

# 원격탐사와 GIS를 활용한 진도군 잘피 서식지의 지형학적 분포 특성 연구

## Geomorphologic Characteristics of Seagrass Habitat Distribution in Jin-do Using Remote Sensing Data and GIS

여정윤<sup>1</sup>, 정주봉<sup>2,\*</sup>Jungyeon Yeo<sup>1</sup>, Joo Bong Jeong<sup>2,\*</sup><sup>1</sup>한국수산자원공단 자원사업본부 국제협력실,  
<sup>2</sup>한국해양과학기술원 해양영토방위연구부<sup>1</sup>Resources Business Department, Korea  
Fisheries Resources Agency, Busan 46041,  
Republic of Korea<sup>2</sup>Marine Domain & Security Research  
Department, Korea Institute of Ocean Science  
and Technology, Busan 49111, Republic of  
Korea\* Correspondence to Joo Bong Jeong  
E-mail: jbjongeo@kiost.ac.krReceived June 19, 2023  
Revised June 29, 2023  
Accepted July 6, 2023

**Abstract :** In June 2020, remote sensing survey using drones was conducted to identify the spatial distribution characteristics of Seagrass habitats distributed in Jindo, Jeollanam-do. The Jindo sea area was divided into a land area and a island area according to its geographical location, and the Seagrass distribution area of 1.19744 km<sup>2</sup> and 1.35002 km<sup>2</sup> was identified, respectively. In order to understand the topographical distribution characteristics of Seagrass habitat, the bathymetric data and slope were analyzed using grid depth data, and the slope was mostly gentle, with a depth of about -0.5 to -7.6 m in the land area and -0.5 to -13.3 m in the island area. In addition, after analyzing 108 land aqua farms, rivers and lakes, and surface sediment types located in Jindo to determine the relationship between the Seagrass habitat and the surrounding environment, most of the Seagrass habitat was connected to major land water systems. Meanwhile, there were no or few land aqua farms in all areas of Jindo except Gogun-myeon, and the area of Seagrass habitat was 2.54312 km<sup>2</sup>, which is 99.83% of the total distribution area of Seagrass habitat in Jindo. These research results will be useful data for selecting Seagrass transplant sites for future coastal development projects.

**Keywords :** Jindo, Seagrass, Drones, QGIS, Aqua-farm

## 서 론

잘피 (Seagrass)는 연안해역에 서식하는 해양수생관속식물로 극지방을 제외한 전 세계 연안에 약 60여 종이 분포하고 있다(Park *et al.*, 2012). 우리나라에는 9종의 잘피가 서식하고 있으며, 그중 거머리말 (*Zostera marina*)이 동해, 서해, 남해에 걸쳐 가장 널리 서식하는 종으로, *Zostera*속 5종, *Phyllospadix*속 2종, 하구종인 *Ruppia maritima*와 아열대성 잘피인 *Halophila nipponica*의 9종이 보고되었다(Lee and Lee, 2003; Kim *et al.*, 2009). 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 국내 연안의 잘피 자생지 면적이 연구된 경우는 많지 않다(Kang *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2008). 연안 및 하구에서 잘피 자생지는 중요한 생태적 역할을 수행하므로 연안관리 측면에서도 잘피 자생지의 정확한 분포 면적에 대한 조사는 필수적이다(Komatsu *et al.*, 2003).

국내의 원격탐사에 기반한 해초류, 잘피 서식지 분포 특성에 대한 연구 결과를 살펴보면, 장흥군 회진면에 위치한 해초지 군락을 대상으로 수중 음향 측심기와 Kompsat-2 위성영상을 활용한 식생의 유무 탐지를 통한 해초지 분포 면적이 조사된 바 있으며(Kim *et al.*, 2012), 인천시 옹진군 자월도 해변을 대상으로 컬러, 다중분광, 초분광 센서가 장착된 드론을 활용한 잘피 탐지 적정성 분석에 대한 연구도 수행된 바 있다(Kim, 2019). 최근에는 전남 완도해역의 잘피 서식지에 대한 원격탐사를 이

용한 공간적 분포 특성 연구를 통해 기존 잠수조사 결과 대비 4.5배가량 넓은 10.709 km<sup>2</sup>의 잘피 서식지가 확인된 바 있다 (Yeo *et al.*, 2022).

2015년 한국수산자원공단(FIRA: Korea Fisheries Resources Agency)에서는 우리나라 연안해역의 잘피 서식지에 대한 기반자료를 확보하고자 잠수조사를 기반으로 전국 연안 천연 잘피장 정밀 실태조사를 수행하였다. 2020년에는 무인항공기(컬러, 다중분광)를 이용하여 남해안 서부권(진도, 해남) 연안해역 약 34.19 km<sup>2</sup>의 잘피 군락 실태 및 현황 파악조사가 보고되었다.

잘피 서식지 탐지를 위한 기존의 잠수조사 방법은 잠수사의 조사경로에 따른 점형(Point based) 좌표를 기반으로 잘피 서식지에 대한 분포 범위를 산정하게 되는데, 이 방법은 정성적인 잘피 종의 분류나 자생밀도, 생물량과 같은 생태환경 특성 파악에는 유용하지만 광범위한 지역에 대한 정밀하고 객관적인 정량적 자료 도출이 어려운 단점이 있다.

