

측면주사소나 모델링 알고리즘을 활용한 운용조건 분석

김명경¹ · 이다운² · 배호석³ · 유용준⁴ · 정우근[†]

(Received January 3, 2018 ; Revised March 7, 2018 ; Accepted July 5, 2018)

Analysis of operating conditions using side scan sonar modeling algorithm

Myung-Kyung Kim¹ · Da-Woon Lee² · Ho-Seuk Bae³ · Yong-Jun You⁴ · Woo-Keen Chung[†]

요약: 측면주사소나는 수중환경에서 영상을 취득하기 위한 장비 중 하나로서 넓은 탐지영역을 가진 장비이다. 측면주사소나를 이용한 해저 장애물 및 표적에 대한 고해상도의 영상을 취득하기 위해서는 목적하는 수중환경에 적합한 최적의 운용조건으로 장비를 운용해야 한다. 측면주사소나를 이용한 영상 취득 과정에서 영향을 미치는 일반적인 운용조건은 운용심도, 음원의 종류, 음원의 주파수, 음원 길이, 음속, 항해속도 등이 존재한다. 본 논문에서는 측면주사소나 모델링 알고리즘을 활용하여 특정한 운용조건에 따른 영상을 취득하고자 하였으며, 특정한 운용조건으로는 운용심도, 송·수신기 부착 각도, 항해속도를 선정하여 영상을 취득 및 분석을 수행하였다. 해당 분석은 앞으로 측면주사소나 운용 시 최적의 운용조건을 도출하기 위한 보조수단으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주제어: 측면주사소나, 모델링, 운용조건

Abstract: Side scan sonar can acquire underwater images with a wide detection area. To acquire high-resolution images of obstacles and targets, the optimal operation conditions for side scan sonar in underwater environments should be analyzed. The general operation conditions, such as operating depth, sound source type, source frequency, sound source length, sonic velocity, noise environment, and operating speed, can affect the obtained image significantly. In this research, the operating depth, operating speed, and degree of the source and receiver attached in general operation conditions were studied. Underwater images were modeled according to the different operating conditions and analyzed. The results of this analysis can help determine optimal operating conditions in a specific area.

Keywords: Side scan sonar, Modeling, Operating conditions

1. 서론

수중환경에서 시각적인 영상을 획득하기 위해서 사용되는 장비는 빛을 이용한 영상장비와 음향을 이용한 소나장비로 나뉘어진다. 빛을 이용한 영상장비의 경우 탁도에 따라 취득되는 영상의 품질이 정해지며, 빛의 산란과 부속으로 인해 장거리 영상취득에 어려움이 있고[1], 해수면에 비치는 태양광이 하나의 잡음 역할을 하여 고해상도의 영상을 취득하기에 많은 어려움이 존재한다[2]. 이러한 문제로 인해 수중에서는 음향 특성을 이용한 장비가 주로 사용되며, 해저 통신, 목표물 탐지, 수중 측량 등에도 많이 사용되고 있다[3].

음향 특성을 이용한 대표적인 장비는 초음파카메라(Acoustic camera), 측면주사소나(Side Scan Sonar) 등이 존재

한다. 초음파 카메라의 경우 송·수신기의 빔 형성(Beamforming)을 이용하여 전방에 대한 넓은 탐지각도의 고해상도 영상취득에 유리하지만, 탐지거리가 비교적 짧은 단점이 존재한다. 측면주사소나의 경우 장비의 측면으로 음원을 송신하고 반사되어 되돌아오는 신호를 기록하여 영상화하는 장비이다. 측면주사소나는 넓은 영역의 해저면을 영상화하기에 효과적이며, 해저면에 위치한 특정한 목표물을 탐지하는데 매우 유용하다[4].

