



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



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

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

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

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

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

동해안 영일만 내·외해역 조간대의  
해조군집 변동



2023년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

생 태 공 학 과

박 세 정

공 학 석 사 학 위 논 문

동해안 영일만 내·외해역 조간대의  
해조군집 변동

지도교수 최 창 근

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2023년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

생 태 공 학 과

박 세 정

# 박세정의 공학석사 학위논문을 인준함

2023년 2월 17일



위원장 공학박사 강대석



위원 공학박사 성기준



위원 수산학박사 최창근



# 목 차

List of Table .....	iii
List of Figures .....	v
List of Appendices .....	vi
Abstract .....	vii
I. 서 론 .....	1
II. 재료 및 방법 .....	3
1. 조사지 개황 .....	3
1) 영일만 .....	3
2) 연구정점 .....	5
2. 해조상 .....	8
3. 군집분석 .....	8
4. 과거 해조상 비교 .....	11
III. 결 과 .....	14
1. 해양환경 .....	14
2. 해조 군집 .....	16
1) 종조성 .....	16

2) 평균 생물량 .....	18
3) 우점종 .....	19
4) 생태지수 .....	22
5) 계절별 군집 구조 .....	25
6) 유사도 분석 .....	31
<b>3. 영일만 외해역과 내해역의 해조 군집 .....</b>	<b>33</b>
1) 종조성 .....	33
2) 평균 생물량 .....	37
3) 우점종 .....	38
4) 생태지수 .....	41
5) 해역 및 계절별 군집 구조 .....	43
<b>4. 과거 해조상과의 비교 .....</b>	<b>50</b>
1) 수온 .....	50
2) 해조 분포 및 내열종 .....	51
<b>IV. 고찰 .....</b>	<b>57</b>
<b>V. 결론 .....</b>	<b>62</b>
<b>VI. 참고문헌 .....</b>	<b>64</b>
<b>부 록 .....</b>	<b>74</b>

## List of Table

Table 1. List of GPS coordinates of the study sites .....	6
Table 2. List of short descriptions of the study sites .....	7
Table 3. Formula of ecological indices .....	10
Table 4. List of references published in Yeongil Bay .....	12
Table 5. Water temperature, pH, and salinity measured at the study sites during the survey period .....	15
Table 6. Top 5 dominant marine algal species according to biomass in Yeongil Bay .....	20
Table 7. Top 5 dominant marine algal species based on important value (IV) in Yeongil Bay .....	21
Table 8. Ecological indices of study sites in Yeongil Bay .....	23
Table 9. List of marine algae contributing to 50% seasonal similarity by season according to biomass .....	26
Table 10. Top 5 marine algae contributing to seasonal dissimilarity according to biomass .....	27
Table 11. List of marine algae contributing to 50% seasonal similarity according to important value (IV) .....	29
Table 12. Top 5 marine algae contributing to dissimilarity according to important value (IV) .....	30
Table 13. List of marine algae contributing to 50% similarity by study sites according to biomass .....	32

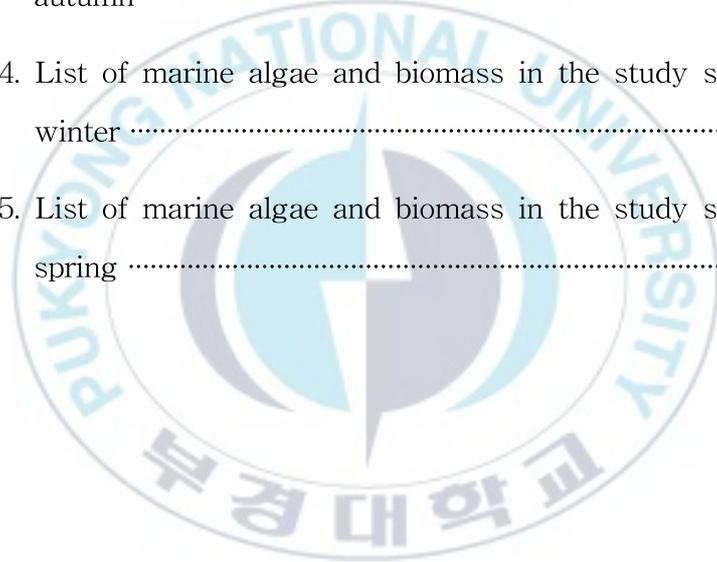
Table 14. List of marine algae that appeared in each of the outer and inner bays .....	35
Table 15. Top 5 dominant marine algal species according to biomass in the outer and inner bays .....	39
Table 16. Top 5 dominant marine algal species according to important value (IV) in the outer and inner bays .....	40
Table 17. Ecological indices of marine algal flora on the outer and inner bays .....	41
Table 18. List of marine algae contributing to 50% similarity in the outer and inner bays according to biomass .....	44
Table 19. List of marine algae contributing to 50% seasonal similarity according to biomass .....	45
Table 20. Top 5 marine algae contributing to dissimilarity in the outer and inner bays according to biomass .....	46
Table 21. List of marine algae contributing to 50% similarity by the outer and inner bays according to important value (IV) .....	48
Table 22. Top 5 contributing marine algae to dissimilarity by the outer and inner bays according to important value (IV) .....	48
Table 23. List of marine algae contributing to 50% seasonal similarity according to important value (IV) .....	49
Table 24. List of reference and this study related to changes in algal composition .....	53
Table 25. List of warm tolerant species that appeared in Yeongil Bay .....	54
Table 26. Comparison of biomass ratios (%) of warm tolerant species .....	56

## List of Figures

Fig. 1. A map showing ocean currents in Yeongil Bay. ....	4
Fig. 2. A map showing the study sites in the intertidal zone of Yeongil Bay .....	5
Fig. 3. A map showing the same administrative districts of this study and previous studies (□: Lee and Kim, 1999; ○: Lee and Kim, 1999; Nam et al., 1996; △: Lee and Kim, 1999; Park and Choi, 2009). ....	13
Fig. 4. Total number of marine algal species of study sites in Yeongil Bay. ....	17
Fig. 5. Mean biomass of study sites in Yeongil Bay. ....	18
Fig. 6. K-dominance curves (x-axis logged) of the biomass of study sites in Yeongil Bay. ....	24
Fig. 7. Similarity of study sites in Yeongil Bay. ....	31
Fig. 8. Number of marine algal species in outer and inner bays of Yeongil Bay. ....	34
Fig. 9. Mean biomass in the outer and inner bays of Yeongil Bay. ....	37
Fig. 10. K-dominance curves (x-axis logged) of the biomass in the outer and inner bays of Yeongil Bay. ....	42
Fig. 11. A showing changes in surface water temperature in Yeongil Bay. ....	50

## List of Appendices

Appendix 1. Seasonal ecological indices of study sites in Yeongil Bay .....	74
Appendix 2. List of marine algae and biomass in the study sites during summer .....	76
Appendix 3. List of marine algae and biomass in the study sites during autumn .....	81
Appendix 4. List of marine algae and biomass in the study sites during winter .....	85
Appendix 5. List of marine algae and biomass in the study sites during spring .....	90



Changes in marine algal community in the intertidal zone of  
Yeongil inner and outer Bay, East coast of Korea

Se Jeong Park

Department of Ecological Engineering, The Graduate School,  
Pukyong National University

**Abstract**

Seaweeds in the intertidal zone form various seaweed communities because environmental factors in the intertidal zone differ depending on the topography. These communities serve as a habitat, spawning ground, and lair for marine organisms (e.g., invertebrates, and fish) and play important functions, such as photosynthesis and material circulation. However, recent coastal development has decreased the area and function as a habitat for marine organisms. Moreover, seaweed communities are expected to change because of the rise in water temperature due to climate change, but the available data are insufficient to compare past and present seaweed communities. The purpose of this study is to examine the seasonal and spatial changes in algal community structures in the outer and inner bays of the intertidal zone of Yeongil Bay. In addition to determining whether changes in seawater temperature due to global warming have affected the marine ecosystem through seaweeds, a seasonal survey was conducted on 13 sites in the intertidal zone of Yeongil Bay from August 2021 to July 2022. Samples were collected by a destructive method using a quadrat (50×50 cm), and quantitative data, such as biomass and importance value (IV), were analyzed using the identified algae. Statistical analysis (ANOSIM and SIMPER) was performed using algal biomass and IV. As a result of analyzing the seasonal changes in the algal community structure of Yeongil Bay according to the biomass, the dissimilarity was 70.0–81.7%, and it was confirmed that the contribution of *Sargassum* spp. was

high. When analyzed according to the IV, the dissimilarity was 69.5-82.3%, and it was confirmed that the contribution of *Ulva* spp. was high. As a result of analyzing the algal community structure in the outer and inner bays according to the IV, the dissimilarity was 69.1%, and it was confirmed that the contribution of *Ulva* spp. was high. In summary, this paper argued that the algal community structure in the intertidal zone of Yeongil Bay was determined by the biomass based on *Sargassum* spp. and by the IV based on *Ulva* spp. The seawater temperature of Yeongil Bay has increased by approximately 0.8°C over the past 50 years, but the current algal community is similar to the past. This study revealed that seaweed communities in the intertidal zone of Yeongil Bay differ by season and between the inner and outer bays. It was found that the intertidal zone of Yeongil Bay is changing due to coastal development and eutrophication, and factors associated with climate change. Therefore, it is necessary to monitor the intertidal zone of Yeongil Bay to respond to changes in the environment and seaweed community, and the health of the marine ecosystem must be managed by managing the quality of water. In addition, this study provided basic data with which to assess the potential of ecological engineering for the restoration of intertidal zones.

## I. 서론

조간대는 만조시에 수중에 잠기고, 간조시에 수면 밖으로 드러나는 해역으로(해양수산부, 2020) 육지와 외해의 물질 전달과 교환을 하며(Raffaelli and Hawkins, 2004), 지형에 따라 조석, 노출, 기질 및 생물적 요소가 복합적으로 작용하여 다양한 생물의 서식처 역할을 한다(Dawes, 1998). 조간대에 서식하는 해양생물 중 하나인 해조류는 무척추동물, 어류 등 다양한 해양생물에게 서식처, 산란장 및 은신처 역할과 동시에 광합성, 물질순환 등의 중요한 기능을 한다(Janiak and Whitlatch, 2012; Kim et al., 2016; Lindstrom, 2009; Perkol-Finkel et al., 2012; Satheesh and Wesley, 2012; Whitaker et al., 2010). 해조류는 오염과 교란으로 서식처 환경이 바뀌면 해조 군집 구조가 변화하기 때문에 연안 환경의 상태를 평가하는 환경지표종(bioindicator)으로 이용된다(Orfanidis et al., 2003; Scherner et al., 2013; Wells et al., 2007). 안정된 해역의 환경이 부영양화로 변하면 기회종인 파래류(*Ulva* spp.)의 출현과 생물량이 증가하고, 갈조류와 홍조류의 출현과 생물량이 감소하는 군집 구조 특성을 보인다(Mirta et al., 2010; Wells et al., 2007).

연안 도시의 공업화로 인한 연안개발은 조간대를 직선 형태로 획일화하여(Raffaelli and Hawkins, 2004) 인간에게 토지의 이용, 경제 및 여가 활동을 가능하게 하였으나, 생물들에게 서식지와 환경변화(파도, 염도, 영양염 등)를 발생시켰다. 이월방조제는 해안 침식을 막고 모래 퇴적을 촉진하기 위해 설치되었지만 서식지 교란으로 대형저서동물의 종수와 밀도를 급격히 감소시켰고(유 등, 2006), 시화방조제는 인근 간척지에 농업용수 공급을 목적으로 건설되었지만 조간대의 소실과 수질 악화를 유발시켰다(박 등, 2003). 연안개발은 조간대의 환경변화를 일으켜 서식하는 해양생물에게 직·간접적으로 영향을 주는 것으로 보아, 연안개발로 인해 해조류의 군집 구조도 변화할 가능성이 있다.

최 등(2021)은 기후변화로 인해 52년(1968-2020년)동안 해수온 증가율이 동해에서 0.03°C/year로 가장 컸다고 발표하였으며, 수온에 영향을 받는 해조류를 포함한 동해안 해양생태계의 군집 구조와 분포가 변화할 가능성이

있을 것으로 보인다. 우리나라의 초기 해양생태 연구는 조간대를 대상으로 진행되었지만(부, 1987; Lee and Lee, 1988; Lee et al., 1993), 최근에는 조하대 연구에 집중되고 있기 때문에(신 등, 2011; 유, 2003; 유 등, 2013), 조간대 환경과 기후변화에 따른 해조 군집 변동을 파악하기에 어려움이 있어 이에 대한 대책이 필요한 실정이다.

만(bay)은 육지로 깊게 들어간 바다로 정의된다(해양수산부, 2020). 포항 영일만은 동해와 형산강이 만나는 지리적 이점으로 오래전부터 연안에 사람들이 거주하였고, 임해공단과 무역항이 자리하고 있다. 영일만 연안은 토지 이용 및 경제 활동 등을 위한 개발이 지속적으로 이루어지고 있어 조간대 및 환경변화로 인한 해조 군집의 변동이 예상되는 지역이다. 영일만 조간대에서 이루어진 선행연구(Lee and Oh, 1986; Lee and Kim, 1999; Lee and Lee, 1988; Lee et al., 1997; Nam et al., 1996; Park and Choi, 2009)는 한 두 개의 연구정점에서 정성 분석 위주의 연구가 이루어졌다. Park and Choi (2009)의 연구 후로 해조 군집에 대한 학술적 연구가 없어서 최근 해조 군집이 어떠한 상태인지 알 수 없으며, 과거와 현재의 해조 군집 구조 변화를 분석하기에 어려운 실정이다. 만은 특성상 만외·내의 환경요인 차이(파도, 해류, 오염 및 영양염 등)가 있으며, 영일만의 경우 만내에 연안 도시, 임해공단 및 무역항이 조밀하게 분포하고 있어 만외보다 교란과 오염에 더 노출되어 있을 것으로 예상된다. 만외와 만내에 관한 해조류 연구로는 Lee and Lee (1988)와 Lee et al. (1997)의 출현종수 비교가 있을 뿐 군집 구조 분석에 관한 학술적 연구는 확인할 수 없었다.

이 연구는 영일만 조간대 주변 해역에서 13개의 정점을 선정하여 계절별 연구를 수행하였고, 해조류의 종조성, 생물량 및 중요도, 군집분석을 통해 조간대의 계절별 군집 구조와 영일만 외·내해역의 군집 구조 차이를 규명하였다. 또한, 최근 전 지구적 이슈인 기후변화로 인한 수온 상승으로 해양생태계의 변화를 파악하기 위해 해조류를 대상으로 과거와 현재 해조 군집을 분석하여 현재 상태를 판단하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 조사지 개황

#### 1) 영일만

영일만은 경상북도 포항시에 위치한 동해안 유일한 만으로 동쪽은 호미곶, 남쪽 및 북서쪽은 육지로 둘러싸여 있으며 북동쪽은 동해로 개방되어 있다(곽, 1976). 만구 폭은 약 10 km이며 남서쪽으로 약 12 km 만입되어 총 수면적은 약 120 km<sup>2</sup>이다(곽, 1976; 김 등, 2001). 동해안은 조수간만의 차가 적어서 조류보다 해류의 영향이 더 크기 때문에 해류의 유동 상태가 중요하다(국립해양조사원, 1971; 1975). 표층 해류의 추정도에 따르면 영일만의 해류는 호미곶과 달만갑에서 만내로 유입되고, 유출수는 만내의 두호포갑 앞을 경유하여 만의 중앙부로 유출된다(국립해양조사원, 1971; 1975)(Fig. 1). 만내에는 임해공단을 경유하여 만의 중앙부로 흐르는 형산강이 있으며(국립해양조사원, 1971; 1975), 형산강에서 유입된 퇴적물로 넓은 충적지를 형성하고 있다(포항시, 2020).



Fig. 1. A map showing ocean currents in Yeongil Bay.

## 2) 연구정점

본 연구는 영일만 주변 해역에서 13개의 정점을 선정하여 연구를 수행하였다(Fig. 2). 외·내해역은 영해 및 접속수역법 시행령 제2조를 참고하여 달만갑(36°06'00.20"N, 129°26'00.00"E)과 호미곶(36°05'00.29"N, 129°33'00.28"E)을 기점으로 직선을 기선한 수역을 기준으로 구분하였다(Fig. 1). 외해역 정점은 석병, 강사, 대보1, 대보2, 구만1, 구만2, 칠포로 7개, 내해역 정점은 구만3, 마산, 입암, 임곡, 송도, 죽천으로 6개이다(Fig. 2).



Fig. 2. A map showing the study sites in the intertidal zone of Yeongil Bay (○: outer bay; □: inner bay).

Table 1. List of GPS coordinates of the study sites

Site	Latitude	Longitude
Seokbyeong	36°01'22.56"N	129°34'43.63"E
Gangsa	36°02'54.12"N	129°34'49.44"E
Daebo 1	36°03'49.47"N	129°34'26.76"E
Daebo 2	36°04'45.54"N	129°33'53.25"E
Guman 1	36°05'01.67"N	129°33'33.80"E
Guman 2	36°05'06.82"N	129°32'58.75"E
Guman 3	36°04'44.49"N	129°32'44.41"E
Masan	36°01'06.12"N	129°29'30.02"E
Ibam	36°00'51.86"N	129°28'38.97"E
Imgok	36°00'51.06"N	129°28'38.09"E
Songdo	36°01'55.51"N	129°23'03.22"E
Jukcheon	36°05'24.93"N	129°25'19.88"E
Chilpo	36°08'41.12"N	129°23'53.34"E

Table 2. List of short descriptions of the study sites

Type	Site	Substrate	Remarks
Outer bay	Seokbyeong	rocky	It was the easternmost site of the outer bay and was effected by the open sea
	Gangsa	rocky	During the study period, a large amount of sludge from fish farm wastewater was entangled with algae
	Daebo 1	rocky	It was a site protected from waves by rocks that can block the waves
	Daebo 2	rocky	It was a site with Daebo Port on the left and the Hand of Coexistence (monument in Pohang) on the right, and the wave-cut platform was formed widely
	Guman 1	rocky	It was a site at the tip of Homi Cape, and effected by the open sea
	Guman 2	sandy	There is an eagle rock (monument in Pohang) on the site, and a wave break is formed widely. Among the study sites, the influence of waves is the least
	Chilpo	rocky	It was the northernmost site of the outer bay and was surrounded by Chilpo Port and Chilpo Breakwater
Inner bay	Guman 3	rocky	There was a village near the site, and breakwaters are installed along the coastline. This site had the highest number and biomass of species during the study period
	Masan	rocky	There was a fishery drying area near the site, and there was a Haseonda, which is a natural attraction, so people often approached it
	Ibam	rocky	The site was located at the outfall of the village of Ibam 2-ri, but the river was dry due to the cover and lost its function
	Imgok	rocky	Near the site, there was a lot of garbage from leisure activities and villages
	Songdo	sandy	The site was close to Songdo Beach and POSCO, and to the east was the outfall of the Hyeongsan River
	Jukcheon	rocky	On the right side of the site, there was a breakwater with a length of about 170 m, and most of the garbage thrown away from the land and nearby restaurants

## 2. 해조상

영일만 조간대를 대상으로 2021년 8월부터 2022년 7월까지 계절별 연구를 실시하였다. 정량 분석은 10×10 cm로 분획된 50×50 cm 크기의 방형구를 이용하였으며, 송도의 경우 해조류의 생육이 미약하여 5×5 cm 크기로 분획된 25×25 cm 크기의 방형구를 이용하여 시료를 채집하였다. 채집 전 출현종의 피도 및 빈도 분석(Saito and Atobe, 1970)을 위해 디지털카메라(Olympus Tough TG-5)로 방형구 내의 해조류를 촬영한 후, 스크레이퍼(scraper)를 이용하여 방형구 내의 해조류 전량을 채집하였다. 또한 정점의 주변 기질을 자세히 관찰하면서 정성 채집도 병행하였고, 채집된 해조류는 아이스박스에 담아 실험실로 운반하였다. 해양환경측정은 현장에서 다항목 수질측정기(YSI ProDSS)를 이용하여 정점별로 표층수온, pH 및 염분을 측정하고 기록하였다.

채집된 시료는 모래, 퇴적물 등을 제거하기 위해 담수로 여러 차례 헹군 뒤 육안 및 현미경(Olympus SZX9; Olympus BX50)으로 관찰한 후 동정하였다. 동정된 해조류는 전자저울(CAS, CBL3200H)을 이용하여 습중량(g wet weight m<sup>-2</sup>)을 0.01 g 수준까지 측정된 후에 단위 면적당(m<sup>2</sup>) 생물량으로 산출하였다. 분류 및 동정의 기준은 한국동식물도감(Kang 1968), 제주의 바닷말(이, 2008), 한국의 조류(김, 2012; 2013; 김과 김, 2011; 김과 부, 2010; 김과 이, 2012; 김과 황, 2015; 남, 2011; 남과 강, 2012a; 2012b; 2013; 2015; 배 등, 2010; 부 등, 2010; 황과 김, 2011), 옥과 이(2005)를 참고하였다.

## 3. 군집분석

본 연구에서 남조류는 동정에서 제외하였으며, 출현종은 녹조류, 갈조류, 홍조류에 국한하였다. 동정되지 않은 무절산호말은 모두 무절산호말류(Crustose coralline algae)로 통칭하였다.

군집 구조의 우점종은 생물량과 중요도(important value, IV)를 기준으로 분석하였다. 정점 및 해역별 해조 군집의 생태 안정성을 분석하기 위해 출현종 및 생물량을 이용하여 생태지수와 K-dominance curves (Warwick et

al., 2008)를 분석하였다. 생태지수는 풍부도(Margalef, 1958), 균등도(Pielou, 1977), 다양도(Shannon and Weaver, 1963), 우점도(Simpson, 1949)를 산출하였다(Table 3).

영일만의 계절별 및 해역별 군집 구조를 분석하기 위해 생물량과 중요도를 이용하여 one-way와 two-way ANOSIM (analysis of similarity) 분석을 하였고, SIMPER 분석 결과를 통해 누적 기여도 50% 기여종을 확인하여 해조상의 특징을 분석하였다. 분석을 위한 생물량 자료는 우점종의 편향성 감소를 위해 제곱근변환(square root transformation)을 하였으며, 중요도 자료는 변환하지 않았다. 정점 간의 군집 유사도는 출현종의 생물량으로 Bray-Curtis 유사도 행렬을 분석하여 도식화하였다.

생태지수 산출, K-dominance curves 도식화, ANOSIM 및 SIMPER 분석, 유사도 분석과 도식화는 PRIMER (Plymouth Routines Multivariate Ecological Research) version 6.0 & PERMANOVA+를 이용하였다 (Anderson et al., 2008).

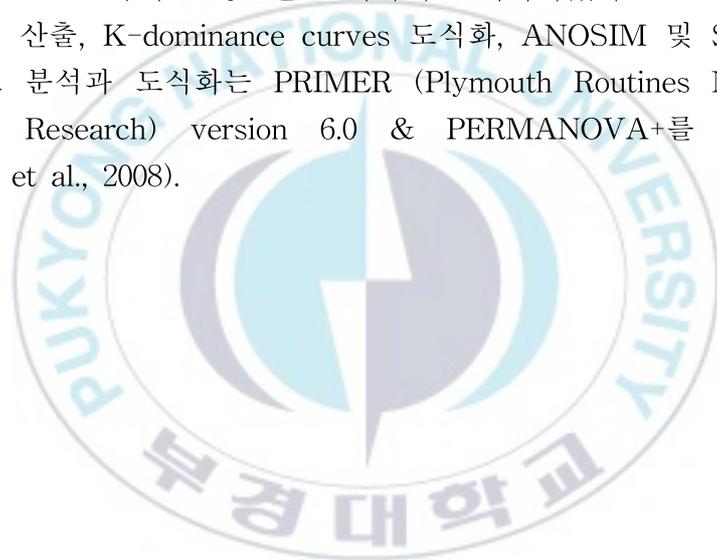


Table 3. Formula of ecological indices

Indices	Meaning	Formula
Cover (%)	The ratio of the area occupied by a $i$ th species to the total surveyed area	$C = a_i/A$
Frequency	The ratio of occurrence of a $i$ th species in a sample	$f_i = j_i/k$
Relative coverage	The ratio of the coverage of a $i$ th species to the sum of the coverage of total species	$RC_i = C_i/\sum_{i=1}^S C$
Relative frequency	The ratio of the frequency of a $i$ th species to the sum of the frequency of total species	$Rf_i = f_i/\sum_{i=1}^S f$
Importance Value	The degree of influence or importance of a $i$ th species in a community	$IV_i = Rf_i + RC_i$
Richness	The state of a community calculated using the total number of community and the total number of species	$R = (S-1)/\ln(N)$
Evenness	The degree to which the species composition within a community is uniform	$J' = H'/\ln(S)$
Diversity	Probability that two randomly sampled individuals are different species	$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \times \ln(p_i)$
Dominance	The degree to which a $i$ th species dominates in a community	$D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$

\* $a_i$  is area of the  $i$ th species in quadrat  
 $A$  is total area of the quadrat  
 $j_i$  is the number of samples in the  $i$ th species  
 $k$  is the total number of species in the sample  
 $S$  is the total number of species in the sample  
 $N$  is the total number of individuals recorded in the sample  
 $p_i$  is the proportion of the number of individuals in the  $i$ th species to the total number of individuals in the sample

#### 4. 과거 해조상 비교

해조 분포는 해류와 수온의 영향으로 차이가 발생하는데, Kang (1966)에 따르면 영일만이 속하는 남부 동해안 해역의 해조상 분포는 아한대성 10%, 온대성 70%, 아열대성 4%, 광역성(cosmopolitan) 및 아광역성(subcosmopolitan) 16%로 온대성 해조류의 분포가 가장 높다고 보고하였다. 이를 바탕으로 동일한 해역에 위치한 본 연구의 정점과 1990년대 이후 선행연구(Lee and Kim, 1999; Nam et al., 1996; Park and Choi, 2009)의 정점을 대상으로 해조 분포 변화를 분석하였다(Fig. 3; Table 4). 출현종의 분포 기준은 한국동식물도감(Kang, 1968), 한국의 조류(김, 2012; 2013; 김과 김, 2011; 김과 부, 2010; 김과 이, 2012; 김과 황, 2015; 남, 2011; 남과 강, 2012a; 2012b; 2013; 2015; 배 등, 2010; 부 등, 2010; 황과 김, 2011), AlgaeBase (AlgaeBase, 2022, Oct 15)를 참고하였다. 또한, 주변 해역의 수온 상승이 보고되고 있는 현시점에서 20-30℃의 높은 수온을 견디며 생육하는 내열종(warm tolerant species)(김 등, 1998)의 출현 변화를 분석하였고, 한국산 내열종 목록은 김(1986), 김과 안(2005), 김 등(2004; 1998; 1992)을 참고하였다.