잘피 서식지의 다른 방법으로는 인공위성, 무인항공기를 활용한 원격탐사를 통해 해초지, 잘피 서식지의 분포 범위와 잘피 종의 분류 등에 대한 연구 결과가 있으나 잘피 서식지 분포의 공간적 특성을 규명하기 위해서는 지형학적 분포 특성(지형, 수심, 경사도 등)이 매우 중요한 연구 요소가 된다.

따라서 본 연구의 목적은 진도해역을 대상으로 실시한 무인항공기(컬러, 다중분광) 자료 결과와 국립해양조사원에서 제공하는 수심자료를 활용하여 경사도, 퇴적물, 해저지형 특성을 비교하고, 잘피 서식지 환경여건과 지형공간정보를 비교 분석하

여 진도군에 분포하는 잘피 서식지의 지형학적 분포 특성을 파악하는 것이다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구 해역

진도군은 한반도 서남단에 위치하고 있는 섬이며 북으로는 신안군, 동으로는 해남군, 남동쪽으로는 완도군과 접하고 있으며 256개의 도서(유인 45, 무인 211)들로 구성되고, 면적은 438.52 km<sup>2</sup>이다(Fig. 1). 온화한 해양성 기후를 보이며 해안은 굴곡이 많은 리아스식이고 해안선의 총연장은 591.65 km이다. 이는 전남 전체 해안선인 6,431 km의 9%에 해당하며 갯벌면적은 32 km<sup>2</sup>로써 전남 전체 갯벌 면적인 1,017 km<sup>2</sup>의 3%에 해당한다(Jindo County Office, 2023).

### 2. 연구 방법

본 연구에서는 공간해상도 10 cm 이상의 결과물을 얻기 위해 RGB 컬러영상을 취득하는 광학드론을 사용하였고, 잘피 식생을 보다 더 효과적으로 구분하기 위해 다중분광센서가 탑재된 Parrot사의 Bluegrass 드론을 함께 사용하였다. 드론의 촬영 고도는 현장상황을 고려하여 150~250m로 설정하였으며 정사영상 생성을 위해 중중복도와 횡중복도는 잘피영상이 과 중첩에 기인하여 오분류되지 않도록 유효 적절한 중복범위로 설정

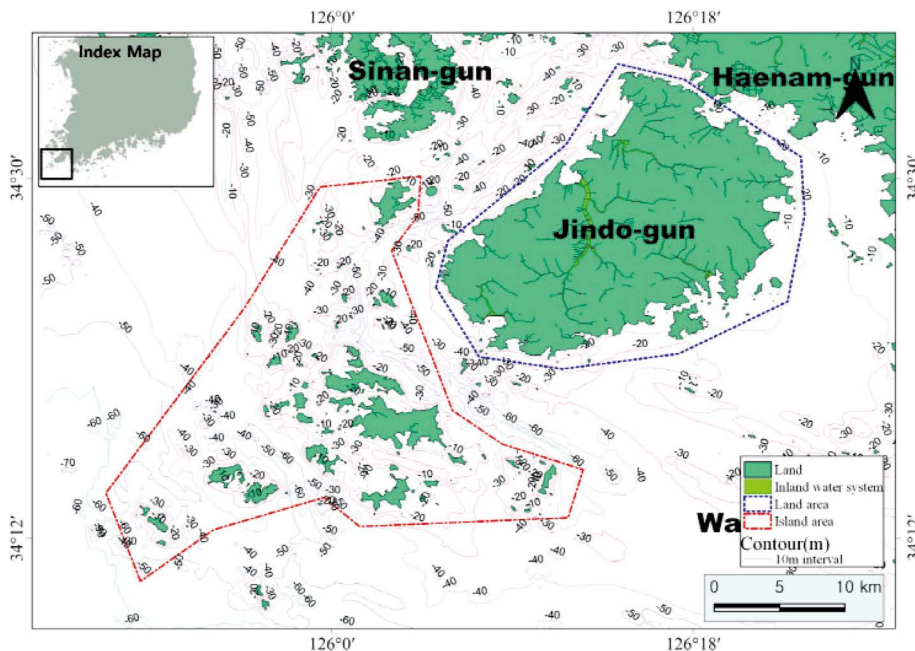
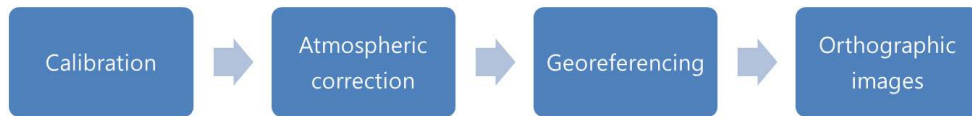


Fig. 1. Map showing study areas with contours.