측면주사소나의 경우 목적하는 탐지환경에 따라 운용조건을 달리하여 장비를 가동하여야 한다. 측면주사소나의 경우 다양한 운용조건에 따라 탐지범위의 한계와 해상도가 결정되며, 운용조건으로는 운용심도, 송·수신기 부착각도, 음원의 종류, 음원의 주파수, 음원 길이, 주파수 폭, 항해속

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9101-3864>): Department of Energy & Resources Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: wkchung@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4681

1 FIRS-TEC CO.,LTD E-mail: kmk9541011@naver.com, Tel: 055-212-1649

2 Department of Ocean Energy & Resources Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: dwlee@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4916

3 The 6th(Naval Systems) R&D Institute-1, Agency for Defense Development, E-mail: belfre@add.re.kr, Tel: 055-540-6137

4 The 6th(Naval Systems) R&D Institute-3, Agency for Defense Development, E-mail: youyj@add.re.kr, Tel: 055-540-6426

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

도 등이 결정된다. 목적하는 탐지환경에 적합한 운용조건을 선정할 경우 환경에 최적화된 고해상도의 영상을 취득하게 된다. 따라서 측면주사소나 장비의 경우 고해상도의 이미지를 획득하기 위해서는 최적의 운용조건 설계가 요구된다. 측면주사소나 장비의 경우 개발 후 장비 성능 테스트까지 많은 시간이 필요하며 현장에서의 많은 장비 운용이 필요하다. 이와 같이 측면주사소나는 현장위주의 장비이기 때문에 모델링 기법을 통한 연구는 크게 요구되어지지 않아 국내에서는 모델링 기법 개발 연구가 활발히 진행되지 않고 있다. 측면주사소나 모델링 기법의 경우 다양한 운용조건에 따라 취득되는 영상을 분석할 수 있으며 이는 목적하는 탐지환경에서의 최적화된 운용조건을 도출하기 위해 필요하다[5]-[7].

본 논문에서는 개발된 측면주사소나 모델링 알고리즘 기반으로 운용조건에 따른 영상을 분석하고자 하였으며, 개발된 시뮬레이터는 지형정보, 표적정보, 음속, 항해속도, 음원정보 등과 같은 운용조건을 설정하는 부분, 설정된 운용조건에 따라 파선 추적법(ray tracing) 기반의 신호를 생성하는 부분, 마지막으로 생성된 신호를 이용하여 영상 변환 부분으로 구성되어있다. 개발된 측면주사소나 모델링 알고리즘을 통해 다양한 운용조건에 따라서 취득되는 신호 및 영상에 대한 분석이 가능하며, 실제 해상환경을 모사하여 최적화된 운용조건을 도출 할 수 있을 것으로 판단된다. 본 논문에서는 운용심도, 측면주사소나에 부착되는 송·수신기의 부착 각도, 항해속도에 따라 모델링을 수행하여 취득영상에 따른 영상을 분석하고자 하였다.

2. 측면주사소나 모델링 알고리즘

측면주사소나 모델링 알고리즘의 경우 탐지환경을 나타내는 지형정보와 측면주사소나의 성능 및 탐지 성능을 결

정하는 운용조건 부, 신호생성 부, 영상취득 부로 세분화하여 구성되어있다. 활용된 알고리즘의 작업 순서는 **Figure 1** 과 같다. 먼저, 운용조건 부는 기존의 생성된 3차원 해저지형의 기본환경 정보와 해저에 위치한 임의표적의 위치를 결정하며, 탐지환경 및 항해 설계로서 운용심도 및 항해속도, 부착각도, 수중환경 잡음을 설정하며, 음원 설계로서 음원의 주파수 길이, 주파수 폭, 음원 준위 등을 선정한다. 신호생성 부는 식 (1)과 같은 소나방정식을 기반으로 지형정보, 운용조건에 따라 신호를 생성한다[8].

$$SE = SL - 2TL + TS - (NL - DI) \tag{1}$$

여기서 SE(Signal Excess)는 신호초과 준위로서 최종 취득된 신호 정보를 의미하며, SL(Source Level)은 송신 준위, TL(Transmission Loss)은 전달손실 준위, TS(Target Strength)는 표적강도, NL(Noise Level)은 잡음준위, DI(Directivity Index)는 지향지수이다. 신호생성 시 측면주사소나가 장착된 장비의 회오동으로 발생하는 해수면의 초동반사 신호도 모의하고자 하였다. 영상취득 부는 신호생성부에서 생성된 신호를 영상으로 변환한다.

