



Received: 2018/11/22  
 Revised: 2019/01/24  
 Accepted: 2019/02/18  
 Published: 2019/03/25

**\*Corresponding Author:**

**Ji-Eun Lee**

SonarTech Co., Ltd, Busan, Republic of Korea  
 Tel: +82-51-403-7769  
 Fax: +82-51-403-7706  
 E-mail: jjeunlee@sonartech.com

# 예인형 합성 개구 소나 시스템(SAS) 개발

## Development of Towed Synthetic Aperture Sonar System

이지은<sup>1\*</sup>, 오영석<sup>1</sup>, 박승수<sup>1</sup>, 김현수<sup>2</sup>

<sup>1</sup>소나테크(주)

<sup>2</sup>국방기술품질원

Ji-Eun Lee<sup>1\*</sup>, Young-Suk Oh<sup>1</sup>, Seung-Soo Park<sup>1</sup>, Hyun-Soo Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SonarTech Co., Ltd.

<sup>2</sup>DTaQ

**Abstract**

합성개구소나(SAS: Synthetic Aperture Sonar)는 송수신센서를 이동하면서 동일한 해저면에 다수의 소나핑을 투사하여 여러 위치에서 취득한 소나데이터를 합성하여 센서 어레이의 실질 개구면(Aperture) 크기보다 더욱 확장된 개구면의 효과를 얻어 높은 해상도를 구현하는 기술로써 최근 여러 국가에서 활발히 연구와 개발이 이루어지고 있다. 특히 미 해군은 기존 측면주사소나(Side Scan Sonar)보다 10배 이상 고해상도를 이용하여 기뢰탐색에 SAS기술을 적극 이용하고 있으며 무인잠수정에 활용하고 있다. 본 연구에서는 32ch 음향센서 어레이를 제작하고 송수신 신호처리와 영상처리장치를 개발하고 예인체(Towfish)형 SAS를 개발하여 높은 해상도와 넓은 탐색범위를 확인하였다.

Synthetic Aperture Sonar(SAS) projects multiple sonar pings on the same sea floor and combines the data acquired at various locations. This allows high resolution with the effect of acquiring data from aperture array that is larger than the actual size. Recently, research and development has been actively carried out in many countries. In particular, the U.S. Navy is actively utilizing SAS technology for mine detection enabling 10 times higher resolution than the previous Side Scan Sonar and it is used on UUV for mine hunting. In this study, 32ch acoustic sensor array was manufactured, signal processing and image processing devices and towed SAS were developed to identify high resolution and wide navigation range.

**Keywords**

Synthetic Aperture Sonar(합성개구소나),  
 Seafloor Imaging(해저 영상화),  
 Towed Sonar(예인형 소나)

**Acknowledgement**

이 논문은 민군협력진흥원 민군 기술 협력사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

## 1. 서론

Side Scan Sonar (SSS)는 기존에 해저 지형을 영상화하는 대표적인 장비였다. SSS는 약 1m의 배열센서를 빔포밍함으로써 10cm~30cm의 해상도를 가지며 해저지형 측량이나 수중 구조물 구조/구난 등에 사용되어왔다. 반면 Synthetic Aperture Sonar (SAS)는 SSS가 갖는 배열센서 길이의 물리적인 한계를 여러 개의 개구를 합성하여 긴 합성개구를 얻어 해상도를 SSS보다 10배 이상 높인다[1,2]. 기뢰 및 잠수정 탐색/식별, 정확한 해저 지형 측량이 가능해지면서 SAS는 고해상도를 기반으로 기존의 SSS를 대체하는 장비로 각광을 받고 있다. SAS는 여러 국가에서 개발 진행 중이며 미 해군에서도 기존의 SSS를 SAS로 대체 중이며 무인 잠수정에 탑재하여 기뢰 탐색에 이용되고 있다.

본 논문에서는 기존의 SSS와 같이 선박에 예인케이블로 소나를 예인하는 예인형 SAS를 개발한다. 예인본체와 신호처리장치, 송수신 센서 및 영상처리 장치를 개발하였고, 수조실험과 호수실험을 통해 높은 해상도와 넓은 탐색 범위를 확인하였다.

## 2. Towed(예인형) SAS 개발

예인체(Towfish)에 소나를 탑재하여 예인케이블을 통해 선박으로 예인되며 예인을 하기 위해서는 센서를 부착하고 센서 데이터의 송수신 및 전송을 담당하는 제어기 및 제어기하우징을 탑재한 수중 예인체 프레임과 예인본체와 신호처리 장치를 연결하는 예인케이블, 예인케이블을 감는 윈치, 예인체의 제어기와 신호처리 장치를 연결하는 견인장치로 구성이 된다. 예인

체 프레임은 STS316L 재질로 제작되었으며 예인 케이블은 광케이블로 제작되었다.

