

한국 남서해안 퇴적상에 따른 잘피 서식지의 분포 현황 분석

Distribution of Eelgrass Habitats According to the Sedimentary Facies of the Southwest Coast of Korea

여정윤¹, 김종규^{2,*}Jungyoon Yeo¹, Jongkyu Kim^{2,*}¹한국수산자원공단 어업선진화본부²전남대학교 조선해양공학과¹Fishery Advancement Department, Korea Fisheries Resources Agency, Busan 46041, Republic of Korea²Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea* Correspondence to Jongkyu Kim
E-mail: kimjk@chonnam.ac.kr

Received January 10, 2024

Revised January 22, 2024

Accepted January 22, 2024

Abstract : In order to know the sedimentary facies information of southwest coast of Korea, a DB of 4,026 surface sediment information was constructed based on the sedimentary information provided by KHOA (Korea Hydrography Oceanographic Agency) and the results of other researchers. Through a reclassification process using the GIS method, it was divided into six sedimentary facies distribution areas (RDA: Rock Dominated Area, GDA: Gravel Dominated Area, SDA: Sand Dominated Area, MSDA: Muddy Sand Dominated Area, SMDA: Sandy Mud Dominated Area, MDA: Mud Dominated Area). As a results of the study, the eelgrass habitat was highest at 72.70% in MDA, followed by 10.33% in GDA, followed by SMDA (6.90%), MSDA (5.52%), SDA (4.35%), and RDA (0.20%). The reason for the high distribution value of eelgrass habitats in mud dominant sediment seems to be due to the high porosity of mud sediment containing high concentrations of nutrient salts.

Keywords : Sedimentary facies, Eelgrass, KHOA, QGIS, Porosity

서론

해저의 지질 다양성은 서식지, 공간의 다양성을 반영하여 물리적인 지형의 이질성을 설명해 주며 지질 다양성 분포에 대한 지식은 해양공간계획, 자원의 지속 가능한 사용 및 보전을 위한 해양 우선순위 지역에 대한 식별을 지원하는데 사용될 수 있다(Gray *et al.*, 2013; Meelli 2014; Kaskela *et al.*, 2017; Kaskela and Kotilainen, 2017). 저서생물의 공간적 분포는 해저의 지질·형태학적 특성과 수주(Water column) 속성의 영향을 받으며, 이러한 비생물적 속성에 해당하는 공간적 자료들이 해저 서식지 지도 생성을 위한 구성요소가 된다(Brown *et al.*, 2011; Lecours *et al.*, 2016, 2017). 퇴적물과 유기체 사이의 강력한 상호작용은 이미 알려져 있으며 비생물적 지도를 사용하여 동물군의 분포 패턴 또한 예측이 가능한 것으로 알려져 있다(Kracker *et al.*, 2008; Young *et al.*, 2010).

본 연구에서는 공공데이터 포털의 잘피서식지 자료와 국립해양조사원에서 제공하는 저질도식 정보를 활용하여 퇴적상 분

포도를 작성한 후 잘피 서식지의 분포 특성을 파악함에 그 목적이 있다.

자료 및 방법

1. 연구해역

본 논문의 연구해역은 남해안의 서쪽에 위치한 해남반도로 부터 여수해만을 포함하는 대한민국 남서해안 해역으로써 진도군, 해남군, 완도군, 고흥군, 여수시 연안을 포함하며 대상면적은 약 8,866.27 km²이다(Fig. 1).

2. 연구 방법

본 연구에서는 2군데 출처를 통해 해양 표층 퇴적물 관련 자료를 수집하였다. 먼저 국립해양조사원(KHOA; Korea Hydro-

graphic and Oceanographic Agency) 바다누리 해양정보서비스 (www.khoa.go.kr)의 수로도식으로 표시된 퇴적물 유형 정보들을 QGIS 소프트웨어의 지리참조(Georeferencing) 방식을 통해 좌표틀 가진 벡터파일(Shp)로 추출하여 총 3,800점의 표층퇴적물 유형정보를 DB화하였다(Fig. 2, Table 1).

두 번째는 Jung (2017)의 논문을 참고하여 본 연구지역에 해당하는 226점의 퇴적물 분석결과를 수집하였으며, 전체적으로 4,026점의 표층퇴적물 정보를 수집 후 DB화하였으며 전체적인 자료처리 모식도는 다음과 같다(Fig. 3 and Fig. 4).