3. 운용조건 분석

본 논문에서는 특정 환경에서 측면주사소나 운용 시 최적의 설계변수를 도출하기 위해 **Figure 2**와 같은 해저 환경에서 영상을 취득하고자하였다. 임의 표적물의 경우 Y축 - 125m 지점에 X축 방향으로 위치한 지름 6m에 해저 파이프 라인으로 선정하였다. 지형에 대한 기본환경과 표적에 대한 좌표정보는 **Table 1**과 같다. 분석을 위해 초기 운용조건 환경은 **Table 2**와 같이 고정하였으며, 분석을 위한 개별적인 운용조건으로서 운용심도, 송·수신기 부착각도, 항해속도를 변화시키며 분석을 수행하였다.

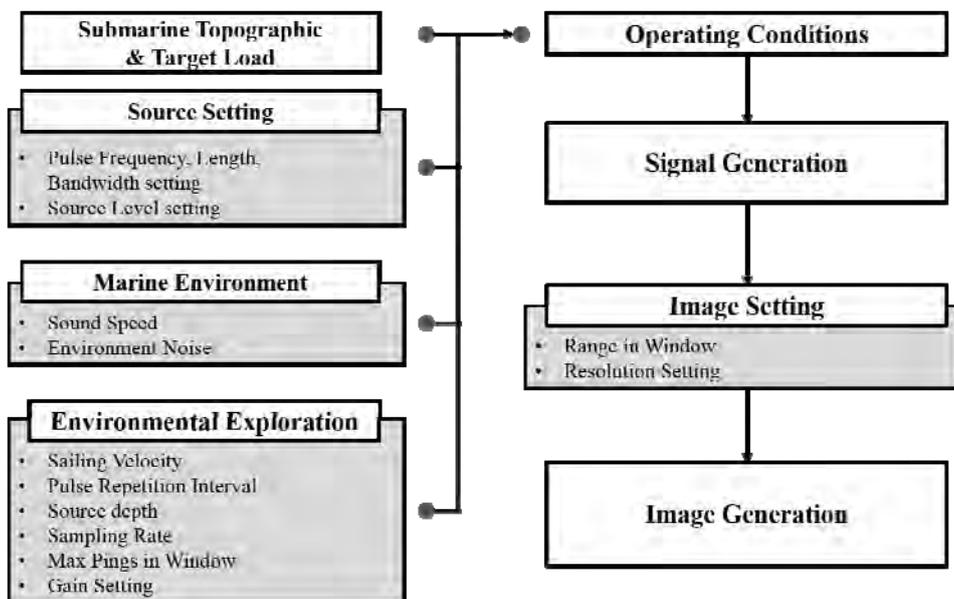


Figure 1: Work flow of side scan sonar modeling algorithm

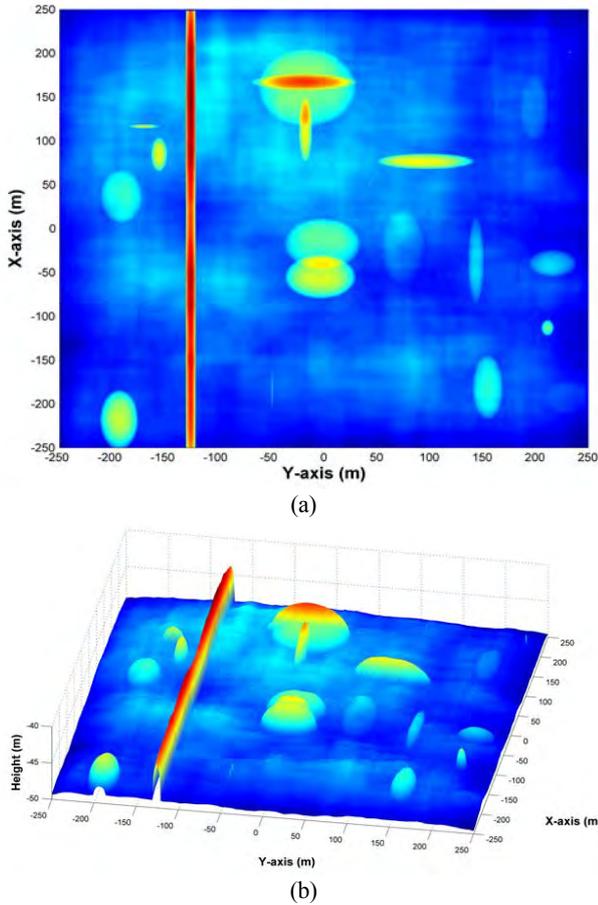


Figure 2: Information of submarine topography and target model (a) top-view, (b) 3D-view

