

음향탐지장비를 활용한 해저지형도작성에 관한 연구

Drawing of Sea Mapping using Sound Detector

이재기¹⁾ · 김명배²⁾ · 김감래³⁾

Kim, Kam Lae · Kim, Myoung Bae · Lee, Jae Gi

Abstract

Recently human beings are enforcing marine investigations to extend their living environment from land to the sea. Therefore, this study grasped objects in the bottom of the sea and its topographical undulation and acquired topographic map with a sound detector. In result, This study acquired their images with a sound detector and can draw up a Drawing of Sea Mapping and a three-dimensional modeling map.

Keywords : sound detector, ISSS, Drawing of Sea Mapping, three-dimensional modeling map

초 록

최근 인간생활의 영역이 해양에까지 영역을 넓이기 위해 해양조사가 이루어지고 있다. 이에 이 연구에서는 해저지형에 대해 음향탐지기를 이용하여 해저면의 물체나 지형의 기복을 파악하기 위한 지형도의 작성 가능성을 파악하였다. 그 결과 ISSS의 방법에 의해 음향영상이미지를 획득하였으며, 그 결과 해저면의 지형도 및 3-D모델링도를 작성할 수 있었다.

핵심어 : 음향탐지기, ISSS, 해저면의 지형도, 3-D모델링도

1. 서 론

최근에는 인간의 생산활동을 위한 활동공간을 육지뿐만 아니라 해양 더 나아가서 우주공간까지 활동영역을 넓혀가고 있으며, 해양내에서의 각종 자원을 활용하기 위한 해저지형에 대한 조사가 이루어지고 있다. 그러나 해저지형 수심이 깊고, 수중이라는 특수성으로 인해 해저지형의 탐사에는 많은 기술적인 문제가 발생되고 있는 실정이며, 안전이 확보된 상태의 조사를 위한 효과적인 방법이 요구되고 있다.

해양 및 수중에서의 조사 및 탐사는 주로 음향학적인 방법인 Echo Sounder, Multibeam Echo Sounder 및 Side Scan Sonar 를 이용하여 왔다.

대표적인 예로 Side Scan Sonar를 이용하여 프랑스 수중고고학자 프랑크 고디오가 2001년 알렉산드리아 인근

해역에서 8세기 지진으로 사라진 도시 헤라클레이온을 발굴하였고, 일본에서는 1992년 수심 25m 아래에서 조몽시대 패총을 발굴하였다. 2006년에는 미국 뉴펀들랜드에서 Side Scan Sonar를 사용 해저케이블노선의 수로탐사를 실시하였다. 우리나라에서는 Side Scan Sonar에 의한 인공어초 생태조사가 이루어졌으며, 신두리 해안 Side Scan Sonar 해저면 음향영상과 해저퇴적물의 조사 연구 및 3D 해저탐사기법을 이용한 해저지형도작성에 관한 연구가 있었다. 그러나 이들 방법은 Side Scan Sonar에 의한 2차원의 음향이미지의 획득과 더불어 Echo Sounder에 의한 수심측정등의 방법등 2가지 방법을 동시에 적용하여야 하는 어려움이 있었다.

이에 이 연구에서는 Side Scan Sonar에 2개의 간섭신호 2개를 추가하여 기복정보를 얻을 수 있는 고휘상도 정밀 수중 음향영상 탐사장비인 Interferometer Side Scan

1) 연결저자 · 정희원 · 명지대학교 토목환경공학과 박사과정(E-mail:jae913669@hanmail.net)
2) 정희원 · 명지전문대학 토목과 교수(E-mail:kimmb@chol.com)
3) 정희원 · 명지대학교 토목환경공학과 교수(E-mail:kam@mju.ac.kr)

Sonar을 이용하여 해저면에 대한 지형탐사를 실시하였다. 이를 통해 해저면에 대한 등고선도의 작성과 3D모델링도면을 작성하고, 기존 1/7000 해양지도내의 도면과 비교함으로써 해저지형도의 작성가능성을 모색하여 보았다.

2. 해저탐사원리

수중에서의 탐사는 수중바닥에 침몰된 물체의 탐색이나 공학적, 생태학적 모니터링을 목적으로 하는 탐사와 수중관로나 케이블의 설치, 수중 건축물의 시공 전후의 조사, 수로조사, 해도작성 등 고품질의 영상자료와 정밀한 기록정보를 필요로 하는 경우의 탐사방법으로 대별할 수 있다. 이에 대한 각 해저탐사법에 고찰과 각 탐사법에 따른 장단점을 분석하였다.

2.1 Echo Sounder

Echo Sounder는 그림 1에서 보는 바와 같이 수면과 수직으로 음파를 방사하고 수신시간을 측정해서 수심을 구한다.

$$h = V_{sound} \times T_{time} \quad (1)$$

2.2 Multibeam Echo Sounder

이 방법은 그림 3에서와 같이 안테나가 장착된 배의 운동선 방향으로 수직되게 하나의 방사선이 아닌 부채꼴형

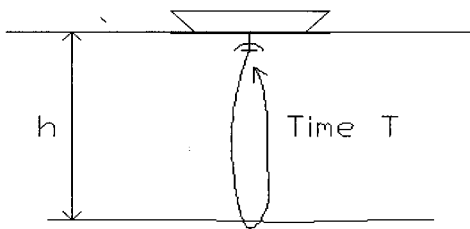


그림 1. 수신기의 원리

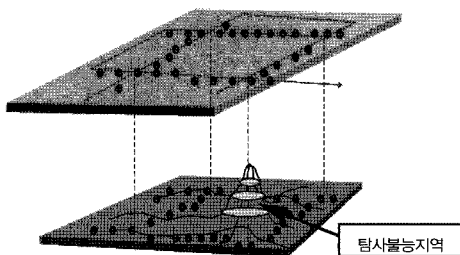


그림 2. Echo Sounder의 측정한계

식의 N개의 다중빔을 형성하여 측정한다.

