

## 천해역 해저탐사 및 영상분석 기법 소개

주영석\*, 우종식  
(주)씨스캔

### An Introduction to the Underwater Survey Operations using a Side Scan Sonar System

Young-Seok Joo\*, Jong-Sik Woo  
Sea Scan Inc.

**KEY WORDS:** SSS(Side Scan Sonar) system, Underwater Survey

**ABSTRACT:** *Recently, side scan sonar system has been developed and operated to survey cable laying, sunken bodies, geometry of sea bottom and so on. It uses the acoustic signals, which are emitted from two transducer arrays, left and right sides, to get geometric information of the specified area. This system consists of transceiver board, towed body, deck unit and GPS receiver. The transceiver board, nested in a watertight canister, controls the transmitting and receiving of the acoustic pulses from transducer arrays. After receiving the scattered signals, it processes BP(Band Pass) filtering, AGC(Automatic Gain Control), TVG(Time Varying Gain) and Heterodyne. The deck unit has the signal processing part, A/D converter, power supplier, and real-time monitoring part. The towed body has been designed to satisfy the optimal hydrodynamic behavior during towing. In this paper, brief introductions on the design theory of transceiving part and some results from the field which have been operated recently will be introduced.*

### 1. 서 론

21세기를 맞이하여, 해양에 대한 관심과 연구활동이 눈에 띄게 활발해 지고 있으며, 국가 중장기 해양개발 계획에서도 심해저 광물자원개발, 차세대 무인잠수정 개발, 바다목장사업 등이 가시화되고 있다. 이와 관련하여, 침몰체 추적, 해저 pipeline의 설치, 인공어초 실태조사 등에는 보편적으로 고해상도 Side Scan Sonar를 이용한 해저면 탐사장치가 많은 각광을 받고 있다. 일반적으로 Side Scan Sonar는 견인 체의 양면에 각 1개씩의 Transducer Array를 이용하여 해저 면에 고주파의 수중 음을 방사 후, 해저 면으로부터의 산란 신호를 수신하고, 특별한 신호처리 과정을 통하여 해저면 상태의 영상을 얻는 방식이

다. 현재, 국내에서 이용되고 있는 Side Scan Sonar는 전부 외국으로부터 고가로 수입되는 제품이며, 해양이라는 열악한 환경에서 이용되는 장비임을 고려할 때 고장에 대비한 전체 장비의 유지 보수 기술이 반드시 요구된다. 이러한 관점에서 Side Scan Sonar의 국산화는 필수적이라 할 수 있으며, 국내 연근해에서 이용 가능한 천해용 Side Scan Sonar의 송수신 시스템을 설계 및 구현하고, 실제 해상에서 운용했던 내용을 다루게 될 것이다. 송수신 시스템의 구성 요소는 크게 Transceiver Board, 모선에 장착되는 Deckunit로 나눌 수 있다. 예항체로는 Torpedo 형 Body를 사용하였으며, Transducer는 400kHz 대의 Line Transducer, 제어 프로그램은 Visual C++를 이용하였다. Transducer를 제어하는

Transceiver Board는 크게 발신부와 수신부로 나누었다. 발신부는 신호 발생부, 신호 증폭부로, 수신부는 Band-Pass Filter, AGC(Automatic Gain Control), TVG(Time Varying Gain), Heterodyne을 담당하는 영역으로 구성하였다. 또한 Deck Unit는 Transceiver Board로부터 전송되는 해저면 정보를 포함하고 있는 저주파의 신호를 필터링하고 적분하는 부분, A/D 변환부, 그리고 초음파 발신을 위한 전원을 공급하는 부분으로 구성하였다. 위와 같이 구성된 시스템을 이용하여 실험실 실험을 통하여 시스템의 안정적인 동작과 해저면 영상 자료 취득의 정밀성을 확인 하였다. 본 연구는 Side Scan Sonar의 송수신 시스템의 각 부분에 대한 설계 개념 및 제작기법과 제작 후 실험실 실험을 통하여 실제 해저 지형 탐색 작업에의 투입을 목적으로 하였으며, 최근에 있었던 탐색 작업에 대한 내용 및 결과물들에 대하여 소개하였다.

## 2. Side Scan Sonar Platform

### 2.1 하드웨어 구성

개발되어진 Side Scan Sonar 시스템에서 사용된 Transducer의 사양은 Table 1과 같다.

