

## 원격탐사자료와 GIS를 활용한 연안해역 잠피의 지형학적 분포 특성 연구

여정윤<sup>1</sup> · 조성환<sup>2</sup> · 이진영<sup>3</sup> · 김종규<sup>4,\*</sup><sup>1</sup>한국수산자원공단 자원사업본부 국제협력실 기술직 책임<sup>2</sup>아이오테크(주) 대표이사<sup>3</sup>선진해양(주) 대표이사<sup>4</sup>전남대학교 조선해양공학과 교수

## Geomorphologic Characteristics of Seagrass Distribution in Coastal Seas Using Remote Sensing Data and GIS

Jungyoon Yeo<sup>1</sup>, Sunghwan Cho<sup>2</sup>, Jinyeong Lee<sup>3</sup>, and Jongkyu Kim<sup>4,\*</sup><sup>1</sup>Senior assistant, Resources Business Department, Korea Fisheries Resources Agency, Busan 46041, Korea<sup>2</sup>CEO, Iotech Co., Ltd, Busan 48730, Korea<sup>3</sup>CEO, SunjinOcean Co., Ltd, Yeosu 59626, Korea<sup>4</sup>Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

## 요 약

고흥해역에서 2015년에 수행된 전국 연안 잠피수 정밀 실태조사(Ministry of Oceans and Fisheries(MOF)[2015])의 잠피 분포지를 참고하여 전남 고흥해역 22개소에 분포하는 잠피 서식지의 공간적 분포 특성을 규명하기 위해 2019년 5월 드론(무인항공기)을 활용한 원격탐사를 수행하였다. 지형적 특성에 따라 고흥해역을 지리적인 2개 권역(Site A, Site B)으로 구분하였고, 잠피의 분포 수심대를 확인하기 위해 격자수심 자료로부터 등수심선을 추출하였다. 또한 해저지형의 지질학적 특성과 경사도를 파악하기 위해 오픈소스 소프트웨어인 QGIS(Quantum GIS)를 이용하여 표층퇴적물 분포결과와 DTM(Digital Terrain Model)을 제작하였다. 잠피 서식지의 공간적 분포 결과와 수심, 퇴적물 등 해저지형분석 결과를 통해 대부분의 잠피 분포지가 거금도 북측과 북동측 일부를 제외하고 수심 3~5 m 이내에 분포하였고 만(Bay) 형태의 해안선 지형에서 다수 관찰되었다. 퇴적물 유형은 세립한 약역질니((g)M)가 가장 우세하였으며 니질사(mS), 역질사(gS), 실트(Z) 등이 확인되었다. 경사도 분석결과 0.008°~1.6°이하로 비교적 완만하였으나 거금도 북동측 일부 잠피분포지에서는 20 m 이상 수심의 약 5.01°의 급격한 경사도에서도 잠피가 확인되었다. 2015년과 2019년의 잠피 분포 조사면적을 비교한 결과, 각각 0.854 km<sup>2</sup>, 3.649 km<sup>2</sup>로 잠수조사 대비 원격탐사 수행 시 약 4.3배 가량 넓게 분포함을 확인할 수 있었으며, 이러한 연구결과는 향후 타 해역에서의 광범위한 잠피 분포 특성을 파악하는데 있어서 유용한 자료가 될 것으로 기대된다.

**Abstract** – In May 2019, remote sensing survey using drones (unmanned aircraft) was conducted to determine the spatial distribution characteristics of Seagrasses habitats distributed in 22 places in Goheung, Jeollanam-do, referring to the Seagrasses distribution of the National Coastal marine Forest Survey conducted in 2015. Study area was divided into two geomorphological areas (Site A and Site B) according to geomorphological characteristics, and an equidistant water line was extracted from grid depth data to confirm the distribution depth of Seagrass. In addition, in order to understand the geological characteristics and slopes of the subsea topography, the surface sediment distribution results and digital terrain model (DTM) were produced using QGIS (Quantum GIS) software. Through the spatial distribution of Seagrass habitat and the analysis of subsea topography such as water depth and sediment, most Seagrass distributions were distributed within 3 to 5 m deep except for parts of the north and northeast of Geogeum Island, and many were observed in Bay-shaped coastline. As for the sedimentation type, slightly gravely mud ((g)M) was the most dominant, and muddy sand (mS), gravely sand (gS), and silt (Z) were identified.

\*Corresponding author: kimjk@jnu.ac.kr



As a result of the slope analysis, it was relatively gentle below 0.008-1.6 degrees, but in some seagrass distribution sites in the northeast of Geogumdo Island, seagrass was found to have a sharp slope of about 5.01 degrees at a depth of more than 20 m. The comparison of the seagrass distribution survey areas in 2015 and 2019 showed that 0.854 km<sup>2</sup> and 3.649 km<sup>2</sup>, respectively, were distributed 4.3 times more widely when performing remote inspection compared to diving surveys, and these findings are expected to be useful in understanding the wide seagrass distribution characteristics in other areas in the future.

**Keywords:** Seagrass(잘피), Drone(무인항공기), QGIS software(QGIS 프로그램), Multi spectral(다중분광)

## 1. 서 론

잘피(Seagrass)는 연안 해역에 서식하는 해양수생관속식물로 극지방을 제외한 전 세계 연안에 약 60여 종이 분포하고 있다(Park et al.[2012]). 우리나라에는 9종의 잘피가 서식하고 있으며, 그 중 거머리말(*Zostera marina*)이 동해, 서해, 남해에 걸쳐 가장 널리 서식하는 종으로 알려져 있으며 *Zostera*속 5종, *Phyllospadix*속 2종, 하구종인 *Ruppia maritima*와 아열대성 잘피인 *Halophila nipponica*의 9종이 자생하고 있는 것으로 보고되었다(Lee and Lee[2003]; Kim et al.[2009a]). 잘피는 대기로부터 이산화탄소 흡수가 가능하며, 그들의 높은 생산성과 낮은 섭식률로 인하여 많은 양의 무기탄소 제거가 가능한 것으로 알려져 있다(Duarte and Cebrian[1996]; Short and Neckles[1999]). 세계 연안에 분포하는 잘피의 면적은 164,000 km<sup>2</sup>로 추정되며, 우리나라 연안에서는 55-70 km<sup>2</sup>의 잘피 자생지를 추정하고 있으나(Lee and Lee[2003]) 지금까지 우리 연안의 잘피 자생지 면적이 연구된 경우는 많지 않다(Kang et al.[2006]; Kim et al.[2008a]). 연안 및 하구에서 잘피 자생지는 중요한 생태적 역할을 수행하므로 연안관리 측면에서도 잘피 자생지의 정확한 분포면적에 대한 조사는 필수적이다(Komatsu et al.[2003]).

국내의 잠수조사에 기반한 잘피 분포특성 연구결과에는 전남 고흥군 두원면 대금리 연안에서 도양읍 용정리 연안까지 득량만에 자생하는 잘피의 분포면적 5.11 km<sup>2</sup>를 포함한 종조성, 그리고 환경특성, 형태적 특성 등에 대해서 조사된 바 있으며(Kim et al.[2009a]), 섬진강 하구에 자생하고 있는 잘피 자생지에 대한 분포 면적, 종조성, 그리고 환경특성 등에 대한 연구를 통해 1.84 km<sup>2</sup>의 서식면적이 확인된 바 있다(Kim et al.[2010]). 제주도 동북해안에서 출현한 거머리말 자생지는 23.86 km<sup>2</sup>로 확인되었고 추자도에서는 총 3종의 잘피(수거머리말, 포기거머리말, 거머리말)가 23.58 km<sup>2</sup> 면적으로 넓게 분포하고 있음이 확인되었다(Park et al.[2012]). 한편 울릉도 천부리, 저동리, 사동리와 남양리 연안의 비교적 깊은 수심(14-24 m)에서도 수거머리말군락지가 관찰되었으며 총 생육면적은 약 0.049 km<sup>2</sup>로 확인되었고 현포리 현포항내에는 3~5 m의 수심에서 생육면적 약 0.009 km<sup>2</sup>의 거머리말이 서식하고 있는 것으로 보고되었다(Park et al.[2020]).

