

초음파 고도계를 이용한 지형지물 측정에 있어서의 잡음에 의한 오차 보정 방법

김시문 · 최종수 · 이종무 · 홍섭
한국해양연구원 해양시스템안전연구소

A Correction Method of the Error in the Survey of Topography Using an Ultrasound Altitude Sonar

SEA-MOON KIM, JONG-SU CHOI, CHONG-MOO LEE AND SUP HONG
KRISO, KORDI, P.O.Box 23, Yusong-gu, Taejon 305-600, Korea

KEY WORDS: Ultrasound Altitude Sonar 초음파 고도계, Error Correction 오차 보정, Butterworth Filter 버터워스 필터

ABSTRACT: In order to measure the distance from the bottom in the ocean we use ultrasound altitude sonars. The manganese nodule pick-up device developed by KRISO is also using an altitude sonar to control the gap between the pick-up head and sea bottom. This paper describes the performance of the altitude sonar by an experimental method. The experiment was performed with four ground models in a small basin. Manganese nodule models and water-bentonite mixture was used for setting up the ground models. Butterworth filter was applied to remove the noise caused by a servo motor and its controller. The results show that the altitude sonar gives a good estimation of the types and slopes of the bottom as well as the distance.

1. 서 론

해저의 지형지물을 조사하는 방법으로는 수중 카메라와 같이 빛을 이용하는 방법과 측면 주사 음탐기(side scan sonar)와 같이 초음파를 이용하는 방법이 있다. 그러나 해양 내에서는 많은 부유물들이 존재하여 시계(視界)가 좋지 않기 때문에 수중 카메라를 이용한 조사는 주로 가까운 곳에서 수행된다. 이에 반해 초음파는 광파에 비하여 멀리 전달되므로 짧은 시간 내에 광범위한 영역을 조사하기 위해서 사용된다. 또한 근거리를 조사하는 경우라도 수중의 부유물에 의해 시계가 급격히 감소하는 경우라도 초음파를 이용한 조사가 수행되어야 한다.

초음파를 이용한 지형지물 파악의 또 다른 예로는 초음파 고도계(ultrasound altitude sonar)가 있다. 이는 해저면까지의 거리를 측정하는 센서로서 수중 잠수정의 고도를 측정하기 위한 목적 등에 이용된다.

최근에 들어와서는 지상 자원의 고갈로 인하여 해저광물의 탐사와 채광을 위한 많은 노력과 연구가 진행되고 있는데 보다 효과적인 탐사 및 채광을 위해서는 지형지물의 파악이 선행되어야 한다. 특히, 망간단괴의 채집 과정에서는 많은 퇴적물이 부유되기 때문에 초음파 고도계의 활용이 필수적이다.

본 연구에서는 현재 한국해양연구원에서 개발중인 망간단괴 채집 장치에 부착될 초음파 고도계의 실험을 통한 성능 특성 파악을 수행하고자 한다. 실험에 사용된 고도계는 지름이 5.6cm로서 1MHz의 주파수 특성을 가지며 채집 장치의 적정

높이를 제어하기 위한 수단으로 자체 개발되었다. 망간단괴 채집 장치의 효율적인 운용을 위해서는 단괴의 흡입구와 해저면 사이의 간격이 일정하게 유지되어야 하는데 새로 장착되는 고도계의 성능이 간격의 제어를 위해 충분한 해상도와 정밀도를 가지는가에 대한 관점을 중심으로 실험을 수행하고 있다.

