

선박 원격진료를 위한 생체신호 획득 및 전송시스템의 설계

이근실* · 정은석** · 문성배*** · 전승환****

*한국해양대학교 운항시스템공학과 대학원, **한국해양대학교 운항훈련원 교수, ***한국해양대학교 실습선,
****한국해양대학교 운항시스템공학과 교수

Design of Bio-signal Acquisition and Transmission System for Ship Telemedicine

Geun-Sil Lee* · Eun-Seok Jeong** · Serng-Bae Moon*** · Seung-Hwan Jun****

*Division of Ship Operation Systems Engineering, Korea Maritime University

**Sea Training Center, Korea Maritime University

***The chief mate of Training Ship IIANBADA, Korea Maritime University

****Division of Ship Operation Systems Engineering, Korea Maritime University

요 약 : 대형여객선을 제외한 대부분의 선박에서는 정확하게 환자를 진단하고 치료할 수 있는 전문의가 없기 때문에 의료환경이 매우 열악하다. 따라서 선원에 대한 복지 및 근무환경의 개선이라는 차원에서 선박용 원격진료가 절실하고, 근무당사자 및 노조의 관심도 높아지고 있다. 본 연구는 원양 및 연안항해에 종사하는 선박에서 환자 진료 시 중요한 정보로 활용되는 심전도와 청진음을 용이하게 측정하여 육상의 전문의에게 전송함으로써 원격으로 진료를 수행할 수 있는 시스템을 개발하고자 하는 것이다. 본 논문에서는 기개발한 PC 기반의 디지털 심전도 및 청진기를 통하여 측정된 데이터를 국제해사위성(INMARSAT)을 이용하여 전송할 수 있는 시스템을 설계하였고, 실험을 통하여 전송 전후의 신호를 비교하여 데이터 오류를 검증하였다. 그리고 선박 통신시스템을 이용한 선박 원격의료의 가능함을 확인하였다.

핵심용어 : 원격진료, 심전도, 심음도, 국제해사위성, 전송

Abstract : These days ships medical treatment is under unfavorable circumstances, because there is no professional doctor who can diagnose and treat the patients accurately on the ships. Therefore, ship's telemedicine should be urgently actualized to elevate the crew's way of boarding life and welfare. A purpose of this research is to develop the telemedicine system which can acquire the patient's informations like ECG and phonocardiogram used for the diagnosis and transmit those to the doctors of shore medical center. In this paper, we designed the communication part which could transmit the bio-signals acquired from the developed ship's digital ECG and stethoscope based on personal computer by the INMARSAT. Also we inspected data errors through the comparison between the sent and received data. And we confirmed the possibility and compatibility of the telemedicine using ship's communication system.

Key words : Telemedicine, Electrocardiogram, Phonocardiogram, INMARSAT, Transmission

1. 서 론

원격의료(telemedicine)는 통신기기를 사용하여 원격지의 환자를 진단·치료하는 의료시스템이며 텔레비전, 통신, 컴퓨터, 수학 등의 기술, 즉 정보통신의 다양한 기술들과 의료서비스가 융합된 응용분야라고 할 수 있다(대한의료정보학회, 1999). 현재 정보통신기술의 발달은 원격지간 대규모 데이터 전송과 통신을 자유롭게 할 수 있도록 하였고, 이러한 정보통신 시스템을 의료용 시스템으로 응용한 결과 원격의료의 발생하게 되었으며, 원격진료의 이용성과 유용성을 증명하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다(Shimizu, 1999).

항해하는 선박의 경우 전문의에 의한 정확한 진단을 받을 수 없기 때문에 의료서비스가 질적으로 저하되어 있으며, 선박에서 자체적으로 치료할 수 없는 환자가 발생하면 헬기 등을 통하여 육상으로 수송한다. 그러나 기상이 악화된 경우나 육지로부터 약 370km 이상 떨어진 해역에서는 수송수단을 이용할 수 없는 실정이다(Patel, 2000). 본 연구는 이와 같은 선박에서의 근무환경 개선과 의료 복지의 향상이라는 관점에서 육상에서 해상의 환자를 진료할 수 있는 해상원격진료시스템을 개발하고자 하는 것이다. 이를 위하여 저자 등은 이동통신망과 인터넷을 이용한 선박 의약품관리시스템을 개발 보고하였으며(이와 전, 2003), 병원의 진료실에서만 측정되었던 심

