SFO

Original Research Article

드론 원격탐사와 수심자료를 활용한 잘피 서식지 분포 특성: 해남군을 중심으로 Distribution of Seagrass Habitat Using Drone and Bathymetric Data: Application to Haenam Peninsula

김종규¹, 여정윤^{2,*} Jongkyu Kim¹, Jungyoon Yeo^{2,*}

¹전남대학교 조선해양공학과

²한국수산자원공단 자원사업본부 국제협력실 ¹Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea ²Resources Business Department, Korea Fisheries Resources Agency, Busan 46041, Republic of Korea

* Correspondence to Jungyoon Yeo E-mail: uni823@fira.or.kr

Received August 14, 2023 Revised August 22, 2023 Accepted August 24, 2023

서 론

Abstract : In June 2020, remote sensing survey using drones was conducted to identify the geomorphologic distribution characteristics of seagrass habitats distributed in Haenam peninsula. It was confirmed that the seagrass habitat was distributed in Hwawon-myeon, Munnae-myeon, and Songji-myeon in an area of 1.59059 km². As a result of analyzing the bathymetric contour line and slope using grided sounding data to understand the geomorphologic distribution characteristics (sea-floor topography, bathymetry, slope, and sediment type) of the seagrass habitat, it was confirmed that zS (silty sand) and sZ (sandy silt) were dominant within -15.5 m of maximum depth and 4.66 degree. These results will be useful data for selecting suitable sites for seagrass transplantation in the future.

Keywords : Haenam, Seagrass, Drones, QGIS, Sediment type

연안 또는 연안 습지에 분포하는 식물과 퇴적물을 포함하 는 생태계가 격리 및 저장하고 있는 탄소를 블루카본(blue carbon)이라고 한다. 여기서 연안은 강이나 호수, 바다를 따라 잇 닿아 있는 육지를 말하며, 식물과 퇴적물에는 어패류, 잘피, 염 생식물 등 바닷가에 서식하는 해양생물과 맹그로브숲, 염습지 와 잘피숲 등이 포함된다. 잘피는 대기로부터 이산화탄소 흡수 가 가능하며, 그들의 높은 생산성과 낮은 섭식률로 인하여 많 은 양의 무기탄소 제거가 가능한 것으로 알려져 있다(Duarte and Cebrian, 1996; Short and Neckles, 1999). 현재까지 9종 의 잘피가 우리나라에 분포하는데 그중에서 거머리말(Zostera marina)이 가장 널리 서식하는 종으로 확인되며 Zostera속 5 종, Phyllospadix속 2종, 하구종인 Ruppia martima와 아열대성 잘피인 Halophila nipponica의 9종이 분포하고 있는 것으로 확 인되었다(Lee and Lee, 2003; Kim et al., 2009). 우리나라 연안 의 잘피 자생지 추정 면적은 55~70 km²이며 세계 연안에 분포 하는 잘피의 면적은 164,000 km²로 추정되지만(Lee and Lee, 2003) 현재까지 우리 연안의 잘피 자생지 면적이 연구된 경우

는 많지 않다(Kang et al., 2006; Kim et al., 2008). 잘피는 연 안 및 하구에서 중요한 생태적 역할을 수행하므로 연안관리 측 면에서도 잘피 자생지의 정확한 분포 면적에 대한 조사는 필수 적이다(Komatsu et al., 2003).

국내의 원격탐사에 기반한 해초류, 잘피 서식지 분포 특성에 대한 연구 결과를 살펴보면, 수중음향측심기와 Kompsat-2 인 공위성 영상을 활용하여 전남 장흥군 회진면에 위치한 해초지 군락 분포 면적이 조사되었다(Kim *et al.*, 2012). 최근에는 전 남 완도해역과 고흥해역의 잘피 서식지에 대한 원격탐사를 이 용한 공간적 분포 특성 연구를 통해 기존 잠수조사 결과 대비 각각 4.5배, 4.3배가량 넓은 잘피 서식지가 확인되었고 그 면적 은 10.709 km², 3.649 km²에 달한다(Yeo *et al.*, 2022, 2023).

따라서 본 연구는 해남해역을 대상으로 실시한 무인항공기 (컬러, 다중분광) 조사 자료 결과와 국립해양조사원에서 제공하 는 공간자료인 자연과학 수심자료를 활용하여 경사도, 표층퇴 적물 유형, 수심·해저지형 특성을 비교 분석하여 해남군에 분 포하는 잘피 서식지의 지형학적 분포 특성을 파악함에 그 목적 이 있다.