Table 4. List of references published in Yeongil Bay

References	Research period	Site
Chyung and Park (1955)	unknown	Yeongil Bay, Kuryongpo
Rho (1958)	unknown	Pohang, Yeongil Bay, Kuryongpo
Kang (1966)	unknown	Pohang, Yeongil Bay, Kuryongpo, Daebo
Kang (1968)	unknown	Pohang, Yeongil Bay, Kuryongpo, Daebo
Lee and Oh (1986)	Jul. 1984	Daebo, Imgok, Songdo
Lee and Lee (1988)	Feb. 1985-Jan. 1986	Daebo, Imgok, Songdo
Nam et al. (1996)	Jul. 1995-Jun. 1996	Guman
Lee et al. (1997)	May. 1996-Feb. 1997	Kuryongpo, Balsan, Yeonampo, Yongdock
Lee and Kim (1999)	1993-1995	Kuryongpo, Kangsa, Daebo, Daedongbae, Balsan, Imgok, Songdo, Yeonampo, Yongdok, Iga, Bango, Bugyong
Park and Choi (2009)	Feb. 2003-Jan. 2009	Masan, Ibam, Imgok, Songdo



Fig. 3. A map showing the same administrative districts of this study and previous studies (□: Lee and Kim, 1999; ○: Lee and Kim, 1999; Nam et al., 1996; △: Lee and Kim, 1999; Park and Choi, 2009).

### Ⅲ. 결 과

#### 1. 해양환경

연구시기별 해양환경측정 결과 수온은 9.9-25.5℃, pH는 8.2-8.5, 염분은 30.9-36.6 psu로 나타났다. 계절 및 정점별로 수온은 하계와 추계에 송도가 각각 27.8℃, 21.8℃, 동계에 칠포 11.0℃, 춘계에 구만2 22.8℃로 가장 높았고, 하계에 석병 24.6℃, 추계에 대보1 16.6℃, 동계에 대보2 8.4℃, 춘계에 강사 16.5℃로 가장 낮았다. pH는 하계에 칠포 8.5, 추계에 구만2 8.8, 동계에 죽천 8.9, 춘계에 구만2 8.7로 가장 높았고, 하계와 추계, 동계에 강사가 각각 7.8, 7.8, 7.6, 춘계에 송도 8.3으로 가장 낮았다. 염분은 하계에 칠포 34.2 psu, 추계에 석병 36.0 psu, 동계와 춘계에 구만2가 각각 37.3 psu, 37.5 psu로 가장 높았고, 하계와 동계, 춘계에 송도가 각각 26.7 psu, 34.3 psu, 32.5 psu, 추계에 입암 30.1 psu로 가장 낮았다. 해양환경의 계절별 변화폭은 수온에서 송도가 가장 컸으며, pH와 염분은 정점 간에 유사하였다(Table 5).

외·내해역의 평균 수온은 외해역 18.0℃, 내해역 18.5℃, pH는 외해역 8.4, 내해역 8.5, 염분은 외해역 35.3 psu, 내해역 33.4 psu로 수온과 pH는 유사하였으며 염분은 내해역에서 약간 낮았다(Table 5).

Table 5. Water temperature, pH, and salinity measured at the study sites during the survey period

Site	Water temperature (°C)					pH					Salinity (psu)				
	Su.	Au.	Wi.	Sp.	Mean	Su.	Au.	Wi.	Sp.	Mean	Su.	Au.	Wi.	Sp.	Mean
SB	24.6	19.0	9.5	16.6	17.4	8.1	8.1	8.2	8.7	8.3	33.2	36.0	36.4	36.5	35.5
GS	25.1	18.4	10.3	16.5	17.6	7.8	7.8	7.6	8.3	7.9	32.6	35.5	36.8	36.5	35.4
DB 1	24.9	16.6	9.7	17.6	17.2	8.2	8.5	8.5	8.6	8.5	32.4	35.3	36.8	36.6	35.3
DB 2	25.0	18.1	8.4	17.6	17.3	8.1	8.4	8.5	8.7	8.4	30.9	34.7	36.9	36.6	34.8
GM 1	25.2	17.9	10.3	20.2	18.4	8.3	8.6	8.7	8.3	8.5	32.5	35.3	36.8	36.8	35.3
GM 2	25.2	18.3	10.8	22.8	19.3	8.4	8.8	8.8	8.7	8.7	30.0	35.1	37.3	37.5	35.0
GM 3	25.4	18.7	10.3	18.8	18.3	8.3	8.6	8.6	8.6	8.5	28.2	35.0	36.9	36.7	34.2
CP	25.7	19.5	11.0	18.2	18.6	8.5	8.5	8.5	8.3	8.4	34.2	35.4	36.9	36.7	35.8
Outer	25.1	18.3	10.0	18.5	18.0	8.2	8.4	8.4	8.5	8.4	32.3	35.3	36.8	36.7	35.3
MS	25.5	18.8	10.5	20.0	18.7	8.4	8.7	8.9	8.6	8.6	29.2	34.7	36.9	36.9	34.4
IA	25.5	18.0	8.7	19.5	17.9	8.3	8.7	8.8	8.6	8.6	29.8	30.1	36.4	36.8	33.3
IG	26.2	19.2	8.8	19.7	18.5	8.3	8.7	8.7	8.6	8.6	30.3	31.1	36.7	36.7	33.7
SD	27.8	21.8	9.6	17.2	19.1	8.1	8.3	8.3	8.3	8.2	26.7	30.3	34.3	32.5	30.9
JC	25.6	19.9	10.5	18.4	18.6	8.1	8.6	8.9	8.3	8.5	31.8	33.2	36.5	35.0	34.1
Inner	26.0	19.4	9.7	18.9	18.5	8.3	8.6	8.7	8.5	8.5	29.3	32.4	36.3	35.8	33.4
Mean	25.5	18.8	9.9	18.7	18.2	8.2	8.5	8.5	8.5	8.4	30.9	34.0	36.6	36.3	34.4

\*Su, Summer; Au, Autumn; Wi, Winter; Sp, Spring

SB, Seokbyeong; GS, Gangsa; DB 1, Daebo 1; DB 2, Daebo 2; GM 1, Guman 1; GM 2, Guman 2;

GM 3, Guman 3; MS, Masan; IA, Ibam; IG, Imgok; SD, Songdo; JC, Jukcheon; CP, Chilpo

## 2. 해조 군집

### 1) 종조성

영일만 주변 연안의 13개 조간대 정점에서 연구 기간 내 출현한 해조류는 녹조류 28종, 갈조류 31종, 홍조류 130종으로 총 189종이었다. 계절별 출현종수는 하계 114종, 추계 108종, 동계 128종, 춘계 113종으로 동계에 가장 많았고, 추계에 가장 적었다. 정점별 출현종은 45-112종으로 칠포가 녹조류 15종, 갈조류 21종, 홍조류 76종이 출현하여 총 112종으로 가장 많았고, 송도가 녹조류 12종, 갈조류 5종, 홍조류 28종이 출현하여 총 45종으로 가장 적었다 (Fig. 4). 분류군별 출현 비율은 녹조류 12.4-18.4%, 갈조류 11.4-18.6%, 홍조류 69.0-71.3% 범위로 홍조류의 출현 비율이 가장 높았다.

전 해역에 걸쳐 출현한 종은 솜대마디말(*Cladophora albida*), 구멍갈파래(*Ulva australis*), 납작파래(*U. compressa*), 창자파래(*U. intestinalis*), 잎파래(*U. linza*), 경단구슬모자반(*Sargassum muticum*), 마디털(*Stylonema alsidii*), 갯불꽃(*Erythrocladia irregularis*), 두줄붉은털(*Erythrotrichia biseriata*), 붉은털(*E. carnea*), 굽은붉은털(*E. reflexa*), 갯불꽃사촌(*Sahlingia subintegra*), 우뚝가사리(*Gelidium elegans*), 돌가사리(*Chondracanthus tenellus*), 부챗살(*Ahnfeltiopsis flabelliformis*), 무절산호말류 등 녹조류 5종, 갈조류 1종, 홍조류 10종으로 총 16종이었다.

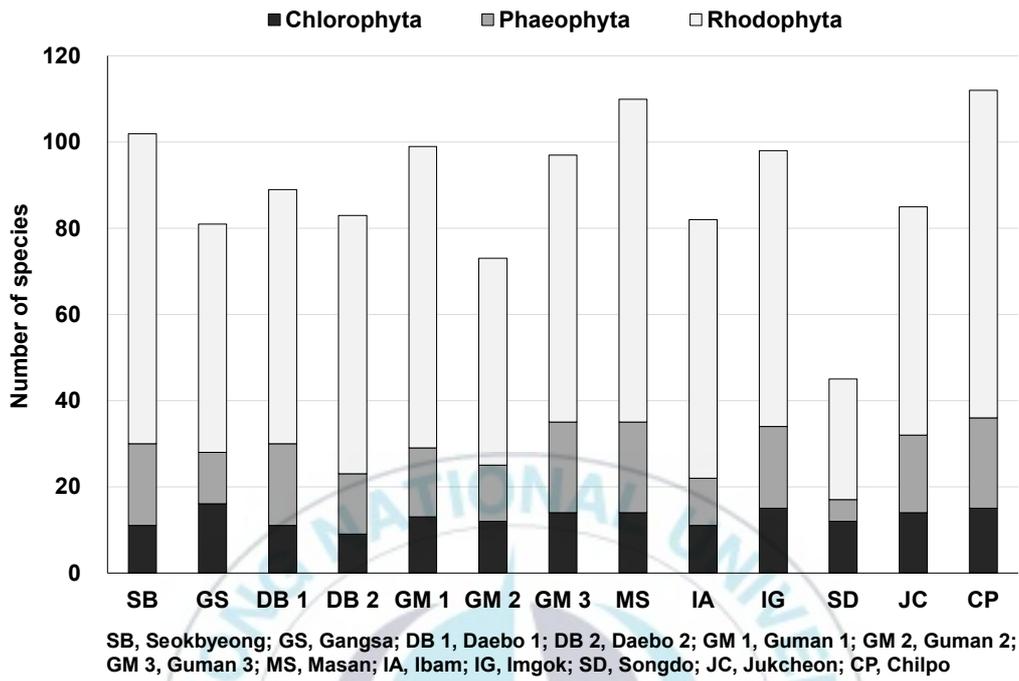


Fig. 4. Total number of marine algal species of study sites in Yeongil Bay.

## 2) 평균 생물량

영일만 연안의 평균 생물량은 녹조류 173.73 g/m<sup>2</sup>, 갈조류 348.03 g/m<sup>2</sup>, 홍조류 310.92 g/m<sup>2</sup>로 총 832.68 g/m<sup>2</sup>이었다. 계절별 평균 생물량은 하계 684.33 g/m<sup>2</sup>, 추계 558.59 g/m<sup>2</sup>, 동계 1,065.75 g/m<sup>2</sup>, 춘계 1,030.95 g/m<sup>2</sup>로 동계에 가장 높았고, 추계에 가장 낮았다. 정점별 평균 생물량은 24.62-119.68 g/m<sup>2</sup>로 구만3이 녹조류 12.87 g/m<sup>2</sup>, 갈조류 74.39 g/m<sup>2</sup>, 홍조류 32.42 g/m<sup>2</sup>로 확인되어 총 119.68 g/m<sup>2</sup>로 가장 높았고, 송도가 녹조류 12.62 g/m<sup>2</sup>, 홍조류 12.01 g/m<sup>2</sup>로 확인되어 총 24.62 g/m<sup>2</sup>로 가장 낮았다. 영일만 해역의 분류군별 평균 생물량 비율은 녹조류 13.2-36.6%, 갈조류 27.2-51.0%, 홍조류 34.7-45.1%로 녹조류와 갈조류의 생물량 비율이 높았다(Fig. 5).

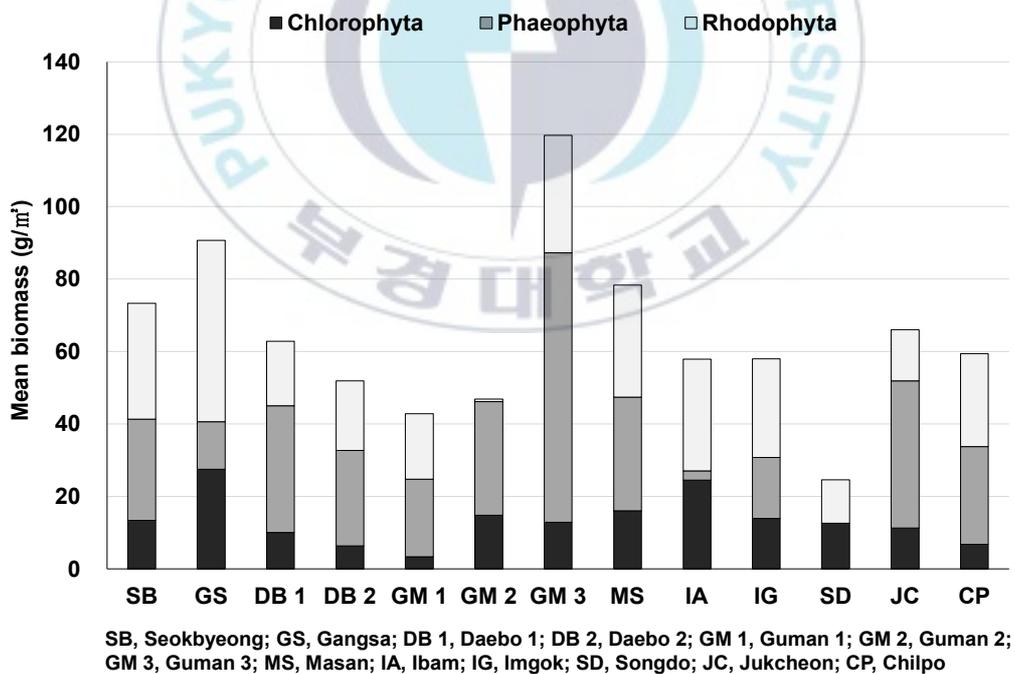


Fig. 5. Mean biomass of study sites in Yeongil Bay.

### 3) 우점종

영일만 연안의 출현종에서 생물량과 중요도 기준으로 분석된 우점종은 구멍갈파래, 경단구슬모자반, 지충이(*Sar. thunbergii*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*) 등으로 유사하였다. 생물량 기준으로 분석된 우점종 상위 5종은 지충이, 경단구슬모자반, 구멍갈파래, 작은구슬산호말, 왜모자반(*Sar. yezoense*) 순으로 높았고, 계절별로 하계를 제외하고 경단구슬모자반과 지충이가 최우점하였다(Table 6). 정점별로 석병, 대보1, 대보2, 구만1, 마산에서 경단구슬모자반이 각각 166.93 g/m<sup>2</sup> (17.5%), 215.61 g/m<sup>2</sup> (26.4%), 179.82 g/m<sup>2</sup> (26.6%), 193.87 g/m<sup>2</sup> (34.8%), 161.50 g/m<sup>2</sup> (16.1%), 강사와 임곡에서 구멍갈파래가 각각 119.55 g/m<sup>2</sup> (10.1%), 101.91 g/m<sup>2</sup> (13.4%), 구만2와 죽천에서 지충이가 각각 396.95 g/m<sup>2</sup> (65.1%), 395.01 g/m<sup>2</sup> (45.4%), 구만3에서 왜모자반이 341.16 g/m<sup>2</sup> (21.8%), 입암에서 지네지누아리(*Grateloupia asiatica*)가 118.41 g/m<sup>2</sup> (15.6%), 송도에서 납작파래가 69.36 g/m<sup>2</sup> (21.0%), 칠포에서 작은구슬산호말이 115.73 g/m<sup>2</sup> (15.0%)로 최우점하였다(Appendix 2-5).

중요도 기준으로 분석된 우점종 상위 5종은 구멍갈파래, 납작파래, 지충이, 작은구슬산호말, 경단구슬모자반 순으로 높았고, 계절별로 구멍갈파래, 납작파래와 같은 파래류가 최우점하였다(Table 7). 정점별로 석병, 대보1, 임곡, 송도, 죽천, 칠포에서 구멍갈파래가 각각 21.4%, 14.9%, 17.1%, 24.0%, 17.1%, 16.0%, 강사에서 붉은까막살(*G. cornea*)이 22.4%, 대보2와 구만2에서 지충이가 각각 13.8%, 30.4%, 구만1에서 경단구슬모자반이 12.4%, 구만3에서 왜모자반이 12.9%, 마산에서 덩불가시우무(*Hypnea flexicaulis*)가 11.9%, 입암에서 납작파래가 14.6%로 최우점하였다.

Table 6. Top 5 dominant marine algal species according to biomass in Yeongil Bay

Rank	Species	Biomass (g/m <sup>3</sup> )	Ratio (%)
<b>Summer</b>			
1	<i>Ulva australis</i>	1,074.76	12.1
2	<i>Ulva compressa</i>	1,022.91	11.5
3	<i>Sargassum thunbergii</i>	990.33	11.1
4	<i>Hypnea flexicaulis</i>	854.57	9.6
5	<i>Corallina pilulifera</i>	846.38	9.5
<b>Autumn</b>			
1	<i>Sargassum thunbergii</i>	888.15	12.2
2	<i>Ulva australis</i>	829.82	11.4
3	<i>Sargassum muticum</i>	644.01	8.9
4	<i>Hypnea flexicaulis</i>	635.01	8.7
5	<i>Corallina pilulifera</i>	601.34	8.3
<b>Winter</b>			
1	<i>Sargassum muticum</i>	1,938.20	14.0
2	<i>Sargassum thunbergii</i>	1,809.00	13.1
3	<i>Sargassum horneri</i>	859.43	6.2
4	<i>Ulva australis</i>	563.82	4.1
5	<i>Pyropia suborbiculata</i>	533.90	3.9
<b>Spring</b>			
1	<i>Sargassum muticum</i>	1,970.30	14.7
2	<i>Sargassum thunbergii</i>	1,225.19	9.1
3	<i>Ulva australis</i>	1,190.40	8.9
4	<i>Grateloupia asiatica</i>	655.43	4.9
5	<i>Sargassum yezoense</i>	551.72	4.1
<b>Total</b>			
1	<i>Sargassum thunbergii</i>	4,912.67	11.3
2	<i>Sargassum muticum</i>	4,701.86	10.8
3	<i>Ulva australis</i>	3,658.81	8.4
4	<i>Corallina pilulifera</i>	2,413.51	5.6
5	<i>Sargassum yezoense</i>	2,068.20	4.8

Table 7. Top 5 dominant marine algal species based on important value (IV) in Yeongil Bay

Rank	Species	VI (%)
<b>Summer</b>		
1	<i>Ulva compressa</i>	20.0
2	<i>Ulva australis</i>	11.2
3	<i>Hypnea flexicaulis</i>	9.4
4	<i>Sargassum thunbergii</i>	6.5
5	<i>Corallina pilulifera</i>	6.1
<b>Autumn</b>		
1	<i>Ulva australis</i>	21.6
2	<i>Ulva compressa</i>	7.1
3	<i>Corallina pilulifera</i>	6.9
4	<i>Sargassum thunbergii</i>	6.5
5	<i>Hypnea flexicaulis</i>	6.0
<b>Winter</b>		
1	<i>Ulva australis</i>	12.7
2	<i>Sargassum muticum</i>	6.2
3	<i>Sargassum thunbergii</i>	6.0
4	<i>Corallina pilulifera</i>	4.0
5	<i>Grateloupia asiatica</i>	4.0
<b>Spring</b>		
1	<i>Ulva australis</i>	15.2
2	<i>Sargassum thunbergii</i>	7.1
3	<i>Ulva intestinalis</i>	7.1
4	<i>Sargassum muticum</i>	6.9
5	<i>Cladophora albida</i>	5.6
<b>Total</b>		
1	<i>Ulva australis</i>	15.2
2	<i>Ulva compressa</i>	7.2
3	<i>Sargassum thunbergii</i>	6.5
4	<i>Corallina pilulifera</i>	5.1
5	<i>Sargassum muticum</i>	4.7

#### 4) 생태지수

영일만 연안 해조 군집의 생태지수는 풍부도 18.650, 균등도 0.854, 다양도 4.200, 우점도 0.020이었다. 풍부도에서 칠포가 19.490으로 가장 높았고, 송도가 8.994로 가장 낮았다. 균등도에서 강사가 0.834로 가장 높았고, 구만2가 0.599로 가장 낮았다. 다양도에서 구만1이 3.709로 가장 높았고, 구만2가 2.570으로 가장 낮았다. 우점도에서 구만2가 0.129로 가장 높았고, 강사가 0.030으로 가장 낮았다(Table 8).

계절 및 정점별로 풍부도는 하계 4.273-12.410, 추계 5.808-12.030, 동계 6.564-15.680, 춘계 6.850-15.050 사이의 범위였으며, 하계에는 마산, 추계에는 구만1, 동계와 춘계에는 칠포에서 가장 높았고, 모든 계절에서 송도가 가장 낮았다. 균등도는 하계 0.468-0.761, 추계 0.485-0.794, 동계 0.554-0.812, 춘계 0.561-0.830 사이의 범위였으며, 하계와 추계에는 구만3, 동계에는 구만1, 춘계에는 강사가 가장 높았고, 하계에는 송도, 추계와 동계, 춘계에는 구만2에서 가장 낮았다. 다양도는 하계 1.297-2.864, 추계 1.789-3.122, 동계 2.096-3.390, 춘계 1.906-3.307 사이의 범위였으며, 하계와 추계에는 구만3, 동계에는 구만1, 춘계에는 임곡이 가장 높았고, 하계에는 송도, 추계와 동계, 춘계에는 구만2가 가장 낮았다. 우점도는 하계 0.072-0.330, 추계 0.059-0.288, 동계 0.042-0.205, 춘계 0.044-0.205 사이의 범위였으며, 하계에는 송도가, 추계와 동계, 춘계에는 구만2가 가장 높았고, 하계와 추계, 동계까지 구만3, 춘계에는 석병이 가장 낮았다(Appendix 1).

정점별 K-dominance curves에서 구만2, 죽천, 송도 순으로 해조 군집 안정도가 가장 낮았다(Fig. 6). 이는 각 정점의 전체 생물량에서 구만2는 지층이 65.1%, 죽천은 지층이 45.4%, 작은구슬산호말 10.7%, 송도는 납작파래 21.0%, 미끌도박(*G. turuturu*) 19.5%, 구멍갈파래 11.4%로 소수의 해조류가 전체 생물량의 50% 이상을 우점하여 해조 군집이 불안정한 것으로 확인되었다. 또한, 세 정점은 다른 정점과 비교하여 다양도가 낮았고, 우점도가 높았다(Fig. 6).

