

## 다중빔 음향 탐사 시스템(300 kHz)의 후방산란 자료를 이용한 해저면 퇴적상 분류에 관한 연구

박요섭<sup>1\*</sup> · 이신재<sup>1</sup> · 서원진<sup>1</sup> · 공기수<sup>2</sup> · 한혁수<sup>3</sup> · 박수철<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(주) 유에스티21, <sup>2</sup>한국지질자원연구원 석유해저자원연구부, <sup>3</sup>충남대학교 해양학과

## Surficial Sediment Classification using Backscattered Amplitude Imagery of Multibeam Echo Sounder(300 kHz)

Yosup Park<sup>1\*</sup>, Sinje Lee<sup>1</sup>, WonJin Seo<sup>1</sup>, Gee Soo Gong<sup>2</sup>, HyukSoo Han<sup>3</sup> and SooChul Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UST21, Yongun B/D 5F, Sungui dong, NamGu, Inchon, 402-011, Korea

<sup>2</sup>Petroleum & Marine Resources Research division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

<sup>3</sup>Department of Oceanography, Chungnam National University, 305-764, Korea

In order to experiment the acoustic remote classification of seabed sediment, we achieved ground-truth data(i.e. video and grab samples, etc.) and developed post-processing for automatic classification procedure on the basis of 300 kHz MultiBeam Echo Sounder(MBES) backscattering data, which was acquired using KONGBERG Simrad EM3000 at Sock-Cho Port, East Sea of South Korea. Sonar signal and its classification performance were identified with geo-referenced video imagery with the aid of GIS(Geographic Information System). The depth range of research site was from 5 m to 22.7 m, and the backscattering amplitude showed from -36dB to -15dB. The mean grain sizes of sediment from equi-distanced sampling site(50 m interval) varied from 2.86( $\phi$ ) to 0.88( $\phi$ ). To acquire the main feature for the seabed classification from backscattering amplitude of MBES, we evaluated the correlation factors between the backscattering amplitude and properties of sediment samples. The performance of seabed remote classification proposed was evaluated with comparing the correlation of human expert segmentation to automatic algorithm results. The cross-model perception error ratio on automatic classification algorithm shows 8.95% at rocky bottoms, and 2.06% at the area representing low mean grain size.

**Key words :** multibeam, backscatter, GIS, grain size, classification

다중빔 음향 탐사 시스템의 후방산란 자료를 대상으로 한 해저면 분류의 가능성을 평가하기 위하여, KONGSBERG SIMRAD EM3000(300kHz) 후방산란 신호를 분석하고 처리하는 소프트웨어를 구현하였다. 강원도 속초항 부근에서 취득한 음압 자료를 이용하여 모자의 영상을 제작하였다. 원격 분류 결과의 검증을 위해 영상 내에서 이질적인 음압 강도로 나타나는 지역에 대하여 임수사에 의한 직접적인 표층 퇴적물 채취와 비디오 광학 영상을 취득한 후, 후방산란 음압과의 비교를 실시하였다. 연구 대상 지역의 수심은 5 m에서 22.7 m까지였으며, 모자이크 영상 내의 후방산란 강도 분포는 -15dB에서 -36dB까지 나타났다. 그리고 표층퇴적물 입도 분석 결과, 평균 입도 크기는 최대 2.86 $\phi$ 에서 최대 0.88 $\phi$  까지 나타났다. 시료의 입도 분석 자료와 영상의 강도 변화 사이의 상관성을 비교해 본 결과, R 값은 0.56으로 나왔다. 입도 분석 자료와 후방산란 음압 자료와의 상관성을 기반으로 구현한 해저면 자동분류 시스템의 인식정도를 정량화하기 위하여, GIS 시스템으로 각 대상 자료를 통합하고, 면적비교 기능을 사용하여 평가를 수행하였다. 암반 지역을 사질 지역으로, 사질 지역을 암반지역으로 교차 인식하는 오인식율은 약 8.95%, 평균 입도가 낮은 지역의 인식 면적 차이는 사용자 분류를 기준으로 약 2.06%로 나타났다. 이러한 결과는 평균 입도 변화가 해저면 후방산란에 가장 큰 영향을 미치는 요인임을 지시하고 있다. 따라서 이러한 후방산란 음압을 평가하여 평균 입도 변화를 추적하는 알고리즘을 구현할 수 있었으며, 최종 모자이크 영상을 두 개의 퇴적체로 자동 분류하는 시스템을 구현하게 되었다.

**주요어 :** 다중빔, 후방산란, 지리정보, 입도, 분류

\*Corresponding author: joseph@ust21.co.kr

## 1. 서 론

해저면 분류작업(Seabed Classification)은 해양과 관계된 모든 연구의 기초이다(Intelmann *et al.*, 2007). 지금까지 수심에 따른 분류, 피복상태에 따른 분류(Lee *et al.*, 2004), 기원에 따른 분류(Lo Iacono *et al.*, 2007), 지형 경사도에 따른 분류, 자원의 존재 여부에 따른 분류(Bishwajit and Vijay, 2004), 해양오염퇴적물 분류 등 다양한 주제에 따른 분류작업이 진행되어 왔다. 기존의 분류작업의 기초가 된 것은 유한개의 선택지점에 대한 샘플링 자료의 분석이었다(Cho *et al.*, 2004; Gary *et al.*, 2000). 그러나 최근 발달한 음향 센서의 개발로 인하여, 직접적인 시료분석에만 의존하지 않고, 연구 대상 해역 전면에 대한 음향 탐사 자료 등의 간접적인 원격 자료(Acoustic Remote Sensing Data)를 토대로 정량적인 분류 특징을 추출하여 해저면을 분류하려는 연구 수요가 증대하고 있다(Medialdea *et al.*, 2007). 특히, 정확도 높은 DGPS 및 수중음향 탐사 시스템의 활용증대는 해저면 특성 분류의 공간적 정확도 및 정밀도를 향상시켜 왔으며, 이에 따른 현 시기 문제는 기존 샘플링 자료 분석기법(단빔 음향 측심 포함)에 비해 폭넓적으로 증대한 대용량 탐사자료에 대한 효율적인 처리와 정보압축기법의 개발이다. 최근의 연구에서는 대용량 탐사자료를 처리하고 이를 한정된 도시자원(Display media)에 신속정확하게 표현하기 위한 특징 자료의 추출이 문제화되고 있는 실정이다. 이러한 시점에서 해저면 원격 분류 작업은 대용량 탐사자료(Raster)를 벡터자료(Vector)로 표현, 저장, 유통하고자 하는 실용적 접근방법의 하나이다(Joe Breman *et al.*, 2002).

다중빔 음향 탐사(MultiBeam Echo Sounder) 시스템은 대용량 탐사자료의 대표적인 시스템 중 하나이다. 다중빔 음향 탐사 시스템은 단일빔(Single Beam Echo Sounder)이나 첨(Chirp) 시스템에 비하여 월등히 좁은 복수개의 정확히 지향된 방사빔을 이용하여, 해저면의 기복과 해저 표면 및 천부에서의 후방산란을 연속적으로 기록하는 시스템이다. 빔의 지향각 및 관측지점의 지형 프로파일과 후방산란의 강도가 지속적으로 기록되기 때문에, 기존의 측면주사 음파 탐지기(Side Scan Sonar)가 가지는 평坦 해저면 가정에 따른 지형효과 보정의 불가능성을 해소하고 있다(Hughes Clarke *et al.*, 1996). 다중빔 음향탐사 자료는 지형 효과에 따른 입사각 저하 등을 모델식이 아닌 해저지형과 송수신기(transducer)의 기하학적 관계를 추정하여 보정해 줄

수 있다. 또한 입사면적을 정량적으로 계산할 수 있기 때문에, 소나방정식을 이용한 해저면 자체의 임피던스(impedance)에 근거하여 연구 대상 전면 해역에 대한 후방산란 강도를 보정할 수 있는 기록을 갖게 되었다. 즉, 다중빔 음향탐사 시스템은 측면주사 음파 탐지기의 모자이크 영상 분석에서 분류 알고리즘에 영향을 끼쳤던 지형효과를 효과적으로 보정할 수 있는 송수신기의 실시간 3차원 운동 등의 부가 자료를 제공하고 있다.

이러한 다중빔 음향 탐사 자료의 개선된 자료기록 시스템으로 인하여, 다음과 같은 연구가 활발히 전개되고 있다. 특정 주파수대의 음향신호를 이용하여 해저면 경계에서의 음향 임피던스를 역산, 해저면의 음향 특성을 기초로 해저면 물성을 추정하는 해저면 음향 특성 분류 연구가 진행되었다(Hamilton *et al.*, 1956; KORDI, 1991; C. Park *et al.*, 2003). 최근에는 광역의 해저지형과 음향 후방산란 신호를 동시에 취득 가능한 다중빔 음향 탐사자료를 이용한 특정 공간해상도 기반의 100% 전역 조사 자료를 대상으로 해저면을 분류하고자 하는 연구가 진행되어 왔다(J.M. Roberts *et al.*, 2005; Luciano *et al.*, 2007; Andreas *et al.*, 2007). 전역 조사된 해저면 음향 탐사자료는 비동질 신호군을 나타내는 지역에서의 시료 분석 자료를 기반으로 연구 대상지역을 주요 주제로 신속하고, 정량적으로 나누는 기반을 조성해 왔다(Hamilton, 2005).

