

음향 측심기 수심인식률 향상 기법 연구

A Study on Water Depth Measurement Rate Improvement using Echosounder

박동진* · 김영일** · 오영석*** · 박승수****

Park, Dong Jin · Kim, Young Il · Oh, Young Seock · Park, Seung Soo

要 旨

현재 해양 측량 및 선박항해 목적으로 음향측심기가 사용되어지고 있다. 하지만 신뢰성 있는 수심인식이 주 목적인 음향측심기가 낮은 수심 또는 험한 해저 지형에서 수심 인식률이 현저히 떨어지는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 트랜듀서의 음파특성 파악 및 최적 알고리즘을 연구를 하였다. 알고리즘 연산처리를 하기위해 최신 DSP프로세서(TMS320F2812)를 적용하여 고속으로 데이터처리를 하는 하드웨어 설계를 하였다. 마지막으로 기존방식과 최적 알고리즘을 적용한 방식을 비교하여 데이터 신뢰성을 비교하였다.

핵심용어 : 음향측심기, 트랜듀서, DSP프로세서, 밴드패스 필터, 압전세라믹

Abstract

Nowadays, echosounder has been widely used in sea survey and ship navigation. By utilizing echosounder, we can measure the depth of water reliability. However, the problem is that depth update rate drops remarkably when sea bottom is shallow or steep/rugged. Therefore, we have developed an optimized algorithm to process transducer's soundwave signals at high-speed and minimize error. Processing algorithm is implemented by the latest DSP processor (TMS320F2812), consequently, high-speed data processing can be achieved. Performance of the proposed algorithm is verified by experiments and compared with existing algorithms. It has shown that our method results in higher precision in water depth measurement than other methods.

Keywords : Echosounder, Transducer, DSP(Digital Signal Processor), Band-pass Filter, PZT

1. 서 론

본 연구의 목적은 열악한 해양환경에서도 수심포인트를 놓치지 않는 음향측심기용 시스템 및 알고리즘을 개발하는데 있다. 게다가 국내외적으로 음향측심기를 이용한 측량관련 연구는 많으나 음향측심기장비 자체의 수심인식법 연구는 극히 드물어 본 연구를 진행하게 되었다. 특히 음향측심기 개발업체가 국내에 몇 군데 되지 않기 때문에 본 연구가 더더욱 크게 의미있다고 보여진다.

우선 수심인식 신뢰도를 높이기 위해서는 트랜듀서 특성 및 하드웨어 필터특성이 부가적으로 뒷받침 되어야한다. S/W 알고리즘을 통한 오차 최소화 방법에는 한계가

있기 때문이다. 이를 해결하기 위해 트랜듀서를 설계 및 제작하여 본 연구에 적용하였다. 그리고 하드웨어부분에서도 밴드패스 필터를 적용하여 수신 프로파일의 신호대 잡음을 최소화하는 필터설계 방법을 적용하여 본 연구의 핵심인 알고리즘 구현에 어려움이 없도록 하였다.

알고리즘 특성에 따른 수심프로파일 특성을 알아보고, 여러 알고리즘간의 비교분석도 같이 파악하여 수심인식율을 최대로 높일 수 있는 방법을 연구하여 알아보았다.

2. 음향 측심기 시스템 개요

음향측심기는 초음파 센서에 높은 출력 신호를 발생시

2008년 8월 13일 접수, 2008년 9월 17일 채택

- * 교신저자 · 정회원 · 소나테크(주) 과장 (djpark@sonartech.com)
- ** 정회원 · 소나테크(주) 팀장 (youngil@sonartech.com)
- *** 정회원 · 소나테크(주) 이사 (dolphin@sonartech.com)
- **** 소나테크(주) 사장 (spark@sonartech.com)