Table 8. Ecological indices of study sites in Yeongil Bay

Site	Richness	Evenness	Diversity	Dominance
Seokbyeong	17.400	0.777	3.593	0.035
Gangsa	13.380	0.834	3.663	0.030
Daebo 1	15.790	0.748	3.356	0.047
Daebo 2	15.160	0.734	3.244	0.054
Guman 1	17.700	0.807	3.709	0.035
Guman 2	14.620	0.599	2.570	0.129
Guman 3	15.790	0.807	3.692	0.033
Masan	18.720	0.781	3.673	0.035
Ibam	14.330	0.803	3.540	0.037
Imgok	16.900	0.803	3.682	0.031
Songdo	8.994	0.722	2.750	0.075
Jukcheon	15.290	0.730	3.242	0.059
Chilpo	19.490	0.765	3.610	0.035
Total	18.650	0.854	4.200	0.020

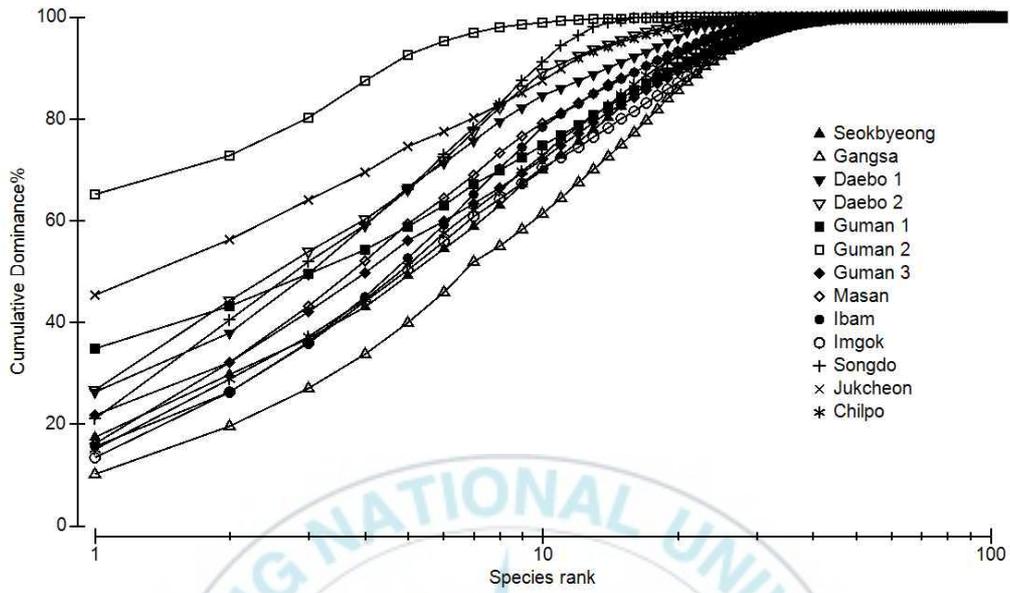
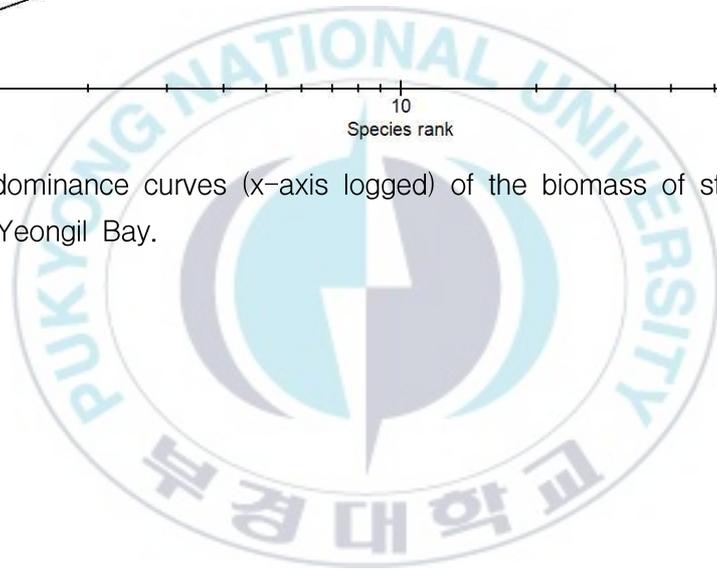


Fig. 6. K-dominance curves (x-axis logged) of the biomass of study sites in Yeongil Bay.



## 5) 계절별 균집 구조

### (1) 생물량

영일만 출현종에서 생물량의 계절별 차이는 one-way ANOSIM 분석 결과 유의하였다(global- $R = .262$ ,  $P < .05$ ). SIMPER 분석 결과 계절별 그룹 내 유사도는 하계 26.6%, 추계 29.2%, 동계 30.8%, 춘계 33.9%로 춘계에 유사도가 가장 높았다. 계절별 유사도에서 누적 기여도 50% 기여종은 모든 계절에서 구멍갈파래가 확인되었으며, 지충이, 경단구슬모자반, 가시우무, 부챗살, 지네지누아리, 잎파래 등이 계절별로 기여도가 높았다(Table 9).

계절별 그룹의 비유사도는 70.0-81.7%로 높았으며, 비유사도에서 기여도가 높은 종은 주로 지충이, 경단구슬모자반 등 모자반류(*Sar. spp.*)였다. 계절별로 비유사도에서 누적 기여도 50% 기여종은 하계와 추계에서 지충이, 납작파래, 작은구슬산호말 등 12종, 하계와 동계 및 하계와 춘계에서 지충이, 경단구슬모자반, 납작파래 등 각각 17종, 14종, 추계와 동계 및 추계와 춘계에서 지충이, 경단구슬모자반, 작은구슬산호말 등 각각 17종, 15종, 동계와 춘계에서 지충이, 경단구슬모자반, 팽생이모자반(*Sar. horneri*) 등 18종으로 확인되었다(Table 10).

Table 9. List of marine algae contributing to 50% seasonal similarity by season according to biomass

Group	Av. Sim. (%)	Species	Contrib. (%)
Summer	26.6	<i>Ulva compressa</i>	18.6
		<i>Ulva australis</i>	16.4
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	14.3
		<i>Sargassum thunbergii</i>	10.1
Autumn	29.2	<i>Ulva australis</i>	20.4
		<i>Corallina pilulifera</i>	10.2
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	9.8
		<i>Sargassum thunbergii</i>	7.8
		<i>Sargassum muticum</i>	6.8
Winter	30.8	<i>Ulva australis</i>	12.5
		<i>Sargassum muticum</i>	9.8
		<i>Sargassum thunbergii</i>	5.9
		<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	5.0
		<i>Grateloupia asiatica</i>	4.3
		<i>Ulva linza</i>	4.3
		<i>Cladophora albida</i>	4.1
		<i>Grateloupia turuturu</i>	3.8
		<i>Chondrus ocellatus</i>	3.8
Spring	33.9	<i>Ulva australis</i>	18.0
		<i>Sargassum muticum</i>	10.4
		<i>Ulva linza</i>	6.3
		<i>Grateloupia asiatica</i>	6.0
		<i>Ulva intestinalis</i>	5.6
		<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	4.7

Table 10. Top 5 marine algae contributing to seasonal dissimilarity according to biomass

Group	Av. Diss. (%)	Species	Contrib. (%)
Summer vs. Autumn	73.9	<i>Sargassum thunbergii</i>	6.8
		<i>Ulva compressa</i>	6.2
		<i>Corallina pilulifera</i>	5.6
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	5.4
		<i>Ulva australis</i>	5.3
Summer vs. Winter	81.7	<i>Sargassum thunbergii</i>	5.7
		<i>Sargassum muticum</i>	5.3
		<i>Ulva compressa</i>	4.3
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	3.8
		<i>Corallina pilulifera</i>	3.6
Summer vs. Spring	78.8	<i>Sargassum muticum</i>	5.8
		<i>Sargassum thunbergii</i>	5.7
		<i>Ulva compressa</i>	4.6
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	4.1
		<i>Ulva australis</i>	4.1
Autumn vs. Winter	75.2	<i>Sargassum thunbergii</i>	6.1
		<i>Sargassum muticum</i>	5.8
		<i>Corallina pilulifera</i>	3.7
		<i>Sargassum horneri</i>	3.5
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	3.1
Autumn vs. Spring	72.8	<i>Sargassum muticum</i>	6.2
		<i>Sargassum thunbergii</i>	6.1
		<i>Corallina pilulifera</i>	3.9
		<i>Grateloupia asiatica</i>	3.7
		<i>Ulva australis</i>	3.5
Winter vs. Spring	70.0	<i>Sargassum thunbergii</i>	5.8
		<i>Sargassum muticum</i>	5.7
		<i>Sargassum horneri</i>	3.6
		<i>Grateloupia asiatica</i>	3.1
		<i>Corallina pilulifera</i>	2.9

## (2) 중요도

영일만 출현종에서 중요도의 계절별 차이는 one-way ANOSIM 분석 결과 유의하였다(global- $R = .315$ ,  $P < .05$ ). SIMPER 분석 결과 계절별 그룹 내 유사도는 하계 28.6%, 추계 30.5%, 동계 31.6%, 춘계 33.9%로 춘계에 유사도가 가장 높았다. 계절별 유사도에서 누적 기여도 50% 기여종은 모든 계절에서 구멍갈파래가 확인되었으며, 작은구슬산호말, 경단구슬모자반 등이 계절별로 기여도가 높았다(Table 11).

계절별 그룹의 비유사도는 69.5-82.3%로 높았으며, 비유사도에서 기여도가 높은 종은 주로 납작파래, 구멍갈파래 등 파래류였다. 계절별로 비유사도에서 누적 기여도 50% 기여종은 하계와 추계 및 하계와 동계에서 납작파래, 구멍갈파래, 덩불가시우무 등 각각 8종, 12종, 하계와 춘계에서 납작파래, 구멍갈파래, 지충이 등 9종, 추계와 동계에서 구멍갈파래, 지충이, 작은구슬산호말 등 12종, 추계와 춘계에서 구멍갈파래, 지충이, 솜대마디말 등 10종, 동계와 춘계에서 지충이, 구멍갈파래, 경단구슬모자반 등 12종으로 확인되었다(Table 12).

Table 11. List of marine algae contributing to 50% seasonal similarity according to important value (IV)

Group	Av. Sim. (%)	Species	Contrib. (%)
Summer	28.6	<i>Ulva compressa</i>	37.7
		<i>Ulva australis</i>	15.1
Autumn	30.5	<i>Ulva australis</i>	43.7
		<i>Corallina pilulifera</i>	7.4
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	6.4
Winter	31.6	<i>Ulva australis</i>	26.4
		<i>Sargassum muticum</i>	7.4
		<i>Ulva linza</i>	5.1
		<i>Sargassum thunbergii</i>	4.7
		<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	4.1
		<i>Corallina pilulifera</i>	4.0
Spring	33.9	<i>Ulva australis</i>	31.4
		<i>Sargassum muticum</i>	8.2
		<i>Ulva intestinalis</i>	7.2
		<i>Grateloupia asiatica</i>	5.4

Table 12. Top 5 marine algae contributing to dissimilarity according to important value (IV)

Group	Av. Diss. (%)	Species	Contrib. (%)
Summer vs. Autumn	73.3	<i>Ulva compressa</i>	12.8
		<i>Ulva australis</i>	11.5
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	6.7
		<i>Sargassum thunbergii</i>	6.3
		<i>Corallina pilulifera</i>	5.6
Summer vs. Winter	82.3	<i>Ulva compressa</i>	11.9
		<i>Ulva australis</i>	7.0
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	5.6
		<i>Sargassum thunbergii</i>	5.3
		<i>Corallina pilulifera</i>	4.0
Summer vs. Spring	80.8	<i>Ulva compressa</i>	12.2
		<i>Ulva australis</i>	7.6
		<i>Sargassum thunbergii</i>	6.2
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	5.8
		<i>Ulva intestinalis</i>	4.7
Autumn vs. Winter	74.6	<i>Ulva australis</i>	9.8
		<i>Sargassum thunbergii</i>	5.9
		<i>Corallina pilulifera</i>	4.8
		<i>Ulva compressa</i>	4.5
		<i>Sargassum muticum</i>	4.4
Autumn vs. Spring	71.6	<i>Ulva australis</i>	9.2
		<i>Sargassum thunbergii</i>	7.0
		<i>Cladophora albida</i>	5.4
		<i>Ulva intestinalis</i>	5.0
		<i>Sargassum muticum</i>	4.9
Winter vs. Spring	69.5	<i>Sargassum thunbergii</i>	6.9
		<i>Ulva australis</i>	6.8
		<i>Sargassum muticum</i>	5.4
		<i>Ulva intestinalis</i>	5.0
		<i>Cladophora albida</i>	4.5

## 6) 유사도 분석

영일만 13개 정점에서 출현한 해조류의 전체 생물량에 대한 유사도 분석 결과 네 개의 그룹으로 구별되었다. SIMPER 분석 결과 A 그룹은 유사도 51.9%이며 구만2와 죽천, B 그룹은 유사도 52.7%이며 구만3과 칠포, C 그룹은 유사도 54.7%이며 대보1, 대보2, 구만1, 마산, D 그룹은 유사도 52.4%이며 석병, 강사, 입암, 임곡으로 그룹 간의 유사도는 비슷하였다(Fig. 7).

A, B, C 그룹은 지충이, 왜모자반, 경단구슬모자반 등이 높은 기여도를 보였고, D 그룹은 구멍갈파래가 높은 기여도를 보였다. 그룹 내 유사성 누적 기여도 50% 기여종은 A 그룹은 지충이, 구멍갈파래 등 2종, B 그룹은 왜모자반, 작은구슬산호말, 팽생이모자반 등 8종, C 그룹은 경단구슬모자반, 덩불가시우무, 지충이 등 7종, D 그룹은 구멍갈파래, 붉은까막살, 작은구슬산호말 등 9종으로 확인되었다(Table 13).

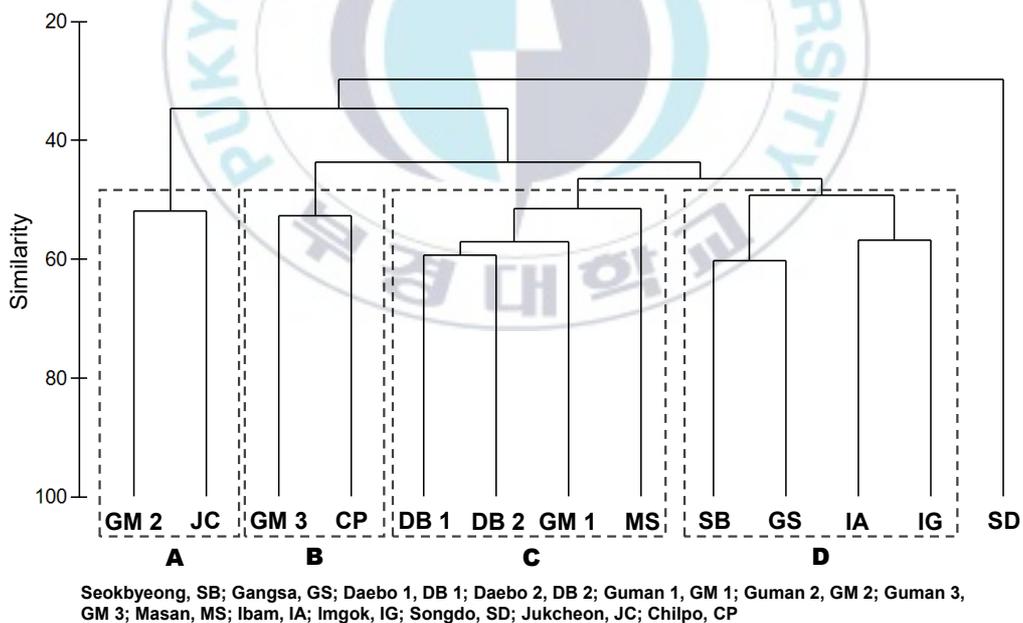


Fig. 7. Similarity of study sites in Yeongil Bay.

Table 13. List of marine algae contributing to 50% similarity by study sites according to biomass

Group	Av. Sim. (%)	Species	Contrib. (%)
A	51.9	<i>Sargassum thunbergii</i>	40.2
		<i>Ulva australis</i>	13.9
B	52.7	<i>Sargassum yezoense</i>	10.7
		<i>Corallina pilulifera</i>	10.3
		<i>Sargassum horneri</i>	7.5
		<i>Ulva australis</i>	5.2
		<i>Sargassum confusum</i>	5.1
		<i>Dictyopteris prolifera</i>	4.7
		<i>Dictyota dichotoma</i>	4.3
		<i>Leathesia marina</i>	4.1
C	54.7	<i>Sargassum muticum</i>	18.0
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	8.2
		<i>Sargassum thunbergii</i>	7.5
		<i>Ulva australis</i>	6.2
		<i>Grateloupia asiatica</i>	4.9
		<i>Ulva intestinalis</i>	3.9
		<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	3.4
D	52.4	<i>Ulva australis</i>	11.2
		<i>Grateloupia cornea</i>	6.2
		<i>Corallina pilulifera</i>	5.8
		<i>Gelidium elegans</i>	5.0
		<i>Sargassum horneri</i>	4.7
		<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	4.6
		<i>Grateloupia asiatica</i>	4.3
<i>Ulva linza</i>	4.2		
		<i>Undaria pinnatifida</i>	4.1

### 3. 영일만 외해역과 내해역의 해조 군집

#### 1) 종구성

영일만 외해역(석빙, 강사, 대보1-2, 구만1-2, 칠포)에서 연구 기간 내 출현한 해조류는 녹조류 25종, 갈조류 27종, 홍조류 114종으로 총 166종이었다. 계절별 출현종수는 하계 81종, 추계 91종, 동계 119종, 춘계 96종으로 동계에 가장 많았고, 하계에 가장 적었다(Fig. 8). 외해역의 분류군별 출현 비율은 녹조류 11.5-21.0%, 갈조류 9.9-18.8%, 홍조류 69.1-70.6% 범위로 홍조류의 출현 비율이 가장 높았다. 외해역에서만 출현한 종은 녹조류 4종, 갈조류 2종, 홍조류 23종으로 총 29종이었으며(Table 14), 엇깃풀(*Aglaothamnion callophyllidicola*), 애기참깃풀사촌(*Antithamnionella breviramosa*), 누은비단풀(*Ceramium nakamurae*), 흑부리명주비단풀(*Gayliella fimbriata*), 깃가지다홍풀(*Dasya collabens*), 잔디거미줄(*Herposiphonia caespitosa*), 민털거미줄(*H. nuda*), 기는거미줄(*H. parca*), 반달타래(*Leveillea jungermanniioides*) 등 미세 홍조류의 출현이 내해역에 비해 많았다.

영일만 내해역(구만3, 마산, 입암, 임곡, 송도, 죽천)에서 연구 기간 내 출현한 해조류는 녹조류 24종, 갈조류 29종, 홍조류 107종으로 총 160종이었다. 계절별 출현종수는 하계 95종, 추계 84종, 동계 106종, 춘계 94종으로 동계에 가장 많았고, 추계에 가장 적었다(Fig. 8). 내해역의 분류군별 출현 비율은 녹조류 11.7-17.9%, 갈조류 13.7-22.3%, 홍조류 66.0-69.0% 범위로 홍조류의 출현 비율이 가장 높았다. 내해역에서만 출현한 종은 녹조류 3종, 갈조류 4종, 홍조류 16종으로 총 23종이었다(Table 14).

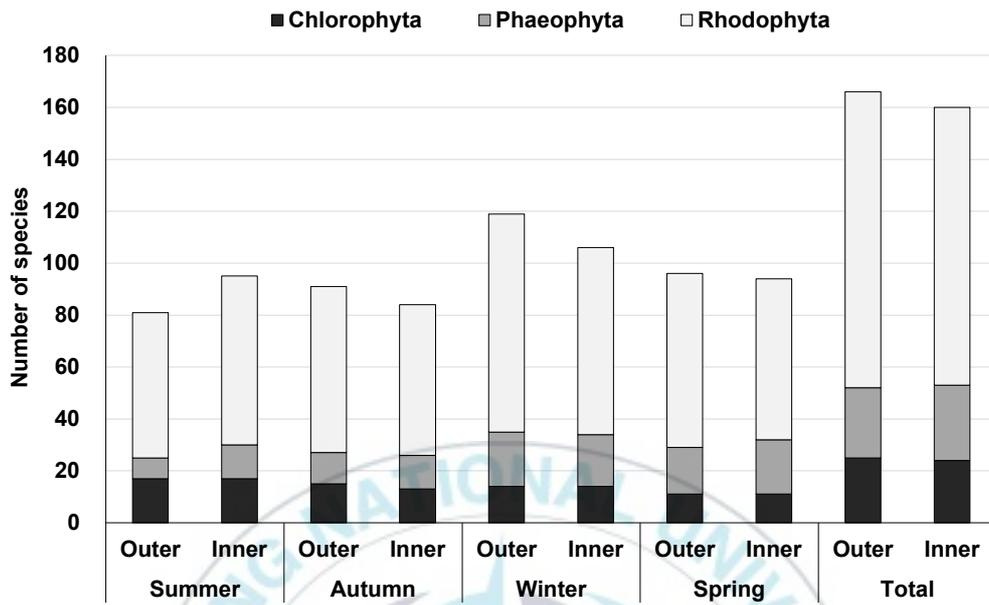


Fig. 8. Number of marine algal species in outer and inner bays of Yeongil Bay.

Table 14. List of marine algae that appeared in each of the outer and inner bays

Species	Outer bay	Inner bay
<b>Chlorophyta</b>		
<i>Derbesia tenuissima</i>		+
<i>Chaetomorpha crassa</i>	+	
<i>Chaetomorpha linum</i>		+
<i>Cladophora rupestris</i>		+
<i>Collinsiella cava</i>	+	
<i>Umbraulva japonica</i>	+	
<i>Ulveella viridis</i>	+	
<b>Phaeophyta</b>		
<i>Dictyopteris divaricata</i>		+
<i>Ectocarpus</i> sp.		+
<i>Elachista</i> sp.	+	
<i>Sargassum fusiforme</i>		+
<i>Sargassum micracanthum</i>	+	
<i>Sargassum miyabei</i>		+
<b>Rhodophyta</b>		
<i>Bangia fuscopurpurea</i>	+	
<i>Amphiroa anceps</i>	+	
<i>Lithophyllum okamurae</i>	+	
<i>Acrochaetium densum</i>	+	
<i>Rhodochorton purpureum</i>		+
<i>Colaconema</i> sp.		+
<i>Nemalion vermiculare</i>		+
<i>Aglaothamnion callophyllidicola</i>	+	
<i>Antithamnion nipponicum</i>		+
<i>Antithamnionella breviramosa</i>	+	
<i>Campylaephora hypnaeoides</i>		+
<i>Ceramium kondoi</i>		+
<i>Ceramium nakamurae</i>	+	
<i>Gayliella fimbriata</i>	+	

Table 14. continued

Species	Outer bay	Inner bay
<i>Herpochondria dentata</i>		+
<i>Dasya collabens</i>	+	
<i>Martensia elegans</i>	+	
<i>Phycodrys fimbriata</i>	+	
<i>Schizoseris bombayensis</i>	+	
<i>Herposiphonia caespitosa</i>	+	
<i>Herposiphonia nuda</i>	+	
<i>Herposiphonia parca</i>	+	
<i>Laurencia intercalaris</i>		+
<i>Laurencia succulenta</i>	+	
<i>Leveillea jungermannioides</i>	+	
<i>Neosiphonia decumbens</i>		+
<i>Neosiphonia harlandii</i>	+	
<i>Symphycloadia linearis</i>		+
<i>Hypnea charoides</i>		+
<i>Hypnea saidana</i>		+
<i>Chondracanthus teedei</i>	+	
<i>Chondrus armatus</i>	+	
<i>Portieria japonica</i>	+	
<i>Grateloupia acuminata</i>		+
<i>Grateloupia divaricata</i>		+
<i>Polyopes affinis</i>	+	
<i>Polyopes lancifolius</i>		+
<i>Peyssonnelia caulifera</i>	+	
<i>Champia japonica</i>		+
<b>Chlorophyta</b>	4	3
<b>Phaeophyta</b>	2	4
<b>Rhodophyta</b>	23	16
<b>Total</b>	29	23

## 2) 평균 생물량

외해역의 평균 생물량은 녹조류 612.57 g/m<sup>2</sup>, 갈조류 1,352.80 g/m<sup>2</sup>, 홍조류 1,214.71 g/m<sup>2</sup>로 총 3,180.08 g/m<sup>2</sup>이었다. 계절별 평균 생물량은 하계 730.17 g/m<sup>2</sup>, 추계 471.56 g/m<sup>2</sup>, 동계 912.05 g/m<sup>2</sup>, 춘계 1,066.29 g/m<sup>2</sup>로 춘계에 가장 높았고, 추계에 가장 낮았다(Fig. 9). 분류군별 생물량 비율은 녹조류 12.6-30.6%, 갈조류 28.5-53.4%, 홍조류 33.2-53.4%로 갈조류와 홍조류의 생물량 비율이 높았다.

내해역의 평균 생물량은 녹조류 828.83 g/m<sup>2</sup>, 갈조류 1,430.53 g/m<sup>2</sup>, 홍조류 1,266.40 g/m<sup>2</sup>로 총 3,525.76 g/m<sup>2</sup>이었다. 계절별 평균 생물량은 하계 630.85 g/m<sup>2</sup>, 추계 660.12 g/m<sup>2</sup>, 동계 1,245.06 g/m<sup>2</sup>, 춘계 989.72 g/m<sup>2</sup>로 동계에 가장 높았고, 하계에 가장 낮았다(Fig. 9). 분류군별 생물량 비율은 녹조류 13.8-44.6%, 갈조류 25.6-48.9%, 홍조류 29.8-38.1%로 녹조류와 갈조류의 생물량 비율이 높았다.