연구해역에 분포하는 잘피 서식지 공간정보는 대한민국 정

부 누리집 “공공데이터포털”(data.go.kr)에서 받은 자료를 활용하였다. 내려받은 자료는 연구해역 범위에 맞게 편집 후 사용하였다(Fig. 5).

Table 1. Total DB number of study area

Issue of data	Number of DB
KHOA	3,800
Jung (2017)	226
Total	4,026

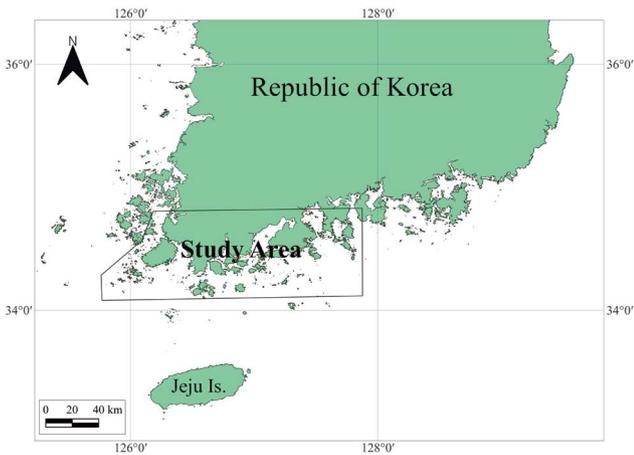


Fig. 1. Location of the study area.

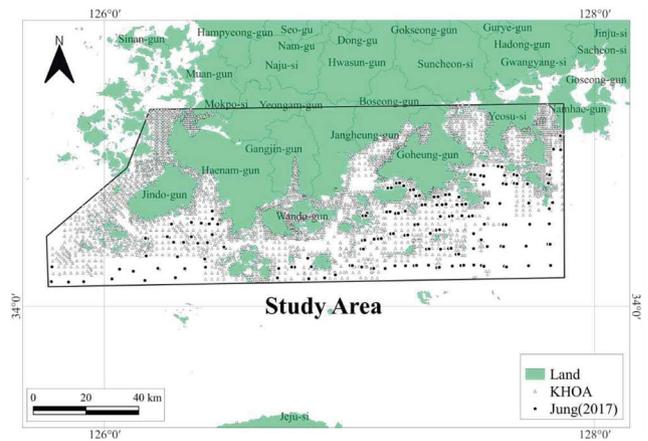


Fig. 2. Surface sediment sampling location map.

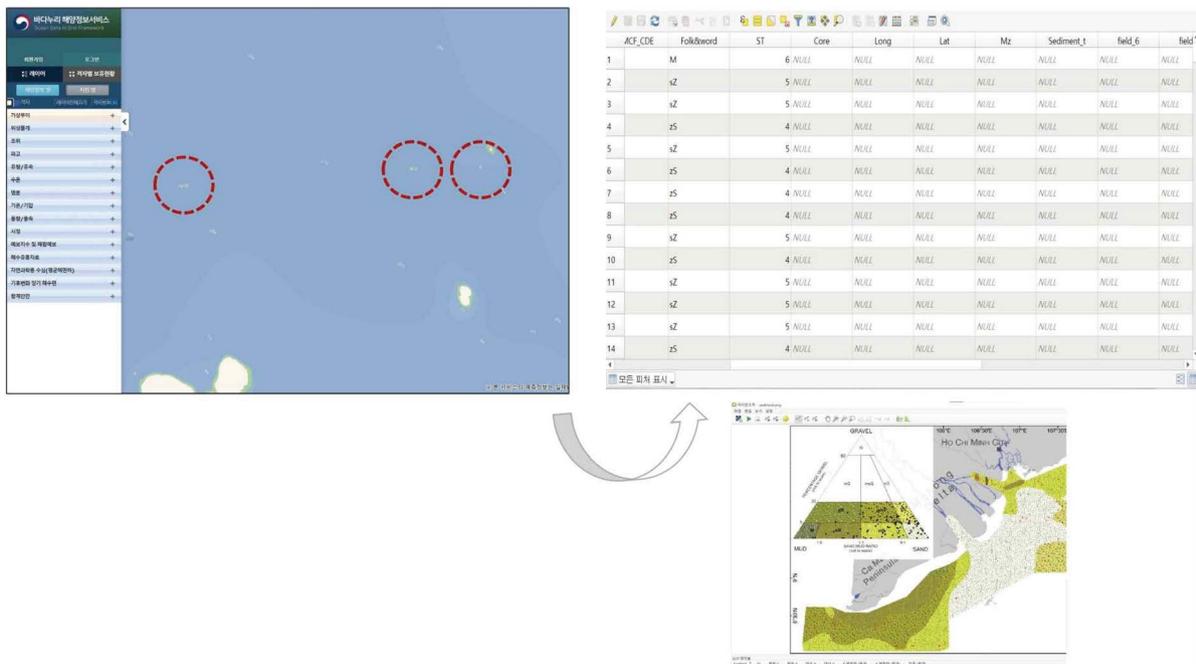


Fig. 3. Creating a attribute information through georeferencing.

