

# 후방산란 자료취득 기준에 관한 기초연구: 멀티빔 음향측심기(MBES)를 대상으로

## A Basic Study on the Guidelines for MBES Backscatter Acquisition

박병문\* · 유경완\*\* · 강호윤\*\*\* · 황창수\*\*\*\* · 정승은\*\*\*\*\* · 이정민\*\*\*\*\* · 김연수\*\*\*\*\*  
 Byungmoon Park · Kyeongwan Yu · Hoyun Kang · Changsu Hwang · Seungeun Jung  
 Jeongmin Lee · Yeonsu Kim

**요약** 최근 수산, 해상교통, 신재생에너지 등 해양공간에 대한 이용 범위가 다양해지고, 해역이영협의 건수가 지속적으로 증가하고 있으며, 정부는 지속가능한 해양 관리를 위하여 「해양환경 보전 및 활용에 관한 법률」, 「해양공간계획 및 관리에 관한 법률」 등을 제정하여 해양환경, 해양공간계획 등의 정책을 추진하고 있다. 또한 「해양조사와 해양정보 활용에 관한 법률」을 마련하여 선박의 교통안전, 관할권의 확보 등을 위한 해양조사 사업을 시행하고 있다. 해양조사에는 음향측심기를 이용한 해저지형조사(수심측량), 해도제작 등이 포함되는데 우리나라는 1990년대 후반부터 해저면을 세부적으로 파악할 수 있는 멀티빔 음향측심기를 사용하고 있다. 멀티빔 음향측심기를 이용하여 수심측량을 하는 경우에 해저면에서 반사되어 오는 시간 차이 정보와 반사강도 정보를 동시에 얻게 된다. 반사 강도 정보를 후방산란(Backscatter) 자료라고 한다. 국립해양조사원에서는 국가해양기본조사 등 많은 후방산란 자료를 확보하고 있으며, 매년 새로운 후방산란 자료를 취득하고 있다. 그러나 후방산란 자료에 대한 활용도는 적은 실정이며, 이를 적절하게 활용하기 위해서는 자료를 일관성 있는 자료취득이 필수적이다(이정민 외, 2022). 후방산란 자료 이용에 관한 연구동향을 살펴보면, 국제과학연합회(ICSU) 해양연구과학위원회와 유네스코 해양학위원회에서 1990년대 말부터 관련 연구 프로그램을 운영하고 있으며, 관련 실무그룹에서 2015년에 멀티빔 후방산란 가이드라인 및 권고안을 제시하였다(GEOHAB BSWG, 2015). 이 연구에서는 국제수리기구(IHO, International Hydrographic Organization)에서 제시한 해저면 특성분류 기준과 국립해양조사원의 멀티빔 음향측심기를 이용한 수심측량에 관한 기준을 분석하여 멀티빔 음향측심기를 이용하여 후방산란 자료를 취득할 때 일관성 높은 자료를 얻기 위해 필요한 기본 요소를 도출하였다. 첫째 해저면 특성분류에는 현장확인(ground-truth) 시료를 확보하여야 한다. 둘째 멀티빔 음향측심기에 의한 후방산란 자료는 주파수가 높은 음향장치를 사용하기 때문에 음향신호의 투과심도는 없는 것으로 가정한다. 셋째 후방산란 자료의 일관성을 높이기 위해 계획 수립단계, 커버리지 확보, 시료 채취 기준, 현장조사 야장 기록 등 국제기준 등에 제시된 기준을 정리하였다. 이 연구는 멀티빔 음향측심기에 대한 연구자료와 해저면 특성분류 기준을 토대로 작성된 기초연구이기 때문에 우리나라 해역의 특성에 맞는 기준을 정립하기 위해서는 실험적 테스트 연구 등 후속 연구가 필요하다고 판단된다.

**키워드** 멀티빔 후방산란, 해저면 특성분류, 해양공간계획, 해양환경, 수로학

Received: 2023.01.18, Revised: 2023.01.25, Accepted: 2023.01.25

\* 한국해양조사협회 기술교육연구소 박사(Ph.D, Hydrographic Technology Lab., Korea Hydrography and Research Association, Seoul 08590, Korea), bmpark@khra.kr (주저자, 교신저자)

\*\* 한국해양조사협회 기술교육연구소 연구원(Researcher, Hydrographic Technology Lab., Korea Hydrography and Research Association, Seoul 08590, Korea), yookw@khra.kr

\*\*\* 한국해양조사협회 기술교육연구소 박사(Ph.D, Hydrographic Technology Lab., Korea Hydrography and Research Association, Seoul 08590, Korea), hykang@khra.kr

\*\*\*\* 국립해양조사원 수로측량과 박사(Ph.D, Hydrographic Survey Division, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, Busan 49111, Korea), csh0509@korea.kr

\*\*\*\*\* 국립해양조사원 수로측량과 주무관(Senior Manager, Hydrographic Survey Division, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, Busan 49111, Korea), jse0515@korea.kr

\*\*\*\*\* (주)한국해저정보 대표이사(CEO, Korea Submarine Informations Co., Daejeon 30152, Korea), jeongmin@kosbi.co.kr

\*\*\*\*\* 서울시립대학교 공간정보공학과 겸임교수(Ph.D, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul, Seoul 02504, Korea), ysporo@hanmail.net

