



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

A THESIS FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCINCE

**SPATIAL DISTRIBUTION PATTERNS OF
DECAPOD CRABS IN HADORI LAGOON,
JEJU ISLAND, KOREA**

HYUNG-MOOK LIM

**Department of Marine Life Science
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY**

February 2024

**SPATIAL DISTRIBUTION PATTERNS OF DECAPOD CRABS
IN HADORI LAGOON, JEJU ISLAND, KOREA**

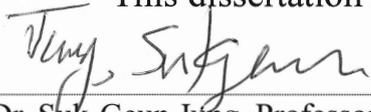
Hyung-Mook Lim
(Advised by Professor Kwang-Sik Choi)

A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirement for the
degree of

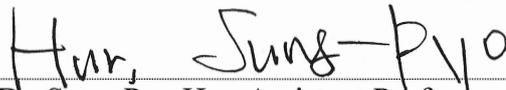
Master of Science

February 2024

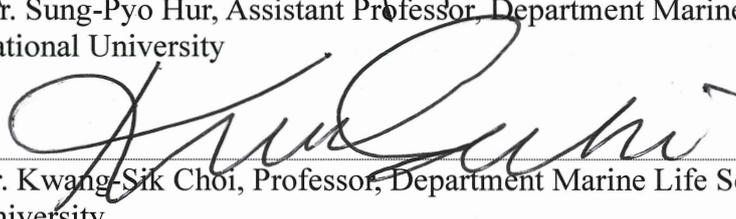
This dissertation has been examined and approved by



Dr. Suk-Geun Jung, Professor, Department Marine Life Science, Jeju National University



Dr. Sung-Pyo Hur, Assistant Professor, Department Marine Life Science, Jeju National University



Dr. Kwang-Sik Choi, Professor, Department Marine Life Science, Jeju National University

2024.02

Date

**Department of Marine Life Science
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY**

CONTENTS

ABSTRACTS.....	i
LIST OF FIGURES	ii
LIST OF TABLES	iii
1. INTRODUCTION.....	1
2. MATERIALS AND METHODS	4
2.1. 조사정점 선정.....	4
2.2. 염분, 수온, 용존산소 조사	5
2.3.1. 관찰·촬영 및 채집.....	5
2.3.2. 사진을 이용한 계의 동정	7
2.3.3. <i>Varuna</i> SP.의 분자생물학적 동정.....	7
2.4. 연구 지역 및 조사정점 3D 지도 제작.....	8
3. RESULTS	10
3.1. 염분, 수온, 용존산소 조사 결과.....	10
3.2. 연구 기간 중 하도리 석호에서 발견된 계의 종.....	13
3.2.1. Family Sesarmidae 의 형태학적 특성과 생태.....	15
3.2.2. Family Varunidae 의 형태학적 특성과 생태	26
3.2.3. Family Potunidae 의 형태학적 특성과 생태	37
3.2.4. Family Ocypodidae 의 형태학적 특성과 생태	37
3.3. <i>Varuna</i> sp.의 분자생물학적 동정 결과	42
3.4. 트랩을 이용한 채집 결과	44
3.5. 각 조사정점의 환경과 구조	47
3.6. 연구 지역 및 조사정점 3D 지도	60
4. DISCUSSION	62
REFERENCES.....	65
APPENDIX.....	70
ACKNOWLEDGEMENT.....	72

국문요약

제주도 동부 해안에 위치한 하도리 석호는 평균 수심이 1 m의 갈대 (*Phragmites australis*)가 풍부하게 분포하는 전형적인 기수 환경의 염습지이다. 하도리 석호 갈대밭 염습지는 다양한 계의 서식지 역할을 하며 많은 종의 철새가 이곳을 방문, 보존과 관리가 필요한 해양환경임을 시사한다. 이 연구에서는 석호 생태계 보존을 위해 염분 구배와 다양한 기질 유형에 따른 석호 내 계들의 공간 분포에 관한 조사를 수행하였다. 석호 내 염분은 용천수 근처에서 1.5 g/L, 해안으로 연결된 수문에서는 32.5 g/L로 뚜렷한 공간 구배를 보였다. 이번 조사에서는 환경부 지정 멸종위기야생동물생물인 붉은발말뚝게 *Orisarma intermedium* (De Haan, 1835)와 갯게 *Chasmaganthus convexus* (De Haan, 1835), 해양수산부 해양보호생물로 두이빨사각게 *Parasarma bidens* (De Haan, 1835)와 달랑게 *Oxypoda stimpsoni* (Oortman, 1897) 등 총 15종의 게가 확인되었다. 이 연구를 통하여 톱날꽃게 *Scylla paramamosain* (Estampador, 1950)가 하도리 석호에 분포함이 확인되었으며, 이는 제주도 최초의 기록이다. 이번 조사에서 갈대 뿌리 부근에 굴을 파고 사는 말뚝게 *Orisarma dehaani* (H. Milne Edwards, 1853)와 방게 *Helice tridens* (De Haan, 1835)는 석호 내에서 우점종으로 확인되었다. 동남참게 *Eriocheir japonica* (De Haan, 1835)도 석호 내 담수 구역에 서식하는 것이 확인되어, 하도리 기수 환경이 계들에게 귀중한 서식지를 제공하고 있음을 시사한다. 따라서 하도리 석호는 인위적인 활동으로부터 계 서식지를 보호하는 측면에서 보존 및 관리되어야 할 것으로 사료된다.

Abstract

Located on the east coast of Jeju Island, Hadori Lagoon is a typical brackish environment characterized by a mean depth of 1 m and a well-developed salt marsh populated by the common reed *Phragmites australis*. The salt marsh associated with the common reed in the lagoon serves as a habitat for various brachyuran species, and they are explored by migratory birds, suggesting that Hadori Lagoon is a unique marine environment that needs to be conserved and managed. Accordingly, this study surveyed the spatial distribution of crabs in the lagoon, which is associated with the salinity gradient and different substrate types. The salinity in the lagoon showed a strong spatial gradient, ranging from 1.5 g/L near several freshwater springs to 32.5 g/L at the watergate connected to the shore. A total of 15 brachyuran crabs were identified during the survey, including *Orisarma intermedium* (De Haan, 1835) and *Chasmaganthus convexus* (De Haan, 1835) as the endangered wildlife species designated by the Ministry of Environment, and *Parasesarma bidens* (De Haan, 1835) and *Oxypoda stimpsoni* (Ortmann, 1897) as the marine protected species by the Ministry of Oceans and Fisheries. The mangrove mud crab *Scylla paramamosain* (Estampador, 1950) was also identified from the subtidal area of the lagoon, and it was the first record of the mud crab on Jeju Island. The survey revealed that *O. dehaani* and *Helice tridens* are the two most common crabs in the lagoon as they burrow into holes near the roots of the common reeds. It was noticeable that the Japanese mitten crab *Eriocheir japonica* (De Haan, 1835) also inhabits small freshwater pools associated with the lagoon, suggesting that the unique brackish environment provides valuable habitats for the brachyuran species. Accordingly, Hadori Lagoon should be conserved and managed to protect those unique crab habitats from anthropogenic activities.

Keywords: Brachyuran crab, Brackish lagoon, Image analysis, Hadori, Jeju Island.

List of Figures

Figure 1 The study site, Hadori Lagoon on Jeju Island off the south coast of Korea. ① The upper lagoon area where a small freshwater stream runs into the lagoon, ② the upper lagoon areas with several freshwater springs, ③ the middle lagoon area with a bridge, ④ the middle part of the lagoon characterized with reeds, ⑤ the lower area of the lagoon near the dike, ⑥ the lower part of the lagoon near the water gate, ⑦ sandy shore outside of the dike.

Figure 2 The salinity gradient in the Hadori Lagoon. **A**, the arrows indicate the freshwater springs **B**, the salinity gradient contour.

Figure 3 *Orisarma. Dehaani* (H. Milne Edwards, 1853) occurring in the Hadori Lagoon. **A**, external characteristics. **B**, *O. dehaani* burrows in the mud around a reed bed, **C**, the crabs hiding under the rock, **D, E**, crabs feeding on mud particles and reeds.

Figure 4 *Orisarma intermedium* (De Haan, 1835) in the Hadori Lagoon. **A**, external features of *O. intermedium*, **B, C**, color variations in *O. intermedium*, **D**, crab hiding rock crevice, **E**, *O. intermedium* and *O. dehaani* occurring in the same habitat.

Figure 5 *Parasesarma bidens* (De Haan, 1835) in the Hadori Lagoon. **A**, external features of *P. biden*, **B**, two distinct teeth on the front corner of the carapace, **C**, the crabs swarming on a rock, **D, E**, *P. biden* feeding on algae *Ulva australis* and reeds.

Figure 6 *Parasesarma pictum* (De Haan, 1835). **A**, the external features, **B**, *P. pictum* crawling on a rock, **C**, feeding food particles and grazing, **D**, *P. pictum* hiding in *O. dehaani*'s burrow, **E**, *P. pictum* cannibalism.

Figure 7 *Parasesarma tripectinis* (Shen, 1940) occurring in the Hadori Lagoon. **A**, the external characteristics, **B, C**, *P. tripectinis* crawling on rocks, **D**, the crab feeding food particles, **E**, *P. tripectinis* hiding in a *O. dehaani*'s burrow.

Figure 8 *Chiromantes haematocheir* (De Haan, 1833) occurring on the Hadori Lagoon. **A**, external features of *C. haematocheir*, **B**, *C. haematocheir* occurring in freshwater

areas, **C**, mating crabs, **D**, borrows of *C. haematocheri* found on land, **E**, the exuvium.

Figure 9 *Helice tridens* (De Haan, 1835). **A**, external features *H. tridens*, **B**, feeding behavior of *H. tridens* in the mud, **C**, burrows of the crab found near the root of reed, **D**, the crab feeding on algae *U. australis* and **E**, reed debris.

Figure 10 *Hemigrapsus penicillatus* (De Haan, 1835). **A**, **D**, **E**, external features of *H. penicillatus*, **B**, the male crab's cheliped with hairs, **C**, the crab feeding on *U. australis*.

Figure 11 *Hemigrapsus sanguineus* (De Haan, 1835). **A**, external features of *H. sanguineus*, **B**, **C**, the crabs found in intertidal rock crevices, **D**, the crab hiding underneath a submerged rock, and **E**, crawling on intertidal rock.

Figure 12 *Eriocheir japonica* (De Man, 1835). **A**, external features of *E. japonica*, **B**, **C**, the crabs hiding under a rock in freshwater, **D**, **E**, *E. japonica* burrow found in a freshwater stream in the upper area of the lagoon.

Figure 13 *Acmaeopleura parvula* (Stimpson, 1858). **A**, **B**, external features of *A. parvula*, **C**, **D**, the crabs hiding in the crevice **E**, habitat of *A. parvula*.

Figure 14 *Chasmagnathus convexus* (De Haan, 1835). **A**, external features of *C. convexus*, **B**, habitat of *C. convexus*. **C**, the burrow of the crab, **D**, **E**, the feeding behavior of the crab.

Figure 15 *Varuna yui* (Hwang & Takeda, 1986). **A**, external features of *V. yui*, **B**, fur on the ambulatory, **C**, the cheliped, **D**, teeth on the anterior-lateral margin, **E**, habitat of *V. yui*.

Figure 16 Morphological features of *Scylla paramamosain* (Estampador, 1950). **A**, female, **B**, male.

Figure 17 *Ocypode stimpsoni* (Ortmann, 1897). **A**, external features of *O. stimpsoni*, **B**, the habitat, sandy shore outside a lagoon, **C**, *O. stimpsoni* feeding behavior, **D** the male trimming the perimeter of the burrow, **E**, *O. stimpsoni* crawling on the sand flat in summer.

Figure 18 Maximum likelihood (ML) phylogeny of Varunidae species based on the COI

sequence. Sesamidae (*P. bidens*) was used as the outgroup. Numbers on the branches indicate ML bootstrap percentages (1000 replicates). The Genbank accession numbers for the published sequences are incorporated. The bolds indicate *Varuna* sp. examined in this study.

Figure 19 **A**, traps used in crab collection, **B**, the trap installed at sampling site 1, **C**, the trap deployed at sampling site 4, **D**, *E. japonica* and *H. tridens* caught in the trap at sampling site 1.

Figure 20. Spatial distribution of salinity, tidal height, and crab species in the study area.

Figure 21 **A**, the upper lagoon area where a small freshwater stream runs into the lagoon. **B**, cross-section view of the survey site and dominant crabs regarding the numbers.

Figure 22 **A**, the upper lagoon areas with several freshwater springs. **B**, cross-section view of the survey site with crabs identified from this area.

Figure 23 **A**, the middle lagoon area with a bridge. **B**, cross-section view of the survey site with crabs identified from this site.

Figure 24 **A**, the middle part of the lagoon characterized by the reed forest. **B**, cross-section view of the survey site crabs identified from this site.

Figure 25 **A**, the lower area of the lagoon near the dike and a circle in the photo indicating a freshwater spring. **B**, cross-section view of survey site showing crabs identified from this area.

Figure 26 **A**, the lower part of the lagoon near the water gate. **B**, cross-section view of the survey site with crabs identified from this site.

Figure 27 **A**, sandy shore outside of the dike. **B**, cross-section view of the survey site showing crabs identified from this site.

Figure 28 Three-dimensional image of the sampling sites in the lagoon. **A**, Hadori Lagoon, **B**, sampling site ①, **C**, sampling site ②, **D**, sampling site ③, **E**, sampling site ④, **F**, sampling site ⑤, **G**, sampling site ⑥, **H**, sampling site ⑦.

List of Tables

Table 1 Salinity, dissolved oxygen (DO), and water temperature at the sampling site. ㉔-1, freshwater spring at sampling site ㉔, ㉔-2: other sampling site near sampling site ㉔.

Table 2 List of crabs identified from the sampling sites in the Hadori Lagoon during April and October 2023. The salinity range shown in this table indicates the ambient salinity.

Table 3 Number of crabs captured using the trap in this study.

1. Introduction

게 (Brachyura)는 십각목 (Decapoda) 범배아목 (Pleocyemata) 단미하목 (Brachyura)에 속하는 갑각류이다 (WoRMS, 2023). Ng et al (2008)에 따르면, 현재 6,793종이 알려져 있으며, 한국 연안해역에는 총 247종이 분포하는 것으로 보고되고 있다 (Lee et al., 2021). 홍 등은 (2009)은 제주에 총 18과 109종의 게가 분포함을 보고한 바 있다. 국내에서 알려진 게 247종의 61%인 151종이 조하대에 서식하며, 43종이 조간대에 10종이 하구에 서식한다. 그중 6종은 하구와 조간대에 서식하고 37종은 조간대와 조하대 양쪽에 모두 서식한다 (Lee et al., 2021).

육상이나 하구에 서식하는 게들도 대부분 유생은 바다에서 성장하므로 게들은 번식기에 바다나 바다와 가까운 곳으로 이동하는데 종에 따라 서식지에서 교미 후 암컷만 이동하거나 암수가 같이 이동하여 바닷가에서 교미를 하기도 한다. 도둑게 (*Chiromantes haematocheir*)의 경우 서식지에서 교미 후 산란을 한 암컷들은 바다로 가서 유생을 방출하며 (Ryu & Kim, 2020), 동남참게 (*Eriocheir japonica*)는 암수 모두 하구로 내려가 번식한다 (Kobayashi & Matsuura, 1994). 게의 유생은 첫 단계인 nauplius 과정을 알 속에서 지내고(Kim, 1973), zoea 1, 2, 3, 4기를 거쳐 megalopa로 성장한 뒤, 최종 서식지로 이동, 어린 게로 변태 후 성체로 성장한다 (Olesen, 2018). 십각류 (Decapoda)의 수명은 1년 미만부터 38년까지 종에 따라 큰 차이가 있으며 (Vogt, 2014), Brachyura 안에서도 1년 미만에서 30년까지 다양하다. 붉은발말뚱게 (*Orisarma intermedium*)의 수명은 5년,

동남참게는 4.4년, 참게 (*Eriocheir sinensis*)는 1년 혹은 2년으로 알려져 있다 (Vogt, G. 2019). 꽃게류의 암컷은 한 번의 교미 후 정자를 몸 속에 수 개월에서 1년 이상 간직하며, 평생 단독으로 산란과 수정, 유생 방출을 여러 번 반복한다 (Darnell, 2009). 게는 종에 따라 유생 방출 후 다시 일상으로 돌아가 다음 번식기에도 참여하며, 크리스마스홍게로 알려진 *Gecarcoidea natalis*는 바다로 이동한 후 연안에서 유생을 방출하고 다시 서식지인 숲으로 돌아간다 (Adamczewska, 2001).

게를 포함한 저서 대형십각류는 지형과 숲, 습지 식물, 해조류 등의 서식지 구성을 유지하는데 기여한다 (Boudreau & Worm, 2012). 맹그로브 숲에서 Sesamidae의 게는 맹그로브 잎을 먹고 분해하여 생태계에서 1차 생산과 2차 생산의 중요한 연결고리 역할을 한다고 알려져 있으며 (Robertson, 1986), 말뚝게 (*Orisarma dehaani*)의 굴은 지표면에 통기 공간을 만들고 배변을 통해 내생 유기물을 전달하여 선버들 (*Salix nipponica*)의 1차 생산성을 높이고 성장에도 도움을 준다 (Han et al., 2010). 그 외 게의 굴은 갯벌의 표면적을 늘리고 유기탄소 분해를 증가시킨다 (Otani et al., 2010). 또한 게는 물새들의 주요 먹이원으로서 특히 얇은 석호에서 도요물떼새의 주요 먹이가 된다 (Quammen, 1984).

반폐쇄형 내만에서 서식환경요인 중 수심, DO, 염분, 수온 그리고 pH 등은 수서생물의 서식범위와 군집 형성 영향을 주는 중요 요인이며 (Han et al., 2015), 환경 변화가 심한 곳에 서식하는 대형저서동물은 환경적 스트레스에 대한 적응 내성이

뛰어나고 매우 복잡한 시공간적 군집구조를 나타낸다. (Ysebaert et al., 2003). 계의 경우, 염분, 고도, 퇴적물 입자에 따라 서식 또는 우점하는 종이 달라지고 (Koyama et al., 2020), 한 지역에서도 종에 따라 수직 분포의 차이를 나타낸다 (Spivak et al., 1994).