Fig 1. 측량용 음향 측심기 제품

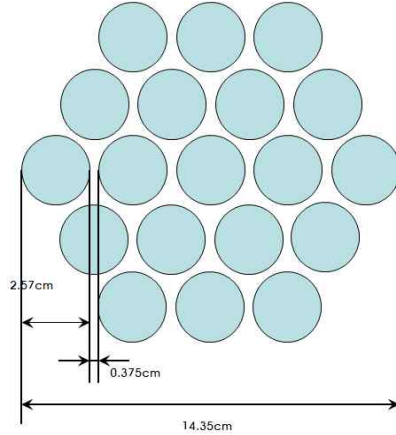


Fig 4. 육각평면배열방식

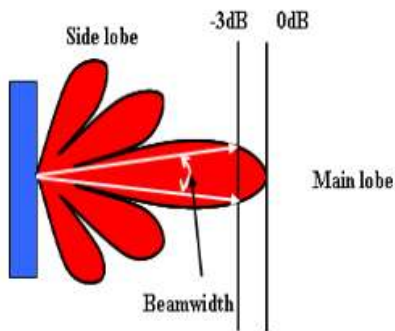


Fig 2. 음파 빔패턴

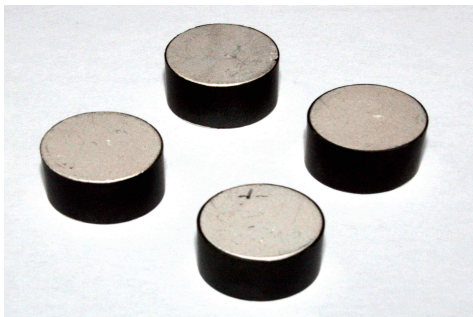


Fig 3. 압전세라믹(PZT)

표 1. 트랜듀서 제원

중심 주파수	200kHz ± 1kHz
초음파 송신 출력	1500W
송신 특성	180dB ± 3dB
수신 특성	-169 ± 3dB
빔 각도	3° ± 0.2°

켜 음원을 생성하고, 생성된 음파가 해저면에 반사되어 채수신 되기까지의 경과시간을 측정하여 이를 거리로 환산하며, 이 거리정보가 수심이 된다. 음향측심기의 적용 분야는 어군탐지기, 수심측량, 선박항해, 레저용 등 많은 부분에서 사용되어지고 있으며, 본 개발은 이중에서도 수심측량용을 목표로 개발하였다.

3. 수심오차 최소화를 위한 트랜듀서 설계

3.1 음파 해석

음파는 이론상 점음원(Point Source)의 경우 전방향 전파를 하지만 실제로 점음원은 존재하지 않기 때문에 압전세라믹의 형태에 따라 음향전파의 형태가 결정되며, 이를 빔패턴이라 한다. 빔각의 결정은 -3dB를 기준으로 하며, 빔각이 작을수록 신뢰성 높은 수심데이터를 얻을 수 있다.

트랜듀서의 성능 중 크게 작용하는 요소 중의 하나가 Side lobe이다. 이는 실제 빔 외에 생기는 작은 빔인데 이 신호는 저수심을 판단할 경우 수심의 신뢰도를 떨어뜨리는 큰 요인으로 작용한다.

3.2 압전세라믹의 특성

압전성이란 결정질에 기계적 에너지를 가하면 전기 분극으로 인해 전기에너지가 발생하고, 전기적에너지를 가하면 다시 기계적 에너지가 발생하는 성질로 대표적인 재료로는 PZT(Piezoelectric)가 가장 널리 사용되고 있다.

3.3 설계 기법

단일 세라믹구조로 3도이내의 빔각을 형성하는 협대역 빔 트랜듀서를 구현하기 위해서는 압전세라믹의 직경이

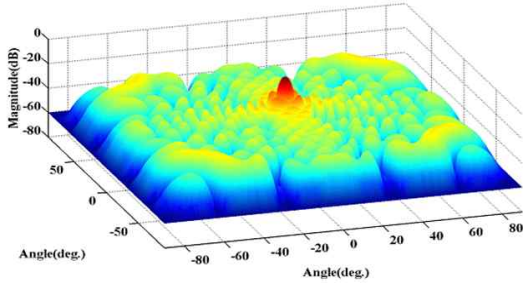


Fig 5. 3차원 빔패턴 해석결과

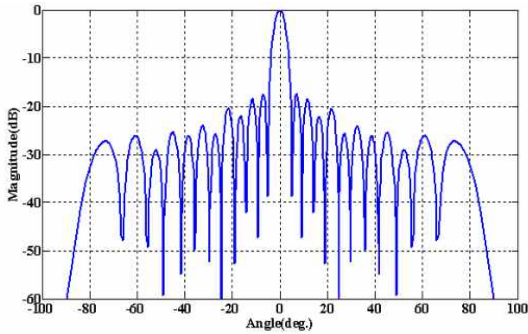


Fig 6. 2차원 빔패턴 해석결과

최소 15cm가 되어야하지만 이는 소형화 및 구현에 큰 어려움이 있어 비위상 평면 배열형태의 방식을 적용한 트랜듀서를 적용하여 본 연구를 진행하였다.

