

## 사이드스캔 소나를 이용한 해양구조물 정밀탐사기술 (인공어초탐사를 중심으로)

### Underwater Remote Sensing Technique using Sidescan Sonar (Survey Results about Artificial Reef)

박요섭<sup>1</sup> · 고성현<sup>2</sup> · 김학일<sup>3</sup>

Joseph Park<sup>1</sup>, Sung Hyun Ko<sup>2</sup>, and Hakil Kim<sup>3</sup>

#### 1. 서론

IHO 및 해양산업 선진국가에서는 사이드스캔 소나(Sidescan Sonar)를 이용한 수중위험물 및 구조물 탐사를 기본 해양조사업무에 적용하고 있다. IHO S44 에서는 해도를 제작하기 위한 수로 측량에서 무역항 및 진입항로등의 특등해역에서의 사이드스캔소나를 이용한 해저면 정밀탐사를 의무화하고 있으며[IHO], 해저광케이블, 가스관 및 송유관 매설경로 조사, 해저유물지표조사 등에 의무적으로 적용하고 있다. 우리나라에서도 국가 GIS 사업의 일환으로 침선 및 인공어초에 대한 정보를 수집하고 이를 GIS 시스템으로 구축 사업을 계획하고 있다.

그러나 수중구조물에 대한 조사는 위성이나 항공사진등의 원격탐사기법을 적용할 수 없는 여러가지 환경 제약이 많이 존재하고 있어, 광범위하게 설치되어 있는 수중구조물을 효과적으로 탐사하기 위한 해저면 원격탐사에 대한 새로운 기술이 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 수중환경을 광범위하게 탐사할 수 있는 사이드스캔 소나의 원리와 수중체인 체 위치추정식을 정리하고, 사이드스캔 소나를 이용한 인공어초 탐사결과를 제시한다.

#### 2. 본론

##### 2.1 사이드스캔 소나(Sidescan Sonar)

수중은 빛이 투과하지 못하여 가시상태가 불량하고, 조류 및 수압 등에 의한 환경제약조건이 많아 인간이 직접 접근하여 작업을 하거나 수중상태를 관측하기 어렵다. 인공위성 및 원격탐사 기술의 발전으로 대기 및 대기 환경에 대한 정보는 광범위하게 얻어 낼 수 있게 되었지만, 원격탐사용 위성에 탑재된 광자기 센서들은 물로 덮여 있는 수중상태에 대한 정보를 제공해 주지 못하고 있다.

소나(SONAR)는 해저면 환경 정보를 취득하기 위하여 사용되는 가장 효과적이고 대중화된 시스템이다. 소나는 SOUNd Navigation And Ranging의 축약어로 수중에 특정주파수의 음파를 발생시켜 되돌아오는 음파 신호를 취득하여 원하는 정보를 취득하는 능동센서 시스템이다[Tyce].

수중환경 원격탐사 시스템은 동일한 원리의 소나이론에 근거하여 취득하고자 하는 목적에 따라 적용 주파수와 고유 관측 정보가 상이하다.

수심 측량용 소나(Echo Sounder)에서는 음파가 해저면에 의해 반사되어 되돌아오는 시간을 측정하고, 해저면 영상을 얻기 위한 소나(Sidescan

<sup>1</sup> 인하대학교 대학원 자동화공학과 (Graduate School of Automation Eng., INHA Univ., joseph@ust21.co.kr)

<sup>2</sup> 유에스티 21(Underwater Survey Technology 21, Inc., kosh@ust21.co.kr)

<sup>3</sup> 인하대학교 정보통신공학부(School of Information & Communications Eng., INHA Univ., hikim@inha.ac.kr)

Sonar)에서는 해저면에서 후방산란되어 되돌아오는 음파의 음압을 측정하여 영상을 구성하며, 해저지반정보를 얻기위한 관측(Sub Bottom Profiler)에서는 해저지층 각각에서 반사되는 음파의 음압을 관측한다. 또 어군을 탐지하기 위한 소나(Fish Finder)에서는 수중 유영생물체에서 반사되는 음압 및 거리를 계측하여 어군의 위치와 크기 등의 정보를 추출하고 있다.

본 연구에서는 음파의 후방산란 음압 에너지를 영상화하여 해저면의 지형과 퇴적물 구성 및 수중구조물을 관측할 수 있는 사이드스캔 소나를 소개하고, 사이드스캔 소나를 이용한 정확한 수중구조물 측량방법에 대하여 정리하였다.

본 연구에서 사용한 사이드스캔 소나는 Benthos 사의 SIS-1500 이다. 중심주파수 200KHz를 사용한 Chirp-pulse 방식의 Narrow Beam 을 채용하여 한 빔의 경사거리 해상도를 3.75cm 로 유지한다. 한 번의 음파 송수신으로 측량선 현방향으로 50m 에서 1Km 까지 탐사할 수 있고, 최고 14 노트의 선속을 유지하면서 해저면에 대한 관측을 실시할 수 있어 신속하고 광범위한 해저면 탐사를 시행할 수 있다. 또 송수신된 음압자료는 AD 컨버터로 디지털화되어 디지털 미디어에 기록되어 재생 및 디지털 후처리가 가능하며, Oceanic Imaging Consultants 사의 GeoDas-PC™를 이용하여 동시 취득된 GPS 측위정보와 연동하여 측량구역의 정확한 위치와 거리, 물체의 크기 등을 분석한다.