원격탐사 기반 해초류, 잘피 분포특성에 대한 연구결과를 살펴보면, 장흥군 회진면에 위치한 해초지 군락을 대상으로 수중 음향 측심기와 Kompsat-2 위성영상을 활용한 식생의 유무탐지를 통한 해초지 분포면적이 조사된 바 있으며(Kim et al.[2012]), 인천시 옹

진군 자월도 해면을 대상으로 켈러, 다중분광, 초분광 센서가 장착된 드론을 활용한 잘피 탐지 적정성 분석에 대한 연구도 수행된 바 있다(Kim[2019]).

한국수산자원공단(FIRA: Korea Fisheries Resources Agency)에서는 우리나라 연안해역의 잘피 서식지에 대한 기반자료를 확보하고자 잠수조사를 기반으로 2015년 전국 연안 천연 잘피장 정밀 실태조사를 수행한 바 있고, 이후 무인항공기(켈러, 다중분광)를 이용하여 남해(경남, 전남) 연안해역 약 7,200 ha의 잘피 군락 실태 및 현황 파악을 통해 2018년 12월부터 2019년 6월까지 원격탐사를 수행하였다. 본 연구대상해역인 고흥군에 대해서는 2019년 5월 22개소가 촬영되었다.

기존의 잠수조사 방법은 잠수사의 조사경로에 따른 점형(Point based) 좌표를 기반으로 잘피 서식지에 대한 분포범위를 산정하며, 정성적인 잘피 종의 분류나 자생밀도, 생물량과 같은 생태환경 특성 파악에는 유용하지만 광범위한 지역에 대한 섬세하고 객관적인 정량적 자료도출이 어렵다.

한편으로는 인공위성, 무인항공기를 활용한 원격탐사를 통해 해초지, 잘피 서식지의 분포범위와 잘피 종의 분류 등에 대한 연구결과도 있지만, 이를 활용한 잘피 서식지 분포의 공간적 특성을 규명하기 위해서는 지형학적 분포 특성(지형, 수심, 경사도 등)에 대한 연구 또한 필요하다.

따라서 본 연구는 고흥해역을 대상으로 실시한 무인항공기(켈러, 다중분광)자료 결과와 공개된 수심자료를 이용한 수심, 경사도, 퇴적물, 해저지형 특성을 비교하여 잘피 분포지의 공간적 특성을 분석하고 그 상관관계를 파악하는데 목적이 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 대상해역

고흥군은 한반도의 서남부에 위치하며 전라남도의 동남단에 돌출한 고흥반도와 206개(유인 23개, 무인 183개)의 도서들로 구성되어 있으며, 타 지역에 비해 대륙의 영향을 비교적 덜 받는 반면 연중 난류가 흐르는 남해안에 위치하고 있기 때문에 겨울의 기온은 비교적 온화하며 눈보다 비가 많이 내리며, 여름철에는 습한 기류의 지형적 수렴으로 비가 많은 기후를 나타낸다. 따라서 비교적 연교차가 적고 온화하면서 강수량이 많은 해양성 기후의 특성을 강하게 나타낸다(Goheung County Office[2022]). 고흥군의 좌측에 위치한 득량만은 비교적 만 입구가 넓고 외해에 접하고 해수유통이



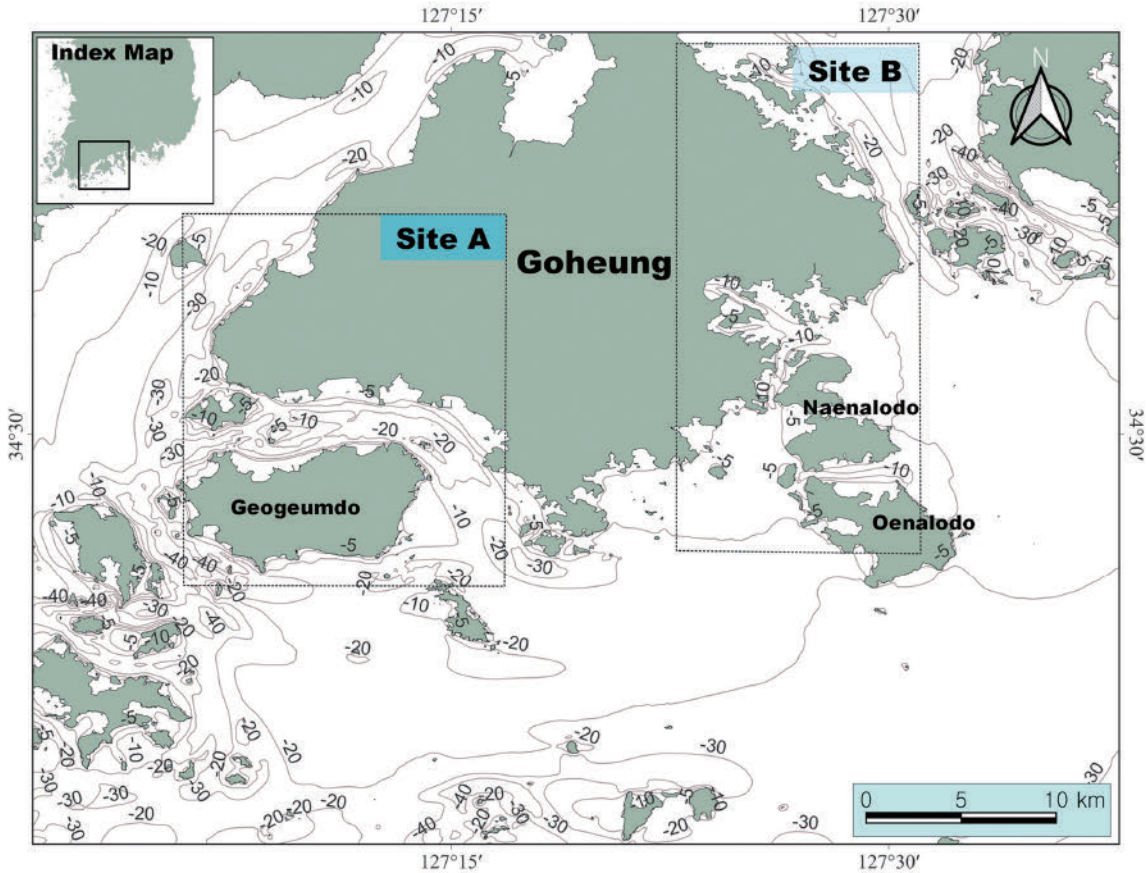


Fig. 1. Map showing study area (Site A, B) at the Goheung Peninsula.

원활하여 충분한 영양염의 공급이 이루어지면서 넓은 갈피 자생지가 발달한 곳이지만 대규모 간척·매립 등에 의해 해양생물의 산란·서식지인 갯벌과 갈피 자생지가 사라짐에 따라 득량만의 해양생물 생산성은 감소되고 있다(Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (MOMAF)[2007]). 고흥군의 우측에 위치한 여자만은 만구가 좁은 반폐쇄적 내만으로서, 해역의 총면적은 320 km<sup>2</sup>, 만의 크기는 남북 방향으로 30 km, 동서방향으로 7.2~21.6 km이며, 수심은 5~8 m(평균 5.4 m) 정도인 천해역이다(Park et al.[2011]). 한편, 고흥군의 갯벌면적은 81.2 km<sup>2</sup>이며 전라남도 전체갯벌 면적(1053.7 km<sup>2</sup>)의 7.7%에 해당하며 전국 갯벌면적(2482.0 km<sup>2</sup>)의 약 3.3%에 해당하는 규모이다(Korea Maritime Institute[2023]).

본 연구에서 조사해역은 갈피 서식지 분포가 확인된 곳들을 기준으로 크게 2구역(Site A, B)으로 구분하였다(Fig. 1).

Site A구역은 좌측으로 득량만과 접하며 하단부의 거금도와 거금수로를 포함하면서 상단부 북서측의 득량도를 포함한다. Site B는 우측으로 여자만과 접하며 하단부의 내나로도, 외나로도를 포함하며, 상단부의 백일도, 미덕도, 진지외도, 원주도 등을 포함한다.