* 대표저자 : 이근실(정회원), mmatelee@empal.com, (051) 405-1751

** 정회원, stone67@bada.hhu.ac.kr, (051) 410-4472

*** 정회원, msbae@mail.hhu.ac.kr, (051) 410-4206

**** 종신회원, korjun@mail.hhu.ac.kr, (051) 410-4245

전도(Electro-cardiograph, ECG)와 심음도(Phono-cardiograph, PCG)를 향해하는 선박에서도 용이하게 측정할 수 있는 선박용 디지털 심전도 및 청진기를 개발하였고, 선형연구로서 보고한 바 있다(이 와 문, 2004). 이것은 개인용 컴퓨터를 기반으로 하여 심전도 및 심음과 같은 생체신호를 통합적으로 측정하여 디지털 데이터를 변환할 수 있기 때문에 환자관련 정보의 저장, 재생 및 전송 등에 활용될 수 있다.

본 연구에서는 저자 등이 이미 개발한 PC 기반의 선박용 디지털 심전도와 심음도 측정장치를 통하여 측정된 생체신호를 INMARSAT 등의 선박 통신시스템을 이용하여 원격지인 육상의 의사에게 전송할 수 있는 시스템과 전송에 적합한 데이터 변환기법에 관하여 고찰하였다.

2. 생체신호 검출 및 분석

생체 전기신호는 신경세포나 근세포에 의해서 발생하는 전류 또는 전압 형태의 신호이다. 이 신호의 근원은 막전위(membrane potential)이며 어떠한 조건하에서 활동전위(action potential)를 만들도록 자극되어질 수 있다(고 등, 1997). ECG는 인체의 심장에서 발생하는 활동전위를 측정하는 진단기기로서 각 센서를 통하여 신호를 검출한다.

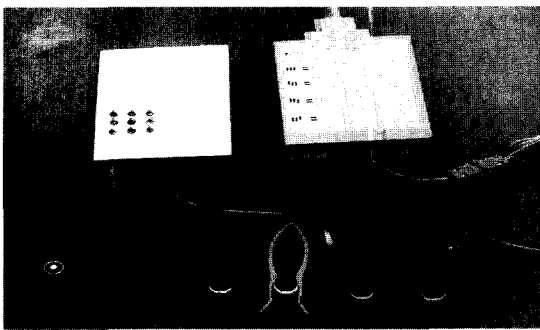


Fig. 1 Developed system and peripherals

Fig. 1은 선형연구에서 개발한 선박용 심전도 및 청진음 측정 시스템을 나타낸 것으로서, 개인용 컴퓨터를 기반으로 환자의 심전신호와 심음 데이터를 측정하여 저장할 수 있는 기능을 가지고 있다. 이 시스템은 심전도의 경우 0.03Hz~90.0Hz 대역에서 주파수 응답을 가지도록 설정하였으며, 심음 신호는 10.0Hz~5.0kHz의 대역의 신호를 증폭시켜 AD컨버터를 통하여 컴퓨터에 저장되도록 하였다.

Fig. 2는 심음과 심전신호 사이의 시간적인 관계를 나타내며, ECG의 R과 이후 제 1심음이 나타난다. 제 1심음은 삼첨판과 이첨판이 닫힐때 발생하는 소리이다. ECG의 T와 이후 대동맥 및 폐동맥 판막이 닫힐때 생기는 소리인 제 2심음이 나온다. 그림에서 ①은 ECG P와 이후의 심방수축 기간이며, ②와 ③의 시기에 좌심실의 압력이 최대가 되며 심실이 수축을 시작한다. ②에서 대동맥의 혈류가 최대가 되며, ③에서 심실용량은 최소가 된다.

