

수심을 고려한 사이드 스캔 소나 자료의 보정 및 해저면 분류를 위한 영상분할

서상일* · 김학일* · 이광훈** · 김대철***

인하대학교 자동화 공학과*, 군산대학교 해양학과**, 부경대학교 응용지질학과***

Depth-based Correction of Side Scan Sonar Image Data and Segmentation for Seafloor Classification

San-Gil Seo*, Hak-Il Kim*, Kwang-Hoon Lee**, and Dae-Cheol Kim***

Dept. of Automation Engineering, INHA Univ.*, Dept. of Oceanographic Science, Kun-San Univ.**

Dept. of Geological Science, Pu-Kyung Univ.***

Abstract

The purpose of this paper is to develop an algorithm of classification and interpretation of seafloor based on side scan sonar data. The algorithm consists of mosaicking of sonar data using navigation data, correction and compensation of the acoustic amplitude data considering the characteristics of the side scan sonar system, and segmentation of the seafloor using digital image processing techniques. The correction and compensation process is essential because there is usually difference in acoustic amplitudes from the same distance of the port-side and the starboard-side and the amplitudes become attenuated as the distance is increasing. In this paper, proposed is an algorithm of compensating the side scan sonar data, and its result is compared with the mosaicking result without any compensation. The algorithm considers the amplitude characteristics according to the tow-fish's depth as well as the attenuation trend of the side scan sonar along the beam positions. This paper also proposes an image segmentation algorithm based on the texture, where the criterion is the maximum occurrence related with gray level.

The preliminary experiment has been carried out with the side scan sonar data and its result is demonstrated.

Keyword : Side scan sonar, Mosaicking, Image segmentation, Texture analysis, Digital image processing.

요 약

본 논문의 목적은 사이드 스캔 소나 자료를 이용하여 해저면의 지질을 분류하는 알고리즘을 제안하는 것이다. 사이드 스캔 소나 시스템에서 획득된 수치 자료에 대하여 탐사선의 항해 자료를 근거로 모자이킹을 수행하고 2차원 영상 자료를 생성하여, 평활화(Smoothing)와 같은 영상 처리 기법을 적용하여 보간을 수행하였다. 그리고, 모자이크 영상의 텍스처 특성을 이용하여 영상 분할(Segmentation)을 실시하였다. 토우-취시(Tow-fish)의 좌우현 센서의 특성 차이로 발생하는 좌우현 음압의 차이와 센서에서 먼 곳에서 온 신호일 수록 음압이 작기 때문에 음압 자료의 보정이 필수적이다. 본 논문에서는 토우-취시 고도별 평균을 이용한 보정치로 음압 자료를 보정하였고, 보정된 음압 자료로 모자이크한 결과와 보정하지 않은 음압 자료로 모자이크한 결과를 비교하여 음압 보정된 영상의 질이 향상됨을 확인하였다. 영상의 분할 방법은 그레이 레벨 동시발생 행렬(Gray Level Co-occurrence Matrix)을 이용한 텍스처 특성을 기초로 그레이 레벨 최대 발생 특징식을 제안하고, 그 결과를 제시하였다.

I. 서 론

사이드 스캔 소나는 수중 물체의 성질이나 해저면 형태, 지질에 대한 정보 등을 얻는데 사용된다. 이 시스템은 해저면 형태의 특성을 보여주는데는 유용하지만, 해저면 지질을 이해하기 위한 정보를 충분히 제공하지 못한다(Johnson, 1990). 사이드 스캔 소나를 이용해 해저면 지질을 이해하기 위해서는 이 시스템으로부터 디지털 자료를 획득하고, 여러 가지 자료 보정과 연속적인 후처리를 통해 모자이크 영상을 만들고, 그 영상을 분석해야 한다. 모자이크 후 얻어진 영상은 일반 광학 사진과 유사하여 기존의 발달된 디지털 영상 처리 기술을 모자이크 영상 처리에 이용할 수 있게 된다. 디지털 영상 처리 기술은 위성 영상이나 항공 사진과 같이 잡음이 많은 영상에서 잡음을 제거하거나 명암도(Contrast)를 향상시키기 위한 목적으로 응용되고 있다(해양연구소, 1996: Klein Associates, Inc., 1985). 이를 사이드 스캔 소나 영상에 적용하면, 영상을 향상시키고 분석에 용이한 영상을 얻을 수 있다.

Reed와 Houssong(1989)은 사이드 스캔 소나 자료에 대해 연속적으로 보정, 개선, 분류 등의 디지털 영상 처리를 통해 해저면 분석과 해석을 위한 좀더 정량적인 접근을 시도했다. 그들은 통계적 특징의 연속으로 모자이크 영상의 주제에 의한 분류를 위해 첫째, 사이드 스캔 소나 자료로부터 기하학적 보정을 수행하여 해저면 정보인 모자이크 영상을 생성하고, 둘째, 모자이크 영상으로부터 컴퓨터로 구분 가능한 통계적 특징을 추출하였으며, 셋째, 영상의 특징을 사용하여 모자이크 영상을 음향학적 또는 광물학적 지역으로 분류하였다. Cervenka와 de Moustier(1993)는 네 단계의 작업으로 사이드 스캔 소나 자료로부터 모자이크 영상을 작성하였다. 첫째, 중간값필터(Median Filter)를 사용하여 잡음을 제거하였고, 둘째, 체비셰프 다항식을 이용해 저주파 성분을 걸러내기 위한 주파수 분석

을 실시해 잡음을 제거했다. 세제, 히스토그램 평활화 방법으로 명암도를 향상시켰고, 마지막으로 향상된 자료를 격자화 하여 최종적으로 모자이크 영상을 생성했다. 국내에서는 해양 연구소(1995a: 1995b: 1995c)가 1986년부터 탐사 자료의 계수화 처리에서부터 현재까지 아날로그 자료의 디지털 변환, 디지털 자료의 처리 기술 및 개인용 컴퓨터 적용 환경 구축, 토우-휘시의 실제 위치 보정 기법 개발, 모자이크 도면 작성을 위한 맵핑 프로그램개발, 디지털 자료의 입출력 처리를 위한 하드웨어적 시스템 구성 등에 대한 많은 연구를 수행하여 왔다.