## 2.2 연구방법




분광이란 파장의 차이에 따라서 빛이 여러 색의 띠로 나누어지는 것을 통칭해서 의미하며 광학분야에서의 분광은 파장( $\lambda$ )에 따른 빛과

대상 물질 사이의 상호작용을 의미한다. 지난 100여 년 동안 화학, 생물학, 천문학 등에서 대상물체의 특성을 규명하기 위한 수단으로 분광계(Spectrometer)를 사용해 왔으며, 이러한 빛의 반사특성을 이용하는 연구를 총괄하는 분야를 분광학(Spectroscopy)이라고 한다. 본 연구에서는 공간해상도 10 cm 이상의 결과물을 얻기 위해 RGB 컬러영상을 취득하는 광학드론을 사용하였고, 갈피식생을 보다 더 효과적으로 구분하기 위해 다중분광센서가 탑재된 드론을 함께 사용하였다. 고품질의 영상을 얻기 위해 풍속이 약하고 구름이 없는 정온한 날씨에 촬영을 하였고 수면밖에 드러난 갈피영상을 최대한 확보하기 위해 국립해양조사원의 조석정보를 확인하고 조수간만의 차가 가장 큰 대조기 저조시(저조 전·후 각각 한시간)에 촬영하였으며, 드론의 촬영고도는 현장상황을 고려하여 150~250 m로 설정하였다. 정사영상 생성을 위해 중중복도와 횡중복도는 갈피영상이 과 중첩에 기인하여 오분류되지 않도록 유효 적절한 중복범위로 설정하였다. 지표 피복물에 대한 분광정보는 물체를 식별하는데 가장 중요한 요소이기 때문에 드론촬영과 동일시기에 시작구간과 끝나는 구간에 대해 지상분광계를 이용하여 지상 분광 라이브러리 샘플을 취득하였다. 조사에 사용된 장비는 아래와 같다(Fig. 2).

드론의 촬영설계에는 Pix4D Capture 소프트웨어가 사용되었으며, 컬러 영상의 처리에는 PhotoScan 소프트웨어, 다중분광영상 처



**Table 1.** Surveyed UAV models and Terrestrial Sensor

Spec.	Color imaging drone (Mavic 2 Pro)	Multi spectral drone (Bluegrass)	Terrestrial sensor (FieldSpec3 VNIR)
Item			
Sensor	Camera (SONY A6000)	Spectral Sensor (Survey3)	-
Weight	907g	1,850 g	5.2 kg
Size	35×28×11 (cm)	50×44×12 (cm)	-
Operation Time	31 min	25min	-
Pixel	5472×3648 (RGB)	4000×3000 (Multi Spectral)	-
Range	100~12,800 (ISO)	Green: 550 nm +/- 40 nm Red: 660 nm +/- 40 nm NIR: 850 nm +/- 40 nm	350~1025 nm



**Fig. 2.** Drone image processing stage.

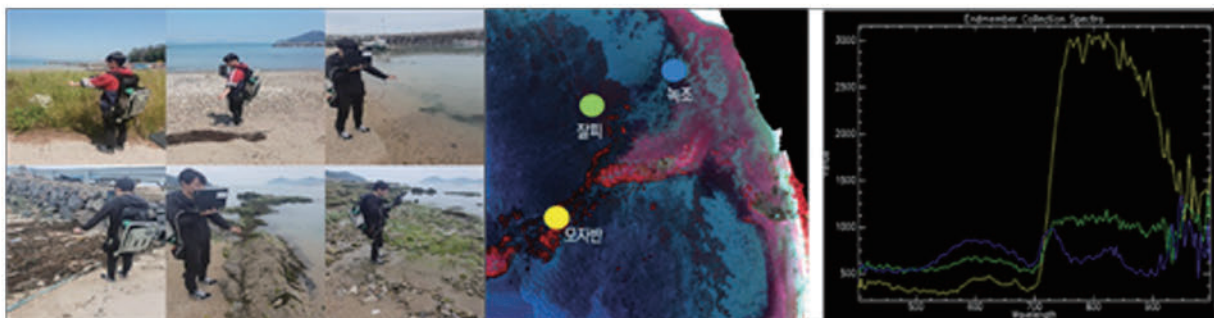
리에는 Pix4D Mapper Pro 소프트웨어가 사용되었다.

**2.3 자료처리**

드론 영상처리는 캘리브레이션, 대기보정, 영상 지오레퍼런싱, 정사영상 제작 등의 4단계로 구성된다(Fig. 2). 첫 번째, 캘리브레이션은 카메라의 렌즈와 빛의 값이 저장되는 감지기와의 관계를 보정하는 과정으로 영상 취득을 수행하기 전에 실내에서 제조사 또는 영상처리 소프트웨어에서 제공하는 캘리브레이션 소프트웨어로 수행하였다. 두 번째, 대기보정 과정은 빛의 양이 변하더라도 지표면의 반사율이 항상 일정한 값을 유지할 수 있게 하기 위한 과정으로 컬러 영상보다 다중분광 영상에 중요하다. 다중분광 영상의 대기보정을 위해 영상 취득을 수행할 때 다중분광 센서 제조사에서 판매하는 반사율을 알고 있는 캘리브레이션 판을 드론 이착륙 지점에 설치하고 이착륙 시기에 임의로 영상을 취득하였다. 그리고 취득된 영상을 대기보정 소프트웨어를 이용하여 처리하였다. 세 번째, 영상 지오레퍼런싱 과정은 영상의 외부표정요소를 정밀하게 결정하는 과정이다. 외부표정요소는 드론의 항공촬영 당시의 기하학적 조건으로 재현하

는 요소로서 위도, 경도, 높이와 같은 위치값과 Roll, Pitch, Yaw 등의 자세값을 말한다. 네 번째 과정은 영상 지오레퍼런싱 과정으로 결정된 외부표정요소를 이용하여 사진의 모든 상에 대하여 시차를 계산하여 매칭되는 픽셀들을 3차원 점들로 추출하는 과정인 포인트 클라우드가 수행되며, 이 과정에서 추출된 포인트는 절대 좌표값을 가지게 된다. 포인트 클라우드는 자동으로 생성되며, 포인트의 밀도는 목적과 컴퓨터의 성능에 따라 선택할 수 있다. 정사영상을 제작하기 위해 생성된 포인트 클라우드를 이용하여 포인트들로부터 삼각망을 구성하고 DSM을 제작한다. DSM은 격자형태로 이루어져 있으며 각 격자는 X, Y, Z 좌표를 가지고 있다. 정사영상은 기하보정된 항공사진에 DSM을 보간하여 생성되며, 영상의 형태 및 색상을 보정할 수 있으며 왜곡이 심한 경우 수동으로 편집 작업을 할 수 있다.

제작된 정사영상에서 잘피 분류 및 규모를 산정하기 위해서는 영상강조, 혼련샘플 취득, 잘피탐지 감독분류, 결과검수, 면적산출과 같은 과정을 거치게 된다(Fig. 4). 먼저 영상강조는 드론 영상에서 잘피가 수면 아래에 있을 때 잘피가 반사하는 녹색 영역의 빛을 물이 흡수하여 다른 지표물과 구분하기 어려울 때 잘피와 다른 지표물들을 효과적으로 분리하기 위한 과정을 말한다. 영상강조기법에는 히스토그램, 선형강조기법, Density slicing 등이 있는데, 선형강조기법은 원격탐사 데이터의 값을 선형으로 확장하여 새롭게 분포시키는 기법으로 미묘한 변화를 더욱 확연하게 드러나게하는 특징이 있다. Density slicing은 수치 영상처리에서 단일 주파수대의 단색



**Fig. 3.** Spectral reflection curves of seagrass, algal blooms, Sargassum fulvellum and ground truth survey.





Fig. 4. Seagrass classification and range calculation steps.

