

천해용 Side Scan Sonar의 송수신 시스템 구현 및 운용에 관한 연구

오영석 · 이철원 · 강도욱 · 우종식
대우조선공업(주) 선박해양기술연구소

Development of a Side Scan Sonar System for Underwater Survey

Young-Seock Oh, Chul-Won Lee, Do-Wook Kang, Jong-Sik Woo
Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co. Ltd.
1, Ajoon-Dong, Koje, Kyungnam, 656-714, Korea

KEY WORDS: AS(Array Switch), BPF(Band Pass Filter), VCA (Voltage Controlled Amplifier), FC(Frequency Intermediate Frequency Amplifier), PA(Power Amplifier), TVG(Time Varying Gain), LA(Logarithmic Amplifier), HPI Filter), SPF(Sonic Pulse Former), LPF(Low Pass Filter), Transceiver(송수신기)

ABSTRACT: "Side scan sonar" using acoustic signal has been developed to survey cable laying, sunken bodie bottom and so on. It uses the acoustic signals, which are emitted from two transducer arrays, to get geometric target area. This system consists of transceiver board, towed body, and deck unit. The transceiver board, w watertight canister of the towed body, controls the transmitting and receiving of 400kHz acoustic signals from After receiving the scattered signals, it processes the filtering, AGC(Automatic Gain Control), TVG(Time Heterodyne. The deck unit is composed of the signal processing part, A/D converter, power supplier, and real And the towed body has been designed to satisfy the optimal hydrodynamic behavior during towing. The dei theory of transceiving part and some results from field-experiments will be introduced here.

1. 서 론

현재 해저 Cable 매설, 침몰체 추적, 해저 지형 조사 등 해저면 조사의 중요성은 군사적 상업적 환경적 측면에서 증대되고 있다. 해저면 조사 기법 중 보편적으로 이용되는 방법은 Side Scan Sonar이다. Sid Scan Sonar는 예항체의 양면에 각 1개씩의 Transduc Array를 설치하여 해저면에 수중 초음파를 발신한 후 해저면으로부터 반향되는 초음파 신호를 수신하여 신호처리하여 해저면의 영상을 얻는 방식이다. 국내에서 이용되는 Side Scan Sonar는 전부 외국으로부터 수입되는 제품인데 이 경우 가격 문제를 고려하지 않더라도 해양이라는 열악한 환경에서 이용되는 장비임을 고려할 때 고장에 대비한 장비의 유지 보수 기술은 필수적이다. 이러한 관점에서 Side Scan Sonar의 국산화는 필수적이라 할 수 있다. 본 논문에서는 국내 연근해에서 이용 가능한 천해용 Side Scan Sonar의 송수신 시스템을 구현하고 운용에 관한 내용을 다루고자 한다. Side Scan Sonar의 송수신 시스템의 구성 요소는 크게 Transceiver Board, 모선에 장착되는

Deck Unit로 볼 수 있다. 본 논문에서의 Side Scan Sonar 송수신 시스템 운용을 위한 예항체로서는 Towed Body를 이용하였으며, Transducer는 400kHz 대의 Line Transducer, 제어 프로그램은 Visual C++를 이용하였다. Towed Body는 일반적인 Torpedo형을 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 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 실험을 통하여 실제 해저 지형 탐색 작업에의 투입을 목적으로 하였다.

