 이 신호를 원 신호에서 빼주면 동잡음을 제거 할 수 있다.

Fig. 5의 위 그림은 런닝머신위에서 경사도 6%, 10 km/h의 속도를 가지고 뛰었을 경우의 심전도 신호를 보여주고 있으며, Fig. 5의 아래 그림은 실제 알고리즘을 적용하여 동잡음이 제거된 상태를 보여주고 있다.

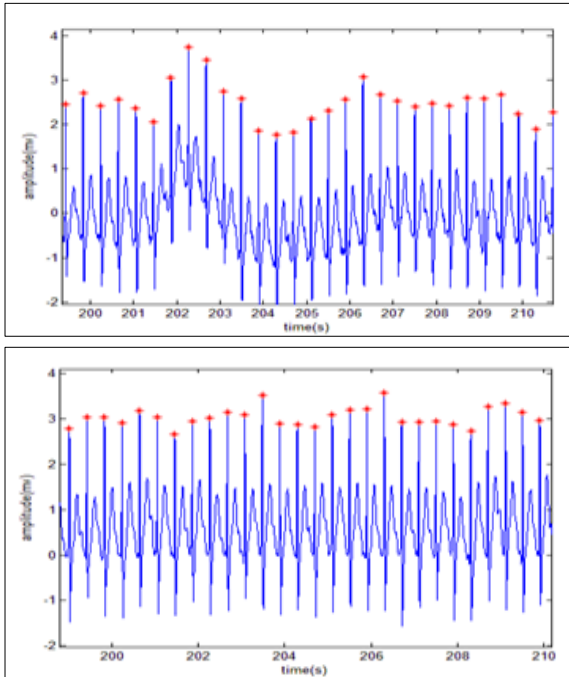


Fig. 5. Before motion artifact reduction(top), after motion artifact reduction(bottom)

#### 4. 생체신호 검출 알고리즘

##### 가. Search back 알고리즘

신호에 포함된 잡음을 제거하면서 심박수를 계산을 위해 심전도에서 R peak를 검출하는 연구들은 이미 오래전부터 다양한 방식으로 이뤄져 왔다<sup>[3]</sup>. 하지만 여전히 다양한 노이즈 상에서 안정적으로 Peak를 검출하는 연구는 이 분야에서 사라지지 않는 이슈 중에 하나이다<sup>[4]</sup>. 그만큼 생체 신호의 변화에 따른 노이즈를 예측한다는 것은 어려운 일이며 지금까지 제안된 많은 방법들을 보완하여 본 연구에서는 높은 Peak 검출 성능을 보이는 알고리즘을 제안한다.

유효한 peak를 찾기 전에 생각해야 하는 것이 생리학 적으로 한번 QRS가 나타나면 200ms안에 다시 나타나지 않기 때문에 이 사이에는 peak를 검출하지 않는다. 알고리즘으로 Peak값을 찾으면 Threshold로 QRS가 맞는지 아닌지 검사 하게 된다. Threshold는 정상적인 peak와 noise로 판명된 peak의 크기를 이용하여 구해지는 값으로 처음 8초 동안 이 값을 초기화한다. 우선 처음 8초 동안에는 1초씩의 구간별로 각 구간에서 발견된 가장 큰 peak 값을 저장 하고 그 중앙값을 구한다. 평균이 아닌 중앙값을 구하는 이유는 갑자기 오차가 큰 값이 발생했을 경우 평균을 사용하였을 경우에 비해 미미한 영향을 미치지 때문이다. 이렇게 구해진 값은 신호의 Peak값이 되고 noise Peak값과 함께 Threshold를 구하게 된다. 단, 초기의 noise peak의 값은 0으로 설정한다. 앞에서 구한 Peak 값과 threshold의 값을 비교하여 이전 peak가 threshold보다 크면 새로운 peak를 저장한다. 그렇지 않다면 해당 peak를 일단 noise peak로 간주하고 noise의 맨 앞에 새로운 peak를 저장한다. 두 가지 경우 모두 새로운 값이 입력되었기 때문에 다시 threshold를 갱신한다.

모든 peak들이 일정한 진폭을 가지고 발생을 한다면 앞의 code만으로도 거의 모든 QRS complex를 검출할 수 있다. 하지만 가끔은 QRS complex의 진폭이 들쭉날쭉 한 경우가 있고, 특히 급격히 작아지는 경우가 발생한다면 threshold 값에 미치지 못하여 noise peak로 여겨지고 넘어갈 가능성도 있다. 따라서 주어진 시간(평균 R-R interval의 1.5배)동안 정상적인 peak가 발생되지 않았다면 이러한 peak가 발생했는지 확인하기 위해 search back을 수행한다.

