

인공지능을 활용한 해저면 피복도 제작 연구

Production of Benthic Habitat Map using Artificial Intelligence (AI)

김용훈* · Hailey Filippelli** · 장민철*** · 임정호****

Yong Hoon Kim · Hailey Filippelli · Min Chol Chang · Jungho Im

요약 어업활동, 양식, 해저자원개발, 해상풍력 단지 개발 등 해양에서의 인간 활동은 나날이 증가해가는 추세이며, 이로 인한 해양환경에 대한 영향은 심각한 지경에 이르렀다. 해양환경에 대한 영향을 줄여가며 지속 가능한 해양 이용을 위해서는 해양공간 및 해양환경에 대한 국가적 차원에서 관리체계 강화가 요구된다. 과학에 기반한 해양관리 체계 수립을 위해서는 해양환경 및 생태계 변화에 대한 과학적 조사 분석 및 예측이 필수적이며, 특히나 해저면 생태계에 대한 파악을 기반으로 한 서식지 피복도 제작이 시급한 실정이다. 이에 본 연구에서는 최신 선진국에서 수행하고 있는 인공지능을 활용한 해저면 피복도 제작에 대한 방법론을 소개하였다. 기존 연구에 따르면 해저면 생태계 서식지 지도 및 피복도 제작을 위해서 필요한 자료들은 각종 음향측심기(싱글빔 측심기, 멀티빔 에코사운더, 사이드 스캔 소나 등)에서 관측된 음향 후방산란(acoustic backscatter) 자료가 필수적이며, 그 외에도 인공위성 자료, 해양환경 자료 및 생태계 현장확인(ground-truthing) 자료가 있으면 큰 도움이 될 수 있다. 이러한 자료들을 훈련자료(training data sets)로 활용하여, 무감독학습법(unsupervised learning)에 기반한 탐다운 분류법과 지도학습법(supervised learning)에 기반한 바텀업 분류법 등의 인공지능 모델링을 통해서 서식지 클래스를 구분할 수 있다. 또한, 앞서 설명한 다양한 자료 및 방법론에 기반하여 해저면 피복도를 제작할 때 고려해야 할 중요한 점 중 하나는 해역의 이해당사자 또는 관리자들의 요구에 맞는 분류기준(classification scheme)을 결정하는 것이라는 것도 본 연구의 중요한 시사점이다.

키워드 해저면 피복도, 서식지, 후방산란, 멀티빔 음향측심기, 인공지능, 기계학습

Abstract Pressures from increasing human activities in the ocean, including fishing, aquaculture, mining, and offshore wind farm development, threaten marine environments. It is necessary to set up national ocean management systems to promote sustainable use of marine resources. In order to address such management requirement, there is an urgent need to develop marine benthic habitat map in national scale. This study introduces and summarizes the process of producing benthic habitat maps by utilizing artificial intelligence (AI). The data that are necessary for seafloor mapping include acoustic backscatterance from various acoustic devices (i.e., single beam echosounder, side scan sonar, multibeam echosounder) in addition to satellite remote sensing, oceanographic, and in situ ground-truthing data. Representative approaches to conduct AI-based classification are (1) top-down, unsupervised learning and (2) bottom-up, supervised classification. It should be noted that it is one of the most important factors to consider the request of the stakeholders or management communities when setting up the classification scheme.

Key words Benthic habitat map, acoustic backscatter, multibeam echosounder, artificial intelligence, machine learning

1. 서론

해양에서 일어나는 인간 활동의 증가로 인해, 그 활

동의 영향이 해양환경에 주는 스트레스가 지속적으로 늘어나고 있는 실정이다. 어업활동, 양식 등의 고전적 인 영향을 비롯해서, 최근에는 해저자원개발 또는 해

Received: 2020.12.28, Revised: 2021.01.04, Accepted: 2021.01.04

* Department of Earth and Space Sciences, West Chester University of Pennsylvania, West Chester, PA, USA, ykim@wcupa.edu(주저자)

** Department of Earth and Space Sciences, West Chester University of Pennsylvania, West Chester, PA, USA, hf863149@wcupa.edu

*** 국립해양조사원, 부산광역시 영도구 해양로 351(Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, Busan, Korea), chamic@korea.kr

**** 울산과학기술원 도시환경공학과, 울산 울주군(Department of Urban and Environmental Engineering, UNIST, Ulju-gun, Korea), ersgis@unist.ac.kr(교신저자)

상풍력 단지개발 등의 대단위 인간활동은 해저 생태계에 큰 위협이 되며 그로 인해서 해저 생태계 다양성이 감소하는 추세이다(Halpern et al., 2008). 더욱 큰 문제는 이러한 해양의 이용이 앞으로 꾸준히 증가할 것이라는 점이며, 전세계 해양 중에서 이러한 인간의 활동이 닿지 않는 곳은 절반도 남지 않게 될 것으로 예측하고 있다(Halpern et al., 2008).

이러한 해양에서의 인간 활동에 의한 악영향의 증가 추세에 비해서, 우리가 해저면의 지질학 및 생태학적인 기능 및 특성에 대해 알고 있는 사항이 매우 제한적이라는 점은 안타까운 현실이다. Wright and Heyman (2008)의 연구에 따르면, 전세계 해저면의 약 5-10% 미만의 해역이 조사되었다고 볼 수 있고, 이 역시도 대부분 음향탐사에 기반한 지질학적 특성 조사에 미칠 뿐이며, 생태학적인 조사 및 연구는 미미한 것이 현실이다. 따라서, 해양자원을 효율적으로 활용 및 개발하고 생태적으로 주요한 해역 및 해저면 서식지를 보호하기 위해서는, 해저면의 지질학적·생태학적 특성을 포함하는 방대한 자료에 기반한 해저면 피복도 작성이 시급하다 할 수 있다.