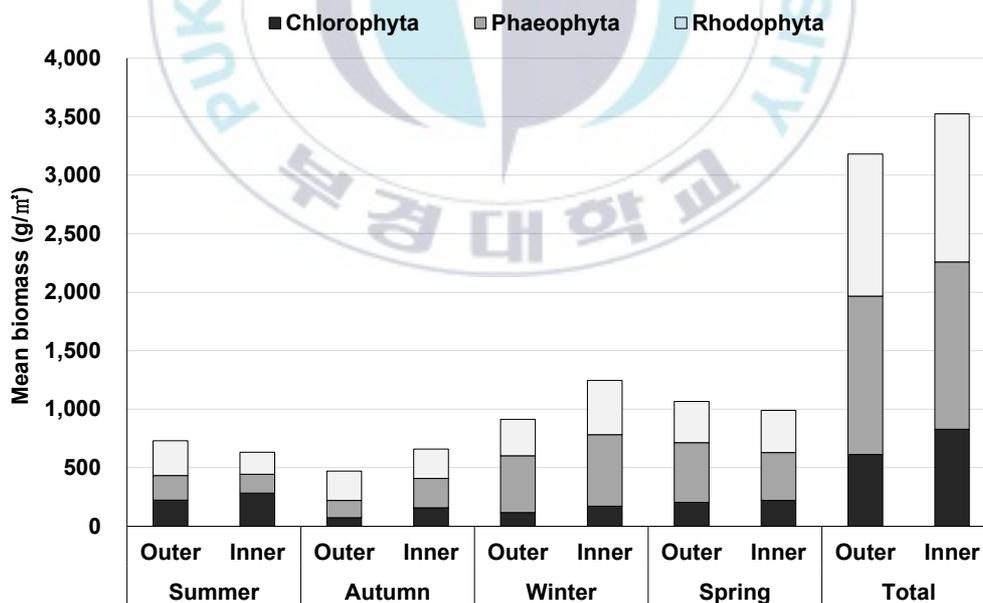


Fig. 9. Mean biomass in the outer and inner bays of Yeongil Bay.

### 3) 우점종

영일만 해역별 출현종에서 생물량 기준으로 분석된 우점종은 외해역에서 모자반류였으며, 내해역에서 파래류였고, 중요도 기준으로 분석된 우점종은 외·내해역에서 대부분 파래류가 우점하였다. 생물량 기준으로 분석된 우점종 상위 5종은 외해역에서 경단구슬모자반, 지충이, 구멍갈파래, 작은구슬산호말, 팽생이모자반 순으로 높았다. 계절별로 하계와 추계는 지충이가 각각  $89.36 \text{ g/m}^2$  (12.2%),  $70.30 \text{ g/m}^2$  (14.9%), 동계와 춘계는 경단구슬모자반이 각각  $181.52 \text{ g/m}^2$  (19.9%),  $206.42 \text{ g/m}^2$  (19.4%)로 최우점하였다. 내해역에서는 지충이, 구멍갈파래, 경단구슬모자반, 왜모자반, 지네지누아리 순으로 높았다. 계절별로 하계는 납작파래  $99.20 \text{ g/m}^2$  (15.7%), 추계와 춘계는 구멍갈파래가 각각  $63.58 \text{ g/m}^2$  (11.2%),  $105.69 \text{ g/m}^2$  (12.5%), 동계는 지충이가  $161.35 \text{ g/m}^2$  (15.1%)로 최우점하였다(Table 15).

해역별 출현종에서 중요도 기준으로 분석된 우점종 상위 5종은 외해역에서 구멍갈파래, 지충이, 경단구슬모자반, 작은구슬산호말, 납작파래 순으로 높았고, 계절별로 하계와 추계는 납작파래가 17.3%, 21.9%, 동계와 춘계는 구멍갈파래가 14.4%, 12.8%로 최우점하였다. 내해역에서는 구멍갈파래, 납작파래, 지네지누아리, 지충이, 작은구슬산호말 순으로 높았고, 계절별로 하계는 납작파래 23.1%, 추계, 춘계와 동계는 구멍갈파래로 각각 11.2%, 15.1%, 12.5%로 최우점하였다(Table 16).

Table 15. Top 5 dominant marine algal species according to biomass in the outer and inner bays

Rank	Outer bay		Inner bay	
	Species	Ratio (%)	Species	Ratio (%)
<b>Summer</b>				
1	<i>Sargassum thunbergii</i>	12.2	<i>Ulva compressa</i>	15.7
2	<i>Corallina pilulifera</i>	12.2	<i>Ulva australis</i>	15.4
3	<i>Hypnea flexicaulis</i>	9.8	<i>Sargassum thunbergii</i>	9.6
4	<i>Ulva australis</i>	9.6	<i>Hypnea flexicaulis</i>	9.3
5	<i>Sargassum yezoense</i>	9.4	<i>Chaetomorpha moniligera</i>	6.3
<b>Autumn</b>				
1	<i>Sargassum thunbergii</i>	14.9	<i>Ulva australis</i>	11.2
2	<i>Corallina pilulifera</i>	13.1	<i>Sargassum thunbergii</i>	10.0
3	<i>Ulva australis</i>	11.7	<i>Hypnea flexicaulis</i>	9.6
4	<i>Sargassum muticum</i>	9.0	<i>Sargassum yezoense</i>	8.8
5	<i>Hypnea flexicaulis</i>	7.7	<i>Sargassum muticum</i>	8.7
<b>Winter</b>				
1	<i>Sargassum muticum</i>	19.9	<i>Sargassum thunbergii</i>	15.1
2	<i>Sargassum thunbergii</i>	10.6	<i>Sargassum muticum</i>	8.9
3	<i>Sargassum horneri</i>	7.9	<i>Pyropia suborbiculata</i>	6.9
4	<i>Undaria pinnatifida</i>	6.0	<i>Capsosiphon fulvescens</i>	6.6
5	<i>Ulva australis</i>	5.4	<i>Sargassum fusiforme</i>	5.0
<b>Spring</b>				
1	<i>Sargassum muticum</i>	19.4	<i>Ulva australis</i>	12.5
2	<i>Sargassum thunbergii</i>	8.7	<i>Sargassum thunbergii</i>	9.6
3	<i>Ulva australis</i>	6.0	<i>Sargassum muticum</i>	8.8
4	<i>Ulva intestinalis</i>	5.6	<i>Sargassum yezoense</i>	8.0
5	<i>Sargassum horneri</i>	4.6	<i>Grateloupia asiatica</i>	7.2
<b>Total</b>				
1	<i>Sargassum muticum</i>	14.0	<i>Sargassum thunbergii</i>	11.6
2	<i>Sargassum thunbergii</i>	11.0	<i>Ulva australis</i>	9.4
3	<i>Ulva australis</i>	7.5	<i>Sargassum muticum</i>	7.5
4	<i>Corallina pilulifera</i>	6.2	<i>Sargassum yezoense</i>	6.5
5	<i>Sargassum horneri</i>	4.1	<i>Grateloupia asiatica</i>	5.5

Table 16. Top 5 dominant marine algal species according to important value (IV) in the outer and inner bays

Rank	Outer bay		Inner bay	
	Species	IV (%)	Species	IV (%)
<b>Summer</b>				
1	<i>Ulva compressa</i>	17.3	<i>Ulva compressa</i>	23.1
2	<i>Hypnea flexicaulis</i>	11.9	<i>Ulva australis</i>	12.5
3	<i>Ulva australis</i>	10.1	<i>Hypnea flexicaulis</i>	6.4
4	<i>Sargassum thunbergii</i>	8.4	<i>Corallina pilulifera</i>	5.3
5	<i>Corallina pilulifera</i>	6.8	<i>Tsengia lancifolia</i>	5.2
<b>Autumn</b>				
1	<i>Ulva compressa</i>	21.9	<i>Ulva australis</i>	11.2
2	<i>Hypnea flexicaulis</i>	9.8	<i>Ulva compressa</i>	10.0
3	<i>Ulva australis</i>	7.7	<i>Hypnea flexicaulis</i>	9.6
4	<i>Sargassum thunbergii</i>	6.0	<i>Grateloupia asiatica</i>	8.8
5	<i>Corallina pilulifera</i>	5.4	<i>Sargassum thunbergii</i>	8.7
<b>Winter</b>				
1	<i>Ulva australis</i>	14.4	<i>Ulva australis</i>	15.1
2	<i>Sargassum muticum</i>	8.3	<i>Grateloupia asiatica</i>	8.9
3	<i>Sargassum thunbergii</i>	7.1	<i>Ulva linza</i>	6.9
4	<i>Cladophora albida</i>	4.8	<i>Pyropia suborbiculata</i>	6.6
5	<i>Corallina pilulifera</i>	3.6	<i>Sargassum thunbergii</i>	5.0
<b>Spring</b>				
1	<i>Ulva australis</i>	12.8	<i>Ulva australis</i>	12.5
2	<i>Ulva intestinalis</i>	10.0	<i>Grateloupia asiatica</i>	9.6
3	<i>Cladophora albida</i>	9.8	<i>Sargassum thunbergii</i>	8.8
4	<i>Sargassum muticum</i>	9.1	<i>Grateloupia turuturu</i>	8.0
5	<i>Sargassum thunbergii</i>	7.2	<i>Ulva linza</i>	7.2
<b>Total</b>				
1	<i>Ulva australis</i>	14.8	<i>Ulva australis</i>	11.6
2	<i>Sargassum thunbergii</i>	7.6	<i>Ulva compressa</i>	9.4
3	<i>Sargassum muticum</i>	5.8	<i>Grateloupia asiatica</i>	7.5
4	<i>Corallina pilulifera</i>	5.6	<i>Sargassum thunbergii</i>	6.5
5	<i>Ulva compressa</i>	5.3	<i>Corallina pilulifera</i>	5.5

#### 4) 생태지수

외해역 해조 군집의 생태지수는 풍부도 23.790, 균등도 0.807, 다양도 4.126, 우점도 0.021이었다. 계절별로 풍부도와 균등도, 다양도는 동계에 각각 19.030, 0.818, 3.909, 우점도는 춘계 0.031로 가장 높았다. 내해역의 해조 군집 생태지수는 풍부도 22.900, 균등도 0.826, 다양도 4.192, 우점도 0.020이었다. 계절별로 풍부도와 다양도는 동계에 각각 16.800, 3.814, 균등도는 춘계 0.836, 우점도는 동계와 춘계에 0.028로 가장 높았다(Table 17).

외·내해역의 K-dominance curves에서 두 해역의 해조 군집 안정도는 유사하였다(Fig. 10). 각 해역의 전체 생물량에서 경단구슬모자반이 외해역 14.0%, 내해역 7.5%, 지층이가 외해역 11.0%, 내해역 7.5%으로 모자반류가 외해역에서 우점하였고, 구멍갈파래가 외해역 7.5%, 내해역 9.4%으로 내해역에서 우점하였지만, 이 결과는 다른 출현종 간의 생물량 비율이 0.1-7.5% 사이로 유사하였기 때문이었다.

Table 17. Ecological indices of marine algal flora on the outer and inner bays

Indices	Group	Summer	Autumn	Winter	Spring	Mean
<b>Richness</b>	Outer	13.600	15.830	19.030	15.340	23.790
	Inner	16.530	14.190	16.800	15.150	22.900
<b>Evenness</b>	Outer	0.786	0.786	0.818	0.806	0.807
	Inner	0.742	0.825	0.818	0.836	0.826
<b>Diversity</b>	Outer	3.454	3.543	3.909	3.677	4.126
	Inner	3.380	3.655	3.814	3.798	4.192
<b>Dominance</b>	Outer	0.040	0.038	0.026	0.031	0.021
	Inner	0.043	0.033	0.028	0.028	0.020

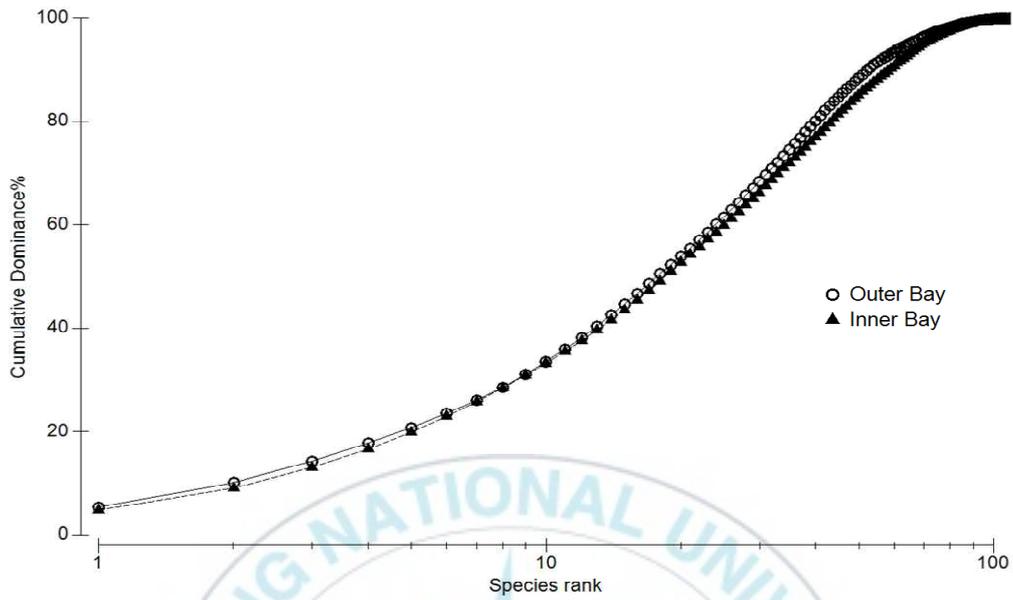
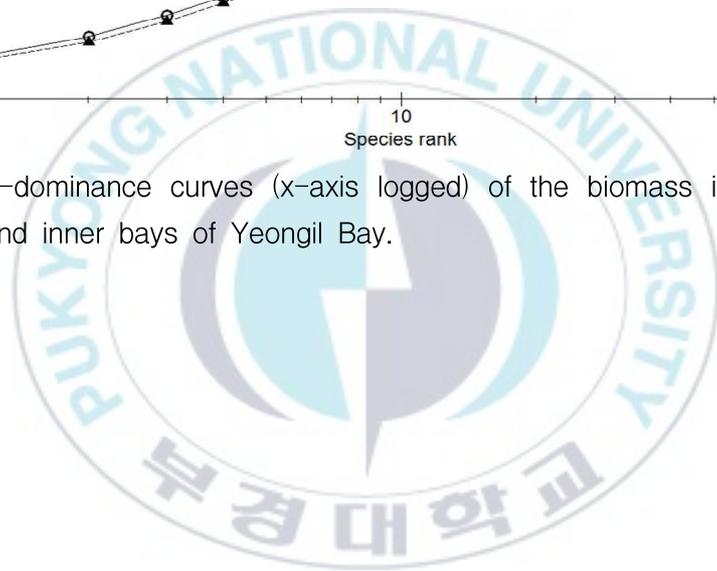


Fig. 10. K-dominance curves (x-axis logged) of the biomass in the outer and inner bays of Yeongil Bay.



## 5) 해역 및 계절별 군집 구조

### (1) 생물량

외·내해역 출현종에서 생물량의 해역별 차이는 two-way ANOSIM 분석 결과 유의하지 않았다(global- $R= .056$ ,  $P> .05$ ). SIMPER 분석 결과 외·내해역의 유사도에서 구멍갈파래, 경단구슬모자반, 작은구슬산호말 등 동일한 9종이 각 해역별 누적 기여도 50% 이상을 차지하였기 때문이었다(Table 18).

외·내해역 출현종에서 생물량의 계절별 차이는 two-way ANOSIM 분석 결과 유의하였다(global- $R= .222$ ,  $P> .001$ ). SIMPER 분석 결과 계절별 그룹 내 유사도는 하계 25.9%, 추계 30.9%, 동계 32.8%, 춘계 34.3%로 춘계에 유사도가 가장 높았다. 계절별 유사도에서 누적 기여도 50% 기여종은 모든 계절에서 구멍갈파래가 확인되었으며, 경단구슬모자반, 덩불가시우무, 지충이, 잎파래, 부챗살, 지네지누아리 등이 계절별로 기여도가 높았다(Table 19). 계절별 그룹의 비유사도는 72.0-81.1%로 높았으며, 비유사도에 기여가 높은 종은 모든 계절에서 파래류, 지충이, 경단구슬모자반, 팽생이모자반, 작은구슬산호말 등이었다. 계절별 누적 기여도 50% 기여종은 하계와 추계 12종, 하계와 동계 17종, 하계와 춘계 14종, 추계와 동계 17종, 추계와 춘계 15종, 동계와 춘계 18종이었다(Table 20).

Table 18. List of marine algae contributing to 50% similarity in the outer and inner bays according to biomass

Species	Average abundance		Contribution (%)	
	Outer	Inner	Outer	Inner
<i>Ulva australis</i>	6.13	8.54	23.8	11.2
<i>Sargassum muticum</i>	7.29	4.79	3.1	11.4
<i>Ulva compressa</i>	2.16	3.89	7.4	3.8
<i>Corallina pilulifera</i>	4.72	4.52	4.1	7.2
<i>Hypnea flexicaulis</i>	3.30	2.69	3.4	6.8
<i>Sargassum thunbergii</i>	5.77	6.21	4.7	6.6
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	2.91	2.92	4.2	3.4
<i>Grateloupia cornea</i>	2.86	2.74	3.7	2.2
<i>Ulva linza</i>	2.30	2.47	3.3	3.3

\*Average similarity: Outer bay (30.9%), Inner bay (31.0%)

Table 19. List of marine algae contributing to 50% seasonal similarity according to biomass

Group	Av. Sim. (%)	Species	Contrib. (%)
Summer	25.9	<i>Ulva compressa</i>	18.3
		<i>Ulva australis</i>	17.9
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	14.1
Autumn	30.9	<i>Ulva australis</i>	18.8
		<i>Corallina pilulifera</i>	10.7
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	9.3
		<i>Sargassum muticum</i>	6.9
		<i>Sargassum thunbergii</i>	6.4
Winter	32.8	<i>Ulva australis</i>	11.7
		<i>Sargassum muticum</i>	10.1
		<i>Sargassum thunbergii</i>	4.7
		<i>Cladophora albida</i>	4.5
		<i>Ulva linza</i>	4.4
		<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	4.3
		<i>Grateloupia asiatica</i>	4.0
		<i>Lomentaria hakodatensis</i>	3.6
Spring	34.3	<i>Chondrus ocellatus</i>	3.4
		<i>Ulva australis</i>	17.8
		<i>Sargassum muticum</i>	11.7
		<i>Ulva linza</i>	5.9
		<i>Ulva intestinalis</i>	5.8
		<i>Grateloupia asiatica</i>	5.8
		<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	4.3

Table 20. Top 5 marine algae contributing to dissimilarity in the outer and inner bays according to biomass

Group	Av. Diss. (%)	Species	Contrib. (%)
Summer vs. Autumn	72.0	<i>Sargassum thunbergii</i>	6.9
		<i>Ulva compressa</i>	6.0
		<i>Corallina pilulifera</i>	5.7
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	5.6
		<i>Ulva australis</i>	5.0
Summer vs. Winter	81.1	<i>Sargassum thunbergii</i>	5.6
		<i>Sargassum muticum</i>	5.4
		<i>Ulva compressa</i>	4.3
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	3.8
		<i>Corallina pilulifera</i>	3.7
Summer vs. Spring	78.1	<i>Sargassum muticum</i>	6.0
		<i>Sargassum thunbergii</i>	5.7
		<i>Ulva compressa</i>	4.6
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	4.2
		<i>Corallina pilulifera</i>	4.0
Autumn vs. Winter	73.5	<i>Sargassum thunbergii</i>	6.2
		<i>Sargassum muticum</i>	6.0
		<i>Corallina pilulifera</i>	3.8
		<i>Sargassum horneri</i>	3.7
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	3.1
Autumn vs. Spring	71.0	<i>Sargassum muticum</i>	6.6
		<i>Sargassum thunbergii</i>	6.2
		<i>Corallina pilulifera</i>	4.2
		<i>Ulva intestinalis</i>	3.6
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	3.5
Winter vs. Spring	67.7	<i>Sargassum thunbergii</i>	5.9
		<i>Sargassum muticum</i>	5.4
		<i>Sargassum horneri</i>	3.7
		<i>Corallina pilulifera</i>	2.9
		<i>Ulva australis</i>	2.9

## (2) 중요도

외·내해역 출현종에서 중요도의 해역별 차이는 two-way ANOSIM 분석 결과 유의하였다(global- $R= .296$ ,  $P < .01$ ). SIMPER 분석 결과 각 그룹 내 유사도는 외해역 31.9%, 내해역 31.0%로 해역별 유사도의 누적 기여도 50% 기여종은 모든 해역에서 구멍갈파래, 납작파래가 확인되었으며, 경단구슬모자반, 가시우무, 작은구슬산호말, 지네지누아리가 해역별로 기여도가 높았다(Table 21). 누적 기여도 50% 기여종을 속(genus) 수준으로 분석하면 외해역에서는 파래류 36.7%, 모자반류 13.4%로 확인되었고, 내해역에서는 파래류 50.2%로 확인되어 내해역 해조 군집은 파래류의 영향을 가장 많이 받는다고 해석된다(Table 21). 외·내해역 비유사도는 69.1%로 높았으며, 비유사도에 기여가 높은 종은 주로 구멍갈파래, 납작파래, 창자파래와 같은 파래류였다. 해역별 그룹의 비유사도에서 누적 기여도 50% 기여종은 구멍갈파래, 지충이, 납작파래, 작은구슬산호말, 경단구슬모자반 등 12종으로 확인되었다(Table 22).

외·내해역 출현종에서 중요도의 계절별 차이는 two-way ANOSIM 분석 결과 유의하지 않았다(global- $R= .105$   $P > .05$ ). SIMPER 분석 결과 구멍갈파래, 납작파래, 경단구슬모자반, 작은구슬산호말, 지네지누아리, 잎파래, 부챗살, 지충이 등이 각 해역별 누적 기여도 50% 이상을 차지하였기 때문이었다(Table 23).

Table 21. List of marine algae contributing to 50% similarity by the outer and inner bays according to important value (IV)

Group	Av. Sim. (%)	Species	Contrib. (%)
Outer bay	31.9	<i>Ulva australis</i>	23.2
		<i>Ulva compressa</i>	9.6
		<i>Sargassum muticum</i>	7.5
		<i>Hypnea flexicaulis</i>	5.9
		<i>Corallina pilulifera</i>	5.8
Inner bay	31.0	<i>Ulva australis</i>	36.3
		<i>Ulva compressa</i>	11.1
		<i>Grateloupia asiatica</i>	6.8

Table 22. Top 5 contributing marine algae to dissimilarity by the outer and inner bays according to important value (IV)

Group	Av. Diss. (%)	Species	Contrib. (%)
Outer bay	vs.	<i>Ulva australis</i>	8.6
		<i>Sargassum thunbergii</i>	6.8
Inner bay	69.1	<i>Ulva compressa</i>	5.8
		<i>Corallina pilulifera</i>	4.8
		<i>Sargassum muticum</i>	4.2

Table 23. List of marine algae contributing to 50% seasonal similarity according to important value (IV)

Species	Average abundance				Contribution (%)			
	Su.	Au.	Wi.	Sp.	Su.	Au.	Wi.	Sp.
<i>Ulva australis</i>	11.18	21.58	12.71		15.3	41.0	25.8	
<i>Ulva compressa</i>	19.96	7.07			37.7	6.6		
<i>Sargassum muticum</i>			6.23	6.90			7.6	8.4
<i>Corallina pilulifera</i>		6.87				8.1		
<i>Grateloupia asiatica</i>				4.64				5.6
<i>Ulva linza</i>			3.76				5.0	
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>			2.74				3.9	
<i>Sargassum thunbergii</i>				5.95				3.9

Su, Summer; Au, Autumn; Wi, Winter; Sp, Spring

\*Average similarity: Summer (27.5%), Autumn (31.2%), Winter (33.1%), Spring (34.5%)

#### 4. 과거 해조상과의 비교

##### 1) 수온

포항 조위관측소에서 1971년 3월부터 2021년 12월까지 측정한 일평균 수온 자료를 분석한 결과 평균 수온은 1970년대부터 0.2℃씩 증가하여 2020년대까지 총 0.8℃ 증가하였다. 평균 수온은 1970년대 15.1℃, 1980년대 14.5℃, 1990년대 15.1℃, 2000년대 15.4℃, 2010년대 15.8℃, 2020년대 15.9℃로 해수온도는 최근으로 갈수록 미약하지만 지속적으로 상승하는 경향을 나타내었다(Fig. 11).