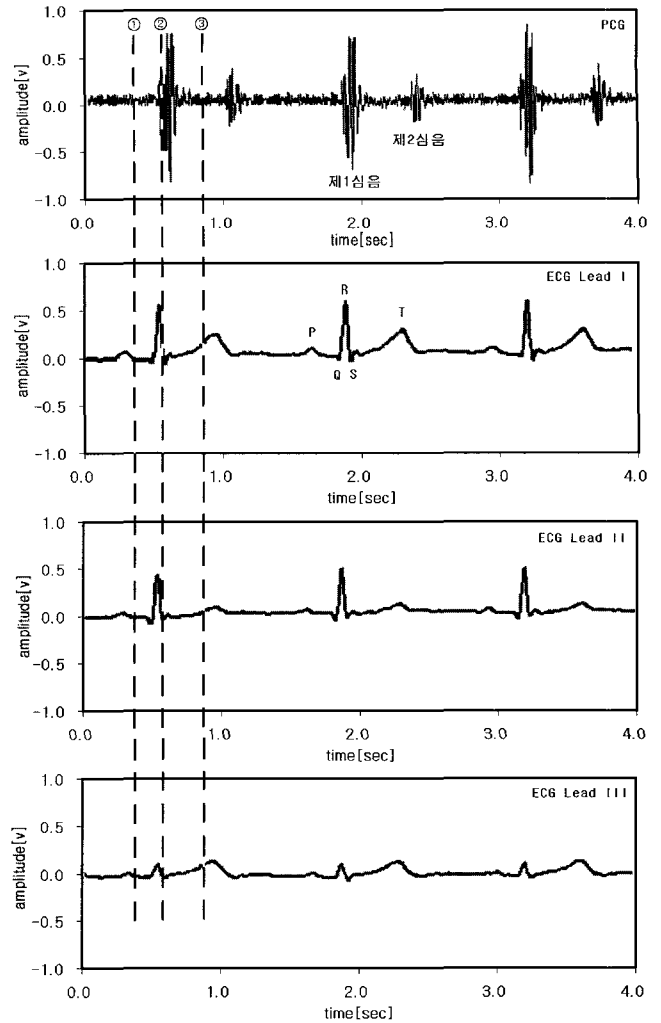
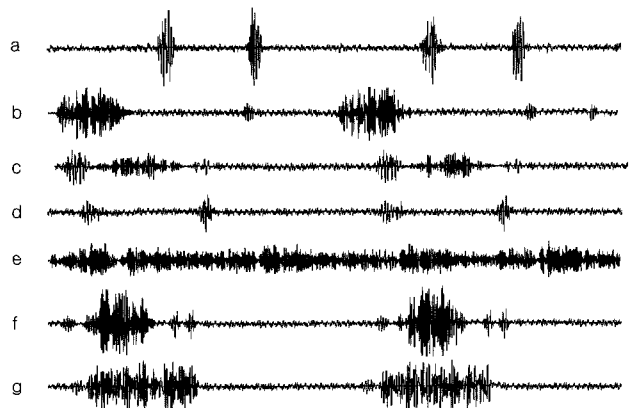


Fig. 2 Time relation of ECG and PCG



(a) 정상인 심음, (b) 대동맥 기능부전
(c) 대동맥 협착, (d) 대동맥 축락증
(e) 동맥관개존증(動脈管開存症), (f) 폐 협착
(g) 심실중격결손

Fig. 3 Normal heart sound and abnormal heart sound

심음으로부터 정상인과 비정상인을 구별하는 가장 큰 특징은 제 1심음과 제 2심음 그리고 심잡음으로 구분된다(백 및

강, 1997). 정상인의 경우 제 1심음과 제 2심음을 중심으로 심음이 구성 되는데 반하여, 심장에 이상이 있는 환자의 경우 제 1심음과 제 2심음을 기준으로 심잡음이 서로 다른 위치에 발생하게 된다. 이러한 심잡음은 환자에 따라 여러 가지 증상으로 나눌 수 있으며, 심잡음은 시간축상의 발생위치와 지속시간 크기정보를 가지고 환자의 질병을 판단할 수 있다. Fig. 3은 정상인의 심음과 질병이 있는 환자의 심음을 비교한 것이다. 질병이 있는 환자의 심음은 스피커를 통하여 들을 때 일반인도 쉽게 구별할 수 있을 정도로 소리가 다르다.