Table 1: Geography Information

		X	Y	Z
Submarine Topography	Min	-250	-250	-49
	Max	250	250	-43
Target	Min	-250	-119	-45
	Max	~250	~-131	-42

Table 2: Initial Operating Conditions

Sound Speed (m/s)	1500	Sailing Velocity (knot)	6	Pulse Frequency (kHz)	300
Source Depth (m)	20	Environment Noise Level (dB)	-120	Pulse Length (us)	200
Vertical Beam Angle (°)	40	Sampling Rate (kHz)	1000	Pulse Bandwidth (kHz)	5
Horizontal Beam Angle (°)	0.4	Receiver & Source Setting Angle (°)	30	Source Level (dB)	210

3.1 운용심도

운용심도는 해저면에서 부터 측면주사소나까지의 높이를 의미한다. 측면주사소나를 이용하여 해저면 지형에 대한 정보를 얻고자 할 때 운용심도에 따라 취득되는 해저면 지형 정보가 송·수신기의 부착각도와 운용심도, 수직 빔 각도와의 관계에 따라 취득되는 영상의 범위가 달라지기 때문에 최적의 운용심도를 선정하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 수심 42~45m에 위치한 파이프라인과 해저면 지형을 탐지하고자 할 때 운용심도 값을 20m, 30m, 40m로 고정하여 수행하였다. Figure 3는 운용심도에 따른 모델링 결과이다. 모델링 결과 20m의 경우 근거리에서 위치한 해저면의 지형정보를 보다 자세히 분석이 용이한 것을 확인 할 수 있지만 파이프라인의 경우 탐지각도에서 벗어나 영상을 얻지 못하는 것을 확인 할 수 있다. 30m의 경우 파이프라인을 포함한 해저면의 지형정보가 취득되는 것을 확인할 수 있으며, 파이프라인에서 강하게 영상이 취득됨을 확인할 수 있다. 40m의 경우 근거리에서 위치한 해저면에 대한 정보를 확인하기에 많은 어려움이 있으며 원거리에 위치한 해저면 지형정보와 파이프라인 영상 취득에 유리함을 확인할 수 있다. 해저면의 양상은 취득되는 신호의 세기 차이와 음면으로 분별된다. 운용심도가 낮을 경우 해저면의 양상에 따라 생기는 신호 세기의 차이로 근거리에서 위치한 해저면 파악에 유리하지만 취득되는 탐사거리가 짧아져 넓은 영역의 해저면을 파악하기에 많은 어려움이 있다. 운용심도가 높을 경우 음면으로 인해 원거리에 위치한 해저면 파악에 유리하지만 근거리에서 위치한 해저면을 분별하기에는 많은 어려움이 있는 것으로 판단된다.