본 논문은 사이드 스캔 소나 자료로 모자이크 영상을 만들고, 얻어진 영상으로부터 해저면 지질 구성에 관한 정보를 정량적으로 표현하는 방법을 개발하는 것을 목표로 한다. 이를 위해, 사이드 스캔 소나 시스템으로 획득한 자료로 모자이크 영상을 만들고, 그것에 여러 가지 영상 처리 기법을 이용한 영상의 보정과 텍스처 특징을 이용한 모자이크 영상을 분할하는 순서로 처리를 수행한다. 모자이크이란 음압 자료를 그것이 반사된 2차원 평면상의 위치에 정확히 배치하는 것이다. 음압의 절대 위치는 항해 자료와 음압 자료를 이용하여 구한다. 이때 토우-휘시 좌우현 양쪽의 두 센서의 특성이 다르고 센서에서 멀어질수록 음압 감쇄가 발생하기 때문에 사이드 스캔 소나 음압 자료에 대한 보정이 필수적이다. 본 논문에서는 토우-휘시의 고도를 고려한 음압의 보정 방법을 제안한다. 그 결과를 음압 보정을 하지 않은 모자이크 영상과 비교하였다. 사이드 스캔 소나 영상의 분할은 텍스처 특징을 이용하였다. 텍스처 표현 방법 중 그레이 레벨 동시발생 행렬(GLCM)을 이용한 방법을 사용하여 해저면 정보의 해석에 적합한 그레이 레벨 최대 발생(MOGL) 특징식을 제안하였다.

II. 사이드 스캔 소나 시스템 소개

사이드 스캔 소나 시스템은 센서를 장착한 토우-휘시에서 음파를 보내고, 일정한 시간 간격으로 되돌아오는 음압을 측정해 기록 장치에 저장한다. 그림1과 같이 토우-휘시는 케이블로 탐사선에 이끌려지면서 자료를 취득하게 된다. 거리는 바닥이나 목표에 반사되어 되돌아 온 시간에 음파의 수중 속도를 곱해 구한다. 이 때, 구해진 거리는 경사 거리이므로, 반사된 목표 지점의 위치를 구하기 위해, 기하학을 사용하여 수평거리로 변환하고, 기록되는 값의 크기는 사이드 스캔 소나 시스템으로 되돌아온 음압에 비례한다.

사이드 스캔 소나의 음파 발산 및 수신 형태는 토우-휘시의 진행 방향에 대하여 수직 단면으로 부채꼴 모양으로 빔폭은 12° 로 얇은 두께를 갖고 좌우로 퍼져나가는 모양이며, 후방 산란에 의하여 해저면으로부터 측면으로 되돌아 오는 반사파 신호를 수신하게 된다(해양연구소, 1995a). 토우-휘시의 위치와 사이드 스캔 소나 음압에 의해 구한 음압 정보는 점이 아닌 영역의 음압값을 나타낸다. 이 지역을 *Foot-print Area* 라고 한다. Foot-print의 갯수는 아날로그 신호를 디지털로 변환할 때 샘플링 간격에 따라 결정된 수이다.

그림 2와 식 1, 2는 각각 트랙수직방향 해상도와 트랙방향 해상도를 나타내고, Foot-print의 크기는 다음의 트랙수직방향 해상도와 트랙방향 해상도를 곱해 구한다.

$$\text{across-track resolution} = dt * C / 2\cos(\theta) \dots\dots\dots (\text{식 } 1)$$

$$\text{along-track resolution} = r * \alpha \dots\dots\dots (\text{식 } 2)$$

여기서 r 은 해저면과 소나 센서와의 거리로 시간에 따라 변하는 변수이며, dt 는 펄스의 길이로써 상수 값이고, C 는 수중 음속으로 1500m/sec, θ 는 입사하는 음파가 해저면과 이루는 각, α 는 빔 폭으로 12° 이다. 따라서, 중앙에서 양측면으로 갈수록 트랙방향 해상도는 증가하고, 트랙수직방향 해상도는 감소한다. 본 논문에서 처리한 데이터는 146.29msec의 펄스 길이, 14kHz의 샘플링 주기, 한 번의 송수신으로 한 개의 주사 트랙에 2048개의 음압을 포함하는 자료이다.

그림 3은 모자이크 이전의 보정하지 않은 사이드 스캔 소나 자료를 영상화 한 것으로서, 시간에 따라 그림 아래 부분에서부터 위로 기록되었다. 중앙을 기준으로 왼쪽에 좌현(Port) 신호를, 오른쪽에 우현(Starboard) 신호를 기록하고 있으며, 한 주기 동안의 자료에서 좌현 자료는 시간이 증가함에 따라 중앙에서 왼쪽으로, 우현 자료는 중심에서 오른쪽으로 진행되는 순서로 기록되었다. 즉, 경사 거리를 보정하지 않은 기록지 자료라 할 수 있다.

그림 3에서와 같이, 사이드 스캔 소나 시스템에 기록된 후방 산란 신호는 중앙의 강한 음압 부분, 반사된 신호가 없는 부분, 해저면 정보 부분 등 세 부분으로 나뉘어진다. 중앙의 밝은 부분은 기록 초기의 강한 음압이 수신된 부분이다. 사이드 스캔 소나 시스템은 펄스가 보내지는 시간부터 기록하기 때문에 이 부분이 나타난다. 따라서 가운데 부분은 기록의 시작 부분이고, 발생된 펄스로 인해 매우 큰 음압 값을 가진다. 그 다음에 이어지는 검은 띠 부분은 펄스가 수중을 진행하는 부

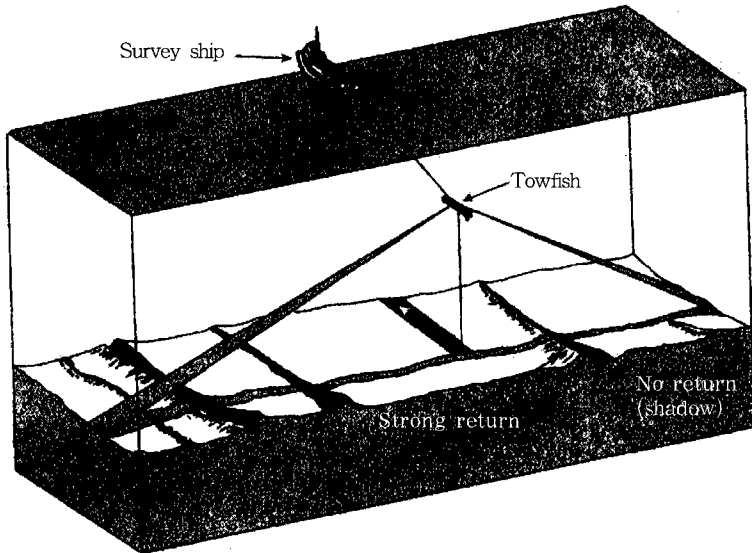


Figure 1. Operation of side scan sonar system.