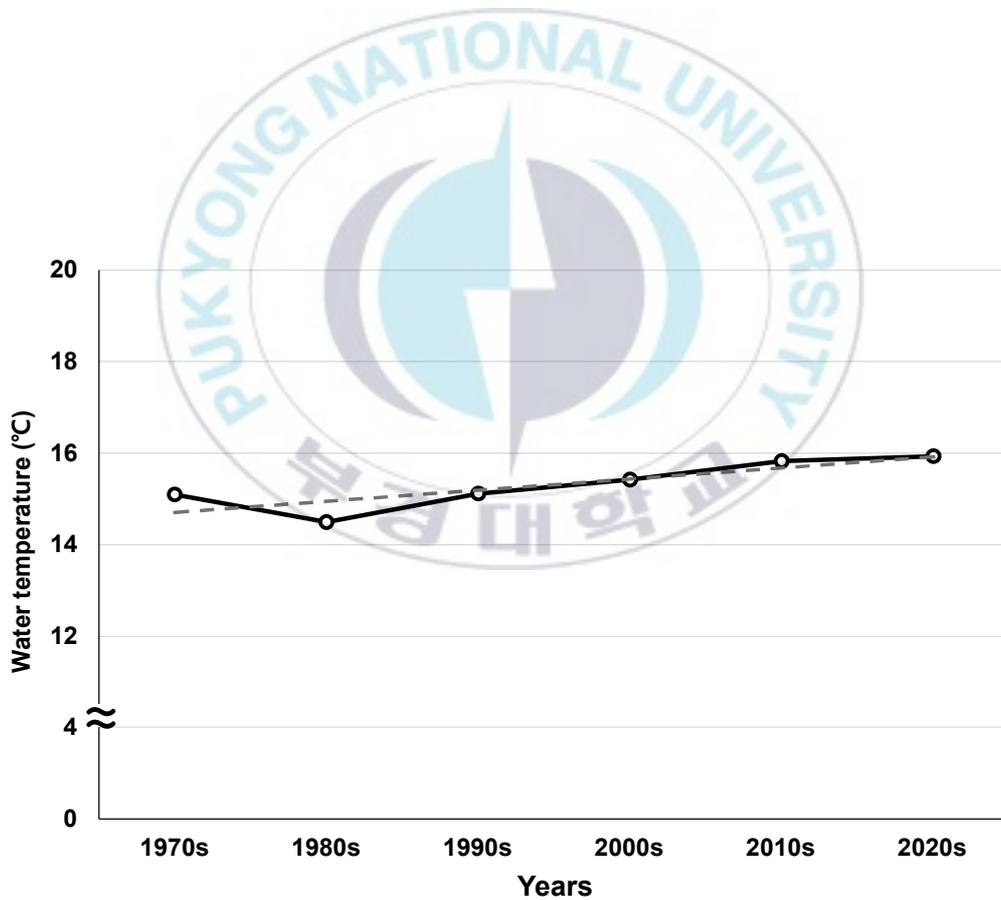


Fig. 11. A showing changes in surface water temperature in Yeongil Bay.

## 2) 해조 분포 및 내열종

### (1) 강사

본 연구와 선행연구(Lee and Kim, 1999)를 토대로 강사에서 확인된 전체 출현종은 녹조류 20종, 갈조류 23종, 홍조류 87종으로 총 130종이었다. 본 연구에서 처음 생육이 확인된 종은 낮대마디말(*Cla. dotyana*), 초록실(*Ulothrix flacca*), 격자과래(*U. clathrata*), 가시뼈대그물말(*Dictyopteris prolifera*), 미역쇠(*Petalonia binghamiae*), 경단구슬모자반, 둥근돌김(*Pyropia suborbiculata*), 작은구슬산호말, 바다고리풀(*Asparagopsis taxiformis*) 등 녹조류 12종, 갈조류 7종, 홍조류 35종으로 총 54종이었다.

해조류 식생 분포에 따른 종조성은 선행연구(Lee and Kim, 1999)에서 한대성 1.3%, 아한대성 5.3%, 온대성 46.1%, 아열대성 36.8%, 열대성 5.3%, 광역성 및 아광역성 5.2%였다. 본 연구에서는 아한대성 3.8%, 온대성 40.0%, 아열대성 31.3%, 열대성 7.5%, 광역성 및 아광역성 17.6%로 선행연구와 유사하게 온대성 해조류의 분포가 가장 높았다(Table 24).

본 연구와 선행연구(Lee and Kim, 1999)에서 내열종은 녹조류 6종, 갈조류 5종, 홍조류 12종으로 총 23종이 확인되었다. 본 연구에서 생육이 처음 확인된 내열종은 숨대마디말, 창자과래, 잎과래, 가시과래(*U. prolifera*), 마디털, 작은구슬산호말, 가시우무(*H. asiatica*), 지네지누아리, 무질산호말류 등 8종이며, 선행연구와 함께 확인된 내열종은 구멍갈과래, 그물바탕말(*Dictyota dichotoma*), 개서실(*Chondria crassicaulis*) 등 10종이었다(Table 25).

### (2) 대보, 구만

본 연구와 선행연구(Lee and Kim, 1999; Nam et al., 1996)를 토대로 대보와 구만에서 확인된 전체 출현종은 녹조류 39종, 갈조류 53종, 홍조류 167종으로 총 259종이었다. 본 연구에서 처음 생육이 확인된 종은 야자깃털말(*Bryopsis foliosa*), 초록영킨실(*Derbesia marina*), 낮대마디말, 알쑥이모자반털(*Elachista tenuis*), 경단구슬모자반, 세가닥갯쇠털(*Sphacelaria fusca*), 고리마디게발(*Amphiroa beauvoisii*), 애기참깃풀사촌, 고리비단풀(*Cer. aduncum*) 등 녹조류 8종, 갈조류 3종, 홍조류 45종으로 총 56종이었다.

해조류 식생 분포에 따른 종조성은 선행연구(Lee and Kim, 1999; Nam

et al., 1996)에서 한대성 1.6%, 아한대성 6.5%, 온대성 47.3%, 아열대성 30.1%, 열대성 7.0%, 광역성 및 아광역성 7.6%였다. 본 연구에서는 한대성 0.7%, 아한대성 3.4%, 온대성 35.9%, 아열대성 37.9%, 열대성 6.9%, 광역성 및 아광역성 15.2%로 선행연구와 비교하여 아열대성 해조류의 분포가 가장 높았다(Table 24).

본 연구와 선행연구(Lee and Kim, 1999; Nam et al., 1996)에서 내열종은 녹조류 9종, 갈조류 10종, 홍조류 20종으로 총 39종이 확인되었다. 본 연구에서 생육이 처음 확인된 내열종은 초록영킨실, 고리마디게발, 가시우무, 무절산호말류 등 4종이며, 선행연구와 함께 확인된 내열종은 숨대마디말, 그물바탕말, 마디털 등 23종이었다(Table 25).

### (3) 마산, 입암, 임곡, 송도

본 연구와 선행연구(Lee and Kim, 1999; Park and Choi, 2009)를 토대로 마산, 입암, 임곡, 송도에서 확인된 전체 출현종은 녹조류 36종, 갈조류 57종, 홍조류 167종으로 총 260종이었다. 본 연구에서 처음 생육이 확인된 종은 야자깃털말, 초록영킨실, 가는영킨실(*Der. tenuissima*), 알송이모자반털, 바위두둑(*Leathesia marina*), 대롱불레기말(*Colpomenia phaeodactyla*), 참국수나물(*Nemalion vermiculare*), 슬비단풀(*Cer. cimbricum*), 인규비단풀(*Cer. inkyuui*) 등 녹조류 8종, 갈조류 8종, 홍조류 45종으로 총 61종이었다.

해조류 식생 분포에 따른 종조성은 선행연구(Lee and Kim, 1999; Park and Choi, 2009)에서 한대성 1.2%, 아한대성 4.7%, 온대성 48.5%, 아열대성 29.2%, 열대성 9.4%, 광역성 및 아광역성 7.0%였다. 본 연구에서는 한대성 0.7%, 아한대성 4.7%, 온대성 42.6%, 아열대성 31.1%, 열대성 6.8%, 광역성 및 아광역성 14.2%로 선행연구와 유사하게 온대성 해조류의 분포가 가장 높았다(Table 24).

본 연구와 선행연구(Lee and Kim, 1999; Park and Choi, 2009)에서 내열종은 녹조류 9종, 갈조류 8종, 홍조류 20종으로 총 37종이 확인되었다. 본 연구에서 생육이 처음 확인된 내열종은 초록영킨실, 가위갯쇠털(*S. rigidula*), 애기가시덤불(*Caulacanthus ustulatus*), 가시우무, 무절산호말류 등 5종이며, 선행연구와 함께 확인된 내열종은 납작파래, 팽생이모자반, 지충이, 개서실 등 24종이었다(Table 25).

본 연구와 Park and Choi (2009)에서 출현한 내열종의 생물량 비율을 비교한 결과 납작파래, 팽생이모자반, 지충이, 개서실의 생물량 비율이 선행 연구에서 평균 14.8%, 11.1%, 6.8%, 5.6%로 나타났으나, 본 연구에서 10.8%, 2.4%, 5.7%, 1.6%로 감소하는 경향을 보였고, 특히 팽생이모자반이 가장 많이 감소하였다. 지네지누아리, 미끌도박의 생물량 비율이 선행 연구에서 평균 0.9%, 1.7%로 나타났으나, 본 연구에서 8.4%, 3.4%로 증가하는 경향을 보였고, 특히 지네지누아리가 가장 많이 증가하였다(Table 26).

Table 24. List of reference and this study related to changes in algal composition

Algal composition	Gangsa		Daebo, Guman		Masan, Ibam, Imgok, Songdo	
	Reference	This study	Reference	This study	Reference	This study
Arctic	1(1.3%)	0(0.0%)	3(1.6%)	1(0.7%)	2(1.2%)	1(0.7%)
Subarctic	4(5.3%)	3(3.8%)	12(6.5%)	5(3.4%)	8(4.7%)	7(4.7%)
Temperate	35(46.1%)	32(40.0%)	88(47.3%)	52(35.9%)	83(48.5%)	63(42.6%)
Subtropical	28(36.8%)	25(31.3%)	56(30.1%)	55(37.9%)	50(29.2%)	46(31.1%)
Tropical	4(5.3%)	6(7.5%)	13(7.0%)	10(6.9%)	16(9.4%)	10(6.8%)
Subcosmopolitan	1(1.3%)	1(1.3%)	2(1.1%)	1(0.7%)	1(0.6%)	1(0.7%)
Cosmopolitan	3(3.9%)	13(16.3%)	12(6.5%)	21(14.5%)	11(6.4%)	20(13.5%)
Total	76	80	186	145	171	148

Table 25. List of warm tolerant species that appeared in Yeongil Bay

Species	GS	DB, GM	MS, IA, IG, SD
<b>Chlorophyta</b>			
<i>Derbesia marina</i>		+	+
<i>Cladophora albida</i>	+	+	+
<i>Urospora penicilliformis</i>		+	+
<i>Ulva australis</i>	+	+	+
<i>Ulva compressa</i>	+	+	+
<i>Ulva conglobata</i>		+	+
<i>Ulva intestinalis</i>	+	+	+
<i>Ulva linza</i>	+	+	+
<i>Ulva prolifera</i>	+	+	+
<b>Phaeophyta</b>			
<i>Dictyota dichotoma</i>	+	+	+
<i>Ectocarpus acutus</i>		+	
<i>Colpomenia sinuosa</i>	+	+	+
<i>Sargassum coreanum</i>		+	+
<i>Sargassum fulvellum</i>		+	+
<i>Sargassum horneri</i>	+	+	+
<i>Sargassum micracanthum</i>		+	
<i>Sargassum miyabei</i>	+	+	+
<i>Sargassum thunbergii</i>	+	+	+
<i>Sphacelaria rigidula</i>		+	+
<b>Rhodophyta</b>			
<i>Stylonema alsidii</i>	+	+	+
<i>Bangia fuscopurpurea</i>		+	
<i>Amphiroa beauvoisii</i>		+	+
<i>Amphiroa ephedraea</i>			+

Table 25. continued

Species	GS	DB, GM	MS, IA, IG, SD
<i>Corallina crassissima</i>		+	+
<i>Corallina officinalis</i>	+	+	+
<i>Corallina pilulifera</i>	+*	+	+
<i>Pneophyllum zostericola</i>		+	+
<i>Chondria crassicaulis</i>	+	+	+
<i>Gelidiophycus freshwateri</i>		+	+
<i>Gelidium amansii</i>	+	+	+
<i>Gelidium vagum</i>		+	+
<i>Caulacanthus ustulatus</i>		+	+*
<i>Hypnea asiatica</i>	+*	+*	+*
<i>Chondrus ocellatus</i>	+	+	+
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	+	+	+
<i>Grateloupia asiatica</i>	+*	+	+
<i>Grateloupia cornea</i>	+	+	+
<i>Grateloupia ramosissima</i>		+	+
<i>Grateloupia turuturu</i>	+	+	+
Crustose coralline algae	+*	+*	+*
<b>Chlorophyta</b>	6	9	9
<b>Phaeophyta</b>	5	10	8
<b>Rhodophyta</b>	12	20	20
<b>Total</b>	23	39	37

Gangsa, GS; Daebo, DB; Guman, GM; Masan, MS; Ibam, IA; Imgok, IG; Songdo, SD  
 +\*: The first warm tolerant species to identify in each group

Table 26. Comparison of biomass ratios (%) of warm tolerant species

Species	Park and Choi (2009)						This study
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2022
<b>Chlorophyta</b>							
<i>Cladophora albida</i>							0.2
<i>Ulva australis</i>	15.5	16.9	13.0	14.5	16.4	13.8	10.8
<i>Ulva compressa</i>	2.6	1.3	0.8	0.1	2.1		6.9
<i>Ulva intestinalis</i>		1.7	1.1	1.3	1.6	0.1	0.9
<i>Ulva linza</i>	2.8	6.8	2.2	3.6	4.0	1.7	2.6
<b>Phaeophyta</b>							
<i>Dictyota dichotoma</i>	0.2	1.5	0.6	1.3	1.0	2.4	0.4
<i>Colpomenia sinuosa</i>		0.1	1.7	2.3	0.1	0.2	0.1
<i>Sargassum fulvellum</i>	7.3		0.8			1.6	
<i>Sargassum horneri</i>	28.2	5.9	12.5	3.1	8.2	5.1	2.4
<i>Sargassum miyabei</i>		9.8	7.4	4.7	22.4	8.1	
<i>Sargassum thunbergii</i>	1.7	9.8	7.3	8.6	4.8	8.9	5.7
<b>Rhodophyta</b>							
<i>Amphiroa beauvoisii</i>			0.2	0.1	0.7	1.5	0.1
<i>Corallina officinalis</i>							0.1
<i>Corallina pilulifera</i>	0.1	4.6	2.6	1.8	1.8	2.5	2.3
<i>Chondria crassicaulis</i>	4.5	5.4	4.0	11.5	3.5	5.0	1.6
<i>Gelidium amansii</i>	0.7	0.5	4.6	5.5	1.8	8.5	
<i>Caulacanthus ustulatus</i>							0.1
<i>Hypnea asiatica</i>							0.1
<i>Chondrus ocellatus</i>	2.1	5.5	9.7	5.4	3.9	3.5	0.6
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	0.5	0.2	0.5	1.7	1.2	5.1	3.2
<i>Grateloupia asiatica</i>	1.9	0.2	0.2	1.2	1.5	0.3	8.4
<i>Grateloupia cornea</i>	3.5	1.5	2.1	4.6	1.7	3.2	2.9
<i>Grateloupia turuturu</i>	2.7	0.1	2.3	2.8	0.2	1.2	3.4

## IV. 고 찰

본 연구는 영일만 조간대 주변 해역에서 13개의 정점을 선정 한 이후 계절 별 및 외·내해역의 해조 군집 구조를 확인하기 위하여 생물량과 중요도를 기준으로 ANOSIM과 SIMPER 분석을 실시하였다. 또한, 전 지구적 현상인 기후변화로 인한 영일만 주변 해역의 수온 상승과 관련하여 과거와 현재의 해조 분포 및 내열종 출현 변화를 분석하였다.

연구기간에 계절별 수온은 영일만 전체 평균과 정점 간에 유사하였지만, 추계와 춘계에 외·내해역 정점 간에 차이가 있었다. 추계의 경우 외해역의 대보1 16.6℃, 구만1 17.9℃, 내해역의 송도 21.8℃, 죽천 19.9℃로 내해역이 더 높았는데, 이는 영일만 추계 평균 수온이 18.8℃와 비교하면 외해역은 조금 낮았지만, 내해역은 조금 높았다. 춘계의 경우 외해역 정점에서 석병 16.6℃, 구만2 22.8℃로 내해역에 가까워질수록 수온이 점차 높아져 외해역 정점 간에 크기는  $\pm 6.2^{\circ}\text{C}$  차이가 나는 것으로 나타났다. 계절별 pH는 영일만 전체 평균과 정점 간에 대부분 유사하였지만, 외·내해역 정점 간에는 차이가 있었다. 영일만 평균인 pH 8.4와 비교하면 대부분 외해역 정점들은 낮았지만, 내해역 정점들은 높게 나타났다. 강사와 송도의 경우 해역과 관계 없이 pH가 가장 낮았다. 계절별 염분은 영일만 평균과 정점 간에 하계와 동계, 춘계는 유사하였지만, 추계에는 차이가 있었다. 영일만 평균 염분과 비교하면 하계와 추계에는 외해역 정점들이 높았고, 내해역 정점들이 낮았으며, 내해역 정점들 중 송도는 모든 계절에서 가장 낮게 나타났다(Table 5).

해양환경에서 수온, pH, 염분, 용존산소(DO)는 상관관계를 보이는데(권 등, 2013; 김 등 2018), 수온은 pH, 염분, DO와 음(-)의 상관관계가 있고, pH는 염분, DO와 양(+)의 상관관계가 있으며, 염분은 수온, 질소성분, DIN과 음(-)의 상관관계가 있다(권 등, 2013). 이 연구에서 pH와 염분은 수온이 높은 하계에 가장 낮았으며, 수온이 낮은 동계에 가장 높은 것을 확인할 수 있었다. 강사와 송도는 공통적으로 pH가 각각 7.9, 8.2로 낮았지만, 염분은 각각 35.4 psu, 30.9 psu였다. 송도는 형산강 하구 주변에 위치하고 있어 강에서 유입되는 담수의 영향으로 염분이 낮게 분석된 것으로 판단되며, 내해역에서 외해역으로 갈수록 염분이 높아지는 결과도 강의 담수가 원인인

것으로 판단된다(강 등, 2002; 김 등, 2004).

영일만 해역에서 보고된 해조 연구(Chyung and Park, 1955; Kang, 1966; 1968; Lee and Oh, 1986; Lee and Kim, 1999; Lee and Lee, 1988; Lee et al., 1997; Nam et al., 1996; Park and Choi, 2009; Rho, 1958)에서 확인된 출현종은 총 350종(녹조류 48종, 갈조류 71종, 홍조류 231종)이었다. 본 연구와 선행연구에서 출현한 종은 총 125종으로 녹조류 17종, 갈조류 25종, 홍조류 83종이었으며, 출현하지 않은 종은 총 161종으로 녹조류 20종, 갈조류 40종, 홍조류 101종이었다. 선행연구에 대비하여 생육이 처음 확인된 종은 총 64종으로 녹조류 11종, 갈조류 6종, 홍조류 47종이었다. 출현종수의 분류군별 비율은 본 연구에서 녹조류 14.8%, 갈조류 16.4%, 홍조류 68.8%이며, 선행연구(Lee and Lee 1988; Lee et al., 1997; Nam et al., 1996)에서 녹조류 11.3-12.1%, 갈조류 14.1-22.4%, 홍조류 64.3-74.1%로 나타났다. 본 연구와 선행연구에서 홍조류의 출현 비율이 유사하였지만, 본 연구에서는 미세 홍조류의 생육이 더욱 많이 확인되었다. 이는 본 연구가 선행연구와 정점이 동일하지 않았으며, 정성 분석만 수행한 이전 연구에 비해 정량과 정성 분석이 함께 실시되었다는 등의 이유로 판단된다.

송도와 구만2는 생태지수에서 풍부도와 균등도, 다양도가 가장 낮았으며(Appendix 1), 우점도가 가장 높았고, K-dominance curves에서 해조 군집의 안정도가 낮았다(Fig. 6). 두 정점은 출현종수와 평균 생물량이 다른 정점에 비해 낮았는데, 이는 송도와 구만2가 연성기질해안(soft-bottom shore)이기 때문으로 판단된다. 연성해안은 사질이 해조 군집을 연마(scouring) 및 질식(smothering)시켜 교란을 야기하고(Kim et al., 1998), 불안정한 기질을 제공하여 대부분의 해조류가 사질보다 암반기질을 선호하게 된다. Lewis (1964)와 Stephenson and Stephenson (1972)은 사질이 개체수와 생물량 및 종다양성을 감소시킨다고 보고하였고, 본 연구의 송도와 구만2에서 유사한 결과를 확인할 수 있었다. 구만2와 송도는 모두 연성 기질이지만, 구만2에서 지층이가, 송도에서 납작파래가 우점종으로 차이가 있었다. 이는 형산강 하구의 모래퇴적 현상으로 송도에서 기회종인 납작파래가 우점한 것으로 판단된다(Daly and Mathieson, 1977).

전체 출현종은 외해역 166종, 내해역 160종이었으며, 외해역에서만 출현한 종은 29종, 내해역에서만 출현한 종은 23종으로 외해역에서 출현종이 많

았다. 선행연구(Lee and Lee, 1988; Lee et al., 1997)의 연구정점을 외·내해역으로 구분하여 출현종수를 비교한 결과, 본 연구와 유사하게 홍조류의 출현종으로 인해 외해역에 더 많은 종이 출현하였다. Lee et al. (1997)는 해조류 생육 환경이 내해역은 육지에서 유입되는 영양염과 형산강에서 유입되는 담수로 인해 불리하고, 외해역은 외해의 영향으로 생육 환경이 연중 다양하게 유지되기 때문이라고 하였다.

영일만 외·내해역 해조 군집 구조는 차이가 있으며, 내해역 해조 군집은 파래류로 결정된다. 환경요인을 분석한 결과, 외·내해역의 수온, pH는 대부분 유사하였고, 염분은 외해역 35.3 psu, 내해역 33.4 psu로 내해역이 낮게 나타났다(Table 5). 동해 해역의 평균 표층 염분이 34.1-34.5 psu (국립수산과학원, 2017)임을 고려하면, 내해역이 담수의 영향을 받음에도 염분이 평균보다 많이 낮은 것은 아닌 것으로 판단된다. 해양환경측정망(국립해양조사원, 2022,11.15.) 자료(2010-2020년)를 이용하여 해역별 수질 측정 항목을 비교한 결과 암모니아질소(외해역 16.81  $\mu\text{g/L}$ , 내해역 28.63  $\mu\text{g/L}$ ), 아질산질소(외해역 3.97  $\mu\text{g/L}$ , 내해역 6.08  $\mu\text{g/L}$ ), 질산질소(외해역 39.64  $\mu\text{g/L}$ , 내해역 74.51  $\mu\text{g/L}$ )의 합으로 나타낸 용존무기질소는 외해역 59.83  $\mu\text{g/L}$ , 내해역 109.35  $\mu\text{g/L}$ 으로 내해역이 약 1.8배 높은 것으로 나타났다. 암모니아질소는 생활하수나 축산폐수, 질산질소는 화학비료, 산업폐수의 양이 많아지면 증가하는데(Meybeck, 1982), 이는 형산강에서 생활하수, 임해공단과 농축산폐수 등이 유입된 결과로 판단된다(포항시, 2020). 김 등(2001)은 영일만의 약한 조석간차류로 인해 만내 남측에 가까울수록 영양염류와 오염도가 높게 나타나 수질 악화와 적조가 발생한다고 보고하였다. 약한 조석간차류를 형성하는 영일만 내해역은 형산강에서 흘러오는 영양염을 오래 머무르게 하며, 수질 환경을 변화시키는 것으로 판단된다. 이러한 수질 환경에서 기회종 파래류는 짧은 생활사와 빠른 질산염 흡수로 인한 단기간에 번식(algae bloom)으로 공간 선점이 유리하여 내해역의 해조 군집에서 우점하게 되었다고 판단된다(Dayton, 1975; Rivers and Peckol, 1995; Sousa, 1979; Wells et al., 2007).

