



Received: 2019/11/22
Revised: 2019/01/17
Accepted: 2019/02/14
Published: 2019/03/07

***Corresponding Author:**

Hyuk Baek

Tel: +82-42-866-3822

Fax: +82-42-866-3819

E-mail: hbaek@kriso.re.kr

스캐닝 소나 시스템을 이용한 수중구조물의 2차원 및 3차원 매핑

2D and 3D Mapping of Underwater Substructure Using Scanning SONAR System

백혁^{1*}, 전봉환¹, 박진영¹, 심형원¹, 이판목¹, 노명규²

¹선박해양플랜트연구소 해양ICT연구본부

²충남대학교 기계설계메카트로닉스공학과

Hyuk Baek^{1*}, Bong-Huan Jun¹, Jin-Yeong Park¹,
Hyungwon Shim¹, Pan-Mook Lee¹, Myounggyu D. Noh²

¹Marine ICT Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

²Department of Mechatronics Engineering, Chungnam National University

Abstract

스캐닝소나 시스템은 수중의 인공구조물을 2차원 이미지와 3차원 데이터로 나타낼 수 있는 음향센서로 탁한 시계환경에서 카메라를 대신하여 시각화 할 수 있는 센서이다. 특히 스캐닝소나 시스템은 물체의 길이, 면적, 부피를 측정할 수 있어 수중구조물의 위치, 크기, 상태를 점검하는데 필수적인 센서이다. 선진국에서는 스캐닝 소나를 이용하여 해저면, 교각하부, 파워플랜트의 취수관등 수중의 구조물 안전성 평가에서 다양하게 활용되고 있다. 본 논문에서는 국내에서 실시한 2차원 이미지 취득과 취득된 이미지의 모자이크 결과를 소개하고, 3차원 데이터 취득과 합성 결과를 설명한다. 연구를 통해 향후 국내 연안의 인공구조물 안전성 평가에 유용하게 활용될 수 있음을 확인하였다.

The scanning sonar system is an acoustic sensor that can show a two-dimensional image and three-dimensional data of a man-made structure in the water, and can visualize it in place of a camera in a low visibility environment. The scanning sonar system is essential to verify the position, size and condition of the underwater structure because it is able to measure the length, area and volume of the object. In the country advanced in the marine, scanning sonar is used variously in the evaluation for the structure safety in water such as seabed, pier, power plant, etc. In this paper, we introduce two-dimensional images and its results of mosaic and three-dimensional data and its synthesized results as well acquired in our sea. Through this study, it was confirmed that it could be useful for the safety assessment of artificial structures in our marine environment in the future.

Keywords

Scanning SONAR(스캐닝소나),
Underwater Substructure(수중구조물),
Inspection(검사),
Mapping(매핑),
2D & 3D Mosaic(2차원 & 3차원 합성)

1. 서론

해저를 매핑하거나 수중 구조물을 검사하기 위해 주로 광학센서와 수중음향센서를 이용한다. 광학센서는 일반적으로 수중조명과 수중카메라를 이용하는 것으로, 한 대의 카메라를 이용하는 방법, 스트레오 카메라를 이용하는 방법 그리고, 카메라와 레이저를 함께 이용하는 방법이 있다 [1]. 수중음향센서를 사용하는 방법으로는 싱글빔(Singlebeam) 소나, 멀티빔(Multibeam) 소나, 사이드스캐닝(Side Scanning) 소나, 섹터스캐닝(Sector Scanning) 소나를 이용하는 방법이 있다[2].

수중 구조물을 검사하는 다양한 방법이 있지만, 탁한 시계환경에서 광학센서를 이용한 검사는 검사품질이 떨어지고, 검사에 소요되는 시간이 증가는 단점이 있다. 상업적으로 이용 가능한 섹터스캐닝 소나 시스템은 탁한 시계환경에서도 수중의 노출된 철근 검사, 콘크리트의 마모를 확인할 수 있을 뿐만 아니라, 수중 구조물의 측량 및 3차원 데이터를 취득하여 검사대상의 길이, 영역 또는 볼륨의 추정치를 계산할 수 있어 그 활용도가 높다[3][4].

