

BSPE99604-11796-3

울릉도 연안 수중생태계 현상 구명 및
가치평가 연구

Marine ecosystem phenomena identification and evaluation
of value in Ulleungdo coastal waters

2019. 02

한 국 해 양 과 학 기 술 원

제 출 문

한국해양연구원장 귀하

본 보고서를 “울릉도 연안 수중생태계 현상 구명 및 가치평가 연구”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 02.

총괄연구책임자 : 윤 성 진

참 여 연 구 원 : 노 충 환

“ : 강 정 훈

“ : 김 윤 배

“ : 장 영 석

“ : 민 원 기

“ : 신 진 용

“ : 주 용 규

“ : 권 오 윤

“ : 김 민 주

“ : 박 서 윤

“ : 추 서 휘

“ : 김 민 주

“ : 박 서 윤

요 약 문

I. 제 목

울릉도 연안 수중생태계 현상 구명 및 가치평가 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 필요성

- 울릉도는 지리적 특성으로 인해 육지와 달리 인간활동의 직접적인 영향이 제한되어 풍부한 고유생태계를 유지하고 있으며, 동해 기후 변화의 영향을 모니터링 할 수 있는 주요 거점으로써 가치가 높음. 또한 생태계는 섬 기인 물질의 발생으로 외해의 생산력을 끌어올리는 역할을 하며, 중간기착 생물의 성장과 서식처를 제공하고 있음
- 울릉도는 해양보호구역 지정에 따른 체계적인 생태계기반관리 근거가 마련되었으나 환경 및 생태계의 상호관계 연구를 통한 생물자원조사, 해양생태계 현상 구명 및 가치평가가 제대로 이루어지지 않은 상황임
- 이에 효율적이고 체계적인 관리를 위해 섬의 해양학적, 생물학적으로 요인을 고려한 맞춤형 생태계 관리 기법 마련이 필요하며, 해양의 특정 생물상에 대한 “섬 생물지리학(Island biogeography)” 적인 이론에 입각한 해양조사가 필요함. 또한 울릉도 해양생태계의 체계적인 중장기 과학적 관리를 위한 방안으로써 해양보호구역 지정과 연계된 울릉도 특이 해양생물자원의 특성과 가치를 집중 부각시킬 수 있는 전략이 필요함

2. 연구개발의 목적

- 수중생태계 특성 및 상호반응 연구를 통한 울릉도 연안 생태계의 가치평가
- 세계자연유산 등재 추진을 위한 전략 수립

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1. 연구기간

총 연구기간 : 2017년 1월 1일 ~ 2018년 12월 31일

1차년도 : 2017년 1월 1일 ~ 2017년 12월 31일

2차년도 : 2018년 1월 1일 ~ 2018년 12월 31일

2. 연구내용 및 범위

가. 울릉도 연안 주요 서식지의 해양환경 장기모니터링

- (1) 울릉도 연안 장기 해양관측시스템 구축
- (2) 울릉도 연안 해양환경 장기 자료 수집 및 분석
- (3) 울릉도 연안 해양 혼합 특성 파악

나. 연안생태계 군집구조 분석

- (1) 식물플랑크톤 현존량 및 생체량의 계절적 분포
- (2) 동물플랑크톤 생물량 및 군집 조성의 계절적 분포
- (3) 동·식물플랑크톤 주요종 선택

다. 울릉도 수중생태계 서식생물 현황 파악

- (1) 현장모니터링을 통한 군집현황 파악
- (2) 정점별/수심별/계절별 수중 서식생물 종 목록화
- (3) 주요 연구대상 후보 생물종의 서식특성 조사

라. 유용 해양생물종의 유전특성 구명

- (1) 연구대상종 수집 및 유전자료 확보
- (2) 신규 분자마커 발굴 및 적용

Ⅳ. 연구개발결과

가. 울릉도 연안 주요 서식지의 해양환경 장기모니터링

- 울릉도 연안 지역별 해양환경변동 특성을 분석한 울릉도 주변 해역의 바람 특성은 4~8월에는 약한 남서풍 계열의 바람이 우세하며, 9~10월에는 북동풍, 11~3월에는 주로 북서풍의 바람이 강하게 부는 특성이 있었음. 바람의 경우 해상풍에 따라 지역별 파고특성이 달라 졌는데, 겨울철에는 주로 북서풍의 영향으로 북쪽지역이, 여름철에

는 남서풍/남동풍의 영향으로 남동쪽 지역의 파고가 가장 높게 발생하였음. 울릉도 연안 표층수온은 대체적으로 울릉도 남쪽 연안에 위치한 구암 및 울릉읍 부이에서 울릉도 북쪽 연안보다 표층수온이 약 1~2℃정도 높게 측정되었음. 표층수온은 여름철에는 동한난류의 주축이 울릉도 북쪽에 주로 형성된 원인으로 인해 주로 북쪽이 높았으며, 겨울철에도 북쪽이 남쪽보다 수온이 높은 것으로 분석되었음.

- 해양혼합층의 경우 여름철에는 고온고염수의 유입으로 20m 내외에서 혼합층 형성, 겨울철에는 강한 북서풍의 영향으로 최대 200m까지 발달하였으며, 표층저염수는 7월 중순부터 동해로 유입하는 저염수의 영향으로 33.5 미만의 표층저염수가 수심 30m 이내에서 형성되었음

나. 연안생태계 군집구조 분석

- 울릉도 주변해역의 식물플랑크톤은 수적인 개념에서 구조류인 *Skeletonema spp.*, *Chaetoceros compressus*, *Ch. compressus*, *Leptocylindrus danicus* 등이 대표 종으로 파악되었음. 탄소량 우점종은 *Rhizosolenia alata*, *R. hebetata*, *Coscinodiscus asteromphalus*, *C. jonesianus*, *C. nobilis*, *Ditylum brightwellii*, *Eucampia zodiacus*, *Peridinium brevipes* 등이 대표 종이었음. 식물플랑크톤 현존량 및 탄소량 우점 대표종과 환경요인과의 관계를 CCA 분석을 통해 본 결과, 현존량 대표 우점종 중 *Skeletonem spp.*, *Ch. compressus*는 환경변화 (수온, 염분, 영양염)에 관계없이 조사 지역에서 상시 우점종으로 파악됨. *Ch. curvisetus*는 질산염 및 규산염과 양의 상관관계를 가지며 수온과 음의 관계를 가짐. *L. danicus*는 수온과 양의 상관관계를 가짐. 탄소량 우점 대표종 중 *Ditylum brightwellii*는 수온 및 인산염과 양의 관계를 가짐. *Rhizosolenia* 속의 2 종은 환경요인과 관계가 없었으며, *E. zodiacus*는 염분과 음의 상관관계를 보임
- 울릉도 연안 해양환경의 동물플랑크톤은 2017년 하계에 총 출현 개체수가 비교적 높았으며 야광충이 이 시기에 급증한 영향으로 파악함. 동계, 춘계와 추계에는 요각류 *Paracalanus parvus* s.l.,

Oithona spp., 그리고 요각류 미성숙체가 우점한 반면 하계에는 야광충이 최우점 하였음. 하계에 평균 생체량은 0.2-0.5 mm 크기그룹이 가장 높았으며 우점한 야광충의 기여도가 높았고 전체 탄소:질소 비는 비교적 낮았음. 2018년 춘계에 총 출현 개체수가 비교적 높았으며 이때 요각류 미성숙체 (*Paracalanus* spp.)가 극 우점함. 춘계 평균 생체량은 0.2-0.5 mm 크기그룹이 가장 높았으며 우점한 요각류 미성숙체의 기여도가 높았음. 반면 춘계에 상대적으로 낮은 탄소:질소 비는 젤라틴성 플랑크톤이 다른 계절보다 비교적 높게 출현한 것으로 판단됨

다. 울릉도 수중생태계 서식생물 현황 파악

- 2017년 울릉도 6개 정점의 각 3개 수심(5m, 10, 20m)에서 출현한 해조류는 총 127종이 출현하였으며, 2018년에는 총 126종이 채집되었음. 조사기간 동안 지표성 해조류인 옥덩굴(*Caulerpa okamurae*)은 조사 수심 전반에 걸쳐 옥덩굴의 서식이 확인되어 향후 이에 대한 검토 및 정밀 연구가 이루어져야 할 것으로 판단되었음. 보호종인 넓미역(*Undaria peterseniana*)은 조사지역 전반에 걸쳐 수심 5m까지 서식하고 있었으며 향후 자원관리 및 이용 측면에서 넓미역에 대한 서식환경 및 서식지를 명확하게 구명할 필요가 있는 것으로 판단됨
- 해양수산부 지정 '보호대상 해양생물'이면서 환경부 지정 '멸종위기 야생생물 II급' 생물종 서식을 확인하였는데, 해송류(*Antipathes* sp.)는 능걸, 쌍정초, 관음도, 대풍감, 공암에서 발견되었으며, 유착나무돌산호 (*Dendrophyllia cribrosa*)는 능걸 조하대 정점에서 관찰되었음. 개체수가 현저하게 감소하고 있는 종으로서 학술적·경제적 가치가 높아 보호대상으로 지정되어 있는 해초류인 왕거머리말 (*phyllospadix japonicus*)이 관음도 앞 수심 23m 모래바닥에서 서식하고 있음을 확인하였음. 본 연구기간 동안 조사한 저서무척추동물은 조사 시기 및 수심별로 변동성이 뚜렷하게 나타나고 있는데, 이는 자연적인 변이뿐만 아니라 인위적 변동요인으로 조치 및 향후 지속적 모니터링이 필요함

라. 유용 해양생물종의 유전특성 구명

- Microsatellite 마커를 이용한 해삼류의 집단별 유전적 분화도 분석결과 홍해삼은 울릉도 집단에서 제주도 집단으로 이동하는 흐름이 강하게 나타나 쿠로시오 해류와 반대방향으로 이동하는 것으로 조사되어 다수의 해양생물에서 나타나는 해류를 따라 움직이는 이동과는 다른 양상으로 조사되었음. 홍합에서만 특이적으로 증폭가능한 6쌍 중 2쌍에서 가능성을 확인하였으며, 홍합과 담치 모두에서 증폭가능한 2쌍 중 2쌍 모두에서 가능성을 확인하여 홍합 신속종 동정 분자마커 개발하였음. 유전적 거리에 기반한 불블락의 Principal Coordinates Analysis (PCoA) 분석을 수행한 결과 개체들이 집단을 이루지 않고 서로 섞여있는 양상이 나타남에 따라 유전적 분화도 분석 결과와 동일한 양상으로 조사되어 불블락은 집단으로 구분되지 않는 하나의 큰 개체군으로 판단되었음

V. 연구개발결과의 활용계획

- (1) 울릉도 연안생태계 자원도 작성을 통한 생태계 가치평가 및 과학적 기반 생태계 변동성 지속적 파악에 활용
- (2) 울릉도 연안해역의 먹이생물 구조를 파악함으로써 향후 미래 생태계 변동을 예측하기 위한 중요 자료로 활용 가능
- (3) 울릉도 연안생태계의 체계적인 과학적 관리를 위해 현 상태의 명확한 이해에 활용
- (4) 울릉도 서식 유용 해양생물종의 유전특성 구명
- (5) 환경변화 대응 울릉도 유용 해양생물 유전자원 확보 과학적 기반 확보 및 생태계 관리 기반 마련
- (6) 차별화된 울릉도 연안 지형 및 수중경관의 현장 교육, 홍보 및 관광 자원으로서 활용

S U M M A R Y & KEYWORDS

I. Title

Marine ecosystem phenomena identification and evaluation of value in Ulleungdo coastal waters

II. Necessities and objectives of the study

1. Necessities of the study

- Ulleungdo retains its abundant ecosystem with limited direct impacts of human activities due to its geographical characteristics, and is highly valued as a major base for monitoring the impacts of climate change in the East Sea. In addition, the ecosystem plays a role in raising the productivity of the sea by the occurrence of the island material, and it provides the growth and habitat of the intermediate adduction creature
- Although Ulleungdo has provided systematic ecosystem-based management basis based on the designation of marine protected areas, it has not been properly surveyed for biological resources, marine ecosystem phenomena, and valuation through research on the relationship between environment and ecosystem
- For efficient and systematic management, it is necessary to prepare customized ecosystem management techniques considering the oceanographic and biological factors of the island, and it is necessary to conduct a marine survey based on the theory of "Island biogeography" for specific biota in the ocean. In addition, as a systematic mid-to-long-term scientific management of Ulleungdo's marine ecosystem, a strategy is needed to focus on the

characteristics and value of specific marine life resources associated with the designation of marine protected areas

2. Objectives of the study

- Assessment of Ulleungdo coastal ecosystem by studying characteristics and interaction of aquatic ecosystem
- Establishing strategies for promoting World Natural Heritage Listings

III. Contents and scopes of the study

1. Research period

The 1st stage : January 1 2017 ~ December 31 2018

The 1st year : January 1 2017 ~ December 31 2017

The 2nd year : January 1 2018 ~ December 31 2018

2. Contents and scopes of the study

1) Long-term monitoring of marine environment of major habitats in Ulleungdo coast

- (1) Long-term ocean observation system construction on Ulleungdo coast
- (2) Long-term data collection and analysis of marine environment on Ulleungdo coast
- (3) Identification of coastal ocean mixing characteristics of Ulleungdo Island

2) Analysis of coastal ecosystem community structure

- (1) To understand the spatial and temporal distribution of phytoplankton standing crops and biomass in the coastal water of Ulleung island
- (2) Seasonal distribution in the biomass of zooplankton community
- (3) Selection of major species of phytoplankton and zooplankton

- 3) Understanding the status of organisms in Ulleungdo aquatic ecosystem
 - (1) Identify community status by field monitoring
 - (2) List of Aquatic Species by vertex/depth/season
 - (3) Survey of habitat characteristics of candidate species

- 4) Genetic characterization of useful marine species
 - (1) Acquisition of research species and genetic data acquisition
 - (2) Discover and apply new molecular markers

IV. Results

- 1) Long-term monitoring of marine environment of major habitats in Ulleungdo coast
 - The characteristics of wind around Ulleungdo are predominantly weak southwest wind in April-August, northeast wind in September-October, and strong wind in northwest wind in November-March. In the case of wind, the wave characteristics of each region have changed according to the sea wind. In winter, the north-eastern region mainly affected by north-westerly winds, and in the south-east region due to the influence of south-westerly winds/southeasterly winds. On the surface of Ulleungdo coastal surface water, the surface water temperature of Kuam and Ulleungeup located on the southern coast of Ulleungdo was about 1-2 °C higher than that of Ulleungdo northern coast. The surface water temperature was higher in the north than in the main stream of the east turbulent stream in the summer, and higher in the north than in the south in winter.
 - In the case of the oceanic mixed layer, a mixed layer was formed at around 20m due to the inflow of high temperature and high salinity water. In winter, it

developed up to 200m due to strong northwesterly wind. Surface low-salinity water was formed at the depth of 30m from the middle of July due to the influx of low salinity water into the East Sea.

2) Analysis of coastal ecosystem community structure

- Phytoplankton community were dominated by *Skeletonema* spp., *Chaetoceros compressus*, *Ch. curvisetus* and *Leptocylindrus danicus* in standing crops during the study. Whereas, *Rhizosolenia alata*, *R. hebetata*, *Coscinodiscus asteromphalus*, *C. jonesianus*, *C. nobilis*, *Ditylum brightwellii*, *Eucampia zodiacus* and *Peridinium brevipes* were dominant in terms of biomass. During the study periods, *Skeletonema* spp. and *Ch. compressus* were significantly and positively correlated with nitrate and silicate ($p < 0.05$). And the *L. danicus* was showed positively correlated with temperature ($p < 0.05$). The *D. brightwellii* was showed positively correlated with temperature and phosphates ($p < 0.05$). And the *E. zodiacus* negatively correlated with salinity.
- The abundance of zooplankton in the coastal environment of Ulleung island was relatively higher during summer of 2017, and it was caused by rapid increase in *Noctiluca scintillans*. *Paracalanus parvus* s.l., *Oithona* spp., and immature copepods were dominant species during winter, spring and autumn, whereas *N. scintillans* were dominant during summer. The average biomass size group 0.2-0.5 mm was relatively higher during summer due to high abundance of *N. scintillans*, and carbon:nitrogen ratio was relatively low. The high abundance of zooplankton was observed during spring of 2018, that was mainly contributed by immature copepods (*Paracalanus* spp.). The average biomass size

group 0.2-0.5 mm was relatively higher during spring due to higher abundance of immature copepods. However, carbon:nitrogen ratio was relatively low due to relatively higher gelatinous plankton during spring than other seasons.

3) Understanding the status of organisms in Ulleungdo aquatic ecosystem

- A total of 127 species of seaweed collected from three water depths (5m, 10, 20m) of 6 stations in Ulleungdo in 2017, and a total of 126 species were collected in 2018. *Caulerpa okamurae*, which is classified as indicator seaweed during the survey period, has been identified throughout the survey. In the future, it will be necessary to review and conduct detailed research. *Undaria peterseniana*, a protected species, was inhabited to depths of 5 m throughout the study area. It is considered that the habitat environment of *U. peterseniana* needs to be clarified from the perspective of resource management and utilization in the future.
- In this study, it was confirmed that the species was designated as a "protected species" by the Ministry of Maritime Affairs and Fisheries and the Species of Endangered Wildlife Class II Specified by the Ministry of Environment. *Antipathes* sp. Were found in the Neunggeol, Ssangjeongcho, Gwaneumdo, Daepunggam, Gongam. *Dendrophyllia cribrosa* was observed at the subtidal zone of Neunggeol station. *Phyllospadix japonicus*, a seagrass, is a species whose population has decreased markedly and has been designated as a protected species because of its high academic and economic value. It was confirmed that this species is inhabited in the sandy bottom of 23m depth in front of

Gwaneumdo. The benthic invertebrate animals investigated during this study show significant variability by irradiation time and depth. This is considered to be an artificial variation factor as well as a natural variation, and it is necessary to monitor continuously.

4) Genetic characterization of useful marine species

- As a result of the analysis of genetic differentiation of the group of sea cucumbers using microsatellite markers, the flow of red cucumber from Ulleungdo group to Jeju Island group was strong. This phenomenon has been analyzed as moving in the opposite direction to the Kuroshio current, which is different from moving along ocean currents in many marine organisms. We confirmed the possibility of two pairs of six specially amplifiable mussel species and developed the mussel species identification marker by confirming the possibility of two pairs of amplifiable pairs in both *Mytilus coruscus* and *M. galloprovincialis*. As a result of the Principal Coordinates Analysis (PCoA) analysis of the genetic distance-based population, Goldeye rockfish individuals appeared to be grouped together and analyzed in the same way as genetic differentiation analysis results. Therefore, Goldeye rockfish was judged to be one large population not classified as a group.

V. Application plans and expected effects of the study results

1. Utilization of ecosystem value evaluation and scientific basis for ecosystem volatility
2. The knowledge on the food-web structure in the coastal waters of Ulleung island ecosystem will be used to predict the future impact of change on marine ecosystem
3. Utilize the coastal ecosystem of Ulleungdo for a clear

understanding of the present condition for systematic scientific management

4. Identification of genetic characteristics of marine species in Ulleungdo
5. Securing a genetic resource for useful marine life in Ulleungdo to cope with environmental changes and establishing a base for scientific-based ecosystem management
6. Utilization of differentiated Ulleungdo coastal terrain and underwater scenery as on-site education, publicity and tourism resources

KEYWORDS : 울릉도, 생태자원도, 생태계 가치평가, 생태계 군집특성, 유전특성 분석
Ulleungdo, Ecological resource map, Evaluation of ecosystem valuation,
Ecosystem community characteristics, Gene characterization

C O N T E N T S

Summary & Keywords	I
Chapter 1. Outline of the study	1
Section 1. Necessities of the study	1
Section 2. Objectives and contents of the study	5
Chapter 2. States of technical trends and outlook	8
Section 1. Trends of study in Korea	8
Section 2. Trends of study in foreign countries	11
Chapter 3. Results of the study	13
Section 1. Long-term monitoring of marine environment of major habitats in Ulleungdo coast	13
Section 2. Analysis of coastal ecosystem community structure	27
Section 3. Understanding the status of organisms in Ulleungdo aquatic ecosystem	42
Section 4. Genetic characterization of useful marine species	65
Chapter 4. Achievements of objectives and contributions to the related area	91
Section 1. Achievements of objectives	91
Section 2. Contributions to the related area	93
Chapter 5. Application plans of the study results	95
Section 1. Application plans	95
Section 2. Expected effect	96
Chapter 6. References	98
Appendix	102

목 차

요약문	I
제 1 장 서 론	1
제1절 연구개발의 필요성	1
제2절 연구개발 목표 및 내용	5
제 2 장 국내외 기술개발 현황	8
제1절 국내 연구동향	8
제2절 국외 연구동향	11
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	13
제1절 울릉도 연안 주요 서식지의 해양환경 장기모니터링	13
제2절 연안생태계 군집구조 분석	27
제3절 울릉도 수중생태계 서식생물 현황 파악	42
제4절 유용 해양생물종의 유전특성 구명	65
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외 기여도	91
제1절 목표 달성도	91
제2절 대외 기여도	93
제 5 장 연구개발결과의 활용계획 및 기대효과	95
제1절 활용계획	95
제2절 기대효과	96
제 6 장 참고문헌	98
부 록	102

Figure List

Fig. 1.1.1.1. Description outline of Ulleungdo and Dokdo.	1
Fig. 1.1.1.2. Ulleungdo Marine Reservation Explanation and Biology.	2
Fig. 1.1.1.3. Characteristics of seaweed distribution in Korea and rock ecosystem biomass distribution.	3
Fig. 2.1.1.1. MOU country of Biodiversity Information Facility and Korea data store homepage.	10
Fig. 2.2.2.1. Various scientific elements necessary to identify ecosystem phenomena around the island.	11
Fig. 3.1.2.1. Marine physics observation site on the coast of Ulleungdo.	14
Fig. 3.1.2.2. Vertical distribution of water temperature and salinity by main site in 2017.	14
Fig. 3.1.2.3. T-S diagram at the study sites of Ulleungdo.	15
Fig. 3.1.2.4. Location of major real-time ocean observation network around Ulleungdo.	16
Fig. 3.1.2.5. Time series distribution of water Temperature-salinity by depth observed in Realtime Observation Buoy.	17
Fig. 3.1.2.6. Distribution of Water Temperature-salinity and ocean mixed layers at 3km research area North of Hyeonpo harbor.	17
Fig. 3.1.3.1. Vertical distribution of water temperature and salinity at study stations of Ulleungdo in February 2017.	18
Fig. 3.1.3.2. Vertical distribution of water temperature and salinity at study stations of Ulleungdo in June 2017.	19
Fig. 3.1.3.3. Vertical distribution of water temperature and salinity at study stations of Ulleungdo in August 2017.	19
Fig. 3.1.3.4. Vertical distribution of water temperature and salinity at study stations of Ulleungdo in October 2017.	20
Fig. 3.1.3.5. Location of wave height buoy and surface water temperature distribution at the Korea Meteorological Administration on the coast of Ulleungdo in 2017.	20
Fig. 3.1.3.6. Operation plans of real-time ocean observation buoy on Ulleungdo.	

.....	21
Fig. 3.1.3.7. Outline of operation of real-time ocean observation site on Ulleungdo.	22
Fig. 3.1.3.8. Surface temperature of Ulleungdo tidal observatory and the number of days to maintain water temperature over 20°C.	22
Fig. 3.1.3.9. In Ulleungdo, surface water temperature is higher than 20°C (upper figure) and lower than 10°C (lower figure) in Ulleungdo.	23
Fig. 3.1.3.10. Date of issuance of the average storm surge in the East Sea from the middle of the year 1999 to 2016.	23
Fig. 3.1.3.11. Date of issuance of the average storm surge warning for the East Sea in the middle of the year from 1999 to 2016.	23
Fig. 3.1.3.12. Maximum instantaneous wind velocity and monthly mean wind distribution of Korea Meteorological Administration buoy in Ulleungdo.	24
Fig. 3.1.3.13. Average weather velocity and average wind vector of Korea Meteorological Administration buoy in Ulleungdo.	24
Fig. 3.1.3.14. Maximum wave height distribution of Korea Meteorological Administration buoy of Ulleungdo.	25
Fig. 3.1.3.15. Meteorological Agency Ulleungdo Coastal Paleo-buoy Monthly wave height (above) and surface water temperature (below) distribution. Indicate monthly mean wind direction velocity together.	25
Fig. 3.1.3.16. Distribution of ocean currents and surface ocean currents observed at Ulleungdo Ocean Observation Buoy.	25
Fig. 3.1.3.17. Vertical distribution of water temperature and salinity by seasonal observation of Ulleungdo coast in 2018.	26
Fig. 3.2.2.1. The map showing sampling stations in the coastal waters of Ulleung island.	28
Fig. 3.2.2.2. Methods and investigation of zooplankton.	29
Fig. 3.2.3.1. Seasonal variation of total chlorophyll- <i>a</i> concentration in the coastal waters of Ulleung island in 2017.	30
Fig. 3.2.3.3. Seasonal variation of total chlorophyll- <i>a</i> concentration in the coastal waters of Ulleung island in 2018.	31
Fig. 3.2.3.4. The pictures of dominant phytoplankton species (biomass and standing crops) in the coastal water of Ulleung island from 2017 to 2018.	

.....	34
Fig. 3.2.3.5. Total abundance and relative abundance of taxonomic groups in zooplankton at coastal areas in Ulleung island during 2017.	35
Fig. 3.2.3.6. Biomass of zooplankton at coastal areas in Ulleung island during 2017.	36
Fig. 3.2.3.7. Total abundance and relative abundance of taxonomic groups in zooplankton at coastal areas in Ulleung island during 2018.	37
Fig. 3.2.3.8. Biomass of zooplankton at coastal areas in Ulleung island during 2018.	38
Fig. 3.2.3.9. Pictures of dominant zooplankton species during 2017–2018.	39
Fig. 3.2.3.10. CCA (canonical correlation analysis) biplots of dominant species in the coastal waters of Ulleung island from 2017 to 2018.	40
Fig. 3.2.3.11. Principal component analysis of major taxonomic groups of zooplankton and environmental factors.	41
Fig. 3.2.3.12. Carbon and nitrogen contents, and C:N ratio of zooplankton at coastal areas in Ulleung island during 2017–2018.	41
Fig. 3.3.2.1. Photo of rock ecosystem survey area of Ulleungdo.	43
Fig. 3.3.3.1. Benthic invertebrate major species found in Daepunggam during the study period.	45
Fig. 3.3.3.2. Benthic invertebrate major species found in Neunggeol during the study period.	45
Fig. 3.3.3.3. Benthic invertebrate major species found in Sadonghang during the study period.	46
Fig. 3.3.3.4. Benthic invertebrate major species found in Jukdo during the study period.	47
Fig. 3.3.3.5. Benthic invertebrate major species found in Gwaneumdo during the study period.	48
Fig. 3.3.3.6. Benthic invertebrate major species found in Gonggam during the study period.	48
Fig. 3.3.3.7. Number of species of taxa collected in study area.	49
Fig. 3.3.3.8. Number of species of taxa collected during the study.	50
Fig. 3.3.3.9. Number of species of each station in the study area by water depth.	52

Fig. 3.3.3.10. Number of species of seaweed taxa collected from the study areas.	0
Fig. 3.3.3.11. Number of species of seaweed taxa collected in Ulleungdo survey area.	53
Fig. 3.3.3.12. Photographs of species and major species of seaweed taxa collected during the first survey.	54
Fig. 3.3.3.13. Photographs of species and major species of seaweed taxa collected during the second survey.	55
Fig. 3.3.3.14. Photographs of species and major species of seaweed taxa collected during the third survey.	56
Fig. 3.3.3.15. Photographs of species and major species of seaweed taxa collected during the fourth survey.	59
Fig. 3.3.3.16. Photographs of benthic invertebrate habitat destruction by anthropogenic factors.	62
Fig. 3.3.3.17. Photograph of major seaweed candidate species.	63
Fig. 3.3.3.18. Habits of <i>Caulerpa okamurae</i> and <i>Undariopsis peterseniana</i> collected in the survey.	64
Fig. 3.4.2.1. Distribution and sample acquisition area of goldeye rockfish.	66
Fig. 3.4.3.1. Research paper on molecular markers that can distinguish between red cucumber and green cucumber.	68
Fig. 3.4.3.2. Research papers related to mussel molecular marker development.	70
Fig. 3.4.3.3. Studies on molecular markers of mussels.	71
Fig. 3.4.3.4. Studies on molecular markers of rockfish.	72
Fig. 3.4.3.5. Mutiplex-PCR set of microsatellite markers used for goldeye rockfish population genetic analysis.	72
Fig. 3.4.3.6. Molecular phylogenetic tree based on 3 nucleotide sequence information of mitochondrial putative control region for representative samples of cucumber.	74
Fig. 3.4.3.7. Molecular phylogenetic tree based on nucleotide sequence information of mitochondrial putative control region for representative samples of cucumber. UR, Ulleungdo; UJ, Uljin; JJ, Jeju; R, Red cucumber; B, Black	

cucumber; G, Green cucumber.	75
Fig. 3.4.3.8. Inter-individual of cucumber groups assignment analysis using STRUCTURE program. One bar means one individual and the other color means a different genotype.	77
Fig. 3.4.3.9. Principal coordinates analysis based on genetic distance between sea cucumber individuals using microsatellite markers. UR, Ulleungdo; UJ, Uljin; JJ, Jeju; R, Red cucumber; B, Black cucumber; G, Green cucumber.	77
Fig. 3.4.3.10. Principal coordinates analysis based on genetic distance between red cucumber populations. ULw, Ulleungdo-wild; JJw, Jeju island-wild; JJc, Jeju island-cultured; UJc, Uljn-cultured.	80
Fig. 3.4.3.11. Genetic differentiation and genetic flow between red cucumber populations. UL, Ulleungdo; JJ, Jeju island.	81
Fig. 3.4.3.12. Comparison of microsatellite marker allele genotype frequencies among wild-caught red cucumber. The red arrow indicates the specific allele genotype of the Jeju Island wild group, the green arrow indicates the specific allele genotype of Ulleungdo wild group.	82
Fig. 3.4.3.13. Molecular phylogeny based on the nucleotide sequence data of mitochondrial 5S ribosomal RNA of <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>M. calliformianus</i> and <i>M. coruscus</i>	83
Fig. 3.4.3.14. Molecular phylogeny based on the nucleotide sequence data of mitochondrial cytochrome c oxidase I (COX 1) of <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>M. calliformianus</i> and <i>M. coruscus</i>	84
Fig. 3.4.3.15. Mussel species identification molecular marker electrician statue. sp [2F1R] and sp [1F2R] amplified specifically in mussels and c [1F1R] and c [1F2R] amplified in Ulleungdo mussel and Mediterranean mussel.	85
Fig. 3.4.3.16. Multiplex-PCR of a combination of species-specific primer pair of mussel and primer pairs amplifying both Ulleungdo mussel and Mediterranean mussel.	85
Fig. 3.4.3.17. Comparative Analysis of Amplification Patterns by PCR Cycle. PCR amplification occurs efficiently under repeated conditions of 25 times and 27 times.	86
Fig. 3.4.3.18. Multiplex-PCR electrophoresis of quick identification of mussel. Compared to sp1F2R+c1F1R, sp2F1R+c1F1R can be more clearly identified.	

.....	86
Fig. 3.4.3.19. Principal Coordinates Analysis based on the genetic distance between 5 goldeye rockfish groups. SA, Shinan; UL, Ulleungdo; YD, Yeongdeok; BS, Busan; TY, Tongyeong.	88
Fig. 3.4.3.20. Principal Coordinates Analysis based on the genetic distance Between goldeye rockfish. SA, Shinan; UL, Ulleungdo; YD, Yeongdeok; BS, Busan; TY, Tongyeong.	89
Fig. 3.4.3.21. Inter-individual assignment analysis using STRUCTURE program. One bar means one individual and the other color means a different genotype.	89
Fig. 3.4.3.22. Genetic flow between goldeye rockfish. SA, Shinan; UL, Ulleungdo; YD, Yeongdeok; BS, Busan; TY, Tongyeong.	90

Table List

Table 1.2.2.1. Objectives and contents of R & D in the first year	6
Table 1.2.2.2. Objectives and contents of R & D in the second year	7
Table 2.1.1.1. National Natural Heritage status of Jeju island.	10
Table. 3.1.2.1. Status of marine data collection around Ulleungdo	16
Table 3.1.3.1. Outline of observation system for understanding real-time marine environment around Ulleungdo	21
Table 3.2.3.1. Phytoplankton species observed in the coastal waters of Ulleung island from 2017 to 2018	33
Table 3.2.3.2. Dominant zooplankton biomass size groups (mm) and dominant taxonomic group or species in the size groups at coastal areas in Ulleung island during 2017	36
Table 3.2.3.3. Dominant zooplankton biomass size groups (mm) and dominant taxonomic group or species in the size groups at coastal areas in Ulleung island during 2018	38
Table 3.3.3.1. Comparison of biomass of herbivore and seaweed by study area	60
Table 3.3.3.2. Summaries of major biology surveys in the habitat of Ulleungdo rock ecosystem station	61
Table 3.3.3.3. Change in biomass of <i>Caulerpa okamurae</i> at the subtidal area of the Ulchungdo coast	64
Table 3.4.2.1. Sample, number of genetic resources secured and DNA extraction ratio of goldeye rockfish	67
Table 3.4.3.1. Microsatellite marker information developed from sea cucumber	69
Table 3.4.3.2. Information on microsatellite markers used in goldeye rockfish population genetic analysis	73
Table 3.4.3.3. Genetic differentiation of cucumber populations using microsatellite markers	76
Table 3.4.3.4. Analysis of population polymorphism by analysis of 9 microsatellite marker genotypes	79

Table 3.4.3.5. Analysis of genetic diversity of goldeye rockfish group in Korea	87
Table 3.4.3.6. Genetic differentiation between 5 goldeye rockfish groups	88

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 필요성

1. 연구개발 개요

울릉도는 지리적 특성으로 인해 육지 섬과 달리 인간 활동의 직접적 영향이 제한되어 고유의 생태계를 유지하여 풍부한 생물상을 가지고 있으며, 동해에서 기후변화의 영향을 모니터링 할 수 있는 주요 거점으로써 가치가 높ek. 또한 생태계는 섬 기인 물질의 발생으로 외해역의 생산력을 끌어올리는 역할을 하며, 중간기착 생물의 성장 및 서식처를 제공하고 있다(Fig. 1.1.1.1). 이와 동시에 독도의 모섬으로써 우리나라 동해의 해양영토 관할권 및 영토 주권 수호를 위한 중요한 지리적 가치를 지니고 있다. 한편 울릉도는 국민의 관심 대상인 독도와는 달리 체계적 관리 방안의 부재로 인해 생태계 훼손이나 복원 계획의 어려움이 있어 관리 역량 증진을 위한 과학적 시스템이 요구된다.



Fig. 1.1.1.1. Description outline of Ulleungdo and Dokdo.

울릉도는 해양보호구역 지정에 따른 생태계기반관리 근거가 마련되어 체계적인 관리 기회가 마련된 반면 환경 및 생태계의 상호관계 연구를 통한 생물자원조사, 해양생태계의 현상 규명 및 가치 평가가 제대로 이루어지지 않은 상황이다(Fig. 1.2.1.2). 울릉도 연안은 지형학적으로 경사가 심하고 수심 30m 이내는 대부분 암반으로 이루어져 암반생태계가 발달되어 있다. 최근에는 기후변화, 해수온도 상승 등에 의해 기초생태계 및 암반지역의 생물상 변화, 중간기착 번성이 가능한 신 가입종의 증가로 인해 대황, 감태 등의 해조류 군락이 급감하고 있으며, 이로 인해 백화현상이 심화되어 울릉도 해양생태계보전 및 관리 대책이 요구되는 실정이다.



Fig. 1.1.1.2. Ulleungdo Marine Reservation Explanation and Biology.

울릉도의 효율적이고 체계적인 관리를 위해서는 섬의 해양학적, 생물학적 요인을 고려한 맞춤형 생태계 관리 기법 마련이 필요하며, 해양의 특정 생물상에 대한 “섬 생물지리학(Theory of Island Biogeography)”적인 이론에 입각한 해양조사가 필요하다. 또한 울릉도 해양생태계의 체계적인 중장기 과학적 관리를 위한 방안으로써 해양보호구역 지정과 연계한 세계적으로 차별화 할 수 있는 울릉도 특이 해양 생물자원의 특성과 가치를 집중 부각시킬 수 있는 세계자연유산 등재 추진 전략을 수립할 필요가 있다.

울릉도는 동해안에서 지리적, 영토 주권적으로 중요한 위치를 차지하며, 뛰어난 수중경관과 생태계를 보유하고 있음에도 세계자연유산 등재를 위한 사회적·정책적 관심에서 배제되어 있었다. 따라서 본 연구를 통해 울릉도의 자연지리학적 중요성을 기반으로 과학적 관점에서 울릉도 해양생태환경의 차별성을 제시하고, 새로운 미학적 중요성을 발굴하고 강조하기 위한 울릉도 세계자연유산 등재 전략을 수립할 필요가 있다. 자원학적 가치와 생태계 변동의 주요 연구 가치를 가진 섬으로서 후손에 물려줄 자연유산이다.

2. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

울릉도는 한반도 내륙에서 가장 멀리 떨어져 있는 섬으로서 약 1만년 동안 본토와 격리된 지리적 특성으로 인해 동해연안과 구별되는 외양성 해양생태계 특징을 보유하고 있다. 또한 울릉도 주변 해역은 극전선역 형성과 난수소용돌이 발생으로 인해 울릉도 주변의 해양환경 변동성을 높임으로서 중장기 해양환경 및 생태계 연구의 핵심 거점으로 활용가치가 높은 반면 이와 관련된 지표성 소재(환경지표종, 멸종위기종, 가입종, 유전적 변이 등)를 이용한 장기간 체계적인 연구는 미비한 상황이다.

최근 들어 한반도 주변해역은 기후변화, 해양산성화 등의 환경문제 증가, 멸종 위기종의 보존 및 복원 문제 및 생태계의 이상 변이 발생빈도가 높아지고 있는 상황이다. 따라서 주요 먹이망을 구성하는 핵심 분류군을 대상으로 현 상태의 과학적 진단과 생태계의 가치 평가를 통해 울릉도 해양생태환경의 체계적인 관리 방안을 수립할 필요가 있다(Fig. 1.1.2.1). 또한 지역 거점 연구의 일환으로 동해안 유일의 해양보호구역인 울릉도 해양생태보호구역 지정에 따른 울릉도 주변 해양생태계의 가치 평가, 과학적 관리를 위한 정밀 연구가 필요한 상황이다.

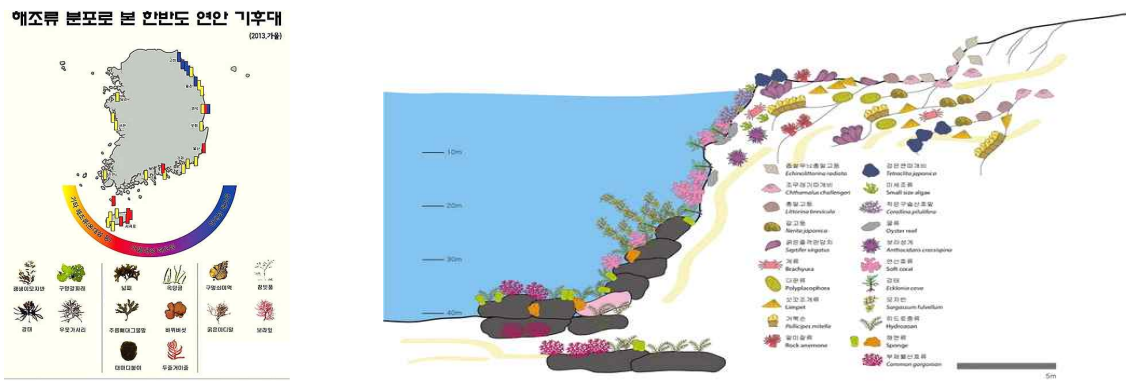


Fig. 1.1.2.1. Characteristics of seaweed distribution in Korea and rock ecosystem biomass distribution.

나. 경제·산업적 측면

울릉도 주변 해역은 해양생물의 주요 이동경로이며, 타 해역과 구별되는 고유의 해양생물자원이 풍부함으로 인해 동해 해양생태계의 오아시스 역할을 하고 있다. 최근 울릉도 연안에서 발견된 키조개, 넓미역 및 새로운 유용 생물 품종이 발견되고 있으며, 이와 같은 품종은 기존 해양생태계를 파괴하지 않는 범위 내에서 생산력이 낮은 울릉도 연안지역에 이식 및 정착시킴으로써 해양생태계 복원, 자원증식 및 보존을 통한 소득 창출에 기여할 것으로 판단된다. 또한 울릉도·독도 해역은 육지의 오염원과 멀리 떨어져 있어 항상 청정해역을 유지하고 있다. 특히 주변 해역의 풍부한 해양심층수는 상업성이 높은 생물자원과 연계하여 다양한 기능성 소재 개발이 유리한 조건을 제공하고 있다.

다. 사회·문화적 측면

울릉도는 한국, 일본 등의 육지와 200~400만년전부터 분리되어 있어 육상생물을 비롯한 해양생물이 육지에서 유입된 후 스스로 진화하여 육지와 유전적으로 상

이한 생물들이 많이 서식하는 등 남미의 갈라파고스 섬과 같은 생태적 특성을 보일 것으로 추정되며, 이는 후손에게 물려줄 자연유산이며, 우리나라 영토를 과학으로 지키기 위한 세계자연유산 등재 자료 확보 및 전략이 시급한 상황이다.

또한 울릉도의 뛰어난 해양생태환경 보존 지역에 대한 과학적 진단, 탁월한 보편적 가치평가 및 중장기 연구를 통해 향후 세계 자연유산 등재를 통해 우리나라 땅을 과학적으로 지키는 독도 영토 주권을 강화할 필요가 있다.

제 2 절 연구개발의 목표 및 내용

1. 연구개발의 최종목표

울릉도는 지리적, 영토 주권적으로 중요한 위치를 차지하며, 뛰어난 자연경관과 수중생태계를 보유하고 있음에도 불구하고 세계자연유산 등재를 위한 사회적, 정책적 관심에서 배제되어 있었다. 따라서 본 연구에서는 울릉도의 자연지리학적 중요성을 기반으로 과학적 관점에서 울릉도 해양생태계의 차별성을 강조하고 생태계의 미학적 중요성을 발굴 및 강조하기 위하여 동해안 유일의 섬인 울릉도의 수중생태계 특성 및 상호반응 연구를 통해 울릉도 연안 생태계의 가치평가를 수행하고, 자원학적 가치와 생태계 변동의 주요 연구 가치를 가진 섬으로서 후손에 물려줄 수 있도록 세계자연유산에 등재시키고자 하는 전략 수립을 위한 자료를 확보하는데 최종목표를 두고 있다.

2. 연구개발의 목표 및 내용

연차별 연구개발의 목표 및 내용은 Table 1.2.2.1과 Table 1.2.2.2에 수록하였다.

Table 1.2.2.1. Objectives and contents of R & D in the first year

목 표	연구내용 및 범위
울릉도 연안 주요 서식지의 해양환경 장기모니터링	<ul style="list-style-type: none"> ○ 울릉도 연안 장기 해양관측시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 울릉도 연안 실시간 해양관측부이 설치 및 운용 - 울릉도 연안 정밀 물리구조 파악을 위한 표준라인, 표준정점 설정 ○ 울릉도 연안 해양환경 장기 자료 수집 및 분석 ○ 주요 물리특성 핵심인자별 기존 자료 수집 및 분석
연안생태계 군집구조 분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 문헌검색을 통한 핵심 암반생태계 지지 먹이생물 연구 자료 확보 및 예비목록 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 토착종, 신종, 미기록종, 멸종위기종, 기후변화 대표종 등 ○ 먹이생물 구조 및 대표성분 선정 <ul style="list-style-type: none"> - 대형 암반생물, 먹이생물
울릉도 수중생태계 서식생물 현황 파악	<ul style="list-style-type: none"> ○ 조사정점 및 정점별 표준 라인 설정 <ul style="list-style-type: none"> - 해양보호구역, 인위적 교란 구역 ○ 현장 모니터링을 통한 군집현황 파악 <ul style="list-style-type: none"> - 정점별, 수심별, 계절별 핵심 먹이생물 및 암반 생물상 조사 ○ 주요 연구대상 후보종 선정 및 서식특성 조사
유용 해양생물종의 유전특성 구명	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구대상종 수집 및 유전자원 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 울릉도에 서식하는 유용 생물자원 수집 및 유전자원 확보 ○ 문헌검색을 통한 분자마커 확보 및 접목 <ul style="list-style-type: none"> - 논문, 보고서 등의 형태로 발간된 관련 자료 수집 - 분자마커 확보 및 접목가능성 평가 ○ 신규 분자마커 발굴 및 적용 <ul style="list-style-type: none"> - 유전자은행에 확보된 유전자 정보 확보 - 목적형(종 동정, 집단분석 등) 분자마커 발굴 - 다른 해역 집단과 유전 특성 비교 분석

Table 1.2.2.2. Objectives and contents of R & D in the second year

목 표	연구내용 및 범위
<p>울릉도 연안 주요 서식지의 해양환경 장기모니터링</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 울릉도 연안 장기 해양관측시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 울릉도 연안 실시간 해양관측부이 및 핵심정점 장기 관측시스템 운용 - 해조류 서식 수심대별 연안 주요 물리특성(해수유동, 물성, 파랑, 광량 등) 파악 ○ 울릉도 연안 해양환경 장기 자료 수집 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 해저지형, 해수유동, 파랑, 내부파 등에 의한 해양 혼합과정 정밀구조 파악 - 암반 생태계에 영향을 미치는 주요 물리 특성 구조 정밀 파악
<p>연안생태계 군집구조 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 물리적 강제력 영향 기초 및 주요 암반생태계 특성 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 물리적 환경변화(바람, 파랑, 조류 강도 및 암반경사 등)에 따른 군집생태 특성 조사 ○ 환경요인 변화에 따른 암반생태계 및 먹이생물 기능성 구분 <ul style="list-style-type: none"> - 울릉도 암반생태계 주변 해역의 영양염, 플랑크톤 및 암반생물 생체량 분포 특성 분석 - 생태-생리 반응 연구를 통한 기능성 구분 규명(순기능, 역기능)
<p>울릉도 수중생태계 서식생물 현황 파악</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정점별/수심별/계절별 수중 서식생물 핵심종 목록화 및 분포도 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 해양보호구역, 인위적 교란 구역 ○ 주요 연구대상 생물의 서식 특성 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 정점별, 수심별, 계절별 핵심 부유생물 및 암반생물 생물상 조사
<p>유용 해양생물종의 유전특성 구명</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구대상종 수집 및 유전자원 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 울릉도에 서식하는 유용 어류 수집 및 유전자원 확보 ○ 신규 분자마커 발굴 및 적용 <ul style="list-style-type: none"> - 유전체 분석을 통한 유전자 정보 확보 - 목적형(종 동정, 집단분석 등) 분자마커 발굴 - 다른 해역 집단과 유전 특성 비교분석

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 연구동향

1. 국내 연구개발 현황

울릉도·독도해양과학기지 김윤배 박사는 2015~2016년까지 “기후변화와 인위적 교란에 따른 울릉도 해양생태계 반응(울릉도·독도해양과학기지 지원)” 연구에서 울릉도 기후변화 및 인위적 교란에 의한 해양환경변화가 섬 주변 해양생태계에 미치는 영향 연구를 통해 울릉도 해양생태계 변화의 특이성과 지리적 연계성을 파악하였다. 주요연구로는 주요 핵심인자의 장기변화 경향성 분석, 울릉도 주변 해역의 장기 모니터링 방안 제시, 울릉도 주변해역 물리 구조 및 부유/유영동물의 계절 변동, 보호구역과 인위적 교란역의 계절별 해조류 및 저서무척추동물 생물 상, 우점 해양생물이 지리적 특성 파악을 위한 집단 유전자 분석 연구를 수행하였다.