**Abstract** Recently, the range of use of marine space, such as fisheries, marine transportation, and new and renewable energy, has diversified, and the number of cases of sea area diversification continues to increase. By enacting the 「Act on Marine Spatial Planning and Management」, etc., policies such as marine environment and marine spatial planning are being promoted. In addition, the Maritime Survey and Maritime Information Utilization Act was prepared to implement marine survey projects to secure vessel traffic safety and jurisdiction. Marine surveys include seabed topography survey (bathymetry) and chart production using echo sounders. Since the late 1990s, Korea has been using multi-beam echo sounders that can grasp the seabed in detail. In the case of bathymetry using a multi-beam echo sounder, time difference information and reflection intensity information reflected from the seafloor are obtained at the same time. Reflection intensity information is called backscatter data. The Korea Hydrographic and Oceanographic Agency has secured a lot of backscattering data, such as the National Oceanographic Survey, and acquires new backscattering data every year. However, the utilization of backscatter data is low, and in order to properly utilize it, it is essential to obtain consistent data (Lee Jung-min et al., 2022). Looking at the research trends on the use of backscatter data, the International Scientific Union (ICSU) Ocean Research Committee and UNESCO Oceanography Committee have been operating related research programs since the late 1990s, and the related working group has published a multi-beam backscattering guide in 2015. Lines and recommendations were presented (GEOHAB BSWG, 2015). In this study, the criteria for sea bottom characterization presented by the International Hydrographic Organization (IHO) and the criteria for bathymetry using a multi-beam echo sounder of the Korea Hydrographic and Oceanographic Agency were analyzed, and backscatter data were obtained using the multi-beam echo sounder. The basic elements necessary to obtain consistent data were derived. First, ground-truth samples must be obtained for seabed characterization. Second, since the backscatter data from the multi-beam echo sounder uses an acoustic device with a high frequency, it is assumed that there is no penetration depth of the acoustic signal. Third, in order to increase the consistency of the backscatter data, the standards presented in international standards such as the planning stage, securing coverage, sampling standards, field survey records, etc. were summarized. Since this study is a basic study based on research data on multi-beam echo sounders and criteria for classifying seabed characteristics, it is judged that follow-up studies such as actual sea test studies are needed to establish criteria suitable for the characteristics of Korean waters.

**Key words** Multi-Beam Backscatteing Data, Seafloor Classifications, Marine Spatial Information, Marine Environmet, Hydrography

## 1. 서론

### 1.1. 연구 배경

최근 수산, 해상교통, 신재생에너지 등 해양공간에 대한 이용 범위가 다양해지고, 해역이용협의 건수가 지속적으로 증가하고 있다(장민철 외, 2018). 정부는 지속가능한 해양 관리를 위하여 「해양환경 보전 및 활용에 관한 법률(2017.3.21. 제정)」과 「해양공간계획 및 관리에 관한 법률(2018.4.18. 제정)」을 마련하고 관련 법정기본계획 등의 제도를 추진하고 있다. 또한 2020년에는 「해양조사와 해양정보 활용에 관한 법률(2020. 2.18. 제정)」을 마련하여 선박의 교통안전, 해양의 보전·이용·개발 및 해양에 대한 관할권의 확보 등을 위한 시책을 추진하는 근거를 마련하였다.

항해용 해도에서 사용하는 수심 측정은 20세기 중반까지 전통적으로 납 등을 이용한 “측심연 측량”으로 수행되었다. 1912년 타이타닉호 사고, 1914년 제1차 세계대전 발발 등의 영향으로 수중 물체 탐지에 대한

관심이 높아짐에 따라 새로운 기술개발이 추진되었다.

1915년 프랑스 과학자 Paul Langevin과 러시아 젊은 전기기술자 M. Constantin Chilosky에 의해 초음파 (Hydrophone) 기술이 태동하게 되었다고 한다. 이 연구에는 100kHz의 음향 트랜스듀서를 제작하여 사용하였다고 하고, 파리의 센 강에서 음향 실험도 진행되었다는 기록이 있다(Karl F. Graff, 1981). 주로 군사목적으로 사용한 소나를 비롯한 단일빔 음향측심기는 1990년대 중반 이후 수로측량에 사용되기 시작하였으며, 멀티빔 음향측심기는 100% 해저면의 음향탐사 (Ensonification)가 요구되는 상황에서 수심을 측정하는 유용한 도구로 자리 잡았다(IHO, 2011).

국립해양조사원은 유엔해양법협약 발효에 따라 1996년부터 국가 해양 기본조사에 착수하여 멀티빔 음향측심기를 이용한 해저지형 조사(수심측량) 등의 조사사업을 진행하고 있다. 다음 Fig. 1과 Fig 2는 국가해양기본조사 1단계 사업(1996년~2010년)과 2단계 사업(2008년~2018년)에서 멀티빔 음향측심기를 이용

한 수심측량을 항적 자료이다(국립해양조사원, 2019).

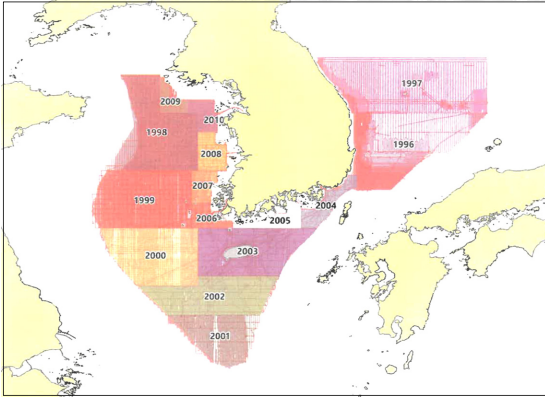


Figure 1. Tracks for 1<sup>st</sup> Korea basic hydrographic survey (2019, KHOA)

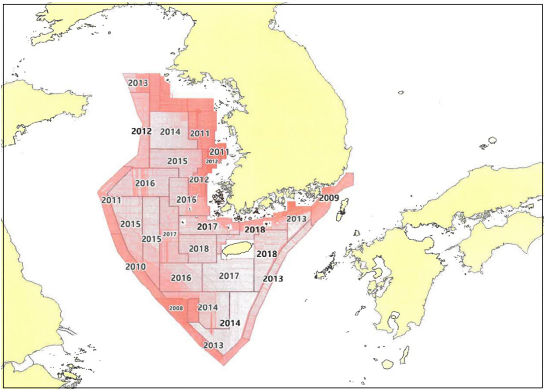


Figure 2. Tracks for 2<sup>nd</sup> Korea basic hydrographic survey (2019, KHOA)

그리고 국립해양조사원에서는 연안 해역 조사, 항만 해역 정밀 수로측량 등 멀티빔 음향측심기를 이용한 해저지형 조사(수심측량) 사업이 추진되고 있다.