또한 해양의 지속가능한 이용 및 발전을 뒷받침하고자, 세계 각국은 해양공간 및 해양환경의 국가 관리체계 강화를 위해 노력하고 있다. 그 노력의 일환으로 국내에서는 제1차 해양공간기본계획(2019-2028년) 및 제2차 해양생태계 보전 관리 기본계획(2019-2028년) 등에 의거하여 해양공간 관리에 관한 업무를 효율적으로 추진하고, 해양공간정보를 통합적으로 관리하며, 해양생태계 거버넌스 구축 및 운영 강화를 추진 중에 있다. 이러한 해양환경 및 생태계 변화에 대한 선제적 대응을 위해서는 과학적 조사 분석 및 예측 기술 개발이 필요하며, 특히 해저면 생태계에 대한 파악이 매우 중요하다.

예를 들어, 미국, 영국, 캐나다, 호주 등을 비롯한 선진국들은 2000년대 초반부터 해저측량 후방산란 자료 및 수중 영상 자료 등에 기반한 저서생태 자료들을 활용하여 각 국가의 관할해역에서 해저면 피복도 제작을 지속적으로 추진해 오고 있다(Brown et al., 2011). 반면에, 국내에서는 국가해양기본도 사업 등에 힘입어 해저지형 파악 및 해저퇴적물 분포 파악에는 상당한 진전을 보이고 있지만, 해저 생태계 서식지 조사에 대해서는 국립공원공단 등의 해양국립공원 서식지 유형 조사 등 국지적인 사업이 존재할 뿐 관할해역 전체의 유물, 지질, 생물 등 보존가치가 높은 해저자원에 대한 조직적인 연구 및 조사가 이루어지고 있지 않은 현실이다.

따라서 본 연구에서는 향후 국내에서 해저면 서식지

지도 및 피복도 제작 작성에 유용할 기술적인 방법론, 특히 최근의 연구 추세인 인공지능 모델링을 활용하는 해저면 피복도 제작기법에 대해 기술하고자 한다. 2장에서는 해저면 피복도 제작에 활용가능한 자료를 정리하고, 3장에서는 해저면 서식지 분류에 적용 가능한 인공지능 방법론에 대해 소개하고, 실제 적용 방법에 대해서는 4장에 정리하였다. 마지막으로 5장에서 해저면 피복도의 필요성 및 앞으로 국내에서 수행이 시급한 사업에 대한 논의를 덧붙이고자 한다.

2. 해저면 피복도 제작에 필요한 관측 자료

2.1 해저측량 음향 후방산란(backscatter) 자료

해저 저서 생태계를 좌우하는 가장 중요한 요소로는 해저면의 지질학적·지형학적인 특징과 해저면 위에 위치하는 해수층의 환경적 특징을 들 수 있다. 이 중 특히 해저면의 지질학 및 지형학적 특성을 파악하기 위해서는 다양한 자료들이 활용될 수 있는데 그 중 가장 활용도가 높은 방법은 음파를 이용한 현장조사이다(Pickrill and Todd, 2003). 음파를 이용한 여러 가지 해저 지질 및 지형 조사 방법 중 해저면 피복도를 작성하기 위해서 활용될 수 있는 것으로는 1) 싱글빔 수심측량, 2) 사이드 스캔 소나, 3) 멀티빔 음향측심 등의 세가지 방법이 가장 대표적이라 할 수 있다. 이러한 음파를 이용한 해저면 탐사법을 통해서 수심, 후방산란강도(acoustic backscatter strength) 등의 자료 획득이 가능하며, 이러한 1차자료에 기반해서 경사도, 지형, 저질 정도, 해저 저질 거칠기(sediment roughness) 등의 2차자료를 해저면 피복도 작성에 활용될 수 있다(Kenny et al., 2003; Diaz et al., 2004; Anderson et al., 2008). 이러한 음파 측정 자료들의 공간적 해상도는 각 탐사 장비에 따라 좌우되며 대략 수센티미터에서 수십미터 사이의 값을 보이는 것이 일반적이다.

2.1.1 싱글빔 수심측량자료

음향을 이용하여 해저면 특성을 조사하는 방법 중 가장 고전적이고 간단하면서도, 제일 널리 사용되는 방법이 싱글빔 트랜스듀서를 사용하는 음향측심기 자료이다. 사용되는 음향 주파수 영역대는 보통 30-200Hz 사이가 대부분이다(Brown, 2007). 상업용으로 제작되어 언제든 이용가능한 시스템들이 매우 다양하며, 기본적인 측정 요소로는 수심과 해저면 정보를 유추할 수 있는 후방산란 자료가 있고 이들 모두 해저면 피복도 제작에 유용하다. 싱글빔 측심기 자료를 이용할 경우 해저면에 반사되어 돌아오는 음향 자료의 특성에 따라 음향 클래스(acoustic class)로 구분이 가능