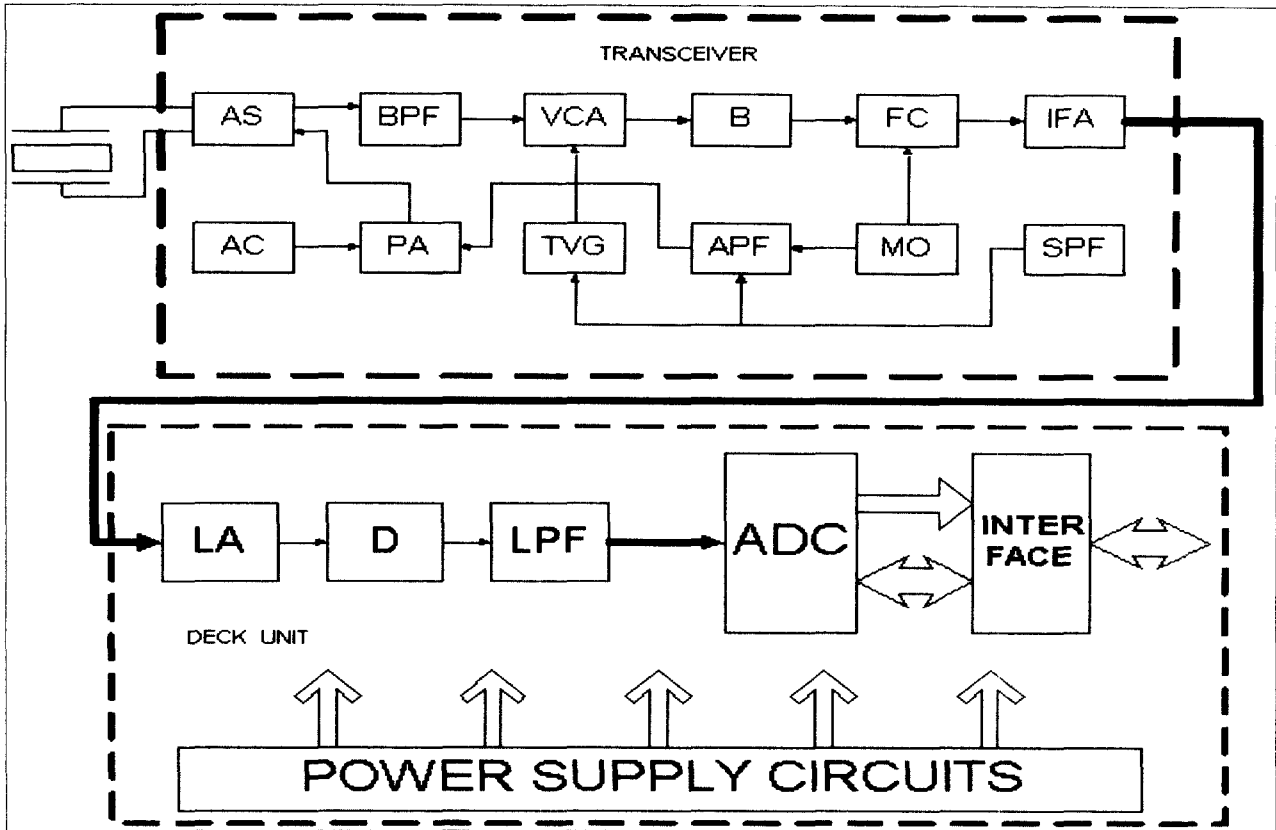


Fig. 1 Side Scan Sonar System Diagram

2. 전체 시스템 구성

본 연구의 Side Scan Sonar 시스템에 사용된 Transducer의 양은 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

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 나뉜다. 본 시스템의 Transceiver Board 부분은 모선의 Deck Unit로부터 항체와 연결된 케이블을 통하여 초음파 신호를 발신하도록 하

는 동기 신호를 수신하여 Transceiver Board에 미리 셋팅된 주파수의 초음파를 발신하기 위하여 Power Amplifier를 통하여 콘덴서에 충전되어 있는 에너지를 사용하게 된다.

Array Switch를 통하여 Transducer에서 초음파를 발신하고 발신 후에 반향되는 초음파를 수신하기 위해 Array 스위치가 수신 모드로 전환하게 되고 수신되는 초음파 신호는 두 개의 페라이트 코어로 만들어진 Band-Pass 필터를 거치게 된다. Band-Pass 필터를 거친 신호는 Voltage Controlled Amplifier부의 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 신호 대해 대수증폭을 실행하고 1차 Low-Pass, High-Pass 필터와 Low-Pass 필터를 통하여 잡음 신호를 제거하게 되고 잡음이 제거된 입력신호는 적분기의 입력으로 인가되고 이의 출력을 영상자료로 변환하기 위하여 A/D 변환이 이루어진다.

A/D변환 결과를 가지고 컴퓨터에서 데이터 처리가 수행되고 해저면에 대한 영상자료가 취득되게 된다. Deck Unit의 전원공급 부분은 Transceiver Board에서 초음파 신호의 발신을 위한 것으로서 초음파 발신 시에 높은 전압이 요구된다.