제주도에서는 연안의 육상양식장과 해변을 중심으로 구멍갈파래 유입 상황을 조사한 결과 2020년 6월 기준으로 제주 연안 80곳 중 63곳에서 구멍갈파래의 급증 현상이 나타났으며(녹색연합, 2020,07.09.), 구멍갈파래 수거

량은 2017년 1,812 ton, 2018년 3,300 ton, 2019년 2,405 ton, 2020년 3,400 ton이 수거되었지만, 연간 발생량은 약 10,000 ton으로 추정된다(허, 2022). 제주 연안의 구멍갈파래 급증은 해안 용천수의 질소와 양식장 배출수의 질소, 인 등 영양염류 유입이 원인으로 보고되어(송 등, 2016; 한 등, 2017), 제주도는 구체적이고 적절한 양식장 배출수 관리가 필요한 실정이다. 영일만의 경우 연안 도시, 형산강, 임해공단 및 대규모 항만으로부터 유입되는 오염과 영양염으로 수질 악화가 진행되고 있어(강 등, 2002; 포항시, 2020) 지속적인 해양환경 모니터링의 부족은 해양 자정능력 저하와 적조 발생 및 부영양화 등 해양생태계에 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

파래류는 조간대에 넓게 분포하고, 환경변화에 민감하게 반응하여 그 환경을 견디며 왕성하게 성장할 수 있다(Bonanno et al., 2019; Farias, Hurd, Eriksen and Macleod, 2017). 국내에서는 파래의 채색 변화를 이용하여 수생태독성평가 연구를 하고 있으며(한 등, 2008), 국외에서는 파래류의 생물량 변화와 업체에 축적된 오염 농도를 이용하여 오염 모니터링과 생태계 안정도를 연구하고 있다(Bonanno et al., 2019; Farias, Hurd, Eriksen and Macleod, 2017; Farias, Hurd, Eriksen and Simioni et al., 2017; Mourad and El-Azim, 2019; Villares et al., 2001). 따라서 영일만 만내의 조간대는 파래류가 해조 군집을 결정하고, 생물량 및 중요도가 높기 때문에 만내 해양환경 모니터링 대상종으로 이용할 가능성이 있으며, 파래류를 이용한 만내의 해양환경 모니터링은 해양생태계 상태를 확인하여 변화에 대비할 수 있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구와 선행연구(Lee and Kim, 1999; Nam et al., 1996; Park and Choi, 2009)의 해조류 식생 분포에 따른 종조성을 비교한 결과 강사와 마산, 입암, 임곡, 송도는 선행연구와 유사하게 온대성 해조류 분포가 높았지만, 대보와 구만은 아열대성 해조류 분포가 가장 높았다. 해양수산부(2022)는 강한 난류의 영향으로 영일만 주변 해수온이 평년 대비 1°C 정도 높을 것이라 전망하였고, 대보와 구만이 지리적 특성으로 쓰시마 난류의 영향을 받아(Lee and Oh, 1986) 아열대성 해조류 분포가 다른 정점에 비해 증가한 것으로 판단된다.

본 연구와 선행연구(Chyung and Park, 1955; Kang, 1966; 1968; Lee and Oh, 1986; Lee and Kim, 1999; Lee and Lee, 1988; Lee et al., 1997; Nam

et al., 1996; Park and Choi, 2009; Rho, 1958)에서 확인된 내열종은 총 40종으로 녹조류 9종, 갈조류 10종, 홍조류 21종이었으며, 한국산 내열종 42종 중 부챗말(*Padina arborescens*)과 모자반겉테기(*Hydrolithon sargassi*) 2종의 생육은 확인되지 않았다. 선행연구와 비교하여 본 연구에서 생육이 지속해서 확인된 내열종은 총 26종으로 녹조류 6종, 갈조류 8종, 홍조류 12종이었으며, 확인되지 않은 내열종은 총 11종으로 녹조류 2종, 갈조류 2종, 홍조류 7종이었다. 이번 연구에서 처음 확인된 내열종은 초록영킨실, 가시우무, 무절산호말류로 총 3종이었다. 영일만 주변 해역의 수온은 50년간(1971-2021년) 총 0.8 °C 증가하였고(Fig. 11), 선행연구와 비교하여 내열종수는 본 연구에서 가장 높았다. 그러나 각 선행연구의 출현종이 높을수록 내열종수가 높았으며, 이 연구에서 내열종 생물량 비율이 대부분 감소하였기 때문에(Table 26), 본 연구 분석이 수온 증가로 인한 해양생태계 변화의 결과로 단언하기는 쉽지 않다. 하지만 한 등(2019)은 수온의 이상 변동이 어류와 패류 등 양식생물의 폐사를 유발하는 직접적 요인으로 주목하였고, 김 등(2013)은 제주 해역의 수온 상승으로 톳과 우뚝가사리 생산량이 감소하였다고 보고하였기 때문에 해양생태계의 변화유무와 수온 상승을 연관시켜 지속적인 모니터링과 함께 추후 연구가 필요하다고 판단된다.

## V. 결 론

영일만 조간대는 해양생태계에서 다양한 해양생물이 서식하는 서식처로서 중요한 역할을 하고, 육지와 외해의 물질 전달과 교환을 하는 등 중요한 역할을 한다. 그러나 최근 연안개발로 조간대의 환경이 변화하고, 서식처로서 면적이 감소하여 기능을 잃어가고 있다. 조간대에 서식하는 해조류는 연안개발로 인한 조간대의 환경변화와 기후변화로 인한 수온 상승으로 해조 군집 변화가 예상된다. 영일만 조간대는 최근 학술적 연구 결과가 부재하여 최근 해조 군집의 상태를 파악하기 어려울 뿐 아니라 과거와 현재의 해조 군집을 비교할 수 있는 자료가 부족한 실정이다.

본 연구는 영일만 조간대의 계절 및 해역별 해조 군집 구조를 분석하고, 수온 변화와 연관하여 과거와 현재의 해조 분포 및 군집 변화를 분석하였다. 영일만 해조 군집 구조는 생물량과 중요도 기준으로 구멍갈파래, 납작파래, 경단구슬모자반, 지충이, 작은구슬산호말 등 5개 종으로 인해 계절별 차이가 뚜렷하게 나타났으며, 외·내해역 해조 군집 구조는 중요도 기준으로 구멍갈파래, 납작파래, 창자파래 등 파래류로 인해 해역별 차이가 뚜렷하게 나타났다. 특히, 내해역의 해조 군집이 파래류로 인해 결정되는 것은 만내로 형산강과 임해공단 및 대규모 항만으로부터 발생한 생활하수, 공단 및 농축산 폐수 등이 유입된 결과로 판단된다. 영일만 주변 해역의 수온은 50년간(1971-2021년) 약 0.8℃ 증가하였으며, 과거와 현재 해조 군집의 출현종을 비교한 결과 해조 분포는 대부분 과거와 현재가 유사하였고, 내열종의 출현종수와 생물량 비율 변화가 있지만, 수온 상승이 해조 군집에 영향을 주었다고 단언하기는 어려운 것으로 판단된다.

이 연구는 몇 개의 국소적인 지역에서 연구된 정성 분석 위주의 선행연구와 비교하여 영일만 조간대의 13개 정점에서 정성 및 정량 분석을 수행하고, 계절 및 해역별 군집 구조를 분석한 이후 군집 구조에 영향을 미치는 기여종을 분석하였다. 영일만 내해역은 형산강, 임해공단 및 대규모 항만에서 유입되는 오염과 영양염으로 인해 기회종인 파래류가 다른 해조류보다 빠르게 성장하여 우점하는 환경이었다. 영일만 내해역의 파래류를 이용하면 만내에 유입되는 오염과 영양염 모니터링과 안정된 해양생태계를

관리할 수 있는 방법론을 강구할 수 있을 것으로 판단된다.

최근 조간대 해양생태계의 중요성과 경제적 가치를 인정받고 있어 조간대 생태복원의 필요성이 대두되고 있다. 영일만은 연안개발이 지속적으로 일어나고 있으며 오염과 교란에 조간대 생태계가 끊임없이 변화하고 있다. 훼손된 조간대 생태계를 과거와 유사하게 복원하는 생태복원을 위해서 해조 군집의 정성 및 정량 자료는 필수적이기 때문에 이 연구는 영일만 조간대 해조 생태복원을 위한 기초자료로 이용될 수 있을 것이다. 본 연구는 조간대만을 대상으로 진행된 연구이기 때문에 조하대 연구를 함께 수행한다면 향후 영일만 전체 해역의 해조 군집 구조를 분석하여 영일만 해조 군집 모니터링을 위한 환경지표자 선별과 같이 활용도 높은 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 해조 군집은 생물적 요인과 비생물적 요인에 따라 구조가 변화하는데, 내해역 해조 군집에서 파래류가 우점하는 것에 대해 비생물적 요인으로 영양염 중심의 데이터를 제시하였다. 향후 영양염뿐만 아니라 수온, 해류, 파도, 해수의 이온 농도 등 다차원적인 요인의 연구를 추가로 진행하여 외·내해역의 환경요인을 비교한다면, 군집 구조 변화에 대한 원인을 구체적으로 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

## VI. 참고문헌

- 강양순, 김귀영, 심정민, 성기탁, 박진일, 공재열(2002) 영일만 수질의 시공간적 변동. 한국수산과학회지, 35(4), 431-437.
- 곽희상(1976) 가을철 영일만수괴의 일반해양학적 특성. 한국해양학회지, 11(2), 89-95.
- 국립수산과학원(2017) 동해 해황 정보. 국립수산과학원 동해수산연구소, 219, 1-10.
- 국립해양조사원(2022,11.15.) 바다누리 해양정보 서비스. <http://www.khoa.go.kr/oceangrid/khoa/intro.do>.
- 국립해양조사원(1971) 수로연보. 인천: 국립해양조사원, 3-171.
- 국립해양조사원(1975) 수로기술연보. 인천: 국립해양조사원, 3-303.
- 권정노, 박영철, 엄기혁(2013) 한산거제만 해역의 수질 장기변동 특성. 한국해양환경·에너지학회, 16(3), 189-201.
- 김보연, 고준철, 고혁준, 박성은, 차형기, 최한길(2013) 제주도 주변 해역 조하대 해조류 군집구조의 계절적 변동. 한국수산과학회지, 46(5), 607-618.
- 김영숙, 김영섭(2004) 영일만 수질의 시·공간 변동에 미치는 담수유입의 효과. 한국환경생물학회, 22(1), 57-65.
- 김영환(1986) 고리원자력발전소 주변 해조류에 관한 연구 2. 1983년의 해조류 식생. 조류학회지, 1, 241-249.
- 김영환, 안중관(2005) 동해안 3개 원전 배수로 해조군집의 생태적 특성. 한국조류학회지, 20(3), 217-224.
- 김영환, 안중관, 이재일, 엄희문(2004) 동해안 울진원전의 온배수 방출이 주변 해조군집에 미치는 영향. 한국조류학회지, 19(3), 257-270.

- 김영환, 엄희문, 강연식(1998) 한국산 내열종 해조류의 정성·정량적 분석 1. 고리원자력발전소. 한국조류학회지, 13(2), 213-226.
- 김헌덕, 김종인, 류청로(2001) 영일만내의 유동과 수질특성에 관한 연구. 한국해양공학회지, 15(4), 28-37.
- 김현정, 박재영, 문창호(2018) 동해 남부해역에서 봄철 식물플랑크톤 대증식과 환경요인. 수산해양교육연구, 30(1), 19-27.
- 김형근, 강래선, 손철현(1992) 고리 원자력발전소 연안의 해조군집에 대한 온배수의 영향. 한국조류학회지, 7(2), 269-279.
- 김형섭(2012) 대한민국 생물지, 한국의 조류 제 4권 6호 해산홍조류(홍조식물문: 진정홍조강: 비단풀목: 비단풀과Ⅱ(피층성), 다홍풀과). 인천: 국립생물자원관, 1-195.
- 김형섭(2013) 대한민국 생물지, 한국의 조류 제 4권 8호 해산홍조류(홍조식물문: 진정홍조강: 분홍치목, 갈고리풀목, 미끌부채목, 바위표고목). 인천: 국립생물자원관, 1-188.
- 김형섭, 김선미(2011) 대한민국 생물지, 한국의 조류 제 4권 1호 원시홍조류(홍조식물문: 마디털홍조강, 붉은털홍조강, 김파래홍조강). 인천: 국립생물자원관, 1-142.
- 김형섭, 부성민(2010) 대한민국 생물지, 한국의 조류 제 2권 1호 해산 갈조류 I (부등편모조식물문: 갈조강: 솜털목). 인천: 국립생물자원관, 1-212.
- 김형섭, 이인규(2012) 대한민국 생물지, 한국의 조류 제 4권 5호 해산홍조류(홍조식물문: 진정홍조강: 비단풀목: 비단풀과 I (무피층성)). 인천: 국립생물자원관, 1-158.
- 김형섭, 황일기(2015) 대한민국 생물지, 한국의 조류 제 4권 10호 해산홍조류(홍조식물문: 진정홍조강: 우뭇가사리목, 꼬시래기목, 곱슬이목). 인천: 국립생물자원관, 1-143.

- 남기완(2011) 대한민국 생물지, 한국의 조류 제 4권 3호 해산홍조류(홍조식물문: 진정홍조강: 비단풀목: 빨간검둥이과: 서실속, 고들서실속, 담서실속, 개서실속). 인천: 국립생물자원관, 1-203.
- 남기완, 강필준(2012a) 대한민국 생물지, 한국의 조류 제 4권 4호 해산홍조류(홍조식물문: 진정홍조강: 비단풀목: 빨간검둥이과: 거미줄속 외 18속). 인천: 국립생물자원관, 1-185.
- 남기완, 강필준(2012b) 대한민국 생물지, 한국의 조류 제 4권 7호 해산홍조류(홍조식물문: 진정홍조강: 비단풀목: 보라잎과: 분홍잎속 포함 22속). 인천: 국립생물자원관, 1-130.
- 남기완, 강필준(2013) 대한민국 생물지, 한국의 조류 제 4권 9호 해산홍조류(홍조식물문: 진정홍조강: 보들지누아리목: 보들지누아리과, 가는잎과). 인천: 국립생물자원관, 1-132.
- 남기완, 강필준(2015) 대한민국 생물지, 한국의 조류 제 4권 11호 해산홍조류(홍조식물문: 진정홍조강: 돌가사리목: 돌가사리과, 열매가지과, 붉은땀띠과). 인천: 국립생물자원관, 1-149.
- 녹색연합(2020,07.09.) 제주 해안가 집령한 구멍갈과래, 광어양식장 배출수가 원인 오염원 관리 시급. 녹색연합. <https://www.greenkorea.org/activity/ecosystem-conservation/%EC%A0%9C%EC%A3%BC-%EB%B0%94%EB%8B%A4/83254/>.
- 박준건, 김은수, 조성록, 김경태, 박용철(2003) 시화호 수질의 연변화 양상에 대한 연구. 한국해양과학기술원, 25(4), 459-468.
- 배은희, 김형섭, 권천중, 황일기, 김광훈, Klochkova T. A. (2010) 대한민국 생물지, 한국의 조류 제 1권 1호 해산 녹조류(녹조식물문: 갈과래강: 초록실목, 갈과래목, 대마디말목, 깃털말목). 인천: 국립생물자원관, 1-223.
- 부성민(1987) 강원도 해역 해조류의 분포. 한국조류학회지, 2(2), 223-235.

- 부성민, 이육재, 황일기, 금연심, 옥정현, 조가연(2010) 대한민국 생물지, 한국의 조류 제 2권 2호 해산갈조류Ⅱ(부등편모식물문: 갈조강: 패목, 그물바탕말목, 산말목, 갯쇠털목, 채찍말목, 바위딱지목, 모자반목, 다시마목). 인천: 국립생물자원관, 1-205.
- 송영철, 김세라, 박세준, 강경민, 오상실(2016) 제주연안 방두만의 구멍갈파래 대발생 원인 조사연구. 제주특별자치도보건환경연구원보, 제27권, 57-69.
- 신재덕, 안중관, 김영환(2011) 한국 동해안 조하대 해산식물의 군집구조. 한국수산과학회지, 44(1), 85-94.
- 옥정현, 이인규(2005) 한국산 갈조식물 모자반속(*Sargassum*)의 분류 I. *Bactrophyucus*아속 *Teretia*절. 한국조류학회, 20(2), 77-90.
- 유옥환, 이형근, 이재학(2006) 인공구조물에 따른 조간대 대형저서동물 군집변화. 한국수산과학회지, 39, 132-141.
- 유종수(2003) 영일만 내·외해역에서 조하대 해조군집 구조의 특성. 한국조류학회지, 18(4), 365-369.
- 유종수, 김종명, 최창근(2013) 부산시 기장 주변 해역의 해조 군집 변동. 한국수산과학회지, 46(3), 303-309.
- 이용필(2008) 제주의 바닷말. 서울: 아카데미서적, 1-480.
- 최영은, 민승기, 차동현, 김성중, 김상우(2021) 2020 기후변화감시 종합 분석 보고서. 서울: 기상청 기후과학국 기후변화감시과, 132-140.
- 포항시(2020) 2020 환경백서. 포항: 포항시, 5-503.
- 한인성, 이준수, 김중진, 도용현, 박명희, 고우진, 이기택, 김도훈, 김봉태, 박경동(2019) 수산분야 기후변화 평가 백서. 부산: 국립수산과학원 기후변화연구과, 13-201.
- 한창수, 고은아, 오탈권, 김도희(2017) 구멍갈파래(*Ulva pertusa* Kjellman)

- 의 식이섬유 및 미네랄 함량 조사. 제주특별자치도보건환경연구원보, 제 28권, 29-42.
- 한태준, 한영석, 박경수, 이승민(2008) 파래의 포자형성률을 이용한 해양생태독성시험 방법에 관한 연구. 한국해양학회지, 13(2), 121-128.
- 해양수산부(2020) 해양수산 용어사전. 세종: 해양수산부 기획재정담당관실, 3-59.
- 해양수산부(2022.12.05.) 해수부, 2022년 고수온·적조 종합대책 수립. 해양수산부 어촌양식정책과 <https://www.mof.go.kr/article/view.do?articleKey=46393&searchSelect=title&boardKey=10&menuKey=971&currentPageNo=1>.
- 허호준(2022,05.15.) 제주 3400t의 약취...이 푸른 풍경, 실은 구멍갈파래의 습격. 한겨레. <https://www.hani.co.kr/arti/area/jeju/1042869.html>.
- 황일기, 김형섭(2011) 대한민국 생물지, 한국의 조류 제 4권 2호 국수나물류(홍조식물문: 진정홍조강: 국수나물아강: 붉은솜목, 홍다발솔목, 팔손이풀목, 국수나물목). 인천: 국립생물자원관, 1-114.
- AlgaeBase (2022, Oct 15) <https://www.algaebase.org/>.
- Anderson M. J., Gorley R. N. & Clarke K. R. (2008) Permanova+ for primer: guide to software and statistical methods. Plymouth: PRIMER-E.
- Bonanno G., Veneziano V. & Piccione V. (2019) The alga *Ulva lactuca* (ulvaceae, chlorophyta) as a bioindicator of trace element contamination along the coast of Sicily, Italy. Sci Total Environ, 134329, 1-10.
- Chyung M. K. & Park M. S. (1955) The list of the marine algae of Korea. Korea: Central Fisheries Inspection Station, 1-42.

- Daly M. A. & Mathieson A. C. (1977) The effects of sand movement on intertidal seaweeds and selected invertebrates at Bound Rock, New Hampshire, USA. *Marine Biology*, 43, 45-55.
- Dawes C. J. (1998) *Marine botany* (Oh Y. S. Trans). Seoul: World science, 7-452.
- Dayton P. K. (1975) Experimental evaluation of ecological dominance in a rocky intertidal algal community. *Ecological Monographs*, 45(2), 137-159.
- Farias D. R., Hurd C. L., Eriksen R. S. & Macleod C. K. (2017) *Ulva australis* as a tool for monitoring zinc in the Derwent Estuary and implications for environmental assessment. 15th International Conference on Environmental Science and Technology.
- Farias D. R., Hurd C. L., Eriksen R. S., Simioni C., Schmidt E., Bouzon Z. L. & Macleod C. K. (2017) In situ assessment of *Ulva australis* as a monitoring and management tool for metal pollution. *Journal of Applied Phycology*, 29(5), 2489-2502.
- Janiak D. S. & Whitlatch R. B. (2012) Epifaunal and algal assemblages associated with the native *Chondrus crispus* (Stackhouse) and the non-native *Grateloupia turuturu* (Yamada) in eastern Long Island Sound. *J Exp Mar Biol Ecol*, 413, 38-44.
- Kang J. W. (1966) On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull Pusan Fish Coll*, 7(1,2), 1-125.
- Kang J. W. (1968) *Illustrated encyclopecia of fauna & flora of Korea* vol. 8 marine algae. Seoul: Ministry of Education, 9-465.
- Kim K. Y., Choi T. S., Huh S. H. & Garbary D. J. (1998) Seasonality

- and community structure of subtidal benthic algae from Daedo Island, southern Korea. *Botanica Marina*, 41, 357-365.
- Kim Y. D., Ahn J. K., Nam M. M., Lee C., Yoo H. I., Yeon S. Y., Kim Y. H., Kim J. K. & Choi J. S. (2016) Characteristics of algal succession following rock scraping at Imwon area in the east coast of Korea. *J Ocean Univ China*, 15, 1087-1093.
- Lee H. B. & Oh Y. S. (1986) A summer algal vegetation in Youngil Bay, eastern coast of Korea. *Algae*, 1(1), 225-240.
- Lee I. K. & Kim Y. H. (1999) Biodiversity and distribution of marine benthic organisms and uses of algal resources in the coastal zone of Korea and Japan I. benthic marine algae in the east coast of Korea. *Algae*, 14(2), 91-110.
- Lee J. W. & Lee H. B. (1988) A floristic study on marine benthic algae of Yongil Bay and adjacent areas, eastern coast of Korea. *Algae*, 3(2), 165-182.
- Lee J. W., Lee H. B. & Lee I. K. (1993) A study on the community structure of intertidal marine benthic algae in the east coast of Korea I. an intertidal marine benthic algal community at Sokcho. *Algae*, 8(1), 67-75.
- Lee S. Y., Lee J. W. & Lee H. B. (1997) Marine benthic algal flora of Yongil Bay and its adjacent areas, the eastern coast of Korea. *Algae*, 12(4), 303-311.
- Lewis J. R. (1964) *British rocky shores: the ecology of rocky shores*. London: English Universities Press.
- Lindstrom S. C. (2009) *The biogeography of seaweeds in southeast*

- Alaska. *J Biogeogr*, 36, 401-409.
- Margalef R. (1958) Information theory in ecology. *J Gen Syst*, 3, 36-71.
- Meybeck M. (1982) Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers. *American Journal of Science*, 282(4), 1-12. 401-450.
- Mirta T., Sophia E. F., Ylva S. O., Ivan V., Paulina M., Elizabeti Yuriko M. O. I., Monica A. V. P., Thaïs N. C., Martín S. J., Federico P. O., Paula C., Helena F., Andreina Z., Massimo C. & Davide T. (2010) Eutrophication and macroalgal blooms in temperate and tropical coastal waters: nutrient enrichment experiments with *Ulva* spp.. *Glob Chang Biol*, 16, 2624-2637.
- Mourad F. A. & El-Azim H. A. (2019) Use of green alga *Ulva lactuca* (L.) as an indicator to heavy metal pollution at intertidal waters in Suez Gulf, Aqaba Gulf and Suez Canal, Egypt. *Egypt J Aquat Biol Fish*, 23(4), 437-449.
- Nam K. W., Kim Y. S., Kim Y. H. & Sohn C. H. (1996) Benthic marine algae in the east coast of Korea: flora, distribution and community structure. *Kor J Fish Aquat Sci*, 29(5), 727-743.
- Orfanidis S., Panayotidis P. & Stamatis N. (2003) An insight to the ecological evaluation index (EEI). *Ecol Indic*, 3, 27-33.
- Park G. J. & Choi C. G. (2009) A study on the community structure of intertidal benthic marine algae in Youngil Bay, Eastern coast of Korea. *Kor J Fish Aquat Sci*, 42(6), 664-673.
- Perkol-Finkel S., Ferrario F., Nicotera V. & Airoldi L. (2012) Conservation challenges in urban seascapes: promoting the growth of threatened species oncoastal infrastructures. *J Appl Ecol*, 49,

- 1457-1466.
- Pielou E. C. (1977) Mathematical ecology. New York: Wiley Company, 2055-2057.
- Raffaelli D. & Hawkins S. J. (2004) Intertidal ecology (Son M. H., Yun S. G. Trans.). Seoul: Academy publishing company, 3-461.
- Rho J. H. (1958) A preliminary survey of the marine algae of Korea. Rep Coll Univ SKK, 3, 41-143.
- Rivers F. S. & Peckol P. (1995) Summer decline of *Ulva lactuca* (chlorophyta) in a eutrophic embayment: interactive effects of temperature and nitrogen availability?. J Phycol, 31(2), 223-228.
- Saito Y. & Atobe S. (1970) Phytosociological study of the intertidal marine algae, I. Usujiri Benten-Jima, Hokkaido. Bull Fac Fish, Hokkaido Univ, 21, 37-69.
- Satheesh S. & Wesley S. G. (2012) Diversity and distribution of seaweeds in the Kudankulam coastal waters, south-eastern coast of India. Biodivers J, 3(1), 79-84.
- Scherner F., Horta P. A., Oliveira E. C., Simonassi J. C., Hall-Spencer J. M., Chow F., Nunes J. M. C. & Pereira S. M. B. (2013) Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic. Mar Pollut Bull, 76(1-2), 106-115.
- Shannon C. E. & Weaver W. (1963) The mathematical theory of communication. Urbana: Univ-Illinois Press.
- Simpson E. H. (1949) Measurement of diversity. Nature, 163(4148), 688-692.
- Sousa W. P. (1979) Experimental investigations of disturbance and

- ecological succession in a rocky intertidal algal community. *Ecological Monographs*, 49(3), 227-254.
- Stephenson T. A. & Stephenson A. (1972) Life between tidemarks on rocky shores. *Int Rev Hydrobiol*, 59(3), 440-440.
- Villares R., Puente X. & Carballeira A. (2001) *Ulva* and *Enteromorpha* as indicators of heavy metal pollution. *Hydrobiologia*, 462, 221-232.
- Warwick R. M., Clarke K. R. & Somerfield P. J. (2008) K-dominance curves. In Sven Erik Jørgensen & Brian D. Fath (Eds.), *Encyclopedia of Ecology*, Oxford: Elsevier, 2055-2057.
- Wells E., Wilkinson M., Wood P. & Scanlan C. (2007) The use of macroalgal species richness and composition on intertidal rocky seashores in the assessment of ecological quality under the European water framework directive. *Mar Pollut Bull*, 55, 151-161.
- Whitaker S. G., Smith J. R. & Murray S. N. (2010) Reestablishment of the southern California rocky intertidal brown alga, *Silvetia compressa*: an experimental investigation of techniques and abiotic and biotic factors that affect restoration success. *Restor Ecol*, 18, 18-26.