다중빔 후방산란 자료를 기반으로 한 해저면 분류 알고리즘은 소나 방정식에 기반한 음압 감쇠(attenuation) 모델에서부터 특성을 추출, 분류하는 방법이 있다. 그리고 모자이크 영상을 구성한 후 모자이크 영상내의 텍스쳐 특성에 기반하여 분류하는 방법 두 가지로 대별될 수 있다. 하나는 다중빔 후방산란 자료의 입사각에 따른 음향 감쇠가 이질 물성에 따라 달라지는 특성을 이용하여, 한 번의 송수신으로 얻은 복수개의 음향 신호의 감쇠곡선에 따라 해저면을 분류한다(Hughes Clarke *et al.*, 1996; Kong *et al.*, 2006). 이와 달리 후처리된 모자이크 영상을 대상으로 위성영상 분석에 사용된 텍스쳐 기반 분류 알고리즘과 같이 소나 영상 내 규칙적인 텍스쳐의 분포 특성을 주파수 분석이나 GLCM(Gery-Level Co-occurrence Matrix)에서 제공하는 특징으로 전환하고, 이를 이용하여 해저면의 텍스쳐 특성과 물성을 연결하는 방법을 제시하고 있다(Cutter *et al.*, 2003; R. Dietmar, 2007). 국내에서는 단일빔을 이용한 해저면 분류, 혹은 잘피(seagrass)와 같은 피복상태의 정량화를 위한 음향신호 분석 등이

제시되었다(La *et al.*, 2005). 그리고 상용 해저면 분류 프로그램을 이용하여 이에 대한 평가 연구가 진행되었다(Kim *et al.*, 2002).

그러나 기존의 연구에서는 단일빔 혹은 칩 자료를 이용한 해저면 프로파일 자료를 대상으로 시행되었으나, 본 연구에서는 해저면의 지형적 특성과 음향학적 특성을 모두 활용할 수 있는 다중빔 음향 특성 자료를 대상으로 조사 해역 전체에 대한 효과적인 분류시스템 개발을 위한 기초 연구 작업을 수행하였다. 상용화된 다중빔 음향 탐사자료의 특성을 분석하고, 분석된 특성 중에서 해저면 물성과 연결 지을 수 있는 특징을 찾기 위한 분석 프로그램과 탐사자료 및 해저면 시료 자료의 공간적 상관분석을 위해 모든 자료를 지리정보 시스템으로 구축, 개발 알고리즘의 평가에 활용하였다. 본 연구에서는 다중빔 음향 탐사 자료를 대상으로 해저면 물성 원격 분류를 수행하기 위한 탐사자료 분석 방법과, 통계적 특징 추출에 근거한 해저면 원격 분류 결과의 정확도 평가 결과를 제시 한다.

본 연구는 해저면 후방산란 정보를 이용하여 기존의 해도(Nautical chart)에서와 같이 퇴적상을 하나의 점(point) 성분으로 표시하여 나타날 수 있는 경계의 불확실성을 해소하는 방법적 기초를 제공한다. 후방산란 음압 영상과 지형 모델을 이용하여 퇴적상 정보를 경계를 가진 특정 영역(polygon)정보로서 표시하면, 시료 정점만을 표시하고 있는 해도의 모호성을 크게 개선할 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

## 2. 현장자료 취득과 처리 방법

### 2.1 현장 자료 취득

본 연구를 위하여, 2003년도 국립해양조사원 동해호 선저에 장착된 KONGSBERG SIMRAD EM3000 (300 kHz)를 이용하여 속초항 방파제 외측 전면해상을 조사하였다(Fig. 1). 본 연구 대상지역은 위도 38°11'31"N ~38°12'39"N, 경도 128°35'35"E~128°36'48"E까지 총 조사면적은 1.8 km×2.4 km이고, 수심은 최소 약 5 m에서 최대 22.7 m까지 분포를 나타내었다. 관측 수심 자료는 최종 처리과정을 거친 1 m 격자의 DEM자료를 이용하였으며, 두 가지 모드의 후방산란자료(Amplitude, Side Scan Sonar) 중 사이드스캔 소나 자료를 1 m 공간 해상도와 32bit 계조화상의 모자이크 영상으로 제작하였다. 사이드스캔 소나 원 신호 자료를 분석하고 모자이크 영상으로 구성하기 위하여, 별도의 소프트웨어를 자체 구현하였다(EM-Class). 본 연구는 후방산란

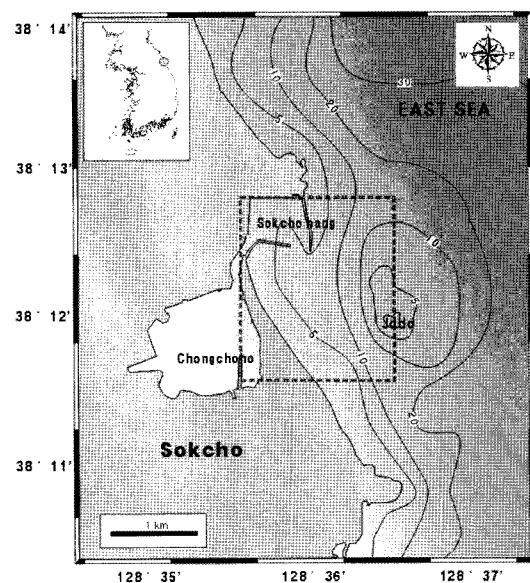
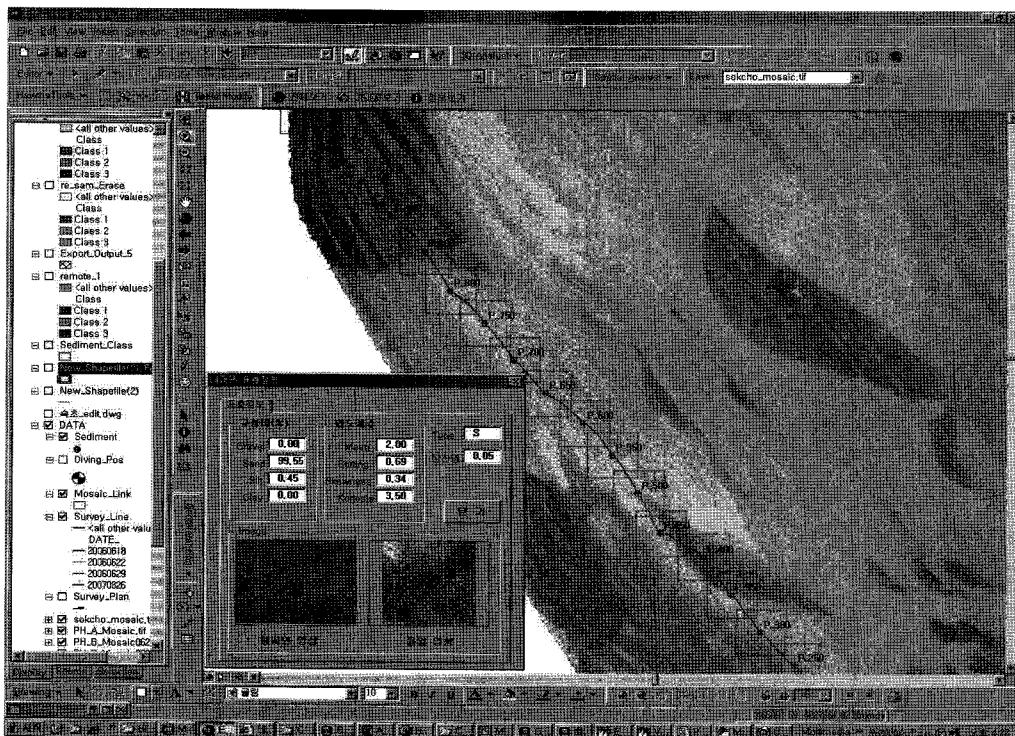


Fig. 1. Map showing the study area(dash line box).

모자이크 영상에서 이질적인 영역으로 나타나는 개별 지역에서의 시료의 특징을 파악하여 후방산란과 가장 상관성이 높은 해저 퇴적물성을 파악하는데 있다. 따라서, 후방산란 영상 내 음압이 변화되는 경계치에서의 연속적 물성변화가 있는지를 확인하기 위하여, Fig. 2와 같이 여러 경계를 지나가는 직선 1 km 선정하고 잠수사의 도움으로 50 m 간격으로 해저면 수중 사진과 해저면 퇴적물을 채취하였다. 잠수 조사시 수중 육안조사 및 시료채취 작업의 정확도를 위해 1,200 m의 PP로프에 50 m 간격으로 라벨을 표시하고, 로프의 양 성부력을 없애기 위해 50 m마다 웨이트(weight)를 설치한 후, 각 정점에서 수중 촬영 및 표층 퇴적물 시료 채취를 진행하였다. 수중촬영은 전체구간에 대해 비디오 촬영을 하였고, 정점위치에서 직하방으로 30 cm 이격하여 촬영하였다. 퇴적물의 입도분석은 Ingram(1971)의 표준입도분석 방법에 의거하였으며, 0.25 간격으로 세밀하게 분석하였다. 퇴적물의 평균입도, 분급 등의 통계적 입도상수는 Folk and Ward(1957)의 계산식에 의해 구하였다. 또한 10보다 세립한 입도의 질량은 외삽법에 의한 균등분배방식에 의해 구하였다. 분석의 결과와 수중사진 시료는 Fig. 2에서 보여주는 바와 같이, ESR上의 ArcMap 시스템으로 통합하였다. 해저면 분류에 사용될 모든 자료는 위치 기록을 기준으로 GIS 시스템으로 통합하였으며, 지형특성, 후방산란 모자이크 영상, 시료 조사 위치, 시료 분석 결과 등을 하나의 화면



**Fig. 2.** GIS system of acoustic remote classification (under-water camera, mosaic patch imagery, sediment sample analysis, sampling points, etc.).

