

## 원격탐사자료와 GIS를 활용한 연안해역 잘피 분포 특성

여정운<sup>1</sup> · 정주봉<sup>2</sup> ·곽인실<sup>3</sup> · 김종규<sup>4,†</sup>

<sup>1</sup>한국수산자원공단 어업선진화본부 기술직책임

<sup>2</sup>한국해양과학기술원 해양영토방위연구부 선임연구원

<sup>3</sup>전남대학교 해양융합학과 교수

<sup>4</sup>전남대학교 조선해양공학과 교수

## The Distribution Characteristics of Eelgrass Habitat in Coastal Waters Using Remote Sensing Data and GIS

Jungyeon Yeo<sup>1</sup>, JooBong Jeong<sup>2</sup>, Inn-Sil Kwak<sup>3</sup>, and Jongkyu Kim<sup>4,†</sup>

<sup>1</sup>Senior Assistant, Fishery Advancement Department, Korea Fisheries Resources Agency, Busan 46041, Korea

<sup>2</sup>Senior Researcher, Marine Domain & Security Research Department, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan 49111, Korea

<sup>3</sup>Professor, Department of Ocean Integrated Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

<sup>4</sup>Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

### 요 약

한국 남서해안에 분포하는 잘피 서식지의 공간적 분포 특성을 연구하기 위해 2018년 12월부터 2020년 12월까지 드론을 이용한 원격탐사를 실시하여 총 249개소에서 잘피 서식지를 확인하였고 분포 면적은 28.1087 km<sup>2</sup>로 산출되었고 전체 3종류(거머리말, 애기거머리말, 수거머리말)의 잘피를 확인하였다. GIS기법을 활용하여 잘피 서식지 분포에 대한 공간정보와 수심자료 결과값을 중첩 분석한 결과, 평균해면하 수심 7 m 이내, 경사도 0~1° 이내에서 대부분의 잘피 서식지가 분포함을 확인하였다. 처리된 수심자료 결과값에서 파생된 2차적 지형특성치인 수치표고 모델(DEM), 경사도(slope), Broad scale BPI, Broad scale BPI-Std, Fine scale BPI, Fine scale BPI-Std들을 이용하여 조석평원(Tidal flat), 연안평지(Nearshore plain), 급경사면(Steep slope), 함몰지형(Depression), 완경사면(Gentle slope), 해저능선(Submarine ridge), 해저골(Flat with trough)과 같은 7가지 유형의 해저지형을 분류하였다. 조간대에 위치하는 조석평원과 그에 인접한 연안평지에서 대부분의 잘피 서식지가 분포하였고, 연안평지가 넓게 분포하면서 외해 방향으로 직접 연결되는 지형의 형태가 급경사면일 때 대부분의 잘피 서식지가 밀식되어 분포하는 경향을 보였다. 반면, 연안평지가 좁게 형성된 지형이면서 급경사면과 이어지는 경우, 또는 연안평지가 넓게 분포하더라도 급경사면이 아닌 완경사면과 이어지는 경우에는 잘피 서식지가 분포하지 않거나 드물게 나타났다. 본 연구를 통해 산출된 연구 해역 잘피 서식지의 경제적 가치는 연간 약 2,528억원으로 추산되며, 탄소고정량은 연간 약 6,464 ton으로 추정된다.

**Abstract** – From December 2018 to December 2020, remote sensing exploration using drones was conducted to study the spatial distribution characteristics of eelgrass habitats distributed on the southwest coast of Korea. As a result, a total of 249 places were identified as eelgrass habitats, and the distribution area was 28.1087 km<sup>2</sup>, and a total of three types of eelgrass (*Z. marina*, *Z. japonica*, *Z. caulescens*) were identified. As a result of overlapping analysis of spatial information and bathymetry data results on the distribution of eelgrass habitats using the GIS technique, it was confirmed that most of the eelgrass habitats were distributed in areas where satisfying within 7 m of water depth(M.S.L: Mean Sea Level) and 0° to 1° of slope from the intertidal zone. As a result of classifying the seabed topography using the secondary topographic characteristics derived from the processed bathymetry data results, the Digital Elevation Model (DEM), slope, Broad scale BPI, Broad scale BPI-Std, Fine scale BPI, and Fine scale BPI-Std, seven types of seabed topography (Tidal flat, Nearshore plain, Steep slope, Depression, Gentle slope, Submarine ridge, and Flat with

<sup>†</sup>Corresponding author: kimjk@jnu.ac.kr

trough) were classified. Most of the eelgrass habitats were distributed in the tidal flat and Nearshore plain located in the intertidal zone, and most of the eelgrass habitats tended to be dense and distributed when the shape of the terrain directly connected in the offshore direction was a Steep slope. On the other hand, if the Nearshore plain is a narrowly formed terrain and is connected to a Steep slope, or even if the Nearshore plain is widely distributed, the eelgrass habitats are not distributed or rarely appeared when it is connected to a Gentle slope rather than a Steep slope. The economic value of the study eelgrass habitat calculated through this study is estimated to be about 2,528 billion won per year, and the carbon fixation amount is estimated to be about 6,464 tons per year.

**Keywords:** Eeagrass(잘피), Bluecarbon(블루카본), BPI(수심위치지수), BTM(저서지형모델러)

## 1. 서 론

잘피(Eelgrass)는 잎, 줄기와 뿌리 조직이 뚜렷이 나누어져 바다에서 꽃을 피우고 번식하는 현화식물이며 우리나라에서는 해역별로 진질(남해안), 진저리(동해안), 물(동해안)이라고도 불리며 해양생물에게 매우 좋은 서식지로 산란장, 보육장, 성육장 및 은신처를 제공하는 해양 생태계의 중요한 구성요소이다. 또한 잘피는 해안 습지 생태계인 염습지, 맹그로브 등과 함께 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 공식적으로 인정하는 블루카본(blue carbon) 흡수원에 포함되며(Bertram *et al.*[2021]) 잘피의 높은 생산성과 낮은 섭식률을 통해 다량의 무기탄소 제거가 가능한 것으로 알려져 있기 때문에(Duarte and Cebrian[1996]; Short and Neckles[1999]) 더욱더 주목받고 있다. Kim[2009]은 잘피의 단위 면적당 탄소고정량을 계산한 결과, 산림의 단위면적당 탄소고정량인 164 g보다 약 1.4배 높은 230 g의 탄소를 고정한다는 사실을 확인하였고 대한민국에 분포하는 것으로 추정되는 잘피 서식 면적인 55~70 km<sup>2</sup>에 대한 연간 탄소고정량을 계산한 결과 12,650~16,100 ton으로 추정하였는데 이처럼 잘피는 높은 생산성을 통해 해수에 포함된 무기탄소를 효과적으로 제거할 뿐만 아니라, 수산생물들의 높은 종 다양성 확보와 그들의 높은 서식밀도 유지에 도움을 주는 것으로 판단된다.

그러나 최근 전 세계적으로 잘피의 서식 면적이 급격히 감소하고 있으며 그 원인으로는 매립, 준설, 간척사업, 해양 관광 시설, 항만 건설, 어항 및 방파제 기반시설 공사 등과 같은 인위적인 요인들과 태풍, 기후 변화, 초식압(Herbivore Pressure)과 같은 자연적 원인을 들 수 있다.

현재까지 알려진 바에 의하면 한국에 총 9종의 잘피가 서식하며, 동해, 서해, 남해에 걸쳐 가장 널리 서식하는 우점종은 거머리말(*Zostera marina*)이며 *Zostera*속 5종, *Phyllospadix*속 2종, 하구종인 *Ruppia maritima*와 아열대성 잘피인 *Halophila nipponica*의 9종이 자생하고 있는 것으로 알려져 있다(Lee and Lee[2003]). 잘피의 세계적인 분포 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 않은 실정이다(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 필수적이라 할 수 있다(Komatsu *et al.*[2003]). 한국수산자원공단(FIRA: Korea Fisheries Resources Agency)에서는 전국의 102개소를 대상으로 “전국 연안 천연잘피장 정밀 실태조사”를 수행한 바 있으며(MOF[2015]), 이후 2018~2020년에는 남해(경남, 전남) 전 연안을 대상으로 드론(컬러, 다중분광, 초분광)을 이용한 “남해 도서 잘피군락 분포조사”를 통해 잘피 서식지 실태 및 현황조사를 수행하였다. 잘피 서식지 조사 방법론적인 측면에서 살펴보면, 기존의 잠수조사에 의한 잘피서식지 조사 방법은 정성적인 잘피 종의 분류나 자생밀도, 생물량, 해양 생태환경 특성 등의 파악에는 상당히 효과적이지만 광범위한 지역에 대한 섬세하고 객관적인 잘피 서식지 분포 확인은 어려우며, 분포 특성에 대한 정량적이고 수치적인 자료도출은 더욱 어렵다. 이는 잠수사의 조사경로에 따른 점형(Point based)좌표를 기반하기 때문이며 정밀위치정보와 자세제어정보에 기반한 원격탐사방법과 비교하여 투입비용 대비 효율성 또한 매우 낮다.

저서생물의 공간적 분포는 해저의 지질학적, 형태학적 특성과 그 위에 위치하는 수주(Water column) 속성의 영향을 받으며, 이러한 비생물적 속성에 해당하는 공간적 자료들은 해저 서식지 지도 생성을 위한 구성요소가 된다(Brown *et al.*[2011]). Jeong *et al.*[2022]은 제주 우도와 성산 종달리 주변해역에 분포하는 홍조단괴의 분포특성을 연구하기 위해 BTM(Benthic Terrain Modeler) 방법을 적용하여 해저지형을 5가지 유형(Flat plain, Gentle slope, Depression, Nearshore ridge, Submarine ridge)으로 분류하고 유형별 수심 분포와 면적, 그리고 평균경사도 값들을 추출하였다. 또한 사질과 기반암, 그리고 홍조단괴층(rhodolith beds)의 분포도와 공간결합(spatial join)하여 총 19종류의 해저지형을 분류한 후 홍조단괴의 분포 특성을 연구하였다. Baek *et al.*[2022]은 다중빔 음향측심자료 결과값에 TPI(Topographic Position Index)기법을 적용하여 우리나라 전 연안 해역에 발달한 해저 사퇴(sand ridge)의 분포를 확인하고, 해역별 지형 특성을 파악하고자 하였으며, 그 결과 총 200개의 사퇴와 그 형태적, 지역적 특성을 분석한 바 있다. Ahn[2021]은 전 세계를 커버하는 최신 고해상도 수심데이터인 GEBCO\_2020 격자(해상도:

15 arc-second) 자료를 Geomorphon 알고리즘을 이용하여 10개의 해저면 지형패턴(flat, peak, ridge, shoulder, spur, slope, hollow, footslope, valley, depression)으로 분류하였고 동시에 수심데이터의 객체기반분할(OBIA: Object-Based Image Analysis) 및 지형계측변수를 바탕으로 6개의 클래스(Mountains, High Hills, Tablelands, Hills, Irregular Plains, Flat Plains)로 분류하였는데, 이를 통해 기존의 해저지형 분류에서는 식별하지 못했던 작은 규모의 해저지형까지 분류할 수 있었다.