한국해양과학기술원 남해연구소 강정훈 박사는 2014년 “전략 무인도서 과학적 해양생태도 개발 연구”를 통해 우리나라 남해 최외곽 영해기점무인도서의 체계적인 과학적 관리 방향을 결정하기 위한 방안으로 해양생태계 관측의 무인도서 과학적 종합해양생태도를 작성하고, 관리방안을 제시하였다. 주요연구로는 기반환경조사로서 연안 해저지형 및 해양물리 현장관측, 암반생태계 먹이생물 환경특성을 조사하였고, 무인도서 수중환경 서식생물 현황 및 특정 조사를 통해 암반 서식 어류, 해조류, 무척추동물 현황 및 특성조사와 산호충류 분포를 조사하였다. 또한 중간기착 외래유해생물 현황을 파악하고 부착성 원생동물 분포 조사 및 Rock pool 요각류에 대한 유해 미세조류의 영향과 해파리를 분류함. 마지막으로 연구지역인 백도 생태계 조사 자료를 활용하여 백도생태계의 에머지 평가를 실시하고, 모인도서 가치평가 측면에서 향후 무인도서 연구조사의 시사점을 제시하였다.

국내에서는 환경부의 “독도 등 도서지역의 생태계 보전에 관한 특별법” 제정을 계기로 1998년부터 전국 무인도서 자연환경 조사를 시작하였으며, 해양수산부에서는 “무인도서의 보전 및 관리”에 관한 법률을 지정하고 2005년에 일부 무인도서 실태조사를 실시하였다. 환경부는 전국무인도서 자연환경조사를 통해 1998년~2006년까지 708개의 무인도서 실태 조사를 통해 153개를 특정도서로 지정하여 보전/관리하고 있다. 그러나 무인도서 주변해역의 해양생태계는 육지에 가까운 실안해역의 생태계와는 기능과 구조가 다른 보전가치가 높은 곳이나 기 시행된 무인도서 자연환경조사는 도서의 육상생태계에만 초점을 두고 있다. 따라서 생물 다양성이 매우

높고, 건강한 환경/생태계를 유지하고 있는 무인도서 주변 해양생태계를 조사할 필요성이 있다.

해양보호구역의 일환으로 국토해양부 주관 하에 울릉도에서 수행된 “능결생태지도” 작성 연구는 주요 생물들의 서식특성, 수심별 생물 분포조사, 사진 및 관찰결과를 종합 정리하였으며, 2015년에는 포항지방해양수산청에서 “울릉도 주변해역 해양보호구역 관리기본계획 수립 연구”를 수행하여 울릉도 주변 해역의 생태학적 중요성, 해양생태계 위협 요인 저감 및 능동적 보전 관리 방향 설정하여 해양이 주는 사회·경제·문화적 가치를 높일 수 있는 관리기본계획을 수립하였다. 국토해양부에서는 2010년 무인도서와 그 주변해역의 보전 및 이용·개발에 관한 무인도서종합관리계획 수립·시행에 필요한 자료 확보를 위해 남해권역에 위치한 무인도서 주변해역의 해조류, 저서동물, 유영생물에 대한 수중생태조사를 실시하여 보고서를 발간하였다. 이와 반면 울릉도의 경우 일부 과제 수행을 위한 수중생태 연구가 이루어졌을 뿐 국가 차원에서의 정밀 해양생태조사는 이루어지지 않은 상황이다.

국립해양생물자원관, 국립수산물과학원, 한국생물다양성정보기구(KBIF, Korea Biodiversity Information Facility)에서는 국내 연안 해양 동식물의 유전자원 조사를 실시하고 있으며, 국가연구개발사업인 “포스트게놈 다부처 차세대 유전체” 사업을 통해 우리나라 해양 동식물의 유전체 분석 및 관련 시스템 구축을 실시하고 있다 (Fig. 2.1.1.1). 이와 반면 울릉도 해양 동식물을 대상으로 수행된 연구는 생태 분야에서 주로 이루어졌을 뿐이며, 유전학이나 생리분야에서의 연구는 미흡한 상황이다.

국내 섬의 가치평가는 에머지 방법론을 이용하여 우세도와 선감도를 대상으로 환경수용력을 평가하면서 시스템 관점의 가치를 평가하였다. 평가대상 무인도로 유입되는 자연환경 에너지의 에머지량을 계산하고, 이를 바탕으로 에머지 관점에서 가치평가를 실시하였다.

우리나라의 유일한 세계유산 등재는 총 12개로서 이중 자연유산은 2007년 6월 제주 화산섬과 용암동굴이 등재되었다. 주요 지역은 한라산 천연보호구역, 성산일출봉, 응회구, 거문오름 용암동굴계로 188,45km² 면적으로 육상 자연환경을 대상으로 등재된 상태이다(Table 2.1.1.1). 또한 서남해안 갯벌은 유일하게 해양자원을 대상으로 세계자연유산 등재를 추진하고 있다. 서해안 갯벌은 2010년 유네스코 세계유산 잠정목록에 등재되었으며, 12월부터 등재추진 기본계획을 수립하고 관련분야별 연구를 수행하고 있다.



Fig. 2.1.1.1. MOU country of Biodiversity Information Facility and Korea data store homepage.

Table 2.1.1.1 National Natural Heritage status of Jeju island

구 분		천연기념물 지정현황(지정연도)
한라산 천연보호구역		제182호(1966년)
성산일출봉 응회구		제420호(2000년)
거문오름 용암동굴계	거문오름	제444호(2005년)
	김녕굴 및 만장굴	제98호(1962년)
	뱅뒤굴	제490호(2008년)
	당처물동굴	제384호(1996년)
	용천동굴	제466호(2006년)

제 2 절 국외 연구동향

1. 국외 연구개발 현황

미국, 호주, 일본 등의 선진국에서는 중요 섬 인접해역에서의 수산자원 및 생태환경 파악을 장기간 주기적으로 수행하고 있다(Fig. 2.2.2.1). 미국은 영해의 약 1/3을 해양보호구역으로 지정하고 다양한 범위를 설정하여 단계별 관리 방안을 마련하고 있음. 또한 알래스카에 인접한 수 개의 섬 주변 해역에서 주요 부유생물 자원이 음향 자원조사를 통해 공간 구조를 파악하여 자원 관리에 활용하고 있다.

일본은 섬 주변 해역 부유생물 자원 및 생태환경 조사를 수행하고 있으며, 해양기본법('08), 낙도보전관리지침('09)을 수립하고 EEZ 관할권을 주변의 섬을 보전하고, 대양자원 확보 도서, 군사적 거점 도서에 대한 재정비 방향을 수립하였다.

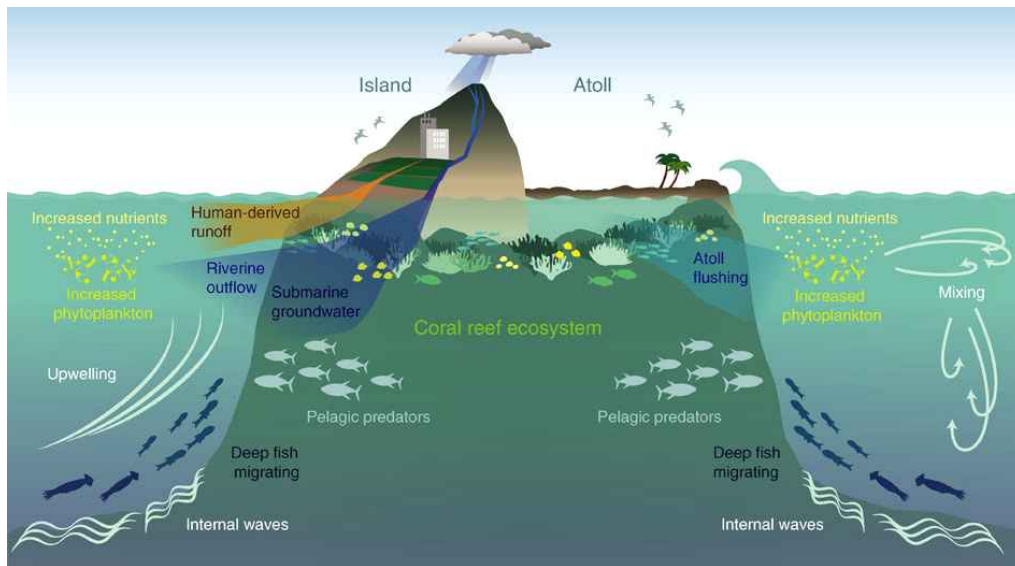


Fig. 2.2.2.1. Various scientific elements necessary to identify ecosystem phenomena around the island.

중국은 해사사업발전계획요강('08), 도서보호법('09)을 제정, 관할권 확장과 군사적 목적 등의 특정 도서에 대한 계획을 수립하도록 근거법 마련하였는데, 모든 섬에 이름을 부여하고 특별한 가치가 있는 섬의 경우 보호지역으로 지정할 것을 제시함. 특히 2003년 해양영토 기점으로서 무인도서의 중요성과 이에 대한 체계적 관리의 필요성을 인식하고 무인해도의 보호 및 이용에 관한 관리 규정을 마련하였다. 중국의 무인해도 관리제도는 도서의 관리 범위를 육지부에 한정하지 않고 해변부가

지 확장하고 있어 공간통합 관리를 강조하고 있으며, 영해의 기점이 되는 무인해도에 대해서는 엄격한 보호제도를 실시하고 있다.

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1 절 울릉도 연안 주요 서식지의 해양환경 장기모니터링

1. 서 론

기후변화로 대표되는 지구환경변화를 파악하기 위해서는 장기적인 관점에서 지속적이고 안정적인 모니터링이 필요하다. 해양 선진국들은 이러한 환경변화를 모니터링하기 위해 1950년대부터 선박을 이용한 관측과 더불어 장기 해양관측시스템을 구축하여 모니터링을 수행해왔다. 현재에는 해양관측 부이, 타워, 등표 및 다양한 플랫폼 등의 해양시설들이 장기 해양관측시스템으로 활용되고 있다. 해저에 설치된 계류시스템이나 고정 구조물을 활용하는 해양관측은 수초에서 수 분 주기의 단주기 해양 및 해양기상 환경 변동으로부터 수 십 년 동안 이루어지는 중장기 규모 까지 관측이 가능하기 때문에 장기간의 시계열 자료로부터 기후변화의 신호를 확인할 수 있는 최선의 방법으로 알려져 있다(남 등, 2014).

우리나라 동해는 아열대화가 진행되고 있어 기후변화에 따른 해양생태계의 반응을 이해하기 위한 다양한 연구가 수행중이다. 이 중 수온상승에 의한 연안생태계의 점진적인 변화는 기존의 토속 생태계를 변화시키고 새로운 종의 가입을 유도함으로써 생태계의 천이를 유발할 수 있다. 이에 생태계 변화에 대한 관측, 예측 및 향후 대응방안으로써 연안지역의 생물 서식처에 대한 중장기적인 해양환경 모니터링을 수행할 필요가 있다.

울릉도는 지리적 특성으로 인해 육지 섬과는 달리 인간 활동의 직접적인 영향이 제한되어 고유의 해양생태계를 유지하여 풍부한 생물상을 가지고 있으며, 동해에서 기후변화의 영향을 모니터링 할 수 있는 주요 거점으로써 가치가 높다. 또한 생태계는 섬 기인 물질의 발생으로 외해역의 생산력을 끌어올리는 역할을 하며, 중간기착 생물의 성장 및 서식처를 제공하고 있다. 또한 울릉도-독도 주변 해역은 극전선 역 형성과 난수소용돌이 발생으로 인해 해양환경 변동성을 높임으로 인해 해양환경 및 생태계 연구의 핵심 거점으로 활용가치가 높은 것으로 평가되고 있다. 지금까지 울릉도-독도를 대상으로 해양환경 모니터링을 수행한 연구는 Hydrography around Dokdo (Chang et al., 2002), ARGO 뜰개에 의한 2003-2005년 울릉도 주변 해역의 수온-염분 구조(김 등, 2006), 2013~2015년 울릉 난수성 소용돌이의 수온변동(최 2016), 동해 연안(울릉분지)의 최근 10년간 해양환경 변화(윤 등, 2017), 2016년 춘계 울릉도-독도주변해역에서 동해 연안 용승과 시간차

에 의한 일차생산력 영향(백과 김, 2018) 등을 들 수 있다. 그러나 이와 같은 관심에도 불구하고 중장기적 관점에서 울릉도의 생물서식처 주변에 대한 해양환경 장기모니터링 연구는 미비한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 울릉도 연안 주요 서식지의 해양관측 시스템 구축, 해양환경 장기모니터링 및 울릉도 연안 해양혼합 특성 파악을 통해 수중생태계의 장기 변화 분석에 필요한 중장기 모니터링 자료를 확보하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 울릉도 연안 장기 해양환경시스템 구축

울릉도 연안의 주요 정점별 계절별 물리특성을 파악하기 위해서 연안 7개의 정점에서 2017년 2월, 6월, 8월, 10월에 계절별 조사를 수행하였다(Fig. 3.1.2.1). 관측은 SBE25plus CTD를 사용하였으며, 관측항목은 수심별 수온, 염분, 용존산소량, 클로로필, 탁도 분포이다(Fig. 3.1.2.2, Fig. 3.1.2.3).

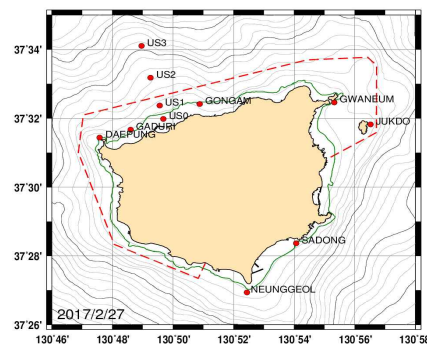


Fig. 3.1.2.1. Marine physics observation site on the coast of Ulleungdo.

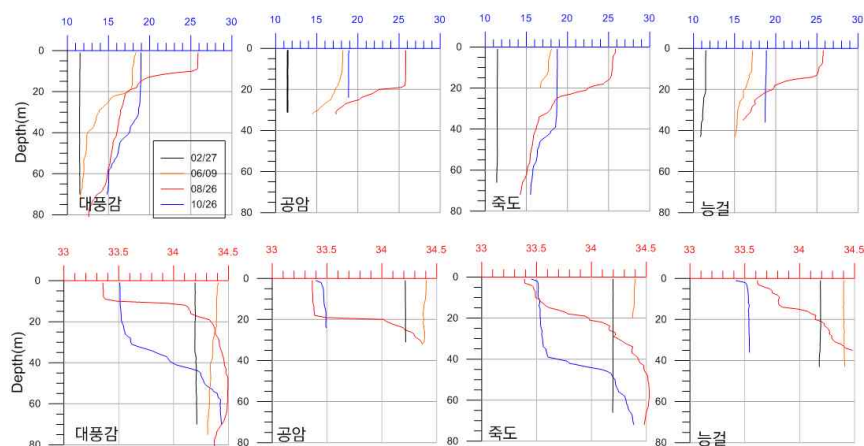


Fig. 3.1.2.2. Vertical distribution of water temperature and salinity by main site in 2017.

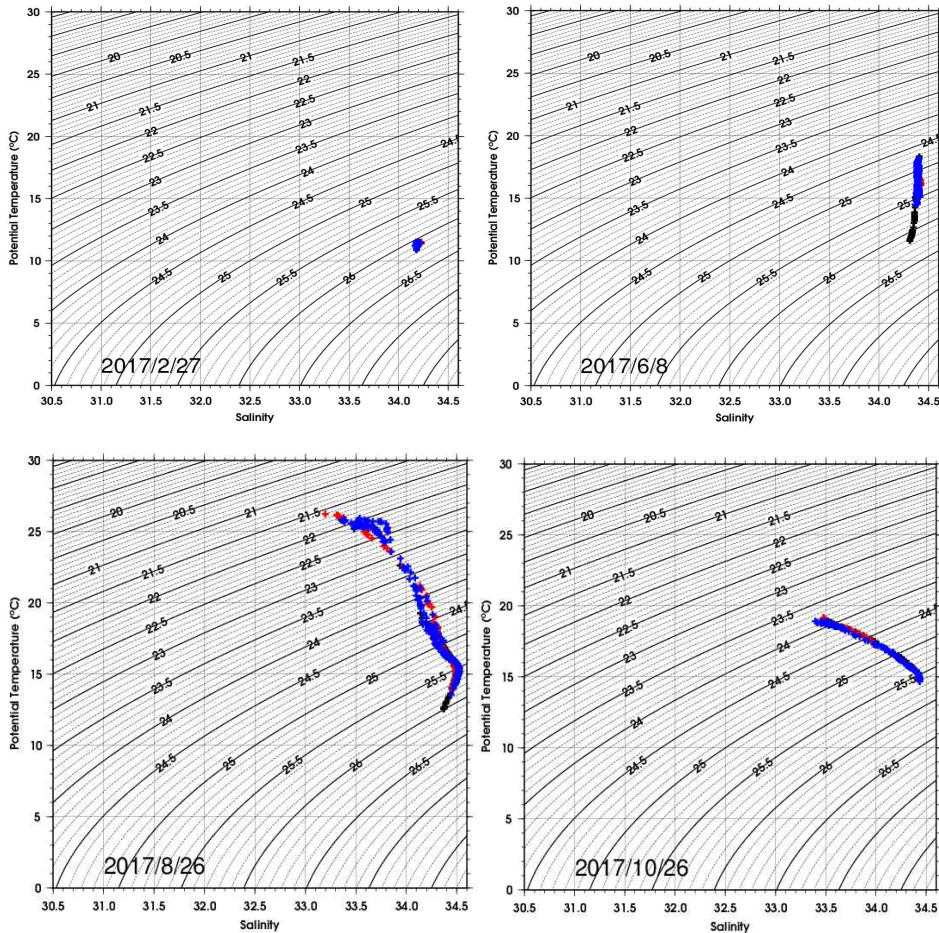


Fig. 3.1.2.3. T-S diagram at the study sites of Ulleungdo.

울릉도 연안의 실시간 해양기상상태 파악 및 실시간 해수유동과 해수특성을 파악하기 위하여 울릉도 연안에 실시간 해양관측부이 설치를 통해 동해 한 복판에 위치한 울릉도의 지리적 장점을 극대화함으로써 동해의 대표적 장기 모니터링을 station을 구축하고자 하였다.

나. 울릉도 연안 해양환경 장기 자료 수집 및 분석

울릉도 연안 해양환경 장기 관측자료는 기상청, 국립수산과학원, 국립해양조사원, 포항공대 등에서 관측한 파고, 바람, 수온, 염분, 강수량 등의 장기 관측자료를 아래 표와 같이 수집하였다(Fig. 3.1.2.4, Table. 3.1.2.1). 수집 자료는 기상청 울릉도 연안(혈암, 남양, 울릉읍) 및 독도 연안 파고부이 자료, 기상청 울릉도 외해(울릉도 동쪽, 울릉도 서쪽) 해양기상부이자료, 울릉도 기상대 기온, 강수량, 신 적설량 등 기상관측자료(1938~현재), 국립수산과학원 울릉도 연안 정지 관측자료 및 외해 정선 관측자료, 국립해양조사원 울릉도 조위 관측자료(1965-현재)이다.

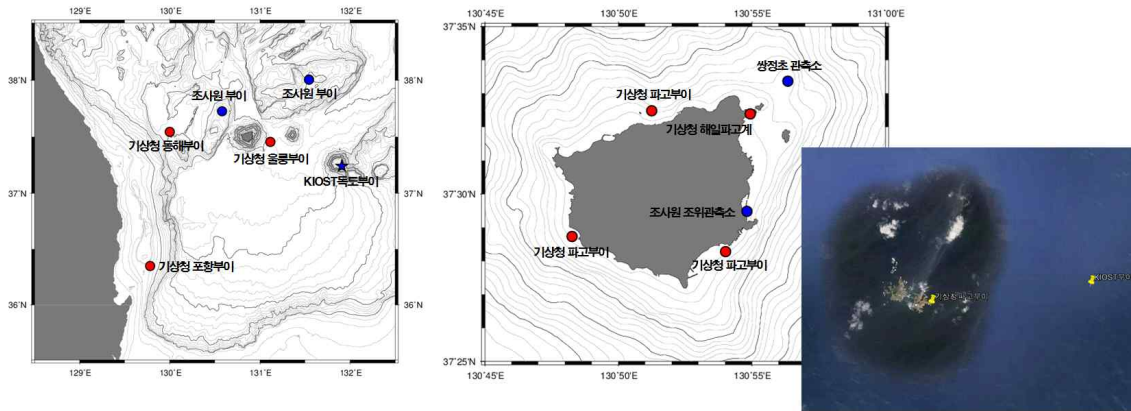


Fig. 3.1.2.4. Location of major real-time ocean observation network around Ulleungdo.

Table. 3.1.2.1. Status of marine data collection around Ulleungdo

기관	장비명	자료	자료기간	관측간격
기상청	공암 파고부이	파고, 표층수온	2012.01-현재	1시간
기상청	구암 파고부이	파고, 표층수온	2012.01-현재	1시간
기상청	울릉읍 파고부이	파고, 표층수온	2012.11-현재	1시간
기상청	독도 파고부이	파고, 표층수온	2012.01-현재	1시간
기상청	울릉도 해양기상부이	파고, 표층수온, 풍향, 풍속	2011.12-현재	30분
기상청	동해 해양기상부이	파고, 표층수온, 풍향, 풍속	2001.05-현재	30분
기상청	울릉도 AWS	기온, 강수량, 적설량	1938.08-현재	1분
기상청	*	태풍발생	1951-현재	발생시
기상청	*	풍랑특보	1999-현재	발생시
국립수산과학원	정선 해양관측	층별 수온, 염분	1961.06-현재	격월
국립수산과학원	울릉도 연안정지관측	표층수온	1952.07-2013.12	1일
국립해양조사원	울릉도 조위관측소	조위, 표층수온	1965.08-현재	1분
포항공대	울릉도 해양관측부이	층별 수온, 염분, 풍향, 풍속 층별 유향, 유속	2011.04-2012.06	10분
한국해양과학기술원	독도 해양관측부이	층별 수온, 염분, 풍향, 풍속, 층별 유향, 유속	2009.03-현재	10분

* 수집항목: 기상요소(기온, 일강수량, 신적설량, 풍향풍속 등 1938.8~현재), 파고(2001~현재), 풍랑특보(1999~현재), 표층수온(1965.8~현재)

울릉연안 지역별 해양환경변동 특성 파악 위한 지역별 환경자료는 울릉도 주변 해역의 바람 및 파고 특성의 경우 2012년부터 2017년까지 울릉도 동쪽 17km 해상에 위치한 기상청 울릉도 해양기상부이 자료를 분석하였으며, 분석항목은 풍속, 풍향, 파고 등이었다. 표층수온, 파고, 해상풍 관련 자료는 울릉 연안에 3개 연안지역에 설치된 기상청 파고부이(북쪽 공암, 남서쪽 구암, 남동쪽 울릉읍) 자료를 활용하여 분석하였다.

다. 울릉도 연안 해양 혼합 특성 파악

울릉 연안 해양 혼합 특성은 2018년 4월부터 8월까지 측정된 실시간 울릉도 해양관측부이 자료(2018. 5~ , 10분 간격, 수심별 수온, 염분자료), 울릉도 북쪽 해역 3마일 이내 3개 정점의 CTD 자료(1~2개월 간격) 및 울릉도 연안 7개 정점의 계절별 CTD 자료를 활용하여 분석하였다(Fig. 3.1.2.5, Fig. 3.1.2.6).

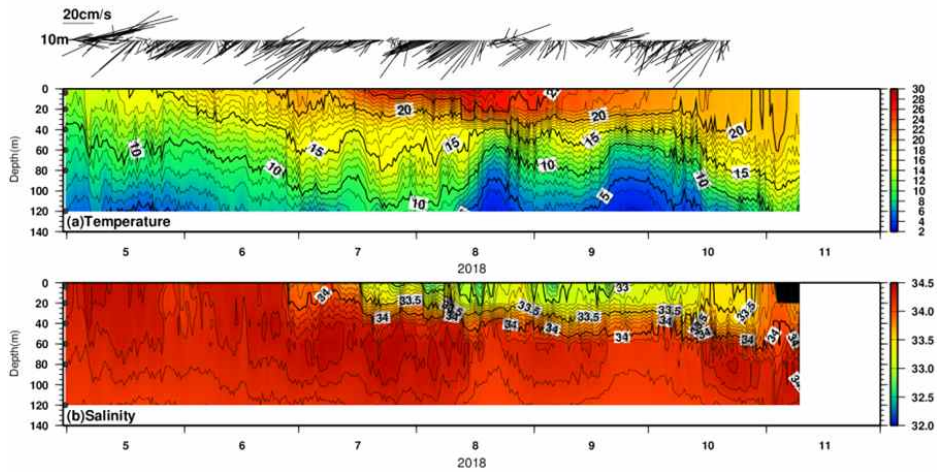


Fig. 3.1.2.5. Time series distribution of water Temperature-salinity by depth observed in Realtime Observation Buoy.

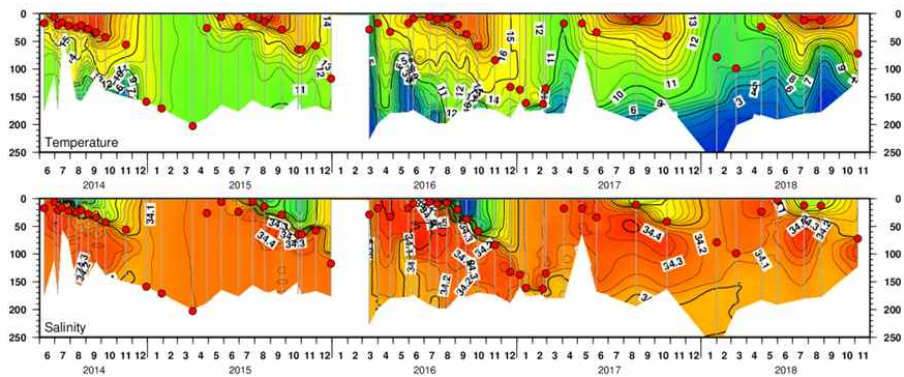


Fig. 3.1.2.6. Distribution of Water Temperature-salinity and ocean mixed layers at 3km research area North of Hyeonpo harbor.

3. 결과 및 토의

가. 울릉도 연안 장기 해양환경시스템 구축

2017년 2월 관측시에는 상하층의 강한 혼합에 의해 모든 정점에서 전층에 걸쳐 수온은 11.5℃ 내외의 일정한 수온을 보임. 염분도 전층에 걸쳐 거의 일정하였다. 염분의 경우, 능걸, 사동, 죽도, 관음도 등 울릉도 남동쪽 정점에서 비교적 낮고 (34.17 내외), 수중가두리, 공암 등 울릉도 북쪽 정점(34.24 내외)에서 비교적 높게 나타났다(Fig. 3.1.3.1).

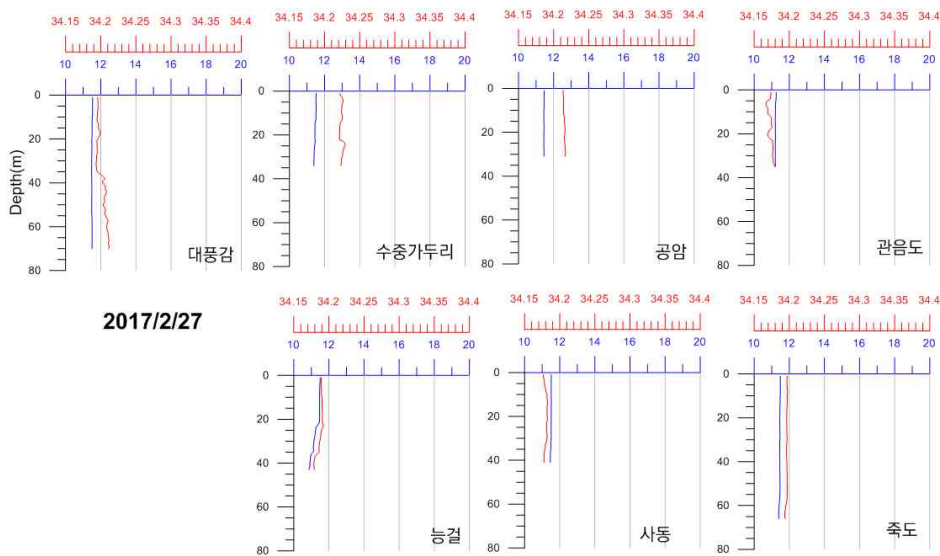


Fig. 3.1.3.1. Vertical distribution of water temperature and salinity at study stations of Ulleungdo in February 2017.

6월의 경우, 표층수온은 18℃ 내외를 보이며, 대풍감, 공암, 사동의 경우에는 20m 근처에서 수온약층이 발달하였다. 수중가두리 정점의 경우, 수온약층이 다른 정점에 비교하여 약하게 발달한 것이 특징적이었다. 염분의 경우, 표층 염분은 전 정점에서 34.4로 비교적 고염의 염분을 보이며, 관측수심에 걸쳐 34.3 이상의 고염분을 보여 모든 정점에 걸쳐 대마난류수의 영향이 뚜렷이 미치고 있는 것으로 고려되었다(Fig. 3.1.3.2).

2017년 8월 표층수온은 26℃ 분포를 보이며, 2월, 6월에 비교하여 수온 약층이 비교적 얇으며 10~20m 근처에서 강하게 발달하였다. 염분의 경우, 표층 염분은 33.2~33.6으로 표층에서 저염수의 염분이 관측되었으며, 중층에서는 수심 약 40m 이심에서 약 60m를 중심으로 34.5의 고염의 대마난류수의 영향이 뚜렷하였다. 즉, 여름철에는 울릉도 주변의 일반적인 특징인 표층으로 저염의 대마난류표층수, 중층으로 고염의 대마난류 중층수의 특징이 잘 나타나고 있었다(Fig. 3.1.3.3).

10월 표층수온은 19℃ 내외의 분포를 보이며, 수온 약층이 약 30~40m로 8월에 비교하여 깊어진 것으로 분석되었다. 표층 염분은 33.5 내외로 8월과 유사하게 비교적 저염의 해수가 표층에 분포하고 있었으며, 수심 60m 이심에서는 염분 34.4 내외의 고염의 대마난류수가 영향을 미치고 있었다. 이러한 고염의 대마난류수는 8월에 비하여 관측되는 수심대가 약 40m 근처에서 60m로 층이 약간 깊어진 것이 특징적인 것으로 분석되었다(Fig. 3.1.3.4).

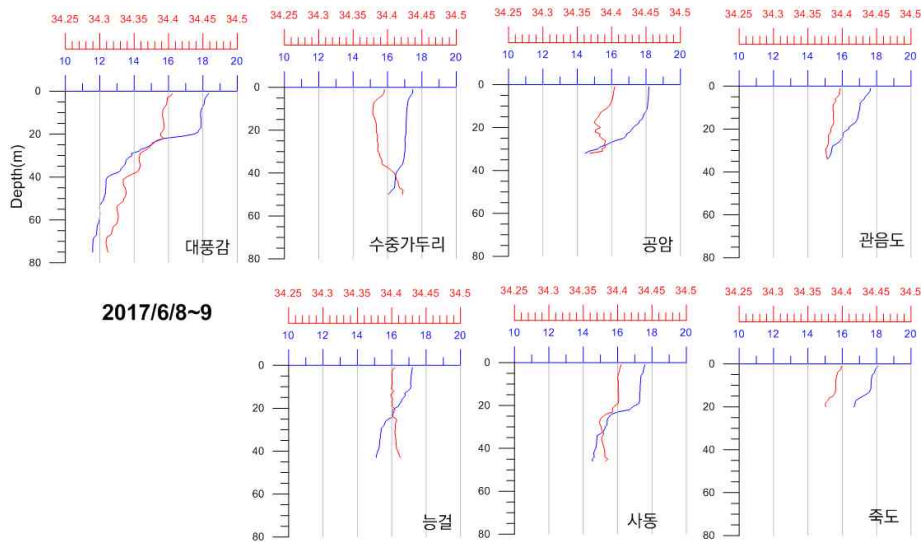


Fig. 3.1.3.2. Vertical distribution of water temperature and salinity at study stations of Ulleungdo in June 2017.

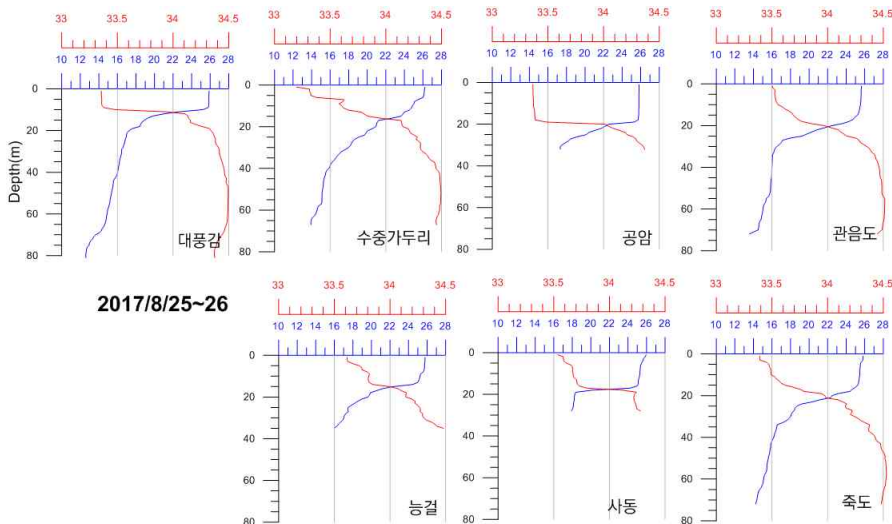


Fig. 3.1.3.3. Vertical distribution of water temperature and salinity at study stations of Ulleungdo in August 2017.

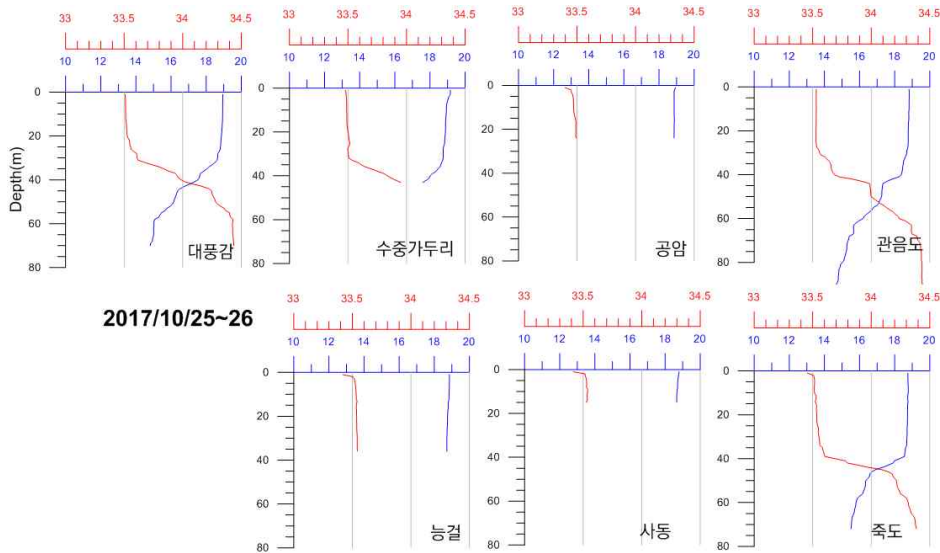


Fig. 3.1.3.4. Vertical distribution of water temperature and salinity at study stations of Ulleungdo in October 2017.

울릉도 연안 표층수온의 시계열 변화를 분석하기 위하여 기상청에서 울릉도 연안에 설치한 3개의 파고부이(혈암, 구암, 울릉읍)의 표층수온 자료를 분석한 결과, 2017년의 경우, 대체적으로 울릉도 남쪽 연안에 위치한 구암 및 울릉읍 부이에서 울릉도 북쪽 연안의 혈암 부이보다 표층수온이 약 1~2°C 정도 높게 측정되었다. 표층수온의 월평균은 연 중 3월이 가장 낮으며, 8월이 가장 높았는데 혈암의 경우, 3월 평균 수온이 10.3°C이며, 울릉읍은 11.4°C, 구암은 12.4°C로 조사되었다(Fig. 3.1.3.5).

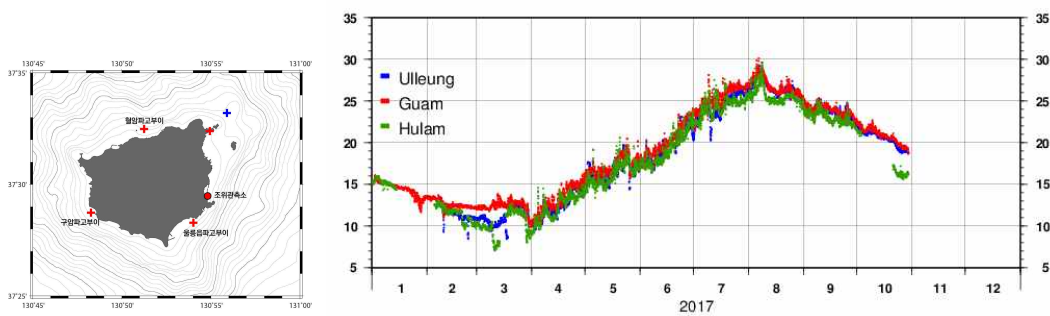


Fig. 3.1.3.5. Location of wave height buoy and surface water temperature distribution at the Korea Meteorological Administration on the coast of Ulleungdo in 2017.

울릉도 연안 실시간 관측 시스템 구축은 2017년의 경우 현장 조사를 통해 현포항 북쪽 약 2.5 km 해역의 수심 150m 해역을 장비 계류 위치로 선정하였으며, 장

비 설치에 필요한 장비 확보 등을 추진하였다(Fig. 3.1.3.6). 2018년에는 울릉도 연안의 실시간 해양환경 특성 파악을 위해 울릉도 연안 북쪽의 수심 145m 해역에 실시간 해양관측부이 및 울릉도독도해양연구기지 전면 부두에 연안(수심 약 2m) 실시간 관측시스템 운영 중이다(Table 3.1.3.1). 또한 2019년부터는 울릉도 주변해역에서 실시간 해양관측부이를 운영중인 각 기관(우리원, 기상청)의 자료를 통합하여 지역 주민에게 실시간 정보(파고, 수온 등)을 제공하는 통합 정보전광판을 운영할 계획이다(Fig. 3.1.3.7).

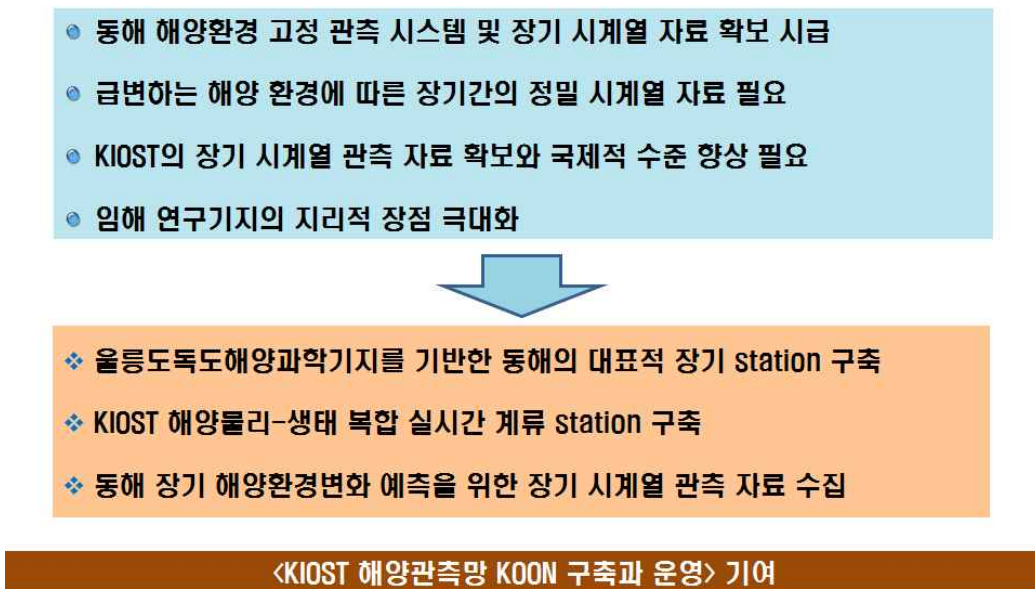


Fig. 3.1.3.6. Operation plans of real-time ocean observation buoy on Ulleungdo.

Table 3.1.3.1. Outline of observation system for understanding real-time marine environment around Ulleungdo

	실시간 해양관측부이	연안 CTD 관측시스템
위치	울릉도 현포항 북쪽 2.5km	울릉도독도해양연구기지 전면 부두
수심	145m	2m
관측개시일	2018. 4. 30	2017. 3. 28
관측간격	10분	5분
장착센서	ADCP, CTD(0, 20, 40, 60, 80, 120m), 파향파고계, 클로로필(20m), 기상(풍향, 풍속, 기온, 습도, 기압)	CTD(수온, 염분, 압력),

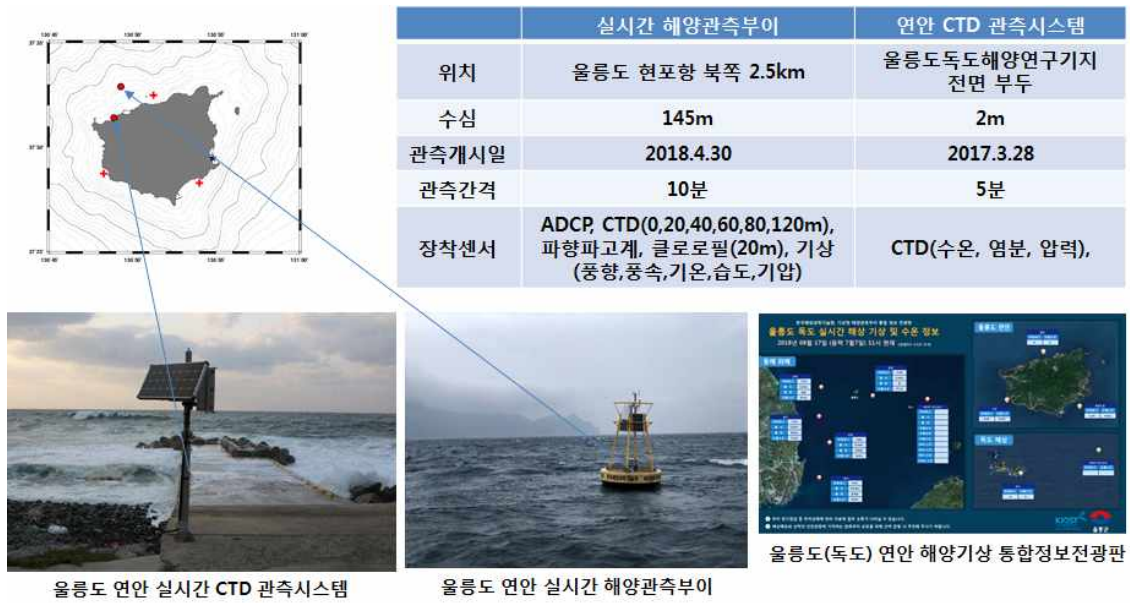


Fig. 3.1.3.7. Outline of operation of real-time ocean observation site on Ulleungdo.

나. 울릉도 연안 해양환경 장기 자료 수집 및 분석

1965년부터 현재까지 울릉도 연안의 표층수온 장기 기후변화 경향을 살펴보면 울릉도 연안 표층수온은 지난 50년간 1.13°C 상승하였다. 20°C 이상일수는 1960년대 77일에서 최근 123일로 46일 증가였으며, 10°C 미만일수는 1960년대 56일에서 최근 33일로 23일 감소하였다(Fig. 3.1.3.8).

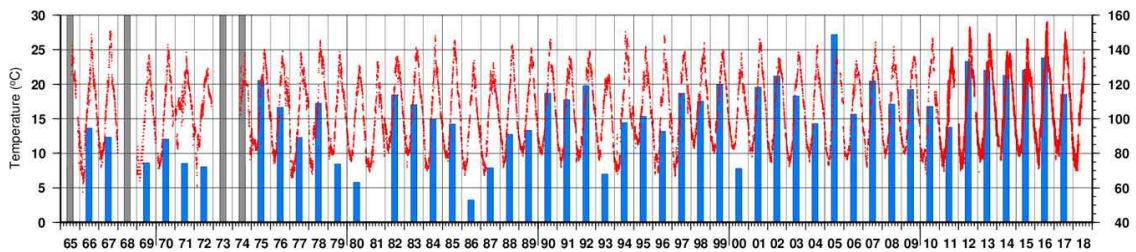


Fig. 3.1.3.8. Surface temperature of Ulleungdo tidal observatory and the number of days to maintain water temperature over 20°C.

파고 및 풍랑특보의 장기 변동은 1996~2016년 동안 울릉도 주변의 동해중부 먼바다 풍랑특보 연평균 발령일수의 경우 67.0일이었으며, 12월에 10.6일로 풍랑특보 발령일수가 최대로 조사되었으며, 6월이 1.1일로 최소 일수를 기록하였다. 풍랑특보 발령일수는 2004~2008년(평균 50.5일)에 비교하여 2009~2015년(73.6일)에 1.5배 증가하였다(Fig. 3.1.3.9, Fig. 3.1.3.10, Fig. 3.1.3.11).

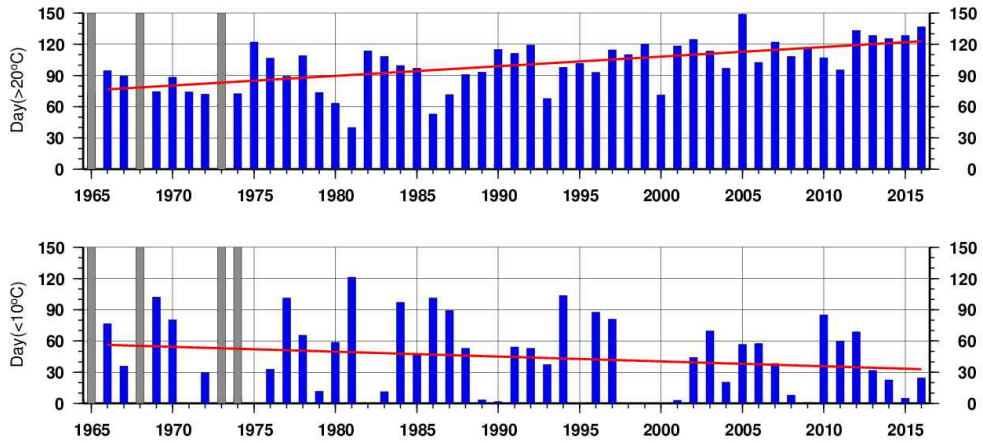


Fig. 3.1.3.9. In Ulleungdo, surface water temperature is higher than 20°C (upper figure) and lower than 10°C (lower figure) in Ulleungdo.

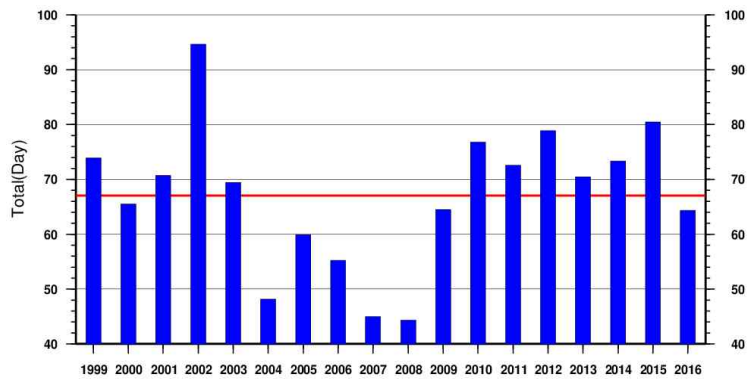


Fig. 3.1.3.10. Date of issuance of the average storm surge in the East Sea from the middle of the year 1999 to 2016.

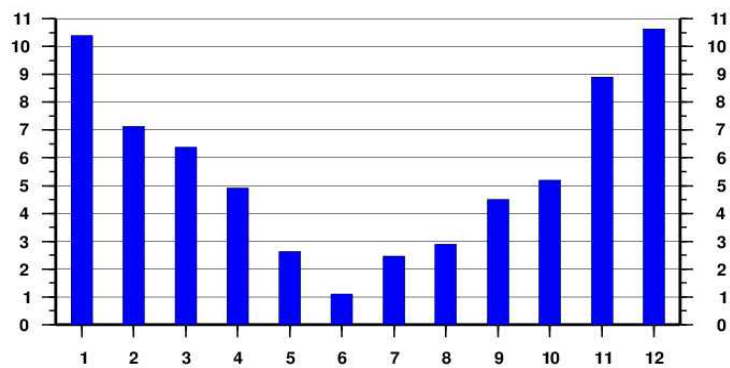


Fig. 3.1.3.11. Date of issuance of the average storm surge warning for the East Sea in the middle of the year from 1999 to 2016.