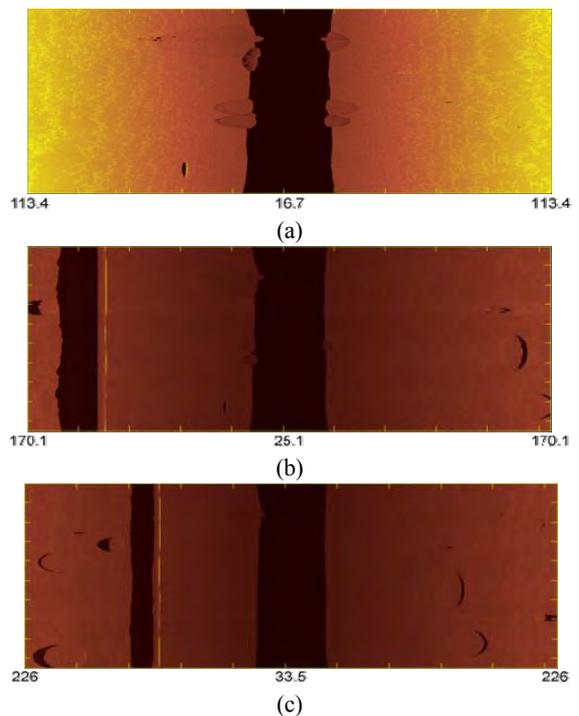


Figure 3: Acquisition image according to operating depth (a) 20m, (b) 30m and (c) 40m

3.2 송·수신기 부착각도

측면주사소나의 경우 장비의 양측 측면에 송·수신기가 일정 각도로 부착되어 있다. 송·수신기 장비의 부착각도는 장비의 설계에 있어서 가장 중요한 요소 중 하나이며, 부착각도에 따라 취득되는 영상의 범위가 다르게 나타내어진다. **Figure 4**는 송·수신기 부착각도에 따른 모델링 결과이다. 부착된 각도의 경우 5°, 10°, 20°, 30°, 40°로 수행하였다. 모델링 결과 5°, 10°에서는 측면주사소나가 장착된 장비의 횡요동으로 인해 해수면 초동반사 신호가 기록되는 것을 확인 할 수 있으며, 근거리에 위치한 해저면의 지형정보를 취득하기에 어려움이 있다. 하지만 원거리에 위치한 해저면 지형과 파이프라인에 은면으로 인해 판별이 유리해지는 것을 확인 할 수 있다. 20°의 경우 해수면 반사파가 기록되지 않아 해저면 판별에 방해를 주지 않으며, 원거리와 근거리에 위치한 지형에 대한 영상을 취득하여 해저면에 전체적인 영상을 취득하기에 적합한 각도임을 알 수 있다. 30°, 40°에서는 장비의 음원이 해저면을 향하여 원거리에 위치한 지형 영상을 획득하기에 어려움이 있음을 확인 할 수 있다. 송·수신기의 부착각도에 따른 전체적인 결과를 보면, 부착각도가 낮을 경우 측면주사소나가 장착된 장비의 횡요동으로 인해 해수면 초동반사 신호가 기록되는 것을 확인 할 수 있으며, 운용심도가 20m임에 불구하고 근거리 해저면의 영상이 취득되지 않는 것을 확인 할 수 있다. 부착각도가 높을 경우 근거리에 위치한 해저면에 대한 고해상도의 영상을 취득 할 수 있지만 원거리에 위치한 영상 취득에는 어려움이 있을 것으로 판단된다.

3.3 항해속도

측면주사소나의 경우 일반적으로 탐사선과 같은 인양선에 인양되어 탐사가 진행되기 때문에 인양선의 항해속도에 따라 취득되는 영상의 해상도가 달라진다. 일반적인 탐사선의 항해속도는 3~6knot를 유지하기 때문에 안정적인 신호의 취득이 가능하다. 항해속도에 따라 취득되는 영상의 경우 항해속도와 펄스반복주기(Pulse Repetition interval)에 따라서 신호가 송·수신되는 위치가 결정된다. 항해속도가 느려질 경우 지형에 관한 세부적인 탐사를 통해 해상도가 높은 이미지를 얻을 수 있지만, 많은 시간과 탐사 비용이 요구된다. 항해속도가 6knot 이상으로 증가할 경우 탐사범위가 좁아지기 때문에 일반적으로 멀티빔을 사용해서 탐사범위를 넓힌다. 본 연구에서는 항해속도 증가함에 따라 멀티빔 운용을 고려하지 않고 싱글빔 운용상황에서 분석하고자 하였다. 싱글빔 운용상황에서 항해속도가 증가할 경우 세부적인 탐사가 불가능하지만 짧은 시간에 대략적인 지형정보를 취득할 수 있다. 하지만 실제 탐사의 경우 항해속도가 증가할수록 인양선에서 발생하는 잡음이 증가하여 취득된 영상 분석 시 많은 어려움이 발생한다. 항해속도에 따른 분석을 수행하기 위해 운용심도 20m, 송·수신기 부착각도 20°에서 항해속도를 3knot, 6knot, 12knot, 24knot 고정하여