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

| Spec.          | Color imaging Drone<br>(Mavic 2 Pro)                                              | Multi Spectral Drone<br>(Bluegrass)                                                | Terrestrial Sensor<br>(FieldSpec3 VNIR)                                             |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Item           |  |  |  |
| Sensor         | Camera<br>(SONY A6000)                                                            | Spectral Sensor<br>(Survey3)                                                       | —                                                                                   |
| Weight         | 907 g                                                                             | 1,850 g                                                                            | 5.2 kg                                                                              |
| Size           | 35 × 28 × 11 (cm)                                                                 | 50 × 44 × 12 (cm)                                                                  | —                                                                                   |
| Operation time | 31 min                                                                            | 25 min                                                                             | —                                                                                   |
| Pixel          | 5472 × 3648 (RGB)                                                                 | 4000 × 3000<br>(Multi Spectral)                                                    | —                                                                                   |
| Range          | 100~12,800 (ISO)                                                                  | Green: 550 nm + / - 40 nm<br>Red: 660 nm + / - 40 nm<br>NIR: 850 nm + / - 40 nm    | 350~1,025 nm                                                                        |

**Fig. 2.** Drone image processing stage.**Fig. 3.** Seagrass classification and range calculation steps.

하였다. 지표 피복물에 대한 분광정보는 물체를 식별하는 데 가장 중요한 요소이기 때문에 드론촬영과 동일 시기에 시작 구간과 끝나는 구간 각각에 대해 지상분광계를 이용하여 분광 라이브러리 샘플을 취득하였으며 조사에 사용된 장비는 다음과 같다(Table 1).

드론의 촬영설계에는 Pix4D Capture 소프트웨어가 사용되었으며, 컬러 영상의 처리에는 PhotoScan 소프트웨어, 다중분광 영상처리에는 Pix4D Mapper Pro 소프트웨어가 사용되었다. 드론 영상처리는 캘리브레이션, 대기보정, 영상 지오레퍼런싱, 정사영상 제작 등의 4단계로 구성된다(Fig. 2).

제작된 정사영상에서 잘피 분류 및 규모를 산정하기 위해서는 영상강조, 훈련샘플 취득, 잘피탐지 감도분류, 결과검수, 면적산출과 같은 과정을 거치게 되는데(Fig. 3), 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 말하며 히스토그램, 선형강조기법, Density slicing 등이 있다. 훈련샘플 취득은 탐지하고자 하는 지표물의 분광반사곡선을 영상강조 후의 특정 픽셀로부터 얻거나 현장에서 지상분광계를 이용하는 방법이다. 잘피 서식지 탐지를 위한 감도분류는 강조된 영상과 취득된 훈련샘플을 활용하여 영상에서 탐지하는 과정을 말하며 감도분류 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), MTTICMF (Mixture-Tuned

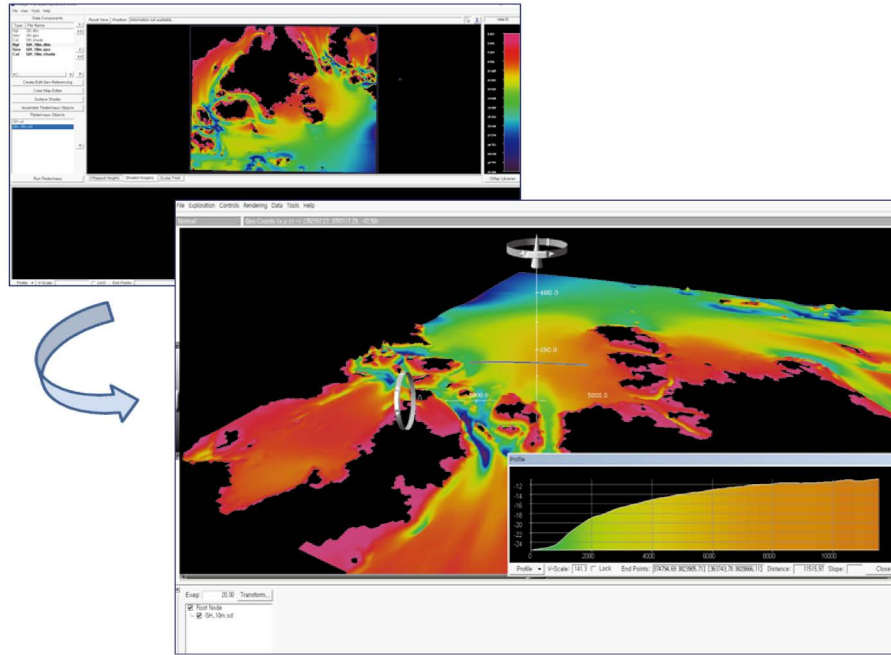


Fig. 4. 2D, 3D, Slope surface by Fledermaus software.

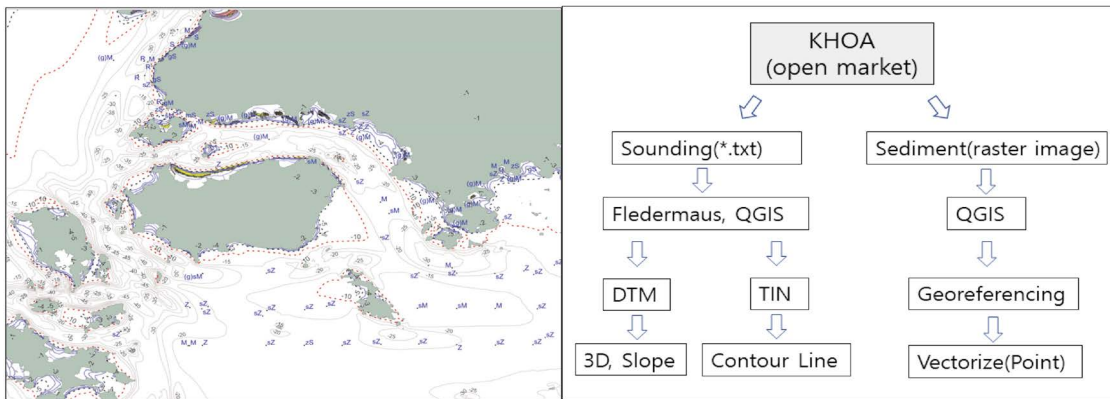


Fig. 5. QGIS processing (TIN, DEM, Contour) and work flow-chart.