이러한 방법으로 각각의 방향에서 바닥까지의 거리를 측정하여 바닥기복의 정보를 얻을 수 있다. 이 경우는 N개의 송신채널과 수신채널이 필요하다. 측정 폭은 깊이의 4배까지 탐사 할 수 있어서 기존의 Echo Sounder보다 훨씬 효율적이고 정밀한 측량을 할 수 있으나, 음향 이미지는 얻을 수 없으며 3D 기록자료만을 얻을 수 있다. 현재 이 방법은 해도작성 및 수로조사작업에 유용하게 쓰이고 있다.

2.3 Side Scan Sonar

그림 4에서 보는 바와 같이 측면으로 폭이 좁고 넓은 각도로 방사되며 면적단위로 탐사하는 방식으로(탐사폭: 깊이의 5~7배) 방사각은 식(2)와 같다.

$$\Delta\theta_y = (1\sim 2)^\circ, \Delta\theta_x = (40\sim 60)^\circ \quad (2)$$

이방법은 수역조사시 수중바닥표면탐사에 있어 고해상도의 음향이미지를 얻을 수 있으며 대상물의 상태 및 크

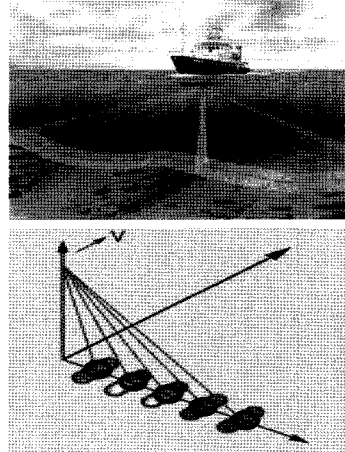


그림 3. Multibeam Echo Sounder의 탐사

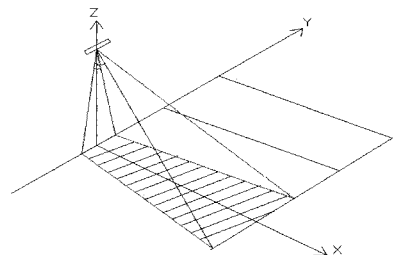


그림 4. Side Scan Sonar의 원리

기를 측정할 수 있는 특징이 있다. 방사형태는 그림 5에서 보는 바와 같이 날의 모양을 하고 있다. 해심측정기처럼 입의 지역의 지점을 음향화하는 것이 아니라 지역면적 단위로 음향화하기 때문에 수중바닥 탐사시 그림 6에서와 같이 필요한 정보를 정확히 얻을 수 있다.

2. 4 Interferometer Side Scan Sonar(ISSS)

Side Scan Sonar에 2개의 채널을 추가하여 기록정보를 얻을 수 있다, 그 원리는 그림 7(a)에서 보는 바와 같이 동위상축에 있는 탐사점은 β 값이 0이며 동위상축을 벗어

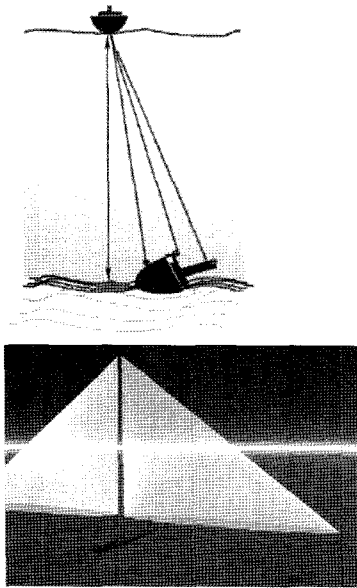


그림 5. 빔의 방사패턴

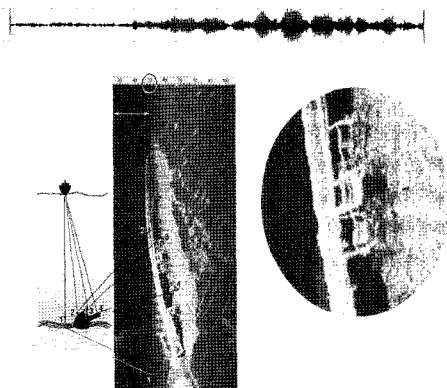


그림 6. 고정도의 음향영상

난 탐사점에서는 위상차가 있음을 알 수 있다. 여기서 β 값을 구할 수 있기 때문에 각 점에 대한 Z값을 알 수 있다. 그림 7(b)는 위상영상과 음향영상을 보여주고 있다.

Multibeam Echo Sounder는 점단위로 탐사가 되므로 탐사되지 않는 영역이 있다. 그러나 ISSS는 면단위로 탐사되기 때문에 놓치는 부분 없이 정밀한 삼차원 탐사가 가능하다.