2. 실험방법

2.1 실험 장치 개요

Fig. 1에서 보는 바와 같이 약 가로 3m, 세로 5m의 크기와 깊이 2m를 갖는 수조 바닥에 너비 60cm, 길이 2m를 갖는 모형지물을 설치하고 모형지물로부터 일정 거리 떨어진 위치에 붐을 이용하여 초음파 고도계를 설치하였다. 붐에 고정된 고도계는 이동전차에 의해 수평 방향으로 자유롭게 이동할 수 있게 하였으며 서보 모터를 이용한 속도 조절이 가능하게 하였다. 또한 붐의 수직 이동이 가능하여 원하는 거리만큼 떨어뜨려 고정시킬 수 있게 하였다. 본 초음파 고도계는 입력 전압 12V에서 구동되며 측정범위는 약 20cm~150cm를 가진다. 사용된 고도계의 거리 측정 원리는 펄스 형태의 음압을 방사한 후 벽면에 반사되어 돌아오는 신호를 수신하고 송신 신호 및 수신 신호 사이의 시간차에 비례하는 만큼 전압을 내보내 주어 측정 전압으로부터 거리를 역산하여 얻는다. 본 실험에서는 이와 같이 계산된 측정 전압 데이터만을 수집하였다. 모형지물의 한쪽 끝에는 크레인을 고정하여 기울기 조절이 가능하도록 하

었다.

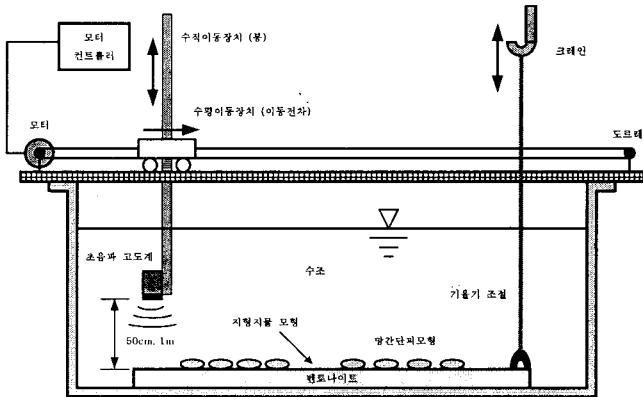


Fig. 1 Experimental set-up for the measurement of the distance between the ultrasound altitude sonar and the bottom

2.2 모형지물의 설정

본 실험에서는 Fig. 2와 같이 물-벤토나이트(bentonite) 혼합물 및 망간단괴 모형을 사용한 네가지 종류의 모형지물을 설정하여 실험을 수행하였다. 벤토나이트는 건밀도가 약 1.22~1.47kg/m³의 값을 가지며 해저 지반과 매우 유사한 특성을 가지는 것으로 알려져 해저 지반 모형에 많이 사용된다(Thetis, 1995). 망간단괴 모형은 약 2000kg/m³의 밀도를 갖는 세 종류의 크기를 사용하였으며 크기 및 질량은 Table 1과 같다.

Table 1 Size and mass of manganese nodule models

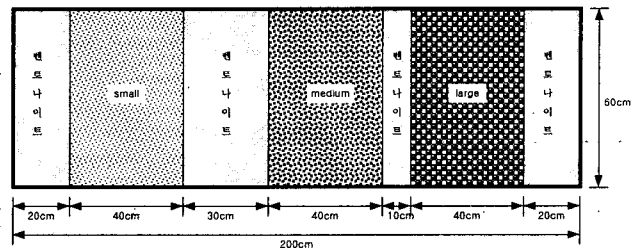
Size	Long-axis [cm]	Short-axis 1 [cm]	Short-axis 2 [cm]	Mass kg/ea
Small	5.0	3.3	3.0	0.072
Medium	7.5	4.9	4.5	0.162
Large	10.0	6.5	6.0	0.440

모형지물 I은 Fig. 2(a)와 같이 세 종류의 망간 단괴 모형을 40cm길이로 간격없이 설치하였으며 각각 모델 사이의 간격은 30cm 및 10cm로 하여 고도계의 빔폭 및 해상도의 측정이 가능하도록 하였다. 모형지물 II는 작은 크기의 단괴로 부존도(coverage)가 각각 15kg/m², 10kg/m², 5kg/m²가 되도록 설치하였다. 모형지물 III 및 IV는 각각 작은 크기 및 큰 크기의 망간 단괴 모형을 사용하였으며 이때 부존도는 10kg/m²와 5kg/m²가 되게 하였다.