에서 조회, 분석할 수 있도록 하였다.

## 2.2 후방산란 음압 자료 전처리

다중빔 후방산란 음압자료로 해저면 분류 시스템을 개발하는데 있어, 두 가지 물리적인 어려움이 있다. 하나는 송수신기 직하방에서 수신되는 신호의 직하부 반사(normal reflection)에 따른 음압 강화 현상에 따른 오류이며, 이는 조사선 진행방향으로 선형 오류로서 나타낸다. 또 하나는 입사각에 따른 음압 약화 현상인데, 하드웨어마다 이를 내부적으로 처리하여 파일 레코딩하기 때문에, 원자료에 담겨있는 정보를 이용할 수 없다. 입사각에 따른 음압 약화 현상은 해저면의 물성과도 연관되기 때문에 원 음압 자료의 특성을 분석하기 위하여, 하드웨어적 이득보정을 역산하여 원음압을 복원하는 전처리과정이 필요하다.

전처리 과정은 두 단계로 나뉘어 이루어진다. 하나는 개별 후방산란 음압 트레이스를 영상으로 전환하는 과정이며, 또 하나는 직하방 지역의 음압 보간이다. 입사각 별 즉 개별 빔에 해당하는 복수개의 음압 정보를 추출하기 위하여, KONGSBERG SIMRAD EM3000 시스템의 기록 파일 프로토콜을 분석하고, 이로부터 주

요 정보를 추출하기 위한 I/O 라이브러리 및 파일 전처리 과정을 자체 구현하였다. 다중빔 음향 탐사 시스템은 탐사 수심 및 입사각에 따라 빔의 탐지 면적(Foot print area)이 변화하며, 빔 탐지 면적에서 수신된 음압의 샘플링 개수도 Fig. 3과 같이 증감한다. 빔별 입사각 보정 및 수심에 따른 추후 이득 보정을 위하여 개발된 SW 내부 메모리에 기록한다.

또한, 후방산란 음압의 인접 공간간의 특성 분석을 위하여, 음압을 256계조의 Bitmap화소로 변환할 필요가 있다. 이는 복수개의 후방산란 음압을 육안으로 분석하기 위하여서도 영상전환과정이 필요한데, 이때 직하방 지역 즉 빔 탐지면적이 좁아 음압 샘플 갯수가 작은 지역에서는 전환 영상내에서 음압이 할당되지 않는 영역이 발생한다. 이러한 현상은 영상 전환에서 오는 오류이며, 각 화소값의 공간 좌표계로 변환하여 작성되는 모자의 영상에서도 직하방 오류로 나타나게 된다. 위 문제를 해결하기 위하여, Oliveria가 제시한 알고리즘을 이용하여 직하방 지역 영상 보정을 실시하였다(Oliveria and Hughes Clarke, 2007). 이를 통해 멀티빔 탐사 시스템의 고유의 직하방 산란음압의 샘플링 변화율을 일정하게 유지할 수 있었다. Fig. 4(a)는 상

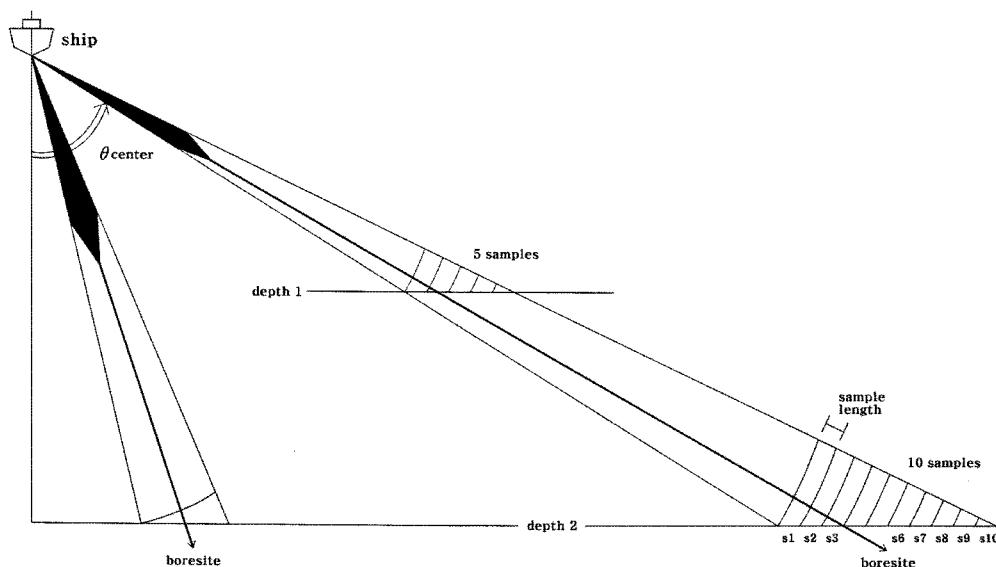


Fig. 3. The sampling method of side scan sonar of KONSBERG SIMRAD EM3000 (Oliveira *et al.*, 2007).

기 처리가 이루어지고 난 후 작성된 영상이다. Fig. 4(b)에서 보면 송수신기가 위치하는 직하방 지역(붉은 색 사각 영역)에서 취득된 데이터가 적은 것을 볼 수 있다. 특히 EM3000 다중음향탐사시스템 자체의 실시간 음압 평활화(smoothing)를 수행하여, 외곽부의 후방산란과 음압과 직하방 부분 음압을 비슷하게 맞추면서 강제 조정이 이루어지는 부분이다. Fig. 4(b)는 직하방부분에서 발생하는 미측자료를 주변 자료를 이용하여, 보간 처리한 후의 영상이다.

### 2.3 후방산란 음압신호 복원 및 분석

실제 각도별 후방산란 곡선과 매질의 관계를 분석하

기 위해, 퇴적물 시료 채취 지역을 통과하여 취득된 자료를 대상으로 각도별 후방산란 곡선을 작성하였다. 이를 위해, 후방산란 모자의 영상을 분석한 후, 2.1 절에서 전술한 바와 같이 해저면 표층퇴적물을 취득한 후 입도분석 자료를 해저면 특성 참값으로 활용하였다. 그리고 시료 채취 지역의 위치에서 후방산란 곡선을 추출하였다. 추출된 개별 곡선 자료는 많은 잡음이 포함되어 있기 때문에, 평균화 과정을 통해 잡음을 제거하였다. 또한, 시료 채취 지점의 수중 위치 불확실성을 고려하여 해당 시료 채취 지점을 기준으로 전후 25개씩 총 51개의 평을 평균하여 각도별 후방산란 영상(Fig. 5(a), (c))과 후방산란 평균 음압 그래프(Fig. 5(b), (d))

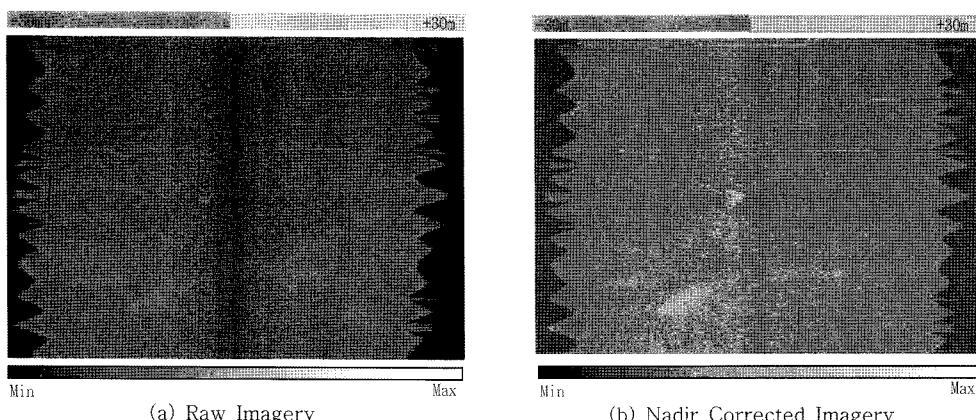
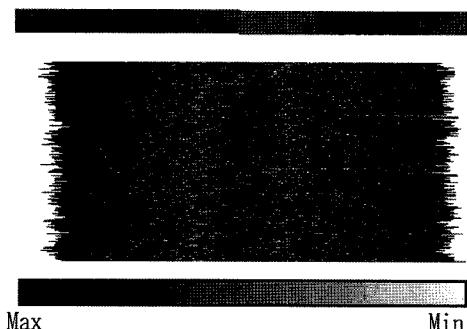
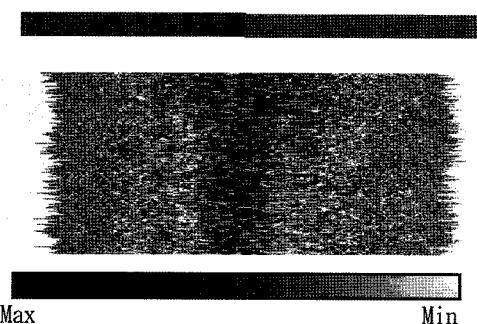


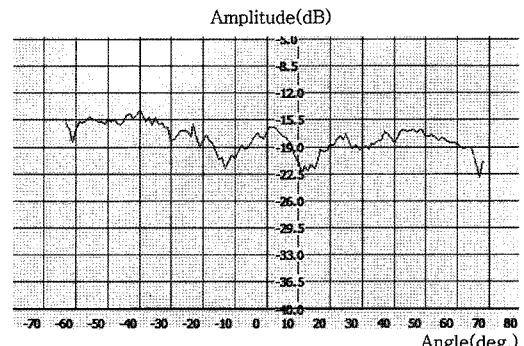
Fig. 4. Nadir area interpolation of multi-beam backscattered data.