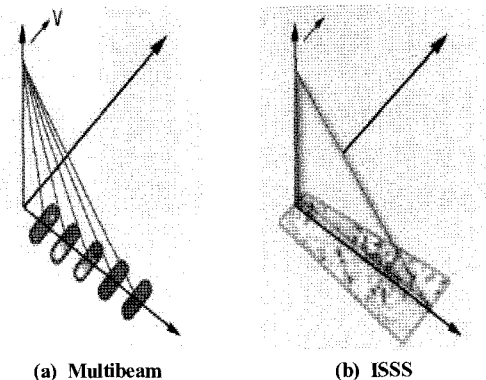
이상과 같이 각 탐사방법에 따른 특징을 고찰하고 분석하여 본 결과 수중바닥에 침몰된 물체의 탐색이나 공학적, 생태학적 모니터링을 위한 탐사에는 Side Scan Sonar에 의해서 충분한 성과를 얻을 수 있다. 또한 수중관로나 케이블의 설치, 수중 건축물의 시공 전 후의 조사, 수로조사, 해도작성 등 고품질의 영상자료와 정밀한 기록정보를 필요로 하는 경우로서 ISSS를 이용함으로써 효율적이고 좋은 성과를 얻을 수 있다. 기존에 기록정보를 얻기 위해서는 Multibeam Echo Sounder를 이용하여 만족할만한 성과를 얻어왔다.

그러나 이 방법에서는 영상자료를 얻을 수 없어 추가적인 장비를 장착하여야 하며 또한 그림 8에서와 같이 점단위 탐사이기 때문에 누락 되는 부분을 내포하고 있어서 ISSS에 비해 효율성이 떨어진다. 또한 강이나 저수지와 같이 수심이 낮고 대상면적이 좁은 지역도 있지만 해상에서와 같이 수심이 깊고 대상면적이 넓은 지역도 있다. 위에 언급한 Side Scan Sonar나 ISSS는 대상면적이 넓은 지역에서 시간적, 경제적으로 더욱 큰 효과를 볼 수 있다.

3. 지형도작성을 위한 해저탐사 실험

3.1 실험지역

음향탐지기를 활용하여 해저면의 지형 및 구조체에 대



(a) Multibeam

(b) ISSS

그림 7. 탐사범위

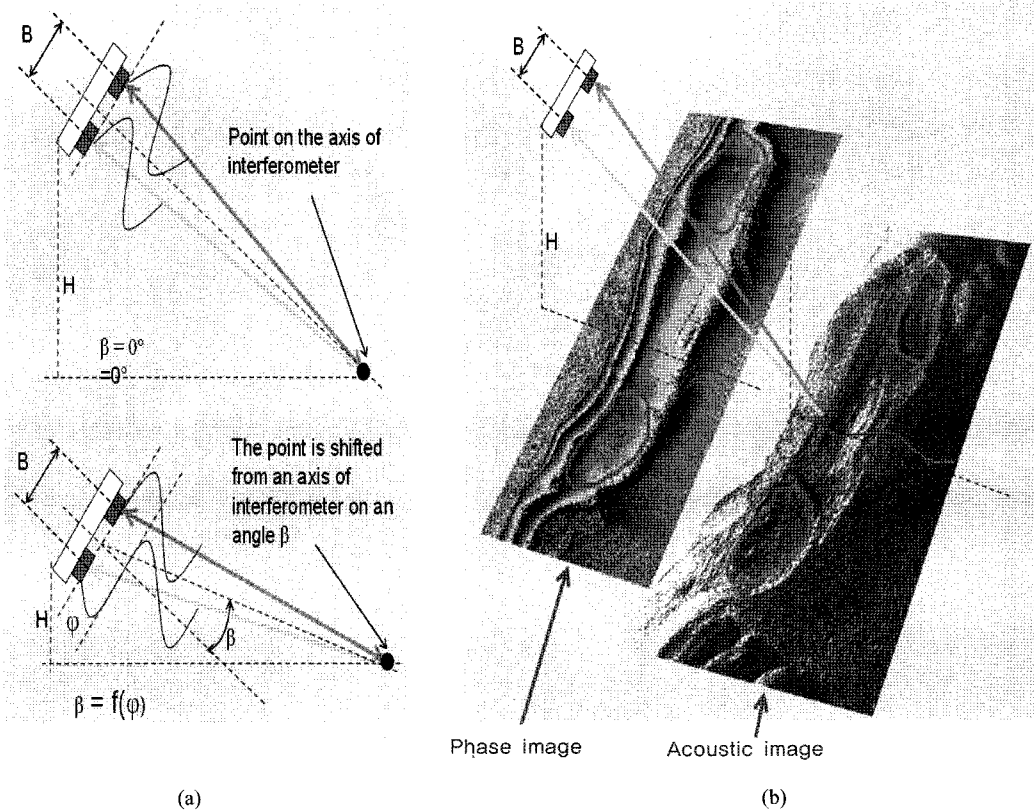


그림 8. ISSS의 주요 측정원리 및 영상

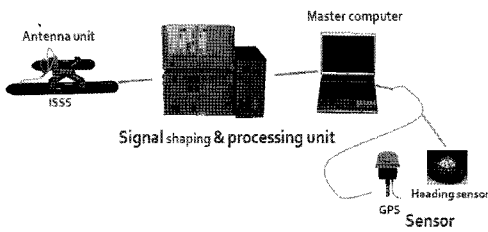


그림 10. 탐사시스템의 구성

해 얼마나 정확하게 그리고 효율적으로 탐사하여 분석되며, 또한 이의 활용성을 분석하기 위하여 그림 9에서 보는 바와 같이 전라북도 군산시 옥도면 어청도리내 항을 실험대상지역으로 선정하여 탐사를 실시하였다. 여기서 A, B, C, D는 방파제이며, E, F, G는 해안가를 나타내고 있고, 수심은 최고 약 17m정도이다.