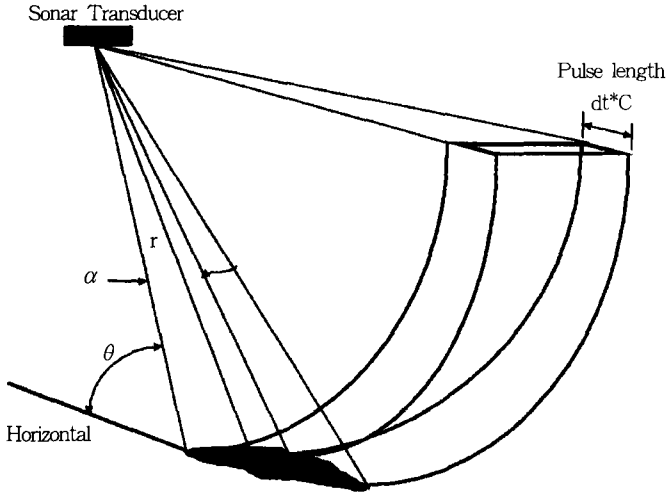


Figure 2. Spatial resolution of side scan sonar data.

분이다. 이 부분은 펄스가 반사되지 않으므로 기록되는 음파가 없다. 특별히 물고기 군집, 공기 방울 등의 수중 물체가 이 지역에 없으면 이 부분은 낮은 음압 값으로 기록된다. 검은 띠 이후의 회색 부분은 해저면 정보를 나타낸다. 토우-회시에서 가까울수록 반사되어 돌아오는 음압의 세기가 크기 때문에 밝고, 시간이 지나 토우-회시에서 멀어질수록 어둡게 표시됨을 볼 수 있다. 해저면 신호가 기록되는 방식은 토우-회시에서 가까운 곳의 정보로부터 멀어지는 곳의 정보로 들어온다. 이

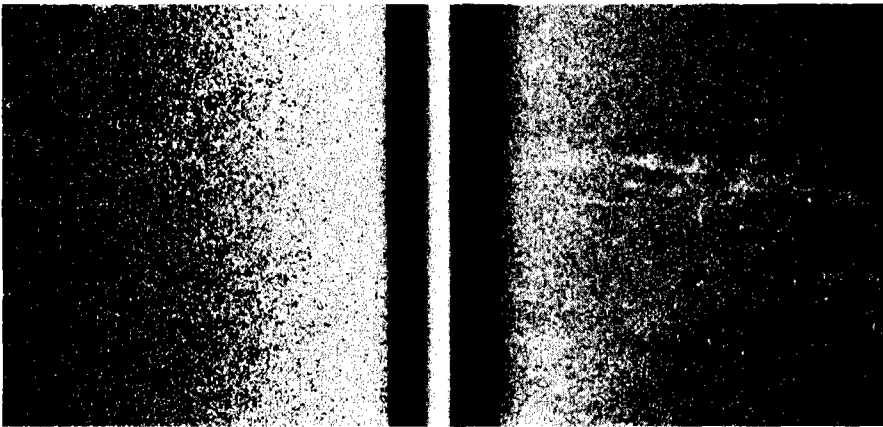


Figure 3. Side scan sonar data before processing.

때 거리는 수평 거리가 아닌 경사 거리이다. 경사 거리란 투우-휘시으로부터 해저면까지의 수중 거리를 의미하므로 모자이크을 위해서는 기하학을 이용하여 수평 거리로 변환되어야 한다.

Ⅲ. 사이드 스캔 소나 자료의 처리

그림 4는 사이드 스캔 소나 자료 모자이크와 분할을 위한 전체 처리 절차를 나타낸 것이다. 처리 프로그램은 RSI사의 IDL시스템과 Microsoft사의 C언어를 사용하여 작성하였다.

모자이크을 위해서는 정확한 음압의 위치와 그곳에서 반사된 음압의 세기가 필요하다. 음압 자료로

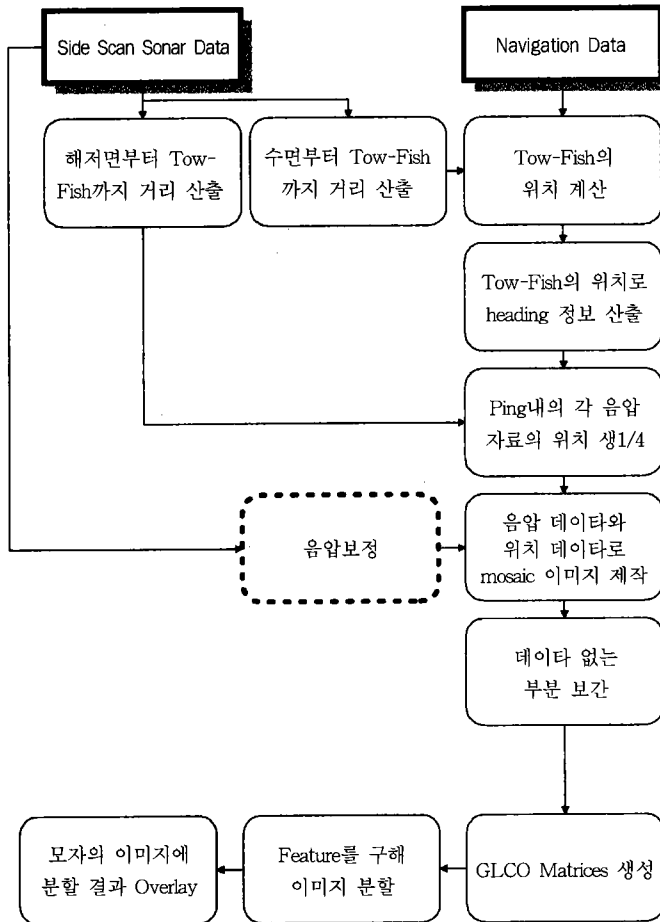


Figure 4. Flowchart of processing side scan sonar data.

부터 토우-훤시의 고도를 구해 음압의 토우-훤시 직하방으로부터 토우-훤시 진행 방향으로 수직인 직선 위로 이격된 거리를 구할 수 있고 항해 자료로부터 토우-훤시의 진행 방향을 구할 수 있다. 따라서, 이 두 정보로 음압의 절대 위치를 구한다. 또한, 사이드 스캔 소나 음압은 좌우 같은 거리에서 반사된 음압이라 하더라도 일반적으로 좌우현의 크기가 다르고, 토우-훤시에서 멀어질수록 음압이 감소하기 때문에 음압의 보정은 사이드 스캔 소나 자료 처리에 있어서 매우 중요한 부분이다.