제주도 동부연안에 위치하는 하도리 석호는 철새도래지로 잘 알려져 있으며, 제주도에서 규모가 큰 인공 석호이다. 하도리 석호에는 계를 포함한 다양한 기수성 해양생물이 분포하는 것으로 추정되지만, 이에 관한 생태학적 연구는 미미한 실정이다. 따라서 이 연구에서는 하도리 석호 내에 서식하는 계의 종을 파악하고 염분, 수온 등 서식 환경에 따른 종 분포를 파악하는데 그 목적이 있다. 이 연구에서는 계를 눈으로 관찰하고 촬영하는 비파괴적 목시조사 방법을 이용하였으며, 해양생물의 모습과 생태를 사진에 담은 조사 방법은 종을 발견하는 것 외에 종간의 상호작용, 표현형특성, 번식 상태, 서식지 연관성 등 추가적인 생태학 정보가 포함된다 (Callaghan et al., 2021; Bolt, et al., 2022).

2. Materials and Method

2.1. 연구지역 및 조사정점 선정

제주도 동부 해안에 위치한, 연구 대상지 하도리석호는 일제 강점기에 해안의 만 지형을 둑으로 막아 만들어졌으며 이후에 해안도로 건설로 외부 해양과 분리되었다 (Figure 1). 석호의 넓이는 약 0.77km², 수심은 평균 1미터 미만인 염습지이다. 석호 하구 둑에 설치된 약 10m 너비의 수문 하나로만 물이 유통되어 간·만조 시간이 외부에 비해 늦고 조차도 현저히 작아 조간대의 범위가 좁다. 수문으로 유통되는 해수와 습지 내 여러 곳에서 분출하는 담수 용천수가 섞이며 위치에 따라 다양한 염분 분포가 형성되는 환경이다. 하도리 석호는 갈대 (*Phragmites australis*)가 밀생 계절 별로 다양한 종의 철새가 찾아오는 철새도래지로서 높은 생태적 가치를 인정받아 특별보호구역으로 지정되었으며, 석호 내 대부분의 지역이 생태계보전지구 1등급, 경관보전지구 1등급에 지정되었다. 이러한 생태학적 중요성에도 불구하고, 현재까지 하도리 석호에서 이루어진 생태조사는 대부분 철새와 식물에 집중되어 있으며 저서생물 등 해양생태에 대한 조사는 미미한 실정이다.

이 연구에서는 Figure 1에 표기한 바와 같이 하도리 석호에서, 석호 상부의 용천수가 흘러 드는 작은 담수 개울 형태의 조사정점 ①, 석호 상부의 용천수가 많이 솟는 호수 형태의 조사정점 ②, 석호 중부의 수로를 건너는 작은 다리 부근의 조사정점 ③, 석호 중부의 갈대가 많은 조사정점 ④, 석호 하부의 둑과 가까운 갈대숲의 조사정점

⑤, 석호 하부의 수문 부근 조사정점 ⑥ 등, 석호 내부에서 환경 변화가 심하며 게가 많이 목격되거나 접근이 쉬운 곳 6곳과 독 안과 밖의 환경과 서식종의 차이를 알아보기 위해, 석호 독 외부의 모래 해안의 조사정점 ⑦ 을 포함하여 총 7곳을 조사정점으로 선정하였다.

2.2. 염분 (salinity), 수온 (water temperature), 용존산소 (dissolved oxygen) 조사

주로 게가 발견되는 곳을 중심으로 하구 수문, 상류 용천수가 유입되는 곳 등 다양한 환경을 나타내는 곳을 선정하여 보트를 타거나 도보로 이동하며 CTD (Pro2030, YSI, USA)를 이용하여 염분, 수온, 용존산소를 측정하였다. 총 32 개 정점에서 측정된 조사 결과는 contour 형태로 지도에 표기하였다.

2.3.1. 게 관찰·촬영 및 채집

이 연구에서는 현장에서의 게 채집을 최소한으로 제한, 시료채취 행위가 게 집단에 입히는 피해가 최소한이 될 수 있는 연구 방법을 채택하였다. 이에 따라, 사진촬영 및 현장관측 방법을 채택하였으며, 1차 조사시 조사 지역에서 게가 많이 보이거나 굴이 많은 곳 부근에서 잠복하거나 낮은 자세로 움직이지 않고 육안, 쌍안경 (H2O 10x42, Bushnell, USA), 망원렌즈 (Leica DG Vario-Elmar 100-400mm, Panasonic, China)가 장착된 카메라 (E2M4, Zcam & GH5, Panasonic, China) 또는 스마트폰 (Galaxy s21 ultra, Samsung,

Korea)을 이용, 출현하는 계를 관찰, 촬영하였다. 또한, 현장 영상을 이용하여 계 동정이 가능하도록 가급적 여러 각도에서 촬영하였으며, 종 별 서식 위치와 주변 환경도 촬영하였다. 일부 종의 경우 그 분포가 조하대에 국한되어, 육안 및 현장 촬영이 어려웠다. 따라서 조하대 분포 계를 확인하기 위하여 각 조사 정점에서 12시간, 2회씩 수중 트랩 (입구가 6개인 통발)을 설치하여 물속에서 채집되는 종을 확인하였고 (Figure 32), 은신처에서 나오지 않는 종을 찾기 위해 주변의 돌을 들추어 확인하였다. 동남참게의 물속 생태와 굴을 확인하기 위해 수중촬영 (Sony a6300, E 3.5-5.6/PZ, Thailand & Nauticam housing, UK) 1회를 실시하였다.

생태 사진만으로 확실한 동정이 가능한 종이 있는 반면 서로 비슷해서 정확한 형태적 구분이 어려운 종의 경우, 불가피하게 각 종 별, 1 개체씩 뜯거나 손으로 채집 후, 살아있는 그대로 흰색 배경의 아크릴 포토박스에 넣어 접사렌즈 (Leica DG Vario-Elmarit 12-35, China)와 조명 (RF550, Neewer, China)을 이용하여 촬영하였다. 다만 살아있는 상태에서 배갑을 촬영하는 것이 어려워 정면과 등갑의 형태가 잘 보이도록 등면만 촬영하였고 촬영 후에는 즉시 현장에서 방류하였다.

톱날꽃게는 현지 어민으로부터 입수하였으며 흰 배경에서 줌렌즈 (F2.8III 28-75 RXD, Tamron, Japan)와 디지털 미러리스 카메라 (α 7, Sony, Thailand)로 촬영하였고 얼음으로 마비시킨 후 정면과 등갑 그리고 배갑을 촬영하였다.

2.3.2 사진을 이용한 계의 동정

하도리 석호에 분포하는 계의 동정은 한국동식물도감 (Kim, 1973)과 유용계류 (Kim, 2001), 및 Sakai (1976) 등의 문헌을 참고하여 동정하였다.

2.3.3. *Varuna* SP.의 분자생물학적 동정

트랩에 채집된 계 중, 참계과의 *Varuna*속으로 추정되는 개체의 경우 형태적 특성만으로 동정이 어려워 Cytochrome C Oxidase Subunit I (COI) 마커를 이용, DNA 염기서열을 확보하였으며, 이를 이용 계통유연관계를 분석하였다. Genomic DNA 는 배다리에서 추출하였으며, 멸균된 가위로 배다리를 절취 후 DNeasy Blood & Tissue Kits (Qiagen, Hilden, Germany)를 이용하여 제조사의 방법에 따라 DNA를 추출하였다.

COI 유전자의 증폭을 위해 Folmer et al., (1994) 가 고안한 primer LCO1490 (GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG)과 HCO2198 (TAAACTTCAGGGTGA-CCAAAAATCA)가 이용되었다. PCR에는 1.25 unit의 Ex Taq Polymerase (Takara, Japan), 각 프라이머 25 pmol, 추출된 DNA 50 ng을 포함시켜 총 반응 용액은 50 µl가 되도록 혼합하였다. 증폭 조건은 94°C에서 5분간 denaturation 후, 94°C에서 30초 denaturation, 48°C에서 30초 annealing, 그리고 72°C 30초 동안의 extension 과정을 총 30회 반복되었고, 마지막으로 72°C에서 5분 동안 extension을 수행하였다. PCR 증폭물은 pGEM-T easy vector에 클론되었으며, 각 유전자에 대해 standard dideoxy termination

방법을 사용하여 Macrogen (Korea)에서 시퀀싱되었다. 미기록 계류의 COI 시퀀스는 Gene Bank National Center for Biotechnology Information (NCBI)에 기탁되었다 (accession numbers: 000000000000).

계통수 구축을 위해 분석된 계류와 NCBI의 family Varunidae와 아웃그룹으로 *Parasesarma bidens* (family Sesarmidae)의 COI 염기서열을 Clustal W 방법으로 정렬시켰다. 계통수는 MEGA X (Kumar et al., 2018)에 의해 1000 bootstrap replicates로 Maximum Likelihood method (Tamura and Nei, 1993)을 사용하여 구축되었다.

2.4 연구 지역 및 조사정점 3D 지도 제작

삼차원적 지도 (3D map)는 지리적으로 작은 공간에 분포하는 다양한 종간의 생태학적 연관 관계를 이해하는데 자주 활용된다 (Davies & Asner, 2014). 따라서 이 연구에서는 드론 (Mavic3, DJI, China)을 이용하여 하도리 석호지역을 촬영한 뒤, 드론으로 얻어진 영상을 3D 제작 도구 (Reality Capture, Capturing Reality, Slovakia)를 이용하여 3D 이미지로 제작하였다. 7곳의 조사정점은 별도의 렌더링으로 해상도를 높였으며 3D 이미지가 구동되는 웹플랫폼 (<https://sketchfab.com>, Sketchfab, USA)에 업로드하였다.

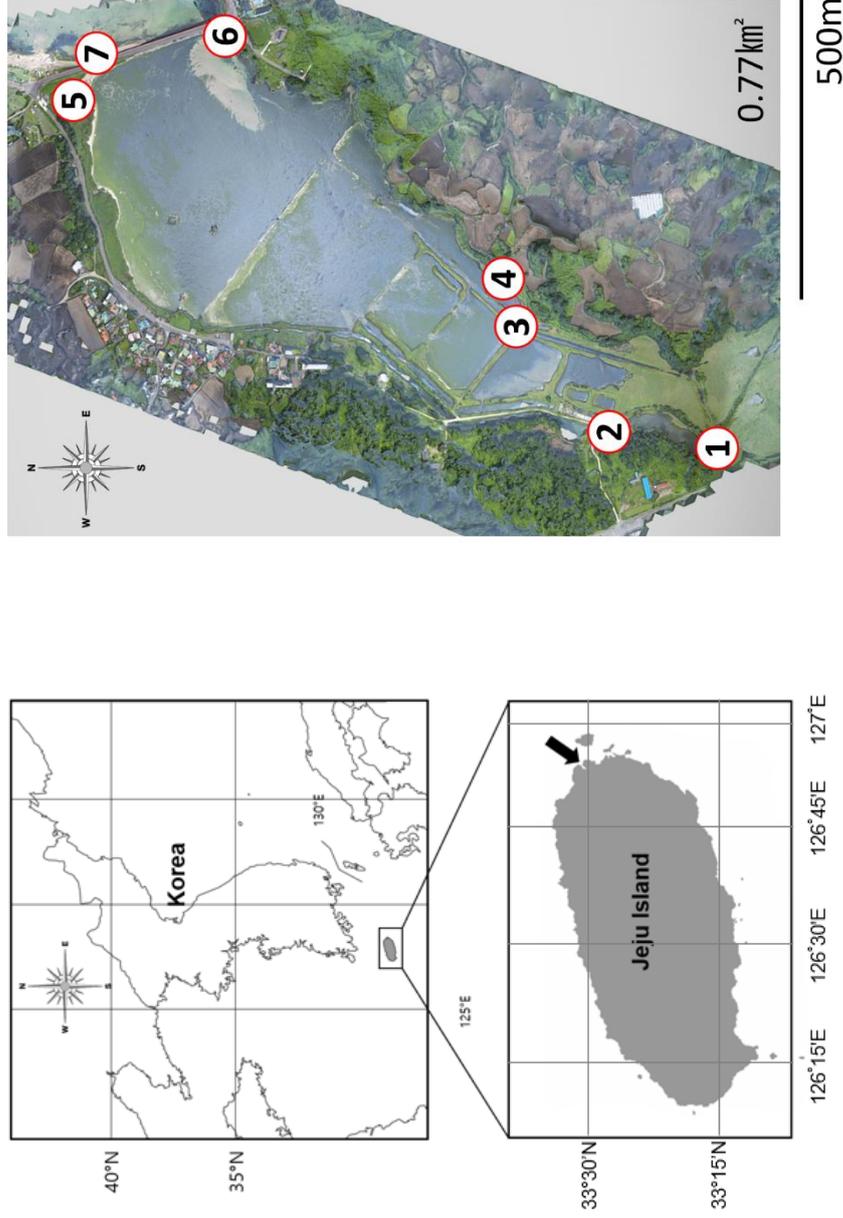


Figure 1 The study site, Hadori Lagoon on Jeju Island off the south coast of Korea. ① The upper lagoon area where a small freshwater stream runs into the lagoon, ② the upper lagoon areas with several freshwater springs, ③ the middle lagoon area with a bridge, ④ the middle part of the lagoon characterized with reeds, ⑤ the lower area of the lagoon near the dike, ⑥ the lower part of the lagoon near the water gate, ⑦ sandy shore outside of the dike.

3. Results

3. 1. 염분 (salinity), 수온 (water temperature), 용존산소 (dissolved oxygenm)

CTD를 이용하여 총 32곳에서 용존산소와 염분, 온도를 측정하였다. 하도리 석호 내에는 확인된 9곳의 용천수 이외에도 많은 곳에서 담수가 용출되고 있었으며 (Figure 2A) 하구에서는 수문으로 해수가 유통되고 있어 뚜렷한 염분 구배가 확인되었으며 (Figure 2B), 대체로 상류와 용천수 부근은 염분이 낮고 하구 수문에 가까울수록 염분이 높았다 (Table 1).

석호 내의 지형은 대체로 평탄하지만 돌이나 흙으로 쌓은 둑이 수면을 가로세로로 나누거나 수로 형태로 만들어진 곳도 있어 수심과 유속에 변화가 있고 염분 구배에도 영향을 주는 것으로 추정되었다. 10m폭의 수문으로 해수가 유통되기 때문에 석호 내에도 작은 규모의 조석이 나타나며 조차가 형성되는 것으로 확인되었다.

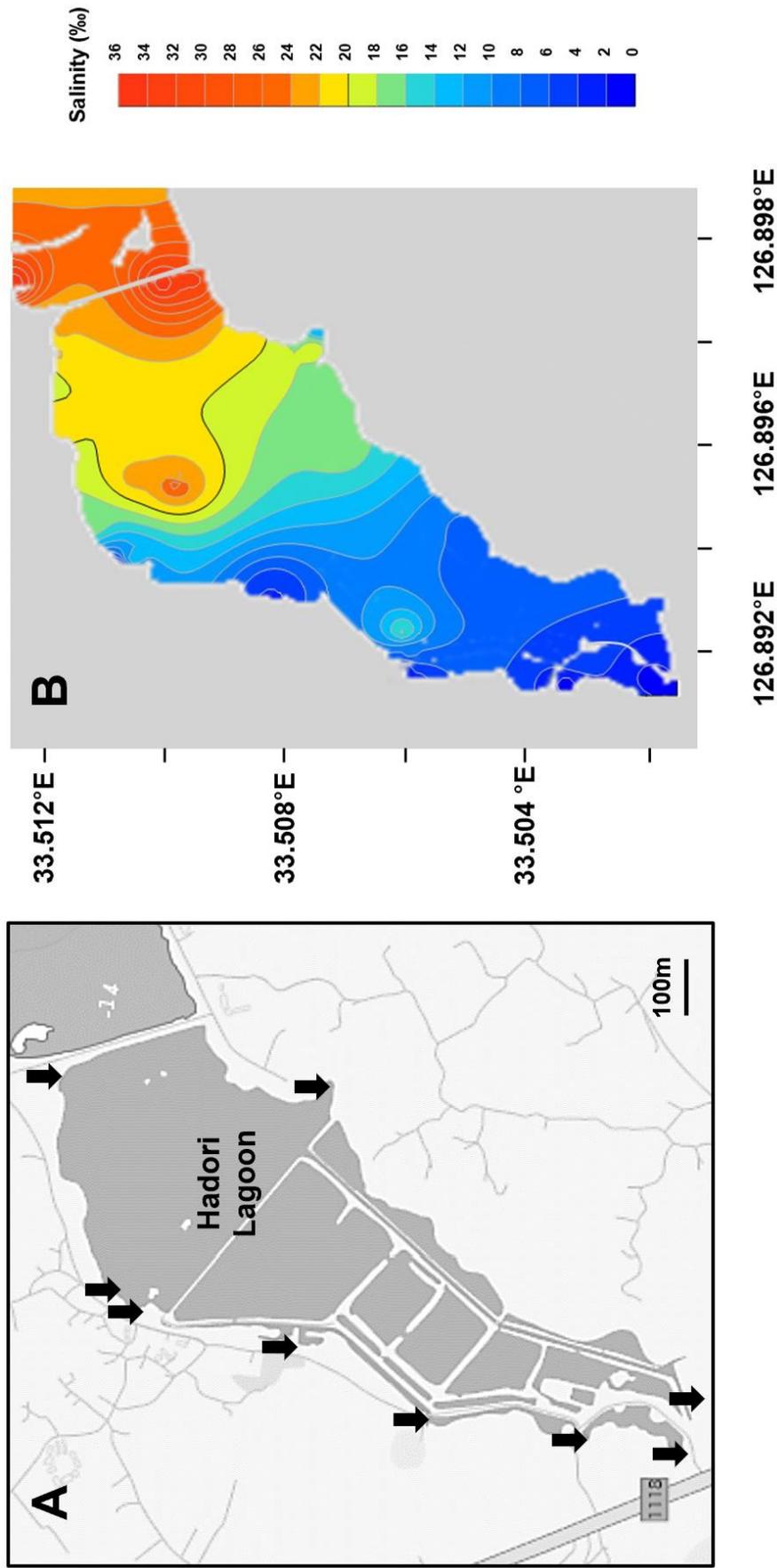


Figure 2 The salinity gradient in the Hadori Lagoon. **A**, the arrows indicate the freshwater springs **B**, the salinity gradient contour.