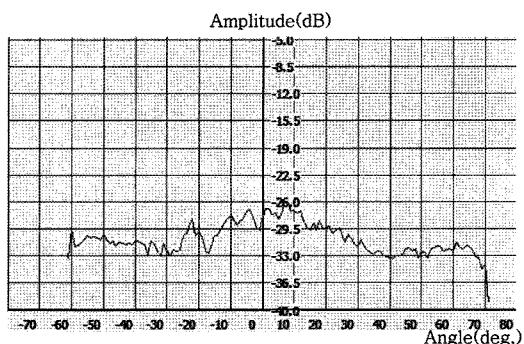
(a) Patch of average amp. -19dB



(c) Patch of average amp. -25dB



(b) Average amp curve as incidence angle



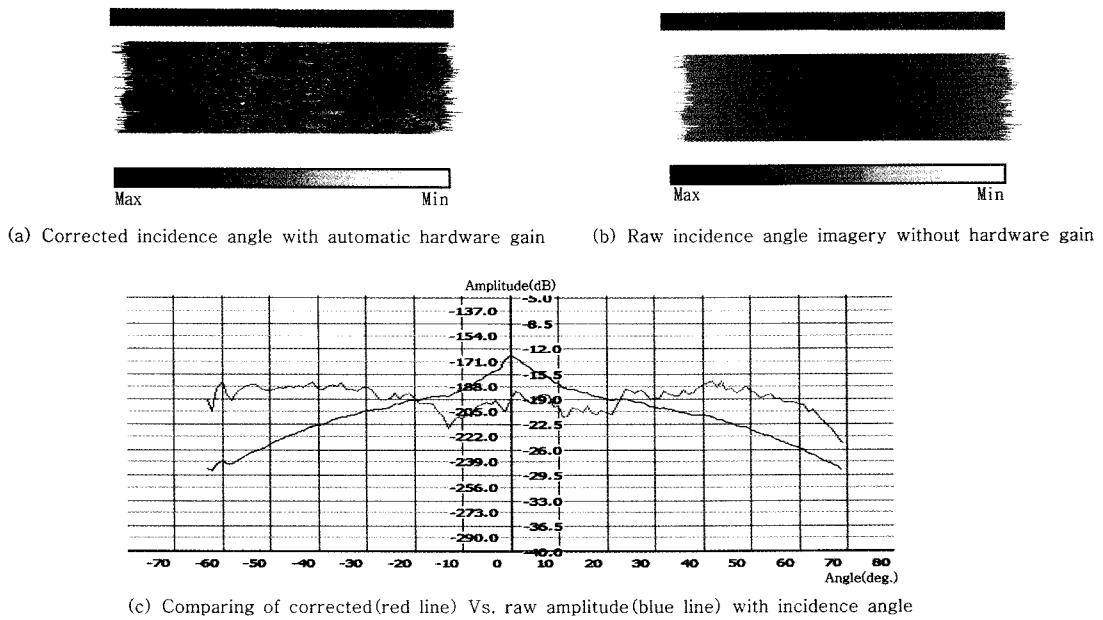
(d) Average amp curve as incidence angle

**Fig. 5.** Patch imagery of backscatter strip and amplitude curve as incidence angle.

를 작성하였다. 또한 입사각 역계산을 위해 직하방 빔의 선정이 필요하다. 본 연구에서는 다중빔 음향 탐사 시스템의 중심 빔 번호가 아닌 선박의 요동을 반영하여 트랜스듀서로부터 해저면까지 측정한 경사거리(Slant Range) 중 가장 짧은 거리를 나타내는 빔을 직하방 빔으로 동적으로 선정하였다.

Fig. 5는 대표적으로 지형이 평활하고 음압이 일정한 지역의 각도별 후방산란 곡선이다. Fig. 4(a)와 (b)는 평균 음압 -19dB를 나타내는 지역이며, Fig. 5(c)와 (d)는 평균 음압 -25dB를 나타내는 지역이다. Fig.(a)와 (b)는 51개의 연속 평에서 얻어진 후방산란 음압을 256계조의 음압영상으로 변환한 것으로, 음압이 강하게 나타나는 것을 흑색으로 표현하였다. Fig. 5(b)와 (d)에서 가로축은 입사각을 나타내고, 세로축은 후방산란 강도를 나타낸다. Fig. 5의 후방산란 음압 그래프는 원자료 파일에 기록된 음압을 표현한 것으로, 입사각과 전달 거리에 따른 음압 감쇠 현상이 나타나지 않고 있다. 그 이유는 EM3000 프로세서에서 입사각 이득 보정을 적용하고, 파일에 기록하기 때문이다. 해저 표층 퇴적

체의 물성에 따른 입사각 감쇄 현상은 간접적으로 해저면의 특성을 알아낼 수 있는 지시자 역할을 할 수 있음으로, 입사각 이득 보정 전 신호의 추출은 음압을 이용한 해저면 분류에 필수적이다(Hughes Clarke, 1996). 본 연구에서 KONGSBERG EM 계열의 파일 구조를 분석하여, 파일내에 기록된 하드웨어 이득 파라메타를 추출하였고, 이를 기반으로 다음과 같이 원신호를 복원한 후 분류의 주요 특징으로 사용하였다. Fig. 6과 파일에 기록된 음압 곡선(적색실선)과 본 연구를 위해 원 신호를 복원한 음압 곡선(청색실선)을 보여주고 있다. Fig. 6(a)와 같이 파일에 기록된 음압을 영상으로 도시하면 입사각도(수평축)에 무관하게 평활화되어 있는데 이는 원 신호에 특정 보정 알고리즘을 적용하여 직하방 자료의 개선을 시도한 것에 의미가 있다. 그러나 입사각과 해저면 구성에 따라 달라지는 음압 특성 곡선을 추출하기 위해서는 Fig. 6(b)과 같이 음압 평활화 전의 신호특성이 요구된다. 파일에 기록되어 있는 입사각별 특정 보정 신호를 재작용하여, 그 그래프를 구성하여 본 결과, Fig. 6(c)과 같은 음향 특성



**Fig. 6.** Retrieving of raw signal from corrected signal with automatic hardware gain.

에 반영된 곡선을 얻을 수 있다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 지형 특성 및 표층 퇴적물 입도 분포

지형은 서측의 연안부에서 동측 외へ로 가면서 경사도  $0.68^{\circ}$ 로 점차 깊어지고 있으며, 또한 남측에서 북측으로 가면서  $0.27^{\circ}$  경사도로 깊어지고 있다. 조사구역 북측과 남측에는 해저 노출암반이 대형 암초를 중심으로 산재되어 있으며, 암초와 암초 사이에 모래들이 꾀복되어 있음을 후방산란 음압 영상 자료에 나타난 연흔(ripple) 자료를 통해 확인 할 수 있었다. 그리고, 총 25 정점에서 취득한 시료를 입도 분석하였다(Table 1). 대부분 지역에서의 퇴적물 유형은 사질(sand)로 나타났고, 작은 자갈(pebble) 등이 섞여 있는 지점에서 평균(Mean) 값이 낮게 나타났으며, 평균값의 분포와 해저면 후방산란 음압 값과의 공간적 상관관계가 다른 계수에 비하여 상대적으로 높게 나타났다.

Fig. 7은 연구대상 지역에서 취득한 다중빔 음향 측심 자료를 1m 격자 모델로 생성하여 기복에 따른 3 차원 모델로 가시화한 것으로, 친해구역은 적색으로 심해구역은 점차적으로 파란색으로 표현하였다. 3차원 지형 모델 위에 해저면 피복 상태를 후방산란 음압 영상 자료로 재구성하기 위하여, 텍스쳐 모델(Texture Model)을 제작하였다. 이를 통해, 후방산란 음압 영상에 반영

된 지형적 특정 영역과 표층 퇴적물 물성에 따른 특징을 쉽게 구분할 수 있다. 즉, Fig. 7(b) 지역 모델에서 나타나고 있는 암반 지대는 후방산란 강도가 주변보다 매우 강하기 때문에, 후방산란 음압 영상 모자이크 영상에서도 백색계열로 표현되고 있다. 이는 남측의 암반지대에서도 동일한 효과로 나타나고 있음을 지형과의 복합모델링을 통해 공간적 유사성을 확인할 수 있다(Fig. 7(c),(e)).

#### 3.2. 후방산란신호 분석

해저면 표층 퇴적물 분석을 통해 해저면의 특성을 입도특성으로 모델링한 결과와 샘플링 지역을 통하여 취득된 후방산란 신호와의 상관성 분석을 위하여 원자료 신호분석을 실시하였다.