## 2.2 사이드스캔 소나시스템의 원리

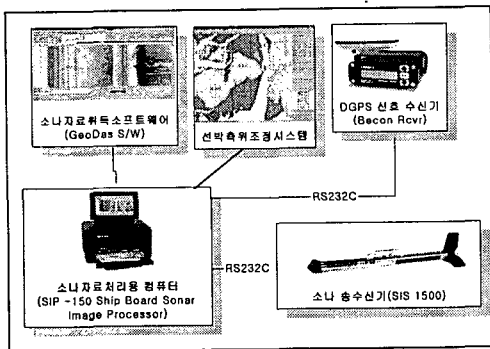


그림 1. 사이드스캔 소나 시스템

사이드스캔 소나 시스템은 그림 1 에서 보는 바와 같이 메인 컴퓨터(Sonar Control System), 수중예인체(Towfish), 송수파기(Transducer), GPS, 인케이블, 자료취득 SW 로 구성되었다.

메인 컴퓨터에서는 음파의 송수신 주기와 주사거리 조절, 전달거리에 따른 시간이득보정(Time Varying Gain), 후방산란 음압신호의 디지털 샘플링, 후방산란 음압신호 기록 등의 역할을 수행한다.

수중예인체 양측면에 부착된 송수신기에서는 메인 컴퓨터의 송수신 발생신호에 따라 선박의 진행방향으로는 0.5 도 정도의 빔폭과 측면으로 약 55 도 정도의 넓은 빔을 형성하여 음파를 발사하고, 해저면으로부터 후방산란되거나 반사되어 되돌아오는 음파를 시간순으로 메인 컴퓨터로 전송하는 역할을 한다. 또한, 송수신 주기를 조절하여 한 번에 50m 에서 1km 까지 주사폭을 제어하는 역할도 수행한다. 사이드스캔 소나는 특정한 주파수의 음파를 수중에서 발사시켜 되돌아오는 음파의 음압강도를 디지털 샘플링하여 수치값으로 전환한 후, 연속된 송수신에 의하여 영상을 구성하도록 설계되었다. 수중예인체는 송수신기를 외부 충격으로부터 보호하며, 수중에서 예인체의 움직임 정보나 하강 깊이, 음속등을 계측하여 후처리과정에서 빔의 위치를 계산할 때 이용하는 각종 계기를 부착하여 사용할 수 있다. 연구에 사용한 Benthos SIS-1500 수중예인체에는 예인체의 Pitching, Rolling, Heading 정보를 계측하는 모션센서가 내장되어 보다 정확한 빔 위치 계산과 오측자료 제거의 근거 자료로 사용할 수 있게 설계되어 있다.

GPS 는 한 번의 송수신으로 얻어진 빔자료의 지구구체상의 위치를 알려주는 역할을 한다. 송수신된 음압자료는 진행선박의 좌우 현 방향으로 약 6000 천 개의 디지털 음압자료로 기록되며, 각 빔 자료는 GPS 안테나의 좌표와 예인선 길이, 수중예인체로부터 얻어진 모션정보, 그리고 빔자료 획득시간으로부터 재계산되어 정확한 위치정보를 획득하게 된다. 본 고의 2.4 절에서 빔 위치산정에 대하여 기술할 것이다.

## 2.3 후방산란음압 자료해석

사이드스캔 소나 시스템중에서 송수신기의 역할에 대하여 더 자세히 설명한다. 사이드스캔 소나 송수신기는 음파를 발사한 후, 해저면의 복잡도와 구성물질의 차이에 따른 후방산란 음압을 측정하도록 설계되어 있다. 발사된 음파가 경사면에 반사되거나, 지형이 대단히 복잡할 경우에 강한 음압이 수신기로 되돌아오며, 경사의 뒷부분이거나 해저구성물질이 부드러거나 고른 표

면을 가지고 있으면 후방산란 음압은 수신기로 거의 되돌아가지 않으므로 전체적인 후방산란 음압 계측값은 작아지게 된다. 이렇게 지형과 송수신기와 기하학적 위치관계에 의하여 음파가 전달되지 못하는 지역을 음영지역(Acoustic Shadow Area)라고 하는데, 음영지역과 경사면 지역을 뚜렷하게 구분하기 위해서, 수중예인체를 가능한 해저면에 가깝게 유도하여 탐사하여야 한다. 후방산란자료 생성원리를 응용하여 모델화한 해저면을 대상으로 사이드스캔소나 영상을 합성해 내는 연구도 진행되고 있다 [Bell].