영상에 적용되는 의사 색상 강화 기법으로 그레이스케일값(0~255)의 범위를 나누고 각 부분에 다른 색상을 할당하여 영상내부와 다르지만, 분명히 동질의 부분을 강조하는 효과적인 방법이다. 훈련샘플 취득은 탐지 하고자하는 지표물의 분광반사곡선을 영상강조 후의 특정 픽셀로부터 얻거나 현장에서 지상분광계를 이용하여 측정 가능하다. 갈피탐지 감속분류는 강조된 영상과 취득된 훈련샘플을 활용하여 영상에서 갈피 군락지를 탐지하는 과정이다. 감속분류 알고리즘에는 MF(Matched Filtering), CEM(Constrained Energy Minimization), ACE(Adaptive Coherence Estimator), SAM(Spectral Angle Mapper), OSP(Orthogonal Space Projection), TCIMF(Target-Constrained Interference-Minimized Filter), MTTCIMF(Mixture-Tuned Target-Constrained Interference-Minimized Filter), MTMF(Mixture-Tuned Matched Filtering) 등 다양하게 존재하는데 그중에서 최적의 성능을 보여주는 MF 필터 알고리즘을 활용하였다. MF 필터 알고리즘을 통해 추출된 갈피영역은 벡터화하여 Shape과

일로 변환되며 검수 과정을 거친 후 면적으로 산출된다.

등수심선과 경사도, 그리고 3차원 해저지형도를 작성하기 위해 바다누리 해양정보서비스(Ocean Data in Grid Framework)에서 제공하는 격자형 수심정보(격자간격: 150×150 m)를 다운로드 하였다. 보간(interpolation)은 알려진값을 가진 벡터 포인트를 이용해서 알려지지 않은 위치의 값들을 추정하여 전체 영역을 커버하는 래스터 표면을 생성하는 것을 말한다. 공간보간을 위한 방법에는 역거리가중법(IDW: Inverse Distance Weighting), 크리깅(Kriging), 불규칙삼각망(TIN: Triangle Irregular Network based), 운형법(Spline) 등이 있다. 다운받은 수심자료는 규칙적인 격자 간격으로 구성되어 있기 때문에 점의 불규칙한 위치분포에 따른 가중치 고려가 필요없는 IDW 보간법 대신에 TIN 보간법을 실시하였다. 보간된 수심파일은 자료의 가독성을 향상시키기 위해 10 m 격자간격으로 sorting 후 최종수심값과 등수심선을 도면상에 출력하였다.

해저지형분포도와 경사도를 작성하기 위해 sorting된 10 m 격자 수심으로부터 Fledermaus 소프트웨어를 이용하여 DTM(Digital Terrain Model)을 생성하고 3차원 해저지형으로 가시화하였다. 갈피 군락이 뚜렷이 확인되는 대표적인 위치에서 십자선 방향으로 단면도를 그어서 경사도를 확인하였다.

연구지역의 퇴적물 분포 특성을 파악하기 위해 바다누리 해양정

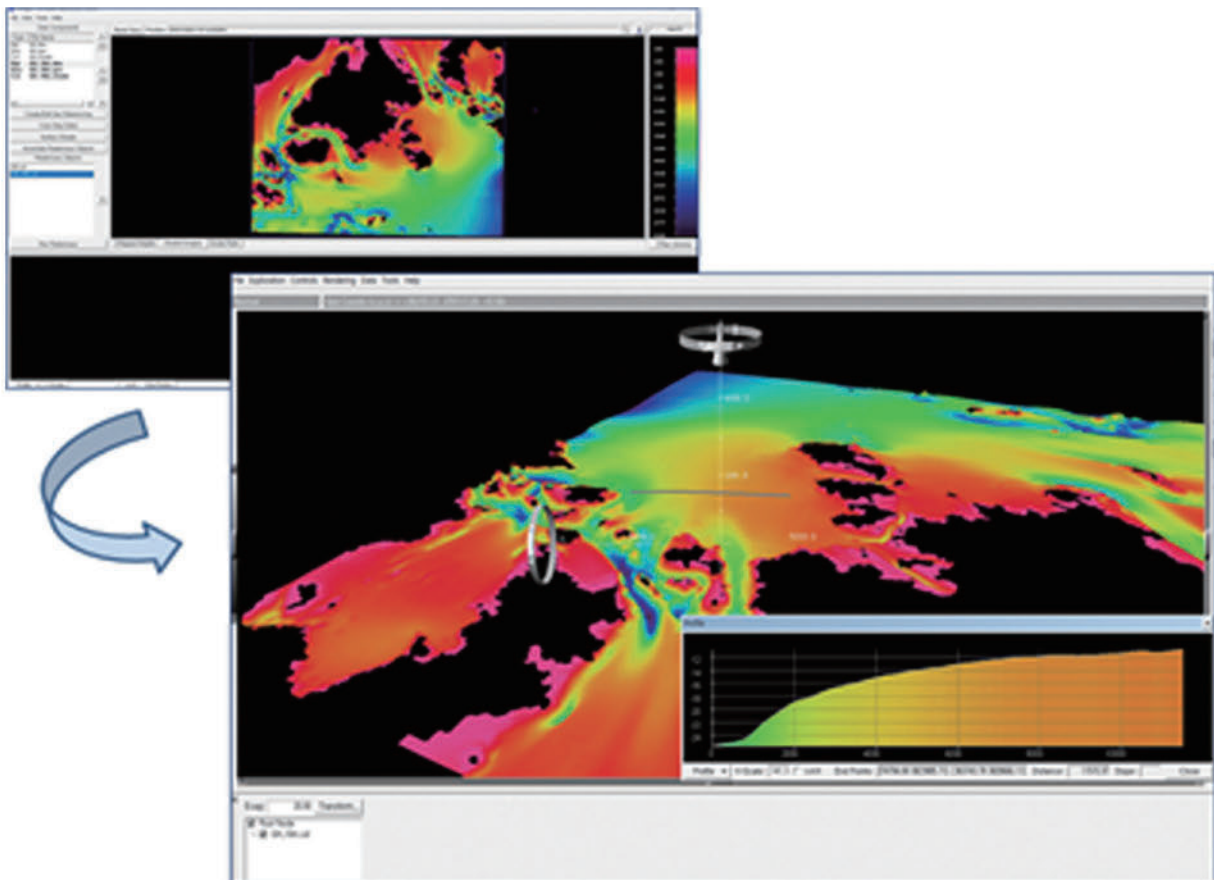


Fig. 5. 2D, 3D, Slope surface by Fledermaus software.

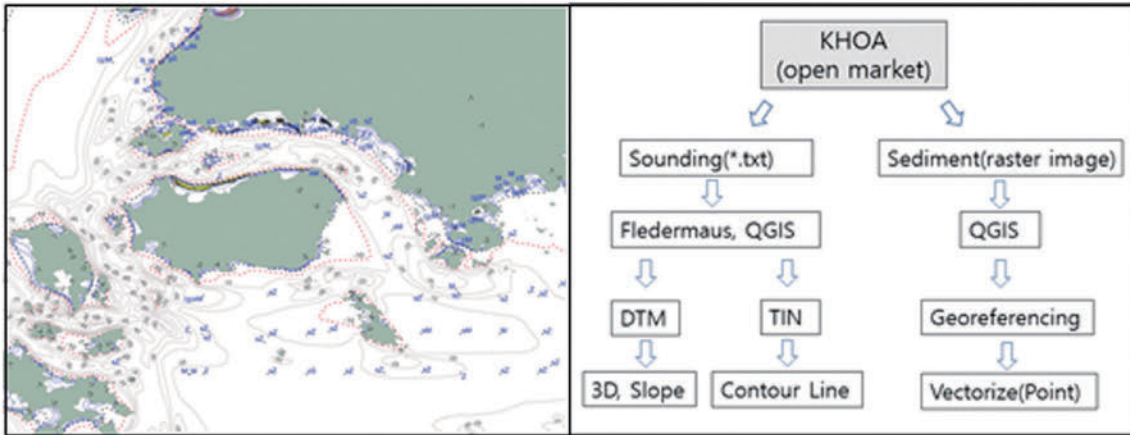


Fig. 6. QGIS processing (TIN, DEM, Contour) and work flow-chart.