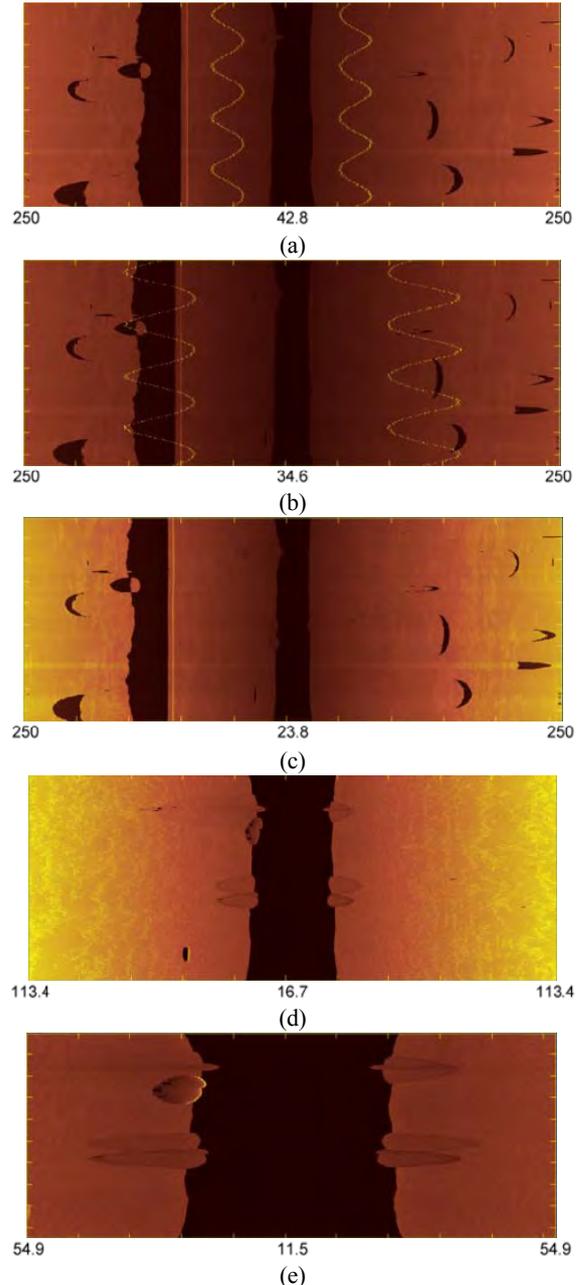


Figure 4: Acquisition image according to operating receiver&source setting angle (a) 5°, (b) 10°, (c) 20°, (d) 30°, (e) 40°

수행하였으며, 증가한 속도에 따른 잡음을 고려하지 않았다. **Figure 5**는 항해속도에 따른 모델링 결과이다. 모델링 수행 결과 항해속도가 낮아질 경우 많은 횡수에 음원을 사용하여 장애물과 지형에 대한 영상을 세부적으로 취득이 가능하다. 항해속도가 높아질 경우 취득되는 영상에 해상도가 낮아져 해저지형에 대한 분석이 어려워짐을 확인할 수 있다.

Figure 6은 항해 속도에 따라 취득된 영상이 일부를 확대한 것이다. 확대된 영상의 경우 항해속도가 높아질수록 해상도가 낮아짐을 확인할 수 있으며 지형에 대한 분석을 수

행하기에는 많은 어려움이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 항해속도에 따른 모델링을 통해서 항해속도가 높아질수록 파이프라인과 같은 장애물의 분석은 큰 문제 없이 수행되며, 해저지형에 대한 취득 영상의 경우 은면의 해상도가 낮아져 지형의 여부를 분석하기 많은 어려움이 있는 것으로 판단할 수 있었다. 이것은 측면주사소나를 이용한 탐사 수행 시 목표하고자 하는 대상의 크기에 따라 항해속도와 펄스반복주기에 따른 송신되는 음원의 위치 간격을 고려해야 함을 알 수 있다.