1. 모자이크

사이드 스캔 소나 자료 처리에 사용되는 자료는 탐사선의 항해 자료(Navigation data)와 사이드 스캔 소나 음압 자료(Sidescan acoustic data)이다. 사이드 스캔 소나 자료로부터 모자이크를 위한 음압의 크기와 토우-훤시의 수중에서의 위치를 구하고, 탐사선의 항해 자료로부터 토우-훤시의 위치 자료를 얻는다. 음압 정보를 음압이 반사된 절대 위치에 위치시킴으로써 모자이크 영상을 만들 수 있다. 모자이크 과정을 더 세분하면, 토우-훤시 위치 자료 작성, 방향 자료 작성, 토우-훤시의 수중 고도 산출, 1회 탐사 주기 내의 각각의 음압 자료에 대한 위치 생성, 음압과 위치를 결합한 모자이크 영상의 작성 순서로 수행되며, 그 내용은 다음과 같다.

첫째, 토우-훤시 위치 자료 작성에서는 탐사선의 위치를 갖고 있는 항해자료를 기준으로 선속과 선수, 원치의 길이를 이용하여 토우-훤시의 위치를 계산한다(해양연구소, 1995c). 둘째, 토우-훤시의 방향 자료는 연속된 두 위치 좌표 간의 차이로 방향을 나타낸다. 셋째, 토우-훤시의 수중 고도는 그림 5와 같이 시계열(Time-series)로 기록된 음압 자료에서 신호가 급격히 증가하는 곳이 존재하는데, 이 곳의 시간이 토우-훤시에서 출발한 음파가 해저면에서 반사되어 돌아온 시간이며, 이 시간에 수중에서의 음파 속도를 곱하고 2로 나누어 토우-훤시의 고도를 구한다. 넷째, 각 빔의 음압 자료의 위치는 위에서 구한 토우-훤시의 위치 자료, 수중 고도 자료, 방향 자료로부터 그림 6과 같이 샘플링 주기 간격의 음압이 해당하는 절대 위치를 계산한다. 즉, 사이드 스캔 소나 시스템에서 얻어진 경사 거리와 해저면과 토우-훤시의 고도를 두 번으로 하는 직각삼각형에서 1회 탐사 시

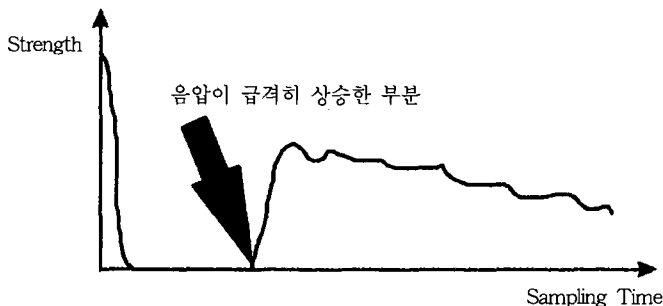


Figure 5. Analysis of the reflected acoustic amplitude for estimating Tow-fish's depth.

얻은 2048개의 각 음압의 토우-취시 직하방으로부터의 이격 거리를 계산한다. 여기에 토우-취시의 방향 자료를 결합하여 토우-취시 중심으로부터의 상대 위치를 계산한 후, 토우-취시의 위치 자료를 더하여 각각의 음압에 대한 절대 위치를 계산한다. 항해 자료가 1초 단위로 기록되는 반면, 음압 자료는 450 msec 단위로 기록되기 때문에 토우-취시의 위치를 보간법으로 계산한다. 마지막으로 2차원 평면상에서 음압의 위치에 음압의 신호자료를 연결하여 그림 7과 같은 모자이크 영상을 생성한다.

음파반사영역(Ensonified Area)은 음파가 트랙수직방향으로 해저면을 주사(swathing)해 나가는 얇은 띠 모양의 해저면을 말한다(해양연구소, 1995a). 그러므로, 해저면 탐사 자료를 도면화하는데 점이 아닌 면적의 개념 도입이 필요하다. 본 논문에서는 1m×1m 해상도의 모자이크를 생성하였다. 그림 7과 같이 각각의 음압을 절대 위치에 위치시킴으로써 전체적인 모자이크 영상을 얻는 과정에서 음압 값이 중복되거나 없는 부분이 존재한다. 중복된 값의 처리 방법은, 우선 모자이크 영상을 계

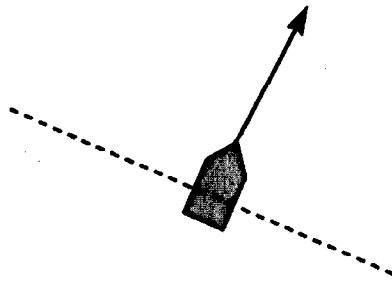


Figure 6. Relative positions of side scan sonar data.

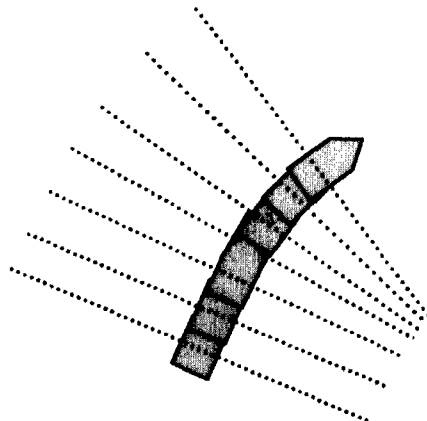


Figure 7. Mosaicking of side scan sonar data.

속 중복하여 기록함으로써 최종의 결과를 음압값으로 결정하는 방법과 한 점의 최소 단위 격자 공간 안에 포함될 수 있는 Foot-print 영역 자료들을 모두 취합한 다음, 그들의 음파값을 통계 처리하여 대표값으로 결정하는 방법 등이 있다. 본 논문에서는 최대값을 대표값으로 사용하는 방법이 시각적으로 가장 좋은 결과를 보여주기 때문에 사용하였다. 그리고, 음압값이 없는 부분은 음압보정이 이루어진 후 중간값 필터링을 이용하여 보간하였다.