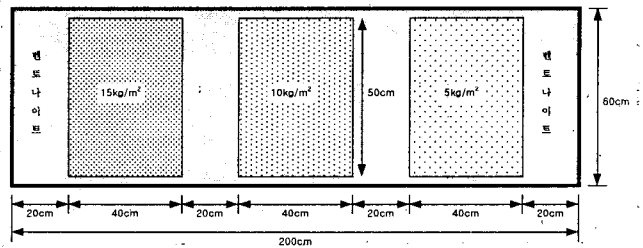
2.3 실험 방법

Fig. 1과 같은 상황에서 전차를 이동시키면서 고도계에서 측정되는 신호를 A/D converter를 이용하여, 100Hz의 샘플링 주파수로 데이터 수집하였다. 전차 이동 방법은 '모형지물 I과 II인 경우 손으로 직접 이동시켰으며 모형지물 III과 IV인 경우에 대하여는 서보 모터를 이용하였다. 손으로 이동시킬 때는

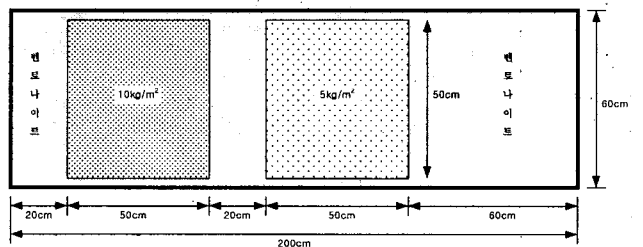
빠른 속도(2m 이동시 약 초)와 느린 속도(2m 이동시 약 초)에 대하여 수행하였다. 이 경우에는 일정한 속도로 가할 수 없는 단점이 있으나 서보 모터에 의한 잡음이 생성되지 않는 특징이 있다(결과 참조). 고도계와 지형지물 사이의 거리는 약 50cm인 경우와 100cm인 경우에 대하여 수행하였다. 서보 모터를 이용하는 경우에는 0.1m/s에서부터 1.0m/s 까지 0.1m/s 간격으로 수행하였으며 각각의 경우에 기울기를 약 0, 5, 10, 15도로 고정시켜 수행하였다.



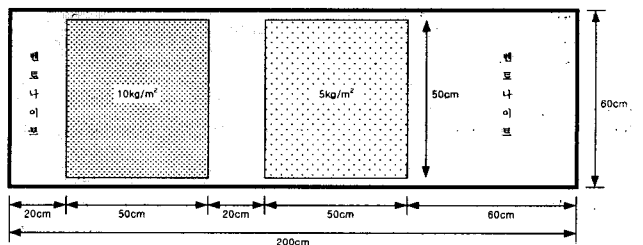
(a) Model I



(b) Model II: small size, 15kg/m²(35ea), 10kg/m²(35ea) and 5kg/m²(17ea)



(c) Model III: small size, 10kg/m²(35ea) and 5kg/m²(17ea)



(d) Model IV: large size, 10kg/m²(15ea) and 5kg/m²(8ea)

Fig. 2 Four ground set-ups using water-bentonite mixture and manganese nodule models

3. 실험 결과

3.1 모형지물 I

이동시키면서 수행하기 전에 측정 전압과 거리와의 관계를 알아보기 위하여 모형지물 위에 고도계를 고정시켜 전압을 측정하였다. 망간단괴 모형은 높이가 각각 다르므로 세 위치에서 측정하여 평균값을 취하였다. Table 2 및 3은 거리가 각각 50cm와 100cm의 경우의 결과를 보여주고 있다. 감도(sensitivity)는 약 34mV/cm가 나오며 표준편차는 0.24와 0.14의 값으로 1% 미만의 값을 가진다. 이 오차는 깊이 측정 오차 등에 의한 것으로 생각된다.