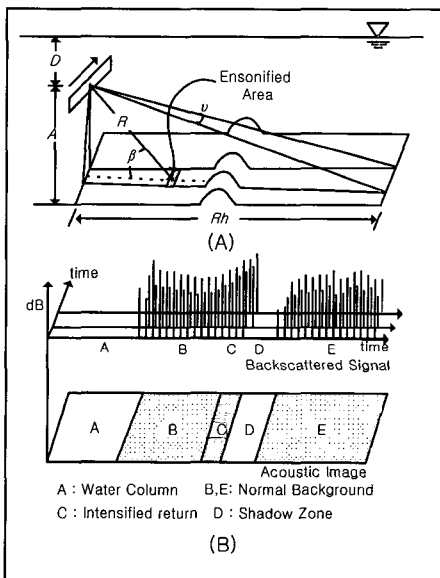


그림 2. 사이드스캔소나의 원리

사이드스캔소나는 그림 2와 같이, 해저면의 지형상태나 구성물질에 따라 후방산란 음압의 강약을 한번의 송수신에서는 시간순서로 기록하고, 연속된 송수신에 의한 음압기록을 누적시키면 탐사선 진행방향을 중심으로 하여 일정거리의 해저측면영상을 구성할 수 있다. 또한, 되돌아오는 음파의 방향을 탐지하기 위하여 수중예인체 직하방이 아닌 양 측면에 일정한 지향각을 유지한 채 장착되어 있다. 시간순서적으로 되돌아오는 음파를 기록하게 되므로, 이를 평면좌표계의 일반측지거리로 환산하는 과정이 필요하며 이를 경사거리 보정(Slant Range Correction)이라고 한다.

음압이 수신기에 되돌아오는 시간순서로 기록된 음압자료를 송수신기로부터의 실제 평면거

리로 환산하기 위해선, 식(1)과 같이 해역의 대표 수중음속을 적용해야 한다.

$$R = (t \cdot c) / 2 \quad (1)$$

여기서 R은 경사거리, t는 음파의 왕복전달시간, c는 수중음속을 의미한다.

보통 수중의 음속을 1500m/sec 로 가정하여 경사거리 보정에 적용하고 있으나, 정확한 빔위치를 계산하기 위해선, CTD 관측, Sound Velocity Profiler 관측 혹은 음측기를 이용한 Bar Check에 의하여 수중음속을 관측 적용하는 것이 요구된다.

## 2.4 사이드스캔소나 해상도

사이드스캔소나의 공간해상도는 그림 2에서와 같이 송수파기와 빔까지 거리와 펄스의 길이에 따라 달라진다. 송파기에서 발생된 음파는 배의 진행방향으로는 작은 각도( $\nu$ )의 빔을 발사하게 되고, 양현방향으로는 넓은 부채꼴 모양의 빔을 발사하게 된다. 그림 2의 (B)와 같이 발사된 음파는 해저면에 의해 후방산란되어 시간순서에 따라 수파기로 되돌아오는데, 이를 흑백계조영상으로 누적 전환하게 된다. 수중예인체의 직하방부분에서는 발사각과 해저면이 이루는 입사각이 0도를 이루어 절대반사가 이루어지므로 이 부분의 음압자료는 너무 강하여 음양영상구성에 적용하지 않는다. 음파가 해저면에 입사되는 각도에 따라 경사도와 해저면 구성상태가 동일하더라도 상이한 음압값을 가지게 되므로, 입사각에 따라 음압값을 보정하여 동일구성매질에 대해 일정한 음압을 나타내도록 조정하는 과정이 요구된다. 입사각에 따른 음압값 조정을 입사각 보정(Angle Varying Gain)이라 한다. 천해에서는 음파가 수중에서 전달되는 과정에서 감쇄되거나

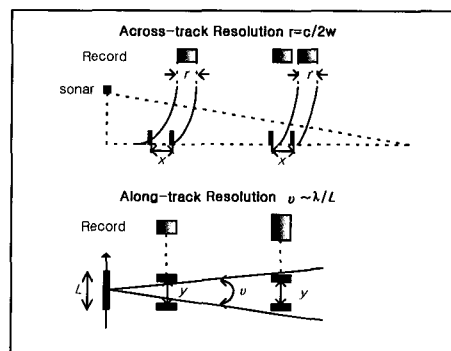


그림 3. 사이드스캔소나 해상도

흡수되어 음압이 약해지는 현상보다, 음파의 입사각도에 따른 음압감쇄 영향이 더 크므로 입사각 보정을 주의해서 적용해야 사이드스캔 영상을 통해 해저면 구성상태나 지형 정보를 취득할 수 있다.

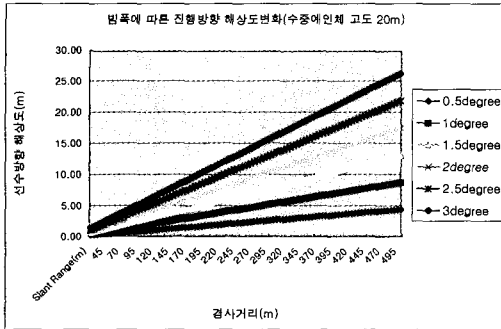


그림 4. 선수방향 수평해상도 변화

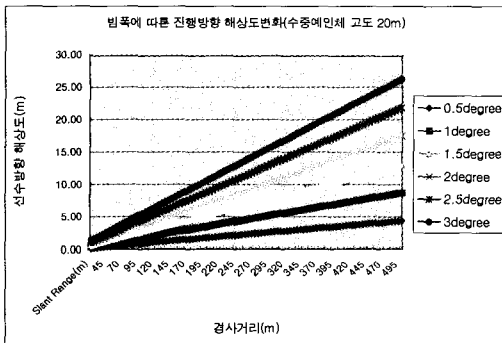


그림 5. 현방향 수평해상도 변화

사이드스캔 소나에서의 해상도는 크게 공간 해상도 (Spatial Resolution)와 신호해상도 (Quantization Resolution) 두 가지로 구분할 수 있다. 신호해상도는 관측된 아날로그 음압신호를 디지털 수치값으로 양자화하는 과정에서 발생하는데, Benthos SIS 1500은 16 비트 (0~65535 까지)로 음압값을 양자화하여 신호를 구분하고 있다.