시료를 채취한 지점의 측정 평을 추출하여 곡선을 그려보면 Fig. 8과 같이 나타난다. 하드웨어적으로 보정된 신호의 경우, 이질적인 매질을 보인 지점에서 약  $-10\text{dB}$  정도의 차이를 나타내었고, 이를 이용하면 손쉽게 두 개의 그룹으로 구별할 수 있다. 그러나 이미 평활화 된 신호에는 매질에 따른 물리적 감쇠 정보가 손실되기 때문에, 신호만으로 매질을 추정하기 위해 필요한 정보의 손실이 따른다. 이를 위해 원음압 신호를 복원하였고, 매질에 따른 음압 감쇠곡선의 특성을 파악하였다. 즉, 자동 분류와 분류 후 미지그룹의 매질 특성을 추정하기 위하여 두 개의 곡선을 모두 사용하

**Table 1.** Analysis results of sediment samples

Sample ID	Composition (%)				Statistical Parameters			Type
	Gravel	Sand	Silt	Clay	Mean	Sorting	Skewness	
0	0.00	99.55	0.45	0.00	2.00	0.69	0.34	3.50 S
50	0.00	98.83	1.17	0.00	2.07	0.71	0.54	4.11 S
100	0.00	98.60	1.40	0.00	2.30	0.69	0.38	3.40 S
150	0.00	94.78	5.22	0.00	2.86	0.70	0.18	3.29 S
200	3.89	95.52	0.59	0.00	1.07	1.32	-0.84	3.82 (g)S
250	0.62	98.96	0.42	0.00	1.61	0.88	-0.36	5.90 (g)S
300	0.00	99.76	0.24	0.00	1.51	0.73	-0.01	4.01 S
350	0.00	99.49	0.51	0.00	1.41	0.75	0.38	4.69 S
400	2.04	97.42	0.54	0.00	1.15	1.09	-0.51	4.82 (g)S
450	0.00	99.86	0.14	0.00	1.48	0.70	-0.07	4.08 S
500	0.00	99.64	0.36	0.00	1.40	0.75	-0.18	5.24 S
550	0.00	99.44	0.56	0.00	1.44	0.81	0.00	4.83 S
600	1.14	98.70	0.16	0.00	0.89	1.00	-0.84	4.19 (g)S
650	0.48	99.31	0.21	0.00	0.69	0.92	-0.18	3.68 (g)S
700	0.00	99.76	0.24	0.00	1.13	0.76	0.13	3.88 S
750	0.00	99.61	0.39	0.00	0.88	0.77	0.54	4.72 S
800	0.00	98.53	1.47	0.00	2.13	0.82	0.17	3.19 S
850	0.00	98.53	1.47	0.00	1.82	0.93	0.30	2.87 S
900	0.00	98.58	1.42	0.00	2.67	0.71	-0.50	4.43 S
950	0.00	98.58	1.42	0.00	2.54	0.80	-0.50	3.69 S
1000	0.00	94.36	5.64	0.00	2.71	0.87	-0.36	4.14 S
1050	0.00	94.98	5.02	0.00	2.56	0.89	-0.26	3.81 S
1100	0.00	98.45	1.55	0.00	2.40	0.95	-0.76	3.86 S
1150	0.00	96.81	3.19	0.00	2.68	0.95	-0.87	4.12 S
1200	0.00	98.59	1.41	0.00	2.14	0.70	0.36	4.11 S

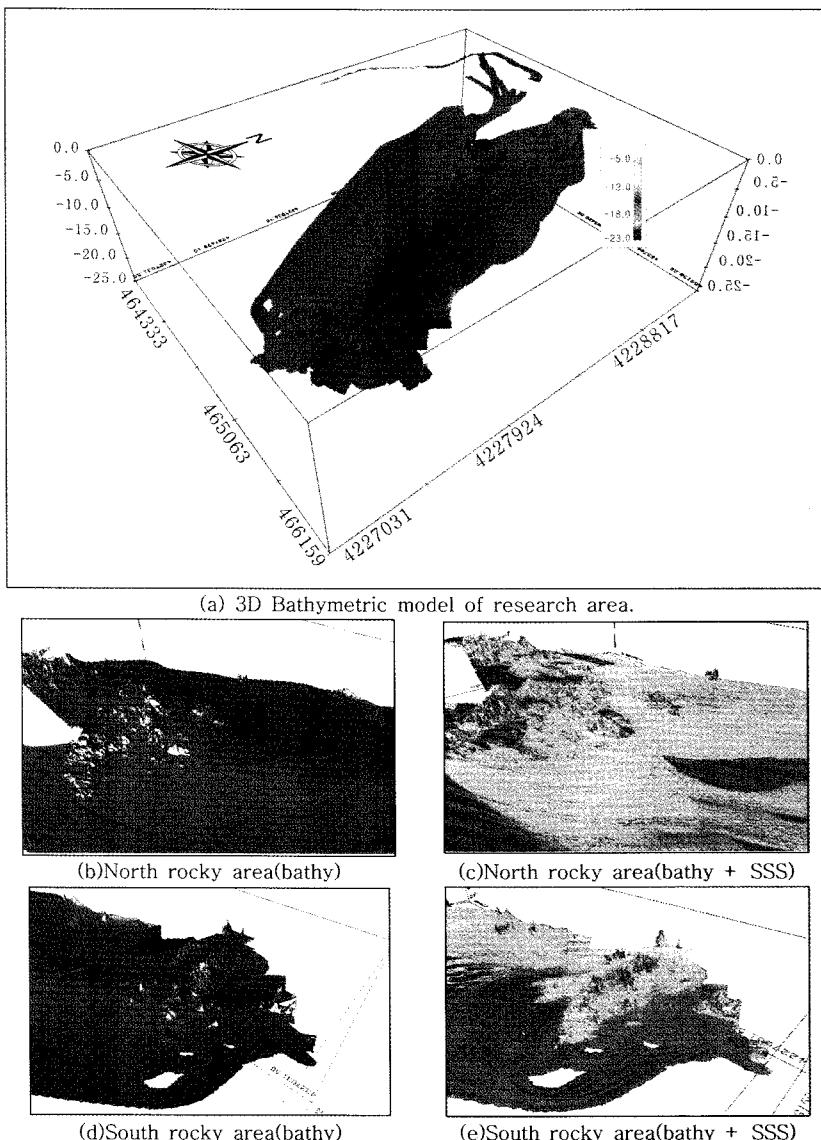
\*S: Sand, (g)S: Slightly gravelly sand

였다. 음압의 범위는 최대 -15dB에서 최소 -36dB까지 나타났다.

Fig. 8(a)은 다중빔 음향 탐사시스템에서 평활화 음 압(우측 그래프)을 보정 전 음압으로 전처리 한 후 나타낸 것이다. Fig. 8(b)은 입사각도에 따라 자연스럽게 약화되는 음압강도를 입사각에 무관하도록 평활화 한 것이다. 이를 통해 신호를 영상으로 전환하였을 경우, 보다 강화된 시각적인 효과를 발생시킬 수 있다. 상기 후방산란 곡선을 보면 모두 사질에서 보여 지는 곡선의 특성을 나타내며, 큰 각도에서는 곡선이 2가지의 패턴으로 분리되는 것을 볼 수 있다. 그러나 수신각도가 작아질수록(송수신기 직하방에서 얻어진 음압일수록) 변별력이 저하되는 것을 알 수 있다. 또한, 두 패턴을 정량화하여 분류하기 위해 채취된 매질의 특성 중 가장 상관 관계가 높은 평균입도 크기(Mean Grain Size)와 곡선에 대한 최대 음압값, 적분값, 구간별 평균 음압(50평)으로 구별해 상관관계를 알아보았다. 여기서 적분값이라 함은 측정 각도 내에서 모든 음압값을 모

두 합한 값이다. 후방산란 음압의 누적평균치와 평균 입도간의 상관관계 분석을 통해 그레프 상 확인하게 구분되는 두개의 집단이 나타남을 볼 수 있었다. Fig. 9는 시료 채취지역에서 취득한 지역의 모자이크 영상 내 화소값과 입도 크기를 비교한 그레프이다. 파일에 기록된 보정된 음압 신호는 모자의 영상 내 화소값(pixel value)으로, 양자화 과정에서 dB값으로부터 전환되어 32bit의 범위를 가지게 된다.

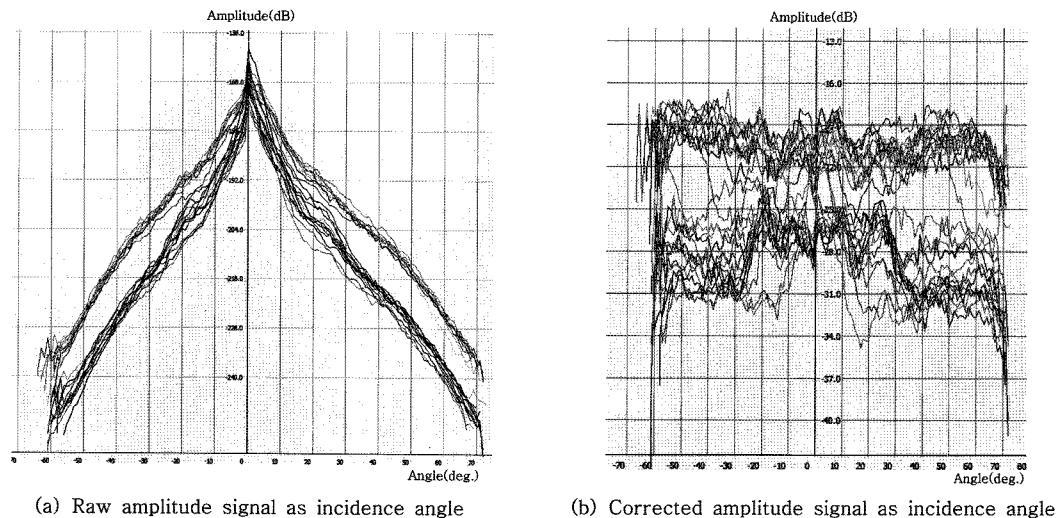
해저면 분류 시스템의 핵심인 자동 분류는 Fig. 9의 그레프 좌상단에 몰려 있는 시료와 좌하단에 몰려 있는 시료를 두 개로 구분하는 직선을 자동적으로 구하는 과정으로 정의할 수도 있다. 각각의 군집이 해저면 물성 정보를 탐지하고 후방산란 신호와도 일정한 상관 관계가 형성된다면, 후방산란 신호를 이용한 해저면 원격 분류가 가능하게 된다. 보정된 신호와 시료의 평균 입도 크기를 대비하여 본 결과 R 값은 0.56였다. 상관 관계 값으로는 그리 높지 않은 수치이나, 군집의 구성 형태로 보면 두 개의 그룹으로 확실하게 구분되는 경