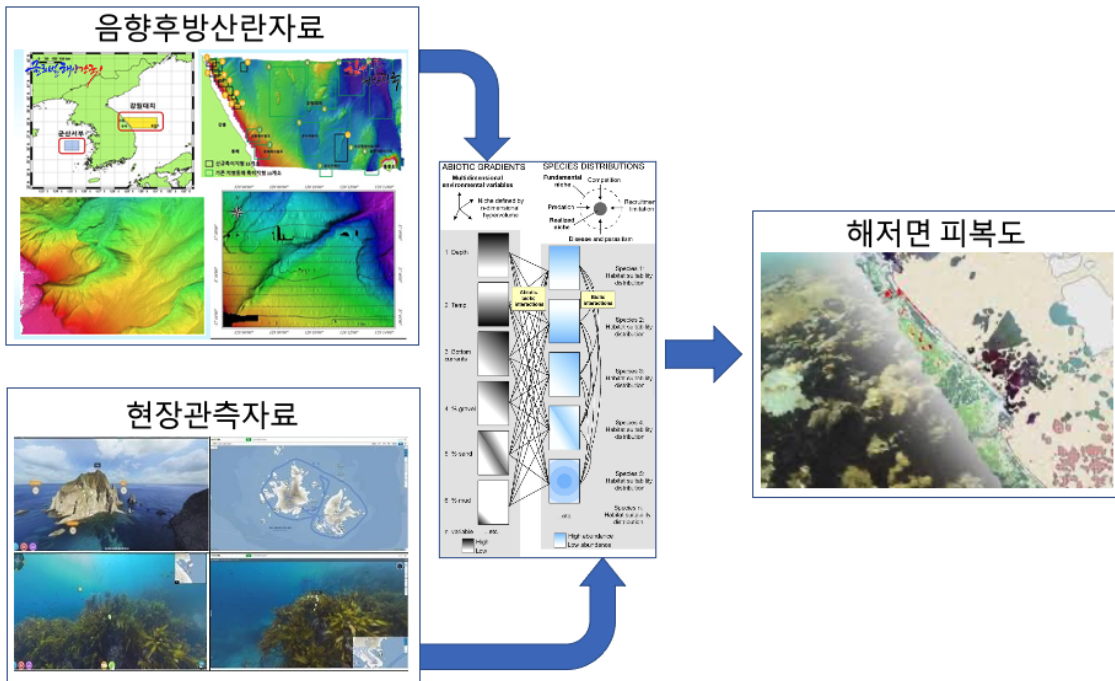


Figure 1. General approach for the production of benthic habitat maps (data provided by Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, developed from Brown et al., 2011)

하다. 해저면 피복도 제작을 위해서는 현장확인 자료 (ground-truthing data sets)에 기반하여 음향 클래스와 특정한 생태계 서식지 자료를 연결하는 것이 연구의 핵심이라고 할 수 있다(Brown et al., 2011).

싱글빔 자료의 가장 큰 장점 중 하나는 아래 소개할 사이드 스캔 소나 자료나 멀티빔 자료에 비해서 측정이 간단하고, 클래스로 구분하는 과정이 쉽다는 점이 있다. 반면에, 일정한 관측폭(swath)를 갖는 다른 시스템들에 비해서 조사 측선에서만 자료가 획득 가능하기 때문에 조사 측선 사이의 빈 부분에 대한 정보를 내삽(interpolation)을 통해서 구해야 한다는 점이 문제가 될 수 있다. 조사해역의 해저면 서식지가 매우 균질하지 않으면 측선 사이의 해저공간에 대한 정보가 누락될 수 있다. 이러한 이유로 국내에서는 최근에 많은 조사해역에서 멀티빔 자료가 싱글빔 자료를 대체하고 있는 추세이다.(노 등 2009).

2.1.2 사이드 스캔 소나 자료

사이드 스캔 소나(Side Scan Sonar, SSS)는 지난 수십년 동안 해양지질학적 조사에 널리 사용되고 있으며, 특히 해저 퇴적물 유형을 분석하는데 상당히 유용한 자료를 얻을 수 있는 장비이다. 일반적으로 사이드 스캔 소나의 후방산란 강도는 해저면의 지반공학적 특성과 민감하게 연관되어 있는 것으로 알려져 있다

(Collier and Brown, 2005; Brown and Collier, 2008). 사이드 스캔 소나는 싱글빔 음향측심기 보다 고주파 영역인 약 100-500 kHz 음역대를 사용하며 일정한 관측폭(swath)의 해저면 표층정보를 얻을 수 있다 (Collier and Brown, 2005). 사이드 스캔 소나의 관측 폭을 고려하여 조사하는 측선을 잘 설계하면 조사하는 해역의 자료를 끊임없이 연속적으로 획득할 수 있다. 후처리를 통해 모자이크 영상을 분석하고, 이를 토대로 후방산란 음향 자료의 특성을 구분(segmentation)한 뒤 동일하거나 비슷하게 구분되는 해저면을 음향상(acoustic facies)으로 분류할 수 있다(Olenin and Ducrottoy, 2006). 이러한 음향상은 향후 현장확인(ground-truthing) 자료와 비교 분석을 통해서 검증하는 과정이 필요할 수도 있다.

최근에는 구분자동화방법(automated segmentation method)이 비약적으로 발전하고 있으며, 이는 후방산란 자료에 대한 객관적 클래스 분석 알고리즘(objective classification algorithm)에 의해 이루어지고 있다(Brown and Collier, 2008). 이러한 분류자동화 방법은 크게 (1) 영상에 기반하여 후방산란 자료가 비슷한 해역을 클래스로 나누는 영상기반구분화(image-based segmentation)와 (2) 후방산란 강도의 시그널 특성에 따라 클래스를 분류하는 신호기반구분화(signal-

based segmentation)로 나누어 볼 수 있다. 활용빈도에 따르면 영상기반구분화가 신호기반구분화보다 더 많이 활용되어 온 구분자동화방법으로 알려져 있다 (Brown and Collier, 2008).

2.1.3 멀티빔 음향측심자료

멀티빔 음향측심 조사법은 해저면 조사에 매우 광범위하게 활용되어 오고 있으며, 가장 큰 특징은 일정한 관측폭으로 수심 자료와 함께 후방산란 자료가 동시에 획득된다는 점이다(Pickrill and Todd, 2003). 즉, 관측폭을 고려하여 조사 측선을 설계할 경우 모자이크 후 처리를 통해 연속적인 자료의 획득이 가능해지며, 이는 사이드 스캔 소나도 동일하게 적용된다. 그러나 자료를 획득할 때 위치정보와 조사선박의 흔들림(pitch, roll, and heave) 등에 대한 다양한 상황을 자료 후처리 과정에 고려해야 한다는 점에서 상당히 복잡한 시스템이라 할 수 있다. 현재 상업용으로 다양한 시스템이 개발되어 있으며, 국내에도 여러 연구 기관 및 업체에서 멀티빔 시스템을 활용하여 우리나라 관할 해역에 대한 측량자료를 축적해 오고 있다.