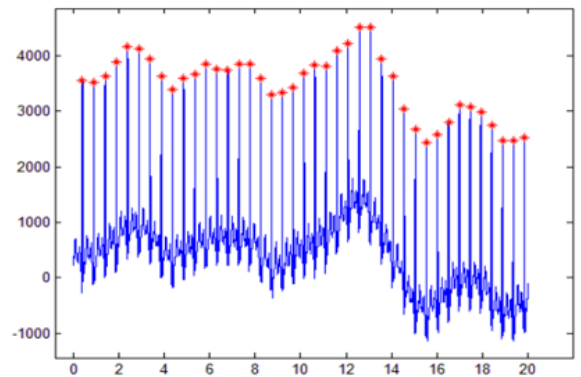


Fig. 6. Results of search back algorithm(before motion artifact reduction)

마지막으로 peak를 검출하고 평균 R-R interval의 1.5배가 넘는 시간 동안 Threshold를 넘는 peak가 검출되지 않았다면 noise peak로 평가됐던 peak에 대해 조금 더 낮은 threshold를 적용한다. 새로운 threshold는 기존 값의 1/2로 이 조건을 만족한다면 해당 peak를 정상 peak로 인정한다. 이를 Search back 알고리즘이라 하며, Fig. 6은 알고리즘을 적용 후 R 피크를 안정적으로 검출한 실험결과이다.

나. Ensemble method

Search back 알고리즘만으로도 R peak 검출 알고리즘을 통해 병원에서 진행되는 운동부하 심전도 테스트 정도 수준의 심박 검출은 안정적으로 가능하다. 하지만 병사용으로 사용하기 위해 전시와 같은 상황 속에서 일반적으로 사용하는 전극을 사용하여 측정되는 신호는 더욱 많은 노이즈의 영향을 받을 것이다. 따라서 전시 중에 위에 언급된 방법만으로 안정적인 심박의 검출이 이뤄지기에는 한계가 존재한다. 그래서 본 연구에서는 Ensemble method를 이용하여 R peak에 대한 분석을 병행 수행하였다. 이 기법은 R 값 검출 이후에 비트별 인접한 8개의 비트를 평균하여 각 비트를 재생성하는 방식이며, 파형 분석 시 과거의 데이터를 중첩하여 평균을 구하게 되면 사람마다 조금씩 다른 특성을 보이는 심전도 파형에 대해 병사 맞춤형으로 파형을 정확히 분석할 수 있는 장점이 생긴다. Fig. 7은 Ensemble method가 적용된 심전도 파형 분석기법으로 본 연구에서는 인접한 8개 비트를 설정하였으나, 추후 야전운동환경을 고려하여 비트 수를 늘리거나 줄여도 본 기법의 적용에는 문제가 없다.

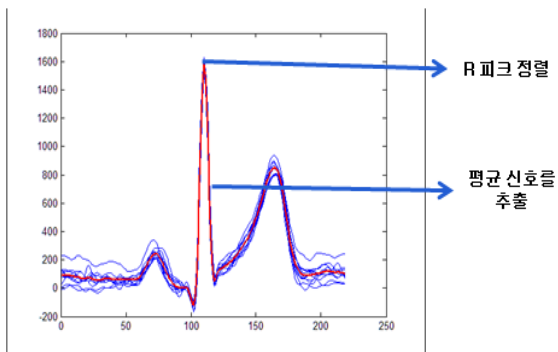


Fig. 7. Detection of R-peak using ensemble method

5. 환경센서 소형화

가. 유연센서 설계

환경센서의 경우 외부 유해가스를 검출하는 것이 가장 중요한 사항이며, 유해가스 검출센서의 경우 온도 및 습도에 따른 검출범위 및 값에 영향을 많이 받는다. 따라서 환경센서를 구성할 때, 온도 및 습도센서를 동일칩 위에 설계를 하는 것이 필요하며 본 연구에서도 온도 및 습도, 일반적으로 접근이 가능한 유해가스인 NO<sub>x</sub> 가스를 측정하는 연구를 수행하였다. 온도센서는 저항의 변화를 측정하는 기법을 이용하였고, 습도센서의 경우 정전용량의 미세변화 검출을 위해 차동 증폭회로를 설계하여 내장하는 것으로 센서를 구성하였다.