Fig. 4는 육각평면배열 압전세라믹의 치수로 총 19개의 단위 압전세라믹으로 구성되며, 각각의 직경은 2.57cm 이고 압전세라믹 간의 간격은 0.37cm, 총 길이는 14.35cm 이다. 이를 바탕으로 식 (1)의 육각평면배열 해석식을 수행하여 Fig. 5의 3차원 빔패턴 해석결과와 Fig. 6의 2차원 빔패턴 해석결과를 도출하였다.^[1]

$$B_x(u_x, u_y) = \frac{1}{N_H} \sum_{m=-\frac{N_x-1}{2}}^{\frac{N_x-1}{2}} \exp\left\{j\pi \left[m \frac{\sqrt{3}}{2} u_y - \frac{N_x - |m| - 1}{2} u_x \right]\right\} \cdot \sum_{n=0}^{N_x - |m| - 1} \exp(j\pi n u_x) \quad (1)$$

표 1은 제작된 육각평면배열형 정밀음향측심기 트랜듀서의 특성치를 정리한 표이다.

4. Ping 및 Chirp신호처리 비교

단일 주파수의 신호는 일반적으로 Ping이라 하며, 다중

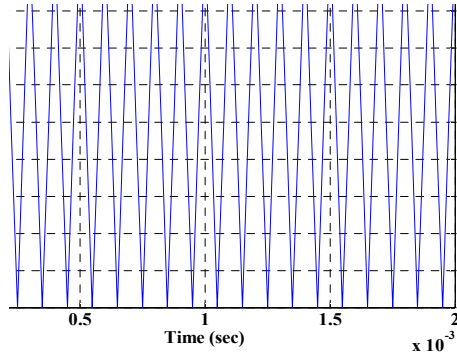


Fig 7. Ping 신호 시간영역

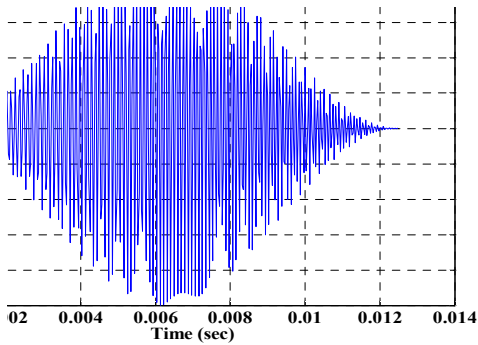


Fig 8. Chirp 신호 시간영역

주파수의 신호는 일반적으로 LFM(Linear Frequency Modulation)이라 하는데 수중음향에서는 이를 통상적으로 Chirp이라 지칭하고 한다.^[2]

위 신호들은 트랜듀서를 이용한 음파발신파형이다. Ping 신호는 10kHz단일주파수이고, Chirp신호는 8kHz ~ 13kHz로 스위프 시킨 8파형이다. Fig. 7, 8에서 Y축은 진폭 X축은 시간을 나타낸다.

Fig. 9와 Fig. 10을 통하여 주파수 영역의 신호프로파일을 알 수 있다. Y축은 데시벨, X축은 주파수를 나타낸다.

Fig. 11과 Fig. 12는 각각 Ping방식과 Chirp방식의 반사파의 시뮬레이션 결과신호이다. 위 결과로 알 수 있듯이 Ping방식의 수신파형은 둔탁하지만 Chirp방식의 수신파형은 날카롭다는 것을 알 수 있다.^[3]

하드웨어 설계시에도 Chirp기능을 적용하여 구현하였다.