기본적으로 멀티빔과 사이드 스캔 소나에서 얻은 자료는 비슷하기 때문에 앞서 설명한 영상기반구분화와 신호기반구분화 방법이 모두 적용 가능하다. 멀티빔 자료를 가지고 해저면 클래스를 분류하는데 적용되는 기술로는 주성분분석(principal component analysis)에 기반한 방법(McGonigle et al., 2011; Brown et al., 2011), 베이지안 결정규칙(Bayesian decision rules)에 기반한 방법(Simons and Snellen, 2009), 텍스처 분석(textural analysis)에 기반한 방법(Blondel and Gomez Sichi, 2009), 하이패스 또는 로우패스 필터 등을 적용하여 구성된 영상을 분석하는 방법(Rattray et al., 2009) 등을 들 수 있다. 특히 최근에는 인공신경망 기술(neural-network technique)을 적용하여 영상 클래스를 분류한 사례가 매우 각광을 받고 있다(Marsh and Brown, 2009).

이미 미국, 유럽, 호주 등 선진국에서는 해저면 피복도 제작을 추진해 오고 있으며, 특히 멀티빔 후방산란 자료를 이용한 해저면의 상태를 판독하는 기술은 해저면 분류, 심해 산호초 분포, 해저면 가스분출, 대형 해조류 군락을 식별하는 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 향후 국내에 축적된 멀티빔 자료를 활용하여 인공지능 학습법을 적용한 해양저질 판독 기술을 개발한다면 고비용을 필요로 하는 해양저질 시료 채취작업을 대체할 수 있어 많은 시간과 비용을 절감할 수 있다.

2.2 해양환경자료(Oceanographic data)

해양 저서생태계는 해저면의 지질학적 특성과 더불어 저층해수의 특성에 의해 큰 영향을 받는다(Lee et al., 2014). 따라서 해저면 피복도 작성을 위해서는 해수의 환경적 특성에 대한 자료를 반드시 고려해야 한다. 예를 들면, 해류, 조류, 파랑, 수온, 염분, 성층, 일조량, 영양염, 일차생산 등의 해양환경특성들이 해저생태계 서식지에 영향을 줄 수 있다. 이와 같이 해저면 및 해역 특성을 좌우하는 해양환경자료를 일컬어 해저지형(marine-landscape)의 영향이라는 뜻으로 시스케이프(seascape) 구분을 위한 해양환경자료 라고 명하기도 한다. 시스케이프 지도(seascape maps)는 최근에 영국, 캐나다, 호주, 벨기에 등의 선진국에서 활발하게 적용되어 오고 있으며, 이러한 사업들을 살펴보면 시스케이프 구분(seascape segmentation)을 위해서는 앞서 언급된 수온, 염분, 수괴특성, 해류 또는 조류 특성 등에 기반한 무감독분류법(unsupervised classification)이 활용되는 편이다.

공간적 규모 측면에서 해저면 측량자료의 공간해상도는 수미터에서 수십미터 수준인데 반해서, 앞서 언급된 해양환경 자료들은 대부분 공간해상도가 훨씬 낮고(coarse), 공간적인 변화가 상대적으로 점진적인(gradual) 특성을 보인다. 따라서, 두 종류의 자료를 복합적으로 사용할 때 공간해상도와 공간변화 특성의 차이에 유의하여야 한다. 예외적인 사항으로, 해저 지형에 따른 저층해류의 변화 등의 경우에는 해저면 지형 특성의 공간해상도와 환경자료의 공간해상도가 비슷하게 나타날 수도 있다.

2.3 인공위성 자료

인공위성 자료는 광범위한 지역의 영상 이미지 자료를 제공할 수 있어서 활용도가 매우 높다. 그러나 수심이 깊은 해저면에는 광파가 전달되지 않기 때문에 인공위성 자료를 취득할 수 없고 수심이 얇은 해저면 정보만 얻을 수 있다. 따라서 해저면 피복도를 제작하기 위해서는 육지나 섬 주변의 얇은 바다의 해저면에 대한 인공위성 자료가 유용하게 된다. 예를 들어, Analytical Laboratories of Hawaii (2004) 보고서에서는 IKONOS 위성 영상 자료를 이용하여 미국령의 태평양 섬 주변해역에 대한 산호초 등에 대한 해저면 피복도를 제작하여 어업과 관광 서비스에 필요한 정보를 제공한 바 있다. 얇은 수심의 천해 환경이나 갯벌, 해안가 등의 해저면 피복도를 조사하는데 있어 인공위성 기반의 원격탐사 자료를 활용할 수 있다.

2.4 현장확인(Ground Truth)을 위한 관측 자료

앞서 언급한 음향을 이용한 원거리 측정으로는 해저면의 생태 서식지 정보를 구분하는 것이 불가능하다. 이러한 생태정보를 정확하게 취득하기 위해서는 현장에서 관측한 실측자료(in situ ground-truthing data)가 필수적이다. 후방산란자료의 생태관련 클래스를 확인하기 위한 현장관측은 서식지 종류, 관측 장비 등에 따라 최적화된 모니터링 설계를 필요로 한다. 예를 들면 그랩이나 트롤을 이용해서 제한된 공간범위의 저서 및 유영생물 정보를 얻거나, 영상장비가 장착된수중 드론을 이용하여 비교적 넓은 범위의 해저면 서식지에 대한 퇴적학 및 생태학적 연속자료를 얻을 수 있다. 효율적인 현장조사 계획을 수립하기 위해서 연구자가 연구자 하는 클래스 정보가 무엇이고 이를 어떻게 관측할 수 있는지, 또한 해양공간관리의 관점에서 유용한 해저면 피복도의 용도를 정하고 이에 따른 다양한 해저면 서식지 클래스를 확인(ground-truth)할 수 있는 현장자료의 획득에 중점을 두어야 한다.