수중 구조물의 검사 외에 스캐닝 소나와 관련된 연구로는 해저의 물체 정보를 자동으로 인식, 분류 및 식별하는 연구가 주로 수행되어 오고 있다[5][6][7]. 본 논문에서는 국내에서 수행한 수중 구조물의 2, 3차원 매핑 기법 선행연구 사례[8][9][10]를 소개하고 그 연구 결과물인 2, 3차원 데이터결과를 고찰했다.

본 논문의 2장에서는 계측시스템의 구성과 시스템에서 사용한 소나의 사양과 삼각대 및 수직치구에 대해서 설명하고, 3장에서는 한국해양과학기술원 남해연구소 연구선 접안부두와 인근 해저면에서 삼각대와 수직치구로 취득한 섹터스캐닝 소나 2차원 이미지의 합성 결과를 소개한다. 4장에서는 연구선 접안부두의 지지대인 부두 수직 파일의 3차원 데이터 취득 기법과 합성결과를 소개하고, 마지막 5장에서는 소나 데이터 처리 결과를 정리했다.

2. 스캐닝 소나를 이용한 계측시스템 구성

2.1. 스캐닝 소나의 사양

Table 1. Specifications of Scanning SONAR

Model	1171 High Resolution Sonar	
Depth rating	3,000m	
Frequency	675kHz	
Beam width	0.9°×30°~ Fan	1.7°×1.7° Cone
Range	0.5 ~ 100m	
Range resolution	≥ 19mm	
Range sampling	≥ 2.5mm	
Scan speed	11sec/360° @ 10m & 1.8° step 36sec/360° @ 100m & 1.8° step	
Scan Width	360° continuous	
Step size	≥ 0.225°	
pulse Lengths	25~2500μs	
Power	33W, 22~60 VDC	
Weight	6.1kg/2.9kg	

2차원 및 3차원 데이터 취득에 사용한 스캐닝 소나 시스템의 소나 모델은 콩스버그사의 1171 High Resolution Scanning Sonar이다. 스캐닝 소나의 사양을 아래의 Table 1에서 나타내고 있다. 최고 운영수심 3,000m이며, 소나의 운용주파수는 675kHz이다. 본 실험에서 사용한 스캐닝 소나는 두 가지 기능센서를 하나의 센서 용기에 설치했다. 하나는 2차원 이미지 취득용으로 수평 방향(Horizontal Beamwidth) 0.9°, 수직 방향(Vertical Beamwidth) 30° 크기의 부채꼴 모양의 팬(Fan)빔을 주사하는 직사각형 센서이다. 다른 하나는 3차원 거리정보(Profiling) 취득용으로 가로 1.7° × 세로 1.7° 모양의 날카로운 펜슬빔(Pencil Beam)을 주사하는 원형 센서이다. 두 개의 센서 아래에는

회전 각도를 조절할 수 있는 스텝모터가 설치되어, 시계 혹은 반시계방향으로 최소 0.225°까지 미세 조절이 가능하다. 데이터취득시의 센서 운영거리(Operating Range)는 최소 0.5m에서 최대 100m까지이나 대상이 큰 물체의 경우 150미터까지 탐지가 가능하다.

2.2. 스캐닝 소나 데이터 취득 준비

수평 방향 이미지를 취득하기 위해 Fig. 1의 왼쪽 그림과 같은 스테인리스 재질의 삼각대를 제작했다. 삼각대의 제일 상단에는 짐벌(Gimbal)을 설치하고, 짐벌 아래에 센서를 직하방향으로 설치하였다. 마지막으로 삼각대가 기울더라도 센서가 항상 중력 방향으로 향하게 하기 위한 무게 추를 장착하였다. 수직 방향의 이미지 데이터를 취득하기 위해 Fig. 1의 오른쪽 그림과 같은 거치대를 제작했다. 벽면의 높이에 따라 2미터씩 연장할 수 있는 알루미늄 재질의 파이프를 제작하였고, 지지대의 끝단에 90도 방향으로 센서를 설치하였다. 이 파이프는 육상에서 지지해 주는 고정용 박스에 연결되며, 센서의 방향과 경사 각도를 조절할 수 있도록 연결부에 조절장치를 제작했다. 자세한 데이터 취득 원리는 선행연구[9]에서 기술했다.