이처럼 수심측량자료 등을 이용한 해저지형분석 방법에 대한 연구사례가 존재하지만, 대한민국 남서해 연안 전체를 포괄하는 넓은 범위에 대한 해저지형 분석 시도는 찾기 어렵고 잘피에 대한 기존 연구 또한 잘피의 생장, 생태, 형질, 이식 및 복원, 잘피 서식지 주변 해양환경 특성 등에 대한 연구가 대부분이며, 해양생물인 잘피의 기질(Substrates)인 해저지형(수심, 경사 등)과의 상관성에 대한 연구는 부족하다. 따라서 본 연구에서는 공개된 수심자료를 통해 해저지형 특성(수심, 경사도) 결과를 GIS(Geographic Information System) 분석방법인 BTM(Benthic Terrain Modeler)을 이용하여 해저지형 분류 결과를 도출하고, 분광센서가 장착된 드론을 이용한 원격탐사 결과를 통해 잘피 서식지의 공간적 분포 특성을 파악한 후 도출된 해저지형과 잘피 서식지가 어떠한 상관관계가 있는지를 밝히는데 그 목적이 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 대상해역

본 연구 대상해역은 남해안의 서쪽에 위치한 해남반도로부터 여수해만을 포함하는 대한민국 남서해안 해역이며 진도

군, 해남군, 완도군, 고흥군, 여수시 연안을 포함한다(Fig. 1). 대한민국 남해안은 해수면 상승에 따른 해침(Transgression)에 의해 형성된 리아스(rias)식 해안지형이 우세하며 연안을 따라 크고 작은 내만이 발달해 있으며 만, 하구, 해빈, 삼각주 등의 다양한 퇴적환경과 매우 복잡한 지형형태를 보인다(Chang and Chun[2001]). 남해안에는 다수의 유·무인도서가 존재하여 다도해(多島海)라고도 불리며 반도와 만이 연속해서 분포하며, 해안선이 복잡하다. 황해와 마찬가지로 대륙붕이 넓게 분포하고 있으며, 서쪽보다 동쪽의 수심이 더 깊다. 제주해협과 대한해협 등의 골을 제외하고는 수심이 약최저저조면 기준 100 m내외로 비교적 평탄한 편이다(KHOA[2022]). 남해의 조석은 황해보다 작고 동해보다는 크며, 남해 서부에 위치한 완도의 대조차는 약 3 m인 반면 동쪽으로 갈수록 조차는 점차 작아져 부산에서는 약 1.1 m로 나타난다(KHOA[2022]). 남서해안의 완도·여수해역은 많은 도서가 산재해 있는 다도해로서 여러 갈래의 크고 작은 수로로 분류되었다가 다시 합류해 유향의 변화가 복잡하고 유속이 강한 편이다. 창조류와 낙조류는 북서~남동향 또는 동~서향의 비교적 규칙적인 흐름을 보이며 완도·여수해역의 남측이 북측에 비해 유속이 다소 빠르며, 최강 창·낙조류의 유속은 약 0.3~1.3 m/s이다(KHOA[2022]).

### 2.2 연구방법

Yoo *et al.*[2019]은 국내의 해양수치모델 전용 수심 데이터를 구축하기 위해 대표수심 추출 알고리즘을 사용하여 20TB(Tera Byte)에 달하는 대용량 원시 수심측량자료를 351MB(Mega Byte)까지 경량화하여 대표수심을 추출한 바 있다. 추출된 결과를 검증하기 위해 여수시 연도항 원시수심측량자료(13.5GB)와 이의 1% 용량 수준인 대표수심을 추출하여 비교한 결과, 국부적인 지

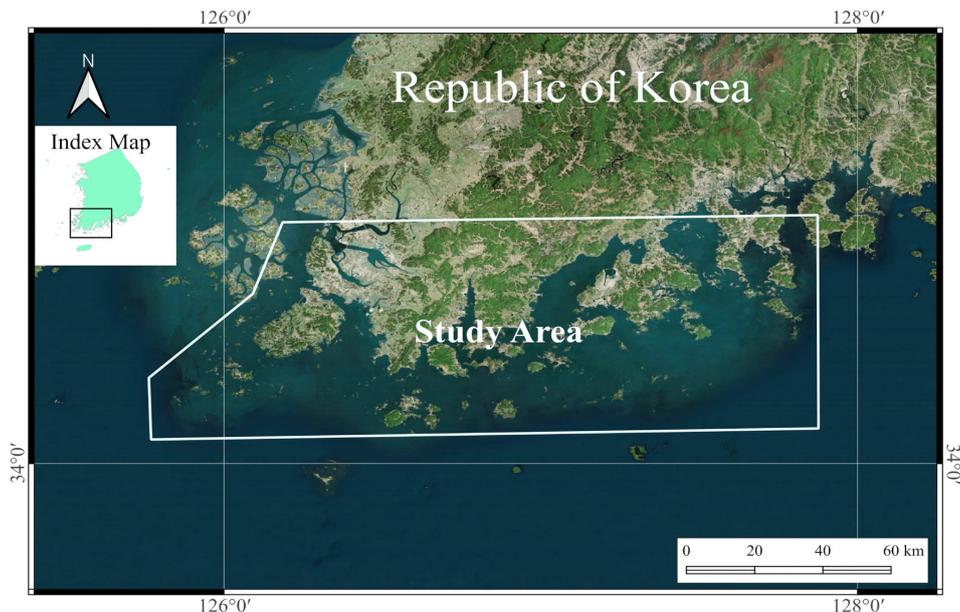


Fig. 1. Location of the study area.

형차이는 발생하였지만 매우 미미하였고 원시자료와 대표수심은 지형이 거의 유사함을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 드론 원격탐사 결과로 분류된 질피 서식지의 분포 특성을 연구하기 위해 국립해양조사원 바다누리 해양정보서비스(Ocean Data in Grid Framework)에서 제공하는 격자형 해양수치모델 전용 수심 데이터(size: 150 m × 150 m)를 이용하였다.

해저지형 모델러(BTM: Benthic Terrain Modeler)는 미국 국립해양대기청(NOAA)과 오레곤 주립대학교 지구과학과에서 개발되었으며 ESRI사에서 개발된 소프트웨어인 ArcGIS에 탑재된 Toolbox 요소이다(Wright *et al.*[2012]; Lundblad *et al.*[2006])(Fig. 2). BTM은 수심, 경사, 그리고 수심위치지수(BPI: Bathymetric Position Index)에 대한 정보를 결합하여 해저지형을 여러 가지

유형으로 분류한다. BPI 데이터 세트는 이웃 분석 기능을 통해 생성되는데, BPI 데이터 세트 내의 양수 셀 값은 주변 영역보다 높은 피쳐와 영역을 나타내며, 따라서 양수 값의 영역은 일반적으로 저서 지형 내의 능선(ridge) 및 기타 관련 지형의 특징을 나타낸다. 마찬가지로 BPI 데이터 세트 내의 음수 셀 값은 주변 영역보다 낮은 피쳐와 영역을 나타낸다. 음수셀 값 영역은 일반적으로 수심 측량 데이터 세트 내 계곡(valley) 및 기타 관련 기능의 특징을 나타내며 BPI값이 0에 가까울수록 편평한 지형에 가까워짐을 의미한다(Lundblad *et al.*[2006])(Fig. 3).

BPI 데이터 세트는 초점(focal) 또는 이웃 함수(neighborhood function)를 활용하는 알고리즘을 적용하여 입력되는 수심 자료 데이터 세트에서 생성된다. 이웃 함수는 각 위치의 출력 셀 값

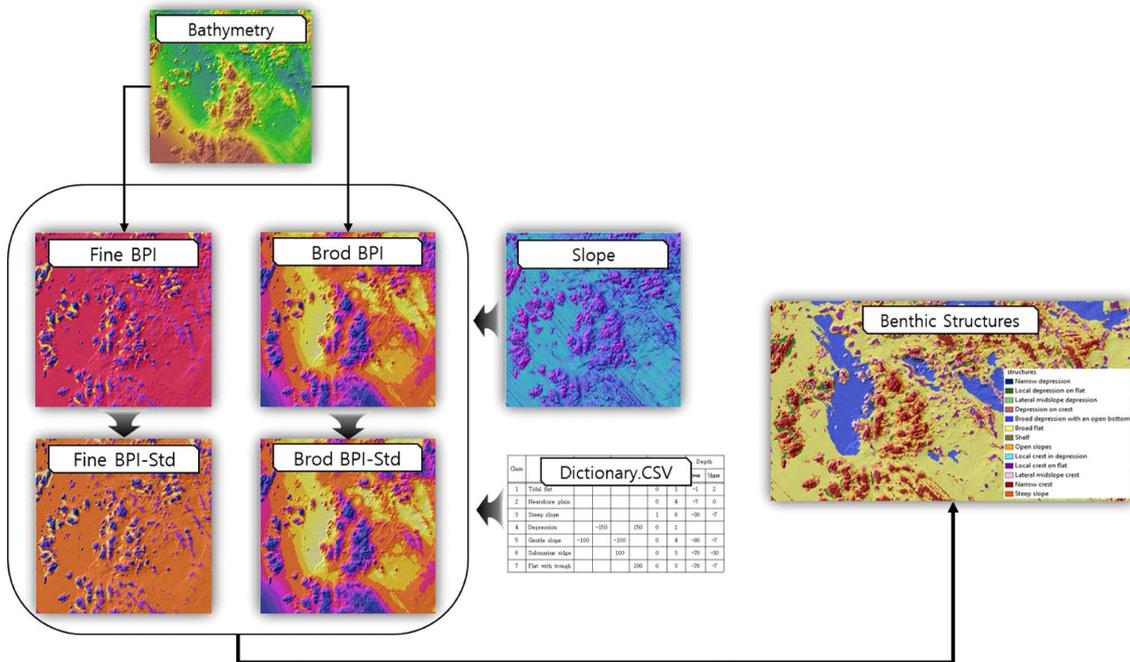


Fig. 2. Flow chart of BTM process.

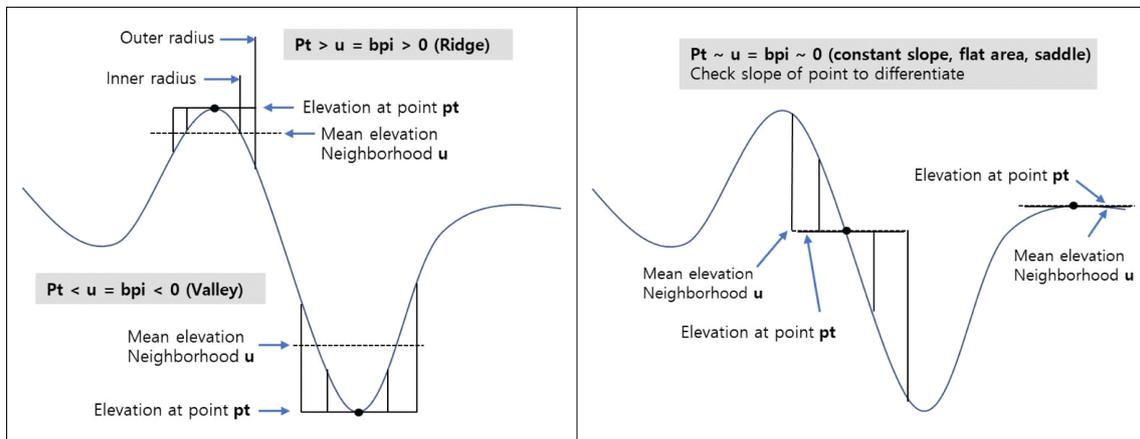


Fig. 3. Positive and negative BPI value derivation for ridges and valleys (left), Areas where the BPI value is near or equal to zero. The slope of the terrain at the given point is used to determine the bathymetric position (right).