3. 자료 처리

연구해역의 퇴적상 분포를 도면에 표시하기 위해 국립해양조사원의 해도도식 중 “저질도식”에 대한 자료와 Folk and Ward (1957) 방식으로 표기된 나머지 퇴적상 정보를 하나의 파일로 취합하였다.

저질도식자료는 표기상 처음에 나열되는 알파벳이 전체 저

질의 속성에서 가장 대표성을 나타내기 때문에 이를 반영하여 해당되는 대표속성을 6가지 유형에 맞게 QGIS의 필드계산기능을 활용하여 재분류하였고 Folk and Ward (1957)에 의한 퇴적상자료는 표기상 마지막에 표현되는 알파벳이 전체 저질 속성에서 대표성을 나타내기 때문에 이를 반영하여 6가지 해당 유형으로 각각 지정하였다(Fig. 6).

재분류된 퇴적상 정보들은 대표성을 나타내는 우세한 퇴적물 속성 정보에 기준하여 6가지 퇴적상 분포지역(RDA: 암반이 우세한 지역, GDA: 역질이 우세한 지역, SDA: 사질이 우세한 지역, MSDA: 니질사가 우세한 지역, SMDA: 사질니가 우세한 지역, MDA: 니질이 우세한 지역)으로 구분 표기하였다(Fig. 6).

연구해역에 대해 6가지 유형으로 구분된 퇴적상 정보들은 불규칙적으로 분포하며 빈 공간에 대한 퇴적상을 확인하기 어렵기 때문에 연구해역의 전체 수면적에 대해 동일 크기(0.5 km × 0.5 km)의 육각형 모양 격자 벡터 파일을 생성하고 생성된 격자 폴리곤에 대해 속성값을 부여하였다.

육지 및 해안선 Masking 과정을 거쳐 불필요한 육지 중첩 부분을 1차적으로 제거하였으며 QGIS (Ver.3.28.14)에서 “최근접 거리를 이용하여 속성을 결합”하는 방법을 통해 개별 격자 폴리곤의 주변에 가장 가까이 위치하는 퇴적상 정보의 속성값들이 반영될 수 있도록 하였다. 이 알고리즘은 입력 벡터 레이어를 받아 입력 레이어의 속성 테이블에 속성을 추가한 입력 레이어의 확장 버전인 새 벡터 레이어를 생성한다. 입력 레이어와 두 번째 레이어에서 각각 최근접 피쳐(feature)를 찾아 결합시켜, 두 번째 벡터 레이어에서 추가 속성 및 그 값을 가져온다.

결합된 벡터 파일은 QGIS 소프트웨어의 레이어 스타일 작업창에서 “분류값 사용”을 통해 분류한 후, 심볼과 색상 또는 패턴을 적용하여 도면상에 구분, 표시하였다(Fig. 7).

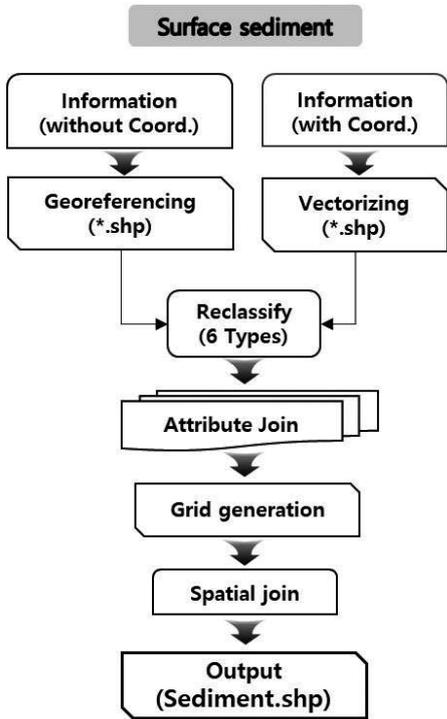


Fig. 4. Flow chart of surface sediment data.