울릉연안 지역별 해양환경변동 특성을 분석한 울릉도 주변 해역의 바람 특성은 4~8월에는 약한 남서풍 계열의 바람이 우세하며, 9~10월에는 북동풍, 11~3월에는 주로 북서풍의 바람이 강하게 부는 특성이 있었다. 2012년 1월 이후 관측기간 동안 최대 순간풍속은 2015년 8월 25일에 태풍 고니의 영향으로 30.8m/s가 관측되었다. 울릉도 주변 해역의 파고 특성은 연중 6월이 최대파고 월평균이 1.33m로 가장 낮으며 12월이 3.28m로 연중 가장 높은 특성을 보였다. 2012년 1월 이후 관측기간 동안 최대파고의 최대는 2012년 4월 3일에 13.7m 이었다(Fig. 3.1.3.12, Fig. 3.1.3.13, Fig. 3.1.3.14). 바람의 경우 해상풍에 따라 지역별 파고특성이 달라졌는데, 겨울철에는 주로 북서풍의 영향으로 북쪽지역이, 여름철에는 남서풍/남동풍의 영향으로 남동쪽 지역의 파고가 가장 높게 발생하였다. 표층수온은 여름철에는 동한난류의 주축이 울릉도 북쪽에 주로 형성된 원인으로 인해 주로 북쪽이 높았으며, 겨울철에도 북쪽이 남쪽보다 수온이 높은 것으로 분석되었다(Fig. 3.1.3.15). 한편 울릉도 연안은 동한난류의 사행에 의한 관측기간 동안 남서향 흐름이 표층부터 바닥근처까지 우세하였다(Fig. 3.1.3.16).

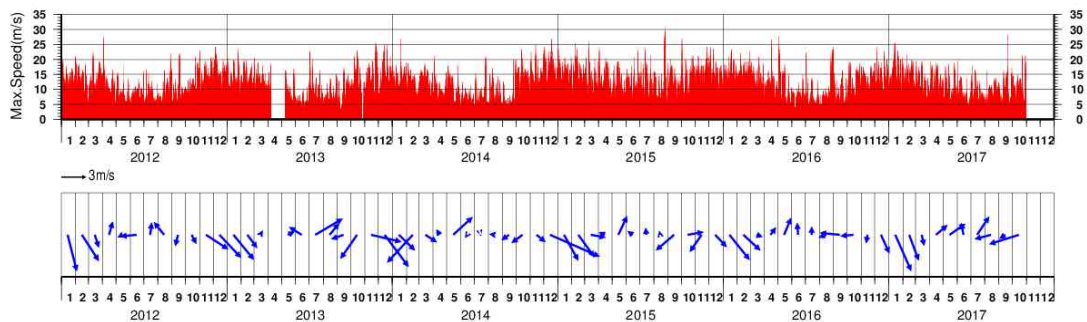


Fig. 3.1.3.12. Maximum instantaneous wind velocity and monthly mean wind distribution of Korea Meteorological Administration buoy in Ulleungdo.

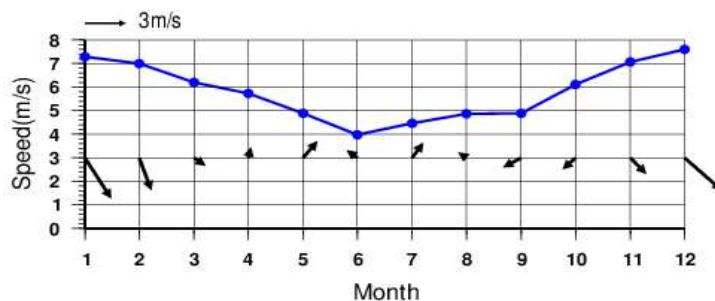


Fig. 3.1.3.13. Average weather velocity and average wind vector of Korea Meteorological Administration buoy in Ulleungdo.

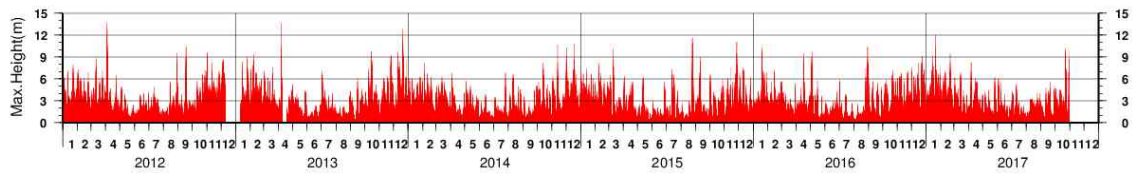


Fig. 3.1.3.14. Maximum wave height distribution of Korea Meteorological Administration buoy of Ulleungdo.

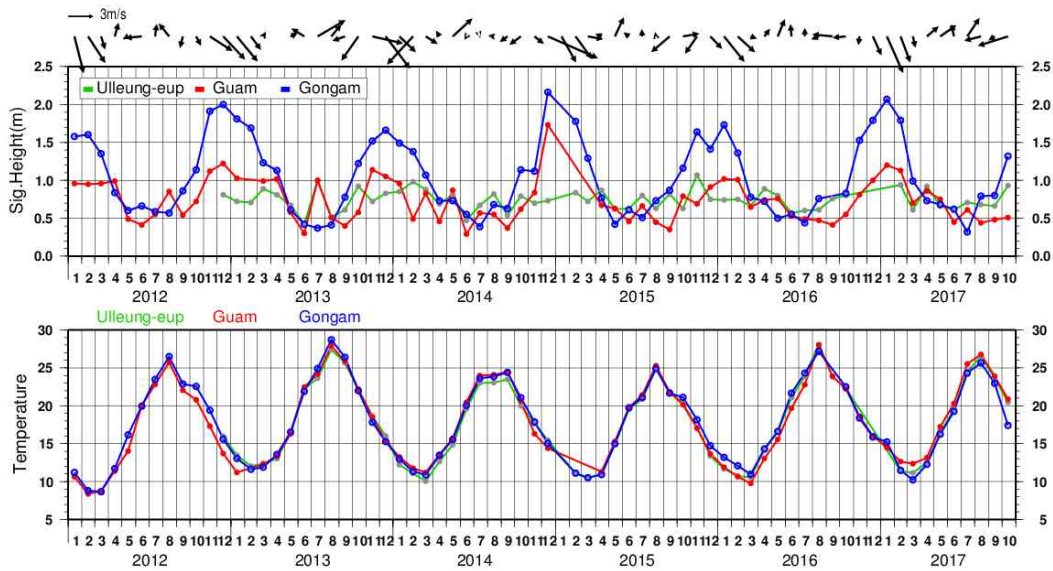


Fig. 3.1.3.15. Meteorological Agency Ulleungdo Coastal Paleo-buoy Monthly wave height (above) and surface water temperature (below) distribution. Indicate monthly mean wind direction velocity together.

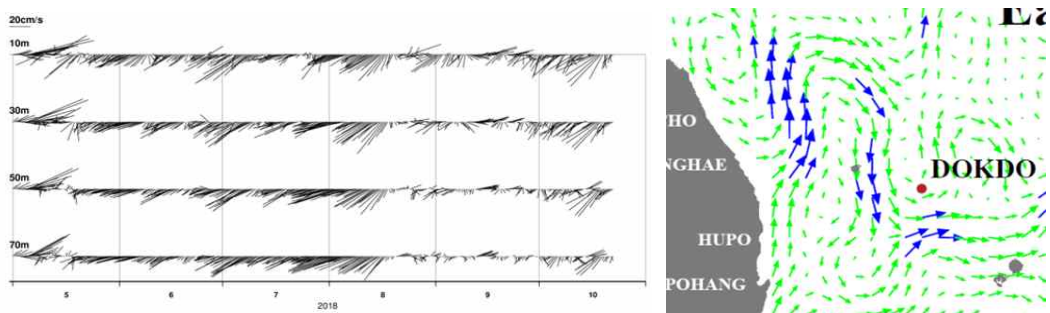


Fig. 3.1.3.16. Distribution of ocean currents and surface ocean currents observed at Ulleungdo Ocean Observation Buoy.

다. 울릉도 연안 해양 혼합 특성과약

2018년 3월, 6월, 8월, 11월의 계절별 울릉도 연안 관측정점 및 관측정점별 수온 및 염분의 연직분포를 분석한 결과 해양혼합층의 경우 여름철에는 고온고염수의 유입으로 20m 내외에서 혼합층 형성, 겨울철에는 강한 북서풍의 영향으로 최대 200m 까지 발달하였으며, 표층저염수는 7월 중순부터 동해로 유입하는 저염수의 영향으로 33.5 미만의 표층저염수가 수심 30m 이내에서 형성되었다(Fig. 3.1.3.17).

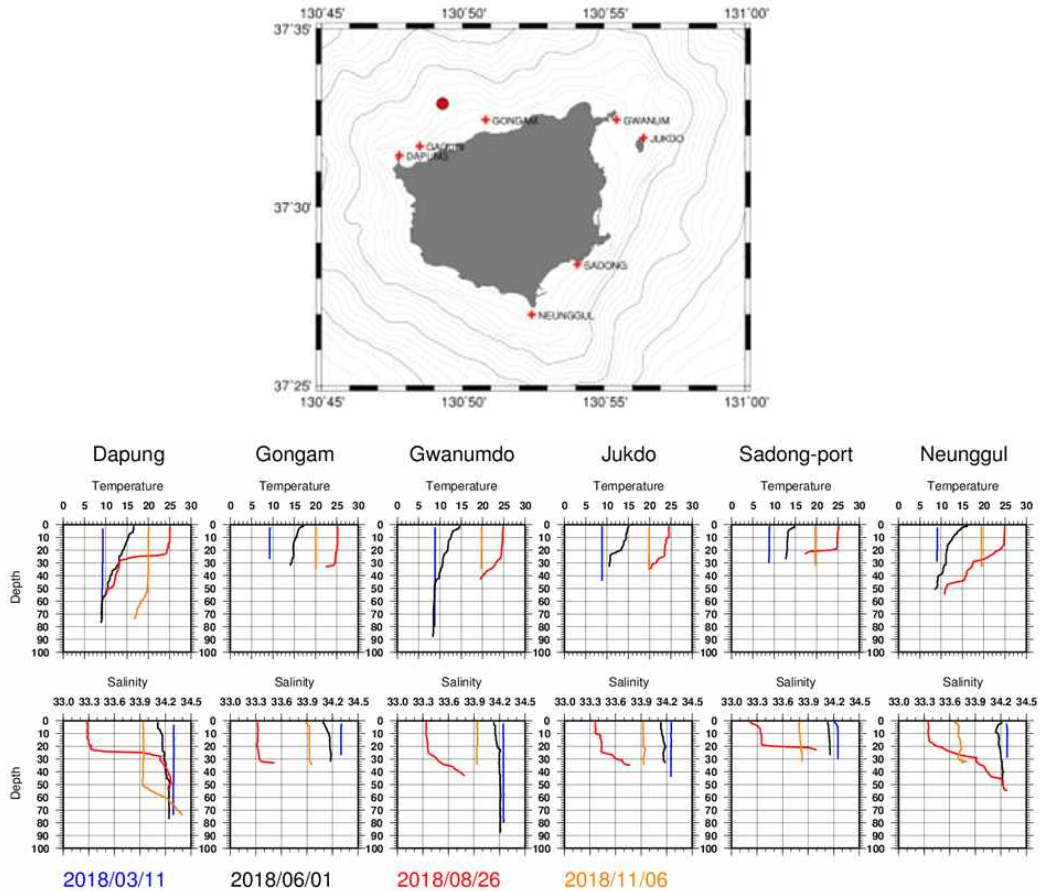


Fig. 3.1.3.17. Vertical distribution of water temperature and salinity by seasonal observation of Ulleungdo coast in 2018.

제 2 절 연안생태계 군집구조 분석

1. 서 론

해양생태계에서 식물플랑크톤은 일차생산자로서 생태계 내에서 환경 요인의 변화에 매우 민감한 반응을 나타내 이들의 군집구조를 파악하는 것은 해역의 특성을 평가하는 중요한 자료로 이용된다(Raymont, 1980). 식물플랑크톤 군집의 변동은 물리·화학 및 생물학적 환경요인들의 변화와 해양학적 특성에 따라 시·공간적으로 다르다. 특히 빛의 세기, 수온 및 염분 등의 물리적인 요인(Estrada, 1984; Margalef 1978; Sommer, 1994)과 질산염, 인산염, 규산염과 같은 화학적인 요인(Mukai, 1987; Thompson et al., 1989) 및 생물학적 요인(Wimpenny, 1973; Frost, 1991) 등 다양한 인자들에 의해 영향을 받는다.

외양의 특성을 가지는 울릉도 주변 해역에서 식물플랑크톤 군집 구성을 파악해 조사해역의 식물플랑크톤이 차지하는 중요성을 규명하고 계절적 천이양상을 밝히며, 추후 울릉도 주변해역의 고유의 물리환경 자료와의 연관성을 파악해 생태계 정보에 대한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

우리나라 가장 동쪽에 위치한 섬인 울릉도는 다양한 형상의 물리, 화학적 요인들이 서로 역동적으로 나타나는 곳으로서, 동물플랑크톤의 출현양상을 연구하는데 있어 계절적 관점보다 중규모의 해양특성을 고려한 연구가 더욱 요구되는 곳이다(나 등, 1991; 양 등, 1991; 박 등, 1998; 해양수산부, 1999, 2000; Kang et al., 2004, 이 등 2017). 동물플랑크톤의 종조성과 개체수는 물리적 강제력(physical forcing), 해류의 특성, 먹이 이용성(resource availability), 포식자의 영향(predation pressure) 그리고 기후변동에 의한 생태계 체제변화(regime shift)에 의해 끊임없이 변화한다. 동해환경을 지배하는 중규모 환경특성중 하나인 난수성 소용돌이 구조, 한류와 난류가 교차하여 만나는 전선역(박과 최, 1997) 심층해류의 상승과 담수 배출에 의한 울릉도 섬 자체의 섬 효과가 동물플랑크톤의 분포 및 변동특성에 영향을 끼치는 대표적인 물리적 영향자로 알려져 있다(강 등 2002). 울릉도의 소규모 조사를 통해 환경과 동물플랑크톤 분포의 상호작용을 규명하는 것은 쉽지 않은 일이다. 생태계 시스템의 현 상태를 파악하기 위해 상향조절 및 하향조절 관점에서 동물플랑크톤의 역할과 물리, 화학적 환경과의 상호작용을 파악할 필요가 있다. 동물플랑크톤은 부유생태계 시스템에서 일차생산자와 포식자 사이에서 에너지를 직접적으로 전달하는 매개체이며, 배설물이나 사체가 바닥으로 침강하여 저서생태계를 부양하는 역할을 한다(강 등 2016).

본 연구는 울릉도 연안해역의 동·식물플랑크톤의 주요종을 선정해 주요종과 환

경과의 관계를 살펴보고 먹이생물 구조의 현 상태를 파악하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

울릉도 연안 해양환경의 동·식물플랑크톤 조사는 2017년 2월(동계)부터 2018년 11월(추계)까지 계절 조사를 총 8번 수행하였다. 조사정점은 US-line 4개(US0-US3) 정점과 연안 6개(St. A-F) 정점에서 수행하였다(Fig. 3.2.2.1).

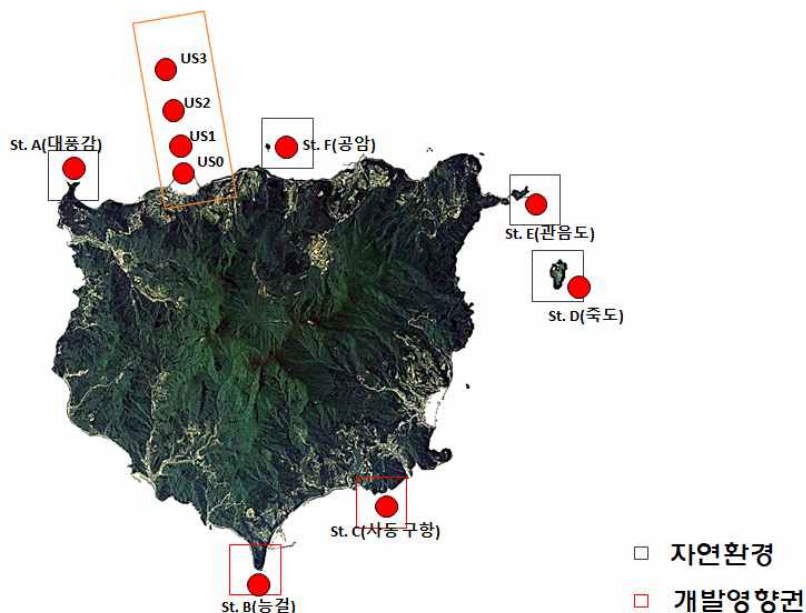


Fig. 3.2.2.1. The map showing sampling stations in the coastal waters of Ulleung island.

총 엽록소-*a* 농도는 채수한 해수시료 500 mL을 GF/F filter (47mm, Whatman)로 여과한 후 15 mL의 vial에 담아 즉시 냉동시킨 후 실험실에서 90% 아세톤 10 mL에 넣어 24시간 암조건에서 냉장 보관하여 엽록소-*a*를 추출한 뒤, 형광측정기 (Turner-Designs 10-AU)로 측정하였다. 식물플랑크톤 정량 분석을 위한 시료는 수심별로 500 mL 폴리에틸렌 시료병에 채수한 뒤, 최종농도가 1%가 되게 루골용액으로 고정하였다. 실험실에서는 시료를 24시간 이상 안정된 장소에 보관하여 시료 내 식물플랑크톤을 침전시킨 다음, siphon으로 상등액을 제거하여 약 50 mL 정도로 농축하였다. 현미경 관찰을 위하여 농축시료를 100회 이상 흔들어서 균질하게 혼합하였으며 그 중 1 mL를 취하여 Sedgwick-Rafter Counting Chamber에 넣고 광학현미경(Axioplan 40, Zeiss)으로 세포수를 계수한 다음, 이를 단위 mL 당 식물플랑크톤 세포수로 환산하였다(Thronsdon, 1993). 정성분석은 농축된 시료 적당량을 슬라이드 글라스 위에 놓고 고배율인 400-1000배하에서 검경·동정하였다. 구조류 동정

에는 심(1994), Cupp (1943), Hendey (1964), Tomas (1997), Yamaji (1984) 등을 참고하였으며, 학편모류는 Dreber (1974), Shin (1999), Dodge (1982) 등의 논문을 각각 참조하였다.

동물플랑크톤 채집은 망구직경 60 cm, 망목크기 300 μm 의 표준네트로 수직예인 채집을 하였다. 채집은 정선 상태에서 표층혼합층까지 네트를 내려 30-50 m/min의 속도로 수직으로 표층까지 예인하였다. 네트에 여과된 양을 결정하기 위해 네트 입구에 유량계(HydroBios Kiel 438110: backrun stop)를 부착하여 네트에 여과된 해수량을 계산하였다. 코드엔드 버킷에 모여진 채집시료를 1L 폴리에틸렌 시료병에 옮겨 담은 후 중성포르말린으로 최종 농도가 약 5%가 되도록 고정시켜 실험실로 이동하여 보관하였다. 실험실에서 시료병 속의 동물플랑크톤 시료를 잘 섞은 후 파이렛(10 mL)으로 부표품(subsample) 4-8 mL을 채취하여, 계수판(Bogorov counting tray)에서 계수하였다.



Fig. 3.2.2.2. Methods and investigation of zooplankton.

요각류는 중 수준까지, 그 외 동물플랑크톤은 속 수준 혹은 분류군별로 현미경 (Zeiss Model Discovery SteREO V8, Germany) 하에서 동정되었다. 계수된 동물플랑크톤 시료는 최종적으로 inds./m³으로 환산하였다(Fig. 3.2.2.2.). 동물플랑크톤 생체량 분석은 표준망체 (0.2 mm, 0.5 mm, 1 mm, 2 mm, 5 mm)를 이용하여 5개의 크기그

룹 (0.2-0.5 mm, 0.5-1 mm, 1-2 mm, 2-5 mm, > 5 mm)으로 구분한 뒤, 각 크기그룹 별 시료를 미리 무게를 잰 유리섬유여과지 (GF/F filters, diameter 47 mm)에 여과한 후 냉동 (-20°C) 보관하였다. 그 후 유리섬유여과지를 실험실로 옮겨 24시간 동안 60°C에서 건조한 뒤 초정밀저울(Sartorius Cubis MSE)로 무게를 측정하였다. 동물플랑크톤 건중량은 최종적으로 mg/m³으로 환산하였다. 동물플랑크톤 탄소량과 질소량 분석을 위해 일정시료를 반복 분취하여 유리섬유여과지(GF/F filters, diameter 25 mm)에 여과하여 24시간 동안 60°C에서 건조한 뒤 초정밀저울(Sartorius Cubis MSE)로 무게를 측정하였다. 건조한 시료는 CHN analyzer (Thermo flash EA1112)로 분석하였고 최종적으로 mg/m³으로 환산하였다(Fig. 3.2.2.2).

2. 결과 및 토의

가. 식물플랑크톤 군집 구조

2017년 US라인 표층 총 엽록소-*a* 농도는 겨울철에 평균 0.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로, 여름철(평균 0.12 $\mu\text{g L}^{-1}$)보다 약 4배 이상 높았고, 중층과 저층도 유사하였다(Fig. 3.2.3.1). 가을철 중층에서 1 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이상의 농도를 나타냈고, 봄철에는 수층별 차이를 나타내지 않았다.

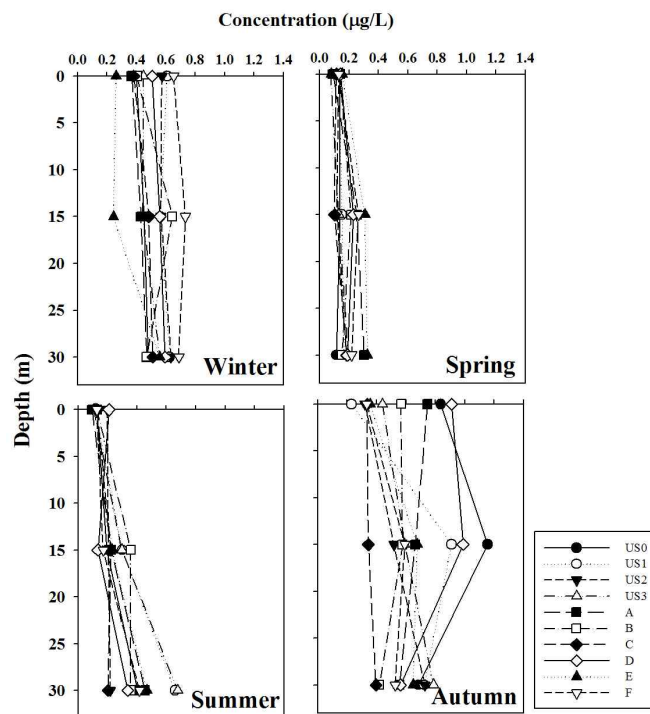


Fig. 3.2.3.1. Seasonal variation of total chlorophyll-*a* concentration in the coastal waters of Ulleung island in 2017.

울릉도 주변정점도 표층 총 엽록소-*a* 농도는 겨울철에 평균 $0.42 \mu\text{g L}^{-1}$ 로, 봄철 평균 $0.12 \mu\text{g L}^{-1}$ 보다 3배 이상 높았다. 여름철 US 라인의 표층 평균 농도는 $0.14 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 봄철과 유사하였으나, 저층에서는 봄철 (평균 $0.17 \mu\text{g L}^{-1}$)보다 여름철에 (평균 $0.49 \mu\text{g L}^{-1}$) 약 2.5배 증가하였다.

2018년 US라인 표층 총 엽록소-*a* 농도는 겨울철에 평균 $0.4 \mu\text{g L}^{-1}$ 로, 여름철 (평균 $0.25 \mu\text{g L}^{-1}$)보다 약 1.5배 이상 높았고, 중층과 저층도 유사하였다(Fig. 3.2.3.2). 봄철과 여름철 총 엽록소-*a* 농도는 수층별 차이가 다른 계절 (겨울, 가을철)에 비해 상대적으로 크지 않았다.

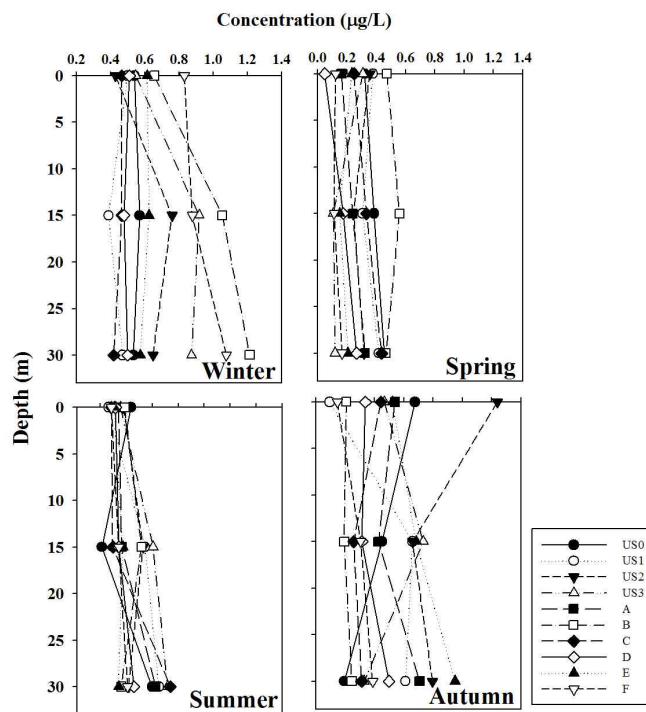


Fig. 3.2.3.3. Seasonal variation of total chlorophyll-*a* concentration in the coastal waters of Ulleung island in 2018.

2017년 조사해역에서 출현한 식물플랑크톤 출현 종수는 총 81종으로 규조류 67종, 와편모조류 11종, 규질편모조류 2종, 유글레나 조류 1종이 출현하였고, 2018년에는 총 85종으로 규조류 59종, 와편모조류 21종, 규질편모조류 3종, 유글레나 조류 2종이 출현하였다(Table 3.2.3.1). 2017년에 비해 2018년에는 규조류의 출현 종수가 감소하였고, 와편모조류의 출현 종수는 증가하였으나 전체 식물플랑크톤 총 출현 종수는 유사하였다. 계절별 평균 출현 종수는 봄철에 34종, 여름철에 52종, 가을철에 49종, 겨울철에 44종으로 나타났다.

2017년 울릉도 주변정점에서는 겨울철에 정점 B(능걸)와 C(사동구항) 표층에서 식물플랑크톤 현존량과 탄소량이 각각 5×10^4 cells L⁻¹와 30 $\mu\text{gC L}^{-1}$ 이상으로 높았고, 여름철에는 표층 식물플랑크톤 탄소량이 평균 12.7 $\mu\text{gC L}^{-1}$ 로 낮아졌고, 반대로 저층 식물플랑크톤 탄소량 값은 평균 258.8 $\mu\text{gC L}^{-1}$ 로 높았다. 특히, 정점 E(관음도)에서 505.9 $\mu\text{gC L}^{-1}$ 로 가장 높은 값을 나타냈다.

Table 3.2.3.1. Phytoplankton species observed in the coastal waters of Ulleung island from 2017 to 2018

Diatoms	
<i>Actinoptychus senarius</i>	<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>indica</i>
<i>Actinoptychus splendens</i>	<i>Rhizosolenia castracanei</i>
<i>Amphora lineata</i>	<i>Rhizosolenia hebetata</i>
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>hebetata</i>
<i>Chaetoceros constrictus</i>	<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>semispina</i>
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	<i>Rhizosolenia imbricata</i>
<i>Chaetoceros danicus</i>	<i>Rhizosolenia pungens</i>
<i>Chaetoceros debilis</i>	<i>Rhizosolenia robusta</i>
<i>Chaetoceros decipiens</i>	<i>Rhizosolenia setigera</i>
<i>Chaetoceros didymus</i>	<i>Rhizosolenia styliiformis</i>
<i>Chaetoceros distans</i>	<i>Skeletonema</i> spp.
<i>Chaetoceros pelagicus</i>	<i>Stephanophyxis palmeriana</i>
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	<i>Stephanophyxis turris</i>
<i>Coscinodiscus centralis</i>	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>
<i>Coscinodiscus granii</i>	<i>Thalassionema nitzschioides</i>
<i>Coscinodiscus jonesianus</i>	<i>Thalassiosira grava</i>
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	<i>Thalassiosira hyalina</i>
<i>Coscinodiscus nobilis</i>	<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	<i>Thalassiosira oestrupii</i>
<i>Coscinodiscus perforatus</i>	<i>Thalassiosira punctigera</i>
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	<i>Thalassiosira rotula</i>
<i>Coscinodiscus</i> sp.	<i>Thalassiosira subtilis</i>
<i>Cylindrotheca closterium</i>	<i>Thalassiosira</i> spp.
<i>Dactylisolen fragilissimus</i>	
<i>Diploneis bombus</i>	Dinoflagellates
<i>Dityum brigwellii</i>	<i>Ceratium breve</i>
<i>Eucampia groenlandica</i>	<i>Ceratium furca</i>
<i>Eucampia zodiacus</i>	<i>Ceratium fusus</i>
<i>Fragilariopsis oceanica</i>	<i>Ceratium tripos</i>
<i>Guinardia delicatula</i>	<i>Dinophysis acuta</i>
<i>Guinardia flaccida</i>	<i>Dinophysis fortii</i>
<i>Leptocylindrus danicus</i>	<i>Gymnodinium</i> sp.
<i>Leptocylindrus minimus</i>	<i>Prorocentrum micans</i>
<i>Navicula</i> sp.	<i>Protoperidinium brevipes</i>
<i>Nitzschia sigma</i>	<i>Protoperidinium conicooides</i>
<i>Nitzschia</i> sp.	<i>Protoperidinium minutum</i>
<i>Odontella longicuris</i>	<i>Protoperidinium</i> spp.
<i>Pleurosigma delicatulum</i>	Silicoflagellates
<i>Pleurosigma</i> sp.	<i>Dictyocha fibula</i>
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	<i>Dictyocha speculum</i>
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	<i>Octatos octonaria</i>
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	Euglenoids
<i>Rhizosolenia alata</i>	<i>Euglena gracilis</i>
<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>gracillima</i>	<i>Euglena</i> sp.

식물플랑크톤 현존량은 2018년 가을철에 평균 5×10^5 cells L^{-1} 로 가장 높은 현존량을 보였고, 겨울철에 평균 7×10^4 cells L^{-1} 로 낮은 현존량을 보였다. 이전 조사인 2017년에도 가을철에 평균 4×10^5 cells L^{-1} 로 높은 현존량을 나타냈다.

Skeletonema spp.와 *Protoperdinium brevipes*는 겨울철 US 라인의 우점종으로 나타났고, 상대적으로 표층과 중층에서는 *Skeletonema* spp.가 저층에서는 *P. brevipes*가 우세하였다. 특히 *P. brevipes*는 저층에서 탄소량의 56%를 차지함. 울릉도 주변 정점에서는 *Skeletonema* spp.(전 수층)와 *P. brevipes* (중층과 저층) 그리고 *Cylindrotheca closterium* (중층과 저층)이 현존량과 탄소량 우점종으로 나타났다(Fig. 3.2.3.4). 봄철에는 겨울철 대표종들에 비해 상대적으로 크기가 큰 ($>100 \mu m$) *Rhizosolenia*와 *Coscinodiscus* 속의 종들이 다수 (약 100 cells L^{-1} 이상) 출현하였고, 이는 식물플랑크톤 탄소량의 증가를 야기했다. *Coscinodiscus asteromphalus*가 봄철 울릉도 US라인 저층에서 식물플랑크톤 탄소량의 대부분 (약 70% 이상)을 차지하였다. 여름철에는 *Skeletonema* spp.(전 수층)가 우점하였고, 탄소량 우점종은 *Rhizosolenia alata*, *R. setigera*, *Eucampia zodiacus*, *Guinardia striata*로 나타났다. 요약하면, 울릉도 주변해역의 식물플랑크톤은 수적인 개념에서 규조류인 *Skeletonema* spp., *Chaetoceros compressus*, *Ch. compressus*, *Leptocylindrus danicus*, *Asterionellopsis glacialis* 등이 대표 종으로 파악되었고, 탄소량 우점종은 *Rhizosolenia setigera*, *R. alata*, *E. zodiacus*, *Guinardia striata*, *Ditylum brightwellii*등이 대표 종으로 나타났다.



Fig. 3.2.3.4. The pictures of dominant phytoplankton species (biomass and standing crops) in the coastal water of Ulleung island from 2017 to 2018.

나. 동물플랑크톤 군집 구조

2017년 US-line의 동계와 춘계 동물플랑크톤 총 출현 개체수는 외양(US3)보다 연안(US0)이 비교적 높았던 반면 하계에는 외양의 총 출현 개체수가 비교적 높았으며 야광충이 이 시기에 급증한 영향으로 파악하였다. 연안역의 동물플랑크톤 총 출현 개체수 평균은 하계에 동계와 춘계에 비해 높았으며 평균적으로 연안역 수온이 상승함에 따라 개체수도 증가하는 경향을 나타냈다. US-line과 연안역에서 동계와 춘계에 요각류(성체)가 최우점한 반면 하계에는 야광충(*Noctiluca scintillans*)이 최우점하였다(Fig. 3.2.3.5).

동계와 춘계 US-line에서 *Paracalanus* spp.,와 *Oithona* spp.가 요각류(성체)에서 상대적으로 높은 점유율을 차지한 반면 하계에는 *Oithona* spp.와 *Clausocalanus* spp.가 높았으며 *Clausocalanus* spp.의 높은 점유율은 하계의 난류 영향으로 파악된다. 연안역에서의 요각류(성체)는 동계와 하계에 *Paracalanus* spp. 그리고 춘계에는 *Clausocalanus* spp.가 높은 점유율을 차지하였다. 하계 공암 주변해역에서 출현한 *Temora discaudata* (평균 점유율 20%)는 온대 연안종으로 울릉도 하계에 수온이 상승한 시기에 출현하였다(Table 3.2.3.2).

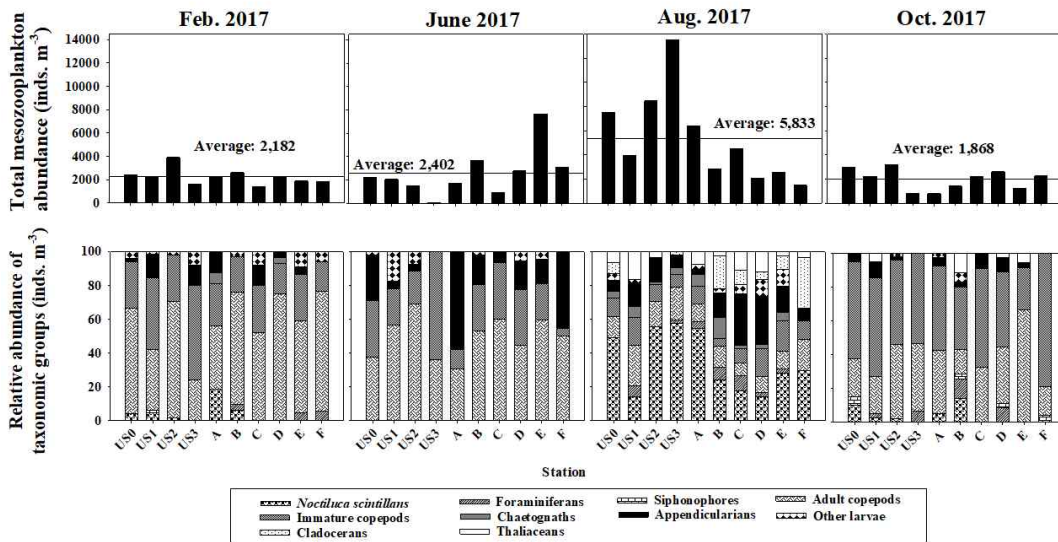


Fig. 3.2.3.5. Total abundance and relative abundance of taxonomic groups in zooplankton at coastal areas in Ulleung island during 2017.

Table 3.2.3.2. Dominant zooplankton biomass size groups (mm) and dominant taxonomic group or species in the size groups at coastal areas in Ulleung island during 2017

정점	동계(2월)		춘계(6월)		하계(8월)		추계(10월)	
	우점생체량 (mm)	우점 크기그룹의 우점 분류군/종	우점생체량 (mm)	우점 크기그룹의 우점 분류군/종	우점생체량 (mm)	우점 크기그룹의 우점 분류군/종	우점생체량 (mm)	우점 크기그룹의 우점 분류군/종
US0	0.5-1.0	<i>Paracalanus aculeatus</i>	0.2-0.5	Oikopleuridae	0.2-0.5	<i>Noctiluca scintillans</i>	0.5-1.0	<i>Oithona</i> copepodites
US1	0.2-0.5	Oikopleuridae	0.5-1.0	<i>Clausocalanus arcuicornis</i>	0.2-0.5		0.5-1.0	<i>Oithona</i> copepodites
US2	0.2-0.5	<i>Clausocalanus pergens</i>	0.5-1.0	<i>Paracalanus parvus</i>	0.5-1.0		0.5-1.0	<i>Eucalanus</i> copepodites
US3	0.5-1.0	<i>Paracalanus</i> spp.	0.5-1.0	<i>Oithona</i> spp.	0.2-0.5		0.5-1.0	<i>Eucalanus</i> copepodites
A	0.2-0.5	<i>Noctiluca scintillans</i>	0.5-1.0	Oikopleuridae	0.2-0.5		0.5-1.0	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.
B	0.2-0.5	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	0.2-0.5	<i>Oithona longispina</i>	0.2-0.5	Oikopleuridae	0.2-0.5	<i>Eucalanus</i> copepodites
C	0.2-0.5		0.2-0.5	<i>Clausocalanus</i> spp.	0.2-0.5		0.2-0.5	<i>Calanus</i> copepodites
D	0.5-1.0		2.0-5.0	Oikopleuridae	0.2-0.5		0.2-0.5	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.
E	0.2-0.5		<i>Oithona similis</i>	0.2-0.5	<i>Pseudocalanus minutus</i>		2.0-5.0	
F	0.5-1.0	<i>Paracalanus crassirostris</i>	0.5-1.0	Oikopleuridae	0.2-0.5	<i>Noctiluca scintillans</i>	0.5-1.0	<i>Oithona</i> copepodites

US-line에서 동물플랑크톤 평균 생체량은 하계에 가장 높았으며 0.2-0.5 mm 크기 그룹에서 우점한 야광충의 기여도가 높은 것으로 판단된다(Fig. 3.2.3.6). 연안정점에서 동물플랑크톤 평균 생체량은 동계에 가장 높았으며, 동계에 크기그룹 0.2-0.5 mm와 0.5-1.0 mm의 *Paracalanus* spp. (*P. parvus* s.l., *P. crassirostris*)의 기여도가 높았던 반면 춘계와 하계에는 0.2-0.5 mm의 유형류(Oikopleuridae)의 기여도가 높았다.

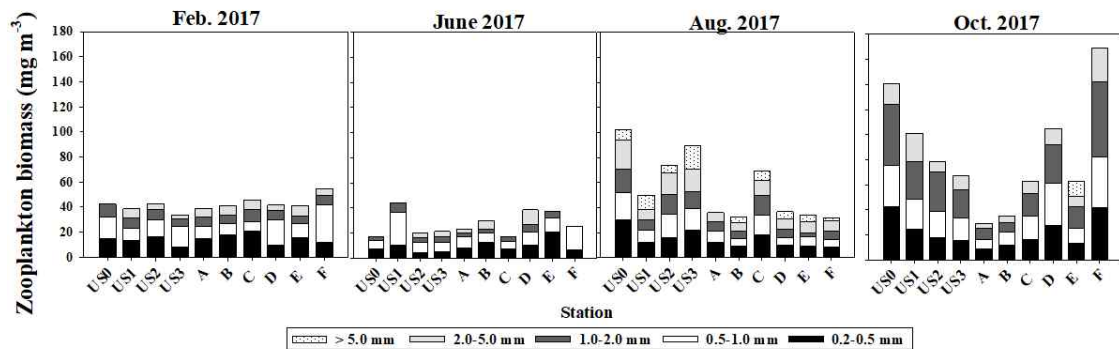


Fig. 3.2.3.6. Biomass of zooplankton at coastal areas in Ulleung island during 2017.

2018년 울릉도 연안의 표층혼합층에서 동물플랑크톤 개체수는 춘계(평균: 8,766 inds. m^{-3})에 동계(평균: 3,201 inds. m^{-3})에 비해 약 2.7배 증가한 후 하계(평균: 1,890 inds. m^{-3})에 춘계에 비해 약 4.6배 감소하는 경향을 나타냈다. 하계에 비해 추계(평균 784 inds. m^{-3})에 약 2.4배 감소하는 경향이 나타났다(Fig. 3.2.3.7).

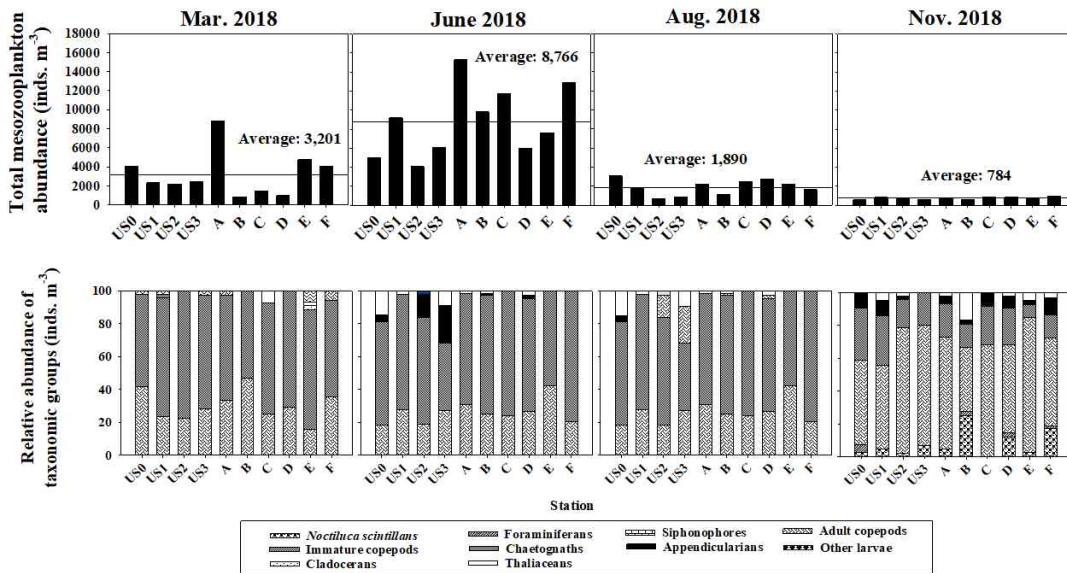


Fig. 3.2.3.7. Total abundance and relative abundance of taxonomic groups in zooplankton at coastal areas in Ulleung island during 2018.

동계와 춘계의 정점 A(대풍감)에서 동물플랑크톤 개체수가 가장 높았다(동계: 8,807 inds. m^{-3} , 춘계: 15,285 inds. m^{-3}). 동계와 춘계의 모든 정점에서 미성숙체 요각류가 극 우점(동계 평균: 66.2%, 춘계 평균: 66.0%)한 반면 하계에는 dinoflagellate 분류군(*Noctiluca scintillans*)이 최 우점(평균 32.7%)하였다(Fig. 3.2.3.8).

동계와 춘계의 모든 정점에서 0.2 - 0.5 mm의 크기그룹에 속한 동물플랑크톤이 우점(동계 평균: 33.5%, 춘계 평균: 52.5%)한 반면 하계에는 5 mm 이상의 크기그룹에 속한 동물플랑크톤이 춘계에 비해 약 7.5배 증가하였다. 동계에 정점 A(대풍감), B(능걸), C(사동구항) 그리고 D(죽도)를 제외한 모든 정점에서 요각류인 *Oithona* 미성숙체가 우점함 (평균 31.7%). 춘계에 정점 US1-US3, A(대풍감), B(능걸), C(사동구항) 그리고 E(관음도)에서 요각류인 *Paracalanus* 미성숙체가 우점함 (평균 31.3%)(Table 3.2.3.3). 하계에 모든 정점에서 *Noctiluca scintillans* (평균 37.8%)와 젤라틴성 플랑크톤인 *Salpa*(평균: 18.6%)가 우점하였다(Fig. 3.2.3.9).

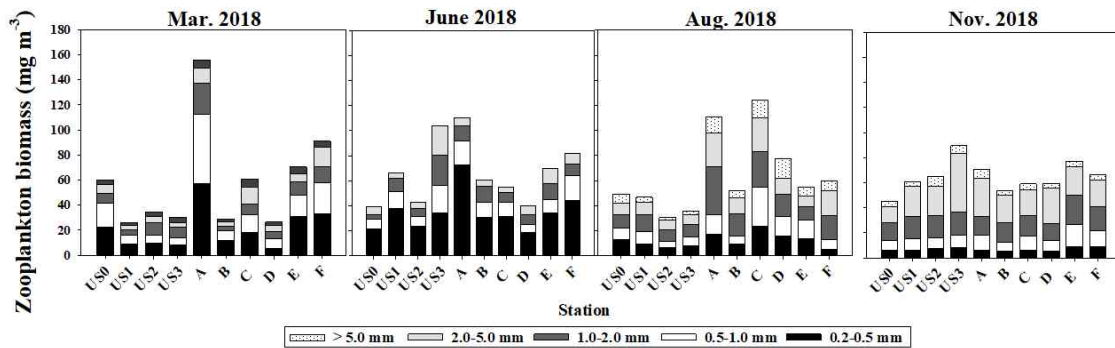


Fig. 3.2.3.8. Biomass of zooplankton at coastal areas in Ulleung island during 2018.

Table 3.2.3.3. Dominant zooplankton biomass size groups (mm) and dominant taxonomic group or species in the size groups at coastal areas in Ulleung island during 2018

정점	동계(3월)		춘계(6월)		하계(8월)		추계(11월)		
	우점생체량 (mm)	우점 크기그룹의 우점 분류군/종	우점생체량 (mm)	우점 크기그룹의 우점 분류군/종	우점생체량 (mm)	우점 크기그룹의 우점 분류군/종	우점생체량 (mm)	우점 크기그룹의 우점 분류군/종	
US 0	0.2-0.5	<i>Oithona</i> copepodites	0.2-0.5	<i>Oithona</i> copepodites	>5.0	Sagitta juvenile	1.0-2.0	<i>Paracalanus aculeatus</i>	
US 1									
US 2	1.0-2.0	<i>Oithona similis</i>		2.0-5.0	2.0-5.0	Salpa spp.	2.0-5.0	<i>Eucalanus subcrassus</i>	
US 3	0.2-0.5	<i>Oithona</i> copepodites							
A		0.2-0.5		<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	2.0-5.0	Salpa spp.	2.0-5.0	Oikopleuridae	
B									
C	0.2-0.5	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.		2.0-5.0	2.0-5.0	Salpa spp.	2.0-5.0	Oikopleuridae	
D									
D	0.5-1.0	<i>Eucalanus</i> copepodites		1.0-2.0	<i>Oithona</i> copepodites	1.0-2.0	Oikopleuridae	1.0-2.0	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.
E	0.2-0.5	<i>Oithona</i> copepodites							
E			0.2-0.5	<i>Oithona</i> copepodites	1.0-2.0	<i>Paracalanus</i> copepodites	1.0-2.0	1.0-2.0	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.
F	0.2-0.5	<i>Oithona</i> copepodites							
F									



Fig. 3.2.3.9. Pictures of dominant zooplankton species during 2017–2018.

다. 환경요인 변화에 따른 먹이생물 대표성분 특성조사

(1) 식물플랑크톤 현존량 및 생물량 대표종과 환경요인의 관계

식물플랑크톤 현존량 및 탄소량 우점 대표종과 환경요인과의 관계를 CCA 분석을 통해 분석한 결과, 현존량 대표 우점종 중 *Skeletonem* spp.와 *Ch. compressus*는 환경변화(수온, 염분, 영양염)에 관계없이 조사 지역에서 상시 우점 종으로 파악되었다(Fig. 3.2.3.10). *Ch. curvisetus*는 질산염 및 규산염과 양의 상관관계를 가지며 수온과 음의 관계를 가지며, *L. danicus*는 수온과 양의 상관관계를 가지는 것으로 파악되었다. 또한 탄소량 우점 대표종 중 *Ditylum brightwellii*는 수온 및 인산염과 양의 관계를 가지는 것으로 나타났고, *Rhizosolenia* 속의 2 종은 환경요인과 관계가 없었으며, *Eucampia zodiacus*는 염분과 음의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다.