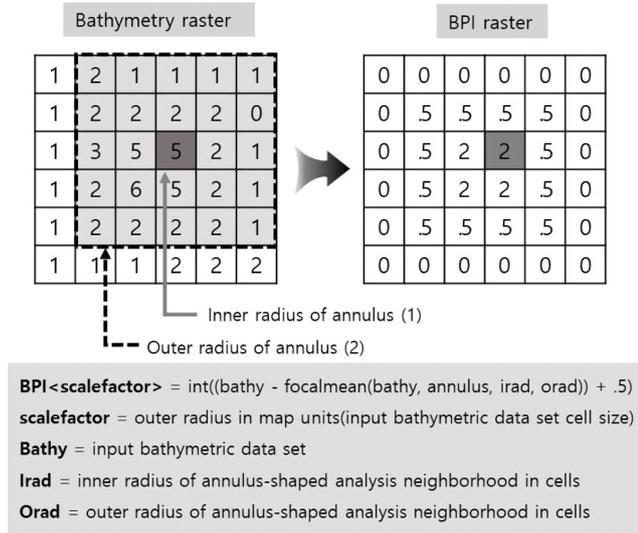


Fig. 4. An example of a neighborhood analysis function using an annulus shape (NOAA Coastal Services Center).

이 입력 셀 값과 해당 위치 주변의 지정된 “이웃”에 있는 셀 값의 함수인 출력 래스터를 생성하게 된다(Fig. 4).

본 연구의 수심자료를 이용한 전반적인 연구흐름도는 다음과 같다(Fig. 5).

원격탐사(Remote Sensing)는 멀리 떨어져 있는 대상을 물리적 접촉 없이 원격으로 측정하는 기술로서 항공기, 인공위성 등에 탑재된 카메라나 센서를 이용하여 지표면, 해양, 대기 등으로부터 반사 또는 복사되어 오는 전자파 에너지를 감지하여 그 물리적 성질을 측정하고 기록, 분석함으로써 지표면, 해양, 대기의 환경 특성에 대한 정보를 얻는 것을 통칭한다.

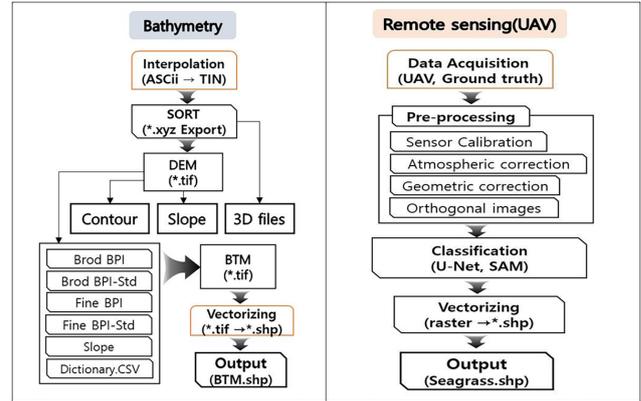


Fig. 5. Flow chart of bathymetry data (left) and remote sensing data (right).

본 연구에서는 컬러 영상을 획득하기 위해 SONY사의 미러리스 카메라(A6000)가 탑재된 DJI사의 팬텀4 pro와 매빅 pro를 사용하였고 다중분광 영상을 얻기 위해 Parrot사의 Disco Pro AG와 Bluegrass를 사용하였다. 그리고 초분광영상을 얻기 위해 Corning사의 MicroHSI 410 shark를 DJI사의 M200에 탑재하여 획득하였다(Table 1). 잘피 서식지가 예상되는 지역을 대상으로 컬러, 다중분광 드론을 이용하였고, 잘피의 서식종, 서식밀도 등에 대한 정보를 얻기 위해 초분광영상을 취득하였다. 아울러 획득한 자료에 대한 검-보정을 위해 지상분광자료획득 및 잠수 조사를 통한 현장채집과 분석을 실시하였다.

드론 촬영을 위한 설계에는 DJI사의 Pix4D Capture를 사용하였으며 공간해상도 10 cm 이상의 결과물을 얻기 위해 컬러영상을 취득하는 드론의 촬영고도는 150~250 m로 설정하였고 다중분광영상의 경우 150 m로 설정하였다. 촬영단계에서 획득자

Table 1. Specification of Drones attached sensors

Drone	Color imaging		Multi spectral		Hyper spectral
	Phantom 4 Pro	Mavic 2 Pro	Disco	Bluegrass	M200
Brand					
Size (cm)	28.8×28.8×17.8	35×28×11	11.5×58×12	50×44×12	88.7x88x37.8
Operation Time	30 min	31 min	45 min	25 min	38 min
Max. Distance	7 km	8 km	2 km	2 km	7 km
Sensor	Multi spectral		Hyper sepctral		Terrestrial
	SEQUOIA		microHSI 410 Shark		FieldSpec3 VNIR
Brand					
Spectrum Range	Green: 50 nm +/- 40nm Red: 660 nm +/- 40 nm Red-edge: 735 nm +/- 10 nm NIR: 790 nm +/- 40 nm		400 nm~1,000 nm		350 nm~1,025 nm
Resolution			2 nm		3 nm
Weight			0.68 kg		5.2 kg

료의 품질을 높이고 발생가능한 오측값을 최소화하기 위해 송신탑, 기지국, 고압선 등과 같은 조종신호 전파 교란 시설로부터 멀리 이격하여 촬영하였고 자기장 지수가 5 이상 이거나 바람이 12 m/s 이상 강하게 불 때, 파고가 0.5 m 이상으로 높을 때, GPS 위성이 7대 이하로 배열 인식되어 위치정확도가 낮을 때, 그리고 햇빛 반사로 인해 수면 아래 식생 판별이 불가능한 정오 시간대는 피하여 조사하였다. 밀물과 썰물에 의해 발생하는 부유입자의 수중혼탁 상태 반영을 최소화하기 위해 정조시기 전 20분, 정조시간대 60분, 정조시기 후 20분 동안 촬영하였으며 정사영상 생성을 위해 중중복도 80%, 횡중복도 70%로 설정하였다.

**2.3 자료처리**

드론 영상처리는 캘리브레이션, 대기보정, 지오레퍼런싱, 정사영상 제작 등의 4단계로 구성된다. 첫 번째, 캘리브레이션은 카메라의 렌즈와 빛의 값이 저장되는 감지기와의 관계를 보정하는 과정이며 두 번째, 대기보정 과정은 빛의 양이 변하더라도 지표면의 반사율이 항상 일정한 값을 유지할 수 있게 하기 위한 과정으로 컬러영상보다 다중분광 영상에 중요하며, 다중분광 영상의 대기보정을 위해 영상취득 시 센서 제조사에서 판매하는 반사율을 알고 있는 캘리브레이션용 표준 백색 판(BaSO<sub>4</sub>)을 드론의 이착륙 지점에 미리 설치하고 이착륙 시기에 임의로 영상을 취득하였다. 그 후 대기보정 소프트웨어를 이용, 처리한 후 대기보정과 관련된 보정수치값을 영상처리 소프트웨어에 입력하였다. 세 번째, 영상 지오레퍼런싱 과정은 영상의 외부표정요소를 정밀하게 결정하는 과정이다. 드론의 항공촬영 당시 기하학적 조건으로 재현하는 요소로서 위도, 경도, 높이와 같은 위치값과 Roll, Pitch, Yaw 등의 자세정보를 말한다. 네 번째 과정은 영상 지오레퍼런싱 과정으로 결정된 외부표정요소를 이용하여 사진의 모든 상에 대하여 시차를 계산하여 매

칭되는 픽셀들을 3차원 점들로 추출하는 과정인 포인트 클라우드가 수행되며, 이 과정에서 추출된 포인트는 절대 좌표값을 가지게 된다. 정사영상을 제작하기 위해 생성된 포인트 클라우드를 이용하여 점들로부터 삼각망을 구성하고 수치표면모델(DSM; Digital Surface Model)을 제작하게 되며 DSM은 격자형태이며 각 격자는 X, Y, Z 좌표를 가진다.

RGB 컬러영상과 다중분광의 영상처리를 위해 각각 PhotoScan Pro와 Pix4D Mapper Pro 소프트웨어를 사용하였는데, 본 소프트웨어들은 컴퓨터 비전 분야에서 개발된 SIFT(Scale-Invariant Feature Transform), Dense image matching 알고리즘을 도입하여 근거리에서 찍은 영상들을 처리하여 공간정보를 생성하는데 탁월한 기능을 가지고 있다.

초분광 영상처리를 위해 취득 영상의 기하보정 및 대기보정 기능이 포함된 Harris사의 ENVI 소프트웨어를 사용하였다 (Table 2).

초분광영상에서 얻을 수 있는 가장 중요한 정보는 각 화소에 해당하는 지표물의 연속적인 분광반사값(Spectral reflectance)이라 할 수 있다. 현재 초분광영상은 대부분 센서에서 감지된 복사량(radiance)으로 표현된 자료가 제공되는데 정확한 분광반사 특성을 알기 위해서는 우선적으로 복사량값에서 대기에 의한 영향을 제거하여 순수한 표면반사율로 변환하는 대기효과 보정이 필요하다. 이를 위해 ITT사의 ENVI 소프트웨어를 이용하였다. 지구상의 모든 지표물은 고유한 반사특성을 가지고 있기 때문에 이러한 반사강도를 이용하여 물체의 구분이 가능하다. 그러므로 서로 다른 물질로 구성된 질피와 모자반, 녹조 등을 구별하기 위해서는 현장조사와 지상분광계조사가 필수적이다. 구축된 분광라이브러리는 추후 영상 내 픽셀의 분광반사곡선과 분광라이브러리의 일치도를 평가하는 표적탐지에 활용된다(Fig. 6). 현재까지 개발된 표적탐지알고리즘은 크게 분광반사율(또는 화소값)을 이용하는 알고리즘과 분광반사율과 형태

**Table 2.** Processing software of drone images

Item	Software
Plan to Survey	Pix4D Capture
RGB/Multi spectral image processing	PhotoScan Pro/Pix4D Mapper Pro
Hyper spectral image processing	Harris ENVI
Image classification	Esri ArcGIS 10.5.x, Global mapper



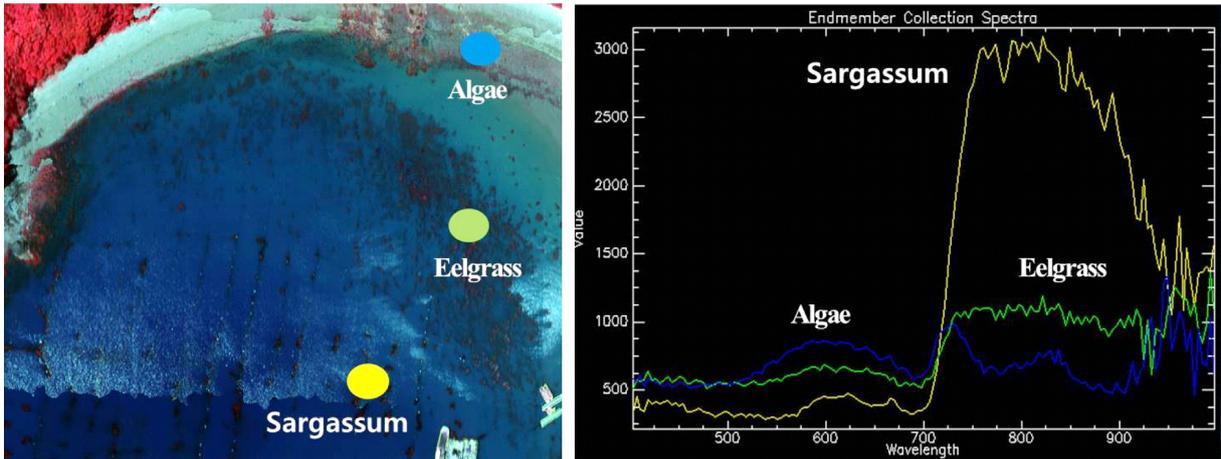


Fig. 6. Spectral reflection curves of eelgrass, algae, and sargassum.