3.2 탐사

탐사는 해저상에서의 지형탐사 및 해저면의 구조물 탐사를 목적으로 그림 10에서의 탐사시스템을 이용하였으

표 1. ISSS장비 사양

탐사신호 형태	톤선형주파수 변조		
경사거리 해상도	1 ~ 150cm		
최대경사거리	70 ~ 15000m		
각 뱃전에서 방사폭	수심깊이의 5 ~ 7배		
수심깊이 6배까지 범위에서 기복작성의 정확도	0.50%		
최대침투거리	50m		
평균해상도	10cm		
전원공급	~220V/50Hz축전지		
주파수	해상도	추천 깊이	최대경사거리
500 KHz	1 cm	20 m	70 m
240 KHz	4 cm	50 m	300 m

며 주 탐사 안테나는 ISSS를 사용하여 탐사를 실시하였다. 이 탐사장비에 대한 사양은 표 1과 같다. 이때 탐사시키는 파고나 풍량이 적은 2007년 7월말에 실시하였으며, 기상상태는 맑고, 파고높이가 1m내외로 풍향속도가 0m/s 이었다. 탐사에 사용된 선박은 10t용 바다낚시배를 이용하여 그림 11의 상태로 탐사장비를 장착하고 수중에 약

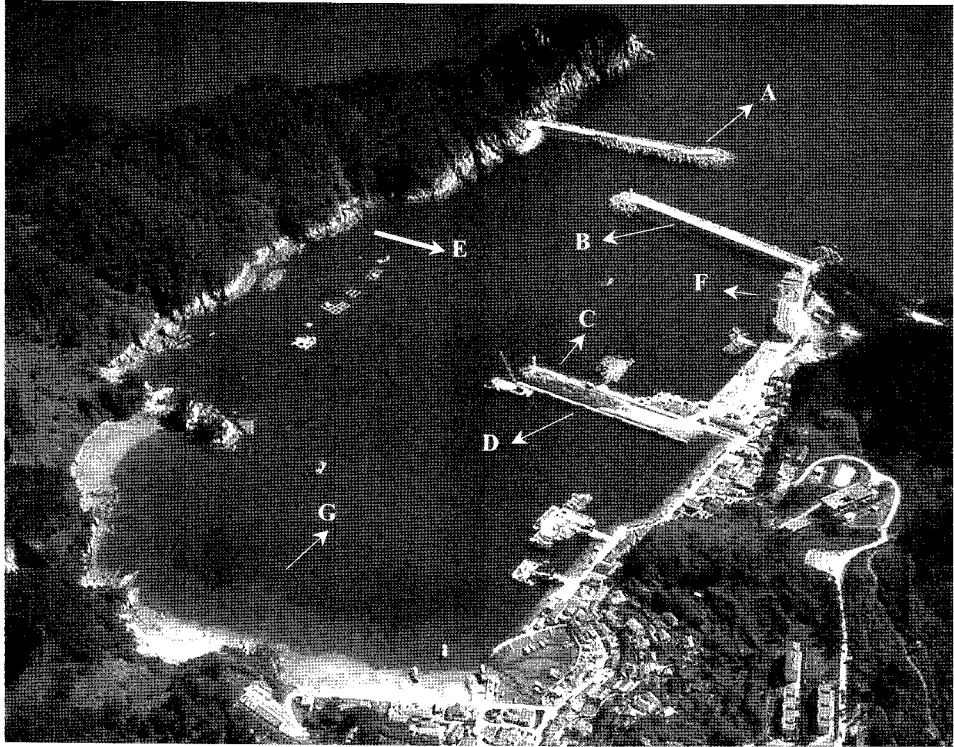
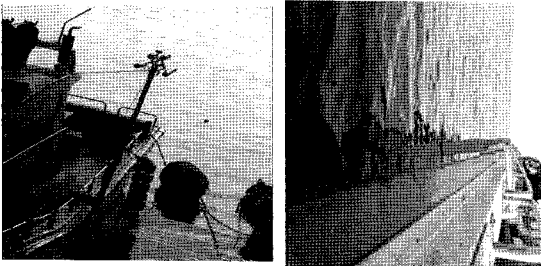
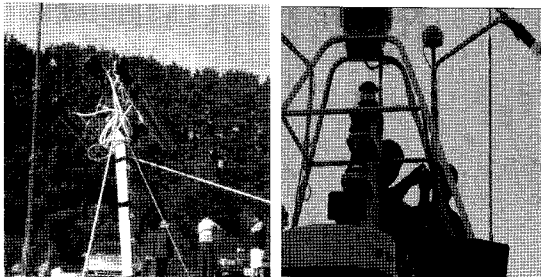


그림 11. 실험 대상지역인 어청도항의 전경



(a) 탐사안테나 장착



(b) ISSS 100 안테나

(c) GPS 안테나

그림 12. 탐사안테나의 장착 전경

20cm정도 잠긴 상태에서 그림 13에서의 1,2,3,...12의 순서로 선박 운행경로를 정하고 해저면을 탐사하였다.