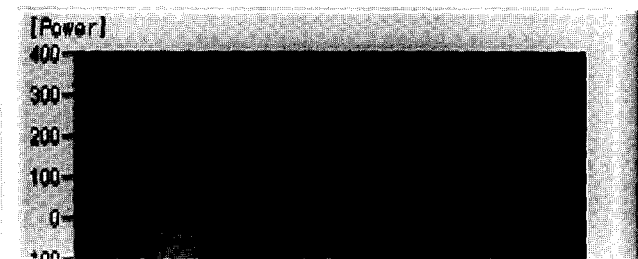


Fig. 4 FFT analysis of heart sound

Fig. 4는 정상인 심음을 FFT로 분석한 결과이며, 전체적으로 500Hz 이하에 파형이 존재함을 알 수 있다. 정상인과 비정상인의 차이는 심음을 FFT함으로써 구별할 수 있고, 이를 확장하여 질병별로 심음을 파악하기 위해서는 웨이블릿 변환 등이 사용된다. 본 연구에서는 이러한 심잡음 및 진단에 유용한 신호들이 전송될 수 있도록 시스템을 구현하였다.

3. 생체신호 전송시스템의 설계

진단 장치로부터 획득된 생체신호는 통신장치의 특성 및 환경을 고려하여 송신이 용이하도록 적절하게 변환되며, 수신된 데이터는 소프트웨어적으로 재구성되어 모니터상에 표시되거나 사운드 장치를 통하여 재생될 수 있도록 하였다.

본 연구에서 구현한 생체신호 전송시스템은 크게 선박측 시스템과 의사측 시스템으로 나눌 수 있다. 선박측 시스템은 심도도와 심음을 획득하기 위한 진단장치와 AD 컨버터, 심진신호 파일생성모듈, 웨이브 파일 변환 등으로 구성된다. 그리고 의사측 시스템은 수신된 데이터를 저장하고 의사의 진료에 적합한 방식으로 컴퓨터 화면에 표시되거나 재생될 수 있도록 하는 것이다. 여기서 선박측 시스템으로부터 의사측 시스템으로 데이터를 전송하는 방법은 인터넷상의 TCP/IP 프로토콜을 기반으로 한 Winsock 모듈을 사용하였으며, 원격지 컴퓨터간에 PEER-TO-PEER 방식으로 통신하도록 하였다.

3.1 ECG 신호의 전송

Fig. 5는 심진신호를 원격지로 전송하기 위해 사용된 모듈을 나타낸 것이다.

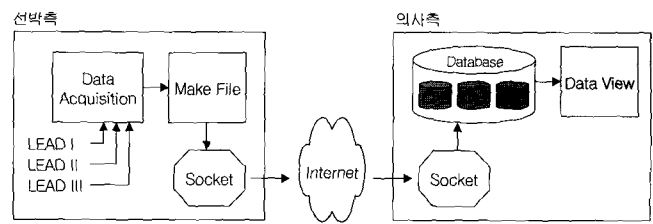


Fig. 5 ECG's remote transmission module

'Data Acquisition' 모듈을 통하여 획득된 3채널의 심진신호는 'Make File' 모듈에서 통신에 적합한 형태로 데이터를 변환하게 된다. 변환되는 데이터의 형태는 데이터값 사이에 구분자를 삽입함으로써 채널을 구분할 수 있도록 하였다. 구분자는 ASCII 코드의 '*'로 설정하였으며 컴퓨터상의 hex값으로는 '2A'에 해당한다. 아래는 3개의 신호가 구분자에 의해서 구분되어진 파일의 형태를 나타낸 것으로서, 채널1과 채널3은 세 신호를 개별적으로 표시하기 위하여 측정된 신호값에서 하중값 1.0을 가감하였다.

-0.906251*0.3857422*1.790039
 -1.023438*0.4492188*1.799805
 -1.111328*0.5126953*1.819336

그리고 'Make File' 모듈에서 변환된 ECG 신호의 데이터는 한글씩 읽어서 아래와 같은 형식으로 전송되도록 하였다.