학적 특성을 동시에 이용하는 알고리즘으로 나눌 수 있다. 분광반사율을 이용하는 알고리즘은 다시 분광학적 거리 측정법 (Spectral Distance Measure), 2차 통계값 기반 측정법(2nd Order Statistics Based Measure or Stochastic Measure), 분광 특징 정합법 (Spectral Feature Matching)으로 나눌 수 있다. 분광학적 거리 측정법은 가장 기초적인 표적탐지 알고리즘으로 이미 알려진 기준 분광반사곡선(Reference Spectrum)과 각 화소의 분광반사율(또는 화소값)의 차를 이용한다. 대표적인 알고리즘으로는 유클리드 거리(Euclidean Distance: ED), 분광각 측정법(Spectral Angle Mapper: SAM) 등이 있다.

취득된 잘피의 분광반사곡선값들은 분광각측정법 알고리즘

을 통해 잘피분류에 이용되었다. 이 알고리즘은 샘플자료를 동일한  $n$ 차원과 초분광영상 화소 측정 벡터 사이의 각도를 비교하여 가장 작은 각도를 만들어내는 샘플자료 클래스에 이 값을 할당하여 분류하는 방식이다.

드론영상촬영 결과물의 정확도를 높이고 잘피의 서식 중, 서식밀도, 생체량 등에 관한 정보를 얻기 위해 전남 해남군 화원면 마산리에서부터 여수시 화정면 낭도리까지 30개 정점에 대한 현장조사(지상분광조사, 잘피서식상태조사)를 실시하였으며 정점과 위치는 Fig. 7과 같다.

지상분광 데이터 측정은 수위가 가장 낮고 잘피의 식별이 용이므로 가능할 때 실시하였으며 드론 촬영이 진행되는 도중 조

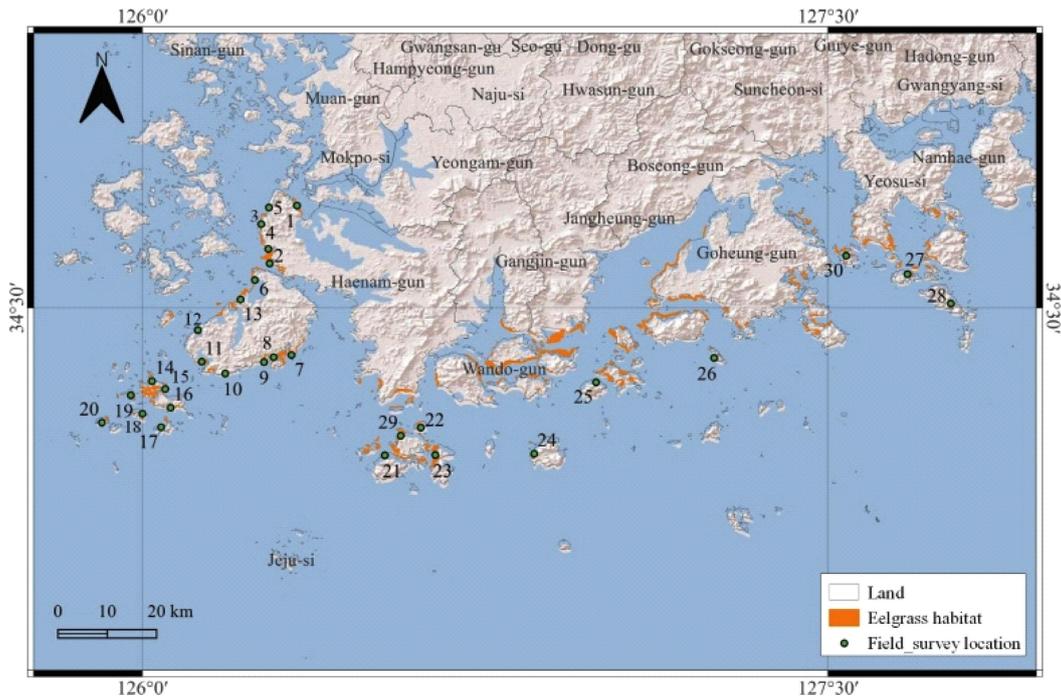


Fig. 7. Location map of field survey in the study area.



Fig. 8. Terrestrial sensor survey for ground truth.

사 지점의 촬영이 끝나면 측정하였다(Fig. 8). 대상물의 측정에 앞서 기준이 되는 표준백색판( $BaSO_4$ )을 각 파장대별로 관측하고 이 값을 1로 정하고 대상물의 상대적 반사율을 주어진 계산식을 이용하여 계산하였다. 표준백색판은 태양광을 100% 반사하는 재질인 황산바륨으로 이루어진 판이며, 이는 태양광의 입사량(irradiance)을 측정하기 위해 사용된다. 이러한 지상분광조사 시 측정데이터에 대한 정보를 개략적으로 알 수 있도록 지상분광조사서를 작성하였다.

다운로드 받은 ASCII 형태의 수심파일들은 하나의 \*.txt파일로 결합 후 가독성을 향상시키기 위해 Hypack 소프트웨어를 이용하여 불규칙삼각망(TIN: Triangulated Irregular Network) 방법으로 보간을 실시하였다. TIN 방법은 지표면의 높이 값을 격자형으로 구성하지 않고 실측된 위치와 값으로 표현하는데 이는 대용량 데이터의 운용 효율을 높일 수 있으며 원시자료의 형태에 가장 가까운 구조로서, 실제 지형을 가장 정확하게 표현할 수 있다(Kim[2014]). 섬과 해안선 및 육지 부분을 제거하기 위해 QGIS 소프트웨어를 이용하여 Masking 작업을 실시하였고

1 m 간격의 등수심선(Contour)을 추출하였다(Fig. 9).

Fledermaus 소프트웨어의 Dmagic 기능을 활용하여 DTM (Digital Terrain Model)을 구성한 후 3차원으로 가시화하여 연구해역 전체의 수심, 경사, 단면을 보다 더 면밀하게 관찰하였다(Fig. 10).

### 3. 결 과

#### 3.1 해저지형 특성

총 18,243,207점의 수심자료값이 분석에 사용되었으며 수심값의 범위는 -2.37~80.11 m이고 평균수심값은 27.47 m, 표준편차값은 16.57 m로 확인되었다(Fig. 11). 연구해역의 동측(여수시, 고흥군)은 완만한 경사와 비교적 평탄한 반면, 서측(해남군, 진도군, 완도군)은 기복이 있는 복잡한 지형특성을 보인다. 경사도 분석결과를 살펴보면, 최소 0°에서 9.89° 이내이며 평균값은 0.43°, 표준편차값은 0.62°로 확인되었다(Fig. 12).

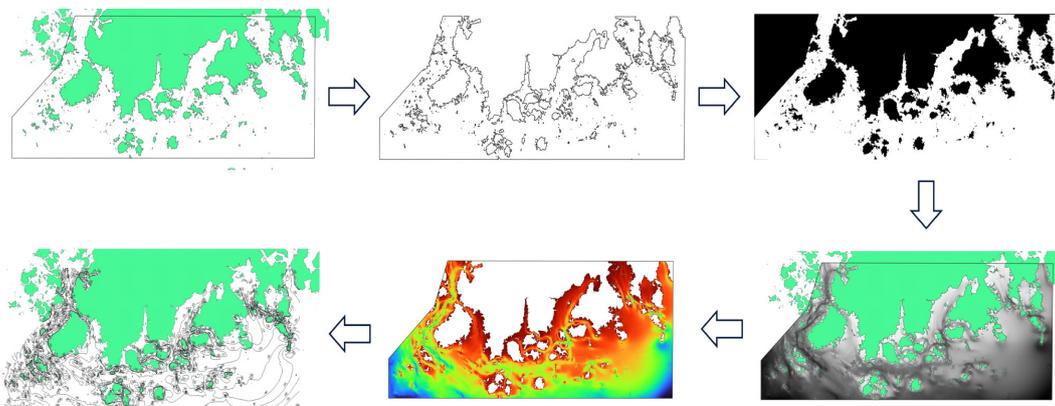


Fig. 9. Work-flow of DEM image processing.

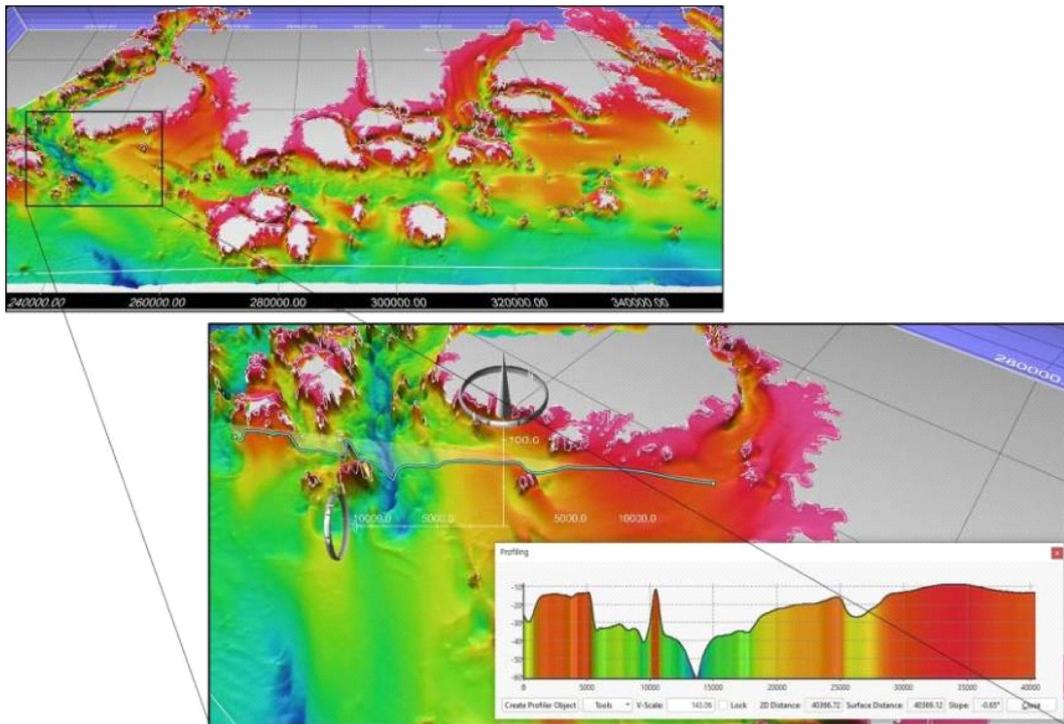


Fig. 10. 3D processing of study area with Fledermaus software.