Table 1 Salinity, dissolved oxygen (DO), and water temperature at the sampling site. ㉔-1, freshwater spring at sampling site ㉔, ㉔-2: other sampling site near sampling site ㉔.

Site	Salinity(g/L)	DO(mg/L)	Water Temperature(°C)
㉑	1.5	7.4	21.2
㉒	2.3	8.7	15.9
㉓	6.2	10.6	25.0
㉔	7.7	8.9	24.3
㉔-1	4.9	11.6	19.7
㉔-2	22.5	10.4	22.9
㉕	32.5	7.1	19.0
㉖	35.7	7.3	23.2

3.2. 연구 기간 중 하도리 석호에서 발견된 게의 종

이 연구에서 확인된 게는 15종이며 사각게과 (Sesarmidae) 6종, 참게과 (Varunidae) 7종, 꽃게과 (Potunidae) 1종, 달랑게과 (Ocypodidae) 1종이었다. 사각게과와 참게과는 모두 바위게 상과 (Grapsoidae)에 속한다 (WoRMS, 2023).

하도리 석호에서 발견된 사각게과의 게 중에는 말뚝게 (*Orisarma dehaani* H. Milne Edwards, 1853)가 가장 빈번하게 관찰되었고 붉은발말뚝게 (*Orisarma intermedium* De Haan, 1835), 두이빨사각게 (*Parasesarma bidens* De Haan, 1835), 사각게 (*Parasesarma pictum* De haan, 1835), 붉은발사각게 (*Parasesarma tripectinis* Shen, 1940), 도둑게 (*Chiromantes haematocheir* De haan, 1833)가 관찰되었다. 참게과 중에는 방게 (*Helice tridens* De haan, 1835)가 가장 빈번하게 관찰되었고 풀게 (*Hemigrapsus penicillatus* De haan, 1835), 무늬발게 (*Hemigrapsus sanguineus* De haan, 1835), 동남참게 (*Eriocheir japonica* De haan, 1835), 애기비단게 (*Acmaeopleura parvula* Stimpson, 1858), 갯게 (*Chasmagnathus convexus* De Haan, 1835), *Varuna yui* (Hwang & Takeda, 1986)가 관찰되었다. 그의 꽃게과의 톱날꽃게 (*Scylla paramamosain* Estampador, 1950)와 달랑게과의 달랑게(*Ocypode stimpsoni* Ortmann, 1897)가 발견되었다 (Table 2). 기록된 게들 중 붉은발말뚝게와 갯게는 멸종위기야생생물 2급이며, 두이빨사각게와 달랑게는 해양보호생물로 지정되어 있다.

Table 2 List of crabs identified from the sampling sites in the Hadori Lagoon during April and October 2023. The salinity range shown in this table indicates the ambient salinity.

Family	Species	Salinity (g/L)	Remarks
Sesamidae	<i>Orisarma dehaani</i> H. Milne Edwards, 1853	1.5 - 32.5	Digging burrows near the reeds (<i>Phragmites australis</i>)
	<i>Orisarma intermedium</i> De haan, 1835	1.5 - 7.7	Hiding in rock crevices around freshwater areas
	<i>Parasesarma bidens</i> De haan, 1835	6.2 - 32.5	Swarming in a rock crevice
	<i>Parasesarma pictum</i> De haan, 1835	7.7 - 32.5	Swarming in a rock crevice
	<i>Parasesarma tripectinis</i> Shen, 1940	7.7	Swarming in a rock crevice
Varunidae	<i>Chiromantes haematocheir</i> De haan, 1833	1.5 - 32.5	Digging burrow on a dirt slope away from the water
	<i>Helice tridens</i> De haan, 1835	1.5 - 32.5	digging a burrow on a flat surface near the reeds
	<i>Hemigrapsus penicillatus</i> De haan, 1835	7.7 - 32.5	Brackish or saltwater areas Be under a rock or in water
	<i>Hemigrapsus sanguineus</i> De haan, 1835	32.5	saltwater areas Be under a rock or in water
	<i>Eriocheir japonica</i> De haan, 1835	1.5 - 2.3	Burrowing under stones or in mud in freshwater
Portunidae	<i>Acmaeopleura parvula</i> Stimpson, 1858	32.5	saltwater areas Be under a rock or in water
	<i>Chasmagnathus convexus</i> De haan, 1835	7.7	burrow in the upper intertidal soil in brackish or saltwater areas
	<i>Varuna yui</i> Hwang & Takeda, 1986	1.5	Found in freshwater areas
Ocypodidae	<i>Scylla paramamosain</i> Estampador, 1950	2.3 - 7.7	Hiding in the mud of the brackish water area
	<i>Ocypode stimpsoni</i> Ortmann, 1897	35.7	Burrows in the upper intertidal sand

3.2.1. Family Sesarmidae의 형태학적 특성과 생태

1) 말뚱게 *Orisarma dehaani* (H. Milne Edwards, 1853)

갑각의 형태는 너비가 길이보다 약간 넓은 사각에 가까우며 이마구역의 흠이 뚜렷하고 위구역과 심장구역의 경계도 분명해서 전체적으로 울퉁불퉁한 느낌을 주었다. 앞옆가장자리에는 뾰족한 눈뿔니 뒤로 약간 패인 흔적만 하나 더 있었다. 걷는다리에는 검고 긴 털이 많이 나 있었다 (Figure 3A).

말뚱게는 모든 조사정점에서 관찰되었으며, 석호 상부의 담수구역에서 매우 풍부하게 분포하였다 (Figure 20). 갈대 군락 주변의 조간대를 벗어난 조금 건조한 경사면에서는 말뚱게의 굴이 발견되었으며 (Figure 3B), 돌무더기나 석축이 있는 곳에선 돌 틈에 숨어 있었다 (Figure 3C). 간혹 얇은 물속에 있는 경우도 있었으나 대부분은 육상에서 관찰되었으며 습지 주변 도로와 숲에서도 많이 목격되었다. 하도리 석호 생태계에 분포하는 말뚱게는 돌 위의 부착 조류, 펄 또는 다른 계의 사체를 먹거나 주위 인가에서 버린 쓰레기나 채소, 나뭇잎, 썩은 갈대 등 다양한 먹이를 섭식하였다 (Figure 3D, E).

2) 붉은발말뚱게 *Orisarma intermedium* (De Haan, 1835)

갑각의 형태는 너비가 길이보다 약간 넓은 사각에 가까우며 이마구역의 흠이 뚜렷하고 위구역과 심장구역의 경계도 분명해서 전체적으로 울퉁불퉁한 느낌을 주었다. 앞옆가장자리에 날카로운 눈뿔니 뒤로 말뚱게에 비해 뚜렷한 작은 이가 있었다.

걷는다리에는 흑갈색의 긴 털이 많이 나 있었다 (Figure 4A). 환경이나 지역에 따라 다양한 색 변이가 나타나는 것으로 추정되는데 연구 지역의 붉은발말뚱게는 대체로 몸 전체가 진한 주홍에 가까운 색이었다 (Figure 4B, C).

하도리 석호에서 붉은발말뚱게가 관찰된 곳의 염분 범위는 1.5 - 7.7 g/L이었다 (Table 2). 물속에 잠긴 모습은 관찰되지 않았고 숲이나 길에서 이동하거나 (Figure 4C), 용천수 주변 석축의 돌 틈에 있는 모습을 관찰했으며 전반적으로 말뚱게에 비해 약간 높은 지대의 돌 사이에 굴이 있었다 (Figure 4D). 대체로 말뚱게 무리에 섞여 있었고 한 마리가 발견되면 주변에 몇 마리가 추가로 있었으며 관찰과 촬영 결과, 조사정점 ②의 둑 돌로 쌓은 면에서 붉은발말뚱게는 약 0.2마리/m²로, 약 30마리/m²인 말뚱게의 $\frac{1}{150}$ 정도의 비율로 관찰되었다 (Figure 12E). 하도리 석호 생태계에 분포하는 붉은발말뚱게는 굴 주변의 풀이나 흙을 섭식하였다.

3) 두이빨사각게 *Parasesarma bidens* (De Haan, 1835)

갑각의 형태는 앞가장자리가 넓고 뒤로 좁아지는 사각형이며 앞옆가장자리에 눈뿔니 뒤로 뚜렷하고 날카로운 이가 하나 더 있었다 (Figure 5A, B). 등에는 짧은 털이 조밀하게 나 있었다 (Figure 5A).

두이빨사각게는 보호종이지만 특정 지역에선 매우 많은 수가 집단 서식한다 (Figure 5C). 연구지역 외에도 제주도 동북부 해안의 용천수 부근과 해안도로로 바다와

분리된 염습지에서 쉽게 관찰된다.

하도리 석호에서 두이빨사각계가 관찰된 곳의 염분 범위는 6.2-22.5 g/L로 (Table 2), 특히 조사정점 ③의 다리 부근에서는 우점하고 있었으며 이 정점에선 30마리/m² 정도가 서식하는 것으로 추정된다. 주로 암반으로 이루어진 조간대의 기수 지역에서 발견되었고 (Figure 5C), 저질이 펄이나 모래인 곳에서는 관찰되지 않았다. 하도리 석호 생태계에 분포하는 두이빨사각계는 구멍갈파래 (*U. australis*)나 썩은 갈대를 섭식하였다 (Figure 5D, E).

4) 사각계 *Parasesarma pictum* (De Haan, 1835)

갑각의 형태는 너비가 길이보다 약간 넓은 사각형이다. 등면은 비교적 평평하고 눈뿔니 뒤로 앞옆가장자리는 이빨이나 홈이 없이 직선으로 매끈했다 (Figure 6A).

하도리 석호에서 사각계는 7.7-32.5 g/L의 광범위한 염분 환경에서 서식이 확인되었고 (Table 2) 조간대 상부와 그보다 높은 곳의 바위나 돌이 많은 지역에서 주로 발견되었다 (Figure 6B). 두이빨사각계보다는 물에서 먼 곳까지 가지만 말뚝계나 도둑계보다는 이동 범위가 좁았다. 사각계의 독립적인 굴은 확인되지 않았고 위험을 느끼면 말뚝계의 굴에 숨었다 (Figure 6D). 하도리 석호 생태계에 분포하는 사각계는 바위에 붙은 조류나 유기물, 동종의 사체를 섭식하였다 (Figure 6C, E).

5) 붉은발사각게 *Parasesarma tripectinis* (Shen, 1940)

갑각의 형태는 사각형이었다. 등면은 사각계와 유사하게 보였지만, 집게발의 끝이 선명한 붉은색을 띠어 사각계와 구분되었다. 이마구역의 굴곡도 사각계보다 뚜렷했다 (Figure 7A).

붉은발사각게가 발견된 곳은 조사정점 ④로 염분은 7.7 g/L이었다 (Table 2). 조사정점에서 관찰된 붉은발사각게는 대체로 크기가 작고 돌 틈으로 기어 다니므로 눈에 잘 띄지 않았으며 다른 게를 촬영하던 중 카메라 프레임에 나타나는 경우가 많았다. 주로 말뚝계와 서식지가 겹치지만 이동 범위가 좁고 돌무더기에서 멀리 벗어나지 않았으며 (Figure 7B, C), 사각계와 마찬가지로 위험을 느끼면 돌 틈이나 말뚝계의 굴로 숨었다 (Figure 7D). 하도리 석호 생태계에 분포하는 붉은발사각게는 돌 위에 붙은 흙이나 조류를 섭식하였다 (Figure 7E).

6) 도둑게 *Chiromantes haematocheir* (De Haan, 1833)

갑각의 형태는 사각형이었다. 개체에 따라 체색 차이가 많았지만 대체로 집게발은 붉은 색을 띠었다. 앞가장자리가 깎인 것처럼 날카롭게 꺾였으며 굴곡이 없이 직선이었다. 등은 평평하고 굴곡이 적는데 비해 위구역과 심장구역을 나누는 경계는 매우 선명했다 (Figure 8A).

도둑게는 염분의 영향을 크게 받지 않고 연구 지역 전체에 고르게 분포하는

것으로 추정된다 (Table 2). 상부의 담수 구역인 조사정점 ②에서도 관찰되었고 (Figure 8B), 하부의 수문 부근인 조사정점 ⑥에서도 여러 개의 굴을 발견했으며 교미하는 모습도 관찰하였다 (Figure 8C). 그러나 많은 수가 발견되지는 않았고 대부분 숲속에서 멀리 보이거나 빠르게 숨어 촬영이 어려웠다. 다만 도둑게의 것으로 추정되는 산 기슭에 파 놓은 굴과 물 웅덩이에 탈피해 놓은 껍질은 자주 발견되어 적지 않은 수가 서식한다는 것을 알 수 있었다 (Figure 8D, E). 간혹 연구 지역 주변 도로나 조사지역에서 멀리 떨어진 민가에서도 발견되었다.

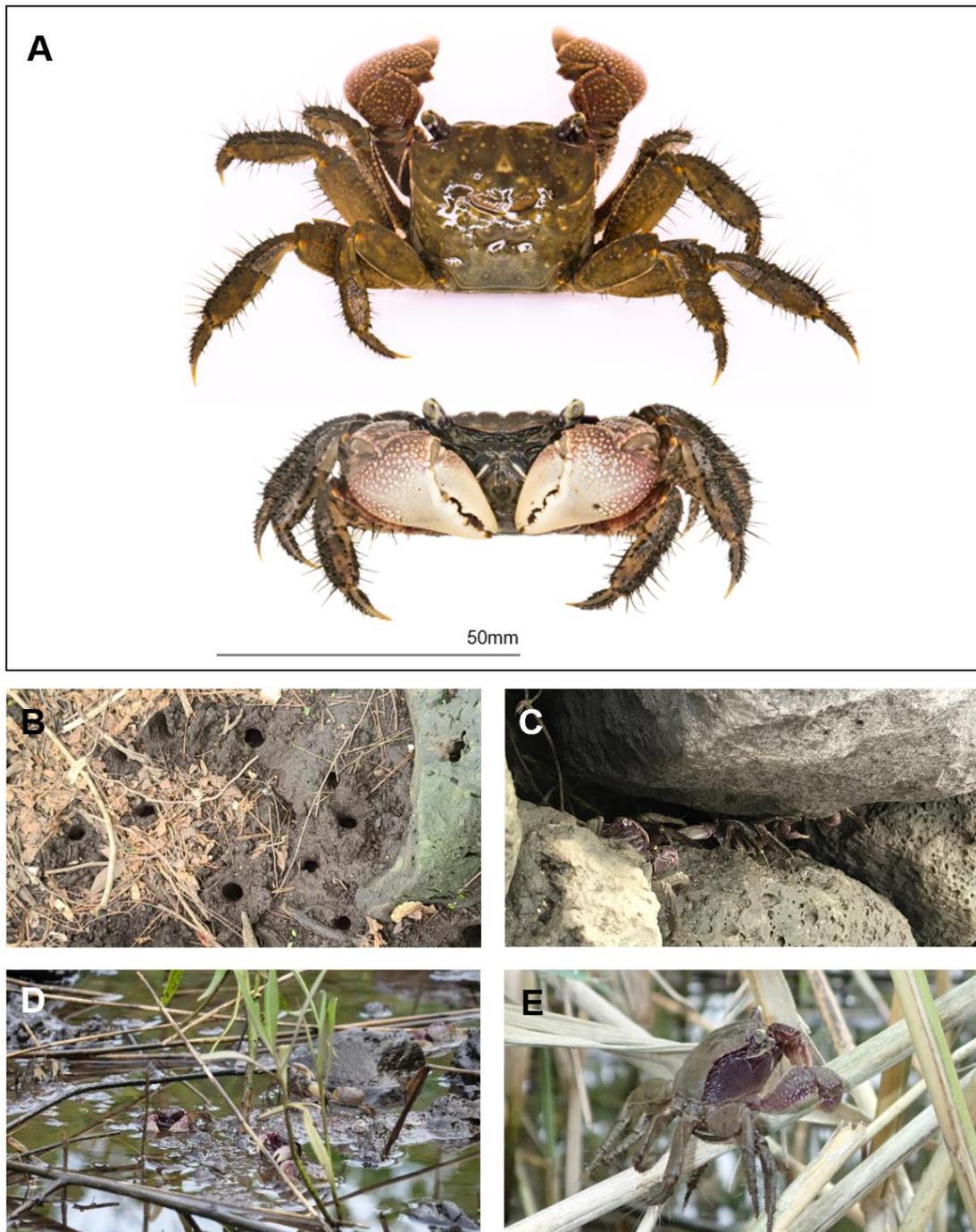


Figure 3 *Orisarma. Dehaani* (H. Milne Edwards, 1853) occurring in the Hadori Lagoon. **A**, external characteristics. **B**, *O. dehaani* burrows in the mud around a reed bed, **C**, the crabs hiding under the rock, **D**, **E**, crabs feeding on mud particles and reeds.