<STX>-0.906251*0.3857422*1.790039<ETX>7E<CR><LF>

여기서 텍스트 파일의 시작을 나타내는 <STX>는 hex값 2, 텍스트 파일의 끝점을 나타내는 <ETX>는 3, 캐리지 리턴 (Carriage Return)을 나타내는 <CR>은 13, 텍스트 파일에서 줄 바꿈을 의미하는 <LF>는 10이다. 그리고 7E는 <STX>다음부터 <ETX> 앞까지의 각각의 hex값을 더하면 57E가 나오며 여기서 뒤의 두 자리 값이며 이것을 확인하여 데이터 Error check를 하였다.

3.2 PCG 신호의 전송

Fig. 6은 선박측에서 측정된 심음신호를 원격지의 의사측으로 전송하는 시스템의 전체적인 흐름을 나타낸 것이다. 선박측 시스템은 청진기로부터 획득한 심음신호에 대하여 아날로그 신호처리, AD변환 및 디지털 신호처리를 통하여 디지털 파일로 심음신호를 생성한다. 그리고 이것은 선박측과 의사측 시스템에서 스피커로 재생할 수 있도록 웨이브 파일의 형태로 변환되도록 하였다.

의사측 시스템은 원격지에서 전송된 심음신호의 정확성 여부를 판단할 수 있는 'Data Check' 모듈과 전송된 데이터를 표현하는 'Data Presentation' 모듈 그리고 의사가 컴퓨터 주변장치를 통하여 데이터를 확인할 수 있도록 데이터를 재생하는 'Application' 모듈로 구성하였다. 수신된 심음 데이터는 컴

퓨터모니터를 이용하여 시각적 표시하고 스피커를 통하여 청각적으로도 재생할 수 있도록 하였다. 먼저, 시각적 표시방법은 웨이브 파일에 기록된 데이터의 hex값을 십진수로 변환하여 모니터 상에 그래프로 도시되도록 하였고, 청각적 방법으로 윈도우의 API인 winmm.dll의 'sndPlaySoundA' 함수를 이용하여 컴퓨터의 음향신호 출력단자와 연결된 스피커를 통하여 재생될 수 있도록 하였다.

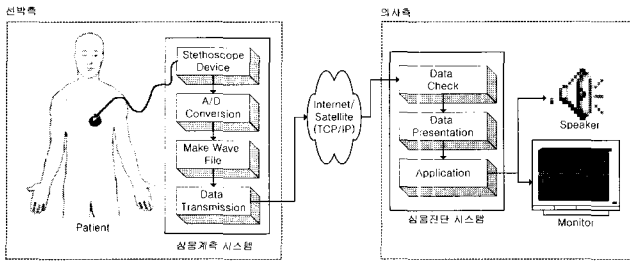


Fig. 6 PCG's remote transmission module

본 연구에서는 마이크로소프트와 IBM에 의하여 만들어진 RIFF라 불리는 웨이브 파일 형식을 사용하였다. 이 포맷은 기본적으로 데이터 chunk들로 구성되어 있으며, 각 chunk는 32비트 ID Field와 32비트 chunk 길이를 가지고 있다.

Table 1 Wave file format

Offset	Description
0x00	chunk id 'RIFF'
0x04	chunk size (32-bits)
0x08	wave chunk id 'WAVE'
0x0C	format chunk id 'fmt'
0x10	format chunk size (32-bits)
0x14	format tag (currently pcm)
0x16	number of channels 1=mono, 2=stereo
0x18	sample rate in hz
0x1C	average bytes per second
0x20	number of bytes per sample 1 = 8-bit mono 2 = 8-bit stereo or 16-bit mono 4 = 16-bit stereo
0x22	number of bits in a sample
0x24	data chunk id 'data'
0x28	length of data chunk (32-bits)
0x2C	Sample data

Table 1은 웨이브 파일의 구성을 나타낸 것으로서, 웨이브 파일의 헤더에 해당하는 부분은 43바이트까지이고 나머지 부분은 실제 데이터가 저장되는 부분이다. 본 연구에서는 AD 컨버터의 분해능을 16비트로 하고 웨이브 파일로 샘플링 데이터를 저장하는 것은 16비트 모노로 하였다. 그리고 웨이브 파일의 생성은 'Visual Basic 6' 프로그램을 이용하였으며, 어레이변수 byWav를 설정하였다. 아래 'Routine'은 샘플링된 데이터의 최고값과 최저값을 구해서 16비트의 분해능으로 나타내

기 위한 것이다. 샘플링된 데이터는 ±1.0[V]의 범위에서 존재하기 때문에 웨이브 파일 포맷인 이진수로 나타내기 위하여 최저값을 0으로 하고 최고값을 65,535로 정하여 각각의 값을 65,536등분하였다. Routine에서 8비트 분해능으로 사용하려면 65535대신 255의 숫자를 사용하면 된다.

