

디지털 영상처리기법을 이용한 멀티빔 음향측심기의 음압자료 향상 연구

A Study of Improve on a Backscatter Data of Multibeam Echo-sounder Using Digital Image Processing

최혜원¹, 김두표^{2*}

Hye-Won Choi¹, Doo-Pyo Kim^{2*}

〈Abstract〉

Accurate measurement of seafloor topography plays a crucial role in developing marine industries such as maritime safety, resource exploration, environmental protection, and coastal management. The seafloor topography is constructed using side scan sonar (SSS) and single beam echosounder (SBES) or multibeam echosounder (MBES), which transmit and receive ultrasound waves through a device attached to a marine survey vessel. However, the use of a sonar system is affected by noise pollution areas, and the single beam has a limited scope of application. At the same time, the multibeam is mainly applicable for depth observation. For these reasons, it is difficult to determine the boundaries and areas of seafloor topography. Therefore, this study proposes a method to improve the backscatter data of multibeam echosounder, which has a relationship with the seafloor quality, by using digital image processing to classify the shape of the underwater surface.

Keywords : Backscatter Data, Seafloor Topography, Multibeam Echosounder

1 정회원, 동의과학대학교 공간정보지적과 조교수
E-mail: chw@dit.ac.kr

2* 정회원, 교신저자, 부산과학기술대학교 드론공간정보과
연구원 E-mail: ksosdgk@hanmail.net

1 Department of Geographic Information & Cadastre, Dong-eui
Institute of Technology, Korea

2* Corresponding Author, Department of Geoinformation, Busan
Institute of Science and Technology, Korea

1. 서론

해양운송, 해양 구조물의 건설 시공과 유지관리에 기반이 되고, 저서생물 등과 같은 해양 생물의 서식지 관리에 중요한 역할을 하는 해양지리정보는 해양환경의 다양한 변화와 해양현상을 파악하고 해저지형의 정확한 모델링 구축함으로써 해양 산업 발전에 기여하고 있다. 뿐만아니라 암초 등의 다양한 해저지형으로 인하여 발생하는 빈번한 해상사고를 미연에 방지하고자 해양지리정보를 활용하고 있다. 이러한 해양지리정보에 기초가 되는 해저지형정보는 시간적, 공간적으로 복잡하게 변동하기 때문에 이를 정확히 파악하고 최적의 자료를 획득해야 하는 중요성이 강조되고 있다. 일반적으로 해저 지형정보는 수심과 해저면의 지형정보로 구성되며, 직접적인 시료채취 방법이 아닌 해양관측용 탐사선에 음파를 송수신할 수 있는 장치를 부착하여 직접 해저면을 관측하는 사이드스캔소나(side scan sonar, SSS)와 싱글빔 음향측심기(single beam echosounder, SBES)에 의한 탐사방법을 도입[1] 하였으며, 이에 따른 다양한 연구가 진행되고 있다.

사이드스캔소나는 해저면에 근접하여 자세한 해저정보를 획득할 수 있으나, 소나장비를 일정한 방향과 수심으로 유도하는 수중예인체(towfish)를 별도로 부착하므로 예인체로 인한 폐색지역이 발생하는 단점이 있다. 그리고 싱글빔 음향측심기는 빔의 좁은 폭과 경사각으로 인하여 한 번에 관측할 수 있는 면적이 제한되어 활용성이 낮은 큰 단점이 있다. 1990년대 이후 이러한 싱글빔 음향측심기의 단점을 개선하고자 여러 개의 빔을 하나의 음향측심장치에 부착하여 넓은 면적을 관측할 수 있는 멀티빔 음향측심기(mutibeam echosounder, MBES)가 개발되어 실용화되고 있다. 하지만 멀티빔 음향측심기는 주로 수심 관측, 해저면의 형상