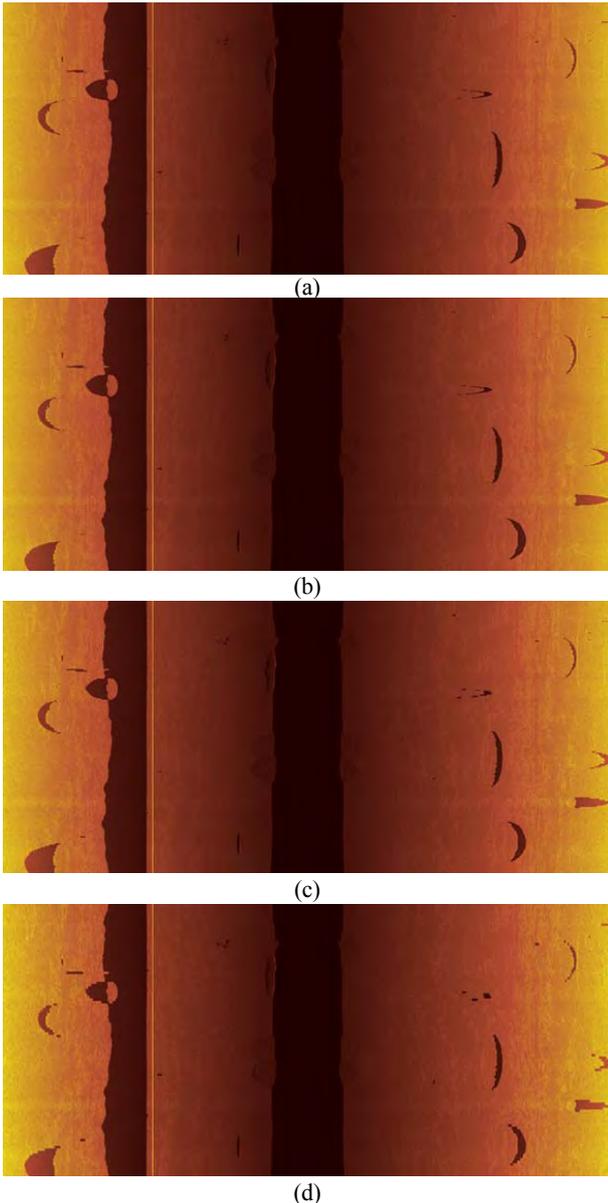


Figure 5: Acquisition image according to operating sailing velocity (a) 3knot (b) 6knot, (c) 12knot, (d) 24knot

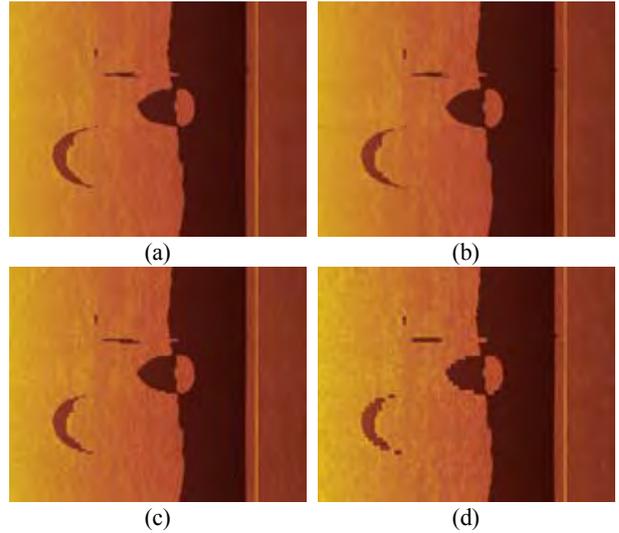


Figure 6: Acquisition image zoomed in according to operating sailing velocity (a) 3knot (b) 6knot, (c) 12knot, (d) 24knot