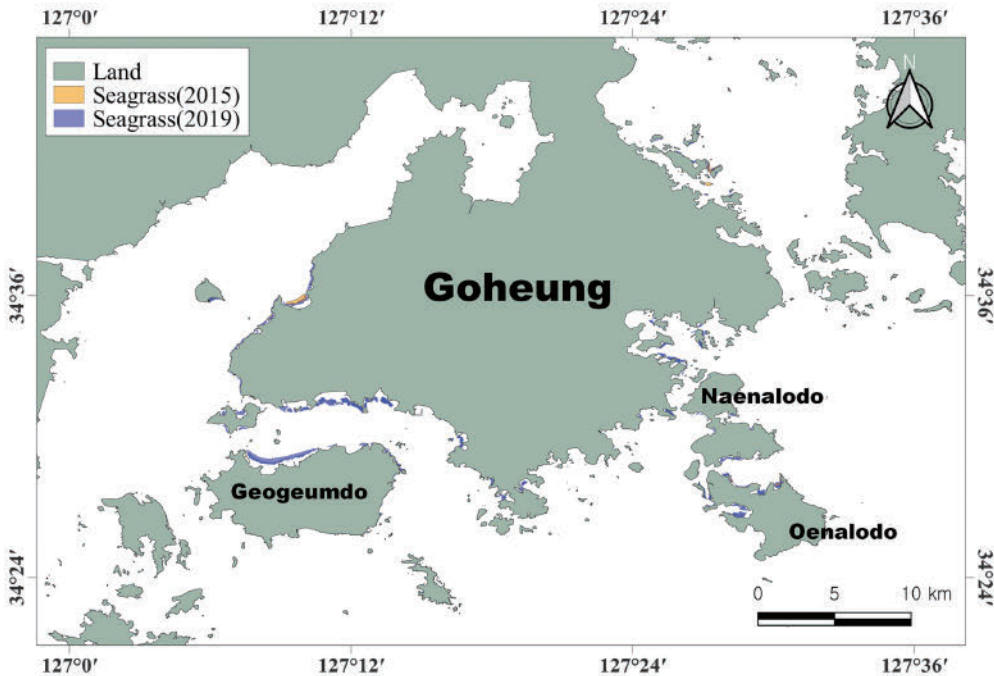


Fig. 7. Seagrass distribution map.

보서비스에 수로도식으로 표시된 퇴적물 유형 정보들을 지오레퍼런싱을 통해 객체화(Shp파일 생성)한 후 Fork & word 형식으로 변환하고 도면화하였다. 이렇게 제작된 등수심선, 해저지형분포도, 경사도, 퇴적물분포 정보들은 벡터형식의 shape파일로 저장하여 QGIS에서 공간정보화 하였다.

### 3. 결 과

#### 3.1 고흥해역의 잘피분포 비교

Fig. 7은 연구지역에 대한 드론 촬영 영상을 통해 확인된 고흥군 잘피 서식지 분포도이며 전체 22개소에 대해 3.649 km<sup>2</sup>의 잘피면적이 확인되었다(파란색 부분). 이는 2015년 잠수조사에 의해 확인된 0.854 km<sup>2</sup>의 잘피면적과 비교하여 약 4.3배 넓은 면적이다.

#### 3.2 지형, 수심, 퇴적물, 경사도 분석

Fig. 8은 Site A 구역 하단부로 거금도 북측을 통과하는 거금수로와 소록도, 그리고 고흥반도 남측을 포함한다. 고흥반도와 거금도 북측 사이의 거금수로는 최대 5 km의 폭과 수심 최대 약 35 m 깊이의 수로지형이 확인된다. 수로 중앙부에는 작은섬 2개(상화도, 하화도)가 위치하며 주변수심은 섬의 우측으로 완만하게 깊어진다. 퇴적물 유형은 거금수로 중앙부에서 (g)M, 거금도 북측 해안선 인근에서 Z, sM, 그리고 고흥반도 남측 해안선 인근에서 (g)M로 확인된다. 거금도 북측연안은 해안선에서부터 외해방향으로 넓게 발달된 조간대와 조하대를 포함하는 만(Bay) 지형으로 구분되는데, 해안선을 따라 5~10 m 등수심선내에 비교적 치밀하게 밀집된 잘피 분포지가 확인된다. 대표구역에 대한 경사도를 분석한 결과, 최소 0.03°, 최대 1.6°의 낮은 경사도를 보였다.



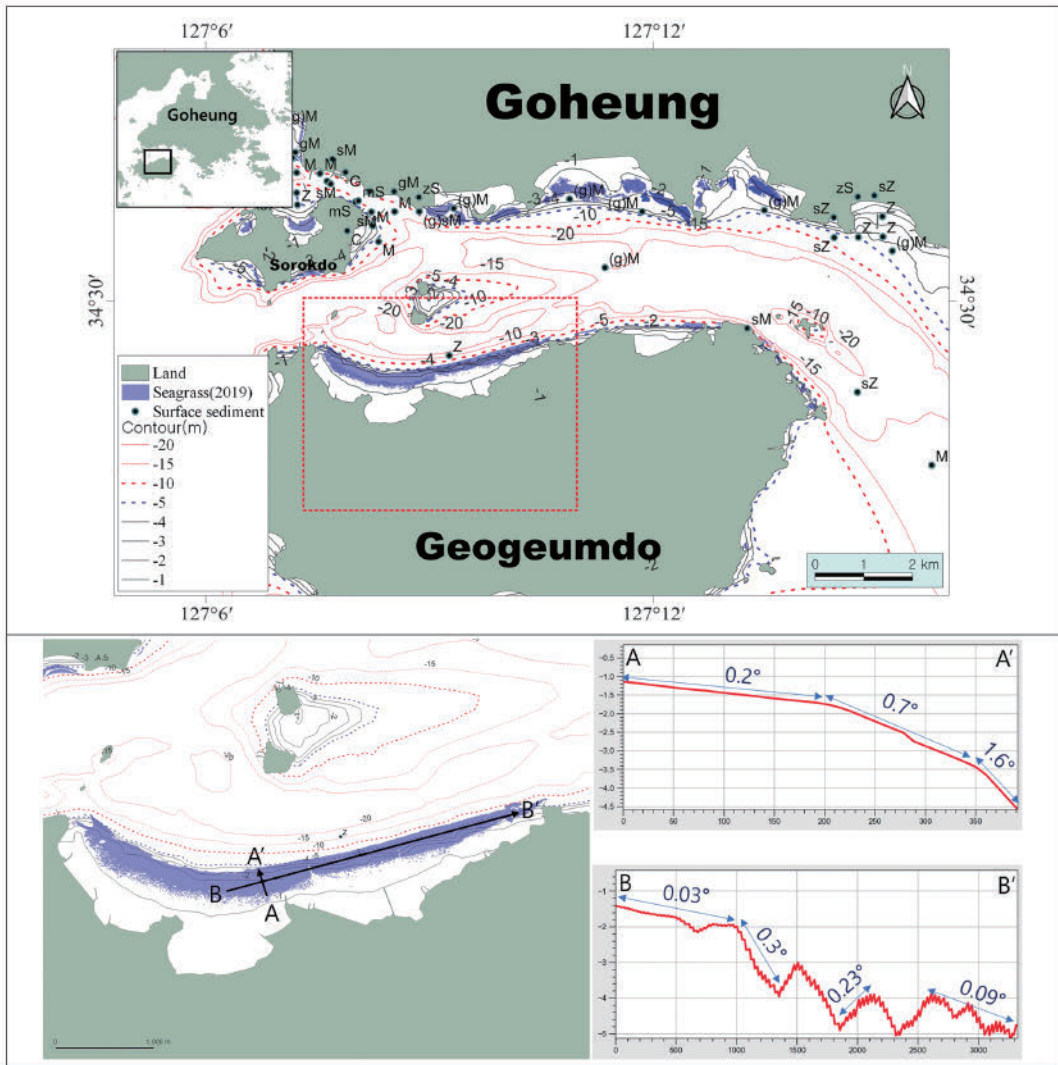


Fig. 8. Water depth(m), topography and slope with distribution of Seagrass on site A.