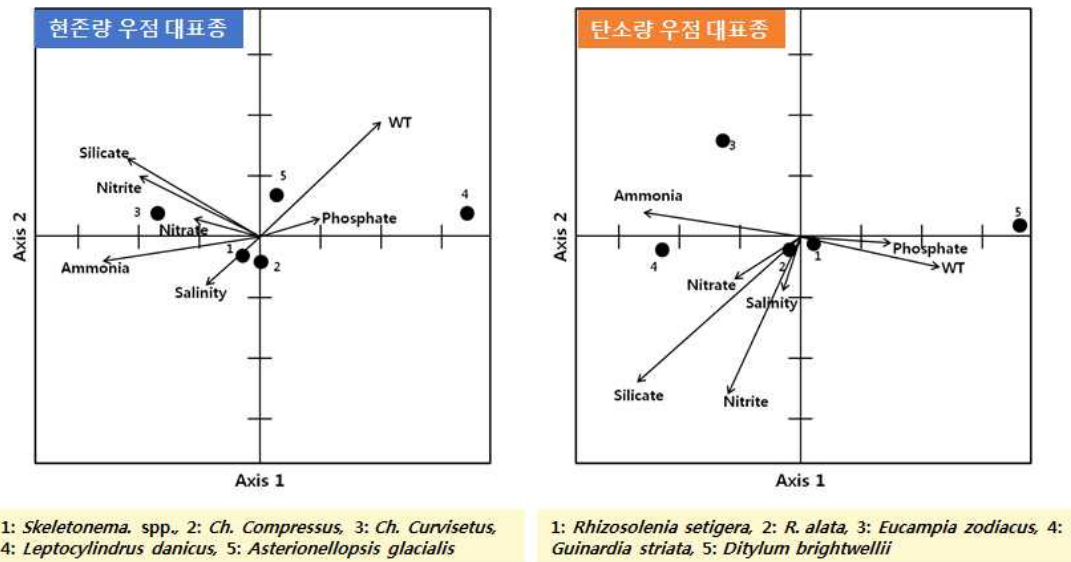


Fig. 3.2.3.10. CCA (canonical correlation analysis) biplots of dominant species in the coastal waters of Ulleung island from 2017 to 2018.

(2) 동물플랑크톤 대표종과 환경요인의 관계

동물플랑크톤 주요 분류군과 환경요인(수온, 염분, 엽록소-*a*)의 관계를 이해하기 위해 2017-2018년 주성분 분석(PCA)을 실시하였다. 동계에 요각류 미성숙체와 엽록소-*a*가 상대적으로 높은 상관성을 보였다(Fig. 3.2.3.11). 춘계에는 요각류 성체와 엽록소-*a*의 상관성이 상대적으로 높았다. 하계에는 동물플랑크톤 유생(십각류, 이매패류, 다모류와 패충류의 유생)과 엽록소-*a*의 상관성이 높은 반면, 야광충은 수온과 염분에 높은 상관성을 나타냈다. 추계에는 요각류 성체와 염분의 상관성이 높은 반면 요각류 미성숙체와 유형류는 수온과 높은 상관성을 나타냈다.

2017년 탄소:질소(C:N) 비는 동물플랑크톤 체내의 지방:단백질에 따라 좌우되며 C:N 비가 비교적 높았던 US-line 동계에는 요각류(성체)가 극우점하였다. 야광충과 유형류가 극우점했던 하계에는 동물플랑크톤의 전체 C:N 비가 비교적 낮았다. 2018년 동물플랑크톤의 탄소:질소 비는 춘계보다(평균: 3.2), 동계에(평균: 4.1) 약 1.3배 높았으며 동계 연안정점의 평균 탄소:질소 비는 4.1이며, 춘계는 상대적으로 낮았다(평균 3.2)(Fig. 3.2.3.12). 동계 US-line의 평균 탄소:질소 비는 4.4이며, 춘계에는 약 1.4배 낮은 3.2였다. 탄소:질소 비의 시기적 차이는 먹이생물로서의 선택 선호도가 바뀔을 의미하며, 동물플랑크톤의 탄소와 질소제한 특성이 계절적으로 달라짐을 의미한다. 동계의 높은 탄소:질소 비(평균: 4.3)는 요각류 우점(평균: 96.4%)과 일치했고, 춘계에 상대적으로 낮은 탄소:질소 비(평균: 3.2)는 젤라틴성 플랑크톤(평균 4.4%)이 동계보다 비교적 높은 출현비율과 일치하였다.

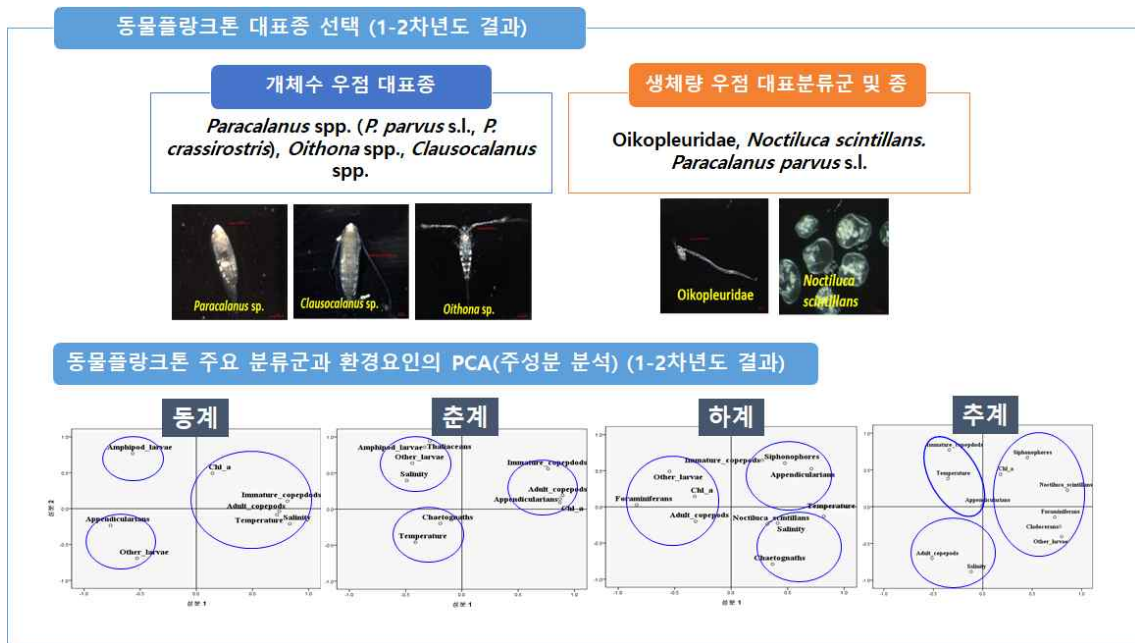


Fig. 3.2.3.11. Principal component analysis of major taxonomic groups of zooplankton and environmental factors.

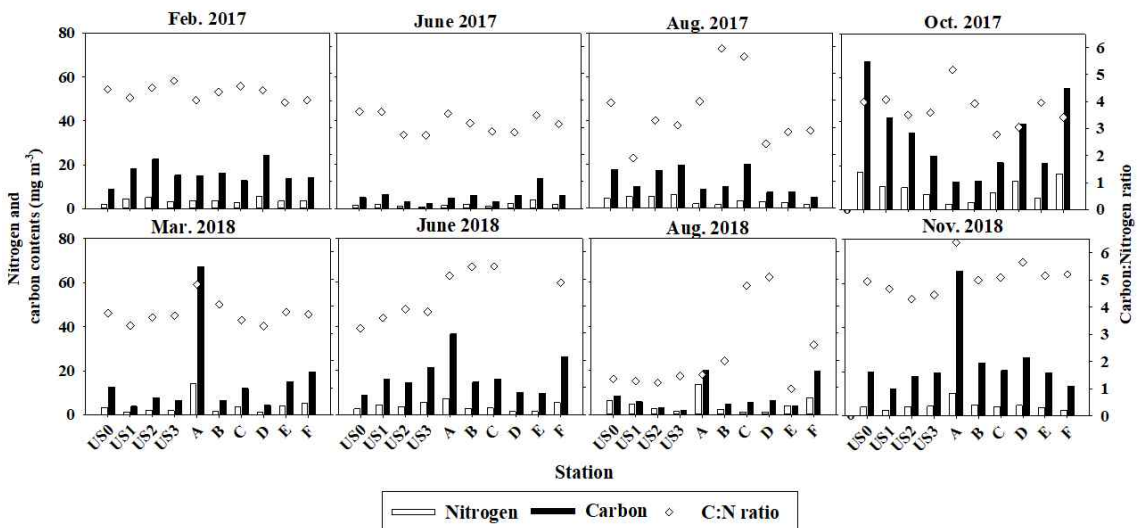


Fig. 3.2.3.12. Carbon and nitrogen contents, and C:N ratio of zooplankton at coastal areas in Ulleung island during 2017–2018.

제 3 절 울릉도 수중생태계 서식생물 현황 파악

1. 서 론

최근 우리나라 연안지역에는 아열대성의 동식물 분류군의 출현이 눈에 띄게 확산되고 있는 추세이다(이와 현, 1992; 황 등, 2003; 차와 김, 2013; 김 등, 2016). 울릉도 연안 해역은, 수온 상승 및 천적 생물과의 먹이망 변동 등 다양한 원인에 의해 성계의 집단 번식으로 인하여 대항, 감태 등 해조류 군락지가 지역적으로 급격히 감소하고 있는 실정이며, 아열대화 해역의 범위도 확산되어 저서생태계의 변화가 예상되고 있다. 이에 울릉도 연안지역은 암반생태계 특성상 생태계 변화가 차츰 증가하고 있는 현실에 있어서 조하대 종조성 및 조하대의 해조류나 저서무척추동물과 같은 저서생태계 군집구조 조사가 필요한 시점이다. 울릉도에서 수행된 해조류 군집구조 연구는 생물량의 시공간적 변화와 다양한 환경요인에 대한 정보를 축적하여 연안 생태계에서 해조류의 역할을 이해하는데 중요한 정보를 제공한다. 이에 일부 연구자들은 암반조간대에서 해조류의 종다양성과 생물량의 계절적 변동을 조사하여 다양한 환경요인들과의 상관성 연구를 수행하였다(Josselyn and West, 1985; Lüning, 1993; McQuaid and Branch, 1984). 울릉도 연안 해조류 연구는 Nada와 Kang(1964)이 조사한 이후, Kang(1966), 이와 부(1981), Lee et al., (1991), 이 등(1993), 김 등(1995) 등에 의해 주로 하계에 조사가 이루어진 바 있다. 최근에는 윤(2015)이 울릉도 연안의 해조류 출현 분포에 관한 연구를 수행하였다. 저서무척추동물 관련 논문은 울릉도 해산 해면류의 분류학적 연구(심과 강, 2004), 울릉도 연안의 갯지렁이류 분포(백, 1986), 울릉도 해산 중복족류(Mesogastropods)의 분류 및 기재(최와 윤 1990a), 울릉도 해산 원시중복족류(Archeogastropods)의 분류 및 기재(최와 윤 1990b), 울릉도산 홍조 산호말과 식물 4종에 대한 분류학적 검토(이, 1994) 연구 등이 있다.

이와 같이 울릉도 조하대 저서생태 연구는 대부분 종 분류 수준에 국한되어 있는 반면 울릉도 암반생태계의 중장기 모니터링에 필요한 주요 연구 대상 후보종(토착종, 가입종, 멸종 위기종, 기후변화 지표종 등 울릉도 중장기 해양환경 변화를 대별할 수 있는 생태 모니터링 가능 종)의 탐색 및 군집구조 변화와 관련된 연구는 미흡한 상황이다.

따라서 본 연구는 울릉도 암반 저서생태계의 지시종 역할을 담당하는 후보종을 탐색하고, 체계적이고 효과적인 모니터링을 위한 기초 자료를 획득하고자 하였으며, 울릉도 주요 암반생물에 대한 연구자료 확보를 통해 울릉도 수중생태계의 특이성 및 차별성을 구명하는데 목적을 두고 있다.

2. 재료 및 방법

가. 저서무척추동물 군집특성 조사

저서무척추동물 군집조사는 2017년 2월, 5월, 8월, 10월에 울릉 연안 수심 30m 이내의 6개 정점에서 정성조사를 수행하였다(Fig. 3.3.2.1). 현장조사는 SCUBA Diving을 통해 수중 영상 촬영을 실시하여 출현종의 수중 영상을 확보하였다. 현장조사를 통해 수집된 자료는 실험실내에서 영상분석을 수행하였는데, 주요 내용은 수심대별 대표종 / 수중서식지 대표 경관 촬영 자료 분석, 멸종위기종(환경부) / 보호대상종(해양수산부) 탐색, 희귀종 및 지리 분포 지시종 파악 및 해조류 피도와 조식동물 서식밀도 모니터링 등이었다. 현장조사 시 각 조사정점에서는 가상 방형구 이용 해조류 및 조식동물의 피도를 촬영하여 해조류/조식동물 피도 변동성을 분석하였다. 저서무척추동물의 피도는 5X5cm 가상 방형구 각 정점 15개 이상 사용 해조류 피복 면적을 계산한 후 50 X 50 cm 내의 해조류 면적 산출, 조식동물 밀도를 환산하였다.

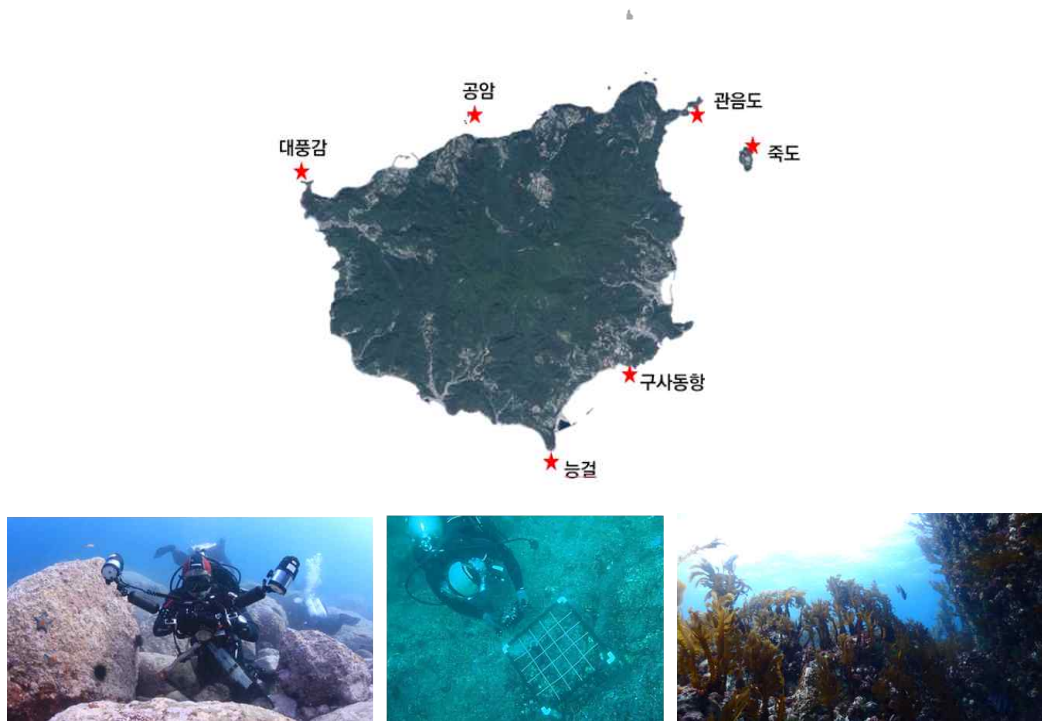


Fig. 3.3.2.1. Photo of rock ecosystem survey area of Ulleungdo.

나. 해조식물 군집특성 조사

해조식물 조사는 2017~2018년 동안 4회/년 울릉도 해역의 6개소(대풍감, 공암, 관음도, 죽도, 사동, 능걸)에서 수심별(5, 10, 20m)에 대하여 경성암반에 서식하고

있는 부착생물을 대상으로 수행하였다. 조사는 각 정점의 수심별 정성조사를 수행하였으며, 대형개체의 경우에는 사진촬영 자료를 이용하여 분석하였고, 사진으로 분석이 어려운 종이나, 소형종은 깔 등으로 채집하여 현미경 등을 이용하여 분석하였다. 채집된 시료는 현장에서 냉동 보관 후 실험실에 동정을 하였다. 해조류의 종 분석은 한국 해조목록의 분류체계(이와 강, 1986; 이와 강, 2001; 이, 2008; 최 등, 2008) 및 일본해조류도감(千原, 1996)을 이용으로 하였으며, 최종 분류군별 목록작성은 국가 생물종 목록집 해조류편을 기준으로 작성하였다.

해조류 관련 내용은 출현종 및 출현종수 자료를 활용하여 현장모니터링 군집현황, 출현종의 종 목록화 및 출현양상 그리고 주요 연구대상생물의 서식처별(또는 정점별/수심별) 출현 특성 분석을 위한 자료로 활용하였다

3. 결과 및 토의

가. 현장모니터링을 통한 군집현황 파악

(1) 울릉도 연안 정점 저서무척추동물 군집 특성

① 대풍감 : 울릉도·독도해양과학기지 좌측에 위치한 정점으로 본섬 육상부에서 직벽 수직(0~5m, 5~20m, 20~30m)으로 구성된 암반지형으로 구성되어 있다. 대풍감 상부(0~5m)는 홍합(*Mytilus coruscus*)가 우점하고 있으며, 5월 조사에서는 미역 군락이 발달하고 있으며, 중부(5~15m)는 홍합(*Mytilus coruscus*)가 우점하였다. 대풍감 하부(15~25m)는 큰빨강따개비(*Megabalanus volcano*)가 우점하였다. 대풍감 정점에서 출현한 저서생물 핵심종은 환경부에서 보호종으로 지정한 해송류(*Antipathes* sp.)가 수심 20m 부근부터 하부지역으로 서식하고 있었으며, 동물지리적 특이종으로는 난류영향 특이종으로 알려진 보석말미잘(*Corynactis viridis*)이 넓게 분포하고 있었다.(Fig. 3.3.3.1)

② 능걸 : 능걸 정점은 울릉도 남쪽 지역에 위치하며, 조간대에 노출되지 않은 상태로 수면 6m 아래에서 시작된다. 연중 조류의 흐름이 강한 세력을 유지하는 정점으로 동쪽 직벽은 8~34m의 수심에 저서무척추동물이 대부분 서식하고 있다. 능걸 상부는 6m 수중 암반 봉우리에서 시작되어 수심 50m까지 이어진다. 능걸 상부(6~10m)는 대풍감 정점과 유사하게 홍합(*M. coruscus*)가 우점하고 있다. 능걸 중부(10~15m)는 큰산호불이히드라(*Solanderia misakinensis*)가 우점하고 있으며, 하부(15~34m)는 대부분 해면류가 우점하고 있다. 능걸에서 발견된 저서생물 핵심종은 해양수산부 보호종으로 지정된 유착나무돌산호(*Dendrophyllia criprosa*)와 해송류(*Antipathes* sp.)가 하부지

역으로 서식하고 있었으며, 동물지리적 특이종으로는 대풍감 정점과 유사하게 난류영향 특이종으로 알려진 보석말미잘(*C. viridis*)이 넓게 분포하고 있었다(Fig. 3.3.3.2).

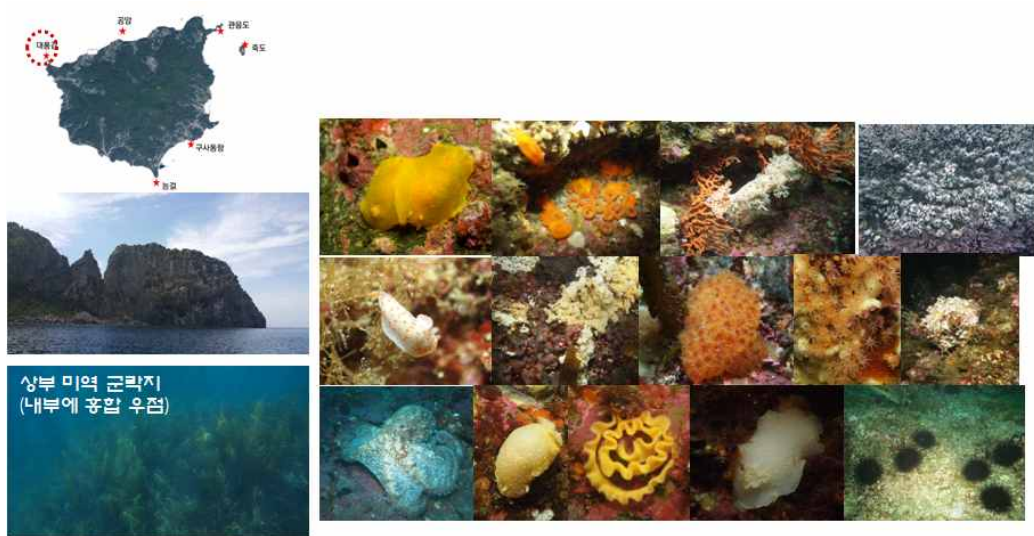


Fig. 3.3.3.1. Benthic invertebrate major species found in Daepunggam during the study period.



Fig. 3.3.3.2. Benthic invertebrate major species found in Neunggeol during the study period.

- ③ 구사동향 : 구사동향 정점은 울릉도 남쪽에 위치하며, 현재 주변에 사동향 확장공사가 대규모로 진행되고 있다. 또한 본 정점은 여름철 강우의 영향을 심하게 받는 지역으로 폭우 시 육상으로부터 다량의 토사가 유입되는 지역이기

도 하다. 구사동항 동쪽은 암반 직벽의 지형을 이루고 있으며, 직벽 수심 8m 이후에는 대형 암반 경사지대가 있으며, 탁도가 높고 암반 위에 부유물이 다량 침전된 상태였다. 조사 수심은 0~18m 범위로 결정하였다. 구사동항 상부(0~5m)는 대부분 홍합(*M. coruscus*)가 우점하고 있었으며, 중하부(5~15m)는 태생굴(*Strioststrea circumpicta*)이 우점하는 것으로 조사되었다. 능걸에서 발견된 저서생물 핵심종은 난류영향 특이종으로 알려진 보석말미잘(*C. viridis*)의 서식처가 발견되었다. 구사동항의 경우 다른 정점에 비하여 암반 표면이 백화된 곳이 많으며, 부유물 많이 쌓여 있고, 생물상이 상대적으로 단조롭게 나타남. 사동 신행 공사의 영향일 가능성이 있으므로, 지속적으로 모니터링 필요한 것으로 판단된다(Fig. 3.3.3.3).

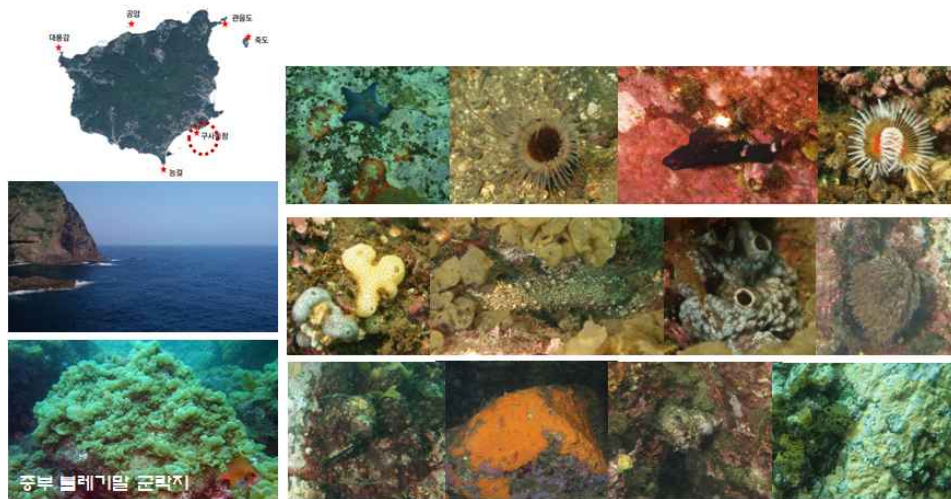


Fig. 3.3.3.3. Benthic invertebrate major species found in Sadonghang during the study period.

- ④ 죽도 : 죽도 정점은 울릉도 동쪽 지역에 위치하며, 섬 주변으로 수심차이가 심한 정점이다. 조사지역은 죽도 선착장에서 외해로 좌측방향(죽도 서쪽)에 위치하고 있으며, 암반으로 이루어진 급경사 구조를 이룸. 수심은 0~35m 범위이며, 선착장 앞쪽은 잔석지대로 이루어져 있고, 우측 및 상부지역은 암반 질로 구성된다. 죽도 상부(0~5m)는 보석말미잘(*C. viridis*)이 넓게 분포하고 있었으며, 중부(5~15m)는 태생굴(*Strioststrea circumpicta*)이 우점하였다. 죽도 하부(15~30m)는 큰빨강따개비(*M. volcano*)가 우점하였다. 죽도에서 발견된 저서생물 핵심종은 환경부 보호종으로 지정된 해송류(*Antipathes* sp.)가 하부지역으로 서식하고 있었으며, 상부 지역 낮은 수심대에는 난류영향 특이

종으로 알려진 보석말미잘(*C. viridis*)이 넓게 분포하고 있었다(Fig. 3.3.3.4).



Fig. 3.3.3.4. Benthic invertebrate major species found in Jukdo during the study period.

⑤ 관음도 : 관음도 정점은 울릉도 동쪽 지역에 위치하며, 죽도와 마주보고 있다. 섬 주변으로 수심차이가 심한 편이 아니지만 죽도와 울릉도 본섬 사이의 연육교 아래 수로는 비교적 낮은 수심을 유지하고 있는데, 조사지역은 관음도에서 죽도를 바라보고 있으며, 바닥은 모래질로 이루어져 있고 수심은 0~23m 범위였다. 관음도 상부(0~5m)는 보석말미잘(*C. viridis*)이 우점하였으며, 중부(5~15m)는 죽도와 유사하게 태생굴(*Striostrea circumpicta*)이 우점하였다. 관음도 하부(15~23m)는 부착동물보다는 해삼류(개해삼, *Holothuria pervicam*)가 서식하고 있었다(Fig. 3.3.3.5). 관음도에서 발견된 저서생물 핵심종은 해양수산부와 환경부 보호종으로 지정된 왕거머리말(*Zostera asiatica*)가 바닥에 서식하고 있었으며, 상부 지역에는 난류영향 특이종인 보석말미잘(*C. viridis*)이 다량 분포하고 있었다.

⑥ 공암 : 본섬 육상부에서 직벽 수직(20-28m)의 암반 구조로 구성되어 있다. 공암 상부(0~5m) 부근은 홍합(*M. coruscus*)이 우점하였으며, 중부(5~15m)는 큰빨강따개비(*M. volcano*), 공암 하부(15~25m)는 태생굴(*S. circumpicta*)이 높은 밀도로 서식하고 있었다. 공암에서 출현한 저서무척추동물 중 핵심 생물로는 해양수산부에서 보호종으로 지정된 게바다말(*Phyllospadix iwatensis*)가 서식하고 있으며, 동물지리적 특이종으로는 난류영향 종으로 알려진 보석말미잘(*C. viridis*)이 다량 발견되었다(Fig. 3.3.3.6).



Fig. 3.3.3.5. Benthic invertebrate major species found in Gwaneumdo during the study period.

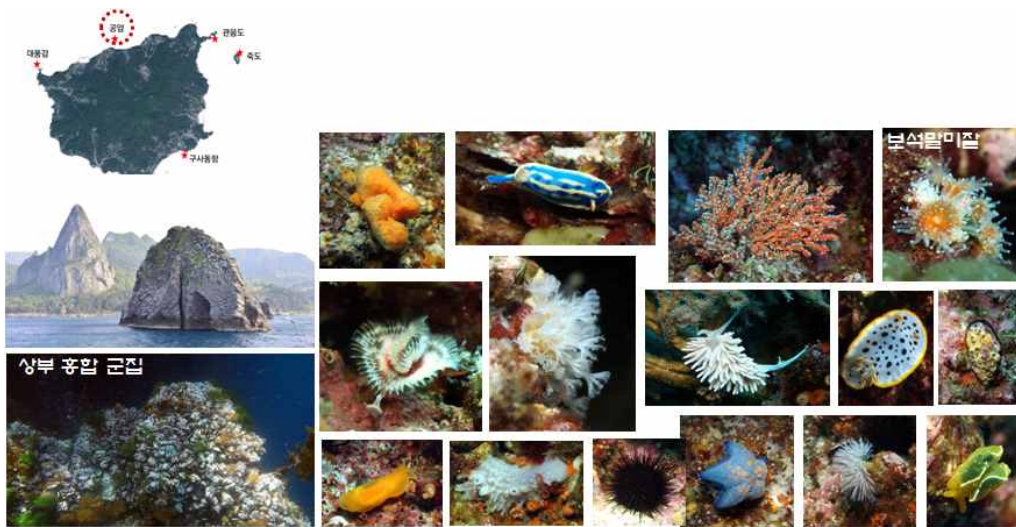


Fig. 3.3.3.6. Benthic invertebrate major species found in Gongam during the study period.

(2) 울릉도 연안 정점 해조식물 군집 특성

(가) 2017년 조사결과

조사기간 동안 울릉도 6개 정점의 각 3개 수심(5m, 10, 20m)에서 출현한 해조류는 총 127종이 출현하였다. 각 분류군별 출현종수는 녹조식물 15종(11.8%), 대롱편모조식물의 갈조강에서 35종(27.6%) 홍조식물 77종(60.6%)이 출현하여 홍조식물 분류군에서 높은 구성비를 보였다(Fig. 3.3.3.7).

분류군	대풍감	공암	관음도	죽도	사동	능걸	합계
녹조식물	5	8	9	8	8	4	15
대룡편모조식물	19	14	15	20	22	24	35
홍조식물	39	33	31	44	28	36	77
합계	63	55	55	72	58	64	127

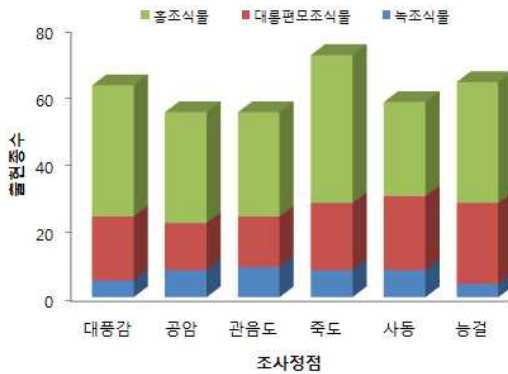


Fig. 3.3.3.7. Number of species of taxa collected in study area.

조사시기별 출현종수는 1차 조사에서는 녹조식물 4종(5.7%), 대룡편모조식물 24종(34.3%), 홍조식물 42종(60.0%)로 총 70종이 출현하였다. 각 지역별 출현종수는 25~33종의 분포를 보였으며, 사동에서 가장 낮은 출현종수를 능걸에서 가장 높은 출현종수를 보였다. 지역별 수심별 출현종수는 대풍감 정점에서는 각 수심별로 11~14종의 분포를 보였고, 수심 10m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 20m에서 가장 낮은 출현종수를 보였으며, 수심 5m에서는 14종이 출현하였다. 공암 정점에서는 각 수심별로 11~16종의 분포를 보였고, 수심 10m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 20m에서 가장 낮은 출현종수를 보였으며, 수심 5m에서는 15종이 출현하였다. 관음도 정점에서는 각 수심별로 13~16종의 분포를 보였고, 수심 10m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 20m에서 가장 낮은 출현종수를 보였으며, 수심 5m에서는 15종이 출현하였다. 죽도 정점에서는 각 수심별로 12~16종의 분포를 보였고, 수심 5m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 20m에서 가장 낮은 출현종수를 보였으며, 수심 10m에서는 15종이 채집되었다. 사동 정점에서는 각 수심별로 8~12종의 분포를 보였고, 수심 5m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 20m에서 가장 낮은 출현종수를 보였으며, 수심 10m에서는 9종이 출현하였다. 능걸 정점에서는 각 수심별로 13~18종의 분포를 보였고, 수심 20m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 15m에서 가장 낮은 출현종수를 보였으며, 수심 10m에서

는 17종이 출현하였음(Fig. 3.3.3.8)

	동계	춘계	하계	추계
녹조식물	4	10	10	5
대룡편모조식물	24	31	20	15
홍조식물	42	45	52	41
합계	70	86	82	61

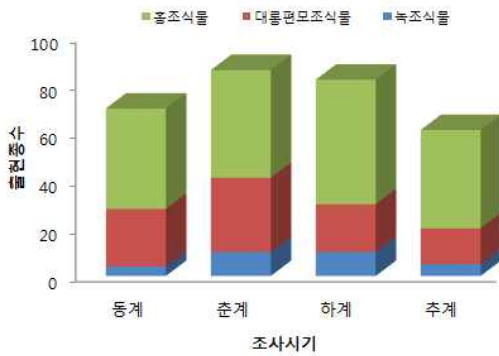


Fig. 3.3.3.8. Number of species of taxa collected during the study.

조사시기별로는 1차 조사에서 6개 조사 정점 모두 출현한 보편종(common species)은 대룡편모조식물의 가시뼈대그물말(*Dictyopterus prolifera*), 개그물바탕말(*Rugulopteryx okamurae*), 잔가시모자반(*Sargassum micracanthum*), 감태(*Ecklonia cava*)와 홍조식물의 방황혹산호말(*Corallina aberrans*), 자루바다표고(*Peyssonnelia caulifera*)로 총 6종이 출현하였다(Fig. 3.3.3.9). 2차 조사에서는 녹조식물 10종(11.6%), 대룡편모조식물 31종(36.0%), 홍조식물 45종(52.3%)로 총 86종이 출현하였다. 각 지역별 출현종수는 20~42종의 분포를 보였으며, 사동에서 가장 낮은 출현종수를 능걸과 죽도에서 가장 높은 출현종수를 보였다. 지역별 수심별 출현종수는 대풍감 정점에서는 각 수심별로 15~17종의 분포를 보였고, 수심 20m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 5m에서 가장 낮은 출현종수를 보였으며, 수심 10m에서는 16종이 출현하여 모든 정점에서 비슷한 출현종수를 보였다. 공암 정점에서는 각 수심별로 14~17종의 분포를 보였고, 수심 10m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 20m에서 가장 낮은 출현종수를 보였으며, 수심 5m에서는 16종이 출현하였다. 관음도 정점에서는 각 수심별로 13~19종의 분포를 보였고, 수심 5m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 10m에서 가장 낮은 출현종수를 보였으며, 수심 20m에서는 14종이 출현하였다. 죽도 정점에서는 각 수심별로 17~23종의 분포를 보였고, 수심 10m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 20m에서 가장 낮은 출현종수를 보

였으며, 수심 5m에서는 22종이 출현하였다. 사동 정점에서는 각 수심별로 9~13종의 분포를 보였고, 수심 10m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 20m에서 가장 낮은 출현종수를 보였으며, 수심 5m에서는 11종이 출현하였다. 능걸 정점에서는 각 수심별로 18~25종의 분포를 보였고, 수심 10m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 15m에서 가장 낮은 출현종수를 보였으며, 수심 20m에서는 20종이 출현하였음(Fig. 3.3.3.9). 2차 조사에서 6개 조사 정점 모두 출현한 보편종(common species)은 대롱편모조식물의 불레기말(*Colpomenia sinuosa*)과 홍조식물의 자루바다표고로 총 2종이 출현하였다.

3차 조사에서는 녹조식물 10종(12.2%), 대롱편모조식물 20종(24.4%), 홍조식물 52종(63.8%)로 총 82종이 출현하였다. 각 지역별 출현종수는 21~38종의 분포를 보였으며, 사동에서 가장 낮은 출현종수를 죽도에서 가장 높은 출현종수를 보였다. 지역별 수심별 출현종수는 대풍감 정점에서는 각 수심별로 12~16종의 분포를 보였고, 수심 20m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 5m에서 가장 낮은 출현종수를 보였으며, 수심 10m에서는 15종이 출현하였다. 공암 정점에서는 각 수심별로 9~14종의 분포를 보였고, 수심 5m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 10m와 20m에서 가장 낮은 출현종수를 보였다. 관음도 정점에서는 각 수심별로 11~13종의 분포를 보였고, 수심 5m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 10m에서 가장 낮은 출현종수를 보였으며, 수심 20m에서는 12종이 출현하였다. 죽도 정점에서는 각 수심별로 18~22종의 분포를 보였고, 수심 10m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 20m에서 가장 낮은 출현종수를 보였으며, 수심 5m에서는 21종이 출현하였다. 사동 정점에서는 각 수심별로 7~12종의 분포를 보였고, 수심 5m와 20m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 5m에서 가장 낮은 출현종수를 보였다. 능걸 정점에서는 각 수심별로 17~20종의 분포를 보였고, 수심 10m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 20m에서 가장 낮은 출현종수를 보였으며, 수심 15m에서는 18종이 출현하였다. 3차 조사에서 6개 조사 정점 모두 출현한 보편종(common species)은 대롱편모조식물의 가시뼈대그물말과 감태로 총 2종이 출현하였다.

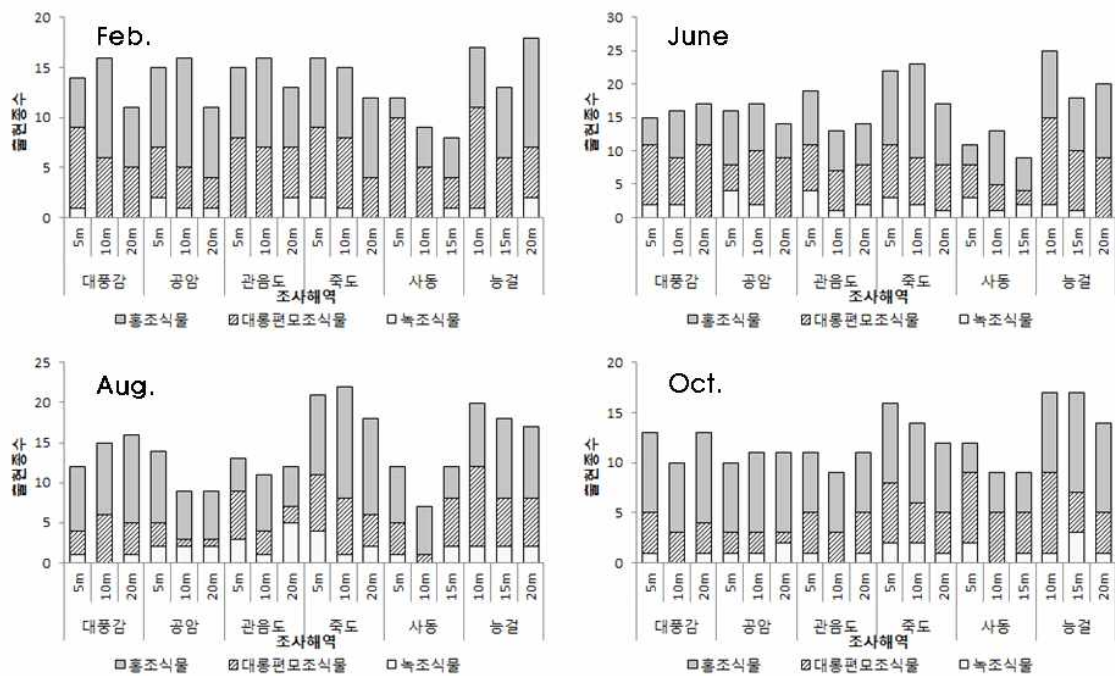


Fig. 3.3.3.9. Number of species of each station in the study area by water depth.

4차 조사에서는 녹조식물 5종(8.2%), 대롱편모조식물 15종(24.6%), 홍조식물 41종(67.2%)로 총 61종이 출현하였다. 각 지역별 출현종수는 20~34종의 분포를 보였으며, 관음도에서 가장 낮은 출현종수를 능걸에서 가장 높은 출현종수를 보였다. 지역별 수심별 출현종수는 대풍감 정점에서는 각 수심별로 10~13종의 분포를 보였고, 수심 5m와 20m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 10m에서 가장 낮은 출현종수를 보였다. 공암 정점에서는 각 수심별로 10~11종의 분포를 보였고, 수심 10m와 20m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 5m에서 가장 낮은 출현종수를 보였다. 관음도 정점에서는 각 수심별로 9~11종의 분포를 보였고, 수심 5m와 20m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 10m에서 가장 낮은 출현종수를 보였다. 죽도 정점에서는 각 수심별로 12~16종의 분포를 보였고, 수심 5m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 20m에서 가장 낮은 출현종수를 보였으며, 수심 10m에서는 14종이 출현하였다. 사동 정점에서는 각 수심별로 9~12종의 분포를 보였고, 수심 5m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 10m와 20m에서 가장 낮은 출현종수를 보였다. 능걸 정점에서는 각 수심별로 14~17종의 분포를 보였고, 수심 10m와 15m에서 가장 높은 출현종수를 보였고, 수심 20m에서 가장 낮은 출현종수를 보였다. 4차 조사에서 6개 조사 정점 모두 출현한 보편종(common species)은 대롱편모조식물의 감태 1종이 출현하였다.

(나) 2018년 조사결과

조사기간 동안 울릉도 6개 정점의 각 3개 수심(5m, 10, 20m)에서 출현한 해조류는 총 126종이 출현하였다. 각 분류군별 출현종수는 녹조식물 15종(11.9%), 홍조식물 76종(60.3%), 대룡편모조식물의 갈조강에서 35종(27.8%) 이 출현하여 홍조식물 분류군에서 높은 구성비를 보였다. 조사시기별 출현종수는 봄철인 2차 조사시기에 88종으로 가장 많은 종이 출현하였으며, 추계에 60종으로 출현종수가 적었다. 분류군별로는 녹조식물의 경우 동계에 4종으로 가장 적었으며, 춘계와 하계에 9종씩 출현하였다. 홍조식물은 하계에 51종으로 가장 많았으며, 대룡편모조식물은 춘계에 32종으로 가장 많은 종이 출현하였음. 계절별 출현종수는 춘계 > 하계 > 동계 > 추계 순으로 적게 분석되었다(Fig. 3.3.3.10).

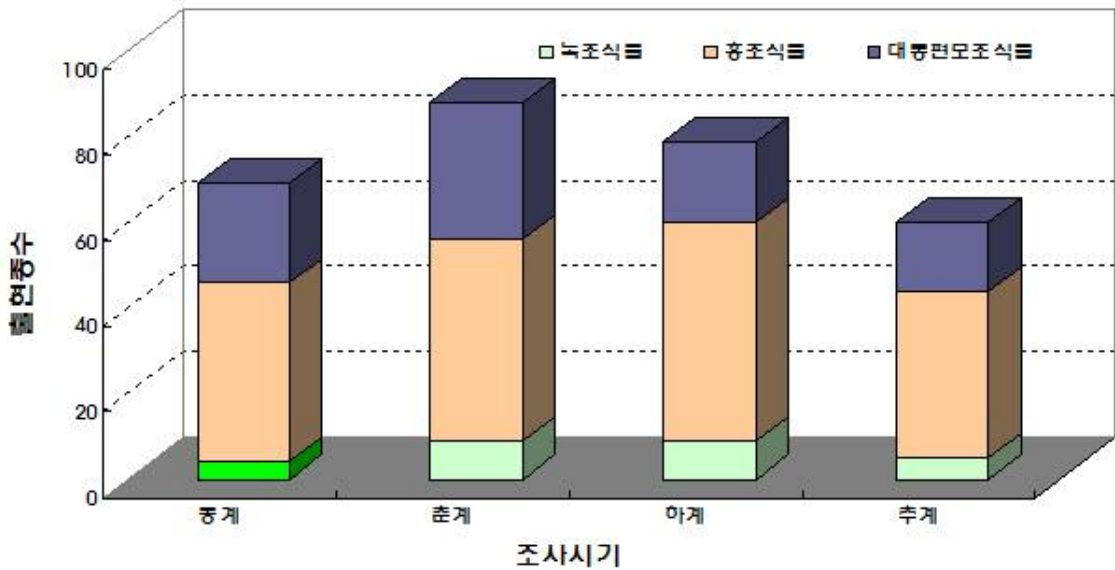


Fig. 3.3.3.10. Number of species of seaweed taxa collected from the study areas.

조사정점별로는 죽도 조하대에서 74종으로 가장 많은 종이 출현하였으며, 관음도에서 54종으로 출현종수가 적었다. 녹조식물은 죽도와 관음도에서 출현종수가 많았고, 홍조식물은 죽도와 대룡감에서 출현종수가 많았으며, 능걸에서는 대룡편모조식물의 출현종수가 많은 것으로 분석되었다. 조사정점에서 분류군별 출현종수 비율은 홍조식물이 58.0%로 가장 높았으며, 녹조식물이 11.1%로 낮았음. 조사기간 중 정점별 해조류 출현종수는 죽도 > 능걸 > 대룡감 > 구사동항 > 공암 > 관음도 순으로 분석되었다(Fig. 3.3.3.11).

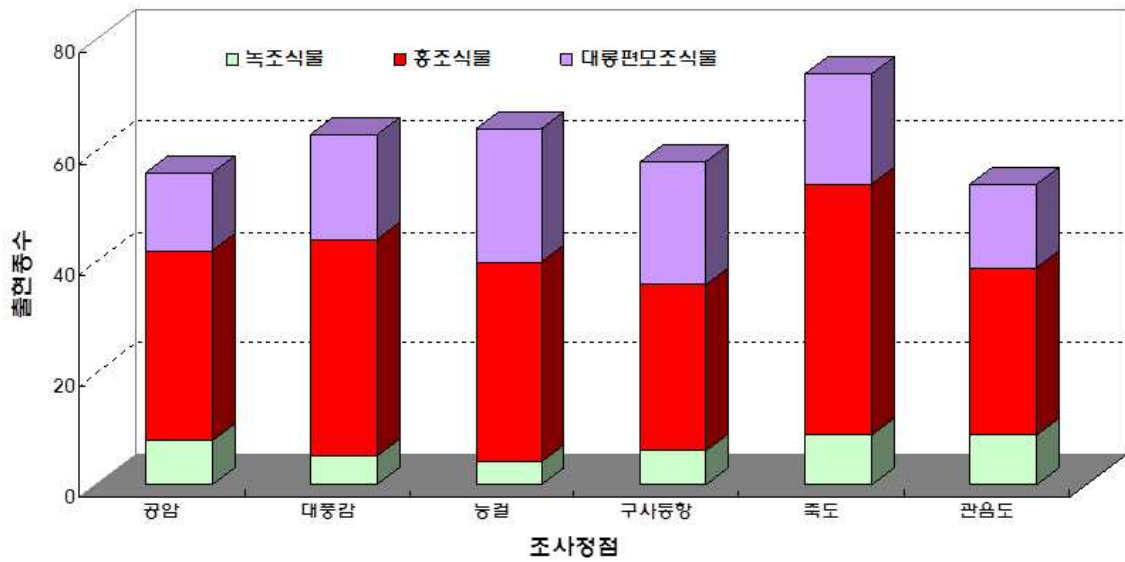


Fig. 3.3.3.11. Number of species of seaweed taxa collected in Ulleungdo survey area.