4. 결 론

본 논문에서는 측면주사소나의 다양한 환경과 운용조건을 고려할 수 있는 모델링 알고리즘을 이용하여 특정한 탐사환경에서 운용심도, 송·수신기 부착각도, 항해속도가 취득영상에 미치는 영향을 분석하였다. 해당 알고리즘은 운용조건 부, 신호생성 부, 영상취득 부로 나누어 구성되었으며, 목적하는 탐사환경에 따라 적합한 운용조건을 입력하여 영상을 취득하도록 하였다. 운용심도에 따른 분석결과 운용심도가 높을수록 해저면 지형의 판별에 유리하나 해저면에 위치한 장애물과 표적의 판별에 어려움이 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 낮은 고도에서는 은면 확장으로 인해 해저면 지형 판별에 어려움이 존재하였다. 송·수신기 부착각도에 따른 분석결과 각도가 낮을 경우 원거리에 있는 해저면 지형정보를 취득하기에 유리한 점이 있지만, 측면소나장비의 횡요동으로 인해 해수면 초동반사 신호가 기록되는 것을 확인할 수 있었으며, 각도가 높을 경우 근거리에서 위치한 해저면에 대한 고해상도의 영상을 취득할 수 있지만 다양한 지형정보를 취득하기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다. 항해속도에 따른 분석 결과 항해속도가 높아질수록 해상도가 낮아지는 것을 확인하였으며, 일반적인 탐사 선박 항해속도인 3~6knot에서는 영상에 크게 영향을 미치지 않은 것을 확인하였다. 하지만 항해속도가 높아짐에 따라 해저 장애물과 지형에서 나타나는 은면의 해상도가 낮아져 영상을 이용한 판단에 많은 어려움이 생길 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 측면주사소나 시험 전 사전 예측 영상을 얻기 위해 고려해야 하는 운용조건을 개발된 모델링 알고리즘을 통해 영상을 취득하여 분석하였다. 해당 모델링 알고리즘을 이용하여 운용심도, 송·수신기 부착각도, 항해속도에 따른 분석을 수행하였으며, 추후 다양한 표적 및 복합적인 운용조건에 따른 분석이 필요하다고 판단된다. 마지막으로 추후 측면주사소나 장비 개발 전 해당 프로그램을 이용하여 목적하는 환경에서의 최적의 장비설계를 할 수 있을 것으로 예상된다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다(계약번호 UC150005DD).

References

- [1] D. H. Gwon, T. Y. Kim, M. H. Kim, H. G. Park, T. Y. Kim, and A. Kim, "Development of a side scan sonar module for the under water simulator," International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, pp. 662-665, 2017.
- [2] Y. Lee, J. Lee, and H. T. Choi, "A framework of recognition and tracking for underwater objects based on sonar images : Part 1. Design and recognition of artificial landmark considering characteristics of sonar images," Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 51, no. 2, pp. 422-429, 2014 (in Korean).
- [3] S. L. Maxwell and N. E. Gove, "The Feasibility of estimating migrating salmon passage rates in turbid rivers using a dual frequency identification sonar," Regional Information Report 1 No. 2A04-05, Alaska Department of Fish and Game Division of Commercial Fisheries, U. S, 2004.
- [4] S. R. Kim, Y. K. Lee, and B. H. Jung, "Practical theory and ocean survey application of side scan sonar," Proceedings of the KOSME 2006 First Conference, pp. 201-204, 2006 (in Korean).
- [5] W. S. Jang, K. H. Yoon, and Y. I. Kim, "A study on the image expression of side scan sonar," Proceedings of the KOSME 2005 Second Conference, pp. 153-154, 2005 (in Korean).
- [6] S. R. Shin, M. H. Lim, and K. E. Kim, "Digital image processing of side scan sonar for underwater man-made structure," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 33, no. 2, pp. 344-354, 2009 (in Korean).
- [7] S. Reed, I. T. Ruiz, C. Capus, and Y. Petillot, "The fusion of large scale classified side-scan sonar image mo-
saics," IEEE Transactions on Image processing, vol. 15, no. 7, pp. 2049-2060, 2006.
- [8] W. C. Knight, R. G. Pridham, and S. M. Kay, "Digital signal processing for sonar," Proceedings of the IEEE, vol. 69, no. 11, pp. 1451-1506, 1981.