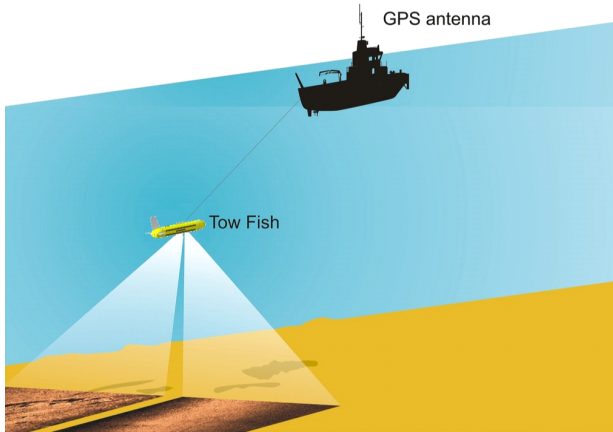


Fig. 1. Towing Sonar Conceptual Diagram

제어기하우징에는 송신신호를 출력하는 송신보드, 송신 신호를 수신 및 증폭하는 수신 보드, 128채널을 동시에 A/D 변환하며 광통신으로 데이터를 전송하기 위한 MUX 보드, 모션 센서, 압력계, 고도계, 지자기 센서의 데이터 연동을 하는 인터페이스 장치 그리고 센서 및 제어기 하우징 내부 보드에 전원을 공급하는 전원 보드로 구성이 된다.

송신 센서는 200kHz와 400kHz, 듀얼로 구동이 되며 본 논문에서는 400kHz 주파수를 사용하여 실험하였다. 수신 센서는 센서간격 0.04cm 의 센서가 32채널로 배열이 구성된다.

예인체는 예인케이블로 신호처리 장치와 연결이 된다. 신호처리 장치는 GPS, 모션 센서, 압력계, 고도계, 지자기 센서 및 제어기 하우징 제어 명령을 광통신으로 전송받고 영상처리장치로 이 데이터들을 전송한다.

영상처리장치에 운용 S/W가 탑재되며, 운용 S/W는 수신 데이터들을 전시한다.

운용 S/W로 취득된 데이터는 SAS Reconstruction 알고리즘을 이용하여 SAS 영상으로 복원된다[1~4]. SAS Reconstruction 알고리즘은 Range 방향(배의 진행 방향의 수직 방향)으로 FFT를 수행하여 Range 방향으로 Compression을 적용하고 Crossrange 방향(배의 진행 방향)으로 FFT를 수행한 뒤 Crossrange 방향으로 Compression을 적용한다. SAS에서 Compression은 송신 신호나 Crossrange 방향 수신 데이터의 형태에 대하여 Matching Filter를 수행하여 해상도를 높이는 방법이다. Range 방향으로는 400kHz의 CW 펄스가 사용되었고, 6cm×6cm (Range 방향 × Crossrange 방향) 해상도를 목표로 하였다.



Fig. 2. Towfish Body

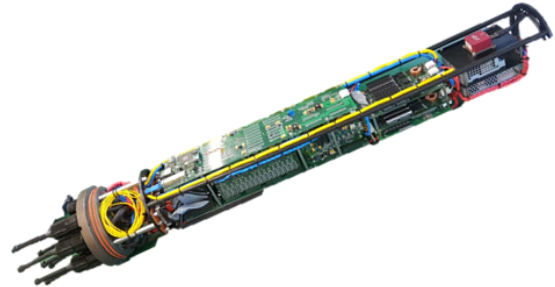


Fig. 3. Control Unit. Housing



Fig. 4. Projector (Left) and Receiver (Right)



Fig. 5. Signal Process Unit

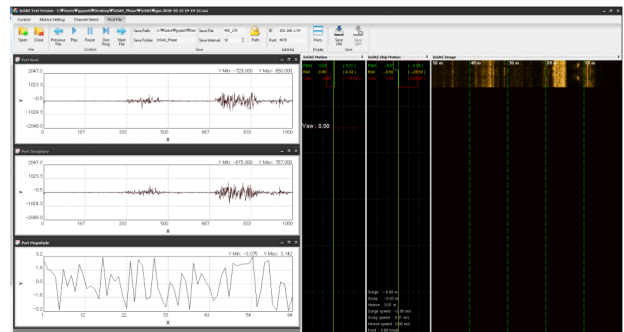


Fig. 6. Operation S/W

### 3. 수조 실험 결과

수조 실험은 한국생산기술연구원 해양로봇센터의 조파수조(L 50m × W 20m × H 10m)에서 수행되었다. 송수신센서와 제어기 하우징을 예인전차에 고정시키고 예인전차를 이동시키면서 운용 S/W 로 조파수조 내에 배치된 인공장애물 (Fig. 8)에 대한 데이터를 취득하였다.