2.1 Transceiver Board

Side Scan Sonar는 왼쪽, 오른쪽 측면에 두 개의 Transdu Array가 장착되어 있고 이를 제어하기 위한 Transceiver Board도 두 개가 장착되지만 양쪽 측면의 Transceiver Board 차이는 발신하고 수신하는 초음파의 주파수만 다르다. Transceiver Board의 중요한 기능은 초음파 신호를 발신하고 Transducer에 해저면으로부터 반향되는 초음파 신호를 수신하고 Decoding하는 크게 두 가지이다. 초음파 발신부의 구성은 Fig. 2와 같다.

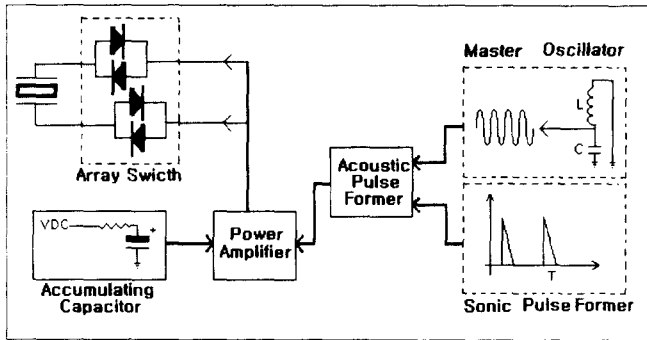


Fig. 2 Sonar Signal Transmission Diagram

초음파 발신부에 있어서의 동작은 먼저 MO 부분에서 발신하고자 하는 초음파의 2배, 3배의 주파수를 Fig. 2에서의 L과 C를 이용하여 만들어 내고 SPF부분에서 발신하는 초음파의 지속시간을 지정하도록 구성된다. 본 시스템에서는 발신하는 초음파 주파수의 10주기에서 40주기까지 조절이 가능하도록 되어 있다. 전체적인 초음파의 발신 간격은 Deck Unit에서 소프트웨어적으로 제어할 수도 있고 Transceiver Board에서 스위치 조작에 의해서도 조절이 가능하도록 구현되었다. 발신하고자 하는 초음파를 APF부분에서 MO로부터의 신호와 SPF로부터의 초음파 지속시간과 합성하여 PA부분에 입력되고 PA는 AC에 충전되어 있는 전기적 에너지를 이용하여 작은 초음파 신호를 크게 증폭하여 AS를 거쳐 최종적으로 Transducer에 입력하게 되면 순간적으로 수중으로 초음파를 발신하게 된다. 본 시스템에서는 사용하는 초음파 발신 주파수는 385kHz와 405kHz를 사용하고 있다. Transducer로부터 초음파 발신 후에 수신하고자 하는 주파수대의 초음파가 해저면으로부터 반향되기를 시작하면 Transducer를 통하여 입력되고 Band-Pass 필터를 통과하여 F 3의 VCA부분과 TVG부분에서 입력된 미세한 반향 초음파를 증폭하게 된다. VCA 및 TVG 부분의 구성은 Fig. 3과 같다.

Fig. 3에서 입력되는 반향 초음파신호가 Transducer를 통하여 Band-Pass 필터를 거쳐서 FET의 Gate 입력으로 인가되면 F의 내부 저항이 입력 신호의 크기에 의해 조정되게 되고 이와 동시에 TR1과 TR2를 흐르는 전류를 증폭하게 된다. 전류가 증폭되면서 TR2의 컬렉터 단과 연결된 L, C에 의해 TR2를 통하여 증폭되는 신호가 공진을 발생시키면서 신호를 계속적으로 증폭하게 된다. TR1과 TR2의 증폭은 TR2의 베이스에 인가되