5. 하드웨어 필터 설계

5.1 밴드패스 필터 구현

Fig. 13은 200kHz를 중심으로 하는 밴드필터의 회로부분이다. 이 회로는 버터워스 필터를 기준으로 설계되었

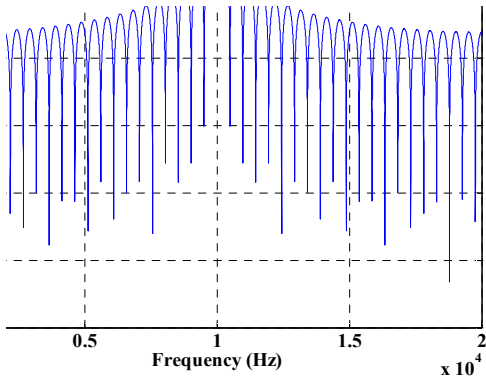


Fig 9. Ping 신호 주파수영역

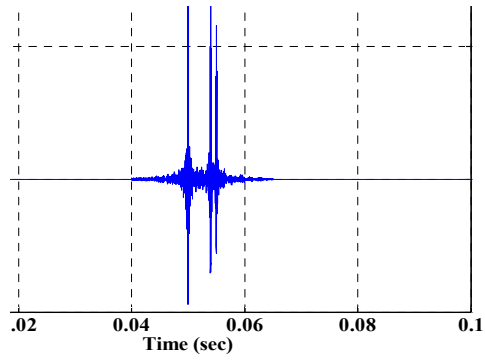


Fig 12. Chirp 반사신호

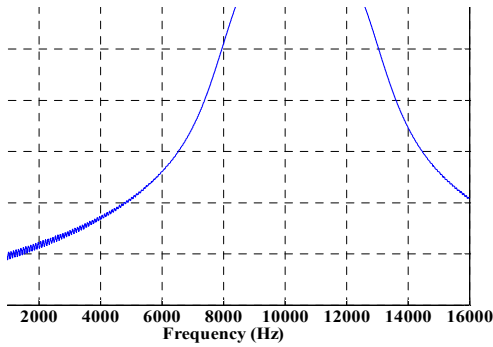


Fig 10. Chirp 신호 주파수 영역

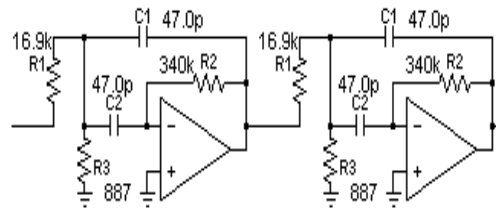


Fig 13. 200kHz 밴드필터 회로

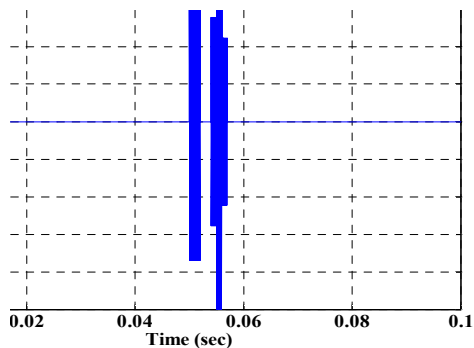


Fig 11. Ping 반사신호

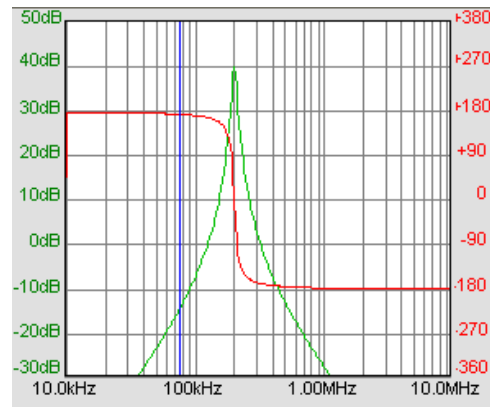


Fig 14. 필터특성 그래프

으며, 2극에 Q값이 10인 필터특성을 보인다.
 Fig. 14는 Fig. 13 회로특성을 그래프로 나타내었다. 초록색선이 밴드패스 필터의 영역인 창함수이며, 그래프를 보면 알 수 있듯이 200kHz가 중간주파수이다.
 창함수가 완만할수록 필터특성이 좋지 않은 것으로 나타내며, 밴드폭이 좁을수록 필터 특성은 좋으나 원래신

호의 수직해상도까지 같이 비례적으로 나빠지는 단점이 있어 적절한 필터계수를 구하여 적용하였다.