공간해상도는 그림 3 과 같이 떨어져 있는 두 물체를 구분하는 능력으로 정의되며, 사이드스캔 소나가 사용하는 부채꼴 모양의 빔 형태에 따라 한 번의 송수신에서도 선수방향 (Along-track Resolution) 및 현방향 (Across-track Resolution)으로의 다른 해상도를 나타낼 수 있다. 각각의 해상도는 식(2)과 식(3)으로 정의되며, 해저면으로부터 송수신기의 높이 및 파의 입사각등이 공간해상도에 직접적인 영향을 끼치는 것을 알 수 있다. 부채꼴 모양으로 퍼지는 빔의 각도는 송수파

기 설계이론[Moustier]에 의하여 트랜스듀서의 길이와 음파 펄스길이를 추정할 수 있다. 그림 3 에서와 같이 현방향 해상도는 송수신기에 가까운 동일 이격거리의 물체는 하나의 물체로 탐지되고, 송수신기에서 먼 동일 이격거리의 물체는 두 개의 구분된 물체로 탐지된다. 이와달리, 고정 방사각을 갖는 음파의 선수방향 해상도를 고려해볼 때, 선박 진행방향으로 동일 이격거리의 물체라도 송수신기에 근접한 물체들은 분리되어 기록되어지나, 송수신기에서 원거리에서는 동일 이격거리를 유지했음에도 불구하고, 두 물체가 구분되지 못하고 하나의 긴 물체로 기록된다.

$$\Delta R = W(C/2) \quad (2)$$

$$v \cong \lambda L(\text{rad}) \quad (3)$$

$\Delta R$  는 현방향 해상도,  $\theta$  는 선수방향 해상도,  $W$  는 펄스 길이,  $C$  는 수중음속,  $\lambda$  는 파장,  $L$  은 송수신기의 길이를 의미한다.

Chirp Pulse 방식에서의 pulse length 는 사용주파수의 bandwidth 의 역수와 같으므로 Benthos SIS-1500 의 bandwidth 20Khz 를 대입하면 거리해상도는 0.0375m 가 된다.

사이드스캔 소나는 그 설계특성상, 그림 4 및 5 와 같이 현방향으로는 원거리의 해상도가 좋고 선수방향으로는 근거리 해상도가 좋다. 이러한 해상도 모델로 인하여 추후 빔 맵핑시 하나의 빔이 일정 면적개념을 갖도록 고려해야한다 [한해연,1994]. 현방향과 선수방향을 곱하여 공간해상도로 환산하여 보면, 송수파기에서 멀어질수록 해상도가 떨어지나 실제에 있어 경사거리 중앙부분에서 가장 좋은 해상도를 보이는 것으로 나타난다.

## 2.5 수중예인체 위치추정

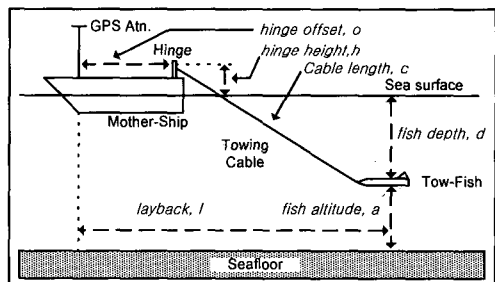


그림 6. 모선과 수중예인체 좌표체계모델링

수중구조물 탐사에서 사이드스캔 소나의 목표는 정확한 수중구조물의 위치와 크기를 측정하는 것이다. 이를 위해 소나의 기본 관측치인 음파 전달시간과 후방산란 음압관측치를 지구좌표계의 한 점으로 맵핑하는 과정이 요구된다. 본 절에서는 수중의 송수파기에 의해 한 번의 송수신으로 좌우 현 방향으로 6000 천개씩 얻어진 후방산란 음압자료(이후 빔)를 정확한 지구좌표계 상의 한 점으로 맵핑하는 과정에 대하여 기술하겠다.

사이드스캔 소나는 그림 6과 같이 6 자유도 (X,Y,Z, roll( $\omega$ ), pitch( $\phi$ ), heading( $\kappa$ ))를 가지는 두 강체 (모선과 수중예인체)가 볼조인트로 연결되어 자유롭게 움직이는 운동체로 모델링될 수 있다. 그림 6과 같이, 수중예인체는 모선에 의해 수중에서 예인되는 상황이므로, 예인선의 길이를 최대 직경으로 하는 구상의 하단 1/4 지역의 임의 지점으로 나타낼 수 있을 것이다. 그리고, 수중예인체는 모선의 선속이 증가하면 부력이 발생하여 수면에 근접하게 되고, 선속이 낮아지면 부력이 감소하여 해저면에 가까워진다. 모선을 원점으로 하는 상대좌표계상의 수중예인체 좌표( $X_{sb}, Y_{sb}, Z_{sb}$ )는 선속과 케이블, 그리고 수중예인체의 부력을 고려하여 추정할 수 있다 [Kirilin].