Table 2 Experimental result: measured sensitivity of the fixed altitude sonar (Model I, distance: 50cm)

바닥유형	깊이 [cm]	거리 [cm]	측정 전압 [V] (측정순서)	sensitivity [mV/cm]
bentonite	137.3	51.2	1.746	34.1
small	133.7	47.6	1.616, 1.620, 1.618	34.0
bentonite	136.3	50.2	1.706	34.0
medium	132.0	45.9	1.571, 1.590, 1.580	34.4
bentonite	137.0	50.9	1.741	34.2
large	131.4	45.3	1.568, 1.563, 1.558	34.5
bentonite	137.6	51.5	1.741	33.8
바닥	150.8	64.7	2.226	34.4
평균				34.2
표준편차				0.24

Table 3 Experimental result: measured sensitivity of the fixed altitude sonar (Model I, distance: 100cm)

바닥유형	깊이 [cm]	거리 [cm]	측정 전압 [V] (측정순서)	sensitivity [mV/cm]
bentonite	137.3	101.2	3.450	34.1
small	133.7	97.6	3.278, 3.293, 3.288	33.7
bentonite	136.3	100.2	3.377	33.7
medium	132.0	95.9	3.234, 3.263, 3.249	33.9
bentonite	137.0	100.9	3.406	33.8
large	131.4	95.3	3.230, 3.231, 3.234	33.9
bentonite	137.6	101.5	3.417	33.7
바닥	150.8	114.7	3.887	33.9
평균				33.8
표준편차				0.14

Fig. 3(a)는 거리 50cm를 두고 고도계가 이동하는 경우에 대한 측정 전압을 보여주고 있다. 위의 두 그림은 저속으로 이동하는 경우로서 오른쪽 및 왼쪽으로 이동할 때의 결과다. 아래 그림은 고속인 경우를 보여준다. 전압 약 1.7V의 값을 갖는 구간은 거리가 큰 곳으로 벤토나이트에 해당되는 부분이며 약 1.6V의 값을 갖는 구간은 망간단괴 모형이 위치해 있는 구간

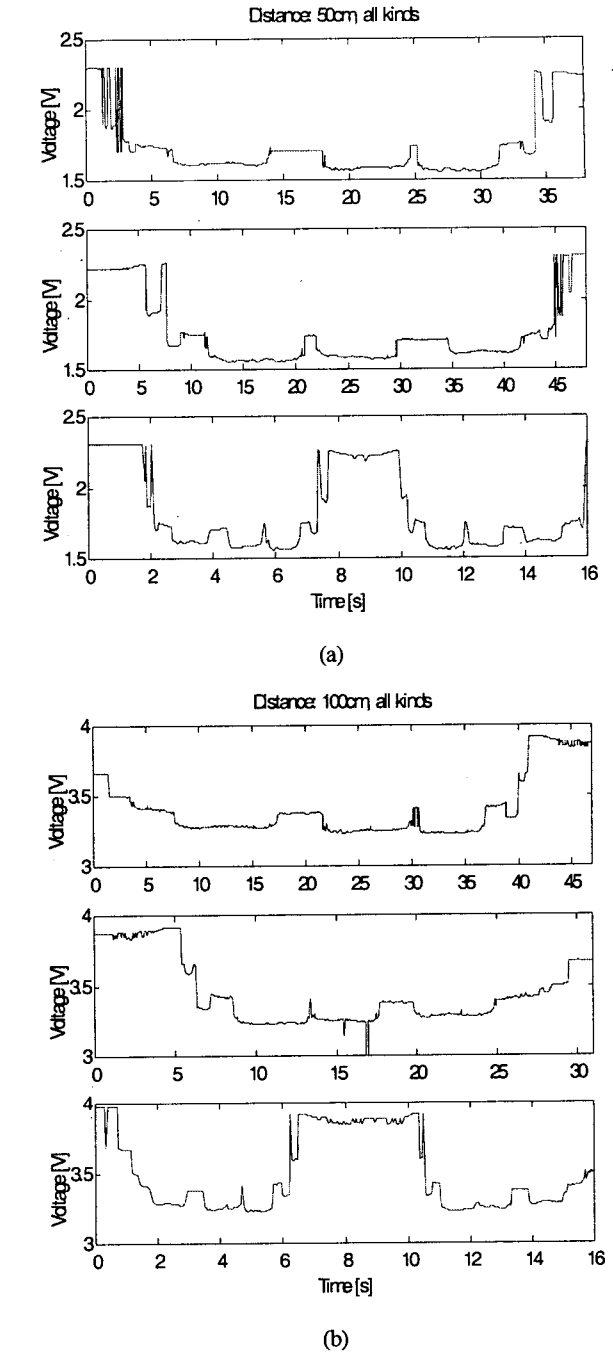


Fig. 3 Input voltage measured by the altitude sonar (Model I) (a) distance: 50cm (b) distance: 100cm (upper figure: moving forward with slow speed, center: moving backward with slow speed, lower figure: moving forward and backward with fast speed)