3. 해저면 피복도 제작에 필요한 인공지능

넓은 공간범위의 해저면 피복도를 제작하기 위해서는 앞서 언급된 다양한 자료들을 대량으로 처리해야 한다. 이러한 빅데이터를 처리할 수 있는 방법으로는 통계학 기반의 데이터 마이닝, 기계학습, 패턴 인식 등을 들 수 있다. 본 논문에서는 해저면 피복도 제작을 위해서 패턴 인식에 사용되는 대표적인 기계학습(machine learning) 또는 인공지능(artificial intelligence) 접근에 대해 소개하고자 한다.

3.1 지도학습법(supervised learning)

지도학습법은 감독학습 또는 교사학습이라 하며 훈련용 데이터(training data)로부터 하나의 함수를 유추해내기 위한 기계학습의 한 방법이다(임 외, 2016). 지도학습을 위해서는 현장 샘플 채취 또는 영상자료 확보 등의 다양한 현장확인(ground truthing) 방법을 통해서 해저면 피복의 형태와 위치에 대한 정보를 이미 선형적으로 알고 있다는 전제가 필요하다. 지도학습 분석 시스템은 음파탐사 자료로 부터 연구자가 이미 분류해 놓은 해저면 피복특성이 균일하게 분포하는 특정 위치를 찾으려는 노력의 종합체라고 볼 수 있다. 다시 말하면 훈련지역(training sites)이라고 부르는 특정 해저면의 음파 특성을 이용하여 분류 알고리즘을 훈련하는 것이다. 예를 들면 평균, 표준편차, 공분산 행렬, 상관 행렬 등과 같은 다변량 통계 변수들을 각각의 훈

련지역에 대하여 계산하고, 이를 기초로 훈련지역 내부와 외부의 모든 음파자료를 평가한 뒤 각 음파 격자를 가장 확률이 높은 해저면 클래스에 할당하는 과정을 통해 분류를 결정해 간다(임 외, 2016).

이러한 지도학습법을 통해서 해저면 피복도를 만들어 가는 과정에서 필수적이면서도 주의를 요하는 네가지 작업단계를 소개하고자 한다. 지도학습법을 적용하는 가장 첫 번째 단계로 연구자는 가설을 검증하기 위한 대상지역(Region of Interest, ROI)를 구체적으로 정해야 한다. 두 번째 단계에서는 분류체계에서 조사할 관심 클래스(class of interest, 예를 들면 해저면 서식지 종류)들을 정의하는 과정을 거치는데, 이 때 관심 클래스로부터 어떤 최종산출물을 만들어 낼 것인지와 어떤 분류 논리를 사용할 것인지를 결정하는 것이 매우 핵심적인 과업이라 할 수 있다. 세 번째 단계에서는 음향센서 특성 및 환경적 제한요소를 동시에 고려해서 적합한 음향탐사 자료와 현장확인 자료를 획득한다. 네 번째 단계에서는 음향탐사 자료를 위한 적합한 분류 알고리즘을 선택하고, 연구자의 선형적 결과에 근거하여 초기 훈련자료를 선택하여 분석시스템에 적용한다. 이 과정에서는 훈련 클래스와 다른 클래스를 구별할 수 있는 최적의 음향 특성을 선택하는 것이 핵심 과업의 하나라고 볼 수 있다.

해저면 피복도 작성 시 모든 관심 클래스를 주의 깊게 선택하고 정의하기 위해 분류체계(classification scheme)을 사용한다. 이러한 분류체계는 정보 클래스의 분류학상 정의에 따라 논리적으로 결정되어야 한다. 일반적인 경우에 분류 시스템상의 클래스들은 상호배타적이며(mutually exclusive), 포괄적이고(exhaustive), 계층적(hierarchical)인 특성을 만족하도록 정의하면 되는 것으로 알려져 있다(임 외, 2016). 상호배타적이라는 분류학적 클래스 사이에 중복성이 없다는 것을 의미한다. 포괄적이라 함은 모든 해저면 피복 클래스가 고려되고 어떠한 것도 빠져서는 안 된다는 뜻이다. 계층적이라 함은 낮은 레벨의 클래스가 더 높은 레벨의 항목에 계층적으로 포함되어야, 이로부터 단순화된 해저면 피복 주제도를 쉽게 만들 수 있다.

3.2 무감독분류(unsupervised classification) 또는 자율학습법

무감독학습법 또는 자율학습법에서는 해저면 피복 특성에 대한 사전 정보가 부족한 경우에 적용한다. 즉, 음파 특성에 따른 해저면 특성이 제대로 정의되어 있지 않아 클래스별 해저면 피복 형태를 선형적으로 알 수 없는 경우에 주로 쓰인다. 대개는 통계적으로 정의된 기준에 따라서 컴퓨터가 비슷한 음파 특성을 가진

격자들을 격자군(cluster)으로 분류하는 과정이 그 핵심이다(임 외, 2016). 그 다음에 분석 시스템이 각 격자군마다 이름을 붙이고, 이러한 음파 격자군을 정보 클래스로 통합하는 과정을 거치게 된다.