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 잔여영역은 벡터화하여 Shape 파일로 변환되며 검수 과정을 거친 후 최종 면적으로 산출된다.

등수심선과 경사도 그리고 3차원 해저지형도를 작성하기 위해 바다누리 해양정보서비스(Ocean Data in Grid Framework)에서 제공하는 격자형 수심정보(격자간격:  $150 \times 150$  m)를 이용하여 TIN (Triangle Irregular Network based) 보간법을 실시하였다. 보간된 수심파일은 10 m 격자간격으로 sorting 후 최종

수심값과 등수심선을 도면상에 출력하였다.

경사도 분석을 위해 sorting된 10 m 격자수심으로부터 Fledermaus 소프트웨어를 이용하여 DTM(Digital Terrain Model)을 생성하고 QGIS 소프트웨어의 Terrain profile 플러그인을 이용하여 단면도를 작성하였다(Fig. 4).

퇴적물 분포 특성을 파악하기 위해 바다누리 해양정보서비스에 수로도식으로 표시된 퇴적물 유형 정보들을 지오레퍼런싱을 통해 객체화(Shp 파일 생성)한 후 Fork & word 형식으로 변환하고 도면화하였다. 이렇게 제작된 등수심선, 해저지형 분포도, 경사도, 퇴적물분포 정보들은 벡터형식의 shape 파일로 저장하여 QGIS에서 분석·처리하였다(Fig. 5).

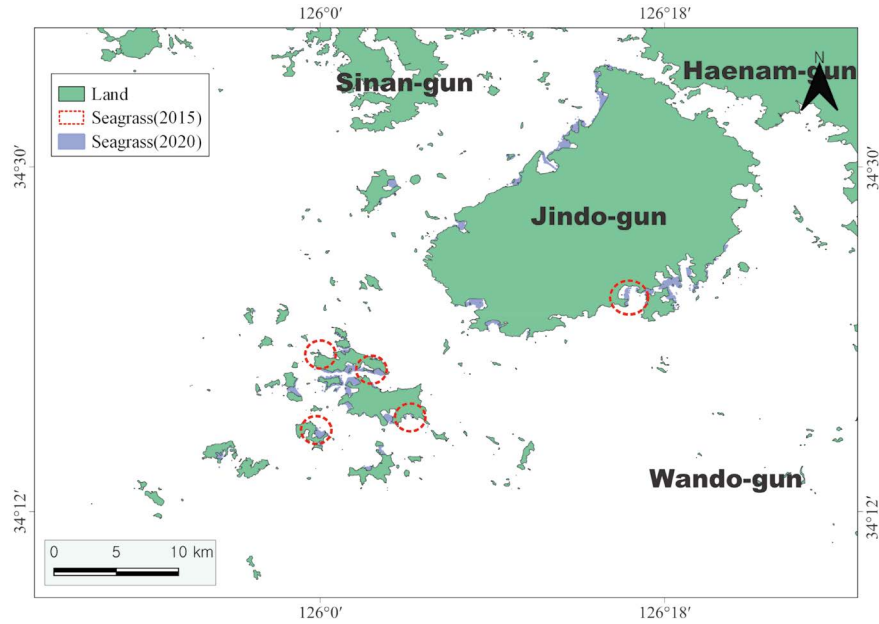


Fig. 6. Seagrass distribution map.

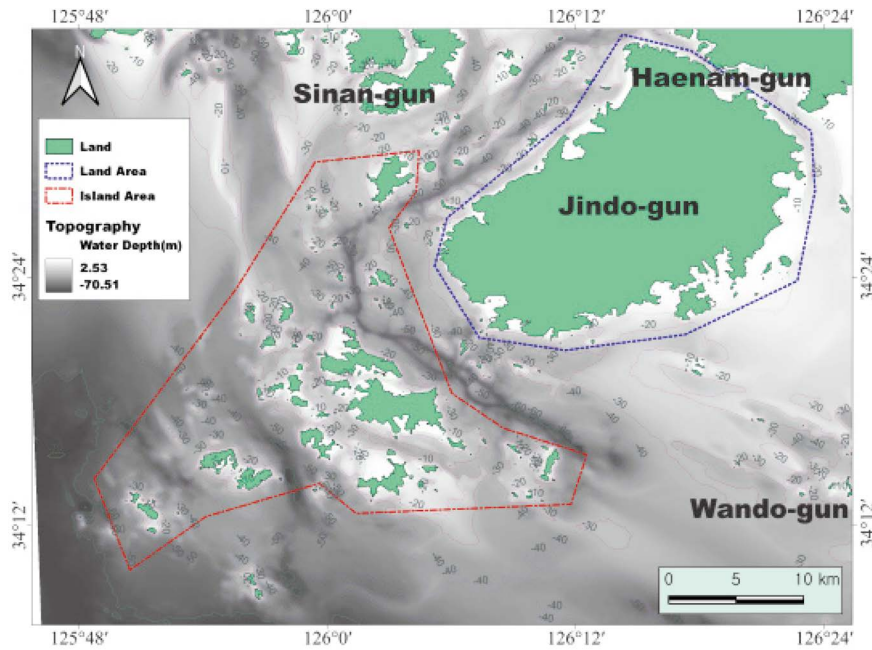


Fig. 7. Map showing study areas divided into land area and island areas.