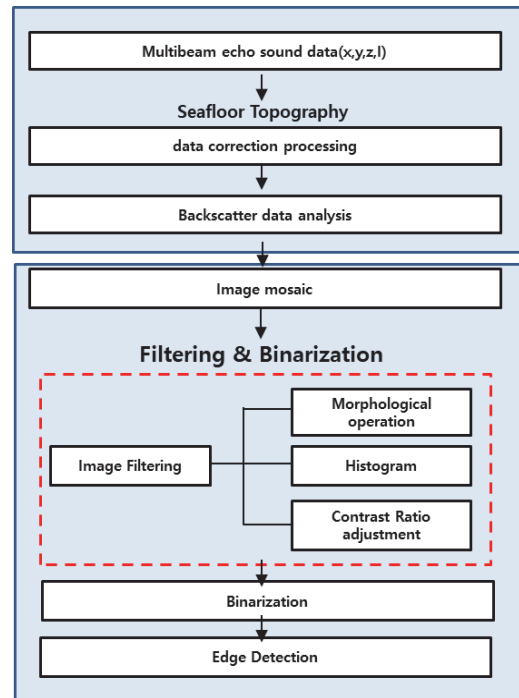


Fig. 1 Study workflow

정보 추출, 그리고 해저표층 분류 등의 목적으로만 활용되어 왔다. 이에 본 연구는 멀티빔 음향측심기의 후방산란 음압자료를 이용하여 생성된 영상을 디지털 영상처리 기법을 바탕으로 보정하여 해저면 형상의 분류 정밀도를 높이고자 하였다. 전체적인 흐름은 Fig. 1과 같다.

2. 멀티빔 음향측심기의 후방산란 음압자료 특성

멀티빔 음향측심기는 해저 수심을 측정하는 기능 이 외에 사이드스캔소나와 같이 음향 이미지 기법의 원리를 이용하여 되돌아오는 음파의 음압을 측정하여 해저면을 표현하는 기능이 있다. 후방산란 음압자료는 한 번의 송수신으로 획득된 음

파 자료 중에서 해저면에서 반사된 음파의 강도를 빔 별로 처리하여 수신 각 및 지형 자료와 동시 기록되는 관측 값이다. 음압은 해저면의 지형 복잡도 및 표층 퇴적 특성을 반영하고 있으며, 수신 및 입사각 보정을 통해 송수파기와 해저면 사이의 입사각 특성을 보정한다면, 표층 퇴적의 물리적 특성과 상관성이 높은 관측치로 활용될 수 있다[2].

음압자료는 식 (1)과 같이 소나방정식으로 간략하게 구할 수 있다.

$$SE = SL - 2TL + BS - NL + TA \quad (1)$$

여기서, SE(signal excessive)는 수신음파의 강도를 나타내고, SL(signal level)은 발사 음파의 강도를 나타내며, TL(transmission loss)은 물과 음파의 마찰에 의해 음파가 왕복 주사 동안 감소되는 양을 나타낸다. 그리고 BS(backscattered signal)는 해저면에서 산란되어 되돌아오는 음파의 강도를, NL(noise level)은 환경잡음의 크기를 나타내고, TA(transmission area)는 음파가 전달되는 해저면의 면적을 의미한다. 음파의 세기는 SE와 SL의 비의 로그함수로 표현되며, 단위는 db이다. 소나 방정식에서 가장 많은 에너지 손실을 가져오는 요소는 TL로 거리가 멀어지면 멀어질수록 왕복 주사되는 동안 손실되는 에너지의 양은 기하급수적으로 증가한다.

멀티빔 음향측심기로부터 부수적으로 들어오는 음압자료는 해저질과 매우 깊은 연관성을 가지고 있기 때문에 반사 음향의 강도인 음압 분석을 통해 해저질 분류가 가능하다.

해저면은 모래, 점토, 암반 등 다양한 물질로 구성되어 있으며, 이러한 구성 물질의 강도(hardness)와 거칠기(roughness)는 음압자료에 어느 정도 반영되는 것으로 보인다. 따라서 음압자료의 분석으로 해저면의 강도와 거칠기를 파악하면 이로부터 해저면의 구성 물질을 추정할 수 있을 것으로 기

대된다[3].