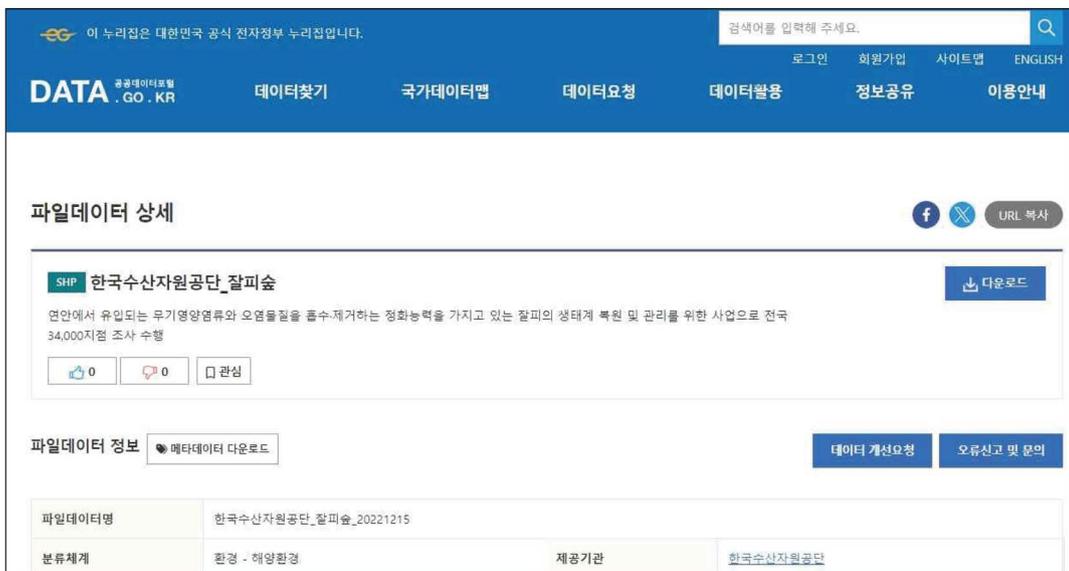


Fig. 5. Eelgrass habitat data from public data portal site.

결 과

1. 퇴적상 분포

GIS 분석방법을 이용하여 재처리된 퇴적상 정보들은 6개의 범주(RDA: Rock Dominated Area, GDA: Gravel Dominated Area, SDA: Sand Dominated Area, MSDA: Muddy Sand

Dominated Area, SMDA: Sandy Mud Dominated Area, MDA: Mud Dominated Area)로 구분하여 벡터파일로 추출하였으며 전체적인 분포를 도면에 표시하였다(Fig. 8).

퇴적상에 따른 잘피 서식지의 분포 현황을 분석하기 위해 연구해역 전체 퇴적상에 대해 잘피 서식지가 나타나는 부분을 중첩 후 퇴적상 유형에 따른 잘피면적과 분포비율을 추출한 결과 니질이 우세한 지역(MDA)이 72.70%로 가장 높았으며 그 다음으로 역질이 우세한 지역(GDA)이 10.33%로 나타났으며 SMDA (6.90%), MSDA (5.52%), SDA (4.35%), RDA (0.20%)의 순서로 분포하였다(Figs. 9 and 10, Table 2).

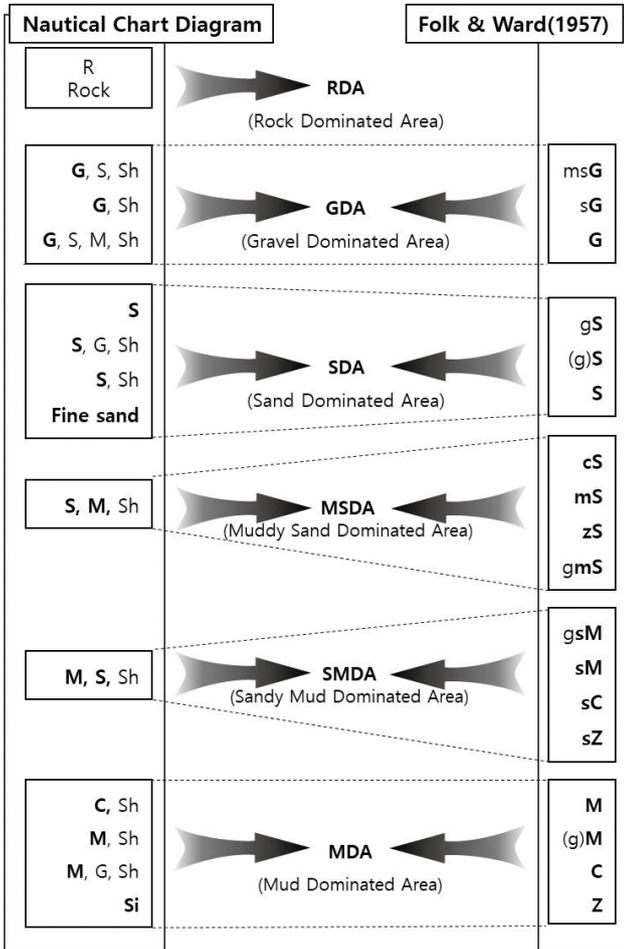


Fig. 6. Reclassification of sediment texture information.