## 결 과

### 1. 진도해역의 잘피 분포

Fig. 6은 기 잠수조사(2015년)와 드론 원격탐사(2020년)를 통해 확인된 진도군 잘피 서식지 비교 분포도이며 전체 31개소(육지권 17개소, 도서권 14개소)에서 2.5475 km<sup>2</sup>의 잘피 면적

이 확인되었다. 2015년 잠수조사에 의해 확인된 0.0928 km<sup>2</sup>의 잘피 면적과 비교 시 약 27.5배 넓은 면적이 조사되었다.

### 2. 지형(수심, 경사) 환경 및 퇴적물 특성 분석

Fig. 7에서 진도군의 북측은 해남군의 화원반도와 진도군 군내면 사이를 통과하는 폭이 좁고 길이가 긴 수도(水道)인 명

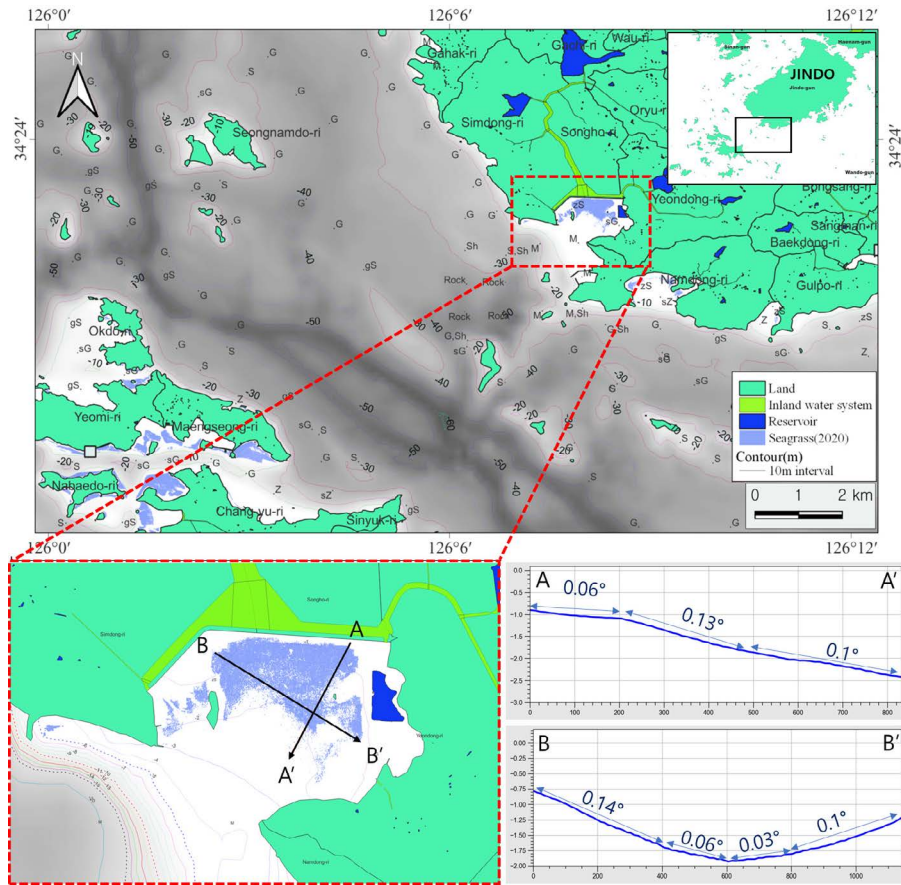


Fig. 8. Water depth (m), topography and slope with distribution of Seagrass on Songho-ri.

량 해협이 위치하며 좌측으로 신안군, 우측으로 완도군과 마주한다. 진도군의 북서측(군내면, 진도읍, 지산면) 해안선은 비교적 곧고 해안선에서 외해 방향으로 수심이 급히 깊어지는 지형이다. 마주보는 신안군 신위면 하태도를 사이에 두고 크고 작은 섬들이 위치하며 최대수심 약 40 m까지 깊어지며 황해와 연결된다. 육지권역인 지산면, 임회면과 도서권역인 조도면 사이에는 최대수심 약 50 m까지 깊어지는 골 지형이 가사도부터 독거도까지 마치 병풍 형태로 이어진다. 조도군도는 삼각형 형태 범위 내 크고 작은 섬들로 구성되며 대부분이 수심 약 30 m 이하로써 비교적 완만한 지형이지만 대마도와 마주하는 서거차도, 동거차도 사이에는 수심 약 60 m까지 깊어지는 골의 지형이 나타난다. 조도군도의 최남서단에 위치한 땡골도의 북서측에는 최대수심 약 70 m의 수심대가 확인된다. 진도군 동남측(고군면, 의신면, 임회면) 연안은 최대 수심 약 40 m 이내로 비교적 완만하며 동쪽으로 해남군, 남동쪽으로 완도군과 마주하여 위치한다.