2. 음압 보정

사이드 스캔 소나 시스템은 좌우현 센서의 특성이 다른 이유로 좌현과 우현의 음파의 세기가 다르며, 따라서 같은 거리에서 반사된 음파도 좌현과 우현이 서로 다른 음압값을 갖는다. 그 밖에 해저면이 경사진 해역이거나, 좌우현 해저 퇴적물의 분포 환경이 다른 지역을 탐사하는 경우 등도 그 원인이 될 수 있다. 정밀한 보정을 위해서는 수심의 변화, 해저 퇴적물의 유형 변화, 수층의 온도와 염분도 분포 특성에 따른 음속의 음파 감쇠량 변화, 조류의 방향에 따른 수층 구조의 물리적 특성 등 여러 가지 조건을 고려해야 할 것이다. 또한 탐사 장비의 전기, 전자적 특성에 따른 신호의 변화 역시 예측하기 힘들다(해양연구소, 1995c).

본 논문에서는 토우-회시의 고도별 평균에서 구한 기준면으로 음압 자료를 보정하여 모자이크를 수행하고, 그 결과를 보정하지 않은 음압 자료와 비교하였다. 수신된 음압의 토우-회시 고도별 특성을 산출하기 위하여, 토우-회시의 고도별 평균 음압값을 구하고, 이 값을 z 값으로 갖고, x 축으로 토우-회시 중심으로부터의 이격 거리, y 축으로 토우-회시의 해저면에서부터의 고도로 구성된 특성 표면을 산출한 후, 식 3과 같은 다항 회귀식(Polynomial regression)으로 특성 표면을 추정하였다. 그리고, 모자이크 영상의 음압값은 이 특성 표면과 입력된 음압값의 차이를 정수로 표현하여 사용하였다.

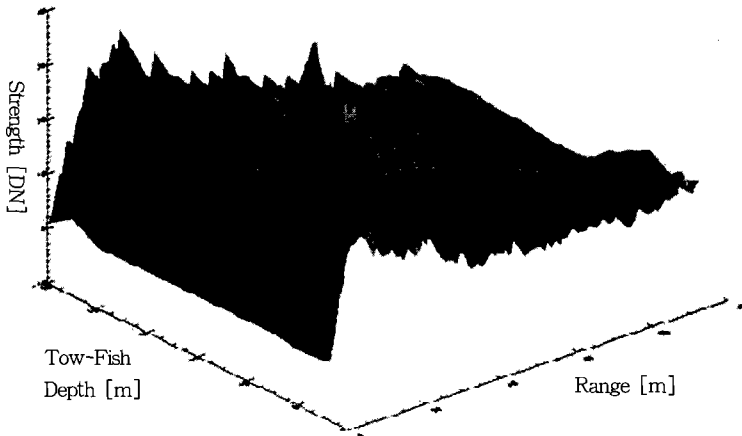
$$f(x, y) = \sum_{i=0, j=0}^n k_{ij} \cdot x^i \cdot y^j \dots\dots\dots (식 3)$$

여기서 x 는 토우-회시 중심으로부터 1m 간격의 이격 거리이고, y 는 토우-회시의 해저면에서부터의 1m간격의 고도이며 k_{ij} 는 다항 회귀식의 각 항의 계수들을 나타낸다. 본 논문에서는 계산의 복잡성 및 오차의 범위를 고려하여 6차 다항식을 사용하였다

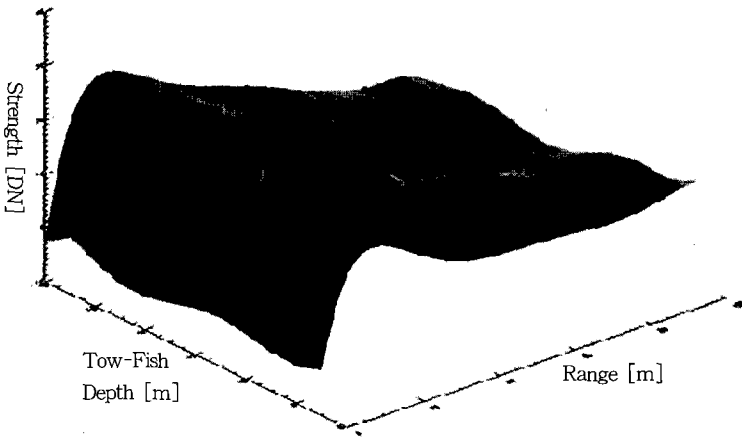
그림 8(a)는 좌현의 원 음압 자료의 토우-회시고도별 평균이며, 그림 8(b)는 6차 다항 회귀식에 의한 좌현의 특성 표면이다. 그림 9의 (a), (b)는 우현의 고도별 평균값과 6차 다항 회귀식에 의한 특성 표면을 보여준다. 이들 그림에서 보는 바와 같이 좌현과 우현의 음파의 세기가 다름을 알 수 있으며, 토우-회시의 고도가 변화함에 따라 음파의 세기도 변화함을 알 수 있다.

IV. 모자이크 영상 분할

본 논문에서는 해저면의 사이드 스캔 소나 음압 성질을 고려한 텍스처 특징을 이용하여 영상분할을 수행하였다. 텍스처를 이용한 경계 검출은 명암을 이용한 경계 검출과 마찬가지로, $n \times n$ 의 부분영상의 텍스처 특징값이 주변 값에 비해 일정한 차이 이상 나타내는 부분을 텍스처 경계로 인식하고, 이 경계를 기준으로 영역을 분할한다. 이 때 적절한 n 의 크기를 결정해야 하는데, n 이 너무 크면 세밀한 경계 검출이 어렵고, 너무 작으면 전체적인 텍스처특징이 경계 결정에 반영되지



(a) Average amplitudes

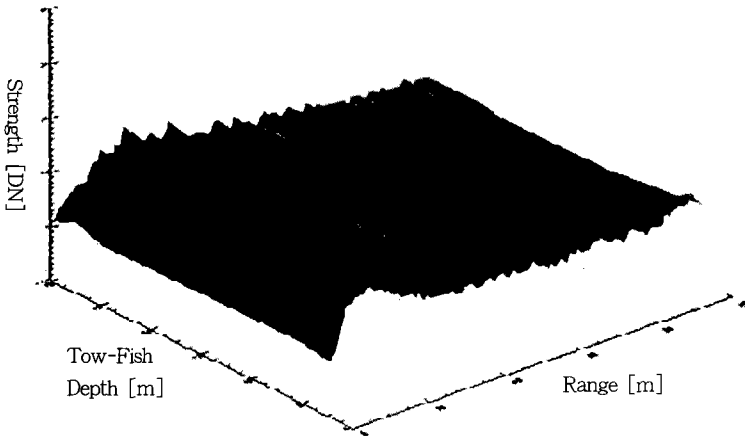


(b) 6th-order polynomial regression surface.