지도학습법과 무감독학습법에서 분류를 어떻게 하는지 비교해보자. 무감독학습법은 일반적으로 최소 분량의 초기입력을 필요로 한다. 왜냐하면 음파 격자군을 만드는 기법이 많은 훈련자료를 필요로 하지 않기 때문이다. 다시 말해, 무감독 분류는 각 격자의 음파 특성에 기초하여 음파의 격자값들을 자연스럽게 격자군으로 만들어 가는 처리과정이다(임 외, 2016). 격자군을 만들어 가는 과정을 통해 다양한 클래스로 구성된 분류 지도를 얻을 수 있다. 그 다음 과정으로 분석 시스템 자체에서 또는 전문가의 개입을 통해서 그 클래스들을 다양한 서식지 특성에 따른 관심 주제정보 클래스로 할당하거나 변환하기 위한 후처리과정(postprocessing)을 시도한다. 때로는 어떤 음파 격자군이 여러 가지 지표물질이 뒤섞인 클래스로 표현되는 경우에는 주제정보 클래스 할당이 무의미한 결과가 되기도 한다. 이때 연구자는 이러한 의문점을 해결할 수 있도록 신중히 생각해 볼 필요가 있으며, 이를 위해서 특정 격자군을 어떤 정보 클래스로 명명할 때 연구자가 그 해역의 서식지 특성을 잘 알고 있어야 한다. 즉,

무감독분류는 비슷한 특성을 가지는 격자군을 분류하는 클러스터링과 분류된 격자군에 제대로 된 클래스를 할당하는 라벨링의 두 과정으로 이루어진다. 대체적으로 클러스터링은 쉬운 편이나 라벨링은 분류하고자 하는 지역의 특성을 제대로 파악하여 격자군을 정의할 때 반영해야 하므로 연구자의 주관적인 요소가 종종 들어간다.

4. 인공지능 학습법을 이용한 해저면 피복도 제작

대부분의 해저면 피복도 제작은 음향자료, 현장확인(ground-truthing)자료, 해양환경자료 등의 상관성을 통계적 분석한 결과에 의존해 왔다. 최근에는 그 자료가 방대해 지고 생물종과 생물군집 정보가 다양해지면서 과거보다 복잡한 통계모델이 적용되는 경우가 많아졌으며, 이러한 경우에 통계적으로 유의미한 정보를 추출하는 과정에서 상당한 중요한 정보가 누락되기도 한다. 이러한 통계모델의 한계를 극복하기 위해 인공지능 학습 모델의 적용이 보편화 되고 있는 추세이다. Brown et al. (2011)이 제시한 대표적인 해저면 피복도 제작 전략 3가지를 소개하고자 한다.

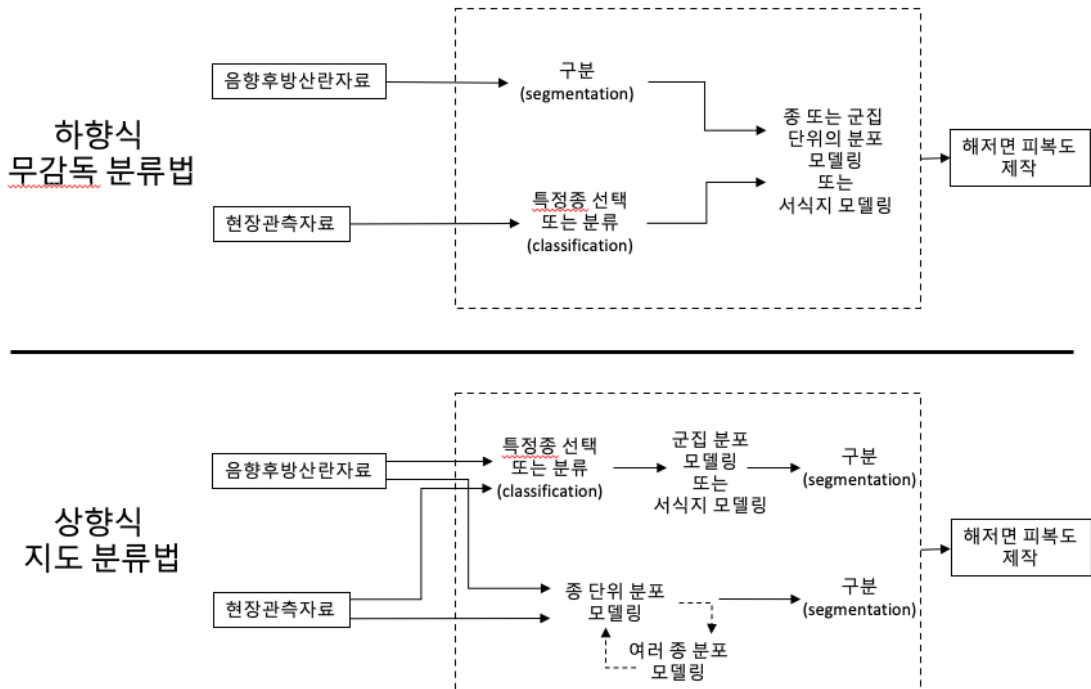


Figure 2. Three basic approaches to produce benthic habitat maps (modified from Ferrier and Guisan, 2006 and Brown et al., 2011)

4.1 무생물대체법(Abiotic surrogates)

무생물대체법(abiotic surrogates)에서는 현장에서 관측된 생물학 및 지질학적 자료를 사용하지 않는다. 현장확인 자료를 사용하지 않기 때문에 무생물 해양환경 자료에 무감독 지도학습법을 적용하여 일정한 패턴을 보이는 클래스를 찾아 분류하는 방법이다(Fig. 2). 대상해역이 넓고 현장확인 자료가 없을 경우에 한정된 무생물 해양환경 자료만을 사용해서 최적화된 클래스를 찾아내는데 활용된다.

이 방법에 의해 제작된 피복도는 의미있고 자세한 서식지를 나타내지 못하나 넓은 해저면에서 암반, 해초, 해저 협곡 등의 특징적인 서식지를 분류하는데 도움이 된다. 그러나 다양한 생물종이나 생물군집 정보를 추출할 수 없기 때문에 해양환경 관리에 사용되기에는 제한적이다.