이다. 단괴모형 및 벤토나이트를 확실히 구별하고 있다. 2V 이상의 큰 전압 구간은 모형지물 바깥에 위치해 있는 경우를 나타낸다. Fig. 3(b)는 거리가 100cm인 경우로서 Fig. 3(a)와 거리 차이에 따른 전압만 다를 뿐 유사한 결과를 보여주고 있다.

3.2 모형지물 II

Table 4와 5는 모형지물 II에 대하여 측정 전압 및 감도를 보여주고 있다. 감도는 약 33mV/cm의 값을 가지며 편차는 0.84와 0.19의 값을 가진다. 감도에 있어서 모형지물 I과의 차이점을 나타내는데 이는 거리 측정의 오차와 고도계의 빔폭에 따른 영향 등에 의한 것으로 생각된다. Fig. 4는 Fig. 3과 동일한 방법을 통하여 얻은 결과를 나타낸다. 부존도가 높은 구간(Fig. 4(a) 위 그림의 12~18초 구간)은 평탄한 전압을 갖는 반면 부존도가 낮은 구간(Fig. 4(a)위 그림의 33~38초 구간)에서는 단괴 모형의 위치에 따라 전압의 변화가 심하게 나타나는 것을 나타낸다. 모형지물 I 및 모형지물 II에 대한 결과로부터 설치된 초음파 고도계는 거리 및 부존도의 크기 비교를 할 수 있을 정도의 성능을 가지고 있음을 알 수 있다.

Table 4 Experimental result: measured sensitivity of the fixed altitude sonar (Model II, distance: 50cm)

바닥유형	깊이 [cm]	거리 [cm]	측정 전압 [V] (측정순서)	sensitivity [mV/cm]
바닥	154.6	67.3	2.219	33.0
bentonite	137.3	50.0	1.646	32.9
small	133.0	45.7	1.552, 1.532, 1.554	33.8
bentonite	135.6	48.3	1.622	33.6
medium	132.6	45.3	1.523, 1.533, 1.632	34.5
bentonite	136.2	48.9	1.649	33.7
large	132.9	45.6	1.593, 1.647, 1.649	35.7
bentonite	136.3	49.0	1.649	33.7
바닥	150.2	62.9	2.114	33.6
평균				33.8
표준편차				0.84

Table 5 Experimental result: measured sensitivity of the fixed altitude sonar (Model II, distance: 100cm)

바닥유형	깊이 [cm]	거리 [cm]	측정 전압 [V] (측정순서)	sensitivity [mV/cm]
바닥	154.6	117.3	3.816	32.5
bentonite	137.3	100.0	3.253	32.5
small	133.0	95.7	3.133, 3.136, 3.145	32.9
bentonite	135.6	98.3	3.224	32.8
medium	132.6	95.3	3.155, 3.133, 3.142	33.0
bentonite	136.2	98.9	3.256	32.9
large	132.9	95.6	3.158, 3.160, 3.158	33.0
bentonite	136.3	99.0	3.251	32.8
바닥	150.2	112.9	3.718	32.9
평균				32.8
표준편차				0.19

3.3 모형지물 III

모형지물 III은 모형지물 I과 II와는 달리 서보 모터를 이용하여 속도를 제어한 경우이다. Fig. 5는 모형지물 III이 바닥에

평행으로 놓여 있을 때의 측정 전압을 보여주고 있다. 앞의 모형지물 I 및 II의 실험 결과와는 달리 처음 시작 구간에서 많은 잡음이 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 서보 모터에서 발생하는 전자파에 의한 것으로 서보 모터에서 멀어질수록 영향이 적어지는 것을 알 수 있다. Fig. 6의 위의 그림은 Fig. 5에서