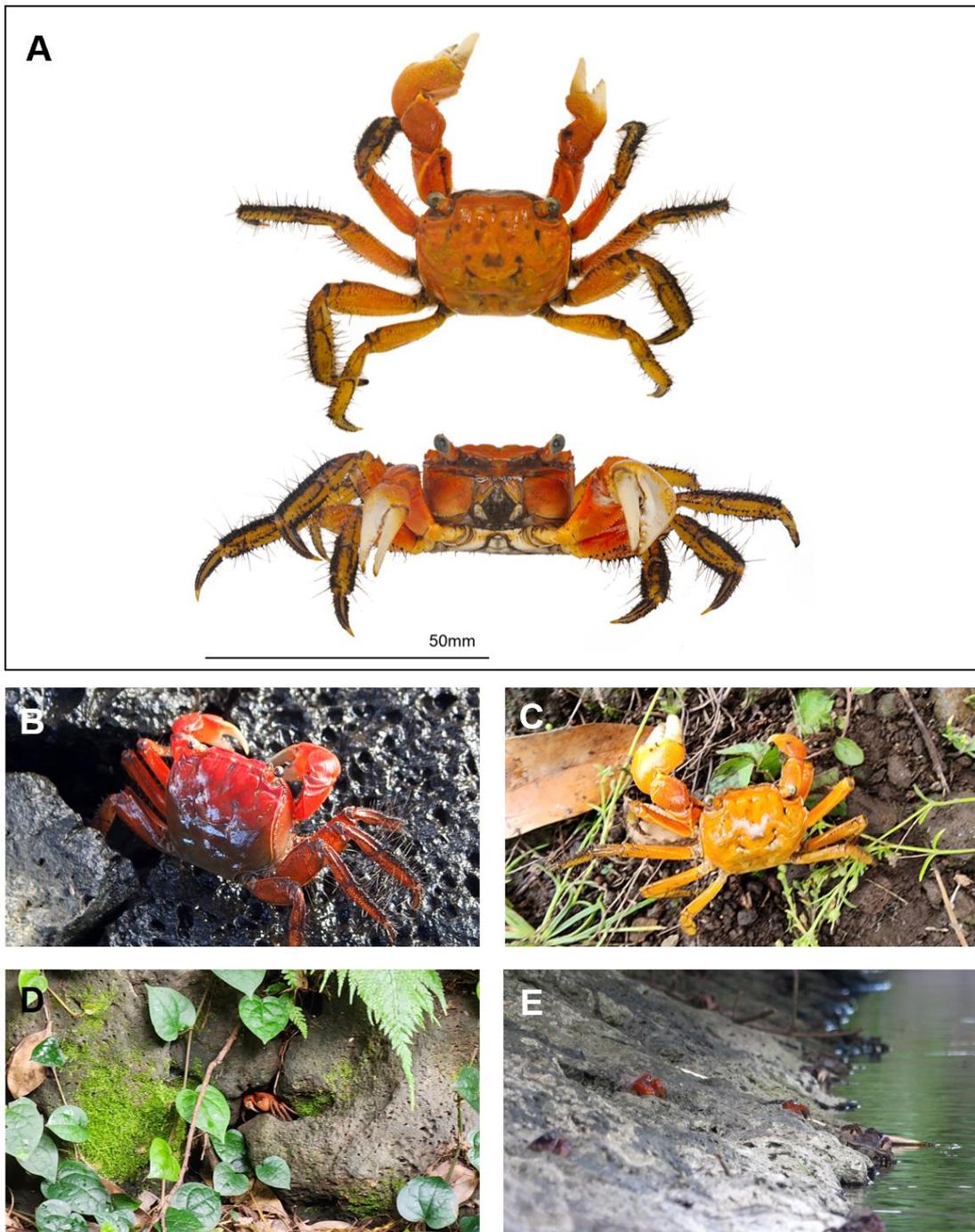


Figure 4 *O Orisarma intermedium* (De Haan, 1835) in the Hadori Lagoon. **A**, external features of *O. intermedium*, **B**, **C**, color variations in *O. intermedium*, **D**, crab hiding rock crevice, **E**, *O. intermedium* and *O. dehaani* occurring in the same habitat.

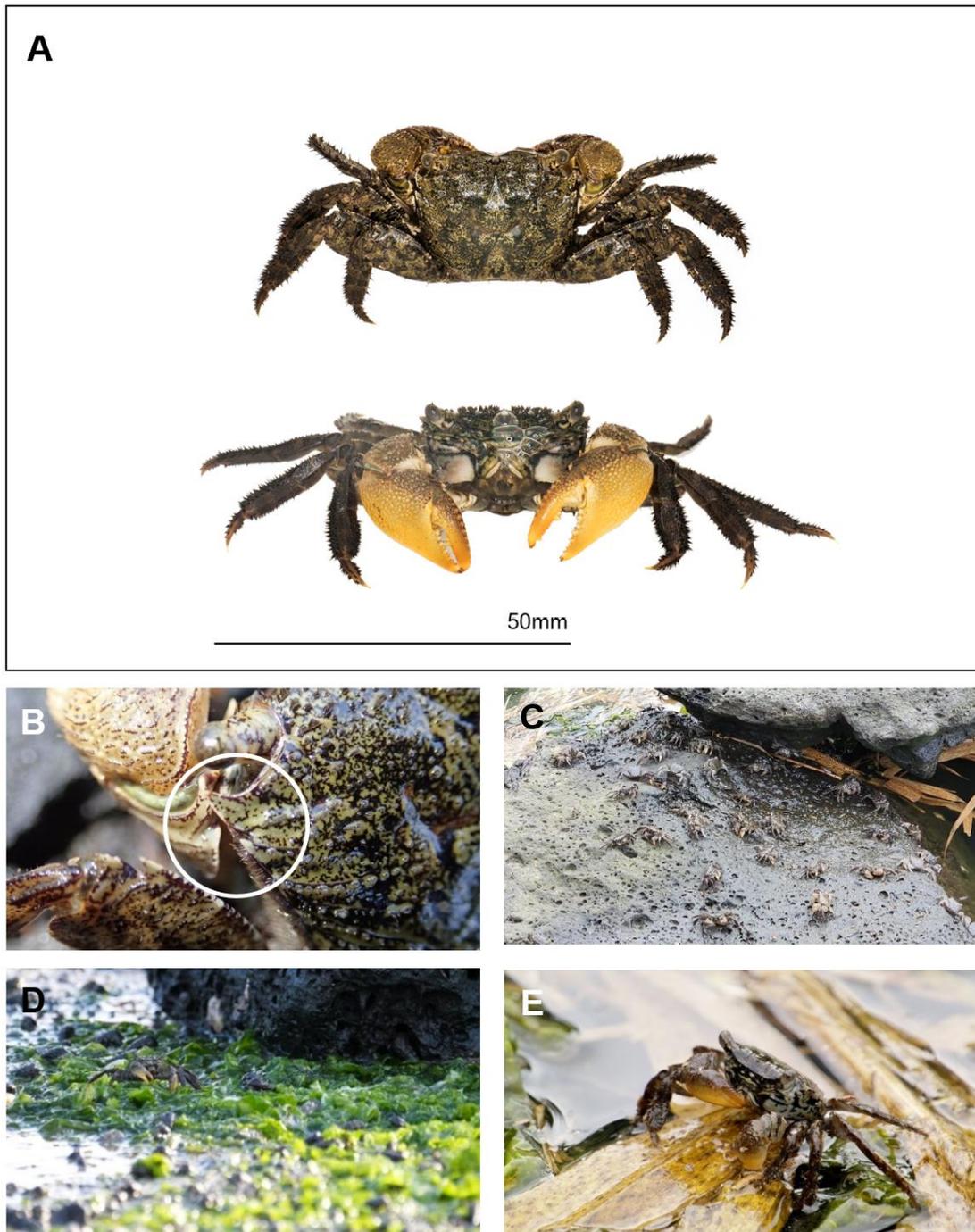


Figure 5 *Parasesarma bidens* (De Haan, 1835) in the Hadori Lagoon. **A**, external features of *P. bidens*, **B**, two distinct teeth on the front corner of the carapace, **C**, the crabs swarming on a rock, **D**, **E**, *P. bidens* feeding on algae *Ulva australis* and reeds.



Figure 6 *Parasesarma pictum* (De Haan, 1835). **A**, the external features, **B**, *P. pictum* crawling on a rock, **C**, feeding food particles and grazing, **D**, *P. pictum* hiding in *O. dehaani*'s burrow, **E**, *P. pictum* cannibalism.



Figure 7 *Parasesarma tripectinis* (Shen, 1940) occurring in the Hadori Lagoon. **A**, the external characteristics, **B, C**, *P. tripectinis* crawling on rocks, **D**, the crab feeding food particles, **E**, *P. tripectinis* hiding in a *O. dehaani*'s burrow.

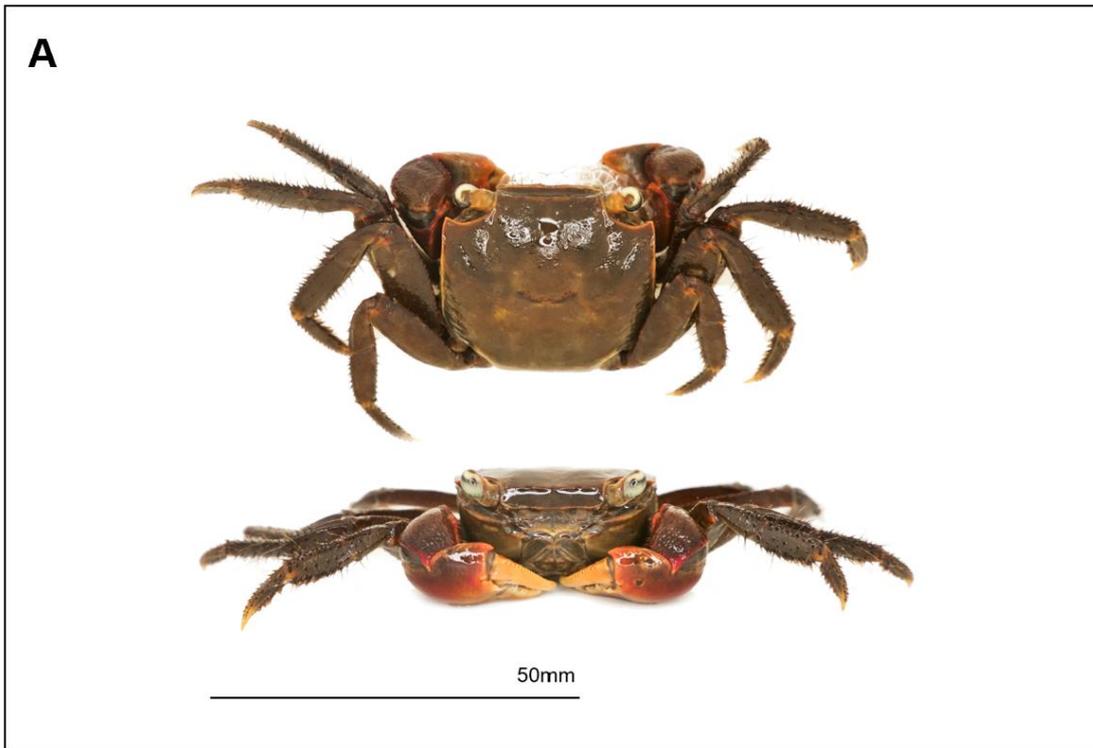


Figure 8 *Chiromantes haematocheir* (De Haan, 1833) occurring on the Hadori Lagoon. **A**, external features of *C. haematocheir*, **B**, *C. haematocheir* occurring in freshwater areas, **C**, mating crabs, **D**, borrows of *C. haematocheri* found on land, **E**, the exuvium.

3.2.2. Family Varunidae 계의 형태학적 특성과 생태

1) 방게 *Helice tridens* (De Haan, 1835)

갑각의 형태는 등근 사각형이었다. 등면이 볼록하고 등갑의 가장자리가 선명했다. 이마가 좁고 앞으로 기울어져 있었다. 앞옆가장자리에는 눈뿔니를 포함해 뚜렷한 세개의 이와 이의 흔적이 하나 더 있었다 (Figure 9A).

방게는 하도리 석호에서 말뚝게 다음으로 많이 관찰되는 종이었다. 말뚝게가 주로 담수 구역에 많은 것과 달리 방게는 1.5-32.5 g/L의 넓은 염분 범위에서 서식하고 있었으며 (Table 2), 조사정점 ④에서는 말뚝게와 비슷한 수가 관찰되었고 조사정점 ⑤에서는 우점종이었다 (Figure 20). 하도리 석호에서 방게가 건조한 육상을 이동하는 모습은 보기 드물었고 대부분은 조간대 상부의 진흙이나 물속에 있는 경우가 많았으며 방게의 굴은 대게 갈대숲 사이 모래와 펄이 섞인 평탄한 지형에서 관찰되었다 (Figure 9B, C). 하도리 석호 생태계에 분포하는 방게는 펄이나 구멍갈파래, 죽은 갈대를 섭식하였다 (Figure 17D, E).

2) 풀게 *Hemigrapsus penicillatus* (De Haan, 1835)

갑각의 옆가장자리는 등글며 앞은 넓고 뒤로 갈수록 좁아지는 형태이다. 앞옆가장자리에는 눈뿔니를 포함해 3개의 이가 있었다 (Figure 10A). 집게 안쪽에 작은 털몽치가 있고(수컷), 손등에 검은 점이 있었다 (Figure 10B).

풀게가 관찰된 곳의 염분은 7.7–32.5 g/L로 (Table 2), 염분이 낮은 최상류에는 출현하지 않았으며 조사정점 ④부터 출현하여 석호 하부 염분이 높은 수문 부근에서 많이 발견되었다 (Figure 20). 대부분은 물속에 있었고 물 밖에 나와 있기도 하지만 돌아다니는 모습은 보기 힘들었으며, 바로 물에 다시 들어갈 수 있는 수면 가까운 곳에 머물렀다 (Figure 10C, D). 조석에 의해 석호의 수위가 낮아졌을 때에는 돌 밑에 숨어 있는 모습을 관찰할 수 있었다 (Figure 10E).

3) 무늬발게 *Hemigrapsus sanguineus* (De Haan, 1835)

갑각의 형태는 양 옆이 약간 볼록하고 뒷부분이 조금 좁은 사각형이었다. 앞옆가장자리에는 눈뿔니를 포함해 3개의 이가 있었다. 등면은 매끈하고 집게발엔 어두운 색의 점이 있고 등갑과 걷는다리에 얼룩무늬가 있었다 (Figure 11A).

하도리 석호에서 무늬발게는 풀게에 비해서 서식범위가 더 좁아 염분이 32.5 g/L인 조사정점 ⑥의 수문 부근 바위 지대에 서식하고 있었으며 (Figure 11B) 그 외 정점에선 발견되지 않았다. 밖으로 다니는 모습은 보기 힘들고 돌 밑에 숨어 있거나 물속 돌 틈에 있었다 (Figure 11C, D). 날이 어두워질 때 돌 위에 올라와 있는 모습을 자주 관찰했지만 물 밖에 나오더라도 빠르게 기어 다니거나 멀리 이동하지는 않았다 (Figure 18E).

4) 동남참게 *Eriocheir japonica* (De Man, 1835)

갑각의 형태는 둥근 사각형이었다. 앞옆가장자리에는 눈뿔니를 포함해 뚜렷한 세개의 이와 이의 흔적이 하나 더 있었다. 집게발에는 길고 풍성한 갈색 털몽치가 있었다 (Figure 12A).

동남참게는 석호 내의 염분 1.5-2.3 g/L인 담수 구역에서 관찰 또는 채집되었다 (Table 2). 특히 조사정점 ①에서는 주로 돌 틈에 숨어있었으며 (Figure 12B, C), 조사정점 ②에서는 물속의 펄 바닥에서 동남참게의 것으로 추정되는 굴과 굴을 판 흔적이 0.1개/m² 정도로 발견되었다 (Figure 12D, E).

5) 애기비단게 *Acmaeopleura parvula* (Stimpson, 1858)

갑각은 앞이 넓고 뒤로 좁아지며 전체적으로 각진 곳이 없이 둥근 모양이었다. 등은 매끄럽고 약간 불룩했다. 갑각의 크기와 걷는다리 길이에 비해 집게 다리가 큰 편이었고 집게 손가락 사이에 갈색 털몽치가 있었다 (Figure 13A). 체색은 주황이나 갈색 등 다양하게 나타났다 (Figure 13B, C, D).

하도리 석호에서 애기비단게는 염분 32.5 g/L인 조사정점 ⑥의 조간대 상조선 부근 자갈이나 돌 아래 숨어있었고 외부에 나와있는 모습은 전혀 관찰되지 않았다 (Figure 13D, E)

6) 갯게 *Chasmagnathus convexus* (De Haan, 1835) Varunidae

갑각의 형태는 너비가 넓고 둥근 사각형이었다. 갑각의 가장자리가 뚜렷하고 집게발이 유난히 크고 길었으며 앞옆가장자리에는 눈뿔니를 포함하여 선명한 세 개의 이가 있었다 (Figure 14A).

하도리 석호에서 갯게가 발견된 곳은 염분이 7.7 g/L인 조사정점 ④ (Table 1)의 바위 아래였다 (Figure 14B, C). 굴 입구는 건조했지만 굴에서 나온 갯게에는 진흙이 묻어 있었다 (Figure 14D). 경계심이 많아 조금만 인기척이 있어도 굴 속으로 숨었으며 멀리 이동하지 않았고 굴 주변에 떨어진 나뭇가지, 나뭇잎을 먹는 모습을 관찰되었다 (Figure 14E).

7) *Varuna yui* (Hwang & Takeda, 1986)

갑각의 형태는 사각형이고 등은 매끈하며 (Figure 15A), 걷는다리의 앞마디와 발가락마디 아래 모서리에 털이 촘촘하게 나 있었다 (Figure 15B). 갑각 크기에 비해 집게는 작고 집게 발 안쪽엔 작은 이들이 여러 개 있었으며 (Figure 15C), 눈뿔니를 포함해 앞옆가장자리에는 이가 3개 있었다 (Figure 15D).

조사정점 ①에서 트랩에 수컷 1개체만 채집되었다 (Table 3). 채집된 곳은 바닥이 돌과 펄로 되어있으며 유속이 느리고 염분이 1.5 g/L로 낮은 곳이었다 (Figure 15E).

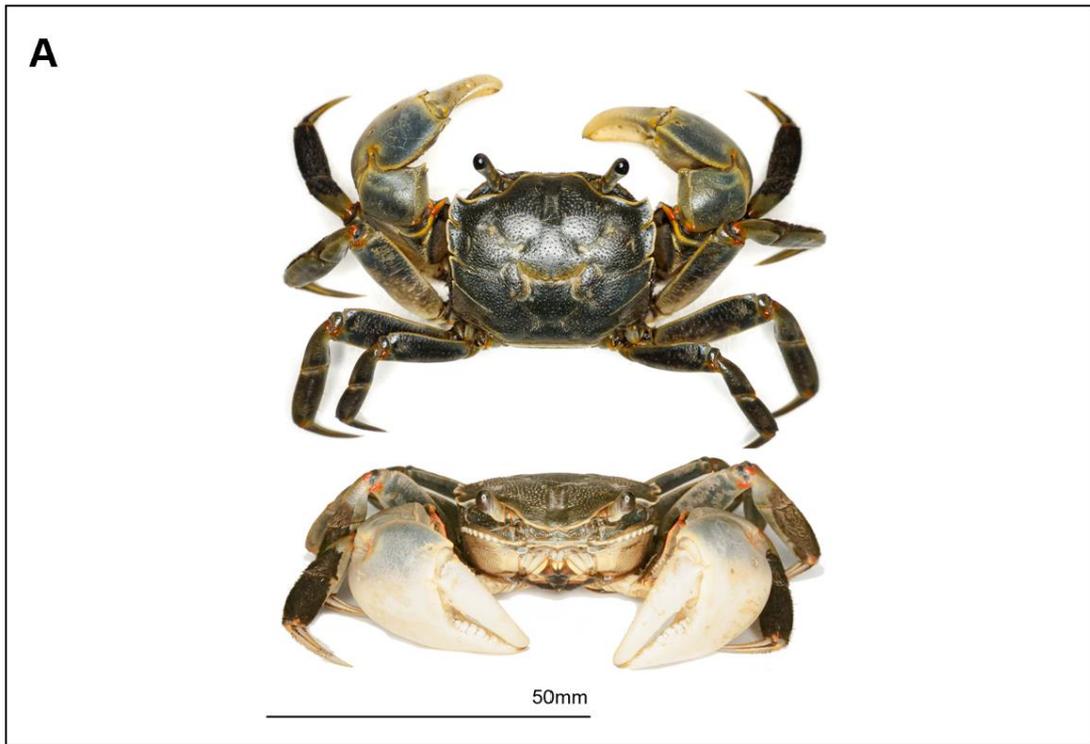


Figure 9 *Helice tridens* (De Haan, 1835). **A**, external features *H. tridens*, **B**, feeding behavior of *H. tridens* in the mud, **C**, burrows of the crab found near the root of reed, **D**, the crab feeding on algae *U. australis* and **E**, reed debris.