멀티빔 음향측심기 관련 연구 자료에 따르면, 멀티빔 음향측심기를 이용하여 수심측량을 할 때는 수심과 동시에 후방산란(Backscatter) 자료가 동시에 측정된다고 한다(이윤식, 서용철, 2018). 후방산란 자료를 이용하여 해저면 분류를 하고자 할 때는 음향신호의 투과 심도, 후방산란 자료를 취득할 때 일관성 있는 자료 취득이 필요하다(이정민 외, 2022).

음향측심기를 이용한 해저지형조사(수심측량)를 시행하면 기본적으로 두 가지 자료를 동시에 얻게 된다(이윤식, 서용철, 2018). 먼저 음파가 해저면에서 반사되어 오는 시간 차이를 얻게 되는 데 이것으로 해저면과 음원까지의 거리를 측정할 수 있게 된다. 두 번째

음파가 해저면에서 반사되어 오는 강도이다. 보통 이것을 후방산란(Backscatter) 자료라고 부르며, 해저 매질 종류, 반사 각도, 거칠기 등에 따라 후방산란 자료는 다르게 나타나게 된다. 국립해양조사원의 국가해양기본도 등 수심측량 사업은 대규모 후방산란 자료를 확보하고 있다는 점에서 큰 의미가 있다고 할 수 있다. 특히 해양생태계, 해양환경 보전, 해양공간계획 등에 관심이 높아지고 있는 만큼 후방산란 자료를 활용한 연구가 필요한 실정이다. 그러나 후방산란 자료를 이용하여 해저면 분류를 하고자 할 때에는 음향신호의 투과 심도, 후방산란 자료를 취득할 때 일관성 있는 자료 취득이 필요하다(이정민 외, 2022)

## 1.2 연구 목적

현재 정부에서는 해양 환경, 해양공간 계획 등 새로운 시책이 추진되고 있으며, 국립해양조사원에서는 멀티빔 음향측심기를 이용하여 우리나라 전 해역의 수심을 측정하고 있다. 본 연구는 수심측량에서 사용되는 멀티빔 음향측심기를 대상으로 후방산란 음향신호의 투과 심도, 자료 취득 일관성 확보에 필요한 기본 요소를 찾기 위하여 기초연구를 수행하였다.

## 1.3 연구 방법

연구 목적을 달성하기 위하여, 첫째 멀티빔 음향측심기를 대상으로 관련 연구 동향을 조사하였고, 둘째 국제수로기구(IHO, International Hydrographic Organization)와 국립해양조사원의 관련 기준을 분석하였다. 셋째 이러한 자료를 토대로 멀티빔 음향측심기 후방산란 자료에 대한 음향신호 투과 심도 개념, 자료취득 일관성 확보를 위한 기본 요소를 도출하였다. 그리고 연구 내용에 대한 보완적 차원에서 국가해양기본조사, 연안 해역조사, 항만 해역 정밀 수로측량 등에 대한 추진실적을 살펴보았으며, 우리나라가 보유하고 있는 수심측량 목적의 멀티빔 음향측심기 종류를 조사하였다.

## 2. 후방산란 자료 이용에 관한 연구 동향

### 2.1 GEOHAB BSWG 연구 활동

GEOHAB(Marine Geological and Biological Habitat Mapping)은 1998년 국제과학연합회(ICSU)의 해양연구과학위원회와 유네스코 해양학위원회에 의해 착수된 지구 생태학 및 해양학에 관한 국제 연구 프로그램이다. GEOHAB는 2001년에 해양 지질과 생태계 간의 관계에 대한 정량적 연구를 위하여 BSWG를 시작하였으며, 2013년에는 GEOHAB 연차 회의에서 멀티빔

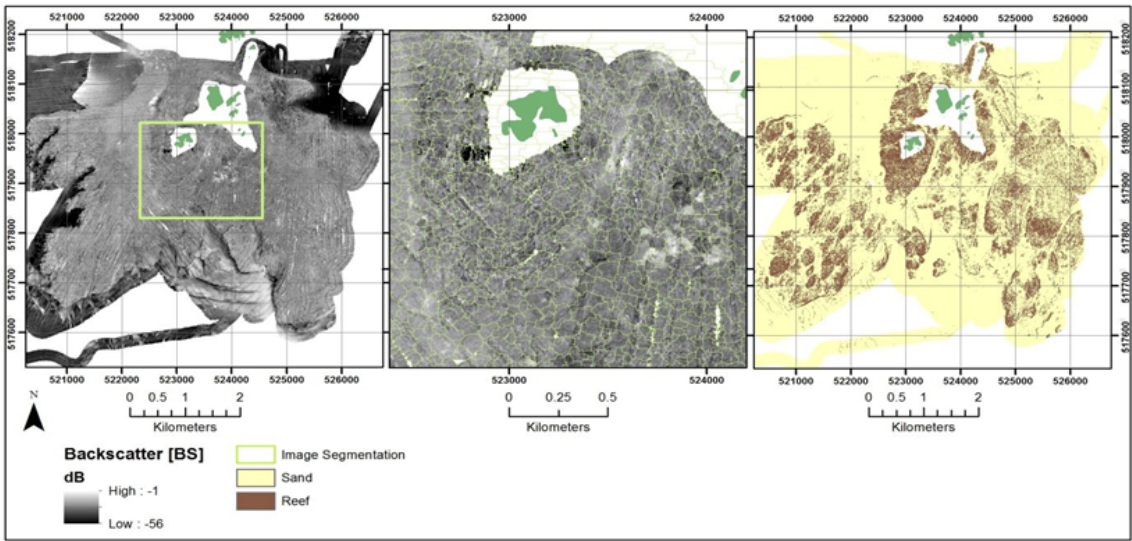


Figure 3. An example of image segmentation of multibeam backscatter(GEOHAB BSWG, 2015)

후방산란 기술 연구에 대한 수집, 처리 및 해석에 대한 필요성이 제기되었고 2015년에는 멀티빔 후방산란 가이드라인 및 권고안을 제시하였다(GEOHAB BSWG, 2015).