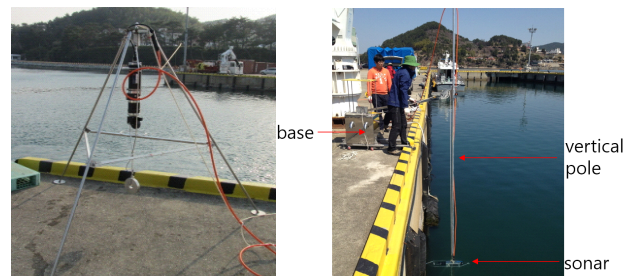


Fig. 1. Deployment bracket for 1171 SONAR

3. 2D 스캐닝 소나 이미지 맵핑 결과

2차원 스캐닝 소나 이미지 취득 실험은 2012년 4월 3일부터 4월 6일, 4월 17일부터 4월 19일까지 총 두 차례에 걸쳐 수행한 결과이며, 자세한 이미지 취득 기법과 맵핑 기법은 선행연구[8][9]에서 확인할 수 있다. Fig. 2에서 나타난 15개의 흰색 점은 삼각대를 이용한 스캐닝 소나 운영 위치를 나타내고, 1번과 2번 노란색 선으로 표시한 곳은 2차원 수직이미지 취득 위치를 나타낸다. Fig. 3은 Fig. 2의 8번 위치에서 해당하는 위치에서 삼각대를 이용한 스캐닝 소나 취득 데이터이다. 그림의 크기는 2,200 pixel × 2,200 pixel

이며, 해저면 이미지 취득시의 소나 운용 사양은 Table 2에 나타냈다. 총 15개 위치에서 취득한 이미지를 상용프로그램인 Adobe사의 포토샵(Photoshop CS5[®])으로 모자이크한 결과를 Fig. 4에서 나타내고 있으며, 6,093 pixel × 6,884 pixel 크기를 가진다.

수직 이미지 데이터 취득시험 결과는 Fig. 5와 Fig. 6에서 나타내고 있다. 수직 이미지 취득시의 소나 운용사양은 주

사거리 15m, Pulse Length 5 μs, 스캔 회전각도 0.45°, 음속 1,487m/s이다. 한 장의 이미지 크기는 900 pixel × 900 pixel의 원형 이미지로 취득된다. Fig. 5는 Fig. 2의 노란색 1번 라인에 해당하는 위치에서 5회 취득한 스캐닝 소나 이미지의 모자이크 결과이다. 연구선 부두의 수중암벽을 나타내고 있으며, 5,070 pixel × 556 pixel 크기를 가진다. Fig. 6은 Fig. 2의 노란색 2번 라인에서 총 7회에 걸쳐 취득