멀티빔 후방산란 음압자료를 이용하여 해저면 분류를 수행함에는 두 가지 물리적인 어려움이 있다. 하나는 송수신기 직하방에서 수신되는 신호의 직하부 반사(normal reflection)에 따른 음압 강화 현상에 의한 오류로 이는 조사선의 진행 방향으로 선형으로 나타난다. 또 다른 하나는 입사각에 따른 음압 약화 현상으로 하드웨어마다 이를 내부적으로 처리하여 파일 레코딩 하기 때문에 원자료에 담겨 있는 정보를 이용할 수 없다는 점이다. 입사각에 따른 입사각 별, 즉 개별 빔에 해당하는 복수개의 음압 정보를 추출하기 위하여 시스템의 기록 파일 프로토콜을 분석하여야 한다. 멀티빔 음향 탐사시스템은 탐사 수신 및 입사각에 따라 빔의 탐지 면적(foot print area)이 변화하며, 빔 탐지 면적에서 수신된 음압의 샘플링 개수도 증감한다. 또한 후방산란 음압의 인접 공간간의 특성 분석을 위하여, 음압을 256개조의 bitmap화소로 변환하여야 한다. 이는 복수개의 후방산란 음압을 육안으로 분석하기 위하여서도 영상전환 과정이 필요하다. 이때 직하방 지역, 즉 빔 탐지면적이 좁아 음압 샘플 개수가 작은 지역에서는 전환 영상 내에서 음압이 할당되지 않는 영역이 발생한다. 이러한 현상은 영상전환에서 오는 오류이며, 각 화소값의 공간 좌표계로 변환하여 작성되는 모자이크 영상에서도 직하방 오류로 나타나게 된다[4].

이러한 멀티빔 음향 측심기의 음압자료는 직하방 beam, 즉 입사각이 작으면 후방산란의 강도는 전반적으로 커지게 되며, 입사각이 크면 음압 강도가 작아진다. 이러한 beam의 입사각 특성을 보정한다면 음압자료를 이용한 해저면 매질 분류 작업의 정확도를 높일 수 있다.

본 연구는 멀티빔 음향측심기 beam의 입사각에 따라 후방산란 강도가 달라지는 특성으로 발생하는 노이즈를 보정하여 후방산란 영상을 개선하

였다. 일반적으로 후방산란 강도의 특성은 항적라인의 직하방 픽셀 값이 높은 값으로 생성된다. 이를 개선하기 위하여 항적라인의 직하방 픽셀 값을 상용프로그램 CARIS HIPS & SIPS를 사용하여 삭제하였다. 그 결과 beam 특성으로 인하여 발생한 노이즈를 제거할 수 있었다.

3. 멀티빔 음향측심기의 음압자료의 영상화

멀티빔 음향측심기의 음압자료를 활용하기 앞서 선행 작업은 취득된 측심자료를 이용하여 3차원 해저지형자료를 제작하는 것이다. 음압자료 영상

의 기초가 되는 해저지형자료의 높은 정확도로 취득하기 위하여 현장상황에 맞게 각종 센서 및 자료보정이 필수적으로 수행되어야 한다. 이를 통해 얻어지는 3차원 해저지형자료는 음압자료를 투영하여 영상화 작업을 진행하는 기반 자료로 이용되며, 음향측심자료와 동일하게 벡터 형태로 자료를 취득하여 모자이크 후 도면화 하는 작업으로 연결된다. 자료의 보정으로는 조석관측 자료를 이용한 조석보정, 수층음속자료를 이용한 음속보정, 위치보정 등의 환경보정 작업과 오측자료를 제거하기 위한 필터링과 에디팅 등의 작업이 있으며, Fig. 2는 해저지형자료로 제작하는 과정 중 취득된 자료의 보정과정을 나타내었다. 본 연구에 이용되는 3차원 해저지형도 및 음압영상 모자이크의 경우 일반적인 상용프로그램과 호환을 고려하여 Geo-Tiff 형식으로 제작하였다.

멀티빔 음압값은 해저면의 특성에 따라 다른 값을 가지며, 수심측정 시 생성되는 오측자료의 영향으로 일부 공간상에서 불규칙하게 분포되는 음압 결과를 제공한다. 이러한 불규칙한 수평 격자 상의 음압값은 다양한 변수조정을 통해 균등하게 영상에 할당된다. 또한 모자이크 영상 제작 시 해저면 경계 추출의 정확도 및 공간해상력에 따라 단위격자의 크기와 격자의 대푯값 선정이 매우 중요하므로 본 연구에서는 음압자료의 모자이크 영상 제작 시 단위격자의 크기를 고정밀의 경계추출을 위해 Fig. 3과 같이 0.1m, Fig. 4와 같이 해양조사 및