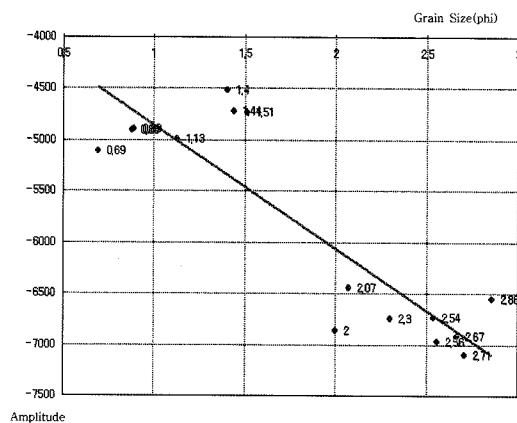
**Fig. 7.** Data fusion of seafloor texture (backscattered amplitude) on 3D bathymetric model.

향을 보인다. 이는 모자이크 영상 분석에서도 미찬가지로 확인할 수 있는데, 해저면 영상의 음암 수치와 입사각에 따른 신호를 두 개의 군집으로 나누어 자동 분류의 기준치로 설정하였다. 이러한 분류 기준은 최근 연구에서 보여준 바와 같이(Kong *et al.*, 2006), 퇴적물내의 탄산염 농도와 후방산란 강도 사이의 상관 분석 결과의 활용도 가능하게 해 줄 수 있을 것이라 판단한다. Fig. 10은 원격탐사 자료의 분류 정확도를 확인하기 위하여, 취득한 샘플을 취득 자료와 원격탐사 자료를 대비한 것이다. 조사구역 남쪽지점에 시작된

50m 간격마다 해저면 수중사진과 샘플채취 분석결과를 동일 위치에서 얻은 모자이크 영상 패치와 후방산란 신호와 대비하여, 분류 성능을 검증하는데 사용하였다. 남측 샘플 시작지점으로부터 150m 지점에서 취득한 해저면 영상에서는 사질 퇴적층위에 생흔(bioturbation)이 산재되어 있는 것을 보여주고 있다. 600m 지점에서는 패각(shell)과 입자가 굵은 모래가 혼재되어 있는 상태를 보여주었으며, 후방산란 강도가 이 지점에서 강한 것이 조립한 표층 퇴적물을 기인한 것으로 추정하였다. 1,100m 지점은 속초항 방파제 입구 부근으로,



**Fig. 8.** Raw amplitude Vs. HW corrected amplitude signal as incidence angle at each grab sediment sampling locations.



**Fig. 9.** Scatter plot of Median Grain Size Vs. Cumulative of Backscattered Amplitude.

극세립사(very fine sand)와 니질(mud)이 혼재되어 미세한 연흔(ripples) 구조를 이루고 있었다.

후방산란 음압자료를 원격탐사 대상 자료로 하고 샘플 취득 자료를 현장 대비 자료로 하여, 전체 음압 자료에 대한 분류 알고리즘의 임계치(-23dB)를 설정하고 모자이크 영상을 대상으로 해저면 분류를 실시하였다. Fig. 11은 다중빔 음향 탐사 시스템에서 취득된 후방산란 음압 모자이크 영상 자료를 대상으로, 송수신별로 취득되는 후방산란 특성 곡선의 강도 및 모자이크 영상 화소값을 대상으로 영상을 분류한 결과를 보여주고 있다. Fig. 11(a)는 초기 대상 모자이크 영상을 나타내며, Fig. 11(b)는 후방산란 음압곡선의 특성과 모자이

크 영상내 화소의 군집특성(텍스처)를 기반으로 분류한 것으로, 사용자가 분류군의 개수를 2개로 지정하였다. Fig. 11(c)는 초기 알고리즘에 기반하여 나온 결과를 대상으로, 너무 작은 영역으로 분류된 영역을 이웃한 대군집 영역의 분류군으로 재조정한 결과이다. 너무 작은 화소군의 군집은 현장 노이즈에 의한 결과로 판단, 이를 임계치 이상의 군집을 이루는 이웃 군집으로 재선정하기 위하여, 디지털 영상처리 방법 중 수치적 모폴로지기법(Numeric morphology)을 이용하였다.

### 3.3 해저면 분류 성능평가

잠수조사로 취득한 시료채취에 대한 입도 분석결과를 GIS 시스템을 활용하여, 해저면 영상 및 해저면 분류 폴리곤과 결합하여 위상을 생성하였다. 즉, 자료를 구조화하여 시스템을 구축하고 각각의 속성정보를 입력하여 성분별 패턴을 음압영상과 맵핑하여, 입도 결과 분석 자료와의 공간적인 분석을 수행하였다. 샘플 채취 지점 위치 정보의 정확도를 고려하여, 샘플 채취 지점을 사각 도형으로 형상화하고, 입도분석에서 취득된 계수에 따라 계조를 변화하였다. 분석 성분별 레이어를 중첩해 본 결과, Fig. 12와 같이 여러 성분들 중에서 입도계수의 평균값을 Class1: 0.69~1.14, Class2: 1.15~1.61, Class3: 1.62~2.30, Class4: 2.31~2.86로 각각 4개의 Class로 구분하여 음압영상과 중첩하여 비교 분석하여 본 경우, 음압영상의 공간적 변화 추이와 가장 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 따라서 입도분석결과 성분들 중에서도 입도계수의 평균값이 음