4.2 하향식 무감독 분류법(Top-down unsupervised classification)

하향식(top-down) 접근법은 무감독학습에 따른 서식지 분류법의 대표적인 방법론으로 알려져 있다. 앞서 언급한 무생물대체법(abiotic surrogates) 보다는 많이 사용되며, 특정한 생물종이나 생물군집의 분포정보를 추출할 수 있기 때문에 해저면 피복도 제작에 유용한 방법이다. 이름에서 알 수 있듯이 해양환경 자료와 현장관측된 해저면의 생물 및 지질 자료들을 훈련용 자료(training data set)로 사용하여 무감독학습을 통해 서식지 클래스를 분류한다(Brown et al., 2011; Fig. 2). 3장에서 설명한 객관적 접근법에 기반한 구분화(segmentation based on objective approaches)를 기반으로 하여 유사한 패턴을 갖는 클래스들을 분류해 낸다.

이 방법은 연구자의 지식에 기반하여 사전에 정의된 분류체계를 따르지 않고 생물종이나 생물군집의 서식지를 분류한다. 이러한 분류를 위해서는 전통적인 통계적 모델을 사용해 왔으나, 앞서 설명한 바와 같이 최근에는 기계학습 모델링(machine learning modeling)이나 인공지능 분석법을 많이 적용하고 있다(Fig. 2). 해양환경 자료의 특성 클래스가 분류되었으면 다음 단계로 현장에서 관측한 생물 및 지질 자료와 비교하며, 이를 통해 생물종과 생물군집의 서식지 분포도를 제작할 수 있게 된다.

4.3 상향식 지도분류법(Bottom-up supervised classification)

상향식(bottom-up) 방법은 위에 설명한 하향식과는

달리 초기에 클래스 분류 또는 구분화(segmentation) 작업을 수행하는 단계에서 현장에서 획득된 생물 및 지질자료를 이용하여 현장확인(ground-truthing)을 거친 후분류를 완성하는 방법이다(Brown et al., 2011; Fig. 2). 생물종 및 생물군집의 특성 클래스를 분석하여 훈련용 자료(training data set)로 활용이 가능하다. 현장확인 자료에 기반해서 생물종 또는 생물군집 존재 유무를 파악한 후에, 이를 음향반사 자료 또는 해양환경 자료의 특성에 대한 함수로 모델링하여 클래스를 학습하도록 지도한다.

5. 토 의

2020년 현재 전 세계 바다의 5-10% 정도에 대한 해저면 지도가 존재하며(Wright and Heyman, 2008), 생물학적 정보를 고려한다면 공간범위는 훨씬 작아질 수 있다. 최근에 발달된 현장 관측 장비들과 인공지능 통계모델링의 등장으로 해저면 생태 공간정보에 대한 국제 연구 실적은 급속한 증가세를 보이고 있다. 국내에서는 해저 생태계 서식지 지도나 해저면 피복도가 매우 좁은 공간범위에 대해 제작되어 있고 분류 클래스의 종류가 한정되어 있다. 본 논문에서는 외국에서 해저면 피복도 제작에 사용하는 자료와 제작과정에 적용되는 방법론에 대해 서술하였다. 토의에서는 왜 해저 생태계 서식지 지도가 필요한지, 해저면 피복도의 유용성은 무엇인지에 대해 공유하고자 한다.

해저면 피복도의 필요성이 대두된 이유는 최근에 늘어난 해양 이용의 증가 추세에서 찾아볼 수 있다. 해상 풍력 및 양식과 같은 다양한 입체적 해양이용이 증가하면서 이를 뒷받침할 수 있는 빈틈없는 해저면 공간정보의 필요성이 높아지고 있다. 또한 기후변화에 대한 적절한 해양관리 대응책을 마련하기 위해서도 해양 공간정보가 필요하다. 단순히 해저시료 채취 및 음파탐사 등의 해저 지질도를 넘어서는 조화로운 해양공간 관리를 위해서는 해저생태계 서식지를 고려해야 한다. 해외의 사례를 살펴보면 해저면 피복도 작성시 관심해역의 분류기준(Classification scheme)을 결정하기 위한 요소 중 해역의 이해당사자 또는 관리자의 요구가 중요하다는 점이 다양한 연구에서 강조되어 오고 있다(Kendall et al., 2001). 우리나라도 기존에 확보된 해저측량 후방산란 자료를 활용하여 관할해역 전반에 대한 해저면 피복도를 제작하여 지속가능한 해양의 이용 및 관리 정책 수립에 필요한 정보를 제공하는 것이 시급하다.

6. 결론 및 제언

본 연구는 인공지능 기법을 활용한 해저면 피복도 제작법을 상세하게 소개하여 향후 국내에서 해저면 피복도 제작을 추진하는데 도움이 되고자 하였다. 해저면 피복도 제작에 활용 가능한 자료로서 해저면 음향 탐사 자료의 종류를 자세하게 정리하였다. 또한, 피복도 제작에 유용한 인공위성 및 해양환경 자료에 대한 필요성도 제시하였다. 이러한 해저 및 해양환경 자료들을 이용하여 의미있는 서식지 클래스를 추출하기 위한 방법론으로 최근 각광을 받고 있는 인공지능 기계 학습 방법을 소개하였다. 특히 인공지능 방법론을 적용할 때 연구자가 주의해야 할 점을 제시하여 수준 높은 연구수행에 활용할 수 있도록 하였다.