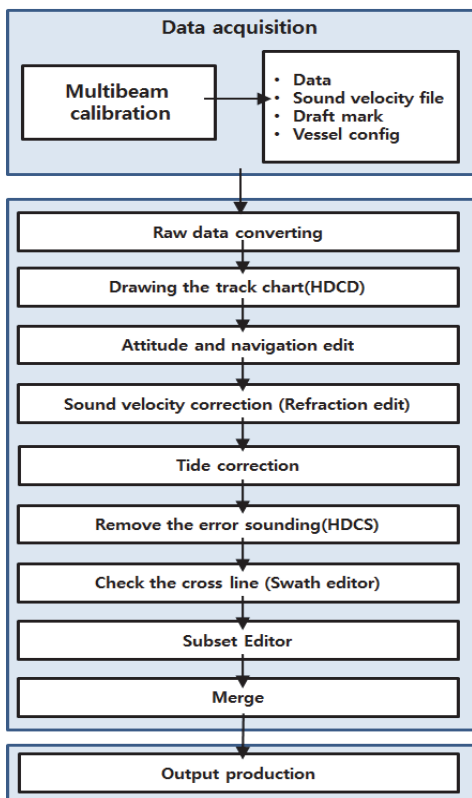


Fig. 2 Work flow for data correction processing

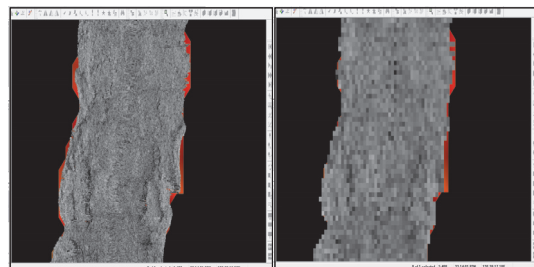


Fig. 3 0.1mPixel

Fig. 4 1m Pixel

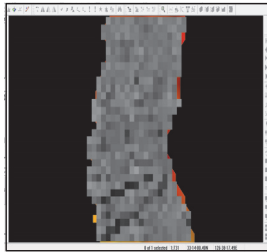


Fig. 5 5m Pixel

수로조사에서 이용하는 영상정확도 1m, Fig. 5와 같이 5m 크기로 제작하였다. 0.1m 급의 경우 단위격자 크기가 조밀한 관계로 데이터의 용량이 증가하여 일부 오류가 발생하였다. 그 뿐만 아니라 측심밀도 변화에 따라 대푯값들이 왜곡되어 중간 음압값이 손실되는 현상이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 격자의 크기가 큰 경우(5m) 분류 시 공간해상도가 확연하게 낮아지므로 정밀 영상은 취득할 수 없음을 알 수 있었다.

음압 모자이크 영상화 작업은 멀티빔 전용 처리 프로그램인 Caris Hips & Sips를 이용하여 제작하였으며, 국내에서 사용되고 있는 Simrad 사의 EM3002 멀티빔 음향측심기를 대상으로 연구를 수행하였다.

취득된 자료는 제주특별자치도 지귀도 인근 해역으로 암반과 비암반의 구성이 적절하게 구성되어 있어 분류가 용이할 것으로 판단되어 선정하였으며, 1m급의 단위격자로 제작하여 8bit의 그레이 스케일로 영상화하였다. Fig. 6은 취득자료를 가공

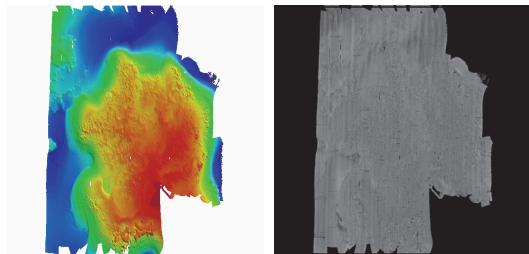


Fig. 6 Seafloor topography Fig. 7 Image mosaic

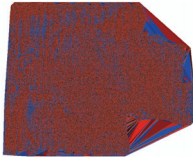
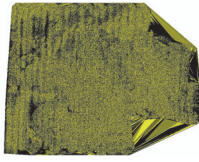
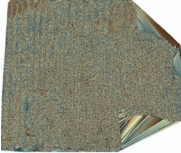
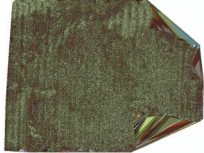
하여 최종 결과를 통해 얻어진 3차원 해저지형도이며, Fig. 7은 이를 바탕으로 영상화작업을 거쳐 제작된 음압 모자이크 영상이다.