잘피 서식지가 확인된 곳의 지형과 수심 변화는, 육지권역의 경우 해안선이 육지방향으로 움푹 들어간 만(Bay) 형태의 지형에서 대부분 분포하며 서식지의 수심 범위는 최소 -0.5 m, 최

대 -7.6 m로 확인되었다. 도서권역의 경우도 유사하게 만 지형에 주로 분포하였으며 수심대는 최소 -0.5 m, 최대 -13.3 m까지 분포하였다.

경사도를 분석한 결과, 최소 0.03°, 최대 1.72°의 낮은 경사도를 보였다(Figs. 8, 9). 진도해역 640군데 표층퇴적물 결과값을 바탕으로 잘피 서식지가 확인된 31개소에 인접한 퇴적물 유형을 확인한 결과 니질사(zS), 사질니(sZ), 니질(Z, M), 사질(S), 사질역(sG), 역질(G) 순으로 우세하게 분포하였다(Fig. 10).

### 3. 육상수계, 주변환경 분석

국가정보포털에서 제공하는 호수, 저수지, 내륙양식장 공간 정보와 잘피 서식지 분포 자료를 중첩한 결과, 고군면을 제외한 육지권역 전체에서 비교적 규모가 큰 하천수계망과 연결된 저수지(사천, 중리, 구계, 천망, 송정, 용산, 봉암, 심동, 내연, 연동, 월가, 고야 등)와 호수(군내)가 확인되었으며 하천과 만나는 만 형태의 연안 지형에서 잘피 서식지 대부분이 분포하는 것으로 확인되었다(Fig. 11). 또한 내륙에 위치한 양식장 108곳 중 83곳이 진도군의 동측 고군면에 위치하였으며 의신면 10곳, 군내

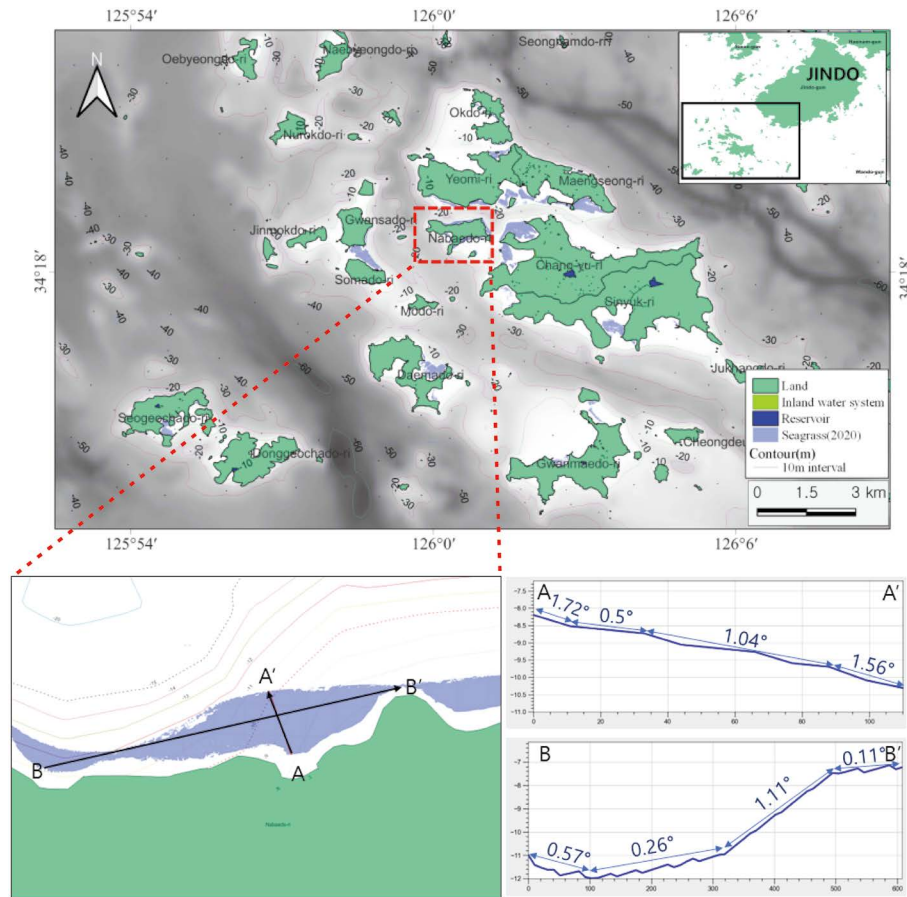


Fig. 9. Water depth (m), topography and slope with distribution of Seagrass on Nabaedo-ri.