재료 및 방법

1. 연구 해역

해남군은 한반도의 최남단 서남쪽 모서리에 자리 잡은 군역 으로 동쪽, 동북쪽만이 강진, 영암과 연결된 육지이고 3면이 바 다이다. 육지는 크게 해남반도, 화원반도, 산이반도로 구성되는 데 해남군의 화원반도는 전라남도 서남쪽 해남반도와 무안반도 사이에서 황해로 돌출한 반도로써 북쪽은 목포, 서쪽은 신안군 의 많은 섬들, 남쪽은 울돌목을 사이에 두고 진도와 접한다. 특



Fig. 1. Map showing study areas with colored water depth.

alle I. Surveyed UAV models and refrestrat Sens	Surveyed UAV models and Terrestrial Se	enso	c))			(((;	s	s	s	5	s	ŝ	1	b	b	1	ŝ	1	1	1	1	1	1	1	1	b	Ŀ	b	b	b	b	b	b	b	b	b	ı	ı	ı	ı	ı	ı	ı	1	1	1	1	1	ı	ı	1	1	1	1	1	ı	ı	1	ı	ı	ı	ı	ı	1	ı	ı	ı	ı	ı	1	1	ı	ı	1	1	1	1	1	1	1	1	1	r	r	I	1	•	2	6	,	5		5		l	1	a	;	i	•	1	1	s		e	1	1	r	1	<u>.</u>	e	è	ſ	1		ł	d	1	n	r	u	a	г		s	Ŀ		e	ŀ	0	0	ŀ	r	n	1	ŗ	T	1	v	١	١
---	--	------	---	---	---	--	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	---	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---	----------	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---	---	---	---	--	---	---	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

히, 화원반도를 중심으로 침강해안인 리아스식 형태의 긴 해안 선을 갖고 있으며 총 65개의 도서(유인 7, 무인 58)들로 구성 되고, 섬들의 면적은 3.844 km²이며 해안선의 총 길이는 302.4 km이다(Haenam County Office, 2023).

2. 연구 방법

본 연구에서는 광학드론과 다중분광센서가 탑재된 드론을 함께 사용하여 10 cm 이상의 고해상도 RGB 컬러영상을 취득 하였으며 조사에 사용된 장비는 Table 1과 같다.

드론의 촬영설계에는 Pix4D Capture 소프트웨어가 사용되었으며, 컬러영상의 처리에는 PhotoScan 소프트웨어, 다중분광영 상 처리에는 Pix4D Mapper Pro 소프트웨어가 사용되었다. 드론 영상처리는 캘리브레이션, 대기보정, 지오레퍼런싱, 정사영 상 제작 등의 4단계로 구성된다(Fig. 2).

제작된 정사영상에서 잘피 분류 및 규모를 산정하기 위해 서는 영상강조, 훈련샘플 취득, 잘피탐지 감독분류, 결과검 수, 면적산출과 같은 과정을 거친다(Fig. 3). 한편 잘피 서식 지 탐지를 위한 감독분류는 강조된 영상과 취득된 훈련샘플 을 활용하여 영상에서 탐지하는 과정이며 감독분류 알고리 즘에는 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 Inter-

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

ference-Minimized Filter), MTMF (Mixture-Tuned Matched Filtering) 등이 있다. 그중에서 최적의 성능을 보여주는 MF필 터 알고리즘을 활용하였고 MF필터 알고리즘을 통해 추출된 잘 피영역은 벡터화하여 Shape 파일로 변환 후 최종 면적을 산출 하였다.

대상해역의 해저지형을 파악하기 위해 국립해양조사원의 바 다누리 해양정보서비스(Ocean Data in Grid Framework)에서 제공하는 격자형 수심정보(격자간격: 150×150m, 평균해면하) 를 사용하였으며 격자별 수심자료는 하나의 파일로 취합 후 Z (수심값)을 음수화하였다.

경사도 분석과 등수심선 산출을 위해 수심값을 Hypack 소프



Fig. 2. Drone image processing stage.

트웨어에서 10 m 격자수심으로 다시 sorting하였고 QGIS 소프 트웨어에서 TIN (Triangle Irregular Network based) 보간법을 통해 DEM 래스터파일을 생성하였다. 그 후 Terrain profile 플 러그인을 이용하여 단면도를 작성하였다(Fig. 4).

퇴적물 분포 특성을 파악하기 위해 바다누리 해양정보서 비스에 수로도식으로 표시된 퇴적물 유형 정보들을 지리참 조(Georeferenced) 방식을 통해 좌표 도식화하였으며 객체화 (Shp파일 생성)를 거친 후 Fork & ward 형식으로 퇴적물 유형 을 도면에 나타내었다. 이렇게 제작된 등수심선, 해저지형분포 도, 경사도, 퇴적물분포 정보들은 벡터형식의 shape 파일로 저 장하여 QGIS에서 분석·처리하였다.