이 보고서에 따르면, 멀티빔 후방산란 자료 취득은 멀티빔 음향측심기를 이용하여 수심을 측정할 때, 음향이 반사되는 음향 산란강도(Backscatter strength)를 이용하여 해저면의 특성을 분류하는 방법이다. 여기에서 얻어지는 후방산란 강도는 음향의 강도와 각도, 해저면 상태(매질, 거칠기 등), 그리고 중간 해수층의 특성 등에 따라 달라지는 특징이 있다(GEOHAB BSWG, 2015). Fig. 3은 멀티빔 후방산란 자료에 대하여 이미지 처리한 모형도이며, 좌측부터 멀티빔 후방산란 자료, 녹색 윤곽선 부분에 대한 확대 영상, 객체 텍스처 및 공간 매개변수(기울기, 요철 등)에 기반을 둔 이미지 분류 자료이다.

2.2 멀티빔 후방산란 자료와 초분광 영상을 이용한 저면 퇴적상 분류 연구

멀티빔 후방산란 자료의 음압 강도는 해저질의 특성에 따라 상대적인 값을 가지고 있으므로 해저질의 퇴적상 분포를 나타내지 못하는 한계점을 가지고 있다. 이에 초분광 영상 기반의 해저질 분류 기법과 융합하는 기술을 적용하여 얕은 수심의 해저질 퇴적상 분류에 관한 연구를 진행하였다(이윤식, 서용철, 2018).

연구 대상 지역은 동해-묵호항 인근이며 멀티빔 음압 자료는 2015년 R2Sonic사의 Sonic2022 멀티빔측심기를 이용하였고, Caris Hips & Sips와 Geocoder

Engine을 사용하여 후방산란 음압자료에 대한 빔의 입사 면적, 입사각, 입사 거리, 음속 등의 후방산란 음압에 영향을 미치는 요소를 자료처리 및 보정을 통해 음압 모자이크를 만들어 연구하였다. 먼저 음압 모자이크 영상을 0에서 255까지의 래스터 형태로 변경하여 실험한 결과, 초분광 분류에서 암반 306점, 모래 130점, 총 436점의 해저질을 훈련샘플과 검증샘플로 분류할 수 있었다. 다음으로 암반과 모래의 음압 통계분석을 시행한 결과, 검증샘플에 의한 분류정확도는 약 88%로 나타났으며, 오차의 원인으로는 자료의 잡음, 관측중심에서 나타나는 이상값으로 추정되었다(이윤식, 서용철, 2018).

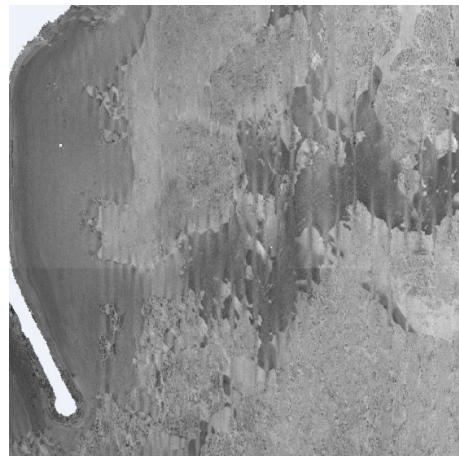


Figure 4. Backscatter Image for the Study Area (이윤식, 서용철, 2018)



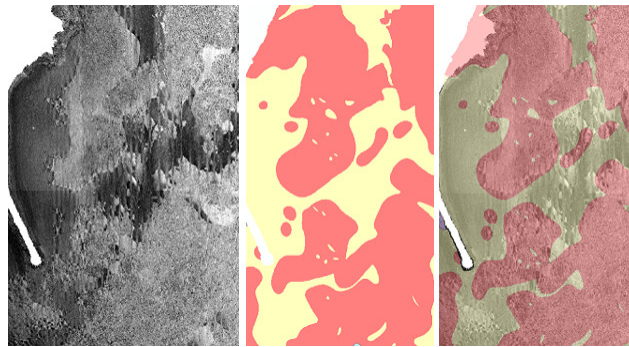


Figure 5. Backscatter image (Left), Hyperspectral image (Center), Overlaped image (Right) (이윤식, 서용철, 2018)

### 2.3 음압 자료를 이용한 해저면 분류 기술 현황 연구

이 연구는 해저면 원격 분류 기술의 고도화에 필요한 기반 기술에 대하여 기초개념, 연구사례 조사, 그리고 이 기술 고도화를 위해 필요한 해결과제를 고찰하고 이에 대한 방향성을 제시하였다. 음압 자료를 이용한 해저면 분류는 현장 확인(ground-truth) 대표성과 음향신호의 투과 심도, 후방산란 자료의 일관성 확보 등에 대하여 연구 자료를 토대로 문제 요소를 제시하였다(이정민 외, 2022).

이 연구에서 해결해야 할 과제로 제시한 사항 중에서 두 가지를 살펴보면, 첫째는 표층 퇴적물에 대하여 해저면으로부터 어느 깊이까지의 퇴적물을 정의할 것 일까 하는 문제이다. 그랩 샘플러를 사용할 경우에는 퇴적물의 종류에 따라 크기나 채취 깊이 등이 달라질 수 있으며, 음향신호의 투과 심도와 차이가 날 경우에는 원하는 결과를 얻기 힘들다는 것이다. 둘째는 관측 장비나 처리 소프트웨어에 따라 서로 다른 결과를 산출할 수 있다는 문제이다. 후방산란 자료의 경우 수심 자료와는 달리 자료 취득생산 과정에서 품질의 허용 범위나 특성치 기준이 정립되어 있지 않다는 점을 지적하였다(이정민 외, 2022).

이러한 과제를 해결하기 위해서는 (1) 멀티빔 장비 음원의 투과 심도에 따른 현장 확인(ground-truth) 확보 방안과 (2) 후방산란 강도의 지질학적 영향인자 파악을 위한 연구가 필요하고, (3) 탐사 조건이 후방산란 자료에 끼치는 영향에 대한 연구, (4) 후방산란 자료처리 표준화 연구가 필요하다고 방향을 제시하였다(이정민 외, 2022).