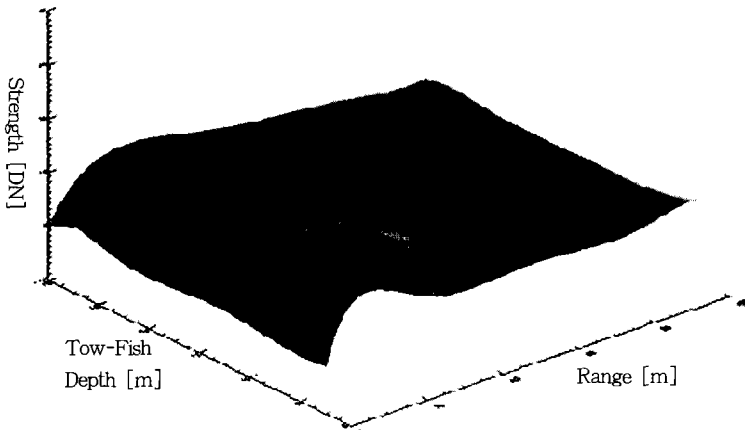
Figure 8. Characteristic of port-side side scan sonar data

못하는 결점이 있어, 신중한 부분영상 크기의 선택이 필요하다(Gonzalez and Woods, 1992). 본 논문에서는 해저면을 나타내는 사이드 스캔 소나 영상이 구조적 특징보다는 같은 매질에서 비슷한 후방 산란 음파를 나타내므로 텍스처 특징을 이용한 해석이 가능하다는 기본 원리하에 해저면 구성 물질에 따른 음압의 차이를 표현하기 위하여 GLCM을 이용한 특징식을 제안한다.

사이드 스캔 소나 시스템에서는 음파의 특성 중 후방 산란에 의해 자료가 획득된다. 해저면에 분포되어 있는 퇴적물에 대해 수신된 음파의 세기 정도에 따라 음향학적으로 분포 구역을 분류하는 방법은 중요한 해석 방법 중 하나이다. 본 논문에서는 해저면 탐사 자료의 지질학적 이해를 위



(a) Average amplitudes



(b) 6th-order polynomial regression surface.

Figure 9. Characteristic of starboard-side side scan sonar data

해, 음향학을 이용하여 퇴적물 분포 구역의 분류를 수행하였다. 해저 지형에 대한 모자의 영상은 한 점이 가지는 정보보다는 영역이 가지는 의미로 분석해야 한다(박성익, 1995).

본 논문에서는 텍스처 분석의 통계적 방법인 GLCM을 이용하였고, 특징식으로 MOGL을 제안한다. 식 4에 표현된 이 방법은 GLCM으로 텍스처를 표현할 때 없어지는 그레이 레벨 정보를 보강하는 특성을 가지고 있다.

$$f_{MOGL} = \max(MOGL * P_{ij}) \text{ where } \begin{cases} \text{if } i = j & \text{then } MOGL = \alpha * i \\ \text{else} & MOGL = 1 \end{cases} \dots\dots\dots (\text{식 } 4)$$

여기서 α 는 비례 상수이다. 이 특징식은 행렬의 대각 성분, 즉그레이 레벨이 변하지 않는 균일한 지역에 가중치를 주게 된다. 따라서, 그레이 레벨의 정보를 강조하기 때문에, 사이드 스캔 소나가 암반에서는 강한 신호, 퇴적층에서는 약한 신호를 갖게되는 등의 음압이 갖는 특성을 반영하게 된다.

분할을 위한 첫 단계로서, 모자의 영상을 입력하여 GLCM을 생성한다. 모자의 영상의 화소값은 0부터 255까지의 정수이다. 그러나, 관찰 결과 90% 이상의 화소가 30 이내의 값을 갖기 때문에 텍스처 해석을 위한 GLCM의 크기는 30×30으로 결정했다. 토우-취시의 고도를 고려한 음압 보정에 의한 모자에서는 입력된 음압과 6차 다항식으로 표현된 추정치와의 차이를 0부터 255 사이의 정수로 변환하여 영상을 다시 작성하였다.

원 모자의 영상의 그레이 레벨에서 GLCM을 계산하기 위한 그레이 레벨로의 변환 식은 식 5와 같다.

$$\begin{array}{ll} \text{if}(G_{input} \geq 135) & \text{then } G_{output} = 135 \\ \text{if}(G_{input} > 115)\text{and}(G_{input} > 135) & \text{then } G_{output} = G_{input} \dots\dots\dots (\text{식 } 5) \\ \text{if}(G_{input} > 115) & \text{then } G_{output} = 115 \end{array}$$

GLCM 계산을 위한 두 점 간의 거리는 1을 사용했고, 방향은 0도, 45도, 90도, 135도의 4가지를 사용하였다. 부분영상은 텍스처 원소로서 31×31 [화소] 크기로 하였다. 이 텍스처 원소내의 텍스처 특징의 계산은 5×5 [화소] 마다 4방향에 대해 거리 1만큼 떨어진 두 점에 대해 계산했다. 즉, 한 개의 화소가 1 [m]를 나타내므로, 5×5 [m] 영역의 크기 마다 주변31×31 [m] 영역에 대해 GLCM을 계산했다.

V. 실험 결과

처리한 부분은 전체적으로 수심이 20여 미터 내외의 평탄한 지역으로서 대부분 퇴적물층으로 구성되어있다. 하지만 북서쪽 부분의 수심이 낮아지는 지역은 암반과 퇴적층이 함께 존재하는 것

으로 보여진다. 그림 10은 UTM 좌표상에서 사이드 스캔 소나 자료의 항적을 보여준다. 남동쪽에서 부터 탐사를 시작하여 북서쪽으로 진행해 다시 남동쪽으로 오는 과정을 2회 반복한 항해임을 알 수있다. 그림 11은 8387개의 사이드 스캔 음압 자료에 대한 토크-회시의 수중 고도 정보를 보여 준다. 항적과 비교해 보면 탐사선이 남동쪽에서 북서쪽으로 갈수록 토크-회시의 고도는 낮아짐을 알 수 있다. 그림 12는 4500초 동안의 해저 수심 정보를 보여준다. 이것은 수심 측정기에 의한 결과이다. 남동쪽에서 북서쪽으로 갈 수록 수심이 낮아짐을 알 수 있다.