Fig. 9는 Site B구역 하단부로서 해창만 방조제에서 와도와 취도 사이를 관통하는 수로와 고히반도의 남성리와 내나로도 덕흥리 사이를 가로지르는 수로, 그리고 내나로도 외나로도를 통과하는 수로를 포함한다. 수로들의 폭은 최소 250 m, 최대 3.2 km이며 최고 수심 약 15 m 이내이다. 퇴적물 유형은 수로 중앙부에서 실트(Z), 사질실트(sZ)이며 내나로도 남측과 외나로도 북측 해안선 인근에서 사질역(sG)으로써 비교적 조립하며 외나로도 북측 만(Bay)형태의 움푹 들어간 해안선 지형에서 (g)M로 확인되었다. 그리고 고히반도 남측 해안선 인근에서 (g)M로 확인된다. 대표구역에 대한 경사도 확인 결과, 최소 0.008°, 최대 0.23°의 낮은 값을 보였다.

### 3.3 저피 분포의 시·공간적 특성

Fig. 10은 Site A의 상단부 도양읍 장계리와 득량도 사이의 저피 분포지이며, 2009년(Kim[2009a]), 2015년 FIRA에 의해 잠수조사로 확인한 저피 분포지와 2019년 무인항공기로 조사된 저피 분포지를 함께 표시하였다. 분포면적을 살펴보면, 2009년의 경우 0.555 km<sup>2</sup>,

2015년의 경우 0.48 km<sup>2</sup>, 2019년의 경우 0.374 km<sup>2</sup>로 확인되었다. 저피 서식지의 분포 형태를 살펴보면, 2007년과 2015년의 경우 연속되는 경계가 단조로운 폴리곤 형태이지만, 2019년 조사에서는 저피 분포의 세부적인 경계가 잘 나타날 뿐만 아니라 폐합되는 경계 부분이 아주 세밀하게 표현되었다. 저피 서식지에서 확인된 종들을 살펴보면, 2007년의 경우 거머리말과 애기거머리말이 확인되었고 2015년과 2019년의 경우 거머리말이 확인되었다.

## 4. 결론 및 토의

본 연구에서는 고히해역에 분포하는 저피의 공간적 분포 특성을 규명하기 위해 잠수조사(2007, 2015), 드론 원격탐사(2019), 수심 및 퇴적물 분석자료를 이용하였다. 수심자료 분석을 통해 약 최소 3 m, 최대 20 m 이내 수심에서 저피 분포를 확인하였는데(Site A: 15 m 이내, Site B: 5 m 이내), Site A의 거금도 북동측에서는 최소 수심 -0.53 m에서 최대수심 -20.67 m까지 저피가 분포함을 확인하

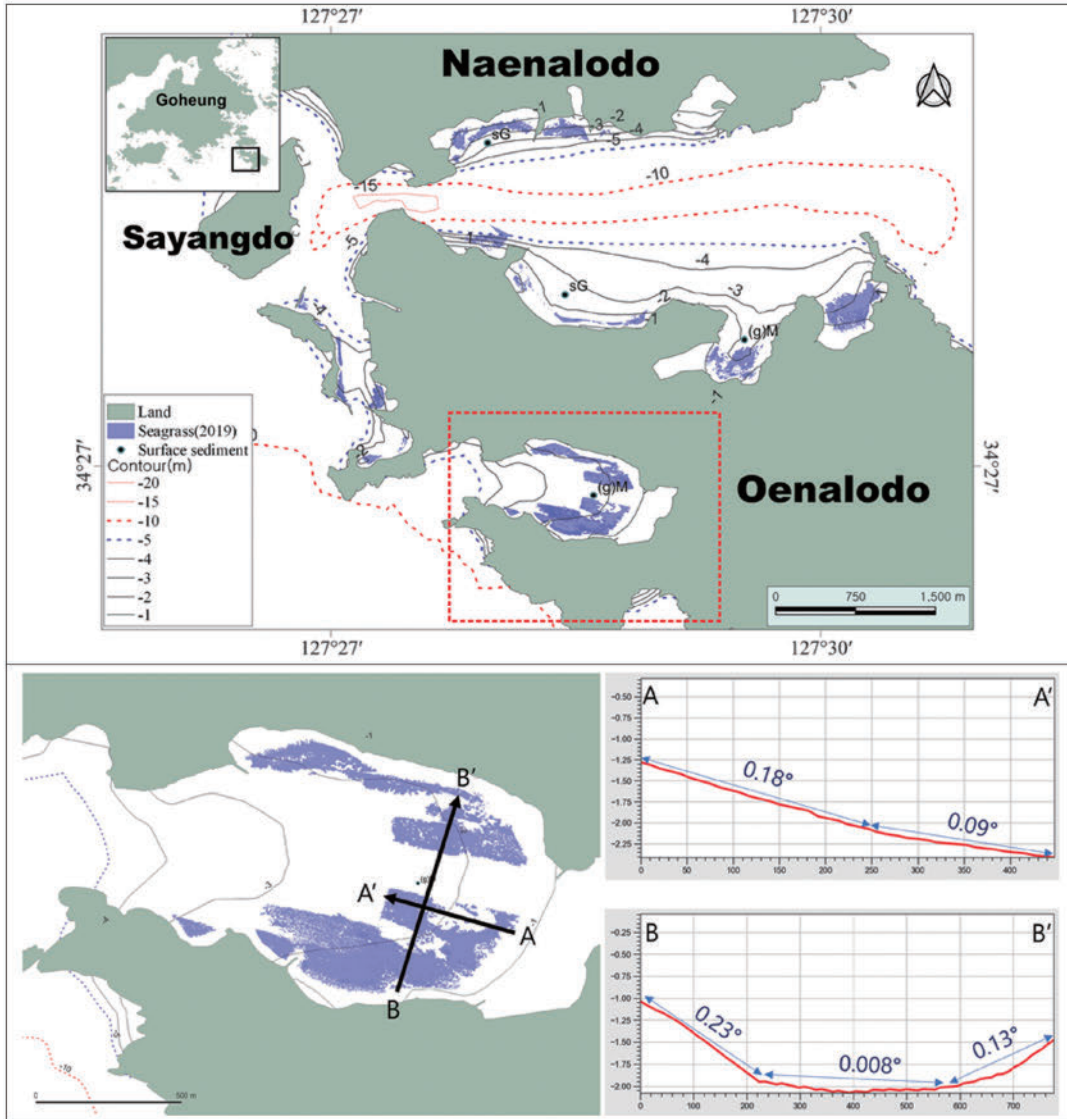


Fig. 9. Water depth(m), topography and slope with distribution of Seagrass on site B.

였다. 경사도 확인결과 해안선에서 외해방향으로 최소 0.95°에서 최대 5.01°의 급격한 경사도를 보였다.

잘피의 분포가 10 m 이상의 수심대에서 나타나는 것은 인접한 연안역에 비해 비교적 투명도가 높아 광합성에 필요한 태양에너지의 투과심도가 상대적으로 깊은 외해역 해양환경 특성이 반영된 것으로 생각된다. 다만 현장에서 직접 획득한 고해상도 수심자료가 아닌 공개된 저해상도 수심자료를 사용했기 때문에, 이러한 결과의 신뢰성을 확보하기 위해서는 향후 고해상도 멀티빔음향측심조사와 같은 보완조사와 광역적인 투명도 및 광량 측정이 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 12의 조사해역 퇴적물 분포특성을 살펴보면, 거금수로는 다른 소규모 수로와 비교 시 폭이 넓고 가운데에 일부 섬들이 위치하고 있으며 약역질니((g)M)의 퇴적상을 보인다. 수로 북측(고흥반도 남측)과 남측(거금도 북측)에서 확인되는 퇴적상은 각각 (g)M, Z로

써, 수로 북측의 경우 대부분의 잘피 분포지에서 (g)M으로 확인되었는데, 니질퇴적물이 우세한 이유는 수로의 규모와 크기에 비해 조수의 흐름이 완만하여 비교적 세립한 입자들이 퇴적되는 것으로 판단된다.

따라서 수심대가 비교적 얇고, 경사도가 낮으며 유기물이 풍부한 니질퇴적 기질, 그리고 수로지형 일지라도, 유속이 상대적으로 약한 저에너지 환경을 포함하는 요소들은 잘피의 분포와 밀접한 상관관계를 갖고 있음을 유추할 수 있다. 다만 퇴적물 채취시기의 최신화, 획득정점의 확대, 입자별 함량(%), 왜도, 첨도, 분급도 등의 추가적인 퇴적물 특성자료가 보완된다면 보다 더 정확하고 상세한 해석이 가능해질 것이다.