Figure 10 *Hemigrapsus penicillatus* (De Haan, 1835). **A, D, E**, external features of *H. penicillatus*, **B**, the male crab's cheliped with hairs, **C**, the crab feeding on *U. astralis*.



Figure 11 *Hemigrapsus sanguineus* (De Haan, 1835). **A**, external features of *H. sanguineus*, **B**, **C**, the crabs found in intertidal rock crevices, **D**, the crab hiding underneath a submerged rock, and **E**, crawling on intertidal rock.



Figure 12 *Eriocheir japonica* (De Man, 1835). **A**, external features of *E. japonica*, **B**, **C**, the crabs hiding under a rock in freshwater, **D**, **E**, *E. japonica* burrow found in a freshwater stream in the upper area of the lagoon.



Figure 13 *Acmaeopleura parvula* (Stimpson, 1858). **A, B**, external features of *A. parvula*, **C, D**, the crabs hiding in the crevice **E**, habitat of *A. parvula*.



Figure 14 *Chasmagnathus convexus* (De Haan, 1835). **A**, external features of *C. convexus*, **B**, habitat of *C. convexus*. **C**, the burrow of the crab, **D**, **E**, the feeding behavior of the crab.

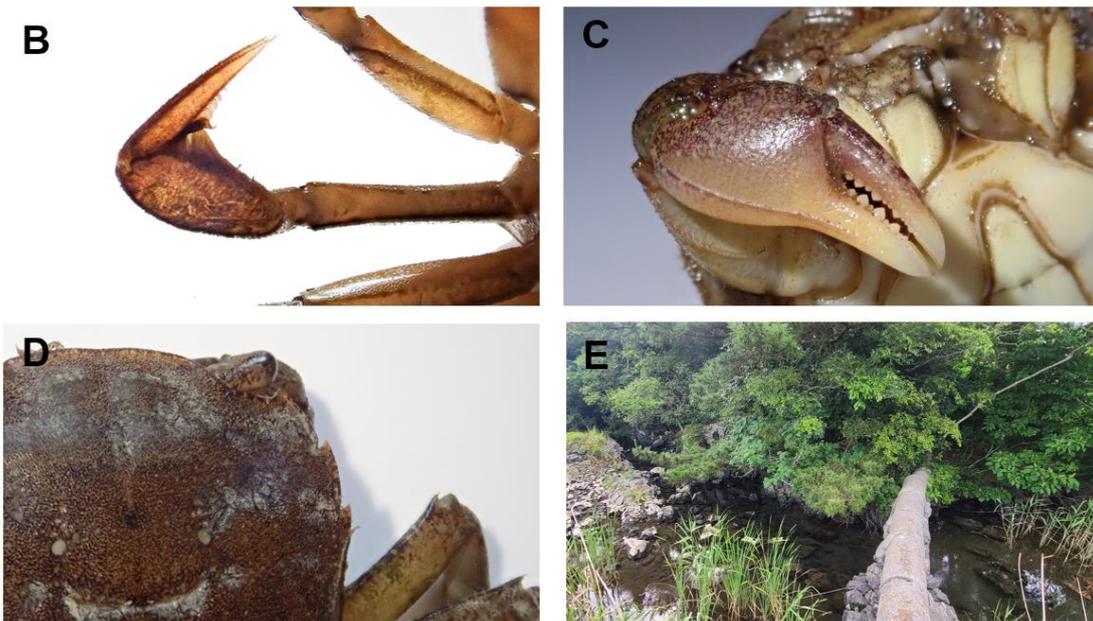


Figure 15 *Varuna yui* (Hwang & Takeda, 1986). **A**, external features of *V. yui*, **B**, fur on the ambulatory, **C**, the cheliped, **D**, teeth on the anterior-lateral margin, **E**, habitat of *V. yui*.

3.2.3. Family Potunidae의 형태학적 특성과 생태

톱날꽃게 *Scylla paramamosain* (Estampador, 1950)

꽃게과의 게는 톱날꽃게 한 종만 서식이 확인되었다. 현재 이 게는 제주도 내에서 조사지역에서만 발견되었다. 갑각의 형태는 마름모에 가까웠으나 암컷은 뒷옆가장자리가 움푹하게 들어갔다 (Figure 16A). 수컷의 집게가 암컷에 비해 컸다 (Figure 16B).

연구 기간 중 목격하거나 채집하지 못하였고 현지 어민으로부터 암수 두 쌍을 입수하였으며 석호 내부 기수구역 수중의 펄속에서 채집되었다는 것을 확인했다.

3.2.4 Family Ocypodidae의 형태학적 특성과 생태

달랑게 *Ocypode stimpsoni* (Ortmann, 1897)

갑각은 사각형인데 등이 볼록해서 둥근 느낌을 주었다. 몸통에 비해 걷는다리가 길고 특히 발가락마디가 길고 날카로웠다. 눈이 매우 크며 눈구멍은 눈이 들어가는 부분과 눈자루가 들어가는 부분이 나뉘어 있었다. 집게발은 한쪽이 다른 쪽보다 현격하게 컸다 (Figure 17A).

달랑게는 하도리 석호 내에서는 발견되지 않았고 하구둑의 바깥쪽 모래해안에 작은 집단이 서식하고 있었다 (Figure 17B). 달랑게가 만조에 모래 조간대 상부에 굴을

파고 있다가 물이 빠지면 썰물을 따라 내려가며 모래에 섞인 유기물을 걸러 먹는 모습을 관찰했다 (Figure 17C). 여름철 수컷은 붉은색을 띠며 양 집게발을 위로 들어 올리고 굴 입구를 두드리는 등의 과시행동을 하며 집게의 돌기를 문질러 소리를 냈다 (Figure 17D). 하구 독으로 인해 사구가 좁아져 서식지가 넓지 않았으며 5~6월에 많이 보이다가 여름철엔 점차 구멍갈파래가 서식지를 덮고 해수욕객이 많아지며 관찰되는 개체 수가 줄어들었다 (Figure 17E).

A



50mm

B



Figure 16 Morphological features of *Scylla paramamosain* (Estampador, 1950). **A**, female, **B**, male.



Figure 17 *Ocypode stimpsoni* (Ortmann, 1897). **A**, external features of *O. stimpsoni*, **B**, the habitat, sandy shore outside a lagoon, **C**, *O. stimpsoni* feeding behavior, **D** the male trimming the perimeter of the burrow, **E**, *O. stimpsoni* crawling on the sand flat in summer.

3. 3. *Varuna* SP.의 분자생물학적 동정 결과

구축된 계통수 상에서 Varunidae과에 속하는 계류들은 각 속 별로 분리되었으며, 제주도에 서식하는 계류는 *Varuna* 속에 그룹화 되었다 (Figure 31). 제주도에 서식하는 *Varuna* sp. 는 홍콩과 말레이시아 페낭 (말레이시아)에 서식하는 *V. yui* 와 가장 밀접한 유연관계를 보였으며, 중국의 산터우, 그리고 인도의 Vembanad Lake에 서식하는 *V. litterata*의 COI 염기서열과도 높은 유사성을 보였다 (Figure 18).

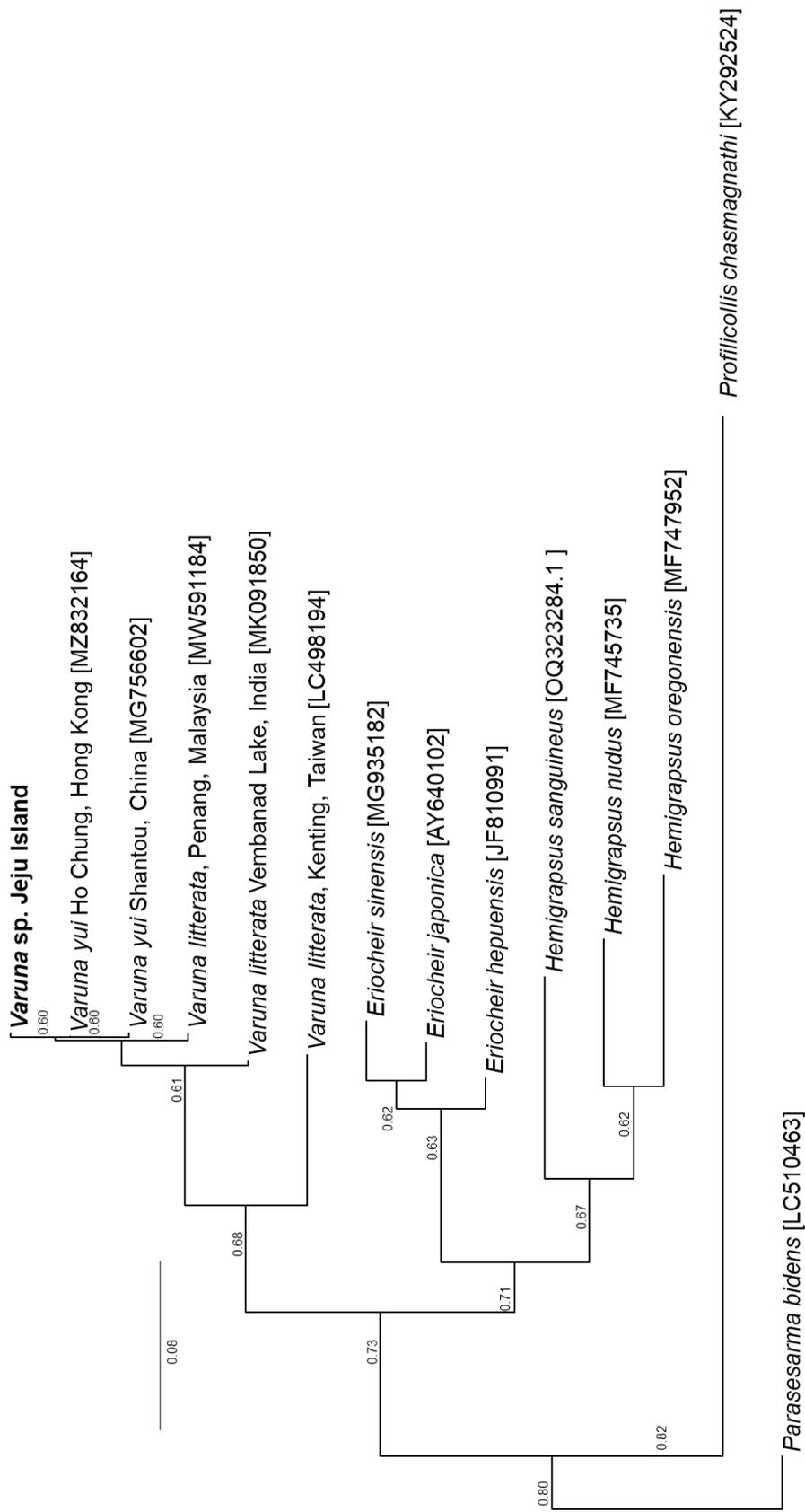


Figure 18 Maximum likelihood (ML) phylogeny of Varunidae species based on the COI sequence. *Sesamidae* (*P. bidens*) was used as the outgroup. Numbers on the branches indicate ML bootstrap percentages (1000 replicates). The Genbank accession numbers for the published sequences are incorporated. The bolds indicate *Varuna* sp. examined in this study.

3. 4. 트랩을 이용한 채집 결과

물밖에서 관찰되지 않는 종의 확인을 위해 ⑦정점을 제외한 6곳의 조사정점의 수중에 트랩(입구가 6개인 통발)을 각각 2회씩 설치했으며 미끼는 생선을 사용하였다 (Figure 19A, B, C).

조사정점 ①에서는 동남참게 5마리, 방게 2마리, *V. yui* 1마리가 채집되었고 (Figure 27D), 조사정점 ②에서는 동남참게 4마리가 채집되었으며, 조사정점 ③에서는 한 마리도 잡히지 않았다. 조사정점 ④에서는 방게 12마리, 풀게가 4마리 채집되었으며, 조사정점 ⑤에서는 방게가 6마리, 풀게가 3마리 채집되었다. 조사정점 ⑥에서는 방게 2, 풀게 7, 무늬방게가 3마리 채집되었다 (Table 3).

Table 3 Number of crabs captured using the trap in this study.

Site	Species	N
①	<i>Eriocheir japonica</i>	5
	<i>Helice tridens</i>	2
	<i>Varuna yui</i>	1
②	<i>Eriocheir japonica</i>	4
③		0
④	<i>Helice tridens</i>	12
	<i>Hemigrapsus penicillatus</i>	4
⑤	<i>Helice tridens</i>	6
	<i>Hemigrapsus penicillatus</i>	3
⑥	<i>Helice tridens</i>	2
	<i>Hemigrapsus penicillatus</i>	7
	<i>Hemigrapsus sanguineus</i>	3



Figure 19 A, traps used in crab collection, B, the trap installed at sampling site 1, C, the trap deployed at sampling site 4, D, *E. japonica* and *H. tridens* caught in the trap at sampling site 1.

3.5. 각 조사점점의 환경 및 계 분포

이 연구에서 설정한 하도리 석호 7개 조사점점에 분포하는 계는 염분 구배 및 서식지 환경에 의해 그 분포가 결정되는 것으로 사료되었다 (Table 2). 염분에 의한 공간적 분포양상이 뚜렷한 종은 말뚝계로 하도리 석호에서 가장 많이 발견되는 종이었지만 담수구역에 비해 염분이 높은 곳에서는 현저히 적게 관찰되었다. 또한 동남참계는 최상부와 용천수 부근의 염분이 낮은 담수구역의 물속에서만 발견되었다. 염분에 큰 영향을 받지 않고 가장 넓게 분포하는 계는 방계와 도둑계로 나타났으며 방계가 물속이나 물가에 머무는 반면 도둑계는 육상으로 멀리 진출하여 골고루 퍼져 있었다. 풀계는 주로 염분이 높은 지역의 물속이나 수면 가까이 머무는 것이 많았고 사각계는 염분이 높은 곳의 바위나 돌 틈에 많았으며, 두이빨사각계는 구멍갈파래나 죽은 갈대가 떠밀려와서 쌓이는 바위지대에 집중되어 있었다 (Figure 20).

1) 조사점점 ①, 석호 상부의 용천수가 흘러 드는 작은 담수 개울 (Figure 21)

이 조사점점은 하도리석호의 최상부에 해당하며 바로 위로는 도로가 있고 도로 아래 쪽에서 항상 많은 양의 용천수가 석호로 흘러 드는 곳이다. 이곳의 염분은 1.5 g/L이며 (Table 1), 저질은 암반과 펄이 섞여 있고 펄 지역엔 갈대가 밀생하였다. 물 주변의 둔덕과 숲에는 말뚝계의 굴이 많고 육상에선 대부분 말뚝계가 관찰되었다. 물속의 펄이나 돌 아래에서는 동남참계가 발견되었으며 갈대 숲의 평탄한 펄 바닥에선

방게도 나타났다. 이곳에 설치한 트랩에 *V. yui* 가 포획되었다 (Table 3).

2) 조사정점 ②, 석호 상부의 용천수가 많이 솟는 담수호 (Figure 22)

이 정점은 조사정점 ①과 가깝지만 독으로 분리되어 있고 하류로도 작은 수문만 하나 있어 어느 정도 외부와 격리된 호수 형태이다. 2m 높이의 독 너머로는 넓은 갈대숲이 이어진다. 호수에는 많은 양의 용천수가 용출되며 염분은 2.3 g/L로 담수에 가까웠고 저질은 대체로 펄이다. 이곳의 우점종은 말뚝게이며 붉은발말뚝게와 도둑게도 나타났다. 수면 아래 펄에는 동남참게의 굴과 굴을 파낸 흔적이 보였다. 독 위와 독의 경사면에 말뚝게가 뚫어 놓은 굴이 매우 많았고 (Figure 3A), 독의 돌 틈과 돌 위에도 많은 말뚝게가 먹이 활동하는 모습을 볼 수 있었다.

3) 조사정점 ③, 석호 중부의 수로를 건너는 작은 다리 부근 (Figure 23)

조사정점 ①에서 약 500m 하부로 내려온 곳이며 수로 위로 콘크리트 다리가 있다. 석호 전체에서 유일하게 물에 들어가지 않고 반대편으로 건너갈 수 있는 곳이다. 주변에 비해 폭이 좁은 지형으로 조석에 의한 물흐름이 매우 빠르게 보이고 그에 따라 구멍갈파래나 죽은 갈대가 떠내려가다 다리 주변에 걸려 쌓이는 현상이 자주 목격되었다. 염분은 6.2 g/L이었고 (Table 1), 다리 밑은 주변에 비해 깊어 만조에는 수심이 약1.5m가 되었다. 다리 주변에는 바위로 쌓은 독이 있으며 바위 주변은 석호에서 유일하게

두이빨사각계가 우점하는 곳이었다 (Figure 20). 하지만 다리 주변 갈대숲에서는 방게가, 만조선보다 높은 곳에서는 말뚝게가 발견되었다. 수중 트랩에는 아무것도 잡히지 않았다 (Table 3).