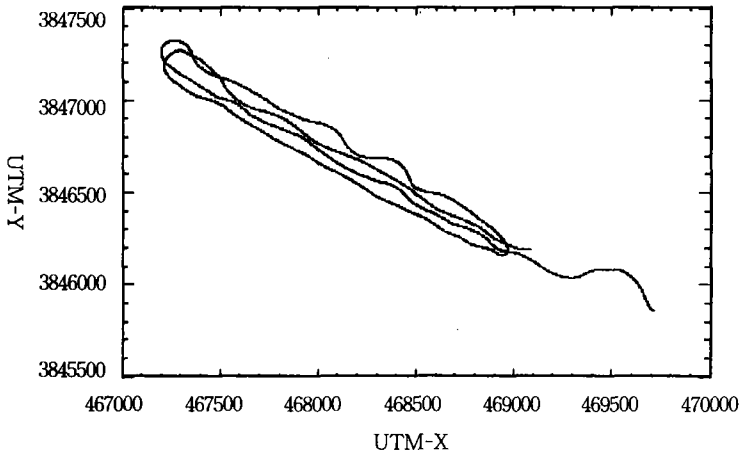


Figure 10. Trackline of the expedition.

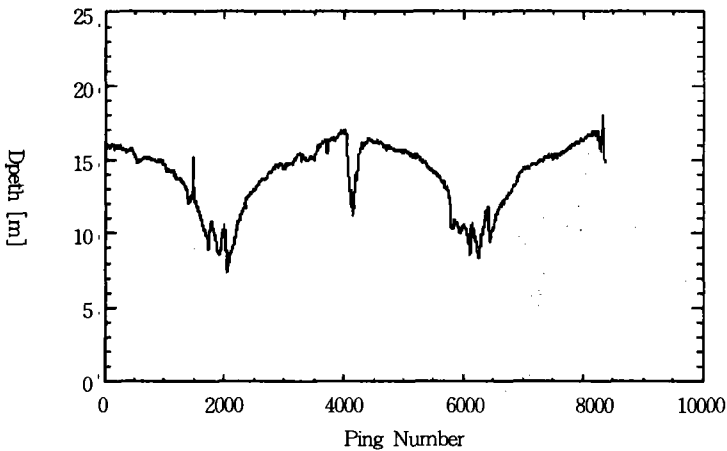


Figure 11. Depth profile of Tow-fish.

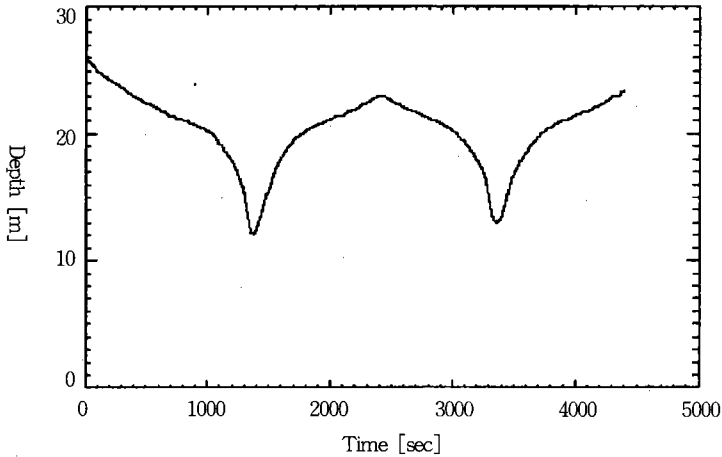


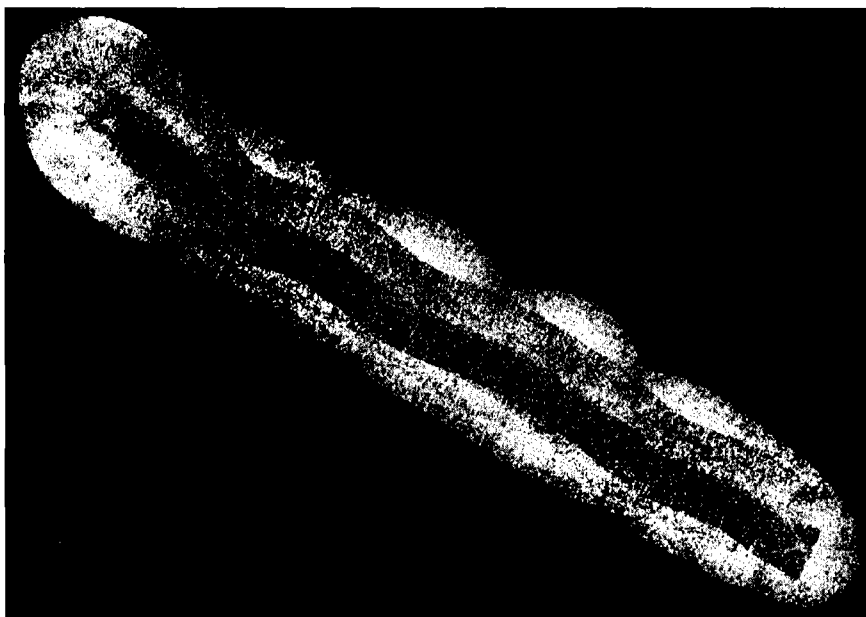
Figure 12. Seafloor depth profile.

1. 모자이크 처리 결과

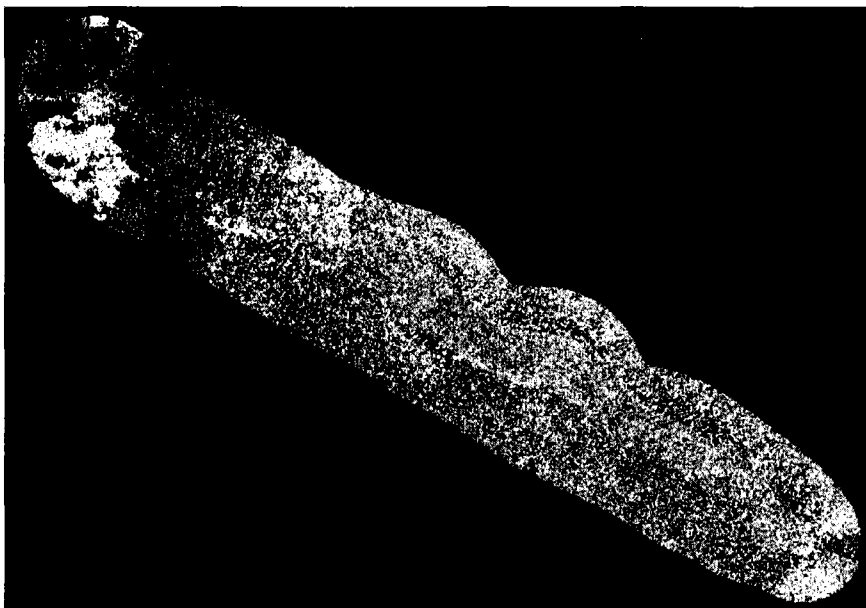
그림 13의 (a)와 (b)는 각각 보정 전과 보정 후의 음압자료 모자이크 결과를 보여주고 있다. 보정 되지 않은 음압 자료 모자이크 결과는 좌우 음압의 차이가 크고 음압 감쇄에 의한 영향도 매우 큼을 보여준다. 그러나, 본 논문에서 제안한 투우-휘시의 고도를 고려하여 음압을 보정한 후 모자이크를 수행한 결과는 좌우 음압의 차이나 중심 트랙으로부터의 거리에 따른 음압 감쇄 현상이 줄어들었고 좌상단의 암반 부분에서 명암대조가 크게 향상하였음을 볼 수 있다. 그림 14의 (a)와 (b)는 그림 13의 (a)와 (b)의 좌상단 부분을 확대한 그림이다.