조사시기별 출현종수는 1차 조사(동계)에서는 녹조식물 4종(5.8%), 홍조식물 42종(60.9%), 대롱편모조식물 23종(33.3%)로 총 69종이 출현하였다. 수심별 출현종수는 36~47종으로 5m 수심에서 가장 많은 종이 출현하였으며, 20m 수심에서 출현종수가 적었다. 각 지역별 출현종수는 5m 수심에서 12~17종 범위로 능걸 정점에서 17종이 출현하였으며, 구사동향에서 12종이 채집되었다. 5m 수심에서 채집된 녹조류의 경우 구사동향과 관음도에서는 전혀 출현하지 않았으며 홍조식물은 공암과 관음도에서 각각 8종씩 출현하였고 구사동향에서 2종으로 출현종수가 적었다. 대롱편모조식물은 능걸과 구사동향에서 가장 많은 10종이 채집되었다. 10m 수심에서는 공암과 죽도에서만 녹조식물이 채집되었으며, 홍조식물은 공암과 대풍감에서 각각 11종과 10종이 채집되었으며, 대롱편모조식물은 공암에서 4종으로 가장 적었으며, 죽도와 관음도에서 7종이 출현하였다. 10m 수심에서 채집된 종은 9~17종 범위로 구사동향에서 가장 적은 종수가 관찰된 반면 공암 조하대에서 17종이 출현하였다. 20m 수심의 출현종수는 8~18종 범위로 구사동향에서 가장 낮은 종수가 관찰되었고 능걸 정점에서 출현종수가 가장 많았다. 20m 수심에서 채집된 녹조류는 능걸, 구사동향, 관음도에서만 출현하였으며, 홍조식물은 능걸에서 가장 많은 11종이 관찰되었고 구사동향에서 4종이 출현하였다. 대롱편모조식물은 대풍감, 능걸, 관음도에서 5종이 채집되었다(Fig. 3.3.3.12).

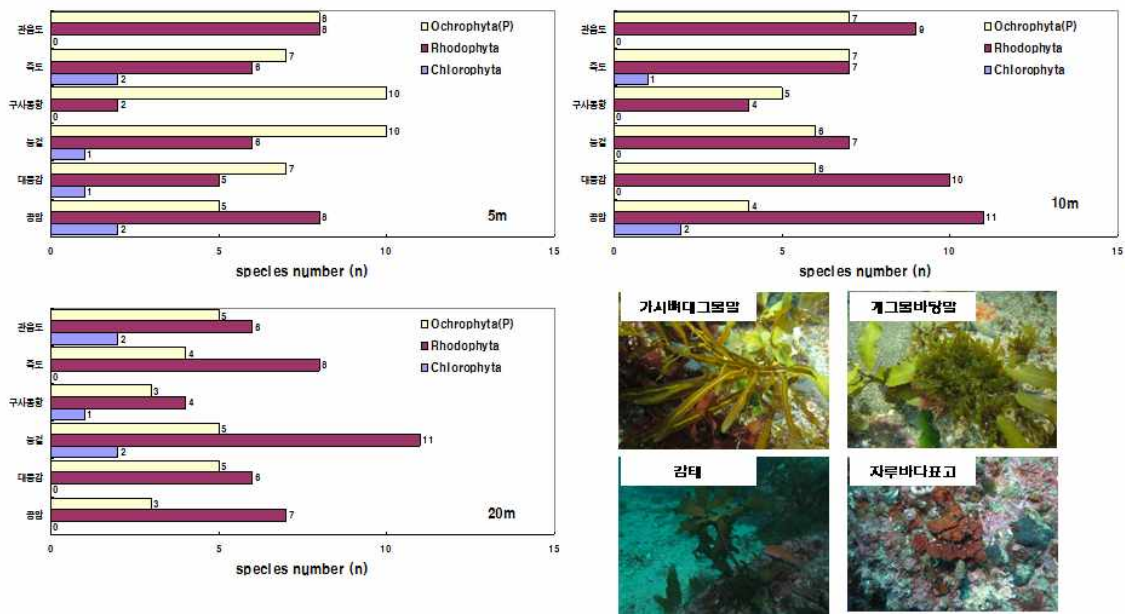


Fig. 3.3.3.12. Photographs of species and major species of seaweed taxa collected during the first survey.

1차 조사에서 6개 조사 정점 모두 출현한 보편종(common species)은 대룡편모조식물의 가시뼈대그물말(*Dictyopteris prolifera*), 개그물바탕말(*Rugulopteryx okamurae*), 잔가시모자반(*Sargassum micracanthum*), 감태(*Ecklonia cava*)와 홍조식물의 방황혹산호말(*Corallina aberrans*), 자루바다표고(*Peyssonnelia caulifera*)로 총 6종이 출현하였다. 2차 조사(춘계)에서는 녹조식물 9종(10.2%), 홍조식물 47종(53.4%), 대룡편모조식물 32종(36.4%)로 총 88종이 출현하였음. 수심별 출현종수는 58~69종으로 5m 수심에서 69종으로 가장 많은 종이 출현하였으며, 20m 수심에서 58종이 채집되었다(Fig. 3.3.3.13).

수심별 출현종수는 5m 수심에서 14~25종 범위로 능걸 정점에서 가장 많은 25종이 출현하였으며, 대풍감 정점에서 14종이 조사되었다. 녹조류의 경우 공암과 관음도에서 4종이 출현하였으며, 홍조식물은 능걸과 죽도에서 각각 10종과 11종이 출현하였다. 녹조식물 중 옥덩굴은 해양수산부에서 아열대 지시종으로 구분하고 있는데 본 연구에서는 능걸 8m와 15m 수심에서 옥덩굴이 발견되었다. 대룡편모조식물의 경우 공암에서 5종으로 가장 출현종수가 적었으며 능걸에서 13종이 채집되었다. 10m 수심은 9~17종이 조사되었는데, 구사동항에서 가장 적은 종수가 관찰된 반면 공암 조하대에서 17종이 출현하였다. 녹조식물은 10m 수심에서 공암, 대풍감, 죽도에서 2종, 능걸, 구사동항, 관음도에서 1종이 조사되었으며, 홍조식물은 죽도에서 14종으로 가장 많은 종이 관찰되었으며, 관음도에서 6종으로 출현종수가 적었다. 대룡

편모조식물은 능걸에서 9종으로 가장 많은 종이 출현하였다. 20m 수심의 출현종수는 8~18종 범위로 구사동향에서 가장 낮은 종수가 관찰되었고 능걸 정점에서 출현종수가 가장 많았는데, 녹조식물은 구사동향에서 2종, 죽도와 관음도에서 1종씩 채집되었으며, 홍조식물은 능걸에서 11종으로 가장 많이 관찰되었음. 대룡편모조식물은 대룡감에서 11종으로 출현종수가 많았으며 구사동향에서는 2종만 채집되었다.

2차 조사에서 6개 조사 정점 모두 출현한 보편종은 대룡편모조식물의 불레기말 (*Colpomenia sinuosa*)과 홍조식물의 자루바다표고로 총 2종이 출현하였다. 한편 아열대지시종으로 알려진 옥덩굴은 능걸 수심 8~15m에 서식하는 것을 발견할 수 있었는데, 이에 대한 정밀조사가 필요할 것으로 판단되었다.

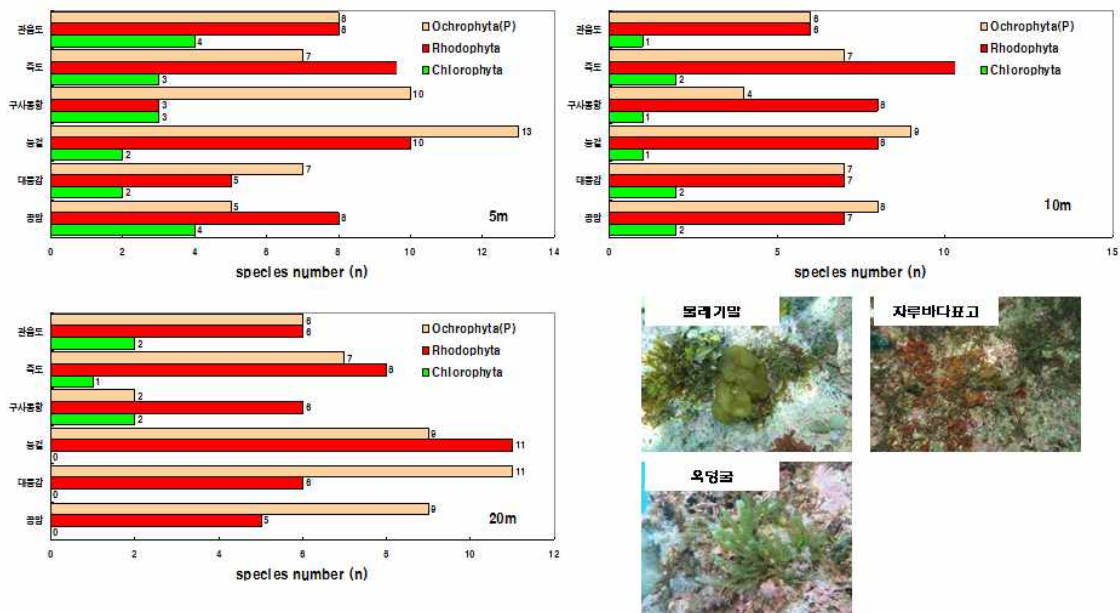


Fig. 3.3.3.13. Photographs of species and major species of seaweed taxa collected during the second survey.

3차 조사(하계)에서는 총 79종이 출현하였는데, 녹조식물 9종(11.4%), 홍조식물 51종(64.5%), 대룡편모조식물 19종(24.1%)이 채집되었다. 수심별 출현종수는 49~56종으로 수심간에 큰 차이는 없었으나 타 조사시기와 유사하게 5m 수심에서 가장 많은 종이 출현하였다. 각각의 수심별 출현종수는 5m 수심의 경우 12~21종이 조사되었는데, 죽도와 능걸 조하대에서 각각 20종과 21종이 조사되었으며, 대룡감과 구사동향 정점에서 12종이 채집되었다. 5m 수심에서 녹조류는 죽도에서 4종으로 가장 많이 출현하였는데 옥덩굴은 공암, 능걸, 죽도에서 관찰되었다. 홍조식물은 죽도 10종, 공암 9종이 채집되었다. 대룡편모조식물은 능걸 정점(수심 8m)에서 10종으로 가

장 많았으며, 공암과 대풍감 조하대에서 각 3종으로 출현종수가 적었다. 10m 수심에서 녹조식물은 대풍감과 구사동향에서 채집되지 않았으며, 그 외 정점에서는 2종 이하로 출현종수가 적었다. 한편 아열대지시종인 옥덩굴은 수심 10m에서 능걸과 죽도에서 채집되었다. 홍조식물은 죽도에서 14종으로 가장 많았으며, 대룡편모조식물은 죽도에서 7종으로 가장 많았고 공암과 구사동향에서 1종이 출현하였다. 10m 수심에서 채집된 해조류 종수는 7~22종 범위로 구사동향에서 가장 적은 종이 채집되었으며, 죽도에서 출현종수가 가장 많았다. 20m 수심의 출현종수는 9~18종 범위로 공암에서 9종으로 가장 적었으며, 죽도에서 가장 많은 종이 출현하였다. 본 수심에서 녹조류는 관음도에서 5종이 출현하여 가장 많은 종수가 조사되었으며, 공암과 관음도에서는 옥덩굴의 서식처가 확인되었다. 홍조식물은 죽도에서 13종으로 가장 많이 출현하였으며 구사동향에서는 4종이 조사되었다. 대룡편모조식물은 구사동향에서 6종으로 가장 많았으며, 공암에서는 1종이 채집되었다. 구사동향에서 가장 낮은 종수가 관찰되었고 능걸 정점에서 출현종수가 가장 많았는데, 녹조식물은 구사동향에서 2종, 죽도와 관음도에서 1종씩 채집되었으며, 홍조식물은 능걸에서 11종으로 가장 많이 관찰되었다. 대룡편모조식물은 대풍감에서 11종으로 출현종수가 많았으며 구사동향에서는 2종만 채집되었다(Fig. 3.3.3.14). 3차 조사에서 6개 조사 정점 모두 출현한 보편종(common species)은 대룡편모조식물의 가시뼈대그물말, 감태와 홍조식물인 자루바다표고 총 3종이 출현하였으며, 2차 조사와는 달리 옥덩굴의 서식처가 수심 20m까지 확대된 것으로 조사되었다.

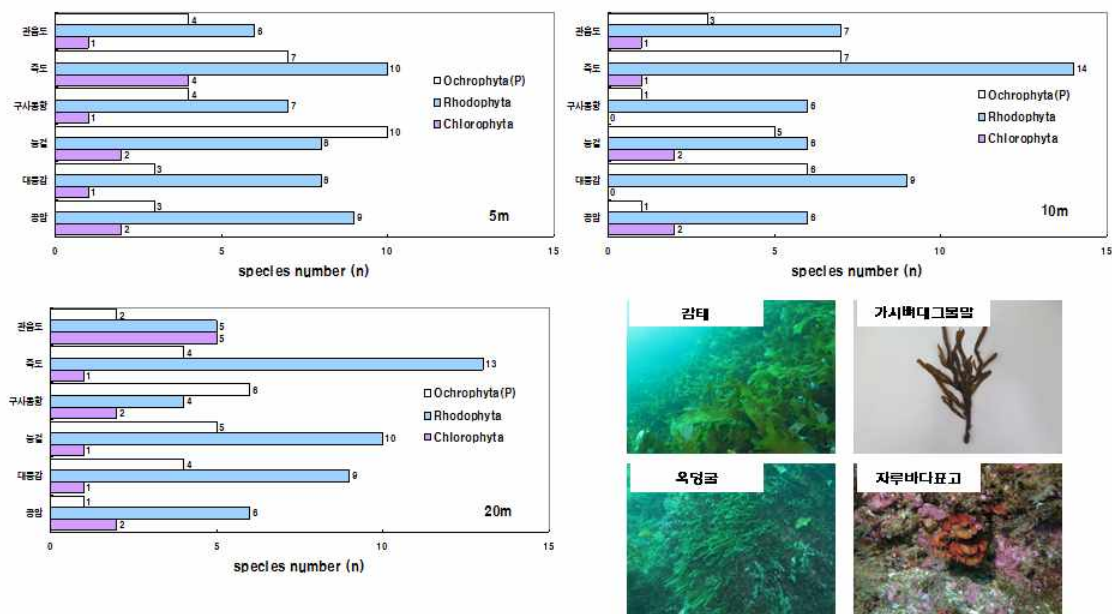


Fig. 3.3.3.14. Photographs of species and major species of seaweed taxa collected during the third survey.

4차 조사(추계)에서는 총 60종이 출현하였는데, 녹조식물 5종(8.3%), 홍조식물 39종(65.0%), 대룡편모조식물 16종(26.7%)이 채집되어 홍조식물의 출현밀도가 가장 높았다. 수심별로는 5m 수심에서 42종, 10m는 41종, 20m에서는 40종이 출현하여 수심간에 큰 차이가 없었다. 출현종수는 5m 수심에서 10~16종이 출현하였는데, 죽도에서 가장 많은 종이 관찰되었고 공암과 관음도에서 출현종수가 적었다. 녹조식물의 경우 5m 수심에서 1~2종 범위로 구사동항과 죽도에서만 2종이 출현하였고 타 정점에서는 1종이 관찰되었다. 녹조생물 중 옥덩굴의 경우 대풍감과 관음도에서는 조사되지 않았으나 그 외 4개 정점에서는 옥덩굴의 서식지가 확인되었다. 홍조식물은 대풍감과 죽도에서 8종이 조사되었으며, 대룡편모조식물은 능걸과 구사동항에서 각각 8종과 7종이 채집되었고 공암에서는 2종만 관찰되었다. 수심 10m에서는 9~17종이 채집되었는데, 가장 많은 종수는 능걸에서, 대풍감과 죽도에서는 9종으로 종수가 가장 적었다. 10m 수심에서 대풍감과 관음도에서는 녹조식물이 관찰되지 않았으며, 홍조식물은 능걸에서 10종이 채집되었고 죽도에서는 5종만 출현하였다. 대룡편모조식물은 구사동항에서 가장 많은 6종이 관찰되었으며, 공암과 대풍감에서는 출현종수가 적었다. 수심 20m에서는 9~14종이 관찰되었는데, 능걸에서 출현종수가 많았으며 구사동항에서 출현종수가 적었다. 분류군별로는 녹조식물이 공암에서 2종 출현하였고 그 외 정점에서는 1종만 관찰되었다. 홍조식물은 대풍감과 능걸에서 9종이 조사되었으며, 대룡편모조식물은 공암에서 1종으로 가장 적었으며 그 외 정점에서는 3~4종이 채집되었다(Fig. 3.3.3.15).

4차 조사에서 6개 조사 정점 모두 출현한 보편종은 5m 수심에서 대룡편모조식물의 감태와 대황 2종이 출현하였으며, 아열대지시종인 옥덩굴은 수심 5m에서 공암, 능걸, 구사동항, 죽도, 10m 수심에서는 능걸과 구사동항 그리고 20m 수심에서는 대풍감과 관음도를 제외한 4개 정점에서 서식하는 것으로 조사되었다. 본 조사에서 능걸 정점은 옥덩굴의 출현빈도가 높은 것으로 조사되었는데, 이는 능걸이 수심 8m 이하의 수심에 위치하며, 고수온의 영향을 받는 지리적 환경을 갖추고 있는 것으로 예측되나 향후 지속적으로 정밀분석을 수행한 후 능걸지역의 서식환경을 재검토할 필요가 있다.

나. 정점별/수심별/계절별 서식생물 종 목록화

울릉도 연안 6개 조하대 정점에서 채집된 저서무척추동물 및 해조류의 정점별/수심별/계절별 서식생물 종 목록은 부록에 수록하였다.

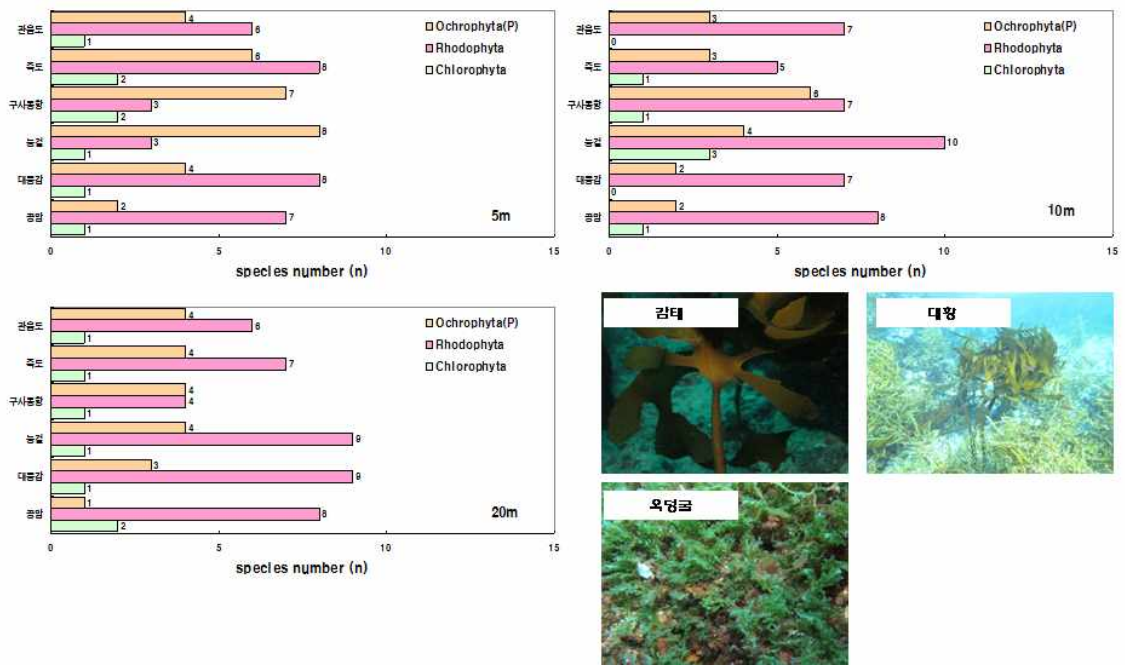


Fig. 3.3.3.15. Photographs of species and major species of seaweed taxa collected during the fourth survey.

다. 주요 연구대상 후보 생물종의 서식특성 조사

(1) 저서무척추동물 후보종의 서식특성

본 조사기간 동안 해조류의 전체 피도는 3.47~53.00%로 나타났으며, 대표적인 조식동물인 성게의 서식밀도는 0~0.53 개체/m², 해적생물인 불가사리의 서식밀도는 0~0.39 개체/m²로 분석되었다(Table 3.3.3.1). 정점별로 비교하면, 4계절 평균한 해조류의 피도는 농걸이 39.43%로 가장 높은 값을 보였고, 공암이 18.05%로 가장 낮았다(수직암벽으로 구성된 공암과 대풍감에서 낮은 해조류 피도 나타냄). 또한 갯녹음 가속인자로 알려진 성게의 서식밀도는 독도 연안에 비해 상대적으로 낮은 값을 보였으며, 특정시기에 패치를 이루어 분포하는 경향을 보였는데, 이와 같은 시기별 변동성에 대한 장기 분석결과는 향후 갯녹음 및 생태계 변동에 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단되었다.

울릉도 연안의 생태 변화 및 가치 평가를 위한 핵심생물은 해양수산부나 환경부에서 지정한 보호대상 해양생물 종이나 기후변화를 대별할 수 있는 지리 분포 지시종 또는 난류지표종을 대상으로 선정하였다. 후보종은 서식지 지형 및 수심대에 따라 수중 잔석 지대와 수직 직벽 서식지, 모래 서식지로 크게 구분할 수 있으며, 우점생물이 비슷한 군집 구조를 보였다(Table 3.3.3.2).

해양수산부 지정 ‘보호대상 해양생물’이면서 환경부 지정 ‘멸종위기 야생생물 II

급' 생물종 서식을 확인하였는데, 해송류(*Antipathes* sp.)는 능걸, 쌍정초, 관음도, 대풍감, 공암에서 발견되었으며, 유착나무돌산호 (*Dendrophyllia cribrosa*)는 능걸 조하대 정점에서 관찰되었다.

한편 개체수가 현저하게 감소하고 있는 종으로서 학술적·경제적 가치가 높아 보호대상으로 지정되어 있는 해초류인 왕거머리말 (*phyllospadix japonicus*)이 관음도 앞 수심 23m 모래바닥에서 서식하고 있음을 확인하였는데, 본 종은 2016년 조사시 사동 가두봉 서쪽 15 m 모래바닥에서도 확인되어 향후 사동 신항만/공항 건설로 인한 피해 모니터링이 절실히 요구된다.

Table 3.3.3.1. Comparison of biomass of herbivore and seaweed by study area

	공암			관음도			죽도		
	성게	불가사리	해조류	성게	불가사리	해조류	성게	불가사리	해조류
	개체/m ²	개체/m ²	(%)	개체/m ²	개체/m ²	(%)	개체/m ²	개체/m ²	(%)
3월	0.22	0.07	3.47	0.27	0.07	22.07	0.03	0.03	26.60
6월	0.05	0.10	45.07	0.01	0.03	33.76	0.37	0.05	37.27
8월	0.00	0.02	13.00	0.00	0.00	48.00	0.40	0.02	47.33
10월	0.00	0.02	10.67	0.00	0.00	28.67	0.22	0.00	30.26
평균	0.07	0.05	18.05	0.07	0.02	33.12	0.26	0.03	35.37
	구사동항			능걸			대풍감		
	성게	불가사리	해조류	성게	불가사리	해조류	성게	불가사리	해조류
	개체/m ²	개체/m ²	(%)	개체/m ²	개체/m ²	(%)	개체/m ²	개체/m ²	(%)
3월	-	-	-	0.38	0.12	24.40	0.26	0.03	5.53
6월	0.03	0.23	39.13	0.08	0.07	34.33	0.03	0.05	45.60
8월	0.00	0.00	20.00	0.23	0.00	46.00	0.02	0.02	11.67
10월	0.11	0.39	16.84	0.53	0.10	53.00	0.42	0.04	11.94
평균	0.05	0.21	25.33	0.31	0.07	39.43	0.18	0.03	18.69

구사동항 정점은 다른 정점에 비하여 암반 표면이 백화화 된 곳이 많으며, 부유물 많이 쌓여 있고, 생물상이 상대적으로 단조롭게 나타났다. 사동 신항 공사의 영향일 가능성이 있으므로, 지속적으로 모니터링 필요한데, 대부분의 정점에서 1~2개 라인만 조사한 결과이기 때문에, 추후 조사범위를 넓혀 정밀 모니터링을 수행할 필요성이 있다. 공암 및 능걸, 죽도 수중 대형 암반 수직벽면 수심 15~10m 에 소라

그물, 하부 수심 15~20m 잔석지대에 통발/소라그물이 부채빨산호 및 대형 해송류를 훼손하고 있음을 발견되었다.

Table 3.3.3.2. Summaries of major biology surveys in the habitat of Ulleungdo rock ecosystem station

	조사위치	지형특성	주요생물	보호대상종 (멸종위기종)	지리분포 지시종
공암	섬동측, 남 측, 부속섬 아래 수심 30m까지	직벽 암반 구조, 바 닥은 중대형 암석 지대	상: 홍합 중: 큰빨강따개비 하: 태생굴	개바다말 해송	보석말미잘 옥덩굴
관음 도	서쪽 연육 교 남측 직 벽 수심 25m	직벽 암반 구조. 23m 바닥은 사질 구조	상: 홍합 중: 히드라류 하: 개해삼	왕거머리말	보석말미잘 옥덩굴
죽도	북동쪽 수 심 30m, 북 쪽 직벽수 심 35m	선착장 좌측부터 중간 경사의 잔석 지대. 북쪽은 직벽 암반구조이며 수중 대형 바위 사이 크 랙 지형	상: 보석말미잘 중: 태생굴 하: 큰빨강따개비	해송	보석말미잘 옥덩굴
구사 동항	구 사 동 항 포구 동쪽 전방 수심 20m	우측 자연암반은 수심 8m 직벽구조. 그 이하는 중소형 암반지대	상: 홍합 중: 태생굴 하: 히드라류		보석말미잘
능걸	동쪽 직벽 및 정상 평 탄부 8~ 35m	최상부가 8m인 수 중 암반 봉우리. 수 심 50m 이상까지 연결됨	상: 홍합 중: 큰빨강따개비 하: 태생굴	개바다말 해송 유착나무들 산호	보석말미잘 옥덩굴
대풍 감	암초 전방 직벽 수심 35m	계단형 직벽 수중 암반구조. 수심 40m 이상까지 연 결됨	상: 홍합 중: 홍합 하: 큰빨강따개비	해송	보석말미잘 옥덩굴

본 연구기간 동안 조사한 저서무척추동물은 조사 시기 및 수심별로 변동성이 뚜렷하게 나타나고 있는데, 이는 자연적인 변이뿐만 아니라 인위적 변동요인으로 조차 및 향후 지속적 모니터링이 필요하다. 특히 능걸은 멸종위기동물 2급으로 지정되어 있는 유착나무돌산호 바로 위쪽에 소라그물이 폐기되어 있어 관리 시급한 상황이다(Fig. 3.3.3.16).

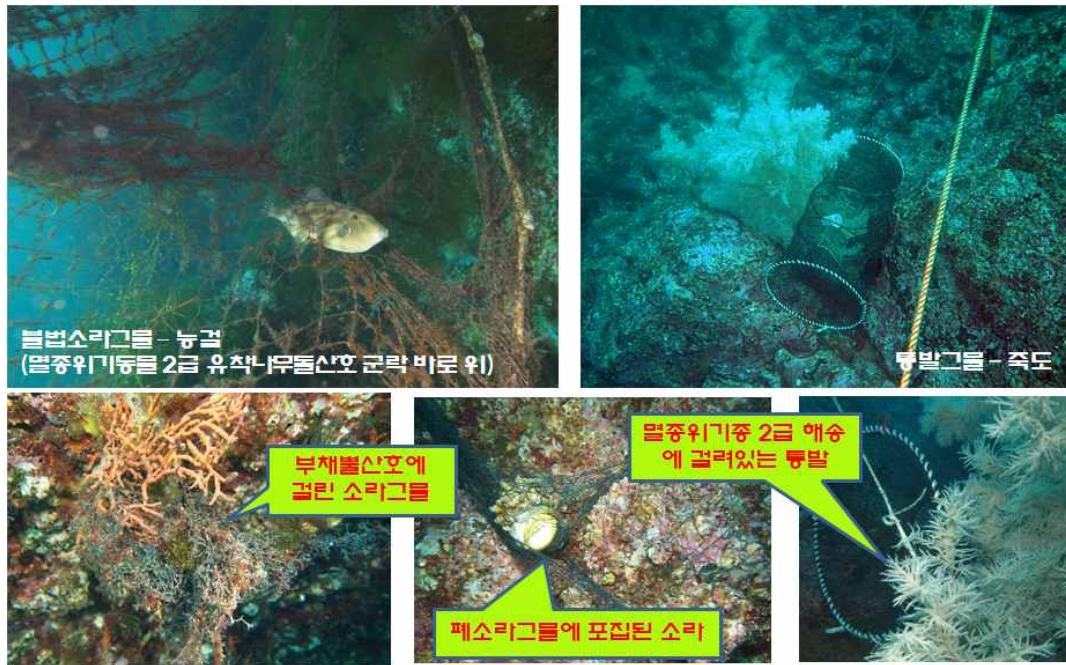


Fig. 3.3.3.16. Photographs of benthic invertebrate habitat destruction by anthropogenic factors.

(2) 해조식물 후보종의 서식특성

본 조사에서 출현한 몇몇 종의 수심별 분포 특성을 보면 출현빈도가 가장 높은 종은 대룡편모조식물의 감태로 나타났으며, 이 종의 경우 단년생 해조류로서 수심 5m에서 수심 20m까지 서식하고 있는 것으로 조사되었고, 같은 단년생 해조류인 대황(*Eisenia bicyclis*)의 경우에는 수심 5m에서 10m까지 서식하고 있는 것으로 나타났다(Fig. 3.3.3.17). 다음으로 출현빈도가 높은 종인 자루바다표고와 유절산호조류인 방황게발혹과 줄의관말(*Carpomitra costata*), 개그물바탕말의 경우 모든 조사시기와 수심에서 서식하고 있는 것으로 나타났다.

녹조식물의 옥덩굴(*Caulerpa okamurae*)의 경우에는 1차 조사에서는 출현하지 않았으나, 2차 조사부터 능걸과 죽도 해역의 수심 10m 정점에서부터 출현하기 시작하여 3차와 4차 조사에서는 수심 20m까지 출현하는 것으로 조사되었다. 울릉도 특산품으로 알려진 미역(*Undaria pinnatifida*)은 3월과 6월까지 수심 5m에서 20m까지

출현하였으며, 최근 서식처가 확대되고 있는 보호종인 넓미역(*Undaria peterseniana*)은 2차 조사에서 수심 5m에서 20m까지 출현하였고, 대풍감 정점을 제외하고 수심 10m이상에서 서식하고 있는 것으로 나타났다. 한편 넓미역은 미역과 더불어 산업적으로 유용한 종으로 판단되나 현재까지 울릉도 연안에서 서식범위 및 환경이 명확하게 구명되어 있지 않은 종이다. 따라서 향후 자원관리 및 이용 측면에서 넓미역에 대한 서식환경 및 서식지를 명확하게 구명할 필요가 있는 것으로 판단되었다(Fig. 3.3.3.18).

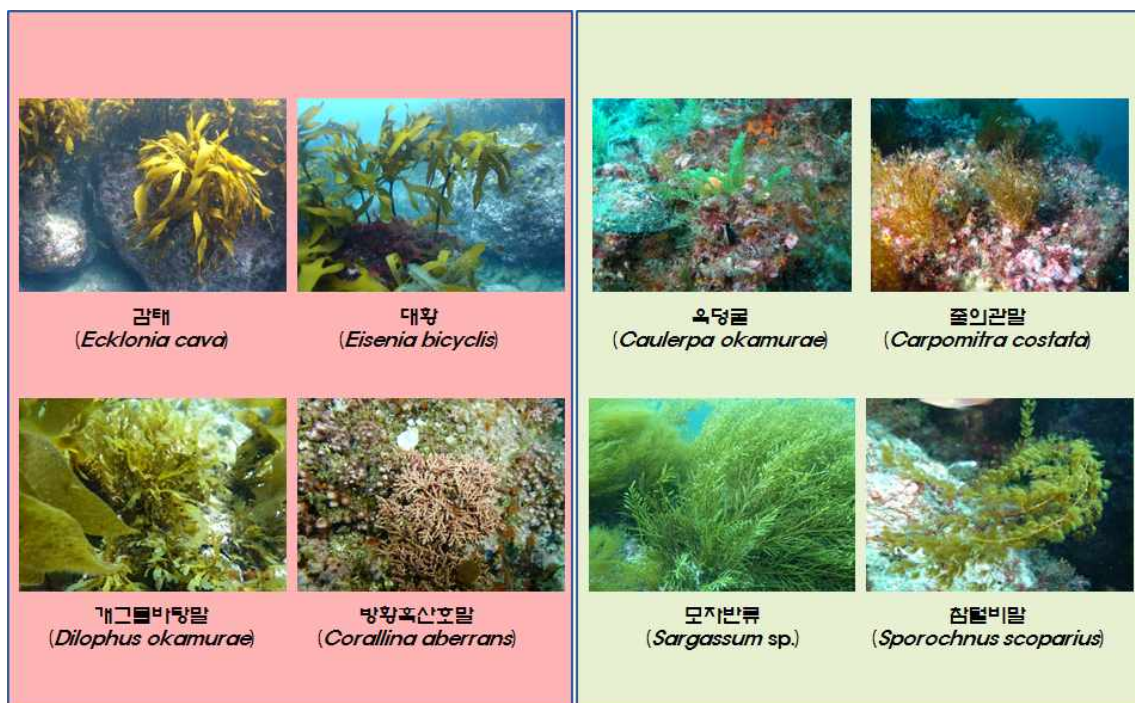


Fig. 3.3.3.17. Photograph of major seaweed candidate species.

본 조사에서 아열대지시종으로 알려진 옥덩굴의 분포를 살펴보면 1차 조사에서는 발견되지 않았으나 2차 조사에서는 능걸 수심 8m 부근에서 피도 11.48%, 수심 15m에서는 2.14%로 분석되어 수심이 낮을수록 피도가 높고 분포수심은 증가하는 경향을 보였다. 죽도의 경우 10m 수심에서 평균피도 0.32%로 서식하는 것이 확인되었고, 관음도에서는 평균 피도 1.68%로 10m와 15m 이상 수심에서 각각 3.13%와 0.22%의 피도를 보였다. 3차 조사에서는 공암이 경우 5m 수심에서 피도 0.42%로 서식하고 있었는데, 공암의 경우 경성저질에 부착되어 있는 홍합과 혼생하고 있는 것으로 조사되었다. 능걸에서는 수심 10, 15m에서 옥덩굴이 관찰되었는데 평균 피도는 11.33%로 타 지역보다 밀도가 높게 서식하는 것으로 관찰되었다. 죽도의 경우

수심 5m에서 피도 2.84%, 10m에서 1.48%(평균 2.16%)로 서식하고 있었다. 관음도에서는 수심 15m 보다 깊은 곳에서 평균 0.12%의 피도로 서식하고 있었는데, 수심 15.3m에서 수중 암반 최상부인 수심 12.1m까지 서식하고 있는 것으로 조사되었으며, 평균 피도는 4.64%로 서식하고 있었다. 4차 조사시기에는 공암, 능걸, 구사동항 및 죽도에서 피도는 낮으나 조사 수심 전반에 걸쳐 옥덩굴의 서식이 확인되어 향후 이에 대한 검토 및 정밀 연구가 이루어져야 할 것으로 판단되었다(Table 3.3.3.3).



Fig. 3.3.3.18. Habits of *Caulerpa okamurae* and *Undariopsis peterseniana* collected in the survey.

Table 3.3.3.3. Change in biomass of *Caulerpa okamurae* at the subtidal area of the Ulchungdo coast

		5m*	10m*	15m 이상	평균
1차		-	-	-	-
2차	능걸	11.84	2.14		6.99
	죽도		0.32		0.32
	관음도		3.13	0.22	1.68
3차	공암	0.42			0.42
	능걸	12.34	10.32		11.33
	죽도	2.84	1.48		2.16
	관음도			0.12	0.12
4차	공암	0.35	0.27	0.10	0.24
	능걸	9.42	4.23	1.25	4.97
	구사동항	0.33	0.30	0.31	0.31
	죽도	1.25		0.12	0.67

*: 능걸의 경우 입수 수심이 8~10m 임. 따라서 조사수심은 8, 15, 20m 로 구분하였음

제 4 절 유용 해양생물종의 유전특성 구명

1. 서 론

생물자원은 생태계의 구성요소로서 인류의 중요한 경제적 자원이다. 2010년 제 10차 나고야총회에서 채택된 나고야의정서는 전 세계적으로 감소하는 생물다양성의 지속적인 파괴로 인한 인류의 생존 위협에 관해 경고하고 있다. 나고야의정서가 발효됨에 따라 유전자원에 대한 중요성은 더욱 부각되어 자원 이용국가에서는 생물유전자원이용, 생물유전자원에 대한 적합한 접근 및 이용에 관심을 갖고 공평한 이익 공유를 실천할 의무가 있으며, 자원 제공 국가는 생물다양성을 보유하고 생물유전자원을 제공 및 접근을 촉진할 의무가 있다.

해양생물자원은 육상 동식물에 비해 접근성이 어렵기 때문에 미 발굴된 생물자원의 비율이 높고, 발굴된 자원이라 할지라도 체계적인 관리시스템 부족으로 인해 자원의 효율적 활용이 지체되고 있는 상황이다. 특히 울릉도와 같은 섬 지역은 다양한 해양생물이 서식하는 종의 보고이지만 섬을 대표할 수 있는 핵심종 탐색이 이루어져 있지 않으며, 최근에는 기후온난화 및 해류의 영향으로 인해 동해 서식 종 뿐만 아니라 제주 연안에 서식하는 종의 출현 및 서식지가 확대되고 있는 상황이지만 타 지역과의 비교 연구 및 관리 체계가 미비하다. 따라서 울릉도 연안역에 서식하는 정착종, 가입종, 멸종 위기종 및 기후변화 지표종 등의 핵심종에 대한 목록을 작성하고 유전적 정보 확보를 위한 분자마커 개발하여 유전자 다양성 확보를 위한 연구를 수행할 필요가 있다. 현재까지 울릉도-독도를 대상으로 수행된 유전체 분자생물학적 연구는 다양한 연구사업을 통해 수행되어져 왔으나 실제적으로 논문화된 연구는 김 등(2010)이 발표한 16S rRNA 유전자 분석방법을 이용한 동해 울릉 분지 심해 퇴적물 내 고세균 군집 구조 및 다양성의 수직분포 특성 연구, 독도 고유 전복 종(*Haliotis madaka*) 복원을 위한 유전자 분석(황, 2010) 등 해양생물을 대상으로 수행된 연구는 제한적이며, 대부분 육상식물을 대상으로 한 유전체 특성 연구가 이루어졌다(김 등, 2006; 남 등, 2015; 유 등, 2016; 윤 등, 2017).

이에 따라 본 연구에서는 울릉도 연안에 서식하는 유용 해양생물종을 탐색하고 유전자원을 확보하고 신규 분자마커를 발굴하며, 타 해역의 동일 종 그룹과의 집단 유전특성 비교를 수행하고자 한다. 또한 울릉도에 서식하는 토종 해양생물종에 대한 유전적 정보수집 및 분자마커를 개발을 통해 울릉도 해양생태계 복원, 자원증식 및 보존을 통해 소득 창출에 기여할 수 있는 자료를 기초자료를 확보하고자 한다.

2. 재료 및 방법

연구대상종 수집 및 유전자료 확보는 홍해삼의 경우 울릉도 연안에서 50마리와 제주도 연안에서 36마리를 직접 수집하였으며, 양식산은 울진과 제주의 양식장 각각 한 곳에서 56마리를 확보하여 항문쪽 일부를 99.9% 에탄올에 담아 보관하였다. 홍합(*Mytilus coruscus*)은 전라남도 신안군 흑산면 예리 일대에서 30개체, 담치류는 동해 연안에서 50개체, 울릉도 홍합 40개체를 포획하여 패각근 일부를 절단하여 99.9% 에탄올에 담아 보관하였다. 불볼락(*Sebastes thompsoni*)은 울릉도 연안에서 50개체와 타 지역에서 30개체 이상을 확보하여 불볼락 5개 집단에서 172개체를 채집하였다(Fig. 3.4.2.1, Table 3.4.2.1). 유전자원은 울릉도, 영덕, 부산, 통영 시료의 경우 100%, 신안 시료는 58.3%를 추출하여 총 157개 시료를 확보하였다(260/280 ratio : 1.7 이상).

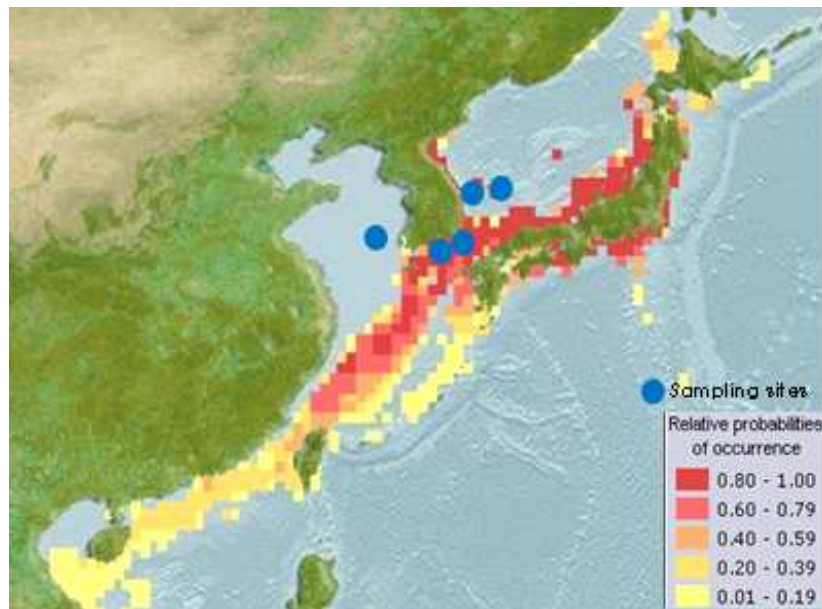


Fig. 3.4.2.1. Distribution and sample acquisition area of goldeye rockfish.

확보된 시료의 Genomic DNA의 추출은 Exiprep Tissue Genome DNA Kit (Bioneer, Korea)내에 포함되어 있는 시약을 이용하여 제조사에서 권장하는 매뉴얼 대로 수행하였으며, 컬럼은 Multi-Screen HTS (Millipore, Germany)를 이용해 genomic DNA를 추출하여 유전자원을 확보하였다.

Table 3.4.2.1. Sample, number of genetic resources secured and DNA extraction ratio of goldeye rockfish

	채집개체수	DNA 시료 확보개수	DNA 추출 비율
울릉도	35	35	100
영덕	34	34	100
부산	32	32	100
통영	35	35	100
신안	36	21	58.3

홍해삼의 분자마커는 홍해삼과 청해삼을 구분할 수 있는 분자마커에 대한 연구를 기준으로 문헌을 검색하였으며, 홍합은 Inoue et al. (1995), An et al. (2012) 및 Kang et al. (2013a, b)의 자료를 활용하여 분자마커를 확보하였다. 불볼락은 집단유전학 분석을 위한 microsatellite 마커를 확보하기 위해 An et al. (2009)과 Sekino et al. (2000)의 문헌을 참고로 하여 이전의 연구 개발된 마커들 중 20개를 대상으로 분자마커를 개발하고자 하였다.

신규마커 발굴은 홍해삼의 경우 미토콘드리아 DNA를 이용한 분자계통수 분석을 통해 자연산 및 양식산 홍해삼의 유전다양성 및 집단구조를 비교하였으며, 홍합류는 기준 유전자(Reference gene)를 탐색하고 홍합 신속 종 동정 분자마커를 개발하였다. 불볼락은 유전다양성 분석을 위해 볼락류와의 유전적 집단구조를 분석하였으며, 불볼락 5개 집단간의 유전적 분화도를 분석하였다.

3. 결과 및 토의

가. 문헌검색을 통한 분자마커 확보 및 접목

(1) 홍해삼 관련 분자마커

Kanno et al. (2005)는 해삼으로부터 microsatellite 마커 20개를 개발하는 연구를 수행하였으며, Kanno et al. (2006)은 기 개발한 마커 중 11개를 이용해 해삼 체색변이 개체 판별이 가능한지 여부를 유전적 분화도 수준에서 확인한 바 있다(Fig. 3.4.3.1, Table 3.4.3.1). 홍해삼과 청해삼을 구분하는데 이용한 분자마커는 Psj1828, Psj2031, Psj2172, Psj2368, Psj2463, Psj2575, Psj2844, Psj2889, Psj2969, Psj3072, 그리고 Psj3088였으며, 이 중 Psj2844를 제외한 10개의 microsatellite 마커가 홍해삼과 청해삼간 유전적 분화도에서 차이를 보이는 것으로 보고된 바 있다(Kanno et al., 2006). 증폭양상 및 annealing 온도를 고려하여 Psj2463을 제외한 9개의

microsatellite 마커를 이용하기로 하였다.



<p>Kanno et al. (2005)</p>	
<p>Isolation and Characterization of Twenty Microsatellite Loci in Japanese Sea Cucumber (<i>Stichopus japonicus</i>)</p> <p>Manami Kanno,¹ Qi Li,² Akihiro Kijima¹</p> <p>¹Integrated Center of Field Sciences, Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University, Onagawa, Miyagi, 986-2242, Japan ²Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao, 266003, China</p> <p><i>Received: 20 January 2004 / Accepted: 27 May 2004 / Online publication: 26 May 2005</i></p>	
<p>Original Article</p>	
<p>Microsatellite Analysis of Japanese Sea Cucumber, <i>Stichopus (Apostichopus) japonicus</i>, Supports Reproductive Isolation in Color Variants</p> <p>Manami Kanno,¹ Yoshihisa Suyama,² Qi Li,³ Akihiro Kijima¹</p> <p>¹Laboratory of Integrative Aquatic Biology, Graduate School of Agriculture Science, Tohoku University, Onagawa, Miyagi 9862242, Japan ²Laboratory of Forest Ecology, Graduate School of Agriculture Science, Tohoku University, Naruko, Miyagi 9896711, Japan ³Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao, 266003, China</p> <p><i>Received: 3 February 2006 / Accepted: 5 June 2006 / Published online: 17 October 2006</i> Kanno et al. (2006)</p>	

Fig. 3.4.3.1. Research paper on molecular markers that can distinguish between red cucumber and green cucumber.

Table 3.4.3.1. Microsatellite marker information developed from sea cucumber

Locus	Cloned repetitive sequence	Primer sequence (5' to 3')	Annealing temp. (°C)	Product size range (bp)	GenBank acc. no.
Psj1828	(CA)8	CAAACGCATACAATTACACA CGATCGATAGTCTCAATC	59	171 - 199	AB106628
Psj1856	(CA)6	AAGATTGGTCCAAGCTTCCTT TTACCGAGCACGACTGATGT	65	192	AB106629
Psj2022	(CA)13	TAAGAGACTTGAGCGGACAC AAAGTTGCATATTGGGTTCA	61	218 - 246	AB106630
Psj2031	(CA)15	ACTAAAAAGTCATGGACACCC AATCATAGCCCATTTTTCTGT	61	183 - 207	AB106631
Psj2062	(CA)6	AGTATTTGTTGGTAAGGTGTG GAACTTCCTTCATTTCTCT	57	70 - 82	AB106632
Psj2172	(AT)8	TTAGAATATGATGCAACAGAA GATACCGTGATAATTGGTTT	55	162 - 174	AB106633
Psj2212	(CA)7	CAACGACTTACTCCCCTACTC GAAACAATATGGCACAAAAGA	55	168 - 170	AB106634
Psj2270	(CA)6	TCAAGTGCAGGAGATAAAAGT TGTGTAGTTGTAGCCGAGATT	53	219 - 221	AB106635
Psj2368	(CA)6	GCTAGTCGTGTGGACTTCTC TAGGTATTGATGCATTTAGGG	55	195 - 203	AB106636
Psj2409	(CA)11.(AT)6	GCAGGAGGATCTAAAATACAT ATCGAACACAACACACTTATC	61	175 - 189	AB106637
Psj2463	(CA)8	GCTGAAGGCAAAAAGGAATCT GTAGCAAATGTGGCAAGGAT	57	234 - 256	AB106638
Psj2464	(CA)6	GTCTCATCAGCAATCCACCA TCTCTCCCTACCCAAAACAC	56	167 - 177	AB106639
Psj2575	(CA)9	GCCTCGAGAGCTTATTCAATG GCTCGCTTGAGAGTAAACAC	62	87 - 105	AB106640
Psj2642	(CA)13	ATAGTCCTGATTTTTGGTTTC GAGATACCGTGTTTACAAGC	57	132 - 144	AB106641
Psj2643	(CA)7	TAAATTTTCGAGCTTTGAT TACGGTATTTACAAGCAAGT	54	92 - 100	AB106642
Psj2844	(CA)6	CAAACGATAGGGACCATCTA TTAACATTTTCTGCCCACTTC	61	156 - 160	AB106643
Psj2889	(CA)8	CGAGACGTTTACTTCCACTG AGAGGTTGCTGGCTTTACTC	59	204 - 224	AB106644
Psj2969	(CA)8	TTCTGCCCCTTACAAAATAG GCAGCAGAATGATGAGTGTG	57	135 - 149	AB106645
Psj3072	(CA)12	TGTTGCTGGTTCGGAGCTACTG AAGAGTTGGGCAGGTGATGT	53	163 - 191	AB106646
Psj3088	(CA)6	CGTATTTACAAGCCCCCAACA GGCGTAGAAAGCAAGGGAAAG	57	166 - 178	AB106647

*, Shaded markers indicate markers that show genetic differentiation between red cucumber and green cucumber

(2) 홍합 관련 분자마커

Inoue et al. (1995)는 진주담치(*Mytilus edulis*), 지중해담치(*M. galloprovincialis*), 북방담치(*M. trossulus*)를 foot protein 내 중간 염기서열의 indel로 길이 차이를 보일 수 있는 방법을 이용해 세 종과 중간 교잡종을 구별할 수 있는 방법을 개발한 바 있다(Fig. 3.4.3.2). An et al. (2012)은 홍합(참담치)로부터 microsatellite 마커 22개를 개발하는 연구를 수행하였다.



