

멀티빔 센서를 이용한 사이드 스캔 소나 개발에 관한 연구

장유선*(부산대학교 대학원 지능기계공학과), 계중읍(국방품질관리소),
구용서(국방품질관리소), 박승수(소나테크), 김지한(부산대학교 대학원),
이만형(부산대학교 기계공학부)

Research on Development of Side Scan Sonar Using Multi-beam Sensors

Y.S. Chang(Intelligent & Mech. Eng. Dept., PNU), J.E. Keh(DQAA), Y.S. Koo(DQAA),
S.S. Park(Sonartech), J.H. Kim(Mech. Eng. Dept., PNU), M.H. Lee(Mech. Eng. School., PNU)

ABSTRACT

A side scan sonar system uses the towfish installed sonars, it is an equipment that search images of the bottom surface of the sea in real time. It is a typical equipment that is related to a sea investigation such as a geological survey, seabed communication cable and power line cable placing repair investigation, fish breeding ground investigation, sea purification, relic and mineral investigation, and mine and submarine search. It used to find objects and investigate on the seabed surface. But, recently, it is used to sea purification and geological survey that require information of the correct surface of the seabed. So, it needs various filtering technique and image processing techniques development to acquire high resolution image.

Therefore, this research develops a side scan sonar using multi-beam sensors that supply various information with the fast scan speed and correct high resolution that is not a simple underwater investigation equipment.

Key Words : 멀티빔 센서(Multi-beam sensor), 사이드 스캔 소나(Side Scan Sonar), 토피쉬(Towfish)

1. 서론

사이드 스캔 소나는 Fig.1처럼 해저면의 영상을 실시간으로 탐색하는 장비로써 해양 탐사 및 지질 조사, 해저 통신 및 전력선 케이블 설치 보수 조사, 어초 조사 및 해양 정화 사업 활용, 해저 유물 및 광물 탐사, 기뢰 및 잠수정 탐색 등 해양 탐사와 관련한 대표적 장비라고 할 수 있다. 그러나 지금까지 전방 수입에 의존하고 있어 고장 발생 시 수리 문제와 장비 운용에 어려움이 많아 장비 활용도가 크게 떨어지고 있다. 또한 기존에는 해저면 탐색과 물체를 찾는데 사용하였으나 최근 수중정화사업과 지질조사 시 정확한 해저면의 정보를 요구하고 있다. 고해상도의 영상을 획득하기 위하여 다양한 필터링 기법과 영상처리 기법 개발이 필요하며 다양한 기능의 S/W 개발이 시급하다.

향후에는 해양 탐사와 개발에 관심이 크게 고조되어 각 나라마다 해양관련 장비개발에 많은 투자가

이루어질 것이며, 빠른 스캔 속도와 정확한 정보, 고해상도의 영상을 획득하기 위하여 Multi-beam 센서를 이용한 사이드 스캔 소나가 2~3년 후 주류를 이룰 것이다.

따라서 본 논문에서는 단순한 수중 탐사 장비가 아닌 다양한 정보를 제공하고 해양 탐사 개발에 다목적으로 이용될 수 있는 Multi-beam 센서를 이용한 사이드 스캔 소나를 개발한다.

본 논문의 구성은 제2장에서 Multi-beam 센서의 특성을 규명하고 그 특성에 맞는 센서를 설계 제작한다[1][2]. 그리고 제3장에서 제작된 Multi-beam 센서를 이용한 사이드 스캔 소나의 해상 실험을 수행하고 결과를 보여준다[3]. 마지막장에서 본 논문의 결과를 나타낸다.

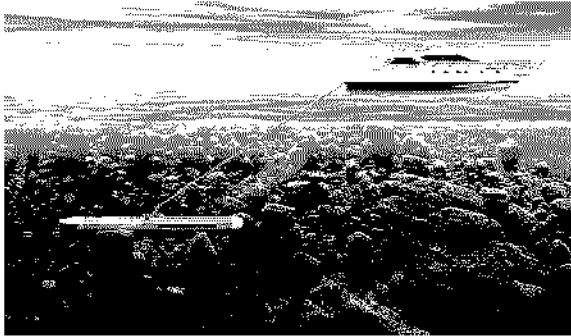


Fig. 1 Application of Side Scan Sonar

2. Multi-Beam 센서 특성 규명 및 설계

2.1 이론적 배경과 특성 규명

선 음원의 중심을 z_0 라하고 $\zeta = z - z_0$ 라 할 때 선 음원의 세기 함수를 Fig. 2에서 정의된 형태의 $I(\zeta)$ 라 하면 음원의 중심 $(0, 0)$ 으로부터 거리 r 만큼 떨어진 위치에서의 음장은 다음과 같다.

$$ap = \frac{I(\zeta)}{r} e^{ikt} d\zeta$$

$$p = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{I(\zeta)}{r} e^{ikt} d\zeta \quad (1)$$