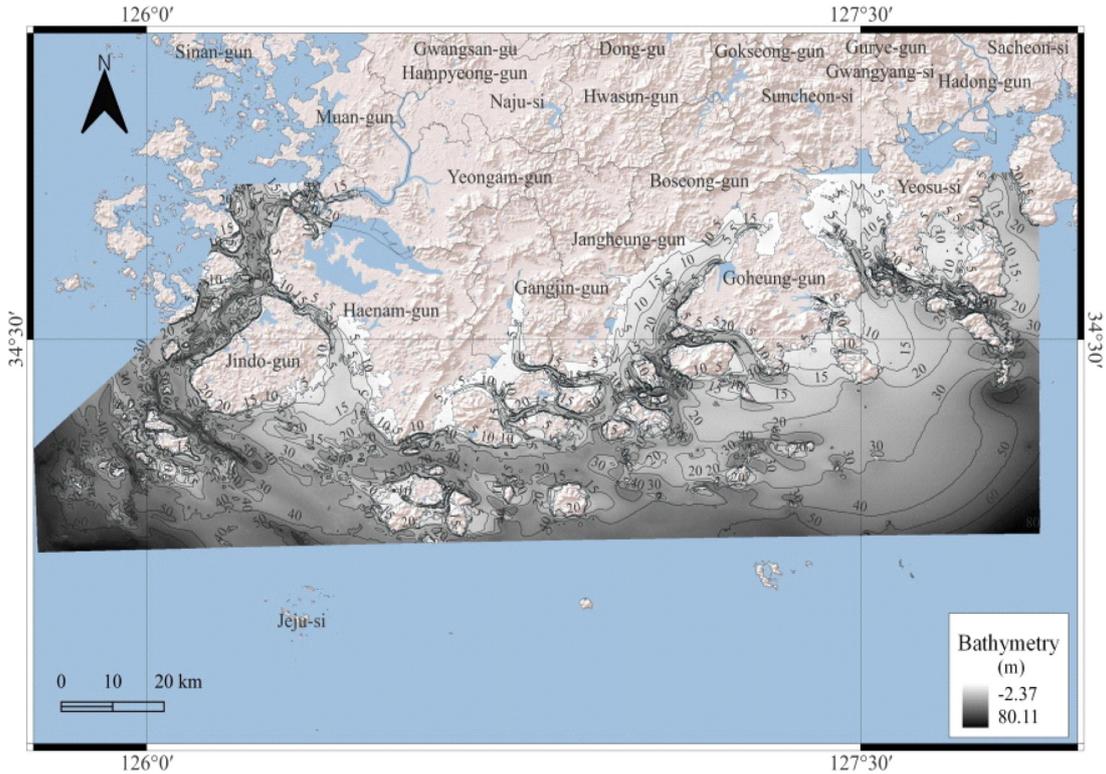


Fig. 11. Bathymetric chart of study area

3.2 해저지형 분류

지리정보 분석 소프트웨어인 ArcGIS(Ver.10.6)에 Toolbox로 탑재된 BTM 프로그램을 활용하여 수심자료 결과에서 파생

된 5가지 지형 특성값(경사도, Broad scale BPI, Broad scale BPI-Std, Fine scale BPI, Fine scale BPI-Std)을 산출하였고 이를 이용하여 7가지 해저지형(Tidal flat, Nearshore plain, Steep slope,

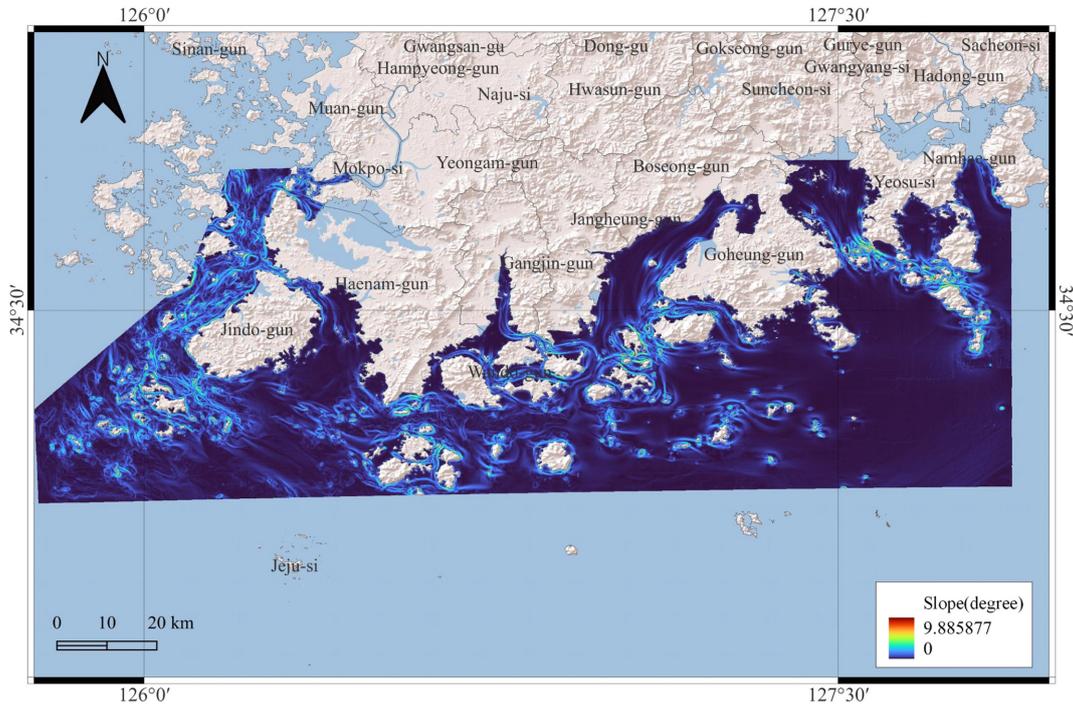


Fig. 12. Slope chart of study area.

Table 3. Classification of submarine topography in the study area

Types	Description	Area (km <sup>2</sup> )	Ratio (%)
Tidal flat	Occur at a intertidal zones and tidal flats, with a water depth of less than 1m from the land and a slope of less than 1°.	148.19	1.67
Nearshore plain	Occur at water depth range is 0~7 m, and the slope is within 4°. More than 98% of the eelgrass habitats are identified.	883.35	9.96
Steep slope	Occur at water depth range is 7~30 m, and the slope range 1°~8°. Identified in the sea channel topography between the island and the island and the land.	734.64	8.29
Depression	Occur at slope of less than 1° and corresponds to a recessed topography compared to the surrounding topography.	327.39	3.69
Gentle slope	Occur at gentle slope with water depth range is 7~80 m, and the slope of less than 4°.	6024.97	67.95
Submarine ridge	Occur at water depth range is 30~70 m and the slope of less than 3°. It appears in the form of a ridge over the surrounding flat seafloor.	8.49	0.10
Flat with trough	Occur at the form of a valley between an island and an island, between an island and a land, or between a land and a land.	739.24	8.34

Depression, Gentle slope, Submarine ridge, Flat with trough)을 최종적으로 분류하고 각 유형에 대한 특징을 기술하고 BTM 결과 도면을 출력하였다(Table 3, Fig. 13).

### 3.3 질피 서식지 분포 특성

드론 원격탐사 결과, 질피 서식지 분포 면적은 28.1087 km<sup>2</sup>, 확인된 개소수는 총 249개소(해남군 19, 진도군 60, 완도군 121, 고흥군 20, 여수시 29)로 확인되었고 완도군에서 가장 많은 서식지가 분포하는 것으로 나타났다. 대부분의 질피 서식지는 해안선에서 가까운 육지방향으로 움푹 들어간 만(灣)과 포(浦) 지형에서 나타나는데 만(Bay)은 해안선이 육지 쪽으로 굽어 있

고, 바다가 육지 쪽으로 파고 들어와 있는 지형이 해안의 단순한 굴곡을 넘어 입구의 폭에 비하여 현저하게 육지 쪽으로 들어와 둘러싸인 수역을 말하며, 포(Creek)는 수역에 있는 비교적 좁은 후미(後尾)로 조수가 형성되어 있고 내륙으로 들어가 있는 작고 얇은 만을 말한다(KHOA[2018]).

Fig. 7의 현장조사(30개 정점)에서 각 지역별 출현 종을 확인한 결과, 모든 정점에서 거머리말(*Zostera marina*)이 출현하였으나 일부 정점(05, 14, 20)에서는 애기거머리말(*Zostera japonica*)과 거머리말(*Zostera marina*)이 혼생하여 출현하였고, 25번 정점에서는 수거머리말(*Zostera caulescens*)과 거머리말(*Zostera marina*)이 혼생하여 출현하였다(Fig. 14). 분포 형태는 단절된