Table 1 Transducer Specification

Output Frequency	385kHz ~ 405kHz
Vertical Beamwidth	40 °
Horizontal Beamwidth	0.2 °
Output Pulse Length	0.024ms ~ 0.104ms
Maximum Range Per Side	75 ~ 150 m
Maximum Output Power	1200W

또한, 전체 송수신 시스템의 구성은 Fig. 1과 같이 구성되어 있다. 전체적으로 크게 두 부분으로 구성되어 있는데, 모선에 의해 견인되는 예항체에 장착하여 수중에서 동작하도록 되어 있는 Transceiver Board 부분과 모선에 장착되어 Transceiver Board로부터의 수중 초음파 반향 신호를 처리하고 초음파 발신을 제어하기 위한 동기 신호등을 전송하는 Deck Unit로 나눌 수 있다. 본 시스템의 Transceiver Board 부분은 모선의 Deck Unit로부터 예항체로의 케이블을 통하여 초음파 신호를 발신하도록

하는 동기 신호를 수신하여 Transceiver Board에 미리 셋팅된 주파수의 초음파를 발신하게 된다.

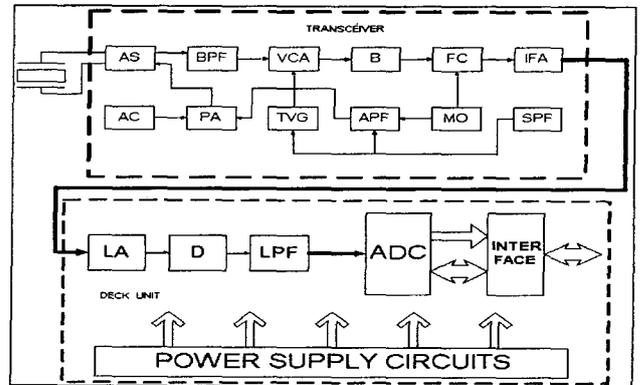


Fig. 1 Side Scan Sonar System Diagram

해저 면으로부터 반향되는 초음파를 수신하기 위해, 수신 모드로 전환하게 되고 수신되는 초음파 신호는 정밀한 Band-Pass 필터를 거치게 된다. Band-Pass 필터를 거친 신호는 Voltage Controlled Amplifier부분의 입력으로 인가되면서 Time Varying Gain부분과 결합하여 입력된 미소의 초음파 신호를 증폭하고 버퍼를 통과하여 주파수 변환 회로를 거치면서 입력된 고주파 신호는 저주파수 대역으로 신호가 입력되게 된다.

주파수 대역이 변화된 신호를 IFA부분에서 최종 출력의 신호로 얻을 수가 있다. 이렇게 출력된 신호는 Deck Unit의 입력이 되고 Deck Unit에서는 Transceiver Board로부터의 입력 신호에 대해 대수증폭을 실행하고 1차 Low-Pass, High-Pass 필터와 2차 Low-Pass 필터를 통하여 잡음 신호를 제거하게 되고 잡음이 제거된 입력 신호는 적분기의 입력으로 인가되어 최종적인 반향신호의 Power Spectrum을 얻게 된다. 이로부터의 A/D변환 결과를 가지고 컴퓨터에서 데이터 처리가 수행되고, 해저면에 대한 영상자료가 취득되게 된다. 입력신호  $h(t)$ 에 대한 초음파의 수신과정을 수식으로 표현하면, 다음의 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 h(t) &\rightarrow \times \cos(2\pi f_h t) \\
 &\rightarrow \frac{E(t)}{2} [\cos(2\pi(f_c - f_H)t) + \cos(2\pi(f_c + f_H)t)] \quad (1) \\
 &\xrightarrow{LP} \frac{E(t)}{2} \cos(2\pi(f_c - f_h)t) - \int \rightarrow S_{ss}(t)
 \end{aligned}$$

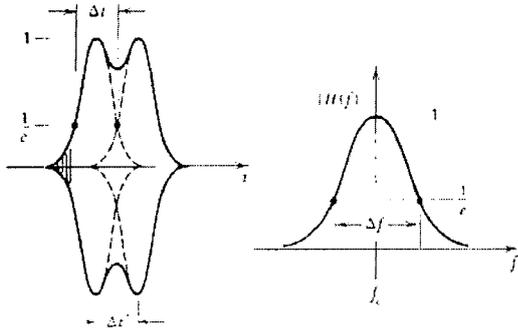


Fig 2. Resolution of a pair of Signals

발신신호는 가우시안 형태의 envelope에 중심주파수를 갖는다고 가정하고, 이러한 송신신호를 이용해서 각각의 물체를 구분해내기 위해서는 각 물체로부터 Scattered 신호가 Fig.2에서와 같이 서로 교차하지 않아야 한다. 이를 고려하였을 경우의 최대 해상도는 아래의 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$\Delta R = \frac{c\Delta t}{2} = \frac{c}{2\Delta f} \quad (2)$$

### 2.2 예항체의 구성

본 시스템을 운용하기 위해 제작된 예항체를 Photo 1에 나타내었다. 예항체의 제작 재료는 알루미늄을 사용하였으며 전체 길이는 약1500mm이고 몸체의 바깥 지름은 120mm이다. 제어기를 장착할 경우의 전체 무게는 약 30Kg이다.