## 3. 해저면 특성 분류 등에 관한 기준 검토

### 3.1 국제수로기구(IHO)

#### 3.1.1 수심 결정 기준(Depth Determination)

국제수로기구(IHO, International Hydrographic Organization)에서는 항해용 해도(Nautical charts)에

사용하는 수심(Depth) 측정에 이용하는 음향측심기에 대하여 기준을 제시하고 있다.

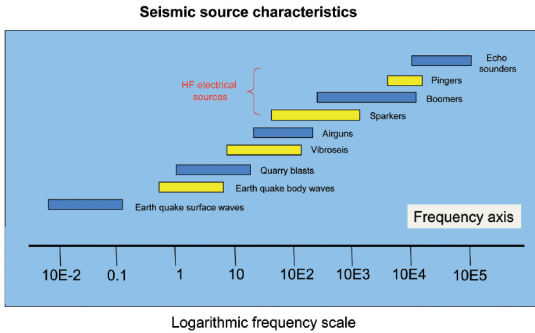
IHO의 공식 출판물 번호 C-13인 수로학(Hydrography) 제3장 수심 결정(Chapter 3 “Depth Determination”)에서는 항해용 해도에 사용하는 수심을 결정하는 데 필요한 기준 5가지를 제시하고 있다. 첫째, 해수 음파, 물리적 특성, 음파 전달 및 음향 매개변수를 이해하는데 필요한 음향의 기초사항을 폭넓게 다룬다. 둘째, 동작 감지기(Motion sensor)를 설명한다. 셋째, 변환기(Transducer)의 특성, 빔 패턴에 따른 분류, 작동원리 및 설치에 대해 살펴본다. 넷째, 단일빔 음향측심기의 음향 시스템과, 다중빔 소나와 간섭계(Interferometric) 소나에 대한 소해 시스템(Swath system)을 다루는데, 이들의 특징, 작동원리, 설치 및 작동 방법에 초점을 맞춘다. 마지막으로 비음향 시스템, 예를 들어 항공 레이저, 전자기유도 시스템, 원격탐사 시스템 및 고전적 기계식 장치 등을 다룬다.

이 기준에 따르면, 음향측심기에서의 음향 주파수는 거리와 침전물의 음향 투과를 결정하는 매개변수라고 한다. 수중에서 음향신호의 감쇠는 주파수와 비례한다. 즉 주파수가 높을수록 감쇠가 많이 일어나서 결과적으로 범위(Range)와 해저면의 투과(Penetration into the seafloor)는 약해진다고 서술하고 있다. 그에 따라, 수심 결정에 이용하는 음향측심기의 주파수 범위를 1500미터보다 깊은 곳을 제외하고는 50kHz 이상으로 하고, 100미터보다 얇은 곳은 200kHz 이상으로 하도록 기준을 제시하고 있으며, 해저질(Sediment)을 조사할 경우에는 8kHz 이하의 음향측심기(Echo sounder)를 사용할 수 있다고 언급되어 있다(IHO, 2011).

그리고 EAGE (European Association of Geoscientists & Engineers) 자료에 따르면 음향측심기는 탄성파(Seismic) 특성과 비교하였을 때 가장 고주파에 분류된다(EAGE, 2013).

**Table 1.** The frequencies of bathymetric echo sounders (IHO, 2010).

| 구분                                | 주파수                |
|-----------------------------------|--------------------|
| Waters shallower than 100 meters  | higher than 200kHz |
| Waters shallower than 1500 meters | from 50 to 200kHz  |
| Waters deeper than 1500 meters    | from 12 to 50kHz   |



**Figure 6.** The frequency scale for various acoustic seismic input sources (EAGE, 2013)

**3.1.2 해저면 특성 분류(Seafloor classification)**

IHO의 공식 출판물 번호 C-13인 수로학(Hydrography) 제4장에서는 해저면 특성 분류(Chapter 4 “Seafloor classification and feature detection”)에 대한 기준을 제시하고 있다.

이 기준서에서 다루고 있는 해저면 특성 분류 주요 내용 3가지는 다음과 같다. 첫째, 해저면 특성분류 표준개념(Seafloor Classification Models)이다. 해저면 특성을 분류할 때 지켜야 할 기본이 되는 표준개념은 시료 채취에 의한 직접조사 자료와 음향측심기, 사이드 스캔소나 등 간접조사 자료를 같이 사용하는 것이다. 시료 채취 자료를 통해 확인된 해저 특성(Natures)과 간접조사인 음향측심기(싱글빔, 멀티빔), 사이드 스캔소나 등으로 얻은 해저면의 질감(Texture), 표면특징(Contacts) 및 지물(Features), 등수심선(Depth contours)을 사용하도록 하고 있다. 해저면 특성 분류 모델에는 다음의 내용이 포함되어야 한다고 규정하고 있다.

- 실제 시료 채취를 통해 확인한 해저의 특성
- 음향측심기, 사이드 스캔소나 등으로 확인한 해저 지형의 지질구조
- 해저면 접촉 자료와 물체들(침선, 샌드 웨이브, 저인망 그물 등)
- 등수심선

둘째, 해저면 시료 채취(Seafloor samples) 내용에서 봤을 때, 수심 200미터 미만에서 해저면에 대한 시료

채취는 다음 내용을 고려하도록 하고 있다.

- 해저면 특성을 얻는 방법은 사이드 스캔소나 기록의 해석을 보조해야 한다.
- 해저면 특성 분류 표준모델의 현장 확인(ground truth) 및 확인할 수 있어야 한다.
- 정박지, 여울, 해저산, 수로 등에서 적절하게 시료를 채취해야 한다.

추가로, 해저면 시료 채취는 수심 200미터 미만의 해역에서 약 1.0 ~ 1.7 km 간격으로 조사하며, 측정 간격은 그 해역의 수심과 균일한 해저면 특징에 따라 좌우된다. 시료 채취로 구한 해저면 특성과 소나 기록을 통해 도출된 질감(Texture)과의 관계는 해석 과정에서 유일하게 실제 신뢰도를 확인할 수 있기 때문에 매우 중요하다. 해저면 시료 채취는 다음 세 가지 조건을 만족해야 한다는 기준을 제시하고 있다.