본 연구에서는 수중예인체를 모선과 연결하고 있는 예인선을 강체로 가정하고, 예인선과 수중예인체가 이루는 기하학적인 관계와 수중예인체의 선수 및 해저면과의 높이, 수심을 적용하여 위치를 계산하는 식을 정립하였다.

사이드스캔 소나에서는 해저면은 수중예인체의 동선과 평행한 면을 이루고 있다고 가정하며, 이때 바로 직하방으로 전달되는 음파의 경사거리를 측정하여 수중예인체의 높이를 추정하여 수평위치를 계산한다.

한 번의 송수신을 통해 얻은 빔의 위치는, 송수파기에 음파신호가 되돌아온 시간을 경사거리로 전환한 후, 해저면으로부터의 수중예인체 수중고도(A)를 이용하여 수평거리로 환산한다. 예인체의 선수방향을 Y 축으로하고, 예인체의 현방향을 X 축으로 하는 상대좌표계상에서 빔의 위치는 Y 축 좌표는 0, X 방향 좌표는 식(4)와 같이 얻어진다. 이때 좌현의 빔좌표는 음수값을 취하고, 우현의 좌표는 양수를 취한다.

$$B_{lx} = \sqrt{R^2 - A^2} \quad (4)$$

그러나, 이상적인 경우와는 달리 수중예인체는 모선의 선속변화와 수중 조류, 파랑등에 의하여 항시 roll, pitch, heading 의 변화가 생긴다. 이론적 빔 위치계산에서는 수중예인체의 모선정보를 고려해야 하나, 사이드스캔 소나가 발생시키는 빔의 형태는 수중예인체 현방향으로 넓은 부채꼴의 Narrow Beam 을 이루기 때문에, rolling 에 의한 위치변화는 무시할 수 있다. 그러나, 빔 폭이 대단히 좁은 Narrow beam 을 이용하기 때문에 Pitching 요소에 의한 선수방향 위치 이동폭은 선수방향 해상도보다 크기 때문에 이를 무시할 수 없다. Pitching( $\phi$ )에 의한 선수방향 위치변화는 예인체를 원점으로 하는 좌표계상에서 식(5)을 이용하여 Y 축 Offset 을 계산하고 모든 빔에 적용한다.

$$B_{ly} = R \sin(\phi) \quad (5)$$

식(4)과 식(5)를 이용하여 예인체 중심을 원점으로 하는 좌표계상의 위치를 확정한 좌표는 모선에 장착되어 있는 GPS 안테나 좌표와 모선과 예인체 운동에 의한 좌표변환을 고려하여 지구좌표계로 전환되어야 한다. 변환과정을 단계적으로 풀기 위해, 모선의 안테나 위치를 원점으로 하고, 모선의 선수방향을 Y 축, 현방향을 X 축으로 하는 상대좌표를 도입한후 예인체의 선수방향과 예인체까지의 수평예인거리를 이용하여 상대 위치를 계산한다. 예인선의 길이  $c$ , 해수면으로부터 예인체까지의 거리  $d$ , 해수면에서 케이블을 고정시킨 선상의 힌지까지의 높이를  $h$  라 하고, 예인선의 휨(Bending)은 일어나지 않는다고 가정하면, 안테나에서 수중예인체까지의 선수방향 이격거리  $L$  는 식(6)과 같이 계산된다.

$$L = \sqrt{c^2 - (d+h)^2} \quad (6)$$

수중예인체는 모선의 선수방향과 같은 방향으로 움직이지 않으므로, 모선의 선수각( $\kappa_s$ )을 Y 축으로 하는 좌표계상에서의 예인체의 수평좌표를 계산하기 위해선, 모선의 선수방향을 기준으로 수중예인체의 선수각( $\kappa_t$ ) 및 안테나에서 힌지까지의 이격거리( $O_x, O_y$ )를 고려하여 식(7)과 같이 안테나 원점에서부터의 X,Y 좌표를 구한다.

$$\begin{aligned} T_{sx} &= \sin(\kappa_t - \kappa_s) \cdot L + O_x \\ T_{sy} &= \cos(\kappa_t - \kappa_s) \cdot L + O_y \end{aligned} \quad (7)$$

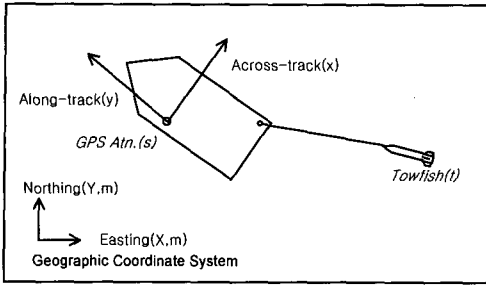


그림 7. 모선과 예인선 좌표체계 모델링

그림 7은 좌표변환에 사용되는 모선과 지리좌표계의 관계를 나타내고 있다. 식(7)으로부터 구해진 모선 안테나의 위치를 원점으로 하는 상대좌표계상의 수중예인체의 좌표를 지리좌표계상으로 맵핑하기 위하여, 상대좌표계상의 원점을 GPS 좌표( $A_x, A_y$ )로 치환하고, 식(8)과 같이 모선의 선수각을 이용하여 구해진 상대좌표계상의 예인체 좌표를 회전변환한다.