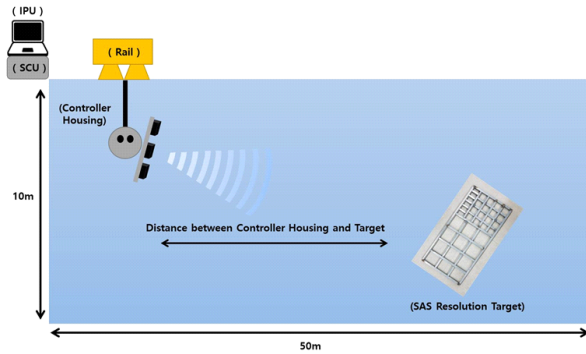


Fig. 7. Water tank experiment arrangement (KITECH)

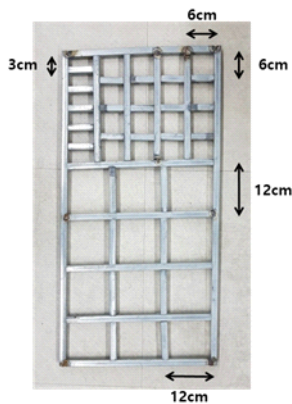


Fig. 8. Artificial obstacle

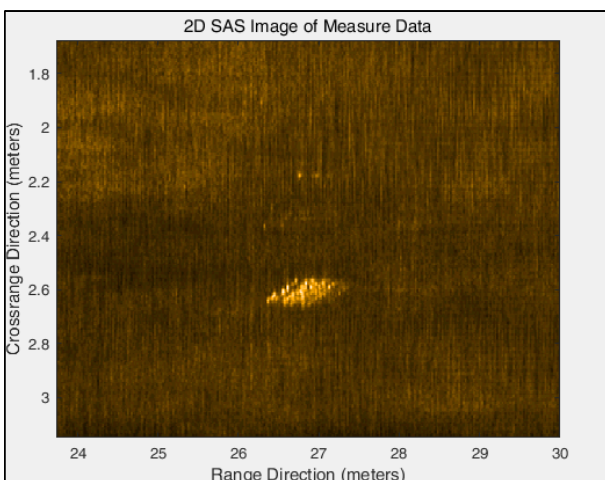


Fig. 9. Around 24m~30m Range 2D SAS image

Fig. 9는 취득된 데이터로 SAS Reconstruction 알고리즘으로 SAS 영상을 복원한 영상이다. Crossrange 방향 약 2.6m와 Range 방향 약 26m에서 타겟을 형태를 확인할 수 있다. Range 방향으로 26m방향 쪽으로 인공장애물의 12cm의 이격을 28m방향 쪽으로 6cm의 이격을 확인함으로써 6cm의 해상도를 확인하였다.

### 4. 호수 실험 결과

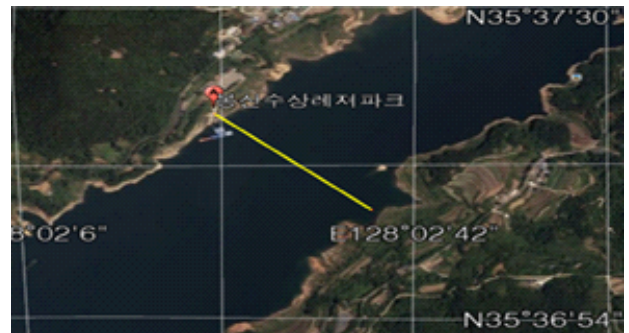


Fig. 10. 합천호 (봉산수상레저파크)

경남 합천호에서 송수신센서와 제어기 하우징을 고정시키고 부유물에 고정하고 부유물을 예인하여 보트를 운행하면서 호수 바닥에 대한 데이터를 취득하였다.

Figs. 11, 12의 (Bottom) 은 합천호수 바닥에 대한 SAS 영상이다. Figs. 11, 12의 (Top)의 SSS 영상에 비해 해상도가 확연히 높음을 확인할 수 있다.