- 완전한 시료 채취: 해저면 시료가 채취과정에서 손실되지 않아야 한다.
- 개별 지점 시료 채취: 해저면 수심이 깊으면 특정 지점의 채취가 어려울 수 있다.
- 정확한 위치 파악: 시료 채취 위치는 정확도가 확보될 수 있도록 하여야 한다.

셋째, 후방산란 자료 특징 및 고려사항으로는 기하학적 해석, 100% 커버리지 확보, 중첩되는 영상의 주의할 점 등을 제시하고 있다. Table 2는 후방산란 자료를 사용할 때 고려하여야 할 내용을 요약한 것이다.

**Table 2.** Backscatter image classification theory

| 구분         | 자료의 이해 및 고려사항  |
|------------|--|
| 기하학적 해석    | 멀티빔 후방산란 자료는 수심측량 데이터와 연관되어 있기 때문에 사이드 스캔소나 영상과 달리 높은 해상도와 수심과 연계된 위치자료를 가지고 있어서 영상의 기하학적 보정(A true geometric correction) 해석이 가능하다.  |
| 커버리지       | 후방산란 영상은 해저면을 덮은 모자이크 모양으로 표시되며, 해저면 각 지점의 후방산란 강도와 같은 값으로 표시되며, 측선은 100% 커버리지를 제공해야 한다.   |
| 영상 중첩 주의사항 | 만일 커버리지가 100%를 넘어서고 데이터에 중첩이 있으면, 데이터의 음파 발생(Ensonification)은 다른 각도와 방향에서 수집되었을 가능성이 있다. 이 데이터를 결합하려는 시도보다는, 양호한 빔으로부터의 데이터를 취하고 다른 빔을 제거하는 것이 좋다. 이렇게 하면 두 개의 광폭(Swath)이 만나는 지점에서 필연적으로 불연속성이 생기지만 위의 방법은 발생하게 될 왜곡을 최소화해준다. 양호한 빔을 자동으로 선택하는 방법은 여러 가지가 있는데, 예를 들면 중앙의 빔에 바닥이냐면 영역의 빔보다 우선권을 주는 것이다. |

Fig. 7은 수심 정보만으로는 래스터 후방산란 모자이크 영상과 같은 정도의 해저면 유형 상의 변화에 대한 같은 정보를 제공하지 못함을 보여주는 예시 자료이다(IHO, 2011).

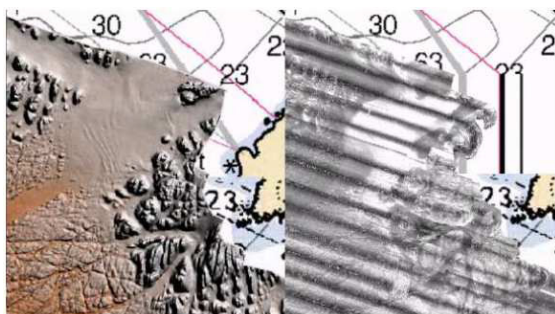


Figure 7. Seafloor imagery - Bathymetry (Left), Raster backscatter mosaiced image (Right) (IHO, 2011)

### 3.2 국립해양조사원

#### 3.2.1 수심측량 기준

국립해양조사원 「수로측량 업무규정(국립해양조사원 예규 제189호)」은 「해양조사와 해양정보 활용에 관한 법률」 제13조, 「해양조사 표준화 기준 세부사항(국립해양조사원 고시 제2021-13호)」에 따라 수로측량에 관한 작업 방법, 기준 등을 정하여 수로측량의 정확도를 확보하는 것을 목적으로 한다(KHOA, 2021).

이 기준에 따르면, 해저지형 조사(수심측량)는 선박 수심측량, 항공 수심측량, 지형측량 및 영상조사로 구분하고 있으며, 선박 수심측량에는 음향측심기, GNSS, 선박 움직임 측정장치 등으로 구성된 음향측심 시스템을 선박 또는 이와 유사한 플랫폼에 탑재하여 수심을 측량하는 것으로 규정하고 있다(KHOA, 2011). 여기에서 주의하여 볼 점은 음향측심기에 대하여 음파를 송수신(Ping)하여 해저면에 반사되어 돌아온 음파의 주행시간으로 수심을 측정한다고 규정하고 있는 점이다. 이 내용으로 보아 항해용 해도에 사용하는 수심을 결정하는 음향측심기는 음파가 해저 표면에서 반사되는 것을 기준으로 한다고 보아야 할 것이다. 즉 음원의 투과 심도는 없는 것으로 판단된다.

「수로측량 업무규정」 제17조 음향측심기 성능에 대해서는 수심에 따라 발진 주파수, 가정 음속도, 최소 독취단위 등의 성능을 규정의 기준보다 높게 갖추도록 하고 있다. 다음 Table 3은 싱글빔 음향측심기 기준이며, Table 4와 5는 멀티빔 음향측심기 기준이다.

Table 3. The specifications for SBES

| 구 분             | 규 격  |            |
|-----------------|--|------------|
|                 | 수심 100m 미만   | 수심 100m 이상 |
| 발진 주파수          | 20~500kHz  |            |
| 송수파기 지향각 (반감반각) | 8° 이하  | 약 10°      |
| 기록지 송출 속도       | 3cm/분 이상   |            |
| 가정 음속도          | 1,500m/sec   |            |
| 기록 방식           | 전산 방식 또는 기록지 방식으로 기록   |            |
| 최소 독취 단위        | 수심 40m 미만은 0.1m 단위까지<br>수심 100m 미만은 0.2m 단위까지<br>수심 100m 이상은 1m 단위까지 |            |

Table 4. The specifications for MBES (1) (KHOA, 2021)

| 구 분    | 규 격              |                  |
|--------|------------------|------------------|
|        | 천해용              | 심해용              |
| 발진 주파수 | 50~500kHz        | 10~50kHz         |
| 측심빔폭   | 빔 당 2° 이하× 2° 이하 | 빔 당 2° 이하× 4° 이하 |
| 분해능    | 5cm 이하           | 수심의 0.5% 이하      |