고 찰

연구해역의 퇴적상 정보를 알기 위해 국립해양조사원에서 제공하는 퇴적상 정보와 타 연구자의 결과 자료를 바탕으로 4,026점의 퇴적상 정보 DB를 구축하였다.

GIS기법을 통해 이를 재분류함으로써 연구해역의 전체 퇴적상을 총 6가지 유형(RDA, GDA, SDA, MSDA, SMDA, MDA)으로 구분한 후 유형별 잘피 서식지 포함 면적을 산출한 결과, 세립한 니질이 우세한 지역(MDA)에서 72.70%의 높은 잘피 서식지 분포 비율을 확인하였다.

이는 Huh *et al.* (1998)에 의한, 니질함량이 높은 곳에서 잘피 서식지가 다수 분포한다는 결과와도 잘 일치한다.

“연안생태계 정화 및 수산 생산성 향상을 위한 인공 잘피서식지 조성” 연구보고서(Project Report, 2008)에 따르면 한반도 연안에 서식하는 9종의 잘피 생육지 특성은 잘피 종과 생육지 형태, 그리고 파도의 세기와 서식수심에 따라 다양한 저질에서 나타난다고 보고되었고 잘피 종자의 파종 시 사질에서 보다는 니질, 사니질에서 발아율 및 생장률이 높음을 언급하였다(Table 3).

Lee *et al.* (2001)은 남해 연안과 제주시를 포함하는 28곳의 잘피 서식지에 대한 생육지형과 퇴적물 조사를 실시하였는데, 남해 연안의 생육지 유형은 대부분 연안지역의 만과 섬 주변의

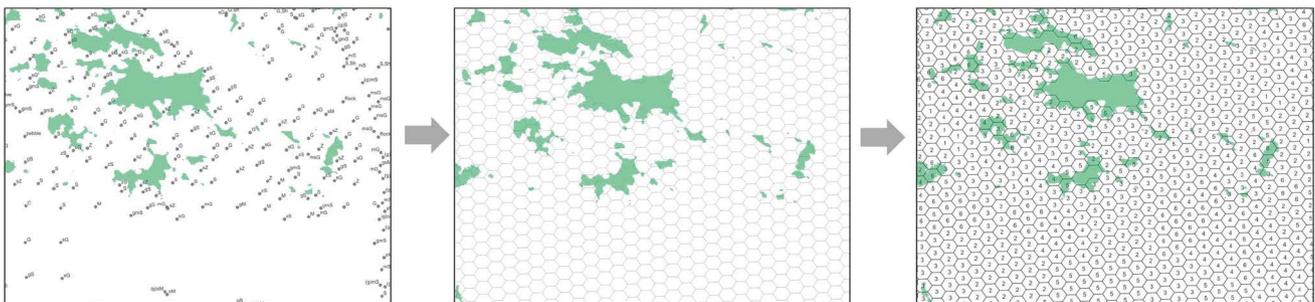


Fig. 7. Gridding process of sediment texture data.

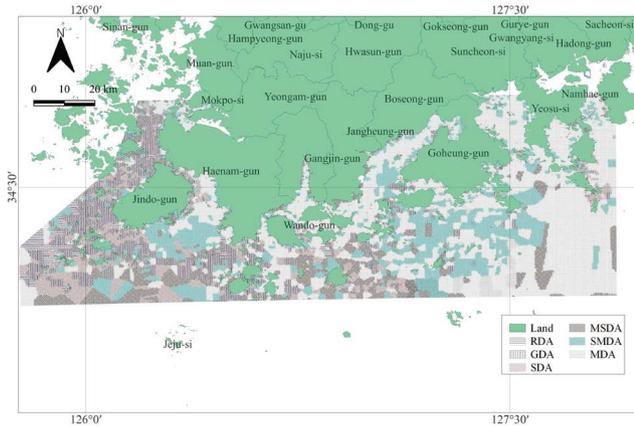


Fig. 8. Sediment texture map (RDA, GDA, SDA, MSDA, SMDA, MDA).