## 부 록

Appendix 1. Seasonal ecological indices of study sites in Yeongil Bay

Site	Season	Richness	Evenness	Diversity	Dominance
Seokbyeong	Summer	8.606	0.706	2.585	0.106
	Autumn	11.880	0.664	2.585	0.095
	Winter	15.190	0.724	3.115	0.064
	Spring	9.963	0.821	3.275	0.044
	Total	17.400	0.777	3.593	0.035
Gangsa	Summer	7.507	0.622	2.192	0.149
	Autumn	10.130	0.761	2.947	0.069
	Winter	12.050	0.804	3.342	0.043
	Spring	9.212	0.830	3.229	0.045
	Total	13.380	0.834	3.663	0.030
Daebo 1	Summer	7.388	0.691	2.437	0.102
	Autumn	10.030	0.766	2.966	0.065
	Winter	14.460	0.708	2.998	0.069
	Spring	8.750	0.670	2.470	0.121
	Total	15.790	0.748	3.356	0.047
Daebo 2	Summer	7.874	0.580	2.009	0.186
	Autumn	11.000	0.662	2.505	0.119
	Winter	14.310	0.683	2.883	0.082
	Spring	7.965	0.722	2.625	0.089
	Total	15.160	0.734	3.244	0.054
Guman 1	Summer	11.780	0.668	2.612	0.103
	Autumn	12.030	0.754	2.978	0.066
	Winter	13.400	0.812	3.390	0.051
	Spring	10.360	0.706	2.731	0.088
	Total	17.700	0.807	3.709	0.035
Guman 2	Summer	8.234	0.492	1.734	0.226
	Autumn	10.450	0.485	1.789	0.288
	Winter	10.760	0.554	2.096	0.205
	Spring	7.200	0.561	1.906	0.205
	Total	14.620	0.599	2.570	0.129

## Appendix 1. continued

Site	Season	Richness	Evenness	Diversity	Dominance
Guman 3	Summer	8.589	0.761	2.864	0.072
	Autumn	10.300	0.794	3.122	0.059
	Winter	14.680	0.773	3.386	0.042
	Spring	10.630	0.785	3.174	0.053
	Total	15.790	0.807	3.692	0.033
Masan	Summer	12.410	0.650	2.627	0.091
	Autumn	11.260	0.698	2.771	0.095
	Winter	12.510	0.757	3.149	0.057
	Spring	11.110	0.787	3.155	0.056
	Total	18.720	0.781	3.673	0.035
Ibam	Summer	8.829	0.740	2.713	0.083
	Autumn	6.463	0.713	2.400	0.110
	Winter	9.701	0.792	3.083	0.058
	Spring	8.230	0.803	2.961	0.061
	Total	14.330	0.803	3.540	0.037
Imgok	Summer	11.390	0.581	2.236	0.134
	Autumn	9.678	0.756	2.878	0.070
	Winter	11.180	0.658	2.612	0.097
	Spring	11.890	0.808	3.307	0.046
	Total	16.900	0.803	3.682	0.031
Songdo	Summer	4.273	0.468	1.297	0.330
	Autumn	5.808	0.617	1.908	0.169
	Winter	6.564	0.675	2.201	0.137
	Spring	6.850	0.668	2.248	0.125
	Total	8.994	0.722	2.750	0.075
Jukcheon	Summer	10.710	0.627	2.400	0.113
	Autumn	9.672	0.710	2.671	0.090
	Winter	11.050	0.698	2.799	0.093
	Spring	8.455	0.655	2.384	0.130
	Total	15.290	0.730	3.242	0.059
Chilpo	Summer	8.146	0.651	2.369	0.118
	Autumn	9.348	0.596	2.169	0.138
	Winter	15.680	0.750	3.259	0.051
	Spring	15.050	0.718	3.080	0.059
	Total	19.490	0.765	3.610	0.035
Mean	Summer	18.170	0.763	3.615	0.035
	Autumn	17.220	0.811	3.795	0.029
	Winter	19.030	0.835	4.049	0.022
	Spring	17.000	0.823	3.892	0.025
	Total	18.650	0.854	4.200	0.020

Appendix 2. List of marine algae and biomass in the study sites during summer

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<b>Chlorophyta</b>														
<i>Bryopsis foliosa</i>							+			+				+
<i>Bryopsis plumosa</i>										+		0.01		0.01
<i>Codium fragile</i>					35.28		35.28		8.64	1.18		+		80.38
<i>Derbesia tenuissima</i>								+						+
<i>Pseudovella consociata</i>		+								+				+
<i>Chaetomorpha crassa</i>		+												+
<i>Chaetomorpha linum</i>											0.20			0.20
<i>Chaetomorpha moniligera</i>						110.63		+	97.15	142.62	0.35			350.75
<i>Cladophora albida</i>		+	+	+	+	0.49	+	+		+		+	+	0.49
<i>Cladophora dotyana</i>	+	9.20		+			+			+		+		9.20
<i>Cladophora hutchinsiae</i>						179.72		1.82	+			80.68		262.22
<i>Collinsiella cava</i>	+													+
<i>Ulothrix flacca</i>							+							+
<i>Ulva australis</i>	321.65	24.73	144.12				259.18	89.76	22.95	117.67	59.17	35.52	0.02	1,074.76
<i>Ulva clathrata</i>		+	+		+		+	+			1.19	+	+	1.19
<i>Ulva compressa</i>		275.05	34.35	25.04	+	63.30	+	175.14	99.03	+	247.30	73.72	29.98	1,022.91
<i>Ulva fasciata</i>		280.50						78.84						359.34
<i>Ulva intestinalis</i>			+	+						+	61.00	+		61.00
<i>Ulva linza</i>	0.08	17.83	1.23	10.44	+		+	+		+		0.35	1.26	31.19
<i>Ulva prolifera</i>		+								+				+
<i>Ulvella viridis</i>													+	+
<b>Phaeophyta</b>														
<i>Dictyota dichotoma</i>			+	1.42	2.85	+	15.08	12.78	0.56	29.61		113.54	43.90	219.74
<i>Dictyopteris prolifera</i>	3.23						0.16					+	96.48	99.87
<i>Rugulopteryx okamurae</i>		+	97.44	+	0.29	0.28	21.33	+		0.63		+	+	119.97
<i>Ectocarpus</i> sp.												+		+
<i>Sargassum confusum</i>				0.99					3.54					4.53
<i>Sargassum fusiforme</i>							158.68							158.68
<i>Sargassum hemiphyllum</i>							7.03	4.44						11.47

Appendix 2. continued

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<i>Sargassum miyabei</i>							5.20							5.20
<i>Sargassum muticum</i>			81.16	16.78	1.00		1.83	0.40		47.82		0.36		149.35
<i>Sargassum thunbergii</i>			44.60	248.88	3.95	328.11	110.60	160.40				93.79		990.33
<i>Sargassum yezoense</i>					185.47		181.28	+		+			297.32	664.07
<i>Sphacelaria fusca</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
<i>Sphacelaria rigidula</i>								+						+
<b>Rhodophyta</b>														
<i>Stylonema alsidii</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Stylonema cornu-cervi</i>									+		+			+
<i>Erythrocladia irregularis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Erythrotrichia biseriata</i>		+							+			+	+	+
<i>Erythrotrichia carnea</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+
<i>Erythrotrichia reflexa</i>						+			+		+	+	+	+
<i>Sahlingia subintegra</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Amphiroa beauvoisii</i>									+					+
<i>Corallina officinalis</i>				0.38										0.38
<i>Corallina pilulifera</i>	12.16	323.10	+	21.04		0.04	152.95	57.08	9.14	+		3.55	267.32	846.38
<i>Lithophyllum okamurae</i>	4.73													4.73
<i>Acrochaetium densum</i>					+									+
<i>Acrochaetium</i> sp.								+						+
<i>Rhodochorton purpureum</i>								+	+		+			+
<i>Colaconema</i> sp.								+	+		+	+		+
<i>Asparagopsis taxiformis</i>	+		+	+	+	+	+			+				+
<i>Centroceras gasparrinii</i>					+	+	0.20	+		+		0.60	+	0.80
<i>Ceramium aduncum</i>			+		+		2.78	+		+			0.02	2.80
<i>Ceramium boydenii</i>												+		+
<i>Ceramium cimbricum</i>								+						+
<i>Ceramium kondoii</i>								+						+
<i>Ceramium paniculatum</i>						+	+			+			+	+
<i>Gayliella fimbriata</i>					+									+

Appendix 2. continued

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<i>Reinboldiella schmitziana</i>							+							+
<i>Dasya collabens</i>						+								+
<i>Dasyasiphonia japonica</i>										+				+
<i>Heterosiphonia pulchra</i>			+			+								+
<i>Acrosorium ciliolatum</i>	0.14			+	0.38	0.04		+	0.30	+		+	0.36	1.22
<i>Acrosorium polyneurum</i>	+				+		9.58			+			0.86	10.44
<i>Chondria crassicaulis</i>	1.16			+	+		1.13	1.74		20.55		+	55.68	80.26
<i>Herposiphonia insidiosa</i>	+		+		+									+
<i>Herposiphonia nuda</i>					+									+
<i>Herposiphonia parca</i>	+				+									+
<i>Herposiphonia secunda</i>			+		+						+			+
<i>Laurencia intercalaris</i>								+						+
<i>Laurencia intricata</i>	18.66				5.19		7.80	27.68				21.12	0.74	81.19
<i>Laurencia majuscula</i>	2.10	0.05		+	0.41	+	+	+		+				2.56
<i>Laurencia obtusa</i>								+						+
<i>Laurencia pinnata</i>							0.13			+				0.13
<i>Neosiphonia decumbens</i>									+					+
<i>Neosiphonia harlandii</i>													0.14	0.14
<i>Neosiphonia japonica</i>								0.06						0.06
<i>Neosiphonia savatieri</i>					+	0.04	0.38	+	0.10				44.26	44.78
<i>Palisada intermedia</i>	0.17				0.12			+				0.21	0.36	0.86
<i>Symphyocladia latiuscula</i>	+			+		+					+		5.12	5.12
<i>Symphyocladia marchantioides</i>	+			+	+	+			+	+		+	+	+
<i>Symphyocladia pumila</i>							+	+	+	+				+
<i>Gelidium elegans</i>	23.15	+	2.00		11.87			+	14.06	0.96		+		52.04
<i>Pterocladia capillacea</i>	0.79	4.88			+							0.49		6.15
<i>Caulacanthus ustulatus</i>				+	+		0.05	6.58				+	+	6.63
<i>Hypnea asiatica</i>	+	+												+
<i>Hypnea charoides</i>								+	+					+
<i>Hypnea flexicaulis</i>	64.52	+	187.31	159.42	84.59	0.21	169.95	107.28	6.40	+		69.39	5.50	854.57

Appendix 2. continued

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<i>Hypnea japonica</i>				2.59	+									2.59
<i>Hypnea saidana</i>									+					+
<i>Chondracanthus intermedius</i>		+	2.16	0.57	0.17	+	2.58	4.12	+			0.70	0.46	10.76
<i>Chondracanthus tenellus</i>	28.34		2.26		26.73							+		57.33
<i>Chondrus nipponicus</i>			89.20		46.25	1.49	1.38	2.74	12.83	3.15		6.65		163.69
<i>Chondrus ocellatus</i>	60.70	+	5.94							+				66.64
<i>Chondrus pinnulatus</i>	6.30													6.30
<i>Chondrus verrucosus</i>		5.38			1.65				2.08					9.11
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	3.67	17.90	13.78	0.08	3.37		4.30	0.62	1.54					45.26
<i>Grateloupia asiatica</i>	0.23	2.33	64.84				95.13	7.65	13.99	4.05				188.21
<i>Grateloupia cornea</i>	160.07	5.05	+		1.67		17.65		106.01	+				290.45
<i>Grateloupia crispata</i>			0.42		4.54				4.50					9.46
<i>Grateloupia sparsa</i>							11.63		9.96				192.56	214.15
<i>Grateloupia turuturu</i>	7.79	12.93												20.72
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>									+					+
<i>Polyopes lancifolius</i>									+					+
<i>Tsengia lancifolia</i>									+	41.87	56.22			98.09
<i>Plocamium cartilagineum</i>	+			+										+
<i>Plocamium telfairiae</i>	2.04	+	+	0.05	6.90	0.59			0.04	+		+	+	9.62
<i>Plocamium uncinatum</i>	+	+	+	0.01	0.49	+				+		0.01		0.51
<i>Champia japonica</i>									+					+
<i>Champia parvula</i>	0.39				0.02	+	2.43	14.62	1.48	4.65		0.10	0.02	23.71
<i>Lomentaria catenata</i>												+		+
<i>Lomentaria flaccida</i>								0.28						0.28
<i>Lomentaria hakodatensis</i>		1.08					+	+	+	0.12	+	0.16		1.36
<i>Lomentaria lubrica</i>						0.02						0.08	+	0.10
Crustose coralline algae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Appendix 2. continued

	Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<b>Number of species</b>	<b>Chlorophyta</b>	4	10	6	5	6	6	7	9	5	12	6	10	6	21
	<b>Phaeophyta</b>	2	2	5	6	6	5	9	8	3	5	0	7	5	13
	<b>Rhodophyta</b>	33	22	23	21	38	23	27	40	31	30	10	29	27	80
	<b>Total</b>	39	34	34	32	50	34	43	57	39	47	16	46	38	114
<b>Biomass (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Chlorophyta</b>	321.73	607.30	179.70	35.48	35.28	354.14	294.46	345.56	227.77	261.47	369.21	190.28	31.26	3,253.64
	<b>Phaeophyta</b>	3.23	0.00	223.20	268.07	193.56	328.55	501.00	178.02	4.10	78.06	0.00	207.69	437.70	2,423.18
	<b>Rhodophyta</b>	397.09	372.68	367.91	184.14	194.36	2.43	480.00	230.45	224.30	89.70	0.00	103.06	573.40	3,219.51
	<b>Total</b>	722.05	979.98	770.81	487.69	423.20	685.12	1,275.46	754.03	456.17	429.23	369.21	501.03	1,042.36	8,896.32

\*SB, Seokbyeong; GS, Gangsa; DB 1, Daebo 1; DB 2, Daebo 2; GM 1, Guman 1; GM 2, Guman 2; GM 3, Guman 3; MS, Masan; IA, Ibam; IG, Imgok; SD, Songdo; JC, Jukcheon; CP, Chilpo

Appendix 3. List of marine algae and biomass in the study sites during autumn

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<b>Chlorophyta</b>														
<i>Bryopsis foliosa</i>		+				0.06				0.52		0.35		0.93
<i>Bryopsis plumosa</i>	0.04	0.11			0.16			3.05		0.27		+		3.63
<i>Codium fragile</i>	+									16.67				16.67
<i>Derbesia marina</i>							+				+			+
<i>Chaetomorpha moniligera</i>		0.05		0.01	2.36	0.01	0.87		46.65	+	28.08	+		78.03
<i>Cladophora albida</i>	+	0.17	+	+	+	96.79	+	+	2.44	+	+	+	0.01	99.40
<i>Cladophora dotyana</i>		0.05												0.05
<i>Collinsiella cava</i>													0.03	0.03
<i>Ulva australis</i>	64.44	221.99	52.80	8.05	0.08	3.82	26.37	83.14	130.58	118.51	27.54	58.93	33.59	829.82
<i>Ulva clathrata</i>							26.70			+	+	+		26.70
<i>Ulva compressa</i>	0.01	1.85	0.01	0.21	3.80	1.82	0.45	+	189.95	27.17	30.12	1.56	0.14	257.08
<i>Ulva fasciata</i>											91.30			91.30
<i>Ulva intestinalis</i>		+				2.66			+		+	19.77	+	22.43
<i>Ulva linza</i>	+	0.87		+	5.02	0.76	+	+	3.81	+	1.72	0.02	+	12.20
<i>Ulva prolifera</i>	+	+	+	+		+					+		+	+
<i>Umbraulva japonica</i>													+	+
<i>Ulvella viridis</i>					+								+	+
<b>Phaeophyta</b>														
<i>Dictyota dichotoma</i>	0.16	1.60	1.11	0.23	0.58		4.20	+		+		59.52	20.63	88.03
<i>Dictyopteris prolifera</i>	+	0.44	0.85	+	0.02		83.76						15.80	100.87
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	0.04	+	4.11	+	1.09	0.12	34.26	3.90		28.57		5.86	+	77.95
<i>Elachista</i> sp.													+	+
<i>Leathesia marina</i>					+		+							+
<i>Colpomenia sinuosa</i>			20.21	1.96			0.20							22.37
<i>Sargassum confusum</i>							43.50					121.28	97.93	262.71
<i>Sargassum fusiforme</i>							19.33							19.33
<i>Sargassum horneri</i>	+		50.36				1.60			14.86		5.39	14.05	86.26
<i>Sargassum muticum</i>	7.27		185.48	28.02	53.58			208.32		137.85			23.49	644.01
<i>Sargassum thunbergii</i>			43.55	57.18	0.39	389.12	53.66	215.25			+	127.15	1.85	888.15

Appendix 3. continued

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<i>Sargassum yezoense</i>				14.51			346.63							361.14
<i>Sphacelaria fusca</i>	+	+		+		+	+	+		+		+	+	+
<i>Sphacelaria rigidula</i>								+						+
<b>Rhodophyta</b>														
<i>Stylonema alsidii</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Erythrocladia irregularis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Erythrotrichia biseriata</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Erythrotrichia carnea</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Erythrotrichia reflexa</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Sahlingia subintegra</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Amphiroa anceps</i>						0.05								0.05
<i>Amphiroa beauvoisii</i>								1.22				0.08		1.30
<i>Corallina officinalis</i>	+		9.02	+								12.11	+	21.13
<i>Corallina pilulifera</i>	82.55	18.78	35.70	150.32		0.05	86.63	5.99	0.83	+		74.72	145.78	601.34
<i>Acrochaetium canariense</i>										+				+
<i>Acrochaetium</i> sp.						+								+
<i>Asparagopsis taxiformis</i>	+		+	+	+	+	+							+
<i>Antithamnionella breviramosa</i>					+									+
<i>Centroceras gasparrinii</i>				+		0.81	+	2.99				0.39	+	4.19
<i>Ceramium aduncum</i>							4.75	0.15						4.90
<i>Ceramium boydenii</i>												+		+
<i>Ceramium inkyuui</i>								0.07						0.07
<i>Ceramium japonicum</i>								0.38		2.37				2.75
<i>Ceramium nakamurae</i>					+									+
<i>Ceramium paniculatum</i>						+	+	+						+
<i>Ceramium tenerrimum</i>						+		+						+
<i>Gayliella mazoyerae</i>	+	+	+		+	+	2.59	+					+	2.59
<i>Dasya collabens</i>			+											+
<i>Dasysiphonia japonica</i>	+	+			+									+
<i>Heterosiphonia pulchra</i>	+													+

Appendix 3. continued

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<i>Acrosorium ciliolatum</i>	+		+	+		+		+	+	+				+
<i>Acrosorium polyneurum</i>	0.08	18.34	0.07	0.04	0.05		5.03	+		4.55		0.37		28.53
<i>Acrosorium yendoi</i>			+						+	0.33				0.33
<i>Martensia elegans</i>					0.63									0.63
<i>Schizoseris bombayensis</i>	+	0.61		+	+									0.61
<i>Chondria crassicaulis</i>		19.87					28.99	2.24		5.45				56.55
<i>Herposiphonia insidiosa</i>	+	+	+	+	+	+	+	+					+	+
<i>Herposiphonia nuda</i>	+		+	+	+	+							+	+
<i>Herposiphonia secunda</i>	+	0.27	+	+		0.04								0.31
<i>Laurencia intricata</i>			0.18	0.27	2.95		23.04	10.35				1.73		38.52
<i>Laurencia majuscula</i>	2.03	0.78	+	0.71	0.06	+	3.52	+				+	+	7.10
<i>Laurencia obtusa</i>	3.75	+	0.07	+			33.85	6.02		+		7.67		51.36
<i>Laurencia pinnata</i>			0.24											0.24
<i>Laurencia succulenta</i>													0.11	0.11
<i>Laurencia venusta</i>			0.99	0.93	0.42		12.35	3.17		0.52		1.37		19.75
<i>Leveillea jungermannioides</i>	+													+
<i>Neosiphonia japonica</i>												+		+
<i>Neosiphonia savatieri</i>		5.28					0.44	0.42	1.74	0.35				8.23
<i>Palisada intermedia</i>					0.12									0.12
<i>Polysiphonia morrowii</i>									0.22					0.22
<i>Symphyocladia latiuscula</i>	0.02				+	0.06	2.02	0.73				0.15	+	2.98
<i>Symphyocladia marchantioides</i>												+	+	+
<i>Symphyocladia pumila</i>			+											+
<i>Anotrichium tenue</i>	0.05	0.11	5.85	1.20	+	+							+	7.21
<i>Gelidium crinale</i>								0.66						0.66
<i>Gelidium elegans</i>	13.62	9.60	5.36	15.86	26.67					17.65	0.68	+		89.44
<i>Gelidium galapagense</i>								+						+
<i>Pterocladia capillacea</i>					+		0.46		9.35					9.81
<i>Hypnea asiatica</i>				5.31										5.31
<i>Hypnea flexicaulis</i>	23.95	70.66	120.78	+	9.47	5.17	1.39	335.35	3.45	13.81		27.11	23.87	635.01

Appendix 3. continued

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean	
<i>Hypnea japonica</i>					0.07			+						0.07	
<i>Hypnea spinella</i>					3.29			0.26						3.55	
<i>Chondracanthus intermedius</i>	+	16.24	3.78	0.41	0.28	0.14	0.18	2.98	+	0.08		0.19		24.28	
<i>Chondracanthus tenellus</i>	46.30	+	118.14	0.79	52.87		3.23	0.08						221.41	
<i>Chondrus canaliculatus</i>	24.73	30.88	36.05		34.71					46.07				172.44	
<i>Chondrus crispus</i>					22.01					108.02				130.03	
<i>Chondrus ocellatus</i>	26.75	10.00	38.68		36.60			4.71	11.37					128.11	
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	0.93	87.10	4.13	0.34	3.93		0.28	34.84	48.78	6.45	5.70			192.48	
<i>Grateloupia asiatica</i>		8.39	10.50				87.77	40.03	123.54	24.36	+			294.59	
<i>Grateloupia cornea</i>	6.10	92.38	2.58		47.09		0.24	3.09	32.06	45.91	47.87			277.31	
<i>Grateloupia crispata</i>								1.05						1.05	
<i>Grateloupia turuturu</i>		34.77												34.77	
<i>Tsengia lancifolia</i>	0.13							0.03	32.06	+				32.22	
<i>Plocamium cartilagineum</i>										0.16				0.16	
<i>Plocamium telfairiae</i>	3.82	0.89	6.77	8.61	6.61	0.46	0.40		+					27.56	
<i>Plocamium uncinatum</i>	+	0.53	6.28	0.29	0.75	+	+		+	+				7.85	
<i>Champia parvula</i>	0.31	0.41	0.72		0.46	0.14	17.30	1.70		2.12		0.57	+	23.73	
<i>Lomentaria catenata</i>		3.86			1.29	+		0.53	+	0.39		0.11		6.18	
<i>Lomentaria flaccida</i>							+					+		+	
<i>Lomentaria hakodatensis</i>		80.60					5.45	1.01		2.99		3.37		93.42	
Crustose coralline algae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<b>Number of species</b>	<b>Chlorophyta</b>	7	10	4	6	7	9	6	5	6	9	10	9	9	17
	<b>Phaeophyta</b>	6	4	7	8	6	3	11	6	0	5	1	6	9	14
	<b>Rhodophyta</b>	36	34	37	30	39	28	34	42	23	31	11	28	20	77
	<b>Total</b>	49	48	48	44	52	40	51	53	29	45	22	43	38	108
<b>Biomass (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Chlorophyta</b>	64.49	225.07	52.81	8.27	11.42	105.92	54.39	86.19	373.42	163.14	178.76	80.62	33.77	1,438.25
	<b>Phaeophyta</b>	7.47	2.04	305.67	101.90	55.66	389.24	587.14	427.47	0.00	181.28	0.00	319.20	173.75	2,550.82
	<b>Rhodophyta</b>	235.12	510.34	405.89	185.08	250.33	6.92	319.91	460.05	263.38	281.58	54.25	129.94	169.76	3,272.55
	<b>Total</b>	307.08	737.45	764.37	295.25	317.41	502.08	961.44	973.72	636.80	626.00	233.01	529.76	377.28	7,261.63