Fig. 2. SONAR Data acquiring positions

Table 2. Operation Parameters for Scanning

조건	입력수치
Range	50m
Pulse length	10μs
Head step size	0.225°
Speed of sound	1487m/s

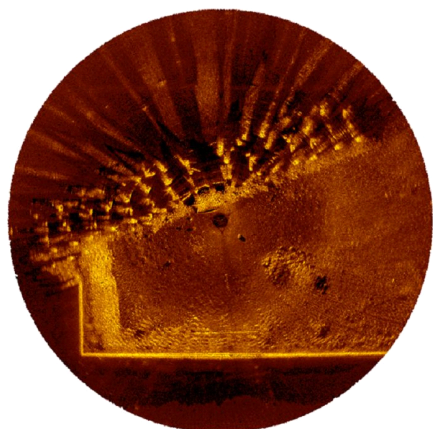


Fig. 3. Horizontal image of 8th position



Fig. 4. Mosaic result of the horizontal images

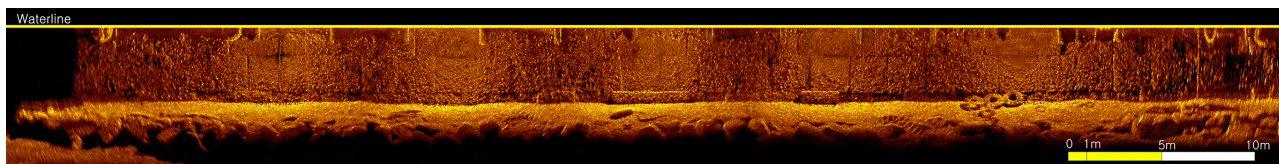


Fig. 5. Result of the vertical image mosaic



Fig. 6. Result of the pier pile image mosaic

한 연구선 접안부두의 수중 파일(Pile) 이미지로 모자이크 처리하여 총 7,500 pixel × 1,325 pixel 크기로 나타냈다.

4. 3D 프로파일링 소나 시험 결과

프로파일링 데이터 취득 실험은 2013년 2월 12일부터 2월 22일까지 한국해양과학기술원 남해연구소 부두에서 수행했으며 자세한 데이터 합성기법은 선행연구[10]에서 확인할 수 있다.

부두에서 프로파일링 소나를 원하는 수중위치에 설치할 수 있도록 Fig. 7과 같은 거치대를 설계 및 제작했다. Fig. 8의 좌측 상부에 표시한 3개의 작은 원은 주사거리 8.5m 반경으로 3차원 데이터를 취득한 위치이고, 나머지 16개의 큰 원으로 표시한 위치에서는 주사거리 10m 반경으로 3차원 데이터를 취득한 위치이다. Fig. 9의 좌측은 Fig. 8의 설계도에 나타난 위치를 구글어스 위성지도상에 나타낸 것이고, 우측은 3차원 데이터 취득시의 소나 데이터를 동일한 방향

을 기준으로 취득하기 위한 X, Y 평면상의 좌표계를 나타내고 있다. 본 실험에서는 데이터 취득 시의 센서 위치를 GPS 대신 Fig. 8과 같이 부두 CAD도면상에 미리 설계한 위치에서 데이터를 취득하였다. 이와 같이 육상의 측량 위치를 기반으로 데이터를 취득할 경우에는 기준 좌표계를 미리 설정하고 데이터를 취득하여야 데이터 합성에 유리하다.

19개의 위치에서 취득한 3차원 데이터의 처리 작업에는 수면 노이즈 제거, Roll & Pitch & Yaw 보정 그리고 데이터의 합성 작업이 필요하며, 사용 소프트웨어는 3차원 클라우드 포인트 편집 프로그램인 CloudCompare를 사용했다. Fig. 8의 좌측 상부에 표시한 작은 원 세 개의 위치는 각각 8.5m씩 떨어져 있으며, 데이터 취득시에 부두에 마킹하여 8.5m 간격으로 이동 후 데이터를 취득했다. Fig. 10와 Fig. 11에서는 취득 위치 간격이 각각 8.5m거리로 이격된 것을 프로그램에서 나타내고 있다. Fig. 12는 Fig. 9의 1번, 2번, 3번 위치의 3차원 데이터 합성 결과를 나타내고 있으며, 나머지 16개 위치 지점에서 취득한 데이터들도 Fig. 8