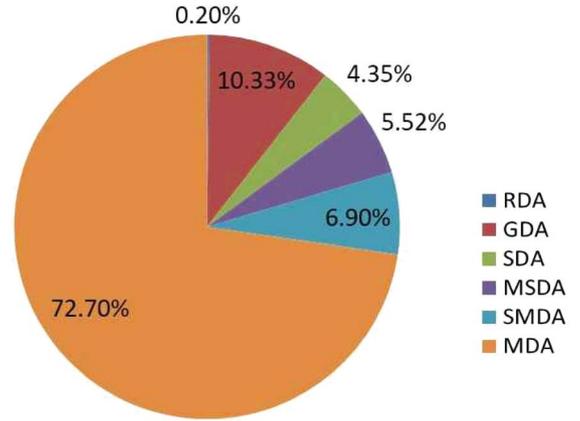


Fig. 9. Distribution of eelgrass habitats by sedimentary facies.

Table 2. Area and ratio of eelgrass by sedimentary facies section (m)

Sediment texture	Eelgrass area (m ²)	Ratio of eelgrass area (%)
RDA	55,600	0.20
GDA	2,898,600	10.33
SDA	1,222,000	4.35
MSDA	1,549,400	5.52
SMDA	1,936,900	6.90
MDA	20,407,200	72.70
Total	28,069,700	100

만에서 출현하였고 남해 연안에 분포하는 거머리말 생육지 중 21개 정점에서 다양한 사질함량 범위(49.7%~99.1%)로 사질, 니사질과 사니질의 퇴적상이 확인됨을 보고하였다.

또한 Lee *et al.* (2002)은 전남 진도군 죽림리와 경남 거제시 가배리에서 한국산 수거머리말의 형태와 생태적 특성에 대한 연구를 수행하였는데 죽림리의 경우, 저질의 퇴적상은 니사질로 구성되며 평균 입도 3.90~4.70 Ø로 나타났으며, 가배리의 경우 조립한 니사질과 사니질에서 평균입도 3.22~5.74 Ø의 분포값을 보였다. 이러한 선행 연구들을 종합 정리해 보면, 사질, 니사질, 사니질, 니질, 역질, 암반을 포함하는 모든 해저질 유형에서 잘피가 생육·분포 가능하며 이는 잘피의 분포 특성이 잘피 종, 수심과 퇴적상, 그리고 생육 지형과 같은 환경조건에 따라 다양하게 나타날 수 있음을 의미한다. 본 연구 결과, 니질이 우세한 지역에서 잘피 서식지가 대부분 확인되는 이유로는 퇴적물의 물리적 성질인 공극률(porosity)과 관련하여 생각해 볼 수 있다.

공극률은 광물입자의 형태, 크기, 조성, 그리고 퇴적구조와 다짐작용에 의한 입자의 배열(fabric)에 영향을 받는다. 점토광물의 경우 침강하면서 형성하는 특징적인 퇴적구조로 인해 일



Fig. 10. Map showing for distribution of eelgrass within different sedimentary facies zones (GDA: orange colored, MDA: light blue colored).

반적으로 입도가 감소할수록 공극률이 증가한다(Hamilton, 1970; Hamilton and Bachman, 1982).

또한 세립한 니질퇴적물은 조립한 사질퇴적물에 비해 공극률과 함수율(Water content), 그리고 유기물 함량(Organic matter content)이 상대적으로 높기 때문에 잘피의 지하부가 뿌리 내린 퇴적층이 더 세립한 입자일수록 더 많은 공극수로 포화될 수 있음을 의미한다.

이는 퇴적물 공극수 내 영양염류의 농도가 높은 지역에 서식하는 잘피가 높은 생산성과 생체량을 나타낸다고 보고된 기존 연구 결과와 잘 일치한다(Lee and Dunton, 2000).