Fig. 10의 도양읍 장계리와 득량도 사이 해역에서 서로 다른 시기(2007, 2015, 2019)에 확인된 잘피 분포를 살펴보면, 2007년 조사와 비교하여 2015, 2019년 조사에서는 잘피서식 분포선이 해안



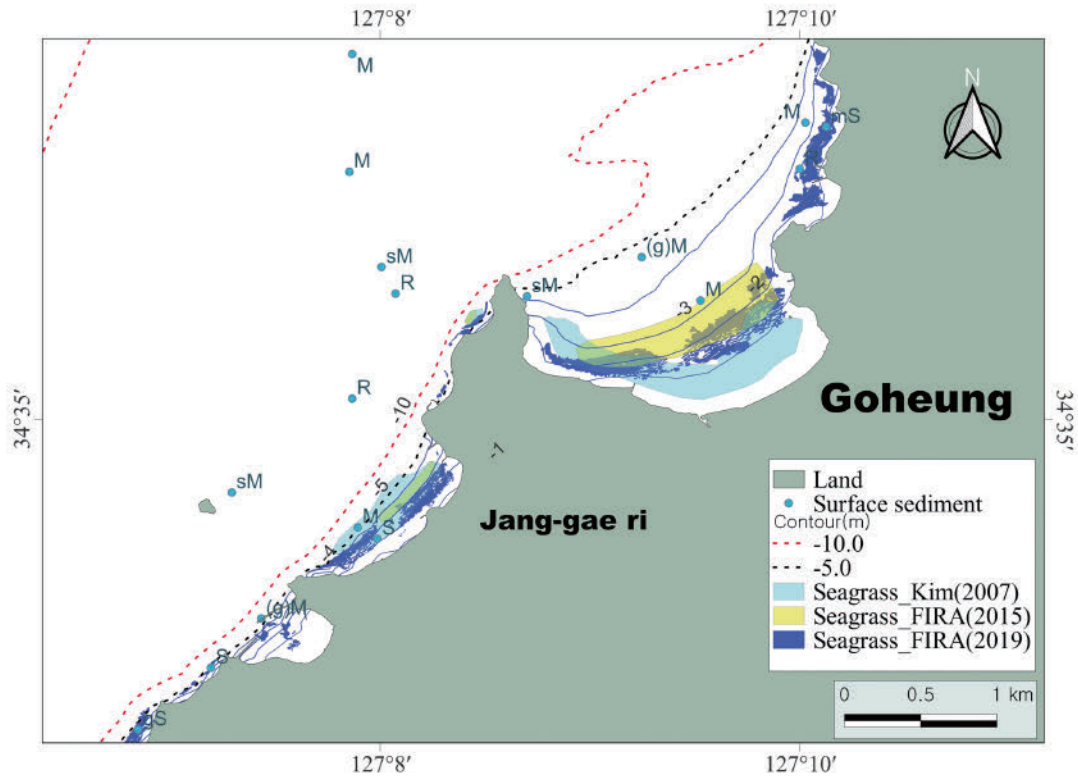


Fig. 10. The distribution and area of seagrass investigated in 2007, 2015 and 2019 respectively.

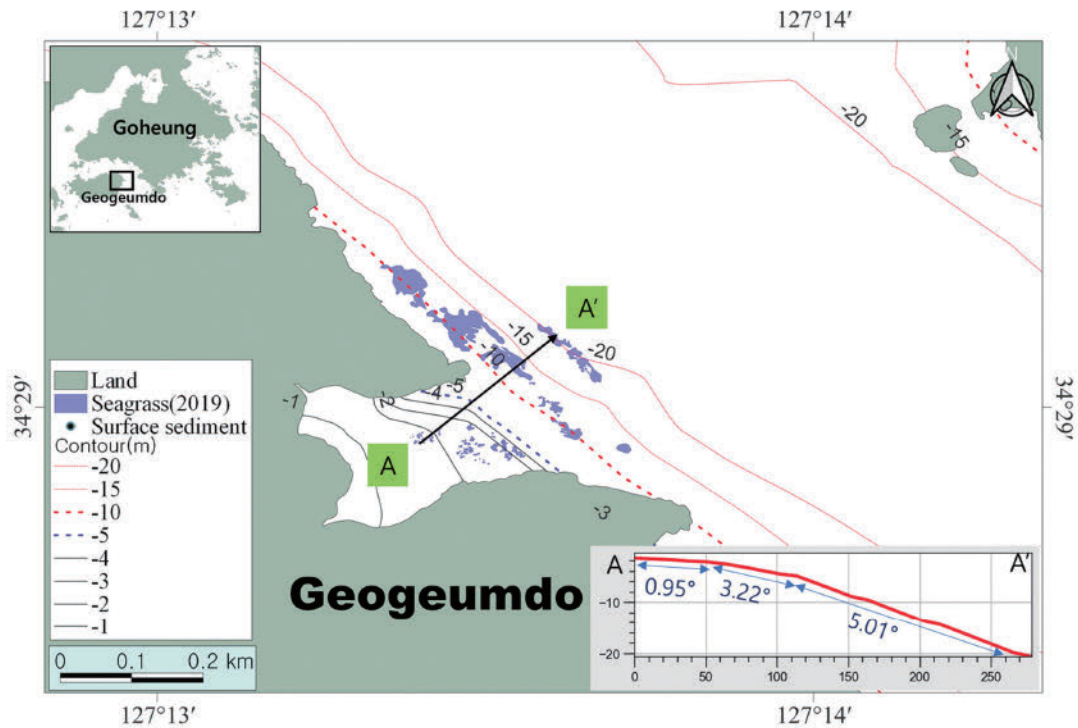


Fig. 11. Distribution and slope range of cuttings identified at water depths of 10 meters or more.

선으로부터 후퇴하는 경향을 보였다. 이에 대한 원인으로는 연안 어항개발과 어업활동에 따른 갈피서식지의 훼손 또는 대체서식지의 이식, 기타 인간활동 등에 의한 해양환경오염 등의 요소로 추

정되지만 이를 규명하기 위해선 보다 더 다양한 분야의 정보들이 필수적이다. 그리고 2015년 잠수조사에 의한 갈피분포범위가 2019년 드론 원격탐사에 의해 확인된 범위보다 더 깊은 수심대까지 포



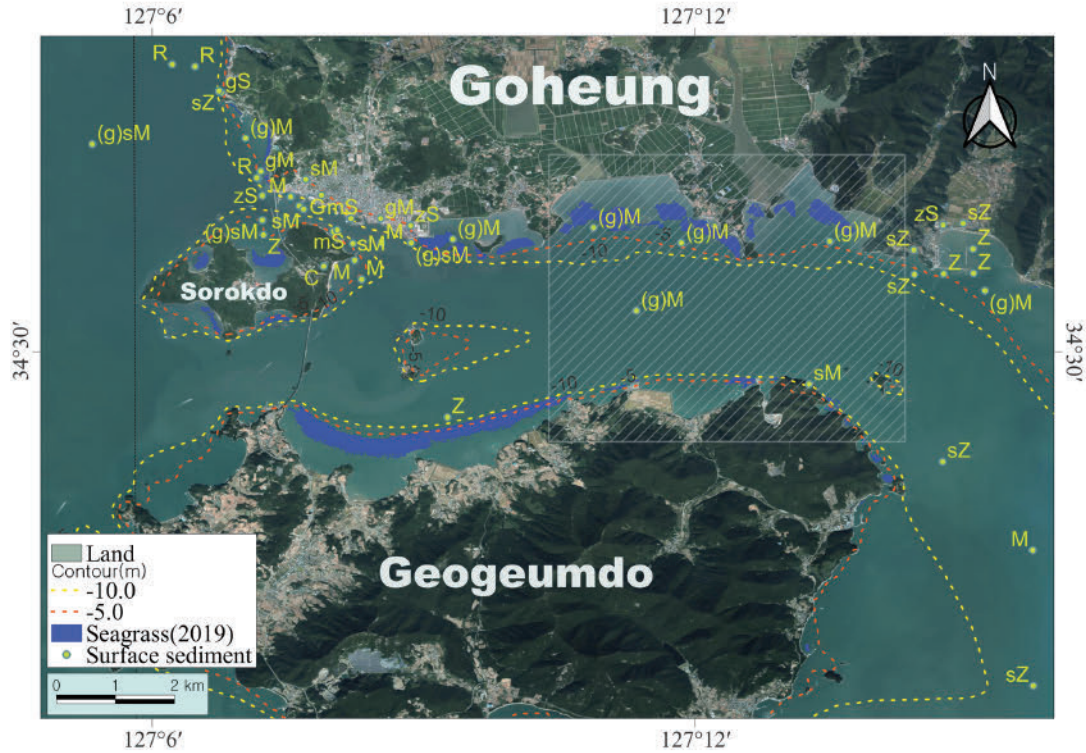


Fig. 12. Surface sedimentary distribution of study area.