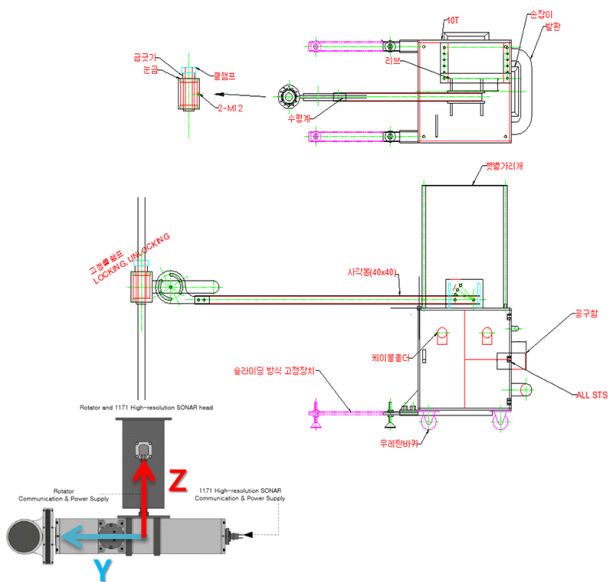


Fig. 7. Design of Profiling system bracket

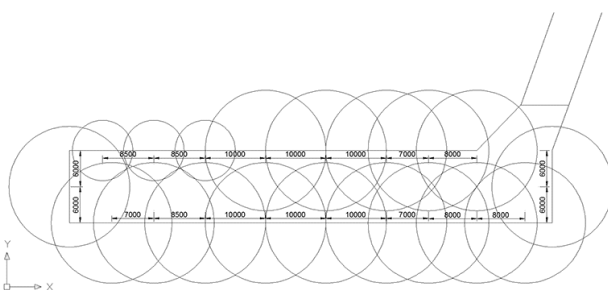


Fig. 8. Positions of profiling data acquisition at pier

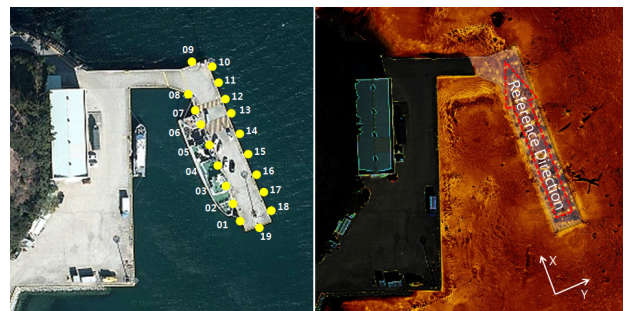


Fig. 9. Positions and Reference direction of profiling data acquisition at pier

의 설계도에 표시한 X, Y축 길이로 데이터를 배치시키면 총 19개 지점의 3차원 데이터를 하나로 합성할 수 있다.

5. 결론

본 논문의 3장에서는 스캐닝 소나 시스템으로 취득한 해저 수평면 2차원 이미지 모자이크 결과와 수직면 2차원 이미지 모자이크 결과를 나타냈고, 4장에서는 3차원 부두 하부구조물 데이터 합성 기법을 설명했다. 특히 3장 Fig. 4에서 해저 식별 대상을 선정한 후, 다이버를 통해 식별 대

상에 대한 광학영상을 촬영을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 15에서 함께 나타냈다. 소나 영상과 광학영상을 비교함으로써 해저 물체의 종류와 재질을 알아낼 수 있었고, 이러한 결과가 축적되면 향후에는 소나영상만으로도 해저물체를 용이하게 식별할 수 있을 것으로 기대된다. 소나 영상을 합성함으로써 소나 영상에 나타난 음영지역을 제거하고 넓은 영역에 대한 영상정보를 단일영상에 나타낼 수 있었다. 또한 부두의 소나 모자이크 이미지와 부두 위성사진을 합성하여 함께 나타냄으로써, 수중물체의 위치 정보를 직관적으로 알 수 있었다. Fig. 13의 좌측 그림은