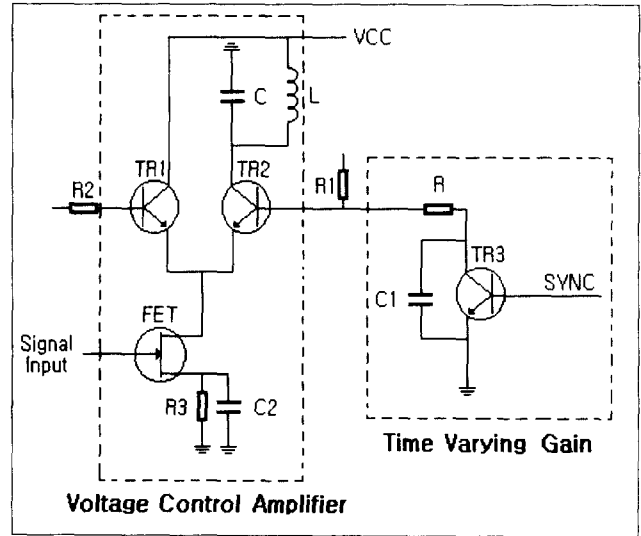


Fig. 3 VCA And TVG Schematic

는 전압의 크기에 의해 증폭률이 조정되게 된다. 그러므로 TR2의 베이스에 입력되는 전압을 조정하면 시간에 따른 증폭률을 조절이 가능하게 되며 TVG 필터링 구현이 가능하다. VCA와 TVG 필터링을 통하여 증폭된 신호는 초음파를 발신할 때의 주파수가 입력되어 해저면 정보가 포함된 고주파 성분이다. 이러한 고주파를 처리하기에는 전기 전자적인 성능이 부족하고 데이터의 취득도 어렵다. 그래서 본 시스템에서는 육상의 통신 장비에서 많이 사용하는 방법의 하나인 Heterodyne 기법을 이용하여 해저면 정보를 가진 고주파 신호를 저주파의 신호로 변환하였다. 변환에 사용된 회로의 개략적인 구성을 Fig. 4에 나타내었다.

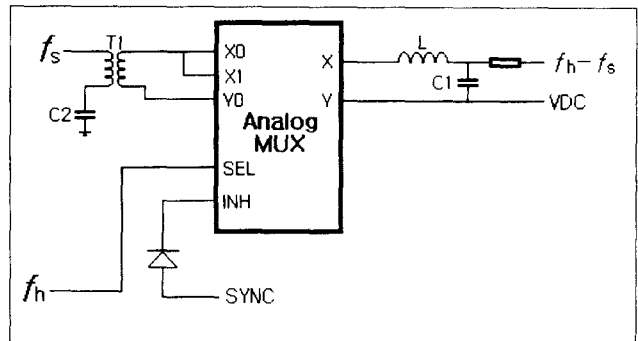


Fig. 4 Frequency Converter Schematic

Fig. 4에서 입력 주파수 f_s 는 Fig. 3에서 증폭된 고주파의 신호이고 f_h 는 저주파의 신호를 생성시키기 위해 아날로그 선택기에 입력되는 고주파의 디지털 신호이다. f_s 와 f_h 의 차이만큼 해저면에 대한 정보를 가진 저주파 신호가 L을 통과하여 L과 C1의 공진에 의해 저주파의 신호로 증폭되게 된다. 이를 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$h(t) = E(t) \cos(2\pi f_s t) \quad (1)$$

$$h_{11}(t) = E(t) \cos[2\pi f_{11} t] \cos[2\pi f_s t] \quad (2)$$

$$h_{11}(t) = \frac{E(t)}{2} \{ \cos[2\pi(f_{11} - f_s)t] + \cos[2\pi(f_{11} + f_s)t] \} \quad (3)$$

$$h_{11}(t) = \frac{E(t)}{2} \cos[2\pi(f_{11} - f_s)t] \quad (4)$$

식(1)은 입력되는 초음파 신호에 대한 입력식이고 식(2)는 Heterodyne을 수행하기 위한 입력의 표현식이다. 식(3)은 Heterodyne을 수행 후의 결과식을 표현하고 있는데 Fig. 5에 출력 파형을 나타내었다. Fig. 4와 위의 수식을 통하여 구현되는 주파수 변환에 대한 현상은 Fig. 5로부터 고주파의 신호가 저주파로 변환됨을 알 수 있다.