4. 음압자료 디지털 영상의 처리

음압자료는 해저면에 반사되는 강도에 의해 값이 결정되며 이러한 특성을 파악하고 음압값을 명확하게 규정하여, 해저면의 재질 별 경계를 분류할 수 있도록 기반을 마련하고자 하였다. 모자이크 영상은 구성하고 있는 단위 픽셀 당 X, Y값들을 내포하고 있으며, 각 좌표에 부여되는 음압 강도값을 그레이 스케일로 설정하여 픽셀 당 X, Y, I(intensity)의 정보를 포함시켜 제작하였다. 제작된 영상을 통한 해저면 분류를 위하여 다양한 임계값에 대한 변화를 분석하였다.

그 결과 Table 1과 같이 데이터 취득 시 해양 환경 및 장비의 운용 방법 등에 의해 발생하는 영상 자체 노이즈로 특정 임계값을 통해 해저질에 대한 명확한 분류가 어려웠으며, 시각적 모델링 사용으로도 한계가 있음을 확인하였다. 따라서 다

Table 1. Results of image classification according to intensity of backscatter data

1-60 / 61-128	1-70 / 71-128
	
Std Dev.	Geometrical interval
	

양한 디지털 영상처리 기법을 활용하여 후처리 작업을 수행이 필요함을 알 수 있었다.

음압자료의 개선을 위해 다양한 디지털 영상처리 기법을 활용하였으며, 객체의 특징을 추출하고 분리하는데 가장 많이 사용하는 영상처리 방법인 모폴로지 기법을 먼저 수행하였다. 잡음 성분이나 작은 돌기와 같은 단일 화소 물체들을 제거하는 개방 연산을 사용하여 영상의 불필요한 잡음을 제거하였으며, 팽창 연산으로 원래의 크기로 복구시켜주므로 음압 영상의 모양과 크기를 유지하고 잡음만 제거할 수 있었다. Fig. 8은 모폴로지 개방연산을 이용하여 처리한 음압영상이다.

히스토그램은 각 pixel이 가지고 있는 밝기 값과 이에 대한 pixel의 수로 영상의 밝기 구성, 명암의 대비 분포 등의 정보를 포함하고 있는 그래프이다[5]. 모폴로지 기법으로 노이즈가 제거된 음압영상의 히스토그램을 확인한 결과 팽창연산에 영향을 받아 특정 영역에 집중되어 밝기값이 Fig. 9과 같이 치우쳐져서 편협하게 나타났다. 한곳에 편

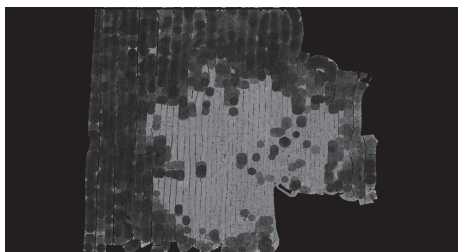


Fig. 8 Morphological opening processed image

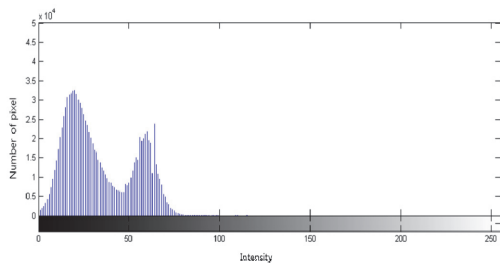


Fig. 9 Histogram of morphology image

협하게 치우쳐있는 밝기값을 균일하게 분포시켜주기 위하여 히스토그램 평활화를 사용하였다. 히스토그램 평활화는 특정정보를 추출하기 위한 영상의 향상 기능으로 더하거나 빼 없이 단순히 밝기값을 펼치는 것으로 영상의 고유 값들은 변하지 않고 대조비를 개선한다[6].

위의 결과는 밝기값이 0에서 128까지 한쪽으로만 치우쳐져서 분포되어 있으며, 모폴로지 개방연산으로 최대값이 두 개로 나타난다. 따라서 치우쳐져 있는 밝기값의 간격을 일정하게 넓혀 Fig. 10과 같이 히스토그램 평활화를 수행하였다. 그 결과 모폴로지 기법으로 어두워진 영상을 0에서 256의 밝기값으로 분포되어 대조비를 월등히 개선할 수 있었다.

음압영상은 원래 0~256의 픽셀 밝기값을 가지고 있는 그레이 스케일 영상이나 해지면 분류를 원활하게 하기 위하여 0과 256의 흑백 두 가지 픽셀 값으로 이진화 시키는 작업이 필수적이다. 일반적으로 이진화 시 특정 임계값 기준으로 임계값 보다 작은 밝기 값을 갖는 pixel을 0(흑), 임계값 보다 큰 밝기 값을 갖는 pixel을 255(백)으로 나누면 공간적 경계를 가져오므로 특정 물체를 분리하는데 전처리 과정으로 많이 사용되는 매우 중요한 처리의 하나이다[7].