Routine :

```

For i = 0 To SampleCnt - 1
    byWav(44 + i) = CInt((65535 * (byBody(i) +
    DataArg)) / (DataMax + DataArg))
Next i
    
```

그리고 byWav에 어레이로 저장된 값을 이진 웨이브 파일로 생성하는 과정은 파일형식을 이진파일로 정의하고 파일헤더에 해당하는 43바이트의 정보를 put함수를 사용하여 파일에 기록한 다음 심음에 해당하는 각각의 신호를 데이터 chunk만큼 기록하여 16비트 모노 웨이브 파일을 생성하였다. 또한 도스창의 debug명령을 통해서 생성된 웨이브 파일을 검증하였다.

AD 컨버터를 통하여 입력된 텍스트 파일 형식인 심음 데이터의 크기는 8비트로 하였을 때 411kbyte였고 16비트는 746kbyte 정도였다. 그리고 Routine을 적용하여 생성된 웨이브 파일 데이터의 크기는 8비트에서는 약 20kbyte가 되었고 16비트는 157kbyte였다. 심음에 대한 분해능은 높을수록 좋지만 데이터 전송측면에서는 통신대역폭의 한계로 인해 필요 이상의 파일크기를 가지는 것은 바람직하지 않다. 본 연구에서 8비트와 16비트로 생성된 심음을 비교하여 청취해 보았으며 결과적으로 큰 차이를 보이지 않았다.

3.3 데이터 전송 모듈

윈속(winsock)은 윈도우 운영체제 내에서 인터넷 응용 프로그램들의 입출력 요청을 처리하는 프로그래밍 인터페이스 및 지원 프로그램이다. 윈속이 제공하는 소켓은 'Blocking Mode', 'Non-Blocking Mode' 및 'Asynchronous Mode'의 3가지 동작 모드를 가지고 있다. 'Blocking Mode'는 하나의 소켓이 만들어지면 기본적으로 이 모드로 동작하는 소켓이 되며, 이 소켓을 대상으로 함수를 호출하면 함수가 원하는 동작을 완료할 때까지 함수를 호출한 프로세서가 제지된다. 'Non-Blocking Mode'는 함수가 호출되었을 때, 함수의 기능의 완료 여부와는 관계없이 일단 함수값을 돌려주는 소켓이다. 'Asynchronous Mode'는 'Non-Blocking Mode'과 유사하게 동작하지만 함수의 동작이 완료되는 시점 또는 함수의 실행이 시작되지 못한 경우 제시되어야 하는 시점을 시스템이 메시지 처리 방식으로 응용프로그램에 알려주는 방식이다. 본 연구에서는 가장 일반적으로 사용되는 'Blocking Mode'를 사용하였다.

Fig. 7은 Blocking Mode의 소켓을 통한 통신 프로세스를 나타낸 것이다. 이 그림에서 a는 원격지로 접속을 시도하는 단계로 접속과 동시에 보낼 데이터의 크기(snd.Length)를 정하며, 논문에서는 1024로 설정하였다. snd.Buffer는 byte형 어

하였다. 이는 이동전화에 데이터 통신 전용케이블을 사용하여 PC를 인터넷에 연결할 수 있는 서비스로 inmarsat 디지털 데이터통신에서는 단말기와 RS232로 연결하여 접속하는 방식과 같은 방식이다. inmarsat-B의 통신속도와 동일하게 하기 위하여 9,600bps의 무선 데이터 1.0을 이용하였다.