Fig. 3. Seagrass classification and range calculation steps.



Fig. 4. Processing of bathymetric data.



Fig. 5. Seagrass distribution map.

결 과

12¢°0' 12¢°18' 12¢°36' 12¢°34' Muan-gun Nokpo-si Yeongam-gun Jangheung-gun Gangjin-gun Jindo-gun 0 0 20 km

Fig. 6. Bathymetry distribution with contour lines.

3. 잘피 서식지의 지형학적 특성 (수심, 경사도, 퇴적물)

잘피 서식지가 확인된 곳의 수심분포를 살펴보면 화원면의 경우 최소 0 m, 최대 - 10.0 m, 문내면의 경우 최소 - 0.5 m, 최 대 - 9.5 m, 송지면의 경우 최소 - 0.8 m, 최대 - 15.5 m까지 분포한다(Fig. 6).

경사도 분석 결과, 예락리 임하도에서는 최소 0.03°, 최대 1.07°, 통호리 사구미해변의 경우 최소 0.15°, 최대 4.66°의 경 사도를 보인다(Figs. 7 and 8).

화원반도와 해남반도 연안을 따라 만 형태의 지형에서 세립 한 퇴적물들이 주로 분포하며 해남군과 신안군 사이의 깊은 수 심대 수로지형에서 자갈(gravel)과 같은 조립질 퇴적물들이 확 인된다. 임하도 주변해역의 표층퇴적물 유형은 sZ (sandy silt,

1. 해저지형 및 수심

화원면과 문내면은 신안군 동측 안좌면과 장산면을 마주하 며 최대수심 약 45 m, 폭 최대 약 12 km, 최소 4.3 km의 수로지 형을 서측에 포함한다. 신안군 장산면과 해남군 문내면 사이를 남하하는 수로는 진도군 서북쪽과 북동쪽으로 크게 나뉘는데, 서북쪽은 비교적 수심이 깊고 폭이 넓은 지형이며, 북동쪽은 진 도대교 부근 수심 약 13~18 m 이내의 300 m까지 폭이 좁아지 며 조류의 세기가 강한 울돌목과 연결된다. 해남반도는 동쪽으 로 강진군, 서쪽으로 진도군, 남동쪽으로는 완도군과 접하며 최 대 수심 약 20 m 이하이다. 진도군 고군면 연안은 해남군 황산 면, 화산면 연안과 마주하는데 두 곳 사이를 통과하는 수로지형 은 비교적 완만하고 평탄하다. 해남반도의 남측인 송지면은 완 도군 흑일도와 백일도를 마주하며 최대 수심은 약 39 m 이하이 며 폭은 최대 4.5 km, 최소 0.9 km이다.

2. 잘피 분포 범위

2020년 해남 관내 드론 원격탐사를 통해 화원면(마산리, 영 호리, 구림리, 후산리, 인지리, 주광리, 화봉리, 산호리), 문내면 (무고리, 예락리, 서상리, 선두리, 학동리), 송지면(어란리, 송호 리, 통호리)에서 1.59059 km²의 잘피 분포가 확인되었는데 문 내면 예락리 임하도와 송지면 통호리 사구미해변에서 대부분 분포하였다. 2015년 다이버에 의한 잠수조사로 송지면(송호 리, 통호리)에서 확인된 0.11833 km²의 잘피 면적과 비교 시 약 13.4배 더 넓은 면적이 확인되었다(Fig. 5).



Fig. 7. Slope (degree) with distribution of seagrass on Yerak-ri.



Fig. 8. Slope (degree) with distribution of seagrass on Tongho-ri.

사질실트), Z (silt, 실트), msG (muddy sandy Gravel, 니사질역), mS (muddy sand, 니질사), sG (sandy gravel, 사질역), M (mud, 니) 순으로 확인되며 통호리 사구미 해변의 경우 zS (silty sand, 실트질사), sC (sandy clay, 사질점토), M (mud, 니), sZ (sandy silt, 사질실트), sG (sandy gravel, 사질역)의 순으로 우세하게 분포한다(Fig. 9).



Fig. 9. Map showing study area sediment distribution.