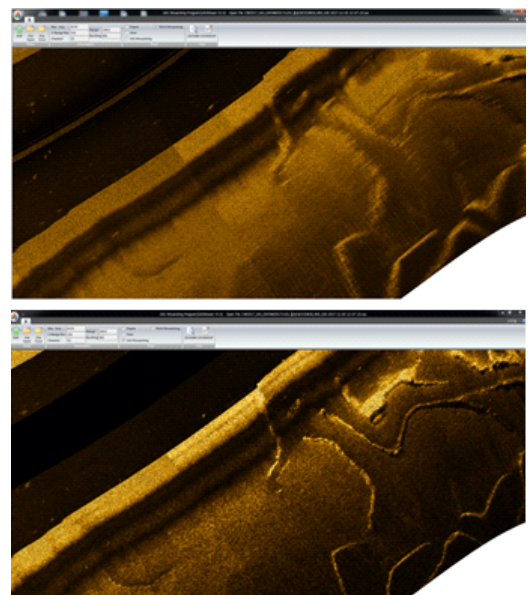


Fig. 11. Hapchun Lake Bottom (1) (Top) SSS Image (Bottom) SAS Image



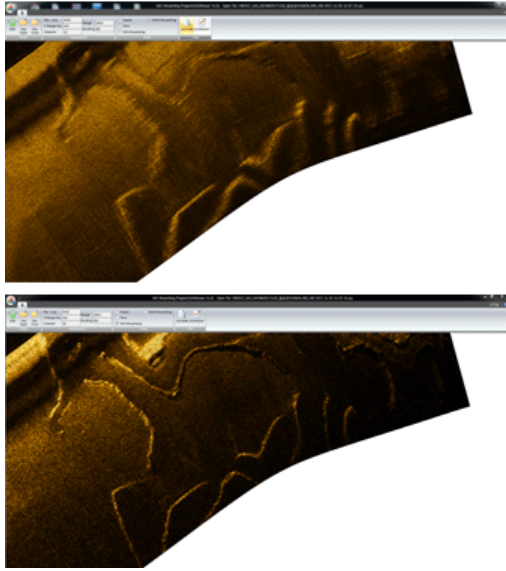


Fig. 12. Hapchun Lake Bottom (2) (Top) SSS Image  
(Bottom) SAS Image

## 5. 결론

본 연구에서는 기존의 SSS보다 높은 해상도를 갖는 예인형 SAS를 개발하였다. 수조 실험을 통해 6cm 해상도를 확인하였고, 호수 실험을 통해 호수 바닥영상을 취득하여 SSS보다 고해상도임을 확인하였다. SAS로 해저를 보다 정밀하게 관측할 수 있다면 기뢰 탐지 등 군사용이나 해저 측량 등 민수용에서 활용도가 높아질 수 있다.

## 6. 향후 결과

호수 실험에서 SAS를 운용시 GPS로 데이터를 모자이크 처리하여 영상화하였는데 SAS는 모션 정보에 민감하

므로 모션을 취득하여 SAS 취득 신호를 보정하여야 한다.

SSS나 SAS는 2차원 해저 영상을 만들어 낸다. 반면 MBES(Multibeam Echo Sounder)는 다채널에 대한 수심을 통해 3차원 해저 정보를 도출한다. InSAS는 두 장의 SAS 영상의 간섭(Phase)를 이용해 수심을 계산해낸다. 따라서 InSAS 개발을 통하여 MBES 보다 Range에 대해 다수의 Point들을 갖는 3차원 해저 영상을 얻을 수 있을 것이다.

## 후기

본 연구는 민군협력진흥원의 “민군 기술 협력사업”의 지원을 받아 수행된 연구결과이다. (과제번호: 15-CM-SS-01, 과제명: 예인형 간섭계측합성개구소나(InSAS) 개발)

## 참고문헌

- [1] M. Soumekh, “Synthetic Aperture Radar Signal Processing,” John Wiley & Sons, USA 1999.
- [2] Hayden J. Callow, “Signal Processing for Synthetic Aperture Sonar Image Enhancement,” PhD thesis, Electrical and Electronic Engineering at the University of Canterbury, New Zealand 2003.
- [3] Roy Edgar Hansen, Hayden John Callow, “Challenges in Seafloor Imaging and Mapping With Synthetic Aperture Sonar,” 3679, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 49, No. 10, October 2011.
- [4] David W. Hawkins. “Synthetic Aperture Imaging Algorithms: with application to wide bandwidth sonar,” PhD thesis, Electrical and Electronic Engineering at the University of Canterbury, 1996.