\*SB, Seokbyeong; GS, Gangsa; DB 1, Daebo 1; DB 2, Daebo 2; GM 1, Guman 1; GM 2, Guman 2; GM 3, Guman 3; MS, Masan; IA, Ibam; IG, Imgok; SD, Songdo; JC, Jukcheon; CP, Chilpo

Appendix 4. List of marine algae and biomass in the study sites during winter

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<b>Chlorophyta</b>														
<i>Bryopsis foliosa</i>		1.18					+	+						1.18
<i>Bryopsis plumosa</i>		+	+					+				+	+	+
<i>Chaetomorpha moniligera</i>				+	0.21	+	0.01		0.79	+	+	0.04		1.05
<i>Cladophora albida</i>	10.81	79.01	31.35	1.40	0.47	22.77	14.62	+	0.36	9.69	+	8.68	19.61	198.77
<i>Cladophora opaca</i>		41.04	30.25				0.97							72.26
<i>Cladophora rupestris</i>							+							+
<i>Collinsiella cava</i>			+											+
<i>Capsosiphon fulvescens</i>					14.89			201.18	228.40	59.96				504.43
<i>Ulothrix flacca</i>	+	+	+	+	+	+	0.12	+	+				+	0.12
<i>Ulothrix implexa</i>													+	+
<i>Blidingia minima</i>									0.54					0.54
<i>Ulva australis</i>	5.73	125.09	34.60	55.25	18.55	79.44	45.75	50.08	42.51	25.63	4.18	52.06	24.95	563.82
<i>Ulva compressa</i>	0.08	16.28	0.79	+	3.80	2.36	0.32		5.03	0.08		26.94	+	55.68
<i>Ulva intestinalis</i>	+	70.36		+		23.89	+	+				+	48.61	142.86
<i>Ulva linza</i>	4.62	3.70	0.84	+	5.74	6.78	0.74	24.78	112.58	40.55		71.86	17.47	289.66
<i>Ulva prolifera</i>	+	+	+				+					+	+	+
<b>Phaeophyta</b>														
<i>Dictyota dichotoma</i>	+	1.29	3.05	0.64	4.70	+	35.83	0.53		+		+	2.38	48.42
<i>Dictyopteris prolifera</i>	1.99	0.81	0.45	0.02	0.04	0.02	0.72	4.81					10.18	19.04
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	1.62	3.91	12.59	1.30	4.84	0.33	75.46	1.18				0.44	3.26	104.93
<i>Feldmannia mitchelliae</i>	+	+	+				+	+				+	+	+
<i>Elachista okamurae</i>	+	+					+			+		+		+
<i>Elachista tenuis</i>	+		+					+		+				+
<i>Leathesia marina</i>	4.57		0.89	41.17	11.26	0.95	21.42	14.34	+	0.42		10.49	0.68	106.19
<i>Colpomenia bullosa</i>	0.28		2.03	+	5.19			12.86		4.01		2.06		26.43
<i>Colpomenia sinuosa</i>	+		23.05	33.14	26.05								3.39	85.63
<i>Petalonia binghamiae</i>	2.62	3.75	6.21	0.39	2.17	0.06	43.01	0.50	25.91	92.91		16.03	2.56	196.12
<i>Scytosiphon lomentaria</i>			+		8.56			49.16	33.07	60.30		86.01	65.25	302.35
<i>Sargassum confusum</i>	7.00			+	1.55		95.80							104.35

Appendix 4. continued

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<i>Sargassum fulvellum</i>	41.42			+								26.06	11.31	78.79
<i>Sargassum fusiforme</i>							320.95	54.61						375.56
<i>Sargassum horneri</i>	158.84	+	286.16			+	120.38			236.09	+		57.96	859.43
<i>Sargassum micracanthum</i>	85.70													85.70
<i>Sargassum muticum</i>	337.14	+	180.29	370.68	354.18		232.84	422.96	2.01	8.97		0.79	28.34	1,938.20
<i>Sargassum thunbergii</i>		+	78.29	149.41		450.04	72.66	124.38			+	932.38	1.84	1,809.00
<i>Sargassum yezoense</i>							359.56						131.71	491.27
<i>Undaria pinnatifida</i>	93.55	264.62	9.45		8.44	+	53.06						4.36	433.48
<i>Sphacelaria fusca</i>	+	+		+			+	+			+			+
<i>Sphacelaria rigidula</i>	+						+							+
<b>Rhodophyta</b>														
<i>Stylonema alsidii</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Stylonema cornu-cervi</i>	+	+	+	+			+					+		+
<i>Erythrocladia irregularis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Erythrotrichia biseriata</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Erythrotrichia carnea</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Erythrotrichia reflexa</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Porphyrostromium japonicum</i>				+			+				+		+	+
<i>Sahlingia subintegra</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Bangia fuscopurpurea</i>													257.00	257.00
<i>Pyropia suborbiculata</i>	2.48	15.44	0.05				+	81.75	40.38	393.80		+	+	533.90
<i>Pyropia yezoensis</i>							29.00						19.16	48.16
<i>Amphiroa beauvoisii</i>				0.07										0.07
<i>Corallina officinalis</i>	8.02		+	1.14	+		75.41	+	0.11			46.38	+	131.06
<i>Corallina pilulifera</i>	66.39		1.03	46.96	+	0.23	37.36	1.55	34.34	+		218.88	43.68	450.42
<i>Lithophyllum okamurae</i>				4.02	5.21									9.23
<i>Asparagopsis taxiformis</i>	+	+	+	+			+	+				+		+
<i>Aglaothamnion callophyllidicola</i>			+	+			+							+
<i>Antithamnion nipponicum</i>									+					+
<i>Campylaephora crassa</i>									0.37				0.66	1.03

Appendix 4. continued

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<i>Campylaephora hypnaeoides</i>												+		+
<i>Centroceras gasparrinii</i>			+			+	+	+				+	+	+
<i>Ceramium aduncum</i>	+		+	+			+	+	0.61	+			2.37	2.98
<i>Ceramium boydenii</i>													+	+
<i>Ceramium cimbricum</i>	+		+										+	+
<i>Ceramium inkyuui</i>							0.94	+					+	0.94
<i>Ceramium japonicum</i>		2.41						+						2.41
<i>Ceramium tenerinum</i>													+	+
<i>Gayliella fimbriata</i>			+										+	+
<i>Gayliella mazoverae</i>			+				+						+	+
<i>Reinboldiella schmitziana</i>							+	+	+					+
<i>Dasysiphonia japonica</i>	+	+		+				+					+	+
<i>Heterosiphonia pulchra</i>	+							+					+	+
<i>Acrosorium ciliolatum</i>				0.07	0.06		+							0.13
<i>Acrosorium polyneurum</i>	1.22	21.66	0.02	0.36	1.25	+	48.53	3.87	+	+		0.66	+	77.57
<i>Acrosorium yendoii</i>	+		+	0.37	4.24		17.20			+				21.81
<i>Phycodrys fimbriata</i>													+	+
<i>Schizoseris bombayensis</i>		+			+									+
<i>Chondria crassicaulis</i>	0.95	44.13	+	0.07			91.73	11.30	0.57	4.00			0.18	152.93
<i>Herposiphonia caespitosa</i>	+												+	+
<i>Herposiphonia insidiosa</i>	+		+		+		+	+					+	+
<i>Herposiphonia nuda</i>			+										+	+
<i>Herposiphonia secunda</i>			+										+	+
<i>Laurencia intricata</i>				0.03	4.69		+	+				+		4.72
<i>Laurencia majuscula</i>	1.06	+	0.04	0.10	0.72	+	1.02	1.30		+	+	+	+	4.24
<i>Laurencia obtusa</i>	0.32	+		+	+		19.61					22.59	4.26	46.78
<i>Laurencia pinnata</i>					0.25		0.74							0.99
<i>Laurencia venusta</i>	+		+	+	+		+					0.87		0.87
<i>Neosiphonia japonica</i>											0.25			0.25
<i>Neosiphonia savatieri</i>	0.04	124.17		+	+	+	+	16.36	37.98	0.39	+	3.04	16.57	198.55

Appendix 4. continued

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<i>Polysiphonia morrowii</i>			+	+	0.12		1.68		12.68	+		+	+	14.48
<i>Symphocladia latiuscula</i>		+	0.04	+	0.74	0.06	0.14	0.22		2.05		1.60	0.35	5.20
<i>Symphocladia marchantioides</i>	+			+	1.56	+	0.06	+	+	+		+		1.62
<i>Anotrichium tenue</i>	+		+		+			+					0.62	0.62
<i>Griffithsia heteroclada</i>	+			+				+				1.36		1.36
<i>Gelidium crinale</i>					+					+	16.78		+	16.78
<i>Gelidium elegans</i>	+	29.82	11.06	3.43	24.02	0.16	+		42.10	+	4.67			115.26
<i>Gelidium galapagense</i>					+									+
<i>Pterocladia capillacea</i>	4.97	2.37	39.47	3.26	7.48		+		24.72					82.27
<i>Hypnea asiatica</i>	+	+	+				0.22	1.60				+		1.82
<i>Hypnea cornuta</i>							0.06						+	0.06
<i>Hypnea flexicaulis</i>	0.18	27.82	+	+	1.76	+	+	+	+			+	5.21	34.97
<i>Hypnea japonica</i>		6.43												6.43
<i>Hypnea pannosa</i>	+	+		+	+	+	+	3.04	+	+		7.42	+	10.46
<i>Gloiopeltis furcata</i>	+									104.05				104.05
<i>Chondracanthus intermedius</i>	2.92	17.73	26.88	3.78	26.24	+	12.30	2.13	+	+		+	+	91.98
<i>Chondracanthus teedei</i>	+	76.86												76.86
<i>Chondracanthus tenellus</i>	34.55	5.82	35.81	0.02	44.57	0.05	4.72	3.03	1.16	+	+		8.78	138.51
<i>Chondrus armatus</i>	+				0.67								+	0.67
<i>Chondrus canaliculatus</i>	+	+	+		3.27			2.39	3.89	+				9.55
<i>Chondrus crispus</i>		18.62										1.25		19.87
<i>Chondrus ocellatus</i>	15.68	6.03	4.81	4.45	1.26	0.15	2.65	2.52	17.30	11.24	10.86		2.12	79.07
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	32.04	63.87	11.47	2.64	37.15	+	11.52	81.34	44.94	1.29	11.96		0.64	298.86
<i>Gracilaria vermiculophylla</i>						0.04		9.48						9.52
<i>Grateloupia asiatica</i>	2.42	0.70		52.79	15.71		1.08	79.58	191.27	0.20	46.16	16.41	2.69	409.01
<i>Grateloupia cornea</i>	11.29	187.82		5.38	2.22	14.69	11.44	6.59	16.18		0.55	+		256.16
<i>Grateloupia crispata</i>			0.21	0.04	4.15									4.40
<i>Grateloupia prolongata</i>									0.89		3.66			4.55
<i>Grateloupia sparsa</i>		75.65					1.86							77.51
<i>Grateloupia turuturu</i>	4.69	24.49	0.15	8.36	59.94			47.51	32.40	5.60	86.45			269.59

Appendix 4. continued

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean	
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>							72.64	1.99				0.61	3.98	79.22	
<i>Pachymeniopsis lanceolata</i>	4.33	50.02		156.83	0.64				182.29			34.56	+	428.67	
<i>Peyssonnelia caulifera</i>			+	0.66	0.70									1.36	
<i>Plocamium cartilagineum</i>										+				+	
<i>Plocamium telfairiae</i>	0.09	1.89	0.01	7.62	1.49	0.53	1.12			+			+	12.75	
<i>Plocamium uncinatum</i>	2.16	0.59	0.36	2.62	2.07	1.19	+						0.07	9.06	
<i>Champia parvula</i>	0.24	0.25	2.52	+	0.11	0.45	19.27	0.54	2.11	+		0.99	+	26.48	
<i>Lomentaria catenata</i>	0.01	35.41	2.64		+		+	0.03	2.95	+	+	0.02	16.79	57.85	
<i>Lomentaria flaccida</i>		+		+			+					+		+	
<i>Lomentaria hakodatensis</i>		26.74	0.08	0.16		+	52.07	31.34	0.62	3.91	90.64	38.09	12.88	256.53	
Crustose coralline algae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<b>Number of species</b>															
	<b>Chlorophyta</b>	7	10	9	7	7	7	11	8	8	6	3	8	9	16
	<b>Phaeophyta</b>	18	11	14	12	11	8	16	13	4	11	1	11	14	22
	<b>Rhodophyta</b>	49	43	46	49	47	29	53	43	37	36	22	36	54	90
	<b>Total</b>	74	64	69	68	65	44	80	64	49	53	26	55	77	128
<b>Biomass (g/m<sup>2</sup>)</b>															
	<b>Chlorophyta</b>	21.24	336.66	97.83	56.65	43.66	135.24	62.53	276.04	390.21	135.91	4.18	159.58	110.64	1,830.37
	<b>Phaeophyta</b>	734.73	274.38	602.46	596.75	426.98	451.40	1,431.69	685.33	60.99	402.70	0.00	1,074.26	323.22	7,064.89
	<b>Rhodophyta</b>	196.05	866.74	136.65	305.23	252.29	17.55	514.37	389.46	689.86	526.53	273.23	393.48	398.01	4,959.45
	<b>Total</b>	952.02	1,477.78	836.94	958.63	722.93	604.19	2,008.59	1,350.83	1,141.06	1,065.14	277.41	1,627.32	831.87	13,854.71

\*SB, Seokbyeong; GS, Gangsa; DB 1, Daebo 1; DB 2, Daebo 2; GM 1, Guman 1; GM 2, Guman 2; GM 3, Guman 3; MS, Masan; IA, Ibam; IG, Imgok; SD, Songdo; JC, Jukcheon; CP, Chilpo

Appendix 5. List of marine algae and biomass in the study sites during spring

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<b>Chlorophyta</b>														
<i>Bryopsis foliosa</i>		2.79												2.79
<i>Bryopsis plumosa</i>										+				+
<i>Codium fragile</i>							2.53			0.23				2.76
<i>Pseudovella consociata</i>					+									+
<i>Chaetomorpha moniligera</i>						15.66	+		123.15	47.05	18.46		+	204.32
<i>Cladophora albida</i>	22.13	23.92	110.26		4.19	55.67	0.10	4.87	0.25	+	+	0.76	12.16	234.31
<i>Ulothrix flacca</i>		+				+	+				+		+	+
<i>Ulothrix implexa</i>							95.61							95.61
<i>Blidingia minima</i>										+		+	+	+
<i>Ulva australis</i>	74.35	106.38	16.50	106.48	0.08	105.63	143.13	134.02	126.43	145.84	59.50	130.92	41.14	1,190.40
<i>Ulva compressa</i>	4.61	+	8.87	+	+	+	26.80	2.86	4.59	1.49	+	0.85	+	50.07
<i>Ulva intestinalis</i>	155.35	+	30.74	125.90	37.01		+	35.00	7.15	2.30		58.48	72.63	524.56
<i>Ulva linza</i>	35.06	129.03	24.72	+	45.67	+	28.81	0.86	38.70	+	68.70	9.81	52.53	433.89
<i>Ulva prolifera</i>			+										+	+
<b>Phaeophyta</b>														
<i>Desmarestia viridis</i>			0.26		43.19	+	0.30	0.64			+		+	44.39
<i>Dictyota dichotoma</i>	3.50	21.27	1.38	+	+		28.14	0.90		2.60		1.81	0.98	60.58
<i>Dictyopteris divaricata</i>										65.96				65.96
<i>Dictyopteris prolifera</i>	78.89	48.79						8.71					18.58	154.97
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	7.78	19.65	10.73	0.59	1.87	3.71	11.75	0.67	+	7.85		+	0.28	64.88
<i>Acinetospora crinita</i>			+					+	+	+			+	+
<i>Leathesia marina</i>	103.38	14.48	4.54		1.28		111.70	+		0.66		0.79	63.41	300.24
<i>Colpomenia phaeodactyla</i>	+									+				+
<i>Colpomenia sinuosa</i>				0.55	+		+	12.42		0.52			23.77	37.26
<i>Petalonia binghamiae</i>							+							+
<i>Scytosiphon lomentaria</i>			0.07		+	+	+		9.50	0.62			0.87	11.06
<i>Sargassum confusum</i>	79.08		0.62	+		0.48	53.38	+				65.45		199.01
<i>Sargassum fusiforme</i>							145.08	16.83						161.91
<i>Sargassum hemiphyllum</i>								99.52		2.98		+	207.89	310.39

Appendix 5. continued

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<i>Sargassum horneri</i>	2.27	120.80	42.94		24.51	+	87.84	0.70	24.67	0.31	+	0.54	153.58	458.16
<i>Sargassum muticum</i>	323.32	+	415.50	303.79	366.72	35.58	396.43	14.31	0.09	96.76	+	17.80	+	1,970.30
<i>Sargassum thunbergii</i>			211.71	20.53			420.53				+	426.71	+	1,225.19
<i>Sargassum yezoense</i>				74.56			477.16	+					+	551.72
<i>Undaria pinnatifida</i>	108.21	182.61		+	+	+	36.57		32.80	37.08	+			397.27
<i>Sphacelaria fusca</i>		+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+
<i>Sphacelaria yamadai</i>			+									+	0.58	0.58
<b>Rhodophyta</b>														
<i>Stylonema alsidii</i>					+									+
<i>Stylonema cornu-cervi</i>				+					+	+			+	+
<i>Erythrocladia irregularis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Erythrotrichia biseriata</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Erythrotrichia reflexa</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Sahlingia subintegra</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pyropia yezoensis</i>		0.11												0.11
<i>Amphiroa beauvoisii</i>												0.67		0.67
<i>Corallina officinalis</i>	96.73			18.92		+	54.49	0.90		+		22.39	5.03	198.46
<i>Corallina pilulifera</i>	108.02	4.17		43.26	+	0.90	123.80	5.09		147.55		76.42	6.16	515.37
<i>Acrochaetium canariense</i>							+			+	+		+	+
<i>Nemalion vermiculare</i>											+			+
<i>Asparagopsis taxiformis</i>												+	+	+
<i>Campylaeophora crassa</i>						+		+	+				1.58	1.58
<i>Campylaeophora hypnaeoides</i>								+	0.05					0.05
<i>Centroceras gasparrinii</i>					+			+				+	+	+
<i>Ceramium aduncum</i>	+	+	+				+						+	+
<i>Ceramium boydenii</i>											5.48		+	5.48
<i>Ceramium inkyuui</i>							+							+
<i>Ceramium japonicum</i>								0.86		0.29				1.15
<i>Gayliella fimbriata</i>	+													+
<i>Herpochondria dentata</i>										+				+

Appendix 5. continued

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<i>Reinboldiella schmitziana</i>													0.07	0.07
<i>Dasysiphonia japonica</i>					+		+	+		+			+	+
<i>Heterosiphonia pulchra</i>					+			+		1.53			+	1.53
<i>Acrosorium ciliolatum</i>										+			+	+
<i>Acrosorium polyneurum</i>	+	6.05	0.04	+	1.08	+	7.55	6.76	16.55	7.14		+	0.48	45.65
<i>Acrosorium yendoi</i>	+				+				0.28	+			+	0.28
<i>Phycodrys fimbriata</i>													0.16	0.16
<i>Schizoseris bombayensis</i>		+			+									+
<i>Chondria crassicaulis</i>		14.17			+	+	52.36	115.40	7.84	16.46			8.04	214.27
<i>Herposiphonia caespitosa</i>									+				+	+
<i>Herposiphonia insidiosa</i>									+				+	+
<i>Herposiphonia secunda</i>													+	+
<i>Laurencia intricata</i>	6.68			+	5.79		8.53	12.82		50.36		+	4.00	88.18
<i>Laurencia majuscula</i>	3.77	107.08	+	0.21			16.74	0.40				2.79	26.87	157.86
<i>Laurencia obtusa</i>	0.95			0.29			0.98					1.95	+	4.17
<i>Laurencia pinnata</i>							59.96	0.63		+			+	60.59
<i>Neosiphonia japonica</i>		+							+				1.82	1.82
<i>Neosiphonia savatieri</i>	3.83	10.31		+	+		0.72	0.40	19.85	4.32	0.22		52.09	91.74
<i>Neosiphonia sphaerocarpa</i>	+						+							+
<i>Symphyocladia latiuscula</i>	+	5.80	+	+	+		+	5.18		12.45			+	23.43
<i>Symphyocladia linearis</i>									+					+
<i>Symphyocladia marchantioides</i>			+		+			+					+	+
<i>Symphyocladia pumila</i>	4.17						+							4.17
<i>Anotrichium tenue</i>	+												+	+
<i>Griffithsia heteroclada</i>	+													+
<i>Gelidium crinale</i>	+										6.12		+	6.12
<i>Gelidium elegans</i>	128.72	110.22	12.89	25.96	30.31	0.45		+	65.62	17.94	0.52	0.24	+	392.87
<i>Pterocladia capillacea</i>	+	+												+
<i>Hypnea flexicaulis</i>	+	4.41					+	+				+	+	4.41
<i>Hypnea pannosa</i>		+												+

Appendix 5. continued

Species	SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<i>Chondracanthus intermedius</i>	+	8.33	0.05		+		0.35	0.80	+	1.25			1.69	12.47
<i>Chondracanthus teedei</i>		+												+
<i>Chondracanthus tenellus</i>	126.11	66.75	0.62	0.14	20.53		19.79	5.71	2.18	4.89			13.77	260.49
<i>Chondrus canaliculatus</i>	56.18				65.33			1.67					14.64	137.82
<i>Chondrus crispus</i>	27.99	128.71	+		2.79		0.84		24.43	62.85	+		0.76	248.37
<i>Chondrus ocellatus</i>	2.63			0.38	0.06			5.21		0.66				8.94
<i>Chondrus pinnulatus</i>										+				+
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	48.56	108.61	3.05	6.32	55.37		3.96	65.06	30.25	28.81	8.56	+	+	358.55
<i>Portieria japonica</i>	0.59													0.59
<i>Grateloupia acuminata</i>									2.43	+				2.43
<i>Grateloupia asiatica</i>	21.63	99.47	0.36	99.17	5.62		2.32	164.66	144.86	66.08	51.08	0.18	+	655.43
<i>Grateloupia cornea</i>	62.68	36.97	+	17.30	0.03	0.04	9.16	16.82	44.96	2.12	13.22			203.30
<i>Grateloupia divaricata</i>									5.90					5.90
<i>Grateloupia prolongata</i>							8.70				39.78			48.48
<i>Grateloupia sparsa</i>	93.02	72.55	0.56	97.67	45.71		1.98	47.65		19.43				378.57
<i>Grateloupia turuturu</i>		45.68		16.62			0.11		32.65	8.75	171.90			275.71
<i>Polyopes affinis</i>	+	7.09												7.09
<i>Polyopes lancifolius</i>									28.38	+				28.38
<i>Plocamium telfairiae</i>	+	5.82	0.02	1.32	1.90	0.06	0.05			0.33			0.37	9.87
<i>Plocamium uncinatum</i>	0.06	+	0.12	0.31	5.20	+							+	5.69
<i>Champia parvula</i>	14.67	1.61			+		3.54	1.83	+	10.56		+	21.72	53.93
<i>Lomentaria catenata</i>	27.84	+	+		1.10	0.03	+	0.06	0.09	12.37	+	+	29.37	70.86
<i>Lomentaria flaccida</i>				+				0.68		3.72		+	+	4.40
<i>Lomentaria hakodatensis</i>	3.25	7.79	+				4.53					1.23		16.80
<i>Chrysymenia wrightii</i>										35.55			+	35.55
Crustose coralline algae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Appendix 5. continued

Species		SB	GS	DB 1	DB 2	GM 1	GM 2	GM 3	MS	IA	IG	SD	JC	CP	Mean
<b>Number of species</b>	<b>Chlorophyta</b>	5	7	6	4	6	6	9	5	6	9	6	6	9	14
	<b>Phaeophyta</b>	9	8	12	9	10	8	14	15	7	12	5	10	15	21
	<b>Rhodophyta</b>	40	34	22	25	32	16	34	35	27	39	18	22	49	78
	<b>Total</b>	54	49	40	38	48	30	57	55	40	60	29	38	73	113
<b>Biomass (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Chlorophyta</b>	291.50	262.12	191.09	232.38	86.95	176.96	296.98	177.61	300.27	196.91	146.66	200.82	178.46	2,738.71
	<b>Phaeophyta</b>	706.43	407.60	687.75	400.02	437.57	460.30	1,348.35	300.41	67.06	215.34	0.00	513.10	469.94	6,013.87
	<b>Rhodophyta</b>	838.08	851.70	17.71	327.87	240.82	10.18	371.76	458.59	426.32	515.41	296.88	105.87	188.62	4,649.81
	<b>Total</b>	1,836.01	1,521.42	896.55	960.27	765.34	647.44	2,017.09	936.61	793.65	927.66	443.54	819.79	837.02	13,402.39

\*SB, Seokbyeong; GS, Gangsa; DB 1, Daebo 1; DB 2, Daebo 2; GM 1, Guman 1; GM 2, Guman 2; GM 3, Guman 3; MS, Masan; IA, Ibam; IG, Imgok; SD, Songdo; JC, Jukcheon; CP, Chilpo