Table 5. The specifications for MBES (2) (KHOA, 2021)

| 구성기기          | 측정 정도        | 출력 간격    | 시간지연             |
|---------------|--------------|----------|------------------|
| 위치측정기         | 수평 위치의 오차±1m | 0.1초 이내  | Time delay 교정 적용 |
| 방위측정(Heading) | 0.2° 이내      | 0.1초 이내  | 0.1초 이내 보정       |
| MRU           | Roll, Pitch  | 0.05°    | 0.05초 이내 보정      |
|               | Heave        | 10cm     |                  |
| 수중음속도계        | 0.06 %       | 1m 단위 이내 |                  |

#### 3.2.2 해저퇴적물 조사

「수로측량 업무규정」 제5장 해저퇴적물 조사는 해저면을 이루고 있는 표층 및 하부 퇴적물의 종류 및 구성 분포를 조사하는 것을 대상으로 하여, 제41조 해저퇴적물 조사의 용어 정의, 제42조 해저퇴적물 조사 계획, 제43조 해저퇴적물 조사 방법, 제45조 해저퇴적물 조사 성과에 대하여 기준이 마련되어 있다.

이 기준에서 본 연구의 주제인 해저면 특성 분류를 목적으로 하는 멀티빔 음향측심기 자료취득과 관련하여 중요 내용들을 살펴보면, 첫째 해저퇴적물 채취 간격은 측량원도를 기준으로 묘박지는 10cm 이내, 일반 해역은 15~25cm를 기준으로 하며, 가능한 등 간격으로 설정하여야 한다고 규정하고 있다. 둘째 해저퇴적물 시료 채취는 그랩(Grab), 드래지(Dredge), 코어(Core) 등을 사용하도록 하고, 코어는 퇴적물이 교란되지 않도록 보관하도록 규정하고 있다. 셋째 시료는 그

**Table 6.** Method of obtaining seafloor samples

| 구분          | 자료의 이해 및 고려사항  |
|-------------|--|
| 해저퇴적물 채취 간격 | ① 모 박 지: 측량원도를 기준으로 10cm 이내<br>② 일반해역: 측량원도를 기준으로 15~25cm 이내<br>③ 다만, 수심, 해저의 상태, 과거 해저퇴적물 조사 여부, 조사목적에 따라 채취 위치를 조정할 수 있다.  |
| 시료 채취 방법    | ① 해저퇴적물 시료 채취는 그랩(Grab), 드래지(Dredge), 코어(Core) 등을 사용하여 조사 목적 및 채취 지역의 환경 여건에 따라 실시하여야 한다.<br>② 시료는 다양한 분석이 가능하도록 약 200g 이상으로 충분히 채취하여야 한다.<br>③ 시료는 그 종류와 형태를 확인할 수 있도록 현장에서 사진 촬영하고, 채취 일자, 수심, 육안 판별 결과, 채취 방법, 조개껍데기·수초 유무 등을 야장에 기록한다.<br>④ 시료는 보관 용기에 담아서 서늘한 곳에 보관하여야 한다.<br>⑤ 코어는 채취한 길이를 야장에 기록하고, 퇴적물이 교란되지 않도록 보관한다. |

종류와 형태를 확인할 수 있도록 현장에서 사진 촬영하고, 채취 일자, 수심, 육안 판별 결과, 채취 방법, 조개껍데기·수초 유무 등을 야장에 기록하도록 하고 있다. 다음 Table 6은 해저퇴적물 조사 규정을 요약한 것이다.

**4. 연구 결과**

해저면의 특성을 분류하기 위하여 후방산란 자료를 이용하려는 경우에 이전의 연구에서 첫째 현장 확인(ground-truth) 확보와 음향신호의 투과 심도, 둘째 후방산란 자료의 일관성 확보가 필요하다고 하였다(이정민 외, 2022). 이러한 문제와 관련하여 이 연구에서는 멀티빔 음향측심기의 특성을 중심으로 관련분야 연구

동향과 기준을 살펴보았다. Table 7은 연구 결과를 요약한 것이다.

**5. 결론**

해양공간에 대한 이용 범위가 다양해지고, 해양 환경, 해양공간, 해양조사에 관한 법률이 제정됨에 따라 이에 관한 정부의 시책을 추진하는 근거가 마련되었다. 본 연구는 해양환경에 대한 기초자료가 될 수 있는 해저면 특성 분류 기술 개발의 한 종류인 후방산란 자료 취득에 관하여, 멀티빔 음향측심기를 중심으로 기초연구를 수행하였다.

첫째 후방산란 자료를 이용하여 해저면 특성을 분류하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있음을 확인하였으

**Table 7.** Summaries for this study.

| 주제  | 기준의 기본 요소   | 근거 자료   |
|---|---|---|
| 현장 확인(ground-truth) 확보  | 해저면 특성분류는 실제 시료 채취를 통해 확인한 해저면 특성과 간접자료(해저지형 자료, 사이드 스캔소나, 후방산란자료 등)를 종합적으로 분석하여 현장 확인(ground-truth) 대표성을 높이도록 한다.  | IHO C-13 (Chap. 4 “Seafloor classification“ 기준 참고)  |
| 음향신호의 투과 심도   | 멀티빔 음향측심기에서 취득된 후방산란 자료는 해저면의 표면으로 본다. 이를 위하여 음향측심기의 주파수는 다음과 같은 기준에 따른다.<br>① 수심 100미터 보다 얇은 해역은 200kHz 이상의 음향측심기 사용<br>② 수심 1500미터 보다 얇은 경우는 50~200kHz 음향측심기 사용                                       | IHO C-13 (Chap. 3 “Depth Determination” 기준 참고)  |
| 후방산란 자료의 일관성 확보   | ① 계획 수립: 현장조사 전에 기존의 수심측량, 해도, 시료 채취, 천부지중분포도 등을 검토하여 계획을 수립한다.   | GEOHAB BSWG   |
|   | ② 커버리지 확보: 해저면 특성을 효과적으로 분류하기 위해서는 100% 이상의 커버리지 확보가 필요하다.<br>* 커버리지가 100% 이상이고, 후방산란 자료가 이중으로 확보된 경우에는 신뢰도 높은 것 하나만 사용하는 것을 권장(현장 야장 기록 중요)  | IHO C-13 (Chap. 4 “Seafloor classification“ 기준 참고)  |
|   | ③ 시료 채취: 시료 채취 간격은 아래와 같은 기준에 따르고, 조사해역의 해저지형 특성 등으로 고려하고 결정한다.<br>• (IHO C-13) 수심 200미터 미만이고 해저면이 균일한 경우에 약 1.0~1.7km 간격으로 조사한다.<br>• (국립해양조사원 수로측량 업무규정) 측량원도를 기준으로 묘박지 10cm, 일반해역 15~25cm 간격으로 조사한다. | IHO C-13 (Chap. 4 “Seafloor classification“ 기준),<br>국립해양조사원 「수로측량 업무규정」 (제5장 해저퇴적물 조사 참고) |
| ④ 현장 조사 야장 기록: 후방산란 자료의 일관되게 생산될 수 있도록 기상 여건, 해상상황 등을 고려하여 진행하여야 하고, 자료취득 과정의 여건 등을 충분히 기술한 현장 기록 야장을 작성하여야 한다. |   |   |