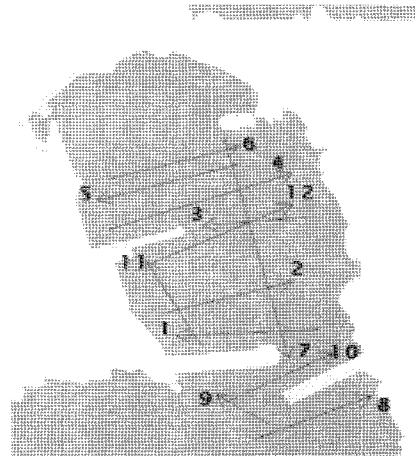


그림 13. 탐사경로

4. 수중탐사 결과 및 분석

4.1 탐사결과

노선경로에 따라 탐사된 결과인 음향영상에 대해 영상화된 형태는 그림 14와 같다. 여기서 가로방향은 경사면에 대한 거리로서 해수면을 기준으로 한 경사면의 거리를

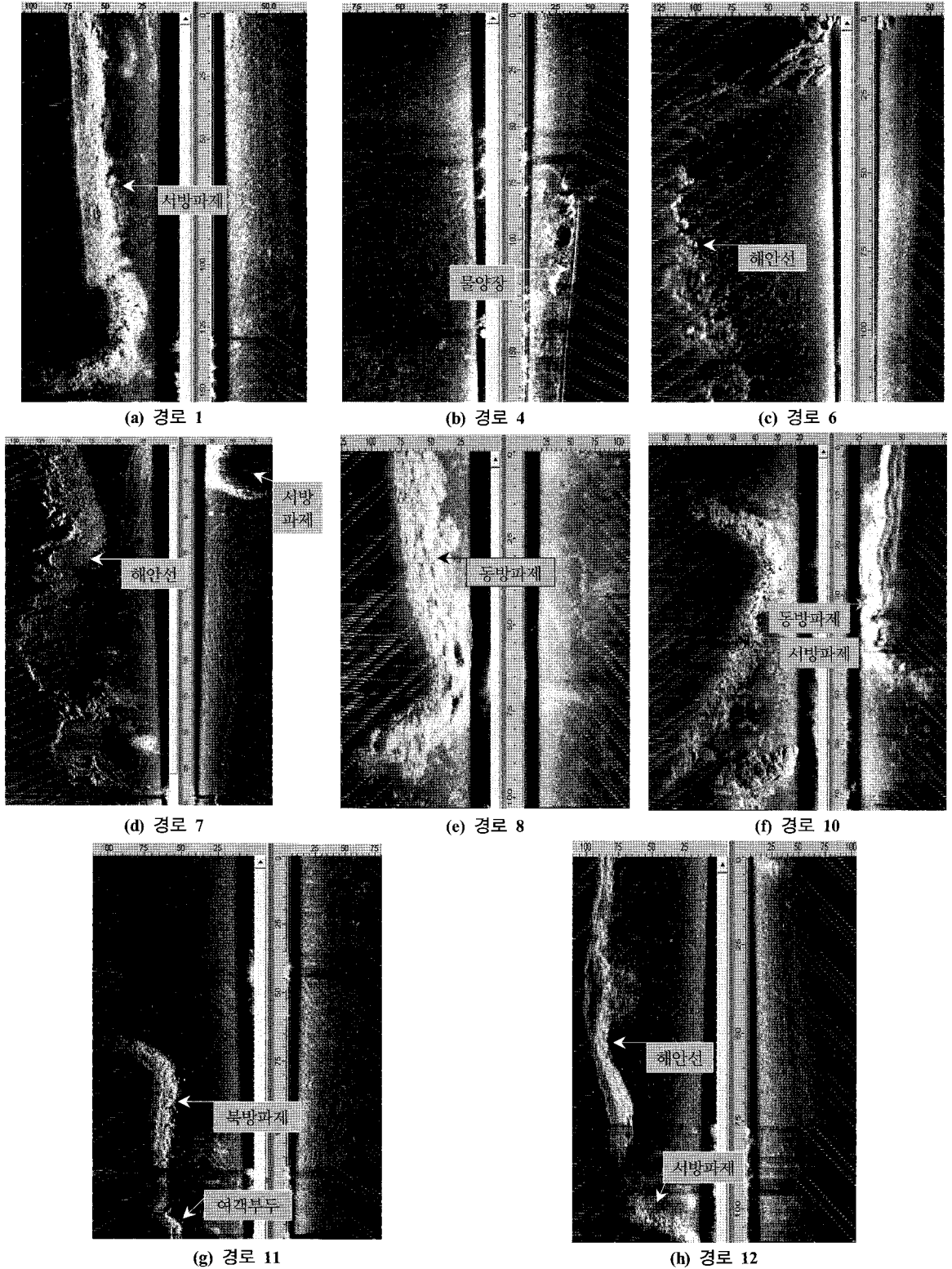


그림 14. 노선경로별 탐사된 이미지 영상

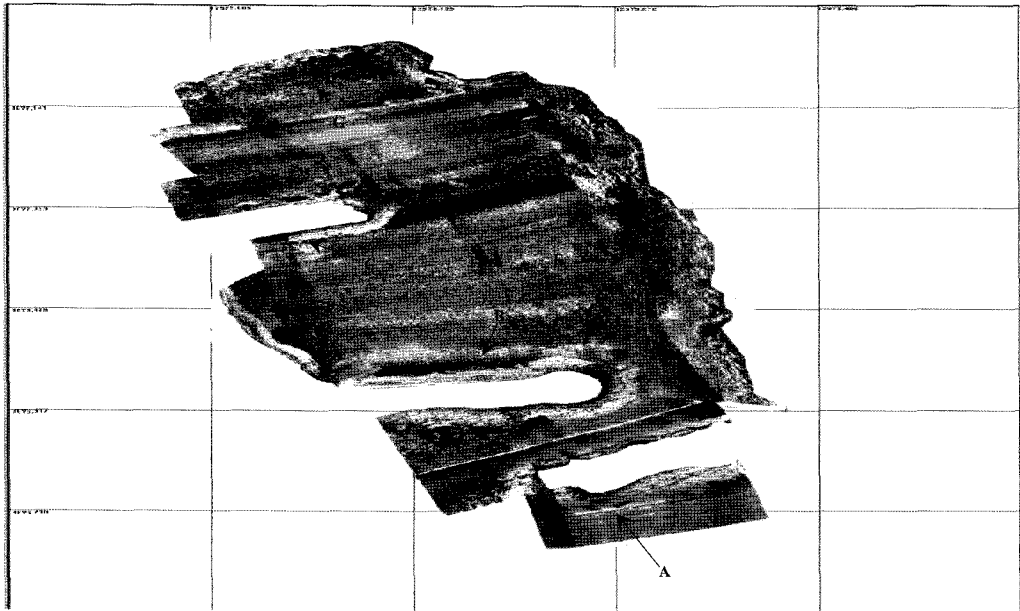


그림 15. 통합된 음향이미지영상

표 2. 동기화된 데이터

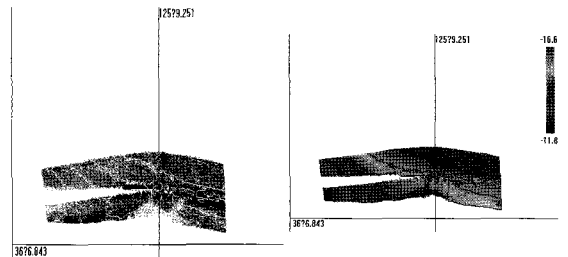
Acoustic data	GPS data	Heading sensor data
001 0001 14:51:59 \$SPGDA,105201.00,5530.678774,N,03006.727894,E,1,09,1.0,113.96,M,14.01,M,40C \$SPKRD,263.780000,		
001 0008 14:52:00 \$SPGDA,105202.00,5530.678821,N,03006.726726,E,1,09,1.0,113.77,M,14.01,M,40C \$SPKRD,261.800000,		
001 0016 14:52:01 \$SPGDA,105203.00,5530.678869,N,03006.725523,E,1,09,1.0,113.58,M,14.01,M,40C \$SPKRD,259.800000,		
001 0023 14:52:02 \$SPGDA,105204.00,5530.678916,N,03006.724320,E,1,09,1.0,113.39,M,14.01,M,40C \$SPKRD,258.100000,		
001 0031 14:52:03 \$SPGDA,105205.00,5530.679312,N,03006.723117,E,1,09,1.2,114.42,M,14.01,M,40C \$SPKRD,256.100000,		