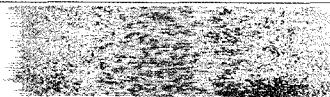
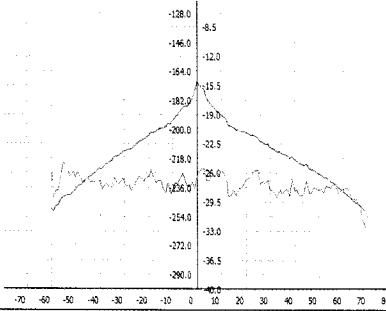
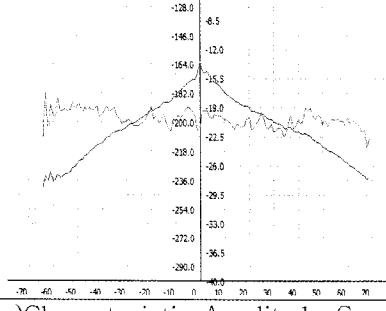
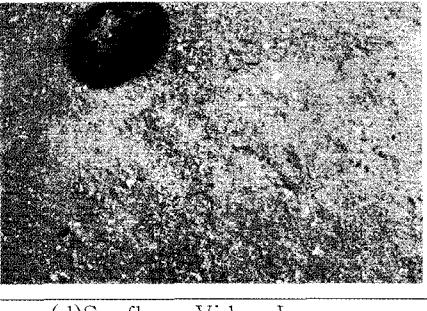
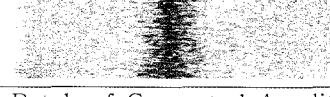
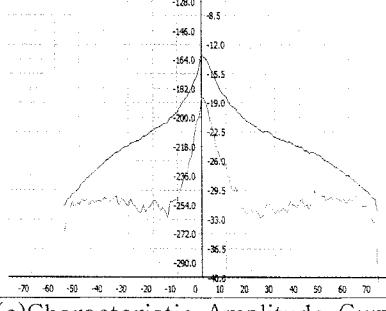
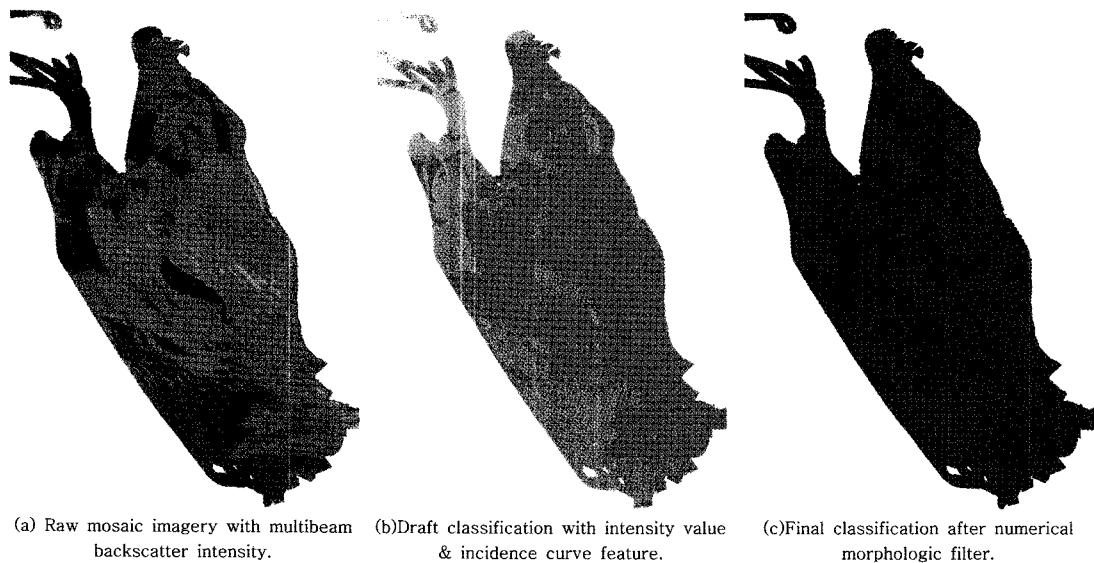
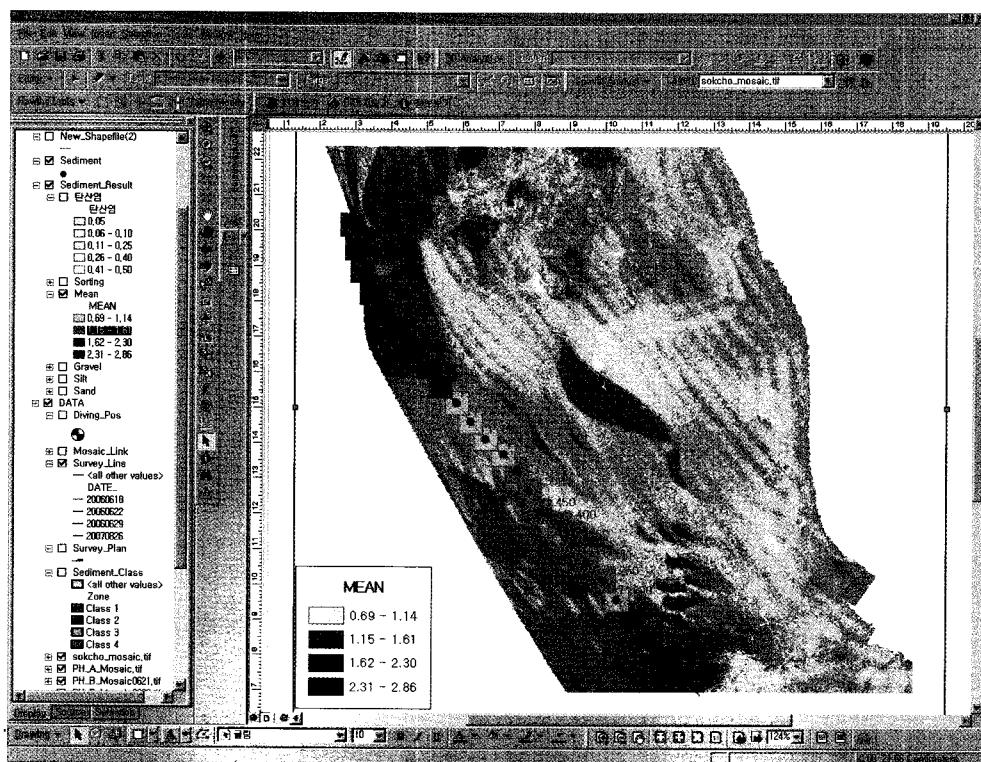
Sampling ID	Remote Sending Data Vs. Ground Truth Data		
(1) 150m (Median Size 2.86, S)			
	(a) Patch of Corrected Amplitude	(b) Patch Image of Raw Amplitude	
			(d) Seafloor Video Imagery
(2) 600m (Median Size 0.89, (g)S)			
	(a) Patch of Corrected Amplitude	(b) Patch Image of Raw Amplitude	
			(d) Seafloor Video Imagery
(3) 1,100m (Median Size 2.4, S)			
	(a) Patch of Corrected Amplitude	(b) Patch Image of Raw Amplitude	
			(d) Seafloor Video Imagery

Fig. 10. Selected Dataset of Ground Truth data at sampling sites.



(a) Raw mosaic imagery with multibeam backscatter intensity. (b) Draft classification with intensity value & incidence curve feature. (c) Final classification after numerical morphologic filter.

**Fig. 11.** Seafloor classification results with developed in-house SW (EMClass).



**Fig. 12.** Geo-spatial correlation analysis between multibeam backscattered mosaic imagery and sediment analysis parameters using GIS.

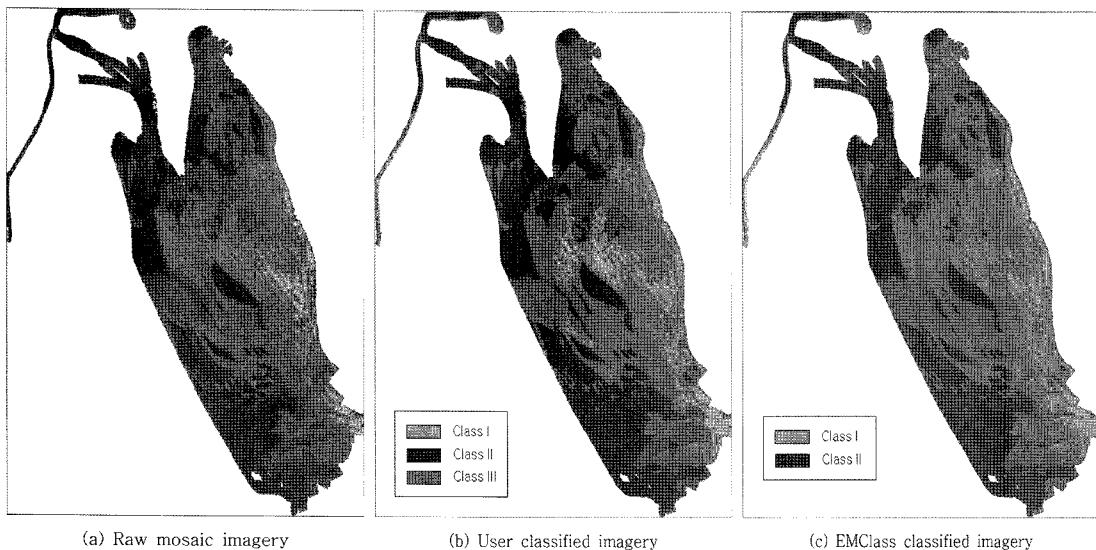


Fig. 13. Comparing of classification results.

입영상과 가장 밀접한 공간적 유사 상관성을 가지므로 확인 할 수 있었다. 또한, 취득된 후방산란 강도를 해저면 특성 원격분류 자동화시스템(EM-Class)을 이용하여 Ground Truth 자료(저질 채취 시료 분석 및 해저면 영상 자료)와 비교 분석, 자동화 성과의 정량적 평가지표를 만들기 위하여, 육안 분석에 의한 클래스별 해저면 영상 분류 면적과 자동 분류된 클래스별 면적의 가감을 평가지표로 삼았다.

구현한 해저면 원격분류 프로그램의 성능 평가를 위해, 동일 모자이크 영상에 대한 육안 분류 성과와 프로그램에 의한 분류 성과를 Fig. 13과 같이 비교하였다. 모자의 영상 육안 분류방법에서는 연구 대상 해역을 음압 강도의 유사성과 텍스처를 이용하여 세 가지 타입의 표층 해저면으로 분류하였다. 이를 해저면 샘플 자료와 비교하여 본 결과, 사용자가 Class I으로 분류한 지역(전체 면적 대비 56.58%)은 평균입도가 높은 모래로 구성되어 있으며, Class II로 분류한 지역(34.47%)은 Class I에 비하여 상대적으로 평균입도가 낮은 지역이었다. 또한 Class III 지역(8.95%)은 후방산란 강도의 불규칙성이 두드러진 특징으로 나타나는 암반지역으로 구분할 수 있었다. 반면, 프로그램에 의한 분류 성과는 암반과 평균 입도가 높은 지역을 하나의 클래스(Class I, 67.59%)로 구분하였고, 나머지 부분은 입도가 낮은 지역(32.41%)으로 분류하였다. 분류 알고리즘은 해저면 샘플 결과에 기반하여 두 가지 클래스로 감독 분류(Supervising Classification)하였기 때문이며, 추후 지역적 지형 기복에 대한 정보를 분류 특성

에 포함시켜 조정과정을 거친다면, 사용자가 인지한 3 가지 클래스 혹은 더 고도의 분류집단으로 분류할 수 있을 것이다. 구현된 알고리즘에 의하면, 암반을 입도가 높은 모래지역으로 오인식한 결과로도 판단할 수 있는데, 이는 사용자 인식면적과 프로그램 인식면적을 대비함으로서 정량화 할 수 있다. 사용자에 의해 분류된 암반과 평균 입도가 높은 지역을 하나의 클래스로 합쳤을 경우, 전체 면적 대비 65.73%이며, 이는 프로그램에서 인식한 Class I에 해당하는 지역으로 67.59%로 약 1.86%의 면적 차이가 있다. 또한, 사용자와 프로그램에 의해 낮은 평균 입도로 구성된 해저면의 면적은 각각 34.47%와 32.41%로 2.06%의 차이가 난다. Class II(낮은 평균 입도 지역)에 대한 인식율은 사용자 분류를 참으로 가정했을 때 약 94%의 인식율을 나타내며, 암반 지역의 경우에는 약 8.95%에 해당하는 면적이 오인식 되었다고 말할 수 있다.