$$\begin{bmatrix} T_{gx} \\ T_{gy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\kappa_s) & -\sin(\kappa_s) \\ \sin(\kappa_s) & \cos(\kappa_s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_{sx} \\ T_{sy} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \end{bmatrix} \quad (8)$$

식(8)로부터 구해진 수중예인체의 좌표를 이용하여, 식(4), (5)에서 얻어진 수중예인체를 원점으로 하는 좌표계상의 빔 좌표를 식(9)와 같이 지리좌표계상의 한 점( $B_{gx}, B_{gy}$ )으로 맵핑시킨다.

$$\begin{bmatrix} B_{gx} \\ B_{gy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\kappa_t) & -\sin(\kappa_t) \\ \sin(\kappa_t) & \cos(\kappa_t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B_{tx} \\ B_{ty} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_{gx} \\ T_{gy} \end{bmatrix} \quad (9)$$

식(9)로부터 계산된 사이드스캔소나 각각의 빔좌표는 영상내에 나타난 인공구조물의 위치와 크기 측량을 가능케 한다.

수중구조물의 높이는 수중 인공구조물과 수중예인체간의 상대적인 위치영향으로 발생되는 소나음영(Acoustic Shadow)을 이용하여 추정할 수 있다.

그림 8과 같이, 수중예인체의 해저면 바닥에서부터의 고도를  $A$ , 음영신호의 시작부터 마지막까지의 경사거리차를  $R1$ , 마지막 음영신호까지의 경사거리를  $R2$  라 하면, 삼각비를 이용하여 소나음영을 발생시킨 구조물의 높이  $h$ 를 식(10)과 같이 구할 수 있다.

$$h = A \cdot (R1/R2) \quad (10)$$

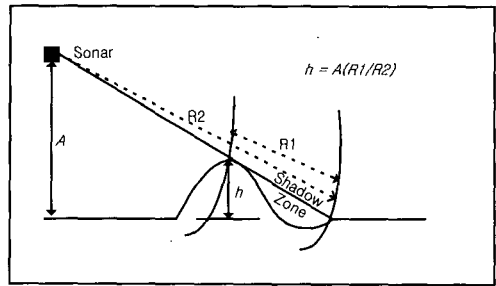


그림 8. 수중구조물의 높이 추정

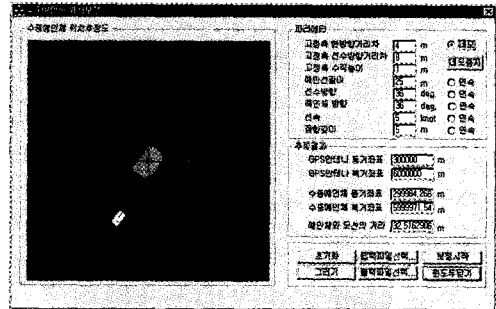


그림 9. 수중예인체 위치추정 시뮬레이터

그림 9는 식(9)을 구현하여 수중예인체의 위치를 추정하는 시뮬레이터의 한 화면이다. 개발된 시뮬레이터에서는 탐사 시 마다 변화되는 선박 환경 정보를 입력하면, 추정된 수중예인체의 좌표를 계산하고 목시확인할 수 있도록 모선과 수중예인체를 상대위치를 화면에 도시한다.

본 절에서는 수중예인체의 위치추정식을 정리하였고, 이를 이용한 수중구조물의 위치 및 높이를 추정하는 식을 소개하였다. 다음절에서는 정리한 식등을 이용하여 인공어초 위치 및 시설상태 탐사 결과를 소개한다.

### 3. 사이드스캔 소나 탐사결과

#### 3.1 인공어초 시설사업효과조사

인공어초는 인공적으로 수산생물의 산란·서식장 및 은신처를 조성하여 수산자원 증강 및 어업인 소득증대 도모를 위하여 만들어진 인공 구

표 1. 해역별 인공어초 시설량(1971-1998)

해역별	시설면적(ha)	시설비(백만원)
동해안	36,573	90,506
서해안	23,153	75,637
남해안	74,181	214,759
합계	133,907	380,902

표 2. 어초 구조형태별, 기능별 어초 시설량 (1971-1999)

어초 구조 형태	어초 기능별분류	어초종류	시설면 (ha)
면 구조	연안용어초	반구형, 요철형, 육봉형 어초 등	11,369
	어획용어초	조립형, 사각형, 원통형 어초 등	4,029
테 구조	연안용어초	사다리형 어초	390
	어획용어초	사각형, 잠보형, 육각형 어초등	116,583
기타	목재침선 어초 등		1,536
합 계			133,907

조물로 우리나라에서는 1971년부터 인공어초를 시설하고 있으며, 사업효과가 입증되어 매년 투자규모를 확대하여 추진하고 있다.

표[1]과 같이, 전국적으로 1971년부터 1999년까지 약 145,281ha의 시설면적에 4,260억원이 투입되었다. 해역별로는 남해안(55.4%)이 가장 많이 시설되었고 동해안(27.3%), 서해안(17.3%)의 순이었다. 남해안, 동해안은 콘크리트 사각어초 뿐만 아니라 반구형, 점보형 등의 여러가지 어초가 투하되었지만 서해안은 대부분 콘크리트 사각어초를 투하하였다. 표[2]는 어초 구조형태별, 기능별 어초 시설량을 나타내었다[한해연,1999].