일반적으로 니질이 우세한 연안역은 조수의 이동과 해수의 연직교환 등에 의해 투명도가 낮으며 이로 인해 해초류의 생장에 필수적인 광합성 활동이 제한받을 수 있다. 반면, 잘피의 잎 조직에 의해 해수로부터 흡수되는 질소의 양이 뿌리조직에 의해 토양으로부터 흡수되는 양과 비슷하다는 결과가 있는데

Table 3. The characteristics of eelgrass's lives on the coast of the Korea (Project Report, 2008)

Species	Sediment type	Wave strength	Water depth (m)	Topography
<i>Z. marina</i>	Mud, Sandy mud, Sand	Low	0~5	Bay, Mud flat
<i>Z. asiatica</i>	Sand	Middle	9~15	Bay, Open coast
<i>Z. caespitosa</i>	Mud, Sandy mud, Sand	Low	3~8	Bay
<i>Z. caulescens</i>	Mud, Sandy mud, Sand	Low	6~12	Bay
<i>Z. japonica</i>	Sandy mud, sand	Low	Intertidal zone	Bay
<i>P. japonicus</i>	Rock	High	0~3	Open coast
<i>P. iwatensis</i>	Rock	High	0~3	Open coast
<i>R. maritima</i>	Mud, Sandy mud, Sand	Low	0~2	Estuary
<i>H. ovalis</i>	Mud, Sandy mud, Sand	Low	5~10	Bay

(Lee and Dunton, 1999), 이러한 사실은 수중 부유입자에 의해 탁도가 높고 투명도가 낮아 광합성 효율이 낮게 예상되에도 불구하고 니질이 우세한 퇴적상에서 잘피 서식지의 분포 비율이 높게 확인된 본 연구 결과를 뒷받침한다.

퇴적상 분포 결과에 의하면, 연구 해역의 동측(여수시, 고흥군)이 서측(해남군, 완도군)과 비교하여 전반적으로 세립한 퇴적상을 보였는데 이는 육상 기인 현생퇴적물들이 한반도 연안을 따라 서해로부터 남해를 거쳐 동쪽방향으로 운반되어지면서 세립한 퇴적물들이 동쪽으로 퇴적되기 때문이다(Choi *et al.*, 1993). 따라서, 본 연구 결과인 동측이 서측보다 세립한 퇴적상 분포는 기존의 연구 결과들과 잘 일치함을 보여준다. 거머머리말의 경우 만이나 하구의 연성 저질(모래 또는 펄 등)에 넓게 분포하며, 조간대로부터 평균 수심 약 5 m 사이에 분포한다. 수거머리말 또한 모래 또는 펄의 퇴적상과 비교적 깊은 수심인 6~12 m에 서식하며, 애기거머리말은 조간대와 조하대 상부에 출현하며 간조 시 공기 중에 완전히 노출된다(FIRA, 2015).

결론

연구해역의 퇴적상 정보를 알기 위해 국립해양조사원에서 제공하는 퇴적상 정보와 타 연구자의 결과 자료를 바탕으로 4,026점의 퇴적상 정보 DB를 구축하였다.

GIS기법을 통해 이를 재분류함으로써 연구해역의 전체 퇴적상을 총 6가지 유형(RDA, GDA, SDA, MSDA, SMDA, MDA)으로 구분하였고, 유형별 잘피 서식지 포함 면적을 산출한 결과, 세립한 니질이 우세한 지역(MDA)에서 72.70%의 높은 잘피 서식지 분포 비율을 확인하였다. 이는 높은 공극률을 가지는 세립한 니질퇴적물 특성에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구 결과에 의한 퇴적상 분포와 이에 추가적인 수심분석연구가 수행된다면 잘피의 종류 또한 추정 가능할 것으로 판단되며 향후 연안 개발 및 수산자원 서식 산란장 조성 등에 필수적

인 해저 서식기반 정보제공에 효과적인 방법으로 제시될 수 있을 것으로 기대된다.

요약

한국 남서해안의 퇴적상 정보를 알기 위해 국립해양조사원에서 제공하는 표층퇴적물 정보와 타 연구자의 결과 자료를 바탕으로 4,026점의 퇴적상 정보 DB를 구축하였다. GIS기법으로 재분류 과정을 거쳐 6가지 퇴적상 분포지역(RDA: 암반이 우세한 지역, GDA: 역질이 우세한 지역, SDA: 사질이 우세한 지역, MSDA: 니질사가 우세한 지역, SMDA: 사질니가 우세한 지역, MDA: 니질이 우세한 지역)으로 구분하였다.

연구 결과, 잘피 서식지는 MDA에서 72.70%로 가장 높았으며 그 다음으로 GDA에서 10.33%로 나타났으며 SMDA (6.90%), MSDA (5.52%), SDA (4.35%), RDA (0.20%)의 순서로 분포하였다. 니질이 우세한 퇴적물에서 잘피 서식지가 높은 분포값을 보이는 이유는 고농도 영양염류를 포함하는 니질퇴적물의 높은 공극률에 기인하는 것으로 판단된다.