이 때 Fig. 2에서 보는 바와 같이 l 은 다음과 같이 근사할 수 있다.

$$l \approx r + \zeta \sin \theta \quad (2)$$

식 (2)를 (1)에 대입하면 다중 음원에 의한 음장은 다음과 같다.

$$p \approx \frac{1}{r} \int_{-\infty}^{\infty} I(\zeta) e^{ik(r + \zeta \sin \theta)} d\zeta$$

$$p \approx \frac{e^{ikr}}{r} \int_{-\infty}^{\infty} I(\zeta) e^{ik\zeta \sin \theta} d\zeta \quad (3)$$

식 (3)에서 $\frac{\zeta}{\lambda} = a$, $k I(\zeta) = T(a)$, $\sin \theta = s$ 라 하면 다음의 관계식이 성립한다.

$$B(s) = \int_{-\infty}^{\infty} T(a) e^{2\pi s a} da$$

$$T(a) = \int_{-\infty}^{\infty} B(s) e^{-2\pi s a} ds \quad (4)$$

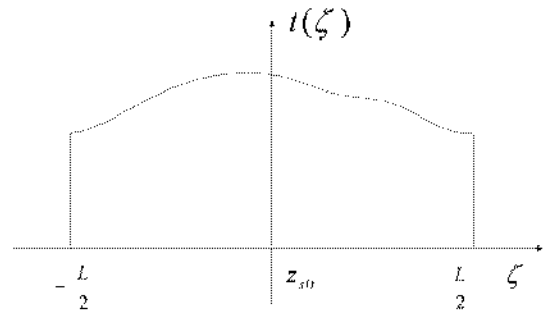


Fig. 2 Intensity function of sound source

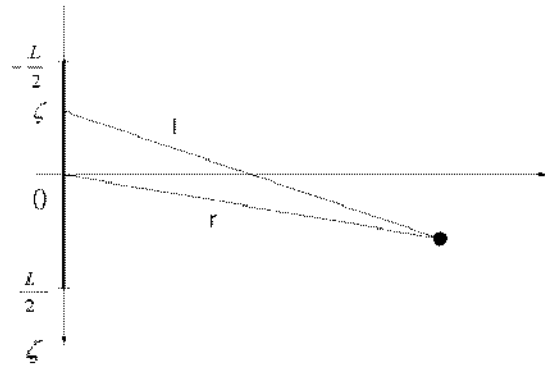


Fig. 3 Ray sound source

식 (4)를 식 (3)에 대입하면 음장은 다음과 같다.

$$p \approx \frac{e^{ikr}}{r} B(s) \quad (5)$$

식 (4)는 Fourier Transform의 형태이므로 다음의 성질을 만족한다.

$$T(a) e^{-2\pi s_0 a} \Leftrightarrow B(s - s_0)$$

$$I(z) e^{-2\pi \frac{\sin \theta_0}{\lambda} z} \Leftrightarrow B(\sin \theta - \sin \theta_0) \quad (6)$$

식 (6)으로부터 음을 θ_0 만큼 조향하기 위해서는 음원의 세기에 $e^{-2\pi \frac{\sin \theta_0}{\lambda} \zeta}$ 를 곱하면 되는 것을 알 수 있다. 위의 결과로부터 θ_0 만큼 조향한 음원 함수는 다음과 같음을 알 수 있다.

$$f^{(\theta)}(z) = I(\zeta) e^{-2\pi \frac{\sin \theta_0}{\lambda} \zeta} \quad (7)$$

각각의 점 음원의 세기를 A_i 라 하면 음원 함수는 다음과 같다.

$$f^{(i)}(z) = A_i e^{-2\pi \frac{\sin \theta_i}{\lambda} (z - z_0)}$$

2.2 센서 설계

본 논문에서 사용하고자하는 Multi Beam Transducer는 한 쪽 면에서 형성되는 빔이 수가 4개, 공진 주파수가 390kHz ~ 410kHz 이내, 출력 1KW 이내, TVR 200dB 이상, OCR -170dB 이상, 수평의 빔의 각도 0.5도 이내, 수직 빔의 각도 50도 이내로 하는 기준을 정하여 위와 같은 성능이 발휘 되도록 초기설계를 한다.

멀티빔 사이드스캔소나는 싱글빔 사이드스캔소나보다 사용되는 Transducer의 크기부터 차이가 난다. Transducer의 크기가 커지면 이에 따른 초음파 출력 특성과 수신 특성이 향상된다. 간단한 원리로서 초음파를 발진하는 면적이 넓음으로 인하여 출력이 많이 생성되고 수신하는 면적이 넓음으로 수신하는 초음파의 양도 증가하게 된다. 이로 인하여 소나 이득이 증가하여 고속의 결인 시에도 싱글빔보다는 향상된 수신 특성을 보인다.

위에 제시된 기준에 의하여 초음파 센서 제작 전문업체인 영국이 Neptune사에 제작여러 하여 Fig. 4와 같은 형태의 센서를 제작한다.