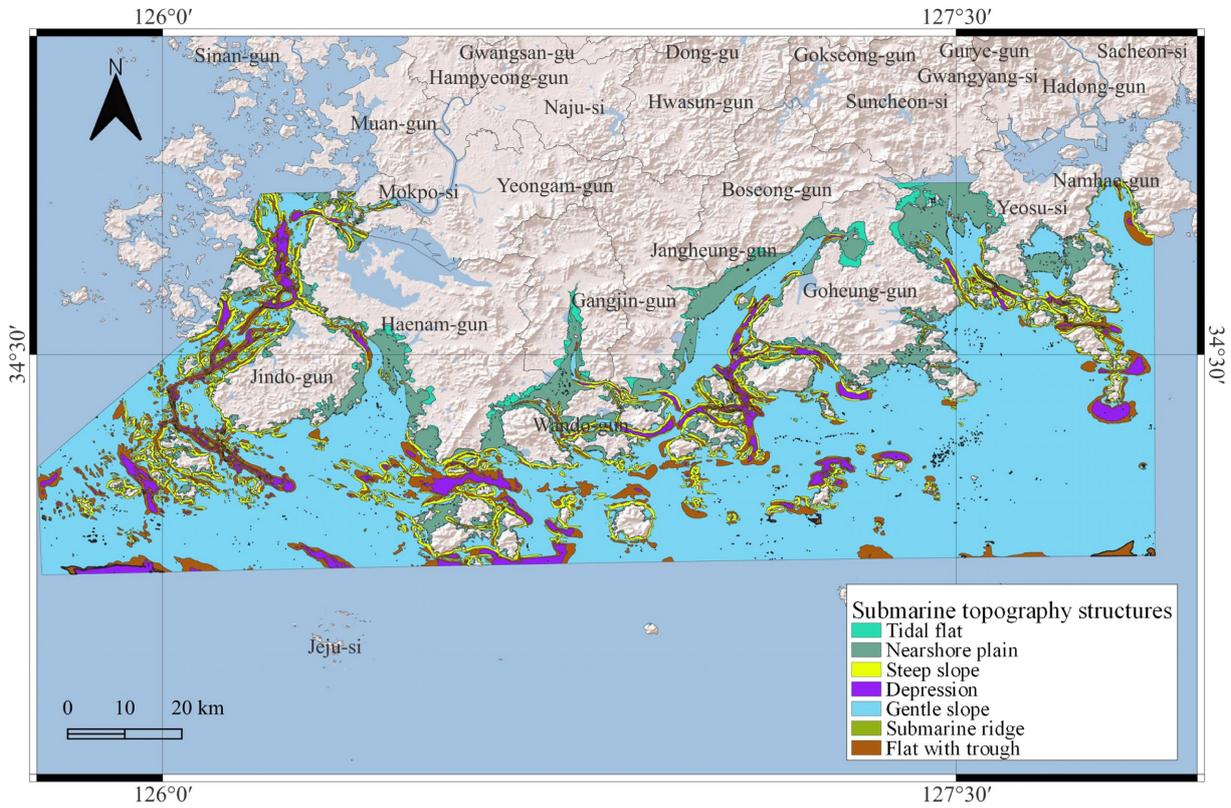


Fig. 13. Map showing 7 types of submarine topography in the study area.



Fig. 14. Appeared species of eelgrass in the study area.

소규모 군락형태(02, 22, 25, 26)를 제외하고 나머지 정점에서는 모두 연속되어 밀식된 군락형태가 주를 이루었다.

수심 구간별 잘피 서식지의 분포 현황을 분석하기 위해 연구해역 전체 수심범위에 대해 잘피 서식지가 나타나는 수심 구간을 중첩한 결과, 2~3 m 구간에서 잘피 면적 12,016,630 m<sup>2</sup>로서 42.75%의 가장 높은 비율을 나타내었다(Fig. 15). 경사도에 따른 잘피 서식지의 분포 현황을 분석하기 위해 연구해역 전체 경사도 구간에 대해 잘피 서식지가 나타나는 경사 구간을 중첩 후 경사도에 따른 잘피면적과 분포비율을 추출한 결과, 0~1° 사이에서 86.53%로 가장 높게 분포하였으며 0~4°까지는 99.9% 가량 분포하였다. 최대경사도는 6.76°, 평균경사도는 0.51°, 중앙

값은 0.26°, 표준편차는 0.64°로 나타났다(Fig. 16, Table 4).

#### 4. 토 의

잘피는 광합성에 필요한 수중의 광량에 의존하는데, 수심이 증가함에 따라 부유입자와 플랑크톤이 증가하게 되면서 수중 광량 또한 급격히 감소하며(Widemann and Bannister[1986]; Gallegos *et al.*[1990]), 수중광량의 감소에 따라 잘피의 성장 또한 감소되며, 광합성에 필요한 충분한 빛의 양을 흡수하기 위해 엽록소의 함량을 증가시키기도 한다(Lee and Dunton[1997]; Ruiz and Romero[2001]; Bostrom *et al.*[2004]). 거머리말의 경

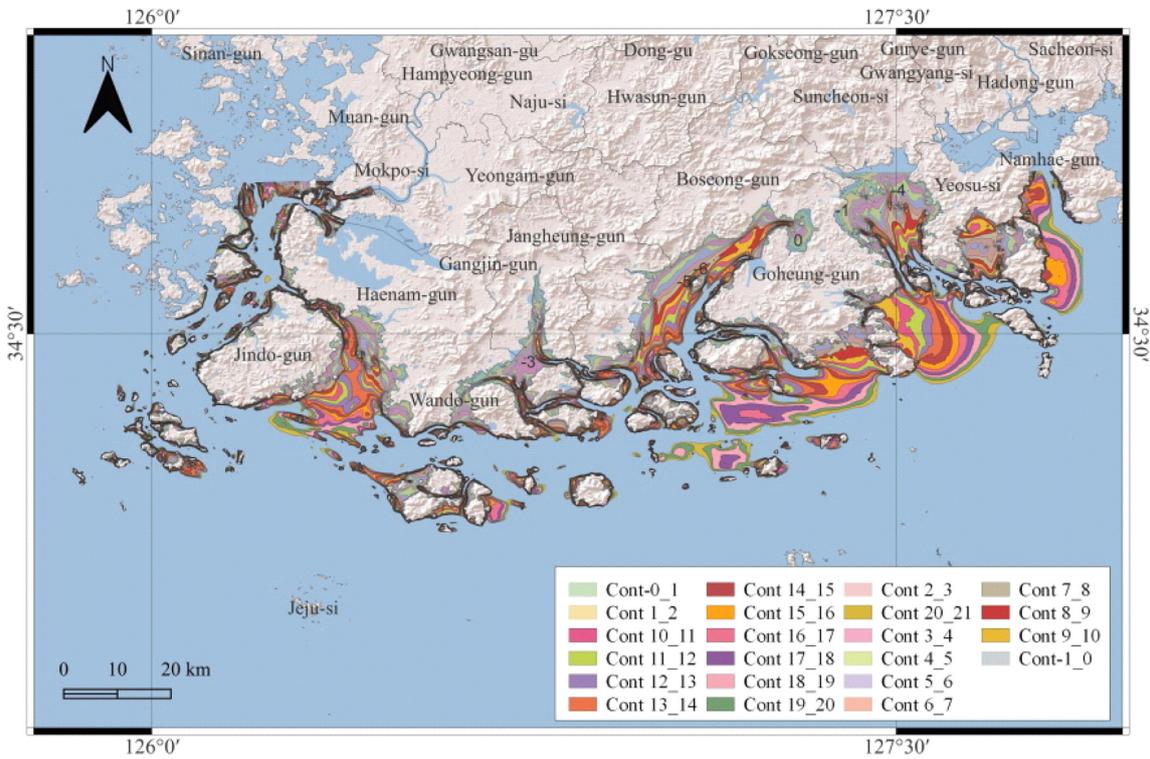


Fig. 15. Distribution map by contour section.

Table 4. Area and ratio of eelgrass by slope section(m)

Slope (°)		Eelgrass area (m <sup>2</sup> )	Ratio of eelgrass area (%)
min.	max.		
0	1	24,322,000	86.53
1	2	2,664,100	9.48
2	3	882,900	3.14
3	4	207,400	0.74
4	5	21,700	0.08
5	6	8,800	0.03
6°	more	1,800	0.01
Total		28,108,700	100

우 서식환경에 따른 차이는 있으나 표층광의 약 20%를 요구하는 것으로 알려져 있다(Lee *et al.*[2007]). 반대로 투명도가 높은 수심대에서는 갈피 서식지 분포가 가능함을 유추할 수 있는데, 이러한 기 연구들을 종합해볼 때, 갈피 서식지의 분포 특성은 수심과 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있으며, 이는 Lee *et al.*[2002]에 의해 남해안 진도군 죽림리에서 수행되었던 기존 연구 결과자료와 거의 일치할 뿐만 아니라 표층광이 투과되는 더 깊은 수심대와 더 높은 경사구간에서도 갈피 서식지가 확인됨을 이번 연구결과를 통해 확인할 수 있었다.

본 연구결과의 활용성에 대한 신뢰도를 확보하기 위해 전남 고흥군 석정리 연안 갈피 서식지에 test site를 설정한 후 2개의 서로 다른 수심자료셋(정밀음향측심기로 획득한 1 m 격자수심, 본 연구에 사용된 150 m 격자수심)을 전체 연구해역 결과자료와 동시에 비교·분석 하였다. 그 결과, 대부분의 갈피 서식지

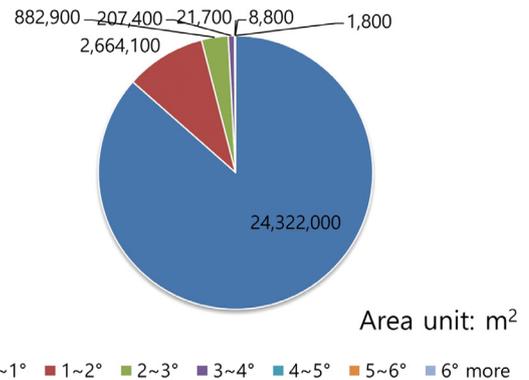


Fig. 16. Comparison to the area of the eelgrass according to the slope.

Table 5. Area and ratio of eelgrass by water depth section(m) from test site(MBES)

Water Depth (m)		Eelgrass Area (m <sup>2</sup> )	Ratio of Eelgrass area (%)
min.	max.		
0	-1	373	0.04
1	0	535	0.05
2	1	340,046	32.27
3	2	810,313	67.58
4	3	678	0.06
5	4	-	-
6	5	-	-
7	6	-	-

가 수심 1~3 m 범위 사이에서 분포함을 확인할 수 있었는데 이는 본 연구에서 도출된 결과와 잘 일치하며, 향후 타 해역에 분포하는 갈피 서식지의 공간적 분포 특성을 연구함에 있어 활용

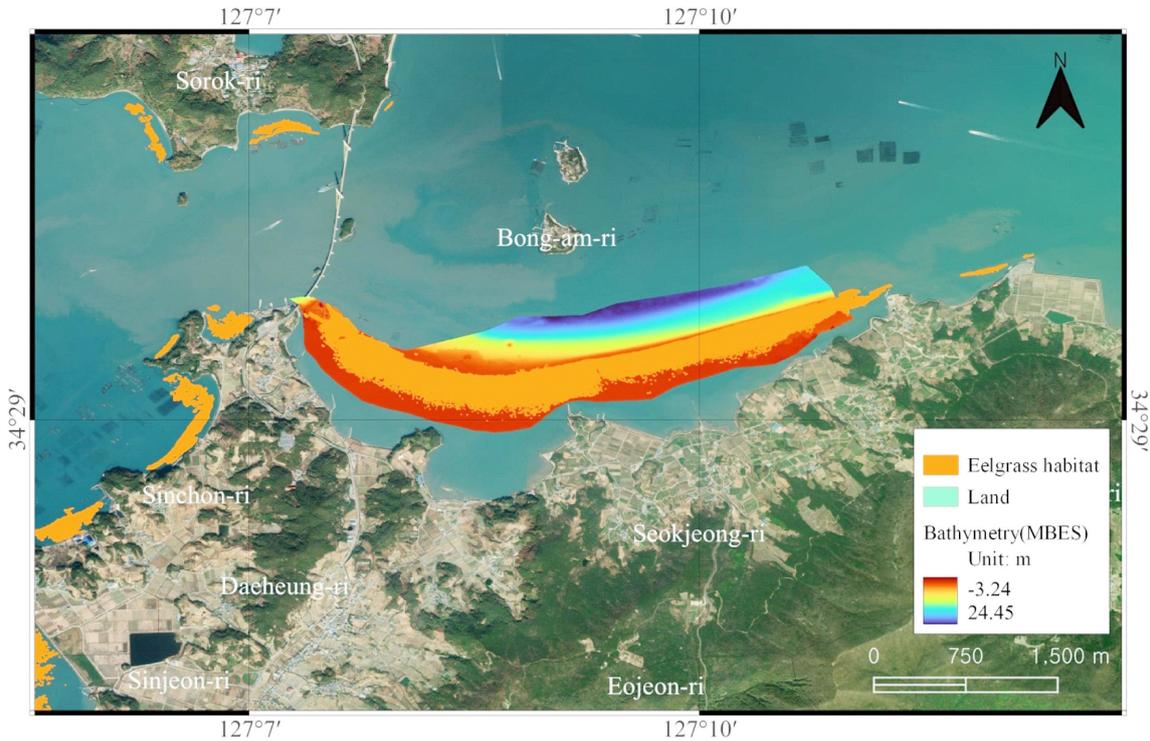


Fig. 17. Verification in the area where MBES (Multi Beam Echo-Sounder) data.