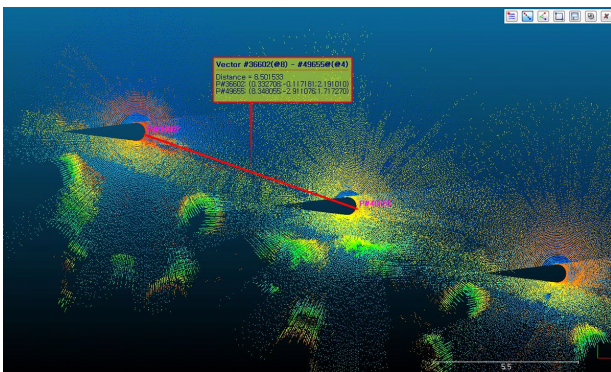


Fig. 10. Point cloud composition of No. 1 and No. 2

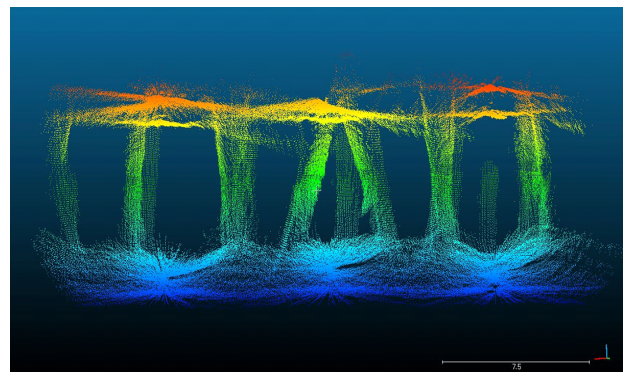


Fig. 12. Composition of No. 1 and No. 2 and No. 3

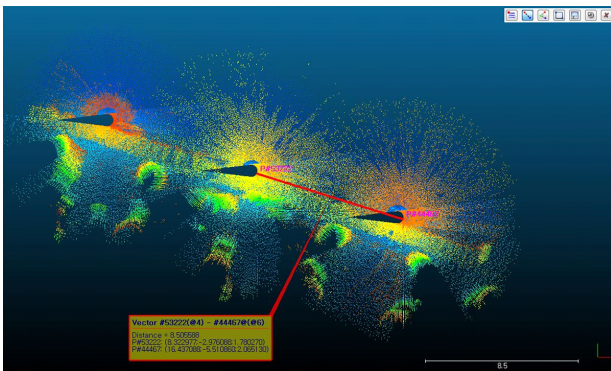


Fig. 11. Point cloud composition of No. 2 and No. 3

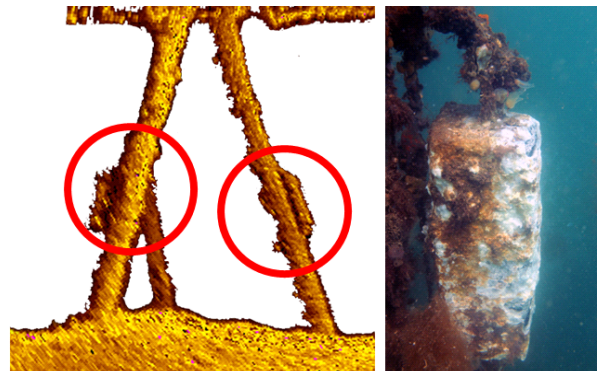


Fig. 13. Zinc anodes installed on the pier pile

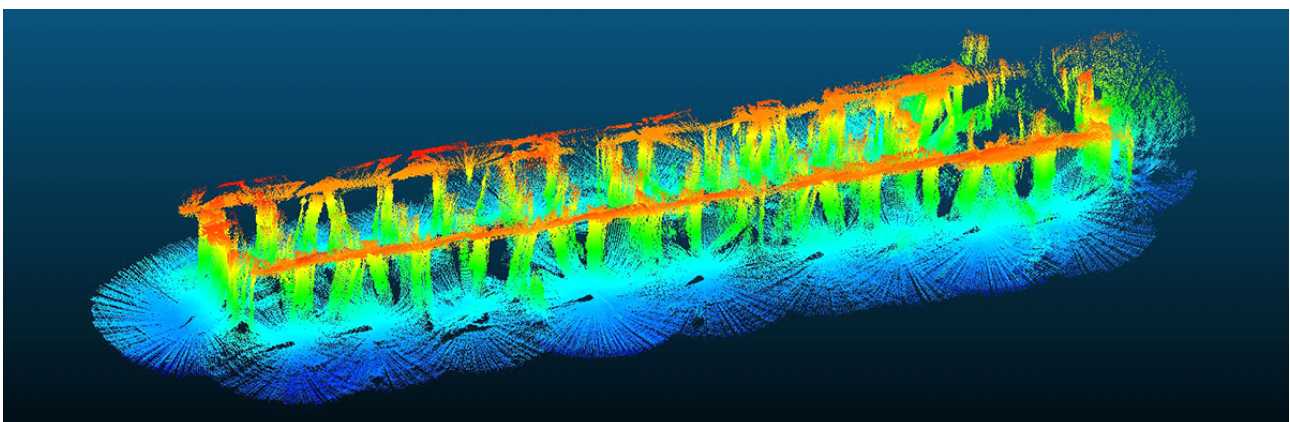


Fig. 14. Result of synthesis of 3D data

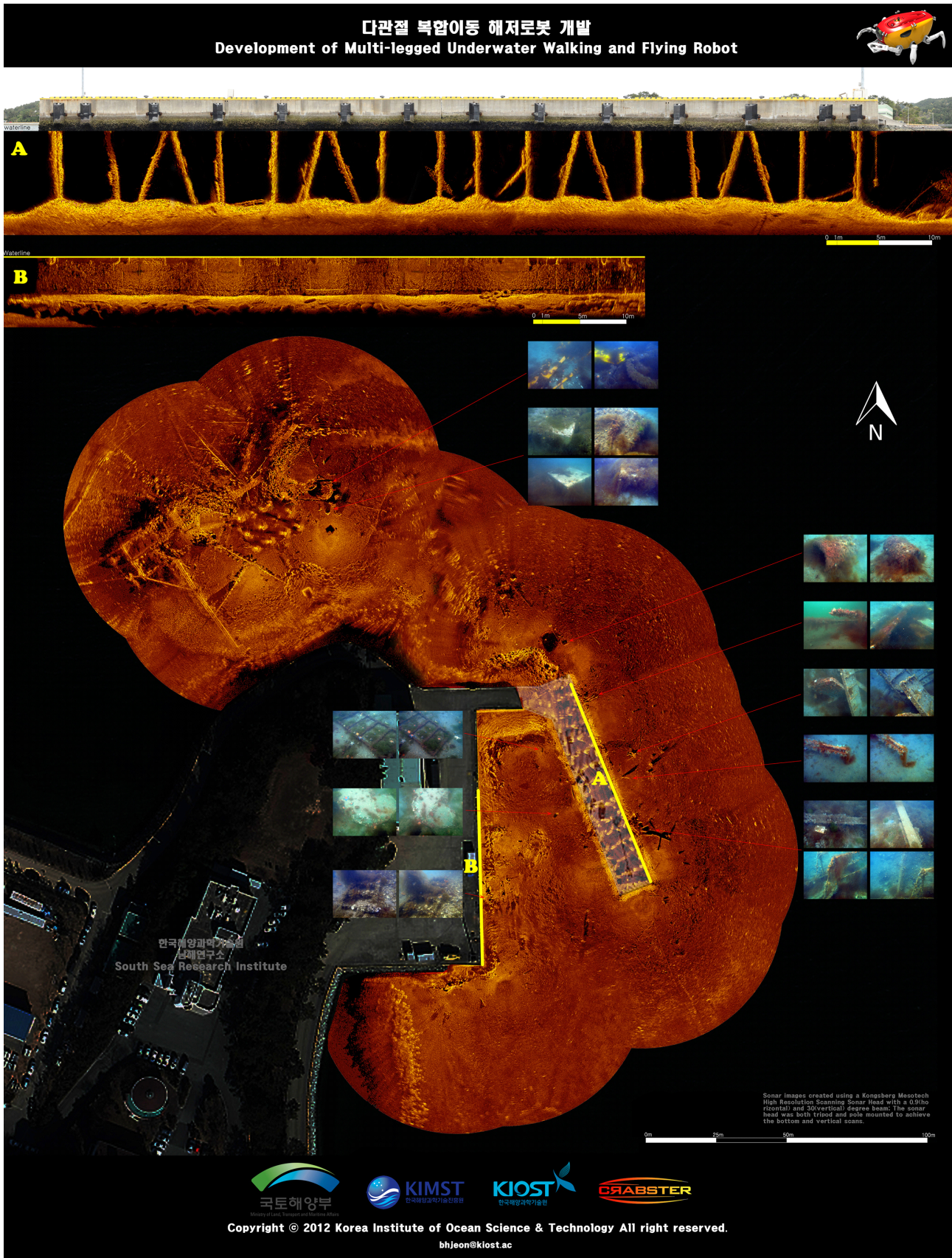


Fig. 15. Result of mosaic of 2D SONAR images

수중 파일에 붙어있는 희생양극을 스캐닝 소나로 촬영한 것이다. 우측 그림은 다이버가 촬영한 희생양극의 광학영상이다. 이를 이용하면 불량한 시계에서도 소나 영상에 나타난 대상물의 정밀한 크기측정이 가능해져 희생양극의 교체시기를 추정하는 등 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 마지막으로 Fig. 14에서는 4장에서 취득한 3차원 프로파일링 소나 데이터의 합성결과를 나타냈다. 총 2,673,107개의 데이터를 취득하였으며 수면 노이즈를 제거한 데이터 합성 결과물은 총 2,001,349개의 클라우드 포인트로 나타났다.

본 연구를 통해 스캐닝 소나 시스템을 이용한 2차원 3차원 데이터 취득과 합성기술은 해저 구조물의 위치, 크기, 부피 정보를 취득할 수 있을 뿐만 아니라 주기적인 조사를 통해 변형 여부를 점검하기에 유용하게 활용할 수 있음을 확인하였다.

후기