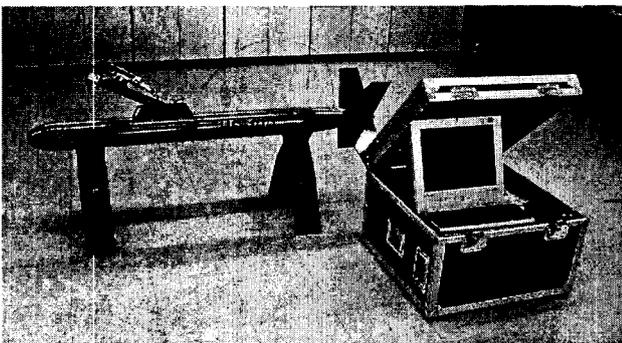


Fig. 3 Towfish and Deck Unit

뒤쪽에는 4개의 날개를 장착하여 견인시에 안정된 동작이 이루어지도록 하였으며, 해저 장애물과 충돌을 할 경우에 예항체의 안전성을 위하여 4개의 날개가 일정 이상의 힘을 받게 되면 자동적으로 분리되도록 기계적으로

설계되었다. 예항체를 견인하는 케이블은 1톤 정도의 무게를 견인할 수 있는 수중 케이블을 사용하고 있다.

### 2.3 소프트웨어 구성

본 시스템을 작동시키기 위해서 deck Unit에 장착된 컴퓨터의 운영 체제는 WIN98을 사용하고 있으며 시스템 운용 프로그램은 Visual C++을 이용하여 만들어졌다. 시스템 운용시 소프트웨어적으로 초음파 발신 간격을 조정하게 되어 있으며, 운용시에 취득되는 해저면의 지형 정보를 2차원적으로 표현이 가능하도록 설계되었다.

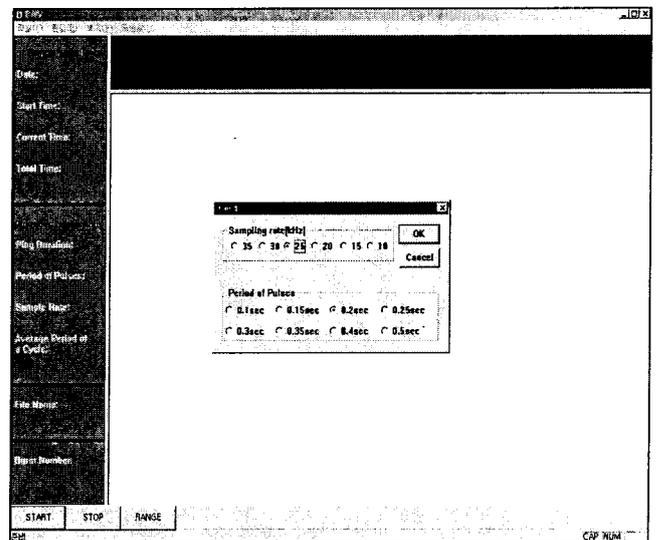


Fig. 4 Real Time Data Acquisition Software

Fig. 4에서와 같이 시스템을 운용하기 위한 초기화 과정에서, 입력되는 신호의 샘플링 주기 및 발신 초음파의 주기를 조정하게 되어있다. 발신 주기는 탐지하고자 하는 해저면의 폭에 따라 결정될 수 있으며, A/D Board의 샘플링 주기는 Hetrodyne을 수행한 후의 저주파 신호의 주파수에 의해 결정된다.

### 3. 시스템 운용 및 활용 사례

본 시스템을 위와 같이 구성하여 해저면 영상 자료를 취득하였다. Fig. 5에서는 실제 해상에서 Side Scan Sonar를 운용하는 모습을 보여주는 예이다. 여기서 볼 수 있듯이 현재까지는 예항체를 직접 작업자가 제어하기 때문에, 실제 해상에서는 안전사고의 위험 및 연결케이블의 손상을 가져올 수 있으며, 예항체를 견인하는 모선

의 종류에 따라 많은 변수가 존재한다. 이는 이동 가능한 전동 윈치 시스템의 도입과 견인 방식의 변경 및 케이블의 재 설계를 통해 해결해야 될 문제이다.