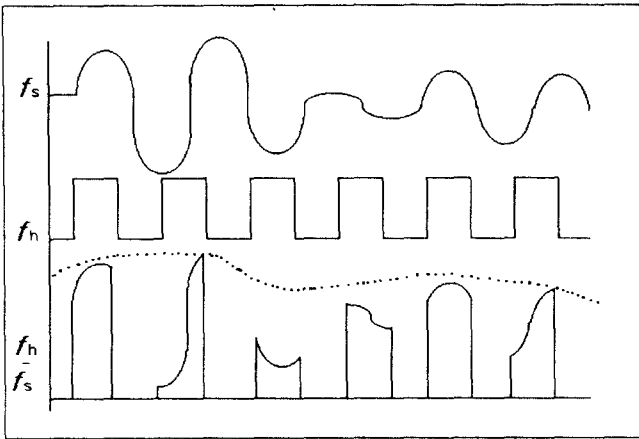


Fig. 5 The Result of Heterodyne

2.2 Deck Unit

Deck Unit는 수중의 예항체를 견인하는 모선에 장착되어 수중의 Transceiver Board로부터 전송되는 해저면의 정보가 포함된 저주파의 신호를 입력 받고 이를 각 필터를 거쳐 해저면에 대한 정보를 취득하고 초음파를 발신하기 위해 필요한 전원을 공급하는 장치이다. Deck Unit의 전체적인 구성은 Fig. 6에 나타내었다.

이 장치의 구성은 Fig. 6에서와 같이 입력되는 저주파 신호를 처리하는 신호처리부와 초음파 발신에 필요한 전원을 공급하기 위해 DC 100~350V로 가변이 가능한 전원공급부가 내장되어 있다. 본 시스템에서 발신하는 초음파의 주파수가 변화되면 이에 따른 Transducer의 내부 임피던스의 변화가 발생되고

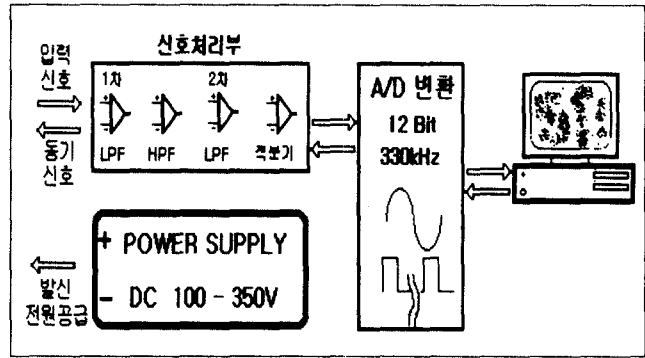


Fig. 6 Deck Unit Diagram

이러한 임피던스의 변화에 따른 출력 전력의 변화를 줄이기 위하여 전원공급부를 가변이 가능하도록 제작하였다. AD 변환부는 샘플링 주파수가 최고 330kHz까지 가능하고 정밀도가 12Bit인 보드를 사용하였으며 샘플링 주기는 소프트웨어로 가변이 가능하도록 운용된다. 신호처리부에 대한 개략적인 구성은 Fig. 7에 나타내었다.

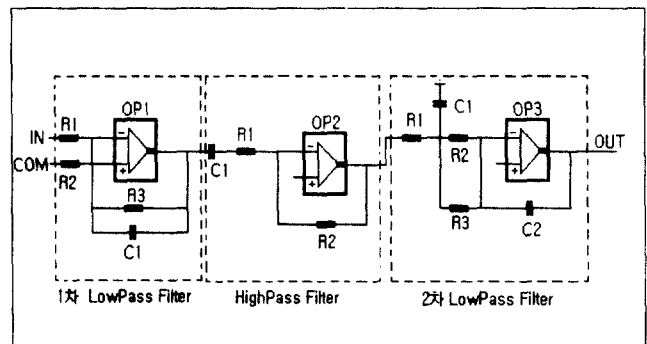


Fig. 7 Signal Processing Schematic

Fig. 7의 신호처리부에 있어서 Transceiver로부터의 저주파 신호가 IN단자를 통하여 입력되게 되면 1차의 Low-Pass 필터를 통과하게 되고 남아있는 고주파 성분을 제거하게 된다. 이 부분의 출력은 다음의 High-Pass 필터의 입력으로 인가되고 앞단의 1차 LPF와 결합하여 Band-Pass 필터가 구성되어 지정된 주파수대의 저주파만 필터링된다. 1차 LPF와 HPF사이 에 음의 신호를 양의 신호로 변환되는 회로가 구성되어 있다. 이렇게 Band-Pass 필터를 거친 신호는 다시 2차의 LPF를 거치면서 완전한 고주파를 배제한 신호로서 출력이 이루어지게 된다. 이렇게 필터링 신호가 A/D 변환부 앞단의 적분기에 입력되어 저주파에 해당하는 시정수를 설정하여 적분이 되도록하여 A/D 변환부의 입력으로 인가되도록 설계되었다.