성이 높을 것으로 판단된다(Table 5, Fig. 17, Fig. 18).

본 연구에서는 지리정보소프트웨어인 ArcGIS에 탑재된 BTM tool을 이용하여 연구해역을 7개의 해저지형(조석평원: Tidal flat, 연안평지: Nearshore plain, 급경사면: Steep slope, 함몰

지형: Depression, 완경사면: Gentle slope, 해저능선: Submarine ridge, 해저골: Flat with trough)으로 분류하였다. 그 결과, 잘피 서식지는 조석평원(Tidal flat)과 연안평지(Nearshore plain)에서 대부분 분포하였는데, 연안평지가 넓게 분포할수록, 그리고 인

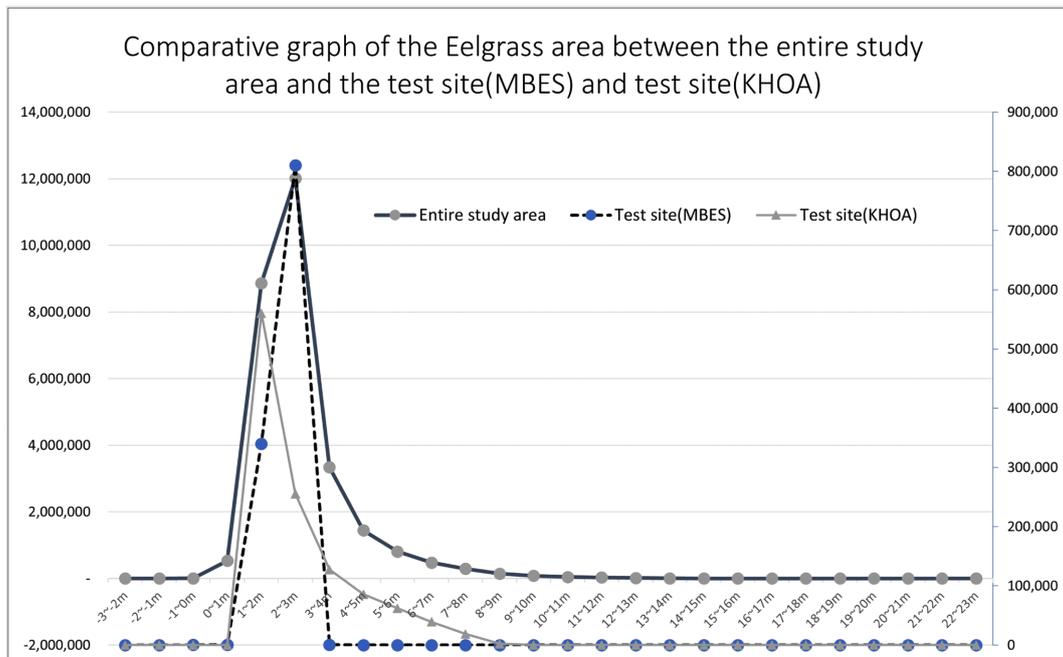


Fig. 18. Comparison of study data and verification data in the water depth range where the habitat of eelgrass is identified (Left axis's values means eelgrass area based on entire study area, right axis's values means from test site).

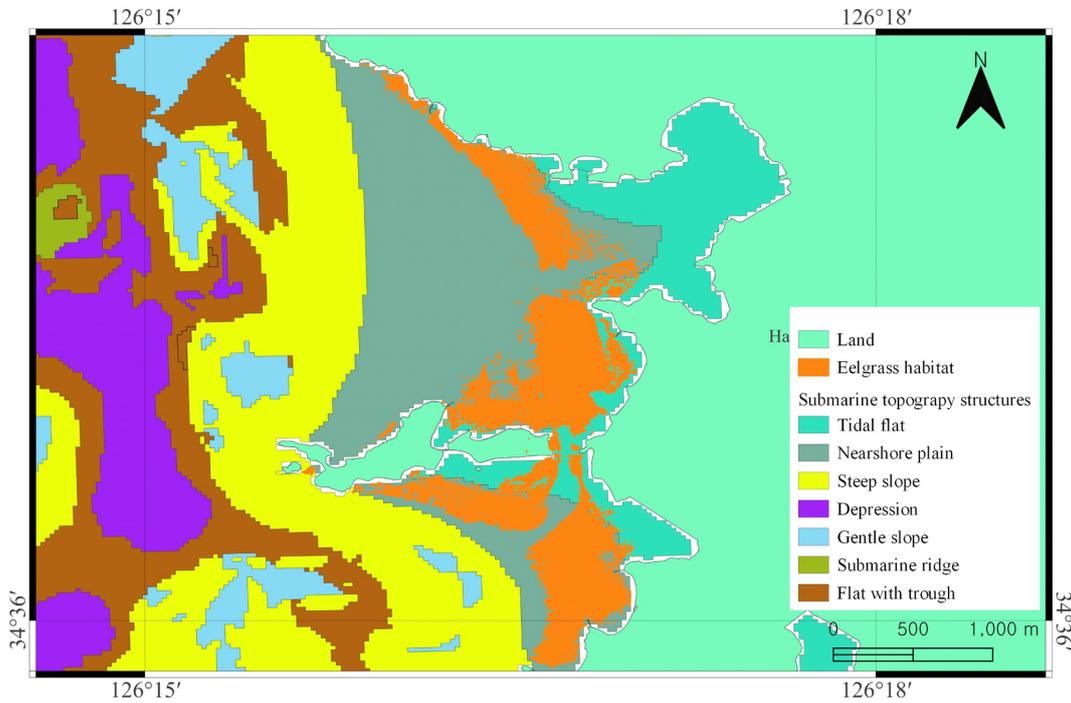


Fig. 19. Map showing eelgrass habitat distribution within wide Nearshore plain connected with Steep slope in Haenam county.

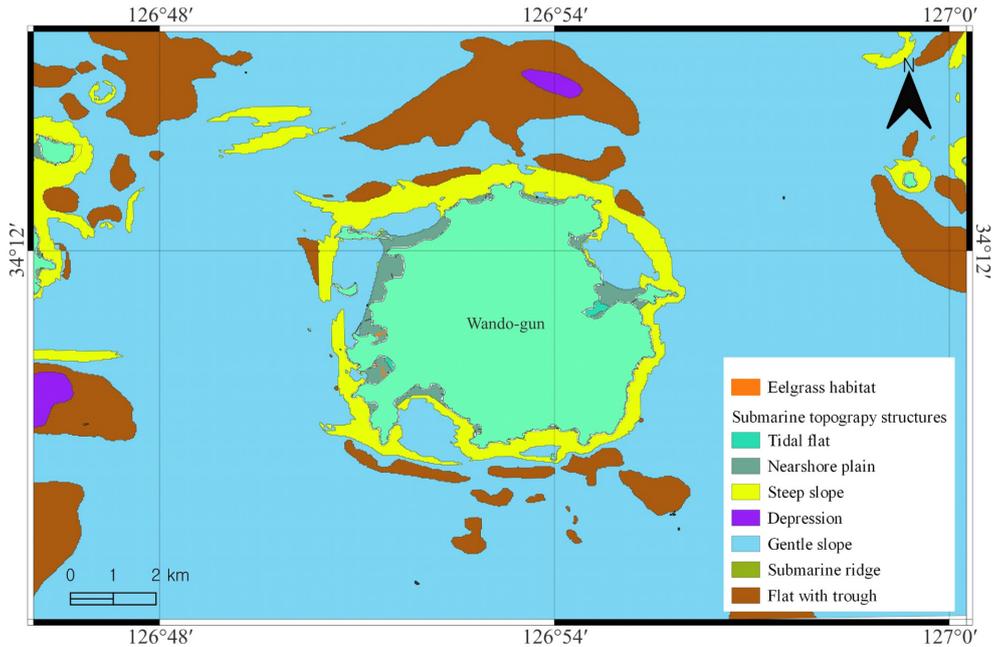


Fig. 20. Map showing no eelgrass habitat zone with undeveloped Nearshore plain in spite of connection with Steep slope in Wando.

접하여 연결되는 지형이 급경사면(Steep slope)이고 수로지형일수록 높은 갈피서식지 분포 특성을 보였다(Fig. 19, Fig. 21). 반면, 연안평지가 좁게 형성된 지형이면서 급경사면과 이어지는 경우, 그리고 연안평지가 넓게 분포하더라도 급경사면이 아닌 완경사면과 이어지는 경우에는 갈피 서식지가 분포하지 않거나 드물게 나타났다(Fig. 20). 이러한 이유는 급경사면이 수로

지형과 연속하여 분포함으로써 해수의 순환이 원활한 곳에 인접해 있기 때문으로 판단된다. 이는 폐쇄성 만이나 조수의 흐름이 정체된 수역에서는 오염물질의 부하량이 높은 반면, 급경사-수로 지형은 상대적으로 유속이 빨라 오염물질들이 오랫동안 체류하지 않고 갈피의 생장에 필요한 영양염류 등을 효과적으로 운반해 줄 수 있다는 사실과 일치한다(Lee and Dunton[2000]; Kim *et*

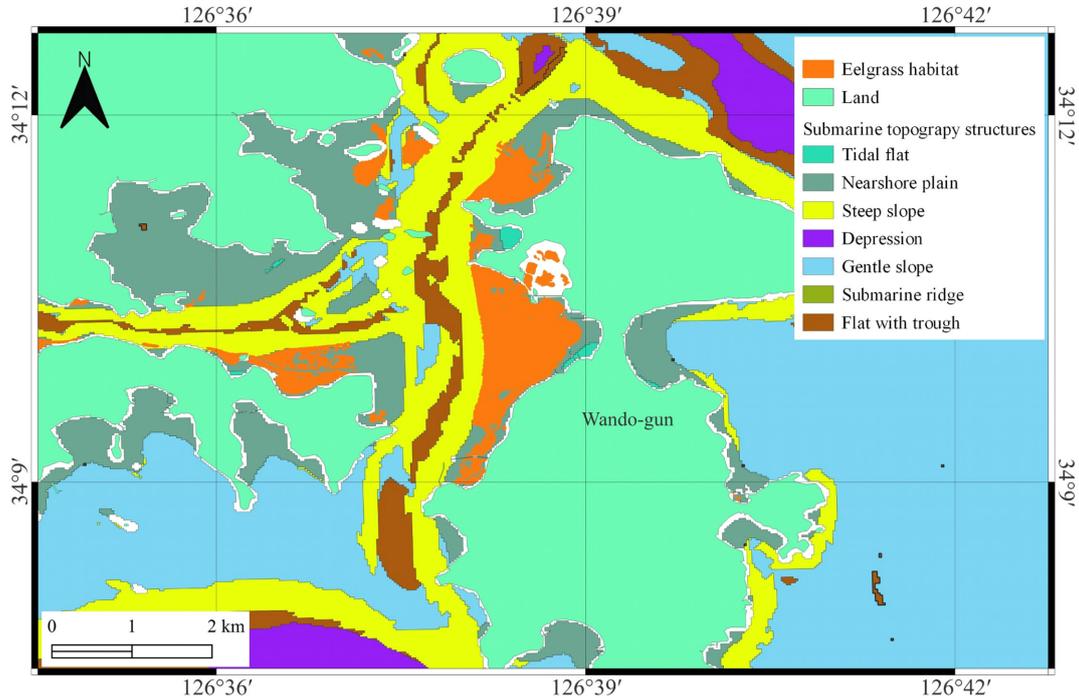


Fig. 21. Map showing eelgrass habitat distribution difference between wide Nearshore plain and narrow Nearshore plain at the middle site of Wando Soando.

al.[2008]).