2. 영역분할 및 분석

다음 단계로 텍스처를 이용한 영역분할 및 분석을 수행하였다. 앞에서 정의한 MOGL 특징식에 의해 분할된 결과를 원 모자이크 영상에 오버레이한 결과가 그림 15이며, 분할 결과를 시각적으로 확인하였다. MOGL 이외에 최대확률(Maximum probability)과 같은 다른 특징식을 이용하여 영역 분할을 시도하였으나 해저면 구성 물질을 구분할 수 있는 경계를 찾기 힘들었다. 예를 들어, 최대 확률 특징식의 경우 빈도수의 크기에 대한 정보는 주어지지만, 음압이 낮은 곳에서도 높은 곳과 같은 특징값이 나오므로 음압의 세기에 대한 구분이 없다. 반면에 제안한 방법은 GLCM의 가장 큰 원소를 찾아 그레이 레벨에 비례하는 가중치를 부여함으로써 음압이 낮은 영역과 높은 영역에서 다른 결과를 얻게 된다.

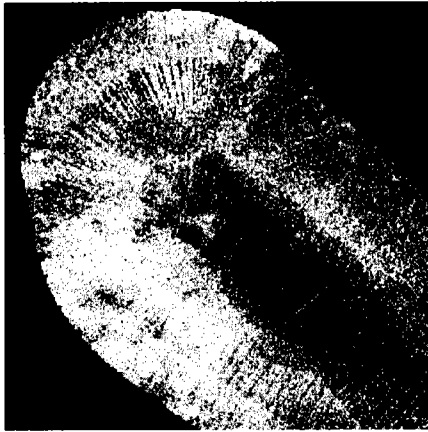


(a) before correction



(b) after correction

Figure 13. Mosaic imagery of acoustic amplitude



(a) before correction



(b) after correction.

Figure 14. Zoomed-in imagery of acoustic amplitude



Figure 15. Result of segmentation using MOGL.

VI. 결 론

본 논문에서는 사이드 스캔 소나 자료와 항해 자료에서 토우-훤시의 고도 및 위치를 산출하고, 토우-훤시 좌우현의 센서의 특성이 다른 점과 수중에서 음압이 감쇄되는 현상을 보정하기 위하여 토우-훤시의 고도별 음압 특성을 고려한 보정 방법을 제안하였으며, 이를 이용한 음압자료의 후처리 후 모자의 영상을 생성하였다. 그 모자의 영상에 대해 자료 보간 및 영상 처리를 적용하여 시각적 이해도를 높였으며, GLCM 방법에 기초한, 해저면의 분할에 용이한 MOGL 특징식을 제안하고 영역분할을 수행하였다.

사이드 스캔 소나 자료의 처리에 관한 향후 연구 과제로는 토우-훤시 위치 보정, Ensonified area를 고려한 모자의, 등의 과제가 있다. 더 정확한 토우-훤시 위치 보정을 위해 토우-훤시 수중 고도, 토우-훤시와 수면 사이의 거리 산출 알고리즘을 개발해야 할 것이다. 논문에 사용한 모자의 방법은 Ensonified area의 모양을 고려하지 않고, 각 음압 자료는 1×1 [m]의 격자를 대표한다고 가정하고 산출한 결과이다. 따라서, 정확한 분석을 위해서는 격자화 할 때 Ensonified area의 모양에 따른 가중치를 고려해 모자의 영상을 제작해야 할 것이다.

사 사

본 연구는 1996년도 교육부 학술연구조성비(해양·수산과학분야) 지원과제로서, 군산대학교 해양학과 및 부경대학교 해양과학공동연구소와 공동으로 수행되었습니다. 아울러, 본 연구를 수행하는데 있어 학술적 자문을 제공해 주신 한국해양연구소 해양지구물리 연구부의 석봉출, 김성렬, 이용국 박사님들께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- 박성익, 1995. 영상 처리 기법을 이용한 해저 음향 자료 처리에 관한 연구, 인하대학교 석사학위 논문.
- 해양연구소, 1995a. 천해용 105 kHz 해저면 탐사 장비 송신 및 수신 신호 제어에 관한 연구, 연구보고서.
- 해양연구소, 1995b. DSP를 이용한 Side-Scan Sonar 해저면 영상 자료 처리 알고리즘 개발, 연구보고서.
- 해양연구소, 1995c. 해저면 탐사 자료의 계수화 처리 및 해석 기법에 관한 연구, 연구보고서.
- 해양연구소, 1996. 해저면 탐사 자료의 실시간 및 후처리 기법에 관한 연구, 연구보고서.
- Cervenka, Pierre and C. de Moustier, 1993. Sidescan Sonar Image Processing Techniques, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 18(2) : 108-122.

- Gonzalez, R.C. and R.E. Woods, 1992. *Digital Image Processing*, Addison Wesley, Reading, MA, USA.
- Johnson, H. Paul and, M. Helferty, 1990. The Geological Interpretation of Side-Scan Sonar, *Reviews of Geophysics*, 28(4) : 357-380.
- Klein Associates, Inc., 1985. *Side Scan Sonar Record Interpretation*, pp.4 ~ 87.
- Reed, T.B. IV, and D. Houssong, 1989. Digital Image Processing Techniques for Enhancement and Classification of SeaMARC 2 Side Scan Sonar Imagery, *Journal of Geophysical Research*, 94(B6) : 7469~7490.
- Russ, J.C., 1995. *The Image Processing Handbook*, 2nd Ed., IEEE Press, NJ, USA.