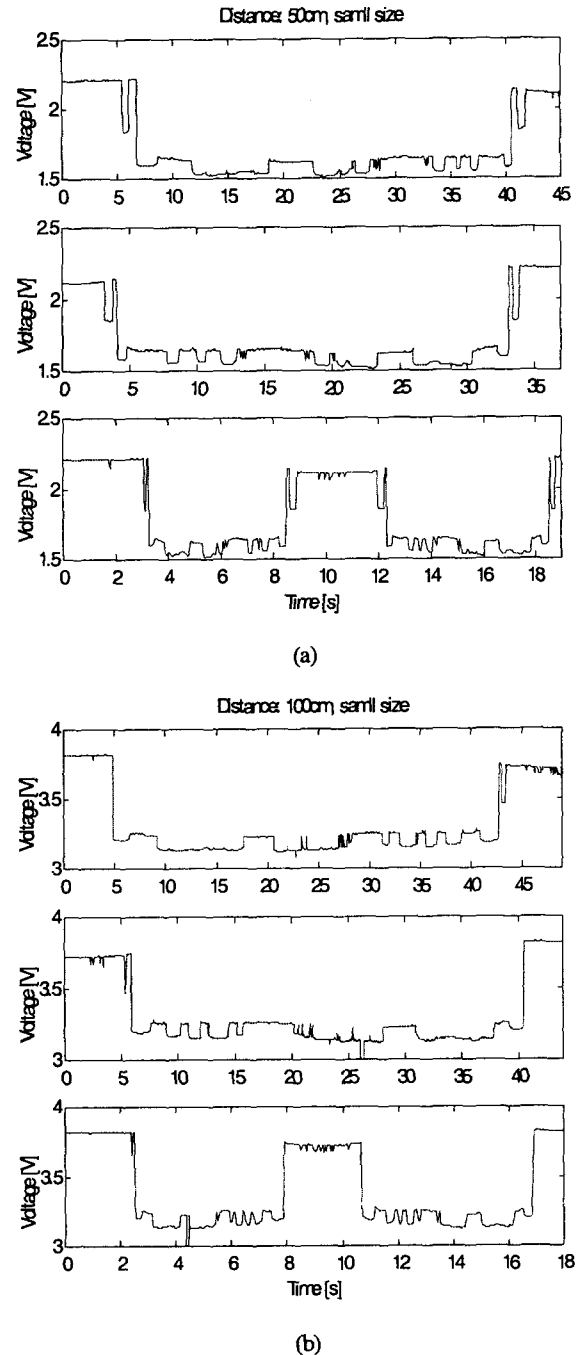


Fig. 4 Input voltage measured by the altitude sonar (Model II) (a) distance: 50cm, (b) distance: 100cm (upper figure: moving forward with slow speed, center: moving backward with slow speed, lower figure: moving forward and backward with fast speed)

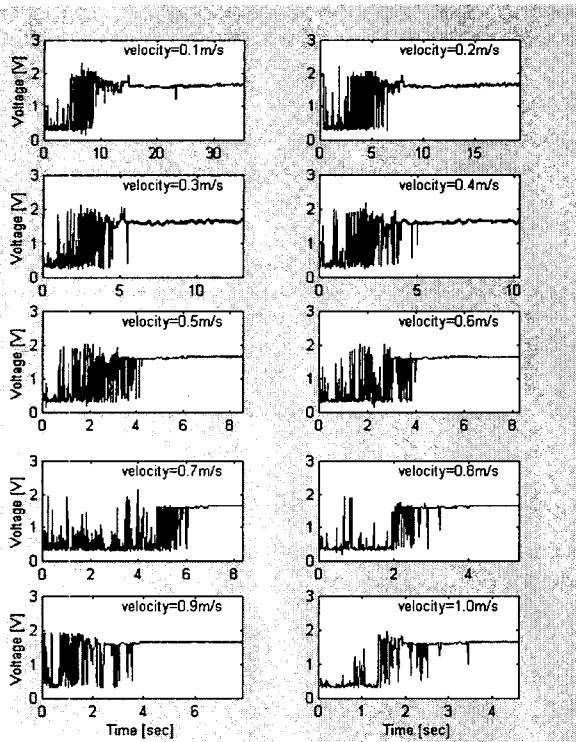


Fig. 5 Input voltage measured by the altitude sonar with various moving speed (Model III)