인공어초 사업이 성공적 실효성을 거두기 위해서는 효율적인 이용과 지속적 관리가 절대적으로 필요하며, 이는 해상교통 안전에도 많은 영향을 끼칠 수 있는 부분으로 어초의 정확한 위치와 상태는 반드시 측량되어야 할 필요가 있다. 그러나 현재 시설된 인공어초의 정확한 위치마저 확인되어 있지 않아 효과조사 사업때마다 위치탐사에 많은 비용과 시간을 소모하고 있는

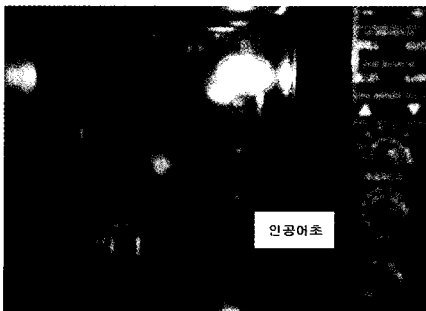


그림 10. 어군탐지기에 나타난 인공어초

실정이다.

일반적으로 해도상의 어초시설은 특정위치를 표시하지 않고, 각 시설 위치를 포함하는 광범위한 다각형으로 되어있다. 또한 인공어초 시설의 기준은 사각콘크리트 어초로 약 100여개씩 단위를 이루어 총적되도록 시설되어 있다.

이전까지의 인공어초 위치조사는 어군탐지기나 수중카메라, 잠수사에 의해 인공어초 시설조사를 하였다. 그림 10에서는 어군탐지기에 나타난 인공어초기록을 보여주고 있다. 그러나 어군탐지기의 빔각도는 약 9°이므로 인공어초 시설지역 바로 위를 지나지 않으면 발견할 수 없고, 서해안처럼 조류가 강하고 혼탁한 해역에서는 수중카메라의 촬영이 상당히 어려우며 그 조사 범위도 수미터 반경내로 제한적이다.

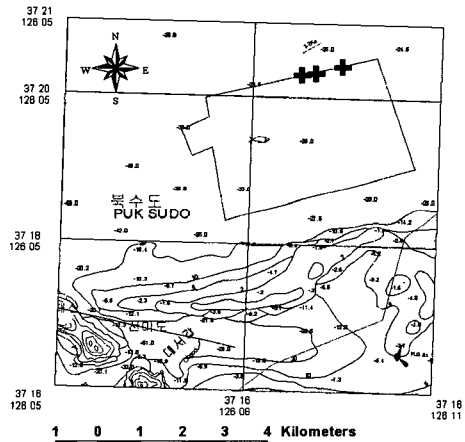


그림 11. 조사해역내 인공어초 분포도

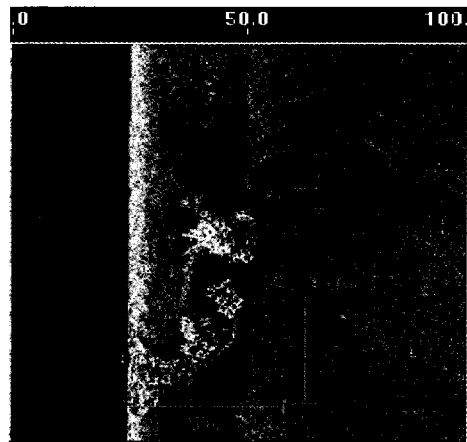


그림 12. 37 19 49.6N, 126 9 1.5E, Tokyo Datum, 주사폭 100m

인공어초 조사에 사이드스캔소나를 적용할 경우, 어초의 재질이 콘크리트나 강재이고, 단위 어초당 크기가 2 미터이상이므로 음파에 의해 강한 후방산란이 발생하여 어초의 위치, 모양, 상태 등을 파악할 수 있다.

그리고 한번에 넓은 영역의 조사가 가능하므로 기존의 방법보다 쉽게 효과적이며, 비용면에서도 상당한 절감효과를 가져온다. 또한, 사이드스캔소나의 모자이크영상구성을 통해 조사지역내의 인공어초가 시설된 지역을 도면화하고 GPS 에 의해 획득된 지리좌표와 함께 해저면 영상 GIS 시스템의 입력정보로 활용할 수도 있다.

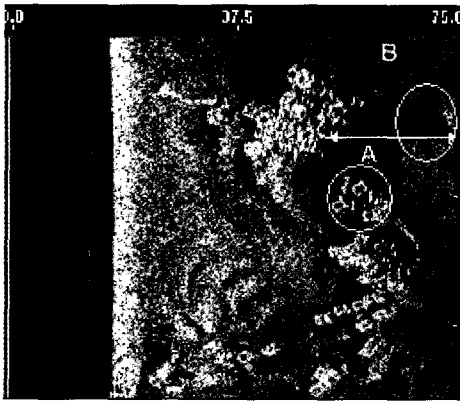


그림 13. 그림 12 번 인공어초를 주사폭 75m로 탐사한 영상

### 3.2 사이드스캔소나를 이용한 인공어초 탐사

본 탐사는 2000 년 12월 7일에 인하대학교 해양조사선 인하 21 호를 이용하여 인천시 덕적군 선미도 부근에 시설된 인공어초의 위치와 시설상태를 조사하기 위하여 3 시간동안 실시되었다. 선미도 부근 해역에는 1989, 1992, 1993년에 걸쳐 약 600ha에 3,600여 개의 콘크리트 사각어초가 시설되었다.