Fig. 3.4.3.2. Research papers related to mussel molecular marker development.

Ye et al. (2012)는 ISSR 마커를 이용해 중국 홍합 집단의 특성을 분석한 바 있음. Kang et al. (2013a)은 18개의 microsatellite 마커를 개발하였으며, 독도 홍합 집단이 현재 근친교배지수가 높은 것으로 보고한 바 있으며, Kang et al. (2013b)는

개발한 18개의 마커 중 5개와 미토콘드리아 cytochrome c oxidase I 영역을 이용해 우리나라 홍합과 지중해 담치 집단의 특성을 분석한 바 있으며, 두 종간 교잡종은 없는 것으로 보고한 바 있다(Fig. 3.4.3.3).

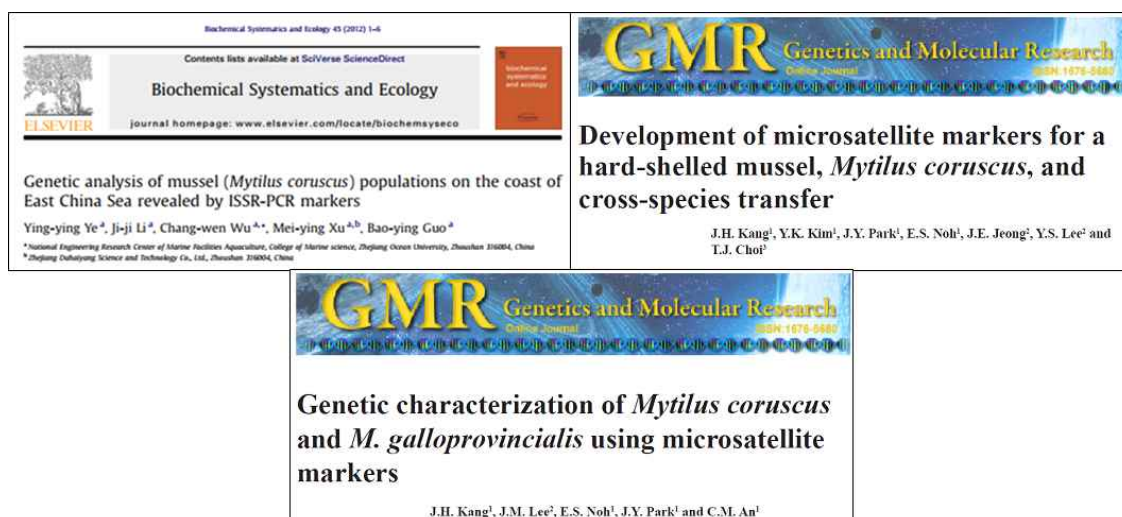


Fig. 3.4.3.3. Studies on molecular markers of mussels.

(3) 불볼락 관련 분자마커

불볼락(*S. thompsoni*)의 집단유전학 분석을 위한 microsatellite 마커를 확보하기 위해 An et al. (2009)과 Sekino et al. (2000)의 문헌을 참고로 하여 이전의 연구 개발된 마커들 중 20개를 대상으로 분자마커를 개발하고자 하였다(Fig. 3.4.3.4). 마커는 PCR 증폭이 원활하고 genotyping이 용이한 17개의 마커를 확보하였고, 이 중 효율적으로 증폭되는 12개를 대상으로 마커 고도화를 위해 30조건을 테스트한 결과 multiplex-PCR 2세트를 구성하였다(Table 3.4.3.2, Fig. 3.4.3.5).

Isolation and Characterization of Polymorphic Microsatellite Markers for the Black Rockfish *Sebastes inermis*

Hye Suck An^{1*}, Kwang Soo Kim², Hae Yeong Lee³, Eun Mi Kim¹ and Mun Gyeong Kwon²

¹Biotechnology Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea

²Fisheries Resources Restoration Development and Management Center, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea

³Aquafeed Research Center, National Fisheries Research & Development Institute, Pohang 791-923, Korea

634 PRIMER NOTES

Microsatellites in rockfish *Sebastes thompsoni* (Scorpaenidae)

M. SEKINO,* N. TAKAGI,* M. HARA† and H. TAKAHASHI‡

*National Research Institute of Fisheries Engineering, Haseki, Kashima, Ibaraki, 314-0421, Japan, †National Research Institute of Aquaculture, Nansai, Watanai, Mie, 516-0193, Japan, ‡National Institute of Agro-biological Resources, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8602, Japan

Keywords: DNA, microsatellites, rockfish, Scorpaenidae, *Sebastes thompsoni*

with a mean value of 12.1. We developed 16 PCR primer pairs using a software (Primer Premier, Premier Biosoft International, Palo Alto, CA, USA). Five clones were discarded because they had insufficient sequence information to develop primers and/or the CA-repeat arrays were too short. To detect microsatellite polymorphisms, amplification was performed in a 20 µL reaction volume, which included 20 pmols of each primer (one of a pair primer was 5' end-labelled with Cy5), 100 µM each dNTP, 10 mM Tris-HCl (pH 8.3), 50 mM KCl, 1.5 mM MgCl₂, 0.001% gelatin, 0.5 units of Ampli Taq GoldTM (Perkin Elmer, Foster City, CA, USA), and approximately 200 ng

Fig. 3.4.3.4. Studies on molecular markers of rockfish.

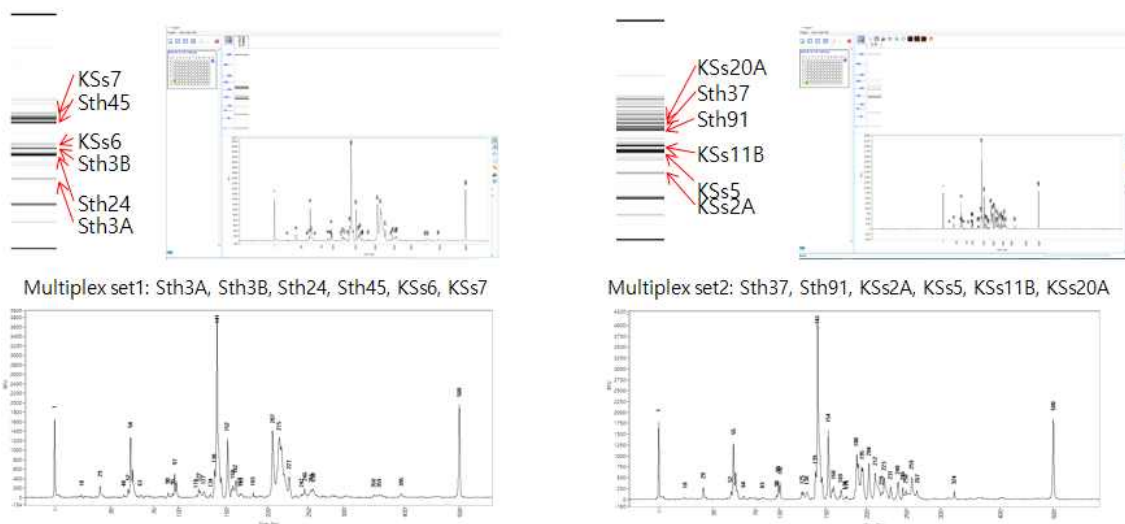


Fig. 3.4.3.5. Mutiplex-PCR set of microsatellite markers used for goldeye rockfish population genetic analysis.

Table 3.4.3.2. Information on microsatellite markers used in goldeye rockfish population genetic analysis

	Locus (Label)	Repeat motif	Primer sequence (5' - 3')	Allele size range (bp)	Dye label	Genbank accession no.	Reference
SET 1	Sth3A	(CA)10	F-6'FAM-ATGGTGACAAGCTAGCAGTGCATT R-GACAATGTCCATCTAGGCATGACTG	113-121	FAM	AB033424	Sekino et al., 2000
	Sth24	(CA)8	F-6'VIC-AGGACAGGATGTGCCCTTTTACCA R-GCCTCAGAGGCCGATTTCTTATT	133-139	VIC	AB033426	
	KSSs6	(CA)11	F-6'ATTO-TGCCCAGATACATTTACACAC R-TAACCCCCACCCACAC	140-160	ATTO	EF109805	
	Sth3B	(CA)13	F-6'NED-GTCATGCCTAGATGGACATTGTCTAC R-GAGATAAGAGGAGTTTGAAGGCAGAG	114-178	NED	AB033425	
	KSSs7	(GT)16	F-6'FAM-TGGGCAATAAATAAGAGAGGA R-CCGTCTGCAATCTGACTCA	174-230	FAM	EF109806	
	Sth45	(CT)13X5(CT)2X3(CA)5(GA)2A(CA)4	F-6'VIC-CTGGGACCTAGCCTGATTACAGCA R-AAACTCAGCGACAGCAGACCACA	192-212	VIC	AB033428	
SET 2	KSSs11B	(TG)31	F-6'VIC-GGAGTGTATTATGCCAATGAG R-CCTCCAGTCGCACTTATTT	106-182	VIC	EF109807	An et al., 2009
	KSSs2A	(TG)22	F-6'FAM-CCCATAGCCTTGTTTACCT R-TTTTGGTTATTGTCTTGGTTT	110-166	FAM	EF109802	
	KSSs5	(TG)6TC(TG)6	F-6'NED-TGAAGCAATAAGGTAAAGGTG R-GCAGAAGCCTCAGGAAAG	124-138	NED	EF109804	
	Sth91	(CA)6(TA)3G2A(CA)4	F-6'VIC-TTTCGATATGCTTCGCTAGGGTGT R-CCATCAAACATGCACCAACAAGACA	216-220	VIC	AB033431	
	Sth37	(CA)16	F-6'ATTO-TACAGGAAACAAGACCACGGGTACAG R-GCAACATCCCTTTAAGTCACCTGCAG	221-243	ATTO	AB033427	
	KSSs20A	(CA)5GA(CA)9	F-6'NED-ACAGACGCTTACTCACAAAAA R-GAAGCGATTCCACAGGATA	232-254	NED	EF109813	

나. 신규 분자마커 발굴 및 적용

(1) 홍해삼 신규마커 발굴 및 적용

(가) 미토콘드리아 DNA를 이용한 분자계통수 분석

해삼 중 판별을 위한 미토콘드리아 DNA 유전자들의 변이 탐색 결과 putative control region의 유전적거리가 0.019~0.051로 해상도가 가장 높았으며, 분자계통수 상에서도 NCBI의 GenBank 데이터베이스에 등록된 다른 돌기해삼 개체들과도 비교적 잘 구분되었다(Fig. 3.4.3.6).

서식지와 채색이 다른 총 40개 돌기해삼 시료들의 미토콘드리아 putative control region에서 약 580 bp의 핵산염기서열 정보가 해독되었으며, 이들의 핵산염기서열 정보와 NCBI의 GenBank 데이터베이스에서 가용한 정보를 이용하여 분자계통수를 작성한 결과 3개의 계통으로 구분되었다(Fig. 3.4.3.7).

Clade I에 대부분의 개체들(30개체)이 포함되었으며, Clade II와 Clade III에 각각 4개체와 6개체가 포함되었다. Clade I에는 서식지와 채색이 다른 다양한 개체들이 속해있었다. 반면 Clade II에는 울릉도와 제주도 홍해삼이 각각 2개체씩 속해있었으며, Clade III에는 울진 흑해삼 2개체, 울진 청해삼 3개체, 울릉도 홍해삼 1개체가 속해있었다. 미토콘드리아 putative control region에 기초한 돌기해삼의 분자계통학적 분석 결과, 모두 3가지의 잘 구별되는 계통(또는 유전형)이 존재하였으나, 이러한 유전적 구별은 서식지 또는 채색과 관계가 없는 것으로 판단되었다. 다만 Clade II의 경우에는 울릉도와 제주도의 홍해삼 개체들로만 구성되어 있어 이들의 선별적인 육종을 통해 지역특산품종을 개발할 수 있는 가능성이 존재하지만 대용량 시료를 이용한 검증이 필요한 것으로 판단되었다.

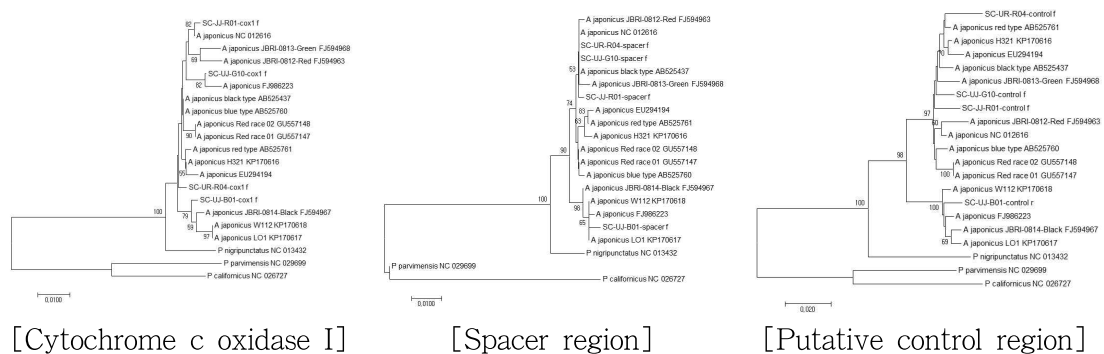


Fig. 3.4.3.6. Molecular phylogenetic tree based on 3 nucleotide sequence information of mitochondrial putative control region for representative samples of cucumber.

돌기해삼의 대표 시료들을 대상으로 3가지 미토콘드리아 유전자별 핵산염기서열 정보에 기초하여 작성된 분자계통수.

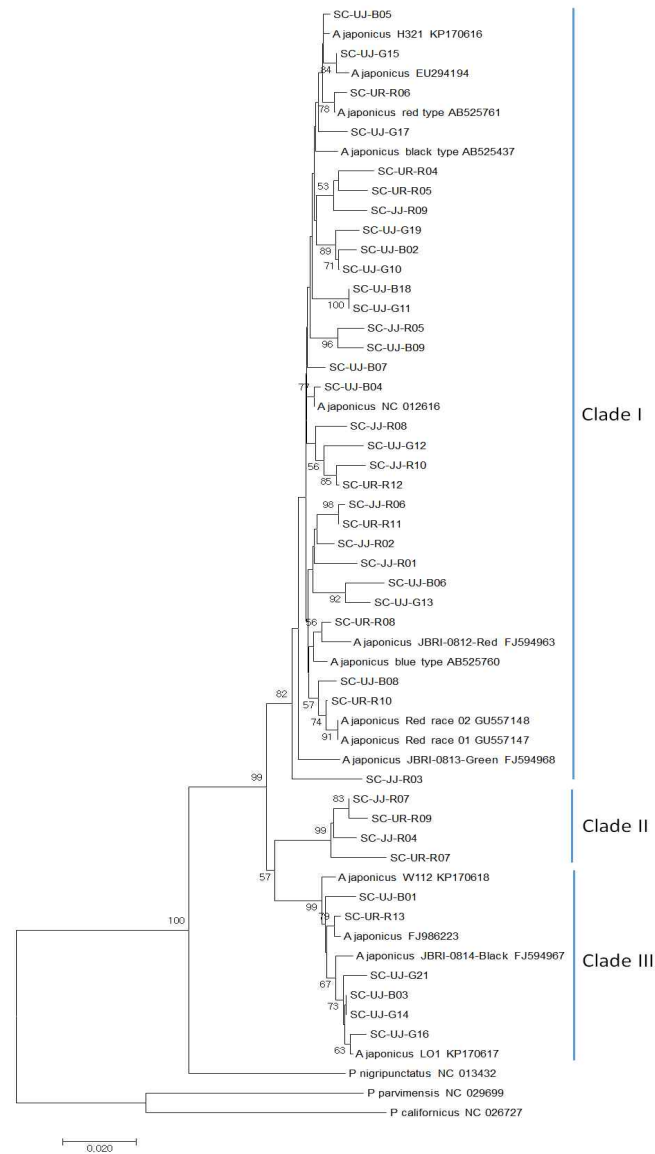


Fig. 3.4.3.7. Molecular phylogenetic tree based on nucleotide sequence information of mitochondrial putative control region for representative samples of cucumber. UR, Ulleungdo; UJ, Uljin; JJ, Jeju; R, Red cucumber; B, Black cucumber; G, Green cucumber.

(나) Microsatellite 마커를 이용한 홍해삼과 흑삼, 청해삼 구분

각 집단별 유전적 분화도 분석결과 체색별(홍해삼/청해삼 및 흑삼)로 0.159~0.221의 범위에서 통계적으로 매우 유의한 유전적 분화값($p < 0.01$)을 가지는 것으로 나타났으나, 청해삼과 흑삼간 유전적 분화도 값은 매우 낮으며 유의하지 않았고, 서식지별로도 유전적 분화도는 나타나지 않았다(Table 3.4.3.3). 따라서 홍해삼/청해삼 및 흑삼으로 나눌 수 있으며, 청해삼과 흑삼 두 타입간의 유전적 차이는 없으며, 해삼의 서식지별 유전적으로 구분되어 있지는 않아 유전적 흐름이 장시간동안 차단되어 있지는 않은 것으로 판단된다.

Table 3.4.3.3. Genetic differentiation of cucumber populations using microsatellite markers

	울릉 홍해삼	울릉 청해삼	울릉 흑삼	울진 홍해삼	제주 홍해삼	울진 청해삼	울진 흑삼
울릉 홍해삼	-						
울릉 청해삼	0.169*	-					
울릉 흑삼	0.162*	0.007	-				
울진 홍해삼	0.022	0.191*	0.177*	-			
제주 홍해삼	0.010	0.173*	0.159*	0.026	-		
울진 청해삼	0.195*	0.000	0.067*	0.221*	0.206*	-	
울진 흑삼	0.183*	0.002	0.078	0.202*	0.180*	0.012	-

*, $p < 0.01$

개체별 유전자형 분석결과 홍해삼/청해삼+흑삼은 서로 완벽하게 구분이 가능하며 개체 식별이 가능하였다(Fig. 3.4.3.8). 각 개체별 유전형을 이용한 PCoA (principal coordinates analysis)결과 PC1의 24.7%에 의해 홍해삼/청해삼 및 흑삼을 구분할 수 있었으며, 이는 개체수준의 판별이 가능한 것을 의미함으로써 향후 홍해삼 개체 판별, 양식 모니터링에 이용 가능할 것으로 판단된다(Fig. 3.4.3.9).



Fig. 3.4.3.8. Inter-individual of cucumber groups assignment analysis using STRUCTURE program. One bar means one individual and the other color means a different genotype.

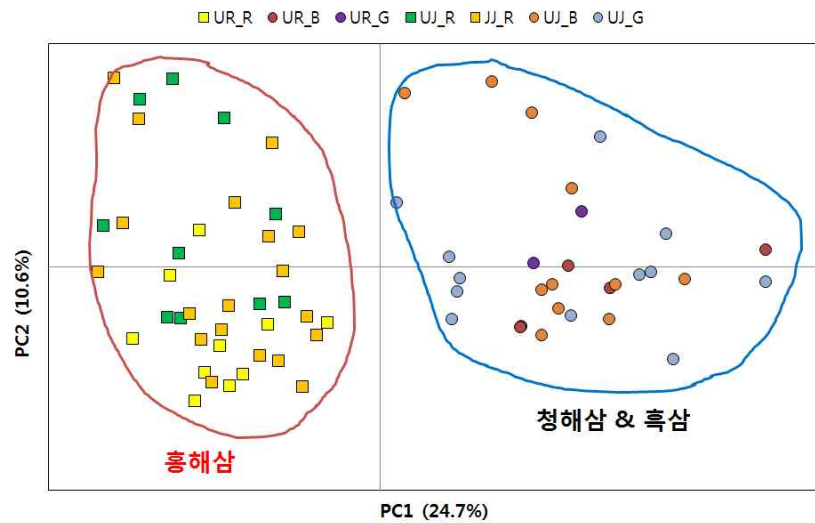


Fig. 3.4.3.9. Principal coordinates analysis based on genetic distance between sea cucumber individuals using microsatellite markers. UR, Ulleungdo; UJ, Uljin; JJ, Jeju; R, Red cucumber; B, Black cucumber; G, Green cucumber.

(다) 자연산 및 양식산 홍해삼의 유전다양성 및 집단구조

홍해삼 4집단(자연산 2집단: 제주도, 울릉도; 양식산 2집단: 울진 A수산, 제주 B수산)에 대한 유전적 다양성 분석 결과를 Table 3.4.3.4에 정리하였다. 사용한 각 마커의 대립유전자의 수는 5개에서 18개로 관찰되었고, 보정한 대립유전자수(allele richness, $n=31$)는 4.275에서 12.620으로 조사되었다. 자연산 평균 대립유전자수는 울릉도 집단이 8.556개로 가장 많았으며, 제주도 집단이 7.222개로 적었고, 양식산 두 집단은 자연산에 비해 많은 샘플 수를 분석하였음에도 불구하고 적은 대립유전자수를 보였다. 특히 보정한 대립유전자수는 울릉도 자연산, 제주도 자연산, 제주도

양식산, 울진 양식산 순으로 조사되어 자연산에 비해 양식산의 대립유전자 수가 제한적임을 알 수 있었는데, 이는 사용한 모삼의 수가 제한적일 수 밖에 없는 양식 환경 상 나타난 결과로 판단되었다.

실제 집단 유전다양성을 의미하는 기대치 이형접합율(H_E , expected heterozygosity)은 울릉도 자연산 집단이 0.631로 가장 높았으며, 제주도 자연산 집단이 0.606, 제주도 양식산 집단이 0.595로 큰 차이를 보이지 않았다. 다만 울진 양식산 집단이 0.502로 울릉도 자연산 집단의 유전다양성에 비해 0.129 차이를 보여 유전다양성이 다소 낮았다.

Table 3.4.3.4. Analysis of population polymorphism by analysis of 9 microsatellite marker genotypes

Locus	Populations				Means all pop	
	JJw	JJc	UJc	ULw		
PSJ2172	<i>N</i>	35	55	56	50	196
	<i>Na</i>	4	3	5	5	6
	<i>A_R</i>	3.886	3.000	4.067	4.568	4.275
	<i>H_O</i>	0.457	0.564	0.179	0.620	0.449
	<i>H_E</i>	0.606	0.546	0.215	0.595	0.504
	<i>F_{IS}</i>	0.248	-0.033	0.172	-0.043	0.086
PSJ1828	<i>N</i>	35	52	53	50	190
	<i>Na</i>	8	9	7	14	14
	<i>A_R</i>	7.872	8.313	6.138	11.243	9.056
	<i>H_O</i>	0.571	0.596	0.660	0.600	0.611
	<i>H_E</i>	0.618	0.598	0.645	0.614	0.634
	<i>F_{IS}</i>	0.076	0.003	-0.024	0.023	0.020
PSJ3072	<i>N</i>	34	55	56	50	195
	<i>Na</i>	16	14	10	16	18
	<i>A_R</i>	15.607	12.147	8.454	13.713	12.620
	<i>H_O</i>	0.676	0.855	0.857	0.900	0.836
	<i>H_E</i>	0.865	0.865	0.815	0.859	0.856
	<i>F_{IS}</i>	0.220	0.012	-0.052	-0.049	0.033
PSJ2031	<i>N</i>	34	43	37	49	163
	<i>Na</i>	9	4	4	9	11
	<i>A_R</i>	8.722	3.999	3.676	8.022	6.738
	<i>H_O</i>	0.500	0.395	0.459	0.469	0.454
	<i>H_E</i>	0.696	0.523	0.461	0.552	0.564
	<i>F_{IS}</i>	0.284	0.247	0.003	0.151	0.171
PSJ2575	<i>N</i>	35	56	56	45	192
	<i>Na</i>	6	6	6	8	8
	<i>A_R</i>	5.998	5.968	5.947	7.594	6.437
	<i>H_O</i>	0.743	0.821	0.839	0.711	0.786
	<i>H_E</i>	0.732	0.731	0.766	0.816	0.789
	<i>F_{IS}</i>	-0.015	-0.125	-0.096	0.130	-0.027
PSJ3088	<i>N</i>	35	56	56	44	191
	<i>Na</i>	3	3	3	5	5
	<i>A_R</i>	2.771	2.538	2.828	4.385	3.207
	<i>H_O</i>	0.057	0.107	0.107	0.182	0.115
	<i>H_E</i>	0.057	0.103	0.104	0.249	0.130
	<i>F_{IS}</i>	-0.007	-0.039	-0.033	0.273	0.049
PSJ2969	<i>N</i>	34	56	55	50	195
	<i>Na</i>	5	3	3	4	6
	<i>A_R</i>	4.735	3.000	2.812	3.568	3.718
	<i>H_O</i>	0.382	0.536	0.545	0.420	0.482
	<i>H_E</i>	0.545	0.577	0.485	0.485	0.548
	<i>F_{IS}</i>	0.302	0.072	-0.126	0.136	0.096
PSJ2889	<i>N</i>	34	56	55	48	193
	<i>Na</i>	7	6	6	9	10
	<i>A_R</i>	6.810	5.500	5.295	8.437	7.352
	<i>H_O</i>	0.353	0.518	0.400	0.625	0.482
	<i>H_E</i>	0.597	0.645	0.613	0.758	0.662
	<i>F_{IS}</i>	0.412	0.198	0.349	0.177	0.284
PSJ2368	<i>N</i>	31	55	56	46	188
	<i>Na</i>	7	7	6	7	7
	<i>A_R</i>	7.000	6.952	5.450	6.987	6.912
	<i>H_O</i>	0.516	0.491	0.375	0.478	0.457
	<i>H_E</i>	0.735	0.766	0.412	0.749	0.686
	<i>F_{IS}</i>	0.301	0.361	0.090	0.364	0.279
Means all loci	<i>N</i>	35	56	56	50	197
	<i>Na</i>	7.222	6.111	5.556	8.556	9.444
	<i>A_R</i>	7.045	5.713	4.963	7.613	6.701
	<i>H_O</i>	0.473	0.543	0.491	0.556	0.519
	<i>H_E</i>	0.606	0.595	0.502	0.631	0.597
	<i>F_{IS}</i>	0.186*	0.056	0.010	0.076*	0.073

* $P < 0.05$; JJw, Jeju-wild; JJc, Jeju-cultured; ULc, Uljin-wild; ULw, Ulleungdo-wild; *N*, Number of samples; *Na*, Number of alleles; *A_R*, allelic richness; *H_O*, Observed heterozygosity; *H_E*, Expected heterozygosity; *F_{IS}*, Inbreeding index in the group

제주도 자연산 집단은 기대치 이형접합율에 비해 관찰치 이형접합율이 낮아 근친교배지수가 0.186으로 다른 집단에 비해 비교적 높은 수치로 나타났으며, 통계적으로 매우 유의하였다($p < 0.001$). 근친교배가 진행되면 자연산 홍해삼 집단의 유전적 부동(genetic drift) 등의 보전유전학적 문제가 발생할 가능성이 높음을 의미하며, 이로 인해 자연산 집단의 크기가 축소될 가능성이 있다. 이에 따라 소수 집단에서 나타나는 일시적인 현상인지 여부를 확인하기 위해 집단 및 샘플 수를 늘려 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다. 울릉도 홍해삼 자연산 집단의 경우 대립유전자의 수가 많고, 유전다양성이 높으며, 근친교배지수가 낮아 집단의 자연성을 잘 유지하고 있는 것으로 판단된다.

자연산 집단과 양식산 집단의 유전적 거리를 기반한 principal coordinates analysis (PCoA)결과 자연산 집단간 유전적으로 매우 가까운 제주 양식산은 자연산 집단과 PC2 (23.4%)에 의해 구분되었고, 울진 양식산 집단은 나머지 집단과 PC1 (67.8%)에 의해 구분되었다. 이는 양식산의 경우 소수의 모삼을 이용함으로써 희귀 유전자형이 소실되고, 다수의 유전형만이 남게 되어 나타나는 유전적 부동(genetic drift)로 인한 현상으로 추정된다(Fig. 3.4.3.10).

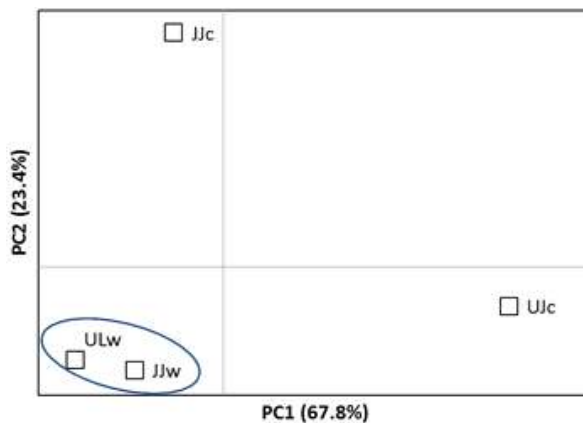


Fig. 3.4.3.10. Principal coordinates analysis based on genetic distance between red cucumber populations. ULw, Ulleungdo-wild; JJw, Jeju island-wild; JJc, Jeju island-cultured; UJc, Uljin-cultured.

제주도 홍해삼 집단과 울릉도 홍해삼 집단간 유전적 분화도를 분석한 결과 0.010으로 매우 낮은 유전적 분화를 보였으며, 통계적으로 유의하지 않아($p > 0.05$) 두 집단간 유전적으로 큰 차이를 보이지 않는 것으로 판단되었다. 다만 유전적 흐름을 분석한 결과 울릉도 집단에서 제주도 집단으로 이동하는 흐름이 0.323으로 강

하게 나타난 반면 제주도에서 울릉도로 이동하는 흐름은 0.020으로 매우 제한적이
 었다(Fig. 3.4.3.11). 따라서 쿠로시오 해류와 반대방향으로 이동하는 것으로 조사되
 어 다수의 해양생물에서 나타나는 해류를 따라 움직이는 이동과는 다른 양상으로
 조사되었다. 이는 집단간 유전자형 비교분석결과에서도 잘 나타나고 있는데, 9개의
 ms마커의 유전자형 수는 총 82개였으며, 이 중 제주 집단 특이 유전자형의 수는 5
 개인데 비해 울릉도 집단 특이 유전자형 수는 17개로 울릉도 집단 특이 유전자형의
 수가 매우 많아 제주집단에 비해 고유성이 높았다(Fig. 3.4.3.12).

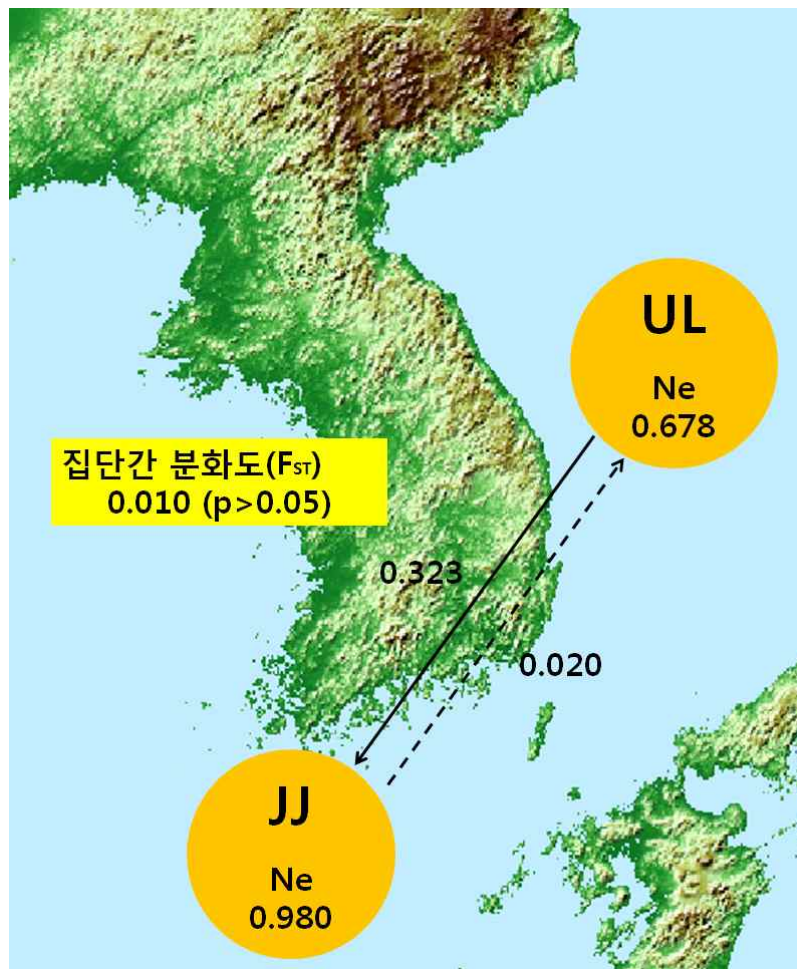


Fig. 3.4.3.11. Genetic differentiation and genetic flow between red cucumber populations. UL, Ulleungdo; JJ, Jeju island.

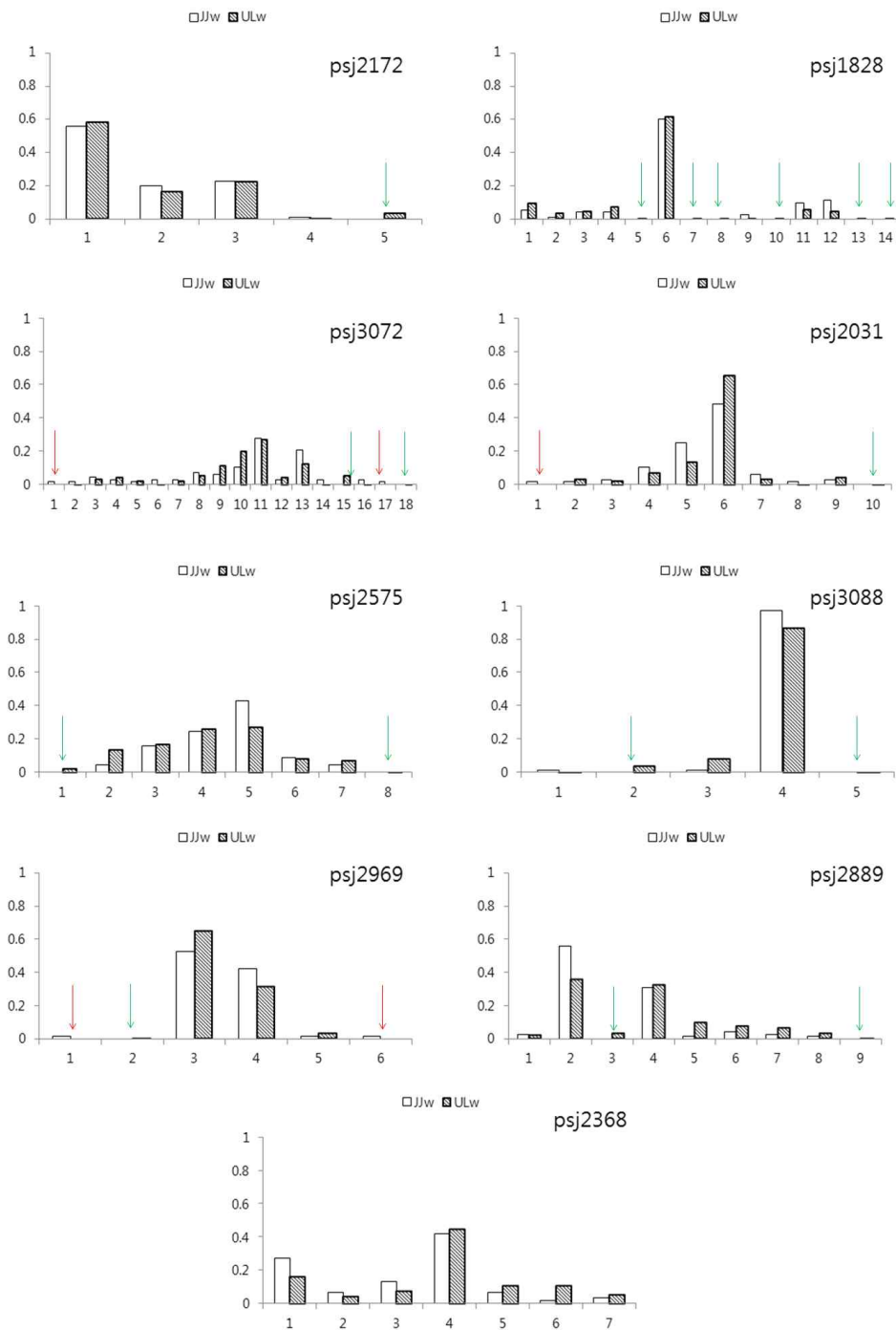


Fig. 3.4.3.12. Comparison of microsatellite marker allele genotype frequencies among wild-caught red cucumber. The red arrow indicates the specific allele genotype of the Jeju Island wild group, the green arrow indicates the specific allele genotype of Ulleungdo wild group.

(2) 홍합류 신규마커 발굴 및 적용

(가) 기준 유전자(Reference gene) 탐색

유전자는행(Genbank)에 확보되어 있는 5S ribosomal RNA 영역과 미토콘드리아 cytochrome c oxidase 1 (*COX 1*) 유전자의 염기서열을 이용하여 진주담치와 지중해담치, 캘리포니아 홍합, 홍합(참담치) 종 간 분자계통수를 작성한 결과 두 유전자 모두에서 캘리포니아 홍합과 홍합(참담치)는 100%로 강하게 지지되는 단계통군을 형성하였다(Fig. 3.4.3.13, Fig. 3.4.3.14).

진주담치와 지중해담치는 clade가 서로 명확히 구분되지 않고 혼재되어 나타남에 따라 유전자는행(Genbank)에 등록되어 있는 유전자는 담치 종의 동정이 명확하지 않아 나타난 결과로 판단된다. 두 유전자 중 5S ribosomal RNA의 분자계통수에서는 담치류와 캘리포니아 홍합이 우선 그룹을 이루었으나, 지지도가 68%로 낮게 나타난 반면 *COX 1* 유전자의 경우 홍합 그룹과 담치 그룹이 서로 명확하게 나뉘었으며, 지지도가 95%로 높게 나타나 명확하였다. 따라서 *COX 1* 유전자를 이용한 분자계통수만으로도 담치류와 홍합류를 명확하게 구분이 가능하며, 홍합류 중에서도 캘리포니아 홍합과 올룡도 홍합이 각각 단계통을 이룸에 따라 종 간 구분도 명확하였다.

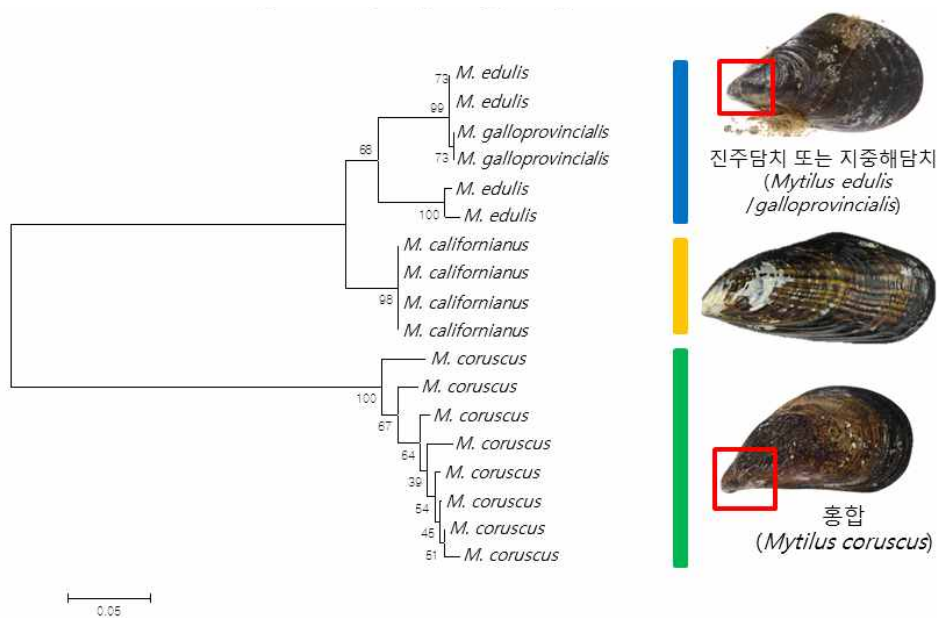


Fig. 3.4.3.13. Molecular phylogeny based on the nucleotide sequence data of mitochondrial 5S ribosomal RNA of *Mytilus galloprovincialis*, *M. californianus* and *M. coruscus*.

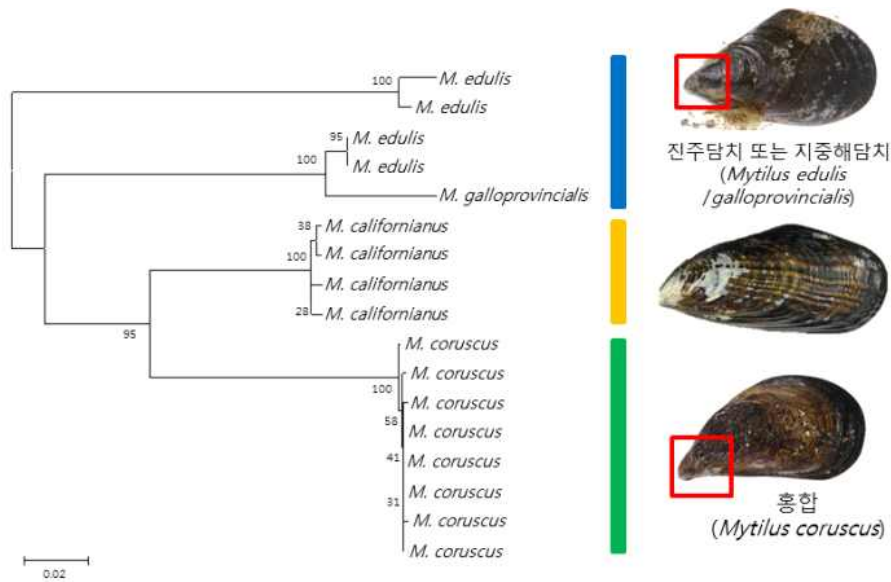


Fig. 3.4.3.14. Molecular phylogeny based on the nucleotide sequence data of mitochondrial cytochrome c oxidase I (COX 1) of *Mytilus galloprovincialis*, *M. callifornianus* and *M. coruscus*.

(2) 홍합 신속 종 동정 분자마커 개발

Cytochrome b (COB) 유전자 증폭을 위해 개발한 프라이머쌍은 홍합과 지중해담치 모두에서 효율적으로 증폭이 가능하였으며, 염기서열 분석 결과 진주담치, 지중해담치, 북방담치, 캘리포니아 홍합과 홍합(참담치)의 COB 유전자는 총 1,309 bp로서, 중간 변이사이트는 376개이다. 이 중 홍합(참담치)에서만 특이적으로 증폭할 수 있는 확률을 높이기 위해 유전자은행(Genbank)에 확보되어 있는 홍합속 패류의 COB 염기서열을 포함한 매트릭스 구축하였고, 홍합에서만 특이적으로 증폭 가능하도록 한 프라미어 6쌍(sp 시리즈)과 홍합속 패류에서 모두 증폭 가능한 프라이머 2쌍(c 시리즈)를 개발하여 PCR을 수행한 결과 홍합에서만 특이적으로 증폭 가능한 6쌍 중 2쌍에서 가능성을 확인하였으며, 홍합과 담치 모두에서 증폭 가능한 2쌍 중 2쌍 모두에서 가능성을 확인하였다(Fig. 3.4.3.15).

가능성을 보인 마커쌍을 한 번에 증폭하기 위해 multiplex-PCR 적정 조합 및 증폭 온도를 탐색한 결과 sp1F2R+c1F2R, sp1F2R+c1F1R, sp2F1R+c1F1R/sp2F1R+c1F2R 네 조합, 58°C의 증폭온도에서 홍합과 담치 간 증폭 양상에 차이를 보였다(Fig. 3.4.3.16).

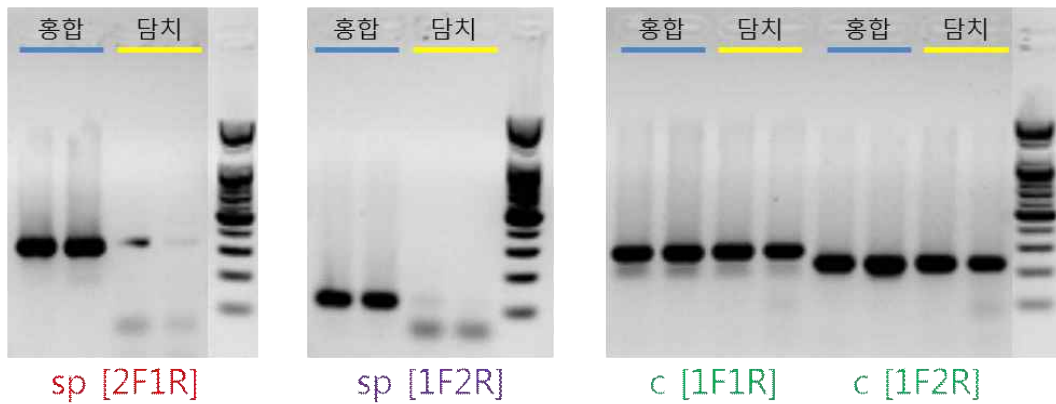


Fig. 3.4.3.15. Mussel species identification molecular marker electrician statue. sp [2F1R] and sp [1F2R] amplified specifically in mussels and c [1F1R] and c [1F2R] amplified in Ulleungdo mussel and Mediterranean mussel.

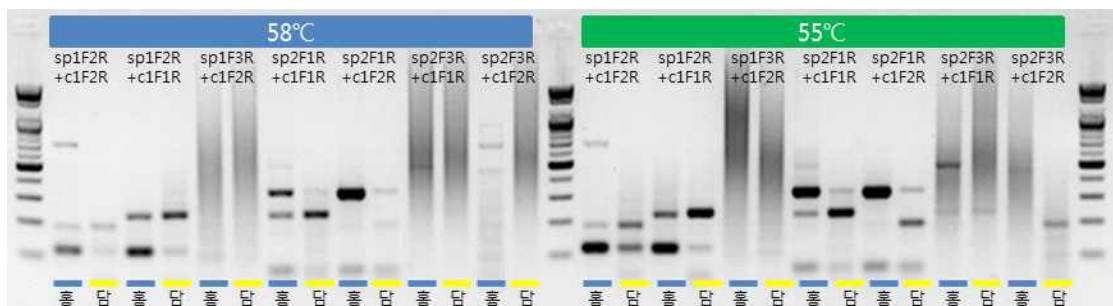


Fig. 3.4.3.16. Multiplex-PCR of a combination of species-specific primer pair of mussel and primer pairs amplifying both Ulleungdo mussel and Mediterranean mussel.

특이적 증폭양상을 최소화하기 위해 PCR 반복횟수별 증폭양상을 비교 분석한 결과 25반복과 27반복에서 가장 적합한 전기영동상이 나타났다(Fig. 3.4.3.17). 이 중에서도 27반복 조건은 특이 밴드와 공통밴드 모두 뚜렷하게 나타남에 따라 가장 효율적인 조건으로 판단된다. 앞서 언급한 조건을 최적화하여 홍합 4개체와 담치 4개체를 이용한 multiplex-PCR 결과 sp1F2R+c1F1R에 비해 sp2F1R+c1F1R 조합에서 특이 밴드가 더욱 명확하게 구분됨에 따라 높은 해상도를 보였다(Fig. 3.4.3.18).