001 0038 14:52:04 \$SPGDA,105206.00,5530.679392,N,03006.721914,E,1,09,1.2,114.61,M,14.01,M,40C \$SPKRD,255.500000,		
001 0045 14:52:05 \$SPGDA,105207.00,5530.679095,N,03006.719903,E,1,09,1.0,113.49,M,14.01,M,40C \$SPKRD,254.100000,		
001 0053 14:52:06 \$SPGDA,105208.00,5530.678925,N,03006.718556,E,1,09,1.0,113.46,M,14.01,M,40C \$SPKRD,252.800000,		
001 0060 14:52:07 \$SPGDA,105209.00,5530.678786,N,03006.717149,E,1,09,1.0,113.21,M,14.01,M,40C \$SPKRD,252.200000,		
001 0068 14:52:08 \$SPGDA,105210.00,5530.678696,N,03006.715626,E,1,09,1.0,113.16,M,14.01,M,40C \$SPKRD,251.700000,		
001 0075 14:52:09 \$SPGDA,105211.00,5530.678603,N,03006.714057,E,1,09,1.0,113.11,M,14.01,M,40C \$SPKRD,251.300000,		
001 0082 14:52:10 \$SPGDA,105212.00,5530.678493,N,03006.712464,E,1,09,1.0,113.09,M,14.01,M,40C \$SPKRD,251.100000,		
001 0089 14:52:11 \$SPGDA,105213.00,5530.678394,N,03006.710827,E,1,09,1.0,113.07,M,14.01,M,40C \$SPKRD,251.000000,		
001 0097 14:52:12 \$SPGDA,105214.00,5530.678288,N,03006.709164,E,1,09,1.0,113.07,M,14.01,M,40C \$SPKRD,251.100000,		

나타내고 있고, 세로방향은 배가 지나가는 경로의 거리를 나타내고 있다.