해도 306 번에 표기되어 있는 선미도 부근 어초 해역중에서, 어초가 시설되어 있는 정확하게 위치를 찾기 위하여 어초 표시해역 동편 북단으로부터 동서로 약 4-5 노트를 유지하며 4시간동안 690,684m<sup>2</sup>에 해당하는 해저면을 탐사하였다.

조사해역의 평균 수심은 30미터였으며, 탐사 초기에는 어초의 대략위치를 찾기 위하여 좌우현 각각 200 미터 주사폭을 유지하며 조사하였고, 어초로 판단되어지는 영상이 나타난 위치를 확

인한 후, 주사폭을 75, 50 미터로 줄인 상태에서 반복 정밀 탐사를 실시하였다.

그림 11은 탐사를 통해 획득한 어초의 위치(좌)를 보여주고 있다. 그림 12는 획득한 어초영상중에서 주사폭 100 미터에서 얻은 인공어초(37° 19' 49.6"N, 126° 9' 1.5"E)에 대한 사이드 스캔 영상이며, 그림 13 은 같은 어초시설지역을 주사폭 75 미터로 줄여서 얻은 영상이다. 음파가 강하게 후방산란된 물체는 백색에 가까운 화소값을 가지며, 후방산란이 약한 해저면은 흑색에 가까운 화소값을 나타낸다.

그림 13에서 볼 수 있듯이 주사폭을 줄이면 보다 상세하게 인공어초의 보존 상태를 파악할 수 있게 된다. 그림 13의 A 지역에서 보이는 어초의 영상은 상당부분 모래에 매몰되어 어초 상단부분의 골격만 보여주고 있다. 그림 13의 상단부분에 나타난 관측가능한 인공어초의 개수는 약 70 개정도로 계수화가능했으며, 하단부분은 어초가 축적되어 있지 못하고 각각 산재되어 시설되어 있는 것이 확인되었다. 그림 13의 B 에 나타난 그림자의 길이로 어초의 축적높이를 식(10)을 적용하여 계산하였다. 수중예인체의 높이는 15.7m 였고, 인공어초가 만들어낸 소나음영(B)의 길이(R2)가 26.1m, 그림자끝단까지의 길이(R1) 75m 로 측정되어 전체 어초의 높이는 5.5m 로 추정된다.

## 4. 결론

본 고에서는 위성영상이나 항공기를 이용한 원격탐사에서 적용되지 않는 수중환경탐사를 위한 사이드스캔 소나 기술을 소개하였다. 도선에서 예인되는 수중예인체의 위치를 추정하여, 송수신을 통해 얻은 각 빔의 위치를 계산하고 수중구조물의 위치나 크기, 고도등을 산출하는 사이드스캔 소나 식을 정리하였다.

사이드스캔소나를 이용하여 덕적도 부근 평균 수심 30 미터 해저에 시설되어 있는 인공어초의 위치를 탐사하여, 지리좌표계상의 위치와 크기, 수중고도를 계산하였다.

향후, 사이드스캔소나와 멀티빔 음향측심기(Multibeam Echo Sounder)를 연동한 수중구조물의 3 차원 재구성에 대한 연구가 진행되면 보다 정확한 수중구조물에 대한 측량이 가능할 것이다.

사 사

본 연구는 1999 년도 인하대학교 교수연구진



홍비 및 2000 년도 서해연안환경연구센터(RRC) 지원에 의하여 수행되었습니다. 본 연구를 도와 준 ㈜UST21 의 장인수, 김형일 씨에게 감사드립니다.

### 참고문헌

- 한국해양연구소, 천해용 105KHz 해저면 탐사장비 송신 수신신호 제어에 관한 연구, BSPE 00416-700-5,1994.3, pp31-41.
- 한국해양연구소, '99 인공어초 시설사업 효과조사 연구, 경기도, 1999, pp5-8.
- International Hydrographic Organization, "IHO Standards for Hydrographic Survey, " Special Publication No.44, 4<sup>th</sup> Edition, 1998.
- Robert C. Tyce, "Deep Seafloor Mapping Systems – A Review," *MTS Journal*, Vol. 20, No. 4, pp4-16.
- J.M. Bell and L.M. Linnett, "Simulation and Analysis of Synthetic Sidescan Sonar Images", *IEE Proceedings - Radar, Sonar and Navigation*, 144(4), pp. 219-226, Aug. 1997.
- C. de Moustier, "Signal Processing for Swath Bathymetry and Concurrent Seafloor Acoustic Imaging," J.M.F. Moura and I.M.G. Lourtie, *Acoustic Signal Processing for Ocean Exploration*, Kluwer Academic Publishers, pp329-354, 1993.
- R.L. Kirilin, W.S. Lu, B. Hedstrom, and C.M. Leung, "Towfish Orientation and Position Estimation," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 18, No. 3, July 1993, pp319-326.