멀티빔 음향측심기의 음압 특성으로 인하여 음압값이 차이가 있으나 다양한 지역적 환경과 장비의 특징이 일정하지 않으므로 특정 밝기 값을 해

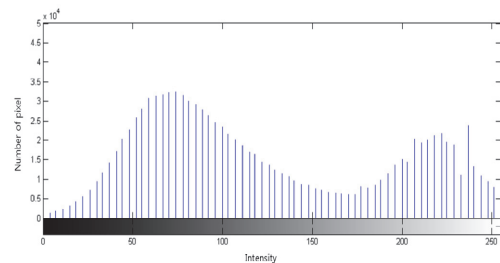


Fig. 10 Histogram of equalization image



Fig. 11 Binary image

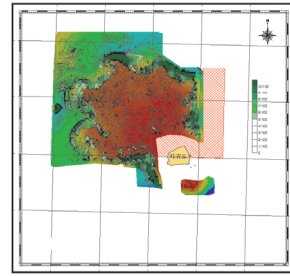


Fig. 12 Gradient map

저면의 경계라고 지정하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 히스토그램을 확인하여 경험에 의해 60을 임계값으로 설정하고 이진화 하였다. Fig. 11은 연구대상지의 음압자료에 특정 임계값을 지정하여 이진화한 영상이다.

5. 결과

해저지형은 직접측량이 어려우므로 정확도의 신뢰도 검증에 한계가 있다. 그러나 해저지형 경계의 신뢰도를 정성적으로 판단하는 것은 가능하다. 본 연구에서 해저지형 분류의 정확성을 알아보기 위하여 지귀도 부근의 해저지형자료를 이용하여 비교하였다. 평탄한 지역에서 급격하게 경사가 변

화한다면 해저지형이 변화한다고 가정을 하였으며, 경사도가 높은 지역의 경계를 디지털이징 하여 분류된 영상과 비교하였다.

해저지형의 경사도는 5%이상인 곳을 경계를 디지털이징 하였으며, 우측 하단은 데이터 부재로 인하여 직선의 형태로 제작되었다. 정형화된 객체가 아니라 불규칙한 객체를 대상으로 하였으므로 영상의 좌측 상단 좌표 값과 우측 하단의 좌표 값을 기준으로 하여 비교하였다. Fig. 13은 5% 이상의 경사를 가지는 경계값을 디지털이징한 것이다.

앞서 처리하여 제작된 이진화 영상으로 부터 외곽선을 추출한 결과를 경사도 및 지형도와 각각 시각적으로 비교해 보았다. Fig. 14는 지형도와 이진화 영상을 비교한 것이며, 지형도와 중첩한 결과 우측부의 오차가 높게 나타나지만 색상경계와 거의 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 경사도

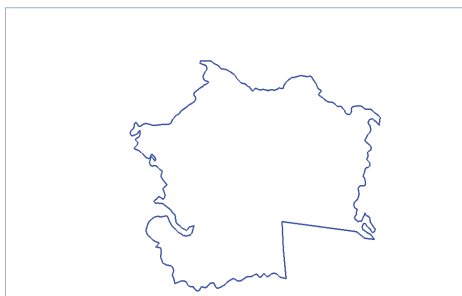


Fig. 13 Extracted boundary line, having greater than 5% gradient

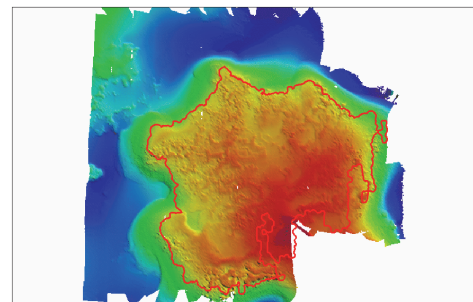


Fig. 14 Comparison of boundary lines between extracted from binary image and sea floor map

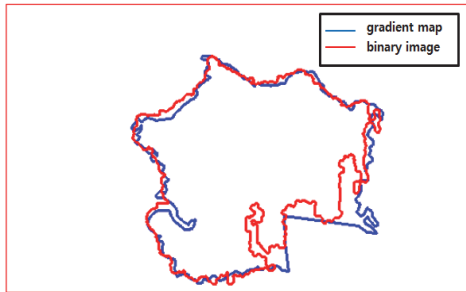


Fig. 15 Comparison of boundary lines between extracted from binary image and gradient map

와 중첩한 결과 Fig. 15과 같이 이진화 영상이 경사도에 비하여 유연하게 생성된 것을 알 수 있었다. 또한 우측 하단은 데이터 부재로 인하여 영상의 오차가 높게 나타는 것을 알 수 있었다.