사사

본 논문은 한국수산자원공단의 바다숲조성사업 일환으로 수행되었음.

참고 문헌

Brown, C.J., S.J. Smith, P. Lawton and J.T. Anderson, 2011. Benthic habitat mapping: A review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92(3), 502-

- 520.
- Choi, J.Y. and Y.A. Park, 1993. Distributions and Textural Characters of the Bottom Sediments on the Continental shelves, Korea. *The Kor. Soc. of Oceanography*, 28(4), 259-271.
- FIRA, 2015. Final report: National assessment of coastal seagrass habitats in Korea.
- Folk, R.L. and W.C. Ward, 1957. Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*, 27(1), 3-26.
- Gray, M., J.E. Gordon and E.J. Brown, 2013. Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologists Association*, 124(4), 659-673.
- Hamilton, E.L., 1970. Sound velocity and related properties of marine sediments, North Pacific. *Journal of Geophysical Research*, 75(23), 4423-4446.
- Hamilton, E.L. and R.T. Bachman, 1982. Sound velocity and related properties of marine sediments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 72(6), 1891-1904.
- Huh, S.H., S.N. Kwak and K.W. Nam, 1998. Seasonal Variations of Eelgrass (*Zostera marina*) and Epiphytic Algae in Eelgrass Beds in Kwangyang Bay. *The Kor. Soc. of Fisheries and Aquatic Science*, (31)1, 56-62.
- Jung, J.H., 2017. Database construction of physical property and characteristics for surficial sediment in the South Sea, Korea. Pukyong Nat. Univ. Ph.D thesis.
- Kaskela, A.M., H. Rousi, M. Ronkainen, M. Orlova, A. Babin, G. Gogoberidze, K. Kostamo, A.T. Kotilainen, I. Neevin, D. Ryabchuk, A. Sergeev and V. Zhamoida, 2017. Linkages between benthic assemblages and physical environmental factors: The role of geodiversity in Eastern Gulf of Finland ecosystems. *Continental Shelf Research*, 142, 1-13.
- Kaskela, A.M. and A.T. Kotilainen, 2017. Seabed geodiversity in a glaciated shelf area, the Baltic Sea. *Geomorphology*, 295, 419-435.
- Kracker, L., M. Kendall and G. McFall, 2008. Benthic features as a determinant for fish biomass in Gray's Reef National Marine Sanctuary. *Marine Geodesy*, 31(4), 267-280.
- Lee, K.S. and K.H. Dunton, 1999. Inorganic nitrogen acquisition in the seagrass *Thalassia testudinum*: Development of a whole-plant nitrogen budget. *Limnology and Oceanography*, 44(5), 1204-1215.
- Lee, K.S. and K.H. Dunton, 2000. Effects of nitrogen enrichment on biomass allocation, growth, and leaf morphology of the seagrass *Thalassia testudinum*. *Marine Ecology Progress Series*, 196, 39-48.
- Lecours, V., C.J. Brown, R. Devillers, V.L. Lucieer and E.N. Edinger, 2016. Comparing selections of environmental variables for ecological studies: A focus on terrain attributes. *PLoS One*, 11(12), e0167128.
- Lecours, V., R. Devillers, V. L. Lucieer and C.J. Brown, 2017. Artefacts in marine digital terrain models: A multiscale analysis of their impact on the derivation of terrain attributes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(9), 5391-5406.
- Lee, S.Y., S.M. Lee, C.I. Choi and H.G. Jee, 2001. The distribution and habitation characteristics of *Zostera marina* L. along the southern coast of Korea. *Kor. Soc. of Environmental Biology*, 19(4), 313-320.
- Lee, S.Y., Y.B. Suh, S.T. Kim and C.I. Choi, 2002. Ecological and Morphological Characteristics of *Zostera caulescens* Miki (Zosteraceae) in Korea. *Ocean and Polar Research*, 24(4), 345-357.
- Melelli, L., 2014. Geodiversity: a new quantitative index for natural protected areas enhancement. *Geojournal of Tourism and Geosites*, 13(1), 27-37.
- Project Report, 2008. Seagrass habitat restoration for improvements of coastal ecosystem and production: Guidelines for the Effective Restoration and Management of the Seagrass habitat. 100-107p. Pusan National University.
- Young, M.A., P.J. Iampietro, R.G. Kvitek and C.D. Garza, 2010. Multivariate bathymetry-derived generalized linear model accurately predicts rockfish distribution on Cordell Bank, California, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 415, 247-261.