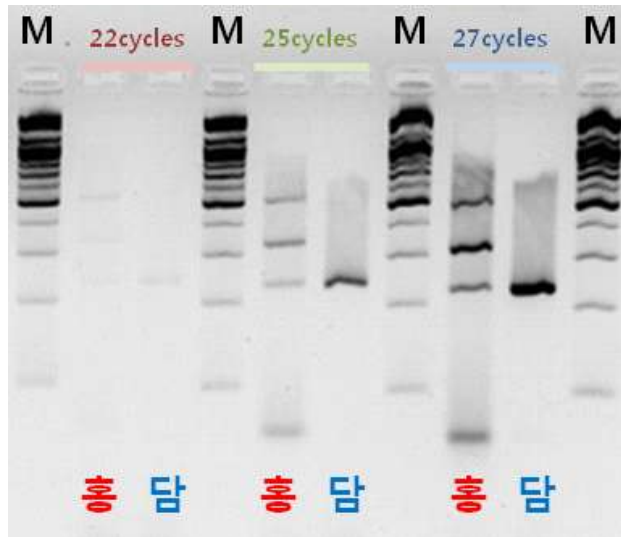


Fig. 3.4.3.17. Comparative Analysis of Amplification Patterns by PCR Cycle. PCR amplification occurs efficiently under repeated conditions of 25 times and 27 times.

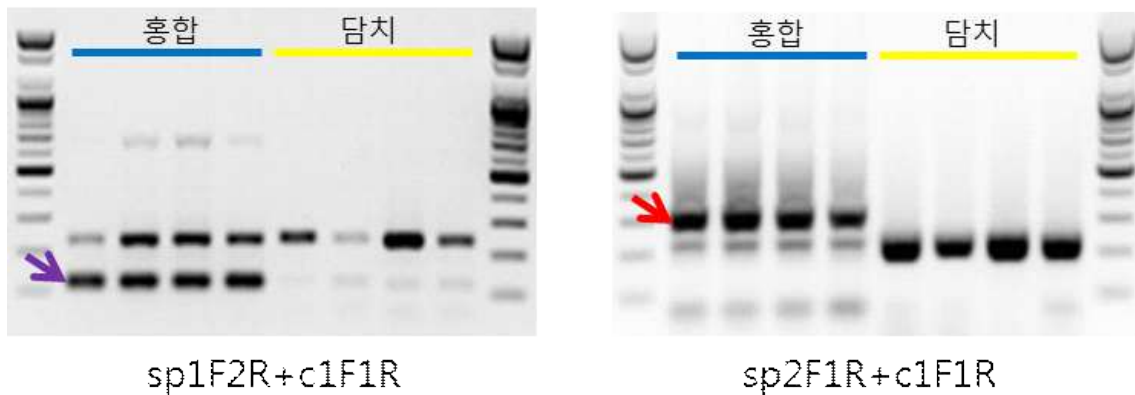


Fig. 3.4.3.18. Multiplex-PCR electrophoresis of quick identification of mussel. Compared to sp1F2R+c1F1R, sp2F1R+c1F1R can be more clearly identified.

(3) 불불락 신규마커 발굴 및 적용

(가) 유전다양성 분석

불불락 5집단의 유전다양성 분석결과 평균 대립유전자 수는 8.2개로 조사되었으며, 신안 집단이 7.1개로 가장 낮았고, 부산 집단이 9.0개로 가장 많은 반면 유전다양성(기대치이형접합율, H_E)은 영덕집단이 0.692로 가장 낮았고, 통영집단이 0.734로 가장 높았다(Table 3.4.3.5). 영덕집단의 유전다양성이 다소 낮았으나 가장 유전다양

성이 높은 통영 집단과 불과 4%정도로 차이가 크지 않았고, 근친교배지수도 모두 음수로 나타나 집단유전학적으로 큰 의미를 가지지는 않았다.

Table 3.4.3.5. Analysis of genetic diversity of goldeye rockfish group in Korea

Populations (no. of samples)	Microsatellite loci									
	Sth3A	Sth24	Sth45	Sth3B	KSs6	KSs2 A	Sth91	KSs20 A	Sth37	Mean
BS (34)										
N _A	8	4	9	14	8	10	2	8	18	9
H _b	0.794	0.706	0.971	0.706	0.971	0.824	0.265	0.559	1.000	0.755
H _e	0.707	0.548	0.812	0.849	0.808	0.810	0.233	0.822	0.910	0.722
PIC	0.652	0.447	0.777	0.817	0.768	0.775	0.203	0.783	0.887	0.6788
F _{IS}	-0.125	-0.294	-0.199	0.170	-0.205	-0.017	-0.138	0.324	-0.101	-0.046
P _{HWE}	0.021	0.001	0.04	0.001	0.000	0.223	1.000	0.000	0.057	0.000
SA (19)										
N _A	7	2	8	8	9	9	3	9	9	7.1
H _b	0.842	0.474	0.947	0.632	1.000	0.947	0.158	0.789	1.000	0.754
H _e	0.795	0.462	0.842	0.809	0.829	0.876	0.152	0.858	0.889	0.724
PIC	0.741	0.349	0.795	0.758	0.781	0.836	0.142	0.817	0.851	0.674
F _{IS}	-0.061	-0.25	-0.129	0.224	-0.213	-0.084	-0.038	0.082	-0.129	-0.044
P _{HWE}	0.000	1.000	0.100	0.100	0.170	0.151	1.000	0.238	0.916	0.000
TY (30)										
N _A	7	2	11	14	8	11	3	7	16	8.8
H _b	0.867	0.600	1.000	0.633	0.900	1.000	0.333	0.633	1.000	0.774
H _e	0.732	0.506	0.829	0.845	0.828	0.841	0.310	0.792	0.919	0.734
PIC	0.674	0.374	0.795	0.813	0.789	0.806	0.268	0.745	0.896	0.684
F _{IS}	-0.188	-0.189	-0.211	0.254	-0.089	-0.193	-0.076	0.203	-0.090	-0.056
P _{HWE}	0.324	0.459	0.101	0.002	0.000	0.232	0.177	0.649	0.610	0.000
UL (35)										
N _A	7	3	8	12	9	14	3	7	15	8.7
H _b	0.829	0.543	0.914	0.714	0.914	1.000	0.200	0.514	1.000	0.736
H _e	0.768	0.516	0.819	0.838	0.841	0.885	0.185	0.777	0.918	0.728
PIC	0.720	0.393	0.782	0.805	0.807	0.860	0.170	0.733	0.898	0.685
F _{IS}	-0.081	-0.052	-0.118	0.150	-0.089	-0.193	-0.082	0.341	-0.090	-0.013
P _{HWE}	0.000	0.732	0.013	0.001	0.064	0.162	1.000	0.000	0.604	0.000
YD (35)										
N _A	8	3	8	12	10	9	4	8	12	8.2
H _b	0.914	0.629	0.971	0.600	0.971	1.000	0.229	0.800	1.000	0.790
H _e	0.717	0.467	0.792	0.805	0.777	0.800	0.211	0.778	0.882	0.692
PIC	0.662	0.367	0.752	0.768	0.733	0.761	0.196	0.735	0.856	0.648
F _{IS}	-0.280	-0.280	-0.230	0.258	-0.254	-0.254	-0.86	-0.028	-0.136	-0.144
P _{HWE}	0.002	0.081	0.04	0.000	0.000	0.004	1.000	0.262	0.802	0.000
Mean										
N _A	10	5	12	19	12	18	4	11	22	12.6
H _b	0.850	0.601	0.961	0.660	0.948	0.954	0.242	0.647	1.000	0.763
H _e	0.742	0.503	0.817	0.830	0.816	0.843	0.222	0.799	0.904	0.720
PIC	0.701	0.394	0.793	0.807	0.789	0.823	0.203	0.769	0.893	0.686
P _{HWE}	0.000	0.020	0.001	0.000	0.000	0.007	0.968	0.000	0.595	0.000

(나) 유전적 집단구조 분석

불볼락 5개 집단간 유전적 분화도 분석 결과 신안 집단과 영덕 집단간 0.007로 유의하게 조사되었으나, 수치가 매우 낮았고 나머지 집단간 유전적 분화도는 0.000~0.007로 모두 유의하지 않아 동일한 하나의 집단으로 유추되었다(Table 3.4.3.6).

Table 3.4.3.6. Genetic differentiation between 5 goldeye rockfish groups

	신안	울릉도	부산	통영	영덕
신안	-				
울릉도	0.000	-			
부산	0.000	0.000	-		
통영	0.007	0.002	0.000	-	
영덕	0.007*	0.004	0.000	0.004	-

*, p<0.05

유전적 거리에 기반한 Principal Coordinates Analysis (PCoA) 결과 집단간 분석에서는 신안군 집단과 울릉도 집단 / 영덕 집단, 부산집단과 통영 집단으로 구분되는 양상이 나타났으나, 개체간 분석결과 개체들이 집단을 이루지 않고 서로 섞여있는 양상이 나타남에 따라 유전적 분화도 분석 결과와 동일한 양상으로 조사되었다 (Fig. 3.4.3.19, Fig. 3.4.3.20).

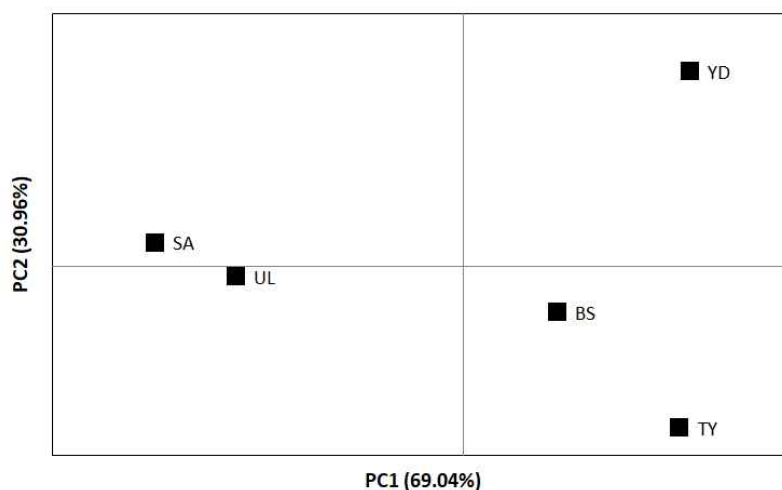


Fig. 3.4.3.19. Principal Coordinates Analysis based on the genetic distance between 5 goldeye rockfish groups. SA, Shinan; UL, Ulleungdo; YD, Yeongdeok; BS, Busan; TY, Tongyeong.

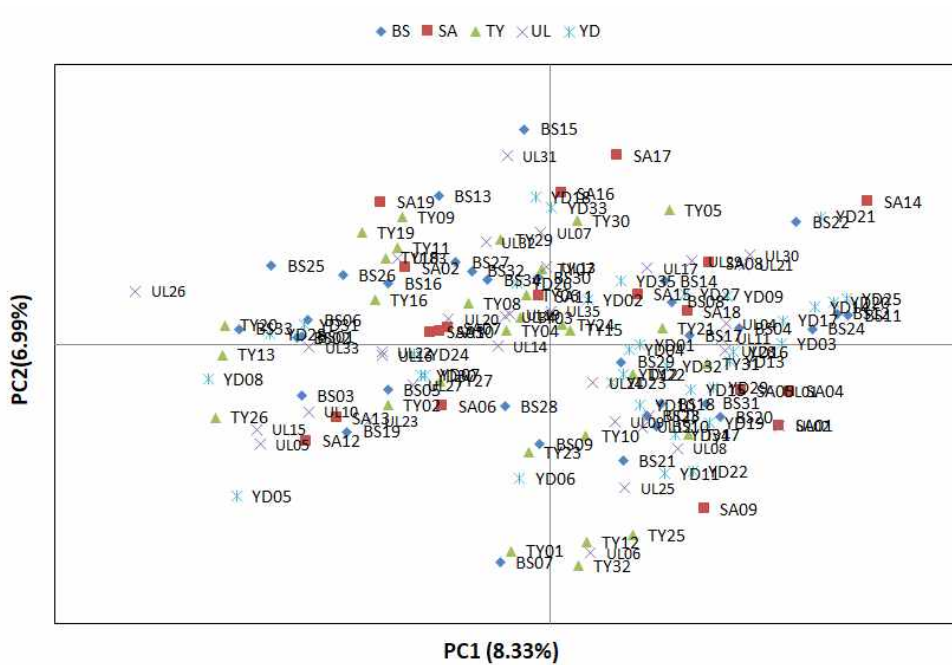


Fig. 3.4.3.20. Principal Coordinates Analysis based on the genetic distance Between goldeye rockfish. SA, Shinan; UL, Ulleungdo; YD, Yeongdeok; BS, Busan; TY, Tongyeong.

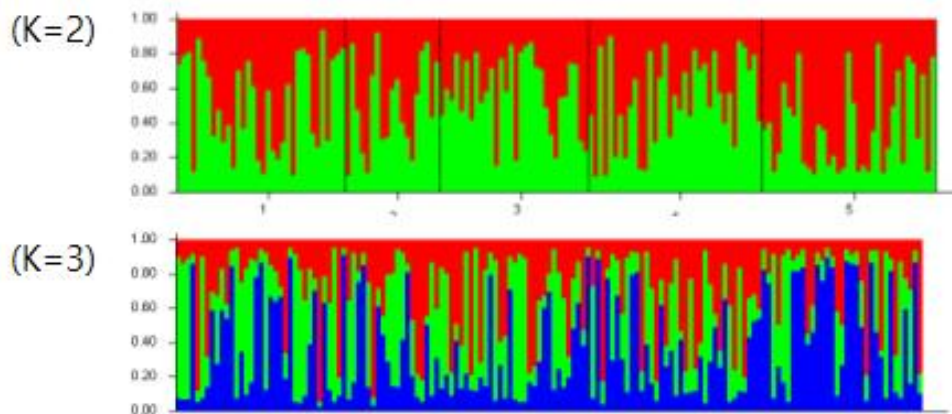


Fig. 3.4.3.21. Inter-individual assignment analysis using STRUCTURE program. One bar means one individual and the other color means a different genotype.

인위적으로 집단을 구분하기 위해 두 집단 및 세 집단으로 설정하여 개체간 유전자형을 기반으로 분석한 결과 임의집단이 2일때와 3일 때 모두 집단으로 구분되지 않고, 개체내에서 유전형이 움직이는 결과를 보였다(Fig. 3.4.3.21). 위의 결과를 종합해볼 때 불블락은 집단으로 구분되지 않는 하나의 큰 개체군으로 판단되었다.

(다) 유전적 집단구조 분석

집단간 유전적 흐름을 분석한 결과 울릉도 → 부산으로 이동하는 유전적 흐름이 0.269, 영덕 → 부산으로 이동하는 유전적 흐름이 0.291, 신안 → 부산으로 이동하는 유전적 흐름이 0.258만 조사되었고, 그 외 지역간 유전적 흐름은 0.05이하로 매우 낮았다(Fig. 3.4.3.22). 따라서 부산 집단이 불블락 집단 중 가장 큰 집단으로 판단되며, 이는 불블락의 산란생태와 연관 가능성이 높음. 종합해볼 때 불블락은 하나의 큰 개체군으로 인공증식에 이용할 친어를 선발할 시 집단을 구분할 필요가 없으나, 될 수 있으면 유전형이 다양한 부산 인근해의 개체를 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

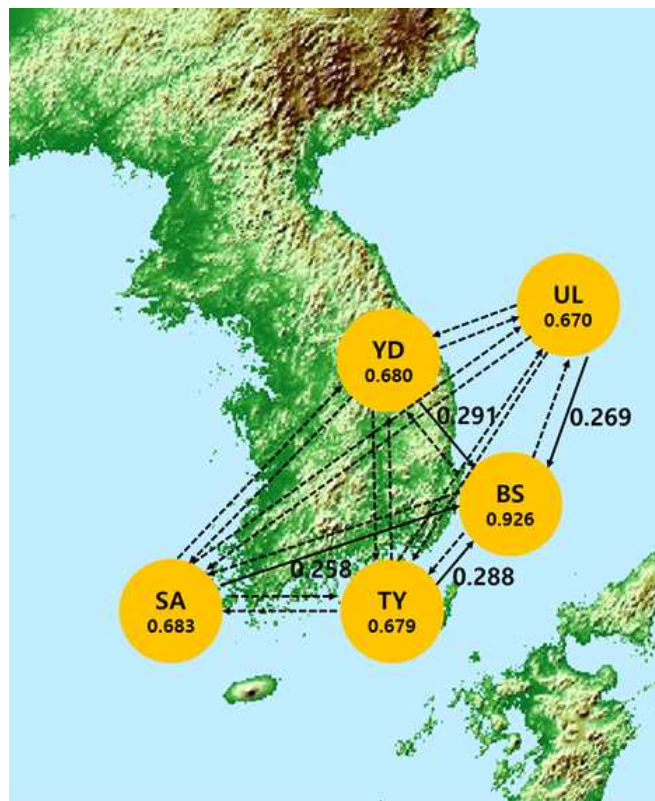


Fig. 3.4.3.22. Genetic flow between goldeye rockfish. SA, Shinan; UL, Ulleungdo; YD, Yeongdeok; BS, Busan; TY, Tongyeong.

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

제 1 절 목표 달성도

1. 울릉도 연안 주요 서식지의 해양환경 장기모니터링

- 울릉도 연안 핵심정점인 1개 정선라인 및 6개 연안 정점을 대상으로 수심별 CTD 조사를 수행하여 T-S diagram을 작성하였으며, 3개 지역의 기상청 부이 계류 자료, 기상대 기온, 강수량, 신 적설량 등의 기상자료를 확보하였으며, 국립수산과학원 울릉도 연안 정지 관측자료 및 외해 정선관측자료, 국립해양조사원 울릉도 조위 관측 자료를 확보하여 구를 통해 수온의 시계열 분석 및 연변화, 파고 및 파랑 자료 분석을 수행하였음. 또한 울릉도 연안 실시간 해양관측부이 운영 계획을 수립하였으며, 2차년도부터 울릉도·독도해양연구기지 전면 부두와 현포항 북쪽 2.5km 지점에 울릉도 연안 실시간 해양기상상태 파악 및 해수유동과 해수특성을 파악하기 위해 실시간 관측부이를 설치하여 울릉도 연안 해양환경 장기자료 수집 및 분석을 수행하였음. 또한 울릉도 해양관측부이 자료를 이용한 해양혼합층과 표층저염수의 특성을 파악하였음. 울릉도 연안 주요 서식지의 해양환경 장기모니터링 분야에서는 당해연도 목표를 100% 달성하였음

2. 연안생태계 군집구조 분석

- 동·식물플랑크톤 분야는 문헌검색 및 현장조사를 통해 조사해역에 출현하는 각각 생물군의 계절별, 공간별 분포를 파악하여 출현 분류군의 종 목록화를 진행하였으며 물리적 강제적 영향 기초 및 주요 암반생물 특성조사를 수행하였으며, 환경요인 변화에 따른 먹이생물의 기능성 구분을 위해 조사해역의 동·식물플랑크톤 대표종은 개체수 및 현존량 뿐 아니라 생물량의 개념을 도입하여 선정하여 대표종과 환경요인과의 상관관계를 설명하였음. 연안생태계 군집구조 분석 분야는 암반생태계에 자료 확보가 부족하여 당해연도 목표를 100% 달성하였음

3. 울릉도 수중생태계 서식생물 특성 조사

- 울릉도 연안 수중생태계 연구 분야는 조사정점별 표층, 중층, 저층의 서식환경 조사를 수행하여 수심별 자료를 확보하였으며, 울릉도 연안 주요 정점에 대한

수심별 저서생태계(저서무척추동물, 해조류) 군집구조 분석을 실시하였으며, 정점별, 수심별, 계절별 출현생물 종에 대한 서식분포 및 종목록을 작성하였음. 또한 주요 연구대상 생물의 서식 특성 조사를 위해 울릉도 연안 조하대 주요 저서무척추동물 및 해조류에 대한 정점별, 수심별 분포특성을 조사하였음. 연안 생태 변화 및 가치평가를 위한 핵심생물 선정을 위해 해양수산부와 환경부에서 지정한 보호대상 해양생물종과 기후변화를 대별할 수 있는 지리분포 지시종(난류지표종)의 서식 및 분포 특성을 조사하였음. 울릉도 수중생태계 서식생물 특성 조사 분야는 당해연도 목표를 100% 달성하였음

4. 울릉도 해양생물종의 유전특성 분석

- 유용 해양생물종의 유전특성 분석 연구 분야는 울릉도 연안에 서식하는 유용 해양생물 3종(홍해삼, 홍합, 불볼락)을 대상으로 실시하였음. 유전특성 분석 연구는 연구 대상종을 울릉도와 타 지역에서 수집하여 유전자원을 확보하였으며, 문헌검색을 통해 두 종에 대한 분자마커 정보를 수집하였음. 홍해삼 유전특성 분석은 미토콘드리아 DNA 이용한 분자계통수 분석을 수행하였으며, Microsatellite 마커를 이용한 홍해삼, 흑해삼, 청해삼을 구분하였고, 자연산 및 양식 홍해삼의 유전적 다양성 및 집단구조 분석을 실시하였음. 홍합은 기준 유전자(reference gene) 탐색을 통해 진주담치와 홍합의 유전정보를 비교하였으며, 이를 통해 신속 중 동정 분자마커를 개발하였음. 불볼락은 울릉도 연안 불볼락과 타 지역 불볼락 5개 집단의 시료 및 genomic DNA 시료를 확보한 후 집단분석용 microsatellite 마커를 확보하였으며, 마커 고도화를 위한 multiplex-PCR 2세트를 구성하였음. 울릉도 해양생물종의 유전특성 분석 분야는 당해연도 목표를 100% 달성하였음

제 2 절 대외 기여도

1. 울릉도 연안 주요 서식지의 해양환경 장기모니터링

- 울릉도 연안 핵심정점인 1개 정선라인 및 6개 연안 정점을 대상으로 수심별 CTD 조사를 수행하여 지자체에 관련 자료를 제공하였음
- 울릉도·독도해양연구기지 전면 부두와 현포항 북쪽 2.5km 지점에 울릉도 연안 실시간 해양기상상태 파악 및 해수유동과 해수특성을 파악하기 위해 실시간 관측부이를 설치하여 울릉도 연안 해양환경 장기자료를 수집 및 분석하고 있으며, 울릉도 도동항 여객선터미널에 실시간으로 관련 자료를 제공하고 있음

2. 연안생태계 군집구조 분석

- 울릉도 연안 해역의 먹이생물(동물·식물플랑크톤)의 계절 분포 및 군집구조 파악을 통해 향후 미래 생물 변동 예측을 위한 자료로 제공 가능하도록 조치하였음
- 울릉도 연안생태계의 먹이생물의 구조와 기능파악을 통한 생태계 가치평가 및 보전에 필요한 자료 확보하였음

3. 울릉도 수중생태계 서식생물 특성 조사

- 울릉도 연안 6개 정점에 대한 수심별 저서생태계(저서무척추동물, 해조류) 군집구조 분석을 실시하여 정점별, 수심별, 계절별 출현생물 종에 대한 서식분포 및 종목록을 작성하였음
- 연안 생태 변화 및 가치평가를 위한 핵심생물 선정을 위해 해양수산부와 환경부에서 지정한 보호대상 해양생물종과 기후변화를 대별할 수 있는 지리분포 지시종(난류지표종)의 서식 및 분포 특성 조사자료를 확보하였음

4. 울릉도 해양생물종의 유전특성 분석

- 울릉도 연안에 서식하는 홍해삼, 홍합, 불불락을 대상으로 울릉도와 타 지역의 유전자원을 확보하고 미토콘드리아 DNA 이용한 분자계통수 분석을 수행하였음
- Microsatellite 마커를 이용한 해삼류 구분 및 해삼류의 유전적 다양성 및 집단구조 분석을 실시하였음. 홍합은 신속 종 동정 분자마커를 개발하여 특허를 등록하였음. 불불락은 집단분석용 microsatellite 마커를 확보하였으며, 마커 고

도화를 위한 multiplex-PCR 2세트를 구성하였고 집단간 유전적 흐름을 분석하여 타 지역의 동일 종 유전적 다양성 및 집단구조를 분석하였음

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 및 기대효과

제 1 절 연구개발결과의 활용계획

- 울릉도 연안생태계 자원도 작성을 통한 생태계 가치평가 및 과학적 기반 생태계 변동성 지속적 파악에 활용
 - 울릉도 수중생태계 내 먹이생물 핵심종의 종 목록화를 통한 생태 자원도 작성
- 연안생태계를 지탱하는 먹이생물 구조의 현 상태와 미래상 예측가능
- 울릉도 연안생태계의 체계적인 과학적 관리를 위해 현 상태의 명확한 이해에 활용
 - 울릉도 연안 고유의 먹이생물 구조 및 핵심종 파악을 통한 타 도서와의 비교 및 울릉도 고유 생태계 변동 모니터링의 기초 자료 활용
- 울릉도 서식 유용 해양생물종의 유전특성 구명
 - 울릉도 유용 해양생물종의 유전자원 데이터베이스 확보
 - 증장기 유전 특성 변동의 측정 기반 구축
 - 울릉도 특산종 발굴 및 방류를 통한 수산 자원 증대에 대한 과학적 기준 제시
- 울릉도 생태계로부터 얻을 수 있는 편익을 서비스 관점에서 평가할 때 필요한 고유목록을 선정하는데 활용가치가 높음
- 환경변화 대응 울릉도 유용 해양생물 유전자원 확보 과학적 기반 생태계 관리 기반 마련
- 울릉도 연안 생태자원 자료를 활용한 해양보호구역 관리 방안 마련
- 차별화된 울릉도 연안 지형 및 수중경관의 현장 교육, 홍보 및 관광 자원으로 서 활용

제 2 절 연구개발결과의 기대효과

1. 기술적 측면

- 울릉도 해양환경 및 해양생태계 현 상태 제시
- 울릉도 장기 해양환경관측망 구축을 통한 이화학적 주요 핵심인자의 시·공간 변동 특성 모니터링 기반 마련
 - 울릉도를 거점으로 한 동해 중장기 해양환경 지식정보를 축적하고, 관리정보 시스템 구축을 통해 국제적 marine station으로서 기반 확충
- 울릉도 연안생태계의 효율적 관리에 필요한 기초자료 확보 및 DB 자료 제공
 - 울릉도 유용 해양생물종의 유전자원 데이터베이스 확보
 - 중장기 유전 특성 변동의 측정 기반 구축
- 울릉도 해양보호구역 지정에 따른 해양생태계 과학적 관리 방안 제공
 - 울릉도 주변의 체계적인 해양연구, 생물종과 생태계 보호를 위한 해양환경 모니터링 자료 확보
- 기후변화, 인위적 교란 등에 따른 울릉도 서식환경 변동 모니터링 체계 구축 및 향후 울릉도 해양생태계 장기변화 진단 기반 자료 제공

2. 경제·산업적 측면

- 울릉도 연안역에 서식하는 유용생물자원의 잠재적 자원량 평가 및 과학적 근거에 의한 수산관리정책의 자료 제공
- 유용성 지표생물 발굴 및 유전 정보 확보를 통해 수산자원 활성화 및 종 보존에 중요한 자료로 활용될 수 있음
- 울릉도 특산종 발굴 및 방류를 통한 수산 자원 증대에 대한 과학적 기준 제시
- 울릉도 주변해역 유용생물자원의 잠재적 자원량 평가 및 과학적 근거에 의한 해양수산관리 정책 자료 제공

3. 사회적 측면

- 울릉도 연안생태자원도 작성에 따른 해양생물 다양성 보호에 대한 중요성 부각 및 대중들 관심유도
- 해양환경 자료 활용을 통한 교육 및 환경 서비스를 제공함으로써 해양보전의 필요성 인식 증대
- 울릉도 주변 해역의 중장기 해양생태계 및 환경연구 기반 마련을 통해 과학

적 접근을 통한 영토주권 수호의 Land-Mark로서 역할 수행

- 본 연구결과는 섬 주변 환경변화 모니터링 자료로 이용가치가 있으며, 향후 대규모 환경 스트레스 노출에 따른 생물 반응 연구의 핵심생물로서 활용 가치가 높음
- 울릉도 해양환경 및 생태계 가치평가 자료는 국제논문 및 학회 발표를 통해 국제적으로 홍보함으로써 향후 세계자연유산 등재에 필요한 중요한 학문적 근거를 제공할 수 있음

제 6 장 참고문헌

- 강정훈, 김웅서, 권오윤, 조규희. 2016. 독도 인근해역 동물플랑크톤 장기간 특성. 한국산학기술학회지, 17, 422-430.
- 김보배, 조혜연, 현정호. 2010. 16S rRNA 유전자 분석방법을 이용한 동해 울릉분지 심해퇴적물 내 고세균 군집구조 및 다양성의 수직분포 특성. OPR, 32, 309-319.
- 김보연, 고준처, 최한길. 2016. 한국 제주 연안의 암반 형태 차이와 저서생물 군집구조. 한국환경생태학회지, 30, 996-1008.
- 김영환, 김형섭, 김광훈, 이욱재, 옥정현, 이인규. 1995. 울릉도, 독도의 하계 해조상. 자연실태종합보고서, 10, 275-320.
- 김 응, 노영재, 윤용훈. 2006. ARGO 뜰개에 의한 2003-2005년 울릉도 주변 해역의 수온-염분 구조. 한국해양학회지<바다>, 11, 21-30.
- 김진석, 양병훈, 정재민, 이병천, 이재천. 2006. 울릉도 희귀 특산 식물 섬현호색의 유전적 다양성과 구조. Journal of ecology and field biology (JEFB), 29, 247-252.
- 나정열, 이성욱, 조규대. 1991. 한반도 근해의 해류 및 해수특성 -한국 동해의 수온의 수직구조-. 한국수산학회지, 24, 215-228.
- 남성현, 김윤배, 박종진, 장경일. 2014. 글로벌 무인해양관측 네트워크 현황 및 전망. 한국해양학회지<바다>, 19, 202-214.
- 남윤중, 윤혁준, 김현, 김종국. 2015. 울릉도 성인봉의 근원 토양 세균군집 분석. 생명과학회지, 25, 323-328.
- 박철, 최중기. 1997. 동해 전선역 동물플랑크톤 군집 : 1. 종 목록, 우점종 분포, 중간 유연관계. 한국수산과학회지, 30, 225-238.
- 박철, 이창래, 김정창. 1998. 동해 전선역 동물플랑크톤 군집: 2. 수온과 분포의 관계. 한국수산학회지, 31, 749-759.
- 백승호, 김윤배. 2018. 2016년 춘계 울릉도-독도주변해역에서 동해 연안 용승과 시간차에 의한 일차생산력 영향. 한국환경생물학회지, 36, 156-164.
- 백의인. 1986. 울릉도 연안의 갯지렁이류 분포. 한국수산학회지, 19, 363-367.
- 심재형. 1994. 한국동식물도감-식물편(해양식물플랑크톤). 교육부, 34, 1-487.
- 심정자, 강동원. 2004. 울릉도 해산 해면류의 분류학적 연구. 한국동물분류학회지, 20, 161-170.
- 양한섭, 김성수, 강창근, 조규대. 1991. 한반도 근해의 해류와 해수특성 III. 한국 동해 중부 극전선역에 출현하는 수괴의 화학적 특성, 한국수산학회지, 24, 185-192.

- 이인규, 부성민. 1981. 울릉도, 독도의 해조상. 한국 자연보존협회 조사보고서, 19, 201-204.
- 이인규, 오운식, 이육재. 1993. 울릉도 지역의 해조상. '92 자연생태계 지역정밀조사 보고서<울릉도>. 환경처, 353p.
- 이인규. 1994. 울릉도산 홍조 산호말과 식물 4종에 대한 분류학적 검토. 식물학회지, 37, 453-458.
- 이정재, 현재민. 1992. 제주도 동무연안역의 생물생태학적 기초연구 - 조건대 암반역에 분포하는 저서무척추동물 계절적 군집변동-. 한국패류학회지, 8, 1-20.
- 이형빈, 윤상철, 임양재, 김정년, 김맹진, 최광호. 2017. 음향 기법을 이용한 동계 독도 주변해역 매오징어(*Watasenia scintillans*) 및 기타어군의 분포 및 현존량 산정. 한국수산과학회지, 50, 421-428.
- 유영현, 박종명, 임성환, 강상모, 박종한, 이인중, 김종국. 2016. 독도 변행초에서 분리된 내생균류의 배양적 특성과 *Aspergillus tubingensis* YH103의 gibberellin A7의 생산. 미생물학회지, 52, 32-39.
- 윤보람, 노수권, 김승범. 2017. 울릉도 유래 토양 방사선균의 다양성과 생리활성. 미생물학회지, 53, 242-250.
- 윤상철, 윤석현, 심무준, 윤이용. 2017. 동해 연안(울릉분지)의 최근 10년간 해양환경 변화. 한국해양환경에너지학회, 20, 193-199.
- 윤성진. 2015. 울릉도 연안산 해조류 넓미역 *Undaria peterseniana*의 서식 특성. 수산해양교육학회지, 27, 747-756.
- 차재훈, 김미경. 2013. 독도, 울릉도 및 동해안 암반조건대 무척추동물상의 분포 연구를 위한 예비연구, 환경생물, 31, 225-231.
- 최병래, 윤숙희. 1990a. 울릉도 해산 중복족류(Mesogastropods)의 분류 및 기재. 한국패류학회지, 6, 45-55.
- 최병래, 윤숙희. 1990b. 울릉도 해산 원시중복종류(Archeogastropods)의 분류 및 기재. 한국패류학회지, 6, 56-79.
- 황선영. 2010. 독도 고유 전복 종(*Haliotis madaka*) 복원을 위한 유전자 분석. 부경대학교 대학원 석사논문, 54p.
- 황은경, 박찬선, 한정우, 신원준, 최창근, 손철현. 2003. 옥덩굴(*Caulerpa okamurae* Weber van Bosse)의 생장과 성숙. 한국조류학회지, 18, 217-223.
- 해양수산부. 1999. 독도 해양환경·수산자원 보전을 위한 기초연구. 독도해양·수산연구회, p. 544.
- 해양수산부. 2000. 독도 생태계 등 기초 조사 연구. BSPM 99045-00-1282-6, 한국해양연구소 보고서, 11-649.
- 최용규. 2016. 2013~2015년 울릉도 난수성 소용돌이의 수온변동. 한국해양안전학회

- 지, 22, 205-211.
- An HS, Kim KS, Lee HY, Kim EM, Kwon MG. 2009. Isolation and characterization of Polymorphic Microsatellite Markers for the Black Rockfish *Sebastes inermis*. *Genes & Genomics*, 31, 29-34.
- An HS, Lee JW. 2012 Development of microsatellite markers for the Korean mussel, *Mytilus coruscus* (Mytilidae) using next-generation sequencing. *International journal of molecular sciences*, 13, 10583-10593.
- Chang KI, Kim YB, Suk MS, Byun SK. 2002. Hydrography around Dokdo. *OPR*, 24, 369-389.
- Cupp EE. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of north america. p.39-208. University of California Press, Berkeley, Calif., USA.
- Dodge JD. 1982. Marine dinoflagellates of the British Isles. 164-206.
- Estrada M. 1984. Phytoplankton distribution and composition off the coast of Galicia (northwest of Spain). *J. Plank. Res.*, 6, 417-434.
- Frost BW. 1991. The role of grazing in nutrient-rich areas of the open sea. *Limnol. Oceanogr.*, 36, 1616-1630.
- Inoue K, Waite H, Matsuoka M, Odo S, Narayama S. 1995. Interspecific variations in adhesive protein sequences of *Mytilus edulis*, *M. galloprovincialis*, and *M. trossulus*. *The Biological Bulletin*, 189, 370-375.
- Josselyn MN & West JA, 1985. The distribution and temporal dynamics of the estuarine macroalgal community of San Francisco Bay. *Hydrobiologia* 129: 139-152.
- Kang JH, Kim YK, Park JY, Noh ES, Jeong JE, Lee YS, Choi TJ. 2013a. Development of microsatellite markers for a hard-shelled mussel, *Mytilus coruscus*, and cross-species transfer. *Genetics and Molecular Research*, 12, 4009-4017.
- Kang JH, Lee JM, Noh ES, Park JY, An CM. 2013b. Genetic characterization of *Mytilus coruscus* and *M. galloprovincialis* using microsatellite markers. *Genetics and Molecular Research*, 12, 5494-5505.
- Kang JH, Kim WS, Chang KI, Noh JH. 2004. Distribution of plankton related to the mesoscale physical structure within the surface mixed layer in the southwestern East Sea, Korea. *J. Plank. Res.*, 26, 1,515-1,528.
- Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull. Pusan Fish Coll.*, 7: 1-25.
- Kanno M, Li, Q, Kijima A. 2005. Isolation and characterization of twenty microsatellite loci in Japanese sea cucumber (*Stichopus japonicus*). *Marine*

- Biotechnology, 7, 179–183.
- Kanno M, Suyama Y, Q, Kijima A. 2006. Microsatellite analysis of Japanese sea cucumber, *Stichopus (Apostichopus) japonicus*, supports reproductive isolation in color variants. *Marine Biotechnology*, 8, 672–685.
- Lee WJ, Boo SM, Lee IK. 1991. Note on the Genus *Bryopsis* (Bryopsidaceae, Chlorophyta) from Ullungdo Island, Korea. *Korea J. Phycol.*, 6, 23–29.
- Lüning K. 1985. *Meersbotank: Verbreitung, Ökophysiologie and Ntzung der marine Makroalgen*. Georg Thieme Verlag. Stuttgart, 375p.
- McQuaid CD, Branch GM. 1984. Influence of sea temperature, substratum and wave exposure on rocky intertidal communities: an analysis of faunal and floral biomass. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 19, 145–151.
- Mukai T. 1987. Effects of Micro-scale in situ Environmental Gradients Concerning Water Qualities on the Structure of the Phytoplankton Community in a Coastal Embayment. *Estu., Coa. and Shel. Sci.*, 25, 447–458.
- Nada M, Kang JW. 1964. Notes on the marine algae of Woolyungdo Island in the Japan Sea. *Bulletin of Japanese Society of Phycology*, 12, 39–43.
- Sekino M, Takagi N, Hara M, Takahashi H. 2000 Microsatellites in rockfish *Sebastes thompsoni* (Scorpaenidae). *Molecular Ecology*, 9, 634–636.
- Shin, EY. 1998. A Taxonomical study on the thecate dinoflagellates of Korean coastal waters. PhD thesis. Seoul National University. 241 pp.
- Sommer U. 1994. The impact of light intensity and daylength on silicate and nitrate competition among marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 39, 1680–1688.
- Tomas CR. 1997. *Identifying marine phytoplankton*. Academic Press, San Diego, 858pp.
- Tompson PA, Levasseur ME, Harrison PJ. 1989. Light-limited growth on ammonium vs. nitrate: what is the advantage for marine phytoplankton?. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1014–1024.
- Wimpenny RS. 1973. The Size of Diatoms V. The Effects of Animal Grazing. *J. mar. bio. Ass. U.K.* 53, 957–974.
- Ye YY, Li JJ, Wu CW, Xu MY, Guo BY. 2012. Genetic analysis of mussel (*Mytilus coruscus*) populations on the coast of East China Sea revealed by ISSR-PCR markers. *Biochemical Systematics and Ecology*, 45, 1–6.

부 록

Appendix 1. List of species of chlorophyta collected at the subtidal zone in coast of Ulleungdo in 2018

		공암	대풍감	능길	구사동항	죽도	관음도
Chlorophyta	녹조식물						
<i>Bryopsis australis</i>	속깃털말	●					●
<i>Caulerpa okamurae</i>	옥덩굴	●		●	●	●	●
<i>Cladophora japonica</i>	큰대마디말				●	●	●
<i>Cladophora opaca</i>	호린대마디말	●	●			●	
<i>Cladophora sakaii</i>	사카이대마디말	●	●		●	●	●
<i>Cladophora hutchinsiae</i>	갈래대마디말	●	●	●		●	●
<i>Cladophora meridionalis</i>	낮대마디말	●			●		●
<i>Cladophora sericea</i>	털불대마디말					●	
<i>Cladophora sp.</i>	대마디말류						●
<i>Cladophoropsis herpestica</i>	대마디불이					●	●
<i>Codium arabicum</i>	떡청각	●		●		●	●
<i>Codium fragile</i>	청각		●	●	●	●	
<i>Pseudocladophora conchopheria</i>	고등옷헛대마디말	●					
<i>Ulva pertusa</i>	구멍갈파래				●		
<i>Umbraulva japonica</i>	초록갈파래		●				

Appendix 2. List of species of rhodophyta collected at the subtidal zone in coast of Ulleungdo in 2018

		공암	대풍감	능걸	구사동 항	죽도	관음도
Rhodophyta	홍조식물						
<i>Acanthopeltis japonica</i>	새발	●					
<i>Acanthopeltis sp.</i>	새발류	●	●	●	●		●
<i>Acanthopeltis longiramulosa</i>	긴잎새발				●		●
<i>Acrosorium ciliolatum</i>	갈고리분홍잎			●		●	
<i>Acrosorium polyneurum</i>	잔금분홍잎	●		●		●	
<i>Acrosorium flabellatum</i>	부채분홍잎	●	●	●		●	●
<i>Aglaothamnion callophyllidicola</i>	엇깃풀				●		
<i>Alatocladia modesta</i>	참화살깃산호말	●	●	●	●	●	●
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	고리마디게발	●	●	●	●	●	●
<i>Amphiroa pusilla</i>	애기게발		●				
<i>Amphiroa zonalis</i>	송이고리마디게발		●				
<i>Anotrichium tenue</i>	헛가지민털이풀	●	●	●		●	●
<i>Antithamnion cristirhizophorum</i>	양가지참깃풀	●	●	●	●	●	
<i>Antithamnion sparsum</i>	윗가지참깃풀		●	●			
<i>Asparagopsis taxiformis</i>	바다고리풀					●	
<i>Callithamnion pinnatum</i>	홍실외깃풀	●	●	●	●	●	
<i>Callophyllis adhaerens</i>	좁은붉은잎		●	●			●
<i>Callophyllis crispata</i>	주름붉은잎	●	●	●		●	●
<i>Callophyllis sp.</i>	붉은잎류	●		●	●	●	●
<i>Campylaephora hypnaeoides</i>	석목				●		
<i>Ceramium affine</i>	나도비단풀					●	
<i>Ceramium cimbricum</i>	솔비단풀	●					
<i>Ceramium kondoi</i>	비단풀	●	●		●	●	●
<i>Champia bifida</i>	두갈래사슬풀			●		●	
<i>Champia expansa</i>	넓은사슬풀	●		●		●	
<i>Champia parvula</i>	참사슬풀	●		●	●	●	●
<i>Chondria expansa</i>	덤불개서실			●			
<i>Chondria crassicaulis</i>	개서실					●	
<i>Chondracanthus intermedius</i>	애기돌가사리	●	●		●		●
<i>Corallina aberrans</i>	방황혹산호말	●	●	●	●	●	●
<i>Corallina officinalis</i>	참산호말	●	●			●	
<i>Corallina pilulifera</i>	작은구슬산호말	●	●	●			
<i>Cumathamnion serrulatum</i>	툽니보라잎사춘		●				
<i>Cryptopleura membranacea</i>	민잎맥			●			
<i>Dasya villosa</i>	털다지다홍풀				●	●	
<i>Dasyisiphonia japonica</i>	엇가지분홍풀	●	●	●		●	
<i>Desmarestia viridis</i>	쇠꼬리산말		●				
<i>Erythrogloussum minimum</i>	꼬마붉은허		●			●	●
<i>Gelidium galapagense</i>	조막손우뚝가사리						●
<i>Gelidium pusillum</i>	실우뚝가사리	●		●	●		●
<i>Griffithsia japonica</i>	왜비단잘록이		●	●			
<i>Heterosiphonia pulchra</i>	털엇가지풀	●	●		●		
<i>Herposiphonia nuda</i>	민털거미줄	●					
<i>Herpochondria dentata</i>	잇바디가지	●		●		●	
<i>Herpochondria elegans</i>	각시잇바디가지	●	●	●	●	●	●
<i>Herposiphonia parca</i>	기느거미줄					●	
<i>Herposiphonia subdisticha</i>	두줄거미줄	●					
<i>Herpochondria pygmaea</i>	작은구두리				●		●
<i>Hypnea charoides</i>	참가시우무				●		
<i>Jania arborescens</i>	나무풀에기산호말	●	●	●		●	●

Appendix 2. continued

		공암	대풍감	능걸	구사동 항	죽도	관음도
<i>Jania yenoshimensis</i>	잔가지애기산호말		●		●	●	
<i>Kallymenia callophyloides</i>	봉숭아붉은맘띠			●		●	
<i>Kallymenia sp.</i>	맘띠류		●				
<i>Kallymenia oligonema</i>	귀자루맘띠		●			●	●
<i>Laurencia intricata</i>	타래서실				●	●	
<i>Laurencia okamurae</i>	쌍발이서실						●
<i>Laurencia pinnata</i>	깃꼴서실			●	●	●	
<i>Laurencia venusta</i>	애기서실					●	
<i>Laurencia sp.</i>	서실류			●			
<i>Nemalion vermiculare</i>	참국수나물				●	●	
<i>Neosiphonia sphaerocarpa</i>	알송이새붉은실	●	●		●	●	●
<i>Neosiphonia sp.</i>	붉은실류	●	●		●		
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>	참개도박					●	
<i>Peyssonnelia caulifera</i>	자루바다표고	●	●	●	●	●	●
<i>Pleonosporium yagii</i>	자루오디풀	●	●			●	●
<i>Plocamium ovicorne</i>	애기곱슬이			●			
<i>Plocamium telfairiae</i>	참곱슬이		●	●		●	●
<i>Polysiphonia morrowii</i>	모로우붉은실	●	●	●	●	●	●
<i>Portieria japonica</i>	웨이송진내					●	
<i>Pterocladia capillacea</i>	개우무				●	●	●
<i>Rhodymenia intricata</i>	두갈래분홍치		●	●		●	●
<i>Schizymenia dubyi</i>	갈래잎		●	●		●	
<i>Spyridia elongata</i>	긴비단사돈풀				●		
<i>Symphyocladia pumila</i>	애기보라색우무	●	●	●		●	●
<i>Symphyocladia marchantioides</i>	넓은보라색우무	●	●	●	●	●	●
<i>Tiffaniella suyehiroi</i>	쓰이히로포자털		●				

Appendix 3. List of species of ochrophyta collected at the subtidal zone in coast of Ulleungdo in 2018

		공암	대풍감	능걸	구사동항	죽도	관음도
Ochrophyta	대룡편모조식물						
<i>Carpomitra costata</i>	줄의관말		●	●	●	●	●
<i>Colpomenia peregrina</i>	반질블레기말				●		
<i>Colpomenia sinuosa</i>	블레기말	●	●	●	●	●	●
<i>Desmarestia tabacoides</i>	담배잎산말		●	●			
<i>Desmarestia viridis</i>	쇠꼬리산말		●	●		●	
<i>Dictyopteris divaricata</i>	미끈뻐대그물말			●			
<i>Dictyopteris latiuscula</i>	넓은뻐대그물말			●	●		●
<i>Dictyopteris pacificum</i>	참가시그물바탕말		●	●	●	●	
<i>Dictyopteris prolifera</i>	가시뻐대그물말	●	●	●	●	●	●
<i>Dictyopteris undulata</i>	주름뻐대그물말	●			●	●	●
<i>Dictyota coriacea</i>	참가죽그물바탕말	●	●	●	●	●	
<i>Dictyota dichotoma</i>	그물바탕말	●		●			
<i>Dictyota friabilis</i>	기느그물바탕말			●	●	●	
<i>Distromium decumbens</i>	두켜부채	●					
<i>Ecklonia cava</i>	감태	●	●	●	●	●	●
<i>Ectocarpus siliculosus</i>	참솨털			●			
<i>Eisenia bicyclis</i>	대황			●	●	●	●
<i>Halopteris filicina</i>	바다깃꼴		●	●	●		●
<i>Myagropsis myagroides</i>	외톨개모자반			●			
<i>Hydroclathrus clathratus</i>	그물바구니			●	●	●	
<i>Padina arborescens</i>	부챗말		●	●	●	●	
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	개그물바탕말	●	●	●	●	●	●
<i>Sargassum confusum</i>	알쏭이모자반	●					●
<i>Sargassum hemiphyllum</i>	짜임모자반				●		
<i>Sargassum horneri</i>	괭생이모자반	●	●	●		●	●
<i>Sargassum macrocarpum</i>	큰열매모자반	●	●	●	●		●
<i>Sargassum micracanthum</i>	잔가시모자반	●	●	●	●	●	●
<i>Sargassum nipponicum</i>	꼬마모자반					●	
<i>Sargassum patens</i>	쌍발이모자반				●		●
<i>Sargassum piluliferum</i>	구슬모자반		●				
<i>Sargassum yezoense</i>	왜모자반				●		●
<i>Sporochnus radiformis</i>	털비말		●		●	●	
<i>Undaria peterseniana</i>	넓미역	●	●	●		●	
<i>Undaria pinnatifida</i>	미역	●	●			●	
<i>Zonaria diesingiana</i>	반주름말		●	●	●	●	