6. 결론

본 연구는 멀티빔 음향측심기로 취득된 해저면 탐사자료와 부가적으로 기록되는 음압자료를 이용하여 해저면 지형을 분류하고 경계와 면적을 추출한 연구이다. 정확도 검증을 위하여 실제 해저면 측량 후 제작된 3차원 지형을 디지털화하고 취득된 음압자료를 영상화하여 디지털 영상처리한 데이터와 비교한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 멀티빔 음향측심기의 음압값을 이용하여 모자이크영상의 제작 시 단위 격자의 크기가 너무 미세한 경우 (0.1m) 일부 지역의 측심 밀도 변화로 인해 대푯값이 왜곡되고 중간 압력 값이 손실되는 현상이 있음을 알 수 있었다. 또한 격자의 크기가 큰 경우 (5m) 분류 중 공간 해상도 손실로 인해 정확한 데이터를 얻을 수 없는 것으로 나타났다. 따라서 공간 해상도 및 음압 값의 손실을 고려하여 단위 격자 적절한 크기를 고려해야 하

며, 단위 격자 적정 크기는 1m에서 2m 사이임을 알 수 있었다.

둘째, 재료에 따른 음압값을 분류하기 위해 다양한 임계값을 적용하였을 때 이미지 노이즈로 인해 특정 임계값에 따라 해저지형을 명확하게 분류하기 어려운 것으로 나타났다. 따라서 이미지 노이즈를 제거하기 위해서는 형태학적 기법과 같은 이미지 필터링을 먼저 적용해야 한다는 것을 알 수 있었다.

셋째 해저면 분류의 정확도를 높이기 위하여 전처리된 음압자료를 각종 연산자를 적용하여 모폴로지 기법, 히스토그램 평활화 등을 통해 디지털 영상처리를 수행하였다. 경사도가 높은 지역의 경계를 디지털화 하여 분류된 영상과 지형도와 비교 결과 추출된 영상의 외곽선은 경사도에 비하여 유연하게 생성된 것을 알 수 있었다.

향후 음압자료에 대한 분석 후 보다 체계적인 연구를 수행한다면 해저면 형상에 대한 연안 해역 기본도 형태로 제작할 수 있으며 멀티빔 음향측심기를 이용한 수심측량을 비롯한 다양한 해양탐사에 활용될 것으로 사료된다. 또한 해양, 지질, 수산, 양식, 해상 안전 등 다양한 분야의 활용이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] C. S. Lee, "underwater acoustic imaging", Jipmoon, 1999.
- [2] Y. S. Park, "Current status of offshore multi-beam acoustic exploration technology and domestic and international projects", Chungnam University Marine Research institute Symposium, Vol. 14, pp. 85-104, (2006).
- [3] S. B. Kim, "A Study on Extraction of Acoustic Seafloor Sediments Classification Parameters",

- Master's dissertation, Donga University, (2007).
- [4] Y. S. Park, S. J. Lee, W. J. Seo, G. S. Gong, H. S. Han, S. C. Park, "Surficial Sediment Classification using Backscattered Amplitude Imagery of Multibeam Echo Sounder(300 kHz)", *Economic and Environmental Geology*, Vol. 41 No. 6, pp. 747-767, (2008).
- [5] J. M. Kim, "Real Time Hand Shape Recognition using Edge Orientation Histogram", Master's dissertation, Chonnam National University, (2004).
- [6] J. W. Lee, S. H. Hong, "Histogram Equalization based on Differential Compression for Image Contrast Enhancement", *Journal of broadcast engineering*, Vol. 19, no. 1, pp. 96-108, (2014).
- [7] K. A. Shin, "Counting the Number of Vehicles and Parking Area Detection by Morphology and Histogram Analysis", Master's dissertation, Hanbat National University, (2007).

(접수: 2022.12.30. 수정: 2023.01.16. 게재확정: 2023.01.23.)