본 논문은 선박해양플랜트연구소 주요사업 “다관절 복합이동 해저로봇 개발”(PES2250)과 “극지 빙하 탐사와 원격 모니터링을 위한 수중로봇 ICT 원천기술 개발(1/5)”(PES3190)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] Miquel Massot-Campos, Gabriel Oliver-Codina, "Optical Sensors and Methods for Underwater 3D Reconstruction," Sensors, Switzerland, 2015.
 [2] Daniel G. S., Terry B., "Guidelines for Underwater Inspection and Imaging of Railroad Bridges", AREMA 2013, pp. 889~919, 2013.

[3] Tracy Vermeyen, "Scanning Sonar for Underwater Infrastructure Inspection", <https://eros.usgs.gov/doi-remote-sensing-activities/2015/scanning-sonar-underwater-infrastructure-inspection>, U.S. Department of Interior, 2015.
 [4] Tracy B. Vermeyen, Robert F. Einhellung, Bryan Heiner, "Scanning Sonar Survey Report Buffalo Bill Power Plant Tailrace", Hydraulic Laboratory Technical Memorandum PAP-1043, 2011
 [5] Dylan Einsidler, Manhar Dhanak, and Pierre-Philippe Beaujean, "A Deep Learning Approach to Target Recognition in Side-scan Sonar Imagery", 2018 International Conference on Intelligent Autonomous Systems, 2018.
 [6] F. Langner, C. Knauer, W. Jans and A. Ebert, "Side Scan Sonar Image Resolution and Automatic Object Detection, Classification and Identification", Oceans 2009 MTS/IEEE Bremen, 2009.