3. 예항체 및 구동 소프트웨어

본 시스템을 운용하기 위해 제작된 예항체를 Photo 1에 나타

내었다. 예항체의 제작 재료는 알루미늄을 사용하였으며 전체 길이는 약1500mm이고 몸체의 바깥 지름은 120mm이다. 제어기를 장착할 경우의 전체 무게는 약 30Kg이다. 뒤쪽에는 4개의 날개를 장착하여 견인시에 안정된 동작이 이루어지도록 하였으며 해서 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.



Photo 1 TowFish

본 시스템을 동작 시키기 위해 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 지형정보를 2차원 및 3차원적으로 표현이 가능하도록 설계되었다.

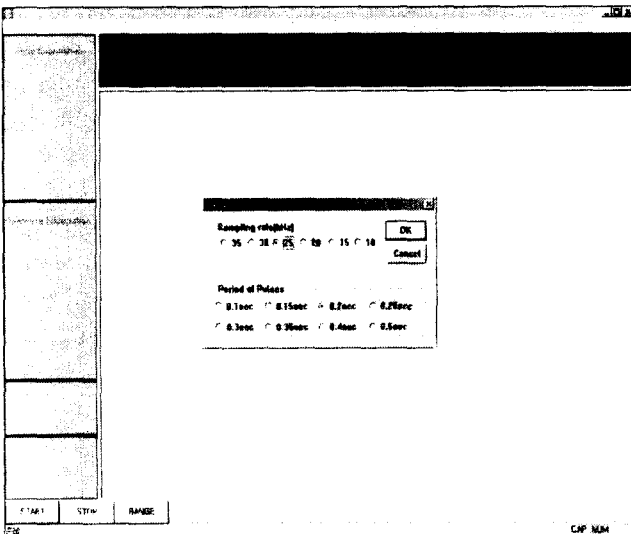


Photo 2 The Display of System Initialization

Photo 2는 시스템을 운용하는 소프트웨어의 초기화면이고, Photo 3은 예항체를 견인하면서 운용하는 화면을 나타내는 사진이다. Photo 2에서 보는바와 같이 시스템을 운용하기 전 초기화 하는 과정에서 입력되는 신호의 샘플링 주기가 선택이 가능하도록 되어 있으며 또한 발신 초음파의 주기도 조정 가능하다. 샘플링 주기나 발신 주기는 발신하는 주파수와 탐지하고자 하는 해저면의 폭에 따라 결정될 수 있으며 특히 샘플링 주기는 Hetrodyne을 수행한 후의 저주파 신호의 주파수에 의해 결정된다.

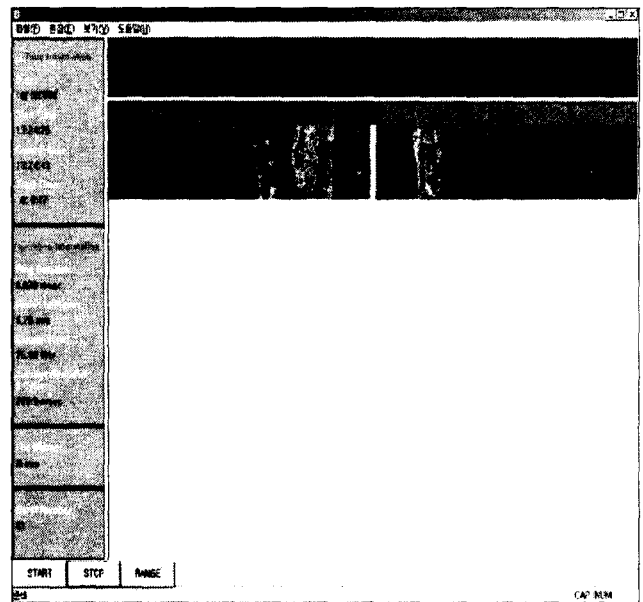


Photo 3 The Display of System Operation

4. 시스템 운용 및 결과

본 시스템을 위와 같이 구성하여 예항체에 Transducer를 장착하고 Transceiver Board을 내부에 구성하여 예인선으로 견인하여 Fig 7, Fig 8의 해저면 영상 자료를 취득하였다. 시스템 운용시의 초음파 발신 주파수가 385kHz인 Transducer를