4) 조사정점 ④, 석호 중부 갈대가 많은 지역 (Figure 24)

이곳의 염분은 7.7 g/L이었다 (Table 1). 수심은 50cm이하로 얇고 물가에는 갈대가 군락을 이루며 수면과 길의 경계에 돌이 쌓여 있다. 비포장인 길의 폭은 약 3m이고 수면 반대편은 가파른 기슭이다. 길과 경사면 사이에는 바위가 많고 풀이 우거지며 그 위로는 나무가 많은 숲이다. 주변 언덕 위에 농경지가 있으며 그 위에서도 말뚝게와 도둑게의 굴이 발견되었다. 말뚝게는 갈대숲 부근부터 약 5m 높이의 언덕 위까지 가장 넓은 범위에서 발견되었으며 많은 개체가 관찰되었다. 방게는 만조선 아래의 젖어 있는 펄 지역에서는 우점했으나 길과 물의 경계에 쌓아 놓은 돌무더기엔 붉은발사각계가 많았고 길과 숲 사이 경계에서 몇 개의 갯게 굴과 갯게가 관찰되었다. 붉은발말뚝게와 도둑게는 주변 숲에서 관찰되었다.

5) 조사정점 ⑤, 석호 하부 독 부근 용천수와 갈대숲 (Figure 25)

이곳은 하구 독의 서쪽 끝 부근으로, 주변엔 갈대가 밀생하고 구멍갈파래가 많이 쌓인다. 가장자리에 웅덩이 형태의 용천수가 있어 그 가운데는 1m 정도로 깊고

주변은 바위와 돌로 둘러싸여 있다. 용천수 안과 밖은 환경조건과 거의 분포가 뚜렷히 다른 것으로 관찰되었다. 용천수 웅덩이 안의 염분은 4.9 g/L (Table 1)로 내부에 설치한 트랩에는 풀게와 방게가 채집되었고 (Table 3), 웅덩이 주변 바위에서는 두이빨사각게, 말뚝게와 도둑게 가 보였던 반면, 용천수를 벗어난 지역의 염분은 22.5 g/L이었으며 모두 방게만 관찰되었다. 갈대숲과 주변의 저질은 모래와 펄이 섞였고 평탄하고 수심이 50cm이하로 낮았다. 방게는 이 조사정점 외에도 이곳과 비슷한 환경 조건의 광범위한 지역에서 말뚝게를 비롯한 다른 게에 비해 빈번하게 관찰되었다.

6) 조사정점 ⑥, 석호 하부 수문 부근 (Figure 8).

석호와 바다의 물이 유통되는 유일한 수문이 있는 곳이며 수문의 폭은 10m이다. 염분은 32.5 g/L (Table 1)로 주변 바다에 가까웠다. 수심은 수문 앞에만 1.5m이상으로 깊고 주변은 모래가 퇴적되어 얇다. 조석에 따라 물의 흐름이 바뀌는 것이 확연히 나타났다. 수문 부근에는 석호 내에서 발생한 구멍갈파래가 떠나려와 많이 쌓여 있었다. 둑의 바위 틈과 수면의 구멍갈파래 위에서는 주로 풀게가 관찰되었고 둑 옆 암반 경사면에서 그 외의 다양한 게가 보였다. 풀게와 두이빨사각게도 관찰되었으며 무늬발게와 애기비단게는 석호내에서 이 곳에서만 발견되었고 사각게와 도둑게도 확인되었다. 다른 정점과 달리 말뚝게가 드물게 나타났다.

7) 조사정점 ⑦, 석호 외부 모래 해변 (Figure 9)

이곳에서 측정된 염분은 35.7 g/L이었다 (Table 1). 하구둑 밖에는 넓은 모래해변이 조성되어 있는데 그중 조간대 상부에 사구 형태로 모래가 쌓여 있었다. 그러한 지역은 전체 해안에서 매우 좁은 구역에 해당하며 달랑계는 그 중에서도 일부 구간에서만 집중적으로 발견되었다. 4월에는 굴의 흔적만 보이고 5월부터 나타나기 시작해 6월에 많은 개체가 활동하는 모습을 보았으나 7월부터 해수욕객이 많아지고 서식지에 구멍갈파래가 쌓이면서 관찰이 어려워졌다. 독의 돌 사이에서는 사각게가 관찰되었다.

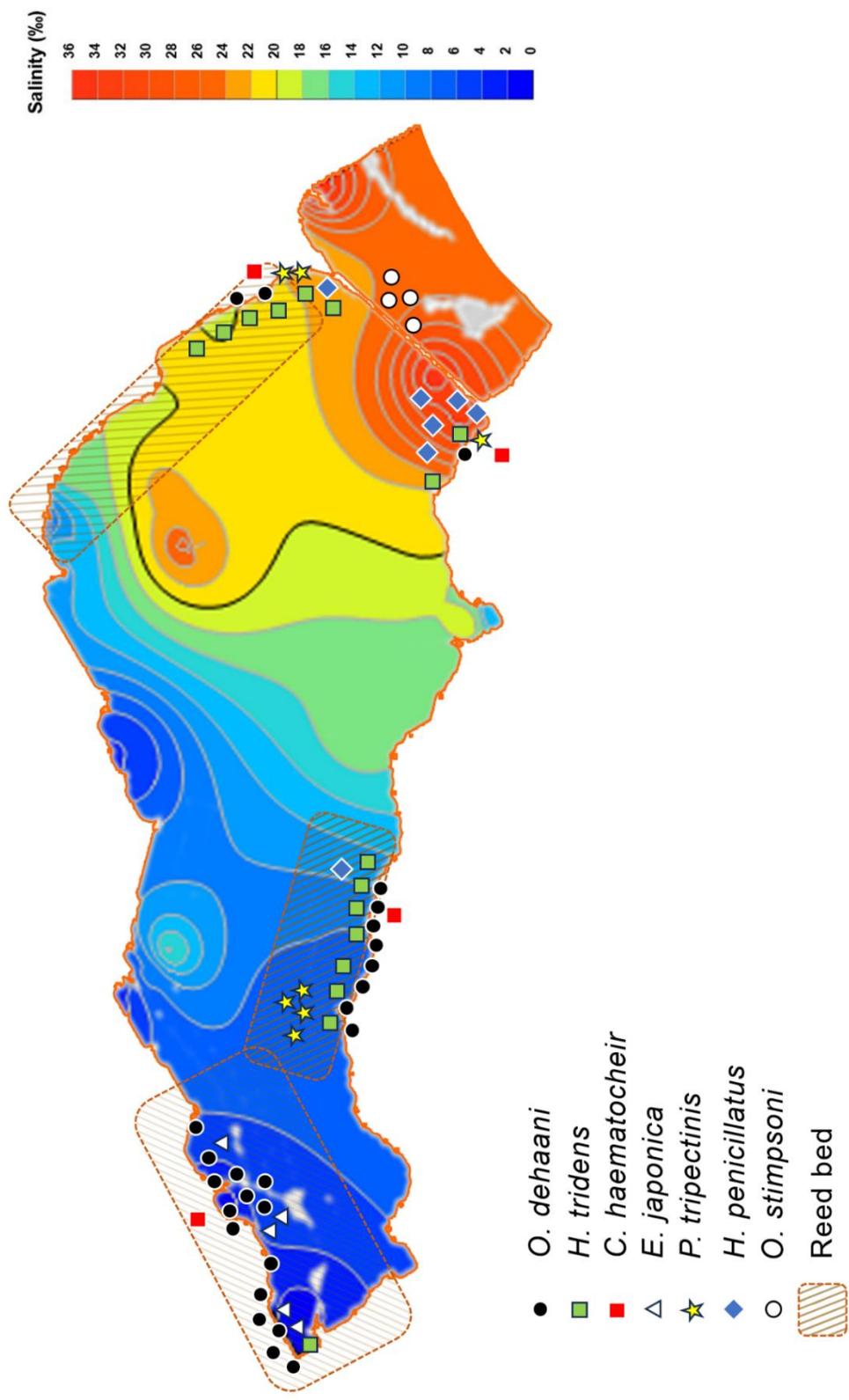


Figure 20 Spatial distribution of salinity, tidal height, and crab species in the study area.

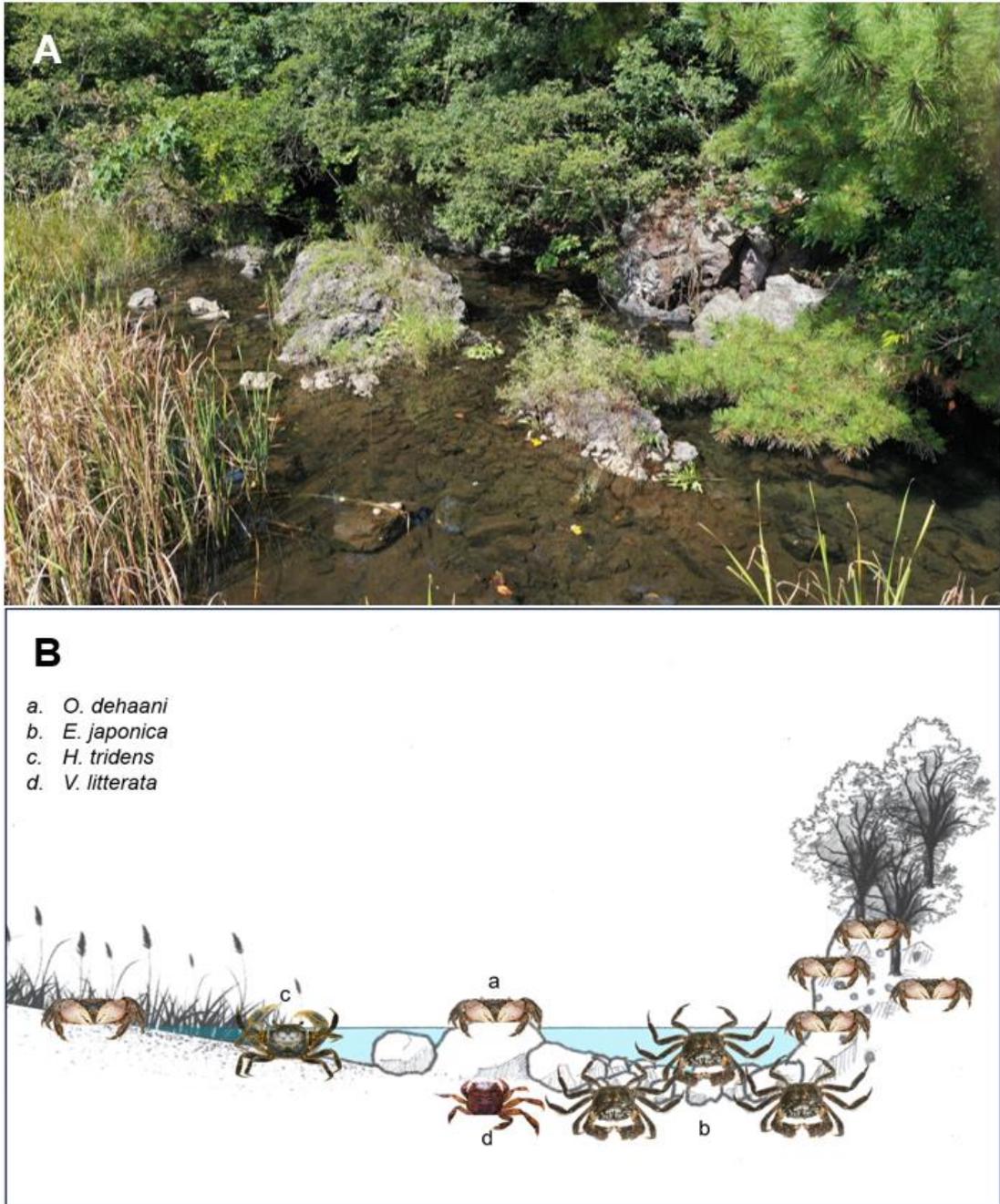


Figure 21 **A**, the upper lagoon area where a small freshwater stream runs into the lagoon. **B**, cross-section view of the survey site and dominant crabs regarding the numbers.

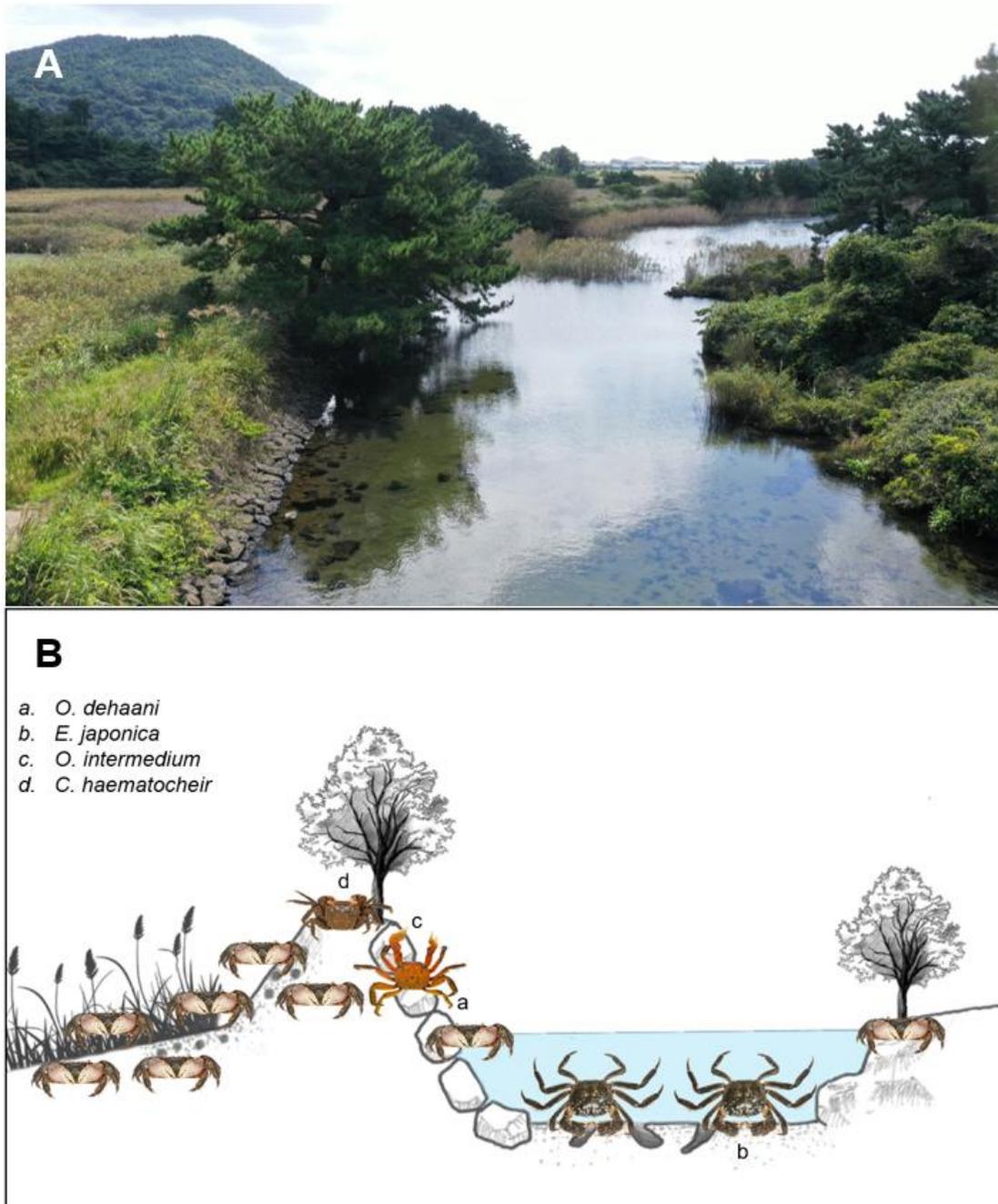


Figure 22 **A**, the upper lagoon areas with several freshwater springs. **B**, cross-section view of the survey site with crabs identified from this area.

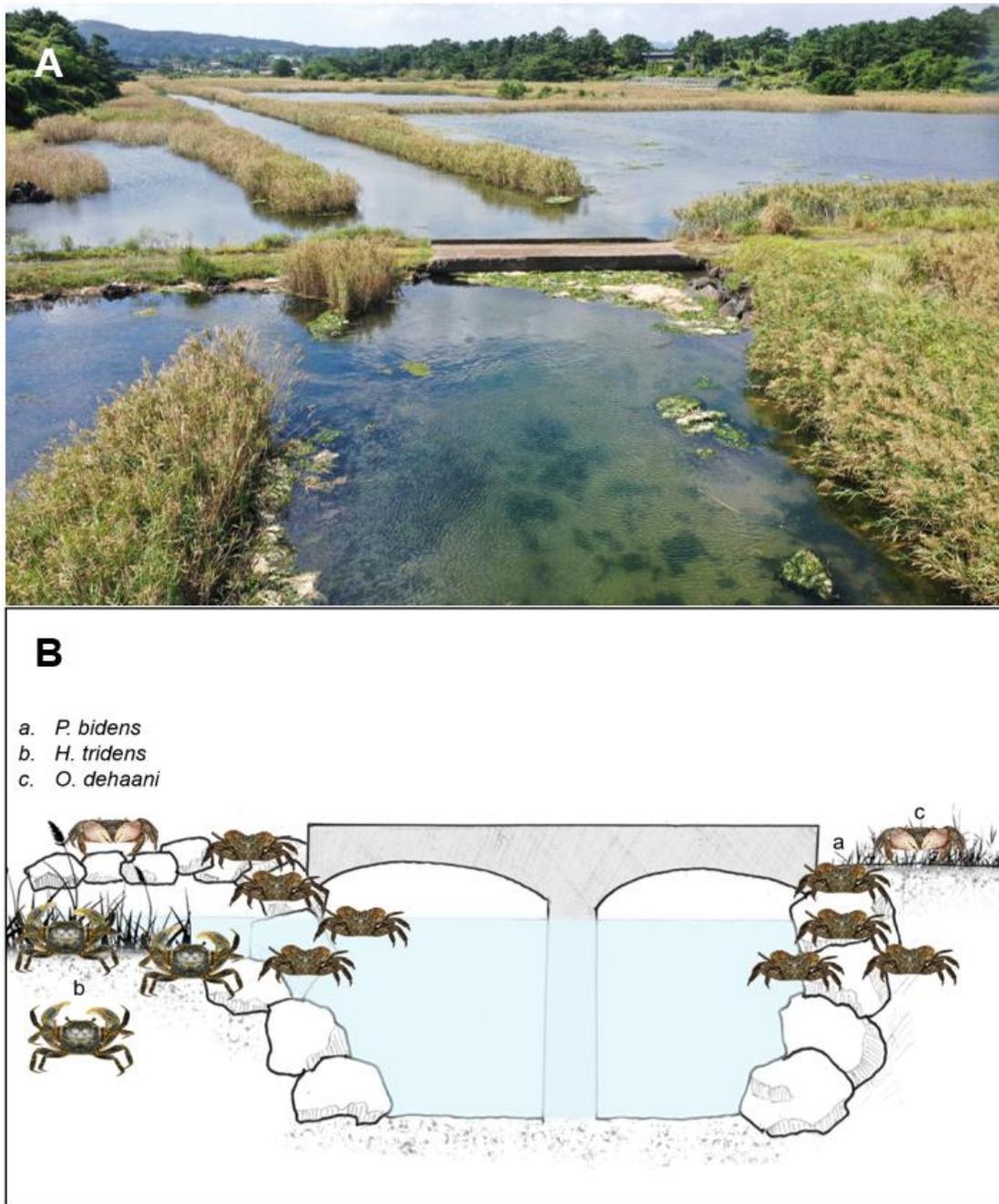


Figure 23 **A**, the middle lagoon area with a bridge. **B**, cross-section view of the survey site with crabs identified from this site.