함되는데, 이는 원격탐사방법의 경우 잘피가 지상에 최대한 노출될 수록 식별이 유리한 반면, 잠수조사는 이와 상관없이 더 깊은 수심대에서도 잘피식별이 가능하기 때문에 판단된다. 시간적 변화에 따른 잘피분포범위의 공간적 변화를 살펴보면, 2007, 2015년과 비교하여 2019년에 더 많은 곳에서 잘피가 확인되었다. 물론 서로 다른시기에 동일한 조사방법을 사용하지 않았기 때문에 시·공간적변화를 비교하고 설명하기에 무리가 있지만 그럼에도 불구하고 본 연구결과를 통해 2가지 결과를 도출해 볼 수 있었다. 첫 번째는 실제 잘피분포범위가 이전과 비교하여 주변으로 더욱더 확산되었다는 것이다. 두 번째는 공간적인 잘피분포의 개별적 범위가 보다 더 세밀하고 상세하게 표현되었다는 사실이다. 이는 최근 몇 년간 원격탐사기술의 비약적인 발전에 따라 관련기기의 위치정확도와 공간 해상도가 향상되었으며, 인공지능 기계학습 기술의 발달과 분류 알고리즘의 고도화에 따른 업무효율성 향상에 따른 결과로 생각해볼 수 있다.

Site A의 상단부 도양읍 장계리와 득량도 사이의 잘피 분포지에 대한 조사결과를 살펴볼 때, 잘피 분포면적은 서서히 감소한 것으로 확인되었다(2009년의 경우 0.555 km<sup>2</sup>, 2015년의 경우 0.48 km<sup>2</sup>, 2019년의 경우 0.374 km<sup>2</sup>). 하지만 여기서 고려해봐야 할 것은 조사 당시의 잘피 분포 범위산정 방식이 다르며, 이에 따라 오차값이 발생할 가능성이 매우 크다. 잠수사가 수중탐색을 통해 확인한 잘피범위 경계점들의 개수와 원격탐사를 통해 획득된 잘피분포 경계점들의 개수차이는 결과적으로 전혀 다른 형상의 잘피범위 폴리곤을 만들어 낼 수 있으며, 이는 면적산정에도 큰 영향을 미칠 수 바

에 없기 때문이다. 다만, 원격탐사만으로 확인이 어려운 잘피의 종류와 생물학적 특성, 그리고 영양염과 해양환경적 요소 등에 대한 자료획득 부분은 좀 더 많은 지점의 지상 분광측정값과 잠수조사 등에 의한 생체량 채집 및 분석의 보완조사가 필요할 것으로 판단된다.

이러한 결과들은 향후 타 해역에 분포하는 잘피 분포 특성을 연구함에 있어 유용한 자료가 될 것으로 기대된다.

### 후 기

본 연구는 한국수산자원공단의 바다숲조성사업 일환으로 수행되었습니다.

### References

[1] Chang, C.-I., 2003, Hyperspectral Imaging: Techniques for Spectral Detection and Classification, Chapter 2, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.  
 [2] Cho, E.S., Kim, S.S., Lee, S.Y. and Kim, S.Y., 2009, Marine Environmental Characteristics in Western Coastal water of the South Sea Korea. Korean Soc. Mar. Environ. Saf. 15(3), 187-204.  
 [3] Duarte, C.M. and Cebrian, J., 1996, The fate of marine autotrophic production. Limnol. Oceanogr. 41(8), 1758-1766.  
 [4] Goheung County Office/https://www.goheung.go.kr/contents-



- View.do?pageId=www113 (accessed 2022.09.30.).
- [5] Komatsu, T., Igarashi, C., Tatsukawa, K., Sultana, S., Matsuoka, Y. and Harada, A., 2003, Use of multi-beam sonar to map seagrass beds in Otsuchi Bay on the Sanriku coast of Japan. *Aquat Liv Res* 16(3), 223-230.
- [6] Kang, D.H., Cho, S.H., La, H.S., Kim, J.M., Na, J.Y. and Myoung, J.G., 2006, Estimating spatial and vertical distribution of seagrass habitats using hydroacoustic system. *Ocean and Polar Res* 28(3), 225-236.
- [7] Kim, K.Y., Kim, J.H. and Kim, K.Y., 2008a, Using a digital echosounder to estimate eelgrass (*Zostera marina* L.) cover and biomass in Kwangyang Bay. *Algae* 23(1), 83-90.
- [8] Kim, J.B., Park, J.I., Jung, C.S., Lee, P.Y. and Lee, K.S., 2009a, Distributional range extension of the seagrass *Halophila nipponica* into coastal waters off the Korean peninsula. *Aquat Bot* 90(3), 269-272.
- [9] Kim, J.B., Park, J.I., Choi, W.J., Lee, J.S. and Lee, K.S., 2010, Spatial Distribution and Ecological Characteristics of *Zostera marina* and *Zostera japonica* in the Seomjin Estuary. *Aquat Sci* 43(4), 351-361.
- [10] Kim, K.Y., Eom, J.A., Choi, J.K., Ryu, J.H. and Kim, K.Y., 2012, Application of Hydroacoustic System and Kompsat-2 Image to Estimate Distribution of Seagrass Beds. *The sea* 17(3), 181-188.
- [11] Kim, T.S., 2019, An Analysis on appropriateness of seagrass detection using images from a drone. Master's degree, University of Seoul, p62.
- [12] Korea Maritime Institute/<https://www.kmi.re.kr/web/contents/> contents View.do?rbsIdx=226(accessed 2023.02.08.).
- [13] Lee, K.S. and Lee, S.Y., 2003, The seagrasses of the republic of Korea. In: *World Atlas of Seagrasses: present status and future conservation*, edited by Green EP, Short FT and Spalding MD. University of California Press. Berkeley, U.S.A., pp193-198.
- [14] Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (MOMAF), 2007, "Study on environmental management of environment project area in Deukryang Bay", 1-171.
- [15] Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), 2015, "Study of Natural Seagrass Habitat on the Coast of Korea", 482
- [16] Park, J.I., Park, J.Y. and Son, M.H., 2012, Seagrass Distribution in Jeju and Chuja Islands, *Korean Journal of Environmental Biology*, *Korean J. Environ. Biol.* 30(4), 339-348 (in Korean with English abstract).
- [17] Park, Y.K., Yoo, M.L., Heo, H.S., Lee, H.W., Park, S.H., Jung, S.C., Park, S.S. and Seo, S.G., 2012, "Wild reed of Suncheon Bay: potential bio-energy source", *Renewable Energy*, 42, 168-172.
- [18] Park, J.I., Kim, J.H., Song, H.J. and Kim, G.Y., 2020, Distribution of the Seagrass, *Zostera* spp. in Ulleungdo, *Korean Journal of Oceanography*, *Korean J. Oceanogr.* 25(4), 106-116.
- [19] Short, F.T. and Neckles, H.A., 1999, The effects of global Climate Change on seagrasses. *Aquat Bot* 63(3-4), 169-196.

---

Received 17 October 2022

Revised 25 November 2022

Accepted 9 February 2023