본 연구에서는 평탄해저지형을 가정하여, 입사각을 기록으로부터 역산하였으나, 추후 연구에서는 다중빔 탐사 시스템에서 동시에 기록되는 지형자료를 이용하여 실제 빔의 입사각을 이용, 후방산란에 끼치는 입사각 영향을 보정하여 산란 신호에 끼치는 지형적 영향을 배제할 필요성이 있다. 실제적으로 지형 영향을 배제할 수 있다면, 이론적으로는 후방산란에 영향을 끼치는 영향은 퇴적물의 임피던스 항목만 남게 되어 퇴적 물성과 후방산란과의 보다 높은 상관성을 추출할 수 있을 것으로 사려 된다. 또한 영상과 사용자의 분류를 참으로 가정하는 분류 정확도 평가는 추후 보다

많은 표층 샘플자료로 구성된 표층 퇴적구성도와의 비교를 통해 보다 정교화 할 필요가 있다. 그리고, 표층 퇴적물의 입도 분석 이외에도 표층퇴적물을 정량화하는 다양한 파라메타(지음향 특성파라메타 등)와의 대비를 통하여, 클래스 영상 경계를 구분하는 보다 명확한 퇴적물 속성을 얻기 위한 다양한 분석이 요구된다.

#### 4. 결 론

1. KONGSBERG SIMRAD EM3000(300 kHz)의 다중빔 음향탐사 시스템의 후방산란 자료를 이용하여, 해저면 영상을 입도 분류에 따라 자동 분류하기 위한 전처리 및 분류 시스템을 개발하였다. 분류 성능과 분류된 지역의 의미를 부여하기 위하여, 표층 퇴적물 시료 및 해저면 영상을 취득하였다. 본 지역의 수심은 5 m에서 22.7 m이고, 표층 퇴적물의 평균 입도는 2.86에서 0.88의 모래와 약간의 자갈이 포함된 모래자갈로 구성되어 있다. 후방산란 음압은 -15dB에서 -36dB까지 분포하였다.

2. 후방산란 음압으로부터 분류 특성 정보의 추출을 위하여 EM3000 시스템에서 적용된 자동 이득 보정 신호의 보정 값을 추출하여, 이득 보정 전 원 음압 신호를 복원하였다. 시료의 통계적 특성 항목과 보정된 후방산란 신호와의 상관성 분석을 위하여, 표층 퇴적물 시료를 입도분석 하였다. 그리고 시료 채취 지점을 통하여 취득된 산란음압을 추출, 상관분석을 실시하였다. 퇴적물의 통계적 특성 항목 중 퇴적물의 평균 입도와 후방산란 음압과의 상관성( $R: 0.56$ )이 가장 높게 나타났다.

3. 후방산란 신호패턴과 해저면 영상의 화소강도 특성을 기준으로, 모자이된 후방산란 영상은 두 개의 클래스로 자동 분류되었다. 자동 분류된 영상과 해저면 시료 및 해저면 영상을 대상으로 한 육안 분류와의 정량적 비교 결과, 면적을 기준으로 한 오인식율은 암반 지역의 경우 약 8.95%, 평균 입도가 높은 사질 지역의 경우는 약 2.06%로 나타났다. 이는 분류면적을 대상으로 분석한 결과이며, 보다 조밀한 표층 샘플자료와의 대비를 통한 인식율 평가표를 마련할 필요가 있다.

#### 사 사

본 논문에 대하여 세심한 수정과 고견을 나누어 주신 익명의 세 심사위원님께 깊은 감사를 드립니다. 본 연구는 “한국과학재단의 특정기초연구사업(R01-2005-

000-10182-0)” 연구비에 의해 수행되었습니다. 본 연구에 탐사자료를 제공한 국립해양조사원 관계자 여러분에게 감사의 마음을 전합니다.

#### 참고문헌

- Beyer, A., Charkraborty, B. and Schenke, H.W. (2007) Seafloor classification of the mound and channel provinces of the Porcupine Seabight: and application of the multibeam angular backscatter data, *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*, v. 96, p. 11-20.
- Chakraborty, B. and Kodagali, V.N. (2004) Characterizing Indian Ocean manganese nodule-bearing seafloor using multi-beam angular backscatter, *Geo-Marine Letters*, v. 24, p. 8-13.
- Cho, J.S., Yoon, K.S., Park, S.S., Na, J.Y., Suk, D.W. and Joo, J.Y. (2004) Seafloor Classification Using Fuzzy Logic, *J. Acoust. Soc. Kor.*, 23(4), p. 296-302.
- Claudio Lo Iacono,, Eulalia Gracia, Susana Diez, Graziella Bozzano, Ximena Moreno, Juanjo Danobeitia and Belen Alonso (2007) Seafloor characterization and backscatter variability of the Almeria Margin(Alboran Sea, SW Mediterranean) based on high-resolution acoustic data, *Marine Geology*, doi:10.1016/j.margeo.2007.11.004. (In press).
- Park, C., Seong, W., Gerstoft, P. and Siderius, M. (2003) Time-domain geoacoustic inversion of high-frequency chirp signal from simple towed system, *IEEE J. Oceanic Eng.*, Vol. 28, p. 468-478.
- Cutter, G.R. Jr., Rzhanov, Y. and Mayer, L.A. (2003) Automated segmentation of seafloor bathymetry from multibeam echosounder data using local Fourier histogram texture features. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 285-286, p. 355-370.
- Dietmar R., Muller, R. and Sian Eagles (2007) Mapping Seabed Geology by Ground-Truthed Textural Image/ Neural Network Classification of Acoustic Backscatter Mosaics, *Math. Geol.* v. 39, p. 575-592.
- Folk, R.L. and Ward, W.C. (1957) Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Preol.*, v. 27, p. 3-26.
- Gary Cholwek, John Bonde, Xing Li, Carl Richards and Karen Yin (2000) Processing Roxann sonar data to improve its categorization of lake bed surficial substrates, *Marine Geophysical Researches*, v. 21, p. 409-421.
- Hamilton, E.L., Shumway, G., Menard, H.W. and Shipek, C.J. (1956) Acoustic and physical properties of shallow-water sediments off San Diego. *J. Acoust. Soc. Am.* v. 28, p. 1-15.
- Hughes Clarke, J.E., Mayer, L.A. and Wells, D. (1996) Shallow-water imaging multibeam sonars: A new tool for investigating seafloor processes in the coastal zone and on the continental shelf. *Marine Geophysical Researches*, Vol. 18, p. 607-629.
- Ingram, R.L. (1971) Sieve analysis. In : *Procedures in sedimentary Petrology*, edited by Carver, R.E. Wiley-Inter Science, New York, p. 49-67.
- Intelmann, S.S., Cutter, G.R. and Beaudoin, J.D. (2007)

- Automated, objective texture segementation of multi-beam echosounder data - Seafloor survey and substrate maps from James Island to Ozette Lake, Washington Outer Coast. Marine Sanctuaries Conservation Series MSD-07-05. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Sanctuary Program, Silver Spring, MD. 31p.
- Roberts, J.M., Brown, C.J., Long, D.C. and Bates, R. (2005) Acoustic mapping using a multibeam echosounder reveals cold-water coral reefs and surrounding habitats, *Coral Reef*, v. 24, p. 654-669.
- Joe Breman, Dawn Wright, and Patrick N. Halpin (2002) The Inception of the ArcGIS Marine Data Model, *Marine Geography, GIS for the Oceans and Seas*, ESRI press, p. 3-10.
- Kong, G.S., Kim, S.P., Park, Y.S., Min, G.H., Kim, J.U. and Park, S.C. (2006) Correlation of Simrad EM950 (95 kHz) Multibeam Backscatter Strength with Surficial Sediment Properties in the Sand Ridge of the Eastern Yellow Sea, *Econ. Environ. Geol.*, v. 39, p. 719-738.
- Kim, G.Y., Kim, D.C., Kim, Y.E., Lee, K.H., Park, S.C., Park, J.W. and Seo, Y.K. (2002) Remote Seabed Classification Based on the Characteristics of the Acoustic Response of Echo Sounder: Preliminary Result of the Suyoung Bay, Busan, *J. Korean Fish. Soc.*, v. 35, p. 273-282.
- KORDI (1991) A study of the Acoustic Characteristics of the Sediments of the Korean Seas(III), BSPG00075-229-5.
- La, H.S., Yoon, K.S. and Na, J.Y. (2005) Characteristics of High Frequency Backscattering Strength by Zostera Marina(Seagrass) Bed, *J. Acoust. Soc. Kor.*, v. 24, p. 97-102.
- Lee, J.H., Yoon, K.S., La, H.S. and Na, J.Y. (2004) Distribution of Seagrass(Zostera marina) Beds and High Frequency Backscattering Characteristics by Photosynthesis, *J. Acoust. Soc. Kor.*, v. 23, p. 562-569.
- LJ. Hamilton (2005) A bibliography of acoustic seabed classification, Cooperative Research Centre for Coastal Zone, Estuary & Waterway Management, Technical Report No.27.
- Luciano Fonsenca and Larry Mayer (2007) Remote estimation of surficial seafloor properties through the application Angular Range Analysis to multibeam sonar data, *Mar Geophys Res.*, v. 28, p. 119-126.
- Medialdea, T., Somoza L., Leon R., M. Farran, Ercill G., Maestro A., Casas D., Llave E., Hernandez-Molina F.J., Fernandez-Pug M.C., and Alonso B. (2007) Multi-beam backscatter as a tool for sea-floor characterization and identification of oil spills in the Galicia Bank, *Mar. Geol.*, v. 249, p. 93-107.
- Oliveira Jr. A. M. and Hughes Clarke, J. E. (2007) Recovering wide angular sector multibeam backscatter to facilitate seafloor classification, United States Hydrographic Conference Norfolk, VA, May.

---

2008년 6월 14일 원고접수; 2008년 12월 24일 게재승인.