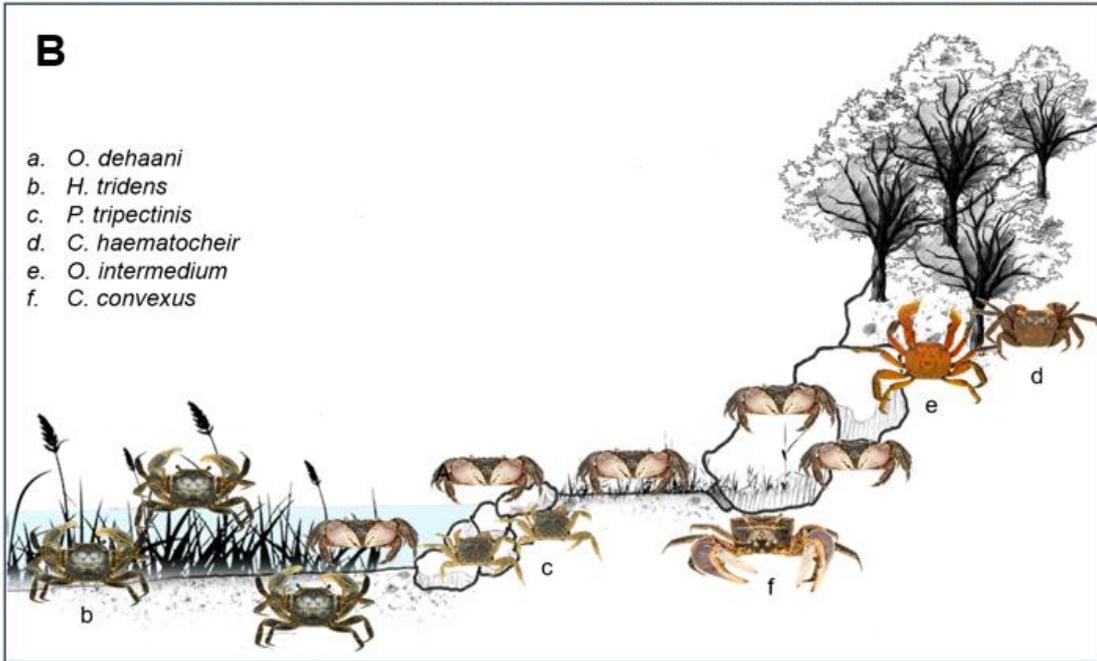


Figure 24 **A**, the middle part of the lagoon characterized by the reed forest. **B**, cross-section view of the survey site crabs identified from this site.

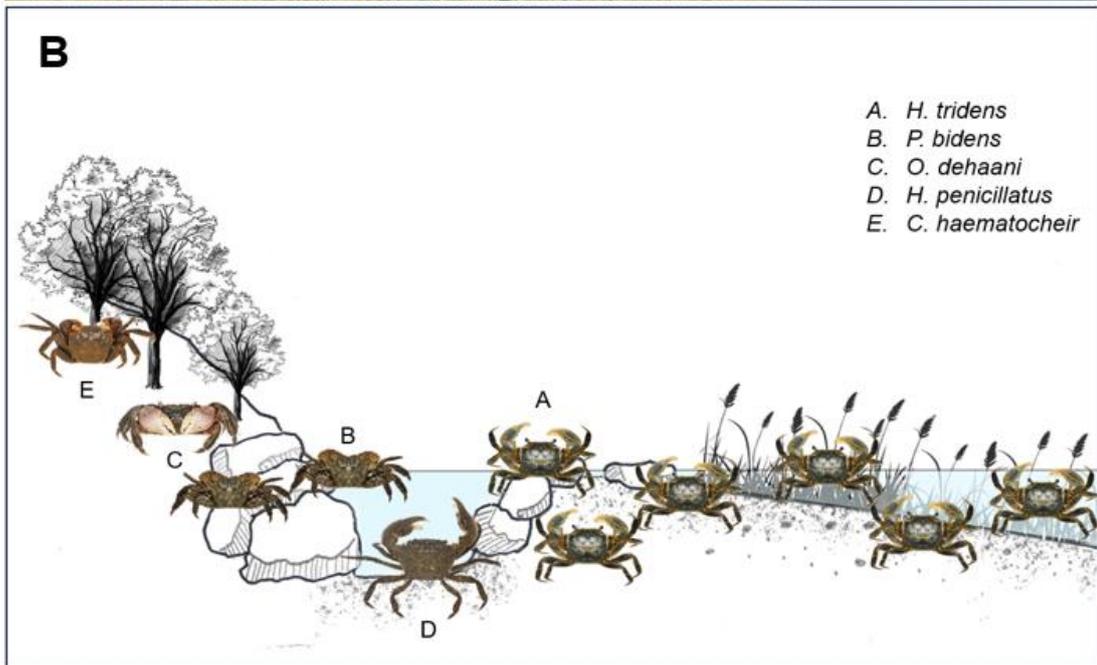


Figure 25 A, the lower area of the lagoon near the dike and a circle in the photo indicating a freshwater spring. **B**, cross-section view of survey site showing crabs identified from this area.

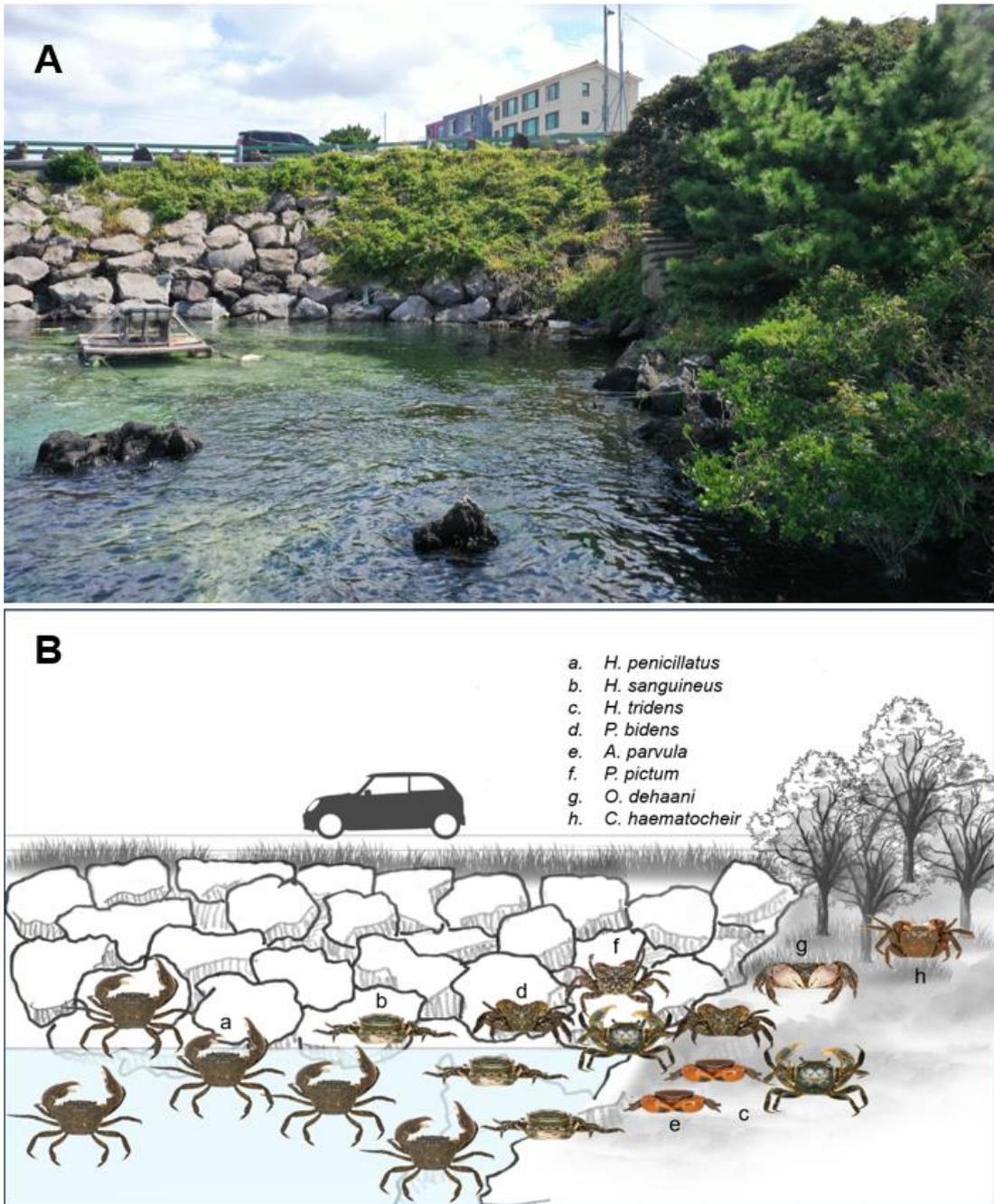


Figure 26 **A**, the lower part of the lagoon near the water gate. **B**, cross-section view of the survey site with crabs identified from this site.

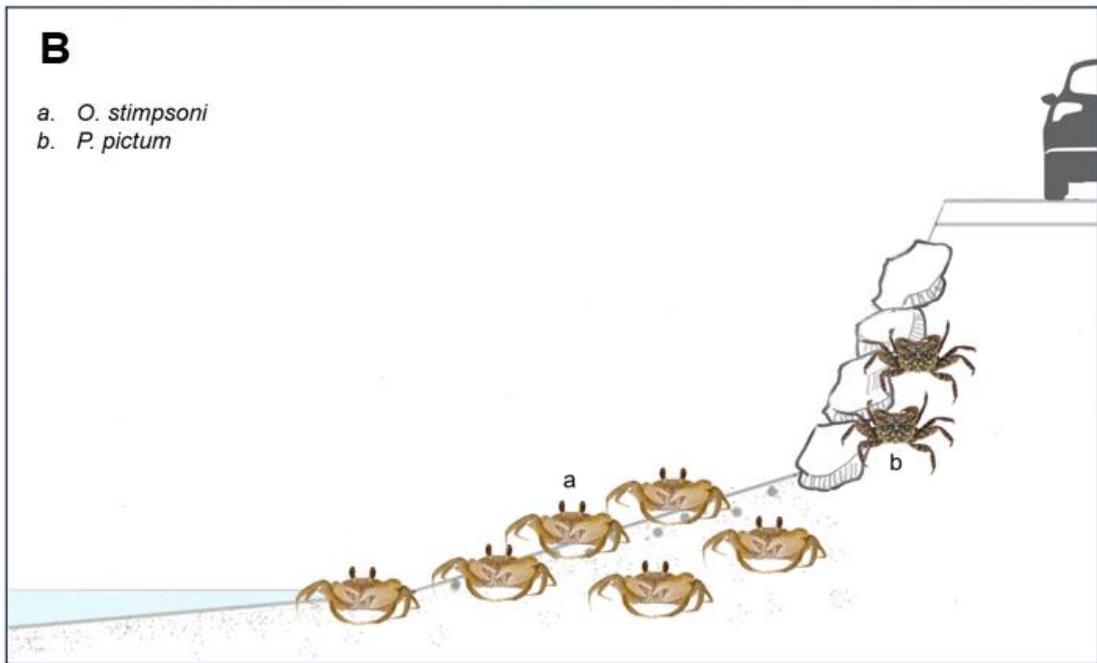


Figure 27 **A**, sandy shore outside of the dike. **B**, cross-section view of the survey site showing crabs identified from this site.

3.6. 연구 지역 및 조사정점 3D 지도

Figure 28과 같이 드론으로 촬영하여 얻은 데이터로 3D 지형도를 만들어 3D 이미지 구현이 가능한 플랫폼인 Sketchfab 웹사이트 (<https://sketchfab.com>)에 업로드하였다. 전체를 여러 각도에서 볼 수 있으며 높낮이도 파악할 수 있도록 했으며 7곳의 각 조사정점을 선택하여 고해상도로 확대하여 현장의 지형과 환경을 알 수 있게 하였다. 하도리 석호 전체와 조사정점 7곳의 3D 이미지 웹 링크는 부록에 수록하였다.

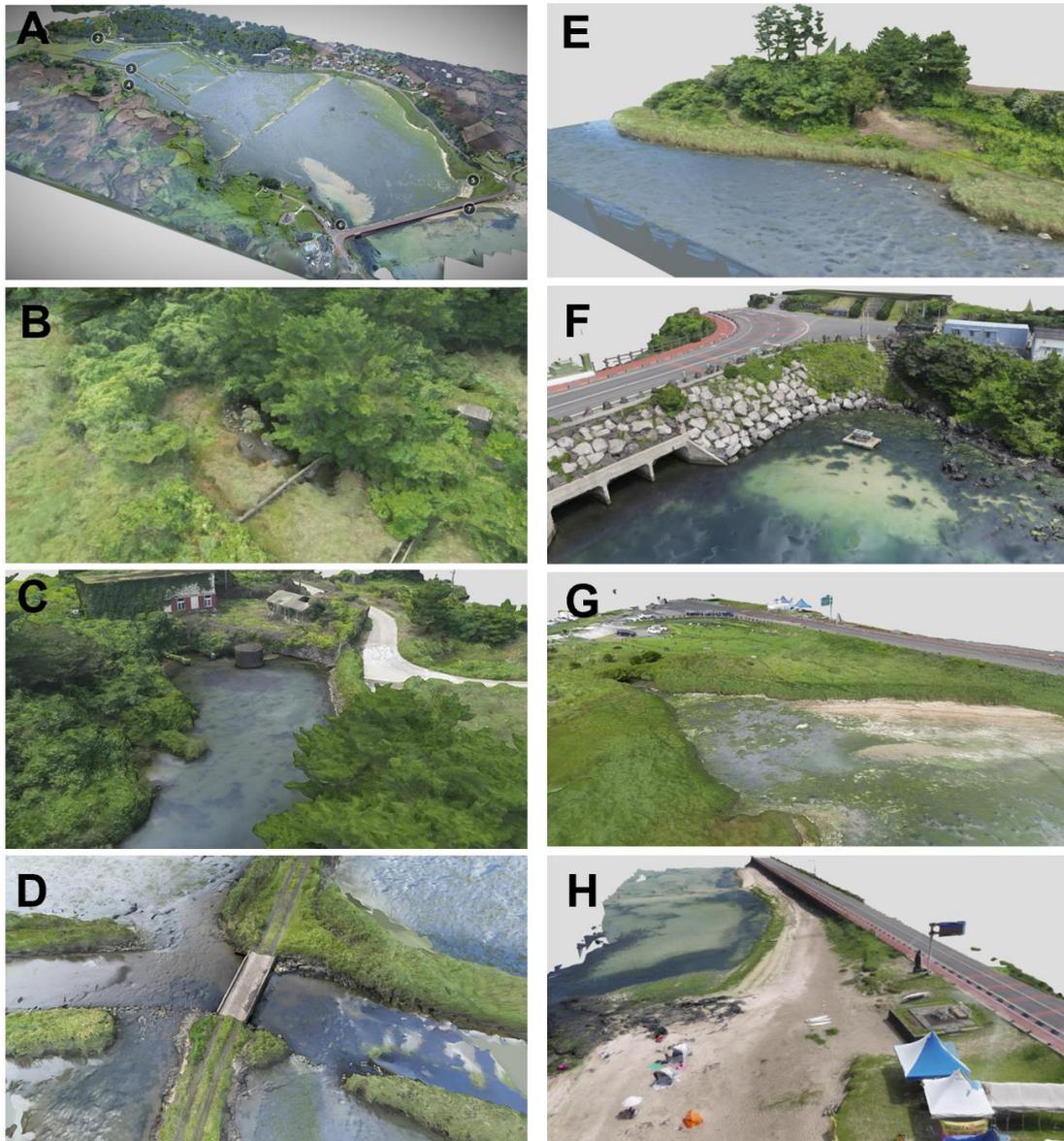


Figure 28. Three-dimensional image of the sampling sites in the lagoon. **A**, Hadori Lagoon, **B**, sampling site ①, **C**, sampling site ②, **D**, sampling site ③, **E**, sampling site ④, **F**, sampling site ⑤, **G**, sampling site ⑥, **H**, sampling site ⑦.

4. Discussion

계는 육상에 적응한 해양 동물로 그 중에는 육상 호흡이 어려운 종도 있지만, 많은 계들은 육상 호흡이 가능하도록 진화하였으며 물과 공기 모두 호흡이 가능한 이중 호흡을 한다 (Halperin et al., 2000). 조간대, 하구 또는 담수구역이나 육상까지 진출한 계들은 종이나 성장 단계에 따라 적응하는 환경이 다르며 선호하는 서식 조건이 있다 (Spivak, 1994). 이 연구를 통해 하도리 석호에서 관찰된 15종의 계들이 염분, 기질의 유형, 주변 식생과 지형까지 다양한 조건에 따라 공간 분포 패턴을 나타낸다는 것을 확인했다.

석호의 우점종인 말뚝계와 방계의 서식지는 서로 겹치는 구간도 있었으나 전체적인 분포는 구분되어 있었고 같이 섞여 있는 곳에서도 작은 환경 차이로 어떤 종이 더 많거나 적은 현상이 나타났다. 그러므로 하도리 석호에서 다양한 계들이 서식하고 있는 것은 석호의 환경 요인이 다양하다는 것을 의미한다.