결론 및 고찰

본 연구를 통해 무인항공기를 활용한 원격탐사 방법이 광범 위한 연안지역의 잘피 서식지 분포 특성을 파악함에 있어 효 과적인 방법이 될 수 있음을 확인하였다. 이는 최근 몇 년간 인 공지능 기계학습 기술의 발달과 분류 알고리즘의 고도화에 따 른 비약적인 기술 발전에 따른 결과로 판단된다. 해남군에 분포 하는 잘피 서식지의 대부분이 만(Bay) 형태의 움푹 들어간 지 형과 15m 이내의 수심대에서 확인되었는데 이는 기존의 연구 결과와 유사하게 나타났다(Yeo et al., 2023). 표층퇴적물 분석 결과, 해남군 잘피 서식지(임하도 주변과 사구미 해변)에서 각 각 sZ (사질실트), zS (실트질사)가 우세하게 관찰되었다. 공극 률(Porosity)은 광물입자의 형태, 크기, 조성, 그리고 퇴적구조 와 다짐작용에 의한 입자의 배열(fabric)에 영향을 받는데 점토 광물의 경우 침강하면서 형성하는 특징적인 퇴적구조로 인해 일반적으로 입도가 감소할수록 공극률이 증가한다(Hamilton, 1970; Hamilton and Bachman, 1982). 또한 세립한 니질퇴적물 은 조립한 사질퇴적물에 비해 공극률과 함수율(Water content), 그리고 유기물함량(Oragnic matter content)이 상대적으로 높 으며 이는 잘피의 지하부가 뿌리내린 퇴적층이 더 세립한 입자 로 구성될수록 더 많은 공극수로 포화될 수 있음을 의미한다. 이는 퇴적물 공극수 내 영양염류의 농도가 높은 지역에 서식하 는 잘피가 높은 생산성과 생체량을 나타낸다고 보고된 기존 결 과와 일치한다(Lee and Dunton, 2000; Kim et al., 2008). 또 한 개화지에서 낙하한 잘피의 종자(seedbank)는 부드러운 니 질 퇴적물에 퇴적되기 유리하고, 유속이 빠른 곳에 주로 분포 하는 사질 퇴적물에서는 낙하한 잘피의 종자가 조류에 휩쓸려 유실되기도 쉽다(Koch, 2001; van Katwijk and Wijgergangs, 2004). 따라서 향후 잘피 서식지의 복원과 대체서식지 선정 등 을 위한 잘피 서식지 분포 특성 연구에 있어 퇴적물 조성과 지 형적 특성이 반드시 고려되어져야 할 것이다.

요 약

해남해역에 분포하는 잘피 서식지의 지형학적 분포 특성을 규명하기 위해 2020년 6월 드론을 활용한 원격탐사를 수행하 였다. 화원면, 문내면, 송지면에서 잘피 서식지가 1.59059 km² 면적으로 분포함을 확인하였다. 잘피 서식지의 지형학적 분포 특성(해저지형, 수심, 경사, 퇴적물)을 파악하기 위해 격자수심 자료를 이용하여 등수심선과 경사도를 분석한 결과, 최대 수심 약 - 15.5 m 이내, 경사도는 4.66° 이내의 zS (실트질사), sZ (사 질실트)가 우세한 곳에서 분포함을 확인하였다. 이러한 연구 결 과는 향후 잘피 이식을 위한 적지 선정 시 유용한 자료가 될 것 이다.

사 사

본 연구는 한국수산자원공단의 바다숲조성사업 일환으로 수 행되었습니다. 본 논문의 완성도를 높이기 위해 세심하게 살펴 주신 익명의 심사위원께 감사의 말씀을 전합니다.

참고 문헌

- Duarte, C.M. and J. Cebrian, 1996. The fate of marine autotrophic production. *Limnol. Oceanogr.*, 41(8), 1758-1766.
- Haenam County Office, 2023. https://www.haenam.go.kr/index.9is? contentUid=(accessed 2023.08.09.).
- Hamilton, E.L., 1970. Sound velocity and related properties of marine sediments. J. Geophys, Res., 75, 4423-4446.
- Hamilton, E.L. and R.T. Bachman, 1982. Sound velocity and related properties of marine sediments. J. Acoust. Soc. Am., 72, 1891-1904.

- 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.
- Koch, E.W., 2001. Beyond light: physical, geological, and geochemical parameters as possible submersed aquatic vegetation habitat requirements. *Estuaries* 24, 1-17.
- 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 K.H. Dunton, 2000. Effects of nitrogen enrichment on biomass allocation, growth and leaf morphology of the seagrass *Thalassia testudinum. Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 196, 39-48.
- 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., pp. 193-198.
- Short, F.T. and H.A. Neckles, 1999. The effect of global climate change on seagrasses. Aquat. Bot., 63(3-4), 169-196.
- van Katwijk, M.M. and L.J.M. Wijgergangs, 2004. Effects of locally varying exposure, sediment type and low-tide water cover on *Zostera marina* recruitment from seed. *Aquat. Bot.*, 80, 1-12.
- 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.
- Yeo, J.Y., S.H. Cho, J.Y. Lee and J.K. Kim, 2023. Geomorphologic Characteristics of Seagrass Distribution in Coastal Seas Using Remote Sensing Data and GIS. J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy, 26(1), 133-143.