5.2 하드웨어 구현

일반적으로 필터는 하드웨어 필터와 소프트웨어필터로 구분되어지는데 각각 장단점이 있지만, 하드웨어 필터를 주로 이용한다.

하지만 본 연구에서는 1차적으로 하드웨어 필터를 적용한 뒤 2차적으로 소프트웨어 필터까지 적용하여 신뢰성 있는 수십프로파일데이터를 인식할 수 있었다.

표 2. 하드웨어 비교

비교 대상	기존 하드웨어	향상된 하드웨어
무게	10kg	2kg
사이즈	400×300×180(mm)	200×150×120(mm)

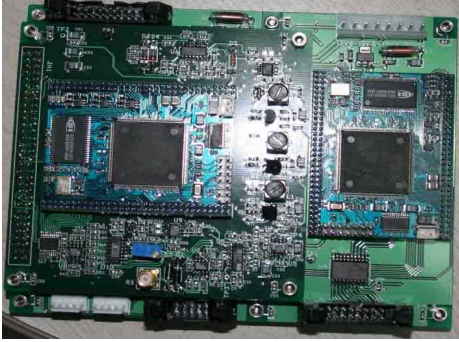


Fig 15. 향상된 음향측심기 하드웨어

```
function res=nlpass(data,dt,fc)
fc=2*pi*fc;
a(1)=-exp(-fc*dt/sqrt(2))*2*cos(fc*dt/sqrt(2));
a(2)=exp(-sqrt(2)*fc*dt);
b=exp(-fc*dt/sqrt(2))*sqrt(2)*fc*sin(fc*dt/sqrt(2));
arg=fc*dt-atan((a(1)*sin(fc*dt)+sin(2*fc*dt))/
(a(2)+a(1)*cos(fc*dt)+cos(2*fc*dt)));
amp=abs(b)/sqrt((a(2)+a(1)*cos(fc*dt)+cos(2*fc*dt))^2
+(sin(2*fc*dt)+a(1)*sin(fc*dt))^2);
m=fix(arg/(fc*dt));
s=size(data);
if (s(2)>s(1))
data=data';
s(1)=s(2);
end
n=s(1)+n;
for i=1:s(1)
tdata(i)=data(i); |
end
for i=s(1)+1:n
tdata(i)=data(s(1)-2);
end
for i=1:3
re(i)=data(i);
end
%low pass main body
for i=3:n
re(i)=b*tdata(i-1)-a(1)*re(i-1)-a(2)*re(i-2);
end
for i=1:s(1)
res(i)=re(i+m)/(amp*1.5);
end
```

Fig 16. IIR필터 Matlab Code

하드웨어 필터에 적용된 OPAMP도 온도 및 주파수 특성이 좋은 제품으로 구성되어 있어 해상과 같은 열악한 조건에서 맞도록 설계하였다. 또한 기존 하드웨어와는

달리 부피 및 사이즈를 최소화하여 무인탐사장치에 맞도록 설계되었으며, S/W 알고리즘을 최대한 활용할 수 있도록 고속의 DSP를 장착하였다.

표 2는 기존하드웨어와 연구 진행된 하드웨어를 비교해 보았다.

기존 음향측심기와 비교해서 향상된 음향측심기의 하드웨어 구성은 Fig. 16을 통해 알 수 있는데 메인컨트롤부와 아날로그수신부로 나뉘어 진다. 하드웨어 PCB는 노이즈를 최소화할 수 있는 6층기판 설계법을 이용하여서 기존 음향측심기의 노이즈특성을 최소화 하였다.

DSP프로세서에서 자체 A/D를 사용하여 고속으로 12비트 신호로 변화하였으며 또한 수심프로파일을 최대한으로 확보하기 위해 1cm 분해능으로 데이터 취득을 하였다.