4.2 탐사결과분석

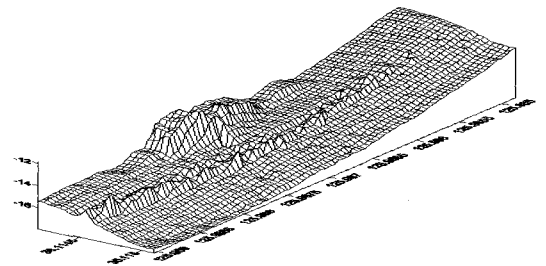
그림 13의 이미지영상에 대해 탐사시 수신된 DGPS 측량결과 및 방위각계를 이용하여 좌표조합을 통해 전체노선을 통합한 음향영상에 그림 15에서와 같이 얻었다. 각 노선별 음향영상에 대해 음향이미지영상의 분해능인 6cm * 6cm 에 따라 nav_correction 프로그램을 이용하여 음향데이터, DGPS 및 방위각계에서 얻어진 데이터를 동기화 시켰다. 그에 대한 결과는 표 2와 같다.

동기화된 데이터를 Hyview 프로그램을 이용해 해저면의 위치 및 높이를 측정한다. 이후 각 세그먼트별 바닥기



(a) 음향이미지등고선도

(b) 수심음향기록도



(c) 3-D모델링도

그림 16. 경로 1의 등고선도 및 3-D 모델링도

복파일을 작성하고 Hyplot 프로그램을 이용하여 그림 15에서와 같이 노선별 도곽상에 음향이미지의 등고선도, 수심음향기록도를 제작하고 Surfer 기능을 이용하여 3-D 데이터 파일을 작성한후 3-D 모델링화 하였다.

그림 16에서와 같이 각노선별 등고선도 및 3-D 모델링

도를 작성하였으며, 이 연구에서 필요로 하는 전체 지형에 대한 통합 등고선도 및 3-D모델링도를 작성하여 봄으로서 해저지형에 대한 지형도의 작성가능함을 분석하였다. 그 결과 그림 17에서와 같이 탐사된 지역전체의 등고선도를 제작할 수 있었으며, 그림 18에서와 같이 3-D모델링도를 제작할 수 있었다.

그림 15, 그림 17, 그림 18에서 보는 바와 같이 음향이미지영상으로부터 탐사된 전체 해저지형에 대해 각 세그먼트별로 구성된 것을 하나의 통합된 이미지영상으로 구성할 수 있었으며, 이를 통해 등고선도 및 3-D모델링도를 작성할 수 있었다. 또한 결과에 있어서 그림 9와 비교해본 결과 각 방파제, 물량장 및 해안가에 대한 위치 및 형태가 같게 구성되어 있음을 알 수 있다.

탐사결과에 대해 나타난 그림 17의 등고선도와 우리나라해역에 대한 1/7,000 해도를 중첩하여 나타낸 그림은 그림 19와 같다. 그림 19에서 방파제주변으로 약간 넓게 구성되어 있는 등고선도는 탐사결과에 의한 방법이며, 방파제의 형상에 대한 형태로 나타난 등고선도는 해도에 의

한 결과이다. 그림 19에서 탐사결과로 나타난 등고선은 테트라포드가 해저면에 분포되어 있는 지형과 더불어 수면으로의 높이변화에 따라 탐사된 결과물을 대상으로 등고선도를 나타낸 것으로 차이가 있음을 알 수 있다. 이에 대해 좀더 정밀한 해수면을 탐사를 할 경우 해도와 거의 일치하는 도면을 얻을 수 있으리라 판단된다. 그에 대한 비교로 각 방파제에 대한 탐사결과좌표에 대해 중심선축의 좌표를 계산하고, 해도상의 방파제 중심선의 좌표를 비교하여 다음의 표3에 나타내었다. 그결과 중심선에서의 차이는 N축에서 1.5m~3m내외의 차, E축에서는 최