Fig. 8. Block diagram of environmental sensor

나. 가스센서 경화 공정연구

환경센서 소형화에 대한 연구는 반도체센서, PI기판을 이용하는 방법등이 있으나, 향후 한정된 사용수량을 고려했을 때 저가화를 위해서는 PI 기판을 이용하는 방법이 생체환경센서를 설계하는데 더 적합한 방법이다. 본 연구에서는 PI 기판 위에 etching 공정을 통하여 환경 센서 패턴과 히터 라인을 설계하고, 가스의 감지를 위하여 프린팅 방식을 이용하여 금속산화물인 SnO<sub>2</sub>와 BaTiO<sub>3</sub>를 코팅하고, 금속산화물을 프린팅하기 위해서 점성이 있는 페이스트를 제작 후, 마지막으로 금속산화물을 프린팅 하였다. 환경센서는 인식물질의 경화가 매우 중요한 요소이며 패턴에 따른 시간 및 경화온도 설정이 중요하다. 본 연구에서 제안한 방법은 금속산화물의 프린팅 후 Nd:Yag 펄스 레이저를 통해 50W 출력으로 설정하여 4.5ms로 각 부분을 경화시키는 기법이다. 이럴 경우 금속산화물은 안정적으로 경화가 되어 인식물질에 따라 저항이 변하는 특성이 높음을 확인할 수 있었다.

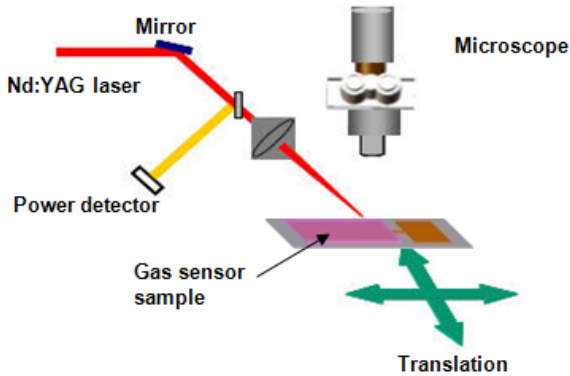


Fig. 9. Metallic oxide hardening of environmental sensor (Nd:Yag laser)

## 6. 시스템 구성

### 가. 생체환경센서 시스템 구성

잡음제거 알고리즘 및 소형화된 센서가 포함된 생체 환경센서를 제작하였다. 생체신호센서는 외부로 연결할 수 있도록 설계하였으며 환경센서는 시스템과 일체화 하여 구성하였다. 신호가 들어오는 부분에서 각종 잡음처리 알고리즘을 구현할 수 있도록 프로그램을 내장하였으며 Fig. 10과 같이 여기서 획득된 신호는 미래 병사의 중앙통제컴퓨터인 개인정보처리기와 유선연동이 되도록 설계하였다. 최종 설계하여 제작한 시스템은 Fig. 11과 같으며 전면부의 흰색 mesh는 환경센서가 부착되어 외부의 유해가스 및 온습도를 계측할 수 있도록 구성하였다. Fig. 10의 가속도 센서는 병사의 움직임을 계측하여 심전도 신호의 오류확률을 줄일 수 있도록 설계되었다.

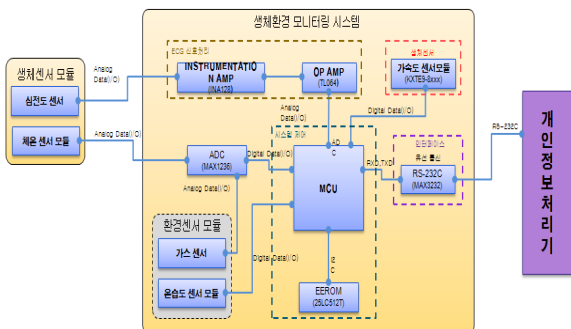


Fig. 10. Block diagram of vital and environmental sensor system



Fig. 11. Vital and environmental sensor system

### 나. 시스템 시험평가

본 시스템은 심전도의 맥박수만 개인정보처리기로 보낼 수 있도록 설계가 되어있으며, 심전도 신호 및 환경센서의 측정값을 정확하게 확인하기 위해서는 환경센서의 데이터 I/O에 viewer(컴퓨터)를 연결해야한다. 이 경우 실험실 기반으로 측정이 가능하며 파형을 보기위한 프로그램을 개발하여 결과를 Fig. 11과 같이 분석하였다. 성인남성이 실험실기반 런닝머신 등에서 속도를 달리하면서 동작을 하였을 때 본 연구를 통해 적용된 필터링 기법 이후 Fig. 12의 위 그림과 같이 심전도 파형이 검출되었으며, search back, Ensemble 알고리즘을 적용했을 때 Fig. 12의 아래 그림과 같이 매우 정확한 파형이 검출됨을 확인할 수 있었다.