6. 소프트웨어 알고리즘 기법

6.1 알고리즘 코드 분석 및 비교

본 연구에 적용된 필터 알고리즘은 IIR(infinite impulse response)필터와 칼만(Kalman)필터이다. FIR(finite impulse response)필터는 설계는 쉽지만 효율성과 연산시간이 많이 떨어져 실험에서 배제하였다. 기본적으로 IIR필터와 칼만필터는 노이즈제거 목적으로 적용하였으며, 필터 적용에 따른 수심프로파일의 변화를 파악하였다.

실제 적용된 필터는 Low-Pass 필터로 Cut-Off주파수는 500Hz이다. 이는 200kHz의 주파수를 75kHz로 언더샘플링하기 때문에 소프트웨어에서는 수심프로파일의 노이즈부분을 최소화 할 수 있는 적정 주파수로 필터처리 하였다.

수심데이터는 1cm분해능으로 20m 수심데이터를 기본으로 하였다. 결과적으로 총 데이터 수는 2000개이기 때문에 배열은 2000개 할당하고 프로그램을 실행하였다.

2개의 필터 모두 Matlab으로 코딩하여 프로그램 하였다. Fig. 16의 IIR필터는 FIR필터보다는 연산량이 작으나 연산시간이 가장 큰 지수함수가 사용되어 알고리즘 수행시간에 영향을 많이 주는 단점이 있다. 하지만 파라미터 설정에 따른 잘못된 필터수행 같은 특성 영향이 적어 쉽게 적용할 수 있었다. Fig. 17의 칼만 필터는 지수함수와 같은 연산수행시간이 많은 연산이 없다. 때문에 빠른 시간안에 연산을 할 수 있는 장점이 있으나 파라미터 설정을 잘못할 경우 원치 않은 결과값을 초래 할 수 있어 사전에 테스트를 많이 하여야 했다.

표 3을 바탕으로 실제 음향측심기에는 Fig. 17의 칼만 필터가 적용되었다.

```

P = Q;
R = measnoise^2;

Inn = zeros(size(R));

pos = [];
poshat = [];
posmeas = [];

Counter = 0;
for t = 0 : dt : duration,
    Counter = Counter + 1;
    ProcessNoise = accelnoise * [(dt^2/2)*randn; dt*randn];
    x = a * x + ProcessNoise;
    MeasNoise = measnoise * randn;
    z = c * x + MeasNoise;
    Inn = z - c * xhat;
    S = c * P * c' + R;
    K = a * P * c' * inv(S);
    xhat = a * xhat + K * Inn;
    P = a * P * a' + Q - a * P * c' * inv(S) * c * P * a';
    pos = [pos; x(1)];
    posmeas = [posmeas; z];
    poshat = [poshat; xhat(1)];
end

% Plot the results
t = 0 : dt : duration;
t = t';
plot(t, pos, 'r', t, poshat, 'g', t, posmeas, 'b');
grid;
xlabel('Time (sec)');
ylabel('Position (feet)');
title('Kalman Filter Performance');
    
```

Fig 17. 칼만 필터 Matlab Code

표 3. 소프트웨어 필터 비교

비교 대상	IIR 필터	칼만 필터
연산수행시간 (20m 기준)	35msec	5msec
파라미터 영향	적다	크다
필터 성능	좋다	좋다

6.2 필터 Cuf-off주파수 선정

위 그림들은 실제 2m수조에서 실험한 실험 데이터이다. y축데이터는 음파의 세기이며 x축데이터는 실제 수심값을 cm단위로 표시한다. 현재 수심은 170cm 즉 1.7m 정도이며, 소프트웨어필터를 통해 수심프로파일이 바뀌는 것을 알 수 있었다.

Cut-off주파수가 낮으면 신호프로파일의 곡선이 뭉그러지고, Cut-off주파수가 높을 경우 신호가 세밀해 진다.

Cut-off주파수가 높을 경우 음파 빨이 여러 개 생기게 되는데 Fig. 22의 그림에서와 같이 이는 수심포인트로 잘못 인식되어 수심이 틀러지는 가장 큰 요인이 된다.

Cut-off주파수가 낮으면 음파빨은 한개이나 신호곡선이 뭉그러진다. 이는 실제 수심포인트는 정확하게 인지하나 실제 수심정보가 아닌 약간의 오차값으로 적용된다.