따라서, 급경사-수로부의 주변유속이 상대적으로 강하더라도 인접한 연안평지가 완만한 경사로 넓게 분포한다면 잘피의 생장에 유리한 해양환경이 형성될 것으로 판단된다. 연구 해역에 대한 드론 원격탐사 결과, 거머리말, 수거머리말, 애기거머리말이 분포하는 것으로 확인되었으며 거머리말은 전체해역에 대해 광범위하게 분포하는 것으로 확인되었다. 하지만 2015년 잠수조사(MOF[2015])에서 확인되었던 새우말(*Phyllospadix iwatensis*)과 해호말(*Halophila nipponica*)은 확인할 수 없었는데, 이는 드론을 이용한 원격탐사 방법이 암반과 식생의 분류는 가능한 반면, 암반과 같은 경성기질에 부착하여 함께 존재하는 식생의 종류를 분류하는 것에는 한계가 있기 때문으로 판단된다.

## 5. 결 론

잘피 서식지가 확인된 수심대는 조간대에서부터 20 m까지 분포하였는데 주로 0~7 m 구간에서 대부분의 잘피가 분포하는 것으로 확인되었고, 경사도에 따른 잘피 서식지의 분포 특성을 확인한 결과, 0~1° 사이에 대부분의 잘피가 분포하였으며 잘피 서식지의 생육이 확인되는 최대경사도는 6.76°로 나타났다.

GIS기법에 의해 연구지역을 7개의 해저지형(조석평원: Tidal flat, 연안평지: Nearshore plain, 급경사면: Steep slope, 함몰지형: Depression, 완경사면: Gentle slope, 해저능선: Submarine ridge, 해저골: Flat with trough)으로 분류하고 잘피 서식지와 중

첩 분석한 결과, 잘피 서식지는 조석평원(Tidal flat)과 연안평지(Nearshore plain)에서 대부분 분포하였는데, 연안평지가 넓게 분포할수록, 그리고 인접하여 연결되는 지형이 급경사면(Steep slope)이고 수로지형 일수록 높은 잘피서식지 분포 특성을 보였다. 반면, 연안평지가 좁게 형성된 지형이면서 급경사면과 이어지는 경우, 그리고 연안평지가 넓게 분포하더라도 급경사면이 아닌 완경사면과 이어지는 경우에는 잘피 서식지가 분포하지 않거나 드물게 나타났다. 이러한 이유는 급경사면이 수로지형과 연속하여 분포함으로써 해수의 순환이 원활한 곳에 인접해 있기 때문으로 판단된다.

Costanza et al.[1997]는 1 ha당 해양의 총 가치는 \$577 ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>로 추산하였고 잘피 생태계의 가치는 \$19,004 ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>로 추정한다. 또한, 잘피 자생지의 경제적 가치를 상업 및 휴양시설, 자연재해예방 등을 고려하여 산출하였을 때 1에이커당 연간 \$9×10<sup>3</sup>의 경제적 효과가 있는 것으로 평가되었다(Texas Parks and Wildlife Department[1999]). 따라서, 본 연구를 통해 산출된 연구 해역 잘피 서식지의 면적인 28.1087 km<sup>2</sup>는 약 6,945.8에이커에 해당하는 면적이며, 이에 대한 경제적 가치를 1\$ 당 1,300 원 환율기준으로 계산했을 때 연간 약 813~2,528억원의 경제적 가치가 있는 것으로 추정된다. 또한 Kim[2009]에 의해 계산된 단위면적(m<sup>2</sup>)당 잘피의 탄소고정량인 230 g을 본 연구 결과 확인된 잘피 서식면적인 28.1087 km<sup>2</sup>에 대한 탄소고정량으로 환산하면 일년에 약 6,464 ton의 탄소를 고정할 수 있을 것으로 추정된다.

## 후 기

본 연구는 한국수산자원공단의 바다숲조성사업 일환으로 수행되었습니다. 본 결과물은 한국연구재단 중점연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2018-R1A6A1A-03024314).

## References

- [1] Ahn, S.J., 2021, Global Undersea Geomorphic Classification from GEBCO\_2020 Grid Data, Ph.D. dissertation, University of Ewha womans.
- [2] Baek, S.G., Seo, Y.K., Jung J.H., Lee, Y.Y., Lee, E.I., Byun, D. S. and Lee, H.Y., 2022, Regional Topographic Characteristics of Sand Ridge in Korean Coastal Waters on the Analysis of Multibeam Echo Sounder Data. The Sea Journal of the Korean Society of Oceanography, 27(1), 33-47.
- [3] Bertram, C., Quaas, M., Reusch, T.B.H., Vafeidis, A.T., Wolff, C. and Rickels, W., 2021, The blue carbon wealth of nations. Nat. Clim. Chang. 11, 704-709.
- [4] Bostrom, C., Roos, C. and Ronnberg, O., 2004, Shoot morphology and production dynamics of eelgrass in the northern Baltic Sea. Aquat. Bot., 79, 145-161.
- [5] Brown, C.J., Smith, A.J., Lawton, P. and Anderson, J.T., 2011, Benthic habitat mapping: a review of progress towards improved understanding of the spatial ecology on the using acoustic techniques. Estuarine, Coastal and Shelf Science 92: 502-520.
- [6] Chang, J.H. and S.S. Chun, 2001, Formation and evolution of the paleo-seomjin river incised-valley system, southern coast of Korea: 1. Sequence stratigraphy of late Quaternary sediments in Yeosu Strait. J. Korean Soc, Oceanogr., 6, 142-151.
- [7] Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. and van der Belt, M., 1997, The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature 387, 253-260.
- [8] Duarte, C.M. and Cebrian, J., 1996, The fate of marine autotrophic production. Limnol. Oceanogr. 41(8): 1758-1766.
- [9] Jeong, J.B., Lim, M.S., Seo, Y.K., and Woo, K.S., 2022, An uneven rhodolith distribution controlled by sea-bottom conditions near Jeju Island, Korea. Marine Geology, 448, 106799.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] KHOA (Korea Hydrographic and Oceanographic Agency), 2018, 2022.
- [13] Kim, K.Y., Kim, J.H., and Kim, K.Y., 2008, Using a digital echosounder to estimate eelgrass (*Zostera marina L.*) cover and biomass in Kwangyang Bay. Algae 23(1), 83-90.
- [14] Kim, T.H., 2009, Growth Dynamics and Carbon Incorporation of the Seagrass, *Zostera marina L.* in Jindong Bay and Gamak Bay on the Southern Coast of Korea, M.S degree, University of Busan.
- [14] Kim, Y.H., 2014, An Empirical Study on the Performance Prediction Model of Data Density Reduction Process Using the Standard Deviation of Bathymetry Data, Ph.D. dissertation, University of Soongsil.
- [15] Lee, K.S. and Dunton, K.H., 1997, Effects of in situ light reduction on maintenance, growth and partitioning of carbon resources in *Thalassia testudinum* Banks ex Konig. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 210, 53-73.
- [16] Lee, K.S. and Dunton, K.H., 2000, Effects of nitrogen enrichment on biomass allocation, growth and leaf morphology of the seagrass *Thalassia testudinum*. Mar Ecol Prog Ser 196, 39-48.
- [17] Lee, S.Y., Seo, Y.B., Kim, S.T. and Choi, C.I., 2002, Ecological and Morphological Characteristics of *Zostera caulescens* Miki (*Zosteraceae*) in Korea, J. Ocean and Polar Res., 24(4), 345-357.
- [18] 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.
- [19] Lee, K.S., Park, S.R. and Kim, Y.K., 2007, Effects of irradiance, temperature, and nutrients on growth dynamics of seagrasses: A review. J. Exp. Mar. Ecol. 217, 253-277.
- [20] Lundblad, E.R., Wright, D.J., Miller, J., Larkin, E.M., Rinehart, R., Naar, D.F., Donahue, B.T., Anderson, S.M., Battista, T., 2006, A benthic terrain classification scheme for American Samoa. Mar. Geod. 29, 89-111.
- [21] Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), 2015, "Study of Natural Seagrass Habitat on the Coast of Korea", 482.
- [22] Short, F.T. and Neckles, H.A., 1999, The effects of global climate change on seagrasses. Aquatic Botany, 63(3-4), 169-196.
- [23] Ruiz, J.M. and J. Romero, 2001, Effects of in situ experimental shading on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 227, 107-120.
- [24] Texas Parks and Wildlife Department. 1999, Seagrass conservation plan for Texas: Austin, Tex., Texas Parks and Wildlife Resource Protection Division, with Texas General Land Office, Texas Natural Resources Conservation Commission, Galveston Bay Estuary Program, and Coastal Bend Bays and Estuary Program, 79.
- [25] Widemann, K.R. and Bannister, T.T., 1986, Absorption and scattering coefficients in Irondequoit Bay. Limnol. Oceanogr. 31, 567-583.

- [26] Wright, D.J., Pendleton, M., Boulware, J., Walbridge, S., Gerlt, B., Eslinger, D., Sampson, D. and Huntley, E., 2012, ArcGIS Benthic Terrain Modeler (BTM). Oregon State University, Davey Jones Locker Seafloor Mapping/Marine GIS Laboratory, Corvallis (Retrieved June 4, 2008).
- [27] Yoo, S.C., Mun, J.Y., Park, W., Seo, G.H., Gwon, S.J. and Heo, R., 2019, Development of Bathymetric Data for Ocean Numer-

ical Model Using Sea-Floor Topography Data: BADA Ver.1, J. Korean Soc. Coastal and Ocean Engineers 31(3), 146-157.

---

Received 10 January 2024

Revised 30 January 2024

Accepted 15 February 2024