Fig. 4 Multi-beam Transducers

3. Multi-beam Side Scan Sonar 실험

3.1 실험장비

본 논문에서 개발된 전체 시스템의 개념을 Fig. 5에 나타낸다. Fig. 5로부터 전체 시스템의 구성은 초음파 신호를 송수신하여 디지털 변수로 변환하고 부속된

각종 센서로부터 데이터를 실시간으로 고속 전송하는 수중탐사체(Towfish)부분과 수중탐사체로부터 고속 데이터를 수신하여 복원하고 각 조정 변수를 조정하고 FSK 통신 방식으로 탐사체에 전송하는 역할을 수행하는 Transceiver Processing Unit(TPU), TPU에서 고속 전송된 데이터를 복원하여 병렬 데이터로 변환된 신호를 수신하여 신호 처리 및 영상처리를 담당하는 Image Processing Unit(IPU) 부분으로 나누어진다.

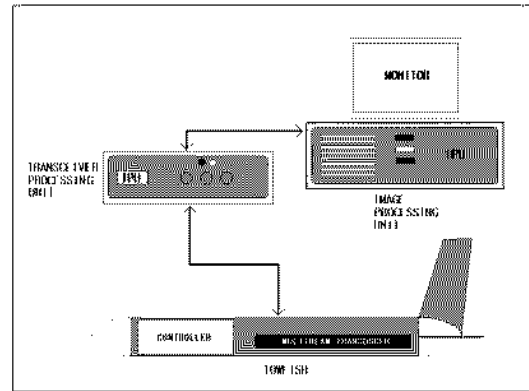


Fig. 5 Schematic of a test system

3.2 실험결과

제작된 Multi-beam 센서를 이용하여 사이드 스캔 소나를 구성하여 실제 해상 실험을 수행한다. Fig. 6는 Multi Beam Side Scan Sonar를 이용하여 획득한 영상이다. Port와 Starboard 각각 4개의 센서가 사용된다. 이와 함께 탐사체(토포쉬:towfish)에 설치된 각종의 센서에서 Pitch, Roll, Heading, Depth, Temperature에 대한 값들이 들어온다. Pitch는 25.0 ~ 25.0°의 값을 가지며 탐사체가 아래, 위로 흔들리는 정도를 나타낸다. Roll도 -25.0 ~ 25.0°의 값을 가지며 탐사체가 좌, 우로 흔들리는 정도를 나타낸다. Heading은 0 ~ 360°의 값을 가지며 탐사체가 바라보고 있는 각도를 나타낸다. Depth는 탐사체가 위치하는 수심 값이다. Temperature는 탐사체의 온도 정보이다. 또한 Altitude는 해저면으로부터 탐사체까지의 거리로서 바닥에 닿지 않도록 일정 거리를 유지해야 하므로 중요한 정보가 된다.

4. 결론

본 논문에선 다양한 정보를 제공하고 해양 탐사 개발에 더욱적으로 이용될 수 있는 빠른 스캔 속도와 정확한 정보, 고해상도의 영상이 획득 가능한 멀티빔 센서를 이용한 사이드 스캔 소나 개발에 관한

연구를 수행하였다. 사이드 스캔 소나에 적합한 멀티빔 트랜스듀서의 특성을 규명하고 설계하였다. 제작된 멀티빔 센서를 이용하여 사이드 스캔 소나의 해상 실험을 수행하고 시제품으로써 만족할 만한 결과를 확인하였다.

향후 경사거리 보정기법(Slant range collection)을 이용하여 스캔 영상의 정밀도를 향상시키고, 모자이크 신호처리 기법 및 해지도 Mapping 기능 등 다양한 기능의 S/W 개발을 위한 안정성 있는 하드웨어 설계 기술을 개발할 것이다.

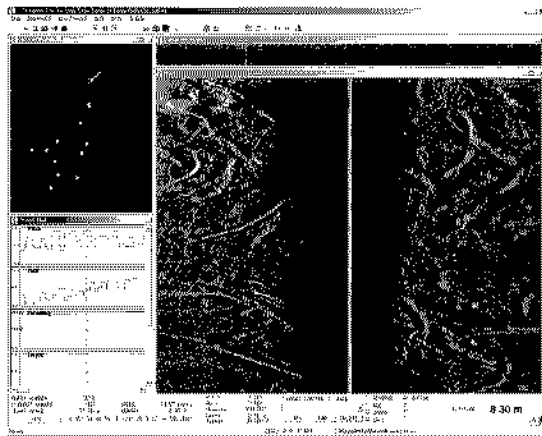


Fig. 6 Result image of side scan sonar test

참고문헌

1. Robert J. Urick, "Principles of Underwater Sound," Peninsula Publishing, 1983
2. Albert W. Cox, "Sonar and Underwater Sound," Lexington Books, 1974
3. A. D. Waite, "Sonar For Practising Engineers," John Wiley & Sons, LTD, 2002