Appendix 4. List of seaweed species collected at 5m depth in March 2018

Chlorophyta		공압	대중 감	능결	구사동 향	죽도	관음 도
<i>Cladophora sakaii</i>	사카이대마디말					+	
<i>Cladophora hutchinsiae</i>	갈래대마디말	+				+	
<i>Codium arabicum</i>	떡청각	+		+			
<i>Codium fragile</i>	청각		+				
Rhodophyta							
<i>Acanthopeltis</i> sp.	새말류	+		+			+
<i>Acrosorium polyneurum</i>	잔금분홍잎	+					
<i>Acrosorium flabellatum</i>	부채분홍잎	+	+				+
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	고리마디게발		+			+	+
<i>Antithamnion cristirhizophorum</i>	양가지참깃풀			+			
<i>Callophyllis crispata</i>	주름붉은잎	+		+			
<i>Ceramium affine</i>	나도비단풀					+	
<i>Ceramium kondoi</i>	비단풀	+					
<i>Champia expansa</i>	넓은사슬풀	+					
<i>Chondracanthus intermedius</i>	에기돌가사리		+				+
<i>Corallina aberrans</i>	방향혹산호말			+	+		+
<i>Corallina pilulifera</i>	작은구슬산호말	+					
<i>Dasysiphonia japonica</i>	엇가지분홍풀	+					
<i>Herpochondria elegans</i>	각시잇바디가지					+	
<i>Jania yenoshimensis</i>	잔가지에기산호말					+	
<i>Kallymenia oligonema</i>	귀자루땀띠						+
<i>Neosiphonia sphaerocarpa</i>	알송이새붉은실				+		
<i>Peyssonnelia caulifera</i>	자루바다표고			+			+
<i>Pleonosporium yagii</i>	자루오디풀						+
<i>Polysiphonia morrowii</i>	모로우붉은실			+		+	
<i>Symphyclocladia pumila</i>	에기보라색우무		+				
<i>Symphyclocladia marchantioides</i>	넓은보라색우무		+			+	
Ochrophyta(P)							
<i>Carpomitra costata</i>	줄의관말		+	+		+	
<i>Colpomenia sinuosa</i>	불레기말		+	+	+		+
<i>Dictyopteris latiuscula</i>	넓은뼈대그물말			+	+		
<i>Dictyopteris prolifera</i>	가시뼈대그물말	+				+	+
<i>Dictyopteris undulata</i>	주름뼈대그물말				+		
<i>Dictyota coriacea</i>	참가죽그물바탕말	+	+				
<i>Dictyota friabilis</i>	기느그물바탕말				+		
<i>Ecklonia cava</i>	감태	+	+	+	+	+	+
<i>Eisenia bicyclis</i>	대황			+		+	+
<i>Myagropsis myagroides</i>	외톨개모자반			+			
<i>Hydroclathrus clathratus</i>	그물바구니			+	+		
<i>Padina arborescens</i>	부켓말				+	+	
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	개그물바탕말	+	+	+	+	+	+
<i>Sargassum confusum</i>	알송이모자반						+
<i>Sargassum horneri</i>	팽생이모자반			+			
<i>Sargassum macrocarpum</i>	큰열매모자반		+				
<i>Sargassum micracanthum</i>	잔가시모자반			+	+	+	+
<i>Sargassum yezoense</i>	왜모자반						+
<i>Sporochnus radiformis</i>	털비말		+				
<i>Undaria pinnatifida</i>	미역	+					
<i>Zonaria diesingiana</i>	반주름말				+		

Appendix 5. List of seaweed species collected at 10m depth in March 2018

Rhodophyta		공암	대풍 갑	능걸	구사동 항	죽도	관음 도
<i>Cladophora hutchinsiae</i>	갈래대마디말	+					
<i>Codium arabicum</i>	떡청각	+				+	
Rhodophyta							
<i>Acanthopeltis sp.</i>	새발류	+		+			
<i>Acanthopeltis longiramulosa</i>	긴잎새발						+
<i>Acrosorium ciliolatum</i>	갈고리분홍잎			+			
<i>Acrosorium polyneurum</i>	잔금분홍잎			+			
<i>Alatocladia modesta</i>	참화살깃산호말						+
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	고리마디게말	+	+	+			+
<i>Anotrichium tenue</i>	헛가지민털이풀	+	+	+		+	
<i>Callithamnion pinnatum</i>	홍실외깃풀	+	+		+		
<i>Callophyllis adhaerens</i>	좁은붉은잎						+
<i>Callophyllis crispata</i>	주름붉은잎	+				+	
<i>Callophyllis sp.</i>	붉은잎류						+
<i>Ceramium kondoi</i>	비단풀	+	+		+		
<i>Champia expansa</i>	넓은사슬풀					+	
<i>Corallina aberrans</i>	방향혹산호말	+	+			+	+
<i>Dasyisiphonia japonica</i>	엇가지분홍풀		+			+	
<i>Heterosiphonia pulchra</i>	털엇가지풀		+				
<i>Herpochondria dentata</i>	잇바디가지			+			
<i>Herpochondria elegans</i>	각시잇바디가지	+				+	
<i>Jania arborescens</i>	나무꼴애기산호말	+					
<i>Laurencia pinnata</i>	깃풀서실				+		
<i>Neosiphonia sphaerocarpa</i>	알송이새붉은실	+	+				
<i>Neosiphonia sp.</i>	붉은실류		+				
<i>Peyssonnelia caulifera</i>	자루바다표고		+	+			+
<i>Polysiphonia morrowii</i>	모로우붉은실	+					+
<i>Pterocladia capillacea</i>	개우무				+		
<i>Rhodymenia intricata</i>	두갈래분홍치					+	+
Ochrophyta							
<i>Carpomitra costata</i>	줄의관말		+	+		+	+
<i>Colpomenia sinuosa</i>	불레기말	+	+	+	+		+
<i>Dictyopteris latiuscula</i>	넓은뼈대그물말						+
<i>Dictyopteris prolifera</i>	가시뼈대그물말	+	+	+		+	
<i>Dictyota friabilis</i>	기는그물바탕말			+			
<i>Ecklonia cava</i>	감태		+	+	+	+	+
<i>Halopteris filicina</i>	바다깃풀				+		
<i>Padina arborescens</i>	부챗말		+	+	+	+	
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	개그물바탕말					+	+
<i>Sargassum confusum</i>	알송이모자반						+
<i>Sargassum hemiphyllum</i>	작잎모자반				+		
<i>Sargassum micracanthum</i>	잔가시모자반	+	+			+	+
<i>Sporochnus radiformis</i>	털비말					+	
<i>Undaria pinnatifida</i>	미역	+					

Appendix 6. List of seaweed species collected at 20m depth in March 2018

Chlorophyta		공압	대풍 감	능걸	구사동 향	죽도	관음 도
<i>Cladophora hutchinsiae</i>	갈래대마디말			+			+
<i>Codium arabicum</i>	떡청각			+			+
<i>Codium fragile</i>	청각				+		
Rhodophyta							
<i>Acanthopeltis sp.</i>	새발류			+			+
<i>Acrosorium flabellatum</i>	부채분홍잎			+			
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	고리마디게발	+	+				
<i>Anotrichium tenue</i>	헛가지민털이풀						+
<i>Antithamnion sparsum</i>	윗가지참깃풀		+	+			
<i>Callophyllis crispata</i>	주름붉은잎				+	+	
<i>Ceramium kondoi</i>	비단풀						+
<i>Champia bifida</i>	두갈래사슬풀			+		+	
<i>Champia expansa</i>	넓은사슬풀			+		+	
<i>Chondracanthus intermedius</i>	애기돌가사리						
<i>Corallina aberrans</i>	방황흑산호말	+	+	+			
<i>Dasyavillosa</i>	털다지다홍풀					+	
<i>Gelidium pusillum</i>	실우뭇가사리	+		+			
<i>Heterosiphonia pulchra</i>	털엇가지풀				+		
<i>Herpochondria elegans</i>	각시잇바디가지						+
<i>Peyssonnelia caulifera</i>	자루바다표고	+	+	+	+	+	+
<i>Pleonosporium yagii</i>	자루오디풀	+				+	
<i>Plocamium telfairiae</i>	참곱슬이		+	+			
<i>Polysiphonia morrowii</i>	모로우붉은실	+		+			
<i>Rhodymenia intricata</i>	두갈래분홍치					+	
<i>Schizymenia dubyi</i>	갈래잎					+	
<i>Symphyocladia pumila</i>	애기보라색우무			+			
<i>Symphyocladia marchantioides</i>	넓은보라색우무	+	+		+		+
Ochrophyta							
<i>Carpomitra costata</i>	줄의관말		+	+	+	+	+
<i>Colpomenia sinuosa</i>	불레기말			+	+		
<i>Dictyopteris prolifera</i>	가시뻘대그물말		+		+		+
<i>Dictyota friabilis</i>	기는그물바탕말						
<i>Ecklonia cava</i>	감태		+	+		+	+
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	개그물바탕말	+	+	+		+	
<i>Sargassum confusum</i>	알송이모자만						+
<i>Sargassum horneri</i>	괭쟁이모자만	+				+	
<i>Sargassum macrocarpum</i>	큰열매모자만						
<i>Sargassum micracanthum</i>	잔가시모자만	+	+	+			+

Appendix 7. List of seaweed species collected at 5m depth in June 2018

Chlorophyta		공압	대풍 감	능걸	구사동 향	죽도	관음 도
<i>Caulerpa okamurae</i>	옥덩굴			+			
<i>Cladophora japonica</i>	큰대마디말				+	+	+
<i>Cladophora opaca</i>	호린대마디말					+	
<i>Cladophora sakaii</i>	사카이대마디말	+	+		+		+
<i>Cladophora meridionalis</i>	낮대마디말	+					+
<i>Codium arabicum</i>	떡청각	+		+		+	+
<i>Codium fragile</i>	청각		+				
<i>Pseudocladophora conchopheria</i>	고동옷햇대마디말	+					
<i>Ulva pertusa</i>	구멍갈파래				+		
Rhodophyta							
<i>Acanthopeltis japonica</i>	새발	+					
<i>Acanthopeltis sp.</i>	새발류			+	+		+
<i>Acrosorium ciliolatum</i>	갈고리분홍잎					+	
<i>Acrosorium polyneurum</i>	잔금분홍잎					+	
<i>Acrosorium flabellatum</i>	부채분홍잎					+	
<i>Alatocladia modesta</i>	참화살깃산호말						+
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	고리마디게발	+	+				
<i>Antithamnion cristirhizophorum</i>	양가지참깃풀					+	
<i>Antithamnion sparsum</i>	윗가지참깃풀			+			
<i>Callophyllis crispata</i>	주름붉은잎	+					
<i>Champia parvula</i>	참사슬풀	+					
<i>Chondracanthus intermedius</i>	에기돌가사리						
<i>Corallina aberrans</i>	방황혹산호말	+	+			+	
<i>Corallina officinalis</i>	참산호말	+					
<i>Corallina pilulifera</i>	작은구슬산호말	+	+	+			
<i>Dasyavillosa</i>	털다지다홍풀						
<i>Desmarestia viridis</i>	쇠꼬리산말		+				
<i>Gelidium galapagense</i>	조막손우뭇가사리						+
<i>Gelidium pusillum</i>	실우뭇가사리			+			+
<i>Laurencia intricata</i>	타래서실				+		
<i>Laurencia okamurae</i>	쌍말이서실						+
<i>Nemalion vermiculare</i>	참국수나물				+		
<i>Neosiphonia sphaerocarpa</i>	알똥이새붉은실	+	+				
<i>Peyssonnelia caulifera</i>	자루바다표고			+		+	
<i>Pleonosporium yagii</i>	자루오디풀						
<i>Plocamium ovicorne</i>	에기곱슬이			+			
<i>Plocamium telfairiae</i>	참곱슬이						
<i>Polysiphonia morrowii</i>	모로우붉은실			+		+	+
<i>Pterocladia capillacea</i>	개우무						+
<i>Rhodymenia intricata</i>	두갈래분홍치			+		+	
<i>Schizymenia dubyi</i>	갈래잎					+	
<i>Symphyclocladia pumila</i>	에기보라색우무			+		+	+
<i>Symphyclocladia marchantioides</i>	넓은보라색우무			+		+	

Appendix 7. continued

Ochrophyta		공암	대풍감	능걸	구사동 항	죽도	관음도
<i>Carpomitra costata</i>	줄의관말					+	
<i>Colpomenia peregrina</i>	반질블레기말				+		
<i>Colpomenia sinuosa</i>	블레기말	+	+	+	+	+	+
<i>Desmarestia viridis</i>	쇠꼬리산말			+			
<i>Dictyopteris divaricata</i>	미끈뼈대그물말			+			
<i>Dictyopteris latiuscula</i>	넓은뼈대그물말			+			
<i>Dictyopteris pacificum</i>	참가시그물바탕말		+	+		+	
<i>Dictyopteris undulata</i>	주름뼈대그물말					+	+
<i>Dictyota coriacea</i>	참가죽그물바탕말	+	+		+		
<i>Dictyota friabilis</i>	기느그물바탕말						
<i>Ecklonia cava</i>	감태		+	+	+		+
<i>Ectocarpus siliculosus</i>	참솨털			+			
<i>Eisenia bicyclis</i>	대황			+			+
<i>Halopteris filicina</i>	바다깃꼴			+			
<i>Myagropsis myagroides</i>	외톨개모자반			+			
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	개그물바탕말	+	+	+	+	+	
<i>Sargassum horneri</i>	괘쟁이모자반		+	+			
<i>Sargassum macrocarpum</i>	큰열매모자반						+
<i>Sargassum micracanthum</i>	잔가시모자반		+	+		+	+
<i>Sargassum yezoense</i>	왜모자반						+
<i>Undaria peterseniana</i>	넓미역		+				
<i>Undaria pinnatifida</i>	미역	+	+			+	

Appendix 8. List of seaweed species collected at 10m depth in June 2018

Chlorophyta		공암	대풍감	능길	구사동 항	죽도	관음도
<i>Caulerpa okamurae</i>	옥덩굴			+		+	+
<i>Cladophora japonica</i>	큰대마디말						
<i>Cladophora opaca</i>	흐린대마디말	+	+				
<i>Cladophora sakaii</i>	사카이대마디말		+				
<i>Cladophora meridionalis</i>	낮대마디말	+			+		
<i>Codium arabicum</i>	떡청각					+	
Rhodophyta							
<i>Acanthopeltis sp.</i>	새발류				+		+
<i>Acrosorium flabellatum</i>	부채분홍잎			+		+	
<i>Alatocladia modesta</i>	참화살깃산호말						
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	고리마디게발	+				+	
<i>Callophyllis sp.</i>	붉은잎류						+
<i>Ceramium affine</i>	나도비단풀						
<i>Ceramium kondoi</i>	비단풀	+				+	
<i>Champia bifida</i>	두갈래사슬풀					+	
<i>Champia parvula</i>	참사슬풀	+					+
<i>Chondracanthus intermedius</i>	에기돌가사리	+			+		
<i>Corallina aberrans</i>	방황혹산호말	+		+	+		
<i>Corallina officinalis</i>	참산호말	+				+	
<i>Dasysiphonia japonica</i>	옛가지분홍풀		+	+		+	
<i>Gelidium pusillum</i>	실우뭇가사리				+		
<i>Griffithsia japonica</i>	왜비단잘록이		+				
<i>Herpochondria pygmaea</i>	작은구두리				+		
<i>Jania yenoshimensis</i>	잔가지에기산호말					+	
<i>Laurencia intricata</i>	타래서실				+		
<i>Laurencia pinnata</i>	깃풀서실			+			
<i>Neosiphonia sphaerocarpa</i>	알송이새붉은실	+	+			+	
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>	참개도박					+	
<i>Peyssonnelia caulifera</i>	자루바다표고		+	+	+		+
<i>Plocamium telfairiae</i>	참곱슬이			+			
<i>Polysiphonia morrowii</i>	모로우붉은실					+	+
<i>Pterocladia capillacea</i>	개우무				+	+	
<i>Rhodymenia intricata</i>	두갈래분홍치		+			+	
<i>Schizymenia dubyi</i>	갈래잎		+			+	
<i>Symphyocladia pumila</i>	에기보라색우무			+		+	+
<i>Symphyocladia marchantioides</i>	넓은보라색우무			+			
<i>Tiffaniella suyehiroi</i>	쓰이히로포자털		+				

Appendix 8. continued

Ochrophyta		공압	대풍감	능걸	구사동 항	죽도	관음도
<i>Carpomitra costata</i>	줄의관말		+	+			
<i>Colpomenia sinuosa</i>	불레기말	+	+	+	+		+
<i>Desmarestia viridis</i>	쇠꼬리산말			+		+	
<i>Dictyopteris latiuscula</i>	넓은뼈대그물말			+			
<i>Dictyopteris pacificum</i>	참가시그물바탕말			+		+	
<i>Dictyopteris prolifera</i>	가시뼈대그물말					+	
<i>Dictyopteris undulata</i>	주름뼈대그물말	+				+	
<i>Dictyota coriacea</i>	참가죽그물바탕말	+	+	+		+	
<i>Dictyota friabilis</i>	기느그물바탕말						
<i>Ecklonia cava</i>	감태		+	+	+	+	+
<i>Ectocarpus siliculosus</i>	참숨털						
<i>Eisenia bicyclis</i>	대황						
<i>Halopteris filicina</i>	바다깃꼴				+		+
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	개그물바탕말	+	+	+			
<i>Sargassum confusum</i>	알송이모자반	+					
<i>Sargassum hemiphyllum</i>	쪽잎모자반				+		
<i>Sargassum horneri</i>	괭생이모자반	+	+			+	+
<i>Sargassum macrocarpum</i>	큰열매모자반						+
<i>Sargassum yezoense</i>	왜모자반						+
<i>Undaria peterseniana</i>	넓미역	+					
<i>Undaria pinnatifida</i>	미역	+	+				
<i>Zonaria diesingiana</i>	반주름말			+			

Appendix 9. List of seaweed species collected at 20m depth in June 2018

Chlorophyta		공암	대풍감	능걸	구사동 항	죽도	관음도
<i>Cladophora japonica</i>	큰대마디말						+
<i>Cladophora opaca</i>	호린대마디말					+	
<i>Cladophora sakaii</i>	사카이대마디말				+		
<i>Cladophora hutchinsiae</i>	갈래대마디말						
<i>Cladophora meridionalis</i>	낮대마디말				+		
<i>Cladophora sp.</i>	대마디말류						+
Rhodophyta							
<i>Acanthopeltis sp.</i>	새말류				+		
<i>Acrosorium ciliolatum</i>	갈고리분홍잎			+		+	
<i>Acrosorium flabellatum</i>	부채분홍잎						+
<i>Antithamnion cristirhizophorum</i>	양가지참깃풀		+				
<i>Antithamnion sparsum</i>	윗가지참깃풀		+	+			
<i>Callithamnion pinnatum</i>	홍실외깃풀						
<i>Callophyllis crispata</i>	주름붉은잎		+		+		
<i>Ceramium kondoi</i>	비단풀					+	
<i>Champia bifida</i>	두갈래사슬풀					+	
<i>Champia expansa</i>	넓은사슬풀			+			
<i>Chondria expansa</i>	덤불개서실			+			
<i>Chondracanthus intermedius</i>	에기돌가사리				+		
<i>Corallina aberrans</i>	방황혹산호말	+					
<i>Corallina pilulifera</i>	작은구슬산호말	+					
<i>Dasyavillosa</i>	털다지다홍풀					+	
<i>Dasysiphonia japonica</i>	엇가지분홍풀			+			
<i>Gelidium pusillum</i>	실우뚝가사리	+			+		+
<i>Griffithsia japonica</i>	왜비단잘록이			+			
<i>Herpochondria elegans</i>	각시잇바디가지			+			+
<i>Herpochondria pygmaea</i>	작은구두리				+		+
<i>Neosiphonia sphaerocarpa</i>	알똥이새붉은실					+	
<i>Peyssonnelia caulifera</i>	자루바다표고	+	+	+	+		+
<i>Pleonosporium yagii</i>	자루오디풀					+	
<i>Plocamium telfairiae</i>	참곱슬이						+
<i>Portieria japonica</i>	왜잎송진내					+	
<i>Rhodymenia intricata</i>	두갈래분홍치			+		+	
<i>Schizymenia dubyi</i>	갈래잎		+	+			
<i>Symphyclocladia pumila</i>	에기보라색우무	+		+			
<i>Symphyclocladia marchantioides</i>	넓은보라색우무		+				

Appendix 9. continued

Ochrophyta		공압	대풍감	능걸	구사동 항	죽도	관음도
<i>Carpomitra costata</i>	줄의관말		+	+		+	+
<i>Colpomenia peregrina</i>	반질블레기말						
<i>Colpomenia sinuosa</i>	블레기말	+	+	+	+	+	+
<i>Desmarestia tabacoides</i>	담배일산말		+	+			
<i>Desmarestia viridis</i>	쇠꼬리산말		+	+		+	
<i>Dictyopteris latiuscula</i>	넓은뼈대그물말			+			
<i>Dictyopteris pacificum</i>	참가시그물바탕말					+	
<i>Dictyopteris undulata</i>	주름뼈대그물말	+					
<i>Dictyota coriacea</i>	참가죽그물바탕말		+				
<i>Dictyota dichotoma</i>	그물바탕말			+			
<i>Distromium decumbens</i>	두켜부채	+					
<i>Ecklonia cava</i>	감태		+				+
<i>Halopteris filicina</i>	바다깃꼴		+	+			+
<i>Hydroclathrus clathratus</i>	그물바구니					+	
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	개그물바탕말	+	+				
<i>Sargassum hemiphyllum</i>	짙모자반				+		
<i>Sargassum horneri</i>	괭생이모자반	+	+			+	
<i>Sargassum macrocarpum</i>	큰열매모자반	+					
<i>Sargassum micracanthum</i>	잔가시모자반		+	+			+
<i>Sargassum patens</i>	쌍발이모자반						+
<i>Sargassum piluliferum</i>	구슬모자반	+	+				
<i>Undaria peterseniana</i>	넓미역	+		+		+	
<i>Undaria pinnatifida</i>	미역	+					

Appendix 10. List of seaweed species collected at 5m depth in August 2018

Chlorophyta		공압	대풍갑	능걸	구사동 항	죽도	관음도
<i>Caulerpa okamurae</i>	옥덩굴	+		+		+	
<i>Cladophora hutchinsiae</i>	갈래대마디말	+	+			+	+
<i>Cladophora sericea</i>	덤불대마디말					+	
<i>Codium fragile</i>	청각			+	+	+	
Rhodophyta							
<i>Acanthopeltis</i> sp.	새발류	+					+
<i>Acrosorium flabellatum</i>	부채분홍잎			+			
<i>Alatocladia modesta</i>	참화살깃산호말						
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	고리마디게발			+			+
<i>Anotrichium tenue</i>	헛가지민털이풀	+	+	+		+	
<i>Antithamnion cristirhizophorum</i>	양가지참깃풀	+			+		
<i>Callophyllis adhaerens</i>	좁은붉은잎		+				
<i>Ceramium affine</i>	나도비단풀					+	
<i>Ceramium cimbricum</i>	술비단풀	+					
<i>Champia expansa</i>	넓은사슬풀					+	
<i>Chondria crassicaulis</i>	개서실					+	
<i>Chondracanthus intermedius</i>	애기돌가사리				+		+
<i>Corallina aberrans</i>	방황혹산호말	+		+	+		+
<i>Cumathamnion serrulatum</i>	톱니보라잎사춘		+				
<i>Cryptopleura membranacea</i>	민잎맥			+			
<i>Dasyavillosa</i>	털다지다홍풀						
<i>Dasyisiphonia japonica</i>	옛가지분홍풀	+				+	
<i>Heterosiphonia pulchra</i>	털옛가지풀	+					
<i>Herposiphonia nuda</i>	민털거미줄	+					
<i>Herpochondria dentata</i>	잇바디가지					+	
<i>Herpochondria elegans</i>	각시잇바디가지	+	+	+			
<i>Herpochondria pygmaea</i>	작은구두리						
<i>Hypnea charoides</i>	참가시우무				+		
<i>Jania arborescens</i>	나무꼴애기산호말						
<i>Jania yonoshimensis</i>	잔가지애기산호말				+		
<i>Kallymenia callophylloides</i>	봉숭아붉은땀띠					+	
<i>Kallymenia oligonema</i>	귀자루땀띠		+				
<i>Nemalion vermiculare</i>	참국수나물					+	
<i>Neosiphonia</i> sp.	붉은실류				+		
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>	참개도박						
<i>Peyssonnelia caulifera</i>	자루바다표고			+	+		+
<i>Pleonosporium yagii</i>	자루오디풀						+
<i>Polysiphonia morrowii</i>	모로우붉은실					+	
<i>Rhodymenia intricata</i>	두갈래분홍치		+	+			
<i>Symphyocladia pumila</i>	애기보라색우무		+				
<i>S y m p h y o c l a d i a marchantioides</i>	넓은보라색우무		+			+	

Appendix 10. continued

Ochrophyta		공암	대풍감	능걸	구사동 항	죽도	관음도
<i>Carpomitra costata</i>	줄의관말		+	+		+	
<i>Dictyopteris pacificum</i>	참가시그물바탕말			+	+		
<i>Dictyopteris prolifera</i>	가시뼈대그물말	+	+	+	+		
<i>Ecklonia cava</i>	감태	+		+		+	+
<i>Ectocarpus siliculosus</i>	참솜털						
<i>Eisenia bicyclis</i>	대황			+		+	+
<i>Halopteris filicina</i>	바다깃꼐		+				
<i>Myagropsis myagroides</i>	외톨개모자반			+			
<i>Padina arborescens</i>	부챗말			+	+	+	
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	개그물바탕말	+				+	
<i>Sargassum macrocarpum</i>	큰열매모자반			+			+
<i>Sargassum micracanthum</i>	잔가시모자반			+		+	
<i>Sargassum patens</i>	쌍발이모자반						+
<i>Sargassum yezoense</i>	왜모자반				+		
<i>Sporochnus radiformis</i>	털비말					+	
<i>Zonaria diesingiana</i>	반주름말			+			

Appendix 11. List of seaweed species collected at 10m depth in August 2018

Chlorophyta		공암	대풍감	능걸	구사동 항	죽도	관음도
<i>Caulerpa okamurae</i>	옥덩굴			+		+	
<i>Cladophora opaca</i>	호린대마디말	+					
<i>Cladophora hutchinsiae</i>	갈래대마디말						+
<i>Codium arabicum</i>	떡청각	+					
<i>Codium fragile</i>	청각			+			
Rhodophyta							
<i>Acanthopeltis</i> sp.	새발류	+			+		
<i>Acrosorium flabellatum</i>	부채분홍잎					+	+
<i>Aglaothamnion callophyllidicola</i>	엇깃풀				+		
<i>Alatocladia modesta</i>	참화살깃산호말			+			
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	고리마디게발		+				
<i>Amphiroa pusilla</i>	애기게발		+				
<i>Amphiroa zonalis</i>	송이고리마디게발		+				
<i>Anotrichium tenue</i>	헛가지민털이풀		+			+	
<i>Asparagopsis taxiformis</i>	바다고리풀					+	
<i>Callophyllis crispata</i>	주름붉은잎	+					+
<i>Ceramium kondoi</i>	비단풀	+				+	
<i>Champia expansa</i>	넓은사슬풀					+	
<i>Corallina aberrans</i>	방향혹산호말		+	+	+		+
<i>Dasyavillosa</i>	털다지다홍풀				+		
<i>Dasyisiphonia japonica</i>	엇가지분홍풀			+		+	
<i>Gelidium pusillum</i>	실우뚝가사리	+					
<i>Herpochondria dentata</i>	잇바디가지	+		+		+	
<i>Herpochondria elegans</i>	각시잇바디가지						+
<i>Herposiphonia parca</i>	기능거미줄					+	
<i>Hypnea charoides</i>	참가시우무				+		
<i>Jania arborescens</i>	나무꼴애기산호말					+	
<i>Jania yenoshimensis</i>	잔가지애기산호말		+				
<i>Laurencia intricata</i>	타래서실					+	
<i>Neosiphonia</i> sp.	붉은실류		+				
<i>Peyssonnelia caulifera</i>	자루바다표고		+	+		+	+
<i>Pleonosporium yagii</i>	자루오디풀		+				
<i>Polysiphonia morrowii</i>	모로우붉은실	+			+	+	+
<i>Rhodymenia intricata</i>	두갈래분홍치					+	
<i>S y m p h y o c l a d i a marchantioides</i>	넓은보라색우무			+		+	+
Ochrophyta							
<i>Carpomitra costata</i>	줄의관말			+		+	
<i>Dictyopteris pacificum</i>	참가시그물바탕말			+			
<i>Dictyopteris prolifera</i>	가시뼈대그물말	+	+		+	+	
<i>Dictyota friabilis</i>	기능그물바탕말			+		+	
<i>Ecklonia cava</i>	감태		+	+		+	+
<i>Ectocarpus siliculosus</i>	참솨털						
<i>Halopteris filicina</i>	바다깃풀		+				
<i>Padina arborescens</i>	부챗말			+		+	
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	개그물바탕말					+	
<i>Sargassum macrocarpum</i>	큰열매모자반						+
<i>Sargassum micracanthum</i>	잔가시모자반		+				+
<i>Sargassum nipponicum</i>	꼬마모자반					+	
<i>Sporochnus radiformis</i>	털비말		+				
<i>Zonaria diesingiana</i>	반주름말		+				

Appendix 12. List of seaweed species collected at 20m depth in August 2018

Chlorophyta		공암	대풍감	능걸	구사동 항	죽도	관음도
<i>Bryopsis australis</i>	속깃털말						+
<i>Caulerpa okamurae</i>	옥덩굴	+					+
<i>Cladophora hutchinsiae</i>	갈래대마디말	+					+
<i>Cladophoropsis herpestica</i>	대마디불이						+
<i>Codium arabicum</i>	떡청각				+	+	+
<i>Codium fragile</i>	청각			+	+		
<i>Umbraulva japonica</i>	초록갈파래		+				
Rhodophyta							
<i>Acrosorium flabellatum</i>	부채분홍잎					+	
<i>Alatocladia modesta</i>	참화살깃산호말			+		+	
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	고리마디게발			+			
<i>Anotrichium tenue</i>	헛가지민털이풀			+			+
<i>Antithamnion cristirhizophorum</i>	양가지참깃풀		+				
<i>Asparagopsis taxiformis</i>	바다고리풀					+	
<i>Campylaeophora hypnaeoides</i>	석목				+		
<i>Ceramium kondoi</i>	비단풀	+					
<i>Champia expansa</i>	넓은사슬풀			+		+	
<i>Champia parvula</i>	참사슬풀			+			
<i>Corallina aberrans</i>	방황혹산호말	+		+	+		
<i>Dasyavillosa</i>	털다지다홍풀					+	
<i>Dasydiphonia japonica</i>	옛가지분홍풀		+			+	
<i>Erythroglossum minimum</i>	꼬마붉은혀		+				
<i>Herpochondria dentata</i>	잇바디가지					+	
<i>Herpochondria elegans</i>	각시잇바디가지	+	+				
<i>Herpochondria pygmaea</i>	작은구두리						+
<i>Hypnea charoides</i>	참가시우무				+		
<i>Jania arborescens</i>	나무풀애기산호말			+			
<i>Jania yenoshimensis</i>	잔가지애기산호말		+			+	
<i>Kallymenia oligonema</i>	귀자루땀띠					+	
<i>Laurencia intricata</i>	타래서실						+
<i>Laurencia pinnata</i>	깃풀서실					+	
<i>Laurencia venusta</i>	애기서실					+	
<i>Laurencia sp.</i>	서실류			+			
<i>Neosiphonia sp.</i>	붉은실류		+				
<i>Peyssonnelia cauliifera</i>	자루바다표고		+	+	+	+	+
<i>Pleonosporium yagii</i>	자루오디풀	+					
<i>Plocamium telfairiae</i>	참곰슬이		+				
<i>Polysiphonia morrowii</i>	모로우붉은실	+					
<i>Rhodymenia intricata</i>	두갈래분홍치					+	
<i>Symphyocladia pumila</i>	애기보라색우무		+				+
<i>Symphyocladia marchantioides</i>	넓은보라색우무	+	+	+			+
Ochrophyta							
<i>Carpomitra costata</i>	줄의관말		+	+		+	
<i>Desmarestia tabacoides</i>	담배잎산말			+			
<i>Dictyopteris pacificum</i>	참가시그물바탕말				+		
<i>Dictyopteris prolifera</i>	가시뻘대그물말		+	+	+		
<i>Ecklonia cava</i>	감태		+		+		+
<i>Halopteris filicina</i>	바다깃풀		+				
<i>Padina arborescens</i>	부챗말				+	+	
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	개그물바탕말	+		+	+		
<i>Sargassum hemiphyllum</i>	짙모자반				+		
<i>Sargassum micracanthum</i>	잔가시모자반					+	+
<i>Sporochnus radiciiformis</i>	털비말					+	
<i>Zonaria diesingiana</i>	반주름말			+			

Appendix 13. List of seaweed species collected at 5m depth in October 2018

Chlorophyta		공암	대풍감	능길	구사동 항	죽도	관음도
<i>Bryopsis australis</i>	속깃털말				+		
<i>Caulerpa okamurae</i>	옥덩굴	+		+	+	+	
<i>Cladophora hutchinsiae</i>	갈래대마디말						+
<i>Codium fragile</i>	청각		+			+	
Rhodophyta							
<i>Acanthopeltis sp.</i>	새발류	+	+		+		+
<i>Acrosorium ciliolatum</i>	갈고리분홍잎					+	
<i>Acrosorium flabellatum</i>	부채분홍잎					+	
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	고리마디게발	+		+		+	+
<i>Anotrichium tenue</i>	헛가지민털이풀	+					
<i>Callithamnion pinnatum</i>	홍실외깃풀					+	
<i>Callophyllis adhaerens</i>	좁은붉은잎			+			
<i>Callophyllis sp.</i>	붉은잎류				+		
<i>Ceramium kondoi</i>	비단풀	+					
<i>Chondracanthus intermedius</i>	애기돌가사리						+
<i>Corallina aberrans</i>	방황혹산호말	+			+		+
<i>Corallina officinalis</i>	참산호말		+				
<i>Corallina pilulifera</i>	작은구슬산호말	+					
<i>Herpochondria elegans</i>	각시잇바디가지		+			+	
<i>Herposiphonia parca</i>	기능거미줄						
<i>Jania arborescens</i>	나무꼴애기산호말		+				
<i>Jania yenoshimensis</i>	잔가지애기산호말					+	
<i>Kallymenia callophylloides</i>	봉숭아붉은땀띠			+			
<i>Kallymenia sp.</i>	땀띠류		+				
<i>Neosiphonia sp.</i>	붉은실류	+					
<i>Peyssonnelia caulifera</i>	자루바다표고		+			+	+
<i>Pleonosporium yagii</i>	자루오디풀						+
<i>Polysiphonia morrowii</i>	모로우붉은실		+			+	
<i>Symphycloadia marchantioides</i>	넓은보라색우무		+				
Ochrophyta							
<i>Carpomitra costata</i>	줄의관말		+	+		+	
<i>Dictyopteris prolifera</i>	가시뻘대그물말	+	+			+	
<i>Dictyota dichotoma</i>	그물바탕말	+					
<i>Ecklonia cava</i>	감태			+	+	+	+
<i>Eisenia bicyclis</i>	대황			+	+	+	+
<i>Halopteris filicina</i>	바다깃풀			+			
<i>Myagropsis myagroides</i>	외톨개모자반			+			
<i>Padina arborescens</i>	부챗말				+	+	
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	개그물바탕말			+	+		
<i>Sargassum macrocarpum</i>	큰열매모자반		+				+
<i>Sargassum micracanthum</i>	잔가시모자반			+	+	+	+
<i>Sargassum yezoense</i>	왜모자반				+		
<i>Sporochnus radiceformis</i>	털비말		+		+		
<i>Zonaria diesingiana</i>	반주름말			+			

Appendix 14. List of seaweed species collected at 10m depth in October 2018

Chlorophyta		공암	대풍갑	능길	구사동 항	죽도	관음도
<i>Caulerpa okamurae</i>	옥덩굴	+		+	+		
<i>Codium arabicum</i>	떡청각			+			
<i>Codium fragile</i>	청각			+		+	
Rhodophyta							
<i>Acanthopeltis</i> sp.	새발류			+			
<i>Acanthopeltis longiramulosa</i>	긴잎새발				+		
<i>Acrosorium ciliolatum</i>	갈고리분홍잎			+			
<i>Alatocladia modesta</i>	참화살깃산호말	+	+				+
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	고리마디게발		+		+		+
<i>Anotrichium tenue</i>	헛가지민털이풀	+					
<i>Antithamnion cristirhizophorum</i>	양가지참깃풀	+					
<i>Callithamnion pinnatum</i>	홍실외깃풀			+	+	+	
<i>Callophyllis adhaerens</i>	좁은붉은잎						
<i>Callophyllis crispata</i>	주름붉은잎			+			
<i>Ceramium kondoi</i>	비단풀	+			+		
<i>Champia parvula</i>	참사슬풀				+	+	
<i>Corallina aberrans</i>	방황혹산호말	+					
<i>Corallina officinalis</i>	참산호말	+					
<i>ErythroGLOSSUM minimum</i>	꼬마붉은혀		+				+
<i>Griffithsia japonica</i>	왜비단잘록이			+			
<i>Herpochondria dentata</i>	잇바디가지			+			
<i>Herpochondria elegans</i>	각시잇바디가지		+		+		+
<i>Jania arborescens</i>	나무꼴애기산호말	+	+	+			+
<i>Neosiphonia sphaerocarpa</i>	알쏭이새붉은실					+	
<i>Peyssonnelia caulifera</i>	자루바다표고		+	+	+		+
<i>Pleonosporium yagii</i>	자루오디풀		+				+
<i>Plocamium telfairiae</i>	참곱슬이					+	
<i>Polysiphonia morrowii</i>	모로우붉은실			+			
<i>Rhodymenia intricata</i>	두갈래분홍치					+	
<i>Symphyocladia pumila</i>	애기보라색우무	+					
<i>Symphyocladia marchantioides</i>	넓은보라색우무			+			
Ochrophyta							
<i>Carpomitra costata</i>	줄의관말			+		+	
<i>Dictyopteris prolifera</i>	가시뼈대그물말				+		+
<i>Ecklonia cava</i>	감태	+	+	+	+	+	+
<i>Ectocarpus siliculosus</i>	참솨털						
<i>Eisenia bicyclis</i>	대황				+		
<i>Padina arborescens</i>	부챗말			+			
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	개그물바탕말	+				+	
<i>Sargassum macrocarpum</i>	큰열매모자반		+		+		+
<i>Sargassum micracanthum</i>	잔가시모자반			+			
<i>Sargassum patens</i>	쌍발이모자반				+		
<i>Sargassum yezoense</i>	왜모자반				+		

Appendix 15. List of seaweed species collected at 20m depth in October 2018

Chlorophyta		공암	대풍감	능걸	구사동 항	죽도	관음도
<i>Bryopsis australis</i>	속깃털말	+					+
<i>Caulerpa okamurae</i>	옥덩굴	+		+	+	+	
<i>Codium fragile</i>	청각		+				
Rhodophyta							
<i>Acanthopeltis</i> sp.	새발류		+				
<i>Acanthopeltis longiramulosa</i>	긴잎새발						+
<i>Alatocladia modesta</i>	참화살깃산호말		+		+	+	
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	고리마디게발	+		+			+
<i>Anotrichium tenue</i>	헛가지민털이풀		+				
<i>Antithamnion cristirhizophorum</i>	양가지참깃풀			+			
<i>Callithamnion pinnatum</i>	홍실외깃풀	+			+		
<i>Callophyllis</i> sp.	붉은잎류					+	
<i>Champia expansa</i>	넓은사슬풀	+		+			
<i>Corallina aberrans</i>	방황혹산호말	+		+			
<i>Erythrogloussum minimum</i>	꼬마붉은혀					+	+
<i>Griffithsia japonica</i>	왜비단잘록이			+			
<i>Heterosiphonia pulchra</i>	털엿가지풀						
<i>Herpochondria elegans</i>	각시잇바디가지	+	+	+			+
<i>Herposiphonia subdisticha</i>	두줄거미줄	+					
<i>Jania arborescens</i>	나무꼴애기산호말		+			+	
<i>Peyssonnelia caulifera</i>	자루바다표고		+			+	+
<i>Plocamium tellairiae</i>	참곱슬이					+	
<i>Polysiphonia morrowii</i>	모로우붉은실			+			
<i>Pterocladia capillacea</i>	개우무				+		
<i>Rhodymenia intricata</i>	두갈래분홍치		+	+		+	
<i>Schizymenia dubyi</i>	갈래잎						
<i>Spyridia elongata</i>	긴비단사돈풀				+		
<i>Symphyocladia pumila</i>	애기보라색우무	+	+				+
<i>Symphyocladia marchantioides</i>	넓은보라색우무	+	+	+			
Ochrophyta							
<i>Carpomitra costata</i>	줄의관말		+		+		
<i>Dictyopteris prolifera</i>	가시뼀대그물말		+		+		
<i>Ecklonia cava</i>	감태		+			+	+
<i>Myagropsis myagroides</i>	외톨개모자반			+			
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	개그물바탕말	+				+	
<i>Sargassum confusum</i>	알송이모자반						+
<i>Sargassum macrocarpum</i>	큰열매모자반			+			+
<i>Sargassum micracanthum</i>	잔가시모자반			+	+	+	+
<i>Sporochnus radiciiformis</i>	털비말				+		
<i>Zonaria diesingiana</i>	반주름말			+		+	

Appendix 16. List of major benthic species identified in the study area

분류군명	종명	국문명	공암	대풍감	능걸	(구)사동항	죽도	관음도
해면동물	<i>Callyspongia differentiata</i>	뿔에쁜이해면			○		○	○
	<i>Cliona celata</i>	호박해면						○
	<i>Haliclona</i> sp.	보라해면류			○		○	○
	<i>Stelletta</i> sp.	별해면류		○	○		○	○
자포동물	<i>Halocordyle disticha</i>	눈꽃히드라	○	○	○			
	<i>Sertularella miurensis</i>	가로테히드라	○		○	○	○	
	<i>Hydrocoryne miurensis</i>	세로줄물곤봉히드라					○	
	<i>Fukaurahydra anthoformis</i>	말미잘후카우라히드라					○	
	<i>Solanderia secunda</i>	산호불이히드라	○	○				
	<i>Solanderia misakinensis</i>	큰산호불이히드라	○	○	○			○
	<i>Corynactis viridis</i>	보석말미잘	○	○	○		○	○
	<i>Cerianthus punctatus</i>	(실꽃말미잘류)				○		○
	<i>Cerianthus filiformis</i>	실꽃말미잘						○
	<i>Anthopleura japonica</i>	갈색꽃해변말미잘		○	○		○	
	<i>Anthopleura kurogane</i>	검정꽃해변말미잘	○	○	○			
	<i>Anthopleura</i> sp.	꽃해변말미잘류					○	
	<i>Urticina coriacea</i>	가죽해변말미잘						○
	<i>Pachycerianthus magnus</i>	(꽃말미잘류)						○
	<i>Halcurias carlgreni</i>	별란말미잘					○	
	<i>Bellonella rigida</i>	곤봉바다딸기			○		○	
	<i>Clavularia mikado</i>	미카도곤봉산호	○		○			
	<i>Cornularia komaii</i>	꽃이끼산호	○		○		○	
	<i>Melithaea densa</i>	뽁뽁불산호	○				○	
	<i>Melithaea flabellifera</i>	부채불산호	○	○	○		○	
	<i>Euplexaura recta</i>	곧은진총산호			○			
	<i>Euplexaura crassa</i>	둔한진총산호	○				○	
	<i>Antipathes lata</i>	긴가지해송		○	○		○	
<i>Dendrophyllia cribrosa</i>	유착나무돌산호			○				
유형동물	<i>Lineus fuscoviridis</i>	연두곤벌레	○		○			

Appendix 16. continued

분류군명	종명	국문명	공암	대풍감	능걸	(구)사동항	죽도	관음도
	<i>Nordotis discus</i>	등근전복						○
	<i>Kelletia lischkei</i>	매끈이고둥	○	○	○		○	
	<i>Chlorostoma lischkei</i>	밤고둥				○		
	<i>Turbo Cornutus</i>	소라	○	○	○	○	○	○
	<i>Pomaulax japonicus</i>	납작소라					○	○
	<i>Aplysia kurodai</i>	군소	○		○		○	○
	<i>Berthellina delicata</i>	빨강갯민달팽이류	○		○			
	<i>Hypselodoris festiva</i>	파란갯민달팽이	○	○	○		○	○
	<i>Dermatobranchus otome</i>	아가씨줄무늬갯민숭이		○	○			
	<i>Tritonia festiva</i>	예쁜이갯민숭이		○				
연체동물	<i>Cadlina japonica</i>	노란테갯민숭달팽이		○	○			
	<i>Chromodoris aureopurpurea</i>	점점갯민숭달팽이			○		○	
	<i>Chromodoris tinctoria</i>	망사갯민숭달팽이	○	○				
	<i>Chromodoris orientalis</i>	흰갯민숭달팽이	○	○	○		○	
	<i>Sakuraeolis gerberina</i>	눈송이갯민숭이	○	○	○			
	<i>Protaeolidiella atra</i>	검정갯민숭이			○		○	
	<i>Mytilus coruscus</i>	홍합	○	○	○	○	○	○
	<i>Crassostrea echinata</i>	가시굴	○			○		○
	<i>Striostrea circumpecta</i>	태생굴	○	○	○	○	○	○
	<i>Enteroctopus dofleini</i>	문어		○				
	<i>Octopus vulgaris</i>	참문어	○		○			
환형동물	<i>Sabellastarte japonicus</i>	솜털꽃갯지렁이	○	○	○	○	○	○
	<i>Serpula vermicularis</i>	석회관갯지렁이	○	○	○	○	○	○
절지동물	<i>Balanus trigonus</i>	삼각따개비	○	○	○	○	○	○
	<i>Megabalanus volcano</i>	큰빨강따개비	○				○	

Appendix 16. continued

분류군명	종명	국문명	공암	대풍감	능걸	(구)사동항	죽도	관음도
	<i>Oxycomanthus japonicus</i>	일본깃갯고사리		○				
	<i>Pteraster tessellatus</i>	입방불가사리		○				
	<i>Plazaster borealis</i>	문어다리불가사리		○				○
	<i>Distolasterias nipon</i>	일본불가사리					○	○
	<i>Aphelasterias japonica</i>	아팠불가사리					○	
	<i>Certonardoa semiregularis</i>	빨강불가사리			○			
극피동물	<i>Henricia nipponica</i>	애기불가사리					○	
	<i>Henricia pachyderma</i>	육질애기불가사리			○		○	
	<i>Astropecten scorparius</i>	전갈가시불가사리						
	<i>Asterina pectinifera</i>	별불가사리	○	○	○	○		
	<i>Asterias amurensis</i>	아무르불가사리						○
	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	동근성게	○	○	○	○	○	○
	<i>Holothuria hilla</i>	개해삼	○		○	○		○
	<i>Apostichopus japonicus</i>	돌기해삼	○	○	○		○	
	<i>Herdmania mirabilis</i>	벼개멍게	○					
척삭동물	<i>Styela clava</i>	미더덕	○		○			
	<i>Halocynthia roretzi</i>	우렁쟁이(멍게)		○				

주 의

1. 이 보고서는 한국해양과학기술원에서 수행한 기본사업의 연구결과 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국해양과학기술원에서 수행한 기본사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.