Fig. 5 Operation with Side Scan Sonar System

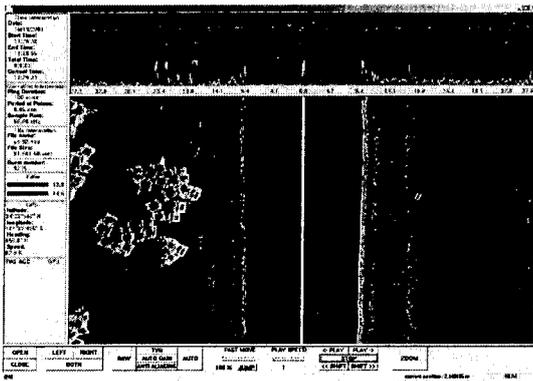


Fig. 6 Artificial Reefs

실제 해상작업들은 주로 해저면 침적 폐기물 조사, 인공어초 실태 조사, 침몰 어선 조사, 해저면 사체 탐색등의 작업이 있었으며, Fig. 6에서는 이중 인공어초군락(크기 : 2m X 2m X 2m)의 영상을 보여주고 있고 있다.

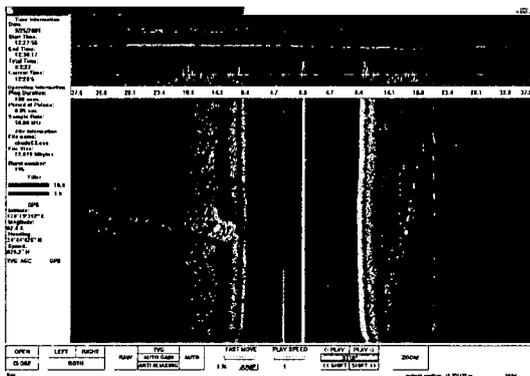


Fig. 7 Ship Wreck

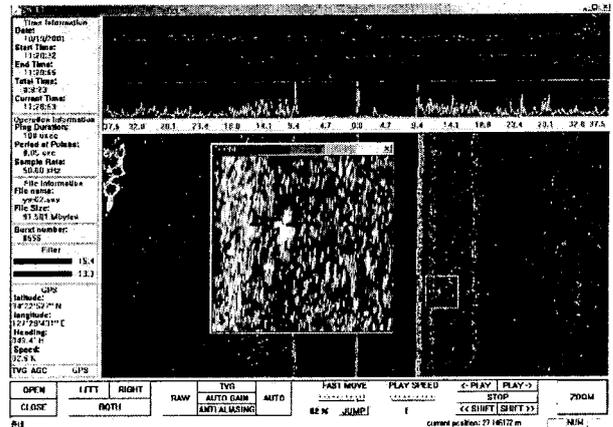


Fig. 8 Corpse on sea bottom

Fig. 7에서는 인공어초로 쓰이는 침몰 어선을 보여주는 예이다. Fig. 8에서는 최근 여수 앞바다에서 작업했던 사체 수색작업에서의 영상으로, 진흙면에 하반신이 잠겨있는 사체로 추정되는 정지화면을 보여주고 있다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 천해역 또는 하천, 댐 등에서 사용 가능한 Side Scan Sonar 시스템의 구현 및 실제 해상에서의 운용에 관한 내용을 간략히 소개하였다. 본 연구를 통하여 Side Scan Sonar의 송수신 시스템을 구현함으로써 외국제품에 의존하였던 상품화 기술을 확보하였고, 실험에서의 실험 및 운용을 통하여 시스템의 성능을 확인하였다. 앞으로도 시스템의 안정성 및 성능향상을 위해서 지속적으로 연구개발을 수행할 계획이며, 아울러 더욱더 많은 실제 해상에서의 탐사작업을 통해 제품의 신뢰도도 향상될 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Albert W. Cox, "Sonar and Underwater Sound", Raytheon Company, London, 1982
- [2] Clay, C.S and Medwin, H, " Acoustical Oceanography", Willy-Interscience, 1977
- [3] Edgerton, H.E., "Sonar Images", Prentice Hall, 1986.
- [4] Parker, K., "Designing a Low Cost Sonar", Underwater Systems Design, 1991.