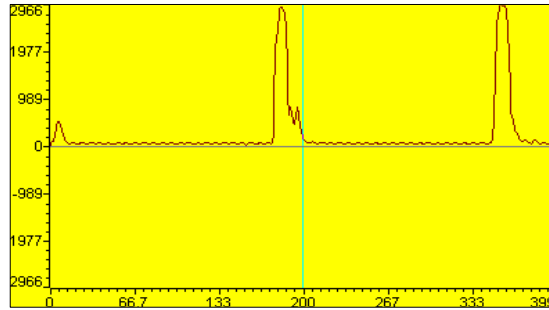


Fig 18. Raw 수심프로파일

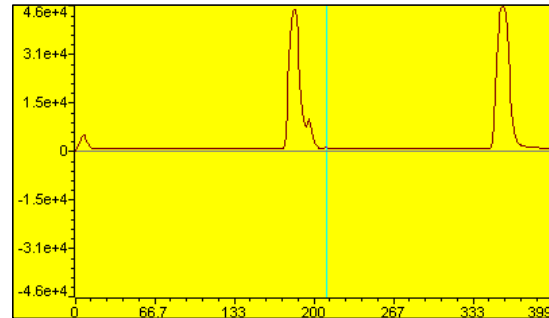


Fig 19. Cut-off Freq : 1kHz

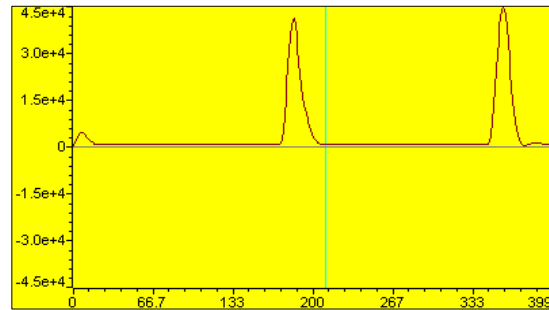


Fig 20. Cut-off Freq : 500Hz

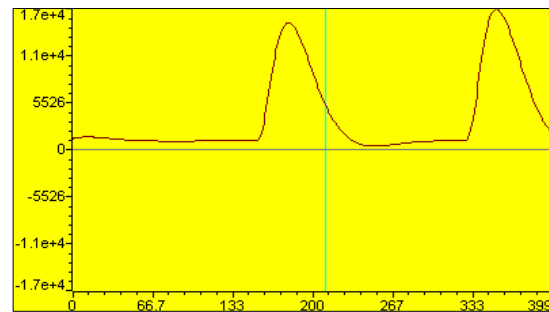


Fig 21. Cut-off Freq : 100Hz

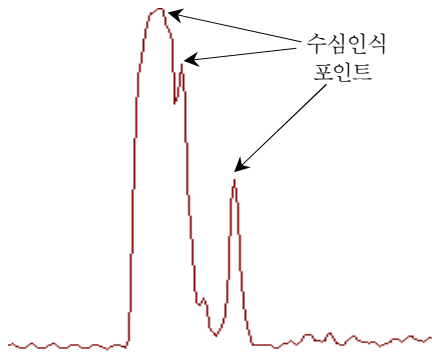


Fig 22. 수심인식포인트 오류

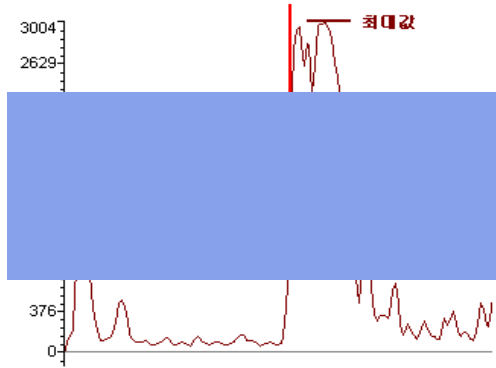


Fig 25. 가변 경계점법

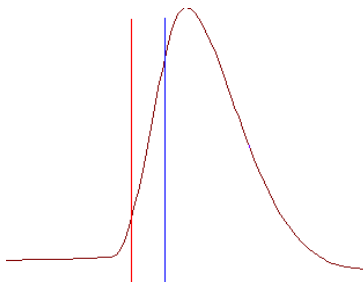


Fig 23. 수심값 오류

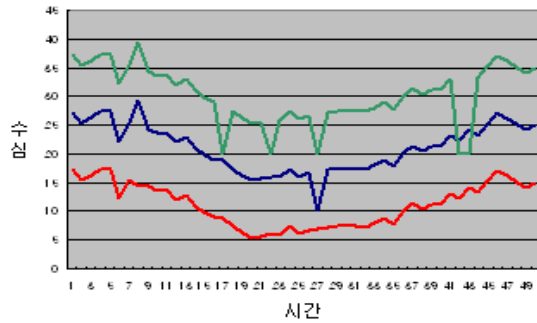


Fig 26. 수심인식비교

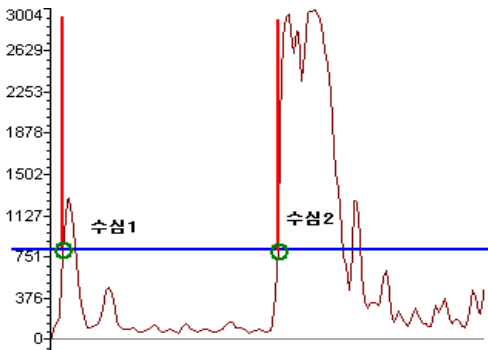


Fig 24. 고정 경계점법

Fig. 23에서 빨간선은 프로그램에서 인식한 수심이며, 파란선이 실제 수심값이다. 하지만 그래프로 알 수 있듯이 오프셋 값이 생기게 된다.

시뮬레이션 결과를 바탕으로 Cut-off주파수는 500kHz가 가장 적당하다고 판단하여 실제 장비에 적용하였다.

6.3 수심포인트 경계점 인식법

Fig. 24방식은 경계점을 고정으로 판단하여 실제 수심이 아닌 위치에 수심포인트가 인식될 가능성이 커서 수

심 신뢰성을 나쁘게 하는 요인이 된다.

본 연구에서 고정 경계점법에서 문제점을 가변방식으로 변경하여 수심 신뢰도를 40%이상 높였다. 이 방식은 전체 프로파일의 최대값을 구한 뒤 최대값에 대해 비례적으로 경계포인트를 설정하는 방식이다.