본 논문에서 기술하고 있는 해저면 피복도 제작 방법론을 사용하여 국내에서 관할해역 전체에 대한 해저면 피복도 제작이 절실히 요구된다. 이미 항만, 연안해역, 배타적 경제수역 등을 포함하는 관할해역 전 해역에 대한 멀티빔 측심자료를 확보하고 있고, 최근 관측 기술 발전으로 높은 해상도의 측량 자료를 주기적으로 축적해 오고 있다. 기존에 확보된 멀티빔 자료를 활용하여 최신 인공지능 기술을 적용한 해저면 재질 판독 기술을 개발하면 경제적이고 과학적인 방법으로 해저면 피복도를 제작할 수 있다. 이를 통해 관할해역 내에서 수행되는 수산양식, 인공어초, 해상풍력, 바다골재 등 다양한 해양이용 행위에 대한 효율적인 해양환경 관리가 가능할 것이다. 앞으로 이루어질 수심 측량 및 해저면 탐사 과업 수행시 수심과 해저면 피복에 대한 정보를 동시에 획득할 수 있는 국산 기술을 확보하게 되면 해저면 피복도 제작에 소요되는 해양조사 예산 및 시간을 상당히 절감할 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

논문을 세심하게 검토해 주신 심사위원님께 감사의 말씀을 올립니다.

참고문헌

1. 노정식, 최윤수, 윤하수, 이유정, 2009. 멀티빔의 오차보정에 관한 연구. 한국 GIS 학회지 17, 351-359.
2. 임정호 외 역, Jensen, O.R. 저. 2016. 원격탐사와 디지털 영상처리 4판. 시그마 프레스, 580쪽.
3. Analytical Laboratories of Hawaii, 2004, Mapping of benthic habitats for U.S. Pacific Territories: American Samoa, Guam, and The Commonwealth of the Northern Mariana Islands. NOAA Task Order II Project Completion Report, 54p.
4. Anderson, J.T., Van Holliday, D., Kloser, R., Reid, D.G., Simard, Y. 2008. Acoustic seabed classification: current practice and future directions. ICES J. Mar. Sci. 65, 1004-1011.
5. Blondel, P., Sichi, O.G. 2009. Textural analyses of multibeam sonar imagery from Stanton Banks, Northern Ireland continental shelf. Appl. Acoust. 70, 1288-1297.
6. Brown, C.J., 2007. Special paper. Seafloor imagery, remote sensing and bathymetry: Acoustic Ground Discrimination System (AGDS). Geol. Assoc. Canada 47, 3-10.
7. Brown, C.J., Collier, J.S. 2008. Mapping benthic habitat in regions of gradational substrata: an automated approach utilising geophysical, geological, and biological relationships. Estuar. Coast. Shelf Sci. 78, 203-214.
8. Brown, C.J., Smith, S.J., Lawton, P., Anderson, J.T. 2011. Benthic habitat mapping: A review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques. Estuar. Coast. Shelf Sci. 92, 502-520.
9. Collier, J.S., Brown, C.J. 2005. Correlation of sidescan backscatter with grain size distribution of surficial seabed sediments. Mar. Geol. 214, 431-449.
10. Diaz, R.J., Solan, M., Valente, R.M. 2004. A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality. J. Environ. Manage. 73, 165-181.
11. Ferrier, S., Guisan, A. 2006. Spatial modelling of biodiversity at the community level. J. Appl. Ecol. 43, 393-404.
12. Halpern, B.S., Walbridge, S., Selkoe, K.A., Kappel, C.V., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno J.F., Casey K.S., Ebert C., Fox H.E., Fujita R., Heinemann D., Lenihan H.S., Medin E.M.P., Perry M.T., Selig E.R., Spalding M., Steneck R., Watson R., 2008. A global map of human impact on marine ecosystems. Science, 319, 948-952.
13. Kendall, M.S., Monaco M.E., KBuja K.R., Christensen J.D., Kruer C.R., Finkbeiner M., Warner R.A., 2001. Methods used to map the benthic habitats of Puerto Rico and the U.S.

- Virgin Islands. U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, National Centers for Coastal Ocean Science Biogeography Program 2001 report, Silver Spring MD. 45p.
14. Kenny, A.J., Cato, I., Desprez, M., Fader, G., Schüttenhelm, R.T.E., Side, J., 2003. An overview of seabed-mapping technologies in the context of marine habitat classification. *ICES J. Mar. Sci.* 60, 411-418.
 15. Lee, J.-H., Lee, J.-S., Park, Y.-G., Kang, S.-G., Choi, T.S., Gim, B.-M., Ryu, J., 2014. Environmentally associated spatial distribution of a macrozoobenthic community in the continental shelf off the southern area of the East Sea, Korea. *The Sea* 19, 66-75.
 16. Marsh, I., Brown, C. 2009. Neural network classification of multibeam backscatter and bathymetry data from Stanton Bank (Area IV). *Appl. Acoust.* 70, 1269-1276.
 17. McGonigle, C., Grabowski, J.H., Brown, C.J., Weber, T.C., Quinn, R., 2011. Detection of deep water benthic macroalgae using image-based classification techniques on multibeam backscatter at Cashes Ledge, Gulf of Maine, USA. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 91, 87-101.
 18. Olenin, S., Ducrottoy, J.P., 2006. The concept of biotope in marine ecology and coastal management. *Mar. Pollut. Bull.* 53, 20-29.
 19. Pickrill, R.A., Todd, B.J., 2003. The multiple roles of acoustic mapping in integrated ocean management, Canadian Atlantic continental margin. *Ocean Coast. Manage.* 46, 601-614.
 20. Rattray, A., D. Lerodionou, L. Laurenson, S. Burq, and M. Reston, 2009. Rattray, A., Ierodionou, D., Laurenson, L., Burq, S., Reston, M., 2009. Hydro-acoustic remote sensing of benthic biological communities on the shallow South East Australian continental shelf. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 84, 237-245.
 21. Simons, D. G., Snellen, M., 2009. A Bayesian approach to seafloor classification using multi-beam echo-sounder backscatter data. *Appl. Acoust.* 70, 1258-1268.
 22. Wright, D.J., Heyman, W.D., 2008. Introduction to the special issue: marine and coastal GIS for geomorphology, habitat mapping, and marine reserves. *Mar. Geod.* 31, 223-230.