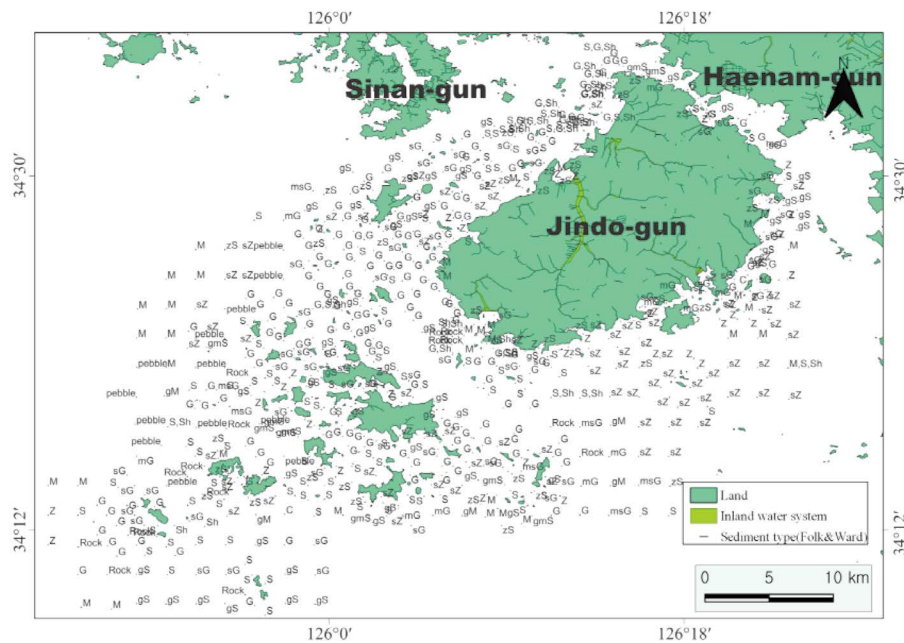
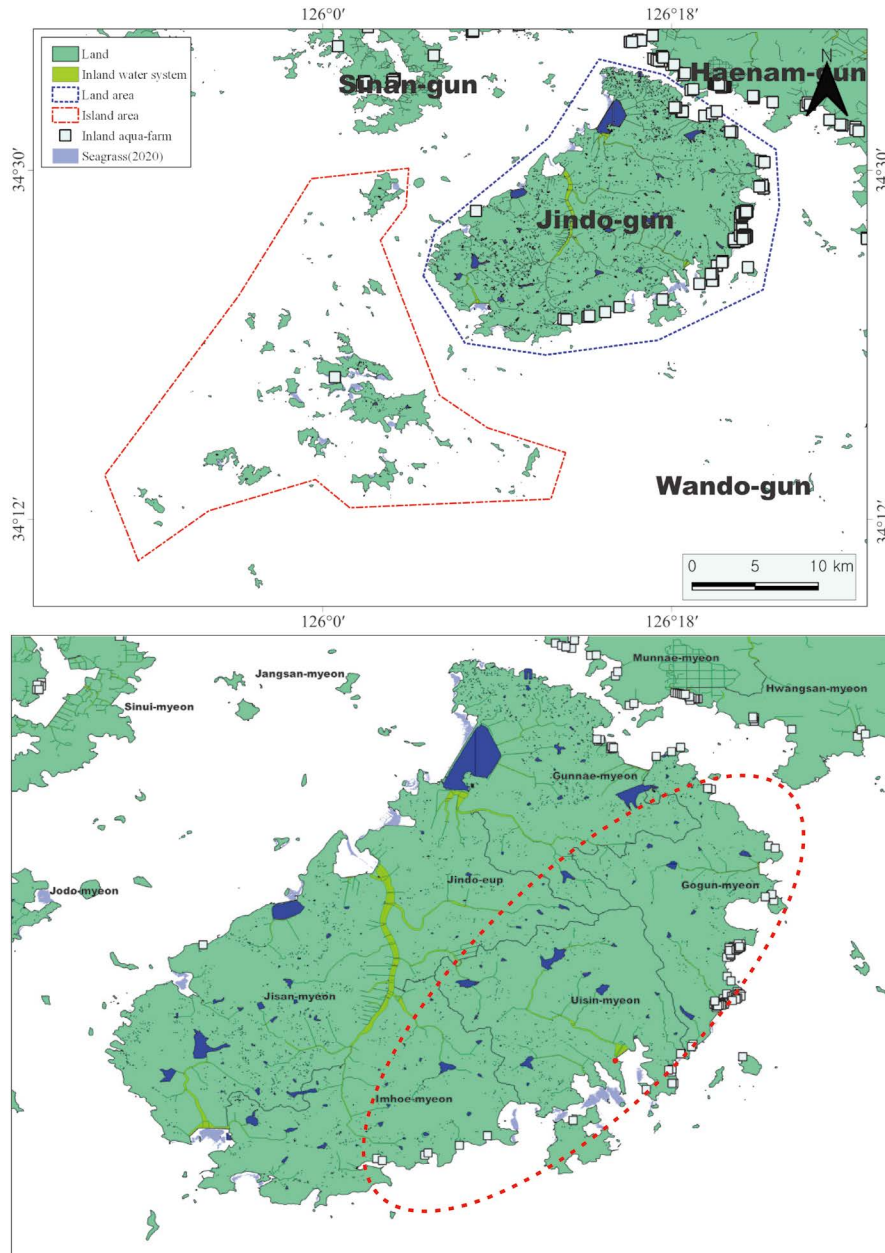


Fig. 10. Map showing study areas sediment distribution.



**Fig. 11.** Locations of river, lakes, reservoirs and inland aqua-farms (Distribution of inland aqua-farms in the outer circle of the red dotted line).

면 7곳, 임회면 6곳 순으로 진도군의 남측과 동남측에 대부분 분포함을 확인하였는데, 이와 같이 내륙양식장이 인접한 진도군 동, 남측연안에서는 잘피 서식지가 분포하지 않았다.