며, 국제과학연합회와 유네스코 해양학 위원회에서 추진한 해양 지질과 생태계 간의 관계에 대한 정량적 연구를 위하여 GEOHAB(Marine Geological and Biological Habitat Mapping)에 후방산란에 연구 관련 실무그룹(BSWG, Backscatter Working Group)을 운영하여 연구하고 있고 2015년에는 멀티빔 후방산란 가이드라인 및 권고안을 제시한 바 있다. 국내에서도 멀티빔 후방산란 자료와 초분광 영상을 이용하여 해저면 퇴적상을 분류하는 연구와 음압자료를 이용한 해저면 분류 기술현황에 관한 연구가 진행되어 (1) 현장확인(ground-truth) 대표성 확보와 음향신호 투과 심도 기준, (2) 후방산란 자료의 일관성 확보에 대한 연구방향이 제시되었다.

둘째 해저면 특성분류 등에 관한 기준을 살펴보았다. 국제수로기구(IHO)에서는 선박의 안전항해에 이용되는 항해용 해도에 사용하는 수심(Depth) 측정에 이용하는 음향측심에 대하여 기준을 제시하고 있으며, 해저면 특성분류에 대하여도 기준이 마련되어 있음을 확인하고 해저면 특성분류, 멀티빔 음향측심기가 갖추어야 할 기준, 현장조사에 관한 사항 등을 분석하였다. 그리고 우리나라의 수심측량, 해저퇴적물 조사 등에 관한 규정을 조사하였다.

셋째 선행 연구에서 제시된 연구방향과 국제기준, 국내규정 등을 토대로 세 가지 주제(현장확인(ground-truth) 대표성 확보, 음향신호의 투과 심도, 후방산란 자료의 일관성 확보)에 대하여 멀티빔 음향측심기(MBES)를 중심으로 후방산란 자료취득 기준에 관한 기본 요소를 정리하여 보았다.

## 감사의 글

본 연구는 해양수산부 연구개발 과제로 수행한 ‘머신러닝 기반 해저면 특성 분류 기술개발 (멀티빔 후방산란 자료 취득 표준 가이드 연구)’의 자료를 토대로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 이윤식, 서용철, 2018. 멀티빔 후방산란 자료와 초분광 영상을 이용한 해저면 퇴적상 분류 가능성 분석: 한국지형공간정보학회 학술대회 논문집, Vol. 2018 No. 5:227-228.
- 이정민, 남궁현, 김아영, 이보연, 강년건, 유동근, 2022. 음압자료를 이용한 해저면 분류 기술 현황: 한국수로학회지, 제11권, 제1호:39-47.
- 김영택, 이은일, 박요섭, 권광석, 2009. 멀티빔 음압자료를 이용한 저질분류: 2009년도 한국마린엔지니어링학회 공동학술대회 논문집:343-346.
- 김성렬, 이용국, 정백순, 2006. Side Scan Sonar 실무이론과 현장조사에 적용: 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회논문집:201-204.
- 박요섭, 이신제, 서원진, 공기수, 한혁수, 박수철, 2008. 다중빔 음향 탐사 시스템(300 kHz)의 후방산란 자료를 이용한 해저면 퇴적상 분류에 관한 연구: 자원환경지질 제 41권 제6호:747-761.
- 노정식, 최윤수, 윤하수, 이유정, 2009. 멀티빔(MBES)의 오차보정에 관한 연구: GIS국제학술대회 제17권 제3호:351-359.
- 김동문, 김응남, 2011. 해저지형 모델링 향상을 위한 MBES자료 후처리 기법 연구; 한국공간정보학회지 제19권 제2호 pp.19-28.
- 이명훈, 김창환, 박찬홍, 박현영, 2015. 해저면 영상 자료와 후방산란자료의 비교 분석을 이용한 독도 연안 주요 서식지의 해저면 분류 특성 분석: 한국지구물리/물리탐사학회 춘계학술발표회 및 심포지엄:101-102.
- 국립해양조사원(KHOA), 2019. 국가해양기본조사 23년을 돌아보며
- 한국해양조사협회, 2022. 멀티빔 후방산란 자료취득 표준 가이드 연구, 머신러닝 기반 해저면 특성 분류 기술개발 1차년도 보고서
- 국립해양조사원(KHOA), 2021. 「수로측량 업무규정(국립해양조사원 고시 제189호)」, 국립해양조사원 훈령·예규고시, <http://www.khoa.go.kr>
- IHO (International Hydrographic Organization), 2011. Manual on Hydrography (Corrections to 2011.5.)
- GEOHAB BSWG (Backscatter Working Group, Marine Geological and Biological Habitat Mapping), 2015. Backscatter Measurement by Seafloor - Mapping Sonars - Guidelines and Recommendations
- EAGE (European Association of Geoscientists & Engineers), 2013, Seismic Stratigraphy and Depositional Facies Models, pp. 17-72.
- Karl F. Graff, 1981. A History of Ultrasonics, Physical Acoustics Volume XV, pp. 1-97.