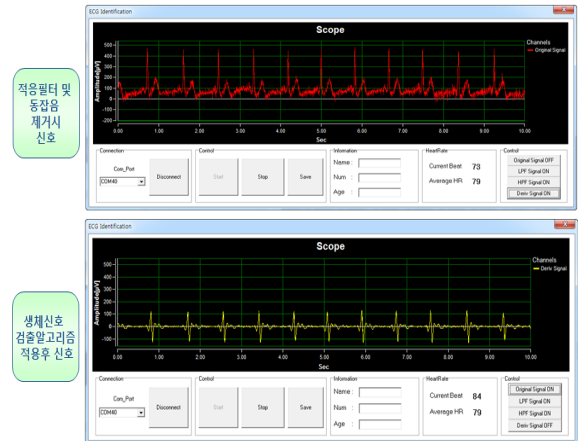


Fig. 12. Heart rate after noise reduction

생체환경센서 시스템을 통해 NO<sub>x</sub> 가스를 측정해보았을 때 Fig. 13과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 실제 Fig. 13의 파란색 선은 실제 NO<sub>x</sub> 가스의 농도를 의미하며 시스템을 통해 측정된 양은 검은점과 같으며, 이

결과를 분석해 보았을 때 온도 및 습도에 따른 측정보정이 잘 이루어졌으며, 본 연구에서 제안한 금속산화물의 표면경화도 잘 이루어져 저항의 측정이 비교적 정확함을 확인할 수 있었다.

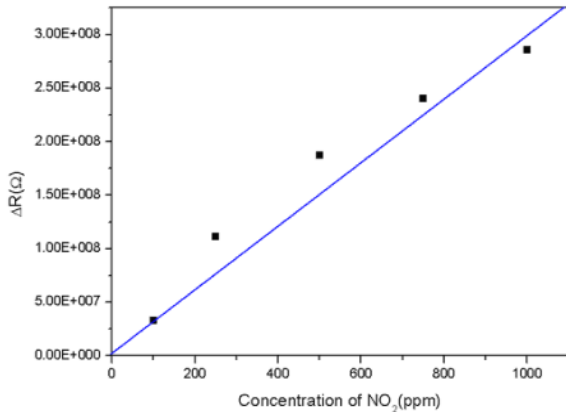


Fig. 13. Results of noxious gas detection

## 7. 결론

본 연구에서 제안한 잡음제거 및 생체신호 검출 알고리즘, 센서제작공정을 통해 설계한 생체환경센서는 향후 미래병사가 사용하게 될 전장환경인 야전운동환경에서의 효용성에 대한 부분을 고려하여 실험실 기반

의 연구를 수행하였다. 실제 시스템은 제작비용의 문제로 소형 경량화를 이루지 못하고 다소 큰 사이즈로 설계가 되어있으나, 실험실 환경에서 매우 정확한 실험결과를 얻을 수 있었으며, 움직임이 비교적 많은 환경하에서도 계측이 가능하였다.

본 연구에서는 실험실 환경하에서의 계측정확도를 향상시키는 연구에 중점을 두었으나, 향후에는 체계 운용환경을 고려하여 온도조건, 방수, 모래먼지 등 다양한 조건에 대한 고려를 통해 생체환경센서 시스템을 설계할 필요가 있을 것으로 판단된다.

## References

- [1] 최의중, 채제욱, 김현준, 이준호, 이성배, “미래병사 체계 최적기능 구현기술”, 국방과학연구소, ADDR-215-120493, pp. 54~61, 2007. 10.
- [2] 이승열, 박상훈, 채제욱, 김현준, “생체신호 감지센서를 활용한 개인병사 신체상태 측정방법”, 제19회 지상무기학술대회, pp. 1~2, 2011. 7.
- [3] 장원석, 김남현, 김응석, 전대근, “심초음파용 실시간 QRS 검출 모듈에 관한 연구”, 전자공학회지 제47권 SC편 제3호, pp. 40~46, 2010. 5.
- [4] 김인영, 김선정, 송철규, “휴대용 생체신호 계측 및 분석 연구”, 특정기초연구 2000-2-31400-002-3, 한국과학재단, pp. 17~23, 2003. 10.