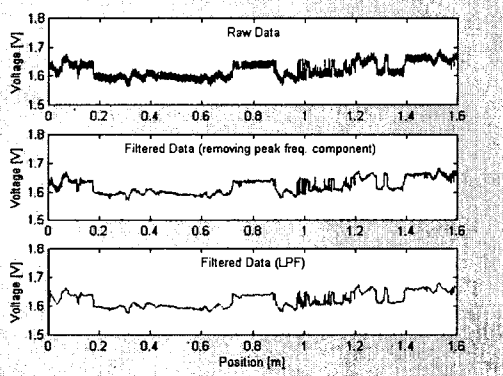


Fig. 6 Comparison of raw data(input voltage measured by the moving altitude sonar) and its filtered data (Model III)

신호가 0으로 튀는 구간을 제외하고 얻은 결과를 나타낸다. 고주파의 잡음이 나타나는 것을 알 수 있는데 이를 주파수 분석을 하여보면 Fig. 7과 같다. 약 40Hz에서 피크가 나타나는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 잡음 성분을 제거하기 위하여 피크 성분만을 제거하는 방법과 저주파대역 필터를 이용하여 결과를 비교하여 보았다. 피크 성분만을 제거하는 경우는 원래 신호를 푸리에 변환하여 평균치보다 큰 값을 나타내는 구간의 크기만을 낮추고 위상을 같은 값을 가지게 한 후 다시 역푸리에 변환을 하여 얻었다. 저주파대역 필터로는 통과 대역의 크기 변화를 가장 작게 하는 버터워스(Butterworth) 필터 (Oppenheim and Schaffer, 1989)를 사용하였다.

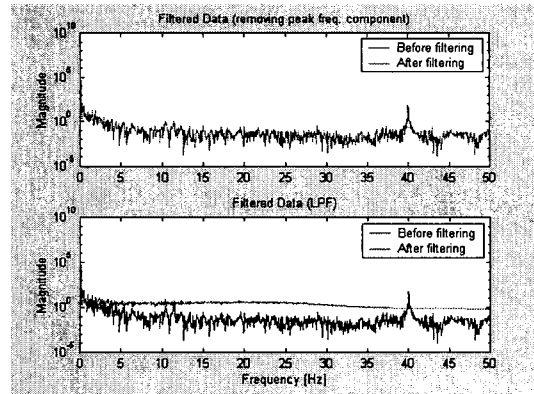


Fig. 7 Comparison of the frequency spectrum of raw data(input voltage measured by the moving altitude sonar) and its filtered data (Model III)

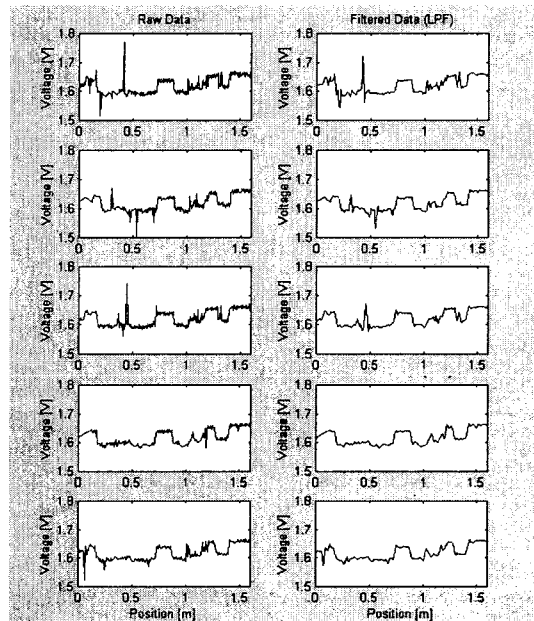


Fig. 8 Comparison of the raw data(input voltage measured by the moving altitude sonar) and its filtered data when moving velocity is between 0.6~1.0m/s (Model III)

Fig. 5에서 보듯이 버터워스 필터를 사용하는 방법이 잡음 제거에 더 효과적인 것을 알 수 있다. 이 이후의 결과는 모두 버터워스 필터를 통하여 잡음을 제거하였다. Fig. 7의 위의 그림은 피크 성분만을 제거할 때, 아래 그림은 버터워스 필터를 통과하였을 때의 주파수 분석 결과를 보여주고 있다.