## 결론 및 고찰

본 연구를 통해 2가지 결과가 도출되었다. 첫째 잘피 서식지의 공간적 분포 범위와 형태가 이전 결과와 비교하여 보다 넓

은 면적에서 세밀하고 상세하게 표현되었다. 이는 최근 몇 년간 원격탐사기술의 비약적인 발전에 따라 관련기기의 위치정확도와 공간해상도가 향상되었으며, 인공지능 기계학습 기술의 발달과 분류 알고리즘의 고도화에 따른 업무효율성 향상에 따른 결과로 생각해 볼 수 있다. 두 번째는 기 논문들에서 밝혀진 잘피 서식지형(만 지형)과 분포수심대(15m 이내) 그리고 우세한 퇴적물 유형들(니질사, 사질니 등)이 본 연구에서도 유사한 결과로 도출되었다. 추가적인 공간정보 분석을 통해 비교적 규모가 큰 하천수계망과 연결된 해안 지형에서 잘피 서식지가 다

수 발견된 사실은 하천을 통해 육상의 풍부한 영양염이 직접적으로 공급된 것으로 판단된다. 반면, 진도군 동남측 연안지형에 다수 위치한 내륙양식장 주변에서 잘피 서식지가 관찰되지 않는 것은 양식장 주변에서 발생하는 환경오염이 주 원인일 것으로 추정되며 명확한 인과관계를 파악하기 위해서는 추가적인 해양환경 분석 조사가 필요할 것으로 판단된다.

## 요 약

진도해역에 분포하는 잘피 서식지의 공간적 분포 특성을 규명하기 위해 2020년 6월 드론을 활용한 원격탐사를 수행하였다. 진도해역은 지리적 위치에 따라 육지권과 도서권으로 구분하였고 각각 1.19744 km<sup>2</sup>, 1.35002 km<sup>2</sup>의 잘피 분포 면적이 확인되었다. 잘피 서식지의 지형적 분포 특성을 파악하기 위해 격자수심자료를 이용하여 등수심선과 경사도를 분석한 결과, 육지권의 경우 수심 약 -0.5~ -7.6 m, 도서권의 경우 -0.5~ -13.3 m까지 분포하였으며 경사도는 1.72° 이내로써 대부분 완만하였다. 또한 잘피서식지와 주변환경과의 상관성을 파악하기 위해 진도군 내 위치한 108곳의 육상양식장과 하천·호수의 공간정보 그리고 표층퇴적물 유형 등을 분석한 결과, 대부분의 잘피 서식지가 육상 주요 수계망과 연결되어 있었으며 니질사(zS), 사질니(sZ), 모래(S) 지형에 우세하게 나타났다. 한편 고군면을 제외한 진도군 전체 지역에서 육상양식장이 없거나 적었고 잘피 서식지 면적이 2.54312 km<sup>2</sup>로 확인되었는데, 이는 진도군 전체 잘피 서식지 분포 면적 대비 99.83%에 해당한다. 이러한 연구 결과는 향후 연안 개발 사업 시 잘피 이식지 적지 선정에 있어 유용한 자료가 될 것이다.

## 사 사

본 논문은 한국해양과학기술원의 주요사업 원격탐사 시각데이터의 기계학습을 통한 갯벌의 생물/환경 공간정보 구축 기술개발(EA0115)과 갯벌 공간정보 변화 모니터링 기술개발사업(M63870)에 의해 지원되었음.

## 참고 문헌

- Duarte, C.M. and J. Cebrian, 1996. The fate of marine autotrophic production. *Limnol. Oceanogr.*, 41(8), 1758-1766.
- Jindo County Office, 2023. <https://www.jindo.go.kr/home/sub.cs?m=277> (accessed 2023.06.17.).
- Kang, D.H., S.H. Cho, H.S. La, J.M. Kim, J.Y. Na and J.G. Myoung, 2006. Estimating spatial and vertical distribution of seagrass habitats using hydroacoustic system. *Ocean Polar Res.*, 28(3), 225-236.
- Kim, J.B., J.I. Park, C.S. Jung, P.Y. Lee and K.S. Lee, 2009. Distributional range extension of the seagrass *Halophila nipponica* into coastal waters off the Korean peninsula. *Aquat. Bot.*, 90(3), 269-272.
- Kim, K.Y., J.A. Eom, J.K. Choi, J.H. Ryu and K.Y. Kim, 2012. Application of Hydroacoustic System and Kompsat-2 Image to Estimate Distribution of Seagrass Beds. *The Sea*, 17(3), 181-188.
- Kim, K.Y., J.H. Kim and K.Y. Kim, 2008. Using a digital echosounder to estimate eelgrass (*Zostera marina* L.) cover and biomass in Kwangyang Bay. *Algae*, 23(1), 83-90.
- Kim, T.S., 2019. An analysis on appropriateness of seagrass detection using images from a drone. Master's degree, University of Seoul, 62pp.
- Komatsu, T., C. Igarashi, K. Tatsukawa, S. Sultana, Y. Matsuoka and A. Harada, 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.
- Lee, K.S. and S.Y. Lee, 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., 193-198.
- Park, J.I., J.Y. Park and M.H. Son, 2012. Seagrass Distribution in Jeju and Chuja Islands. *Korean J. Environ. Biol.*, 30(4), 339-348, (in Korean with English abstract).
- Short, F.T. and H.A. Neckles, 1999. The effects of global climate change on seagrasses. *Aquat. Bot.*, 63(3-4), 169-196.
- Yeo, J.Y., J.B. Jung and J.K. Kim, 2022. Spatial Distribution Characteristics of Seagrass Habitat based on Remote Sensing Data: Focusing on Wan Island. *GEO DATA*, 4(2), 23-36.