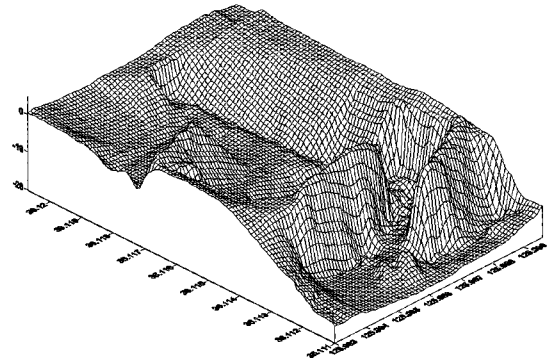


그림 18. 탐사된 전체지역에 대한 3-D모델링도

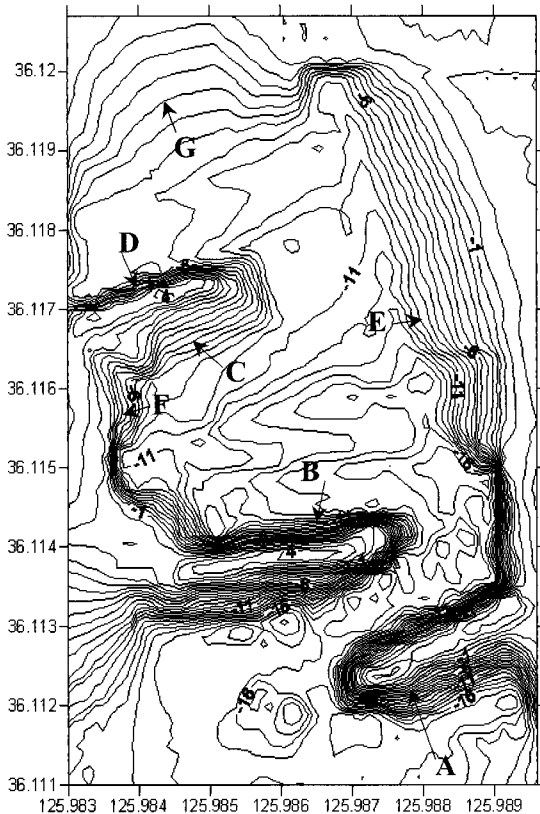


그림 17. 탐사된 전체지역에 대한 등고선도

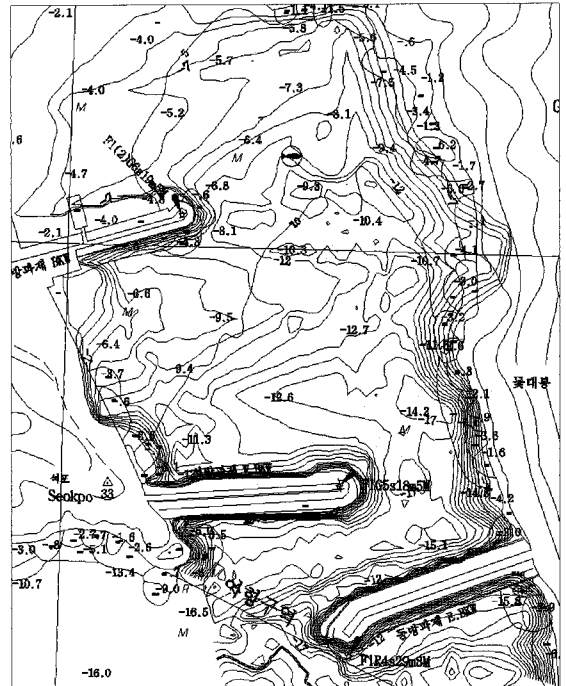


그림 19. 1/7,000해도와 탐사결과 등고선도와의 중첩도

표 3. 해도와 탐사결과데이터와의 방파제 중심선 좌표 비교

	해도		탐사데이터		해도-탐사데이터	
	N	E	N	E	DN	DE
동방파제	4000772.168	228580.896	4000770.643	228581.035	-1.525	0.139
	4000778.896	228701.035	4000776.665	228701.163	-2.232	0.128
	4000785.791	228821.146	4000782.688	228821.324	-3.103	0.178
서방파제	4000687.602	229044.790	4000689.872	229043.996	2.261	-0.821
	4000661.760	228965.545	4000660.088	228966.129	1.672	-0.585
	4000623.937	228862.775	4000625.982	228862.067	2.044	-0.715

대0.87m의 차이가 있음을 알 수 있는데, 이는 테트라포드의 해수면상의 비대칭 분포에 따른 중심선의 차이로 판단된다.

표 3에서 북방파제는 해도상에 물양장이 없고 탐사데이터에는 물양장이 포함되어 있기 때문에 중심선 좌표를 비교할 수 없었다.

5. 결 론

이 연구에서는 음향탐사기법을 이용하여 해저지형에 대한 탐사실험을 통해 음향영상의 획득과 해저지형의 기복정보를 획득할 수 있는지를 파악함으로써 해저지형에 대한 정보화에 대한 효율성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 음향측정법인 Interferometer's Side Scan Sonar을 통해 실험한 결과 해저지형에 대한 기복을 파악할 수 있었다.

2. 해저지형의 위치정보 및 기복정보의 획득을 통해 등고선도 및 3-D모델링도를 작성할 수 있었다.

3. 1/7000해도와 탐사결과데이터와 비교해 본 결과 큰 차이가 없는 것을 알 수 있었다.

이를 통해 볼때 수중지형의 정보화 및 지형도 제작부분에 활용 가능성을 알 수 있었다.

후 기

본 연구를 위해 주)KT건설의 많은 자료협조에 감사를 드립니다.

참고문헌

나정열 (1996), 해양음향토포그래피를 이용한 해양탐사 기술연구, 한국과학재단 연구보고서, KOSEF 93-0700-04-01-3권, pp. 200-250.

한국해양연구소 (1996), 해저면 탐사자료의 실시간 및 후처리 기법에 관한 연구, 한국해양연구소보고서, BSPE 00543-922-5권, pp. 76-90, 1996.

김성렬, 유홍룡, 박건태, 이용국, 안충현 (1997), Side Scan Sonar 탐사자료의 영상처리와 해저면 Back-scattering 음향 특성, 한국해양학회지 22(3)권, pp. 143-152.

한국시설안전기술공단 (2005), 러시아 수중조사 및 탐사기술 초청 세미나, 한국시설안전기술공단, 대명측기사, 2005.

V. Tikhomirov (2005), Mobile sonar complex for underwater observations and areal investigations of the bottom, Scientific-research institute of onstrument design.

(접수일 2007. 10. 4, 심사일 2007. 10. 22, 심사완료일 2007. 12. 11)