Fig. 26은 수심인식율을 비교한 그림이다.

빨간색은 실제 수심이며, 초록색은 기존수심인식방식이며, 파란색이 이번 연구에 적용된 수심인식법을 이용한 결과이다.

각 그래프는 10m의 오프셋을 가지고 있으며, 수심오류가 발생하지만 파란색이 실제 수심데이터랑 가장 유사한 것을 알 수 있었다.

7. 결 론

이번 연구를 통하여 기존 음향측심기의 수심 신뢰성을 위한 알고리즘 연구를 하게 되었는데 그 결과로 트랜듀서의 음파특성 분석을 통하여 사이드로브 최소화 및 수

신감도 향상을 위한 세라믹 배열 방법 등을 알 수 있었다. 그리고 단순 과거정보 비교를 통한 수심인식법은 저수심이나 열악한 환경에서 신뢰성을 확보하기가 어렵지만 칼만필터 알고리즘 및 가변 경계점법 적용으로 최소화하였다. 이런 알고리즘 구현은 DSP프로세서를 적용하여 가능하였다.

또한 하드웨어 최적 구성으로 인한 사이즈 축소를 하여 소형 무인장비에 탑재 가능하도록 하였다. 이와 같이 해양개발분야가 확대되는 시점에서 음향측심기 수심인식법 연구는 많은 도움을 가져다 줄 것으로 예상된다.

8. 후 기

본 논문은 국토해양부 지원으로 수행중인 “수중부문 공간정보 구축장비 개발” 연구결과의 일부입니다.

참고문헌

1. Urick R. J., 1983, Principles of Underwater Sound-3rd ed., McGraw-Hill Book Company.
2. Paul A. Clarke and L. J. Hamilton, “The ABCS Program for the Analysis of Echo Sounder Returns for Acoustic Bottom Classification”, MODAMRL
3. Medwin and Clay(1998), Fundamentals of acoustical oceanography, Academic Press.