Fig. 8은 고도계의 이동속도가 0.6~1.0m/s인 경우의 결과로서 왼쪽 그림은 튀는 성분을 제거한 경우, 오른쪽 그림은 저주파대역 필터를 통과시킨 후의 결과이다. 부존도가 10kg/m^2 구간과 5kg/m^2 의 구간을 잘 보여주고 있음을 알 수 있다. 또한 모형지물의 각도를 변화시키면서 실험을 수행하였는데 이와 유사한 결과를 얻었다. 단 지형의 기울기에 따라서 전압도 변화하는 결과를 얻었다. Table 6은 기울기 변화에 따른 실제 측정 값과 고도계를 이용한 결과를 비교하고 있다. 고도계를 이

용하는 경우에는 모형지물이 있는 구간에서 최소자승법에 의하여 구하였다. 오차의 평균치는 약 1도 내외로서 비교적 정확히 예측을 하고 있음을 알 수 있다

Table 6 Estimation of the slope using the data measured by altitude sonar (Model III)

기울기 [degree]	최대오차 [degree]	오차평균 [degree]	오차의 표준편차 [degree]
-0.1	-1.5	-0.9	0.2
6.2	-2.0	-0.8	0.5
11.2	-1.4	-0.7	0.4
15.8	-3.1	-1.5	0.8

3.4 모형지물 IV

모형지물 IV에 대해서도 III과 같이 동일한 실험을 수행하였다. Table 7은 이의 결과를 나타낸다. 이 경우도 평균 오차가 1도 내외로서 비교적 정확한 예측을 하고 있음을 나타낸다.

Table 7 Experimental result: measured sensitivity of the fixed altitude sonar (Model II, distance: 50cm)

기울기 [degree]	최대오차 [degree]	오차평균 [degree]	오차의 표준편차 [degree]
-0.1	-0.8	-0.7	0.1
6.0	-1.9	-0.7	0.5
10.8	-1.5	-1.1	0.3
15.7	-5.0	-1.9	1.2

4. 결 론

본 연구에서는 간이 수조 내에서 망간단괴 채집장치에 사용될 초음파 고도계의 성능 분석 실험을 수행하였다. 모두 4가지 모형지물에 대하여 고도계를 이동시키면서 거리에 비례하여 나타나는 전압을 측정하였다. 두가지 모형에 대하여는 손으로 직접 이동시켜 결과를 얻었으며 나머지 모형에 대하여는 서보모터를 이용하여 정속으로 이동시켜 결과를 얻었다. 손으로 이동시키는 경우에는 잡음이 발생하지 않았으며 망간단괴 구간 및 부존도 크기 여부의 예측이 어느 정도 가능하였다. 서보모터를 이용하는 경우에는 모터 및 제어장치에서 발생하는 잡음으로 인하여 측정 전압에 많은 영향을 받음을 확인하였다. 전압이 0에 가깝게 되는 위치의 데이터를 제거하고 버터워스 저주파대역 필터를 통과시켜 깨끗한 데이터를 얻었으며 이와 같은 방법을 통하여 모형지물의 형상 및 기울기의 예측이 가능함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 특정연구개발사업 “심해저 광물자원 개발기술 및 환경보전 연구”의 일환으로 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 이창식(1999), 수중 음향 영상, 집문당.
 Oppenheim, A. V. and Schaffer, R. W.(1989), "Discrete-time Signal Processing", Prentice-Hall.
 Thetis(1995), "Initial Report of KRISO-HMRI-Thetis Joint Project".