 [7] Bharath Kalyan, Arjuna Balasuriya, "Sonar Based Automatic Target Detection Scheme for Underwater environments using CFAR Techniques: A Comparative Study", 2004 International Symposium on Underwater Technology, Taipei, 2004.
 [8] Hyuk Baek, Bong-Huan Jun, Sung-Woo Park, Pan-Mook Lee, "Seabed Mapping Using MS-1000 Sensor Image", Journal of Ships & Ocean Engineering, vol. 51, pp. 65-72, 2012.
 [9] Hyuk Baek, Bong-Huan Jun, Bo-Ram Kim, Hyung-Won Shim, Pan-Mook Lee, "Preliminary Study on the Application of High Resolution Scanning Sonar of Multi-legged Seabed Robot", Journal of Ships & Ocean Engineering, Vol. 52, pp. 73-81, 2013.
 [10] Hyuk Baek, Bo-Ram Kim, Jin-Yeong Park, Bong-Huan Jun, Pan-Mook Lee, "3D Profiling SONAR Result of the Submerged Structure and Interworking Operation Strategy of CR200", Proc. of the Spring Conference of the Korea Ocean Engineering Society, Jeju, 2013.
 [11] Mark W. Atherton, "Echoes and Images - The Encyclopedia of Side-Scan and Scanning Sonar Operations", Published by OysterInk Publications, Vancouver, BC. Canada, 2011.