해양이나 담수에 비해 상대적으로 생물다양성이 부족한 기수 생태 (Elmgren, 1997)에서 계의 역할은 매우 중요하다. 특히 하도리 석호는 해수 유통이 매우 제한되어 있고 마을과 농경지가 인접해 있어 오염물질이 유입되거나 구멍갈파래 번성 등 수질이 악화될 요인이 많다. 대형 저서동물은 환경 지표종이고 (Grizzle, 1984) 그 중 계는 화학적 오염을 모니터링 하는 도구이며 (Fleming et al., 2020), 또한 계는 습지로 유입되는 다양한 유기물을 분해하고 갈대 등 식생의 생장에 도움을 주며 굴을 파서 토양에 산소 및 박테리아, 영양물질의 순환을 돕는다 (Mchenga & Tsuchiya, 2008)는 것이 여러 연구를

통해 알려져 있다. 하도리 석호의 게들도 구멍갈파래, 갈대나 동식물의 사체 그리고 쓰레기 등 수질을 오염시킬 수 있는 것들을 섭식하는 것이 밝혀졌고 펄과 흙에 게들이 뚫어 놓은 많은 굴이 관찰되었다.

과거에 발견되지 않던 톱날꽃게, *V. Yui* 등 남방 종의 등장은 이들이 기후변화의 지표종이 될 수 있음을 시사한다. 이 연구에서는 한 마리만 채집된 *Varuna*속의 게는 *V. yui* 로 판명되었으나, *V. yui*는 아직 국내에서 형태학적으로 분류한 최초의 기록 (Lee et al., 2022)만 있고 분자생물학적 분석에서 *V. litterata*의 COI 염기서열과도 매우 유사한 결과를 얻었으므로 추후 더 많은 표본으로 분석하여 정확히 동정할 필요가 있다. 또한 톱날꽃게는 제주 내 다른 곳에서는 아직 발견되지 않았으므로 지속적인 모니터링과 조사가 필요하다.

전국적인 추세와 마찬가지로, 제주도 또한 해안에 도로나 둑, 방파제 등의 구조물이 건설되어 인공적인 환경으로 바뀌는 곳이 많아지고 있다. 도로는 야생동물의 이동 경로를 막아 개체군에 영향을 주며 둑으로 단절된 둑 내부는 퇴적물로 인해 수심이 낮아지고 수온과 탁도가 올라가는 등 환경에 영향을 준다 (Coffin, 2007).

제주도는 용천수나 하천이 많아 도로나 둑으로 갇힌 지역에 기수 습지가 조성되는 경우가 많으며 격리된 지역의 생태환경과 서식종이 외부의 조간대와 확연히 구분되는 경우가 많다. 하지만 국내에는 최근에 기록된 나주게 (Lee & Kim, 2020)를 제외하면 일생을 담수에서만 보내는 게가 없고 성체는 담수 또는 기수 지역에

머물더라도 유생은 바다나 염분이 높은 곳까지 흘러가서 성장해야 하므로 게가 번성하려면 반드시 바다와 연결된 안전한 통로가 확보되어야 한다. 이 연구에서도 동남참게가 담수 구역에서 관찰되었지만, 많은 연구에서 번식기에는 바다로 이동하는 것으로 알려져 있으며 (Kobayashi & Matsuura, 1994), 도둑게의 경우 번식기에 암컷만 바다로 이동하기 때문에 서식지와 바다 사이에 도로가 있으면 로드킬로 인해 암컷이 줄어든다는 연구가 있다 (Ryu & Kim, 2020).

게는 해안에 많이 서식하며 비교적 관찰이 쉬운 해양생물이지만 게의 생태에 대해선 많이 알려지지 않았다. 특히 산업적 활용이 어려운 작은 게들의 경우, 수명과 번식, 먹이, 이동 등 일반적인 생태에 대한 연구도 부족하다. 특히 제주도 기수역에서 가장 쉽게 접할 수 있는 말뚝게와 방게 조차도 생태에 대해 알려진 것이 많지 않다. 한 지역의 생태환경과 생물다양성 유지에 게의 역할이 크므로 하도리 석호에서 서식하는 게들에 대한 연구의 필요성이 크다.

References

- 홍승호, 고석문, 강인구 & 고동범 (2009) 갑각류 체험학습 길잡이. 도서출판 한글. 201 pp
- Adamczewska, A. M., & Morris, S. (2001). Ecology and behavior of *Gecarcoidea natalis*, the Christmas Island red crab, during the annual breeding migration. *The Biological Bulletin*, 200(3), 305-320.
- Bolt, M. H., Callaghan, C. T., Poore, A. G., Vergés, A., & Roberts, C. J. (2022). Using the background of fish photographs to quantify habitat composition in marine ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 688, 167-172.
- Boudreau, S. A., & Worm, B. (2012). Ecological role of large benthic decapods in marine ecosystems: a review. *Marine Ecology Progress Series*, 469, 195-213.
- Callaghan, C. T., Ozeroff, I., Hitchcock, C., & Chandler, M. (2020). Capitalizing on opportunistic citizen science data to monitor urban biodiversity: A multi-taxa framework. *Biological Conservation*, 251, 108753.
- Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15(5), 396-406.
- Darnell, M. Z., Rittschof, D., Darnell, K. M., & McDowell, R. E. (2009). Lifetime reproductive potential of female blue crabs *Callinectes sapidus* in North Carolina, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 394, 153-163.
- Davies, A. B., & Asner, G. P. (2014). Advances in animal ecology from 3D-LiDAR ecosystem mapping. *Trends in Ecology & Evolution*, 29(12), 681-691.
- Elmgren, R., & Hill, C. (1997). Ecosystem function at low biodiversity the Baltic example. In: Ormond R. F. G, Gage, J. D. & Angel, M. V. (eds), *Marine biodiversity: patterns and processes*, 319-336. Cambridge University Press, Oxford.
- Fleming, J., Sutherland, C., Sterrett, S. C., & Campbell Grant, E. H. (2020). A latent process model approach to improve the utility of indicator species. *Oikos*, 129(12), 1753-

1762.

- Folmer, O., Black, M., Hoeh, W., Lutz, R., & Vrijenhoek, A. R. (1994). DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Mol. Mar. Biol. Biotechnol* 3(5):294-9.
- Grizzle, R. E. (1984). Pollution indicator species of macrobenthos in a coastal lagoon. *Marine Ecology Progress Series*, 18:191-200.
- Halperin, J., Ansaldo, M., Pellerano, G. N., & Luquet, C. M. (2000). Bimodal breathing in the estuarine crab *Chasmagnathus granulatus* Dana 1851—physiological and morphological studies. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 126(3), 341-349.
- Han, D. U., Yoo, J. W., Yoo, Y. H., Lee, E. J., & Park, S. K. (2010). Aboveground primary productivity of *Salix nipponica* and secondary productivity of *Sesarma dehaani* at Janghang Wetland in Han River Estuary. *Korean Journal of Ecology and Environment*, 43(2), 298-306.
- Han, H. S., Ma, C. W., & Choi, M. S. (2015). Ecological variations of macrobenthos in subtidal at Chonsu Bay in Chungcheongnam-do, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology*, 29(3), 421-430.
- Hines, A. H. (1986). Larval patterns in the life histories of brachyuran crabs (Crustacea, Decapoda, Brachyura). *Bulletin of Marine Science*, 39(2), 444-466.
- Kim, H. S. (1973) Illustrated encyclopedia of Fauna & Flora of Korea Vol. 14 Anomura-Brachyura. Ministry of Education of Korea
- Kim, J. N., & Kim, M. H. (2023). A new record of the xanthid crab, *Demanina rotundata* (Serène in Guinot, 1969) (Decapoda, Brachyura, Xanthioidea) from Korean waters. *Crustaceana*, 96(3), 289-294.
- Kim, M. H., Kim, J. N., & Choi, J. H. (2021). New records of two leucosiid crabs,

- Cryptocnemus obolus* Ortmann, 1892 and *Ebalia tuberculosa* (A. Milne-Edwards, 1873), from Korean waters. *Crustaceana*, 94(6), 743-750.
- Kim, M. H., Kim, J. N., Seo, I. S., & Choi, J. H. (2022). First records of two leucosoid crabs, *Iphiculus spongiosus* Adams & White, 1849 and *Tokoyo eburnea* (Alcock, 1896) from Korean waters. *Crustaceana*, 95(3), 331-336.
- Kim, W., & Kim, H. S. (2001) Crab; Food & Resource Series 6. Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), Korea, p 6-16.
- Kobayashi, S., & Matsuura, S. (1994). Occurrence Pattern and Behavior of the Japanese Mitten Crab *Eriocheir japonicus* (De Haan) in the Marine Environment. *Benthos Research*, 1994(46), 49-58.
- Kobayashi, S., & Matsuura, S. (1995). Reproductive ecology of the Japanese mitten crab *Eriocheir japonicus* (De Haan) in its marine phase. *Benthos Research*, 1995(49), 15-28.
- Koyama, A., Inui, R., Onikura, N., Akamatsu, Y., & Minagawa, T. (2020). Habitat characterization based on crab fauna in the temperate estuarine intertidal zone of the Seto Inland Sea, Japan. *Estuaries and Coasts*, 43, 1533-1544.
- Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz C., & Tamura K. (2018). MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution* 35:1547-1549.
- Lee, D. J., & Kim, I. C. (2020). The new freshwater crab belongs to the genus *Geothelphusa* as inferred from mitochondrial and nuclear DNA markers. *Indian Journal of Animal Research*, 54(4), 424-429.
- Lee, S. H., Jeong, J. H., Kim, J. Y., & Lee, S. H. (2022). A New Record of the Varunid Crab, *Varuna yui* (Decapoda: Varunidae), from Korea. *Animal Systematics, Evolution and Diversity*, 38(1), 42-45.

- Lee, S. H., Jeong, J. M., & Lee, S. K. (2023). A New Record of Iphiculid Crab, *Pariphiculus coronatus* (Decapoda: Iphiculidae), in Korea. *Animal Systematics, Evolution and Diversity*, 39(1), 53-57.
- Lee, S. K., Lee, C., Noh, J., Song, S. J., & Khim, J. S. (2021). First comprehensive ecological checklist of Brachyura in Korea: 1879–2020. *Marine Pollution Bulletin*, 171, 112742.
- Mchenga, I. S., & Tsuchiya, M. (2008). Nutrient dynamics in mangrove crab burrow sediments subjected to anthropogenic input. *Journal of Sea Research*, 59(1-2), 103-113.
- Ng, P. K., Guinot, D., & Davie, P. J. (2008). Systema Brachyurorum: Part I. An annotated checklist of extant brachyuran crabs of the world. *The raffles bulletin of zoology*, 17(1), 1-286.
- Olesen, J. (2018). Crustacean life cycles—developmental strategies and environmental adaptations. *The natural history of the crustacea. Life Histories*, 5, 1-34.
- Otani, S., Kozuki, Y., Yamanaka, R., Sasaoka, H., Ishiyama, T., Okitsu, Y., & Fujiki, Y. (2010). The role of crabs (*Macrophthalmus japonicus*) burrows on organic carbon cycle in estuarine tidal flat, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86(3), 434-440.
- Quammen, M. L. (1984). Predation by shorebirds, fish, and crabs on invertebrates in intertidal mudflats: an experimental test. *Ecology*, 65(2), 529-537.
- Robertson, A. I. (1986). Leaf-burying crabs: their influence on energy flow and export from mixed mangrove forests (*Rhizophora* spp.) in northeastern Australia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 102(2-3), 237-248.
- Ryu, M., & Kim, J. G. (2020). Influence of roadkill during breeding migration on the sex ratio of land crab (*Sesarma haematoche*). *Journal of Ecology and Environment*, 44, 1-5.

- Sakai, T. (1976). Crabs of Japan and the adjacent seas. *Crabs of Japan and the Adjacent Seas*. Kodansha, Tokyo 773 pp
- Shokri, M. R., Gladstone, W., & Kepert, A. (2009). Annelids, arthropods or molluscs are suitable as surrogate taxa for selecting conservation reserves in estuaries. *Biodiversity and Conservation*, 18, 1117-1130.
- Spivak, E., Anger, K., Luppi, T., Bas, C., & Ismael, D. (1994). Distribution and habitat preferences of two grapsid crab species in Mar Chiquita Lagoon (Province of Buenos Aires, Argentina). *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 48, 59-78.
- Youn, S. H., Lee, J. W., Oh, C. W., Choi, B. M., Yoon, K. T., Na, J. H., & Seo, I. S. (2021). Community structure and health status of macrobenthic animals in the Nakdong River Estuary, Busan, Korea. *Ocean and Polar Research*, 43(2), 73-88.
- Tamura K. and Nei M. (1993). Estimation of the number of nucleotide substitutions in the control region of mitochondrial DNA in humans and chimpanzees. *Molecular Biology and Evolution* 10:512-526.
- Vogt, G. (2014). Life span, early life stage protection, mortality, and senescence in freshwater Decapoda. In: Yeo, D., Cumberlidge, N., & Klaus, S. (eds), *Advances in freshwater decapod systematics and biology*, p 17-51. Brill, Leiden
- Vogt, G. (2019). A compilation of longevity data in decapod crustaceans. *Nauplius*, 27. e2019011
- Ysebaert, T., Herman, P. M. J., Meire, P., Craeymeersch, J., Verbeek, H., & Heip, C. H. R. (2003). Large-scale spatial patterns in estuaries: estuarine macrobenthic communities in the Schelde estuary, NW Europe. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(1-2), 335-355.

Appendix

CTD survey table. April 20, 2023. Do: Dissolved Oxygen, Sal: Salinity, °C: Temperature.

	Measurement Time	Coordinates	DO	sal	°C
1	09:19	33.510532, 126.893844	12.6	13.3	18.6
2	09:30	33.510467, 126.895447	7.8	22.8	19.7
3	09:35	33.509810, 126.895304	10.5	27.3	21.3
4	09:42	33.509765, 126.895458	16.7	21.5	21.4
5	09:54	33.507518, 126.897985	16.2	19.3	21.7
6	10:02	33.507437, 126.898274	6.6	12.0	17.3
7	10:22	33.507093, 126.896000	5.9	17.2	21.6
8	10:30	33.508621, 126.898176	10	20.8	21.8
9	10:44	33.509537, 126.899271	7.1	32.5	19.0
10	10:48	33.510022, 126.899224	4.8	35.0	19.7
11	11:01	33.511200, 126.898747	7.3	23.9	22.1
12	11:07	33.511733, 126.898306	10.4	22.5	22.9
13	11:14	33.511764, 126.897828	6.9	22.3	23.0
14	11:21	33.512320, 126.897958	11.6	4.9	19.7
15	11:31	33.511840, 126.896483	6.8	20.9	22.3
16	11:41	33.511242, 126.894539	8.3	17.7	23.1
17	14:16	33.510336, 126.901230	10.4	23.5	23.1
18	14:40	33.512527, 126.899204	7.3	35.7	23.2
19	14:49	33.510792, 126.893699	9.8	0.5	18.2
20	15:05	33.508233, 126.893042	7.5	3.1	16.4
21	15:07	33.508184, 126.893241	8.5	4.0	21.1
22	15:18	33.505849, 126.891441	8.7	2.3	15.9
23	14:24	33.505981, 126.891750	8.5	3.4	19.1
24	15:27	33.505920, 126.891965	8.0	8.5	24.0
25	15:34	33.506045, 126.892444	9.8	16.3	27.0
26	15:41	33.504765, 126.893483	10.6	6.2	25.0
27	15:44	33.504567, 126.893708	7.3	6.1	24.4
28	15:50	33.505022, 126.894422	8.9	7.7	24.3
29	16:06	33.503327, 126.891401	9.8	1.5	21.6
30	16:09	33.503162, 126.891908	9.4	5.7	24.6
31	16:17	33.501905, 126.891527	9.8	1.5	25.0
32	16:25	33.501487, 126.891180	7.4	1.5	21.2

3D map Web Link

Sampling Sites	Sketchfab link
All study areas	https://skfb.ly/oLNoT
①	https://skfb.ly/oKMw8
②	https://skfb.ly/oKHOx
③	https://skfb.ly/oKHOF
④	https://skfb.ly/oKHOI
⑤	https://skfb.ly/oKHPA
⑥	https://skfb.ly/oMAzu
⑦	https://skfb.ly/oLPRP

감사의 말

마치, 끝이 없을 것 같이 멀고 힘든 길이었지만 한발 한발 걷다보니 결국엔 종착점에 다다른 그런 느낌입니다. 저의 업인 다큐멘터리를 만들면서 자연과 생태를 소개할 때 감상이나 느낌으로만으로 이야기 할 수는 없었고 더욱이 부정확한 정보를 함부로 말하는 것에 대해 늘 경계하였지만 학문적 바탕과 과학적인 훈련이 부족함을 느껴 늦게나마 공부의 길을 선택하였습니다.

많은 시행착오와 실수를 반복하는 과정에서 지식이 조금씩 쌓이는 만큼 반대편에 여전히 더 많이 비어 있는 저의 무지를 발견하였습니다. 때를 놓쳐 뒤늦게 따라 간다는 것은 정말 힘들다는 것도 절실히 깨달았습니다. 그래도 제가 좋아하는 해양생물을 조금씩 이해해 가는 과정은 정말 즐거웠습니다. 늘 호기심에서 그치던 것에 대해 답을 찾아가고, 현상 이면의 것들과 생물 하나만이 아닌 생태를 이루는 전체적인 구조에 대해서도 생각하게 된 것은 제게 가장 큰 보람입니다. 적어도 제가 만드는 다큐멘터리나 창작물은 해양생명과학을 공부한 사람의 작품이 되도록 노력하겠습니다.

이 모든 배움의 길을 열어 주시고 논문이 완성될 때까지 긴 시간 동안 성심으로 지도하며 저를 이끌어주신 최광식교수님께 큰 감사를 드립니다. 바쁜 시간 쪼개서 DNA분석 등 큰 도움을 준 신종섭군에게도 마음 깊이 고마움을 전하고 응원해준 실험실 동료들과 3D지도 제작에 도움을 준 전형석님에게도 감사드립니다. 끝으로 공부를 구실로 생업에 소홀했던 미안함과 고마움을 사랑하는 가족들에게 전합니다.