Fig. 8 SSS Image Recording Example 1

Port Side 에 장착하였고 405kHz 주파수를 사용하는 다른 센서는 Starboard Side에 설치하여 운용하였다. 견인지역은 거제도 옥포만 일원으로서 실험적 운용으로 실효역 해저면 영상 자료들을 취득하였다.

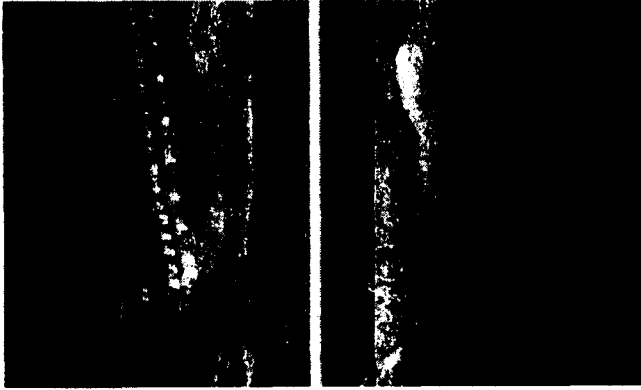


Fig. 9 SSS Image Recording Example 2

5. 결 론

본 논문에서는 천해역 또는 하천, 댐 등에서 사용 가능한 Side Scan Sonar 송수신 시스템의 Hardware구현에 관한 내용을 설명하였다. 수중 예인체에 내삽된 Transceiver의 구성 및 동작원리와, 신호처리 회로 및 발신주파수 변환에 따른 가변 전원공급을 담당하는 Deck Unit에 대해 상세히 기술하였다. 또한 송수신 시스템의 운용 소프트웨어를 이용한 실제 운용 화면과 신호처리 과정을 통해 취득된 해저면 지형 정보를 영상화 한 화면을 소개하였다.

본 연구를 통하여 Side Scan Sonar의 송수신 시스템을 구현함으로써 외국제품에 의존하였던 상품화 기술을 확보하였고, 실효역에서의 실험 및 운용을 통하여 시스템의 성능을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1]대우중공업(주) 선박해양기술연구소, “무인잠수정 (AUV)‘OKPO-6000’ 개발“, 1999
- [2] A. D. Waite, “SONAR FOR PRACTISING ENGINEER Ferranti Thomson Sonar Systems Ltd., UK 1996
- [3] Albert W. Cox, “Sonar and Underwater Sound”, Rayt Company, London, 1982
- [4] 谷本茂, “OP 앰프 실전기술“, 도서출판 세운, 1988
- [5] 오성균, 유용희, 공하성, “전기이론“, 성안당, 1999
- [6] M. H. RASHID, “POWER ELECTRONICS”, Prentice-International, Inc., 1988
- [7] MOTOLORA, “High-Speed CMOS Data”,1998
- [8] 양선모, “저항 콘덴서 코일”, 도서출판 세운, 1993
- [9] 박상희, 이문기, “기초 回路理論”, 진영사, 1995

- [10] A. P. Malvino, “Electronic Principles”, 보성문화사, 1990
- [11] M.D. Ageev, “IMTP experience in AUV design and operation”.
- [12] Clay, C.S and Medwin, H., “ Acoustical Oceanography”, Willy-Interscience, 1977
- [13] Edgerton, H.E., “Sonar Images”, Prentice Hall, 1986.
- [14] Parker, K., “Designing a Low Cost Sonar”, Underwater Systems Design, 1991.
- [15] D. Lee and S.T. McDaniel, “Ocean acoustic propagation finite difference method ”, Comput. Math. Applic. 14, 305-(1987).