실험결과 약 10초간 획득한 심전 신호의 크기는 약 87kbyte이었으며, 심음 웨이브 파일은 16비트의 경우 약 40kbyte였다. 무선데이터 통신 서비스 시스템을 이용한 실험에서 심전신호를 전송하는데 소요된 시간은 1분 32초가 소요되었고, 심음신호는 45초가 소요되었다. 실험 데이터는 성별 그리고 나이별로 구분하여 10명으로부터 심전도와 심음 데이터를 획득하였고, 송신측 데이터와 수신측 데이터의 비교 및 분석을 통하여 전송 시스템 및 모듈에서 데이터 변환 및 처리가 정확하게 수행되는지를 확인하기 위하여 대학병원의 전문 의료진으로부터 전문가적 성능 자문을 구하였고, 본 연구에서 개발한 시스템으로 진료 및 처방이 가능할 뿐만 아니라 송수신 데이터는 의학적으로 완전히 일치함을 확인하였다. 본 실험에서 심전신호의 전송 시간이 다소 길다는 단점이 있지만, 현재 선박에서 데이터 통신용으로 많이 탑재되고 있는 inmarsat-F를 이용한다면 심전신호의 경우 약 14초, 심음신호의 경우 약 9초가 소요될 것으로 예상되기 때문에, 고속의 원격진료 시스템 구축이 가능하리라 사료된다.

또한 본 시스템에 대해서는 한국 식약청과 미식품의약국(FDA : Food and Drug Administration)으로부터 의료장비 승인 신청을 준비하고 있다.

6. 결 론

본 연구는 선박에서 발생한 환자로부터 측정된 생체신호를 원격지 의사에게 전송함으로써 신속 정확한 진단 및 치료를 수행할 수 있는 원격의료 시스템을 개발하고자 하는 것으로서, 본 논문에서는 심전신호와 심음신호를 선박용 데이터 통신 시스템인 inmarsat를 통하여 전송할 수 있는 전송 시스템을 설계하였다. 그리고 생체신호를 이진파일로 데이터베이스에 저장하여 필요시 재생할 수 있도록 하였으며, 특히 심음신호에 대해서는 웨이브 파일로 변환함으로써 원격지 의사가 심음 데이터를 시각적 및 청각적으로 확인할 수 있도록 구현하였다.

본 연구에서 개발한 원격진료용 생체신호 획득 및 전송 시스템은 의료 전문지식이 부족한 일반인도 용이하게 이용할 수 있는 것으로서, 특수한 환경의 선박환자가 위성통신 및 기타 통신망을 통해서 원격의료 서비스를 받을 수 있기 때문에 지금까지 크게 낙후된 해상 진료시스템의 획기적인 향상과 선원 근무환경 개선에 크게 이바지할 것으로 사료된다.

향후 과제로서, 생체신호를 통하여 질병을 분류하고, 이 질병을 예측하고 학습 할 수 있는 전문가시스템에 관한 연구 등이 있다.

참 고 문 헌

- [1] 고한우, 김민기, 김선일, 김희찬, 박승훈, 우용재, 윤영로, 윤형로, 이경중, 이수열, 임재중, 조민형 (1997), "디지털 생체 신호처리", 여문각.
- [2] 대한의료정보학회(1999), "보건의료정보학", 현문사.
- [3] 백승화, 강성훈(1997), "웨이브렛을 이용한 심음의 검출 및 분류", Journal of the Natural Science, Vol. 16, pp. 122-129.
- [4] 이근실, 문성배(2004), "PC를 기반으로 한 선박용 디지털 심전도 및 청진기 개발", 한국항해항만학회지, 제 28권 3호, pp.239-245.
- [5] 이근실, 전승환(2003), "인터넷 기반의 선박 의약품관리시스템 개발", 한국항해항만학회지, 제 27권, 1호, pp.19-24.
- [6] Murakami, H., Shimizu, K., Yamamoto, K., Mikami, T., Hoshimiya, N. and Kondo, K.(1994), "Telemedicine Using Mobile Satellite Communication", IEEE TRANSACTION ON BIOMEDICAL ENGINEERING, Vol. 41, pp.488-497.
- [7] Shimizu, K.(1999), "Telemedicine by mobile Communication", IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY, Vol. 99, pp.32-44.
- [8] Patel, T(2000), "A cost-benefit analysis of the effect of shipboard telemedicine in a selected oceanic region", Journal of Telemedicine and Telecare, Vol. 6, pp.165-167.

원고접수일 : 2003년 11월 21일

원고채택일 : 2004년 6월 8일